

Chulalongkorn University

Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2020

การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง
กลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

กิตติศักดิ์ หวานน้ำ
คณะครุศาสตร์

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>



Part of the [Educational Assessment, Evaluation, and Research Commons](#)

Recommended Citation

หวานน้ำ, กิตติศักดิ์, "การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา" (2020). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 4145.
<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/4145>

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์
โดยใช้การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF THE AUTOMATIC ITEM GENERATION SYSTEM FOR MECHANICAL
MISCONCEPTIONS DIAGNOSIS BY USING COGNITIVELY DIAGNOSTIC ASSESSMENT



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Educational Measurement and Evaluation

Department of Educational Research and Psychology

FACULTY OF EDUCATION

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา
โดย	นายกิตติทัศน์ หวานฉ่ำ
สาขาวิชา	การวัดและประเมินผลการศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.กมลวรรณ ตังชนกานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต

.....	คณบดีคณะครุศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.สังวรรณ จัดกระโทก)	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.กมลวรรณ ตังชนกานนท์)	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
.....	
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี)	กรรมการ
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ)	กรรมการ
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภรณ์ หลาวทอง)	กรรมการ
.....	
(อาจารย์ ดร.ณภัทร ชัยมงคล)	

กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ : การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้
การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา. (DEVELOPMENT OF THE AUTOMATIC ITEM GENERATION SYSTEM
FOR MECHANICAL MISCONCEPTIONS DIAGNOSIS BY USING COGNITIVELY DIAGNOSTIC ASSESSMENT)

อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.กมลวรรณ ดั่งธนกันท์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์การวิจัยหลัก 3 ข้อ ได้แก่ (1) เพื่อพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (2) เพื่อพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และ (3) เพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของแต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนที่มีเพศและเรียนในระดับชั้นที่ต่างกัน การวิจัยแบ่งเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 การพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ผู้ให้ข้อมูล คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ และด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา ระยะที่ 2 การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ตัวอย่างวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 522 คน ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน ผู้ให้ข้อมูล คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา สถิติเชิงบรรยาย ดังนี้ CSI สถิติทดสอบที สถิติทดสอบไค-สแควร์ โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ ดังนี้ความเที่ยงของการจำแนก ดังนี้ความตรงของการจำแนก และการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. ผลการพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ พบว่าโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แสดงความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นระหว่าง 6 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก วิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญา คือ การตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียง อีกทั้ง เมทริกซ์คิวที่ผ่านการตรวจสอบความตรงโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ วิธีการคิดออกเสียง และการตรวจสอบความตรงแบบลำดับขั้นร่วมกับการพิจารณา mesa plot ประกอบด้วยข้อสอบ จำนวน 18 ข้อ โดยวัดคุณลักษณะเฉลี่ย 2.500 คุณลักษณะ ต่อข้อสอบ 1 ข้อ นอกจากนี้ยังพบว่า โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบแต่ละคู่ ส่วนใหญ่มีคุณภาพด้านเนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ อยู่ในระดับ 4 ยอมรับ อีกทั้ง โมเดลข้อสอบมีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI อยู่ระหว่าง 0.609 และ 0.796

2. ผลการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ พบว่าระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์มีแผนการใช้งานสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ โมเดลข้อสอบ การสร้างข้อสอบ และการสร้างแบบสอบ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีคุณภาพด้านการใช้ประโยชน์ ความเป็นไปได้ ความเหมาะสม และความถูกต้อง อยู่ในระดับมากที่สุด และมีการปรับปรุงโดยใช้ข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้ มิติการปฏิบัติงาน และมิติความพึงพอใจ ส่วนพารามิเตอร์ข้อสอบของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ได้จากกาวิเคราะห์โดยโมเดล sequential bug-G-DINA ได้แก่ (1) ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 1 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด และ 1 ทั้งหมด มีค่า 0.871 - 1.000 และ 0.018 - 0.212 ตามลำดับ และ (2) ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 2 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด และ 1 ทั้งหมด มีค่า 0.767 - 1.000 และ 0.000 - 0.201 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์มีความเที่ยงของการจำแนก และดัชนีความตรงของการจำแนก เท่ากับ 0.857 และ 0.950 ตามลำดับ มีความตรงตามสภาพ (Cohen's kappa = 0.841) และมีความตรงเชิงโครงสร้าง เนื่องจากโมเดลการวัดแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

3. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายส่วนใหญ่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ในทั้ง 6 คุณลักษณะ นอกจากนี้พบว่า นักเรียนเพศชายและเพศหญิงมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เฉพาะคุณลักษณะเกี่ยวกับแรงลัพธ์ อีกทั้ง นักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เฉพาะคุณลักษณะเกี่ยวกับแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2

สาขาวิชา การวัดและประเมินผลการศึกษา

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6184202027 : MAJOR EDUCATIONAL MEASUREMENT AND EVALUATION

KEYWORD: MECHANICAL MISCONCEPTIONS, COGNITIVELY DIAGNOSTIC ASSESSMENT, SEQUENTIAL PROCESS
MODEL, AUTOMATIC ITEM GENERATION, ITEM MODEL

Kittitas Wancham : DEVELOPMENT OF THE AUTOMATIC ITEM GENERATION SYSTEM FOR MECHANICAL
MISCONCEPTIONS DIAGNOSIS BY USING COGNITIVELY DIAGNOSTIC ASSESSMENT. Advisor: Assoc. Prof.
KAMONWAN TANGDHANAKANOND, Ph.D. Co-advisor: Prof. SIRICHAJ KANJANAWASEE, Ph.D.

The main objectives of this study were (1) to develop item models for mechanical misconceptions diagnosis by using the cognitively diagnostic assessment, (2) to develop the automatic item generation system for mechanical misconceptions diagnosis, and (3) to diagnose high school students' mechanical misconceptions about force and motion and compare proportions of the students from different genders and grades who possessed each attribute about mechanical misconceptions about force and motion. The study was divided into two phases. For the first phase, development of item models for mechanical misconceptions diagnosis, informants were experts on physics education, and educational measurement and evaluation. For the second phase, development of the automatic item generation system for mechanical misconceptions diagnosis, participants were 522 high school students which were randomized by using multistage random sampling method. Informants were experts on educational measurement and evaluation, experts on information technology, and also physics teachers. For data analysis, this study adopted a content analysis, descriptive statistics, a CSI index, a t-test, a chi-square test, a sequential process model, a classification consistency index, a classification accuracy index, and a confirmatory factor analysis. Research findings can be summarized as follows:

1. The results of development of item models for mechanical misconceptions diagnosis showed that the cognitive model of force and laws of motion illustrated hierarchical relationships among six attributes, namely (1) resultant force, (2) Newton's first law of motion, (3) Newton's second law of motion, (4) Newton's third law of motion, (5) frictional force, and (6) gravitational force. The model was validated by subject matter experts and think-aloud protocols. The Q-matrix which was validated by subject matter experts, think-aloud protocols, and a stepwise Q-matrix validation method with a mesa plot comprised 18 items, and measured 2,500 attributes per item in average. Moreover, majority of cognitive models for automatic item generation and item models dual possessed quality on content, logical, and presentation dimension in level 4 (accept). Means of the CSI index of item models ranged from 0.609 to 0.796.

2. The results of development of the automatic item generation system for mechanical misconceptions diagnosis showed that the automatic item generation system had three main menus, namely item model, item generation, and test generation. The system possessed excellent quality on utility, feasibility, propriety, and accuracy dimension. Moreover, the system was improved by using pragmatic and hedonic dimension of user experiences. Item parameters of the mechanical misconceptions diagnostic test which obtained from the analysis by using the sequential bug-G-DINA model consisted (1) the processing functions of category 1 which were 0.871 - 1.000 and 0.018 - 0.212 for examinees who possessed a reduced attribute profile that contained all 0 and all 1, respectively, and (2) the processing functions of category 2 which were 0.767 - 1.000 and 0.000 - 0.201 for those possessed a reduced attribute profile that contained all 0 and all 1, respectively. Additionally, the test had a classification consistency index at 0.857, a classification accuracy index at 0.950, and a concurrent validity (Cohen's kappa = 0.841). Besides, the test also had a construct validity because the measurement model of force and laws of motion fit the empirical data.

3. The majority of high school students possessed all of six attributes about mechanical misconceptions about force and motion. There was only a significant difference in the proportion of male and female students who possessed misconceptions about resultant force at the .05 level of significance. Moreover, there were significant differences in the proportions of students from different grades who possessed misconceptions about resultant force and Newton's second law of motion at the .05 level of significance.

Field of Study: Educational Measurement and
Evaluation

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลือ และข้อเสนอแนะอันมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นจาก ศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี และรองศาสตราจารย์ ดร.กมลวรรณ ตังธนากานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สังวรณ์ จัตุระโทก ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรรมการสอบทั้ง 3 ท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภรณ์ หลาวทอง และอาจารย์ ดร.ณภัทร ชัยมงคล

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญที่เสียสละเวลาในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย ผู้ให้ข้อมูล และตัวอย่างวิจัยที่ให้ความร่วมมือในการวิจัย อีกทั้งบุคคลทุกฝ่ายที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณพ่อและแม่ที่สนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการสนับสนุนทุนการศึกษาจากทุนการศึกษาหลักสูตรดุขฎิบัณฑิต “100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” และทุนวิจัยจากทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
คำถามการวิจัย	9
วัตถุประสงค์การวิจัย	10
ขอบเขตการวิจัย	11
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	13
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	17
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
ตอนที่ 1 การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	19
ตอนที่ 2 การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา.....	35
ตอนที่ 3 การสร้างข้อสอบอัตโนมัติ.....	89
ตอนที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	103
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	107
ระยะที่ 1 การพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์.....	107

ระยะที่ 2 การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง กลศาสตร์.....	114
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	128
ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์	128
ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง กลศาสตร์.....	174
ตอนที่ 3 ผลการวินิจัยและเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	250
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	262
สรุปผลการวิจัย.....	265
อภิปรายผลการวิจัย.....	269
ข้อเสนอแนะ	284
บรรณานุกรม.....	294
ภาคผนวก ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือวิจัย	314
ภาคผนวก ข โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบ.....	321
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ทางกลศาสตร์.....	401
ภาคผนวก ง เครื่องมือวิจัย.....	431
ประวัติผู้เขียน.....	453

สารบัญตาราง

ตาราง 2.1	เกณฑ์ในการแปลความหมายผลการตอบข้อสอบสองระดับ	27
ตาราง 2.2	เกณฑ์ในการแปลความหมายผลการตอบข้อสอบสามระดับ	28
ตาราง 2.3	เกณฑ์ในการแปลความหมายผลการตอบข้อสอบสี่ระดับ	30
ตาราง 2.4	เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	32
ตาราง 2.5	การจัดกลุ่มโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา.....	59
ตาราง 2.6	ข้อดีและข้อด้อยของโมเดล sequential bug-G-DINA, sequential bug-DINA และ sequential bug-DINO	66
ตาราง 2.7	ตัวอย่าง restricted Q_C -matrix.....	68
ตาราง 2.8	ตัวอย่าง unrestricted Q_C -matrix.....	69
ตาราง 2.9	เมทริกซ์ประเภทโมเดลข้อสอบ.....	92
ตาราง 2.10	รูบริกสำหรับประเมินโมเดลพุทธิปัญญาและโมเดลข้อสอบ	101
ตาราง 3.1	การจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่.....	110
ตาราง 3.2	จำนวนตัวอย่างวิจัยตามแผนการสุ่มจำแนกตามระดับชั้นและเพศของนักเรียน	115
ตาราง 3.3	จำนวนตัวอย่างวิจัยจำแนกตามระดับชั้นและเพศ	116
ตาราง 4.1	ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญสำหรับการแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่.....	130
ตาราง 4.2	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและมโนทัศน์ที่ถูกต้องเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	133
ตาราง 4.3	รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์.....	137
ตาราง 4.4	รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1.....	138
ตาราง 4.5	รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2.....	139
ตาราง 4.6	รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3.....	140
ตาราง 4.7	รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทาน.....	141
ตาราง 4.8	รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลก.....	142

ตาราง 4.9 เมทริกซ์ควิลดรูปที่ใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	152
ตาราง 4.10 เมทริกซ์ควิลที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ	153
ตาราง 4.11 ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควิลโดยผู้เชี่ยวชาญ	154
ตาราง 4.12 ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควิลด้วยวิธีการคิดออกเสียง	156
ตาราง 4.13 สรุปการปรับแก้เมทริกซ์ควิลจากผลการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญและวิธีการคิดออกเสียง	157
ตาราง 4.14 เมทริกซ์ควิลที่ผ่านการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียง ...	158
ตาราง 4.15 เมทริกซ์ควิลระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัดที่สร้างขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบ.....	159
ตาราง 4.16 โมเดลข้อสอบโมเดลที่ 1.....	163
ตาราง 4.17 ผลการตรวจสอบคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติและโมเดลข้อสอบ	168
ตาราง 4.18 ค่าดัชนี CSI และจำนวนข้อสอบที่สามารถสร้างได้ของโมเดลข้อสอบ	173
ตาราง 4.19 คุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่มุ่งวัดโดยโมเดลข้อสอบ	182
ตาราง 4.20 คุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	194
ตาราง 4.21 คุณภาพของคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	199
ตาราง 4.22 ดัชนีความสอดคล้องระหว่างโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับกับข้อมูลเชิงประจักษ์	202
ตาราง 4.23 เมทริกซ์ควิลที่ควรปรับแก้ตามข้อเสนอแนะของวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควิลแบบลำดับขั้น.....	203
ตาราง 4.24 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล sequential bug-G-DINA ที่ใช้เมทริกซ์ควิลเดิมและโมเดลที่ใช้.....	205
ตาราง 4.25 ผลการพิจารณา mesa plot สำหรับปรับแก้เวกเตอร์ควิลของข้อสอบแต่ละข้อ	207

ตาราง 4.26 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล sequential bug-G-DINA ที่ใช้เมทริกซ์คิวเดิม และโมเดลที่ใช้เมทริกซ์คิวที่ปรับแก้ครั้งที่ 2	221
ตาราง 4.27 เมทริกซ์คิวที่สมบูรณ์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพของ แบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	222
ตาราง 4.28 ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	224
ตาราง 4.29 ดัชนีความเที่ยงของการจำแนก และดัชนีความตรงของการจำแนกของแบบสอบวินิจัย มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	242
ตาราง 4.30 เมทริกซ์สหสัมพันธ์ของตัวบ่งชี้ในโมเดลการวัดแรงและกฎการเคลื่อนที่	243
ตาราง 4.31 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเพื่อตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของ แบบสอบวินิจัย	244
ตาราง 4.32 ผลการวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA และวิธีการคิดออกเสียง	246
ตาราง 4.33 ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่ 2 ซึ่งเป็น โมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด	248
ตาราง 4.34 ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่ 16 ซึ่งเป็นโมเดล ข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI สูงที่สุด	249
ตาราง 4.35 โปรไฟล์คุณลักษณะของตัวอย่างวิจัยที่ได้จากการวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง กลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	251
ตาราง 4.36 สัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ในแต่ละคุณลักษณะ	254
ตาราง 4.37 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่พบมากในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ตอนปลาย	255
ตาราง 4.38 จำนวนนักเรียนเพศชายและเพศหญิงที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และมโนทัศน์ถูกต้อง จำแนกตามคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	257
ตาราง 4.39 จำนวนนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และมโนทัศน์ถูกต้องจำแนกตามคุณลักษณะ เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่และระดับชั้น	260

สารบัญภาพ

ภาพ 2.1 เหตุการณ์สำคัญในการพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา.....	41
ภาพ 2.2 ตัวอย่างการระบุรายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะที่มุ่งวัด.....	43
ภาพ 2.3 ประเภทลำดับชั้นคุณลักษณะ และคุณลักษณะมีความเป็นอิสระต่อกัน	45
ภาพ 2.4 โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่มีน้ำหนักองค์ประกอบเชิงซ้อน.....	51
ภาพ 2.5 การจัดกลุ่มโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา.....	60
ภาพ 2.6 กรอบโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา	61
ภาพ 2.7 กรอบแนวคิดการออกแบบโดยใช้หลักฐานเป็นศูนย์กลาง	70
ภาพ 2.8 หน้าจอที่แสดงผลการติดตามสายตาของนักเรียนขณะทำข้อสอบ	76
ภาพ 2.9 กระบวนการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับชั้น.....	80
ภาพ 2.10 ตัวอย่างใบรายงานผลการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา	85
ภาพ 2.11 ตัวอย่างแผนภาพเส้นทางการพัฒนาความรอบรู้ในคุณลักษณะ.....	86
ภาพ 2.12 ขั้นตอนการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา.....	87
ภาพ 2.13 โมเดลข้อสอบ 1 ชั้น เรื่องจำนวนและการดำเนินการ	93
ภาพ 2.14 โมเดลข้อสอบหลายชั้น เรื่องจำนวนและการดำเนินการ	94
ภาพ 2.15 โมเดลพุทธิปัญญารูปทั่วไป	97
ภาพ 2.16 โมเดลพุทธิปัญญาแบบโครงสร้างเชิงตรรกะเรื่องการดำเนินการและพีชคณิต	98
ภาพ 2.17 โมเดลพุทธิปัญญาแบบลักษณะสำคัญเรื่องการวินิจัยการมีใช้หลังผ่าตัด	99
ภาพ 2.18 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	106
ภาพ 3.1 สรุปวิธีดำเนินการวิจัย.....	127
ภาพ 4.1 โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ก่อนการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ...143	
ภาพ 4.2 โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่ผ่านการตรวจสอบความตรง โดยผู้เชี่ยวชาญ	145

ภาพ 4.3 โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติโมเดลที่ 1	161
ภาพ 4.4 หน้าเข้าสู่ระบบ	176
ภาพ 4.5 หน้าลงทะเบียน	176
ภาพ 4.6 หน้าลิ้มรสผ่าน	177
ภาพ 4.7 เมนูข้อมูลผู้ใช้	178
ภาพ 4.8 ตัวอย่างเมนูโมเดลข้อสอบ	180
ภาพ 4.9 ตัวอย่างหัวข้อรูปภาพในเมนูโมเดลข้อสอบ	181
ภาพ 4.10 ตัวอย่างการแก้ไขหัวข้อคำอธิบายในเมนูโมเดลข้อสอบ	183
ภาพ 4.11 ตัวอย่างการแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษร	184
ภาพ 4.12 ตัวอย่างการแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลข	185
ภาพ 4.13 ตัวอย่างหน้าต่างสำหรับแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยในหัวข้อเฉลย	186
ภาพ 4.14 ตัวอย่างหน้าต่างสำหรับแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยในหัวข้อรูปภาพ	187
ภาพ 4.15 เมนูการสร้างข้อสอบ	188
ภาพ 4.16 ตัวอย่างหน้าจอหลังจากสร้างข้อสอบ	189
ภาพ 4.17 ตัวอย่างข้อสอบที่สร้างขึ้น	189
ภาพ 4.18 เมนูการสร้างแบบสอบ	190
ภาพ 4.19 หน้าการตั้งค่าหัวกระดาษของแบบสอบ	191
ภาพ 4.20 เมนูคู่มือการใช้งาน	191
ภาพ 4.21 เมนูผู้พัฒนาระบบ	192
ภาพ 4.22 เมนูข้อมูลผู้ใช้สำหรับผู้ดูแลระบบ	193
ภาพ 4.23 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 3	210
ภาพ 4.24 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 5	211
ภาพ 4.25 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 7	212
ภาพ 4.26 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 8	212

ภาพ 4.27 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 9	213
ภาพ 4.28 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 10.....	214
ภาพ 4.29 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 12.....	215
ภาพ 4.30 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 14.....	216
ภาพ 4.31 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 15.....	217
ภาพ 4.32 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 16.....	218
ภาพ 4.33 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 17.....	219
ภาพ 4.34 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 18.....	220
ภาพ 4.35 ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบสำหรับรายการคำตอบ 1 ของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่.....	225
ภาพ 4.36 ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบสำหรับรายการคำตอบ 2 ของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่.....	225
ภาพ 4.37 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 3.....	227
ภาพ 4.38 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 10	230
ภาพ 4.39 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 1.....	231
ภาพ 4.40 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 2.....	231
ภาพ 4.41 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 4.....	232
ภาพ 4.42 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 5.....	232
ภาพ 4.43 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 6.....	233
ภาพ 4.44 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 7.....	233
ภาพ 4.45 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 8.....	234
ภาพ 4.46 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 9.....	234
ภาพ 4.47 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 11	235
ภาพ 4.48 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 12	235

ภาพ 4.49 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 13	236
ภาพ 4.50 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 14	237
ภาพ 4.51 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 15	238
ภาพ 4.52 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 16	239
ภาพ 4.53 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 17	239
ภาพ 4.54 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 18	240
ภาพ 4.55 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของโมเดลการวัดแรงและกฎการเคลื่อนที่.....	245
ภาพ 4.56 จำนวนนักเรียนในแต่ละโปรไฟล์คุณลักษณะ	252
ภาพ 4.57 จำนวนนักเรียนเพศชายและเพศหญิงที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	258
ภาพ 4.58 จำนวนนักเรียนที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และมีโนทัศน์ถูกต้องจำแนกตามคุณลักษณะ เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่และระดับชั้น	261

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับสสาร พลังงาน อันตรกิริยาระหว่างสสารกับพลังงาน และแรงพื้นฐานในธรรมชาติเพื่อใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ โดยความรู้ทางฟิสิกส์เป็นพื้นฐานสำคัญต่อการสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศและช่วยอำนวยความสะดวกในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ทำให้มนุษย์มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น และมีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น ประเทศชาติจึงต้องการผู้ที่มีความรู้ทางฟิสิกส์อย่างลุ่มลึกเพื่อเป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561) ส่วนกลศาสตร์เป็นสาขาหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้อิทธิพลของแรงซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนฟิสิกส์ ทั้งนี้ มีโน้ตส์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เป็นหัวใจสำคัญของการเรียนรู้ทางกลศาสตร์ และยังเป็นพื้นฐานสำหรับโน้ตส์อื่นที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ไฟฟ้าและคลื่น (Tomara et al., 2017)

ผลการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ในการทดสอบสามัญ 9 วิชา ระหว่างปี พ.ศ.2559 ถึง พ.ศ.2562 พบว่านักเรียนมีคะแนนอยู่ในระดับต่ำ โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 22.90 และ 29.44 คะแนน จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2563) อาจเนื่องมาจากนักเรียนมีมีโน้ตส์ที่คลาดเคลื่อนจึงทำให้ขาดช่วงการเรียนรู้ของนักเรียน เนื่องจากมีโน้ตส์ที่คลาดเคลื่อนทำให้นักเรียนไม่สามารถสร้างความคิดที่ถูกต้องซึ่งเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้น นักเรียนจึงเรียนรู้มีโน้ตส์ที่ซับซ้อนอย่างไม่มีประสิทธิภาพ อีกทั้ง ไม่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างความรู้เก่าและความรู้ใหม่ นักเรียนจึงไม่สามารถบรรลุเป้าหมายการเรียนรู้ และทำให้เกิดความล้มเหลวในการเรียนรู้ในที่สุด (สุรเดช อนันตสวัสดิ์, 2560; Gurel et al., 2015; Narjaikaew, 2013; Soeharto et al., 2019) หากนักเรียนมีมีโน้ตส์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่จะทำให้การเรียนรู้ทางกลศาสตร์ไม่มีความหมาย รวมทั้งไม่สามารถประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่กับมีโน้ตส์ที่มีความซับซ้อน นักเรียนจึงต้องมมีมีโน้ตส์ที่ถูกต้องเกี่ยวกับแรงและกฎการเคลื่อนที่เพื่อให้สามารถเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Hestenes et al., 1992)

การศึกษาเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน พบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง โดยนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีจำนวนร้อยละ 23.01 - 88.89 อีกทั้ง นักเรียนแต่ละประเทศมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่คล้ายคลึงกัน จึงกล่าวได้ว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีลักษณะที่เป็นสากล (ปัทมาพร ฦ น่าน และคณะ, 2561; ไอนิง เจ๊ะเหลาะ และคณะ, 2558; Handhika et al., 2016; Kurniawan, 2018) ดังนั้น จำเป็นอย่างยิ่งในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เพื่อนำสารสนเทศที่ได้ไปเป็นแนวทางในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ หรือวิธีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนซึ่งนำไปสู่การสร้างบุคลากรที่เป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศ

ผลการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยภูมิหลังของนักเรียน ได้แก่ เพศ และระดับชั้น ที่ส่งผลต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีความขัดแย้งกัน ดังนี้ งานวิจัยส่วนหนึ่งพบว่า นักเรียนเพศหญิงมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สูงกว่านักเรียนเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Bates et al., 2013; Eryilmaz, 2002) อีกทั้ง นักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นที่สูงกว่ามีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่น้อยกว่านักเรียนในระดับชั้นต่ำกว่า ในขณะที่งานวิจัยบางส่วนพบว่า นักเรียนเพศหญิงและเพศชายมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Azman et al., 2013; Bayraktar, 2009; Mohammad et al., 2020) และนักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นต่างกันมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Basso, 2009; Eryilmaz, 2002) โดยงานวิจัยเหล่านี้จะนำเสนอรวมจากการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้มีผลการวิจัยที่ขัดแย้งกัน กล่าวคือ นักเรียนที่มีปัจจัยภูมิหลังต่างกันอาจมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แตกต่างกันเพียงบางคุณลักษณะ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนที่มีเพศและเรียนในระดับชั้นที่ต่างกัน ทำให้ได้สารสนเทศที่มีความละเอียดมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ในการออกแบบวิธีการจัดการเรียนรู้ที่ตรงประเด็นมากขึ้น

เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีหลายประเภท โดยเครื่องมือที่มีการใช้มากที่สุด คือ แบบสัมภาษณ์ รองลงมา คือ แบบสอบปลายเปิด (open-ended test) แบบสอบหลายตัวเลือก และแบบสอบหลายระดับ (multiple-tier test) ตามลำดับ เครื่องมือแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงต้องเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมกับบริบทของการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ทำการศึกษา (Gurel et al., 2015; Soeharto et al., 2019) หากพิจารณาการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยใช้แบบสอบ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การใช้แบบสอบสร้างคำตอบ (constructed response test) ได้แก่ แบบสอบปลายเปิด และการใช้แบบสอบเลือกตอบ ได้แก่ แบบสอบหลายตัวเลือก และแบบสอบหลายระดับ โดยการใช้แบบสอบสร้างคำตอบเหมาะสำหรับการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากกว่าแบบสอบเลือกตอบ เนื่องจากนักเรียนสร้างคำตอบด้วยความคิดของตนเอง อีกทั้ง ขณะนักเรียนทำแบบสอบหลายตัวเลือก นักเรียนอาจจะไม่ได้ใช้วิธีการแก้ปัญหาอย่างที่ควรจะเป็น โดยนักเรียนพยายามใช้ประโยชน์จากตัวเลือกในการแก้ปัญหา หรือใช้หลักการตัดตัวเลือก (Ma & de la Torre, 2016) นอกจากนี้ ขณะทำแบบสอบสร้างคำตอบนักเรียนจะต้องมีการระลึก (recall) ความรู้ ขณะที่นักเรียนที่ทำแบบสอบเลือกตอบเป็นเพียงการจำได้ (recognition) โดยการระลึกมีการใช้ความคิดมากกว่าการจำได้ (Arieli-Attali & Liu, 2016) ส่วนการใช้แบบสอบหลายระดับในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอาจมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากระดับความมั่นใจทางวิชาการ (academic self-confidence) ที่แตกต่างกันตามภูมิหลังของนักเรียนแต่ละคน (Laird, 2015)

การสร้างแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนควรคำนึงถึงกระบวนการคิดของนักเรียนที่ใช้ในการทำแบบสอบเพื่อรวบรวมสารสนเทศที่มีความละเอียดสำหรับเป็นข้อมูลย้อนกลับให้นักเรียนในการพัฒนาการเรียนรู้ของตนเองซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (cognitively diagnostic assessment; CDA) ซึ่งเป็นการประเมินที่เกิดจากการรวมแนวคิดจิตวิทยาการรู้คิด (cognitive psychology) เข้ากับโมเดลทางจิตมิติ (psychometric modeling) การระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนนั้นได้มาจากการพิจารณาทฤษฎีพุทธิปัญญา หรือทฤษฎีทางจิตวิทยาเพื่อนำมาสร้างเมทริกซ์คิวสำหรับเป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบเพื่อวัดคุณลักษณะที่มุ่งวัดและวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบโดยใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (cognitive diagnostic model; CDM) โดยการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาให้ความสำคัญกับการประเมินเพื่อการพัฒนา (formative assessment) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเกี่ยวกับจุดอ่อน

และจุดแข็งสำหรับการปรับปรุง และพัฒนาการเรียนรู้ของตนเองมากกว่าการจัดตำแหน่งหรือการสอบแข่งขัน (Javidanmehr & Sarab, 2017; Nichols, 1994; Rupp & Templin, 2008b)

นอกจากการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาสามารถให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเป็นรายบุคคลเกี่ยวกับจุดอ่อน และจุดแข็งของนักเรียนในคุณลักษณะที่มุ่งวัดแล้วยังให้ข้อมูลแก่ครูสำหรับการวางแผนการจัดการเรียนรู้ และประเมินประสิทธิภาพของวิธีการจัดการเรียนรู้ (Henson, 2009; Hung & Huang, 2019; Jang, 2008) จึงทำให้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน (Ma & de la Torre, 2019)

โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา คือ โมเดลตัวแปรแฝงพุทธิเชิงยืนยันที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ที่มีตัวแปรสังเกตได้หรือผลการตอบข้อสอบ และตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรจัดกลุ่ม โดยที่ตัวแปรแฝงซึ่งเป็นตัวแปรทำนายรวมกันแบบทดแทนได้ หรือทดแทนไม่ได้เพื่อสร้างกลุ่มแฝง อีกทั้งยังสามารถแปลผลโดยใช้เกณฑ์หลายระดับ และมีเป้าหมายในการให้ข้อมูลย้อนกลับจากการวินิจฉัยที่มีความละเอียด (Rupp & Templin, 2008b) โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาสามารถใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบแบบตรวจให้คะแนน 2 ค่า (dichotomous CDM) และผลการตอบข้อสอบที่มีการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า (polytomous CDM) ทั้งนี้ การตรวจให้คะแนนสำหรับแบบสอบสร้างคำตอบส่วนใหญ่มีการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า โดยโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาสำหรับการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า มีหลายโมเดล แต่โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ (sequential process model) สามารถใช้โมเดล G-DINA (generalized deterministic inputs, noisy and gate model) เป็นฟังก์ชันประมวลผลข้อมูล ซึ่งโมเดล G-DINA เป็นกรอบโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (family of cognitive diagnosis models) โดยครอบคลุมโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาโมเดลอื่นๆ ที่นิยมใช้ (Ma & de la Torre, 2016) อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบที่สร้างขึ้นสำหรับวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Ma et al., 2020) ผู้วิจัยจึงเลือกโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบ

โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับที่มีโมเดล G-DINA เป็นฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลโดยใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบที่สร้างขึ้นสำหรับวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรียกว่าโมเดล sequential bug-G-DINA ซึ่งเป็นกรอบโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา โดยสามารถบังคับค่าพารามิเตอร์ในโมเดลให้กลายเป็นโมเดล sequential bug-DINA และ sequential bug-DINO

ซึ่งมีหลักการรวมคุณลักษณะ (condensation rule) ที่ก่อให้เกิดผลการตอบข้อสอบที่ต่างกัน โดยโมเดล sequential bug-DINA และ sequential bug-DINO มีหลักการรวมคุณลักษณะแบบเชื่อมโยง (conjunctive condensation rule) และแบบไม่เชื่อมโยง (disjunctive condensation rule) ตามลำดับ ผู้วิจัยจึงเปรียบเทียบความสอดคล้องของแต่ละโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์เพื่อพิจารณาว่าโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สอดคล้องกับหลักการรวมคุณลักษณะประเภทใด ทั้งนี้ โมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนน่าจะสอดคล้องกับหลักการรวมคุณลักษณะแบบไม่เชื่อมโยง (Kuo et al., 2016) กล่าวคือ ผู้สอบที่ไม่มีโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มุ่งวัดโดยข้อสอบข้อนั้นจะตอบข้อสอบถูกต้อง แต่ผู้สอบที่มีโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่มุ่งวัดโดยข้อสอบข้อนั้นจะตอบข้อสอบผิด

โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบในแต่ละรายการคำตอบในรูปของฟังก์ชันการประมวลผลข้อมูล เขียนแทนด้วย $S_j(h|\alpha_c)$ ซึ่งแสดงความน่าจะเป็นของผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะ α_c จะตอบข้อสอบที่ j สำหรับรายการคำตอบ h ได้ถูกต้อง เมื่อผู้สอบได้ตอบข้อสอบที่ j รายการคำตอบ $h-1$ ได้ถูกต้องมาเรียบร้อยแล้ว โดยโมเดล sequential bug-G-DINA ให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละรายการคำตอบในข้อสอบแต่ละข้อ ดังนี้ (1) พารามิเตอร์จุดตัดแกน (Φ_{jh0}) แสดงถึงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j สำหรับผู้สอบที่ไม่มีโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่ใช้ในการตอบข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h (2) พารามิเตอร์อิทธิพลหลักของคุณลักษณะที่ k สำหรับรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j (Φ_{jhk}) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j เมื่อผู้สอบมีโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ k (3) พารามิเตอร์อิทธิพลปฏิสัมพันธ์สองทางระหว่างคุณลักษณะที่ k และ k' สำหรับรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j ($\Phi_{jhkk'}$) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j เมื่อผู้สอบมีโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ k และ k' และ (4) พารามิเตอร์อิทธิพลปฏิสัมพันธ์ K_{jh}^* ทาง ระหว่างคุณลักษณะที่ k ถึงคุณลักษณะที่ K_{jh}^* สำหรับรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j ($\Phi_{j12..K_{jh}^*}$) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j เมื่อผู้สอบมีโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ k ถึง K_{jh}^* ทั้งนี้ โมเดล sequential bug-G-DINA จะแบ่งผู้สอบที่ตอบข้อสอบแต่ละข้อในแต่ละรายการคำตอบออกเป็น $2^{K_{jh}^*}$ กลุ่ม เมื่อ K_{jh}^* คือ

คุณลักษณะที่ใช้ในการตอบข้อสอบที่ j สำหรับรายการคำตอบ h ซึ่งเป็นการผ่อนคลายข้อตกลงเบื้องต้นของโมเดลย่อย (sub model) โดยถือว่าผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะแตกต่างกัน จะมีความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบถูกต้องแตกต่างกัน

โมเดล sequential bug-DINA จะแบ่งผู้สอบที่ตอบข้อสอบแต่ละข้อในแต่ละรายการคำตอบออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยรายการคำตอบของข้อสอบข้อนั้น และผู้สอบที่ไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่มุ่งวัดโดยรายการคำตอบของข้อสอบข้อนั้น โมเดลให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละรายการคำตอบในข้อสอบแต่ละข้อ ดังนี้ (1) พารามิเตอร์ความสะเพร่า (s_{jh}) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h จะตอบข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h ผิด และ (2) พารามิเตอร์การเดา (g_{jh}) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h ทุกคุณลักษณะ จะตอบข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h ถูกต้อง

โมเดล sequential bug-DINO จะแบ่งผู้สอบที่ตอบข้อสอบแต่ละข้อในแต่ละรายการคำตอบออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่มุ่งวัดโดยรายการคำตอบของข้อสอบข้อนั้น และผู้สอบที่ไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยรายการคำตอบของข้อสอบข้อนั้น โมเดลให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละรายการคำตอบในข้อสอบแต่ละข้อ ดังนี้ (1) พารามิเตอร์ความสะเพร่า (s_{jh}) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h จะตอบข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h ผิด และ (2) พารามิเตอร์การเดา (g_{jh}) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h อย่างน้อย 1 คุณลักษณะ จะตอบข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h ถูกต้อง

จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาในการสร้างแบบสอบ วินิจัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่จะให้สารสนเทศที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง เนื่องจากการสร้างแบบสอบโดยเข้าใจกระบวนการคิดของนักเรียนจึงสามารถให้ข้อมูลย้อนกลับในการปรับปรุงการเรียนรู้ได้อย่างละเอียด อย่างไรก็ตาม การใช้แบบสอบซ้ำหลายครั้งจะเกิดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบ (item exposure; Gierl et al., 2008) จึงต้องมีคลังข้อสอบขนาดใหญ่ เพื่อลดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบ รวมทั้งเพิ่มความปลอดภัยของระบบการทดสอบ และความยุติธรรม

ในการทดสอบ นอกจากนี้ การสร้างแบบสอบโดยใช้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา มีการกำหนดคุณลักษณะที่มีความละเอียดซึ่งมีคุณลักษณะที่มุ่งวัดจำนวนมากเพื่อให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนอย่างละเอียด จึงจำเป็นต้องใช้ข้อสอบจำนวนมากในการวัดคุณลักษณะ ทั้งนี้ กระบวนการสร้างข้อสอบแบบประเพณีนิยมไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้ข้อสอบจำนวนมากได้ เนื่องจากใช้เวลาในการสร้างมากตั้งแต่การเขียนข้อสอบ การทบทวนข้อสอบ การแก้ไขข้อสอบ การทดลองใช้ข้อสอบ และการตรวจคุณภาพของข้อสอบ อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายสูงในการสร้าง วิธีการหนึ่งที่จะช่วยตอบสนองต่อความต้องการใช้ข้อสอบจำนวนมาก คือ การสร้างข้อสอบอัตโนมัติ (automatic item generation; Embretson & Yang, 2007; Gierl & Lai, 2013)

การสร้างข้อสอบอัตโนมัติเป็นกระบวนการที่ประยุกต์ทฤษฎีพุทธิปัญญาและความรู้ทางจิตมิติเพื่อใช้โมเดลข้อสอบ (item model) ในการสร้างข้อสอบโดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ช่วยดำเนินการรวมส่วนประกอบย่อยที่กำหนดไว้ในโมเดลข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทำให้ได้ข้อสอบจำนวนมากและมีความหมายในเวลาอันรวดเร็ว โดยสามารถสร้างข้อสอบได้ทันทีหลังจากสร้างโมเดลข้อสอบเสร็จ (Bejar et al., 2002; Gierl & Lai, 2016; Gierl et al., 2008) ส่วนโมเดลข้อสอบนั้นเป็นต้นแบบที่ระบุถึงลักษณะของข้อสอบซึ่งใช้ในการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบที่มีความสมมูลกัน โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ คำถาม ตัวเลือก และข้อมูลเพิ่มเติม ภายในคำถาม และตัวเลือกสามารถแบ่งออกเป็น ส่วนประกอบย่อยที่อาจจะเป็นตัวอักษร หรือตัวเลข ซึ่งเป็นตัวแปรในโมเดลข้อสอบที่ใช้ในการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบใหม่ได้จำนวนมาก (Gierl & Lai, 2013; Sinharay & Johnson, 2008)

กระบวนการสร้างข้อสอบอัตโนมัติแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) กำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบ โดยแบ่งเป็น 2 แนวทาง คือ การจัดกระทำกับส่วนประกอบในข้อสอบตั้งต้นเพื่อสร้างข้อสอบใหม่โดยอาศัยแนวทางการออกแบบ และประสบการณ์ของผู้สร้างโมเดลข้อสอบ และการใช้โมเดลพุทธิปัญญา (cognitive model) สำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติเป็นกรอบในการสร้างโมเดลข้อสอบ (2) สร้างโมเดลข้อสอบโดยใช้ข้อมูลจากขั้นกำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบ จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินเนื้อหาและตรรกะที่ระบุในโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโครงสร้างของโมเดลข้อสอบ และ (3) สร้างข้อสอบและประเมินความคล้ายของข้อสอบ เป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างข้อสอบโดยใช้โมเดลข้อสอบ จากนั้นจึงประเมินความคล้ายของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบเดียวกันโดยใช้ดัชนี CSI (cosine similarity index; Gierl & Lai, 2013, 2016)

การสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีความคุ้มค่าในการสร้างข้อสอบเนื่องจากสามารถสร้างข้อสอบได้จำนวนมากจากโมเดลข้อสอบ ทำให้ต้นทุนในการสร้างข้อสอบต่อข้อต่ำกว่าการสร้างข้อสอบทีละข้อ จึงสามารถสร้างคลังข้อสอบที่มีคุณภาพสูงได้อย่างรวดเร็ว และช่วยลดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบเนื่องจากมีคลังข้อสอบขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังช่วยลดภาระผู้สร้างข้อสอบ ลดกระบวนการทบทวนข้อสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และลดการทดลองใช้ข้อสอบ (Gierl & Lai, 2016; Gierl et al., 2008; Graf et al., 2005; Sinharay & Johnson, 2013)

จากความจำเป็นในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สำหรับนำสารสนเทศไปใช้ในการออกแบบวิธีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเพื่อช่วยเหลือนักเรียนให้สามารถบรรลุเป้าหมายในการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ เนื่องจากนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่จะเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ และก่อให้เกิดความล้มเหลวในการเรียนรู้ เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่มีผู้พัฒนาไว้แบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่ แบบสอบหลายตัวเลือก แบบสอบสองระดับ แบบสอบสามระดับ และแบบสอบสี่ระดับ (Gurel et al., 2015; Soeharto et al., 2019) แต่เครื่องมือเหล่านี้มีข้อจำกัดในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ได้แก่ ปัญหาการขึ้นคำตอบ นักเรียนใช้หลักการตัดตัวเลือกในการตอบข้อสอบจึงทำให้นักเรียนไม่ได้ใช้วิธีการแก้ปัญหาอย่างที่ควรจะเป็น (Ma & de la Torre, 2016) อีกทั้ง การใช้แบบสอบหลายระดับในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอาจจะมีผลจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากระดับความมั่นใจทางวิชาการที่แตกต่างกันตามภูมิหลังของนักเรียนแต่ละคน (Laird, 2015) นอกจากนี้ เครื่องมือเหล่านี้สร้างขึ้นบนพื้นฐานของทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม และทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบซึ่งไม่ได้ให้ความสำคัญกับกระบวนการคิดของนักเรียนที่ใช้ในการทำแบบสอบ ถึงแม้ว่าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Nichols, 1994; Rupp & Templin, 2008) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยประยุกต์ใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาซึ่งให้ความสำคัญกับกระบวนการคิดของนักเรียนที่ใช้ในการทำแบบสอบ ทั้งนี้ หากพัฒนาแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เพียงฉบับเดียว เมื่อนำแบบสอบวินิจฉัยไปทดสอบกับนักเรียนซ้ำหลายครั้งจะทำให้เกิดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบ จึงต้องมีคลังข้อสอบขนาดใหญ่เพื่อลดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบ และเพิ่มความปลอดภัยของระบบการทดสอบ จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่อง

แรงและกฎการเคลื่อนที่โดยประยุกต์ใช้การประเมินเชิงวิจักษ์ทางพุทธิปัญญาเพื่อให้มีข้อสอบที่มีคุณภาพจำนวนมากไว้ใช้ทดสอบกับนักเรียน ซึ่งสามารถสร้างข้อสอบได้อย่างรวดเร็ว และยังช่วยลดภาระผู้สร้างข้อสอบ ผลการวิจัยนี้จะให้สารสนเทศสำหรับครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์และนักวิชาการในการใช้โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และเมทริกซ์คิวสำหรับการสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ อีกทั้ง ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์และนักวิชาการสามารถนำระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และแบบสอบวินิจัยซึ่งสร้างมาจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติไปวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนสำหรับเป็นข้อมูลในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ และการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียน

คำถามการวิจัย

1. โมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยการใช้การประเมินเชิงวิจักษ์ทางพุทธิปัญญามีคุณภาพด้านเนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ อย่างไร อีกทั้ง สารสนเทศที่ใช้เป็นแนวทางในการสร้างโมเดลข้อสอบ ได้แก่ โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ เมทริกซ์คิว และโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติที่มีคุณภาพมีลักษณะอย่างไร
2. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์มีคุณภาพด้านการใช้ประโยชน์ ความเป็นไปได้ ความเหมาะสม และความถูกต้อง อย่างไร และแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่สร้างมาจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์มีคุณภาพรายข้อ และคุณภาพทั้งฉบับ อย่างไร อีกทั้ง ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยดัชนี CSI ต่ำที่สุด และโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยดัชนี CSI สูงที่สุด มีค่าพารามิเตอร์ข้อสอบแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
3. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะมากน้อยเพียงใด และนักเรียนที่มีเพศและเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันมีสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

1.1 เพื่อสร้างโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ซึ่งแสดงโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะที่มุ่งวัด และตรวจสอบความตรงของโมเดลโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียง พร้อมทั้งสร้างเมทริกซ์คิวซึ่งเป็นตารางที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะกับข้อสอบ และตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยผู้เชี่ยวชาญ วิธีการคิดออกเสียง และการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น (stepwise Q-matrix validation method)

1.2 เพื่อสร้างและตรวจสอบคุณภาพของโมเดลข้อสอบ และโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติซึ่งเป็นแผนภาพที่ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะที่มุ่งวัด และลักษณะของเนื้อหาที่ใช้ในการสร้างโมเดลข้อสอบ โดยพิจารณา 3 ประเด็น ได้แก่ เนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ

2. เพื่อพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

2.1 เพื่อพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยพิจารณา 4 ประเด็น ได้แก่ การใช้ประโยชน์ ความเป็นไปได้ ความเหมาะสม และความถูกต้อง

2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ซึ่งสร้างมาจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA, sequential bug-DINA และ sequential bug-DINO ซึ่งพิจารณาจากดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมบูรณ์ ได้แก่ M_2 statistic, $RMSEA_2$ และ $SRMSR$ และดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมพัทธ์ ได้แก่ $-2LL$, AIC และ BIC พร้อมทั้งเปรียบเทียบความสอดคล้องของแต่ละโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์โดยใช้ likelihood ratio test

2.3 เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ได้แก่ คุณภาพรายข้อ โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ และคุณภาพทั้งฉบับ โดยพิจารณาจากดัชนีความเที่ยงของการจำแนก ดัชนีความตรงของการจำแนก ความตรงเชิงโครงสร้าง และความตรงตามสภาพ

2.4 เพื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยดัชนี CSI ต่ำที่สุด และโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยดัชนี CSI สูงที่สุด

3. เพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนที่มีเพศและเรียนในระดับชั้นที่ต่างกัน

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ซึ่งแบ่งเป็น 6 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบที่ดำเนินการในรูปแบบฐานข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบออนไลน์ โดยมีเมนูการใช้งานสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ โมเดลข้อสอบ การสร้างข้อสอบ และการสร้างแบบสอบ ซึ่งแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การใช้งานสำหรับผู้ใช้ และการใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ โดยผู้ใช้งานจะต้องลงทะเบียนเพื่อขออนุญาตเข้าใช้งานระบบจากผู้ดูแลระบบ จากนั้นจึงจะสามารถเข้าถึงเมนูการใช้งานทั้ง 3 ส่วน ส่วนผู้ดูแลระบบมีหน้าที่หลักในการจัดการข้อมูลผู้ใช้ โดยอนุญาตให้ผู้ใช้งานเข้าใช้งานระบบ การระงับการใช้งานของผู้ใช้ และการลบข้อมูลผู้ใช้ และสามารถเข้าถึงเมนูการใช้งานทั้ง 3 เมนู เหมือนกับผู้ใช้งาน

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สามารถเข้าถึงผ่านเบราว์เซอร์ (browser) ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge และ Safari อีกทั้ง ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติยังสามารถปรับการแสดงผลให้เหมาะสมกับหน้าจอของอุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ และแท็บเล็ต (tablet)

พารามิเตอร์ข้อสอบของแบบสอบวินิจฉัยที่สร้างมาจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ประมาณค่าโดยใช้โมเดล

กระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ (sequential process model) ซึ่งใช้โมเดล bug-G-DINA, bug-DINA และ bug-DINO เป็นฟังก์ชันประมวลผลข้อมูล (processing function) เนื่องจากแต่ละโมเดลมีหลักการรวมคุณลักษณะ (condensation rule) ที่ต่างกัน โดยโมเดล bug-G-DINA เป็นกรอบโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (family of cognitive diagnosis models) หรือโมเดลไม่บังคับ (unconstrained or saturated model) ส่วนโมเดล bug-DINA มีหลักการรวมคุณลักษณะแบบเชื่อมโยง (conjunctive condensation rule) และโมเดล bug-DINO มีหลักการรวมคุณลักษณะแบบไม่เชื่อมโยง (disjunctive condensation rule) เพื่อพิจารณาว่าโน้ตที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สอดคล้องกับหลักการรวมคุณลักษณะประเภทใด โดยเรียกโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับที่มีฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลทั้ง 3 ฟังก์ชัน ว่า โมเดล sequential bug-G-DINA, sequential bug-DINA และ sequential bug-DINO ตามลำดับ ทั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้โมเดลที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากที่สุด ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบโดยพิจารณาจากดัชนีความสอดคล้องของโมเดล

โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบในแต่ละรายการคำตอบในรูปของฟังก์ชันการประมวลผลข้อมูลเขียนแทนด้วย $s_j(h|\alpha_c)$ ซึ่งแสดงความเป็นของผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะ α_c จะตอบข้อสอบที่ j สำหรับรายการคำตอบ h ได้ถูกต้อง เมื่อผู้สอบได้ตอบข้อสอบที่ j รายการคำตอบ $h-1$ ได้ถูกต้องมาเรียบร้อยแล้ว นอกจากนี้ ยังให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละรายการคำตอบซึ่งแตกต่างกันตามโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาที่ใช้เป็นฟังก์ชันประมวลผลข้อมูล

โมเดล sequential bug-G-DINA ให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละรายการคำตอบในข้อสอบแต่ละข้อ ดังนี้ (1) พารามิเตอร์จุดตัดแกน (Φ_{jh0}) (2) พารามิเตอร์อิทธิพลหลัก (Φ_{jhk}) (3) พารามิเตอร์อิทธิพลปฏิสัมพันธ์สองทาง ($\Phi_{jhkk'}$) และ (4) พารามิเตอร์อิทธิพลปฏิสัมพันธ์หลายทาง ($\Phi_{j12...Kjh}^*$) ส่วนโมเดล sequential bug-DINA และโมเดล sequential bug-DINO ให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละรายการคำตอบในข้อสอบแต่ละข้อ จำนวน 2 ค่า ได้แก่ พารามิเตอร์ความสะเพร่า (s_{jh}) และพารามิเตอร์การเดา (g_{jh}) โดยทั้ง 2 พารามิเตอร์ มีความหมายแตกต่างกันในโมเดล sequential bug-DINA และโมเดล sequential bug-DINO

คุณภาพของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่พิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ ดัชนีความเที่ยงของการจำแนก ดัชนีความตรงของการจำแนก ความตรงเชิงโครงสร้าง และความตรงตามสภาพซึ่งพิจารณาจากความสอดคล้องระหว่างผลการวินิจฉัยโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับกับวิธีการคิดออกเสียงโดยใช้ Cohen's kappa

ประชากรวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนมัธยมศึกษาสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 และเขต 2 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน จำนวน 107,911 คน โดยแบ่งเป็นเพศชาย จำนวน 48,006 คน และเพศหญิง จำนวน 59,905 คน จาก 119 โรงเรียน

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ หมายถึง ความไม่สอดคล้องระหว่างความคิดของนักเรียนกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ด้านกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยวัดจากแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบสอบสร้างคำตอบ

การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา หมายถึง วิธีการในการระบุกระบวนการคิดของนักเรียนซึ่งสร้างมาจากทฤษฎีเชิงพุทธิปัญญาหรือทฤษฎีทางจิตวิทยา และวิเคราะห์ผลการตอบของนักเรียนโดยใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาเพื่อให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเป็นรายบุคคลเกี่ยวกับจุดอ่อน และจุดแข็งของนักเรียนสำหรับการปรับปรุงและพัฒนาการเรียนรู้ของตนเอง พร้อมทั้งให้สารสนเทศแก่ครูในการออกแบบการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา หมายถึง โมเดลตัวแปรแฝงพหุมิติเชิงยืนยันที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ที่มีตัวแปรสังเกตได้หรือผลการตอบข้อสอบ และตัวแปรแฝงเป็นตัวแปรจัดกลุ่มซึ่งวิเคราะห์ได้ทั้งผลการตอบข้อสอบที่มีการตรวจให้คะแนน 2 ค่า และผลการตอบข้อสอบที่มีการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า โดยมีเป้าหมายในการแบ่งกลุ่มนักเรียนจากผลการตอบข้อสอบซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม เช่น รอบรู้ และไม่รอบรู้ หรือมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และไม่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน อีกทั้งยังสามารถแบ่งได้มากกว่า 2 กลุ่ม เช่น ไม่รอบรู้ รอบรู้บางส่วน และรอบรู้สมบูรณ์ การวิจัยนี้วิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ ซึ่งเป็นโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาแบบตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า ที่ใช้ใน

การวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบที่มีการตรวจให้คะแนนแบบลำดับขั้น โดยคำนวณความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะตอบข้อสอบในแต่ละรายการคำตอบถูกต้องในรูปของฟังก์ชันประมวลผลข้อมูล (processing function) ซึ่งแทนด้วยฟังก์ชันการตอบสนองข้อสอบของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่มีการตรวจให้คะแนน 2 ค่า โดยในการวิจัยนี้ ใช้โมเดล bug-G-DINA, bug-DINA และ bug-DINO เป็นฟังก์ชันประมวลผลข้อมูล จึงเรียกโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับที่มีฟังก์ชันการประมวลผลข้อมูลทั้ง 3 ฟังก์ชัน ว่า โมเดล sequential bug-G-DINA, sequential bug-DINA และ sequential bug-DINO ตามลำดับ

คุณลักษณะ หมายถึง ตัวแปรแฝงที่ต้องการวัด นั่นคือ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่มุ่งวัด โดยแบ่งเป็น 2 ค่า ได้แก่ 1 คือ มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และ 0 คือ ไม่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

โปรไฟล์คุณลักษณะ หมายถึง กลุ่มของค่าคุณลักษณะของนักเรียน หรือกลุ่มแฝงของนักเรียน ซึ่งในแต่ละโปรไฟล์คุณลักษณะประกอบด้วยตัวเลข 1 และ 0 เท่ากับจำนวนคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่มุ่งวัด โดย 1 คือ มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และ 0 คือ ไม่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ หมายถึง โครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ซึ่งแสดงถึงกระบวนการคิดที่นักเรียนใช้ในการตอบข้อสอบ โดยมีลักษณะ 4 ประการ ได้แก่ (1) โมเดลประกอบด้วยคุณลักษณะที่มีการระบุอย่างละเอียดและมีความเฉพาะเจาะจง (2) คุณลักษณะในโมเดลสามารถวัดค่าได้ (3) คุณลักษณะสอดคล้องกับการเรียนการสอนและความหมาย และ (4) โมเดลสะท้อนถึงลำดับขั้นคุณลักษณะ

เมทริกซ์คิว หมายถึง ตารางที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะกับข้อสอบ โดยให้ข้อสอบอยู่ในแนวแถว ส่วนคุณลักษณะอยู่ในแนวหลัก ตารางประกอบด้วยตัวเลข 1 และ 0 นั่นคือ หากข้อสอบวัดคุณลักษณะใด แทนด้วย 1 แต่ถ้าหากไม่ได้วัดคุณลักษณะใดแทนด้วย 0

โมเดลข้อสอบ หมายถึง ต้นแบบที่ระบุถึงลักษณะของข้อสอบซึ่งใช้ในการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบสำหรับการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ซึ่งเป็นข้อสอบสร้างคำตอบ โดยมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ คำถาม เฉลย และรูปภาพ โดยภายในคำถามและเฉลยแบ่งออกเป็น ส่วนประกอบย่อยซึ่งมีทั้งตัวอักษรและตัวเลขสำหรับการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบ

โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ หมายถึง แผนภาพที่ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่นักเรียนใช้ในการตอบ

คำถาม และลักษณะของเนื้อหาที่ใช้สำหรับเป็นแนวทางในการสร้างโมเดลข้อสอบ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) คุณลักษณะที่มุ่งวัด (2) แหล่งข้อมูล และ (3) ลักษณะที่สำคัญของแหล่งข้อมูล

คุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติและโมเดลข้อสอบ หมายถึง ความถูกต้อง และความเหมาะสมในการกำหนดส่วนประกอบต่างๆ ในโมเดล วัดโดยใช้แบบประเมินโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติและโมเดลข้อสอบ มีเกณฑ์การให้คะแนน 4 ระดับ โดยมีประเด็นในการประเมิน 3 ประเด็น ได้แก่ (1) เนื้อหา คือ รายละเอียดในโมเดลเหมาะกับการวัดคุณลักษณะที่มุ่งวัด (2) ความสมเหตุสมผล คือ การรวมเนื้อหาในโมเดลทำให้เกิดการแสดงความรู้และทักษะที่ต้องการวัดได้อย่างถูกต้อง และ (3) การนำเสนอ คือ ความถูกต้องด้านหลักภาษาและไวยากรณ์ของข้อสอบที่จะสร้างขึ้น

การสร้างข้อสอบอัตโนมัติ หมายถึง กระบวนการที่ประยุกต์ทฤษฎีพุทธิปัญญาและความรู้ทางจิตมิติเพื่อใช้โมเดลข้อสอบในการสร้างข้อสอบโดยใช้ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ซึ่งช่วยดำเนินการรวมส่วนประกอบย่อยที่กำหนดไว้ในโมเดลข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทำให้ได้ข้อสอบจำนวนมากและความหมายในเวลาอันรวดเร็ว โดยสามารถสร้างข้อสอบได้ทันทีหลังจากสร้างโมเดลข้อสอบเสร็จ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) กำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบ (2) สร้างโมเดลข้อสอบ และ (3) สร้างข้อสอบและประเมินความคล้ายของข้อสอบ

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ หมายถึง ชุดขององค์ประกอบในการสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า ได้แก่ โมเดลข้อสอบ และเมนูการใช้งาน 3 ส่วน ได้แก่ โมเดลข้อสอบ การสร้างข้อสอบ และการสร้างแบบสอบ เพื่อนำไปสู่กระบวนการสร้างข้อสอบผ่านฐานข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบออนไลน์ซึ่งดำเนินการรวมส่วนประกอบย่อยที่กำหนดไว้ในโมเดลข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยสามารถดำเนินการได้ทันทีหลังจากสร้างโมเดลข้อสอบเสร็จ ทำให้ได้ข้อสอบจำนวนมากและความหมายในเวลาอันรวดเร็ว ทั้งนี้ สามารถปรับค่าส่วนประกอบย่อยในโมเดลข้อสอบให้มีค่าตามที่ต้องการ ซึ่งสามารถสร้างข้อสอบจากโมเดลข้อสอบได้ 2 แนวทาง ได้แก่ (1) ใช้โมเดลข้อสอบทั้งหมดในการสร้างข้อสอบ และ (2) เลือกโมเดลข้อสอบที่ต้องการมาใช้ในการสร้างข้อสอบ อีกทั้งยังสามารถจัดชุดแบบสอบวินิจฉัยสำหรับนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ ซึ่งอยู่ในรูปแบบไฟล์ Word และรูปแบบไฟล์ PDF ระบบแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ส่วน

ได้แก่ การใช้งานสำหรับผู้ซึ่งเข้าใช้งานเพื่อสร้างข้อสอบ และจัดชุดแบบสอบวินิจฉัยสำหรับนำไปใช้งาน และการใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบซึ่งทำหน้าที่จัดการข้อมูลผู้ใช้โดยอนุญาตให้ผู้ใช้เข้าใช้งานระบบ การระงับการใช้งานของผู้ใช้ และการลบข้อมูลผู้ใช้

คุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ หมายถึง คุณลักษณะของระบบที่เป็นมาตรฐานวัดโดยใช้แบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติซึ่งมีลักษณะเป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับ โดยมีประเด็นในการประเมิน 4 ประเด็น ได้แก่ (1) การใช้ประโยชน์ คือ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้งานของผู้ใช้ (2) ความเป็นไปได้ คือ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์จริง สะดวกต่อการใช้งาน และมีความคุ้มค่าในการใช้งาน (3) ความเหมาะสม คือ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีความสอดคล้องกับขั้นตอนการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และไม่ส่งผลเสียต่อผู้เกี่ยวข้อง และ (4) ความถูกต้อง คือ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสามารถสร้างข้อสอบที่มีความถูกต้อง และมีความหมาย

แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ หมายถึง แบบสอบสร้างคำตอบที่สร้างตามแนวคิดการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาเพื่อใช้ในการระบุสถานะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียน โดยสร้างจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ มีจำนวน 2 ฉบับ ได้แก่ แบบสอบวินิจฉัยฉบับที่ 1 ประกอบด้วยข้อสอบ จำนวน 18 ข้อ ตามเมทริกซ์คิว แบ่งเป็น 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก และแบบสอบวินิจฉัยฉบับที่ 2 มีจำนวน 30 ข้อ ประกอบด้วยข้อสอบที่สร้างจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด จำนวน 15 ข้อ และโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI สูงที่สุด จำนวน 15 ข้อ

คุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ หมายถึง ความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของคะแนนที่ได้จากแบบสอบวินิจฉัย โดยพิจารณาจาก (1) ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ (2) ดัชนีความเที่ยงของการจำแนก แสดงถึงความคงเส้นคงวาในการจำแนกมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของแบบสอบวินิจฉัย (3) ดัชนีความตรงของการจำแนก แสดงถึงความถูกต้องในการจำแนกมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของแบบสอบวินิจฉัย (4) ความตรงเชิงโครงสร้าง แสดงถึงความสามารถของแบบสอบวินิจฉัยในการวัดได้ตรงตามโครงสร้าง

ของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และ (5) ความตรงตามสภาพแสดงถึงความสอดคล้องระหว่างผลการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่จากโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาและวิธีการคิดออกเสียง

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เป็นแนวทางสำหรับครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์และนักวิชาการในการใช้โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และเมทริกซ์คิวสำหรับการสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
2. ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์และนักวิชาการนำระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ไปใช้สร้างข้อสอบเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียน เนื่องจากภายในระบบมีโมเดลข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นให้ครูผู้สอนและนักวิชาการได้ใช้ในการสร้างข้อสอบจำนวนมากจากโมเดลข้อสอบดังกล่าว พร้อมทั้งสามารถจัดชุดแบบสอบสำหรับนำไปใช้ทดสอบกับนักเรียน หรือใช้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถปรับค่าส่วนประกอบย่อยในโมเดลข้อสอบให้มีค่าตามที่ต้องการได้
3. ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์และนักวิชาการนำแบบสอบวินิจัยซึ่งสร้างมาจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ไปวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนสำหรับเป็นข้อมูลในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ และการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียน
4. ให้สารสนเทศแก่ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ในการออกแบบวิธีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ให้สอดคล้องกับปัจจัยภูมิหลังของนักเรียน ได้แก่ เพศ และระดับชั้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งแบ่งการนำเสนอเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

- 1.1 ความหมายของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
- 1.2 ประเภทของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
- 1.3 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
- 1.4 ปัจจัยภูมิหลังที่ส่งผลต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
- 1.5 สาเหตุของการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
- 1.6 ผลเสียของการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
- 1.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
- 1.8 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

ตอนที่ 2 การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

- 2.1 ความหมายของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา
- 2.2 ความเป็นมาของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา
- 2.3 มโนทัศน์พื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา
- 2.4 โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา
- 2.5 โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ
- 2.6 การออกแบบการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา
- 2.7 ประโยชน์ของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา
- 2.8 ข้อจำกัดของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

ตอนที่ 3 การสร้างข้อสอบอัตโนมิติ

3.1 ความหมายของการสร้างข้อสอบอัตโนมิติ

3.2 โมเดลข้อสอบ

3.3 ขั้นตอนการสร้างข้อสอบอัตโนมิติ

3.4 ข้อดีของการสร้างข้อสอบอัตโนมิติ

ตอนที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

โดยแต่ละตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

1.1 ความหมายของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (misconception) มีคำที่ใช้ในความหมายเดียวกัน จำนวน 16 คำ ได้แก่ misconception, preconception, alternative conception, alternative framework, children's scientific intuition, children's science, children's believe, children's idea, common sense concept, naïve belief, spontaneous knowledge, personal reality model, intuitive theory, conceptual difficulty, phenomenological primitive และ mental model แต่คำว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (misconception) มีการใช้มากที่สุด (Atasoy et al., 2011; Azman et al., 2013; Eryilmaz, 2002; Gurel et al., 2015) โดยมีนักวิชาการให้ความหมายของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนสอดคล้องกัน คือ ความคิด ความเชื่อ และความเข้าใจที่ขัดแย้งกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (กมลวรรณ ตังชนกานนท์, 2561; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556; Azman et al., 2013; Bayraktar, 2009; Eryilmaz, 2002; Kaniawati et al., 2019; Narjaikaew, 2013) โดย Azman et al. (2013) และ Bayraktar (2009) ให้ความเห็นเพิ่มเติมว่า ความคิดที่ขัดแย้งกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์นั้นเป็นความคิดที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ธรรมชาติ อีกทั้งยังอาจเป็นแนวคิดเกี่ยวกับสิ่งของหรือสถานการณ์ที่เกิดขึ้นกับนักเรียน (กมลวรรณ ตังชนกานนท์, 2561) อย่างไรก็ตาม ศิริเดช สุชีวะ (2538) ให้ความหมายของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแตกต่างออกไป คือ วิธีการแก้ปัญหาด้วยความรู้ ความเข้าใจที่ไม่สมบูรณ์หรือคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงที่ได้รับการยอมรับในทางวิทยาศาสตร์หรือการยอมรับในสังคมนั้นๆ

สรุปได้ว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน หมายถึง ความคิด ความเชื่อ ความเข้าใจ หรือวิธีการแก้ปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นรอบตัวซึ่งขัดแย้งกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

1.2 ประเภทของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

National Research Council ได้แบ่งมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ไว้ 5 ประเภท ดังนี้ (National Research Council, 1997; Yasri, 2014)

1) **ความคิดที่ยึดมั่น (preconceived notions)** เป็นความคิดที่มีพื้นฐานมาจากประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน เช่น นักเรียนบางคนมีความเชื่อว่าน้ำใต้ดินมีการไหลเป็นสายน้ำเนื่องจากเห็นน้ำบนผิวโลกไหลเป็นสายน้ำ โดยความคิดที่ยึดมั่นส่งผลต่อมุมมองของนักเรียนเกี่ยวกับความร้อน พลังงาน และแรงโน้มถ่วง

2) **ความเชื่อที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ (nonscientific beliefs)** เป็นความเชื่อที่นักเรียนเรียนรู้มาจากแหล่งอื่นนอกเหนือจากการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ เช่น นักเรียนเรียนรู้เกี่ยวกับการกำเนิดโลกและสิ่งมีชีวิตผ่านทางศาสนาซึ่งมีความเชื่อที่ขัดแย้งกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

3) **ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับแนวคิด (conceptual misunderstandings)** เป็นความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ซึ่งไม่ถูกต้องตามคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เกิดขึ้นเมื่อนักเรียนได้รับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ไม่ได้รับการกระตุ้นให้เผชิญกับความขัดแย้งที่เป็นผลมาจากความคิดที่ยึดมั่นและความเชื่อที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เช่น นักเรียนเข้าใจว่าภายในภาชนะที่ปิดสนิทจะแบ่งเป็น 2 บริเวณ ได้แก่ บริเวณที่มีอากาศ และบริเวณว่างเปล่า หลังจากถ่ายอากาศออกจากภาชนะครึ่งหนึ่งของเดิม

4) **มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับข้อเท็จจริง (factual misconceptions)** เป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับข้อเท็จจริงที่ไม่ถูกต้องในวัยเด็กและยังคงอยู่จนกระทั่งเติบโตเป็นผู้ใหญ่ เช่น บางคนมีความเชื่อว่าฟ้าผ่าจะไม่เกิดซ้ำ 2 ครั้ง ในบริเวณเดียวกันซึ่งฝังอยู่ในความเชื่อของบุคคลนั้นอย่างยาวนาน

5) **มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับภาษา (vernacular misconceptions)** เป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการใช้คำที่มีความหมายแตกต่างกันระหว่างการใช้ในชีวิตประจำวันกับการใช้ในบริบทของวิทยาศาสตร์ เช่น งาน กล่าวคือ งานในความหมายของบุคคลทั่วไป หมายถึง การประกอบ

อาชีพ หรือการกระทำภารกิจต่างๆ ในชีวิตประจำวัน แต่งานทางฟิสิกส์ หมายถึง ผลของการออกแรงกระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุเคลื่อนที่ตามแนวแรง

1.3 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

มโนทัศน์ทางกลศาสตร์เป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนฟิสิกส์ โดยมีมโนทัศน์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เป็นหัวใจสำคัญของการเรียนรู้ทางกลศาสตร์ และยังเป็นพื้นฐานสำหรับมโนทัศน์อื่นที่มีความซับซ้อนมากขึ้น หากนักเรียนยังมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่จะทำให้การเรียนรู้ทางกลศาสตร์ไม่มีความหมาย จะเห็นได้ว่ามโนทัศน์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเรียนฟิสิกส์ จากการศึกษาเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ให้ผลการศึกษาที่สอดคล้องกัน อีกทั้งนักเรียนแต่ละประเทศมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่คล้ายคลึงกัน จึงกล่าวได้ว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีลักษณะที่เป็นสากล และจากการสังเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่พบว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน จำนวน 25 ประเด็น ดังนี้ (Alonzo & Steedle, 2009; Atasoy et al., 2011; Bayraktar, 2009; Eryilmaz, 2002; Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992; Liu & Fang, 2016; Martin-Blas et al., 2010; Narjaikaew, 2013; Poutot & Blandin, 2015; Tomara et al., 2017)

- 1) วัตถุจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแรงที่มีขนาดมากกว่า
- 2) วัตถุจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศของแรงกระทำล่าสุด
- 3) วัตถุเก็บสะสมแรงกระทำในรูปของแรงผลักดัน (impetus) ซึ่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้หลังหยุดออกแรงกระทำ
- 4) วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่องเพราะมีแรงผลักดัน (impetus) กระทำต่อวัตถุ
- 5) เส้นทางเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กัลักษณะของแรงผลักดันของวัตถุ
- 6) วัตถุที่อยู่นิ่งจะไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุ
- 7) วัตถุจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อหยุดออกแรงกระทำ
- 8) ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ จะมีแรงกระทำต่อวัตถุ
- 9) เมื่อมีแรงมากกระทำจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่
- 10) วัตถุที่เคลื่อนที่จะมีแรงกระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ

11) แรงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็ว นั่นคือ วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จะมีแรงลัพธ์คงที่กระทำต่อวัตถุ

12) วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ

13) แรงเป็นผลมาจากสิ่งมีชีวิตและวัตถุที่เคลื่อนที่

14) จะมีแรงกระทำต่อวัตถุเมื่อมีบางสิ่งมาสัมผัสกับวัตถุนั้น

15) แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุขึ้นเดียวกัน

16) วัตถุที่มีมวลมากกว่า หรือขนาดใหญ่กว่า หรือเคลื่อนที่เร็วกว่าจะออกแรงกระทำมากกว่า

17) สิ่งกีดขวางทำให้วัตถุเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือหยุดการเคลื่อนที่ แต่ไม่สามารถออกแรงกระทำได้

18) มีแรงเสียดทานกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่

19) แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอ

20) แรงเสียดทานสถิตจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่

21) แรงเสียดทานสถิตมีค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตคูณกับแรงแนวฉาก (normal force)

22) วัตถุที่มีมวลมากมีความเร่งมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย หรือวัตถุที่มีมวลมากตกเร็วกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย

23) มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุวางอยู่บนพื้นโลกเท่านั้น

24) แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าคงที่ทุกตำแหน่ง

25) วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อแรงผลักดันหายไป หรือมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งเท่านั้น

1.4 ปัจจัยภูมิหลังที่ส่งผลต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ปัจจัยภูมิหลังของนักเรียนที่ส่งผลต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มี 2 ประการ ได้แก่ (1) เพศ งานวิจัยส่วนหนึ่งพบว่า นักเรียนเพศหญิงมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สูงกว่านักเรียนเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Bates et al., 2013;

Eryilmaz, 2002) ในขณะทำงานวิจัยบางส่วนพบว่า นักเรียนเพศหญิงและเพศชายมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Azman et al., 2013; Bayraktar, 2009; Mohammad et al., 2020) และ (2) ระดับการศึกษา งานวิจัยส่วนหนึ่งพบว่า นักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นต่างกันมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยนักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นที่สูงกว่ามีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่น้อยกว่านักเรียนในระดับชั้นต่ำกว่า หรือกล่าวได้ว่าเมื่อนักเรียนมีอายุเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่จะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนลดลง (Bayraktar, 2009; Demirci, 2003) ในขณะทำงานวิจัยบางส่วนพบว่า นักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นต่างกันมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ นักเรียนแต่ละระดับชั้นมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่คล้ายคลึงกัน (Basso, 2009; Eryilmaz, 2002)

1.5 สาเหตุของการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีสาเหตุมาจากผู้ทรงคุณวุฒิ หนังสือเรียน ภาษาและสัญลักษณ์ และวุฒิภาวะและพัฒนาการทางด้านสติปัญญา ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (กมลวรรณ ตังธณกานนท์, 2561; เลิศบุษยา ไทยเจริญ, 2558; สุรเดช อนันตสวัสดิ์, 2560)

1) **ผู้ทรงคุณวุฒิ** ผู้ทรงคุณวุฒิก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) ความเชื่อตามผู้ทรงคุณวุฒิในอดีต เนื่องจากในอดีตมีข้อจำกัดเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในการหาข้อเท็จจริงจึงทำให้ได้ข้อสรุปที่ไม่ถูกต้อง ส่งผลให้เกิดความเชื่อที่ผิดส่งต่อมาสู่คนรุ่นหลังและไม่ได้รับการแก้ไขให้มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง ทั้งนี้ ยังรวมถึงความเชื่อที่เกี่ยวข้องกับประเพณีวัฒนธรรมที่ยึดถือปฏิบัติตามกันจนคิดว่าเป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้องซึ่งก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนประเภทความเชื่อที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ และ (2) ความเชื่อตามครูผู้สอน โดยครูบางคนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องที่ตนสอนจึงส่งต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้นให้นักเรียน นักเรียนจึงมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องดังกล่าวโดยไม่รู้ตัว

2) **หนังสือเรียน** หนังสือเรียนบางเล่มให้รายละเอียดไม่ชัดเจน หรืออาจจะมีเนื้อหาที่ไม่ถูกต้องจึงทำให้นักเรียนตีความเนื้อหาผิด และเข้าใจเนื้อหาในเรื่องนั้นผิดจากความเป็นจริง

3) **ภาษาและสัญลักษณ์** เกิดจากภาษาและสัญลักษณ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันกับใช้ในบริบทของวิทยาศาสตร์มีความหมายที่แตกต่างกัน จึงทำให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องดังกล่าว ซึ่งจัดเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับภาษา

4) **วุฒิภาวะและพัฒนาการทางด้านสติปัญญา** มโนทัศน์บางเรื่องมีความซับซ้อนหรือเป็นนามธรรม หากนักเรียนมีวุฒิภาวะหรือพัฒนาการทางด้านสติปัญญาไม่เพียงพอจะทำให้นักเรียนเข้าใจมโนทัศน์ได้เพียงบางส่วน หรืออาจจะเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

1.6 ผลเสียของการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

หากนักเรียนเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจะส่งผลเสียต่อนักเรียน 5 ประการ ดังนี้ (เลิศบุษยา ไทยเจริญ, 2558; สุรเดช อนันตสวัสดิ์, 2560; Gurel et al., 2015)

- 1) เป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้มโนทัศน์ที่สูงขึ้นซึ่งต้องใช้มโนทัศน์ที่นักเรียนมีความคลาดเคลื่อนเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้
- 2) ไม่เกิดความเชื่อมโยงระหว่างความรู้เก่าและความรู้ใหม่จึงทำให้เกิดความล้มเหลวในการเรียนรู้
- 3) เกิดการขยายมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น
- 4) นำมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน นั่นคือ ประยุกต์ใช้ความรู้ที่ไม่ถูกต้อง
- 5) หมดกำลังใจในการเรียน

1.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาวิทยาศาสตร์มากที่สุด คือ แบบสัมภาษณ์ รองลงมาเป็นแบบสอบปลายเปิด (open-ended test) แบบสอบหลายตัวเลือก และแบบสอบหลายระดับ (multiple-tier test) ตามลำดับ ส่วนเครื่องมือประเภทอื่นมีการใช้ค่อนข้างน้อย เช่น แผนผังมโนทัศน์ (concept map) ความสัมพันธ์ของคำ (word association) การวาดภาพ และการเขียนเรียงความ ทั้งนี้ ในปัจจุบันมีการใช้การสัมภาษณ์น้อยลง แต่มีการใช้แบบสอบหลายระดับเพิ่มขึ้น โดยเครื่องมือหลักที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาวิทยาศาสตร์แต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้ (Gurel et al., 2015; Soeharto et al., 2019)

1.7.1 แบบสัมภาษณ์

แบบสัมภาษณ์ใช้ประกอบการสัมภาษณ์ซึ่งเป็นวิธีการสำคัญในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากให้ข้อมูลเชิงลึกและมีความละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างความคิดของนักเรียน การสัมภาษณ์มักใช้ร่วมกับวิธีการอื่น เช่น การทดสอบโดยใช้แบบสอบหลายตัวเลือก เป้าหมายในการสัมภาษณ์นั้นไม่ได้ต้องการคำตอบของข้อสอบ แต่ต้องการทราบความคิดของนักเรียนเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่มุ่งวัด โดยการใช้แบบสัมภาษณ์มีข้อดี และข้อด้อย ดังนี้

ข้อดี

- (1) ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับโครงสร้างความคิดของนักเรียน
- (2) มีความยืดหยุ่นในการตั้งคำถาม

ข้อด้อย

- (1) ใช้เวลานานในการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล
- (2) วิเคราะห์ข้อมูลยากและเป็นอัตนัย
- (3) ต้องใช้ตัวอย่างวิจัยจำนวนมากจึงจะสามารถสรุปอ้างอิงได้
- (4) ผู้สัมภาษณ์ต้องได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี
- (5) ผู้ให้สัมภาษณ์ไม่มีความสนใจในการตอบหากไม่เชื่อใจในผู้สัมภาษณ์

1.7.2 แบบสอบปลายเปิด

แบบสอบปลายเปิดมุ่งให้นักเรียนแสดงคำตอบของตนเองอย่างอิสระ ทำให้สามารถเข้าใจความคิดของนักเรียนเป็นอย่างดี และยังให้เวลานักเรียนในการคิดและเขียนคำตอบด้วยตนเอง โดยแบบสอบปลายเปิดมีข้อดี และข้อด้อย ดังนี้

ข้อดี

- (1) ให้โอกาสนักเรียนในการเขียนคำตอบด้วยภาษาของตนเอง
- (2) นักเรียนอาจจะให้คำตอบที่มีคุณค่าและแปลกใหม่ที่นักวิจัยไม่ได้คาดคิดไว้ก่อน

ข้อด้อย

- (1) ใช้เวลานานในการวิเคราะห์คำตอบ
- (2) การตรวจคำตอบมีความเป็นอัตนัย
- (3) มีความยากลำบากในการตีความคำตอบของนักเรียนในกรณีที่นักเรียนมีปัญหา

ด้านการเขียน

1.7.3 แบบสอบหลายตัวเลือก

แบบสอบหลายตัวเลือกใช้เพื่อลดปัญหาความยากลำบากในการสัมภาษณ์และการทดสอบ โดยใช้แบบสอบปลายเปิด สามารถตรวจให้คะแนนได้อย่างรวดเร็วและทดสอบกับนักเรียนจำนวนมากได้ รวมทั้งแบบสอบมีความตรงและความเที่ยงสูง ทั้งนี้แบบสอบหลายตัวเลือกมักสร้างตัวลวงมาจากโมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนที่ได้จากการสังเกตนักเรียนในห้องเรียน การสัมภาษณ์ และการใช้แบบสอบปลายเปิด จึงเรียกแบบสอบหลายตัวเลือกแบบนี้ว่า แบบวัดมโนทัศน์ (concept inventory) หรือการประเมินที่ขับเคลื่อนโดยตัวลวง (distractor-driven assessment) (Bradshaw & Templin, 2014; Gurel et al., 2015) โดยแบบสอบหลายตัวเลือกมีข้อดี และข้อด้อย ดังนี้

ข้อดี

- (1) สามารถวัดเนื้อหาที่ครอบคลุมในเวลาจำกัด
- (2) สามารถวัดการเรียนรู้ได้หลายระดับ
- (3) มีการให้คะแนนที่รวดเร็วและมีความเป็นปรนัย
- (4) เหมาะสำหรับนักเรียนที่มีปัญหาเรื่องลายมือ
- (5) ทดสอบกับนักเรียนจำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว

ข้อด้อย

- (1) ปัญหาเรื่องการเดาคำตอบ
- (2) ไม่เข้าใจความคิดของนักเรียนอย่างลึกซึ้ง
- (3) นักเรียนถูกบังคับให้เลือกคำตอบที่กำหนดให้ ทำให้ไม่สามารถแสดงคำตอบของตนเองได้

- (4) สร้างข้อสอบหลายตัวเลือกที่มีคุณภาพได้ยาก

1.7.4 แบบสอบหลายระดับ

แบบสอบหลายระดับ แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แบบสอบสองระดับ (two-tier multiple-choice test) แบบสอบสามระดับ (three-tier multiple-choice test) และแบบสอบสี่ระดับ (four-tier multiple-choice test) แต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1.7.4.1 แบบสอบสองระดับ

แบบสอบสองระดับพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการไม่ทราบเหตุผลสำหรับคำตอบในแบบสอบหลายตัวเลือก โดยแบบสอบสองระดับ ประกอบด้วย ระดับที่ 1 เป็นตัวเลือกสำหรับคำตอบ

ของข้อสอบ และระดับที่ 2 เป็นตัวเลือกสำหรับเหตุผลของคำตอบในระดับที่ 1 นักเรียนจะต้องตอบข้อสอบในระดับที่ 1 และ 2 ถูกต้อง จึงจะถือว่านักเรียนตอบข้อสอบข้อนั้นถูกต้อง โดยมีเกณฑ์ในการแปลความหมายผลการตอบข้อสอบดังตาราง 2.1 (Kaniawati et al., 2019) ทั้งนี้ แบบสอบสองระดับมีข้อดี และข้อด้อย ดังนี้

ข้อดี

- (1) มีข้อดีเหมือนกับแบบสอบหลายตัวเลือกทั้ง 5 ข้อ
- (2) พิจารณาข้อผิดพลาดในการตอบคำถามของนักเรียน ได้แก่ นักเรียนที่ไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนตอบข้อสอบไม่ถูกต้อง (false positive) และนักเรียนที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนตอบข้อสอบถูกต้อง (false negative)

ข้อด้อย

- (1) เหตุผลในระดับที่ 2 ชี้นำคำตอบในระดับที่ 1
- (2) ไม่สามารถแยกนักเรียนที่ขาดความรู้กับผู้ที่มีความผิดพลาดออกจากกันได้ และไม่สามารถแยกนักเรียนที่ไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนกับผู้ที่ได้คำตอบถูกต้อง

ตาราง 2.1

เกณฑ์ในการแปลความหมายผลการตอบข้อสอบสองระดับ

ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	การแปลความหมาย
ถูก	ผิด	มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
ผิด	ผิด	มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
ถูก	ถูก	มีความเข้าใจที่ถูกต้อง
ผิด	ถูก	ไม่มีความเข้าใจ

1.7.4.2 แบบสอบสามระดับ

แบบสอบสามระดับพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาที่แบบสอบสองระดับไม่สามารถจำแนกนักเรียนที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน มีความผิดพลาด และมีความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ได้ แบบสอบสามระดับมีองค์ประกอบเหมือนกับแบบสอบสองระดับแต่เพิ่มระดับที่ 3 ซึ่งเป็นระดับที่ให้นักเรียนระบุความมั่นใจในคำตอบทั้ง 2 ระดับแรก โดยนักเรียนจะต้องตอบข้อสอบในระดับที่ 1 และ 2 ถูกต้อง และมีความมั่นใจในคำตอบระดับสูง จึงจะถือว่านักเรียนตอบข้อสอบข้อนั้นถูกต้อง แบบสอบ

สามระดับอาจจะประมาณค่าสัดส่วนผู้ที่ไม่มีความรู้ต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากไม่ทราบความมั่นใจที่นักเรียนระบุว่าเป็นความมั่นใจในคำตอบระดับที่ 1 ระดับที่ 2 หรือทั้ง 2 ระดับ และประมาณค่าคะแนนของนักเรียนมากกว่าความเป็นจริง จึงมีผู้พัฒนาแบบสอบสี่ระดับขึ้น โดยมีเกณฑ์ในการแปลความหมายผลการตอบข้อสอบดังตาราง 2.2 (ธนบดี อินหาดกรวด, 2560) ทั้งนี้แบบสอบสามระดับมีข้อดี และข้อด้อย ดังนี้

ข้อดี

- (1) มีข้อดีเหมือนแบบสอบสองระดับ
- (2) ทราบว่าคำตอบใน 2 ระดับแรก เกิดจากมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน หรือข้อผิดพลาดที่เกิดจากการไม่มีความรู้

ข้อด้อย

- (1) เหตุผลในระดับที่ 2 ชี้นำคำตอบในระดับที่ 1
- (2) ประมาณค่าสัดส่วนผู้ที่ไม่มีความรู้ต่ำกว่าความเป็นจริง
- (3) ประมาณค่าคะแนนของนักเรียนมากกว่าความเป็นจริง

ตาราง 2.2

เกณฑ์ในการแปลความหมายผลการตอบข้อสอบสามระดับ

ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	การแปลความหมาย
ถูก	ถูก	มั่นใจ	มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้อง
ถูก	ผิด	มั่นใจ	มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (ผิดพลาดเชิงบวก)
ผิด	ถูก	มั่นใจ	มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (ผิดพลาดเชิงลบ)
ผิด	ผิด	มั่นใจ	มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
ถูก	ถูก	ไม่มั่นใจ	ตอบถูกเพราะเดา หรือขาดความมั่นใจ
ถูก	ผิด	ไม่มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ผิด	ถูก	ไม่มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ผิด	ผิด	ไม่มั่นใจ	ไม่มีความรู้

1.7.4.3 แบบสอบสี่ระดับ

แบบสอบสี่ระดับ ประกอบด้วย ระดับที่ 1 เป็นตัวเลือกสำหรับคำตอบของข้อสอบ ระดับที่ 2 เป็นการระบุความมั่นใจของคำตอบในระดับที่ 1 ระดับที่ 3 เป็นตัวเลือกสำหรับเหตุผลของคำตอบในระดับที่ 1 และระดับที่ 4 เป็นการระบุความมั่นใจของคำตอบในระดับที่ 3 โดยนักเรียนจะต้องตอบข้อสอบในระดับที่ 1 และ 3 ถูกต้อง และมีความมั่นใจในคำตอบทั้งในระดับที่ 2 และ 4 อยู่ในระดับสูง จึงจะถือว่านักเรียนตอบข้อสอบข้อนั้นถูกต้อง โดยมีเกณฑ์ในการแปลความหมายผลการตอบข้อสอบดังตาราง 2.3 (ธนบดี อินหาดกรวด, 2560) ทั้งนี้ แบบสอบสี่ระดับมีข้อดีและข้อด้อย ดังนี้

ข้อดี

- (1) มีข้อดีเหมือนแบบสอบสามระดับ
- (2) ประเมินมิติทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยเป็นอิสระจากความคลาดเคลื่อนและ

การไม่มีความรู้

ข้อด้อย

- (1) เหตุผลในระดับที่ 3 ชี้นำคำตอบในระดับที่ 1
- (2) ใช้เวลาในการทดสอบนานขึ้น
- (3) ไม่สามารถใช้ในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้

ตาราง 2.3

เกณฑ์ในการแปลความหมายผลการตอบข้อสอบสี่ระดับ

ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	การแปลความหมาย
ถูก	มั่นใจ	ถูก	มั่นใจ	มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้อง
ถูก	มั่นใจ	ถูก	ไม่มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ถูก	ไม่มั่นใจ	ถูก	มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ถูก	ไม่มั่นใจ	ถูก	ไม่มั่นใจ	ตอบถูกเพราะเดา หรือขาดความมั่นใจ
ถูก	มั่นใจ	ผิด	มั่นใจ	ผิดพลาดเชิงบวก หรืออาจมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
ถูก	มั่นใจ	ผิด	ไม่มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ถูก	ไม่มั่นใจ	ผิด	มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ถูก	ไม่มั่นใจ	ผิด	ไม่มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ผิด	มั่นใจ	ถูก	มั่นใจ	ผิดพลาดเชิงลบ หรืออาจมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
ผิด	มั่นใจ	ถูก	ไม่มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ผิด	ไม่มั่นใจ	ถูก	มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ผิด	ไม่มั่นใจ	ถูก	ไม่มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ผิด	มั่นใจ	ผิด	มั่นใจ	มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
ผิด	มั่นใจ	ผิด	ไม่มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ผิด	ไม่มั่นใจ	ผิด	มั่นใจ	ไม่มีความรู้
ผิด	ไม่มั่นใจ	ผิด	ไม่มั่นใจ	ไม่มีความรู้

1.7.5 การวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยใช้แบบสอบ

การวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยใช้แบบสอบ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การใช้แบบสอบสร้างคำตอบ (constructed response test) ได้แก่ แบบสอบปลายเปิด และการใช้แบบสอบเลือกตอบ (selected response test) ได้แก่ แบบสอบหลายตัวเลือก และแบบสอบหลายระดับ โดยการใช้แบบสอบสร้างคำตอบเหมาะสำหรับการวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากกว่าแบบสอบเลือกตอบ เนื่องจากนักเรียนสร้างคำตอบด้วยความคิดของตนเอง และให้สารสนเทศเชิงวินิจฉัยมากกว่าแบบสอบเลือกตอบ อีกทั้งยังพบว่า ขณะนักเรียนทำแบบสอบหลายตัวเลือก นักเรียนอาจจะไม่ได้ใช้วิธีการแก้ปัญหาอย่างที่ควรจะเป็น โดยนักเรียนพยายามใช้ประโยชน์จากตัวเลือกในการแก้ปัญหา หรือใช้หลักการตัดตัวเลือก ซึ่งอาจจะทำให้นักเรียนได้คำตอบที่ผิด อีกทั้งยังส่งเสริมให้นักเรียนประยุกต์ใช้วิธีการแก้ปัญหาที่ไม่เหมาะสม นอกจากนี้ ตัวเลือกในแบบสอบหลายตัวเลือกยังชี้นำความคิดของนักเรียน (Ma & de la Torre, 2016) นอกจากนี้ Arieli-Attali และ Liu (2016)

ยังให้ข้อสังเกตเกี่ยวกับการใช้แบบสอบถามสร้างคำตอบและแบบสอบถามเลือกตอบในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนดังรายละเอียดต่อไปนี้

แบบสอบถามสร้างคำตอบถูกใช้ในการวัดการคิดของนักเรียนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากนักเรียนจะต้องสร้างคำตอบด้วยตนเองซึ่งแสดงถึงความคิดของนักเรียนอย่างแท้จริง เมื่อเทียบกับแบบสอบถามเลือกตอบ ขณะที่แบบสอบถามสร้างคำตอบ นักเรียนจะต้องมีการระลึก (recall) ความรู้ ขณะที่นักเรียนที่ทำแบบสอบถามเลือกตอบเป็นเพียงการจำได้ (recognition) โดยความแตกต่างระหว่างการระลึก และการจำได้ คือ ระดับการใช้ความคิด (mental effort) ในการเรียกคืนสารสนเทศ โดยการระลึกมีการใช้ความคิดมากกว่าการจำได้ ดังนั้น การทำแบบสอบถามสร้างคำตอบจะใช้ความคิดมากกว่าการทำแบบสอบถามเลือกตอบทำให้เพิ่มคุณค่าในการวินิจฉัยนักเรียน

การใช้แบบสอบถามหลายระดับในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอาจจะวัดได้ไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริง เนื่องจากการให้นักเรียนระบุความมั่นใจในคำตอบอาจจะมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความมั่นใจทางวิชาการ (academic self-confidence) ของนักเรียนแต่ละคน โดยเพชชยา และคนฉิวหา มีความมั่นใจทางวิชาการมากกว่าเพชฌัญญและคนฉิวดำ (Laird, 2015) จะเห็นได้ว่าความมั่นใจทางวิชาการแตกต่างตามภูมิหลังของนักเรียน กล่าวคือ หากนักเรียนทำแบบสอบถามสามระดับ หรือสี่ระดับ โดยที่นักเรียนทราบคำตอบและเหตุผล แต่อาจจะไม่มีความมั่นใจในตนเอง จึงระบุความมั่นใจในคำตอบในระดับต่ำ นักเรียนจึงถูกจัดอยู่ในกลุ่มไม่มีความรู้ หรือตอบถูกเพราะเดา ทั้งที่นักเรียนมีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง อีกทั้งเกณฑ์ในการแปลผลการตอบแบบสอบถามหลายระดับ ยังไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของนักเรียนได้ นั่นคือ นักเรียนที่มีผลการตอบข้อสอบต่างกัน ถูกจัดไว้ในกลุ่มเดียวกัน สรุปได้ว่า การใช้แบบสอบถามสร้างคำตอบเหมาะสมในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากที่สุด ถึงแม้จะมีปัญหาเรื่องความเป็นอัตนัยในการตรวจให้คะแนน และใช้เวลานานในการตรวจให้คะแนน แต่ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันที่มีความก้าวหน้า เช่น การตรวจให้คะแนนอัตโนมัติ (automated scoring; Kuo et al., 2016)

1.7.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่มีนักวิชาการสร้างไว้แบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่ แบบสอบถามหลายตัวเลือก แบบสอบถามสองระดับ แบบสอบถามสามระดับ และแบบสอบถามสี่ระดับ โดยแต่ละประเภทมีชื่อและคุณภาพของเครื่องมือดังตาราง 2.4 (Gurel et al., 2015; Soeharto et al., 2019) ทั้งนี้ Force Concept Inventory (FCI) พัฒนาโดย Hestenes

และคณะ เมื่อปี ค.ศ.1992 มีการใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลก (Tomara et al., 2017) แต่อย่างไรก็ตาม Force Concept Inventory เป็นแบบสอบหลายตัวเลือกซึ่งมีข้อจำกัดดังรายละเอียดในหัวข้อ 1.7.5 การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยใช้แบบสอบ อีกทั้งมีการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแต่ละประเด็นโดยใช้ข้อสอบเพียงข้อเดียว ทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูงในการวัด (Briggs et al., 2006)

ตาราง 2.4

เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ผู้พัฒนา (ปี ค.ศ. ที่พัฒนา)	ประเภท เครื่องมือ	ชื่อเครื่องมือ	คุณภาพของเครื่องมือ
Hestenes และคณะ (1992)	หลายตัวเลือก	Force Concept Inventory (FCI)	ไม่รายงาน
Hestenes และ Wells (1992)	หลายตัวเลือก	Mechanic Baseline Test (MBT)	ความตรงตามสภาพ ($r = 0.68$)
Thornton และ Sokoloff (1998)	หลายตัวเลือก	Force & Motion Conceptual Evaluation (FMCE)	ไม่รายงาน
Ergin (2016)	หลายตัวเลือก	Force Motion Misconceptions Test	ความเที่ยงวิธีสัมประสิทธิ์ แอลฟาของครอนบาค เท่ากับ 0.69
Chang และคณะ (2007)	สองระดับ	Two-tier Physics Questionnaire (on mechanics, electricity and magnetism, heat, sound and wave, and optics)	ไม่รายงาน
Kaltakci และ Didis (2007)	สามระดับ	Gravity Concept Test	ความเที่ยง เท่ากับ 0.74
ปัทมาพร ณ น่าน และคณะ (2018)	สามระดับ	แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ ที่คลาดเคลื่อนแบบสามชั้น วิชาฟิสิกส์เรื่องแรงและกฎ การเคลื่อนที่	-ความตรงเชิงเนื้อหา (IOC = 1 ทุกข้อ) -ความยาก ($p = 0.20 - 0.80$) -อำนาจจำแนก ($r = 0.23 - 0.83$) -ความเที่ยงวิธีลิวตัน เท่ากับ 0.91 - 0.95

ตาราง 2.4 (ต่อ)

ผู้พัฒนา (ปี ค.ศ. ที่พัฒนา)	ประเภท เครื่องมือ	ชื่อเครื่องมือ	คุณภาพของเครื่องมือ
Fratiwi และคณะ (2019)	สามระดับ	Three tier-Force Concept Inventory (T-FCI)	-ความเที่ยงวิธีสัมประสิทธิ์ แอลฟาของครอนบาค เท่ากับ 0.82 -ความตรงตามสภาพ (PTMEA CORR = 0.37-0.71)
Fratiwi และคณะ (2019)	สี่ระดับ	Four tier-Force Concept Inventory (F-FCI)	ไม่รายงาน
Kaniawati และคณะ (2019)	สี่ระดับ	Four-Tier Newtonian Test (FTNT)	-ความตรงเชิงเนื้อหา (CVI = 0.75 - 1.00) -ความเที่ยงวิธี KR-20 เท่ากับ 0.59

1.8 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบ่งเป็น 4 วิธี ได้แก่ (1) การคิดคะแนนย่อย (subscore) (2) วิธีการย้อนรอยกระบวนการคิด (3) การวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ และ (4) การวิเคราะห์โดยใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (ศิริเดช สุชีวะ, 2538; Bradshaw & Templin, 2014; Ketterlin-Geller & Yovanoff, 2009)

1.8.1 การคิดคะแนนย่อย

การคิดคะแนนย่อยตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม คำนวณโดยการนับจำนวนตัวเลือกที่นักเรียนเลือกซึ่งเป็นตัวเลือกที่วัดมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแต่ละเรื่องโดยได้มาจากการวิเคราะห์คำตอบ (response analyses) รายชื่อของนักเรียน หากนักเรียนมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจะทำให้ให้นักเรียนตอบข้อสอบผิด และเลือกตัวเลือกที่แสดงถึงการมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องดังกล่าว การคิดคะแนนย่อยมีข้อจำกัด ดังนี้ เมื่อมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนถูกวัดโดยข้อสอบจำนวนน้อย การนับมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอาจไม่น่าเชื่อถือ จึงนำไปสู่การออกแบบการเรียนรู้ที่ผิด และการคิดคะแนนย่อยไม่ได้บอกโดยตรงว่านักเรียนมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดคะแนนจุดตัดเพื่อแบ่งกลุ่มนักเรียนที่มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องและมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

1.8.2 วิธีการย้อนรอยกระบวนการคิด

การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยใช้วิธีการย้อนรอยกระบวนการคิดจะวินิจฉัยแบบการคิดที่ผิดจากชุดคำตอบของนักเรียนโดยตรง หากนักเรียนสามารถทำข้อสอบที่ประกอบด้วยชุดของปัญหาได้ถูกต้องทุกข้อ แสดงว่านักเรียนใช้แบบการคิดที่ถูกต้อง ซึ่งไม่ต้องวินิจฉัยต่อ ส่วนนักเรียนที่ตอบถูกไม่หมดทุกข้อ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) นักเรียนมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องแต่ตอบผิดเพราะความสะเพร่า (2) นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน โดยคำตอบมาจากแบบการคิดที่ผิด ซึ่งอาจผิดบางข้อหรือตอบผิดทุกข้อ และ (3) นักเรียนไม่มีมโนทัศน์ในเนื้อหาที่มุ่งวัด ซึ่งคำตอบได้มาจากการเดาสุ่มหรือการใช้แบบการคิดที่ไม่แน่นอน นักเรียนทั้ง 3 กลุ่ม จะได้รับการวินิจฉัยว่ามีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ และมีมโนทัศน์ที่ไม่ถูกต้องตามรูปแบบการคิดใด

การย้อนรอยกระบวนการคิดเป็นการสืบย้อนไปถึงวิธีการคิดของนักเรียนซึ่งสังเกตจากร่องรอยของคำตอบ โดยเริ่มต้นจากการสำรวจและวิเคราะห์แบบการคิดที่ผิดที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเนื้อหานั้นแล้วสร้างข้อสอบให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม รวบรวมเป็นแบบสอบปลายเปิดชนิดเติมคำตอบ แล้วคำนวณหาคำตอบด้วยแบบการคิดที่ผิดทีละแบบ จากนั้นนำแบบสอบไปทดสอบกับนักเรียนที่จะวินิจฉัย หลังจากนั้น ดำเนินการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยการเปรียบเทียบชุดคำตอบของนักเรียนกับชุดคำตอบของแบบการคิดต่างๆ วิธีการย้อนรอยกระบวนการคิดมีข้อจำกัด ดังนี้ ไม่สามารถวิเคราะห์คุณภาพของข้อสอบที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และต้องพิจารณารูปแบบคำตอบของนักเรียนเป็นรายบุคคล อีกทั้งไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องใดบ้าง

1.8.3 การวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ

การใช้ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนพิจารณาจากโค้งลักษณะของตัวเลือก (option characteristic curves: OCC) ที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มุ่งวัดของข้อสอบรายข้อและของนักเรียนแต่ละคน วิธีการนี้มีข้อจำกัด ดังนี้ ขาดความมีประโยชน์ในการประเมินประสิทธิภาพของข้อสอบและแบบสอบที่ใช้ในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน หากพิจารณาโค้ง OCC สำหรับนักเรียนเป็นรายบุคคลและรายข้อเป็นงานที่หนัก และการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้จากการตอบข้อสอบรายบุคคลเป็นสิ่งที่ต้องพึงระวัง และที่สำคัญการพิจารณาโค้ง OCC ไม่สามารถรวมข้อมูลระหว่างข้อสอบเพื่อระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้

การคิดคะแนนย่อย วิธีการย้อนรอยกระบวนการคิด และการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบมีข้อจำกัดร่วมกัน ดังนี้ ไม่สามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นของการตอบข้อสอบเนื่องมาจากอิทธิพลของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน อีกทั้งยังให้ข้อมูลเชิงบรรยายเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แต่ไม่สามารถวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้โดยตรง และไม่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของข้อสอบที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Bradshaw & Templin, 2014) ในปัจจุบันได้มีผู้พัฒนาโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาสำหรับการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยสามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นของการตอบข้อสอบเนื่องมาจากอิทธิพลของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน อีกทั้งยังให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของข้อสอบที่ใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

1.8.4 การวิเคราะห์โดยใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

การใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นการนำผลการตอบข้อสอบซึ่งอาจจะมีการให้คะแนนแบบ 2 ค่า หรือมากกว่า 2 ค่า ไปประมาณค่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนแต่ละเรื่องเพื่อจัดกลุ่มนักเรียนออกเป็นผู้ที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และผู้ที่มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องซึ่งสามารถให้ข้อมูลย้อนกลับจากการวินิจฉัยอย่างละเอียด และยังให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบซึ่งใช้ในการประเมินคุณภาพของข้อสอบ รายละเอียดเกี่ยวกับโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา ผู้วิจัยจะนำเสนอในตอนที่ 2

ตอนที่ 2 การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

2.1 ความหมายของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (cognitively diagnostic assessment; CDA) เกิดจากการรวมแนวคิดระหว่างจิตวิทยาการรู้คิด (cognitive psychology) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทางความคิดของมนุษย์ และโมเดลทางจิตมิติ (psychometric modeling) ซึ่งใช้ในการวัดทักษะ ความรู้ ความสามารถ และเจตคติ เข้าด้วยกัน การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาให้ความสำคัญกับการประเมินเพื่อการพัฒนา (formative assessment) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเกี่ยวกับระดับความรู้ ความสามารถ หรือแนวทางในการพัฒนาความรู้ มากกว่าการจัดตำแหน่งหรือการสอบแข่งขัน (Javidanmehr & Sarab, 2017; Nichols, 1994;

Rupp & Templin, 2008b) ทั้งนี้มีนักวิชาการได้ให้ความหมายของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาไว้ดังนี้

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา คือ กระบวนการที่ใช้ในการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นที่ผู้สร้างแบบสอบใช้ในการสร้างแบบสอบและให้คะแนน โดยข้อตกลงเบื้องต้นเป็นสิ่งที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการและโครงสร้างความรู้ที่นักเรียนใช้ในการตอบคำถาม และตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีจิตวิทยาและสามารถตรวจสอบได้ (Nichols, 1994)

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา คือ กระบวนการวัดโครงสร้างความรู้ที่เฉพาะเจาะจงและทักษะกระบวนการของนักเรียนเพื่อให้สารสนเทศเกี่ยวกับจุดอ่อนและจุดแข็งของนักเรียน (Leighton & Gierl, 2007)

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา คือ กระบวนการที่เป็นระบบซึ่งมุ่งรวบรวมข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับคุณลักษณะทางจิตวิทยาของนักเรียนโดยใช้วิธีการที่หลากหลายเพื่อพิสูจน์ควบคุม และดำเนินการอย่างเหมาะสมที่สุดเกี่ยวกับการตัดสินใจและการนำผลการประเมินไปใช้ประโยชน์ (Kubinger, 2006 cited in Rupp et al., 2010)

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา คือ การประเมินกระบวนการทางความคิดของนักเรียนซึ่งสร้างมาจากทฤษฎีเชิงพุทธิปัญญา และการสร้างโมเดลรูปแบบผลการตอบข้อสอบเพื่อให้สารสนเทศในการออกแบบการเรียนรู้ (Ketterlin-Geller & Yovanoff, 2009)

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา คือ การระบุจุดแข็งและจุดอ่อนในการเรียนรู้ของนักเรียนเป็นรายบุคคลเพื่อให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเกี่ยวกับระดับความรู้หรือทักษะในปัจจุบัน และเพื่อประโยชน์ในการออกแบบการเรียนรู้สำหรับปรับปรุงจุดอ่อนของนักเรียน (Lee & Sawaki, 2009)

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา คือ วิธีการทางการศึกษาที่ให้ข้อมูลเชิงวินิจฉัยอย่างละเอียดเกี่ยวกับความรอบรู้ในคุณลักษณะต่างๆ ของนักเรียน (Aryadoust, 2011)

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา คือ การประเมินที่ให้สารสนเทศเชิงวินิจฉัยอย่างทันทั่วทั้งที่ใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาในการสกัดสารสนเทศมาจากการประเมิน (de la Torre & Minchen, 2014)

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา คือ รูปแบบการประเมินทางการศึกษาที่ใช้ในการวัดโครงสร้างความรู้ที่เฉพาะเจาะจง และกระบวนการแสดงทักษะของนักเรียนเพื่อให้สารสนเทศเกี่ยวกับจุดอ่อนและจุดแข็งในการเรียนรู้ของนักเรียน (Javidanmehr & Sarab, 2017)

จากการให้ความหมายของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาของนักวิชาการข้างต้นสรุปได้ว่า นักวิชาการให้ความหมายของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาที่สอดคล้องกัน คือวิธีการในการระบุกระบวนการทางความคิดหรือโครงสร้างความรู้ของนักเรียนซึ่งสร้างมาจากทฤษฎีเชิงพุทธิปัญญาเพื่อให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเป็นรายบุคคลเกี่ยวกับจุดอ่อนและจุดแข็งของนักเรียน พร้อมทั้งให้สารสนเทศในการออกแบบการเรียนรู้ ทั้งนี้ de la Torre และ Minchen (2014) ยังระบุเพิ่มเติมว่า ข้อมูลที่ได้จากการวินิจฉัยสามารถวิเคราะห์โดยใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา ดังนั้น การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา หมายถึง วิธีการในการระบุกระบวนการคิดของนักเรียนซึ่งสร้างมาจากทฤษฎีเชิงพุทธิปัญญาหรือทฤษฎีทางจิตวิทยา และวิเคราะห์ผลการตอบของนักเรียนโดยใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาเพื่อให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเป็นรายบุคคลเกี่ยวกับจุดอ่อน และจุดแข็งของนักเรียนสำหรับการปรับปรุง และพัฒนาการเรียนรู้ของตนเอง พร้อมทั้งให้สารสนเทศแก่ครูในการออกแบบการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

2.2 ความเป็นมาของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

แนวคิดเกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาเริ่มต้นจาก Embretson ตีพิมพ์บทความเรื่อง Construct validity: Construct representation versus nomothetic span ในปี ค.ศ.1983 (Huff & Goodman, 2007) ซึ่งเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการประยุกต์จิตวิทยาการรู้คิดกับความตรงเชิงโครงสร้าง นั่นคือ ความเป็นตัวแทนตัวแปรแฝง (construct representation) เกี่ยวข้องกับการระบุกลไกทางทฤษฎีที่อยู่เบื้องหลังการตอบคำถามของนักเรียน เช่น การประมวลผลข้อมูล กลยุทธ์ และการสั่งสมความรู้ บทความนี้เป็นบทความสำคัญในการพัฒนาจิตวิทยาการรู้คิดร่วมกับทฤษฎีการวัด ทำให้เกิดการตื่นตัวของนักวิชาการในการให้ความสำคัญกับการให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนมากกว่าการประมาณค่าระดับความสามารถของนักเรียนเพียงอย่างเดียว (Embretson, 1983)

ต่อมาในปี ค.ศ.1989 บทความของ Messick เรื่อง Validity รวมทั้งบทความของ Snow และ Lohman เรื่อง Implications of cognitive psychology for educational measurement ได้ตีพิมพ์ในหนังสือ Educational measurement ซึ่งเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการรวมความรู้ด้านจิตวิทยาการรู้คิดเข้ากับการวัดทางการศึกษา ทำให้กระตุ้นความสนใจของนักวิชาการในการศึกษาเกี่ยวกับประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา ทั้งนี้ Messick, Snow และ Lohman ไม่ได้ใช้คำว่า

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาโดยตรง (Javidanmehr & Sarab, 2017; Leighton & Gierl, 2007)

Messick (1989) เสนอว่าการรวบรวมหลักฐานความตรงเชิงโครงสร้างควรทำความเข้าใจกระบวนการทางความคิดของนักเรียนที่ใช้ในการตอบคำถามหรือแก้ปัญหาเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน ซึ่งการทำความเข้าใจกระบวนการทางความคิดของนักเรียนนั้นสามารถทำได้โดยประยุกต์ความรู้ด้านจิตวิทยาการรู้คิดซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดความเป็นตัวแทนตัวแปรแฝงของ Embretson (1983) ส่วน Snow และ Lohman (1989) เสนอว่าควรมีการประยุกต์แนวคิดจิตวิทยาการรู้คิดเข้ากับการวัดทางการศึกษาเพื่อพัฒนาการออกแบบและกระบวนการวัดทางการศึกษา นั่นคือ ทำให้เข้าใจโครงสร้างของตัวแปรแฝงที่อยู่เบื้องหลังแบบสอบถามมากขึ้น อีกทั้งยังเข้าใจกระบวนการทางความคิดของนักเรียน เข้าใจความแตกต่างของนักเรียนแต่ละคนมากขึ้น สามารถให้สารสนเทศเชิงวินิจฉัยที่เกี่ยวกับข้อบกพร่องในการเรียนรู้แก่นักเรียนและยังสามารถใช้ในการปรับเปลี่ยนการจัดการเรียนรู้ของครู กล่าวได้ว่าจิตวิทยาการรู้คิดให้หลักฐานความตรงเชิงโครงสร้างรูปแบบใหม่ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงแบบสอบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ ควรมีการรวมโมเดลทางจิตมิติเข้ากับโมเดลประมวลผลข้อมูลเพื่อให้สามารถเข้าใจกระบวนการทางความคิดของนักเรียนได้ดียิ่งขึ้น

หลังจากนั้นมีบทความและหนังสือเกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ บทความที่สำคัญอย่างยิ่งที่กระตุ้นนักวิชาการให้ตระหนักถึงการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญามากขึ้น คือ A framework for developing cognitively diagnostic assessments เขียนโดย Nichols ในปี ค.ศ.1994 อีกทั้ง Nichols ยังเป็นคนแรกที่ใช้คำว่า การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (cognitively diagnostic assessment; Javidanmehr & Sarab, 2017; Leighton & Gierl, 2007)

Nichols (1994) ชี้ให้เห็นว่าการประเมินแบบประเพณีนิยม (traditional assessment) เป็นการประเมินที่มุ่งเน้นการคัดเลือกหรือจัดลำดับนักเรียนซึ่งตั้งอยู่บนแนวคิดการวัดเชิงจิตมิติทางการศึกษา (educational psychometric measurement approach) นักทฤษฎีการทดสอบที่ยึดถือแนวคิดนี้มุ่งประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ นั่นคือ คะแนนจริงตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม และระดับความสามารถตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ ซึ่งเป็นการประเมินนักเรียนโดยใช้คะแนนเพียงค่าเดียว และให้ข้อมูลภาพรวมสำหรับการตัดสินใจเกี่ยวกับการเรียนการสอน อีกทั้งไม่ได้ระบุถึงข้อด้อยในการเรียนรู้เพื่อหาแนวทางในการช่วยเหลือนักเรียน

การออกแบบการสร้างข้อสอบสำหรับการประเมินแบบประเพณีนิยมตั้งอยู่บนพื้นฐานของระดับพฤติกรรมการเรียนรู้และลักษณะเฉพาะของเนื้อหาซึ่งขาดการพิจารณาโครงสร้างทางจิตวิทยา และกระบวนการที่อยู่เบื้องหลังการทำข้อสอบของนักเรียน คะแนนที่ได้จึงจำกัดเพียงแค่นี้อาหาแทนที่จะพิจารณาไกลทางความคิดของนักเรียน

การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาจึงเป็นแนวคิดสำคัญที่ใช้ในการช่วยเหลือนักเรียนเป็นรายบุคคล และทำให้นักเรียนมีโอกาสนในการประสบความสำเร็จทางการศึกษามากขึ้น โดยการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาจะศึกษาเกี่ยวกับจิตวิทยาการรู้คิดและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยรวมเข้ากับโมเดลทางสถิติสำหรับการสรุปอ้างอิงโครงสร้างและกระบวนการที่อยู่เบื้องหลังการทำข้อสอบของนักเรียน สารสนเทศที่ได้รับจะทำให้ครูทราบความต้องการของนักเรียน กลยุทธ์ที่นักเรียนใช้ในการแก้ปัญหา ความสัมพันธ์ที่นักเรียนรับรู้ระหว่างมนทัศน์ และหลักการที่นักเรียนเข้าใจ

หลังจากการตีพิมพ์บทความของ Nichols ในปี ค.ศ.1994 ก่อให้เกิดการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีผู้พัฒนาโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาจำนวนมากซึ่งมีแนวคิดและการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกัน

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาโมเดลแรก คือ rule space methodology (RSM) พัฒนาโดย Tatsuoka ในปี ค.ศ.1983 จนกระทั่ง ปี ค.ศ. 2007 มีโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาถูกพัฒนาขึ้นจำนวน 62 โมเดล สังเคราะห์โดย Fu และ Li เมื่อปี ค.ศ. 2007 แต่ Fu และ Li นิยามโมเดลกว้างเกินไป และยักรวมโมเดลทางจิตมิติที่มีตัวแปรแฝงเป็นตัวแปรต่อเนื่อง Rupp และ Templin (2008b) จึงนิยามโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาให้แคบลงและมีความละเอียดมากขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์ต่อนักปฏิบัติในการทำความเข้าใจโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา พร้อมทั้งเลือกใช้โมเดลที่เหมาะสมกับข้อมูล จากการสังเคราะห์ของ Rupp และ Templin พบว่า จนกระทั่งปี ค.ศ.2008 มีโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาถูกพัฒนาขึ้นจำนวน 17 โมเดล นอกจากนี้ จนกระทั่งปี ค.ศ.2019 มีโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาถูกพัฒนาขึ้นจำนวน 38 โมเดล โดยยึดนิยามโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาของ Rupp และ Templin (2008b) ซึ่งมีทั้งโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาแบบตรวจให้คะแนน 2 ค่า (dichotomous CDM) และโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาแบบตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า (polytomous CDM) ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.4.6 การจัดกลุ่มโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา นอกจากการสังเคราะห์เกี่ยวกับโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาของ Fu & Li (2007) และ Rupp & Templin (2008b) ยังมีการสังเคราะห์ของ DiBello et al. (2007) ซึ่งทั้ง 3 บทความ ได้สรุปองค์ความรู้

เกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา รวมทั้งโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาไว้เป็นอย่างดี ทำให้เกิดการต่อยอดองค์ความรู้จนกระทั่งปัจจุบัน

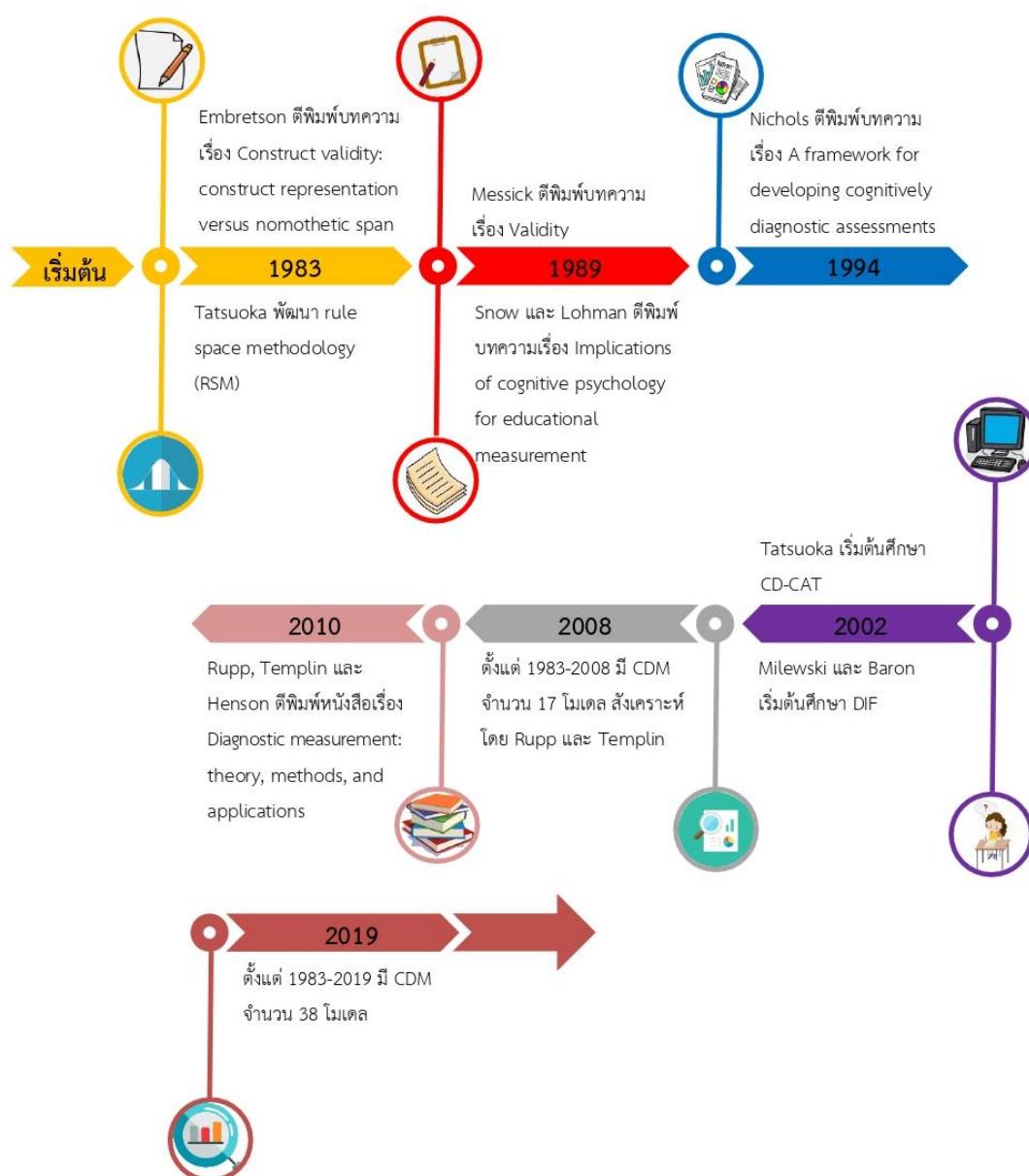
ในปี ค.ศ.2010 Rupp, Templin และ Henson ได้ตีพิมพ์หนังสือเรื่อง Diagnostic measurement: Theory, methods, and applications ถือได้ว่าเป็นหนังสือที่เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาที่มีความสมบูรณ์และครอบคลุมมากที่สุด และเป็นแนวทางให้นักวิชาการได้นำความรู้เกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาไปประยุกต์ใช้ และพัฒนาองค์ความรู้ให้มีความก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น

การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากสามารถให้ข้อมูลย้อนกลับเกี่ยวกับจุดอ่อนและจุดแข็งของนักเรียนเป็นรายบุคคลซึ่งเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงการเรียนรู้ของนักเรียน และช่วยในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ของครู ทำให้มีการพัฒนาโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาขึ้นจำนวนมาก พร้อมทั้งพัฒนากระบวนการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาในการทดสอบ เช่นเดียวกับโมเดลการตอบสนองข้อสอบ ได้แก่ การทดสอบแบบปรับเหมาะ และการทำหน้าที่ต่างกันของข้อสอบ

Tatsuoka เป็นผู้วางพื้นฐานแนวคิดของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (cognitive diagnosis computerized adaptive testing; CD-CAT) เมื่อปี ค.ศ.2002 ต่อมาในปี ค.ศ.2003 Xu, Chang และ Douglas ได้ขยายแนวคิดของ Tatsuoka จากนั้นจึงมีการพัฒนาการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Cheng, 2009)

การทำหน้าที่ต่างกันของข้อสอบ (differential item functioning: DIF) ในบริบทของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา คือ สถานการณ์ที่ผู้สอบซึ่งมีโปรไฟล์คุณลักษณะเหมือนกันมีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบได้ถูกต้องแตกต่างกันตามลักษณะอื่นๆ เช่น เพศ เชื้อชาติ ทำให้เกิดความลำเอียงในการแปลความหมาย (Hou et al., 2014; Svetina et al., 2018) Milewski และ Baron ได้เริ่มศึกษาการทำหน้าที่ต่างกันของข้อสอบในบริบทของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา ในปี ค.ศ.2002 โดยศึกษาวิธีการตรวจสอบการทำหน้าที่ต่างกันของข้อสอบที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โมเดล RSM ต่อมาได้มีผู้เสนอวิธีการตรวจสอบและศึกษาเกี่ยวกับการทำหน้าที่ต่างกันของข้อสอบโดยประยุกต์ใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาที่แตกต่างกัน

นอกจากการประยุกต์ใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาในการทดสอบแบบปรับเหมาะ และการทำหน้าที่ต่างกันของข้อสอบ ในปัจจุบัน ยังมีผู้พัฒนาโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลพหุระดับ ข้อมูลระยะยาว และข้อมูลจากการทดสอบที่เปิดโอกาสให้นักเรียนเปลี่ยนคำตอบ และมีการต่อยอดองค์ความรู้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นสาขาหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากนักวิชาการในปัจจุบัน โดยภาพ 2.1 แสดงเหตุการณ์สำคัญในการพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา



ภาพ 2.1 เหตุการณ์สำคัญในการพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

2.3 มโนทัศน์พื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

2.3.1 การระบุนายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะที่มุ่งวัด

ตัวแปรแฝงในบริบทของการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา มีการเรียกชื่อตามสิ่งที่ต้องการวัด ได้แก่ latent characteristics, latent traits, elements of process, skills, sub-skills และ attributes โดย attributes มีการใช้มากที่สุด ผู้วิจัยจึงใช้คำว่า คุณลักษณะ (attributes) แทนตัวแปรแฝงที่ต้องการวัด ซึ่งอาจแบ่งเป็น 2 ค่า เช่น รอบรู้ และไม่รอบรู้ หรือมากกว่า 2 ค่า เช่น ไม่รอบรู้ รอบรู้บางส่วน และรอบรู้สมบูรณ์ ทั้งนี้ ในการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาจะต้องมีการระบุนายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด โดยมีรายละเอียดที่ต้องระบุ ดังต่อไปนี้ (Rupp et al., 2010)

- 1) *ภาวะสันนิษฐาน (constructs)* คือ สิ่งที่เป็นเป้าหมายของการวัด
 - 2) *ความลึกของคุณลักษณะ (definitional grain size)* คือ ความลึกของการนิยามคุณลักษณะที่มุ่งวัดซึ่งขึ้นอยู่กับความลึกที่ต้องการวินิจัยนักเรียน โดยหากมีความลึกน้อยจะมีขอบเขตของคุณลักษณะที่กว้างมากกว่าความลึกที่มากกว่า แต่มีความละเอียดในการนิยามคุณลักษณะน้อยกว่า ซึ่งความลึกจะต้องสอดคล้องกับเป้าหมายในการประเมิน เช่น การวินิจัยการลบเศษส่วน มีความลึกของคุณลักษณะมากกว่าการแก้สมการเชิงเส้น
 - 3) *ชื่อคุณลักษณะ (attribute label)* คือ คำ หรือวลีที่ระบุถึงความหมายสำคัญของคุณลักษณะที่มุ่งวัด
 - 4) *คำนิยามของคุณลักษณะ (attribute definition)* คือ ข้อความที่อธิบายเกี่ยวกับลักษณะต่างๆ ของคุณลักษณะอย่างละเอียด
 - 5) *รหัสสำหรับคุณลักษณะ (coding instructions for the attribute)* คือ การระบุลักษณะของข้อสอบที่วัดคุณลักษณะนั้นๆ
 - 6) *โปรไฟล์คุณลักษณะ (attribute profile)* คือ กลุ่มของค่าตัวแปรแฝงต่างๆ ของนักเรียนหรือเป็นกลุ่มแฝงของนักเรียน กล่าวคือ หากวัดคุณลักษณะทั้งสิ้น A คุณลักษณะ โดยที่แต่ละคุณลักษณะแบ่งเป็น 2 ค่า จะได้ว่ามีโปรไฟล์คุณลักษณะที่เป็นไปได้ทั้งหมด 2^A โปรไฟล์
- ตัวอย่างการระบุนายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะที่มุ่งวัด แสดงดังภาพ 2.2 ซึ่งเป็นการระบุเกี่ยวกับภาวะสันนิษฐานเรื่องพีชคณิต จำนวน 1 คุณลักษณะ (Rupp et al., 2010)

ภาวะสันนิษฐาน : พิสูจน์

ชื่อคุณลักษณะ : ความหมายของสัญลักษณ์และแบบแผน

คำนิยามของคุณลักษณะ : นักเรียนจะต้องมีความรู้ความเข้าใจต่อไปนี้ เมื่อทำข้อสอบที่วัดความรู้เกี่ยวกับความหมายของสัญลักษณ์และแบบแผน

(a) การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงโดย $+$, $-$, \cdot , $/$, $=$, $|$, $<$, $>$, รากที่สอง, เอกซ์โพเนนเชียล และการแทนเครื่องหมายจำนวน

(b) การดำเนินการในรูปแบบ $2 \cdot n$, $2 \cdot (\text{term})$, $(\text{term})^2$ และ $n/2$

รหัสสำหรับคุณลักษณะ : การกำหนดรหัสให้แก่ข้อสอบที่วัดคุณลักษณะนี้ (1) หรือไม่ได้วัดคุณลักษณะนี้ (0) มีหลักการดังนี้

(1) ใช้ผลรวมของความรู้ข้อ (a) และ (b) กำหนดรหัสเป็น 1

(2) ไม่มีการกำหนดน้ำหนักที่ต่างกันให้กับความรู้ข้อ (a) และ (b) ที่ใช้ในการตอบข้อสอบได้ถูกต้อง และใช้ความรู้อย่างน้อย 1 ข้อ กำหนดรหัสเป็น 1

(3) หากมีวิธีการแก้ปัญหาหลายวิธี และเลือกเฉพาะวิธีการที่ใช้เฉพาะคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 1

ภาพ 2.2 ตัวอย่างการระบุรายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะที่มุ่งวัด

2.3.2 ลำดับชั้นคุณลักษณะ (attribute hierarchies)

ลำดับชั้นคุณลักษณะ คือ ความสัมพันธ์ของคุณลักษณะที่แสดงถึงการมีความรอบรู้ในคุณลักษณะหนึ่งจะต้องมีความรอบรู้ในคุณลักษณะอื่นมาก่อน โดยลำดับชั้นคุณลักษณะเป็นสิ่งที่กำหนดโปรไฟล์คุณลักษณะ แบ่งเป็น 5 ประเภท ดังนี้ (Gierl et al., 2007; Leighton et al., 2004; Tu et al., 2019)

1) ลำดับชั้นคุณลักษณะแบบเส้นตรง (linear attribute hierarchy) เป็นลำดับชั้นคุณลักษณะที่ทุกคุณลักษณะเรียงลำดับกันอยู่ในสายคุณลักษณะ (attribute chain) สายเดียว นั่นคือ นักเรียนที่มีความรอบรู้ในคุณลักษณะสุดท้ายจะต้องมีความรอบรู้ในคุณลักษณะก่อนหน้าทั้งหมด

2) ลำดับชั้นคุณลักษณะแบบลู่อเข้า (converging attribute hierarchy) เป็นลำดับชั้นคุณลักษณะที่ 1 คุณลักษณะ สามารถมีคุณลักษณะที่จำเป็นต้องรอบรู้มาก่อนมากกว่า 1 คุณลักษณะในสายคุณลักษณะสายเดียว นั่นคือ คุณลักษณะแม่ (parent attribute) หลายคุณลักษณะ ลู่อเข้าสู่คุณลักษณะลูกเดียวกัน (common child attribute) นั่นคือ นักเรียนที่รอบรู้ในคุณลักษณะส่วนล่าง

ของสายคุณลักษณะจะต้องมีความรอบรู้ในคุณลักษณะก่อนหน้าอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ หรือทุกคุณลักษณะ

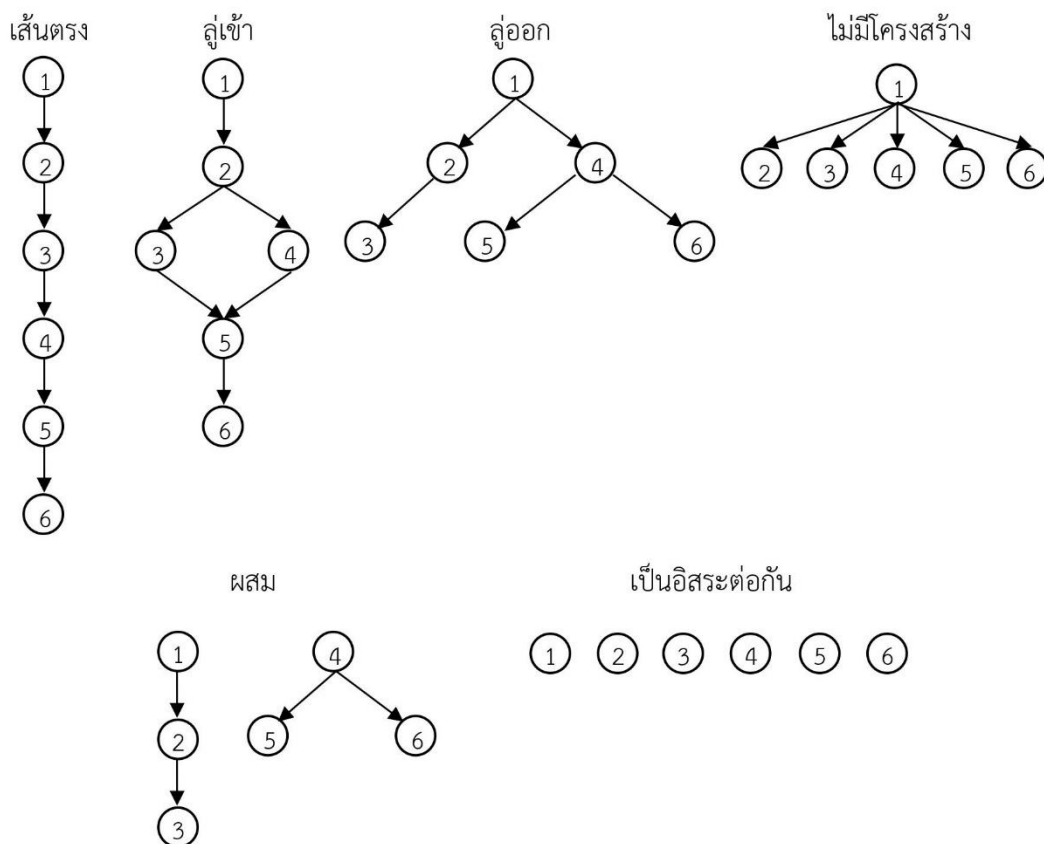
3) ลำดับชั้นคุณลักษณะแบบลู่ออก (*diverging attribute hierarchy*) เป็นลำดับชั้นคุณลักษณะที่มีสายคุณลักษณะหลายสายกำเนิดมาจากคุณลักษณะเดียวกัน นั่นคือ มีสายคุณลักษณะลูกแยกออกมาจากคุณลักษณะแม่เดียวกัน หากนักเรียนมีความรอบรู้ในคุณลักษณะใดก็ตามในแต่ละสายคุณลักษณะจะต้องมีความรอบรู้ในคุณลักษณะก่อนหน้า

4) ลำดับชั้นคุณลักษณะแบบไม่มีโครงสร้าง (*unstructured attribute hierarchy*) เป็นลำดับชั้นคุณลักษณะที่ 1 คุณลักษณะ จะต้องมีความรอบรู้ก่อนคุณลักษณะอื่นๆ ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้ไม่มีความสัมพันธ์แบบลำดับชั้น นั่นคือ คุณลักษณะลูกหลายลักษณะซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กันแยกมาจากคุณลักษณะแม่เดียวกัน หากนักเรียนมีความรอบรู้ในคุณลักษณะลูกจะต้องมีความรอบรู้ในคุณลักษณะแม่ แต่ไม่จำเป็นต้องมีความรอบรู้ในคุณลักษณะลูกอื่นๆ

5) ลำดับชั้นคุณลักษณะแบบผสม (*mixed structure*) เป็นลำดับชั้นคุณลักษณะที่ประกอบด้วยลำดับชั้นคุณลักษณะหลายชุด โดยคุณลักษณะแต่ละชุดไม่มีความสัมพันธ์กัน

นอกจากนี้ คุณลักษณะยังมีโครงสร้างที่เรียกว่า *คุณลักษณะมีความเป็นอิสระต่อกัน* (*independent structure*) เป็นโครงสร้างคุณลักษณะที่การมีความรอบรู้ในคุณลักษณะหนึ่งไม่จำเป็นต้องมีความรอบรู้ในคุณลักษณะอื่นมาก่อน ซึ่งแตกต่างจากความเป็นอิสระต่อกันในความหมายทางสถิติ โดยมีแผนภาพลำดับชั้นคุณลักษณะแต่ละประเภทดังภาพ 2.3

จำนวนโปรไฟล์คุณลักษณะจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามจำนวนคุณลักษณะ และหากคุณลักษณะมีความเป็นอิสระกันมากขึ้น จะทำให้โปรไฟล์คุณลักษณะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเช่นกัน



ภาพ 2.3 ประเภทลำดับชั้นคุณลักษณะ และคุณลักษณะมีความเป็นอิสระต่อกัน

(ปรับปรุงจาก Gierl et al., 2007)

2.3.3 เมทริกซ์คิว

เมทริกซ์คิว (Q-matrix) คือ ตารางที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะกับข้อสอบ โดยให้ข้อสอบอยู่ในแนวแถว ส่วนคุณลักษณะอยู่ในแนวหลัก ตารางประกอบด้วยตัวเลข 1 และ 0 นั่นคือ หากข้อสอบวัดคุณลักษณะใด แทนด้วย 1 แต่ถ้าหากไม่ได้วัดคุณลักษณะใด แทนด้วย 0 หรืออาจกล่าวได้ว่า เมทริกซ์คิวเป็นเมทริกซ์น้ำหนักองค์ประกอบ (loading matrix) ในมุมมองทางสถิติ การสร้างเมทริกซ์คิวจะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะหรือลำดับชั้นคุณลักษณะเพื่อให้สามารถสร้างข้อสอบที่วัดคุณลักษณะที่เป็นไปได้ตามความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ได้โปรไฟล์คุณลักษณะที่สมเหตุสมผล ซึ่งมีเมทริกซ์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ (Cai et al., 2018; Gierl et al., 2007; Leighton et al., 2004; Rupp et al., 2010)

เมทริกซ์เหตุการณ์ (incidence matrix) เป็นเมทริกซ์ที่แสดงถึงจำนวนข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งใช้ในการวัดผลรวมของคุณลักษณะที่เป็นอิสระต่อกันทุกรูปแบบ เป็นเมทริกซ์ขนาด $k \times i$ เมื่อ k คือ จำนวนคุณลักษณะ และ i คือ จำนวนข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด เช่น การวัดคุณลักษณะจำนวน A คุณลักษณะ ที่เป็นอิสระต่อกัน โดยแต่ละคุณลักษณะแบ่งเป็น 2 ค่า จะมีโปรไฟล์คุณลักษณะที่เป็นได้ทั้งหมด 2^A โปรไฟล์ และมีข้อสอบที่วัดผลรวมของคุณลักษณะที่เป็นไปได้ทั้งหมด $2^A - 1$ ข้อ เนื่องจากไม่รวมโปรไฟล์คุณลักษณะที่เป็นศูนย์ทุกค่า

เมทริกซ์ความสัมพันธ์ทางตรงของคุณลักษณะ (adjacency matrix; A) เป็นเมทริกซ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ทางตรงระหว่างคุณลักษณะซึ่งเป็นเมทริกซ์จัตุรัส ($k \times k$ เมื่อ k คือ จำนวนคุณลักษณะ) โดยคุณลักษณะอยู่ทั้งในแนวแถวและหลัก ประกอบด้วยตัวเลข 0 และ 1 นั่นคือ หากคุณลักษณะในแนวแถวจะต้องมีความรอบรู้ก่อนคุณลักษณะในแนวหลักซึ่งเป็นความสัมพันธ์ทางตรงให้แทนด้วย 1 ถ้าหากคุณลักษณะในแนวแถวมีความสัมพันธ์ทางอ้อมหรือไม่มีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะในแนวหลักแทนด้วย 0

เมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะ (reachability matrix; R) เป็นเมทริกซ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ทั้งทางตรงและทางอ้อมระหว่างคุณลักษณะซึ่งเป็นเมทริกซ์จัตุรัส ($k \times k$ เมื่อ k คือ จำนวนคุณลักษณะ) โดยคุณลักษณะอยู่ทั้งในแนวแถวและหลัก ประกอบด้วยตัวเลข 0 และ 1 โดยที่ค่าในแนวทแยงมุมมีค่าเป็น 1 นั่นคือ หากคุณลักษณะในแนวแถวมีความสัมพันธ์ทางตรงหรือทางอ้อมกับคุณลักษณะในแนวหลัก แทนด้วย 1 แต่ถ้าหากคุณลักษณะในแนวแถวไม่มีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะในแนวหลัก แทนด้วย 0

เมทริกซ์ควิลดรูป (reduced Q-matrix; Q_r) เป็นเมทริกซ์ที่ได้มาจากการพิจารณาหลักของเมทริกซ์เหตุการณ์ที่สมเหตุสมผลกับเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะ นั่นคือ หากหลักใดของเมทริกซ์เหตุการณ์สอดคล้องกับความสัมพันธ์ในเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะจะคงหลักนั้นไว้ แต่หากหลักใดของเมทริกซ์เหตุการณ์ไม่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ในเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะจะตัดหลักนั้นออกสุดท้ายจะได้เมทริกซ์เหตุการณ์ที่สอดคล้องกับเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะ เรียกว่า เมทริกซ์ควิลดรูป ซึ่งจะมีจำนวนข้อสอบที่ใช้วัดคุณลักษณะลดลงเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ อีกทั้งจำนวนโปรไฟล์คุณลักษณะจะลดลงซึ่งจะช่วยลดความซับซ้อนของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาในการวิเคราะห์ข้อมูล นอกจากนี้ เมทริกซ์ควิลดรูปเป็นสิ่งสำคัญซึ่งใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบ

จากภาพ 2.3 กรณีสถานการณ์ที่มุ่งวัดมีจำนวน 6 คุณลักษณะ โดยมีระดับชั้นคุณลักษณะแบบต่อเนื่อง สามารถเขียนเมทริกซ์เหตุการณ์ (Q) เมทริกซ์ความสัมพันธ์ทางตรงของคุณลักษณะ (A) เมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะ (R) และเมทริกซ์คิวลรูป (Q_r) ได้ดังนี้ (Leighton et al., 2004)

$$Q = \begin{bmatrix} 1010101010 & 1010101010 & 1010101010 & 1010101010 & 1010101010 & 1010101010 & 101 \\ 0110011001 & 1001100110 & 0110011001 & 1001100110 & 0110011001 & 1001100110 & 011 \\ 0001111000 & 0111100001 & 1110000111 & 1000011110 & 0001111000 & 0111100001 & 111 \\ 0000000111 & 1111100000 & 0001111111 & 1000000001 & 1111111000 & 0000011111 & 111 \\ 0000000000 & 0000011111 & 1111111111 & 1000000000 & 0000000111 & 1111111111 & 111 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0111111111 & 1111111111 & 1111111111 & 111 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_r = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

เมื่อกลับหลักของเมทริกซ์คิวลรูปไปเป็นแถวจะได้เมทริกซ์คิวสำหรับใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบ โดยจะต้องสร้างข้อสอบ จำนวน 15 ข้อ จากข้อสอบที่เป็นได้ทั้งหมด 63 ข้อ

2.4 โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

2.4.1 คำที่ใช้เรียกชื่อโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (cognitive diagnostic model; CDM) มีการใช้ชื่อที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแง่มุมที่นักวิชาการให้ความสำคัญ ได้แก่ เป้าหมายสำคัญของโมเดล ทฤษฎีที่อยู่เบื้องหลังโมเดล และคุณสมบัติทางสถิติของโมเดล โดยชื่อที่ใช้เรียกโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

มีจำนวน 8 ชื่อ ได้แก่ (1) cognitive diagnostic model (2) diagnostic classification model (3) cognitive psychometric model (4) latent response model (5) restricted latent class model (6) multiple classification latent class model (7) structured located latent class model และ (8) structured item response theory model ซึ่งแต่ละชื่อนี้มีแง่มุมที่ให้ความสำคัญดังนี้ (Rupp & Templin, 2008b; Rupp et al., 2010)

cognitive diagnostic model ให้ความสำคัญกับเป้าหมายสำคัญของโมเดล นั่นคือการวินิจฉัยนักเรียนเป็นรายบุคคล ส่วน diagnostic classification model ให้ความสำคัญกับเป้าหมายสำคัญของโมเดลเช่นเดียวกันโดยมุ่งวินิจฉัยเพื่อจำแนกนักเรียนออกเป็นกลุ่ม

ชื่อที่ให้ความสำคัญกับทฤษฎีที่อยู่เบื้องหลังโมเดล ได้แก่ cognitive psychometric model มีความเชื่อว่าการประยุกต์ใช้โมเดลต้องใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการตอบคำถามที่ละเอียดซึ่งเป็นพื้นฐานมาจากจิตวิทยาการรู้คิดประยุกต์ ส่วนชื่อที่เหลือให้ความสำคัญกับคุณสมบัติทางสถิติของโมเดล

latent response model แสดงถึงกระบวนการตอบคำถามแยกเป็นองค์ประกอบย่อยและคำตอบแฝงของแต่ละองค์ประกอบจะนำไปวิเคราะห์ในโมเดล ส่วน restricted latent class model แสดงถึงการแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่มแฝง และมีการจำกัดกลุ่มแฝงที่ต้องการประมาณค่า ในขณะที่ multiple classification latent class model แสดงถึงการสร้างโปรไฟล์คุณลักษณะแบบพหุของนักเรียนบนพื้นฐานของการจำแนกนักเรียนตามระดับความรู้ของแต่ละคุณลักษณะ structured located latent class model ให้ความสำคัญกับกลุ่มแฝงแต่ละกลุ่มซึ่งถูกกำหนดในปริภูมิตัวแปรแฝงหลายมิติ พร้อมทั้งกำหนดสเกลให้แก่กลุ่มแฝง นอกจากนี้ยังพบว่า structured item response theory model แสดงให้เห็นว่าเป็นโมเดลที่เพิ่มองค์ประกอบที่แสดงถึงความเป็นวิวิธพันธ์ของข้อคำถามและตัวอย่างวิจัย ได้แก่ พารามิเตอร์ที่สะท้อนถึงความเป็นสมาชิกกลุ่มสังเกตได้ในโมเดลกลุ่มพหุ พารามิเตอร์ที่สะท้อนถึงความเป็นสมาชิกกลุ่มแฝงในโมเดลผสม (mixture model) พารามิเตอร์ที่สะท้อนถึงการใช้กลยุทธ์การตอบคำถามต่างกัน และพารามิเตอร์ที่สะท้อนถึงความสัมพันธ์ของแบบสอยย่อย (testlet)

การวิจัยนี้ใช้คำว่าโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (cognitive diagnostic model) เนื่องจากเป็นชื่อที่ใช้มากที่สุด (Gorin, 2009; Henson, 2009) อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงเป้าหมายสำคัญของโมเดลที่ใช้ในการวินิจฉัยเพื่อระบุจุดแข็งและจุดอ่อนของคุณลักษณะที่มุ่งวัดของนักเรียน

2.4.2 ความหมายของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาเป็นโมเดลที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา โดยมีนักวิชาการให้ความหมายของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาไว้ ดังนี้

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา คือ โมเดลเฉพาะของโมเดลกลุ่มแฝงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้และตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรจัดกลุ่ม (Templin & Henson, 2006)

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา คือ โมเดลตัวแปรแฝงพหุมิติเชิงยืนยันที่มีน้ำหนักองค์ประกอบอย่างง่ายหรือซับซ้อน เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ที่มีตัวแปรสังเกตได้และตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรจัดกลุ่ม โดยที่ตัวแปรแฝงซึ่งเป็นตัวแปรทำนายรวมกันแบบทดแทนได้หรือทดแทนไม่ได้เพื่อสร้างกลุ่มแฝง อีกทั้งยังสามารถแปลผลโดยใช้เกณฑ์หลายระดับและมีเป้าหมายในการให้ข้อมูลย้อนกลับจากการวินิจัยที่มีความละเอียด (Rupp & Templin, 2008b)

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา คือ โมเดลที่ใช้ระบุโปรไฟล์คุณลักษณะที่มุ่งวัด (Henson et al., 2009)

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา คือ โมเดลตัวแปรแฝงที่ใช้ในการประเมินความรอบรู้ในคุณลักษณะที่มุ่งวัดได้อย่างละเอียด (de la Torre, 2011)

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา คือ โมเดลทางจิตมิติที่ใช้ในการประเมินความรอบรู้ในคุณลักษณะของนักเรียน (Chen et al., 2013)

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา คือ โมเดลทางจิตมิติที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างผลการตอบข้อสอบกับชุดของคุณลักษณะซึ่งเป็นตัวแปรแฝงแบบจัดกลุ่ม (Templin & Bradshaw, 2014)

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา คือ โมเดลทางจิตมิติที่ใช้ในการประมาณค่าคุณลักษณะแบบพหุมิติอย่างน่าเชื่อถือเพื่อนำเสนอมุมมองเชิงพหุเกี่ยวกับจุดอ่อนและจุดแข็งของนักเรียน (Bradshaw, 2017)

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา คือ โมเดลทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงวินิจัยโดยให้ข้อมูลเกี่ยวกับโปรไฟล์คุณลักษณะของนักเรียน (Javidanmehr & Sarab, 2017)

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา คือ โมเดลกลุ่มแฝงเชิงยืนยันแบบหลายตัวแปรซึ่งใช้ในการจัดกลุ่มผู้สอบออกเป็นกลุ่มแฝงที่สอดคล้องกับความสามารถของผู้สอบจากชุดของข้อสอบที่วัดคุณลักษณะแฝงแบบจัดกลุ่ม (Madison & Bradshaw, 2018b)

นักวิชาการแต่ละท่านให้ความหมายของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่สอดคล้องกัน แต่นิยามของ Rupp และ Templin (2008b) มีความละเอียดและครอบคลุมที่สุด ผู้วิจัยจึงยึดความหมายที่ให้โดย Rupp และ Templin (2008b) เป็นหลัก นั่นคือ โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา หมายถึง โมเดลตัวแปรแฝงพหุมิติเชิงยืนยันที่มีน้ำหนักองค์ประกอบอย่างง่ายหรือซับซ้อน เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ที่มีตัวแปรสังเกตได้และตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรจัดกลุ่ม โดยที่ตัวแปรแฝงซึ่งเป็นตัวแปรทำนายรวมกันแบบทดแทนได้หรือทดแทนไม่ได้เพื่อสร้างกลุ่มแฝง อีกทั้งยังสามารถแปลผลโดยใช้เกณฑ์หลายระดับและมีเป้าหมายในการให้ข้อมูลย้อนกลับจากการวินิจัยที่มีความละเอียด

2.4.3 ลักษณะของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญามีลักษณะที่สำคัญ 7 ประการ ดังนี้ (Rupp & Templin, 2008b; Rupp et al., 2010) โดยเปรียบเทียบกับโมเดลทางการวัดทางการศึกษาที่เป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดี ได้แก่ โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบ และโมเดลการตอบสนองข้อสอบ

1) โมเดลเชิงยืนยัน

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาเป็นโมเดลเชิงยืนยัน นั่นคือ เป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการตอบคำถามของนักเรียนกับคุณลักษณะที่อยู่เบื้องหลังข้อสอบ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวได้กำหนดไว้ล่วงหน้าในรูปของเมทริกซ์คิว คล้ายคลึงกับโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันที่ต้องการทดสอบสมมติฐานว่าตัวแปรแฝงมีความสัมพันธ์ไปตามสมมติฐานหรือไม่ และโมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ (multidimensional IRT model) ที่ต้องการทดสอบสมมติฐานว่าข้อสอบวัดคุณลักษณะนั้นๆ จริงหรือไม่

2) มาตรการวัดของตัวแปรสังเกตได้

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาใช้สำหรับการวิเคราะห์ที่ตัวแปรสังเกตได้เป็นตัวแปรจัดกลุ่ม ซึ่งอาจมีการให้คะแนนแบบ 2 ค่า หรือมากกว่า 2 ค่า ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับโมเดลการตอบสนองข้อสอบ

3) มาตรการวัดและปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรแฝง

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาเป็นโมเดลที่มีตัวแปรแฝงเป็นตัวแปรจัดกลุ่มซึ่งอาจมี 2 ค่า หรือมากกว่า 2 ค่า มีการวิเคราะห์คล้ายคลึงกับโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบพหุมิติเชิงยืนยัน (multidimensional factor analysis model) และโมเดลการตอบสนองข้อสอบ แต่แตกต่างกันที่ มาตรการวัดของตัวแปรแฝงในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบพหุมิติเชิงยืนยัน และโมเดล

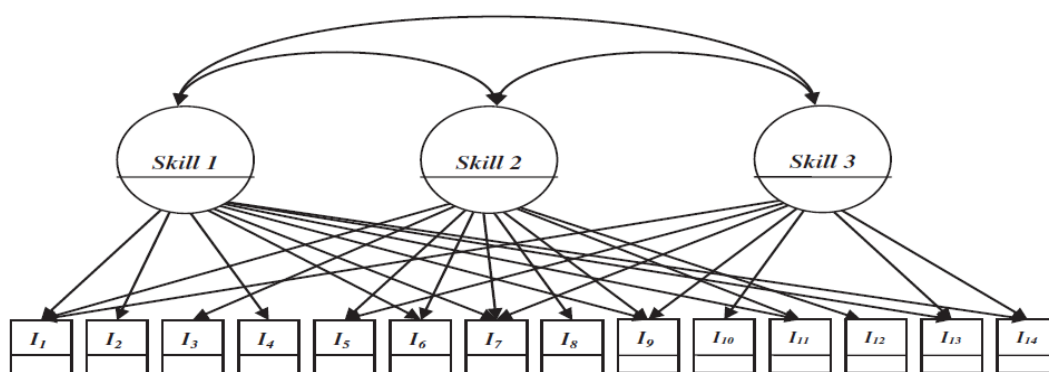
การตอบสนองข้อสอบเป็นตัวแปรต่อเนื่อง ทั้งนี้ โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาสามารถดำเนินการวิเคราะห์ได้ทั้งในกรณีที่ตัวแปรแฝงมีความสัมพันธ์กัน หรือตัวแปรแฝงไม่มีความสัมพันธ์กัน เช่นเดียวกับโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบพหุมิติเชิงยืนยัน และโมเดลการตอบสนองข้อสอบ

4) ความเป็นพหุมิติ (multidimensionality)

การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาส่วนใหญ่ประเมินคุณลักษณะของนักเรียนหลายคุณลักษณะ โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบดังกล่าวจึงเป็นโมเดลแบบพหุมิติ ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบพหุมิติ และโมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ แต่แตกต่างกันที่มาตรการวัดของตัวแปรแฝง

5) น้ำหนักองค์ประกอบเชิงซ้อน (complex loading structure)

น้ำหนักองค์ประกอบของข้อสอบสำหรับโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาจัดเป็นโครงสร้างน้ำหนักองค์ประกอบเชิงซ้อน นั่นคือ ในการประเมินคุณลักษณะของนักเรียนใช้ข้อสอบ 1 ข้อ ที่วัดเพียง 1 คุณลักษณะ และใช้ข้อสอบ 1 ข้อ วัดหลายคุณลักษณะ หรือเรียกว่า within-item multidimensionality ดังภาพ 2.4 โดยวงกลม หมายถึง คุณลักษณะซึ่งเป็นตัวแปรแฝง ส่วนสี่เหลี่ยม หมายถึง ข้อสอบซึ่งเป็นตัวแปรสังเกตได้ เส้นตรงแนวนอน หมายถึง threshold ซึ่งบ่งบอกว่าคุณลักษณะและข้อสอบเป็นตัวแปรจัดกลุ่มซึ่งอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม หรือมากกว่า 2 กลุ่ม หากเป็น threshold ของคุณลักษณะ หมายถึง ความน่าจะเป็นที่นักเรียนจะมีความรอบรู้ในคุณลักษณะนั้นๆ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันในแต่ละคุณลักษณะ ในกรณีคุณลักษณะแบ่งเป็นรอบรู้ และไม่รอบรู้ หากเป็น threshold ของข้อสอบ หมายถึง ความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบได้ถูกต้องในการถ่วงน้ำหนักให้คะแนนแบบ 2 ค่า ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปตามข้อสอบแต่ละข้อ



ภาพ 2.4 โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่มีน้ำหนักองค์ประกอบเชิงซ้อน

(Rupp & Templin, 2008b)

6) การตัดสินใจเชิงวินิจฉัย

โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาใช้ในการตัดสินใจเชิงวินิจฉัยซึ่งแตกต่างจากการประเมินเพื่อจัดตำแหน่ง หรือสอบแข่งขัน ในการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาจะใช้เครื่องมือในการคัดกรองและระบุถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับนักเรียน และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยเชิงพุทธิปัญญาเพื่อนำสารสนเทศที่มีความละเอียดไปออกแบบสิ่งทดลองสำหรับแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับนักเรียน พร้อมทั้งติดตามผลการให้สิ่งทดลองแก่นักเรียนจึงจะทำให้การประเมินมีประสิทธิภาพสูงสุด

7) การมีทฤษฎีเกี่ยวกับพุทธิปัญญานับสนุน

โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาประยุกต์ใช้จิตวิทยาการรู้คิดในการสร้างโมเดลพุทธิปัญญาของนักเรียนสำหรับเป็นแนวทางในการสร้างข้อคำถาม โดยโมเดลพุทธิปัญญานั้นได้มาจากการศึกษากลยุทธ์ในการหาคำตอบของนักเรียนเป็นรายบุคคลซึ่งอาจจะใช้กลยุทธ์ที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบเดียวกัน และยังเป็นประโยชน์ในการให้ข้อมูลย้อนกลับที่เหมาะสมกับนักเรียนแต่ละคน

2.4.4 ประเภทของโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

การแบ่งประเภทโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญามีเกณฑ์ในการจำแนก 2 ประการ ได้แก่ (1) หลักการรวมคุณลักษณะ (condensation rule) ที่ก่อให้เกิดผลการตอบข้อสอบ และ (2) คุณลักษณะที่วินิจฉัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (Kuo et al., 2018; Rupp & Templin, 2008b; Rupp et al., 2010)

1) หลักการรวมคุณลักษณะที่ก่อให้เกิดผลการตอบข้อสอบ

1.1) โมเดลแบบเชื่อมโยง (conjunctive model) เป็นโมเดลที่มีหลักการประมาณค่าความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบถูกต้อง ดังนี้ นักเรียนจะมีความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบถูกต้องต่ำเมื่อไม่รอบรู้อย่างน้อย 1 คุณลักษณะที่มุ่งวัด แต่จะมีความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบสูงเมื่อรอบรู้ครบทุกคุณลักษณะ นั่นคือ ถ้านักเรียนมีความรอบรู้ทุกคุณลักษณะที่ต้องใช้ในการตอบข้อสอบข้อนั้น นักเรียนจะตอบข้อสอบถูกต้อง แต่หากไม่รอบรู้เพียง 1 คุณลักษณะ จะทำให้นักเรียนตอบข้อสอบไม่ถูกต้อง

1.2) โมเดลแบบไม่เชื่อมโยง (disjunctive model) เป็นโมเดลที่มีหลักการประมาณค่าความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบถูกต้อง ดังนี้ นักเรียนจะมีความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบถูกต้องต่ำเมื่อไม่รอบรู้ทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัด แต่จะมีความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบสูงเมื่อรอบรู้อย่างน้อย 1 คุณลักษณะ นั่นคือ ถ้านักเรียนมีความรอบรู้อย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่ต้องใช้ในการตอบ

ข้อสอบข้อนั้น นักเรียนจะตอบข้อสอบถูกต้อง แต่หากไม่รอบรู้ทุกคุณลักษณะ นักเรียนจะตอบข้อสอบไม่ถูกต้อง

2) คุณลักษณะที่วินิจฉัย

2.1) โมเดลที่ใช้ในการวินิจฉัยเฉพาะทักษะ เป็นโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบที่สร้างขึ้นสำหรับวัดทักษะ โดยทักษะ หมายถึง คุณลักษณะที่นักเรียนจำเป็นต้องมีเพื่อให้ตอบข้อสอบได้ถูกต้อง

2.2) โมเดลที่ใช้ในการวินิจฉัยเฉพาะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เป็นโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบที่สร้างขึ้นสำหรับวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน โดยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน หมายถึง ความคิดที่ผิดซึ่งทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการทำข้อสอบจึงทำให้ตอบข้อสอบผิด

2.3) โมเดลที่ใช้ในการวินิจฉัยทั้งทักษะและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เป็นโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบที่สร้างขึ้นสำหรับวัดทั้งทักษะและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนพร้อมกัน

2.4.5 โครงสร้างและการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาเป็นกรณีเฉพาะของโมเดลกลุ่มแฝง (latent class model) โดยโมเดลกลุ่มแฝงไม่ได้กำหนดจำนวนตัวแปรแฝงและจำนวนกลุ่มแฝงไว้ล่วงหน้า จึงเรียกว่า unrestricted latent class model ส่วนโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาจัดเป็น restricted latent class model เนื่องจากมีการพิจารณาจำนวนกลุ่มแฝงที่เป็นไปได้ทั้งหมดไว้ล่วงหน้า ซึ่งพิจารณาจากจำนวนคุณลักษณะทั้งหมดและความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะที่มุ่งวัด โดยสามารถหาความน่าจะเป็นที่ผู้สอบที่ i จะมีรูปแบบการตอบข้อสอบทุกข้อ x_i สำหรับผลการตอบที่มีการตรวจให้คะแนนแบบ 2 ค่า ได้ดังนี้ (Rupp et al., 2010)

$$P(X_i = x_i) = \sum_{c=1}^C \mathbf{v}_c \prod_{j=1}^J \pi_{jc}^{x_{ij}} (1 - \pi_{jc})^{1-x_{ij}}$$

องค์ประกอบเชิงโครงสร้าง
องค์ประกอบเชิงการวัด

ส่วนความน่าจะเป็นที่ผู้สอบที่ i จะมีรูปแบบการตอบข้อสอบทุกข้อ x_i สำหรับผลการตอบที่มีการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า หาได้ดังนี้ (Templin et al., 2008)

$$\begin{array}{c}
 \text{องค์ประกอบเชิงโครงสร้าง} \quad \text{องค์ประกอบเชิงการวัด} \\
 \begin{array}{cc}
 \underbrace{\hspace{1cm}} & \underbrace{\hspace{1cm}} \\
 C & J
 \end{array} \\
 P(X_i = x_i) = \sum_{c=1}^C v_c \prod_{j=1}^J \left[\prod_{m_j \in M_j} \pi_{j,c,m_j}^{I(x_j=m_j)} \right]
 \end{array}$$

เมื่อ x_{ij} คือ ผลการตอบข้อสอบที่ j ของผู้สอบที่ i

π_{jc} คือ ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งอยู่ในโปรไฟล์คุณลักษณะ (กลุ่มแฝง) c จะตอบข้อสอบที่ j ได้ถูกต้อง

π_{j,c,m_j} คือ ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งอยู่ในโปรไฟล์คุณลักษณะ c จะเลือกรายการคำตอบที่ m สำหรับข้อสอบที่ j

v_c คือ ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะอยู่ในโปรไฟล์คุณลักษณะ c

โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ องค์ประกอบเชิงการวัด (measurement component) เป็นส่วนที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างตัวแปรแฝง (คุณลักษณะ) และตัวแปรสังเกตได้ (ผลการตอบข้อสอบ) และองค์ประกอบเชิงโครงสร้าง (structural component) เป็นส่วนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโปรไฟล์คุณลักษณะ (Rupp et al., 2010) โดยการประมาณค่าความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะตอบข้อสอบได้ถูกต้อง (π_{jc}) แตกต่างกันไปตามโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาแต่ละโมเดล ส่วนการประมาณค่าความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะอยู่ในโปรไฟล์คุณลักษณะ (v_c) สามารถดำเนินการได้ 4 วิธี ได้แก่ (1) unstructured structural models (2) log-linear structural models (3) unstructured tetrachoric models และ (4) structured tetrachoric models ซึ่งการเลือกใช้วิธีการประมาณค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับโครงสร้างข้อมูลที่วิเคราะห์ และโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาจะประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ (องค์ประกอบเชิงการวัด) และพารามิเตอร์ผู้สอบ (องค์ประกอบเชิงโครงสร้าง) ไปพร้อมๆ กัน เนื่องจากไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ประเภท ซึ่งมีวิธีการประมาณค่า 2 วิธี ได้แก่ expectation-maximization algorithm (E-M) ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าภายใต้แนวคิดการประมาณค่าแบบความถี่ (frequentist estimation framework) และ Markov-chain Monte Carlo estimation (MCMC) ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าภายใต้แนวคิดการประมาณค่าแบบเบส์ (Bayesian estimation)

framework) โดยมีหลักการประมาณค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ ประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบโดยสมมติว่าทราบพารามิเตอร์ผู้สอบ และประมาณค่าพารามิเตอร์ผู้สอบโดยสมมติว่าทราบพารามิเตอร์ข้อสอบ โดยนำผลการประมาณค่าก่อนหน้ามาใช้ในการประมาณค่าในครั้งถัดไป และกระทำซ้ำจนกระทั่งค่าพารามิเตอร์ข้อสอบและพารามิเตอร์ผู้สอบที่ได้จากการประมาณค่ามีความคลาดเคลื่อนต่ำ เพื่อนำสารสนเทศที่ได้ไปประมาณค่าความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะอยู่ในโปรไฟล์คุณลักษณะต่างๆ เรียกว่าความน่าจะเป็นภายหลัง (posterior probabilities) โดยผู้สอบที่มีรูปแบบผลการตอบข้อสอบเหมือนกันจะมีความน่าจะเป็นภายหลังเท่ากัน ซึ่งสามารถหาความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งมีรูปแบบผลการตอบข้อสอบทุกข้อ x_i จะอยู่ในโปรไฟล์คุณลักษณะ α_c ได้ดังนี้

$$P(\alpha_c = \alpha_c \mid x_i) = \frac{v_c \prod_{j=1}^J \pi_{jc}^{x_{ij}} (1 - \pi_{jc})^{1-x_{ij}}}{\sum_{c=1}^C v_c \prod_{j=1}^J \pi_{jc}^{x_{ij}} (1 - \pi_{jc})^{1-x_{ij}}}$$

โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาจะประมาณค่าความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะอยู่ในโปรไฟล์คุณลักษณะต่างๆ ตามจำนวนโปรไฟล์คุณลักษณะที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยการประมาณค่าความน่าจะเป็นภายหลังกระทำได้ 2 วิธี ได้แก่ maximum a posteriori (MAP) และ expected a posteriori (EAP) โดยวิธีการ EAP มีความเหมาะสมในการประมาณค่ามากกว่า เนื่องจากสามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะมีความรอบรู้ในคุณลักษณะต่างๆ ได้ดังนี้

$$P(\alpha_{ik} = 1 \mid \alpha_i) = \frac{\sum_{c=1}^C \alpha_{ic} \alpha_{ck}}{\sum_{c=1}^C \alpha_{ic} \alpha_{ck}}$$

เมื่อ α_{ik} คือ ความรอบรู้ในคุณลักษณะที่ k ของผู้สอบที่ i โดย 1 หมายถึง รอบรู้ และ 0 หมายถึง ไม่รอบรู้

α_{ic} คือ ความน่าจะเป็นภายหลังของผู้สอบที่ i ในโปรไฟล์คุณลักษณะที่ c

α_{ck} คือ ความรอบรู้ในคุณลักษณะที่ k สำหรับโปรไฟล์คุณลักษณะที่ c

โมเดล RSM และ AHM เป็นโมเดลที่มีการประมาณค่าแตกต่างจากโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาโดยทั่วไป เนื่องจากทั้ง 2 โมเดล ใช้หลักการจำแนกผู้สอบโดยอาศัยผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ผู้สอบและพารามิเตอร์ข้อสอบจากโมเดลการตอบสนองข้อสอบไปใช้ในการจำแนกผู้สอบออกเป็นกลุ่มตามโปรไฟล์คุณลักษณะ หรือกล่าวได้ว่าโมเดล RSM และ AHM ไม่มีฟังก์ชันการตอบสนอง

ข้อสอบ แต่โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาโมเดลอื่นมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ผู้สอบ และพารามิเตอร์ข้อสอบ พร้อมทั้งประมาณค่าความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะอยู่ในโปรไฟล์คุณลักษณะต่างๆ พร้อมกัน ดังรายละเอียดข้างต้น (Rupp & Templin, 2008b)

นอกจากนี้ยังพบว่า โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญามีสมบัติของความไม่แปรเปลี่ยนของค่าพารามิเตอร์ (parameter invariance) เช่นเดียวกับโมเดลการตอบสนองข้อสอบ กล่าวคือ พารามิเตอร์ข้อสอบไม่แปรเปลี่ยนไปตามกลุ่มผู้สอบ และค่าพารามิเตอร์ผู้สอบ หรือการจำแนกกลุ่มผู้สอบไม่แปรเปลี่ยนไปตามกลุ่มข้อสอบ (Bradshaw, 2017)

2.4.6 การจัดกลุ่มโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

การจัดกลุ่มโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาพิจารณา 3 ประเด็น ได้แก่ (1) มาตรการวัดตัวแปรสังเกตได้หรือผลการตอบข้อสอบ (dichotomous CDM หรือ polytomous CDM) (2) มาตรการวัดคุณลักษณะ (2 ค่า หรือมากกว่า 2 ค่า) และ (3) ประเภทโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา (ทดแทนไม่ได้ หรือทดแทนได้) (Rupp & Templin, 2008b; Rupp et al., 2010) นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาจากคุณลักษณะที่วินิจัยซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ (1) วินิจัยเฉพาะทักษะ (2) วินิจัยเฉพาะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และ (3) วินิจัยทั้งทักษะและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน จากการศึกษาเกี่ยวกับโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาพบว่า ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันมีโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาถูกพัฒนาขึ้นจำนวน 38 โมเดล โดยแบ่งเป็นโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาแบบตรงให้คะแนน 2 ค่า (dichotomous CDM) จำนวน 25 โมเดล ได้แก่ (1) RSM (rule space methodology; Tatsuoka, 1983), (2) AHM (attribute hierarchy method; Leighton et al., 2004), (3) DINA (deterministic inputs, noisy and gate model; Junker & Sijtsma, 2001), (4) DINO (deterministic input, noisy or gate model; Templin & Henson, 2006), (5) NIDA (noisy inputs, deterministic and gate model; Junker & Sijtsma, 2001), (6) NIDO (noisy inputs, deterministic or gate model; Rupp et al., 2010), (7) F-RUM (full reparametrized unified model; Rupp et al., 2010), (8) R-RUM (reduced reparametrized unified model; Rupp et al., 2010), (9) C-RUM (compensatory reparametrized unified model; Rupp et al., 2010), (10) HO-DINA (higher-order DINA model; de la Torre & Douglas, 2004), (11) MS-DINA (multiple-strategy DINA model; de la Torre & Douglas, 2008), (12) mDINA (multilevel DINA model; Wang & Qiu, 2019), (13) Bug-DINO (Kuo et al., 2016), (14) SISM (simultaneously identifying skills and

misconceptions model; Kuo et al., 2018), (15) BIN (Bayesian inference networks; Culbertson, 2016), (16) LCDM (log-linear cognitive diagnosis model; Henson et al., 2009), (17) HDCM (hierarchical diagnostic classification model; Templin & Bradshaw, 2014), (18) G-DINA (generalized DINA model; de la Torre, 2011), (19) A-CDM (additive CDM; de la Torre, 2011), (20) G-NIDA (generalized NIDA; de la Torre, 2011), (21) sG-DINA (sequential G-DINA model; Hung & Huang, 2019), (22) L-DINA (longitudinal DINA model; Kaya & Leite, 2017), (23) L-DINO (longitudinal DINO model; Kaya & Leite, 2017), (24) TDCM (transition diagnostic classification model; Madison & Bradshaw, 2018a) และ (25) MTDCM (multigroup transition diagnostic classification model; Madison & Bradshaw, 2018b) โดยโมเดล RSM, AHM, F-RUM, R-RUM, C-RUM และ BIN สามารถขยายขอบเขตให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า และเป็นโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาแบบตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า (polytomous CDM) จำนวน 13 โมเดล ได้แก่ (1) GDM (general diagnostic model; von Davier, 2005), (2) H-GDM (hierarchical diagnostic general model; von Davier, 2007), (3) NRDM (nominal response diagnostic model; Templin et al., 2008), (4) RSDM (rating scale diagnostic model; Liu & Jiang, 2020), (5) ORDM (ordinal response diagnostic model; Liu & Jiang, 2018), (6) MORDM (modified ordinal response diagnostic model; Liu & Jiang, 2018), (7) GPDM (general polytomous diagnosis model; Chen & de la Torre, 2018), (8) DINA-GD (DINA model for graded data; Tu et al., 2018), (9) MC-DINA (multiple choice–deterministic input, noisy and gate model; de la Torre, 2009), (10) SICM (scaling individuals and classifying misconceptions model; Bradshaw & Templin, 2014), (11) GDCM-MC (generalized diagnostic classification models for multiple choice option-based scoring; DiBello et al., 2015) (12) SPM (sequential process model; Ma & de la Torre, 2016) และ (13) DTM (diagnostic tree model; Ma, 2019) นอกจากนี้ ยังพบว่าบางโมเดลเป็นทั้งโมเดลแบบทดแทนไม่ได้และโมเดลแบบทดแทนได้ เนื่องจากโมเดลดังกล่าวเป็นโมเดลแบบทดแทนได้แต่สามารถบังคับค่าพารามิเตอร์ให้กลายเป็นโมเดลแบบทดแทนไม่ได้ โดยสามารถสรุปการจัดกลุ่มโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาโดยพิจารณาจากคุณลักษณะที่วินิจัยประเภทโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา มาตรวัดผลการตอบข้อสอบ และมาตรวัดคุณลักษณะ อีก

ทั้งยังมีรายละเอียดเกี่ยวกับระดับชั้นของข้อมูล และการบังคับค่าพารามิเตอร์ของแต่ละโมเดลดังตาราง 2.5 และภาพ 2.5

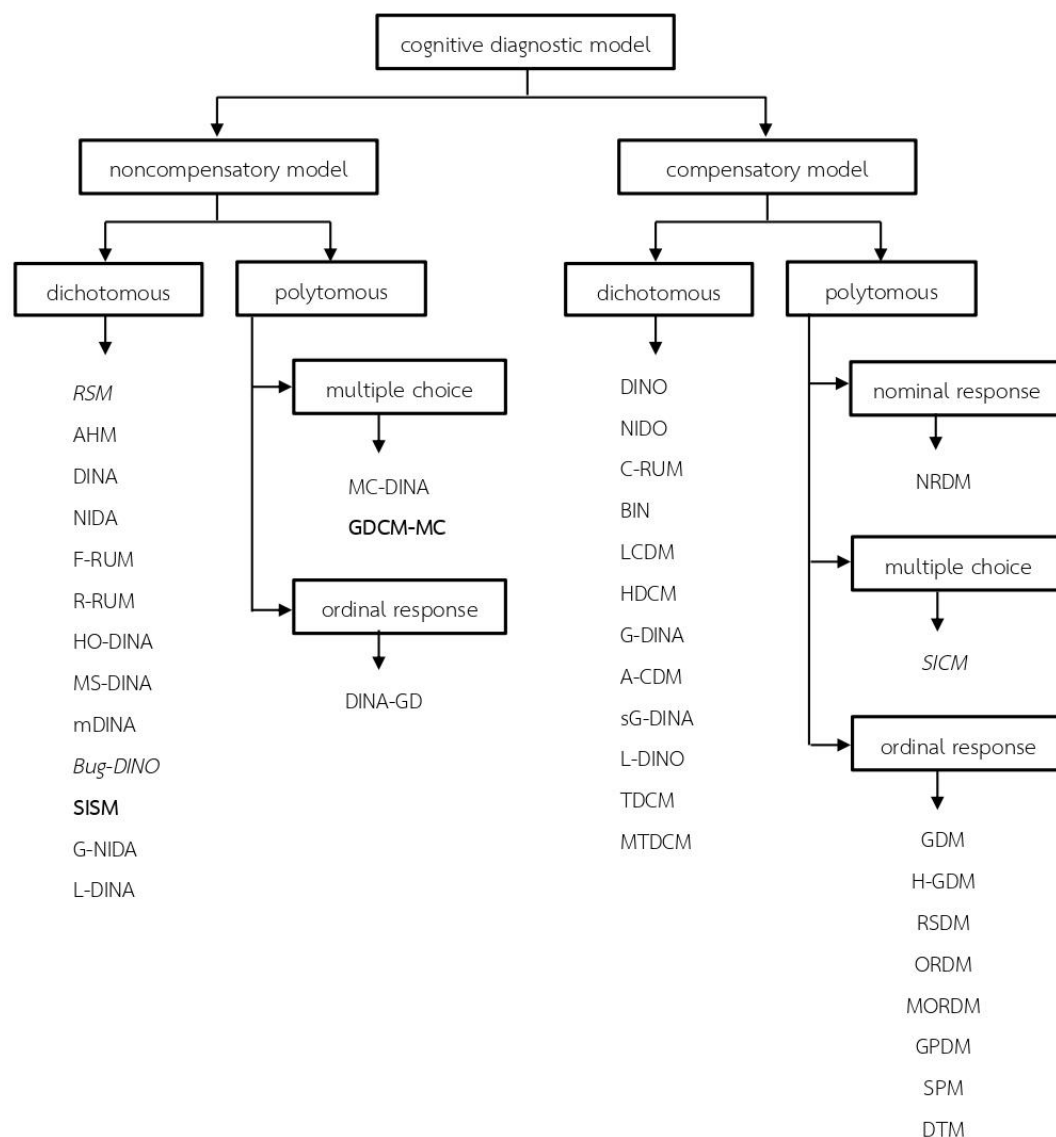
โมเดล GDM, LCDM และ G-DINA จัดเป็นกรอบโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (family of cognitive diagnosis models) หรือเรียกว่าโมเดลไม่บังคับ (unconstrained or saturated model) ซึ่งครอบคลุมโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาโมเดลอื่นๆ เรียกว่า โมเดลบังคับ (constrained model) หรือโมเดลย่อย (sub model) โดยการบังคับค่าพารามิเตอร์ในกรอบโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาเพื่อให้ได้โมเดลย่อย (de la Torre, 2011; Henson et al., 2009) ดังภาพ 2.6



ตาราง 2.5

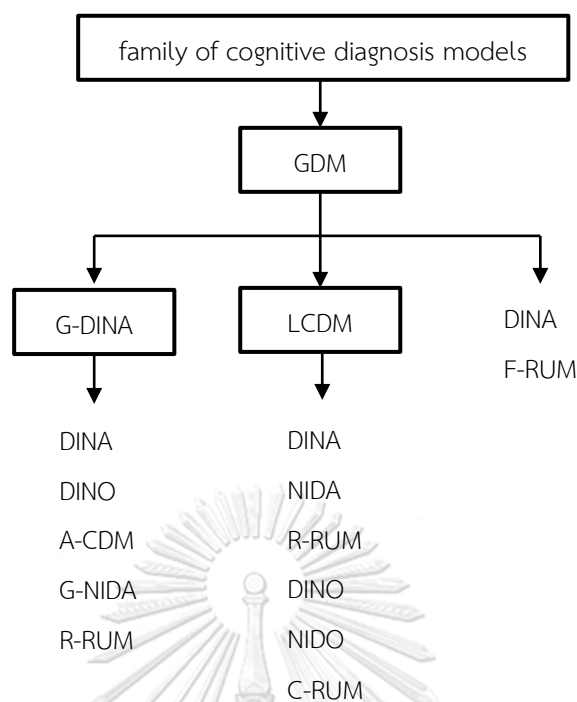
การจัดกลุ่มโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

โมเดล	คุณลักษณะที่วัด		ประเภทโมเดล		มาตรวัดผลการตอบ		มาตรวัดคุณลักษณะ			ระดับข้อมูล		การบังคับค่าพารามิเตอร์	
	ทักษะ	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	ทดแทนไม่ได้	ทดแทนได้	2 คำ	มากกว่า 2 คำ	จัดกลุ่ม		ต่อเนื่อง	1 ระดับ	พหุระดับ	ระดับข้อสอบ	ระดับคุณลักษณะ
							2 คำ	มากกว่า 2 คำ					
1.RSM		✓	✓		✓	✓	✓			✓		-	-
2.AHM	✓		✓		✓	✓	✓			✓		-	-
3.DINA	✓		✓		✓		✓			✓			✓
4.DINO	✓			✓	✓		✓			✓			✓
5.NIDA	✓		✓		✓		✓			✓		✓	
6.NIDO	✓			✓	✓		✓			✓		✓	
7.F-RUM	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
8.R-RUM	✓		✓		✓	✓	✓	✓		✓			
9.C-RUM	✓			✓	✓	✓	✓	✓		✓			
10.HO-DINA	✓		✓		✓		✓		✓	✓			✓
11.MS-DINA	✓		✓		✓		✓			✓			✓
12.mDINA	✓		✓		✓		✓				✓		✓
13.Bug-DINO		✓	✓		✓		✓			✓			✓
14.SISM	✓	✓	✓		✓		✓			✓			✓
15.BIN	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			
16.LCDM	✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓			
17.HDCM	✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓			
18.G-DINA	✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓			
19.A-CDM	✓			✓	✓		✓	✓		✓			
20.G-NIDA	✓		✓		✓		✓	✓		✓			
21.sG-DINA	✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓			
22.L-DINA	✓		✓		✓		✓			✓			✓
23.L-DINO	✓			✓	✓		✓			✓			✓
24.TDCM	✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓			
25.MTDCM	✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓			
26.GDM	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
27.H-GDM	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
28.NRDM	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓			
29.RSDM	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	
30.ORDM	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	
31.MORDM	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	
32.GPDM	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓			
33.DINA-GD	✓		✓		✓	✓	✓			✓			✓
34.MC-DINA	✓		✓		✓	✓	✓			✓			✓
35.SICM		✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓			
36.GDCM-MC	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓			✓
37. SPM	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓			
38. DTM	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓			



หมายเหตุ โมเดลที่เป็นตัวอักษรปกติใช้ในการวินิจฉัยทักษะ ตัวเอียงใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และตัวหนาใช้ในการวินิจฉัยทั้งทักษะและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

ภาพ 2.5 การจัดกลุ่มโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา



ภาพ 2.6 กรอบโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

2.5 โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ

โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ (sequential process model) พัฒนาโดย Ma และ de la Torre เมื่อปี ค.ศ.2016 ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อสอบที่มีการให้คะแนนแบบลำดับขั้น และยังสามารถประยุกต์ใช้กับข้อสอบที่มีการให้คะแนนไม่เป็นลำดับขั้น โดยโมเดลแบ่งผลการตอบของผู้สอบตามขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหา กล่าวคือ ผู้สอบที่ไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาขั้นที่ 1 ได้ถูกต้อง จะจัดอยู่ในกลุ่มที่ 0 หากสามารถแก้โจทย์ปัญหาขั้นที่ 1 ได้ถูกต้อง แต่ไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาขั้นที่ 2 ได้ถูกต้อง จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 ส่วนผู้สอบที่สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ถูกต้องทุกขั้นตอน จัดอยู่ในกลุ่มที่ H (โจทย์ปัญหามีทั้งหมด H ขั้นตอน) ดังนั้น สามารถแบ่งผู้สอบที่ตอบข้อสอบเป็น $H + 1$ กลุ่ม ซึ่งมีลักษณะเป็นลำดับขั้น โดยสามารถหาความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งมีโปรไฟล์คุณลักษณะ α_c จะได้รับคะแนน h สำหรับข้อสอบที่ j ได้ดังนี้ (Ma & de la Torre, 2016; Ma & de la Torre, 2019)

$$P(X_{ij} = h | \alpha_c) = [1 - S_j(h+1 | \alpha_c)] \prod_{x=0}^h S_j(x | \alpha_c)$$

เมื่อ $S_j(h | \alpha_c)$ คือ ฟังก์ชันการประมวลผลข้อมูล (processing function) ซึ่งแสดงความน่าจะเป็นของผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะ α_c จะตอบข้อสอบที่ j สำหรับรายการคำตอบที่ h

ได้ถูกต้อง เมื่อผู้สอบได้ตอบข้อสอบที่ j สำหรับรายการคำตอบที่ $h - 1$ ได้ถูกต้องมาเรียบร้อยแล้ว โดยอนุมานได้ว่า $S_j(h | \alpha_c) = 1$ เมื่อ $h = 0$ เนื่องจากผู้สอบจะตอบข้อสอบที่ j สำหรับรายการคำตอบที่ 0 ถูกต้องเสมอ และ $S_j(h | \alpha_c) = 0$ เมื่อ $H_j + 1$ เนื่องจากผู้สอบไม่สามารถตอบข้อสอบที่ j สำหรับรายการคำตอบที่ $H_j + 1$ ได้ถูกต้อง ฟังก์ชันการประมวลผลข้อมูลจะแทนด้วยฟังก์ชันการตอบสนองข้อสอบของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่มีการให้คะแนนแบบ 2 ค่า จำแนกตามรายการคำตอบ เช่น ใช้โมเดล G-DINA เป็นฟังก์ชันการประมวลผลข้อมูลจึงเรียกโมเดลนี้ว่า sequential G-DINA model

โมเดล G-DINA เป็นกรอบโมเดลของโมเดล DINA, DINO, A-CDM, G-NIDA และ R-RUM โดยโมเดลแบ่งผู้สอบที่ตอบข้อสอบแต่ละข้อออกเป็น $2^{K_j^*}$ กลุ่ม เมื่อ K_j^* คือ จำนวนคุณลักษณะที่ต้องใช้ในการตอบข้อสอบที่ j เมื่อใช้โมเดล G-DINA เป็นฟังก์ชันการประมวลผลข้อมูล (processing function) ในโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับสำหรับรายการคำตอบ h โมเดลจะแบ่งนักเรียนออกเป็น $2^{K_{jh}^*}$ กลุ่ม เมื่อ K_{jh}^* คือ คุณลักษณะที่ใช้ในการตอบข้อสอบที่ j สำหรับรายการคำตอบ h และ α_{ljh}^* คือ โปรไฟล์คุณลักษณะสำหรับข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h หรือเรียกว่า โปรไฟล์คุณลักษณะลดรูป และ $l = 1, 2, \dots, 2^{K_{jh}^*}$ โดยสามารถเขียนฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลโดยใช้ identity link ได้ดังนี้

$$S_j(h | \alpha_{ljh}^*) = \Phi_{jh0} + \sum_{k=1}^{K_{jh}^*} \Phi_{jhk} \alpha_{lk} + \sum_{k=K_{jh}^*+1}^{K_{jh}^*} \sum_{k'=1}^{K_{jh}^*-1} \Phi_{jhkk'} \alpha_{lk} \alpha_{l'k'} + \dots + \Phi_{j12\dots K_{jh}^*} \prod_{k=1}^{K_{jh}^*} \alpha_{lk}$$

เมื่อ Φ_{jh0} คือ พารามิเตอร์จุดตัดแกน แสดงถึงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j สำหรับผู้สอบที่ไม่มีความรอบรู้ทุกคุณลักษณะที่ใช้ในการตอบข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h

Φ_{jhk} คือ พารามิเตอร์อิทธิพลหลักของคุณลักษณะที่ k สำหรับรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j เมื่อผู้สอบมีความรอบรู้ในคุณลักษณะที่ k

$\Phi_{jhkk'}$ คือ พารามิเตอร์อิทธิพลปฏิสัมพันธ์สองทางระหว่างคุณลักษณะที่ k และ k' สำหรับรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j เมื่อผู้สอบมีความรอบรู้ในคุณลักษณะที่ k และ k'

$\Phi_{j12..K_{jh}^*}$ คือ พารามิเตอร์อิทธิพลปฏิสัมพันธ์ K_{jh}^* ทางระหว่างคุณลักษณะที่ k ถึงคุณลักษณะที่ K_{jh}^* สำหรับรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j เมื่อผู้สอบมีความรอบรู้ในคุณลักษณะที่ k ถึง K_{jh}^*

หากบังคับค่าพารามิเตอร์ในโมเดล sequential G-DINA โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อิทธิพลหลัก และอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ ยกเว้นพารามิเตอร์อิทธิพลปฏิสัมพันธ์ K_{jh}^* ทาง มีค่าเป็นศูนย์ จะได้โมเดล sequential DINA โดยสามารถเขียนฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลได้ดังนี้

$$S_j(h|\alpha_{j0}^*) = \Phi_{j0} + \Phi_{j12..K_{jh}^*} \prod_{k=1}^{K_{jh}^*} \alpha_{lk}$$

ทั้งนี้ยังสามารถบังคับค่าพารามิเตอร์ในโมเดล sequential G-DINA ให้กลายเป็นโมเดล sequential DINO โดยสามารถเขียนฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลได้ดังนี้

$$S_j(h|\alpha_{j0}^*) = \Phi_{j0} + \Phi_{jkh} \alpha_{lk}$$

เมื่อมีการบังคับพารามิเตอร์ให้มีค่าเท่ากัน ดังนี้ $\Phi_{jkh} = -\Phi_{jkh'} = \dots = (-1)^{K_{jh}^*+1} \Phi_{j12..K_{jh}^*}$ สำหรับ $k = 1, 2, \dots, K_{jh}^*, k' = 1, 2, \dots, K_{jh}^*-1$ และ $k'' > k', \dots, K_{jh}^*$ จึงทำให้เหลือเฉพาะพารามิเตอร์ Φ_{j0} และ Φ_{jkh}

นอกจากนี้ยังสามารถใช้โมเดล G-DINA, DINA และ DINO ในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบที่สร้างขึ้นสำหรับวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Ma et al., 2020) และใช้เป็นฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลในโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ จึงเรียกว่า โมเดล sequential bug-G-DINA, sequential bug-DINA และ sequential bug-DINO พารามิเตอร์ในฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลมีความหมาย ดังนี้ พารามิเตอร์จุดตัดแกน แสดงถึงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j สำหรับผู้สอบที่ไม่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่ใช้ในการตอบข้อสอบที่ j รายการคำตอบ h พารามิเตอร์อิทธิพลหลัก แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j เมื่อผู้สอบมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ k ส่วนพารามิเตอร์อิทธิพลปฏิสัมพันธ์ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j เมื่อผู้สอบมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่พิจารณาปฏิสัมพันธ์ โดยโมเดล bug-DINA และ bug-DINO มีรายละเอียดดังนี้ (Kuo et al., 2016)

โมเดล bug-DINA ใช้หลักการรวมคุณลักษณะแบบเชื่อมโยง (conjunctive condensation rule) จะแบ่งผู้สอบที่ตอบข้อสอบแต่ละข้อออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบข้อนั้น และผู้สอบที่ไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่มุ่งวัดโดยข้อสอบข้อนั้น โมเดล bug-DINA ให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ 2 ค่า ได้แก่ พารามิเตอร์ความสะเพร่า (s_j) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j จะตอบข้อสอบที่ j ผิด และพารามิเตอร์การเดา (g_j) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j ทุกคุณลักษณะ จะตอบข้อสอบที่ j ถูกต้อง โดยสามารถหาความน่าจะเป็นที่ผู้สอบที่ i จะต้องข้อสอบที่ j ถูกต้อง ได้ดังนี้

$$P(X_{ij} = 1 \mid \alpha_i) = (1 - s_j)^{1-\eta_{ij}} g_j \eta_{ij}$$

$$s_j = P(X_{ij} = 0 \mid \eta_{ij} = 0)$$

$$g_j = P(X_{ij} = 1 \mid \eta_{ij} = 1)$$

เมื่อ α_i คือ โปรไฟล์คุณลักษณะ หรือโปรไฟล์มีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้สอบที่ i

η_{ij} คือ สถานะการมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้สอบที่ i สำหรับข้อสอบที่ j หรือตัวแปรผลการตอบแฝง (latent response variable) หาได้จาก $\eta_{ij} = \prod_{k=1}^L \alpha_{ik}^{q_{jk}}$ โดย $\eta_{ij} = 1$ เมื่อผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j ส่วน $\eta_{ij} = 0$ เมื่อผู้สอบไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j

โมเดล bug-DINO ใช้หลักการรวมคุณลักษณะแบบไม่เชื่อมโยง (disjunctive condensation rule) จะแบ่งผู้สอบที่ตอบข้อสอบแต่ละข้อออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่มุ่งวัดโดยข้อสอบข้อนั้น และผู้สอบที่ไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบข้อนั้น โมเดล bug-DINO ให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ 2 ค่า ได้แก่ พารามิเตอร์ความสะเพร่า (s_j) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j จะตอบข้อสอบที่ j ผิด และพารามิเตอร์การเดา (g_j) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j อย่างน้อย 1 คุณลักษณะ จะตอบข้อสอบที่ j ถูกต้อง โดยสามารถหาความน่าจะเป็นที่ผู้สอบที่ i จะต้องข้อสอบที่ j ถูกต้อง ได้ดังนี้

$$P(X_{ij} = 1 | \beta_i) = (1 - s_j)^{1-r_{ij}} g_j^{r_{ij}}$$

$$s_j = P(X_{ij} = 0 | r_{ij} = 0)$$

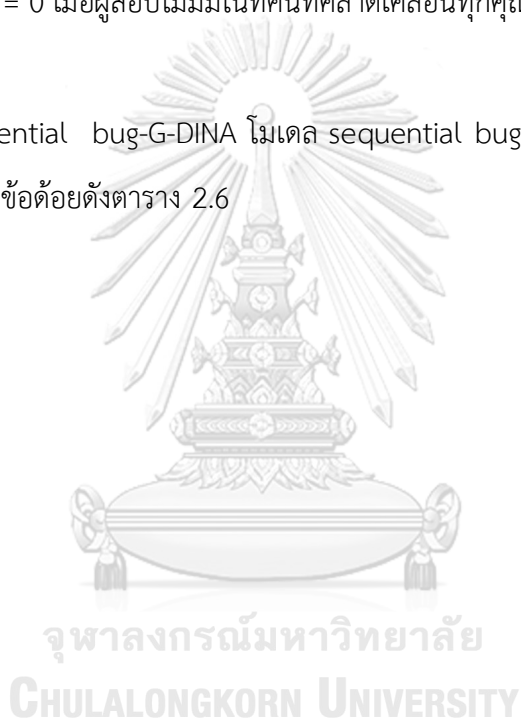
$$g_j = P(X_{ij} = 1 | r_{ij} = 1)$$

เมื่อ β_i คือ โปรไฟล์คุณลักษณะ หรือโปรไฟล์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้สอบที่ i

r_{ij} คือ สถานะการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้สอบที่ i สำหรับข้อสอบที่ j หาได้จาก

$r_{ij} = 1 - \prod_{l=1}^L (1 - \beta_{il})^{q_{jl}}$ โดย $r_{ij} = 1$ เมื่อผู้สอบมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j อย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ส่วน $r_{ij} = 0$ เมื่อผู้สอบไม่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบที่ j

โมเดล sequential bug-G-DINA โมเดล sequential bug-DINA และโมเดล sequential bug-DINO มีข้อดีและข้อด้อยดังตาราง 2.6



ตาราง 2.6

ข้อดีและข้อด้อยของโมเดล sequential bug-G-DINA, sequential bug-DINA และ sequential bug-DINO

โมเดล	ข้อดี	ข้อด้อย
sequential bug-G-DINA	<ol style="list-style-type: none"> 1. เป็นกรอบโมเดล แบ่งผู้สอบที่ตอบข้อสอบแต่ละข้อในแต่ละรายการคำตอบออกเป็น $2^{K_{jh}^*}$ กลุ่ม เมื่อ K_{jh}^* คือ คุณลักษณะที่ใช้ในการตอบข้อสอบที่ j สำหรับรายการคำตอบ h ซึ่งเป็นการผ่อนคลายข้อตกลงเบื้องต้นของโมเดลย่อย (sub model) โดยถือว่าผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่แตกต่างกันจะมีความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบถูกต้องแตกต่างกัน ทำให้จำแนกความแตกต่างระหว่างผู้สอบได้มากขึ้น 2. ไม่มีการบังคับค่าพารามิเตอร์ข้อสอบให้มีค่าเท่ากันทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดในแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ นั่นคือ มีการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบจำแนกตามคุณลักษณะที่มุ่งวัดในแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ 3. สามารถบังคับค่าพารามิเตอร์ข้อสอบเพื่อให้ได้โมเดลย่อยสำหรับการเปรียบเทียบความสอดคล้องของแต่ละโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. โมเดลมีความซับซ้อน จึงต้องการตัวอย่างวิจัยขนาดใหญ่ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ 2. มีจำนวนพารามิเตอร์ข้อสอบที่ต้องประมาณค่ามาก หากคุณลักษณะที่มุ่งวัดในแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อมีจำนวนมาก โดยให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ 4 ประเภท ได้แก่ พารามิเตอร์จุดตัดแกน พารามิเตอร์อิทธิพลหลัก พารามิเตอร์อิทธิพลปฏิสัมพันธ์สองทาง และพารามิเตอร์อิทธิพลปฏิสัมพันธ์หลายทาง

ตาราง 2.6 (ต่อ)

โมเดล	ข้อดี	ข้อด้อย
sequential bug-DINA	<p>1. เป็นโมเดลที่ไม่ซับซ้อน หรือเป็นโมเดลที่มีความคุ้มค่า (parsimonious) ซึ่งให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ 2 ค่า ได้แก่ พารามิเตอร์ความสะเพร่า และ พารามิเตอร์การเดา โดยจำนวนพารามิเตอร์ไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนคุณลักษณะที่ใช้ในการตอบข้อสอบในแต่ละรายการคำตอบ</p> <p>2. ใช้ตัวอย่างวิจัยน้อยกว่าโมเดล sequential bug-G-DINA</p>	<p>1. เป็นโมเดลที่จำกัด (restrictive) ที่มีหลักการรวมคุณลักษณะแบบเชื่อมโยง (conjunctive condensation rule) โดยแบ่งผู้สอบที่ตอบข้อสอบแต่ละข้อในแต่ละรายการคำตอบออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดในรายการคำตอบของข้อสอบข้อนั้น และ (2) ผู้สอบที่ไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะที่มุ่งวัดในรายการคำตอบของข้อสอบข้อนั้น นั่นคือ ผู้สอบที่ไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 1 คุณลักษณะ หรือหลายคุณลักษณะมีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบในแต่ละรายการคำตอบได้ถูกต้องเท่ากัน</p> <p>2. บังคับค่าพารามิเตอร์ข้อสอบให้มีค่าเท่ากันทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดในแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ</p>
sequential bug-DINO	<p>1. เป็นโมเดลที่ไม่ซับซ้อน หรือเป็นโมเดลที่มีความคุ้มค่า (parsimonious) ซึ่งให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ 2 ค่า ได้แก่ พารามิเตอร์ความสะเพร่า และ พารามิเตอร์การเดา โดยจำนวนพารามิเตอร์ไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนคุณลักษณะที่ใช้ในการตอบข้อสอบในแต่ละรายการคำตอบ</p> <p>2. ใช้ตัวอย่างวิจัยน้อยกว่าโมเดล sequential bug-G-DINA</p>	<p>1. เป็นโมเดลที่จำกัด (restrictive) ที่มีหลักการรวมคุณลักษณะแบบไม่เชื่อมโยง (disjunctive condensation rule) โดยแบ่งผู้สอบที่ตอบข้อสอบแต่ละข้อในแต่ละรายการคำตอบออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะที่มุ่งวัดในรายการคำตอบของข้อสอบข้อนั้น นั่นคือ ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 1 คุณลักษณะ หรือหลายคุณลักษณะมีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบในแต่ละรายการคำตอบได้ถูกต้องเท่ากัน และ (2) ผู้สอบที่ไม่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดในรายการคำตอบของข้อสอบข้อนั้น</p> <p>2. บังคับค่าพารามิเตอร์ข้อสอบให้มีค่าเท่ากันทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดในแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ</p>

การสร้างเมทริกซ์คิวสำหรับโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ

การสร้างเมทริกซ์คิวสำหรับโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่มีการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า จะสร้างเมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบ (category) หรือเรียกว่า Q_C -matrix โดยแถวของเมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบ คือ รายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ โดยไม่รวมรายการคำตอบ 0 เนื่องจากผู้สอบไม่ได้ใช้คุณลักษณะต่างๆ ในการตอบข้อสอบ ส่วนหลัก คือ คุณลักษณะ ในเมทริกซ์ประกอบด้วยตัวเลข 0 และ 1 โดย 0 หมายถึง ไม่ต้องใช้คุณลักษณะที่ K ในการตอบข้อสอบสำหรับรายการคำตอบ H ในข้อสอบที่ i ให้ถูกต้อง ส่วน 1 หมายถึง ต้องใช้คุณลักษณะที่ K ในการตอบข้อสอบสำหรับรายการคำตอบ H ในข้อสอบที่ i ให้ถูกต้อง

เมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบมี 2 ประเภท ได้แก่ (1) เมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบจำกัด (restricted Q_C -matrix) และ (2) เมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัด (unrestricted Q_C -matrix) การสร้างเมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบจำกัดจะต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะและรายการคำตอบ ซึ่งแต่ละคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อวัดคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับรายการคำตอบนั้นๆ ดังตัวอย่างในตาราง 2.7 หากไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะและรายการคำตอบ สามารถตีความได้ว่าคุณลักษณะทั้งหมดที่ใช้ในการตอบข้อสอบที่ i จะใช้ในการตอบข้อสอบทุกรายการคำตอบเช่นเดียวกันซึ่งเป็นการสร้างเมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัด (Ma & de la Torre, 2016) ดังตัวอย่างในตาราง 2.8

ตาราง 2.7

ตัวอย่าง restricted Q_C -matrix

ข้อสอบ	รายการคำตอบ	A1	A2	A3	A4	A5
1	1	1	0	1	0	0
1	2	0	1	0	0	0
2	1	0	0	1	0	0
2	2	0	0	0	1	0
3	1	0	0	1	1	1
3	2	1	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	1
4	2	0	1	1	1	0
5	1	1	0	1	0	0
5	2	0	1	0	0	0

ตาราง 2.8

ตัวอย่าง *unrestricted Q_C-matrix*

ข้อสอบ	รายการคำตอบ	A1	A2	A3	A4	A5
1	1	1	1	1	0	0
1	2	1	1	1	0	0
2	1	0	0	1	1	0
2	2	0	0	1	1	0
3	1	1	0	1	1	1
3	2	1	0	1	1	1
4	1	0	1	1	1	1
4	2	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	0	0
5	2	1	1	1	0	0

2.6 การออกแบบการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

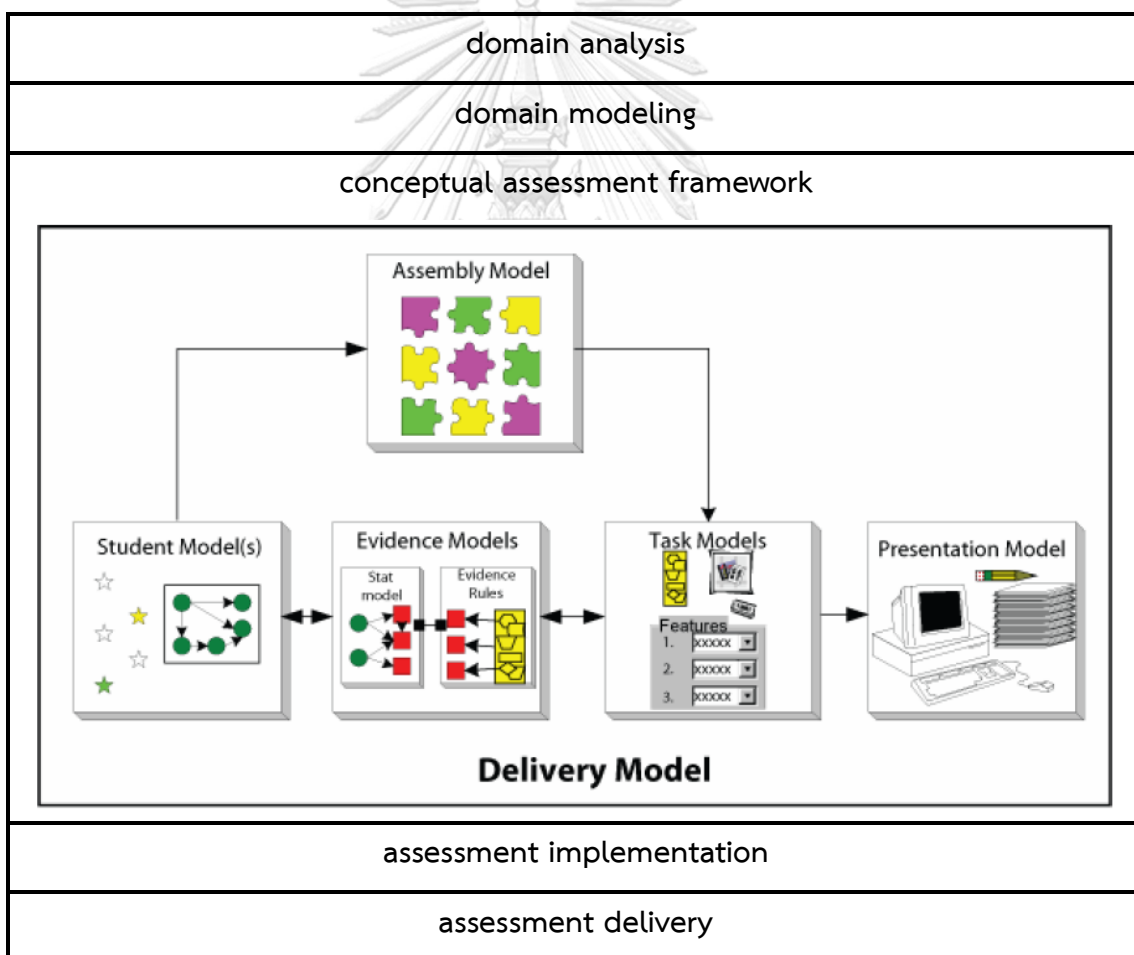
2.6.1 กรอบแนวคิดสำหรับการออกแบบการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

กรอบแนวคิดสำคัญสำหรับการออกแบบการประเมินอย่างมีหลักการที่สามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา ได้แก่ กรอบแนวคิดระบบการออกแบบเชิงพุทธิปัญญา (cognitive design system framework) เสนอโดย Embretson ในปี ค.ศ.1994 และกรอบแนวคิดการออกแบบโดยใช้หลักฐานเป็นศูนย์กลาง (evidence-centered design framework) เสนอโดย Mislevy, Steinberg และ Almond ในปี ค.ศ.2003 ทั้งนี้ กรอบแนวคิดการออกแบบโดยใช้หลักฐานเป็นศูนย์กลางเป็นกรอบแนวคิดที่มีผู้ประยุกต์ใช้ในการออกแบบการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญามากที่สุด อีกทั้งยังมุ่งรวบรวมหลักฐานจากหลากหลายแหล่ง พร้อมทั้งแสดงความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบในการประเมิน ซึ่งช่วยรวบรวมหลักฐานเพื่อสนับสนุนความตรงของการประเมิน ผู้วิจัยจึงขอเสนอรายละเอียดของกรอบแนวคิดการออกแบบโดยใช้หลักฐานเป็นศูนย์กลาง ดังนี้ (Mislevy et al., 2003; Mislevy & Riconscente, 2005; Rupp et al., 2010)

กรอบแนวคิดการออกแบบโดยใช้หลักฐานเป็นศูนย์กลางเป็นแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบการประเมินทางการศึกษาโดยรวบรวมหลักฐานที่สอดคล้องกับความรู้ที่อยู่เบื้องหลังและเป้าหมาย

ของการประเมิน โดยมีแนวคิดสำคัญ คือ ผู้ออกแบบการประเมินจะต้องออกแบบภาระงานที่ช่วยเปิดเผยพฤติกรรมให้มากที่สุด เพื่อสะท้อนถึงโครงสร้างทางความคิดของนักเรียน ซึ่งกระตุ้นให้ผู้ออกแบบการประเมินแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบการประเมินที่ชัดเจน

กรอบแนวคิดการออกแบบโดยใช้หลักฐานเป็นศูนย์กลางแบ่งเป็น 5 ชั้น ได้แก่ (1) การวิเคราะห์สิ่งที่ต้องการประเมิน (domain analysis) (2) การสร้างโมเดลสิ่งที่ต้องการประเมิน (domain modeling) (3) กรอบการประเมิน (conceptual assessment framework) (4) การลงมือประเมิน (assessment implementation) และ (5) กระบวนการประเมิน (assessment delivery) โดยแต่ละชั้นมีความสัมพันธ์ดังภาพ 2.7



ภาพ 2.7 กรอบแนวคิดการออกแบบโดยใช้หลักฐานเป็นศูนย์กลาง

(ปรับปรุงจาก Mislevy & Riconscente, 2005)

การวิเคราะห์สิ่งที่ต้องการประเมินเกี่ยวข้องกับการรวบรวมสารสนเทศที่สำคัญเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการประเมิน ได้แก่ เนื้อหา มโนทัศน์ คำศัพท์ เครื่องมือ และพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออก รวมถึงการวิเคราะห์กระบวนการคิดเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการประเมินของนักเรียน พร้อมทั้งระบุคุณลักษณะที่นักเรียนใช้ในกระบวนการคิด ส่วนการสร้างโมเดลสิ่งที่ต้องการประเมินเกี่ยวข้องกับการนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สิ่งที่ต้องการประเมินมาจัดโครงสร้างอย่างเป็นระบบโดยแสดงความเชื่อมโยงระหว่างการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนในสถานการณ์ต่างๆ กับการสรุปอ้างอิงความสามารถของนักเรียนซึ่งบรรยายเกี่ยวกับสมรรถนะของสิ่งที่ต้องการประเมิน หลักฐานที่ต้องการใช้และวิธีการในการเก็บรวบรวมข้อมูล

กรอบการประเมินเกี่ยวข้องกับการให้รายละเอียดและการระบุกลไกในการประเมินซึ่งถือว่าเป็นพิมพ์เขียว (blueprint) ในการออกแบบการประเมินโดยเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานเชิงประจักษ์ สถิติ และการปฏิบัติ กรอบการประเมิน แบ่งเป็น 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) โมเดลนักเรียน (student model) (2) โมเดลภาระงาน (task model) (3) โมเดลหลักฐาน (evidence model) (4) โมเดลความเชื่อมโยง (assembly model) (5) โมเดลการนำเสนอ (presentation model) และ (6) โมเดลภาพรวม (delivery model) ดังภาพ 2.7

โมเดลนักเรียนเป็นการสร้างโครงสร้างทางความคิดของนักเรียนตามสมมติฐานสำหรับภาระงานต่างๆ โดยได้รับการกระตุ้นจากทฤษฎีการเรียนรู้ที่อยู่เบื้องหลังการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาโดยเกี่ยวข้องกับการระบุคุณลักษณะที่ต้องการประเมิน ความสัมพันธ์ของคุณลักษณะที่ต้องการประเมิน รวมทั้งความถี่ (grain size) ของการประเมินที่สอดคล้องกับเป้าหมายการประเมิน

โมเดลภาระงานเป็นการระบุลักษณะเฉพาะของภาระงาน และสถานการณ์ที่นักเรียนจะต้องปฏิบัติ นั่นคือ เป็นการระบุเงื่อนไข และรูปแบบในการเก็บรวบรวมข้อมูล

โมเดลหลักฐานเป็นการระบุความเชื่อมโยงระหว่างโมเดลนักเรียน และโมเดลภาระงาน โดยแบ่งเป็น 2 องค์ประกอบ ได้แก่ การประเมิน (evaluation component) และโมเดลการวัด (measurement model) โดยการประเมินเป็นการระบุพฤติกรรมของนักเรียนเมื่อได้รับภาระงานเกณฑ์การให้คะแนน และกระบวนการประเมินพฤติกรรมนักเรียน ส่วนโมเดลการวัดให้สารสนเทศเกี่ยวกับความเชื่อมโยงระหว่างโมเดลนักเรียนกับข้อมูลที่เก็บรวบรวม นั่นคือ การเลือกใช้โมเดลการวิเคราะห์ข้อมูลที่เหมาะสมกับตัวแปรแฝง และตัวแปรสังเกตได้

โมเดลความเชื่อมโยงเป็นการระบุความเชื่อมโยงระหว่างโมเดลนักเรียน โมเดลหลักฐาน และโมเดลภาระงาน นั่นคือ เป็นการให้รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการรวมองค์ประกอบต่างๆ เพื่อตอบคำถามการประเมิน

โมเดลการนำเสนอเป็นการระบุวิธีการนำเสนอภาระงานให้นักเรียน เช่น การทดสอบ โดยการใช้การเขียนตอบ และการทดสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์

โมเดลภาพรวมเป็นการระบุความเชื่อมโยงระหว่างโมเดลนักเรียน โมเดลภาระงาน โมเดลหลักฐาน โมเดลความเชื่อมโยง และโมเดลการนำเสนอ ในการประเมิน

การลงมือประเมินเกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยเสนอภาระงานให้นักเรียน เพื่อเก็บรวบรวมผลการตอบของนักเรียนไปวิเคราะห์ผลโดยอาศัยข้อมูลจากการออกแบบการประเมิน ที่พิจารณาเป็นอย่างดี

กระบวนการประเมินระบุถึงกระบวนการในการประเมิน ซึ่งมี 4 กระบวนการ ได้แก่ (1) กระบวนการนำเสนอภาระงาน (2) กระบวนการตรวจคำตอบ (3) กระบวนการสรุปผลการตรวจให้คะแนน และ (4) กระบวนการคัดเลือกภาระงาน

กระบวนการนำเสนอภาระงานเป็นการนำเสนอภาระงานและเอกสารเพิ่มเติมให้นักเรียน เพื่อรวบรวมผลการปฏิบัติของนักเรียน กระบวนการตรวจคำตอบเป็นการระบุประเด็นในการประเมิน และวิธีการในการประเมินนักเรียน กระบวนการสรุปผลการตรวจให้คะแนนเป็นการรวมคะแนนจากส่วนต่างๆ อาจแยกตามหัวข้อ หรือสรุปคะแนนในภาพรวม และกระบวนการคัดเลือกภาระงานเป็นการพิจารณาเลือกภาระงานถัดไปให้นักเรียน หรือตัดสินใจหยุดการประเมินโดยอาศัยข้อมูลจากกระบวนการสรุปผลการตรวจให้คะแนน

2.6.2 วิธีการออกแบบการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

การออกแบบการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา แบ่งเป็น 2 วิธี ได้แก่ การออกแบบโดยใช้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา และการออกแบบโดยไม่ใช้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (Javidanmehr & Sarab, 2017; Liu et al., 2018)

1) การออกแบบโดยใช้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

การออกแบบโดยใช้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาเป็นการออกแบบการประเมินโดยใช้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาตั้งแต่การกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการวัด

จนกระทั่งการรายงานผลการประเมิน รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.6.3 ขั้นตอนการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

2) การออกแบบโดยไม่ใช้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

การออกแบบโดยไม่ใช้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาเป็นการนำผลการทดสอบจากแบบสอบที่สร้างไว้แล้วภายใต้กรอบแนวคิดอื่นไม่ว่าจะเป็นทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิมหรือทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบมาสังกัดคุณลักษณะที่อนุมานได้ว่าวัดโดยแบบสอบดังกล่าว ซึ่งอาจจะใช้วิธีการคิดออกเสียง (think-aloud protocols) หรือการตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อนำมาสร้างเมทริกซ์คิว และเลือกใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อรายงานความรอบรู้ในคุณลักษณะของนักเรียน กระบวนการข้างต้นเรียกว่า การแปลงข้อมูล (retrofitting)

กระบวนการแปลงข้อมูลช่วยเพิ่มสารสนเทศเชิงวินิจัยเกี่ยวกับนักเรียนให้แก่ข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ภายใต้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา และประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบการทดสอบใหม่ อย่างไรก็ตาม การแปลงข้อมูลมีข้อด้อย 3 ประการ ได้แก่ (1) ขาดทฤษฎีทางพุทธิปัญญาในการสนับสนุนการระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัด (2) แบบสอบที่มีลักษณะเป็นเอกมิติขาดการให้ข้อมูลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาแบบพหุมิติ และ (3) บางคุณลักษณะมีข้อสอบที่วัดไม่เพียงพอจึงทำให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือต่ำ สาเหตุที่เกิดปัญหาดังกล่าวเนื่องจากการไม่มีการออกแบบการประเมินตามแนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาไว้ล่วงหน้า

2.6.3 ขั้นตอนการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญามีขั้นตอนในการประเมิน 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) กำหนดเป้าหมายในการประเมิน (2) ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะที่มุ่งวัด (3) สร้างและตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิว (4) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา และ (5) รายงานผลการประเมิน ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิดการออกแบบโดยใช้หลักฐานเป็นศูนย์กลาง นั่นคือเป็นการประยุกต์องค์ประกอบในกรอบแนวคิดมาใช้ในการบริบทของการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้ (DiBello et al., 2007; Javidanmehr & Sarab, 2017; Lee & Sawaki, 2009)

1) กำหนดเป้าหมายในการประเมิน

ผู้ประเมินจะต้องกำหนดเป้าหมายในการประเมินที่ชัดเจน และสามารถอธิบายคุณลักษณะที่มุ่งวัดได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้จะต้องระบุจำนวนคุณลักษณะที่มุ่งวัด และจำนวนระดับของความรอบรู้

ในคุณลักษณะ ซึ่งอาจกำหนดเป็น 2 ระดับ เช่น รอบรู้ และไม่รอบรู้ หรือกำหนดมากกว่า 2 ระดับ เช่น ไม่รอบรู้ รอบรู้บางส่วน และรอบรู้สมบูรณ์

2) ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะที่มุ่งวัด

ผู้ประเมินจะต้องระบุรายละเอียดของคุณลักษณะ ความลึกของคุณลักษณะ (grain-size) รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะหรือลำดับชั้นคุณลักษณะโดยใช้ทฤษฎีและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องในการกำหนด ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดลักษณะเฉพาะของคุณลักษณะ (attribute specification) หรือเรียกว่า โมเดลพุทธิปัญญา (cognitive model) เป็นโมเดลที่แสดงโครงสร้างความคิด และกระบวนการที่นักเรียนใช้ในการตอบข้อสอบ โดยรายละเอียดที่กำหนดจะต้องสอดคล้องกับจิตวิทยาการรู้คิด หลักการวัดทางการศึกษา เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และเป้าหมายในการประเมิน โมเดลพุทธิปัญญามีลักษณะ 4 ประการ ได้แก่ (1) โมเดลประกอบด้วยคุณลักษณะที่มีการระบุอย่างละเอียด และมีความเฉพาะเจาะจง (fine grain size) ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องใช้ในการทำแบบสอบ (2) คุณลักษณะในโมเดลสามารถวัดค่าได้ (measurable) โดยจะต้องมีการระบุรายละเอียดของคุณลักษณะที่ทำให้สามารถสร้างข้อสอบเพื่อวัดคุณลักษณะได้ (3) คุณลักษณะสอดคล้องกับการเรียนการสอน (instructionally relevant) และมีความหมาย สำหรับใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนการสอน และ (4) โมเดลสะท้อนถึงลำดับชั้นของคุณลักษณะ (hierarchy of ordered skills; Gierl et al., 2010) ทั้งนี้ ในการทดสอบควรมีคุณลักษณะไม่เกิน 10 คุณลักษณะ เพื่อให้การประมาณค่าพารามิเตอร์มีความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนต่ำ อีกทั้งควรมีข้อสอบที่วัดแต่ละคุณลักษณะไม่ต่ำกว่า 3 ข้อ เพื่อให้สามารถแปลผลการทดสอบได้อย่างน่าเชื่อถือ และควรมีข้อสอบที่วัดคุณลักษณะ จำนวน 1 คุณลักษณะ เนื่องจากจะทำให้แบบสอบมีความตรงในการจำแนกสูง ในการสร้างข้อสอบสามารถสร้างมากกว่า $2^A - 1$ ข้อ ซึ่งข้อสอบที่วัดคุณลักษณะเหมือนกันควรมีคุณลักษณะต่างกัน เช่น ความยาก และอำนาจจำแนก อย่างไรก็ตาม ไม่จำเป็นต้องสร้างข้อสอบที่วัดผลรวมของคุณลักษณะที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งการประเมินส่วนใหญ่ นั้น ข้อสอบ 1 ข้อ วัดไม่เกิน 3 คุณลักษณะ นอกจากนี้ยังพบว่าโมเดลที่มีคุณลักษณะจำนวนมาก หรือมีจำนวนคุณลักษณะเฉลี่ยต่อข้อสอบมากมีแนวโน้มที่จะมีความคลาดเคลื่อนมาก ดังนั้น เพื่อความแม่นยำในการประมาณค่าควรมีคุณลักษณะต่อข้อสอบไม่มากจนเกินไป อีกทั้งจะต้องพิจารณาว่าคุณลักษณะมีการรวมกันแบบทดแทนได้ หรือทดแทนไม่ได้ ซึ่งรายละเอียดที่กำหนดไว้จะเป็นพื้นฐานในการสร้างเมทริกซ์คิว และเลือกโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาในการวิเคราะห์ข้อมูล

การพัฒนาและตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญา (cognitive model) แบ่งเป็น 3 วิธี ได้แก่ (1) การรายงานทางวาจา (verbal reports) และการศึกษาการสื่อสาร (protocol studies) (2) การศึกษาการติดตามสายตา (eye-tracking studies) และ (3) การตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียด ดังนี้ (Gorin, 2007; Rupp et al., 2010)

(1) การรายงานทางวาจา (verbal reports) และการศึกษาการสื่อสาร (protocol studies)

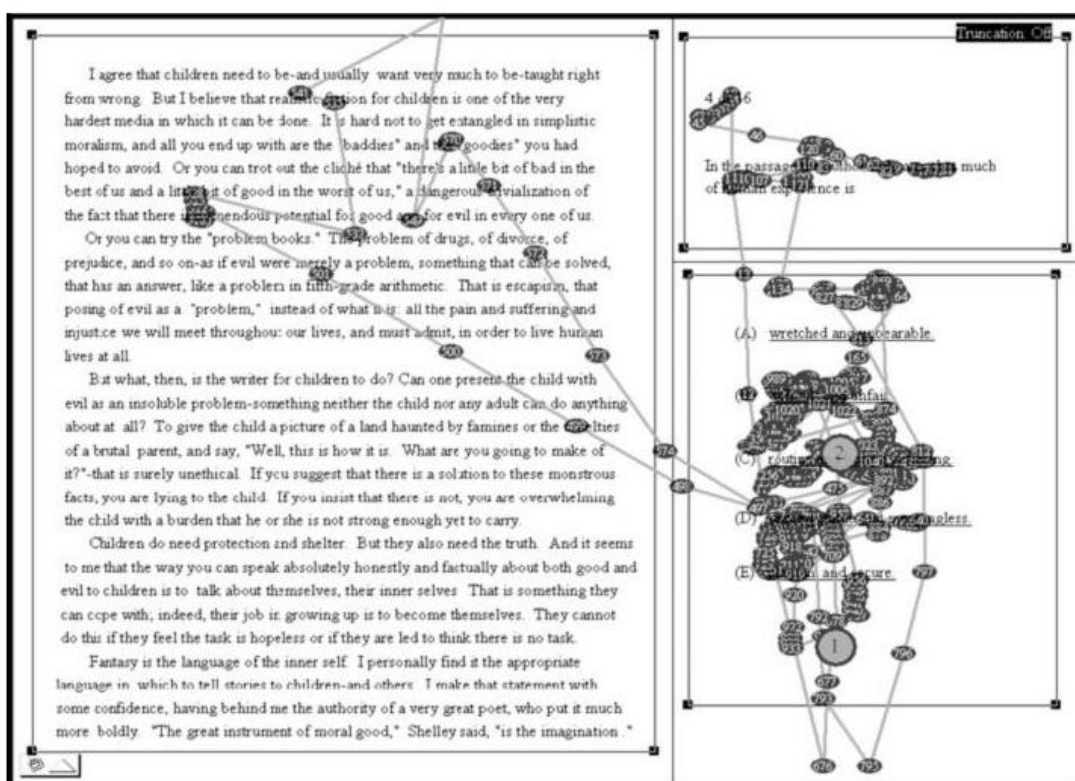
วิธีการสำคัญที่ใช้ในการยืนยันสมมติฐานเกี่ยวกับกระบวนการตอบคำถามทางพุทธิปัญญาของนักเรียนตามโมเดลพุทธิปัญญาที่สร้างมาจากทฤษฎีและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง คือ การรายงานทางวาจา (verbal reports) และการศึกษาการสื่อสาร (protocol studies) โดยทั้ง 2 วิธี จะต้องใช้ข้อสอบที่ต้องการตรวจสอบไปทดลองใช้กับตัวอย่างวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกับประชากรวิจัยเพื่อพิจารณาความคิดที่ตัวอย่างวิจัยใช้ในการตอบข้อสอบโดยให้นักเรียนคิดออกเสียง (think aloud) ซึ่งสามารถดำเนินการได้ทั้งระหว่างการทำข้อสอบ (concurrent reports) หรือหลังจากการทำข้อสอบ (retrospective reports)

ความแตกต่างที่สำคัญของทั้ง 2 วิธี คือ การรายงานทางวาจาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกลยุทธ์ในการตอบคำถาม และกระบวนการในการใช้ความรู้บนพื้นฐานของการแก้โจทย์ปัญหาสำหรับข้อสอบที่มีกระบวนการหาคำตอบหลายวิธี ส่วนการศึกษาการสื่อสารใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกลยุทธ์ในการตอบคำถาม และกระบวนการใช้หลักการบนพื้นฐานของการแก้โจทย์ปัญหาสำหรับข้อสอบที่มีวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงเส้นตรง นอกจากนี้ การศึกษาการสื่อสารยังเป็นวิธีการเชิงยืนยันเพื่อตรวจสอบความตรง ส่วนการรายงานทางวาจาเป็นวิธีการเชิงสำรวจสำหรับการตรวจสอบความตรง

(2) การศึกษาการติดตามสายตา (eye-tracking studies)

การศึกษาการติดตามสายตาเหมาะสำหรับการประเมินที่มีข้อมูลให้กับนักเรียนหลายส่วนซึ่งนักเรียนจะต้องเลือกใช้ข้อมูลเหล่านั้น โดยใช้เทคนิคการสร้างภาพเพื่อติดตามการมองของนักเรียนที่สวมอุปกรณ์บนศีรษะที่ติดกล้องซึ่งปรับให้เหมาะกับนักเรียนแต่ละคน อย่างไรก็ตาม การศึกษาการติดตามสายตาไม่สามารถดำเนินการในการทดสอบขนาดใหญ่ได้ และใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับวิธีการเชิงคุณภาพ ได้แก่ การรายงานทางวาจา (verbal reports) และการศึกษาการสื่อสาร (protocol studies) และวิธีการเชิงปริมาณ ได้แก่ เวลาในการตอบคำถาม และผลการตอบคำถาม

โดยมีตัวอย่างหน้าจอที่แสดงผลการติดตามสายตาของนักเรียนขณะทำข้อสอบดังภาพ 2.8 ซึ่งวงกลมที่มีตัวเลขภายใน หมายถึง ลำดับการจ้องมองของนักเรียน ส่วนวงกลมขนาดใหญ่ 2 วง หมายถึง การคลิกเมาส์ครั้งแรกเมื่อแสดงหน้าจอคำถาม (1) และการคลิกเมาส์เพื่อเลือกคำตอบ (2) อย่างไรก็ตาม การศึกษาการติดตามสายตาไม่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการคิดของนักเรียน แต่ให้เพียงหลักฐานทางอ้อมเกี่ยวกับกระบวนการตอบคำถามเชิงพุทธิปัญญา



ภาพ 2.8 หน้าจอที่แสดงผลการติดตามสายตาของนักเรียนขณะทำข้อสอบ (Gorin, 2007)

(3) การตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญ

การตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญเป็นการให้ผู้เชี่ยวชาญอธิบายเกี่ยวกับกระบวนการตอบคำถามเชิงพุทธิปัญญาบนพื้นฐานของผลการวิจัย และประสบการณ์ส่วนตัวจากเมทริกซ์คิวที่น่าเสนอ โดยคณะผู้เชี่ยวชาญจะต้องมีความรู้ที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับความน่าจะเป็นในกระบวนการตอบคำถามในเรื่องดังกล่าว เส้นทางในการพัฒนาคุณลักษณะ และบริบทที่นักเรียนต้องการใช้คุณลักษณะต่างๆ

3) สร้างและตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิว

หลังจากการระบุนายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะที่มุ่งวัด ขึ้นต่อมา คือ การสร้างเมทริกซ์คิวชั่วคราว (tentative Q-Matrix) ซึ่งเป็นการระบุนความสัมพันธ์ระหว่างข้อสอบและคุณลักษณะ นั่นคือระบุว่าข้อสอบแต่ละข้อวัดคุณลักษณะใดบ้าง โดยข้อสอบ 1 ข้อ อาจวัดเพียง 1 คุณลักษณะ หรือมากกว่า 1 คุณลักษณะ ก็ได้ จากนั้นจึงให้ผู้เชี่ยวชาญตัดสินความถูกต้องและความเหมาะสมของเมทริกซ์คิวที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งปรับปรุงเมทริกซ์คิวตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ หลังจากนั้นจึงดำเนินการสร้างข้อสอบตามเมทริกซ์คิว จากนั้นจึงตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวชั่วคราว เนื่องจากการกำหนดเมทริกซ์คิวที่ผิด (Q-matrix misspecification) จะส่งผลต่อความแม่นยำในการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ รวมทั้งความแม่นยำในการจำแนกผู้สอบตามโปรไฟล์คุณลักษณะ (Rupp & Templin, 2008a)

การกำหนดเมทริกซ์คิวที่ผิด (Q-matrix misspecification) อาจเกิดขึ้นในระดับคุณลักษณะหรือข้อสอบ โดยการกำหนดเมทริกซ์คิวที่ผิดในระดับคุณลักษณะเป็นนิยามคุณลักษณะที่ไม่เหมาะสมวิธีการแก้ปัญหา คือ นิยามคุณลักษณะใหม่พร้อมทั้งปรับปรุงเมทริกซ์คิว ส่วนการกำหนดเมทริกซ์คิวที่ผิดระดับข้อสอบเป็นการกำหนดค่า 1 และ 0 ในเมทริกซ์คิวไม่ถูกต้อง โดยแบ่งเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ (1) ระบุต่ำกว่าความเป็นจริง (underspecified) โดยกำหนดค่าเป็น 0 ซึ่งความเป็นจริงควรกำหนดเป็น 1 นั่นคือ ข้อสอบข้อดังกล่าวต้องใช้คุณลักษณะนั้นในการตอบข้อสอบให้ถูกต้อง (2) การระบุเกินกว่าความเป็นจริง (overspecified) เป็นการกำหนดค่าเป็น 1 ซึ่งความเป็นจริงควรกำหนดเป็น 0 นั่นคือ ข้อสอบข้อดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้คุณลักษณะนั้นในการตอบข้อสอบให้ถูกต้อง และ (3) การระบุทั้งต่ำกว่าและเกินกว่าความเป็นจริง เป็นความผิดพลาดที่ผสมระหว่างการระบุต่ำกว่าความเป็นจริงและการระบุเกินกว่าความเป็นจริง โดยการกำหนดเมทริกซ์คิวที่ผิดเป็นสาเหตุหนึ่งของความไม่สอดคล้องระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (Chen, 2017; Chen et al., 2013)

การตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวดำเนินการได้ 3 วิธี คือ (1) วิธีการคิดออกเสียง ดำเนินการโดยนำข้อสอบที่สร้างตามเมทริกซ์คิวชั่วคราวไปทดลองใช้กับนักเรียน และให้นักเรียนคิดออกเสียงขณะทำข้อสอบเพื่อพิจารณาว่านักเรียนใช้คุณลักษณะใดบ้างในการตอบข้อสอบ เพื่อนำข้อมูลมาปรับแก้เมทริกซ์คิวชั่วคราว (2) การตัดสินโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าข้อสอบแต่ละข้อจำเป็นต้องใช้คุณลักษณะใดบ้างในการตอบข้อสอบให้ถูกต้อง แล้วนำผลการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญมาปรับแก้เมทริกซ์คิวชั่วคราว และ (3) การพิจารณาจากผลการวิเคราะห์โดยใช้โมเดล

เชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา กล่าวคือ โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาให้ผลการวิเคราะห์ที่ระบุถึง การกำหนดเมทริกซ์คิวที่ผิด ผู้ประเมินจึงสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปปรับปรุงเมทริกซ์คิวโดยอาศัย คำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาจนกระทั่งได้เมทริกซ์คิวที่สมบูรณ์

ความตรงของการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาขึ้นอยู่กับการสร้างเมทริกซ์คิวเป็นสำคัญ จึงมีผู้พัฒนาวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวสำหรับทั้งโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา แบบตรวจให้คะแนน 2 ค่า และโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาแบบตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า ทั้งนี้ Ma และ de la Torre (2020) ได้พัฒนาวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น (stepwise Q-matrix validation method) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวสำหรับ โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ (sequential process model) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้นจะดำเนินการตรวจสอบความตรง ของเมทริกซ์คิวทีละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ ซึ่งเริ่มต้นจากเลือกคุณลักษณะที่จำเป็น โดยพิจารณาจากค่า PVAF (proportion of variance accounted for) ซึ่งเป็นความแปรปรวนของ ความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบถูกต้องที่เวกเตอร์คิวสามารถอธิบายได้เมื่อเทียบกับเวกเตอร์คิวที่มี คุณลักษณะทั้งหมด โดยเวกเตอร์คิวที่มีค่า PVAF สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แต่มีคุณลักษณะที่จำเป็น น้อยกว่าถือว่าเป็นเวกเตอร์คิวที่ต้อง จากนั้นเลือกคุณลักษณะที่จำเป็นถัดไปโดยพิจารณาทั้งค่า PVAF และ Wald test โดยแบ่งกระบวนการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเลือกคุณลักษณะที่จำเป็น

เวกเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวมีดังนี้

Ω คือ เซตของคุณลักษณะทั้งหมด K คุณลักษณะ โดย $\Omega = \{1, 2, \dots, K\}$

A คือ เซตของคุณลักษณะที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับรายการคำตอบ h ของข้อสอบที่ j

B คือ เซตของคุณลักษณะเป้าหมายที่ต้องการตรวจสอบ โดย $B = \Omega \setminus A$

C คือ คลังค้นหาเวกเตอร์คิว (q-vector; q_{jh} ในเมทริกซ์คิว)

เริ่มต้นกระบวนการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยการกำหนดให้ A เป็นเซตว่าง ส่วน $B = \{1, 2, \dots, K\}$ และ C เป็นเวกเตอร์คิวแข่งขันสำหรับคุณลักษณะเดียว จากนั้น แทนที่เวกเตอร์คิวที่ต้องตรวจสอบความตรงด้วยเวกเตอร์คิวแข่งขันแต่ละเวกเตอร์ พร้อมทั้งคำนวณ ค่า PVAF โดยกำหนดให้คุณลักษณะเป้าหมายในเวกเตอร์คิวแข่งขันที่มีค่า PVAF สูงที่สุด เป็นคุณลักษณะจำเป็น k' หลังจากนั้นจึงปรับ $A = \{k'\}$ และ $B = \Omega \setminus A$

ขั้นตอนที่ 2 การหาเวกเตอร์คิ่วที่เหมาะสมที่สุด

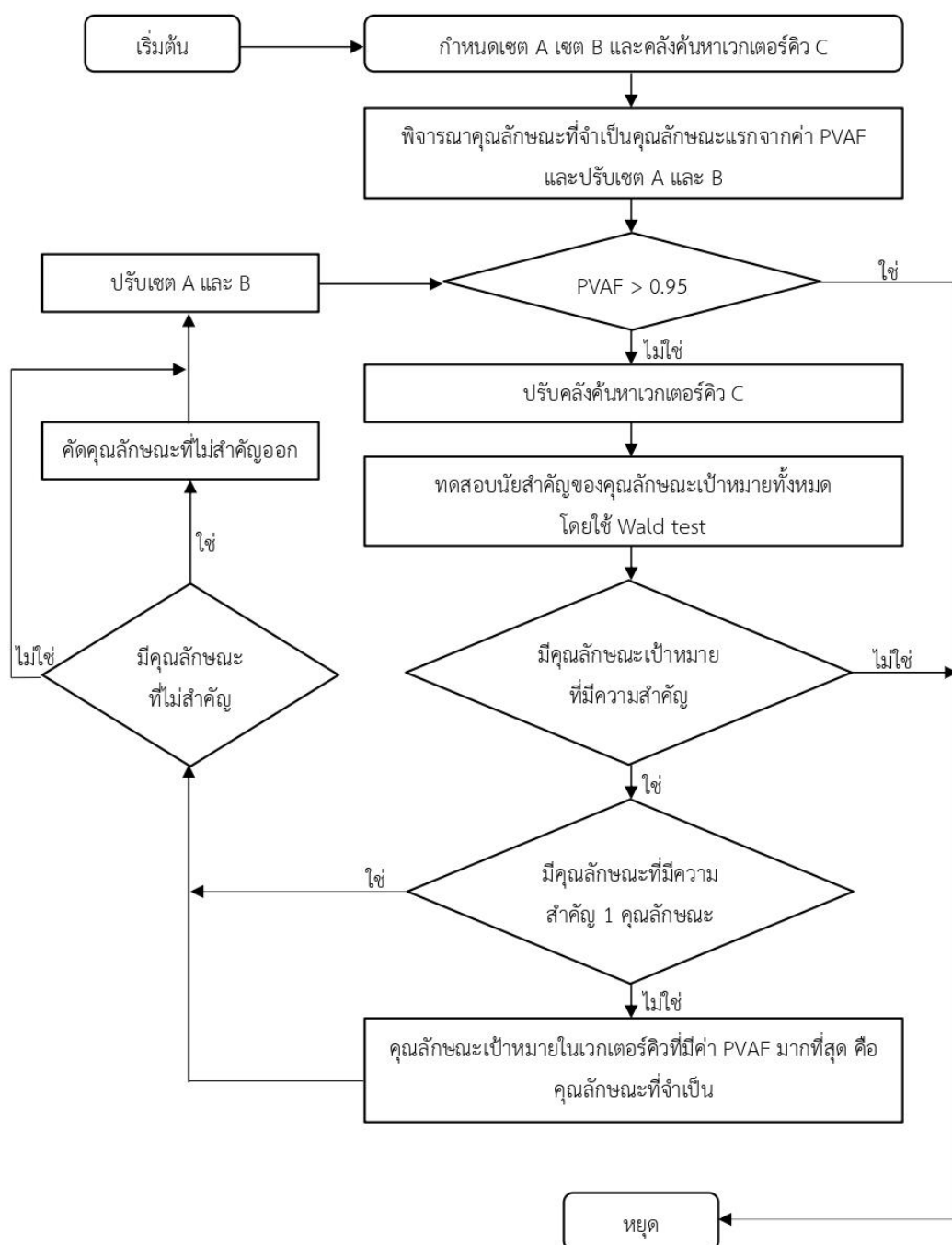
ตรวจสอบค่า PVAF ของเวกเตอร์คิ่วที่มีคุณลักษณะในเซต A หากมีค่า PVAF สูงกว่า 0.95 จะหยุดการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิ่ว แต่หากค่า PVAF ต่ำกว่า 0.95 จะปรับคลัสค้นหา C โดยสมาชิกของเวกเตอร์คิ่วใน C จะประกอบด้วยคุณลักษณะทั้งหมดในเซต A และ 1 คุณลักษณะเป้าหมายในเซต B จากนั้นใช้ Wald test ในการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติสำหรับความสำคัญของคุณลักษณะในแต่ละเวกเตอร์คิ่วแข่งขัน หากไม่มีคุณลักษณะเป้าหมายที่มีความสำคัญ จะหยุดกระบวนการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิ่ว หากมีอย่างน้อย 1 คุณลักษณะเป้าหมายที่มีความสำคัญ จะกำหนดคุณลักษณะเป้าหมายในเวกเตอร์คิ่วที่มีค่า PVAF สูงสุด ซึ่งเป็นเวกเตอร์คิ่วแข่งขันที่ดีที่สุดให้เป็นคุณลักษณะที่จำเป็น โดยนำคุณลักษณะดังกล่าวออกจากเซต B เพิ่มเข้าไปในเซต A หลังจากนั้นใช้ Wald test ในการทดสอบความสำคัญของคุณลักษณะที่จำเป็น ยกเว้นคุณลักษณะเป้าหมายในเวกเตอร์คิ่วแข่งขันดังกล่าว หากพบว่าคุณลักษณะที่จำเป็นคุณลักษณะใดในเวกเตอร์คิ่วไม่มีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะนำคุณลักษณะที่จำเป็นนั้นออกจากเซต A กลับเข้าไปในเซต B สำหรับขั้นตอนที่ 2 จะมีการกระทำซ้ำจนกระทั่งไม่มีการนำคุณลักษณะเข้าและออกจากเซต A และ B โดยสามารถสรุปกระบวนการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิ่วได้ดังภาพ 2.9 หลังจากได้เมทริกซ์คิ่วที่แนะนำโดยกระบวนการตรวจสอบความตรงแล้ว จะนำไปเป็นข้อมูลให้ผู้เชี่ยวชาญใช้ในการปรับปรุงแก้ไขเมทริกซ์คิ่ว

นอกจากนี้ การแก้ไขเมทริกซ์คิ่วอาจพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ กล่าวคือ ข้อสอบที่มีค่าพารามิเตอร์ข้อสอบไม่ผ่านเกณฑ์อาจเกิดจากข้อสอบไม่มีคุณภาพ หรือการกำหนดเมทริกซ์คิ่วที่ผิด ดังนั้น จึงสามารถปรับค่าในเมทริกซ์คิ่วโดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ร่วมกับการปรับปรุงข้อสอบ (Li & Suen, 2013)

4) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

หลังจากการนำแบบสอบไปทดสอบกับนักเรียนแล้ว ขั้นต่อไป คือ นำผลการตอบข้อสอบรายข้อ ซึ่งอาจมีการตรวจให้คะแนน 2 ค่า หรือมากกว่า 2 ค่า และเมทริกซ์คิ่วไปวิเคราะห์ผลโดยใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่เหมาะสมกับข้อมูล และเป้าหมายในการประเมิน โดยโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาจะให้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ พารามิเตอร์ผู้สอบ และความรอบรู้ในคุณลักษณะที่มุ่งวัด ซึ่งมีกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลแตกต่างกันไปตามโมเดลเชิงวินิจัยทาง

พบปัญหา โดยมีรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ และการประเมินผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้



ภาพ 2.9 กระบวนการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น (Ma & de la Torre, 2020)

4.1) การลู่เข้า (convergence) ของการประมาณค่าพารามิเตอร์

ผู้ประเมินจะต้องพิจารณาการลู่เข้าของการประมาณค่าพารามิเตอร์เป็นลำดับแรก หากผลการประมาณค่าไม่ลู่เข้า จะต้องไปพิจารณาการสร้างโมเดล และเมทริกซ์คิว หรือเปลี่ยนวิธีการวิเคราะห์ผลที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ลู่เข้า

4.2) ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล

ผู้ประเมินจะต้องพิจารณาดัชนีความสอดคล้องของโมเดลก่อนการแปลผลพารามิเตอร์ข้อสอบ และพารามิเตอร์ผู้สอบ โดยดัชนีความสอดคล้องของโมเดลช่วยให้ผู้ประเมินเลือกใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่เหมาะสมกับข้อมูล และเมทริกซ์คิว โดยดัชนีความสอดคล้องของโมเดลแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมพัทธ์ ใช้ในการเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างโมเดล เช่น Akaike information criterion (AIC), Bayesian information criterion (BIC) และ $-2\log\text{-likelihood}$ ($-2LL$) โมเดลที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมพัทธ์น้อยกว่า จะมีความเหมาะสมกับข้อมูลมากกว่า อย่างไรก็ตาม ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมพัทธ์ไม่สามารถบอกได้ว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์จริงหรือไม่ และ (2) ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมบูรณ์ ใช้ในการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างค่าที่ประมาณได้จากโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เช่น posterior predictive model checking (PPMC), root mean square error of approximation (RMSEA), mean absolute Q3 statistics (MADQ3), mean absolute deviation between observed and model predicted correlations (MADcor), mean absolute residual covariances (MADres), mean chi-square statistics (MX2) และ standardized root mean square root of squared residuals (SRMSR) (Lei & Li, 2016; Liu et al., 2018) ดังนั้น ผู้ประเมินควรพิจารณาดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมบูรณ์ก่อนเพื่อเลือกโมเดลที่ผ่านเกณฑ์ แล้วจึงเลือกโมเดลที่มีดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมพัทธ์น้อยที่สุด ทั้งนี้ต้องใช้หลักเหตุผลในการพิจารณาด้วย รวมทั้งพิจารณาเลือกโมเดลที่มีความคุ้มค่า (parsimony) เนื่องจากโมเดลที่มีความซับซ้อนต้องการตัวอย่างขนาดใหญ่ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ให้มีความแม่นยำ (Lei & Li, 2016)

สาเหตุที่ทำให้โมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ มี 5 ประการ ได้แก่

- (1) เลือกใช้ประเภทโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาไม่เหมาะสม (ทดแทนไม่ได้ และทดแทนได้)
- (2) การกำหนดเมทริกซ์คิวที่ผิด (3) กำหนดโครงสร้างของคุณลักษณะไม่เหมาะสม (4) การบังคับ

ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และ (5) ความไม่เป็นเอกพันธ์ของผู้สอบ นั่นคือ อาจจะมีประชากรย่อยในประชากรที่ศึกษาจึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบแตกต่างกันไปตามประชากรย่อย (Chen et al., 2013; Rupp & Templin, 2008a)

4.3) การแปลความหมายผลการประมาณค่าพารามิเตอร์

หลังจากการพิจารณาการเข้าสู่ของการประมาณค่าพารามิเตอร์ ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล และดัชนีตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิว พร้อมทั้งมีการเลือกโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา และปรับปรุงเมทริกซ์คิวให้มีความเหมาะสมแล้ว ผู้ประเมินจึงแปลผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ และพารามิเตอร์ผู้สอบ ได้แก่ ความรอบรู้ในคุณลักษณะที่มุ่งวัด และโปรไฟล์คุณลักษณะ โดยแปลผลตามแนวคิดของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่เลือกใช้

4.4) ความเที่ยงของการจำแนก (classification consistency)

การพิจารณาความเที่ยงของการจำแนก แบ่งเป็น 2 แนวทาง คือ (1) การสอบซ้ำ เป็นการพิจารณาสัดส่วนของผู้สอบที่ถูกจำแนกระดับความรอบรู้ได้เหมือนกันจากทดสอบทั้ง 2 ครั้ง โดยใช้แบบสอบคู่ขนาน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ Cohen's kappa โดยแบบสอบคู่ขนานในบริบทของการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา คือ แบบสอบ 2 ฉบับ ที่สร้างมาจากเมทริกซ์คิวเดียวกัน และมีค่าพารามิเตอร์ข้อสอบเท่ากัน (Johnson & Sinharay, 2018) และ (2) ดัชนีความเที่ยงของการจำแนก ซึ่งใช้ในการระบุความคงเส้นคงวาในการจำแนกของแบบสอบวินิจัย ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.8 (Ravand, 2016)

Cui และคณะ (2012) พัฒนาดัชนีความเที่ยงของการจำแนกโดยภาพรวมเพื่อประเมินระดับความสอดคล้องในการจำแนกโปรไฟล์คุณลักษณะของผู้สอบจากการทดสอบ จำนวน 2 ครั้งที่เป็นอิสระต่อกัน หรือการสอบโดยใช้แบบสอบคู่ขนาน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากการทดสอบเพียงครั้งเดียว โดยพิจารณาจากรูปแบบการตอบข้อสอบที่เป็นได้ทั้งหมด เมื่อแบบสอบมีข้อสอบจำนวนมากจะทำให้การคำนวณใช้เวลานาน Wang และคณะ (2015) จึงพัฒนาดัชนีความเที่ยงของการจำแนกโดยพิจารณาจากรูปแบบการตอบข้อสอบของผู้สอบแต่ละคนซึ่งมีการคำนวณที่ง่ายกว่าและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับดัชนีของ Cui และคณะ (2012) ซึ่งสามารถคำนวณดัชนีความเที่ยงของการจำแนกได้ทั้งภาพรวมและจำแนกตามคุณลักษณะ

ดัชนีความเที่ยงของการจำแนกระดับคุณลักษณะ คำนวณได้ดังนี้

$$\hat{\gamma}_k = \frac{\sum_i \sum_c (P_{N \times 2}^{(k)} * P_{N \times 2}^{(k)})}{N}$$

เมื่อ $P_{N \times 2}^{(k)}$ คือ เมทริกซ์ขนาด N (จำนวนผู้สอบ) $\times 2$ ซึ่งระบุความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะมีความรอบรู้และไม่รอบรู้ในคุณลักษณะที่ k ซึ่งได้จากการประมาณค่าโดยใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา โดยแถวที่ i ของเมทริกซ์หาได้จาก $P_i^{(k)} = (1 - \hat{p}_k, \hat{p}_k)$

เครื่องหมาย * คือ การคูณกันของค่าในเมทริกซ์ในแต่ละองค์ประกอบ (element)

ดัชนีความเที่ยงของการจำแนกภาพรวมหรือทั้งฉบับ คำนวณได้ดังนี้

$$\hat{\gamma} = \frac{\sum_i \sum_c (P_{N \times T} * P_{N \times T})}{N}$$

เมื่อ $P_{N \times T}$ คือ เมทริกซ์ขนาด $N \times T$ (จำนวนโปรไฟล์คุณลักษณะ) ซึ่งระบุความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะอยู่ในโปรไฟล์คุณลักษณะต่างๆ

4.5) ความตรงของการจำแนก (classification accuracy)

การพิจารณาความตรงของการจำแนก แบ่งเป็น 3 แนวทาง คือ (1) การจำลองข้อมูล โดยการพิจารณาสัดส่วนของผู้สอบที่จำแนกระดับความรอบรู้ในคุณลักษณะได้ถูกต้องเมื่อทราบระดับความรอบรู้ในคุณลักษณะของผู้สอบจริงซึ่งได้จากการจำลองข้อมูล (2) การพิจารณาความสอดคล้องระหว่างผลการวินิจฉัยจากโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาและวิธีการคิดออกเสียงโดยใช้สถิติ Cohen's kappa (พรพิมล ยังฉิม, 2557; สุปราณี บุระ, 2557; อมรรัตน์ สร้อยสังวาลย์, 2551) และ (3) ดัชนีความตรงของการจำแนก ซึ่งใช้ในการระบุความถูกต้องในการจำแนกของแบบสอบวินิจัย ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.7 (Ravand, 2016)

Cui และคณะ (2012) ยังได้พัฒนาดัชนีความตรงของการจำแนกโดยภาพรวม เพื่อประเมินระดับความสอดคล้องของการจำแนกโปรไฟล์คุณลักษณะบนพื้นฐานของรูปแบบการตอบข้อสอบที่สังเกตได้ตรงกับโปรไฟล์คุณลักษณะจริงของผู้สอบ แต่ดัชนีดังกล่าวมีข้อจำกัดเหมือนกับดัชนีความเที่ยงของการจำแนก Wang และคณะ (2015) จึงพัฒนาดัชนีความตรงของการจำแนกที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน และยังสามารถคำนวณได้ทั้งภาพรวมและจำแนกตามคุณลักษณะ

ดัชนีความตรงของการจำแนกระดับคุณลักษณะ คำนวณได้ดังนี้

$$\hat{\mathbf{t}}_k = \frac{\sum_i \sum_c (P_{N \times 2}^{(k)} * W_{N \times 2}^{(k)})}{N}$$

เมื่อ $P_{N \times 2}^{(k)}$ คือ เมทริกซ์ขนาด $N \times 2$ ซึ่งระบุความน่าจะเป็นที่ผู้สอบมีความรอบรู้และไม่รอบรู้ในคุณลักษณะที่ k ซึ่งได้จากการประมาณค่าโดยใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา โดยแถวที่ i ของเมทริกซ์หาได้จาก $P_i^{(k)} = (1 - \hat{p}_{ik}, \hat{p}_{ik})$

$W_{N \times 2}^{(k)}$ คือ เมทริกซ์ขนาด $N \times 2$ ซึ่งระบุสถานะความรอบรู้ในคุณลักษณะที่ k โดยแถวที่ i ของเมทริกซ์หาได้จาก $W_i^{(k)} = [I(\hat{\alpha}_{ik} = 0), I(\hat{\alpha}_{ik} = 1)]$

เครื่องหมาย * คือ การคูณกันของค่าในเมทริกซ์ในแต่ละองค์ประกอบ (element)

ดัชนีความตรงของการจำแนกภาพรวมหรือทั้งฉบับ คำนวณได้ดังนี้

$$\hat{\mathbf{t}} = \frac{\sum_i \sum_c (P_{N \times T} * W_{N \times T})}{N}$$

เมื่อ $P_{N \times T}$ คือ เมทริกซ์ขนาด $N \times T$ ซึ่งระบุความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะอยู่ในโปรไฟล์คุณลักษณะต่างๆ

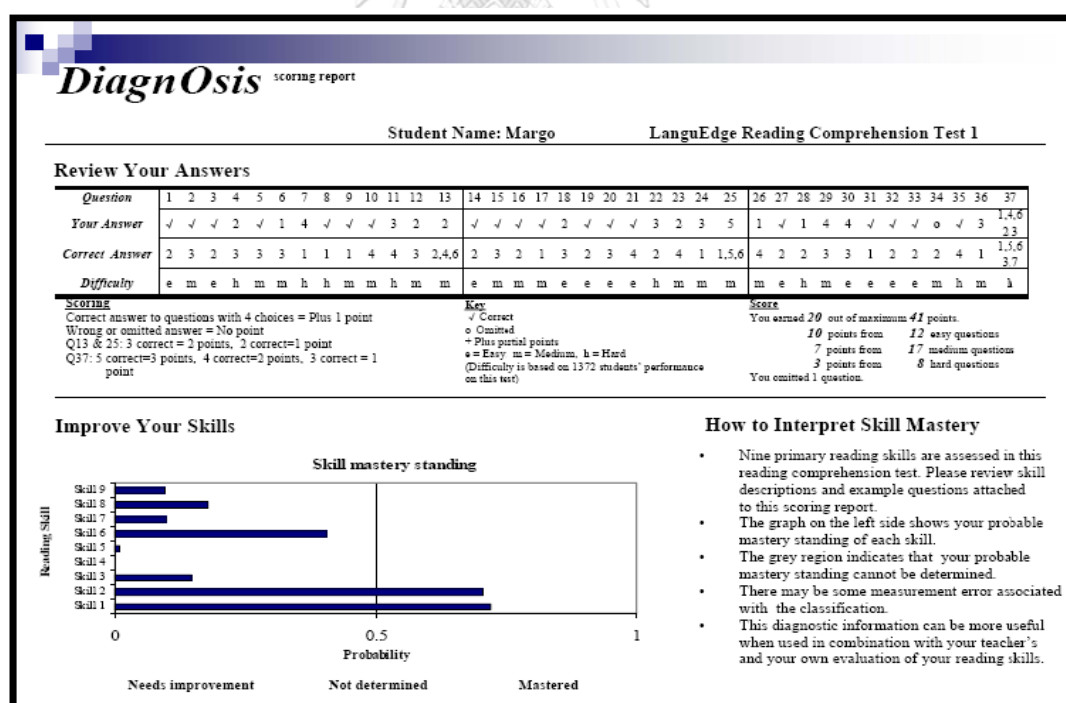
$W_{N \times T}$ คือ เมทริกซ์ขนาด $N \times T$ ซึ่งระบุสถานะโปรไฟล์คุณลักษณะของผู้สอบ โดยหาได้จาก $W_{N \times T} = [I(\hat{\alpha}_i = \alpha_c)]$

ดัชนีความเที่ยงของการจำแนกและดัชนีความตรงของการจำแนกมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้ ค่าดัชนีความเที่ยงของการจำแนกจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าดัชนีความตรงของการจำแนก (Wang et al., 2015)

5) รายงานผลการประเมิน



ผู้ประเมินจะต้องรายงานจุดอ่อนและจุดแข็งของนักเรียนเกี่ยวกับคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยใช้ผลการวิเคราะห์จากโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา โดยใบรายงานประกอบด้วยความน่าจะเป็นที่นักเรียนจะมีความรอบรู้ในแต่ละคุณลักษณะ และโปรไฟล์คุณลักษณะ กรณีแบ่งนักเรียนในแต่ละคุณลักษณะออกเป็น 2 กลุ่ม อาจจะทำจุดตัดในการจำแนกนักเรียน ดังนี้ นักเรียนที่มีความรอบรู้มีความน่าจะเป็นอยู่ระหว่าง 0.60 - 1.00 นักเรียนที่ไม่มีความรอบรู้มีความน่าจะเป็นอยู่ระหว่าง 0.00 - 0.40 และนักเรียนที่ไม่สามารถจำแนกระดับความรอบรู้ได้ มีความน่าจะเป็นอยู่ระหว่าง

0.40 - 0.60 หรืออาจจะกำหนดจุดตัดเป็นนักเรียนที่มีความรอบรู้มีความน่าจะเป็นมากกว่า 0.50 ส่วนนักเรียนที่ไม่มีความรอบรู้มีความน่าจะเป็นน้อยกว่า 0.50 โดยความกว้างของแถบความน่าจะเป็นขึ้นอยู่กับเหตุผลของผู้ประเมิน และการนำผลการประเมินไปใช้ประโยชน์ อีกทั้งยังสามารถพิจารณาการกำหนดจุดตัดได้จากความเที่ยงในการจำแนก ทั้งนี้จะต้องนำเสนอทั้งข้อมูลทางสถิติ แผนภาพ และข้อความ ซึ่งจะต้องมีความเหมาะสมกับนักเรียน และแปลความหมายได้ง่าย พร้อมทั้งคำแนะนำในการแปลผล คำนิยามของแต่ละคุณลักษณะ และคำแนะนำแก่นักเรียนในแต่ละโปรไฟล์คุณลักษณะในการพัฒนาตนเอง ดังภาพ 2.10 นอกจากนี้ยังสามารถเสนอแนวทางการพัฒนานักเรียนในแต่ละโปรไฟล์คุณลักษณะโดยใช้แผนภาพเส้นทางการพัฒนาความรอบรู้ในคุณลักษณะ (pathway toward attribute mastery) กล่าวคือ โปรไฟล์คุณลักษณะแต่ละโปรไฟล์มีคะแนนเต็มทีคาดหวังเท่ากับค่าคงที่ค่าหนึ่งจึงสามารถจัดลำดับการพัฒนาความรอบรู้ในคุณลักษณะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้นักเรียนสามารถบรรลุผลตามที่ต้องการ (Rupp et al., 2010) ดังภาพ 2.11 และสามารถสรุปขั้นตอนการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาได้ดังภาพ 2.12



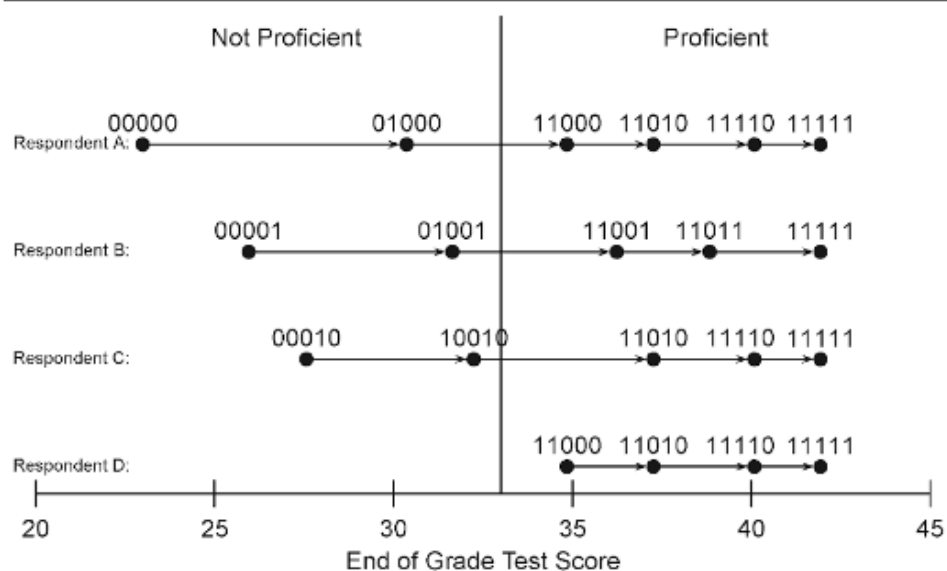
ภาพ 2.10 ตัวอย่างใบรายงานผลการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา

(Rupp & Templin, 2008b)

<div>  DiagnOsis </div> <div>scoring report</div> <div>Primary Skill Descriptions and Example Questions</div> <div>Margo</div>		
	Skill Descriptions	Example Questions
	Skill 1: Deduce word meaning from context Deducing the meaning of a word or a phrase by searching and analyzing text and by using contextual clues in the text.	33, 14, 32, 4, 3, 11
	Skill 2: Determine word meaning out of context Determine word meaning out of context with recourse to background knowledge	9, 27, 10, 29, 19, 21, 7
	Skill 3: Comprehend text through syntactic and semantic links Comprehend relations between parts of text through lexical and grammatical cohesion devices within and across successive sentences without logical problems	3, 26, 12, 36, 4, 2, 22, 33, 24
	Skill 4: Comprehension of text-explicit information Read quickly across sentences within a paragraph and comprehend literal meaning of explicitly stated information.	22, 18, 30, 17, 8, 24, 36, 20, 12, 25, 14
	Skill 5: Comprehend text-implicit information at global level Read selectively a paragraph or across paragraphs to recognize salient ideas paraphrased based on implicit information in text.	6, 34, 26, 4, 5, 35
	Skill 6: Infer major arguments or a writer's purpose Skim through paragraphs and make propositional inferences about arguments or a writer's purpose with recourse to implicitly stated information or prior knowledge	31, 16, 23, 15, 28, 2, 11, 7, 32
	Skill 7: Comprehend negatively stated information Read carefully or expeditiously to locate relevant information in text and to determine which information is true or not true.	22, 7, 28, 5
	Skill 8: Summarize major ideas from minor details Analyze and evaluate relative importance of information in the text by distinguishing major ideas from supporting details.	13, 5, 17, 25, 20
	Skill 9: Determine contrasting ideas through diagrammatic display Recognize major contrasts and arguments in the text whose rhetorical structure contains the relationships such as compare/contrast, cause/effect or alternative arguments and map them into mental framework	37, 23, 35
* Not all example questions are equally informative in assessing related skills. Questions are listed in the order from most informative to least informative. *  indicates that these skills are weak areas you need to improve. '?' indicates that your mastery is not determined.		

ภาพ 2.10 (ต่อ)

Fast Path to Proficiency



ภาพ 2.11 ตัวอย่างแผนภาพเส้นทางการพัฒนาความรู้ในคุณลักษณะ (Rupp et al., 2010)



ภาพ 2.12 ขั้นตอนการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพหุทธิปัญญา

2.7 ประโยชน์ของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพหุทธิปัญญา

การรายงานคะแนนตามแนวคิดของประเมินเชิงวินิจฉัยทางพหุทธิปัญญาจะบ่งชี้ถึงความรอบรู้ในคุณลักษณะที่มุ่งวัด พร้อมทั้งระบุโครงสร้างความรู้ที่อยู่เบื้องหลังการทดสอบ โดยสามารถสรุปประโยชน์ของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพหุทธิปัญญาได้ดังนี้ (Henson, 2009; Hung & Huang, 2019; Jang, 2008; Javidanmehr & Sarab, 2017; Kuo et al., 2016)

- 1) สามารถให้ข้อมูลย้อนกลับที่ละเอียดแก่นักเรียนเป็นรายบุคคล โดยระบุถึงจุดอ่อนและจุดแข็งของนักเรียนในคุณลักษณะที่มุ่งวัด
- 2) ช่วยให้ทราบความต้องการของนักเรียนเป็นรายบุคคลเพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบวิธีการช่วยเหลือนักเรียน ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของนักเรียน

- 3) ให้ข้อมูลแก่ครูสำหรับการวางแผนการจัดการเรียนรู้ และประเมินประสิทธิภาพของวิธีการจัดการเรียนรู้ พร้อมทั้งให้ข้อมูลในปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน
- 4) ส่งเสริมความยึดมั่นผูกพันในการเรียนรู้ของนักเรียนโดยใช้การประเมินเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้

2.8 ข้อจำกัดของการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญามีข้อจำกัด จำนวน 5 ประการ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (Gorin, 2009; Javidanmehr & Sarab, 2017; Lee & Sawaki, 2009)

- 1) ความเป็นอัตนัย (subjectivity) ของการนิยามคุณลักษณะ และการสร้างเมทริกซ์คิว

เมทริกซ์คิวสร้างโดยมนุษย์ซึ่งขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ ทำให้อาจจะได้ผลการพิจารณาที่เป็นอัตนัยเนื่องจากผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นไม่ตรงกัน และอาจจะมีปัญหาเรื่องความไม่เป็นตัวแทนของภาวะสันนิษฐาน (construct) ซึ่งส่งผลต่อความตรงของผลการวัด อีกทั้งนิยามคุณลักษณะไม่สอดคล้องกับกรอบแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้ได้เมทริกซ์คิวที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ต่างกัน อย่างไรก็ตาม สามารถลดข้อจำกัดนี้ได้โดยการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.6.3 ขั้นตอนการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา

- 2) การเลือกใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูลแตกต่างกัน

ผู้ประเมินจะต้องเลือกโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่เหมาะสมที่สุดในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยพิจารณาจากดัชนีความสอดคล้องของโมเดล ขนาดตัวอย่างวิจัย จำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่า หากผู้ประเมินเลือกใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาแตกต่างกันจะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ต่างกันถึงแม้จะใช้ข้อมูลชุดเดียวกันในการวิเคราะห์

- 3) ต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับสถิติและจิตมิติ

ผู้ที่ประยุกต์ใช้การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับสถิติและจิตมิติเป็นอย่างดี โดยต้องใช้ความรู้ดังกล่าวตั้งแต่กระบวนการออกแบบการประเมินจนกระทั่งการแปลผลการประเมิน จึงเป็นอุปสรรคในการใช้การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาในการวินิจัยนักเรียน

4) ขาดทฤษฎีรองรับ

บางสาขาวิชามีแนวทางในการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาน้อย อีกทั้งมีองค์ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางความคิด และองค์ประกอบในเรื่องที่ต้องการวินิจฉัยไม่เพียงพอ

5) ต้องใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ในการวิเคราะห์ข้อมูล

จำนวนตัวอย่างที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญามีมากกว่าจำนวนนักเรียนในห้องเรียน ดังนั้น การใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในการทดสอบขนาดใหญ่ (large scale assessments)

ตอนที่ 3 การสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

3.1 ความหมายของการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

นักวิชาการได้ให้ความหมายของการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ (automatic item generation: AIG) ไว้สอดคล้องกัน คือ กระบวนการที่ใช้โมเดลข้อสอบในการสร้างข้อสอบโดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ (Bejar et al., 2002; Embretson & Yang, 2007; Gierl & Lai, 2013, 2016; Gierl et al., 2008; Lai et al., 2016) โดย Gierl และ Lai (2013, 2016) ให้รายละเอียดเพิ่มเติมว่า อัลกอริทึม (algorithm) ของคอมพิวเตอร์จะรวมส่วนประกอบย่อยที่กำหนดไว้ในโมเดลข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดทำให้ได้ข้อสอบจำนวนมากและมีความหมายในเวลาอันรวดเร็ว โดยสามารถสร้างข้อสอบได้หลายร้อยหรือหลายพันข้อจากโมเดลข้อสอบเพียงโมเดลเดียว ทั้งนี้ การสร้างข้อสอบจากโมเดลข้อสอบสามารถดำเนินการได้ทันที (real time) ตามความต้องการ หรือขณะนักเรียนกำลังทำข้อสอบเพื่อให้นักเรียนทำข้อสอบที่สร้างขึ้นมานั้น (Bejar et al., 2002; Embretson & Yang, 2007; Gierl et al., 2008) นอกจากนี้ Gierl และ Lai (2016) ยังระบุเพิ่มเติมว่า การสร้างข้อสอบอัตโนมัติเป็นกระบวนการที่ประยุกต์ใช้ทฤษฎีพุทธิปัญญา (cognitive theory) เข้ากับความรู้ทางจิตมิติ (psychometric)

สรุปได้ว่า การสร้างข้อสอบอัตโนมัติ หมายถึง กระบวนการที่ประยุกต์ทฤษฎีพุทธิปัญญา และความรู้ทางจิตมิติเพื่อใช้โมเดลข้อสอบในการสร้างข้อสอบโดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ช่วยดำเนินการรวมส่วนประกอบย่อยที่กำหนดไว้ในโมเดลข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดทำให้ได้ข้อสอบจำนวนมากและมีความหมายในเวลาอันรวดเร็ว โดยสามารถสร้างข้อสอบได้ทันทีตามความต้องการ หรือขณะนักเรียนกำลังทำข้อสอบ

3.2 โมเดลข้อสอบ

3.2.1 ความหมายของโมเดลข้อสอบ

โมเดลข้อสอบ (item model) มีการใช้คำอื่นในความหมายเดียวกัน จำนวน 6 คำ ได้แก่ schema, blueprint, template, form, frame และ shell (Gierl & Lai, 2016; Sinharay & Johnson, 2008) โดยนักวิชาการได้ให้ความหมายของโมเดลข้อสอบที่สอดคล้องกัน คือ แม่พิมพ์หรือต้นแบบที่ระบุถึงลักษณะของงานซึ่งใช้ในการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบที่วัดเนื้อหาเดียวกัน (Bejar et al., 2002; Gierl & Lai, 2013; Graf et al., 2005; LaDuca et al., 1986; Sinharay & Johnson, 2008) โดย Sinharay และ Johnson (2008) ได้ให้รายละเอียดเพิ่มเติมว่าข้อสอบที่สร้างขึ้นจะมีความสมมูลกัน ทั้งนี้ จะต้องทราบคุณสมบัติทางจิตมิติของข้อสอบตั้งต้นที่นำมาสร้างโมเดลข้อสอบ (Bejar et al., 2002; Graf et al., 2005) นอกจากนี้ Gierl & Lai (2013) และ Gierl et al. (2008) ยังกล่าวว่า โมเดลข้อสอบแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ คำถาม ตัวเลือก และข้อมูลเพิ่มเติม ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโมเดลข้อสอบหลายตัวเลือก หากเป็นโมเดลข้อสอบสร้างคำตอบจะประกอบด้วยคำถาม และข้อมูลเพิ่มเติมโดยภายในคำถามและตัวเลือกสามารถแบ่งออกเป็นส่วนประกอบย่อยที่อาจจะเป็นตัวอักษรหรือตัวเลข ซึ่งเป็นตัวแปรในโมเดลข้อสอบที่ใช้ในการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบ

สรุปได้ว่า โมเดลข้อสอบ หมายถึง ต้นแบบที่ระบุถึงลักษณะของข้อสอบซึ่งใช้ในการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบที่มีความสมมูลกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ คำถาม ตัวเลือก และข้อมูลเพิ่มเติม โดยภายในคำถามและตัวเลือกสามารถแบ่งออกเป็นส่วนประกอบย่อยที่อาจจะเป็นตัวอักษรหรือตัวเลข ซึ่งเป็นตัวแปรในโมเดลข้อสอบที่ใช้ในการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบใหม่ได้จำนวนมาก

3.2.2 ส่วนประกอบของโมเดลข้อสอบ

โมเดลข้อสอบแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ คำถาม (stem) ตัวเลือก (option) และข้อมูลเพิ่มเติม (auxiliary information) โดยมีรายละเอียดดังนี้ (Gierl & Lai, 2018; Gierl et al., 2008)

- 1) คำถาม เป็นส่วนที่ระบุสถานการณ์ เนื้อหา และคำถามที่ต้องการให้นักเรียนหาคำตอบ
- 2) ตัวเลือก เป็นส่วนที่กำหนดรายละเอียดของตัวลวง และตัวถูก
- 3) ข้อมูลเพิ่มเติม เป็นส่วนที่รวบรวมสารสนเทศเพิ่มเติมทั้งในคำถามและตัวเลือกซึ่งต้องใช้ในการสร้างข้อสอบ ประกอบด้วยข้อความ รูปภาพ ตาราง แผนภาพ เสียง หรือวิดีโอ

การสร้างโมเดลข้อสอบสร้างคำตอบ (constructed-response item model) จะดำเนินการสร้างเฉพาะคำถาม ส่วนการสร้างโมเดลข้อสอบหลายตัวเลือก (multiple-choice item model) จะสร้างทั้งคำถามและตัวเลือก ส่วนข้อมูลเพิ่มเติมจะมีหรือไม่ก็ได้

ภายในคำถามและตัวเลือกสามารถแบ่งออกเป็นส่วนประกอบย่อย (elements) ซึ่งเป็นตัวแปรในโมเดลข้อสอบที่ใช้ในการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) ตัวอักษร (strings; S) และตัวเลข (integers; I) เมื่อมีการจัดกระทำกับส่วนประกอบย่อยจะสามารถสร้างข้อสอบ (items หรือเรียกว่า instances) ได้จำนวนมาก หากข้อสอบที่สร้างขึ้นจากโมเดลข้อสอบเดียวกันซึ่งมีคุณสมบัติทางจิตมิติใกล้เคียงกันจะเรียกว่า isomorphs ซึ่งมุ่งจัดกระทำกับส่วนประกอบย่อยที่ไม่ส่งผลต่อความยาก โดยเรียกส่วนประกอบลักษณะนี้ว่า ส่วนประกอบผิว (incidental element) หากข้อสอบที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติทางจิตมิติแตกต่างกันจะเรียกว่า variants ซึ่งมุ่งจัดกระทำกับส่วนประกอบย่อยที่ส่งผลต่อความยาก โดยเรียกส่วนประกอบลักษณะนี้ว่า ส่วนประกอบหลัก (radical elements) โดยมีตัวอย่างโมเดลข้อสอบดังภาพ 2.13 และ 2.14

3.2.3 ประเภทของโมเดลข้อสอบ

การแบ่งประเภทของโมเดลข้อสอบมีเกณฑ์ในการจำแนก 2 เกณฑ์ ได้แก่ (1) ประเภทของคำถามและตัวเลือก และ (2) ลักษณะข้อมูลในคำถาม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.3.1 ประเภทของโมเดลข้อสอบจำแนกตามประเภทของคำถามและตัวเลือก

คำถามในโมเดลข้อสอบแบ่งเป็น 4 ประเภท ดังนี้ (Gierl et al., 2008)

1) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นอิสระต่อกัน (*independent elements*) คือ คำถามที่ส่วนประกอบย่อยแต่ละส่วนไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบย่อยหนึ่งไม่ส่งผลต่อส่วนประกอบย่อยอื่น

2) ส่วนประกอบย่อยที่มีความสัมพันธ์กัน (*dependent elements*) คือ คำถามที่ส่วนประกอบย่อยแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบย่อยหนึ่งจะส่งผลต่อส่วนประกอบย่อยอื่น

3) ส่วนประกอบย่อยผสม (*mixed independent/dependent elements*) คือ คำถามที่มีทั้งส่วนประกอบย่อยที่เป็นอิสระต่อกัน และส่วนประกอบย่อยที่มีความสัมพันธ์กัน

4) ส่วนประกอบย่อยกำหนด (*fixed elements*) คือ คำถามที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับข้อสอบทุกข้อในโมเดลข้อสอบ

ตัวเลือกในโมเดลข้อสอบแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้ (Gierl et al., 2008)

1) *ตัวเลือกแบบสุ่มเลือก (randomly-selected options)* คือ การสุ่มตัวลงมาจากรากศัพท์ตัวเลือก

2) *ตัวเลือกแบบบังคับ (constrained options)* คือ การสร้างตัวถูก และตัวลวงโดยการบังคับจากสูตร การคำนวณ หรือข้อความ

3) *ตัวเลือกคงที่ (fixed options)* คือ ตัวถูก และตัวลวงเหมือนกันสำหรับข้อสอบทุกข้อในโมเดลข้อสอบ

เมื่อรวมประเภทของคำถามและตัวเลือกเข้าด้วยกันจะได้ *เมทริกซ์ประเภทโมเดลข้อสอบ* ดังตาราง 2.9 ซึ่งแบ่งโมเดลข้อสอบออกเป็น 12 ประเภท โดยมี 10 ประเภท ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ส่วนอีก 2 ประเภท ได้แก่ คำถามที่มีส่วนประกอบย่อยกำหนดโดยมีตัวเลือกบังคับ และตัวเลือกคงที่ ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เนื่องจากเป็นข้อสอบหลายตัวเลือกแบบประเพณีนิยม

ตาราง 2.9

เมทริกซ์ประเภทโมเดลข้อสอบ

ประเภทตัวเลือก	ประเภทคำถาม			
	อิสระต่อกัน	สัมพันธ์กัน	ผสม	กำหนด
สุ่มเลือก	✓	✓	✓	✓
บังคับ	✓	✓	✓	✗
คงที่	✓	✓	✓	✗

หมายเหตุ ✓ คือ ประยุกต์ใช้ได้ ✗ คือ ประยุกต์ใช้ไม่ได้

3.2.3.2 ประเภทของโมเดลข้อสอบจำแนกตามลักษณะข้อมูลในคำถาม

โมเดลข้อสอบแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะข้อมูลในคำถาม ได้แก่ โมเดลข้อสอบ 1 ชั้น และโมเดลข้อสอบหลายชั้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (Gierl & Lai, 2013)

1) *โมเดลข้อสอบ 1 ชั้น (1-layer item model)* คือ โมเดลข้อสอบที่มีส่วนประกอบย่อยในคำถาม จำนวน 1 ระดับ โดยดำเนินการสร้างข้อสอบเชิงเส้นตรง เป้าหมายของการสร้างข้อสอบโดยใช้โมเดลข้อสอบ 1 ชั้น คือ การสร้างข้อสอบโดยจัดกระทำกับส่วนประกอบย่อยในโมเดลข้อสอบ

จำนวนไม่มาก โดยข้อสอบที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติทางจิตมิติใกล้เคียงกัน และสามารถทำนายคุณสมบัติทางจิตมิติของข้อสอบได้จากส่วนประกอบย่อยในโมเดลข้อสอบ แต่มีข้อจำกัด คือ ข้อสอบที่สร้างขึ้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันจนเกินไป เนื่องจากมีส่วนประกอบย่อยในการจัดกระทำน้อย จึงเรียกข้อสอบดังกล่าวว่า clones, ghost items, Franken-items และ siblings นั่นคือ เป็นการสร้างข้อสอบที่ง่ายจนเกินไป และง่ายต่อการจดจำ ซึ่งสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการใช้เมทริกซ์ประเภทโมเดลข้อสอบเป็นแนวทางสำหรับการสร้างโมเดลข้อสอบให้สามารถสร้างข้อสอบที่มีความหลากหลายมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อสอบที่มีลักษณะแบบ clones เหมาะสำหรับการสร้างแบบสอบคู่ขนาน และการศึกษาโดยใช้สมรรถนะเป็นฐานที่ต้องการทดสอบกับนักเรียนหลายครั้งในเนื้อหาเดียวกันโดยใช้ข้อสอบที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน (Lai et al., 2016) ตัวอย่างโมเดลข้อสอบ 1 ชั้น แสดงดังภาพ 2.13

Parent Item:

Yesterday a veterinarian treated 2 mice, 3 cats, 6 dogs, and no other animals. What was the ratio of the number of cats treated to the total number of animals treated by the veterinarian?

- (A) 1 to 4
- (B) 1 to 6
- (C) 1 to 13
- (D) 3 to 8
- (E) 3 to 11

Item Model:

Stem

Yesterday a veterinarian treated [I1] mice, [I2] cats, [I3] dogs, and no other animals. What was the ratio of the number of cats treated to the total number of animals treated by the veterinarian?

Elements

- [I1] Range: 2 to 8 by 1
- [I2] Range: 2 to 8 by 1
- [I3] Range: 2 to 8 by 1

Options

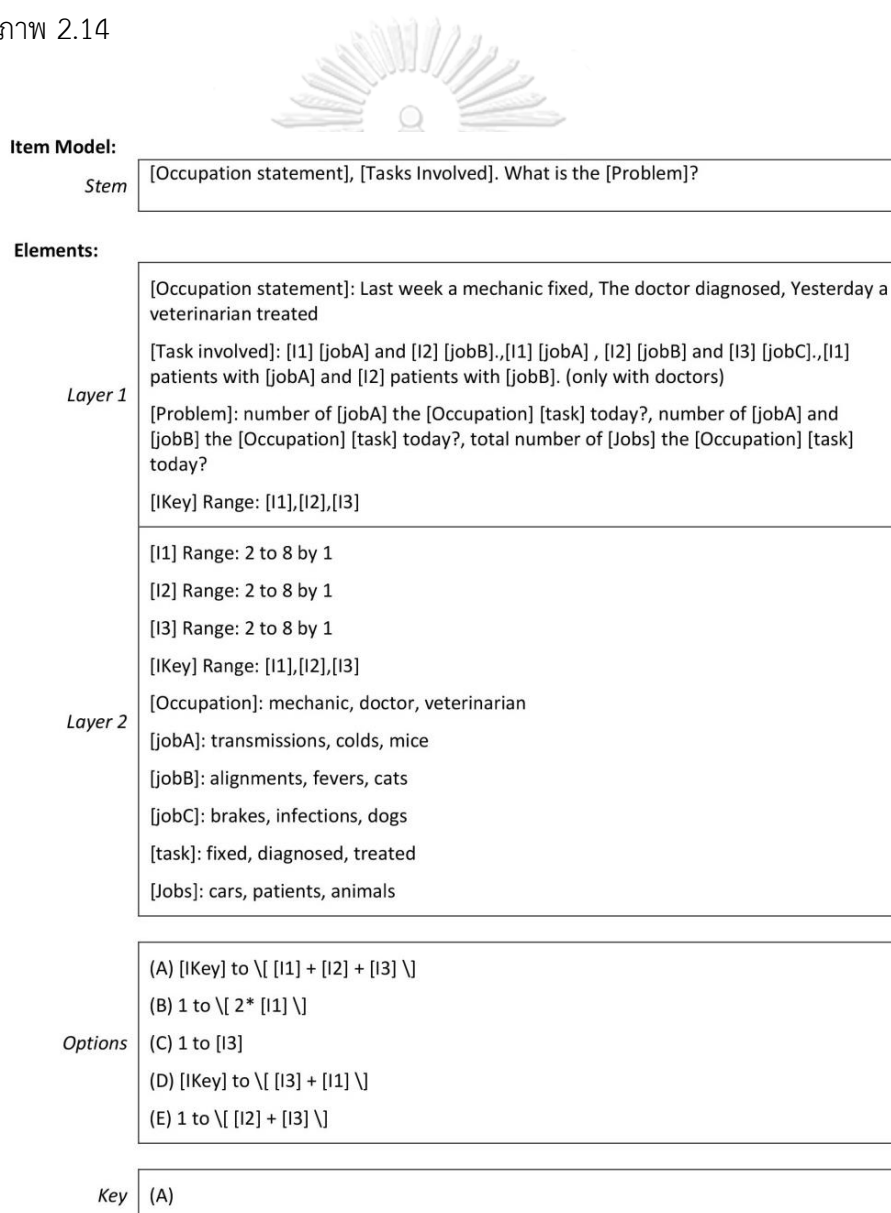
- (A) [I2] to $\sqrt{[I1] + [I2] + [I3]}$
- (B) 1 to $\sqrt{2 * [I1]}$
- (C) 1 to [I3]
- (D) [I3] to $\sqrt{[I3] + [I1]}$
- (E) 1 to $\sqrt{[I2] + [I3]}$

Key

(A)

ภาพ 2.13 โมเดลข้อสอบ 1 ชั้น เรื่องจำนวนและการดำเนินการ (Gierl et al., 2012)

2) โมเดลข้อสอบหลายชั้น (*n-layer item model*) คือ โมเดลข้อสอบที่มีส่วนประกอบย่อยในคำถามตั้งแต่ 2 ระดับ ขึ้นไป โดยส่วนประกอบย่อยหนึ่งสอดแทรกอยู่ในอีกส่วนประกอบย่อยหนึ่ง ซึ่งดำเนินการสร้างข้อสอบไม่เป็นเส้นตรง การสร้างข้อสอบตามโมเดลข้อสอบหลายชั้นจึงมีความสามารถในการสร้างข้อสอบสูงกว่าโมเดลข้อสอบ 1 ชั้น เป้าหมายของการสร้างข้อสอบโดยใช้โมเดลข้อสอบหลายชั้น คือ การสร้างข้อสอบโดยจัดกระทำกับส่วนประกอบย่อยจำนวนมากในโมเดลข้อสอบจึงทำให้ได้ข้อสอบที่มีความหลากหลาย แต่มีปัญหาในการทำนายคุณสมบัติทางจิตมิติของข้อสอบซึ่งอาจจะต้องทดลองใช้ข้อสอบเหมือนกับกระบวนการสร้างข้อสอบแบบประเพณีนิยม ตัวอย่างโมเดลข้อสอบหลายชั้นแสดงดังภาพ 2.14



ภาพ 2.14 โมเดลข้อสอบหลายชั้น เรื่องจำนวนและการดำเนินการ (Gierl et al., 2012)

3.3 ขั้นตอนการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

กระบวนการสร้างข้อสอบอัตโนมัติแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) กำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบ (2) สร้างโมเดลข้อสอบ และ (3) สร้างข้อสอบและประเมินความคล้ายของข้อสอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (Gierl & Lai, 2013, 2016; Graf et al., 2005)

3.3.1 กำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบ

ขั้นตอนแรกของการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ คือ การกำหนดเนื้อหาสำหรับใช้ในการสร้างข้อสอบจากโมเดลข้อสอบซึ่งพิจารณาจากแนวทางการออกแบบ ความรู้ ประสบการณ์ ทฤษฎี และงานวิจัยที่แสดงถึงความรู้ หรือทักษะที่นักเรียนต้องใช้ในการตอบคำถาม การกำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบมี 2 แนวทาง ดังนี้

1) การใช้ทฤษฎีที่ไม่หนักแน่น (weak theory approach)

การใช้ทฤษฎีที่ไม่หนักแน่นเป็นการใช้แนวทางการออกแบบเพื่อกำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบซึ่งทำให้ได้ข้อสอบที่มีลักษณะ isomorphs โดยเริ่มต้นจากการพิจารณาข้อสอบตั้งต้น (parent item) ที่ทราบคุณสมบัติทางจิตมิติซึ่งได้มาจากการทบทวนข้อสอบที่นำไปทดลองใช้ คลังข้อสอบ หรือการสร้างข้อสอบตั้งต้นโดยตรง โดยข้อสอบตั้งต้นเป็นจุดอ้างอิงในการสร้างข้อสอบใหม่ ซึ่งระบุถึงส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการสร้างข้อสอบ ผู้สร้างโมเดลข้อสอบจึงจัดกระทำกับส่วนประกอบในข้อสอบตั้งต้นเพื่อสร้างข้อสอบใหม่โดยอาศัยแนวทางการออกแบบ และประสบการณ์ของผู้สร้างโมเดลข้อสอบ หากใช้ทฤษฎีที่ไม่หนักแน่นในการสร้างโมเดลข้อสอบ 1 ชั้น จะมีข้อจำกัด คือ มีส่วนประกอบจำนวนน้อยที่สามารถจัดกระทำได้ ทำให้ได้ข้อสอบที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันมากเกินไป

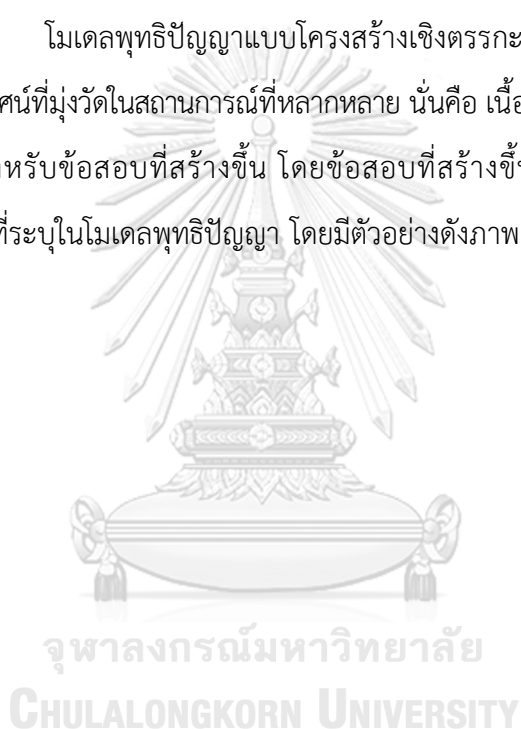
2) การใช้ทฤษฎีที่หนักแน่น (strong theory approach)

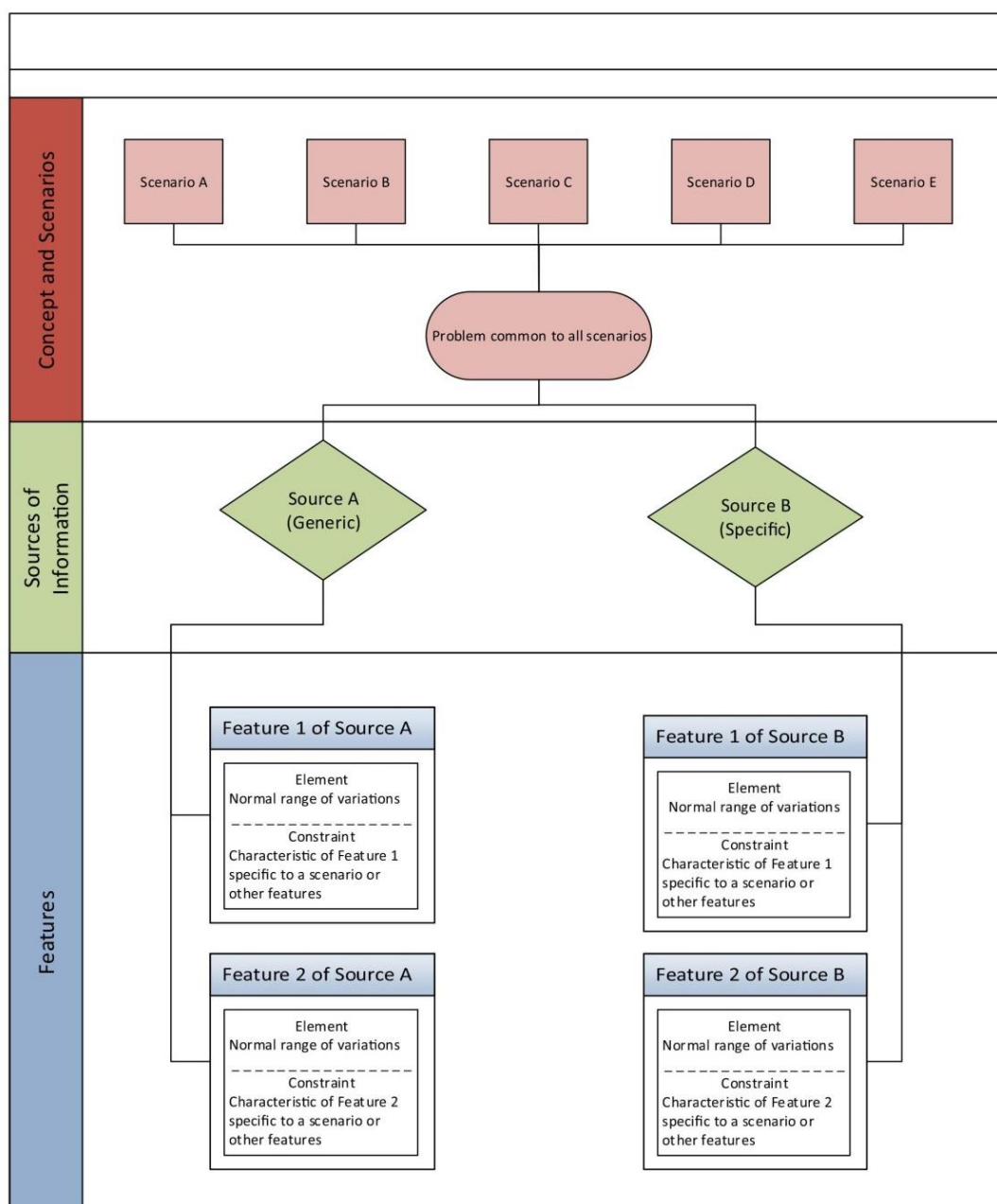
การใช้ทฤษฎีที่หนักแน่นในการกำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบเป็นการใช้โมเดลพุทธิปัญญา (cognitive model) เป็นกรอบในการสร้างโมเดลข้อสอบ โดยโมเดลพุทธิปัญญาให้รายละเอียดเกี่ยวกับความรู้และทักษะที่นักเรียนจะต้องใช้ในการตอบคำถาม และลักษณะของเนื้อหาที่ส่งผลต่อความยากของข้อสอบที่นำไปสู่การจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบใหม่ จึงทำให้สามารถเชื่อมโยงความสามารถของนักเรียนในการทำข้อสอบกับการแปลความหมายคะแนนสอบของนักเรียนได้ โมเดลพุทธิปัญญาแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) ปัญหาและสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องหรือมีโนทัศน์ที่มุ่งวัด (2) แหล่งข้อมูลที่สอดคล้องกับปัญหาซึ่งอาจจะเป็นแหล่งข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงกับปัญหา หรือเป็น

แหล่งข้อมูลทั่วไปที่สามารถประยุกต์กับปัญหาอื่นๆ ได้ และ (3) ลักษณะที่สำคัญของแหล่งข้อมูล ประกอบด้วยส่วนประกอบที่ต้องการจัดกระทำ และการบังคับค่าของส่วนประกอบเพื่อให้เนื้อหาในข้อสอบมีความหมาย ดังภาพ 2.15 โดยข้อมูลทั้ง 3 ส่วน ได้มาจากการวิเคราะห์ข้อสอบตั้งต้นที่มีคุณภาพ จะเห็นได้ว่าโมเดลพุทธิปัญญาจะเชื่อมโยงปัญหา และสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของแหล่งข้อมูลผ่านทางแหล่งข้อมูล ทั้งนี้ โมเดลพุทธิปัญญาแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

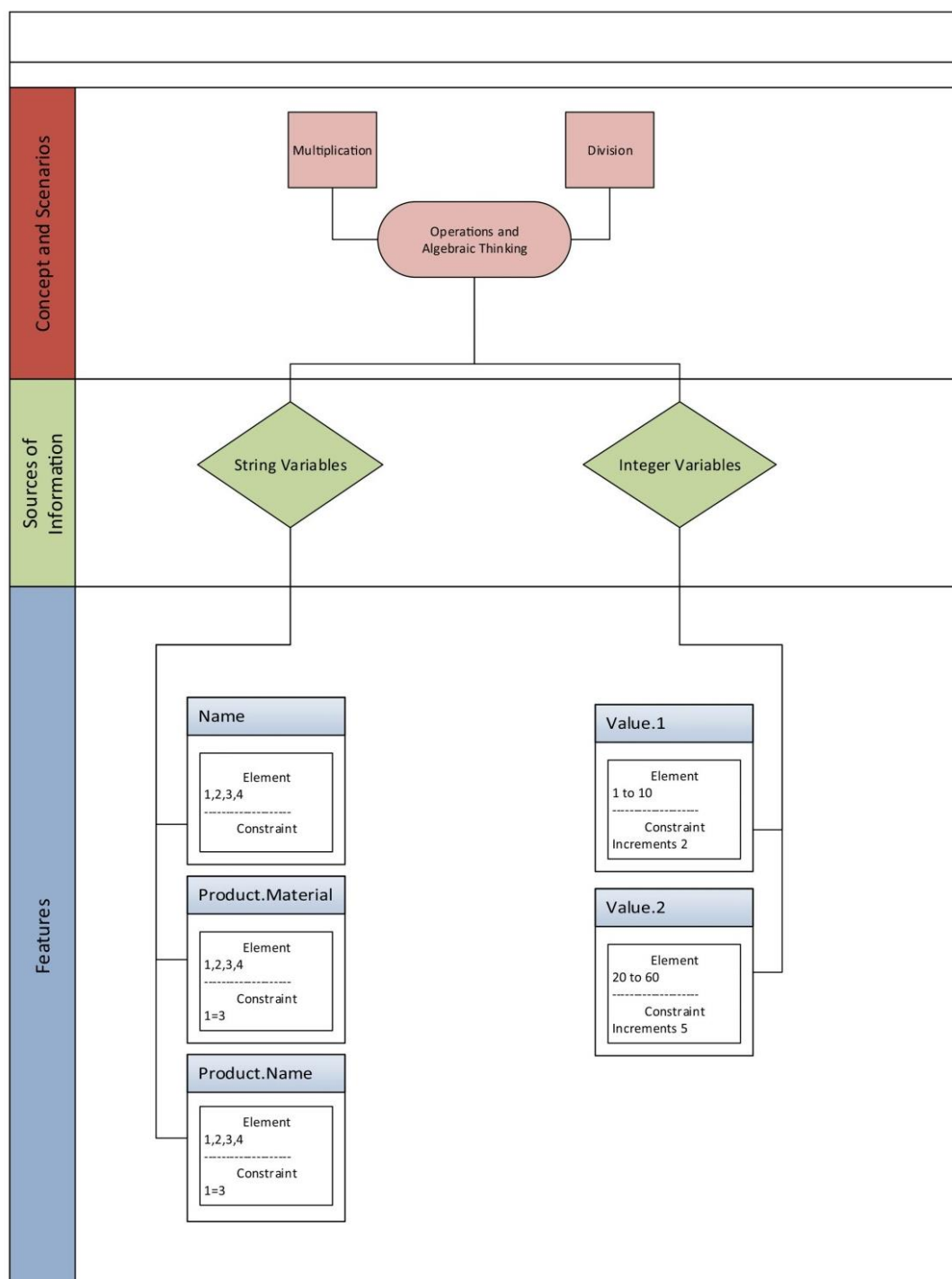
2.1) โมเดลพุทธิปัญญาแบบโครงสร้างเชิงตรรกะ (*logical structures cognitive model*)

โมเดลพุทธิปัญญาแบบโครงสร้างเชิงตรรกะใช้สำหรับวัดความสามารถของนักเรียนในการใช้มีโนทัศน์ที่มุ่งวัดในสถานการณ์ที่หลากหลาย นั่นคือ เนื้อหาในข้อสอบมีความหลากหลาย แต่มีมีโนทัศน์คงที่สำหรับข้อสอบที่สร้างขึ้น โดยข้อสอบที่สร้างขึ้นจะถูกกำหนดโดยโครงสร้างเชิงตรรกะของเนื้อหาที่ระบุในโมเดลพุทธิปัญญา โดยมีตัวอย่างดังภาพ 2.16





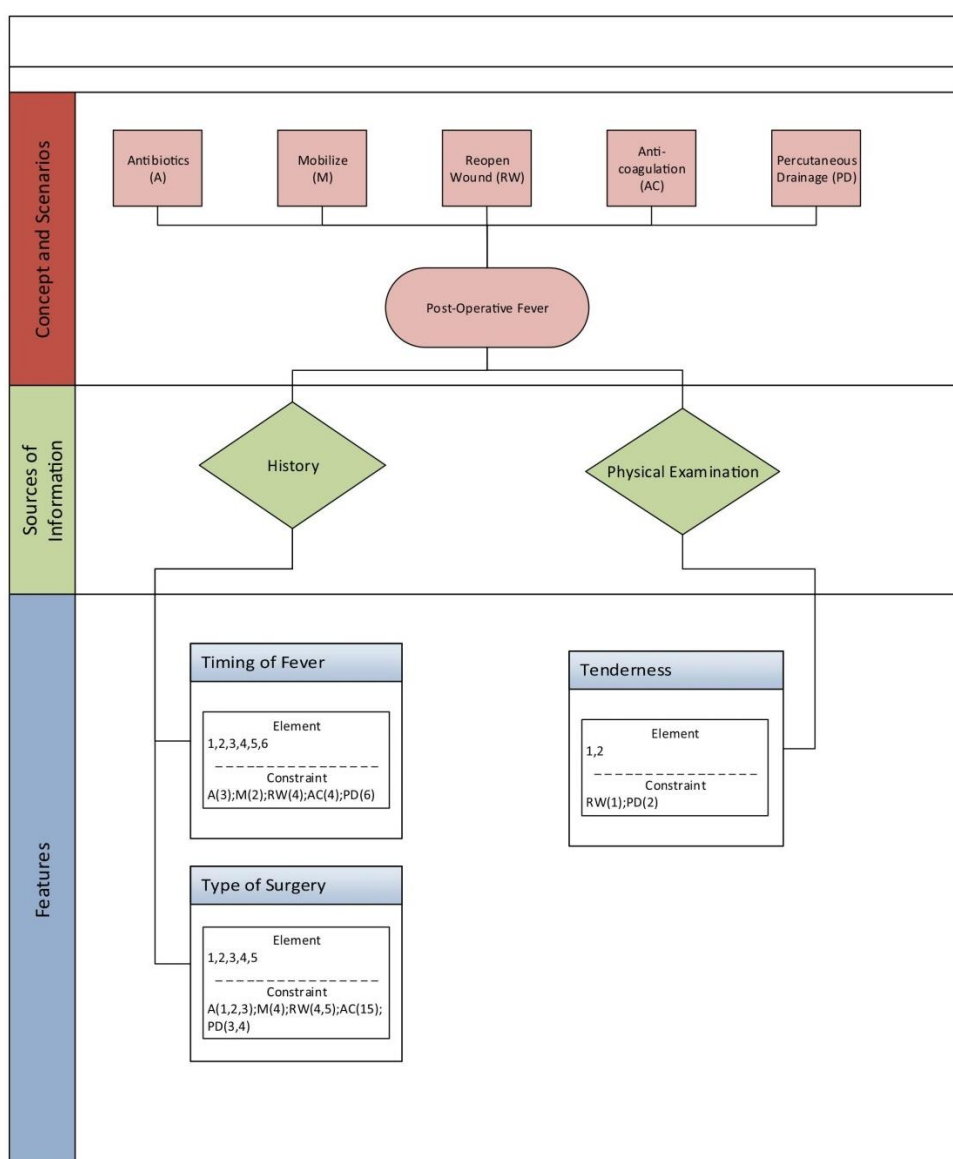
ภาพ 2.15 โมเดลพุทธิปัญญารูปทั่วไป (Gierl & Lai, 2016)



ภาพ 2.16 โมเดลพุทธิปัญญาแบบโครงสร้างเชิงตรรกะเรื่องการดำเนินการและพีชคณิต
(Gierl & Lai, 2016)

2.2) โมเดลพุทธิปัญญาแบบลักษณะสำคัญ (key features cognitive model)

โมเดลพุทธิปัญญาแบบลักษณะสำคัญใช้สำหรับวัดความสามารถของนักเรียนในการรวบรวม และประยุกต์ลักษณะสำคัญในเนื้อหาที่มุ่งวัด และแก้ปัญหาโดยใช้คุณลักษณะสำคัญดังกล่าว นั่นคือ เนื้อหาในข้อสอบมีความหลากหลาย และเมโนทัศน์หลักสามารถเปลี่ยนไปตามข้อสอบ โดยมีการรวมลักษณะสำคัญอย่างมีความหมาย โดยข้อสอบที่สร้างขึ้นจะถูกกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะสำคัญที่ระบุในโมเดลพุทธิปัญญา โดยมีตัวอย่างดังภาพ 2.17



ภาพ 2.17 โมเดลพุทธิปัญญาแบบลักษณะสำคัญเรื่องการวินิจฉัยการมีไข้หลังผ่าตัด

(Gierl & Lai, 2016)

3.3.2 สร้างโมเดลข้อสอบ

ผู้สร้างโมเดลข้อสอบจะต้องนำข้อมูลจากขั้นตอนกำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบมาใช้เป็นแนวทางในการสร้างโมเดลข้อสอบเพื่อสร้างข้อสอบใหม่ โดยอาจจะสร้างเป็นโมเดลข้อสอบ 1 ชั้นหรือหลายชั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนส่วนประกอบที่ต้องการจัดกระทำ และวัตถุประสงค์ในการสร้างข้อสอบ และยังสามารถประยุกต์ใช้เมทริกซ์ประเภทโมเดลข้อสอบในการสร้างโมเดลข้อสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความหลากหลาย หากสร้างโมเดลข้อสอบหลายตัวเลือกจะต้องสร้างทั้งคำถาม และตัวเลือก และหากสร้างโมเดลข้อสอบสร้างคำตอบจะสร้างเฉพาะคำถาม โดยอาจจะมีข้อมูลเพิ่มเติมหรือไม่ก็ได้

หลังจากการสร้างโมเดลข้อสอบ ขั้นต่อมา คือ ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินเนื้อหาและตรรกะที่ระบุในโมเดลพุทธิปัญญา รวมทั้งโครงสร้างของข้อสอบในโมเดลข้อสอบ จากนั้นจึงปรับปรุงโมเดลพุทธิปัญญาและโมเดลข้อสอบตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ การทบทวนโมเดลพุทธิปัญญาและโมเดลข้อสอบจะมุ่งปรับปรุงโครงสร้างของโมเดลข้อสอบให้มีความเหมาะสม และสมเหตุสมผลเพื่อให้สามารถสร้างข้อสอบที่มีคุณภาพและสมเหตุสมผล โดยสามารถใช้บริบทที่พัฒนาโดย Gierl และ Lai (2016) สำหรับประเมินโมเดลพุทธิปัญญา และโมเดลข้อสอบซึ่งมีประเด็นในการประเมิน 3 ประเด็น ได้แก่ เนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน 4 ระดับ ได้แก่ 1 หมายถึง ไม่ยอมรับ, 2 หมายถึง ไม่ยอมรับ, แก้ไขเป็นส่วนใหญ่, 3 หมายถึง ยอมรับ, แก้ไขเล็กน้อย และ 4 หมายถึง ยอมรับ ดังตาราง 2.10 โดยโมเดลพุทธิปัญญาและโมเดลข้อสอบแต่ละโมเดลจะต้องมีผลการประเมินทั้ง 3 ประเด็น อยู่ในระดับ 3 ขึ้นไป จึงจะถือว่าโมเดลพุทธิปัญญาและโมเดลข้อสอบมีคุณภาพ และสามารถนำไปใช้สร้างข้อสอบได้ (Gierl & Lai, 2016)

ตาราง 2.10

รูปกริสำหรับประเมินโมเดลพุทธิปัญญาและโมเดลข้อสอบ (ปรับปรุงจาก Gierl & Lai, 2016)

ประเด็น	เกณฑ์การให้คะแนน			
	1 (ไม่ยอมรับ)	2 (ไม่ยอมรับ, แก้ไขเป็น ส่วนใหญ่)	3 (ยอมรับ, แก้ไขเล็กน้อย)	4 (ยอมรับ)
เนื้อหา	เนื้อหาทั้งหมด ไม่เหมาะสมกับ การวัดคุณลักษณะ ในโมเดล	เนื้อหาส่วนมาก ไม่เหมาะสมกับการ วัดคุณลักษณะ ในโมเดล	เนื้อหาส่วนใหญ่ เหมาะสมกับการวัด คุณลักษณะ ในโมเดล	เนื้อหาทั้งหมด เหมาะสมกับการวัด คุณลักษณะ ในโมเดล
ความ สมเหตุสมผล	การรวม ส่วนประกอบย่อย (element combinations) ทั้งหมดไม่ถูกต้อง ในการสร้าง ข้อสอบสำหรับ วัดคุณลักษณะ ในโมเดล	การรวม ส่วนประกอบ ย่อยส่วนใหญ่ ไม่ถูกต้องใน การสร้างข้อสอบ สำหรับวัด คุณลักษณะ ในโมเดล	การรวม ส่วนประกอบ ย่อยส่วนใหญ่ มีความถูกต้องใน การสร้างข้อสอบ สำหรับวัด คุณลักษณะ ในโมเดล	การรวม ส่วนประกอบ ย่อยทั้งหมด มีความถูกต้องใน การสร้างข้อสอบ สำหรับวัด คุณลักษณะ ในโมเดล
การนำเสนอ	โมเดลข้อสอบ สร้างข้อสอบ ที่ผิดหลักภาษา และไวยากรณ์	โมเดลข้อสอบ สร้างข้อสอบที่มี ข้อผิดพลาดด้าน หลักภาษา และไวยากรณ์ หลายจุด ต้องปรับแก้มาก	โมเดลข้อสอบ สร้างข้อสอบที่มี ความถูกต้อง ด้านหลักภาษา และไวยากรณ์ เป็นส่วนใหญ่ โดยมีสิ่งที่ต้อง ปรับแก้เล็กน้อย	โมเดลข้อสอบ สร้างข้อสอบที่มี ความถูกต้อง ด้านหลักภาษา และไวยากรณ์ ทั้งหมด

3.3.3 สร้างข้อสอบและประเมินความคล้ายของข้อสอบ

ขั้นตอนนี้เป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างข้อสอบโดยใช้โมเดลข้อสอบซึ่งมีการรวมส่วนประกอบย่อยที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ระบุไว้ในโมเดลพุทธิปัญญาให้ได้ข้อสอบจำนวนมาก และมีความหมายในเวลาอันรวดเร็ว หลังจากนั้นจึงประเมินความคล้ายของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบเดียวกันโดยใช้ดัชนี CSI (cosine similarity index) ซึ่งวัดความคล้ายระหว่างคู่เวกเตอร์ของคำที่เกิดขึ้นร่วมกัน โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้ (Gierl & Lai, 2013)

$$CSI = \frac{A \cdot B}{||A|| ||B||}$$

เมื่อ A และ B คือ เวกเตอร์แบบ 2 ค่า ของคำที่เกิดขึ้นในข้อสอบ A และ B ตามลำดับ โดยหลักคือ คำทั้งหมดทั้งในข้อสอบ A และ B หากข้อสอบมีคำที่พิจารณาแทนด้วย 1 หากข้อสอบไม่มีคำที่พิจารณาแทนด้วย 0

ดัชนี CSI มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดย 0 หมายถึง ข้อสอบทั้ง 2 ข้อ ไม่มีคำร่วมกัน ส่วน 1 หมายถึง ข้อสอบทั้ง 2 ข้อ มีค่าเหมือนกันทุกประการ ในการคำนวณดัชนี CSI ของข้อสอบทุกคู่ในโมเดลข้อสอบจะต้องสร้างเมทริกซ์คำในโมเดลข้อสอบ โดยแถว คือ ข้อสอบ ส่วนหลัก คือ คำในข้อสอบทุกข้อในโมเดลข้อสอบ จากนั้นจึงคำนวณดัชนี CSI ของข้อสอบทุกคู่ในโมเดล แล้วจึงคำนวณค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี CSI สำหรับพิจารณาความคล้ายของข้อสอบในแต่ละโมเดลข้อสอบ หากดัชนี CSI ของโมเดลข้อสอบมีค่าเฉลี่ยสูง และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ แสดงว่าโมเดลข้อสอบจะสร้างข้อสอบที่มีลักษณะ isomorphs หรือ clones นั่นคือ ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบนั้นมีคำซ้ำกันมาก หากดัชนี CSI ของโมเดลข้อสอบมีค่าเฉลี่ยต่ำ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง แสดงว่าโมเดลข้อสอบจะสร้างข้อสอบที่มีลักษณะ variants นั่นคือ ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบนั้นมีคำซ้ำกันน้อย

3.4 ข้อดีของการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

การสร้างข้อสอบอัตโนมัติโดยใช้โมเดลข้อสอบมีข้อดี ดังนี้ (Gierl & Lai, 2016; Gierl et al., 2008; Graf et al., 2005; Sinharay & Johnson, 2013)

1) มีความคุ้มค่าในการสร้างข้อสอบเนื่องจากสามารถสร้างข้อสอบได้จำนวนมากจากโมเดลข้อสอบ ทำให้ต้นทุนในการสร้างข้อสอบต่อข้อต่ำกว่าการสร้างข้อสอบทีละข้อ จึงสามารถสร้างคลังข้อสอบได้อย่างรวดเร็ว และช่วยลดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบเนื่องจากมีคลังข้อสอบขนาดใหญ่

2) สร้างข้อสอบที่มีคุณภาพสูงในเวลาอันรวดเร็ว เนื่องจากโมเดลข้อสอบช่วยลดปัญหาที่เกิดจากข้อผิดพลาดทางภาษา เช่น การสะกดคำผิด การเว้นวรรค การจัดรูปแบบ กล่าวคือ มีการจัดกระทำเพียงบางส่วนประกอบย่อยในโมเดลข้อสอบในส่วนของคำถาม และตัวเลือก เพื่อสร้างข้อสอบซึ่งมีการปรับปรุงเพียงเล็กน้อย

3) สามารถทำนายค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบที่สร้างขึ้นได้ โดยมักสร้างข้อสอบขณะดำเนินการทดสอบ

4) ลดภาระผู้สร้างข้อสอบ เนื่องจากผู้สร้างข้อสอบสร้างเพียงโมเดลข้อสอบ แทนที่จะสร้างข้อสอบทีละข้อ อีกทั้งยังช่วยลดกระบวนการทบทวนข้อสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยทบทวนโมเดลข้อสอบแทน และลดการทดลองใช้ข้อสอบ เนื่องจากสามารถทำนายค่าพารามิเตอร์ข้อสอบในแต่ละโมเดลข้อสอบได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตอนที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

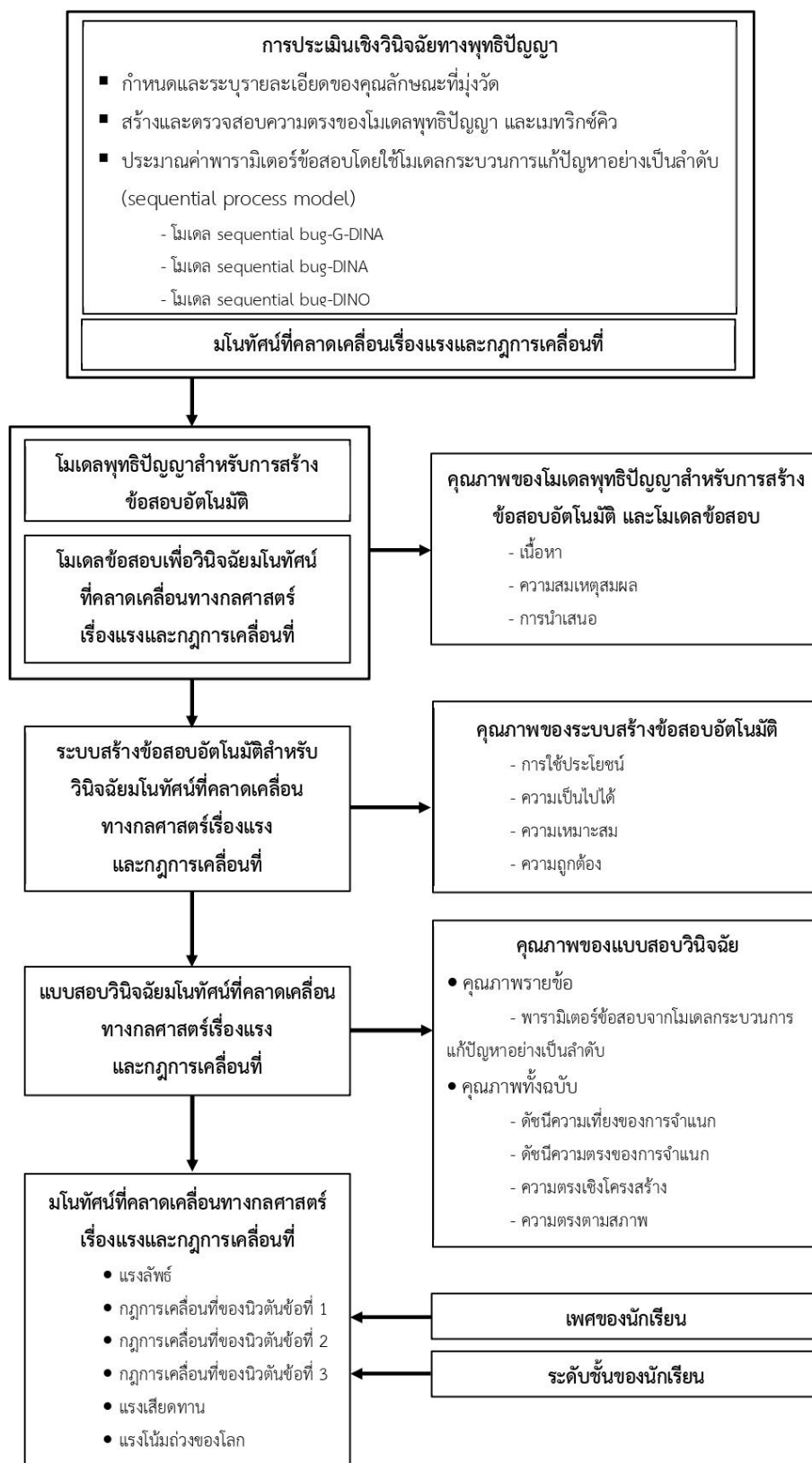
จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา เพื่อสร้างกรอบแนวคิดการวิจัยพบว่า มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างแบบสอบเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ เนื่องจากแรงและกฎการเคลื่อนที่เป็นมโนทัศน์สำคัญของการเรียนรู้ทางกลศาสตร์ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนรู้มโนทัศน์อื่นที่มีความซับซ้อนในวิชาฟิสิกส์ หากนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่จะทำให้การเรียนรู้ทางกลศาสตร์ไม่มีความหมาย และเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ได้อย่างไม่มีประสิทธิผล (Hestenes et al., 1992; Tomara et al., 2017) ดังนั้น จึงต้องมีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเพื่อเป็น

สารสนเทศสำหรับวางแผนการจัดการเรียนรู้ และแนวทางในการปรับปรุงการเรียนรู้ของนักเรียน โดยแบบสอบสร้างคำตอบ (constructed response test) เหมาะสำหรับการใช้ในการวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากนักเรียนจะต้องสร้างคำตอบด้วยความคิดของตนเองซึ่งแสดงถึงความคิดของนักเรียนอย่างแท้จริง และให้สารสนเทศเชิงวินิจฉัยมากกว่าแบบสอบเลือกตอบ (Arieli-Attali & Liu, 2016; Ma & de la Torre, 2016)

การสร้างแบบสอบวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนควรประยุกต์ใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาซึ่งเป็นการประเมินที่ให้ความสำคัญกับการระบุนกระบวนการคิดของนักเรียนที่ใช้ในการทำแบบสอบเพื่อให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเป็นรายบุคคลเกี่ยวกับจุดอ่อน และจุดแข็งของนักเรียนสำหรับการปรับปรุงและพัฒนาการเรียนรู้ของตนเอง พร้อมทั้งให้สารสนเทศแก่ครูในการออกแบบการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน (Javidanmehr & Sarab, 2017; Ketterlin-Geller & Yovanoff, 2009) สารสนเทศนั้นได้มาจากการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบโดยใช้โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาซึ่งแบบสอบสร้างคำตอบส่วนใหญ่มีการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า โมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาแบบตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า ที่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ผลการตอบที่มีการตรวจให้คะแนนแบบลำดับขั้น ได้แก่ (1) โมเดล GDM (2) โมเดล RSDM (3) โมเดล ORDM (4) โมเดล MORDM (5) โมเดล GPDM (6) โมเดล DINA-GD และ (7) โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ (sequential process model) โดยผู้วิจัยเลือกใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ เนื่องจากสามารถใช้โมเดล G-DINA เป็นฟังก์ชันประมวลผลข้อมูล ซึ่งโมเดล G-DINA เป็นกรอบโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาที่ครอบคลุมโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาโมเดลอื่นๆ ที่นิยมใช้ (Ma & de la Torre, 2016) อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบที่สร้างขึ้นสำหรับวัดมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Ma et al., 2020) ทำให้สามารถเปรียบเทียบความสอดคล้องของโมเดลระหว่างโมเดลที่มีหลักการรวมคุณลักษณะ (condensation rule) แตกต่างกันได้ โดยเลือกใช้โมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากที่สุดในการวิเคราะห์คุณภาพของข้อสอบ และพิจารณาคุณภาพของแบบสอบจากดัชนีความเที่ยงของการจำแนก ดัชนีความตรงของการจำแนก ความตรงเชิงโครงสร้าง และความตรงตามสภาพซึ่งพิจารณาจากความสอดคล้องระหว่างผลการวินิจฉัยโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับกับวิธีการคิดออกเสียงโดยใช้ Cohen's kappa

การสร้างแบบสอบโดยใช้แนวคิดการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญามีการกำหนดคุณลักษณะที่มีความละเอียดซึ่งมีคุณลักษณะที่มุ่งวัดจำนวนมากเพื่อให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียน

อย่างละเอียด จึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้ข้อสอบจำนวนมาก (Gierl & Lai, 2013) และหากมีการใช้แบบสอบซ้ำหลายครั้งจะเกิดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบ (Gierl et al., 2008) จึงต้องมีคลังข้อสอบขนาดใหญ่เพื่อลดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบ อีกทั้ง เพิ่มความปลอดภัยของระบบการทดสอบและความยุติธรรมในการทดสอบ วิธีการที่ช่วยตอบสนองต่อความต้องการใช้ข้อสอบจำนวนมาก คือการสร้างข้อสอบอัตโนมัติซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้โมเดลข้อสอบในการสร้างข้อสอบโดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ช่วยดำเนินการรวมส่วนประกอบย่อยที่กำหนดไว้ในโมเดลข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทำให้ได้ข้อสอบจำนวนมาก และมีความหมายในเวลาอันรวดเร็ว โดยสามารถสร้างข้อสอบได้ทันทีหลังจากสร้างโมเดลข้อสอบเสร็จ (Embretson & Yang, 2007; Gierl & Lai, 2013, 2016) ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยประยุกต์ใช้การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา ซึ่งเริ่มต้นจากสังเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สำหรับการจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และกำหนดเป็นคุณลักษณะที่มุ่งวัดเพื่อนำไปสร้างโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และเมทริกซ์คิว จากนั้นจึงสร้างโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติซึ่งเป็นแนวทางในการสร้างโมเดลข้อสอบให้สอดคล้องกับเมทริกซ์คิว พร้อมทั้งตรวจสอบคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบด้านเนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ หลังจากนั้นจึงนำโมเดลข้อสอบไปพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และตรวจสอบคุณภาพของระบบด้านการใช้ประโยชน์ ความเป็นไปได้ ความเหมาะสม และความถูกต้อง อีกทั้ง ใช้ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติในการสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เพื่อนำไปตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจัย นอกจากนี้ ผู้วิจัยเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนที่มีเพศและเรียนในระดับชั้นที่ต่างกัน ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้มาจากผลการวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่ทำแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และประมาณค่าสถานะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนทั้ง 6 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก โดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับกรอบแนวคิดการวิจัย ดังภาพ 2.18



ภาพ 2.18 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญามีวัตถุประสงค์การวิจัยหลัก 3 ข้อ ได้แก่ (1) เพื่อพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา (2) เพื่อพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และ (3) เพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนที่มีเพศและเรียนในระดับชั้นที่ต่างกัน การวิจัยแบ่งเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 การพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และระยะที่ 2 การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ แต่ละระยะมีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

การวิจัยระยะที่ 1 มีการกำหนดผู้ให้ข้อมูล เครื่องมือวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ผู้ให้ข้อมูล

ผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 21 ท่าน โดยผู้เชี่ยวชาญจะต้องสำเร็จการศึกษาจากคณะครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์ วิชาเอกฟิสิกส์ และมีประสบการณ์สอนไม่น้อยกว่า 5 ปี และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา จำนวน 3 ท่าน โดยผู้เชี่ยวชาญจะต้องสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา และมีประสบการณ์สอนหรือทำงานไม่น้อยกว่า 5 ปี โดยมีรายชื่อผู้เชี่ยวชาญดังภาคผนวก ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือวิจัย

เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วย (1) แบบประเมินโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบ อัตโนมัตินี้และโมเดลข้อสอบ และ (2) แบบตรวจสอบความตรงของข้อสอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. แบบประเมินโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัตินี้และโมเดลข้อสอบ ผู้วิจัย ใช้รูปrikให้คะแนนที่พัฒนาโดย Gierl และ Lai (2016) โดยมีประเด็นในการประเมิน 3 ประเด็น ได้แก่ เนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ ซึ่งมีเกณฑ์การให้คะแนน 4 ระดับ ได้แก่ 1 หมายถึง ไม่ยอมรับ, 2 หมายถึง ไม่ยอมรับ, แก้ไขเป็นส่วนใหญ่, 3 หมายถึง ยอมรับ, แก้ไขเล็กน้อย และ 4 หมายถึง ยอมรับ

2. แบบตรวจสอบความตรงของข้อสอบ เป็นแบบตรวจสอบรายการสำหรับผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ระบุคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่มุ่งวัดโดยข้อสอบแต่ละข้อ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญามีการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. สังเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน จำนวน 25 ประเด็น ดังนี้

- 1) วัตถุจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแรงที่มีขนาดมากกว่า
- 2) วัตถุจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศของแรงกระทำล่าสุด
- 3) วัตถุเก็บสะสมแรงกระทำในรูปของแรงผลักดัน (impetus) ซึ่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้หลังหยุดออกแรงกระทำ
- 4) วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่องเพราะมีแรงผลักดัน (impetus) กระทำต่อวัตถุ
- 5) เส้นทางเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงผลักดันของวัตถุ
- 6) วัตถุที่อยู่นิ่งจะไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุ
- 7) วัตถุจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อหยุดออกแรงกระทำ
- 8) ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ จะมีแรงกระทำต่อวัตถุ
- 9) เมื่อมีแรงมากกระทำจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่
- 10) วัตถุที่เคลื่อนที่จะมีแรงกระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ

11) แรงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็ว นั่นคือ วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ จะมีแรงลัพธ์คงที่กระทำต่อวัตถุ

12) วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ

13) แรงเป็นผลมาจากสิ่งมีชีวิตและวัตถุที่เคลื่อนที่

14) จะมีแรงกระทำต่อวัตถุเมื่อมีบางสิ่งมาสัมผัสกับวัตถุนั้น

15) แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุขึ้นเดียวกัน

16) วัตถุที่มีมวลมากกว่า หรือขนาดใหญ่กว่า หรือเคลื่อนที่เร็วกว่า จะออกแรงกระทำมากกว่า

17) สิ่งกีดขวางทำให้วัตถุเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือหยุดการเคลื่อนที่ แต่ไม่สามารถออกแรงกระทำได้

18) มีแรงเสียดทานกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่

19) แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอ

20) แรงเสียดทานสถิตจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่

21) แรงเสียดทานสถิตมีค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตคูณกับแรงแนวฉาก (normal force)

22) วัตถุที่มีมวลมากมีความเร่งมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย หรือวัตถุที่มีมวลมากตกเร็วกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย

23) มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุวางอยู่บนพื้นโลกเท่านั้น

24) แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าคงที่ทุกตำแหน่ง

25) วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อแรงผลักดันหายไป หรือมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งเท่านั้น

2. จัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เพื่อกำหนดเป็นคุณลักษณะที่มุ่งวัด โดยมีหลักการจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 3 ประการ ได้แก่ (1) มีความละเอียดและเฉพาะเจาะจง (2) วัดค่าได้ และ (3) สอดคล้องกับการเรียนการสอน รวมทั้งใช้ระบบการจัดจำแนกมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (taxonomy of misconceptions) เสนอโดย Hestenes et al. (1992) เป็นแนวทางในการจัดกลุ่ม ซึ่งสามารถจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

เป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) การตกอย่างเสรี ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1

การจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

กลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
1. แรงลัพธ์	1) วัตถุจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแรงที่มีขนาดมากกว่า 2) วัตถุจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศของแรงกระทำล่าสุด
2. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1	3) วัตถุเก็บสะสมแรงกระทำในรูปของแรงผลักดัน (impetus) ซึ่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้หลังหยุดออกแรงกระทำ 4) วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่องเพราะมีแรงผลักดัน (impetus) กระทำต่อวัตถุ 5) เส้นทางเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงผลักดันของวัตถุ
3. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2	6) วัตถุที่อยู่นิ่งจะไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุ 7) วัตถุจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อหยุดออกแรงกระทำ 8) ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ จะมีแรงกระทำต่อวัตถุ 9) เมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ 10) วัตถุที่เคลื่อนที่จะมีแรงกระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ 11) แรงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็ว นั่นคือ วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จะมีแรงลัพธ์คงที่กระทำต่อวัตถุ 12) วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ 13) แรงเป็นผลมาจากสิ่งมีชีวิตและวัตถุที่เคลื่อนที่ 14) จะมีแรงกระทำต่อวัตถุเมื่อมีบางสิ่งมาสัมผัสกับวัตถุนั้น

ตาราง 3.1 (ต่อ)

กลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่	
4. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3	<p>15) แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุขึ้นเดียวกัน</p> <p>16) วัตถุที่มีมวลมากกว่า หรือขนาดใหญ่กว่า หรือเคลื่อนที่เร็วกว่า จะออกแรงกระทำมากกว่า</p> <p>17) สิ่งกีดขวางทำให้วัตถุเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ หรือหยุดการเคลื่อนที่ แต่ไม่สามารถออกแรงกระทำได้</p>
5. แรงเสียดทาน	<p>18) มีแรงเสียดทานกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่</p> <p>19) แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอ</p> <p>20) แรงเสียดทานสถิตจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่</p> <p>21) แรงเสียดทานสถิตมีค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตคูณกับแรงแนวฉาก (normal force)</p>
6. การตกอย่างเสรี	<p>22) วัตถุที่มีมวลมากมีความเร่งมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย หรือวัตถุที่มีมวลมากตกเร็วกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย</p> <p>23) มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุวางอยู่บนพื้นโลกเท่านั้น</p> <p>24) แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าคงที่ทุกตำแหน่ง</p> <p>25) วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อแรงผลักดันหายไป หรือมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งเท่านั้น</p>

3. ระบุรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัดซึ่งแบ่งเป็น 4 ประเด็น ได้แก่ (1) ภาวะสันนิษฐาน (constructs) (2) ชื่อคุณลักษณะ (3) นิยามของคุณลักษณะ และ (4) รหัสสำหรับคุณลักษณะ

4. สร้างโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของคุณลักษณะที่มุ่งวัด

5. ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 7 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของการกำหนดคุณลักษณะที่มุ่งวัด การระบุนายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด และโมเดลพุทธิปัญญา เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยใช้การสัมภาษณ์ และปรับปรุงแก้ไขการกำหนดคุณลักษณะที่มุ่งวัด การระบุนายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด และโมเดลพุทธิปัญญา เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

6. สร้างเมทริกซ์คิวโดยใช้ข้อมูลจากโมเดลพุทธิปัญญา เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

7. ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 4 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของเมทริกซ์คิวโดยใช้การสัมภาษณ์ และปรับปรุงแก้ไขเมทริกซ์คิวตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

8. สร้างโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติให้สอดคล้องกับเมทริกซ์คิวที่แก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ (1) คุณลักษณะที่มุ่งวัด (2) แหล่งข้อมูล และ (3) ลักษณะที่สำคัญของแหล่งข้อมูล

9. สร้างโมเดลข้อสอบให้สอดคล้องกับโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ คำถาม เฉลย และรูปภาพ โดยสร้างโมเดลข้อสอบให้มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI อยู่ระหว่าง 0.6 ถึง 0.8 (Latifi et al., 2017) เพื่อให้ข้อสอบที่สร้างขึ้นไม่คล้ายคลึงกันหรือแตกต่างกันมากเกินไป จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 7 ท่าน ประเมินคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญา และโมเดลข้อสอบโดยใช้แบบประเมินโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติและโมเดลข้อสอบ ประเด็นในการประเมินแบ่งเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ เนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ

10. ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 7 ท่าน ระบุนคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่มุ่งวัดโดยข้อสอบแต่ละข้อ ซึ่งเป็นตัวอย่างข้อสอบที่สร้างขึ้นจากโมเดลข้อสอบแต่ละโมเดลโดยใช้แบบตรวจสอบความตรงของข้อสอบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงเมทริกซ์คิว จากนั้นพิจารณาความสอดคล้องของผลการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญจากสัดส่วนความสอดคล้อง (proportion of agreement; P_i) หากผลการพิจารณาพบว่าข้อสอบข้อใดมีสัดส่วนความสอดคล้องต่ำกว่า 0.61 ผู้วิจัยจะให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาอีกครั้งจนกระทั่งมีค่าสัดส่วนความสอดคล้องตั้งแต่ 0.61 ขึ้นไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์เนื้อหาจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์เกี่ยวกับความถูกต้องและความเหมาะสมของการกำหนดคุณลักษณะที่มุ่งวัด การระบุรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด และโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

2. วิเคราะห์เนื้อหาจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษาเกี่ยวกับความถูกต้องและความเหมาะสมของเมทริกซ์คิว

3. วิเคราะห์คุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมติ และโมเดลข้อสอบโดยใช้ความถี่

4. วิเคราะห์ความสอดคล้องของผลการระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบแต่ละข้อของผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์โดยใช้สัดส่วนความสอดคล้อง (proportion of agreement; P_i) ตามสูตรของ Fleiss (1971)

สัดส่วนความสอดคล้องสำหรับข้อสอบแต่ละข้อ (proportion of agreement; P_i) หาได้ดังนี้ (Fleiss, 1971)

$$P_i = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^k n_{ij} (n_{ij} - 1)$$

เมื่อ n คือ จำนวนผู้ประเมิน

j คือ จำนวนรายการประเมิน โดย $j = 1, 2, 3, \dots, k$

เกณฑ์ในการแปลความหมายสัดส่วนความสอดคล้อง มีดังนี้ (Landis & Koch, 1977)

น้อยกว่า 0.00	ไม่มีความสอดคล้อง
0.00 - 0.20	มีความสอดคล้องต่ำ
0.21 - 0.40	มีความสอดคล้องพอใช้
0.41 - 0.60	มีความสอดคล้องปานกลาง
0.61 - 0.80	มีความสอดคล้องสูง
0.81 - 1.00	มีความสอดคล้องสูงมาก

ระยะที่ 2 การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

การวิจัยระยะที่ 2 มีการกำหนดประชากรและตัวอย่างวิจัย ผู้ให้ข้อมูล เครื่องมือวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ประชากรและตัวอย่างวิจัย

ประชากรวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนมัธยมศึกษาสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 และเขต 2 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน จำนวน 107,911 คน โดยแบ่งเป็นเพศชาย จำนวน 48,006 คน และเพศหญิง จำนวน 59,905 คน จาก 119 โรงเรียน ซึ่งเป็นข้อมูล ณ วันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ.2563 (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2563)

ตัวอย่างวิจัยได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (multistage random sampling) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กำหนดขนาดตัวอย่างวิจัย การวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ (sequential process model) ควรใช้ตัวอย่างวิจัยอย่างน้อย 500 คน (Ma & de la Torre, 2016) เพื่อให้สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ได้อย่างแม่นยำ และเพื่อชดเชยการขาดหายของตัวอย่างวิจัย ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดตัวอย่างวิจัยทั้งสิ้น 600 คน

2) สุ่มโรงเรียนสำหรับการวิจัยโดยใช้การสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) ได้โรงเรียน จำนวน 4 โรงเรียน จากนั้นแบ่งนักเรียนในแต่ละโรงเรียนออกเป็น 3 กลุ่ม คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4, 5 และ 6 หลังจากนั้น สุ่มห้องเรียนมาระดับชั้นละ 2 ห้อง โดยเลือกศึกษาเฉพาะห้องเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

3) สุ่มนักเรียนเพศชาย และเพศหญิง ระดับชั้นละ 100 คน โดยมีจำนวนตัวอย่างวิจัยตามแผนการสุ่มจำแนกตามระดับชั้น และเพศ ดังตาราง 3.2

เกณฑ์การคัดเข้า และคัดออก

เกณฑ์การคัดตัวอย่างวิจัยเข้ามาศึกษา คือ ตัวอย่างวิจัยจะต้องศึกษาอยู่ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 และเขต 2 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน โดยให้ความร่วมมือในการวิจัย และเข้ารับการทดสอบครบทั้ง 2 ครั้ง อีกทั้งมีผลการตอบข้อสอบครบถ้วนทุกข้อ หากตัวอย่างวิจัยคนใด

ขาดสอบ หรือมีผลการตอบข้อสอบไม่ครบถ้วน ผู้วิจัยจะตัดตัวอย่างวิจัยออกจากการศึกษา และไม่นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผล ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะแทนที่ผลการตอบข้อสอบที่คัดออกด้วยผลการตอบข้อสอบจากแบบสอบวินิจฉัยสำรอง โดยให้มีตัวอย่างวิจัยมากกว่า 500 คน ซึ่งมีสัดส่วนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4, 5 และ 6 รวมทั้งมีสัดส่วนของนักเรียนเพศชาย และเพศหญิง ใกล้เคียงกัน

ตาราง 3.2

จำนวนตัวอย่างวิจัยตามแผนการสุ่มจำแนกตามระดับชั้นและเพศของนักเรียน

โรงเรียน	จำนวนนักเรียน									
	ม.4					ม.5				
	ชาย	หญิง	รวม	ชาย	หญิง	รวม	ชาย	หญิง	รวม	รวม
โรงเรียนที่ 1	25 (4.167%)	25 (4.167%)	50 (8.333%)	25 (4.167%)	25 (4.167%)	50 (8.333%)	25 (4.167%)	25 (4.167%)	50 (8.333%)	150 (25.000%)
โรงเรียนที่ 2	25 (4.167%)	25 (4.167%)	50 (8.333%)	25 (4.167%)	25 (4.167%)	50 (8.333%)	25 (4.167%)	25 (4.167%)	50 (8.333%)	150 (25.000%)
โรงเรียนที่ 3	50 (8.333%)	0 (0.000%)	50 (8.333%)	50 (8.333%)	0 (0.000%)	50 (8.333%)	50 (8.333%)	0 (0.000%)	50 (8.333%)	150 (25.000%)
โรงเรียนที่ 4	0 (0.000%)	50 (8.333%)	50 (8.333%)	0 (0.000%)	50 (8.333%)	50 (8.333%)	0 (0.000%)	50 (8.333%)	50 (8.333%)	150 (25.000%)
รวม	100 (16.667%)	100 (16.667%)	200 (33.333%)	100 (16.667%)	100 (16.667%)	200 (33.333%)	100 (16.667%)	100 (16.667%)	200 (33.333%)	600 (100.000%)

จากการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่ามีตัวอย่างวิจัย จำนวน 522 คน ที่ให้ความร่วมมือในการวิจัย และเข้ารับการทดสอบครบทั้ง 2 ครั้ง แบ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 176 คน (ร้อยละ 33.716) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 176 คน (ร้อยละ 33.716) และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 170 คน (ร้อยละ 32.567) โดยเป็นนักเรียนเพศชาย จำนวน 255 คน (ร้อยละ 48.851) และเพศหญิง จำนวน 267 คน (ร้อยละ 51.149) จำนวนตัวอย่างวิจัยในแต่ละโรงเรียนจำแนกตามระดับชั้นและเพศ แสดงดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3

จำนวนตัวอย่างวิจัยจำแนกตามระดับชั้นและเพศของนักเรียน

โรงเรียน	จำนวนนักเรียน									
	ม.4			ม.5			ม.6			รวม
	ชาย	หญิง	รวม	ชาย	หญิง	รวม	ชาย	หญิง	รวม	
โรงเรียนที่ 1	24 (4.598%)	25 (4.789%)	49 (9.387%)	24 (4.598%)	24 (4.598%)	48 (9.195%)	23 (4.406%)	24 (4.598%)	47 (9.004%)	144 (27.586%)
โรงเรียนที่ 2	20 (3.831%)	22 (4.215%)	42 (8.046%)	22 (4.215%)	21 (4.023%)	43 (8.238%)	19 (3.640%)	21 (4.023%)	40 (7.663%)	125 (23.946%)
โรงเรียนที่ 3	41 (7.854%)	0 (0.000%)	41 (7.854%)	43 (8.238%)	0 (0.000%)	43 (8.238%)	39 (7.471%)	0 (0.000%)	39 (7.471%)	123 (23.563%)
โรงเรียนที่ 4	0 (0.000%)	44 (8.429%)	44 (8.429%)	0 (0.000%)	42 (8.046%)	42 (8.046%)	0 (0.000%)	44 (8.429%)	44 (8.429%)	130 (24.904%)
รวม	85 (16.283%)	91 (17.433%)	176 (33.716%)	89 (17.050%)	87 (16.667%)	176 (33.716%)	81 (15.517%)	89 (17.050%)	170 (32.567%)	522 (100.000%)

ผู้ให้ข้อมูล

ผู้ให้ข้อมูลสำหรับประเมินคุณภาพของระบบ และคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ เพื่อวินิจฉัยนวัตกรรมที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา จำนวน 4 ท่าน โดยผู้เชี่ยวชาญจะต้องสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา และมีประสบการณ์สอนหรือทำงานไม่น้อยกว่า 5 ปี (2) ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 ท่าน โดยผู้เชี่ยวชาญต้องสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และมีประสบการณ์สอนหรือทำงานไม่น้อยกว่า 5 ปี โดยมีรายชื่อผู้เชี่ยวชาญดังกล่าว ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือวิจัย และ (3) ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 20 คน มีอายุเฉลี่ย 31.300 ปี ($SD = 4.181$) แบ่งเป็นเพศชาย จำนวน 10 คน และเพศหญิง จำนวน 10 คน

เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วย (1) แบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ (2) แบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ (3) แบบสอบวินิจฉัยนวัตกรรมที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ (4) แบบบันทึกการคิดออกเสียง และ (5) รوبرิกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. แบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ประกอบด้วยข้อคำถาม จำนวน 14 ข้อ มีลักษณะเป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ 1 หมายถึง น้อยที่สุด, 2 หมายถึง น้อย, 3 หมายถึง ปานกลาง, 4 หมายถึง มาก และ 5 หมายถึง มากที่สุด โดยมีประเด็นในการประเมิน 4 ประเด็น ได้แก่ การใช้ประโยชน์ ความเป็นไปได้ ความเหมาะสม และความถูกต้อง

ผู้วิจัยสร้างแบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติโดยเริ่มต้นศึกษานิยามของการใช้ประโยชน์ ความเป็นไปได้ ความเหมาะสม และความถูกต้องที่ให้โดย Joint Committee on Standards for Educational Evaluation (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2562; The Joint Committee on Standards for Educational Evaluation, 1994; Yarbrough et al., 2011) เพื่อนำมาสร้างข้อคำถาม จากนั้น ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา จำนวน 7 ท่าน ดังรายชื่อในภาคผนวก ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือวิจัย ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง

ระหว่างข้อคำถามกับจุดมุ่งหมายของการวัด (item-objective congruence: IOC) ซึ่งมีเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

+1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการ

0 หมายถึง ไม่แนใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการ

-1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการ

ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา พบว่าข้อคำถามมีดัชนี IOC อยู่ระหว่าง 0.71 และ 1.00 ผู้วิจัยจึงคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าดัชนี IOC มากกว่า 0.80 เพื่อนำมาเรียบเรียงเป็นแบบประเมิน พร้อมทั้งปรับปรุงข้อคำถามตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ โดยมีข้อคำถามที่ได้รับการคัดเลือกจำนวน 14 ข้อ ซึ่งมีดัชนี IOC อยู่ระหว่าง 0.86 และ 1.00 (CVI = 0.93) และมีข้อคำถามที่ถูกคัดออกจำนวน 2 ข้อ ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา และแบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ แสดงดังภาคผนวก ง เครื่องมือวิจัย

2. แบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ประกอบด้วยข้อคำถาม จำนวน 15 ข้อ มีลักษณะเป็นมาตราประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ 1 หมายถึง น้อยที่สุด, 2 หมายถึง น้อย, 3 หมายถึง ปานกลาง, 4 หมายถึง มาก และ 5 หมายถึง มากที่สุด โดยมีประเด็นในการประเมิน 4 ประเด็น ได้แก่ การใช้ประโยชน์ ความเป็นไปได้ ความเหมาะสม และความถูกต้อง

ผู้วิจัยสร้างแบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติโดยเริ่มต้นศึกษานิยามของการใช้ประโยชน์ ความเป็นไปได้ ความเหมาะสม และความถูกต้องที่ให้โดย Joint Committee on Standards for Educational Evaluation (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2562; The Joint Committee on Standards for Educational Evaluation, 1994; Yarbrough et al., 2011) เพื่อนำมาสร้างข้อคำถาม จากนั้น ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา จำนวน 7 ท่าน ดังรายชื่อในภาคผนวก ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือวิจัย ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดมุ่งหมายของการวัด (IOC) ซึ่งมีเกณฑ์ในการพิจารณาเหมือนกับการสร้างแบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา พบว่าข้อคำถามมีดัชนี IOC อยู่ระหว่าง 0.71 และ 1.00 ผู้วิจัยจึงคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าดัชนี IOC มากกว่า 0.80 เพื่อนำมาเรียบเรียงเป็นแบบประเมิน พร้อมทั้งปรับปรุงข้อคำถามตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ โดยมีข้อคำถามที่ได้รับการคัดเลือกจำนวน 15 ข้อ ซึ่งมีดัชนี IOC อยู่ระหว่าง 0.86 และ 1.00 (CVI = 0.94) และมีข้อคำถามที่ถูกคัดออก

จำนวน 1 ข้อ ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา และแบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ แสดงดังภาคผนวก ง เครื่องมือวิจัย

3. แบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ มีลักษณะเป็นแบบสอบสร้างคำตอบ ซึ่งสร้างตามแนวคิดการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา โดยสร้างจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ เพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ มีจำนวน 2 ฉบับ ได้แก่ แบบสอบวินิจัย ฉบับที่ 1 ประกอบด้วยข้อสอบตามเมทริกซ์คิว จำนวน 18 ข้อ โดยสุ่มข้อสอบที่สร้างจากโมเดลข้อสอบ มาโมเดลละ 1 ข้อ ซึ่งแบบสอบวินิจัย แบ่งเป็น 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนแบบสอบวินิจัย ฉบับที่ 2 มีจำนวน 30 ข้อ โดยสุ่มข้อสอบที่สร้างจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด ได้แก่ โมเดลข้อสอบที่ 2 และโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI สูงที่สุด ได้แก่ โมเดลข้อสอบที่ 16 มาโมเดลละ 15 ข้อ รวม 30 ข้อ แบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ทั้ง 2 ฉบับ แสดงดังภาคผนวก ง เครื่องมือวิจัย

4. แบบบันทึกการคิดออกเสียง ใช้บันทึกผลการพิจารณากระบวนการคิดของนักเรียนขณะ ทำข้อสอบ สำหรับการทดลองใช้แบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 กับตัวอย่างขนาดเล็กที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับตัวอย่างวิจัยโดยใช้วิธีการคิดออกเสียง เพื่อนำข้อมูลมา พิจารณาปรับแก้เมทริกซ์คิว และโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ รวมทั้งใช้ในการบันทึก ผลการวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนโดยใช้ วิธีการคิดออกเสียง สำหรับการวิเคราะห์ความตรงตามสภาพ แบบบันทึกการคิดออกเสียงแสดงดัง ภาคผนวก ง เครื่องมือวิจัย

5. รูปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจัย ใช้สำหรับการตรวจให้คะแนนผลการตอบ ข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์แต่ละข้อ แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0 หมายถึง คำตอบผิด, 1 หมายถึง คำตอบถูกต้องบางส่วน และ 2 หมายถึง คำตอบถูกต้องสมบูรณ์ โดยผู้วิจัย สร้างรูปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจัยเพื่อนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 7 ท่าน ดังรายชื่อในภาคผนวก ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือวิจัย ตรวจสอบ ความเหมาะสม และให้ข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงแก้ไขรูปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบ ข้อสอบวินิจัย โดยมีความคิดเห็น 2 ระดับ ได้แก่ 0 หมายถึง ไม่เหมาะสม และ 1 หมายถึง เหมาะสม

จากนั้น วิเคราะห์ความสอดคล้องของผลการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญโดยใช้สัดส่วนความสอดคล้อง (proportion of agreement; P_i) ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปrikตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัย พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นสอดคล้องกันในระดับสูง และสูงมาก ว่ารูปrikตรวจให้คะแนนสำหรับข้อสอบวินิจฉัยทั้ง 18 ข้อ มีความเหมาะสม โดยมีสัดส่วนความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.714 และ 1.000 ผลการตรวจสอบความเหมาะสม และรูปrikตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัย แสดงดังภาคผนวก ง เครื่องมือวิจัย

ผู้วิจัยวิเคราะห์ความเที่ยงระหว่างผู้ตรวจให้คะแนน (inter-rater reliability) โดยใช้ Fleiss' kappa ซึ่งสุ่มกระดาษคำตอบของนักเรียนมาจำนวน 50 คน และตรวจให้คะแนนโดยผู้วิจัย และครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 2 คน ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงระหว่างผู้ตรวจให้คะแนน พบว่าการใช้รูปrikตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัยในการตรวจผลการตอบข้อสอบทั้ง 18 ข้อ มีความเที่ยงระหว่างผู้ตรวจให้คะแนนอยู่ในระดับสูงมาก โดยมีค่า Fleiss' kappa อยู่ระหว่าง 0.824 และ 0.965 โดยผลการวิเคราะห์ความเที่ยงระหว่างผู้ตรวจให้คะแนน แสดงดังภาคผนวก ง เครื่องมือวิจัย

Fleiss' kappa มีสูตรการคำนวณ ดังนี้ (Fleiss, 1971)

$$\text{Fleiss'kappa} = \frac{\bar{P} - \bar{P}_e}{1 - \bar{P}_e}$$

$$\text{เมื่อ } \bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^k n_{ij} (n_{ij} - 1) \right] \text{ และ } \bar{P}_e = \sum_{j=1}^k \left[\frac{1}{Nn} \sum_{i=1}^N n_{ij} \right]^2$$

n คือ จำนวนผู้ประเมิน

N คือ จำนวนผู้ถูกประเมิน

j คือ จำนวนรายการประเมิน โดย j = 1, 2, 3, ..., k

เกณฑ์ในการแปลความหมายค่า Fleiss' kappa มีดังนี้ (Landis & Koch, 1977)

น้อยกว่า 0.00	ไม่มีความสอดคล้อง
0.00 - 0.20	มีความสอดคล้องต่ำ
0.21 - 0.40	มีความสอดคล้องพอใช้
0.41 - 0.60	มีความสอดคล้องปานกลาง
0.61 - 0.80	มีความสอดคล้องสูง
0.81 - 1.00	มีความสอดคล้องสูงมาก

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การพัฒนาบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ มีการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ออกแบบระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ โดยปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญด้านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นระบบที่ดำเนินการในรูปแบบฐานข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบออนไลน์ โดยมีเมนูการใช้งานสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ โมเดลข้อสอบ การสร้างข้อสอบ และการสร้างแบบสอบ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์แบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การใช้งานสำหรับผู้ใช้ และการใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การใช้งานสำหรับผู้ใช้

ผู้ใช้งานจะต้องลงทะเบียนเพื่อขออนุญาตเข้าใช้งานระบบจากผู้ดูแลระบบ หลังจากนั้นจึงเข้าสู่ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยสามารถเข้าถึงเมนูการใช้งานสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ โมเดลข้อสอบ การสร้างข้อสอบ และการสร้างแบบสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เมนูโมเดลข้อสอบ แสดงรายละเอียดของโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นในระยะที่ 1 โดยโมเดลข้อสอบแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ คำถาม เฉลย และรูปภาพ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถปรับค่าส่วนประกอบย่อยในคำถามและเฉลยให้มีค่าตามที่ต้องการ ในการสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ผู้ใช้ต้องไปที่เมนูการสร้างข้อสอบเพื่อสร้างข้อสอบ และจัดชุดเป็นแบบสอบวินิจัยในเมนูการสร้างแบบสอบ

2) เมนูการสร้างข้อสอบ ใช้ในการสร้างข้อสอบจากโมเดลข้อสอบ โดยมีการสร้าง 2 แนวทาง คือ (1) ใช้โมเดลข้อสอบทั้งหมดในการสร้างข้อสอบ และ (2) เลือกโมเดลข้อสอบที่ต้องการมาใช้ในการสร้างข้อสอบ หลังจากเลือกโมเดลข้อสอบแล้ว ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติจะสร้างข้อสอบในแต่ละโมเดลข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยรวมส่วนประกอบย่อยที่กำหนดไว้ในโมเดลข้อสอบ ผู้ใช้สามารถพิจารณาข้อสอบที่สร้างขึ้นโดยกดเลือกที่โมเดลข้อสอบที่ต้องการพิจารณาข้อสอบ เมื่อสร้างข้อสอบเสร็จแล้ว ผู้ใช้จะต้องไปที่เมนูการสร้างแบบสอบเพื่อสร้างแบบสอบวินิจัย

3) เมนูการสร้างแบบสอบ ใช้ในการจัดชุดแบบสอบสำหรับนำไปใช้งาน โดยระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติจะสุ่มข้อสอบจากแต่ละโมเดลข้อสอบมาจัดชุดเป็นแบบสอบ ซึ่งมีจำนวนชุดแบบสอบ และจำนวนข้อสอบเป็นไปตามการกำหนดของผู้ใช้ ทั้งนี้ ผู้ใช้สามารถกำหนดรายละเอียด

เกี่ยวกับหัวกระดาษของแบบสอบ เช่น ชื่อ-นามสกุล ของนักเรียน โรงเรียน และวันที่สอบ โดยระบบจะสร้างแบบสอบ 2 ลักษณะ คือ แบบสอบวินิจัยที่ไม่มีเฉลยคำตอบ และแบบสอบวินิจัยที่มีเฉลยคำตอบ เมื่อสร้างแบบสอบวินิจัยเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อมา คือ การนำแบบสอบวินิจัยออกจากระบบไปใช้งาน ซึ่งสามารถสร้างแบบสอบวินิจัยได้ทั้งในรูปแบบไฟล์ Word และรูปแบบไฟล์ PDF เพื่อนำไปแก้ไขหรือจัดรูปแบบก่อนการนำไปใช้งาน หรือนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการโดยไม่แก้ไข ตามลำดับ

การใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ

ผู้ดูแลระบบจะต้องเข้าสู่ระบบโดยการกรอกชื่อผู้ใช้งาน และรหัสผ่าน โดยหน้าที่หลักของผู้ดูแลระบบ คือ การจัดการข้อมูลผู้ใช้โดยอนุญาตให้ผู้ใช้เข้าใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ การระงับการใช้งานของผู้ใช้ และการลบข้อมูลผู้ใช้ อีกทั้ง สามารถเข้าถึงและดำเนินการในเมนูการใช้งานทั้ง 3 เมนู เหมือนกับผู้ใช้

2. จัดทำคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ รายละเอียดของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยมีคู่มือการใช้งานระบบ 2 ฉบับ ได้แก่ คู่มือการใช้งานระบบสำหรับผู้ใช้ และคู่มือการใช้งานระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ

3. ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศประเมินคุณภาพของระบบ และคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้แบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และแบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

4. นำระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และคู่มือการใช้งานระบบไปทดลองใช้กับครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 20 คน เพื่อเก็บข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้ (user experience) ในมิติการปฏิบัติงาน เพื่อพิจารณาประโยชน์และความสามารถในการใช้งาน และมิติความพึงพอใจ เพื่อพิจารณาความสนใจและความประทับใจ โดยการสัมภาษณ์ครูเกี่ยวกับการใช้งานระบบ ปัญหาในการใช้งานระบบ ส่วนประกอบของระบบที่ชื่นชอบสิ่งที่ควรปรับปรุง หรือเพิ่มเติมในระบบ เนื้อหา และการนำเสนอในคู่มือการใช้งานระบบ รวมทั้งสิ่งที่ควรปรับปรุง หรือเพิ่มเติมในคู่มือการใช้งานระบบ

5. ใช้ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์สร้างแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 โดยสุ่มข้อสอบที่สร้างจากโมเดลข้อสอบมาโมเดลละ 1 ข้อ ทำให้ได้แบบสอบวินิจฉัยเป็นไปตามเมทริกซ์คิว เพื่อนำไปตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัย พร้อมทั้งสร้างแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 2 โดยสุ่มข้อสอบที่สร้างจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด และโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI สูงที่สุด มาโมเดลละ 15 ข้อ รวม 30 ข้อ เพื่อนำไปเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบทั้ง 2 โมเดล

6. ทดลองใช้แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 กับตัวอย่างขนาดเล็กที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับตัวอย่างวิจัย จำนวน 36 คน โดยใช้วิธีการคิดออกเสียงขณะนักเรียนทำแบบสอบ พร้อมทั้งบันทึกเสียง เพื่อพิจารณากระบวนการคิดที่นักเรียนใช้ในการตอบคำถาม และบันทึกลงในแบบบันทึกการคิดออกเสียง จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เนื้อหาเพื่อพิจารณาปรับแก้เมทริกซ์คิว และเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ พร้อมทั้งตรวจสอบความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ภาษาในข้อสอบ

ระหว่างการคิดออกเสียง ผู้วิจัยจะไม่รบกวนนักเรียน แต่จะกระตุ้นให้นักเรียนคิดออกเสียงหากนักเรียนเงียบมากกว่า 10 วินาที โดยใช้คำถามว่า นักเรียนกำลังคิดอะไรอยู่

ตัวอย่างที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการคิดออกเสียง แบ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4, 5 และ 6 ระดับละ 12 คน โดยแบ่งเป็นเพศชาย และเพศหญิง ระดับละ 6 คน

7. นำแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 และ 2 ไปทดสอบกับตัวอย่างวิจัย โดยจัดสอบ 2 ครั้ง ภายในสัปดาห์เดียวกัน และตรวจให้คะแนนโดยใช้รูปกริดตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัยโดยผู้วิจัย เพื่อนำคะแนนของตัวอย่างวิจัยที่ได้จากการทำแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 ไปประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ พร้อมทั้งตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น จากนั้นนำผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวไปปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์จำนวน 7 ท่าน เพื่อพิจารณาปรับแก้เมทริกซ์คิวให้มีความถูกต้อง

8. วินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยใช้วิธีการคิดออกเสียง โดยผู้วิจัยสุ่มนักเรียนที่เป็นตัวอย่างวิจัยมาจำนวน 36 คน แบ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4, 5 และ 6 ระดับละ 12 คน แบ่งเป็นเพศชาย และเพศหญิง ระดับละ 6 คน ผู้วิจัยบันทึกผลการวินิจฉัย

ลงในแบบบันทึกการคิดออกเสียงว่านักเรียนมีโน้ตส์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ในคุณลักษณะใดบ้าง ขณะนักเรียนกำลังทำแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ความคล้ายของข้อสอบในแต่ละโมเดลข้อสอบโดยใช้ดัชนี CSI (cosine similarity index) โดยใช้คำสั่ง `csi` ภายใต้แพ็คเกจ `spatialEco` ในโปรแกรม R พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าต่ำสุดค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี CSI ของแต่ละโมเดลข้อสอบ
2. วิเคราะห์คุณภาพของระบบ และคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้ความถี่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3. วิเคราะห์เนื้อหาจากการสัมภาษณ์ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายเกี่ยวกับข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้ระบบ และคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์
4. เปรียบเทียบความสอดคล้องของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 ได้แก่ โมเดล sequential bug-G-DINA, sequential bug-DINA และ sequential bug-DINO เพื่อเลือกโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากที่สุด โดยพิจารณาจากดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมบูรณ์ ได้แก่ M_2 statistic, $RMSEA_2$ และ $SRMSR$ จากนั้นเลือกโมเดลที่มีดัชนีความสอดคล้องของโมเดลผ่านเกณฑ์ที่กำหนด หากมีโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่า 1 โมเดล จะเลือกโมเดลจากการพิจารณาดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมพัทธ์ ได้แก่ -2LL, AIC และ BIC พร้อมทั้งเปรียบเทียบความสอดคล้องของแต่ละโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์โดยใช้ likelihood ratio test

เกณฑ์ในการพิจารณาความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมบูรณ์มีดังนี้ (Lei & Li, 2016; Liu et al., 2016; Liu et al., 2018)

M_2 statistic ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

$RMSEA_2$ มีค่าไม่เกิน 0.045

$SRMSR$ มีค่าไม่เกิน 0.050

5. ตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยใช้วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบ ลำดับขั้น (stepwise Q-matrix validation method) ร่วมกับการพิจารณา mesa plot จากผลการตอบ แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 โดยใช้คำสั่ง Qval ภายใต้แพ็คเกจ GDINA ในโปรแกรม R

6. ประเมินค่าพารามิเตอร์ข้อสอบในแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 และฉบับที่ 2 โดยใช้คำสั่ง GDINA ภายใต้แพ็คเกจ GDINA ในโปรแกรม R โดยข้อสอบที่มี คุณภาพจะต้องมีค่า $S_j(h | \alpha_{jh}^* = 0)$ มากกว่า 0.8 และมีค่า $S_j(h | \alpha_{jh}^* = 1)$ น้อยกว่า 0.2 (Ma & de la Torre, 2016)

7. วิเคราะห์คุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 ได้แก่ ความเที่ยง และความตรง

7.1 วิเคราะห์ดัชนีความเที่ยงของการจำแนกสำหรับแบบสอบ ($\hat{\gamma}$) และจำแนกตาม คุณลักษณะ ($\hat{\gamma}_k$) โดยการนำผลการประมาณค่าความน่าจะเป็นที่ผู้สอบแต่ละคนจะมีโนทัศน์ ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์แต่ละคุณลักษณะ และความน่าจะเป็นที่ผู้สอบจะอยู่ในแต่ละโปรไฟล์ คุณลักษณะจากการประมาณค่าโดยใช้คำสั่ง GDINA ภายใต้แพ็คเกจ GDINA ในโปรแกรม R ไปคำนวณดัชนีความเที่ยงของการจำแนกในโปรแกรม Excel ซึ่งดัชนีความเที่ยงของการจำแนกควรมี ค่าไม่น้อยกว่า 0.8 (Ravand, 2016)

7.2 วิเคราะห์ดัชนีความตรงของการจำแนกสำหรับแบบสอบ ($\hat{\tau}$) และจำแนกตาม คุณลักษณะ ($\hat{\tau}_k$) โดยใช้คำสั่ง CA ภายใต้แพ็คเกจ GDINA ในโปรแกรม R ซึ่งดัชนีความตรงของ การจำแนกควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.7 (Ravand, 2016)

7.3 วิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้างของแบบสอบวินิจฉัยโดยใช้การวิเคราะห์ องค์ประกอบเชิงยืนยันโดยโปรแกรม Mplus และพิจารณาความสอดคล้องระหว่างโมเดลการวัด กับข้อมูลเชิงประจักษ์จากดัชนีความสอดคล้องของโมเดล ซึ่งมีเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้ (Kline, 2016; Weston & Gore, 2006)

- 1) ค่าไค-สแควร์ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
- 2) CFI มีค่าไม่น้อยกว่า 0.95
- 3) RMSEA มีค่าไม่เกิน 0.06
- 4) SRMR มีค่าไม่เกิน 0.08

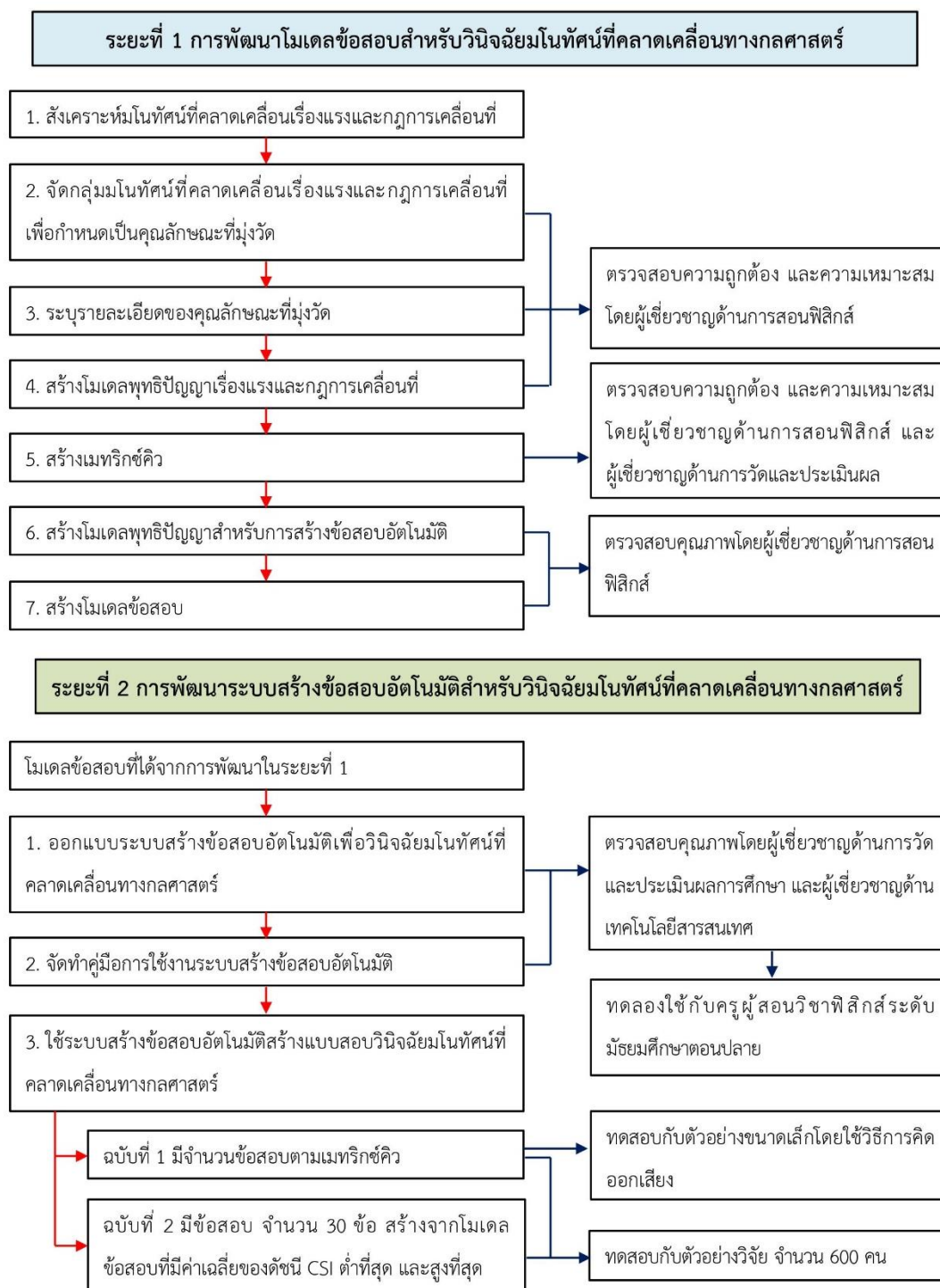
7.4 วิเคราะห์ความตรงตามสภาพโดยพิจารณาความสอดคล้องระหว่างผลการวินิจฉัยโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับกับวิธีการคิดออกเสียงโดยใช้ Cohen's kappa วิเคราะห์โดยใช้คำสั่ง kappa2 ภายใต้แฟ้มเก็บ irr ในโปรแกรม R

8. เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด และโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI สูงที่สุด ซึ่งเป็นข้อสอบในแบบสอบวินิจฉัย มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 2 โดยใช้สถิติทดสอบสำหรับตัวอย่าง 1 กลุ่ม (one-sample t-test) วิเคราะห์ในโปรแกรม SPSS ทั้งนี้ กำหนดค่าที่ต้องการทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์ข้อสอบ ในแบบสอบวินิจฉัย มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1

9. ประเมินค่าพารามิเตอร์ผู้สอบ ได้แก่ โปรไฟล์คุณลักษณะ และสถานะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนทั้ง 6 คุณลักษณะ โดยใช้คำสั่ง GDINA ภายใต้แฟ้มเก็บ GDINA ในโปรแกรม R

10. เปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนที่มีเพศและเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันโดยใช้สถิติทดสอบไค-สแควร์ วิเคราะห์ในโปรแกรม SPSS

วิธีดำเนินการวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา สรุปได้ดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 สรุปวิธีดำเนินการวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญามีวัตถุประสงค์การวิจัยหลัก 3 ข้อ ได้แก่ (1) เพื่อพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (2) เพื่อพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และ (3) เพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนที่มีเพศและเรียนในระดับชั้นที่ต่างกัน ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิจัยออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ตอนที่ 3 ผลการวินิจฉัยและเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ผลการวิจัยแต่ละตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ผลการวิจัยตอนที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) ผลการสร้างและการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และเมทริกซ์คิว และ (2) ผลการสร้างและการตรวจสอบคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 ผลการสร้างและการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และเมทริกซ์คิว

ผลการวิจัยในส่วนนี้ แบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ (1) ผลการจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และการกำหนดรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด (2) ผลการสร้างและการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และ (3) ผลการสร้างและการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิว แต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังนี้

1.1.1 ผลการจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และการกำหนดรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด

1) ผลการจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

จากการพิจารณามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่จำนวน 27 ประเด็น ผู้วิจัยจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนให้สอดคล้องกับเนื้อหาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยยึดลักษณะของโมเดลพุทธิปัญญา เสนอโดย Gierl et al. (2010) และระบบการจัดจำแนกมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เสนอโดย Hestenes et al. (1992) เป็นแนวทางสำหรับการจัดกลุ่ม ทั้งนี้ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 เกี่ยวข้องกับแรงผลักดัน (impetus) ซึ่งเป็นแรงในจินตนาการของนักเรียนที่เชื่อว่าแรงผลักดันเป็นแรงขับเคลื่อนภายในวัตถุ ซึ่งได้มาจากการเก็บสะสมแรงที่กระทำต่อวัตถุ โดยทำให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่อง แรงผลักดันอาจมีค่าเพิ่มขึ้น ลดลง และสามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันตามความเชื่อของนักเรียนแต่ละคน ทั้งนี้ ความเชื่อเกี่ยวกับแรงผลักดันขัดแย้งกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กล่าวคือ แนวคิดแรงผลักดันเชื่อว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จะมีแรงผลักดันกระทำต่อวัตถุเพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่ความจริงแล้ว วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จะมีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุเท่ากับศูนย์ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงจัดความเข้าใจผิดเกี่ยวกับแรงผลักดันไว้ในมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 โดยสามารถจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ได้จำนวน 6 กลุ่ม ดังนี้

- (1) แรงลัพธ์
- (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1
- (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2
- (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3

(5) แรงเสียดทาน

(6) แรงโน้มถ่วงของโลก

จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ทั้ง 7 ท่าน พบว่าผู้เชี่ยวชาญทุกท่านเห็นด้วยกับการจัดกลุ่มโมเมนตัมที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ออกเป็น 6 กลุ่ม พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะในการแก้ไขโมเมนตัมที่คลาดเคลื่อนแต่ละประเด็นให้มีความชัดเจนมากขึ้น ดังตาราง 4.1 และเสนอให้แยกโมเมนตัมที่คลาดเคลื่อนจาก 25 ประเด็น ออกเป็น 27 ประเด็น เพื่อให้อ่านเข้าใจง่าย อีกทั้งเสนอแนะให้ระบุโมเมนตัมที่ถูกต้องควบคู่กับโมเมนตัมที่คลาดเคลื่อนเพื่อให้ทราบว่าโมเมนตัมที่คลาดเคลื่อนแต่ละประเด็นมีความเข้าใจผิดจากโมเมนตัมเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่อย่างไร โมเมนตัมที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละกลุ่มรวมทั้งโมเมนตัมที่ถูกต้องที่ผ่านการแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญแสดงดังตาราง 4.2

ตาราง 4.1

ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญสำหรับการแก้ไขโมเมนตัมที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

โมเมนตัมที่คลาดเคลื่อน	ข้อเสนอแนะ
1. แรงลัพธ์	
1.1 วัตถุจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแรงที่มีขนาดมากกว่า	-
1.2 วัตถุจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศของแรงกระทำล่าสุด	-
2. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1	
2.1 วัตถุเก็บสะสมแรงกระทำในรูปของแรงผลักดัน (impetus) ซึ่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้หลังหยุดออกแรงกระทำ	-
2.2 วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่อง เพราะมีแรงผลักดัน (impetus) กระทำต่อวัตถุ	-
2.3 เส้นทางเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงผลักดันของวัตถุ	-

ตาราง 4.1 (ต่อ)

มโนทัศน์ที่คลาตเคลื่อน	ข้อเสนอแนะ
3. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2	
3.1 วัตถุที่อยู่นิ่งจะไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุ	-
3.2 วัตถุจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อหยุดออกแรงกระทำ	-
3.3 ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ จะมีแรงกระทำต่อวัตถุ	เพิ่ม “ตามแนวการเคลื่อนที่เสมอ” หลัง “วัตถุ”
3.4 เมื่อมีแรงมากระทำ จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่	เพิ่ม “ต่อวัตถุที่วางอยู่นิ่ง” หลัง “กระทำ”
3.5 วัตถุที่เคลื่อนที่ที่มีแรงกระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ	-
3.6 แรงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร่ง นั่นคือ วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่จะมีแรงลัพธ์คงที่กระทำต่อวัตถุ	-
3.7 วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ	-
3.8 แรงเป็นผลมาจากสิ่งมีชีวิตและวัตถุที่เคลื่อนที่	ควรแก้ไขเป็น “สิ่งมีชีวิตหรือวัตถุที่เคลื่อนที่เท่านั้นที่สามารถออกแรงกระทำได้”
3.9 จะมีแรงกระทำต่อวัตถุเมื่อมีบางสิ่งมาสัมผัสกับวัตถุนั้น	-
4. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3	
4.1 แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุขึ้นเดียวกัน	-
4.2 วัตถุที่มีมวลมากกว่า หรือขนาดใหญ่กว่า หรือเคลื่อนที่เร็วกว่า จะออกแรงกระทำมากกว่า	ควรแยกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ มวล ขนาด และความเร็ว
4.3 สิ่งกีดขวางทำให้วัตถุเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือหยุดการเคลื่อนที่ แต่ไม่สามารถออกแรงกระทำได้	ควรเพิ่มสถานการณ์ว่า มีวัตถุเข้าชนสิ่งกีดขวาง

ตาราง 4.1 (ต่อ)

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	ข้อเสนอแนะ
5. แรงเสียดทาน	
5.1 มีแรงเสียดทานกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่	-
5.2 แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอ	-
5.3 แรงเสียดทานสถิตจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่	-
5.4 แรงเสียดทานสถิตมีค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตคูณกับแรงแนวฉาก (normal force)	-
6. การตกอย่างเสรี	ควรเปลี่ยนชื่อกลุ่มเป็น “แรงโน้มถ่วงของโลก” เพื่อให้สอดคล้องกับเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
6.1 วัตถุที่มีมวลมากมีความเร่งมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย หรือวัตถุที่มีมวลมากตกเร็วกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย	ควรเพิ่มสถานการณ์ว่าเป็นการตกอย่างเสรี
6.2 มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุวางอยู่บนพื้นโลกเท่านั้น	-
6.3 แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าคงที่ทุกตำแหน่ง	-
6.4 วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อแรงผลักดันหายไป หรือมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งเท่านั้น	-

ตาราง 4.2

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและมโนทัศน์ที่ถูกต้องเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	มโนทัศน์ที่ถูกต้อง
1. แรงลัพธ์	
1.1 วัตถุจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแรงที่มีขนาดมากกว่า	1.1 เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์
1.2 วัตถุจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศของแรงกระทำล่าสุด	1.2 เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยแรงลัพธ์ค่าเดิม จะทำให้วัตถุเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศของแรงลัพธ์ค่าใหม่
2. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1	
2.1 วัตถุเก็บสะสมแรงกระทำในรูปของแรงผลักดัน (impetus) ซึ่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้หลังหยุดออกแรงกระทำ	2.1 วัตถุไม่ได้เก็บสะสมแรงกระทำในรูปของแรงผลักดัน แต่วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้เนื่องจากผลของการออกแรงกระทำ
2.2 วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่อง เพราะมีแรงผลักดัน (impetus) กระทำต่อวัตถุ	2.2 วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จะมีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุเท่ากับศูนย์
2.3 เส้นทางเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงผลักดันของวัตถุ	2.3 เส้นทางเคลื่อนที่ของวัตถุขึ้นอยู่กับมุมระหว่างแรงลัพธ์และความเร็ว
3. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2	
3.1 วัตถุที่อยู่นิ่งจะไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุ	3.1 วัตถุที่อยู่นิ่งอาจจะมีแรงกระทำหรือไม่ก็ได้ หากมีแรงกระทำต่อวัตถุ พบว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์
3.2 วัตถุจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อหยุดออกแรงกระทำ	3.2 เมื่อหยุดออกแรงกระทำ วัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งหยุดการเคลื่อนที่ หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ขึ้นอยู่กับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ
3.3 ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ จะมีแรงกระทำต่อวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่เสมอ	3.3 วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่จะมีแรงกระทำหรือไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุก็ได้

ตาราง 4.2 (ต่อ)

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	มโนทัศน์ที่ถูกต้อง
3. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2	
3.4 เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุที่วางอยู่นิ่ง จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่	3.4 เมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่หรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสระหว่างวัตถุ นั่นคือ เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุที่วางอยู่บนผิวสัมผัสที่ปราศจากความเสียดทานจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไม่ว่าแรงนั้นจะมีขนาดเท่าใด แต่ในกรณีที่มีแรงมากระทำต่อวัตถุที่วางอยู่บนผิวสัมผัสที่มีความเสียดทาน แล้วทำให้วัตถุเคลื่อนที่เมื่อแรงกระทำนั้นมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุด
3.5 วัตถุที่เคลื่อนที่将有แรงกระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ	3.5 วัตถุที่เคลื่อนที่ไม่จำเป็นต้องมีแรงลัพธ์กระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ
3.6 แรงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็ว นั่นคือ วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จะมีแรงลัพธ์คงที่กระทำต่อวัตถุ	3.6 แรงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร่ง นั่นคือ วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่จะมีแรงลัพธ์คงที่กระทำต่อวัตถุ
3.7 วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ	3.7 วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่จะมีแรงลัพธ์คงที่กระทำต่อวัตถุ
3.8 สิ่งมีชีวิตหรือวัตถุที่เคลื่อนที่เท่านั้นที่สามารถออกแรงกระทำได้	3.8 แรงไม่จำเป็นต้องเกิดจากการกระทำของสิ่งมีชีวิตหรือวัตถุที่เคลื่อนที่
3.9 จะมีแรงกระทำต่อวัตถุเมื่อมีบางสิ่งมาสัมผัสกับวัตถุนั้น	3.9 แรงกระทำต่อวัตถุสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในกรณีวัตถุสัมผัสกัน หรือวัตถุไม่ได้สัมผัสกัน

ตาราง 4.2 (ต่อ)

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	มโนทัศน์ที่ถูกต้อง
4. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3	
4.1 แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุขึ้นเดียวกัน	4.1 แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุคนละชิ้น
4.2 เมื่อพิจารณาแรงกระทำระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น พบว่าวัตถุที่มีมวลมากจะออกแรงกระทำมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย	4.2 วัตถุที่มีมวลมากและมวลน้อยออกแรงกระทำซึ่งกันและกันด้วยแรงขนาดเท่ากัน
4.3 เมื่อพิจารณาแรงกระทำระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น พบว่าวัตถุขนาดใหญ่จะออกแรงกระทำมากกว่าวัตถุขนาดเล็ก	4.3 วัตถุขนาดใหญ่และขนาดเล็กออกแรงกระทำซึ่งกันและกันด้วยแรงขนาดเท่ากัน
4.4 เมื่อพิจารณาแรงกระทำระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น พบว่าวัตถุที่เคลื่อนที่เร็วจะออกแรงกระทำมากกว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ช้าหรือวัตถุที่อยู่นิ่ง	4.4 วัตถุที่เคลื่อนที่เร็วและเคลื่อนที่ช้า หรือวัตถุที่อยู่นิ่งออกแรงกระทำซึ่งกันและกันด้วยแรงขนาดเท่ากัน
4.5 เมื่อวัตถุเคลื่อนที่เข้าชนสิ่งกีดขวาง พบว่าสิ่งกีดขวางทำให้วัตถุเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือหยุดการเคลื่อนที่ แต่ไม่สามารถออกแรงกระทำได้	4.5 สิ่งกีดขวางจะออกแรงกระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่เข้าชนซึ่งมีค่าเท่ากับแรงที่วัตถุกระทำต่อสิ่งกีดขวาง

ตาราง 4.2 (ต่อ)

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	มโนทัศน์ที่ถูกต้อง
5. แรงเสียดทาน	
5.1 มีแรงเสียดทานกระทำต่อวัตถุ เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่	5.1 วัตถุที่วางอยู่บนผิวสัมผัสใดๆ ที่มีความเสียดทาน เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุแต่วัตถุยังไม่เคลื่อนที่จะมีแรงเสียดทานสถิตกระทำต่อวัตถุ หากวัตถุมีการเคลื่อนที่จะมีแรงเสียดทานจลน์กระทำต่อวัตถุ
5.2 แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอ	5.2 แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามหรือทิศเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุก็ได้ โดยแรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับผิวสัมผัส
5.3 แรงเสียดทานสถิตจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่	5.3 แรงเสียดทานสถิตมีค่ามากที่สุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ซึ่งเรียกว่า แรงเสียดทานสถิตสูงสุด
5.4 แรงเสียดทานสถิตมีค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตคูณกับแรงแนวฉาก (normal force)	5.4 แรงเสียดทานสถิตมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับแรงที่มากกระทำต่อวัตถุ แต่แรงเสียดทานสถิตสูงสุดมีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตคูณกับแรงแนวฉาก
6. แรงโน้มถ่วงของโลก	
6.1 เมื่อพิจารณาการตกอย่างเสรี พบว่า วัตถุที่มีมวลมากมีความเร่งมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย หรือวัตถุที่มีมวลมากตกเร็วกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย	6.1 เมื่อปล่อยวัตถุให้ตกลงในแนวตั้งจากตำแหน่งเดียวกัน วัตถุจะตกถึงพื้นพร้อมกันเนื่องจากวัตถุมีความเร่งเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
6.2 มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุ เมื่อวัตถุวางอยู่บนพื้นโลกเท่านั้น	6.2 มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุไม่ว่าวัตถุจะอยู่ตำแหน่งใดก็ตามในบริเวณสนามโน้มถ่วงของโลก
6.3 แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุ มีค่าคงที่ทุกตำแหน่ง	6.3 แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของโลก
6.4 วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อแรงผลักดันหายไป หรือมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งเท่านั้น	6.4 วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุตลอดการเคลื่อนที่

2) ผลการกำหนดรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด

ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ทั้ง 7 ท่าน เห็นด้วยกับการกำหนดรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด และเสนอแนะให้ปรับการกำหนดรายละเอียดให้สอดคล้องกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละกลุ่ม โดยการกำหนดรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัดสำหรับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ทั้ง 6 กลุ่ม แสดงดังตาราง 4.3 - 4.8 รายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัดแบ่งเป็น 4 ประเด็น ได้แก่ (1) ภาวะสันนิษฐาน (constructs) (2) ชื่อคุณลักษณะ (3) นิยามของคุณลักษณะ และ (4) รหัสสำหรับคุณลักษณะ

ตาราง 4.3

รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์

ภาวะสันนิษฐาน	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
ชื่อคุณลักษณะ	แรงลัพธ์
คำนิยามของคุณลักษณะ	ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้ (1) วัตถุจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแรงที่มีขนาดมากกว่า (2) วัตถุจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศของแรงกระทำล่าสุด
รหัสสำหรับคุณลักษณะ	ข้อสอบที่วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 1 ส่วนข้อสอบที่ไม่ได้วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 0 โดยมีหลักในการกำหนดรหัส ดังนี้ (1) วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์ จำนวน 1 หรือ 2 ประเด็น กำหนดรหัสเป็น 1 (2) ไม่ได้วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์ประเด็นใดเลย กำหนดรหัสเป็น 0

ตาราง 4.4

รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1

ภาวะสันนิษฐาน	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
ชื่อคุณลักษณะ	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1
คำนิยามของคุณลักษณะ	<p>ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) วัตถุเก็บสะสมแรงกระทำในรูปของแรงผลักดัน (impetus) ซึ่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้หลังหยุดออกแรงกระทำ (2) วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่องเพราะมีแรงผลักดัน (impetus) กระทำต่อวัตถุ (3) เส้นทางเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงผลักดันของวัตถุ
รหัสสำหรับคุณลักษณะ	<p>ข้อสอบที่วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 1 ส่วนข้อสอบที่ไม่ได้วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 0 โดยมีหลักในการกำหนดรหัส ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 จำนวน 1, 2 หรือ 3 ประเด็น กำหนดรหัสเป็น 1 (2) ไม่ได้วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ประเด็นใดเลย กำหนดรหัสเป็น 0

ตาราง 4.5

รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2

ภาวะสันนิษฐาน	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
ชื่อคุณลักษณะ	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2
คำนิยามของคุณลักษณะ	<p>ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) วัตถุที่อยู่นิ่งจะไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุ (2) วัตถุจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อหยุดออกแรงกระทำ (3) ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ จะมีแรงกระทำต่อวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่เสมอ (4) เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุที่วางอยู่นิ่งจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ (5) วัตถุที่เคลื่อนที่ จะมีแรงกระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ (6) แรงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็ว นั่นคือ วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ จะมีแรงลัพธ์คงที่กระทำต่อวัตถุ (7) วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ (8) สิ่งมีชีวิตหรือวัตถุที่เคลื่อนที่เท่านั้นที่สามารถออกแรงกระทำได้ (9) จะมีแรงกระทำต่อวัตถุเมื่อมีบางสิ่งมาสัมผัสกับวัตถุนั้น
รหัสสำหรับคุณลักษณะ	<p>ข้อสอบที่วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 1 ส่วนข้อสอบที่ไม่ได้วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 0 โดยมีหลักในการกำหนดรหัส ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จำนวน 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 หรือ 9 ประเด็น กำหนดรหัสเป็น 1 (2) ไม่ได้วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ประเด็นใดเลย กำหนดรหัสเป็น 0

ตาราง 4.6

รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3

ภาวะสันนิษฐาน	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
ชื่อคุณลักษณะ	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
คำนิยามของคุณลักษณะ	<p>ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุขึ้นเดียวกัน (2) เมื่อพิจารณาแรงกระทำระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น พบว่าวัตถุที่มีมวลมากจะออกแรงกระทำมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย (3) เมื่อพิจารณาแรงกระทำระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น พบว่าวัตถุขนาดใหญ่จะออกแรงกระทำมากกว่าวัตถุขนาดเล็ก (4) เมื่อพิจารณาแรงกระทำระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น พบว่าวัตถุที่เคลื่อนที่เร็วจะออกแรงกระทำมากกว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ช้าหรือวัตถุที่อยู่นิ่ง (5) เมื่อวัตถุเคลื่อนที่เข้าชนสิ่งกีดขวาง พบว่าสิ่งกีดขวางทำให้วัตถุเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือหยุดการเคลื่อนที่ แต่ไม่สามารถออกแรงกระทำได้
รหัสสำหรับคุณลักษณะ	<p>ข้อสอบที่วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 1 ส่วนข้อสอบที่ไม่ได้วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 0 โดยมีหลักในการกำหนดรหัส ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 จำนวน 1, 2, 3, 4 หรือ 5 ประเด็น กำหนดรหัสเป็น 1 (2) ไม่ได้วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ประเด็นใดเลย กำหนดรหัสเป็น 0

ตาราง 4.7

รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทาน

ภาวะสันนิษฐาน	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
ชื่อคุณลักษณะ	แรงเสียดทาน
คำนิยามของคุณลักษณะ	<p>ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) มีแรงเสียดทานกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ (2) แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอ (3) แรงเสียดทานสถิตจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ (4) แรงเสียดทานสถิตมีค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตคูณกับแรงแนวฉาก (normal force)
รหัสสำหรับคุณลักษณะ	<p>ข้อสอบที่วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 1 ส่วนข้อสอบที่ไม่ได้วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 0 โดยมีหลักในการกำหนดรหัส ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทาน จำนวน 1, 2, 3 หรือ 4 ประเด็น กำหนดรหัสเป็น 1 (2) ไม่ได้วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทาน ประเด็นใดเลย กำหนดรหัสเป็น 0

ตาราง 4.8

รายละเอียดในการวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลก

ภาวะสันนิษฐาน	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
ชื่อคุณลักษณะ	แรงโน้มถ่วงของโลก
คำนิยามของคุณลักษณะ	<p>ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) เมื่อพิจารณาการตกอย่างเสรี พบว่าวัตถุที่มีมวลมากมีความเร็วมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย หรือวัตถุที่มีมวลมากตกเร็วกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย (2) มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุลอยอยู่บนพื้นโลกเท่านั้น (3) แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าคงที่ทุกตำแหน่ง (4) วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อแรงผลักดันหายไป หรือมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งเท่านั้น
รหัสสำหรับคุณลักษณะ	<p>ข้อสอบที่วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 1 ส่วนข้อสอบที่ไม่ได้วัดคุณลักษณะนี้ กำหนดรหัสเป็น 0 โดยมีหลักในการกำหนดรหัส ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลก จำนวน 1, 2, 3 หรือ 4 ประเด็น กำหนดรหัสเป็น 1 (2) ไม่ได้วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลก ประเด็นใดเลย กำหนดรหัสเป็น 0

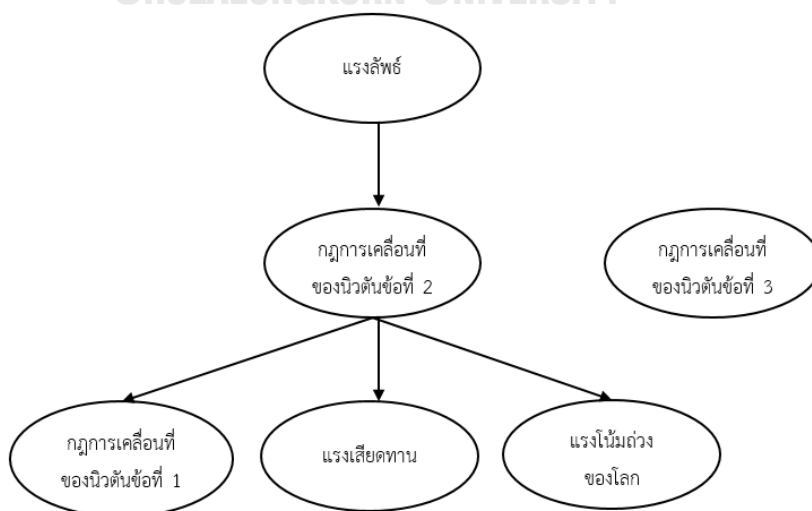
1.1.2 ผลการสร้างและการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ผู้วิจัยตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียง ซึ่งมีผลการตรวจสอบความตรงดังนี้

1) ผลการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยผู้เชี่ยวชาญ

โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เป็นโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะหรือกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ซึ่งแสดงถึงการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะหนึ่งจะทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะอื่นๆ จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะที่มโนทัศน์ จำนวน 6 คุณลักษณะ สามารถสร้างโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ได้ดังภาพ 4.1 ซึ่งเป็นโมเดลพุทธิปัญญาที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นก่อนการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ

จากภาพ 4.1 สามารถอธิบายได้ว่า นักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์จะเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เมื่อนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จะทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ไม่มีความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นกับคุณลักษณะอื่นๆ



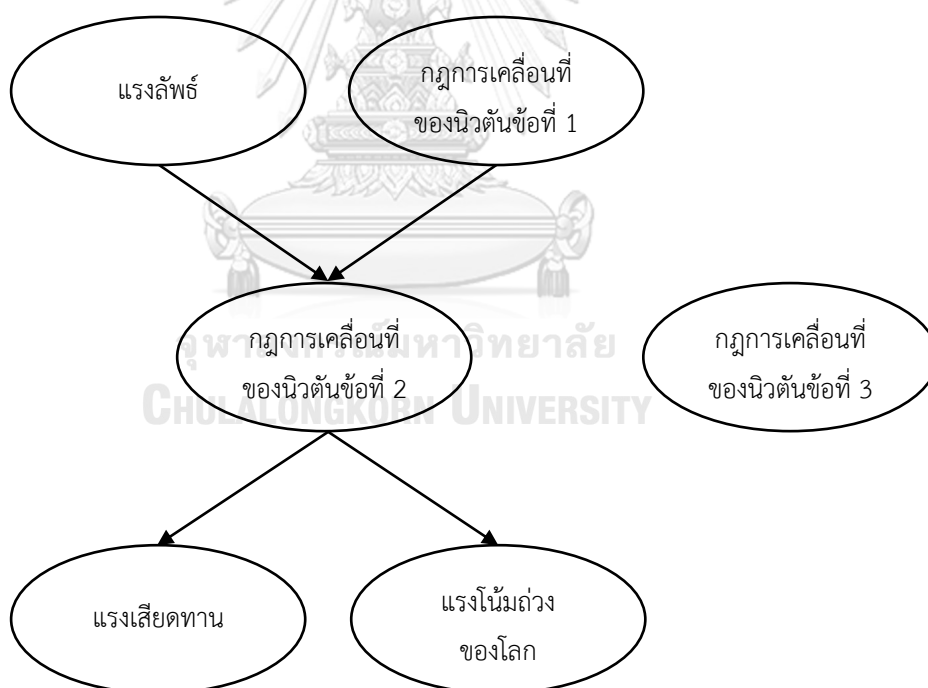
ภาพ 4.1 โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ก่อนการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ

จากการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 7 ท่าน พบว่าผู้เชี่ยวชาญเสนอให้ปรับโมเดลพุทธิปัญญา ดังนี้ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 จะก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ดังภาพ 4.2 อีกทั้ง เสนอแนะให้อธิบายโมเดลพุทธิปัญญาโดยเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแต่ละประเด็นของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแต่ละกลุ่ม โดยโมเดลพุทธิปัญญาที่แก้ไขตามข้อเสนอนี้ของผู้เชี่ยวชาญอธิบายได้ดังนี้

มโนทัศน์เรื่องแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 เป็นพื้นฐานในการเรียนรู้มโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ดังนั้น หากนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 จะก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กล่าวคือ นักเรียนที่เข้าใจผิดว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแรงที่มีขนาดมากกว่า หรือแรงกระทำล่าสุด ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์จะทำให้เข้าใจผิดว่า วัตถุที่เคลื่อนที่จะมีแรงกระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 อีกทั้ง นักเรียนที่เข้าใจผิดเกี่ยวกับการมีอยู่จริงของแรงผลักดัน ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 โดยจินตนาการว่าเป็นแรงที่วัตถุเก็บสะสมแรงกระทำไว้ในวัตถุเพื่อทำให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่ต่อได้หลังหยุดออกแรงกระทำซึ่งสะท้อนถึงความเข้าใจผิดเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานเรื่องแรง จึงทำให้นักเรียนมีความเข้าใจผิดว่าทุกการเคลื่อนที่จะต้องมีสาเหตุ หรือเรียกว่าหลักการเชิงสาเหตุของการเคลื่อนที่ (causal principle of motion) นั่นคือ ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่จะมีแรงกระทำต่อวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่เสมอ และหากวัตถุอยู่นิ่งจะไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุ ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 นอกจากนี้ นักเรียนที่เข้าใจผิดตามหลักการเชิงสาเหตุของการเคลื่อนที่จะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทานในประเด็นสำคัญ คือ มีแรงเสียดทานกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ เนื่องจากนักเรียนเข้าใจผิดว่าวัตถุที่อยู่นิ่งจะไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุ จึงทำให้เข้าใจผิดว่าเมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุที่วางอยู่บนผิวสัมผัสที่มีความเสียดทานแต่วัตถุไม่เคลื่อนที่ จะไม่มีแรงเสียดทานกระทำต่อวัตถุ ดังนั้น นักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จะก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทาน

นักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 นอกจากจะก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทานแล้วยังก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่

คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลกอีกด้วย เนื่องจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เกี่ยวข้องกับแรงลัพธ์ มวล และความเร่ง ซึ่งเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้โน้ตสรีของแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นเมื่อนักเรียนมีโน้ตสรีที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จะก่อให้เกิดโน้ตสรีที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลก กล่าวคือ นักเรียนที่เข้าใจผิดว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งจะต้องเพิ่มแรงกระทำต่อวัตถุอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นโน้ตสรีที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จะทำให้เข้าใจผิดว่าวัตถุที่มีมวลมากที่ตกอย่างเสรีมีความเร่งมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย จึงทำให้วัตถุที่มีมวลมากตกเร็วกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย ซึ่งเป็นโน้ตสรีที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลก อีกทั้ง นักเรียนที่เข้าใจผิดว่ามีเฉพาะแรงสัมผัสที่กระทำต่อวัตถุ ซึ่งเป็นโน้ตสรีที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จะทำให้เข้าใจผิดเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลกว่า จะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุก็ต่อเมื่อวัตถุวางอยู่บนพื้นโลก นอกจากนี้ยังพบว่า กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ไม่มีความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นกับคุณลักษณะอื่นๆ



ภาพ 4.2 โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่ผ่านการตรวจสอบความตรง
โดยผู้เชี่ยวชาญ

2) ผลการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการคิดออกเสียง

จากการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการคิดออกเสียงซึ่งเป็นการวิเคราะห์กระบวนการคิดของนักเรียน จำนวน 36 คน ขณะกำลังทำแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ผลการวิเคราะห์พบว่า กระบวนการคิดของนักเรียนสอดคล้องกับโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่ผ่านการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ กล่าวคือ นักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 จะเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เมื่อนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จะทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ไม่มีความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นกับคุณลักษณะอื่นๆ อย่างไรก็ตาม กระบวนการคิดของนักเรียนที่บ่งชี้ว่า หากมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์ จะก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ยังไม่ค่อยมีความชัดเจน โดยมีคำอธิบายของนักเรียนขณะทำแบบสอบวินิจฉัยที่ช่วยสนับสนุนโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้

(1) แรงลัพธ์ \rightarrow กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2

“แรงทิศเหนือมากกว่า กระเป๋าลอยเข้าชนในทิศเหนือ แรงที่เข้าชนมีแรง $F = 1.5$ นิวตัน ที่เข้าไปชนกำแพง” (มีแรงกระทำต่อกระเป๋าดำเนินทางในทิศตะวันตก ขนาด 5 นิวตัน และทิศเหนือ

ขนาด 6.5 นิวตัน)

(นักเรียนเพศชาย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 คนที่ 1)

“แรงที่กระทำต่อกระเป๋าดำเนินทางในทิศเหนือมากกว่าทิศตะวันตก

กระเป๋าดำเนินทางจึงเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือ”

(นักเรียนเพศหญิง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 คนที่ 1)

“ลูกกรักบี้เคลื่อนที่ไปในทิศ $+x$ เพราะว่านักกีฬาคนที่ 1 ออกแรงเตะ
มากกว่าคนที่ 2 จึงเคลื่อนที่ไปตามแรงลัพธ์”
(มีแรงกระทำต่อลูกกรักบี้ในทิศ $+x$ และทิศ $-y$)
(นักเรียนเพศชาย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คนที่ 1)

(2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 \rightarrow กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2
“เคลื่อนที่ได้เนื่องจากแรงลัพธ์ไม่เท่ากับศูนย์ แสดงว่ายังคงมี
แรงเหลือ ทำให้เมื่อเชือกขาดแล้ว ดูลิ้นค้ายังคงที่จะสามารถ
เคลื่อนที่ไปได้”
(นักเรียนเพศหญิง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 คนที่ 1)

“ลูกบอลเคลื่อนที่ไปได้เพราะมีแรง F ทำให้ลูกบอลเคลื่อนที่ไปได้
เนื่องจาก $F = ma$ ทำให้มีความเร่ง ก็เลยมีความเร็ว ลูกบอลเลย
เคลื่อนที่ไปได้”
(นักเรียนเพศหญิง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 คนที่ 2)

“ลูกบอลเคลื่อนที่ไปได้ เพราะมีแรง F กระทำต่อลูกบอล
ในทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกบอล ลูกบอลจึงสามารถ
เคลื่อนที่ต่อไปได้”
(นักเรียนเพศชาย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คนที่ 2)

(3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 \rightarrow แรงเสียดทาน
“ออกแรงผลัก แต่ลังไม่เคลื่อนที่ แสดงว่าไม่มีแรงกระทำ จึงไม่มี
แรงเสียดทาน”
(นักเรียนเพศชาย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 คนที่ 2)

“สิ่งไม่เคลื่อนที่ที่ไม่มีแรงเสียดทาน พอสิ่งเคลื่อนที่就会有แรงเสียดทาน”

(นักเรียนเพศชาย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 คนที่ 3)

“ไม่มีแรงเสียดทาน เพราะวัตถุไม่ขยับ”

(นักเรียนเพศหญิง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 คนที่ 3)

(4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 \rightarrow แรงโน้มถ่วงของโลก

“ความเร่งของนักกีฬามากกว่าจักรยานขณะตกลงสู่พื้นถนน

เพราะนักกีฬามีมวลมากกว่าจักรยาน ทำให้แรง mg ไม่เท่ากัน

เลยทำให้นักกีฬาตกถึงพื้นก่อน”

(นักเรียนเพศหญิง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 คนที่ 1)

“นักกีฬามีมวลมาก แรงจะมาก และความเร่งจะมากไปด้วย ทำให้

เคลื่อนที่เร็ว” (นักกีฬาตกอย่างเสรี)

(นักเรียนเพศชาย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 คนที่ 1)

“จาก $\Sigma F = ma$ มวลมากกว่า ความเร่งมากกว่า นักกีฬามีความเร่ง

มากกว่า เพราะมีมวลมากกว่าจักรยาน”

(นักกีฬาและจักรยานตกอย่างเสรี)

(นักเรียนเพศหญิง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คนที่ 1)

ผลการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ทั้ง 2 วิธี ได้แก่ การพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียง ช่วยสนับสนุนว่าโมเดลพุทธิปัญญา เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีความตรง แต่ยังมีหลักฐานที่ยังไม่เพียงพอที่จะสรุปได้ว่ามีโน้ตที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์จะก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ข้อที่ 2 นอกจากนี้ จากการพิจารณาโปรไฟล์คุณลักษณะของตัวอย่างวิจัย จำนวน 522 คน ซึ่งได้จากการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยใช้โมเดล

sequential bug-G-DINA พบว่าโปรไฟล์คุณลักษณะที่พบในตัวอย่างวิจัยช่วยสนับสนุนความถูกต้องของโมเดลทฤษฎีปัญหาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตาม ยังมีหลักฐานที่ไม่แน่ชัดว่าสมมติฐานที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์จะก่อให้เกิดสมมติฐานที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับวิธีการคิดออกเสียง ทั้งนี้ ผลการพิจารณาอย่างละเอียด ผู้วิจัยนำเสนอไว้ในตอนที่ 3 ผลการวินิจฉัยสมมติฐานที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

1.1.3 ผลการสร้างและการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิว

ผู้วิจัยสร้างและดำเนินการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิว จำนวน 3 วิธี ได้แก่ การตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ วิธีการคิดออกเสียง และการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น (stepwise Q-matrix validation method) ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 4 ประเด็น ได้แก่ (1) ขั้นตอนการสร้างเมทริกซ์คิว (2) ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยผู้เชี่ยวชาญ (3) ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวด้วยวิธีการคิดออกเสียง และ (4) สรุปผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการสร้างเมทริกซ์คิว

เมทริกซ์คิว (Q-matrix) คือ ตารางที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะกับข้อสอบโดยให้ข้อสอบอยู่ในแนวแถว ส่วนคุณลักษณะอยู่ในแนวหลัก ตารางประกอบด้วยตัวเลข 1 และ 0 นั่นคือ หากข้อสอบวัดคุณลักษณะใด แทนด้วย 1 แต่ถ้าหากไม่ได้วัดคุณลักษณะใดแทนด้วย 0 การสร้างเมทริกซ์คิวสำหรับใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบวินิจฉัยสมมติฐานที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ มีขั้นตอนการสร้าง 4 ขั้นตอน ดังนี้

(1) สร้างเมทริกซ์เหตุการณ์ (incidence matrix; Q) ซึ่งเป็นเมทริกซ์ที่แสดงถึงจำนวนข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ใช้ในการวัดผลรวมของคุณลักษณะที่เป็นอิสระต่อกันทุกรูปแบบ เป็นเมทริกซ์ขนาด 6×63 เมื่อ 6 คือ จำนวนคุณลักษณะ และ 63 คือ จำนวนข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด กล่าวคือ คุณลักษณะที่มุ่งวัดในการวิจัยนี้มีจำนวน 6 คุณลักษณะ จึงมีข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 63 ข้อ ($2^6 - 1$ ข้อ) โดยสามารถสร้างเมทริกซ์เหตุการณ์ได้ดังนี้

$$Q = \begin{bmatrix} 1010101010 & 1010101010 & 1010101010 & 1010101010 & 1010101010 & 1010101010 & 101 \\ 0110011001 & 1001100110 & 0110011001 & 1001100110 & 0110011001 & 1001100110 & 011 \\ 0001111000 & 0111100001 & 1110000111 & 1000011110 & 0001111000 & 0111100001 & 111 \\ 0000000111 & 1111100000 & 0001111111 & 1000000001 & 1111111000 & 0000011111 & 111 \\ 0000000000 & 0000011111 & 1111111111 & 1000000000 & 0000000111 & 1111111111 & 111 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0111111111 & 1111111111 & 1111111111 & 111 \end{bmatrix}$$

(2) สร้างเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะ (reachability matrix; R)

ซึ่งเป็นเมทริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ทั้งทางตรงและทางอ้อมระหว่างคุณลักษณะในโมเดลพุทธิปัญญา เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ (ภาพ 4.2) เป็นเมทริกซ์จัตุรัสขนาด 6×6 โดยคุณลักษณะอยู่ทั้งในแนวแถว และหลัก ประกอบด้วยตัวเลข 0 และ 1 โดยที่ค่าในแนวทแยงมุมมีค่าเป็น 1 นั่นคือ หากคุณลักษณะในแนวแถวมีความสัมพันธ์ทางตรงหรือทางอ้อมกับคุณลักษณะในแนวหลัก แทนด้วย 1 แต่ถ้าหากคุณลักษณะในแนวแถวไม่มีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะในแนวหลัก แทนด้วย 0 โดยสามารถสร้างเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะได้ดังนี้

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(3) สร้างเมทริกซ์คิวลดรูป (reduced Q-matrix; Q_r) ซึ่งเป็นเมทริกซ์

ที่ได้มาจากการพิจารณาหลักของเมทริกซ์เหตุการณ์ที่สมเหตุสมผลกับเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะ นั่นคือ หากหลักใดของเมทริกซ์เหตุการณ์สอดคล้องกับความสัมพันธ์ในเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะจะคงหลักนั้นไว้ แต่หากหลักใดของเมทริกซ์เหตุการณ์ไม่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ในเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะจะตัดหลักนั้นออก โดยสามารถสร้างเมทริกซ์คิวลดรูปได้ดังนี้

$$Q_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(4) สร้างเมทริกซ์คิวสำหรับใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบ
วินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยการกลับหลักของ
เมทริกซ์คิวลรูปไปเป็นแถว ดังตาราง 4.9 และมีการปรับเมทริกซ์คิวลรูป ดังนี้

(4.1) เพิ่มข้อสอบที่วัดเฉพาะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
เกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีเวกเตอร์คิว
ดังนี้ 001000, 000010 และ 000001 ตามลำดับ จึงทำให้มีข้อสอบเพิ่มขึ้นจาก 15 ข้อ เป็น 18 ข้อ
เนื่องจาก Cai และคณะ (2018) เสนอว่าแบบสอบวินิจัยควรมีข้อสอบที่วัดแต่ละคุณลักษณะรวมอยู่ด้วย
เพราะจะทำให้แบบสอบวินิจัยมีความตรงในการจำแนกสูง

(4.2) ปรับเวกเตอร์คิวของข้อสอบข้อที่ 12 (111110) ข้อที่ 13
(111101) ข้อที่ 14 (111011) และข้อที่ 15 (111111) โดยแทนด้วยเวกเตอร์คิวที่ใช้แทนกันได้ ดังนี้
001110, 001101, 001011 และ 001111 ตามลำดับ เพื่อลดจำนวนคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบ
เนื่องจากเมทริกซ์คิวที่มีจำนวนคุณลักษณะเฉลี่ยต่อข้อสอบมาก มีแนวโน้มที่จะมีความคลาดเคลื่อนใน
การประมาณค่ามาก ดังนั้น เพื่อความแม่นยำในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ควรมีคุณลักษณะต่อ
ข้อสอบไม่มากจนเกินไป (DiBello et al., 2007) อีกทั้ง ในการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา
ส่วนใหญ่ พบว่า ข้อสอบ 1 ข้อ วัดไม่เกิน 3 คุณลักษณะ (Rupp et al., 2010) เมทริกซ์คิวที่ใช้เป็น
แนวทางในการสร้างข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
จึงมีรายละเอียดดังตาราง 4.10 โดยวัดคุณลักษณะเฉลี่ย 2.389 คุณลักษณะ ($SD = 1.195$) ต่อข้อสอบ
1 ข้อ

ตาราง 4.9

เมทริกซ์ควิลดรูปที่ใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์
เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ข้อสอบ	แรงลัพธ์	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 1	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 2	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 3	แรงเสียดทาน	แรงโน้มถ่วง ของโลก
1	1	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0
4	1	1	1	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0
6	1	0	0	1	0	0
7	0	1	0	1	0	0
8	1	1	0	1	0	0
9	1	1	1	1	0	0
10	1	1	1	0	1	0
11	1	1	1	0	0	1
12	1	1	1	1	1	0
13	1	1	1	1	0	1
14	1	1	1	0	1	1
15	1	1	1	1	1	1

ตาราง 4.10

เมทริกซ์ควิที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง
กลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ

ข้อสอบ	แรงลัพธ์	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 1	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 2	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 3	แรงเสียดทาน	แรงโน้มถ่วง ของโลก
1	1	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0
5	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0
7	1	0	0	1	0	0
8	0	1	0	1	0	0
9	1	1	0	1	0	0
10	1	1	1	1	0	0
11	0	0	0	0	1	0
12	1	1	1	0	1	0
13	0	0	0	0	0	1
14	1	1	1	0	0	1
15	0	0	1	1	1	0
16	0	0	1	1	0	1
17	0	0	1	0	1	1
18	0	0	1	1	1	1

ผลการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของการสร้างเมทริกซ์ควิ
โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและการประเมินผลการศึกษา จำนวน 3 ท่าน พบว่าผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน
มีความคิดเห็นว่าเมทริกซ์ควิที่สร้างขึ้นมีความถูกต้อง และเหมาะสม อีกทั้งยังให้ความคิดเห็น
ที่สนับสนุนการปรับเมทริกซ์ควิลดรูป ดังนี้ เมทริกซ์ควิควรประกอบด้วยข้อสอบที่วัดคุณลักษณะเดียว
รวมอยู่ด้วย และเมทริกซ์ควิที่มีความซับซ้อนมากจะทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการประมาณ
ค่าพารามิเตอร์สูง นอกจากนี้ ผู้เชี่ยวชาญยังให้ข้อเสนอแนะว่าควรพิจารณาความเป็นไปได้ในการสร้าง
ข้อสอบแต่ละข้อตามเมทริกซ์ควิ และความสอดคล้องกับมโนทัศน์ทางฟิสิกส์ ส่วนผลการตรวจสอบ
เมทริกซ์ควิโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 4 ท่าน พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นว่า
ข้อสอบทุกข้อมีความเป็นไปได้ในการสร้างตามเมทริกซ์ควิ และสอดคล้องกับมโนทัศน์ทางฟิสิกส์

จึงสรุปได้ว่า เมทริกซ์ควิที่สร้างขึ้นซึ่งประกอบด้วยข้อสอบ 18 ข้อ และวัดคุณลักษณะเฉลี่ยข้อละ 2.389 คุณลักษณะ มีความถูกต้อง และเหมาะสม

2) ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควิโดยผู้เชี่ยวชาญ

จากการให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 7 ท่าน ระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบแต่ละข้อ จำนวน 18 ข้อ พบว่าผู้เชี่ยวชาญระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัดของข้อสอบจำนวน 6 ข้อ ที่มีสัดส่วนความสอดคล้อง (proportion of agreement; P_i) มากกว่า 0.61 ส่วนข้อสอบอีก 12 ข้อ มีสัดส่วนความสอดคล้องน้อยกว่า 0.61 ผู้วิจัยจึงให้ผู้เชี่ยวชาญระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัดของข้อสอบอีกครั้ง พบว่าผู้เชี่ยวชาญระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัดของข้อสอบทั้ง 12 ข้อ โดยมีสัดส่วนความสอดคล้องมากกว่า 0.61 ทั้งนี้ มีข้อสอบ จำนวน 3 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 3, 9 และ 15 ที่ผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่ระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัดของข้อสอบแตกต่างจากเมทริกซ์ควิที่สร้างขึ้น และมีข้อสอบอีก 3 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 2, 6 และ 13 ที่ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 1 ท่าน ระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัดของข้อสอบแตกต่างจากเมทริกซ์ควิที่สร้างขึ้น และผู้เชี่ยวชาญท่านอื่น ดังตาราง 4.11 โดยผลการระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบแต่ละข้อของผู้เชี่ยวชาญจะใช้เป็นข้อมูลประกอบการปรับเมทริกซ์ควิร่วมกับผลการตรวจสอบความตรงด้วยวิธีการคิดออกเสียง

ตาราง 4.11

ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควิโดยผู้เชี่ยวชาญ

ข้อสอบ	เวกเตอร์ควิ	สัดส่วน ความสอดคล้อง (P_i)		หมายเหตุ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
1	100000	1.00	-	-
2	010000	0.71	-	ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 1 ท่าน มีความคิดเห็นว่าเวกเตอร์ควิควรเป็น 011000
3	110000	0.29	0.71	ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 6 ท่าน มีความคิดเห็นว่าเวกเตอร์ควิควรเป็น 111000 ส่วนอีก 1 ท่าน มีความคิดเห็นว่าควรเป็น 110000
4	001000	0.29	1.00	-
5	111000	1.00	-	-
6	000100	0.71	-	ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 1 ท่าน มีความคิดเห็นว่าเวกเตอร์ควิควรเป็น 001100
7	100100	0.48	1.00	-

ตาราง 4.11 (ต่อ)

ข้อสอบ	เวกเตอร์คิว	สัดส่วน		หมายเหตุ
		ความสอดคล้อง (P_i)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
8	010100	1.00	-	-
9	110100	0.43	1.00	ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านมีความคิดเห็นว่าเวกเตอร์คิวควรเป็น 111100
10	111100	1.00	-	-
11	000010	0.29	1.00	-
12	111010	0.33	1.00	-
13	000001	0.33	0.71	ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 1 ท่าน มีความคิดเห็นว่าเวกเตอร์คิวควรเป็น 001001
14	111001	0.33	1.00	-
15	001110	0.33	1.00	ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านมีความคิดเห็นว่าเวกเตอร์คิวควรเป็น 011110
16	001101	1.00	-	-
17	001011	0.48	1.00	-
18	001111	0.52	1.00	-

หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัดที่ระบุในเวกเตอร์คิวเรียงลำดับ ดังนี้ (1) แรงลัพท์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวด้วยวิธีการคิดออกเสียง

จากการทดลองใช้แบบสอบวินิจฉัยมนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ประกอบด้วยข้อสอบ 18 ข้อ ที่สร้างขึ้นตามเมทริกซ์คิว กับตัวอย่างวิจัย จำนวน 36 คน โดยใช้วิธีการคิดออกเสียงเพื่อนำข้อมูลมาปรับแก้เมทริกซ์คิว และปรับคำถามให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ผลการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ข้อสอบ จำนวน 6 ข้อ มีเวกเตอร์คิวไม่สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนดไว้ในเมทริกซ์คิว ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 2, 3, 6, 9 และ 15 ส่วนข้อสอบอีก 1 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 17 ให้ผลการตรวจสอบความตรงเพิ่มเติมจากการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ นอกจากนี้ จากการทดลองใช้แบบสอบวินิจฉัย โดยใช้วิธีการคิดออกเสียงยังให้ข้อมูลในการปรับคำถามของข้อสอบที่ 10 และ 18 ให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ดังตาราง 4.12

ตาราง 4.12

ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวด้วยวิธีการคิดออกเสียง

ข้อสอบ	เวกเตอร์คิว	ผลการพิจารณา
1	100000	สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด
2	010000	เวกเตอร์คิวควรเป็น 011000 ดังนั้น ควรปรับคำถามข้อ 2.1 เป็น “มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล” จึงจะทำให้มีเวกเตอร์คิวตามที่กำหนด
3	110000	เวกเตอร์คิวควรเป็น 111000 ดังนั้น ควรปรับคำถามข้อ 3.2 เป็น “หากมดงานทั้งสองหยุดออกแรงกระทำพร้อมกัน จะทำให้ก้อนดินยังคงเคลื่อนที่ต่อไปได้ เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น” จึงจะทำให้มีเวกเตอร์คิวตามที่กำหนด
4	001000	สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด
5	111000	สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด
6	000100	เวกเตอร์คิวควรเป็น 001100 ดังนั้น ควรปรับคำถามข้อ 6.1 เป็น “มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างกระทำต่อนักชู้ไม่คนแรก” จึงจะทำให้มีเวกเตอร์คิวตามที่กำหนด
7	100100	สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด
8	010100	สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด
9	110100	เวกเตอร์คิวควรเป็น 111100 ดังนั้น ควรปรับคำถามข้อ 9.3 เป็น “ขณะที่เข้าชนขอบสนาม มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างที่กระทำต่อลูกบอลก็ (ไม่คิดแรงเสียดทาน)” จึงจะทำให้มีเวกเตอร์คิวตามที่กำหนด
10	111100	-สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด -ควรปรับคำถามข้อ 10.3 เป็น “สมมติว่าลังสินค้าชั้นนี้เคลื่อนที่เข้าชนลังสินค้าอีกชั้นที่วางอยู่ จงระบุแรงในแนวการเคลื่อนที่ที่กระทำต่อลังสินค้าที่เคลื่อนที่เข้าชนและลังสินค้าที่วางอยู่ (ถ้ามี) พร้อมทั้งเปรียบเทียบขนาดของแรงชนิดเดียวกันระหว่างลังสินค้าทั้ง 2 ชั้น” เพื่อให้อ่านเข้าใจมากยิ่งขึ้น
11	000010	สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด
12	111010	สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด
13	000001	สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด
14	111001	สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด
15	001110	เวกเตอร์คิวควรเป็น 011110
16	001101	สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด
17	001011	เวกเตอร์คิวควรเป็น 011011
18	001111	-สอดคล้องกับเวกเตอร์คิวที่กำหนด -ปรับคำถาม ดังนี้ “ทำให้นักกีฬาคนนี้ และจักรยานกระเด็นออกจากกันขึ้นไปในแนวตั้ง”

หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัดที่ระบุในเวกเตอร์คิวเรียงลำดับ ดังนี้ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ

ผู้วิจัยพิจารณาผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียงเพื่อปรับแก้เมทริกซ์คิว โดยแบ่งการปรับแก้ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การปรับแก้เวกเตอร์คิวให้สอดคล้องกับผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียง โดยมีการปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบข้อที่ 15 และ 17 และส่วนที่ 2 การปรับคำถามเพื่อให้มีเวกเตอร์คิวเป็นไปตามที่กำหนดไว้ โดยมีการปรับคำถามของข้อสอบข้อที่ 2, 3, 6 และ 9 ดังตาราง 4.13

ตาราง 4.13

สรุปการปรับแก้เมทริกซ์คิวจากผลการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียง

ข้อสอบ	เวกเตอร์คิว	ผลการปรับแก้
1	100000	ไม่มีการปรับแก้
2	010000	ปรับคำถามข้อ 2.1 เป็น “มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล”
3	110000	ปรับคำถามข้อ 3.2 เป็น “หากมตงานทั้งสองหยุดออกแรงกระทำพร้อมกัน จะทำให้ก้อนดินยังคงเคลื่อนที่ต่อไปได้ เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น”
4	001000	ไม่มีการปรับแก้
5	111000	ไม่มีการปรับแก้
6	000100	ปรับคำถามข้อ 6.1 เป็น “มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างกระทำต่อนักชู้ไม่คนแรก”
7	100100	ไม่มีการปรับแก้
8	010100	ไม่มีการปรับแก้
9	110100	ปรับคำถามข้อ 9.3 เป็น “ขณะที่เข้าชนขอบสนาม มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างที่กระทำต่อลูกชอกกี้ (ไม่คิดแรงเสียดทาน)”
10	111100	ไม่มีการปรับแก้
11	000010	ไม่มีการปรับแก้
12	111010	ไม่มีการปรับแก้
13	000001	ไม่มีการปรับแก้
14	111001	ไม่มีการปรับแก้
15	001110	ปรับเวกเตอร์คิวเป็น 011110
16	001101	ไม่มีการปรับแก้
17	001011	ปรับเวกเตอร์คิวเป็น 011011
18	001111	ไม่มีการปรับแก้

หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัดที่ระบุในเวกเตอร์คิวเรียงลำดับ ดังนี้ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ

เมทริกซ์คิวที่ปรับแก้ตามผลการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียง แสดงดังตาราง 4.14 โดยมีการปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบข้อที่ 15 และ 17 ซึ่งเมทริกซ์คิววัดคุณลักษณะเฉลี่ย 2.500 คุณลักษณะ ($SD = 1.295$) ต่อข้อสอบ 1 ข้อ ทั้งนี้ แบบสอบ วินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์มีการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า โดยมีการให้คะแนน 3 ระดับ ได้แก่ 0, 1 และ 2 คะแนน ผู้วิจัยจึงปรับเมทริกซ์คิวตามตาราง 4.14 เป็นเมทริกซ์คิวระดับ รายการคำตอบ (Q_C -matrix) โดยแถวของเมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบ คือ รายการคำตอบของ ข้อสอบแต่ละข้อ ซึ่งไม่รวมรายการคำตอบ 0 ส่วนหลัก คือ คุณลักษณะ อีกทั้ง เมทริกซ์คิวระดับ รายการคำตอบที่สร้างขึ้นเป็นเมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัด (unrestricted Q_C -matrix) นั่นคือ คุณลักษณะทั้งหมดที่ใช้ในการตอบข้อสอบข้อนั้นจะใช้ในการตอบข้อสอบทั้งรายการ คำตอบ 1 และ 2 โดยเมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัดที่สร้างขึ้นแสดงดังตาราง 4.15 ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับสำหรับ พิจารณาคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และการตรวจสอบความตรง ของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น

ตาราง 4.14

เมทริกซ์คิวที่ผ่านการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียง

ข้อสอบ	แรงลัพธ์	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 1	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 2	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 3	แรงเสียดทาน	แรงโน้มถ่วง ของโลก
1	1	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0
5	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0
7	1	0	0	1	0	0
8	0	1	0	1	0	0
9	1	1	0	1	0	0
10	1	1	1	1	0	0
11	0	0	0	0	1	0
12	1	1	1	0	1	0
13	0	0	0	0	0	1
14	1	1	1	0	0	1
15	0	1	1	1	1	0
16	0	0	1	1	0	1
17	0	1	1	0	1	1
18	0	0	1	1	1	1

ตาราง 4.15

เมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัดที่สร้างขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบ
โดยโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ

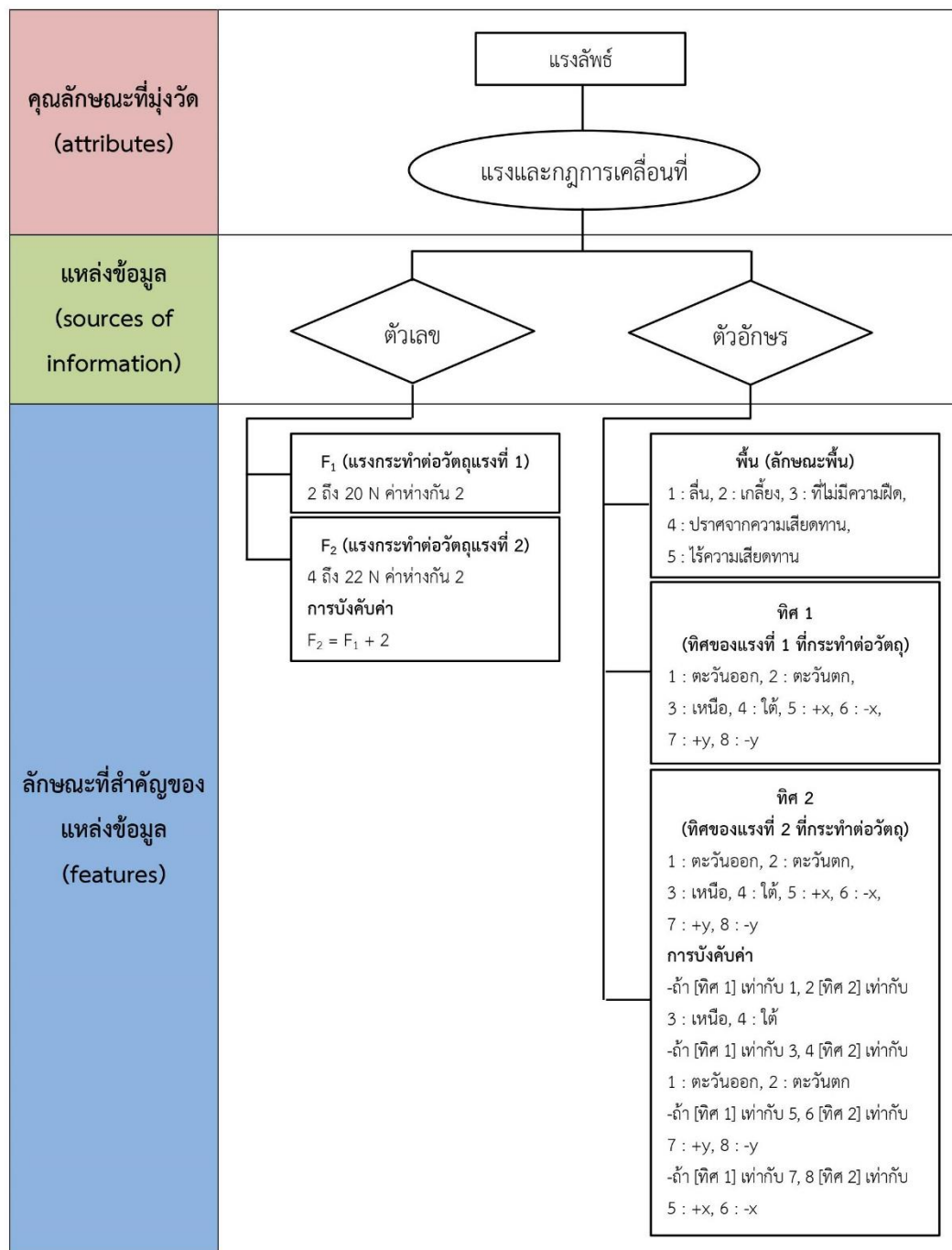
ข้อสอบ	รายการคำตอบ	แรงลัพธ์	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 1	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 2	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 3	แรงเสียดทาน	แรงโน้มถ่วง ของโลก
1	1	1	0	0	0	0	0
1	2	1	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	0
2	2	0	1	0	0	0	0
3	1	1	1	0	0	0	0
3	2	1	1	0	0	0	0
4	1	0	0	1	0	0	0
4	2	0	0	1	0	0	0
5	1	1	1	1	0	0	0
5	2	1	1	1	0	0	0
6	1	0	0	0	1	0	0
6	2	0	0	0	1	0	0
7	1	1	0	0	1	0	0
7	2	1	0	0	1	0	0
8	1	0	1	0	1	0	0
8	2	0	1	0	1	0	0
9	1	1	1	0	1	0	0
9	2	1	1	0	1	0	0
10	1	1	1	1	1	0	0
10	2	1	1	1	1	0	0
11	1	0	0	0	0	1	0
11	2	0	0	0	0	1	0
12	1	1	1	1	0	1	0
12	2	1	1	1	0	1	0
13	1	0	0	0	0	0	1
13	2	0	0	0	0	0	1
14	1	1	1	1	0	0	1
14	2	1	1	1	0	0	1
15	1	0	1	1	1	1	0
15	2	0	1	1	1	1	0
16	1	0	0	1	1	0	1
16	2	0	0	1	1	0	1
17	1	0	1	1	0	1	1
17	2	0	1	1	0	1	1
18	1	0	0	1	1	1	1
18	2	0	0	1	1	1	1

4) สรุปผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับชั้น

จากการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับชั้นร่วมกับการพิจารณา mesa plot พบว่า เวกเตอร์คิวส่วนใหญ่มีความเหมาะสม โดยมีเวกเตอร์คิว จำนวน 6 เวกเตอร์ ที่มีข้อบ่งชี้ว่ามีการระบุไม่เหมาะสม ทั้งนี้ ผู้วิจัยปรับแก้เวกเตอร์คิวเฉพาะรายการคำตอบ 2 ของข้อสอบข้อที่ 10 เพื่อนำเมทริกซ์คิวที่สมบูรณ์ไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับสำหรับพิจารณาคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยขั้นต้นที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับชั้นอย่างละเอียด ผู้วิจัยนำเสนอไว้ในหัวข้อ 2.2.2 ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับชั้น เนื่องจากต้องใช้ผลการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ รวมทั้งต้องพิจารณาดัชนีความสอดคล้องของโมเดลระหว่างโมเดลที่ใช้เมทริกซ์คิวเดิม และโมเดลที่ใช้เมทริกซ์คิวที่ปรับแก้ เพื่อเลือกเมทริกซ์คิวที่มีความเหมาะสมมากที่สุด อีกทั้ง การปรับแก้เมทริกซ์คิวมีการกระทำซ้ำหลายรอบจนกระทั่งได้เมทริกซ์คิวที่เหมาะสม

1.2 ผลการสร้างและการตรวจสอบคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบ

ผู้วิจัยสร้างโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติให้สอดคล้องกับเมทริกซ์คิวที่ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ (1) คุณลักษณะที่มุ่งวัด (2) แหล่งข้อมูล และ (3) ลักษณะที่สำคัญของแหล่งข้อมูล ตัวอย่างโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติแสดงดังภาพ 4.3 เป็นโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติโมเดลที่ 1 นั่นคือ โมเดลนี้ใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบที่มุ่งวัดคุณลักษณะที่ 1 แรงลัพธ์ และมีแหล่งข้อมูลในคำถาม 2 ส่วน คือ แหล่งข้อมูลที่เป็นตัวเลข และแหล่งข้อมูลที่เป็นตัวอักษร โดยแหล่งข้อมูลที่เป็นตัวเลขประกอบด้วย แรงกระทำต่อวัตถุ จำนวน 2 แรง ส่วนแหล่งข้อมูลที่เป็นตัวอักษรประกอบด้วย ลักษณะของพื้น และทิศทางของแรงกระทำทั้ง 2 แรง อีกทั้งมีการระบุค่าของแต่ละแหล่งข้อมูลและการบังคับค่า เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างโมเดลข้อสอบ ส่วนโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติอีก 17 โมเดล ผู้วิจัยนำเสนอไว้ในภาคผนวก ข โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบ

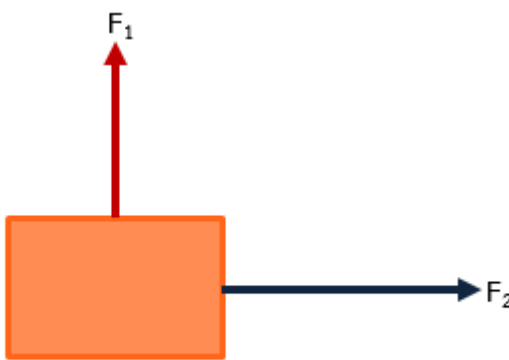


ภาพ 4.3 โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติโมเดลที่ 1

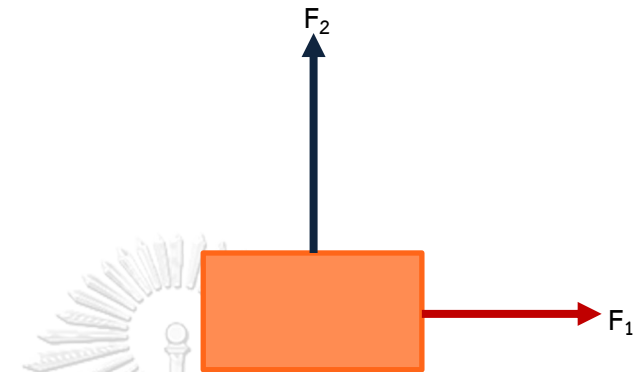
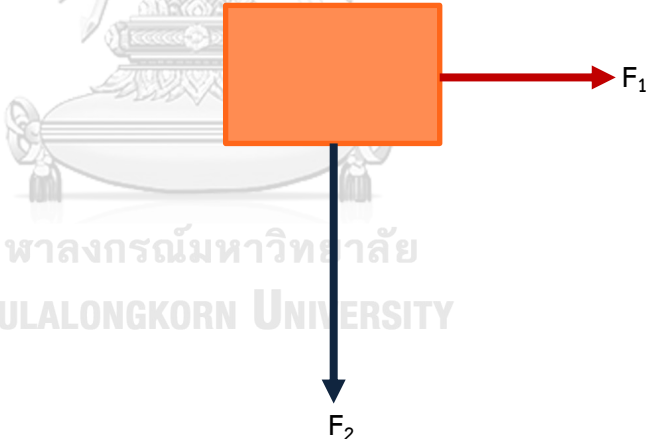
หลังจากสร้างโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ผู้วิจัยจึงสร้างโมเดลข้อสอบให้สอดคล้องกับโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ คำถาม เฉลย และรูปภาพ โดยรูปภาพจะมีเฉพาะบางโมเดลที่จำเป็นต้องใช้รูปภาพในการตอบคำถาม ตัวอย่างโมเดลข้อสอบแสดงดังตาราง 4.16 เป็นโมเดลข้อสอบโมเดลที่ 1 ซึ่งเป็นโมเดลข้อสอบหลายชั้น โดยมีส่วนประกอบในคำถาม จำนวน 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นที่ 1 แบ่งเป็น 2 ส่วนประกอบย่อย ได้แก่ (1) สถานการณ์ และ (2) คำถาม และชั้นที่ 2 แบ่งเป็น 5 ส่วนประกอบย่อย ได้แก่ (1) พื้น (2) ทิศ 1 (3) ทิศ 2 (4) F_1 และ (5) F_2 ซึ่งสอดคล้องกับโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โมเดลที่ 1 ดังภาพ 4.3 โดยแต่ละส่วนประกอบย่อยมีการกำหนดค่า และการบังคับค่าเพื่อใช้ในการสร้างข้อสอบ เช่น ส่วนประกอบพื้นใช้ในการระบุของลักษณะพื้นราบ แบ่งเป็น 5 ค่า ได้แก่ (1) ลื่น (2) เกลี้ยง (3) ที่ไม่มีความผิด (4) ปราศจากความเสียหาย และ (5) ไร้ความเสียหาย และส่วนประกอบ F_1 ใช้ในการระบุขนาดของแรงที่กระทำต่อวัตถุแรงที่ 1 กำหนดให้มีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 20 นิวตัน โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 2 นิวตัน นั่นคือ F_1 มีค่าเป็นไปได้ทั้งหมด 10 ค่า ได้แก่ 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 นิวตัน โมเดลข้อสอบอีก 17 โมเดล ผู้วิจัยนำเสนอไว้ในภาคผนวก ข โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบ

ตาราง 4.16

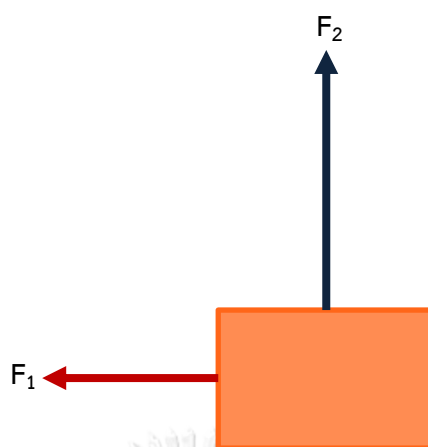
โมเดลข้อสอบโมเดลที่ 1

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>วัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบไร้ความเสียดทาน เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุนี้พร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F_1 ขนาด 10 นิวตัน ทิศเหนือ และแรง F_2 ขนาด 12 นิวตัน ทิศตะวันออก ดังภาพ จงหาว่าวัตถุนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใดจึงเคลื่อนที่ในทิศนั้น</p>  <p>ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>
โมเดลข้อสอบ (item model)	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[สถานการณ์] [คำถาม]</p>
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>ขั้นที่ 1</p> <p>[สถานการณ์] (ข้อความ) :</p> <p>1 : วัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบ [พื้น] เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุนี้พร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F_1 ขนาด $[F_1]$ นิวตัน ทิศ [ทิศ 1] และแรง F_2 ขนาด $[F_2]$ นิวตัน ทิศ [ทิศ 2] ดังภาพ</p> <p>2 : วัตถุชิ้นหนึ่งถูกแรง F_1 ขนาด $[F_1]$ นิวตัน กระทำให้เคลื่อนที่ไปทางทิศ [ทิศ 1] บนพื้นราบ [พื้น] ต่อมาถูกกระทำเพิ่มขึ้นด้วยแรง F_2 ขนาด $[F_2]$ นิวตัน ทิศ [ทิศ 2] ดังภาพ</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ) :</p> <p>1 : จงหาว่าวัตถุนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใดจึงเคลื่อนที่ในทิศนั้น</p> <p>2 : จงพิจารณาว่าวัตถุนี้เคลื่อนที่ไปในทิศใด พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบ</p>

	<p>ชั้นที่ 2</p> <p>[พื้น] (ตัวอักษร) : 1 : ลื่น, 2 : เกลี้ยง, 3 : ที่ไม่มีความผิด, 4 : ปราศจากความเสียหาย, 5 : ไร้ความเสียหาย</p> <p>[ทิศ 1] (ตัวอักษร) : 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก, 3 : เหนือ, 4 : ใต้, 5 : +x, 6 : -x, 7 : +y, 8 : -y</p> <p>[ทิศ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 2 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 : เหนือ, 4 : ใต้</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 4 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 5, 6 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 7 : +y, 8 : -y</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 7, 8 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 5 : +x, 6 : -x</p> <p>[F₁] (ตัวเลข) : มีค่า 2 ถึง 20 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 2</p> <p>[F₂] (ตัวเลข) : มีค่า [F₁] + 2</p>
เฉลย (key)	<p>วัตถุจะเคลื่อนที่ในแนวทิศ [answer] เนื่องจากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุอยู่ในแนวทิศ [answer]</p> <p>หมายเหตุ แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ฉบับนี้ มุ่งวินิจฉัยมโนทัศน์ที่ตลาดเคลื่อนของนักเรียนจึงอนุโลมให้ “แนวทิศ [answer]” เป็นคำตอบที่ถูกต้อง โดยไม่ต้องระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในรูปของมุม เนื่องจากไม่ได้มุ่งวัดความรู้ของนักเรียนในเรื่องนี้</p> <p>จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY</p> <p>ส่วนประกอบย่อย</p> <p>[answer] (ตัวอักษร) :</p> <p>1 : ตะวันออกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>2 : ตะวันออกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>3 : ตะวันตกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p>

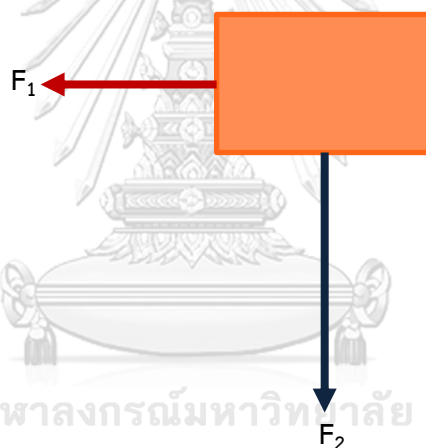
	<p>4 : ตะวันตกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p>
รูปภาพ	<p>[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3, 7</p>  <p>ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p> <p>[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4, 8</p>  <p>ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3, 7



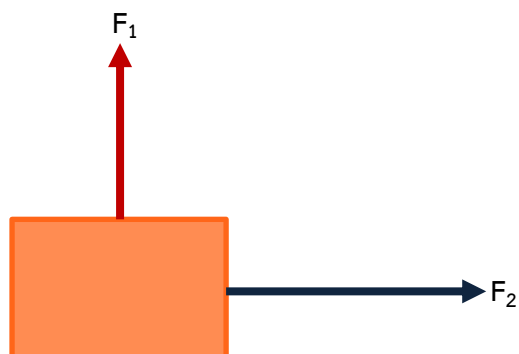
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4, 8



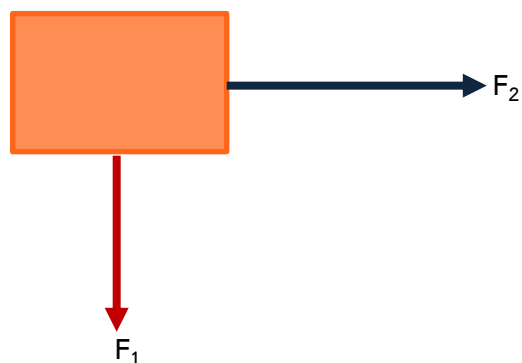
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1, 5



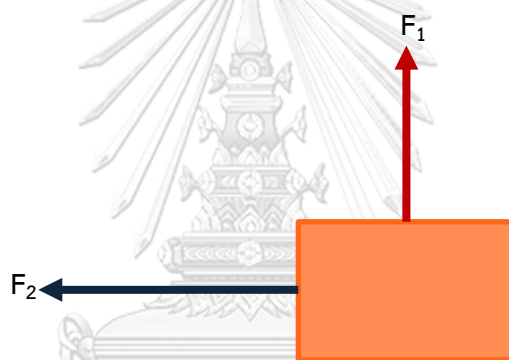
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1, 5



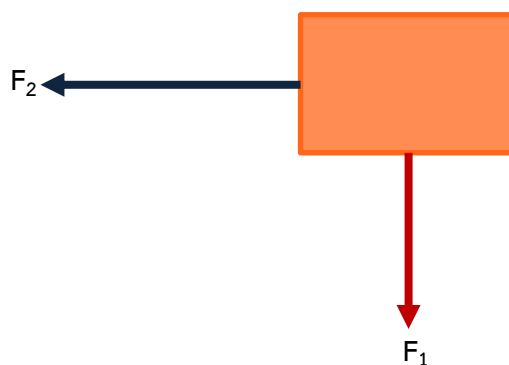
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2, 6



ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2, 6



ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

ผู้วิจัยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 7 ท่าน ประเมินคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญา สำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมติ และโมเดลข้อสอบ จำนวน 18 คู่มือเดล ซึ่งมีประเด็นในการประเมิน 3 ประเด็น ได้แก่ เนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ พบว่าโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมติ และโมเดลข้อสอบทุกคู่มือมีคุณภาพแต่ละด้านอยู่ในระดับ 3 ขึ้นไป โดยโมเดลแต่ละคู่ส่วนใหญ่มีคุณภาพแต่ละด้านอยู่ในระดับ 4 อีกทั้ง ผู้เชี่ยวชาญมีข้อเสนอแนะให้แก้ไขปรับปรุงโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมติ และโมเดลข้อสอบให้มีความสมบูรณ์มากขึ้นดังตาราง 4.17

ตาราง 4.17

ผลการตรวจสอบคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมติ และโมเดลข้อสอบ

โมเดล	เนื้อหา		ความสมเหตุสมผล		การนำเสนอ		ข้อเสนอแนะ
	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 4	
ข้อสอบ							
โมเดล 1	1	6	0	7	3	4	-เปลี่ยน “ไร้แรงเสียดทาน” เป็น “ไร้ความเสียดทาน” -เพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับการอนุโลมให้ไม่จำเป็นต้องระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในรูปของมุม
โมเดล 2	1	6	0	7	4	3	-เปลี่ยน “ไร้แรงเสียดทาน” เป็น “ไร้ความเสียดทาน” -ปรับเฉลยข้อ 2) เป็น [ลูกบอล] สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากการรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมที่เป็นผลมาจากการถูกเตะ

ตาราง 4.17 (ต่อ)

โมเดล	เนื้อหา		ความสมเหตุสมผล		การนำเสนอ		ข้อเสนอแนะ
	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 4	
โมเดล 3	0	7	0	7	3	4	<p>-เปลี่ยน “ไร้แรงเสียดทาน” เป็น “ไร้ความเสียดทาน”</p> <p>-เพิ่ม “ด้วยแรงขนาด” หน้า [F₂]</p> <p>-เพิ่ม “และมีค่าไม่เป็นศูนย์” ในเฉลยข้อ 1) เมื่อ [คำถาม 1] และ [คำถาม 2] เท่ากับ 2</p> <p>-เมื่อ [คำถาม 1] และ [คำถาม 2] เท่ากับ 1</p> <p>ปรับเฉลยข้อ 2) จาก “เพราะได้รับผลจากการออกแรงกระทำจาก [ผู้กระทำ ทั้งสอง] เป็น “เพราะรักษาสภาพ การเคลื่อนที่เดิมที่เป็นผล มาจากการออกแรงกระทำ จาก [ผู้กระทำ ทั้งสอง]”</p> <p>-ควรเพิ่มพื้นราบในภาพ</p>
โมเดล 4	1	6	1	6	1	6	<p>ปรับข้อความจาก “ออกวิ่ง เพื่อลาก [วัตถุ] ในแนวระดับ ด้วยแรง [F] นิวตัน” เป็น “ออกแรงลาก [F] นิวตัน กระทำกับ [วัตถุ] ในแนวระดับ”</p>

ตาราง 4.17 (ต่อ)

โมเดล	เนื้อหา		ความสมเหตุสมผล		การนำเสนอ		ข้อเสนอแนะ
	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 4	
โมเดล 5	1	6	0	7	1	6	-เปลี่ยนคำถามข้อ 2) เป็น “หากเชือกที่ผูก [พาหนะ] กับ [สัตว์] ทั้ง 2 ตัว ขาด จะทำให้ [พาหนะ] เคลื่อนที่ ต่อไปได้หรือไม่ เพราะเหตุใด” -ปรับเฉลยข้อ 2) จาก “เนื่องจากผลจากการลาก ของ [สัตว์] ทั้ง 2 ตัว” เป็น “เนื่องจากการรักษาสภาพ การเคลื่อนที่เดิมที่เป็นผล มาจากการลากของ [สัตว์] ทั้ง 2 ตัว” -ควรเพิ่มพื้นราบในภาพ
โมเดล 6	0	7	1	6	1	6	เพิ่ม “ซึ่งยืนอยู่หนึ่ง” หลัง “ฝ่ายตั้งรับ”
โมเดล 7	0	7	0	7	2	5	เพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับการ อนุโลมให้ไม่จำเป็นต้อง ระบุทิศทางการเคลื่อนที่ ของวัตถุในรูปของมุม
โมเดล 8	0	7	0	7	1	6	-
โมเดล 9	0	7	0	7	1	6	-เปลี่ยนจาก “แย่งกันดี” เป็น “ออกแรงดี” -เพิ่ม “พร้อมกัน” หลัง “สนามหญ้า” -เพิ่ม “ด้วยแรงขนาด” หน้า $[F_1]$ และ $[F_2]$ -เพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับการ อนุโลมให้ไม่จำเป็นต้อง ระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของ วัตถุในรูปของมุม

ตาราง 4.17 (ต่อ)

โมเดล	เนื้อหา		ความสมเหตุสมผล		การนำเสนอ		ข้อเสนอแนะ
	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 4	
โมเดล 10	0	7	1	6	0	7	-เพิ่ม “พร้อมกัน” ข้างหน้า “จากสถานการณ์ข้างต้น” -ควรเพิ่มพื้นราบในภาพ
โมเดล 11	0	7	1	6	0	7	ควรเปลี่ยน [วัตถุ] เป็นวัตถุ ที่เคลื่อนที่แบบไกล
โมเดล 12	0	7	0	7	1	6	เปลี่ยนจาก “เคลื่อนที่” เป็น “กลิ้ง”
โมเดล 13	0	7	0	7	0	7	-เพิ่ม “ตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่” หน้า “จนกระทั่งตกลงถึง พื้นโลก” -เปลี่ยนจาก “ช่วงขาขึ้น” เป็น “ขณะเคลื่อนที่ขึ้น” -เปลี่ยนจาก “ช่วงขาลง” เป็น “ขณะเคลื่อนที่ลง”
โมเดล 14	0	7	2	5	2	5	-เพิ่ม “ด้วยแรงขนาด” หน้า $[F_1]$ และ $[F_2]$ -เพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับการ อนุโลมให้ไม่จำเป็นต้อง ระบุทิศทางการเคลื่อนที่ ของวัตถุในรูปของมุม
โมเดล 15	1	6	1	6	1	6	-เพิ่ม “อีก” หลัง “เพิ่มขึ้น” -เพิ่ม “โดยในกรณีที่ [รถ 1] เคลื่อนที่ [ผู้กระทำ] ได้หยุด ออกแรงผลัก” ข้างหน้า “จากสถานการณ์นี้”

ตาราง 4.17 (ต่อ)

โมเดล	เนื้อหา		ความสมเหตุสมผล		การนำเสนอ		ข้อเสนอแนะ
	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 4	
โมเดล 16	2	5	1	6	0	7	-เปลี่ยนจาก “กลิ้งไปชน [ต้นไม้] หลังจากหล่นสู่พื้นดิน” เป็น “กระดอนและกลิ้งไปชน [ต้นไม้] หลังจากตกกระทบพื้นดิน”
โมเดล 17	0	7	0	7	1	6	เพิ่ม “ขณะ” หน้าคำถาม ข้อ 1) และ 2)
โมเดล 18	1	6	0	7	0	7	-เปลี่ยนจาก “นักกีฬาสมัครเล่น” เป็น “นักกีฬา” -เพิ่ม “แรงแนวฉาก” ในเฉลยข้อ 1) และ 2)

โมเดลข้อสอบที่สร้างขึ้น จำนวน 18 โมเดล สามารถสร้างข้อสอบได้จำนวน 320 ถึง 3,200 ข้อ ($M = 976.333$, $SD = 918.609$) นอกจากนี้ จากการคำนวณดัชนี CSI สำหรับใช้ในการประเมินความคล้ายของข้อสอบที่สร้างมาจากแต่ละโมเดลข้อสอบ พบว่าโมเดลข้อสอบมีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI อยู่ระหว่าง 0.609 และ 0.796 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี CSI อยู่ระหว่าง 0.101 และ 0.280 ดังตาราง 4.18 แสดงว่าข้อสอบที่สร้างมาจากแต่ละโมเดลข้อสอบมีลักษณะที่ไม่คล้ายคลึงหรือแตกต่างกันมากจนเกินไป โดยข้อสอบที่สร้างขึ้นมาจากแต่ละโมเดลข้อสอบมีลักษณะเป็นข้อสอบคู่ขนาน

ตาราง 4.18

ค่าดัชนี *CSI* และจำนวนข้อสอบที่สามารถสร้างได้ของโมเดลข้อสอบ

โมเดลข้อสอบ	CSI				จำนวนข้อสอบ
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	
1	0.782	0.105	0.615	1.000	3,200
2	0.609	0.210	0.379	0.974	600
3	0.627	0.204	0.375	1.000	3,200
4	0.721	0.150	0.515	0.970	360
5	0.620	0.194	0.424	1.000	720
6	0.622	0.162	0.442	0.992	320
7	0.776	0.136	0.623	1.000	800
8	0.779	0.152	0.607	0.982	350
9	0.781	0.135	0.589	1.000	640
10	0.654	0.280	0.332	1.000	1,600
11	0.751	0.184	0.548	0.990	1,920
12	0.632	0.184	0.412	1.000	864
13	0.622	0.161	0.468	0.984	340
14	0.727	0.220	0.474	1.000	320
15	0.776	0.126	0.649	0.992	600
16	0.796	0.116	0.613	0.983	360
17	0.715	0.119	0.611	0.993	480
18	0.791	0.101	0.680	0.992	900

ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ผลการวิจัยตอนที่ 2 แบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ (1) ผลการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ (2) ผลการเปรียบเทียบผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ (3) ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และ (4) ผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยดัชนี CSI ต่ำที่สุด และสูงที่สุด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ผลการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ผลการวิจัยในส่วนนี้ แบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ (1) รายละเอียดของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ (2) ผลการตรวจสอบคุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และ (3) ผลการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ แต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 รายละเอียดของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่แก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ มีรายละเอียด ดังนี้

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ดำเนินการในรูปแบบฐานข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบออนไลน์พัฒนาโดยใช้ Laravel ซึ่งเป็นกรอบเว็บแอปพลิเคชัน (web application framework) ที่เขียนด้วยภาษา PHP ร่วมกับฐานข้อมูล MySQL การใช้ Laravel ในการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติช่วยให้สามารถจัดวางโครงสร้างของระบบได้ง่าย สามารถเขียนโค้ด (code) ได้อย่างเป็นระเบียบ แก้ไขได้ง่าย และปลอดภัย อีกทั้งมีความยืดหยุ่นสูงในการเขียนโค้ดโดยสามารถเชื่อมโยงส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการเขียนโค้ดเข้าด้วยกัน ทำให้การทำงานแต่ละส่วนมีความสอดคล้องและเป็นระบบ

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเข้าถึงได้จาก <https://aigmecmis.com> ซึ่งสามารถเข้าถึงผ่านเบราว์เซอร์ (browser) ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge และ Safari อีกทั้ง ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติยังสามารถปรับการแสดงผลให้เหมาะสมกับหน้าจอของอุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ และแท็บเล็ต (tablet) โดยแบ่งการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ และการใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ ทั้ง 2 ส่วน มีการใช้งานเหมือนกัน แต่ผู้ดูแลระบบมีหน้าที่เพิ่มเติมจากผู้ดูแลระบบในการจัดการข้อมูลผู้ใช้ ส่วนประกอบหลักของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติแต่ละส่วนมีรายละเอียด ดังนี้

การใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติในส่วนการใช้งานของผู้ดูแลระบบมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ หน้าเข้าสู่ระบบ และหน้าต่างหลักสำหรับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ แต่ละส่วนมีรายละเอียดการใช้งาน ดังนี้

1) หน้าเข้าสู่ระบบ

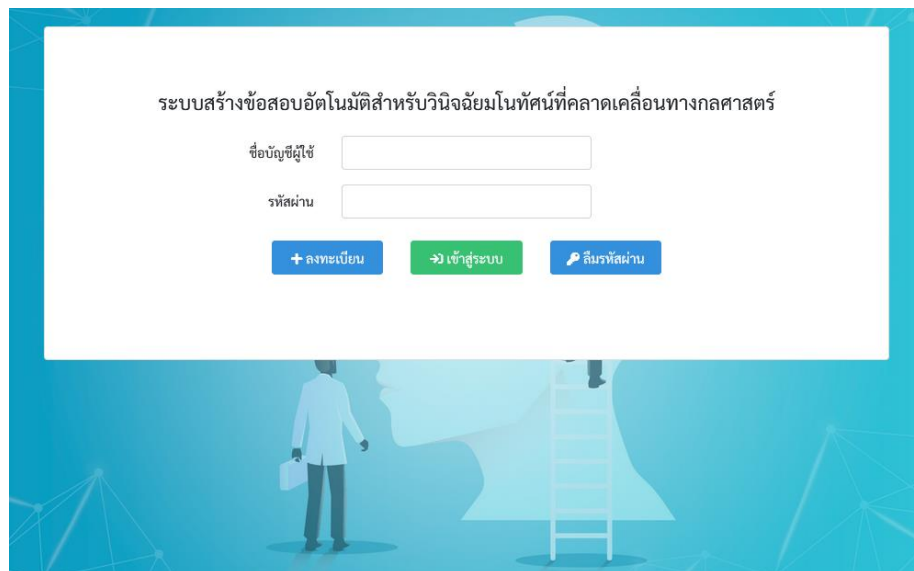
หน้าเข้าสู่ระบบมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ (1) ลงทะเบียน (2) เข้าสู่ระบบ และ (3) ลืมรหัสผ่าน ดังภาพ 4.4 แต่ละส่วนมีการใช้งาน ดังนี้

1.1) ลงทะเบียน

ผู้ใช้ที่เข้าใช้งานครั้งแรกจะต้องลงทะเบียนเพื่อขออนุญาตเข้าใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติจากผู้ดูแลระบบ โดยคลิกที่ปุ่ม “ลงทะเบียน” ในหน้าเข้าสู่ระบบ ดังภาพ 4.4 แล้วกรอกรายละเอียดให้ครบถ้วนทุกรายการ เมื่อกรอกรายละเอียดครบแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม “ลงทะเบียน” ดังภาพ 4.5 หลังจากนั้น รอฟผลการอนุมัติการลงทะเบียนจากผู้ดูแลระบบทางอีเมลที่ใช้ในการลงทะเบียน

1.2) เข้าสู่ระบบ

เมื่อผู้ดูแลระบบอนุมัติการเข้าใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้กรอกชื่อผู้ใช้ และรหัสผ่าน ที่ได้ลงทะเบียนไว้ แล้วคลิกที่ปุ่ม “เข้าสู่ระบบ” ในหน้าเข้าสู่ระบบ ดังภาพ 4.4 เพื่อเข้าใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ



ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ชื่อบัญชีผู้ใช้

รหัสผ่าน

+ ลงทะเบียน ↶ เข้าสู่ระบบ 🔒 ลืมรหัสผ่าน

ภาพ 4.4 หน้าเข้าสู่ระบบ

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ลงทะเบียน
โปรดกรอกข้อมูลต่อไปนี้ให้ครบถ้วน

ชื่อบัญชีผู้ใช้

หมายเหตุ : ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ และ/หรือตัวเลขในการตั้งชื่อบัญชีผู้ใช้

รหัสผ่าน

หมายเหตุ : ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ และ/หรือตัวเลข อย่างน้อย 6 หลัก ในการตั้งรหัสผ่าน

ยืนยันรหัสผ่าน

ชื่อ-นามสกุล

สถาบัน/สถานที่ทำงาน

อาชีพ

หมายเลขโทรศัพท์

E-mail

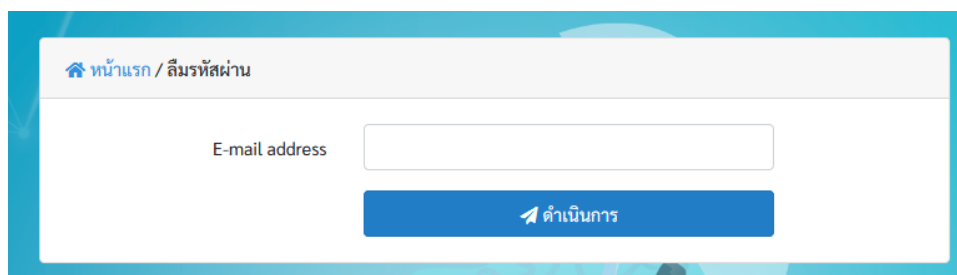
✓ ลงทะเบียน

🏠 ย้อนกลับ

ภาพ 4.5 หน้าลงทะเบียน

1.3) ลืมรหัสผ่าน

ผู้ใช้ที่ลืมชื่อบัญชีผู้ใช้หรือรหัสผ่านให้คลิกที่ปุ่ม “ลืมรหัสผ่าน” ในหน้าเข้าสู่ระบบ ดังภาพ 4.4 เพื่อกรอกอีเมลที่ใช้ในการลงทะเบียนเข้าใช้งาน จากนั้น กดปุ่ม “ดำเนินการ” ดังภาพ 4.6 เพื่อให้ระบบส่งรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินการสำหรับตั้งรหัสผ่านใหม่ เพื่อใช้ในการเข้าใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ



ภาพ 4.6 หน้าลืมรหัสผ่าน

2) หน้าต่างหลักสำหรับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

หน้าต่างหลักสำหรับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ประกอบด้วย 6 เมนู ได้แก่ (1) ข้อมูลผู้ใช้ (2) โมเดลข้อสอบ (3) การสร้างข้อสอบ (4) การสร้างแบบสอบ (5) คู่มือการใช้งาน และ (6) ผู้พัฒนาระบบ แต่ละเมนูมีการใช้งาน ดังนี้

2.1) ข้อมูลผู้ใช้

เมนูข้อมูลผู้ใช้ แสดงรายละเอียดของผู้ใช้ตามประเด็นที่กรอกไว้ในขณะลงทะเบียนเข้าใช้งานระบบ ทั้งนี้ ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลของตนเองได้ และคลิกที่ปุ่ม “บันทึกข้อมูล” เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ดังภาพ 4.7

test ▾

ออกจากระบบ

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

1. ข้อมูลผู้ใช้

2. โมเดลข้อสอบ

3. การสร้างข้อสอบ

4. การสร้างแบบสอบ

5. คู่มือการใช้งาน

6. ผู้พัฒนาระบบ

ข้อมูลผู้ใช้

test

รหัสผ่านใหม่

ยืนยันรหัสผ่านใหม่

ชื่อ-นามสกุล

นายกิตติทัศน์ หวานดำ

สถาบัน/สถานที่ทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาชีพ

นิสิต

หมายเลขโทรศัพท์

081-1234567

อีเมล

wkittitas@gmail.com

บันทึกข้อมูล

ภาพ 4.7 เมนูข้อมูลผู้ใช้

2.2) โมเดลข้อสอบ

การสร้างข้อสอบ และจัดชุดแบบสอบวินิจฉยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เกี่ยวข้องกับเมนูการใช้งาน 3 เมนู ได้แก่ โมเดลข้อสอบ การสร้างข้อสอบ และการสร้างแบบสอบ โดยเมนูโมเดลข้อสอบ แสดงรายละเอียดของโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ จำนวน 18 โมเดล แต่ละโมเดลมีรายละเอียด 6 ประเด็น ดังนี้

- (1) คำอธิบาย หัวข้อคำอธิบายใช้ในการบันทึกรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับโมเดลข้อสอบ เช่น คุณลักษณะที่มุ่งวัด
- (2) ข้อสอบตั้งต้น หัวข้อข้อสอบตั้งต้นใช้ในการแสดงข้อสอบที่เป็นต้นแบบสำหรับการสร้างโมเดลข้อสอบ
- (3) คำถาม หัวข้อคำถามใช้ในการแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับสถานการณ์ และคำถามที่ต้องการให้นักเรียนหาคำตอบ

(4) ส่วนประกอบย่อย หัวข้อส่วนประกอบย่อยใช้ในการแสดง และการปรับแก้ค่าของส่วนประกอบย่อย ส่วนประกอบย่อยมี 3 ลักษณะ ได้แก่ (1) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นข้อความ แสดงด้วยแถบสีเขียว (2) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษร แสดงด้วยแถบสีฟ้า และ (3) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลข แสดงด้วยแถบสีแดง โดยผู้ใช้สามารถปรับค่าได้เฉพาะส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษร และตัวเลข เท่านั้น

(5) เฉลย หัวข้อเฉลยใช้ในการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับ คำตอบของข้อสอบแต่ละข้อในโมเดลข้อสอบ

(6) รูปภาพ หัวข้อรูปภาพใช้ในการกำหนดรายละเอียด เกี่ยวกับการแสดงรูปภาพสำหรับข้อสอบแต่ละข้อในโมเดลข้อสอบ โดยหัวข้อรูปภาพมีเฉพาะบางโมเดล

ตัวอย่างเมนูโมเดลข้อสอบแสดงดังภาพ 4.8 ซึ่งเป็นรายละเอียด ของโมเดลข้อสอบที่ 2 และตัวอย่างหัวข้อรูปภาพแสดงดังภาพ 4.9 ซึ่งเป็นรายละเอียดของโมเดล ข้อสอบที่ 1 ส่วนตาราง 4.19 แสดงคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่มุ่งวัดโดยโมเดลข้อสอบ แต่ละโมเดล



ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

1. ข้อมูลผู้ใช้

2. โมเดลข้อสอบ

3. การสร้างข้อสอบ

4. การสร้างแบบสอบ

5. คู่มือการใช้งาน

6. ผู้พัฒนาระบบ

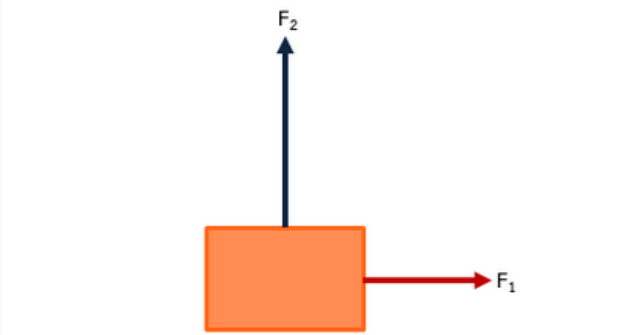
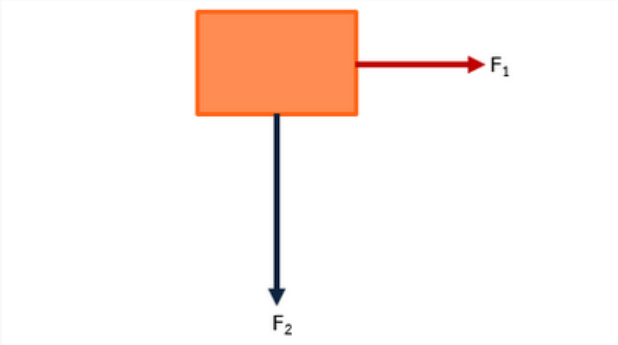
เลือกโมเดล

โมเดล 2 ▼

คำอธิบาย	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; min-height: 100px;"> คุณลักษณะที่มุ่งวัด คือ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 </div> <div style="text-align: right; margin-top: 5px;"> <div style="background-color: #28a745; color: white; padding: 2px 10px; border-radius: 3px;">บันทึก</div> </div>
ข้อสอบตั้งต้น (parent item)	ลูกบอลมวล 600 กรัม วางอยู่กับที่ถูกเตะให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบลื่น ในขณะที่ ลูกบอลกำลังเคลื่อนที่ จะตอบคำถามต่อไปนี้ 1) มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล 2) เพราะเหตุใด ลูกบอลจึงสามารถเคลื่อนที่ได้หลังจากถูกเตะ ถึงแม้ว่าเท้าไม่ได้สัมผัสกับลูกบอลแล้ว
คำถาม (stem)	<div style="background-color: #d4edda; padding: 5px; border: 1px solid #c3e6cb;"> [สถานการณ์] [คำถาม] </div>
ส่วนประกอบย่อย (elements)	<p>ขั้นที่ 1</p> <p>[สถานการณ์] (ข้อความ) :</p> <p>1: [ผู้กระทำ] เตะ [ลูกบอล] มวล [m] กรัม ที่อยู่นิ่ง ให้เคลื่อนที่ไปบน พื้นราบ [พื้น] ในขณะที่ [ลูกบอล] กำลังเคลื่อนที่ จงพิจารณาว่า</p> <p>2: [ลูกบอล] มวล [m] กรัม วางอยู่กับที่ถูกเตะให้เคลื่อนที่ไปบน พื้นราบ [พื้น] ในขณะที่ [ลูกบอล] กำลังเคลื่อนที่ จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ)</p> <p>1) มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างกระทำต่อ [ลูกบอล]</p> <p>2) เพราะเหตุใด [ลูกบอล] จึงสามารถเคลื่อนที่ได้หลังจากถูกเตะ ถึงแม้ว่าเท้าไม่ได้สัมผัสกับลูกบอลแล้ว</p> <p>ขั้นที่ 2</p> <p>[ผู้กระทำ] 1: นักเรียนคนหนึ่ง, 2: นักกีฬา, 3: นักฟุตบอล</p> <p>[ลูกบอล] 1: ลูกบอล, 2: ลูกวอลเลย์บอล, 3: ลูกบาสเกตบอล</p> <p>[m] มีค่า 400 ถึง 850 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 50</p> <p>[พื้น] 1: ลื่น, 2: เกลี้ยง, 3: ที่ไม่มีความผิด, 4: ปราศจากความเสียดทาน, 5: ไร้ความเสียดทาน</p>
เฉลย (key)	1) ไม่มีแรงในแนวระดับกระทำต่อ [ลูกบอล] ขณะกำลังเคลื่อนที่ 2) [ลูกบอล] สามารถเคลื่อนที่ได้เนื่องจากการรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม ที่เป็นผลมาจากการถูกเตะ

บันทึกแก้ไข

ภาพ 4.8 ตัวอย่างเมนูโมเดลข้อสอบ

รูปภาพ	<p>[ทิศ 1] เท่ากับ 1,5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3,7</p>  <p>ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>
	<p>[ทิศ 1] เท่ากับ 1,5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4,8</p>  <p>ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>

ภาพ 4.9 ตัวอย่างหัวข้อรูปภาพในเมนูโมเดลข้อสอบ

โมเดลข้อสอบทั้ง 18 โมเดล มีการกำหนดรายละเอียดต่างๆ ไว้ครบถ้วนแล้ว นั่นคือ ผู้ใช้สามารถสร้างข้อสอบจากโมเดลข้อสอบโดยไม่ต้องแก้ไขรายละเอียดต่างๆ ในโมเดลข้อสอบ อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลก่อนการสร้างข้อสอบได้ 4 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลในหัวข้อคำอธิบาย (2) ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบย่อย (3) ข้อมูลเกี่ยวกับเฉลย และ (4) ข้อมูลเกี่ยวกับรูปภาพ โดยมีรายละเอียดในการแก้ไข ดังนี้

(1) ข้อมูลในหัวข้อคำอธิบาย

การแก้ไขข้อมูลในหัวข้อคำอธิบายดำเนินการได้โดยแก้ไขข้อความที่กำหนดไว้ในกล่องข้อความของหัวข้อคำอธิบาย เมื่อแก้ไขเสร็จแล้วให้คลิกที่ปุ่ม “บันทึก” โดยมีตัวอย่างการแก้ไขหัวข้อคำอธิบายดังภาพ 4.10

ก่อนการแก้ไข

คำอธิบาย	<div data-bbox="512 1016 1382 1256" style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; min-height: 100px;">คุณลักษณะที่มุ่งวัด คือ แรงลัพธ์</div> <div data-bbox="1225 1279 1385 1339" style="background-color: #28a745; color: white; text-align: center; padding: 5px 10px; float: right;">บันทึก</div>
----------	--

หลังการแก้ไข

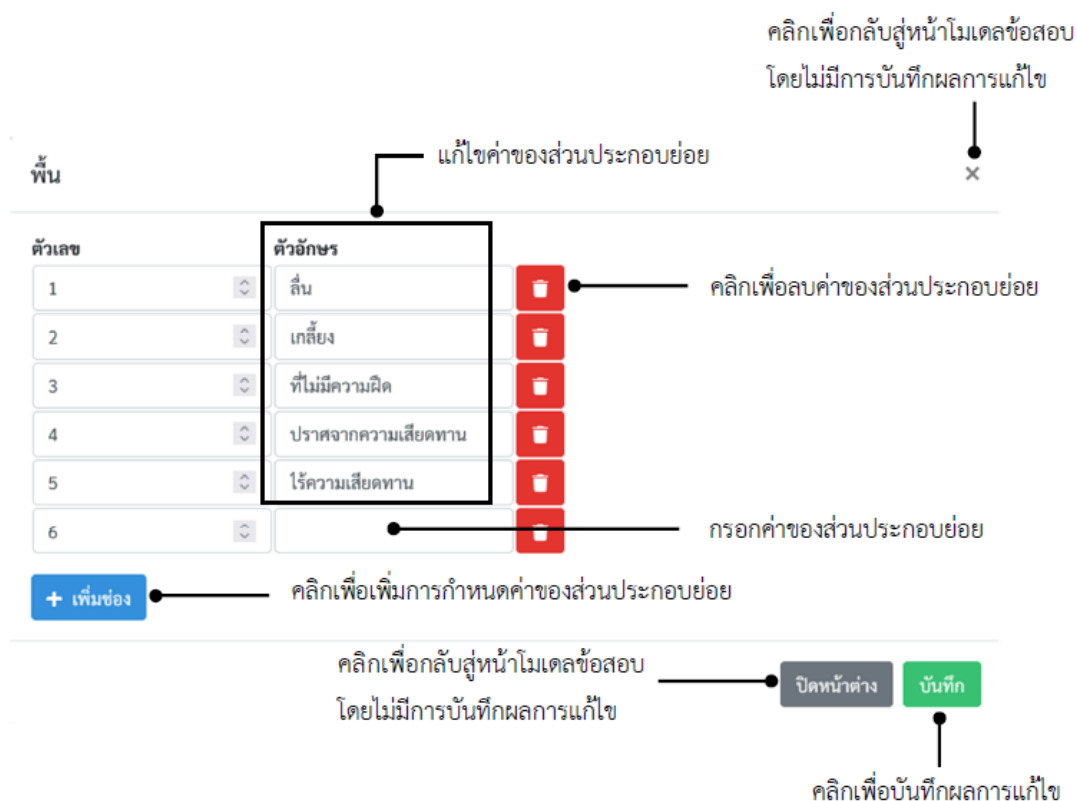
คำอธิบาย	<div data-bbox="512 1447 1382 1686" style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; min-height: 100px;">คุณลักษณะที่มุ่งวัด คือ แรงลัพธ์ สร้างข้อสอบได้ จำนวน 3,200 ข้อ</div> <div data-bbox="1225 1709 1385 1769" style="background-color: #28a745; color: white; text-align: center; padding: 5px 10px; float: right;">บันทึก</div>
----------	---

ภาพ 4.10 ตัวอย่างการแก้ไขหัวข้อคำอธิบายในเมนูโมเดลข้อสอบ

(2) ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบย่อย

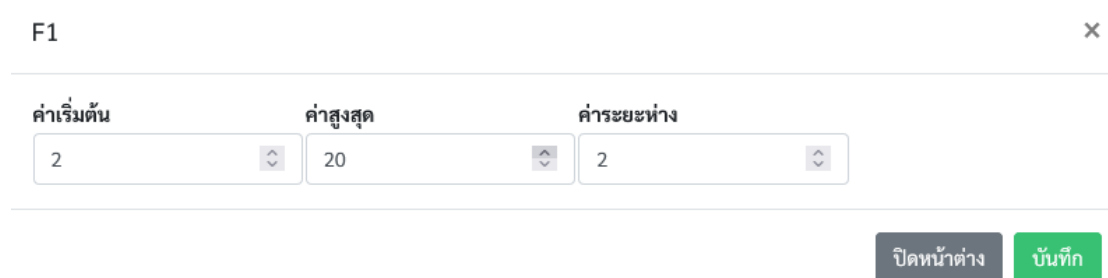
การแก้ไขข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบย่อย แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษร (แถบสีฟ้า) และ (2) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลข (แถบสีแดง)

การแก้ไขค่าส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษรดำเนินการโดยคลิกที่ชื่อส่วนประกอบย่อยที่ต้องการแก้ไขค่า จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างให้แก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อย ผู้ใช้สามารถแก้ไขค่าในหัวข้อตัวอักษรที่กำหนดไว้ได้ตามความต้องการ หากต้องการลบค่าใดในส่วนประกอบย่อยให้คลิกที่เครื่องหมายถังขยะ หากต้องการกำหนดค่าของส่วนประกอบย่อยเพิ่มเติมให้คลิกที่ปุ่ม “เพิ่มช่อง” แล้วกรอกค่าที่ต้องการ จากนั้น คลิกที่ปุ่ม “บันทึก” เพื่อบันทึกผลการแก้ไข ดังภาพ 4.11 และกลับไปสู่หน้าโมเดลข้อสอบ โดยผลการแก้ไขแสดงในหัวข้อส่วนประกอบย่อยของหน้าเมนูโมเดลข้อสอบ



ภาพ 4.11 ตัวอย่างการแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษร

การแก้ไขค่าส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลขดำเนินการโดยคลิกที่ชื่อส่วนประกอบย่อยที่ต้องการแก้ไขค่า จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างให้แก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อย ผู้ใช้สามารถแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยตามความต้องการ หลังจากนั้น คลิกที่ปุ่ม “บันทึก” เพื่อบันทึกผลการแก้ไข ดังภาพ 4.12 และกลับไปสู่หน้าโมเดลข้อสอบ โดยผลการแก้ไขแสดงในหัวข้อส่วนประกอบย่อยของหน้าเมนูโมเดลข้อสอบ



ค่าเริ่มต้น	ค่าสูงสุด	ค่าระยะห่าง
2	20	2

ปิดหน้าต่าง บันทึก

ภาพ 4.12 ตัวอย่างการแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลข

(3) ข้อมูลเกี่ยวกับเฉลย

ข้อมูลในหัวข้อเฉลยเป็นการกำหนดค่าของคำตอบให้สอดคล้องกับค่าของส่วนประกอบย่อยที่มีผลต่อคำตอบ การแก้ไขรายละเอียดเกี่ยวกับเฉลยมีวิธีการแก้ไขเหมือนกับส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษรในหัวข้อส่วนประกอบย่อย โดยคลิกที่ชื่อส่วนประกอบย่อยที่ต้องการแก้ไขค่า จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างให้แก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อย ผู้ใช้สามารถแก้ไขค่าในหัวข้อตัวอักษรที่กำหนดไว้ได้ตามความต้องการ หากต้องการลบค่าใดในส่วนประกอบย่อยให้คลิกที่เครื่องหมายถังขยะ หากต้องการกำหนดค่าของส่วนประกอบย่อยเพิ่มเติมให้คลิกที่ปุ่ม “เพิ่มช่อง” แล้วกรอกค่าที่ต้องการ รวมทั้งชื่อส่วนประกอบย่อย และตัวเลขแทนค่าของส่วนประกอบย่อยที่มีผลต่อคำตอบ จากนั้น คลิกที่ปุ่ม “บันทึก” เพื่อบันทึกผลการแก้ไข ดังภาพ 4.13 และกลับไปสู่หน้าโมเดลข้อสอบ โดยผลการแก้ไขแสดงในหัวข้อเฉลยของหน้าเมนูโมเดลข้อสอบ

ทิศ 1

✕

การบังคับค่า	ตัวเลข	ตัวอักษร	
[ทิศ]	2	1	ทิศตะวันออก
[ทิศ]	1	2	ทิศตะวันออก
[ทิศ]	4	3	ทิศเหนือ
[ทิศ]	3	4	ทิศใต้
[ทิศ]	6	5	ขวา
[ทิศ]	5	6	ซ้าย
[ทิศ]	8	7	ทิศ +y
[ทิศ]	7	8	ทิศ -y
[ทิศ]	10	9	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
[ทิศ]	9	10	ทิศตะวันออกเฉียงใต้
[ทิศ]	12	11	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
[ทิศ]	11	12	ทิศตะวันตกเฉียงใต้

+ เพิ่มช่อง

ปิดหน้าต่าง

บันทึก

ภาพ 4.13 ตัวอย่างหน้าต่างสำหรับแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยในหัวข้อเฉลย

















(4) ข้อมูลเกี่ยวกับรูปภาพ


การแก้ไขรายละเอียดเกี่ยวกับรูปภาพให้คลิกที่ชื่อส่วนประกอบย่อยใดในหัวข้อรูปภาพก็ได้ จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างสำหรับเปลี่ยนรูปภาพและเงื่อนไขในการแสดงรูปภาพ ผู้ใช้สามารถแก้ไขเงื่อนไขในการแสดงรูปภาพได้โดยปรับค่าของส่วนประกอบย่อยที่มีผลต่อการแสดงรูปภาพ รวมทั้งสามารถเปลี่ยนรูปภาพที่แสดงได้โดยคลิกที่เครื่องหมายอัปโหลด เพื่ออัปโหลดรูปภาพที่ต้องการ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มเงื่อนไขการแสดงผลรูปภาพโดยคลิกที่ปุ่ม “เพิ่มช่อง” นอกจากนี้ยังสามารถลบเงื่อนไขในการแสดงรูปภาพ โดยคลิกที่เครื่องหมายถังขยะ เมื่อแก้ไขเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม “บันทึก” เพื่อบันทึกผลการแก้ไข ดังภาพ 4.14 และกลับไปสู่หน้าโมเดลข้อสอบ โดยผลการแก้ไขแสดงในหัวข้อรูปภาพของหน้าเมนูโมเดลข้อสอบ



รูปภาพ

x

การบังคับค่า

[ทิศ 1]	1,5	[ทิศ 2]	3,7		
[ทิศ 1]	1,5	[ทิศ 2]	4,8		
[ทิศ 1]	2,6	[ทิศ 2]	3,7		
[ทิศ 1]	2,6	[ทิศ 2]	4,8		
[ทิศ 1]	3,7	[ทิศ 2]	1,5		
[ทิศ 1]	4,8	[ทิศ 2]	1,5		
[ทิศ 1]	3,7	[ทิศ 2]	2,6		
[ทิศ 1]	4,8	[ทิศ 2]	2,6		

 เพิ่มช่อง

ภาพ 4.14 ตัวอย่างหน้าต่างสำหรับแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยในหัวข้อรูปภาพ

เมื่อผู้ใช้แก้ไขรายละเอียดในส่วนต่างๆ ของโมเดลข้อสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม “บันทึกแก้ไข” ซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างของหน้าโมเดลข้อสอบ เพื่อบันทึกรายละเอียดทั้งหมดที่แก้ไขในแต่ละโมเดลข้อสอบ

หลังแก้ไขรายละเอียดในโมเดลข้อสอบตามความต้องการแล้ว ผู้ใช้จะต้องไปที่เมนูการสร้างข้อสอบเพื่อสร้างข้อสอบ และจัดชุดเป็นแบบสอบวินิจฉัยในเมนูการสร้างแบบสอบ หากผู้ใช้ไม่ได้แก้ไขรายละเอียดในโมเดลข้อสอบ สามารถเริ่มใช้งานจากเมนูการสร้างข้อสอบ

2.3) การสร้างข้อสอบ

เมนูการสร้างข้อสอบ แสดงรายการโมเดลข้อสอบทั้ง 18 โมเดล รวมทั้งระบุคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่มุ่งวัดของแต่ละโมเดลข้อสอบ เพื่อให้ผู้ใช้เลือกโมเดลข้อสอบที่ต้องการนำไปสร้างข้อสอบ โดยคลิกที่ช่องสี่เหลี่ยมหน้าโมเดลข้อสอบ หากต้องการใช้โมเดลข้อสอบทั้ง 18 โมเดล ในการสร้างข้อสอบให้คลิกที่ช่องสี่เหลี่ยมหน้า “เลือกทั้งหมด” เมื่อเลือกโมเดลข้อสอบเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม “สร้างข้อสอบ” เพื่อสร้างข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดในแต่ละโมเดลข้อสอบที่เลือก ดังภาพ 4.15

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยโมเดลที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

กรุณาเลือกโมเดลข้อสอบที่ต้องการนำไปใช้ในการสร้างข้อสอบ

☐ เลือกทั้งหมด

<input type="checkbox"/>	โมเดล 1	แรงลัพธ์
<input type="checkbox"/>	โมเดล 2	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1
<input type="checkbox"/>	โมเดล 3	แรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1
<input type="checkbox"/>	โมเดล 4	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2
<input type="checkbox"/>	โมเดล 5	แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2
<input type="checkbox"/>	โมเดล 6	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
<input type="checkbox"/>	โมเดล 7	แรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
<input type="checkbox"/>	โมเดล 8	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
<input type="checkbox"/>	โมเดล 9	แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
<input type="checkbox"/>	โมเดล 10	แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
<input type="checkbox"/>	โมเดล 11	แรงเสียดทาน
<input type="checkbox"/>	โมเดล 12	แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และแรงเสียดทาน
<input type="checkbox"/>	โมเดล 13	แรงโน้มถ่วงของโลก
<input type="checkbox"/>	โมเดล 14	แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และแรงโน้มถ่วงของโลก
<input type="checkbox"/>	โมเดล 15	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 และแรงเสียดทาน
<input type="checkbox"/>	โมเดล 16	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 และแรงโน้มถ่วงของโลก
<input type="checkbox"/>	โมเดล 17	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก
<input type="checkbox"/>	โมเดล 18	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก

ภาพ 4.15 เมนูการสร้างข้อสอบ

หลังจากสร้างข้อสอบเสร็จแล้ว ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติจะแสดงผล ดังภาพ 4.16 ผู้ใช้สามารถพิจารณาข้อสอบแต่ละข้อที่สร้างขึ้นในแต่ละโมเดลข้อสอบที่เลือก โดยคลิกที่กล่องรหัสข้อสอบ โดยภาพ 4.17 แสดงตัวอย่างข้อสอบที่สร้างขึ้น

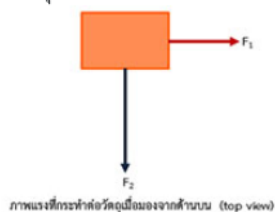


ภาพ 4.16 ตัวอย่างหน้าจอหลังจากสร้างข้อสอบ

M01I00001

×

วัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบ ลื่น เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุนั้นพร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F_1 ขนาด 2 นิวตัน ทิศ ตะวันออก และแรง F_2 ขนาด 4 นิวตัน ทิศ ใต้ ดังภาพ จงหาว่าวัตถุนั้นจะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใดจึงเคลื่อนที่ในทิศนั้น



ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้นมองจากด้านบน (top view)

ปิดหน้าต่าง

ภาพ 4.17 ตัวอย่างข้อสอบที่สร้างขึ้น

2.4) การสร้างแบบสอบ

เมนูการสร้างแบบสอบ ใช้ในการจัดชุดแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สำหรับนำไปใช้งาน โดยระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติจะสุ่มข้อสอบจากแต่ละโมเดลข้อสอบที่เลือกมาจัดชุดเป็นแบบสอบวินิจัย ซึ่งจะต้องกำหนดรายละเอียด ดังนี้

- (1) จำนวนแบบสอบที่ต้องการสร้าง
- (2) จำนวนข้อสอบที่สุ่มมาจากแต่ละโมเดลข้อสอบ
- (3) ประเภทไฟล์ของแบบสอบ ซึ่งมีให้เลือก 2 ประเภท

ได้แก่ ไฟล์ Word และไฟล์ PDF

เมนูการสร้างแบบสอบมีรายละเอียดดังภาพ 4.18 ทั้งนี้ แบบสอบวินิจัยที่สร้างขึ้นมี 2 ส่วน ได้แก่ แบบสอบที่ไม่มีเฉลยคำตอบ และแบบสอบที่มีเฉลยคำตอบ ซึ่งอยู่ด้านหลังแบบสอบที่ไม่มีเฉลยคำตอบ สำหรับการสร้างแบบสอบที่ไม่มีเฉลยคำตอบสามารถกำหนดค่าหัวกระดาษเพิ่มเติมได้ โดยคลิกที่ปุ่ม “การตั้งค่าหัวกระดาษของแบบสอบ” ดังภาพ 4.19 เมื่อกำหนดรายละเอียดทั้งหมดเรียบร้อยแล้วให้คลิกที่ปุ่ม “สร้างแบบสอบ” เพื่อสร้างแบบสอบวินิจัย จากนั้นดาวน์โหลดแบบสอบวินิจัยที่สร้างขึ้นไปใช้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

ภาพ 4.18 เมนูการสร้างแบบสอบ

การตั้งค่าหัวกระดาษของแบบสอบ
×

ชื่อ-นามสกุล
ลบ

ชั้น
ลบ

เลขที่
ลบ

โรงเรียน
ลบ

วันที่
ลบ

ประเด็นเพิ่มเติม

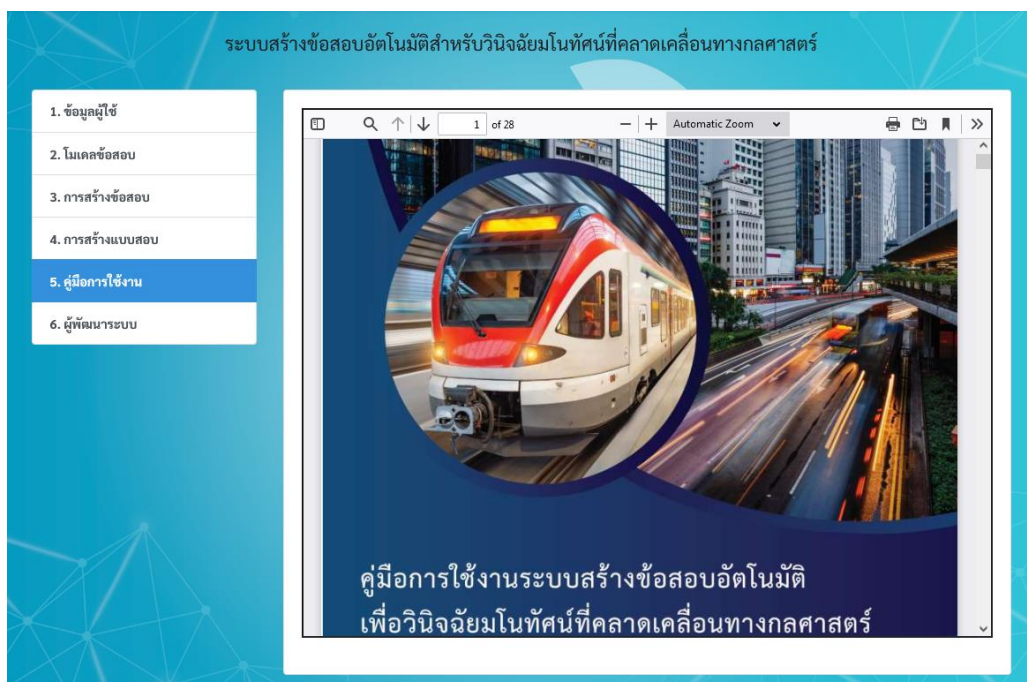
เพิ่ม

ยกเลิก
บันทึก

ภาพ 4.19 หน้าการตั้งค่าหัวกระดาษของแบบสอบ

2.5) คู่มือการใช้งาน

เมนูคู่มือการใช้งาน แสดงรายละเอียดของการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ รายละเอียดของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดคู่มือการใช้งานในรูปแบบไฟล์ PDF เก็บไว้ได้ รวมทั้งสามารถพิมพ์คู่มือการใช้งานออกมาได้ เมนูคู่มือการใช้งานแสดงดังภาพ 4.20



ภาพ 4.20 เมนูคู่มือการใช้งาน

2.6) ผู้พัฒนาระบบ

เมนูผู้พัฒนาระบบ แสดงรายละเอียดของผู้พัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ เมนูผู้พัฒนาระบบแสดงดังภาพ 4.21



ภาพ 4.21 เมนูผู้พัฒนาระบบ

การใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติในส่วนการใช้งานของผู้ดูแลระบบมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน เหมือนกับการใช้งานของผู้ใช้ ได้แก่ หน้าเข้าสู่ระบบ และหน้าต่างหลักสำหรับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ผู้ดูแลระบบสามารถเข้าถึงและดำเนินการในเมนูการใช้งานทั้งหมดของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเหมือนกับผู้ใช้ แต่เมนูข้อมูลผู้ใช้จะแตกต่างจากผู้ใช้ กล่าวคือ เมนูข้อมูลผู้ใช้ใช้สำหรับการจัดการข้อมูลผู้ใช้เพื่อระบุสถานะการใช้งานของผู้ใช้ ซึ่งมี 3 สถานะ ดังนี้

1) อนุญาตใช้งาน

สถานะอนุญาตใช้งาน เป็นการอนุญาตให้ผู้ใช้เข้าใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยใช้ชื่อบัญชีผู้ใช้ และรหัสผ่านที่ลงทะเบียนไว้ในการเข้าสู่ระบบ

2) ระงับใช้งาน

สถานะระงับใช้งาน เป็นการระงับการใช้งานของผู้ใช้ เพื่อไม่ให้ผู้ใช้เข้ามาใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

3) ลบผู้ใช้งาน

สถานะลบผู้ใช้งาน เป็นการลบบัญชีผู้ใช้จากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ทำให้ข้อมูลของบัญชีผู้ใช้นั้นไม่มีอยู่ในระบบเหมือนกับกรณียังไม่ได้ลงทะเบียน

เมนูข้อมูลผู้ใช้สำหรับผู้ดูแลระบบแสดงดังภาพ 4.22



ภาพ 4.22 เมนูข้อมูลผู้ใช้สำหรับผู้ดูแลระบบ

2.1.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

จากการตรวจสอบคุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 7 ท่าน พบว่า ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีคุณภาพทั้ง 4 ด้าน อยู่ในระดับมากที่สุด ได้แก่ (1) การใช้ประโยชน์ ($M = 4.762$, $SD = 0.371$) (2) ความเป็นไปได้ ($M = 4.571$, $SD = 0.238$) (3) ความเหมาะสม ($M = 4.714$, $SD = 0.230$) และ (4) ความถูกต้อง ($M = 4.714$, $SD = 0.366$) ดังรายละเอียดในตาราง 4.20

ตาราง 4.20

คุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

รายการ	ระดับคุณภาพ				
	1 (n)	2 (n)	3 (n)	4 (n)	5 (n)
ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ					
การใช้ประโยชน์ ($M = 4.762$, $SD = 0.371$)					
1. ลดภาระของผู้สร้างข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์	0	0	0	1	6
2. สร้างข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่มีคุณภาพไว้ใช้ในการทดสอบอย่างเพียงพอ	0	0	0	1	6
3. ลดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบ (item exposure)	0	0	0	3	4
ความเป็นไปได้ ($M = 4.571$, $SD = 0.238$)					
4. นำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับการวัดและการประเมินในโรงเรียน	0	0	0	1	6
5. ใช้งานได้ง่าย	0	0	0	5	2
6. มีการประมวลผลที่รวดเร็ว	0	0	0	1	6
7. มีความคุ้มค่าในการดำเนินงานสำหรับใช้ในการสร้างข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์	0	0	0	5	2
ความเหมาะสม ($M = 4.714$, $SD = 0.230$)					
8. แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับโมเดลข้อสอบอย่างครบถ้วน	0	0	0	4	3
9. สร้างข้อสอบได้ทันทีหลังจากการกำหนดรายละเอียดในโมเดลข้อสอบ	0	0	0	0	7
10. ไม่ส่งผลเสียต่อผู้ใช้และผู้ที่เกี่ยวข้อง	0	0	0	2	5
ความถูกต้อง ($M = 4.714$, $SD = 0.366$)					
11. สร้างข้อสอบที่มีความถูกต้องด้านหลักภาษาและไวยากรณ์	0	0	0	3	4
12. รวมส่วนประกอบย่อยในโมเดลข้อสอบได้อย่างถูกต้อง	0	0	0	3	4
13. สร้างแบบสอบได้อย่างถูกต้อง	0	0	0	1	6
14. มีการแสดงผลที่ถูกต้อง	0	0	0	1	6

จากการเก็บข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้ จำนวน 2 มิติ ได้แก่ มิติการปฏิบัติงาน และมิติความพึงพอใจ กับครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ จำนวน 20 คน ที่ทดลองใช้ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ โดยแบ่งการนำเสนอตามมิติของประสบการณ์ผู้ใช้ ดังนี้

มิติการปฏิบัติงาน

ข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้ มิติการปฏิบัติงาน แสดงถึงประโยชน์และความสามารถในการใช้งานของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ โดยระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีประโยชน์ และความสามารถในการใช้งานตามมุมมองของผู้ใช้ ดังนี้

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีการออกแบบที่ดีทำให้เข้าถึงได้ง่าย รวมทั้งมีการใช้งานง่าย และสะดวกในการใช้งาน กล่าวคือ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีการจัดเรียงเมนูตามลำดับขั้นตอนการทำงาน ทำให้ผู้ใช้เข้าใจการใช้งานระบบ โดยสามารถศึกษาการใช้งานระบบได้จากคู่มือการใช้งาน ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติไม่ซับซ้อนซึ่งมีเฉพาะเมนูเท่าที่จำเป็น โดยจัดวางส่วนประกอบต่างๆ ได้อย่างลงตัว เข้าใจง่าย สะอาดตา รวมทั้งมีเมนูการใช้งานที่หลากหลาย และสามารถแก้ไขได้ตามความต้องการของผู้ใช้แต่ละคน อีกทั้ง เมนูต่างๆ สามารถพบเห็นได้จากระบบโดยทั่วไป ทำให้คุ้นเคยกับการใช้งาน นอกจากนี้ ไอคอน (icon) สื่อความหมายได้เป็นอย่างดี ทำให้ประหยัดเวลาสำหรับเรียนรู้การใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยบางเมนูสามารถใช้งานได้เองโดยไม่ต้องศึกษาคู่มือการใช้งาน และประเด็นสำคัญ คือ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีความรวดเร็วในการประมวลผล นั่นคือ เมื่อคลิกที่เมนูใด ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติจะแสดงผลโดยไม่ต้องให้ผู้ใช้อนาน ทั้งนี้ การออกแบบระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติข้างต้นยังเหมาะสมกับครูผู้สอนที่ไม่ชำนาญในการใช้เทคโนโลยี

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ เนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการของครูผู้สอนที่ต้องการสร้างแบบสอบที่แตกต่างกันจำนวนมากไปทดสอบนักเรียน เพื่อลดปัญหาการลอกของนักเรียน เนื่องจากนักเรียนได้รับแบบสอบที่แตกต่างกัน อีกทั้ง ช่วยลดภาระการสร้างแบบสอบของครู เนื่องจากสามารถสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ซึ่งครอบคลุมเนื้อหาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องแก้ไขค่าในโมเดลข้อสอบ ทั้งนี้ แบบสอบวินิจัยสร้างได้ทั้งในรูปแบบ Word ซึ่งสามารถแก้ไขได้

ตามความต้องการ และรูปแบบ PDF ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดสอบกับนักเรียนได้เลย โดยมีตัวอย่างข้อมูลการสัมภาษณ์ ดังนี้

“มันคลิกใช้งานง่ายดี เข้าถึงง่าย และคลิกกลับดี ไม่ต้องรอนาน คือ คลิกปุ๊บ

แล้วมี pop up โผล่มาเลย”

(ครูพิสิทธ์ เพศหญิง คนที่ 1)

“icon สื่อความดี ใช้เวลาเรียนรู้ไม่นาน บางเมนูทำเองได้เลย ไม่ต้องดูคู่มือ

ก็ได้ เช่น ตรงการสร้างข้อสอบ และการสร้างแบบสอบ”

(ครูพิสิทธ์ เพศชาย คนที่ 1)

“การออกข้อสอบ ปกติแล้ว ครูไม่ได้อยากให้เด็กลอกกัน ก็เลยอยากจะมี

ข้อสอบหลายชุด แล้วการทำข้อสอบหลายชุดแล้วให้มันอยู่ในมโนทัศน์

เดียวกัน มันต้องใช้เวลาในการทำเยอะ ก็ต้องมานั่งก๊อปปี้ แล้วเปลี่ยนตัวเลขเอา

แต่พอมีการสร้างข้อสอบแบบนี้ขึ้นมา มันสะดวกต่อการเอาไปใช้”

(ครูพิสิทธ์ เพศหญิง คนที่ 2)

แม้ว่าระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์จะมีความสามารถในการใช้งานตามรายละเอียดข้างต้น แต่ยังมีสิ่งที่ต้องปรับปรุงระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพิ่มเติม เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ปรับลำดับการเรียงกล่องข้อความในหน้าเข้าสู่ระบบ ดังนี้

(1) ลงทะเบียน (2) เข้าสู่ระบบ และ (3) ลืมรหัสผ่าน พร้อมทั้งปรับสีของกล่องข้อความเข้าสู่ระบบให้แตกต่างจากกล่องข้อความอื่น เพื่อให้สังเกตได้ชัดเจน และใช้งานได้รวดเร็วขึ้น

2) เพิ่มหมายเลขหน้าเมนูการใช้งาน เพื่อให้ทราบลำดับของเมนู

การใช้งาน

3) เพิ่มปุ่ม บันทึก ได้หัวข้อคำอธิบายในเมนูโมเดลข้อสอบ สำหรับบันทึกผลการแก้ไขในส่วนคำอธิบาย เพื่อแยกการบันทึกผลการแก้ไขในส่วนคำอธิบายออกจากปุ่มการบันทึกผลการแก้ไขทั้งหมดในโมเดลข้อสอบ

4) เพิ่มหมายเลขหน้าประเด็นที่ให้ผู้กรอกในเมนูการสร้างแบบสอบ เพื่อให้สอดคล้องกับคู่มือการใช้งาน และปฏิบัติตามได้ง่ายขึ้น

5) การสร้างแบบสอบวินิจัยที่ไม่มีเฉลยคำตอบ และมีเฉลยคำตอบอยู่ในไฟล์เดียวกัน เพื่อไม่ให้มีไฟล์แบบสอบมากเกินไป และเพื่อความสะดวกสำหรับนำไปใช้งาน

มิติความพึงพอใจ

ข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้ มิติความพึงพอใจ แสดงถึงความสนใจ และความประทับใจของผู้ใช้ต่อระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยความสนใจ และความประทับใจของผู้ใช้สรุปได้ดังนี้

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์สามารถเข้าถึงได้ง่าย ใช้งานง่าย สะดวกในการใช้งาน ประมวลผลอย่างรวดเร็ว มีการออกแบบหน้าจอที่สะอาดตา รวมทั้ง เปิดโอกาสให้แก้ไขรายละเอียดตามความต้องการของผู้ใช้ นอกจากนี้ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติยังสอดคล้องกับความสนใจของผู้ใช้ที่ต้องการสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ได้จำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว โดยมีตัวอย่างข้อมูลการสัมภาษณ์ ดังนี้

“ชอบตรงที่ใช้งานง่ายมาก สร้างข้อสอบได้เลยเป็นร้อยๆ ข้อ และไม่ซ้ำกัน

ในแต่ละฉบับ และทำให้ครูสะดวกเลย ไม่ต้องคิดโจทย์เองตลอดเวลา”

(ครูพิสิษฐ์ เพศชาย คนที่ 2)

“ชอบ ประทับใจ หน้าจอที่ไม่รก สะอาดตาดี โปรแกรมไม่ซับซ้อน

มีฟังก์ชันให้เลือกใช้หลากหลายตามความต้องการของแต่ละคน”

(ครูพิสิษฐ์ เพศชาย คนที่ 3)

“ชอบในความ minimal เข้าใจง่าย มีอันที่ให้แก้ไขตามที่ต้องการได้”

(ครูพิสิษฐ์ เพศหญิง คนที่ 3)

2.1.3 ผลการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

คู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ แบ่งเป็น 2 ฉบับ ได้แก่ คู่มือการใช้งานระบบสำหรับผู้ใช้ และคู่มือการใช้งานระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ แต่ละฉบับมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ (1) รายละเอียดของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ เนื้อหาในส่วนนี้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติโดยภาพรวม และหน้าที่การทำงานของแต่ละเมนู และ (2) การใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ เนื้อหาในส่วนนี้อธิบายเกี่ยวกับการเข้าใช้งานระบบ รวมทั้ง การสร้างข้อสอบ และการสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ทั้งนี้ คู่มือการใช้งานระบบสำหรับผู้ดูแลระบบจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับการจัดการข้อมูลผู้ใช้เพิ่มเติม คู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีรายละเอียดดังภาคผนวก ค คู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

จากการตรวจสอบคุณภาพของคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 7 ท่าน พบว่า คู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีคุณภาพด้านการใช้ประโยชน์ ($M = 4.464$, $SD = 0.366$) และด้านความเป็นไปได้ ($M = 4.400$, $SD = 0.231$) อยู่ในระดับมาก อีกทั้งมีคุณภาพด้านความเหมาะสม ($M = 4.619$, $SD = 0.356$) และด้านความถูกต้อง ($M = 4.571$, $SD = 0.317$) อยู่ในระดับมากที่สุด ดังรายละเอียดในตาราง 4.21

ตาราง 4.21

คุณภาพของคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์
เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

รายการ	ระดับคุณภาพ				
	1 (n)	2 (n)	3 (n)	4 (n)	5 (n)
คู่มือการใช้งาน					
การใช้ประโยชน์ ($M = 4.464$, $SD = 0.366$)					
1. ทำให้เข้าใจองค์ประกอบของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	0	0	0	1	6
2. ทำให้เข้าใจการทำงานของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	0	0	1	4	2
3. ช่วยให้ใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง	0	0	0	1	6
4. ช่วยให้ใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้รวดเร็ว	0	0	1	5	1
ความเป็นไปได้ ($M = 4.400$, $SD = 0.231$)					
5. สามารถนำไปใช้ควบคู่กับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้จริง	0	0	0	1	6
6. อ่านเข้าใจง่าย	0	0	0	6	1
7. มีความละเอียดเพียงพอในการนำไปใช้งาน	0	0	0	3	4
8. สะดวกต่อการอ่าน	0	0	0	1	6
9. มีความคุ้มค่าในการดำเนินงาน	0	0	0	3	4
ความเหมาะสม ($M = 4.619$, $SD = 0.356$)					
10. มีรายละเอียดที่ครบถ้วนเกี่ยวกับองค์ประกอบของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	0	0	0	1	6
11. มีรายละเอียดที่ครบถ้วนเกี่ยวกับวิธีการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	0	0	0	3	4
12. แสดงขั้นตอนการทำงานอย่างเป็นลำดับตามระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	0	0	0	4	3
ความถูกต้อง ($M = 4.571$, $SD = 0.317$)					
13. มีรายละเอียดที่ถูกต้องเกี่ยวกับองค์ประกอบของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	0	0	0	2	5
14. มีรายละเอียดที่ถูกต้องเกี่ยวกับวิธีการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	0	0	0	4	3
15. มีความถูกต้องด้านการใช้ภาษา	0	0	0	3	4

จากการทดลองใช้คู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ ที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่กับครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ จำนวน 20 คน พบว่า มีประเด็นในการแก้ไขคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ดังนี้

- 1) ปรับสารบัญให้มีความละเอียดขึ้น โดยเพิ่มหัวข้อย่อยในสารบัญ เพื่อให้ค้นหาประเด็นที่ต้องการอ่านได้ง่ายขึ้น พร้อมทั้งทำการเชื่อมโยงหลายมิติ (hyperlink) เพื่อเชื่อมโยงไปยังหน้าคู่มือการใช้งานที่ต้องการอ่านได้สะดวก และรวดเร็วขึ้น
- 2) ปรับรูปแบบการเขียนอธิบายการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติจากการอธิบายขั้นตอนการใช้งานทั้งหมด แล้วใส่รูปภาพประกอบหลังคำอธิบาย เป็นใส่รูปภาพประกอบหลังคำอธิบายการใช้งานระบบแต่ละขั้นตอน เพื่อให้สะดวกต่อการอ่าน รวมทั้ง เห็นขั้นตอนการใช้งานได้ชัดเจน และปฏิบัติตามได้รวดเร็วขึ้น
- 3) เพิ่มคำอธิบายเกี่ยวกับการกรอกแต่ละรายการในหน้าลงทะเบียน
- 4) เพิ่มรายละเอียดว่ารูปภาพประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการแก้ไขค่าส่วนประกอบย่อยมาจากโมเดลข้อสอบใด เพื่อให้ง่ายต่อการทดลองปฏิบัติตาม

2.2 ผลการเปรียบเทียบผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ ที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ

ผู้วิจัยดำเนินการเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยเลือกโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากที่สุด สำหรับนำไปวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบเพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัย และตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควโดยใช้วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควแบบลำดับขั้น ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิจัยในหัวข้อนี้ออกเป็น 2 ประเด็น ได้แก่ (1) ผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และ (2) ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควแบบลำดับขั้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 ผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ผู้วิจัยเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับกับข้อมูลเชิงประจักษ์ จำนวน 3 โมเดล ได้แก่ โมเดล sequential bug-G-DINA โมเดล sequential bug-DINA และโมเดล sequential bug-DINO จากพิจารณาดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมบูรณ์ ได้แก่ M_2 statistic, $RMSEA_2$ และ SRMSR พบว่า โมเดล sequential bug-G-DINA ไม่สามารถประมาณค่า M_2 statistic และ $RMSEA_2$ ได้ เนื่องจากมีองศาอิสระ (degrees of freedom) ไม่เพียงพอต่อการประมาณค่า ทั้งนี้ ดัชนี $RMSEA_2$ ไม่ค่อยเหมาะสมกับโมเดลการวิเคราะห์ที่มีการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า จึงควรพิจารณาความสอดคล้องของโมเดลจากดัชนี SRMSR ซึ่งควรมีค่าน้อยกว่า 0.05 (Maydeu-Olivares & Joe, 2014 cited in Ma, 2020) ดังนั้น โมเดล sequential bug-G-DINA มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เนื่องจากมีค่า SRMSR เท่ากับ 0.039 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.050 ในขณะที่โมเดล sequential bug-DINA ($M_2(36) = 107.865$, $p < .001$, $RMSEA_2 = 0.062$, $SRMSR = 0.179$) และโมเดล sequential bug-DINO ($M_2(36) = 136.925$, $p < .001$, $RMSEA_2 = 0.073$, $SRMSR = 0.173$) ไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เนื่องจาก M_2 statistic มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อีกทั้ง ดัชนี $RMSEA_2$ มีค่ามากกว่า 0.045 และดัชนี SRMSR มีค่ามากกว่า 0.050

เมื่อพิจารณาดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมพัทธ์ พบว่าโมเดล sequential bug-G-DINA ($-2LL = 10630.580$, $AIC = 11332.580$, $BIC = 12827.020$) มีทั้งค่า $-2\log$ -likelihood ($-2LL$), AIC และ BIC น้อยกว่าโมเดล sequential bug-DINA ($-2LL = 12616.910$, $AIC = 12886.910$, $BIC = 13461.690$) และโมเดล sequential bug-DINO ($-2LL = 12477.820$, $AIC = 12747.820$, $BIC = 13322.610$) และจากการเปรียบเทียบความสอดคล้องของแต่ละโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์โดยใช้ likelihood ratio test พบว่าโมเดล sequential bug-G-DINA มีสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่าโมเดล sequential bug-DINA ($\Delta\chi^2_{bsDINA - bsGDINA}(216) = 1986.330$, $p < .001$) และโมเดล sequential bug-DINO ($\Delta\chi^2_{bsDINO - bsGDINA}(216) = 1847.240$, $p < .001$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตาราง 4.22 จึงสรุปได้ว่าโมเดล sequential bug-G-DINA มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากที่สุด เมื่อพิจารณาทั้งดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมบูรณ์ และเชิงสัมพัทธ์ ผู้วิจัยจึงเลือกโมเดล sequential bug-G-DINA ในการตรวจสอบ

คุณภาพของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยใช้วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น

ตาราง 4.22

ดัชนีความสอดคล้องระหว่างโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับกับข้อมูลเชิงประจักษ์

โมเดล	M ₂ statistic	RMSEA ₂	SRMSR	-2LL (df)	AIC	BIC
sequential	-	-	0.039	10630.580 (351)	11332.580	12827.020
bug-G-DINA						
sequential	M ₂ (36) = 107.865,	0.062	0.179	12616.910 (135)	12886.910	13461.690
bug-DINA	p < .001					
sequential	M ₂ (36) = 136.925,	0.073	0.173	12477.820 (135)	12747.820	13322.610
bug-DINO	p < .001					
$\Delta\chi^2_{bsDINA - bsGDINA} (216) = 1986.330, p < .001$						
$\Delta\chi^2_{bsDINO - bsGDINA} (216) = 1847.240, p < .001$						

2.2.2 ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น

จากการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA และเมทริกซ์คิวที่ผ่านการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญและวิธีการคิดออกเสียงเพื่อตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยใช้วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น (stepwise Q-matrix validation method) สำหรับปรับแก้เมทริกซ์คิวให้มีความถูกต้องมากขึ้น จากผลการวิเคราะห์พบว่า ข้อสอบที่วัดเพียง 1 คุณลักษณะ ทั้ง 6 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 1, 2, 4, 6, 11 และ 13 มีการกำหนดเวกเตอร์คิวที่ถูกต้อง ส่วนข้อสอบที่วัด 2 ถึง 4 คุณลักษณะ มีข้อบ่งชี้ว่าอาจจะมีการกำหนดเวกเตอร์คิวผิด ได้แก่ ข้อที่ 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17 และ 18 รวม 12 ข้อ โดยเมทริกซ์คิวที่ควรปรับแก้ตามข้อเสนอแนะจากการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยใช้วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้นแสดงดังตาราง 4.23

ตาราง 4.23

เมทริกซ์ควิที่ควรปรับแก้ตามข้อเสนอแนะของวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควิแบบลำดับขั้น

ข้อสอบ	รายการคำตอบ	รายการคำตอบ	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3	แรงเสียดทาน	แรงโน้มถ่วงของโลก
1	1	1	0	0	0	0	0
1	2	1	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	0
2	2	0	1	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0	0
3	2	0	1	0	0	0	0
4	1	0	0	1	0	0	0
4	2	0	0	1	0	0	0
5	1	1	0	0	0	0	0
5	2	0	1	0	0	0	0
6	1	0	0	0	1	0	0
6	2	0	0	0	1	0	0
7	1	1	0	0	0	0	0
7	2	1	0	0	1	0	0
8	1	0	1	0	1	0	0
8	2	0	1	0	0	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0
9	2	0	1	0	0	0	0
10	1	1	0	0	0	0	0
10	2	0	1	0	0	0	0
11	1	0	0	0	0	1	0
11	2	0	0	0	0	1	0
12	1	1	0	0	0	0	0
12	2	0	0	1	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	1
13	2	0	0	0	0	0	1
14	1	1	0	0	0	0	0
14	2	0	1	0	0	0	0
15	1	0	0	1	0	0	0
15	2	0	1	0	0	0	0
16	1	0	0	0	0	0	1
16	2	0	0	1	0	0	0
17	1	0	0	0	0	0	1
17	2	0	1	1	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0	1
18	2	0	1	0	0	0	0

หมายเหตุ ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ คือ ค่าในเมทริกซ์ที่ควรปรับแก้ โดยเลข 0 ที่ขีดเส้นใต้ หมายถึง ควรเปลี่ยนจากเลข 1 เป็น 0 (รายการคำตอบนั้นไม่ได้วัดคุณลักษณะที่พิจารณา) ส่วนเลข 1 ที่ขีดเส้นใต้ หมายถึง ควรเปลี่ยนจากเลข 0 เป็น 1 (รายการคำตอบนั้นควรวัดคุณลักษณะที่พิจารณา)

จากตาราง 4.23 จะเห็นว่าเวกเตอร์คิวที่เสนอแนะให้ปรับแก้ทั้งหมด วัดไม่เกิน 2 คุณลักษณะ นั่นคือ วัดคุณลักษณะได้น้อยกว่าที่กำหนดไว้ จากการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านการสอน ฟิสิกส์เพื่อปรับแก้เมทริกซ์คิว พบว่า ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ยืนยันว่าข้อสอบที่มีการเสนอแนะให้ปรับแก้เวกเตอร์คิวสมควรวัดคุณลักษณะตามที่กำหนดไว้ ทำให้สามารถปรับแก้เมทริกซ์คิวได้เพียงเล็กน้อย โดยมีการปรับแก้เมทริกซ์คิว ดังนี้

(1) ปรับเวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 3 ทั้งรายการคำตอบที่ 1 และ 2 จาก 110000 เป็น 100000 และ 010000 ตามลำดับ เนื่องจากเวกเตอร์คิวของข้อที่ 3 คือ 110000 จึงสมเหตุสมผลที่ปรับเวกเตอร์คิวของรายการคำตอบ 1 และ 2 เป็น 100000 และ 010000 ตามลำดับ

(2) ปรับเวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 8 รายการคำตอบ 2 จาก 010100 เป็น 010000 ซึ่งยังคงทำให้เวกเตอร์คิวของข้อที่ 8 เท่ากับ 010100 เช่นเดิม เนื่องจากเวกเตอร์คิวของรายการคำตอบ 1 เท่ากับ 010100

หลังจากการปรับเวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 3 รายการคำตอบ 1 และ 2 และของข้อสอบที่ 8 รายการคำตอบ 2 ผู้วิจัยได้พิจารณาความสอดคล้องของโมเดล sequential bug-G-DINA ที่วิเคราะห์โดยใช้เมทริกซ์คิวที่ปรับแก้ พบว่า ดัชนี SRMSR มีค่ามากกว่า 0.050 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.039 เป็น 0.067 แสดงว่าโมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งสะท้อนว่าเมทริกซ์คิวที่ปรับแก้ไม่มีความเหมาะสม ทั้งนี้ จากการวิเคราะห์ likelihood ratio test เพื่อเปรียบเทียบความสอดคล้องของโมเดล sequential bug-G-DINA กับข้อมูลเชิงประจักษ์ระหว่างโมเดลที่วิเคราะห์โดยใช้เมทริกซ์คิวเดิม และเมทริกซ์คิวที่ปรับแก้ พบว่าโมเดลที่ใช้เมทริกซ์คิวเดิมมีสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่าโมเดลที่ใช้เมทริกซ์คิวที่ปรับแก้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($\Delta\chi^2_{\text{modifiedQ} - \text{originalQ}}(6) = 147.140, p < .001$) อีกทั้ง โมเดลที่ใช้เมทริกซ์คิวเดิม (-2LL = 10630.580, AIC = 11332.580, BIC = 12827.020) มีค่า -2log-likelihood (-2LL), AIC และ BIC น้อยกว่าโมเดลที่ใช้เมทริกซ์คิวที่ปรับแก้ (-2LL = 10777.710, AIC = 11467.710, BIC = 12936.610) ดังตาราง 4.24 ผู้วิจัยจึงคงเมทริกซ์คิวเดิมไว้ เนื่องจากน่าจะมีการกำหนดที่ถูกต้องมากกว่า

ตาราง 4.24

ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล *sequential bug-G-DINA* ที่ใช้เมทริกซ์คิวเดิม และโมเดลที่ใช้เมทริกซ์คิวที่ปรับแก้ครั้งที่ 1

โมเดล	SRMSR	-2LL (df)	AIC	BIC
original Q-matrix	0.039	10630.580 (351)	11332.580	12827.020
modified Q-matrix	0.067	10777.710 (345)	11467.710	12936.610
$\Delta\chi^2_{\text{modifiedQ} - \text{originalQ}} (6) = 147.140, p < .001$				

ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยใช้วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น แสดงให้เห็นว่ามีค่าในเมทริกซ์คิวที่ควรปรับแก้จำนวนมาก แต่เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดแล้ว ไม่สามารถปรับแก้ได้ตามผลการวิเคราะห์ ผู้วิจัยจึงพิจารณาการปรับแก้เมทริกซ์คิวเพิ่มเติมจาก mesa plot ซึ่งเกิดจากการนำค่า PVAF ที่ได้มาจากวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้นมานำเสนอเป็นแผนภาพสำหรับแสดงเวกเตอร์คิวที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ โดยเวกเตอร์คิวบริเวณจุดเปลี่ยนโค้งมีแนวโน้มจะเป็นเวกเตอร์คิวที่เหมาะสมที่สุด โดยค่า PVAF (proportion of variance accounted for) คือ ความแปรปรวนของความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบถูกต้องที่เวกเตอร์คิวสามารถอธิบายได้เมื่อเทียบกับเวกเตอร์คิวที่มีคุณลักษณะทั้งหมด ซึ่ง PVAF มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 การพิจารณา mesa plot ทำให้ทราบเวกเตอร์คิวทางเลือกอื่นๆ สำหรับใช้ในการตัดสินใจปรับแก้ แทนที่จะพิจารณาเวกเตอร์คิวเพียงค่าเดียวจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น

mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อจะมีเส้นตรงแนวนอนที่มีค่า PVAF เท่ากับ 0.95 (Ma & de la Torre, 2020) ซึ่งเป็นจุดตัดที่กำหนดขึ้นจากวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้นสำหรับพิจารณาเลือกเวกเตอร์คิวที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบถูกต้องได้มากกว่าร้อยละ 95 เป็นเวกเตอร์คิวที่เหมาะสม โดยมีหลักการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิว ดังนี้ วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้นจะดำเนินการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวทีละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ โดยเริ่มต้นจากเลือกเวกเตอร์คิวที่วัดเพียงคุณลักษณะเดียวที่มีค่า PVAF มากที่สุด หากเวกเตอร์คิวนั้นมีค่า PVAF มากกว่า 0.95 จะหยุดการตรวจสอบความตรงของ

เมทริกซ์คิว แล้วสรุปว่าเวกเตอร์คิวดังกล่าวเป็นเวกเตอร์คิวที่เหมาะสม หากเวกเตอร์คิวนั้นมีค่า PVAF ต่ำกว่า 0.95 จะเลือกคุณลักษณะที่จำเป็นสำหรับวัตรายการคำตอบนั้นคุณลักษณะถัดไป โดยทดสอบนัยสำคัญทางสถิติสำหรับความสำคัญของแต่ละคุณลักษณะโดยใช้ Wald test จากนั้น ดำเนินการตรวจสอบความตรงของเทริกซ์คิวจนกระทั่งไม่มีคุณลักษณะที่จำเป็นสำหรับการวัตรายการคำตอบนั้น จึงหยุดการตรวจสอบ แล้วสรุปว่าเวกเตอร์คิวที่มีคุณลักษณะที่จำเป็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งหมดเป็นเวกเตอร์คิวที่เหมาะสม

จากการพิจารณา mesa plot ของแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบข้อที่ 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17 และ 18 พบว่า เวกเตอร์คิวส่วนใหญ่มีความเหมาะสม จึงสามารถคงเวกเตอร์คิวเดิมไว้ โดยมีเวกเตอร์คิวเพียง 6 เวกเตอร์ ที่สะท้อนว่ามีการระบุไม่เหมาะสม ซึ่งมี 4 เวกเตอร์คิว ที่ไม่สามารถปรับแก้ได้ตามผลการวิเคราะห์ ได้แก่ (1) เวกเตอร์คิวของรายการคำตอบ 1 ข้อสอบที่ 14 (2) เวกเตอร์คิวของรายการคำตอบ 2 ข้อสอบที่ 15 (3) เวกเตอร์คิวของรายการคำตอบ 1 ข้อสอบที่ 17 และ (4) เวกเตอร์คิวของรายการคำตอบ 1 ข้อสอบที่ 18 และสามารถปรับแก้เวกเตอร์คิวได้ 2 เวกเตอร์ ได้แก่ เวกเตอร์คิวของรายการคำตอบ 2 ข้อสอบที่ 5 และเวกเตอร์คิวของรายการคำตอบ 2 ข้อสอบที่ 10 โดยปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ ผลการพิจารณา mesa plot แสดงดังตาราง 4.25 ส่วน mesa plot ดังภาพ 4.23 - 4.34

ตาราง 4.25

ผลการพิจารณา mesa plot สำหรับปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบแต่ละข้อ

ข้อสอบ	รายการคำตอบ	เวกเตอร์คิวเดิม	ผลการพิจารณา	ผลการปรับ
3	1	110000	เวกเตอร์คิวเดิมมีความเหมาะสมที่สุด	คงเวกเตอร์คิวเดิม
3	2	110000	เวกเตอร์คิวเดิมมีความเหมาะสมที่สุด	คงเวกเตอร์คิวเดิม
5	1	111000	เวกเตอร์คิว 101000 มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีความเหมาะสมใกล้เคียงกับเวกเตอร์คิวเดิม	คงเวกเตอร์คิวเดิม
5	2	111000	เวกเตอร์คิว 010000 มีความเหมาะสมที่สุด	ปรับเวกเตอร์คิว เป็น 010000
7	1	100100	เวกเตอร์คิว 100000 มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีความเหมาะสมใกล้เคียงกับเวกเตอร์คิวเดิม	คงเวกเตอร์คิวเดิม
8	2	010100	เวกเตอร์คิวเดิมมีความเหมาะสมที่สุด	คงเวกเตอร์คิวเดิม
9	1	110100	เวกเตอร์คิว 100100 มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีความเหมาะสมใกล้เคียงกับเวกเตอร์คิวเดิม	คงเวกเตอร์คิวเดิม
9	2	110100	เวกเตอร์คิวเดิมมีความเหมาะสมที่สุด	คงเวกเตอร์คิวเดิม
10	1	111100	เวกเตอร์คิวเดิมมีความเหมาะสมที่สุด	คงเวกเตอร์คิวเดิม
10	2	111100	เวกเตอร์คิว 011000 มีความเหมาะสมที่สุด	ปรับเวกเตอร์คิว เป็น 011000
12	1	111010	เวกเตอร์คิว 110000 มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีความเหมาะสมใกล้เคียงกับเวกเตอร์คิวเดิม	คงเวกเตอร์คิวเดิม
12	2	111010	เวกเตอร์คิว 011010 มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีความเหมาะสมใกล้เคียงกับเวกเตอร์คิวเดิม	คงเวกเตอร์คิวเดิม

หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัดที่ระบุในเวกเตอร์คิวเรียงลำดับ ดังนี้ (1) แรงลัพท์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ

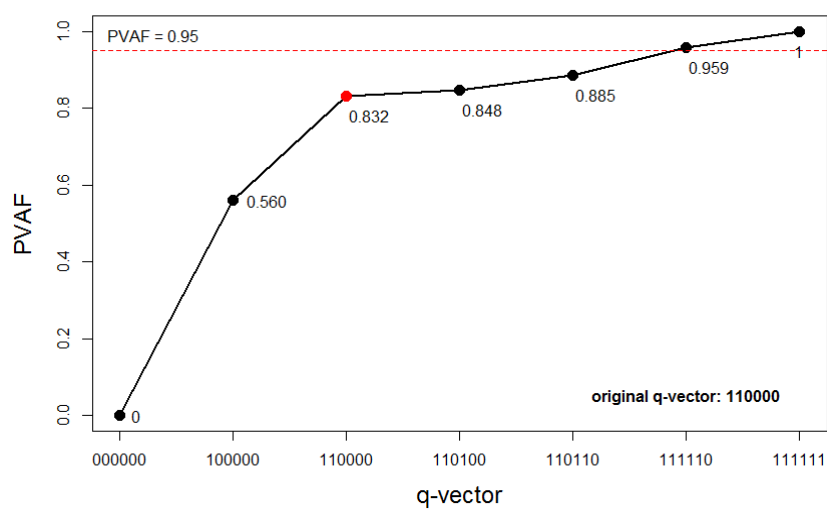
ตาราง 4.25 (ต่อ)

ข้อสอบ	รายการคำตอบ	เวกเตอร์คิวเดิม	ผลการพิจารณา	ผลการปรับ
14	1	111001	เวกเตอร์คิว 100000 มีความเหมาะสมที่สุด	ไม่สามารถปรับ เวกเตอร์คิว ให้เป็นไปตาม เวกเตอร์คิว ที่เหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจากข้อสอบที่ 14 วัดทั้ง 4 คุณลักษณะ ที่ระบุไว้ตั้งแต่ต้น
14	2	111001	เวกเตอร์คิว 110001 มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีความเหมาะสมใกล้เคียงกับเวกเตอร์คิวเดิม	คงเวกเตอร์คิวเดิม
15	1	011110	เวกเตอร์คิวเดิมมีความเหมาะสมที่สุด	คงเวกเตอร์คิวเดิม
15	2	011110	เวกเตอร์คิว 110000 มีความเหมาะสมที่สุด	ไม่สามารถปรับ เวกเตอร์คิว ให้เป็นไปตาม เวกเตอร์คิว ที่เหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจากข้อสอบที่ 15 ไม่ได้วัด คุณลักษณะ เรื่องแรงลัพธ์
16	1	001101	เวกเตอร์คิว 000001 มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีความเหมาะสมใกล้เคียงกับเวกเตอร์คิวเดิม	คงเวกเตอร์คิวเดิม
16	2	001101	เวกเตอร์คิว 001100 มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีความเหมาะสมใกล้เคียงกับเวกเตอร์คิวเดิม	คงเวกเตอร์คิวเดิม

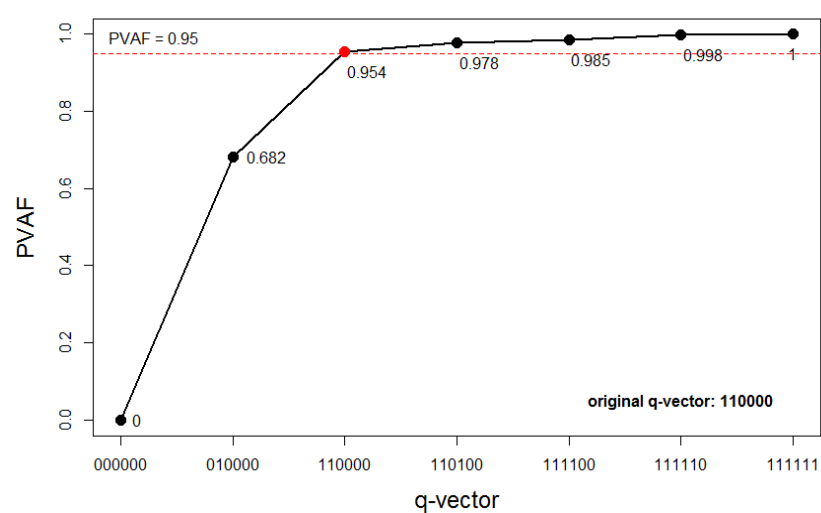
ตาราง 4.25 (ต่อ)

ข้อสอบ	รายการคำตอบ	เวกเตอร์คิวเดิม	ผลการพิจารณา	ผลการปรับ
17	1	011011	เวกเตอร์คิว 000001 มีความเหมาะสมที่สุด	ไม่สามารถปรับ เวกเตอร์คิว ให้เป็นไปตาม เวกเตอร์คิว ที่เหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจากข้อสอบที่ 17 วัดทั้ง 4 คุณลักษณะ ที่ระบุไว้ตั้งแต่ต้น
17	2	011011	เวกเตอร์คิว 011010 มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีความเหมาะสมใกล้เคียงกับเวกเตอร์คิวเดิม	คงเวกเตอร์คิวเดิม
18	1	001111	เวกเตอร์คิว 000001 มีความเหมาะสมที่สุด	ไม่สามารถปรับ เวกเตอร์คิว ให้เป็นไปตาม เวกเตอร์คิว ที่เหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจากข้อสอบที่ 18 วัดทั้ง 4 คุณลักษณะ ที่ระบุไว้ตั้งแต่ต้น
18	2	001111	ไม่สามารถพิจารณาเวกเตอร์คิวที่เหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจาก mesa plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง	คงเวกเตอร์คิวเดิม

Mesa plot for item 3 category 1

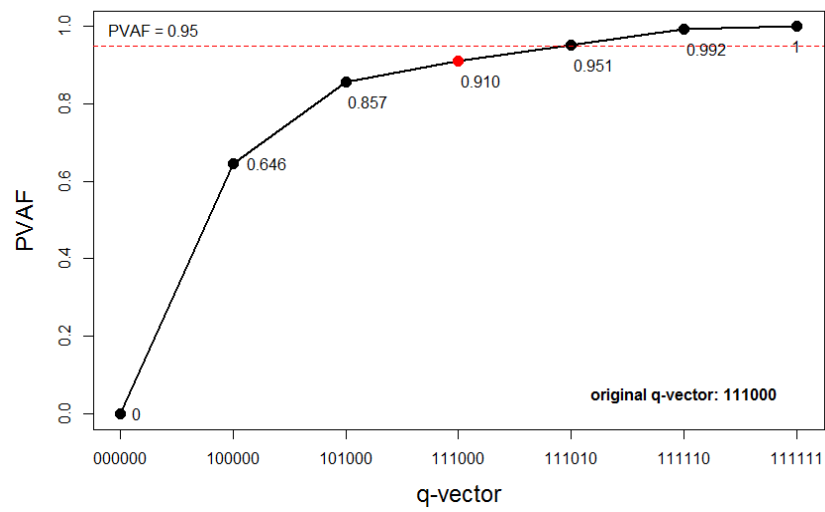


Mesa plot for item 3 category 2

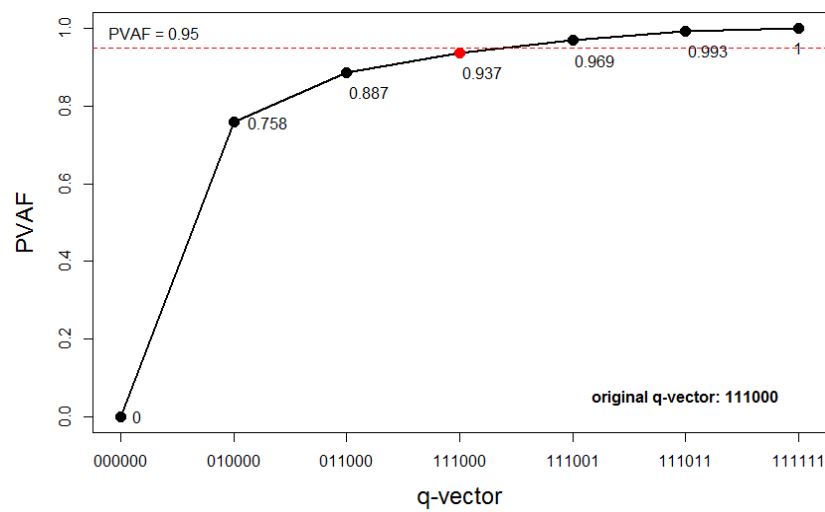


ภาพ 4.23 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 3

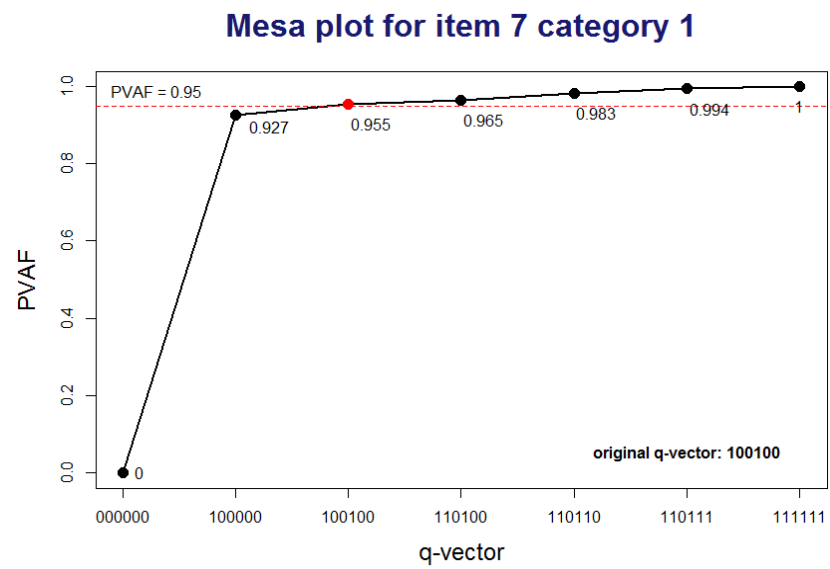
Mesa plot for item 5 category 1



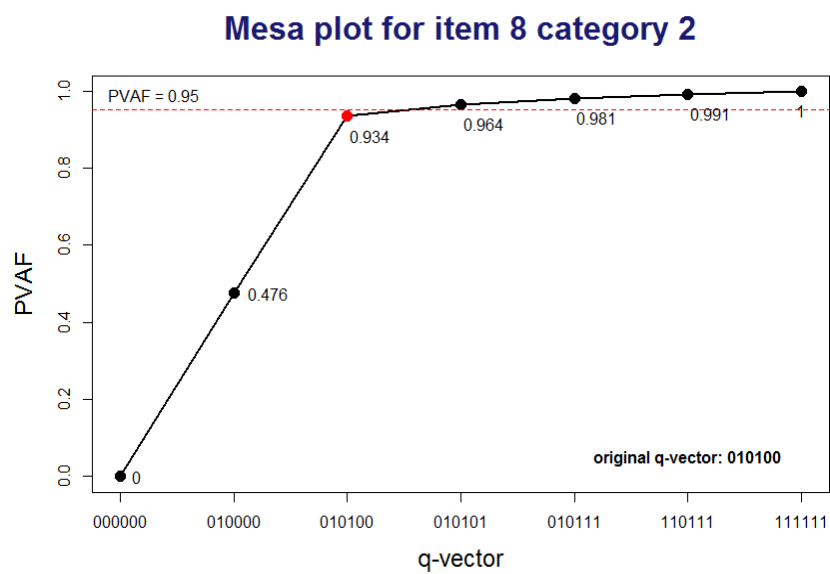
Mesa plot for item 5 category 2



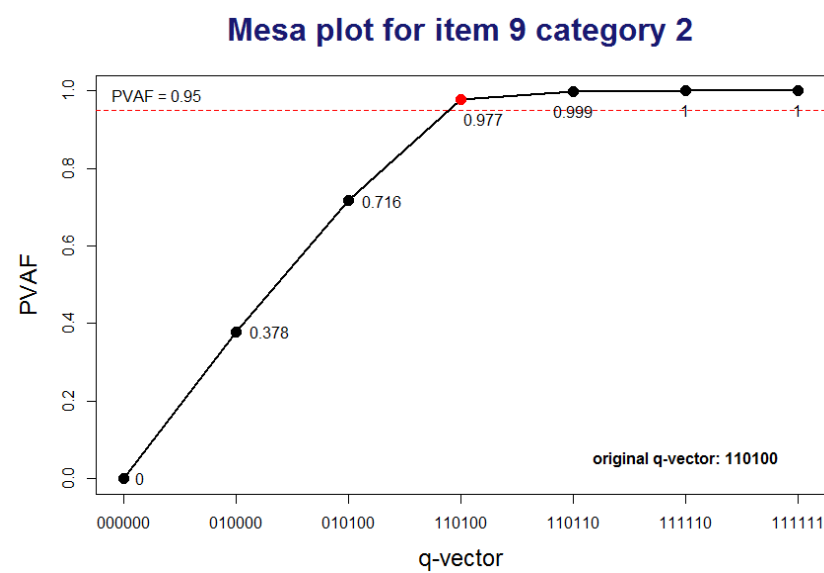
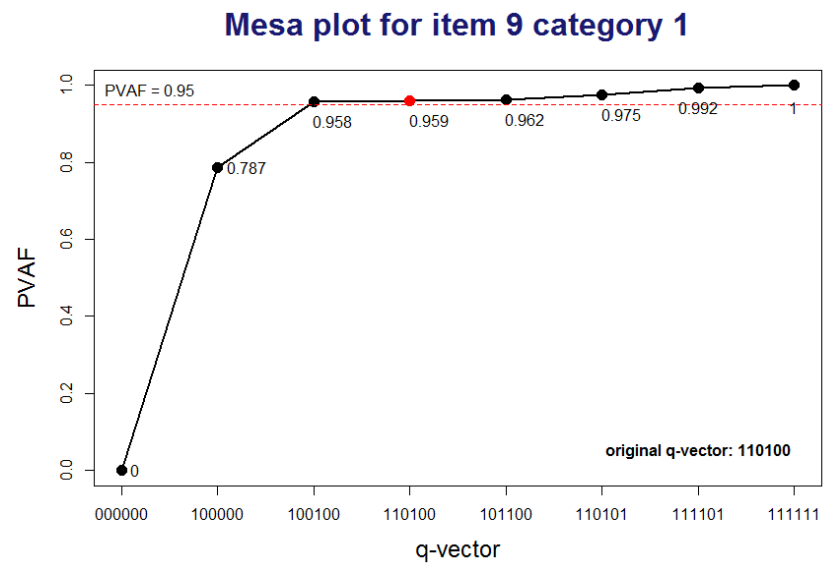
ภาพ 4.24 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 5



ภาพ 4.25 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 7

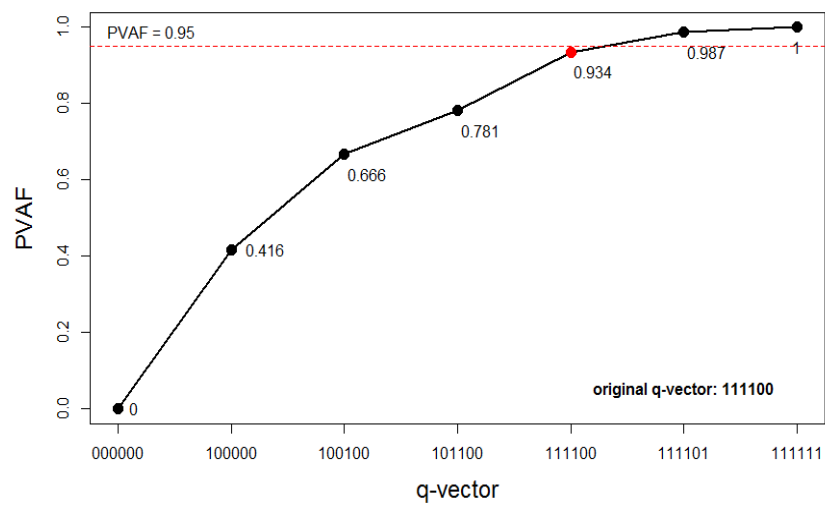


ภาพ 4.26 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 8

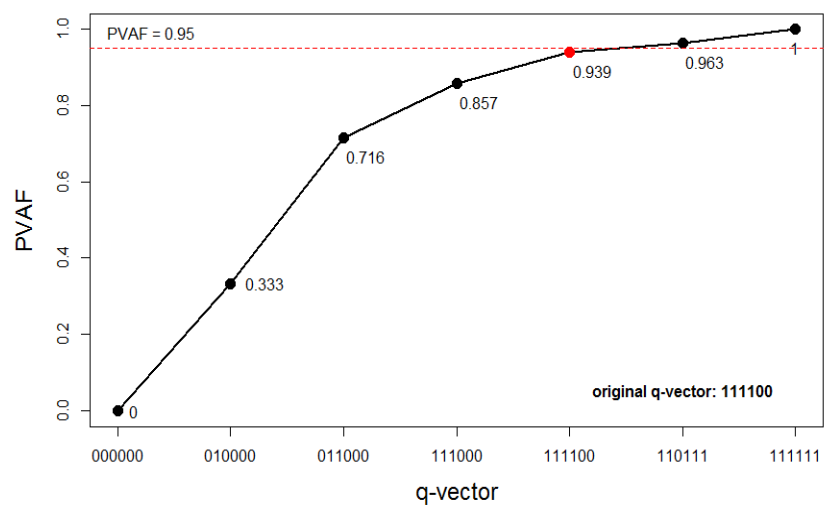


ภาพ 4.27 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 9

Mesa plot for item 10 category 1

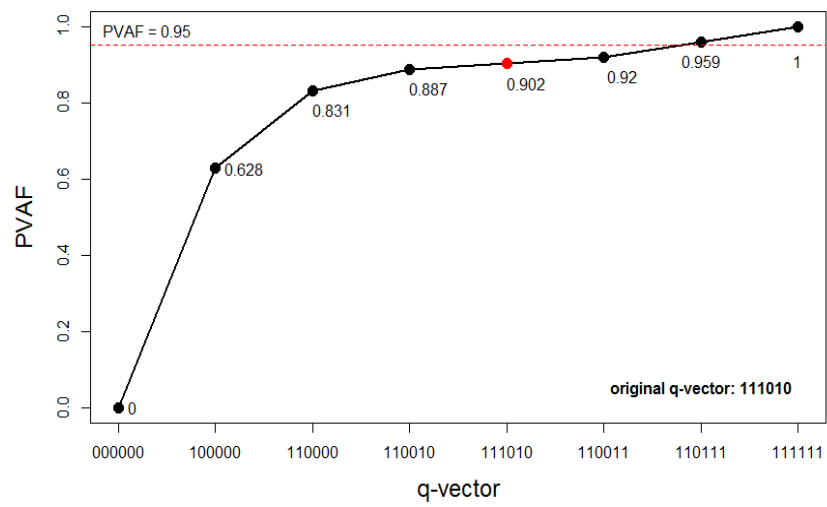


Mesa plot for item 10 category 2

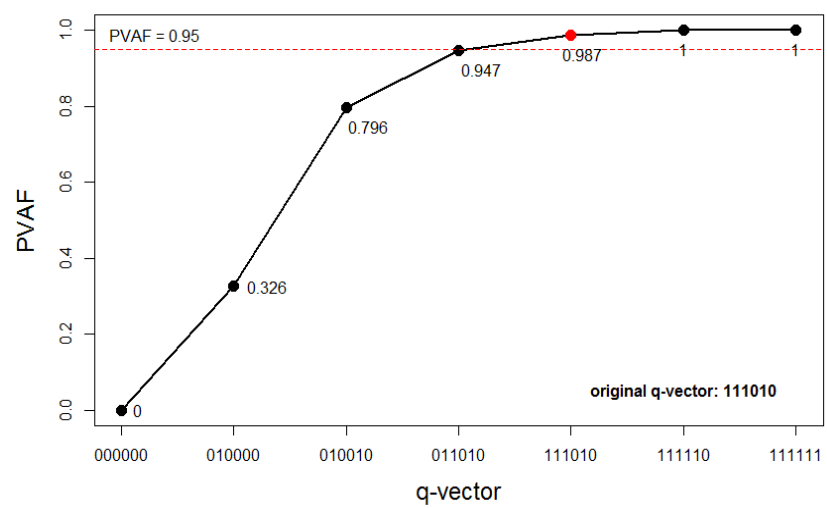


ภาพ 4.28 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 10

Mesa plot for item 12 category 1

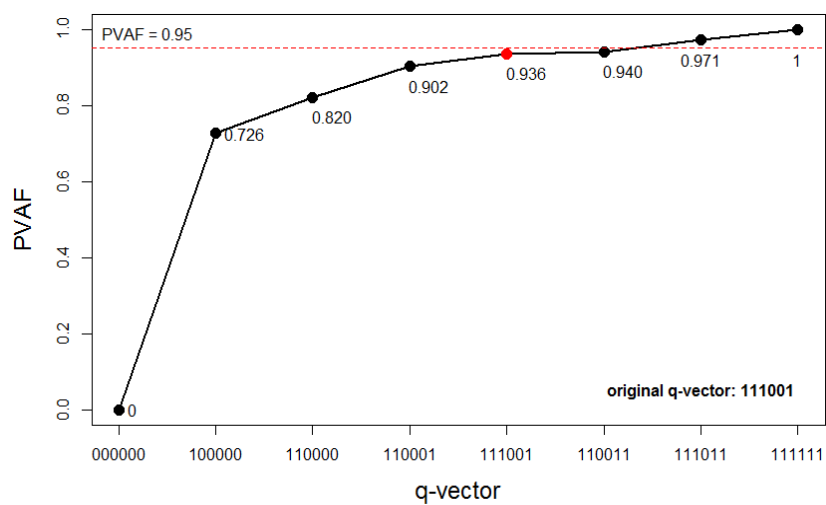


Mesa plot for item 12 category 2

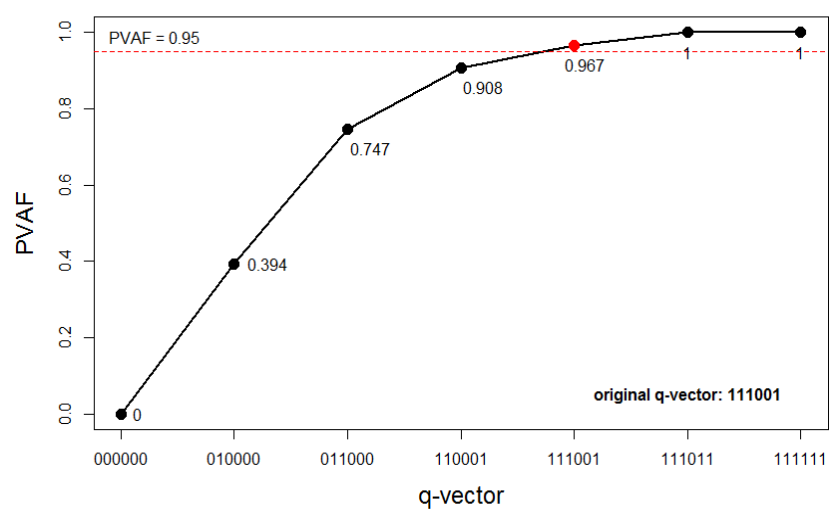


ภาพ 4.29 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 12

Mesa plot for item 14 category 1

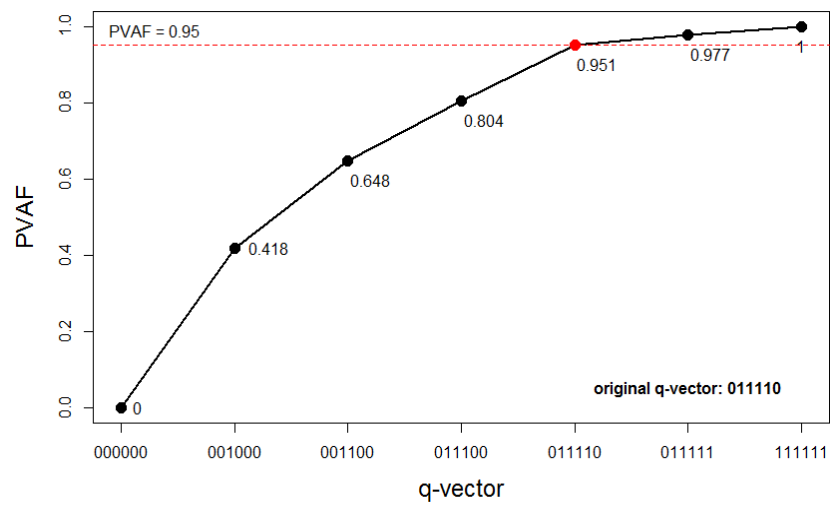


Mesa plot for item 14 category 2

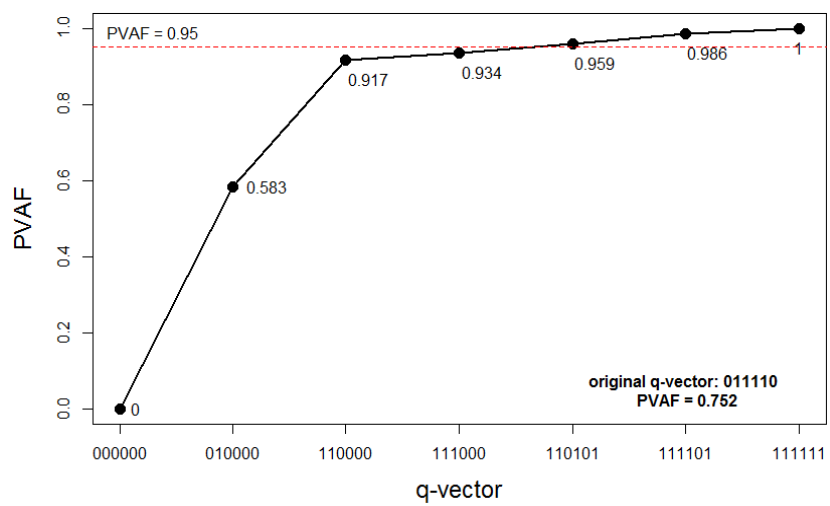


ภาพ 4.30 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 14

Mesa plot for item 15 category 1

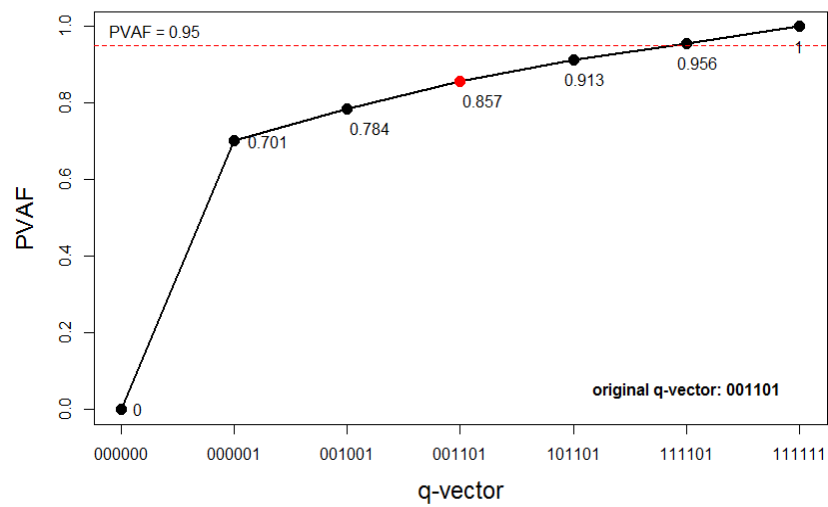


Mesa plot for item 15 category 2

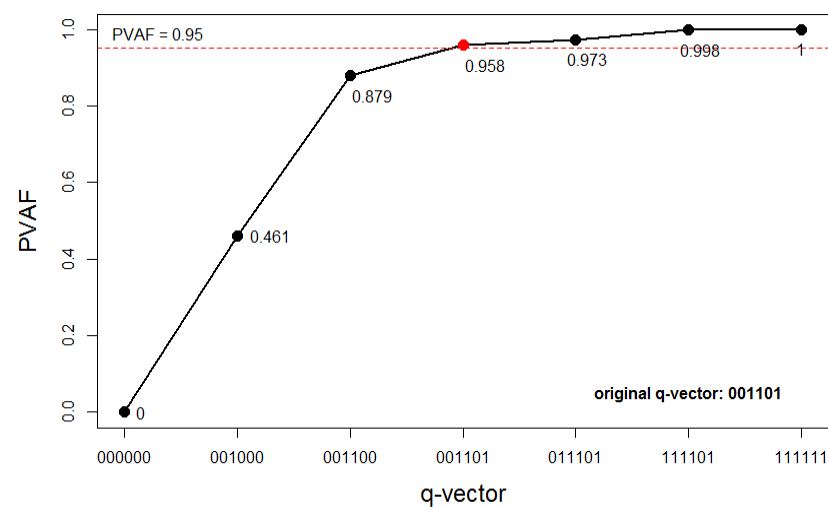


ภาพ 4.31 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 15

Mesa plot for item 16 category 1

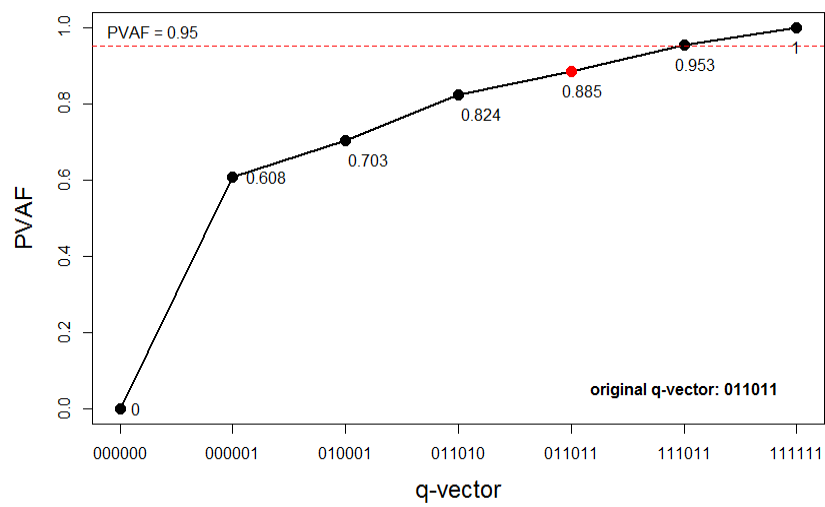


Mesa plot for item 16 category 2

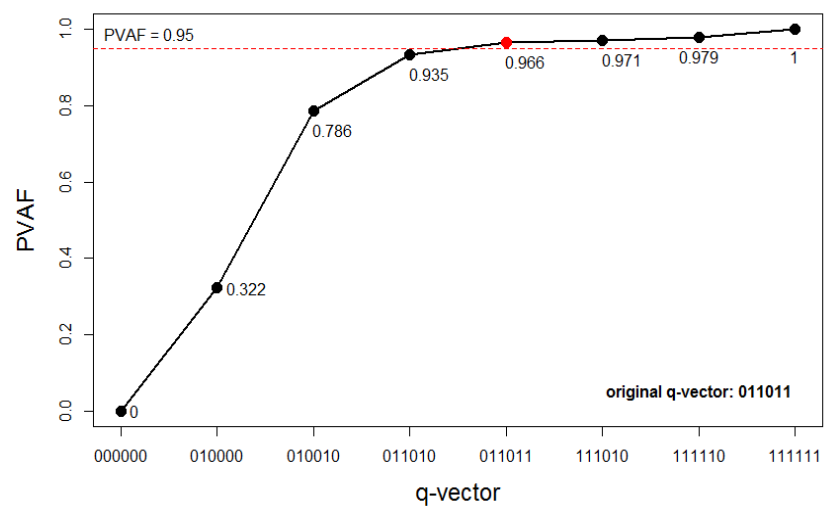


ภาพ 4.32 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 16

Mesa plot for item 17 category 1

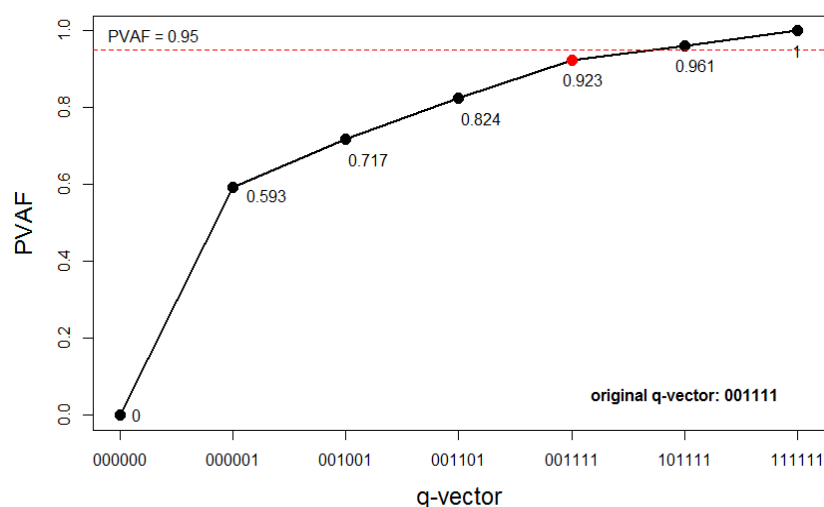


Mesa plot for item 17 category 2

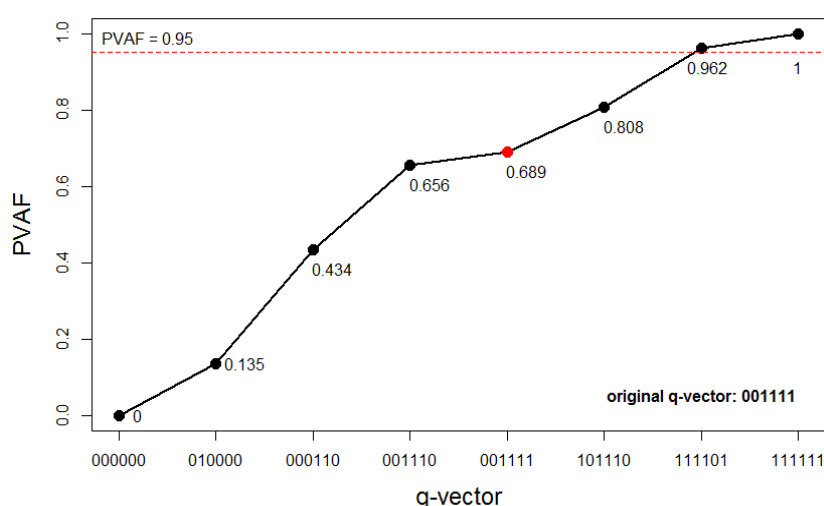


ภาพ 4.33 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 17

Mesa plot for item 18 category 1



Mesa plot for item 18 category 2



ภาพ 4.34 mesa plot สำหรับพิจารณาปรับแก้เวกเตอร์คิวของข้อสอบที่ 18

ผู้วิจัยดำเนินการปรับแก้เมทริกซ์คิว จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) ปรับเฉพาะเวกเตอร์คิวของรายการคำตอบ 2 ข้อสอบที่ 5 (2) ปรับเฉพาะเวกเตอร์คิวของรายการคำตอบ 2 ข้อสอบที่ 10 และ (3) ปรับทั้ง 2 เวกเตอร์คิว จากการพิจารณาสอดคล้องของโมเดล sequential bug-G-DINA กับข้อมูลเชิงประจักษ์ พบว่าโมเดลที่ใช้เมทริกซ์เดิมมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่าโมเดลที่ปรับแก้เมทริกซ์คิวเฉพาะรายการคำตอบ 2 ข้อสอบที่ 5 ($\Delta\chi^2_{\text{modified } q5 - \text{original } Q} (6) = 24.400$, $p < .001$) และโมเดลที่ปรับแก้เมทริกซ์คิวทั้งรายการคำตอบ 2 ข้อสอบที่ 5 และรายการคำตอบ 2

ข้อสอบที่ 10 ($\Delta\chi^2_{\text{modified q5 \& 10 - originalQ}}(18) = 39.560, p < .001$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนโมเดลที่ใช้เมทริกซ์ควิที่ปรับแก้เฉพาะรายการคำตอบ 2 ข้อสอบที่ 10 มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ไม่แตกต่างจากโมเดลที่ใช้เมทริกซ์ควิเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($\Delta\chi^2_{\text{modified q10 - originalQ}}(12) = 16.900, p = .150$) โดยทั้ง 2 โมเดล มีค่า SRMSR เท่ากัน และมีค่า -2log-likelihood (-2LL), AIC และ BIC ใกล้เคียงกัน ดังตาราง 4.26 แต่โมเดลที่ใช้เมทริกซ์ควิที่ปรับแก้รายการคำตอบ 2 ข้อสอบที่ 10 มีซับซ้อนน้อยกว่า หรือมีความคุ้มค่า (parsimonious) ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่าน้อยกว่าโมเดลที่ใช้เมทริกซ์ควิเดิม จำนวน 12 พารามิเตอร์ ผู้วิจัยจึงยึดเมทริกซ์ควิที่ปรับแก้รายการคำตอบ 2 ข้อสอบที่ 10 เป็นเมทริกซ์ควิที่สมบูรณ์ ดังตาราง 4.27 ซึ่งใช้ในวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ต่อไป

ตาราง 4.26

ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล *sequential bug-G-DINA* ที่ใช้เมทริกซ์ควิเดิม และโมเดลที่ใช้เมทริกซ์ควิที่ปรับแก้ครั้งที่ 2

โมเดล	SRMSR	-2LL (<i>df</i>)	AIC	BIC
original Q-matrix	0.039	10630.580 (351)	11332.580	12827.020
modified q-vector 5	0.041	10654.980 (345)	11344.980	12813.880
modified q-vector 10	0.039	10647.480 (339)	11325.480	12768.83
modified q-vector 5 & 10	0.042	10670.140 (333)	11336.140	12753.940

$\Delta\chi^2_{\text{modified q5 - originalQ}}(6) = 24.400, p < .001$
$\Delta\chi^2_{\text{modified q10 - originalQ}}(12) = 16.900, p = .150$
$\Delta\chi^2_{\text{modified q5 \& 10 - originalQ}}(18) = 39.560, p < .001$

ตาราง 4.27

เมทริกซ์ควิที่สมบูรณ์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามวิจัย
มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ข้อสอบ	ระดับ คะแนน	แรงลัพธ์	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 1	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 2	กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันข้อที่ 3	แรงเสียดทาน	แรงโน้มถ่วง ของโลก
1	1	1	0	0	0	0	0
1	2	1	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	0
2	2	0	1	0	0	0	0
3	1	1	1	0	0	0	0
3	2	1	1	0	0	0	0
4	1	0	0	1	0	0	0
4	2	0	0	1	0	0	0
5	1	1	1	1	0	0	0
5	2	1	1	1	0	0	0
6	1	0	0	0	1	0	0
6	2	0	0	0	1	0	0
7	1	1	0	0	1	0	0
7	2	1	0	0	1	0	0
8	1	0	1	0	1	0	0
8	2	0	1	0	1	0	0
9	1	1	1	0	1	0	0
9	2	1	1	0	1	0	0
10	1	1	1	1	1	0	0
10	2	0	1	1	0	0	0
11	1	0	0	0	0	1	0
11	2	0	0	0	0	1	0
12	1	1	1	1	0	1	0
12	2	1	1	1	0	1	0
13	1	0	0	0	0	0	1
13	2	0	0	0	0	0	1
14	1	1	1	1	0	0	1
14	2	1	1	1	0	0	1
15	1	0	1	1	1	1	0
15	2	0	1	1	1	1	0
16	1	0	0	1	1	0	1
16	2	0	0	1	1	0	1
17	1	0	1	1	0	1	1
17	2	0	1	1	0	1	1
18	1	0	0	1	1	1	1
18	2	0	0	1	1	1	1

2.3 ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ผลการวิจัยในส่วนนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเด็น ได้แก่ (1) ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยรายข้อ และ (2) ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยทั้งฉบับ

2.3.1 ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยรายข้อ

ผู้วิจัยพิจารณาคุณภาพรายข้อของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่จากพารามิเตอร์ข้อสอบ ได้แก่ ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลสำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด และฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลสำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 1 ทั้งหมด ของแต่ละรายการคำตอบ ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของรายการคำตอบ 1 พบว่า ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 1 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด หรือผู้สอบที่มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยรายการคำตอบ 1 ของข้อสอบแต่ละข้อ เขียนในรูปสัญลักษณ์ได้เป็น $S_j(h = 1 | \alpha_{j,h}^* = 0)$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.871 และ 1.000 ส่วนฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 1 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 1 ทั้งหมด หรือผู้สอบที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยรายการคำตอบ 1 ของข้อสอบแต่ละข้อ เขียนในรูปสัญลักษณ์ได้เป็น $S_j(h = 1 | \alpha_{j,h}^* = 1)$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.018 และ 0.212 โดยมีเพียงข้อสอบที่ 3 ที่มีค่าฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลมากกว่า 0.2 ซึ่งมีค่า $S_3(h = 1 | \alpha_{j,h}^* = 1)$ เท่ากับ 0.212 ดังตาราง 4.28 และภาพ 4.35

ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของรายการคำตอบ 2 พบว่าฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 2 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด หรือผู้สอบที่มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยรายการคำตอบ 2 ของข้อสอบแต่ละข้อ เขียนในรูปสัญลักษณ์ได้เป็น $S_j(h = 2 | \alpha_{j,h}^* = 0)$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.767 และ 1.000 โดยมีข้อสอบจำนวน 4 ข้อ ที่มีฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลน้อยกว่า 0.8 ได้แก่ ข้อที่ 6, 7, 11 และ 12 โดยมีฟังก์ชันประมวลผลข้อมูล เท่ากับ 0.776, 0.792, 0.767 และ 0.778 ตามลำดับ ส่วนฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 2 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 1 ทั้งหมด หรือผู้สอบที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทุกคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยรายการคำตอบ 2 ของข้อสอบแต่ละข้อ เขียนในรูปสัญลักษณ์ได้เป็น $S_j(h = 2 | \alpha_{j,h}^* = 1)$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.000 และ 0.201 โดยมีเพียงข้อสอบที่ 18 ที่มี

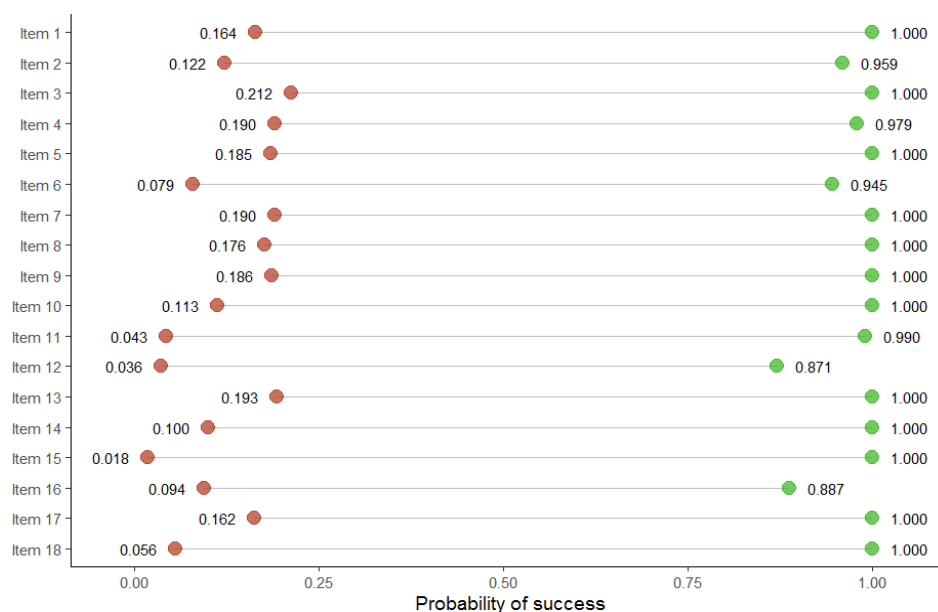
ค่าฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลมากกว่า 0.2 ซึ่งมีค่า $S_{18}(h=2 | \alpha_{yjh}^* = 1)$ เท่ากับ 0.201 ดังตาราง 4.28 และภาพ 4.36

สรุปได้ว่า แบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์มีคุณภาพรายข้อ เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ข้อสอบส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีเพียง 6 รายการคำตอบ จาก 36 รายการคำตอบ ที่มีค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากเกณฑ์เล็กน้อย

ตาราง 4.28

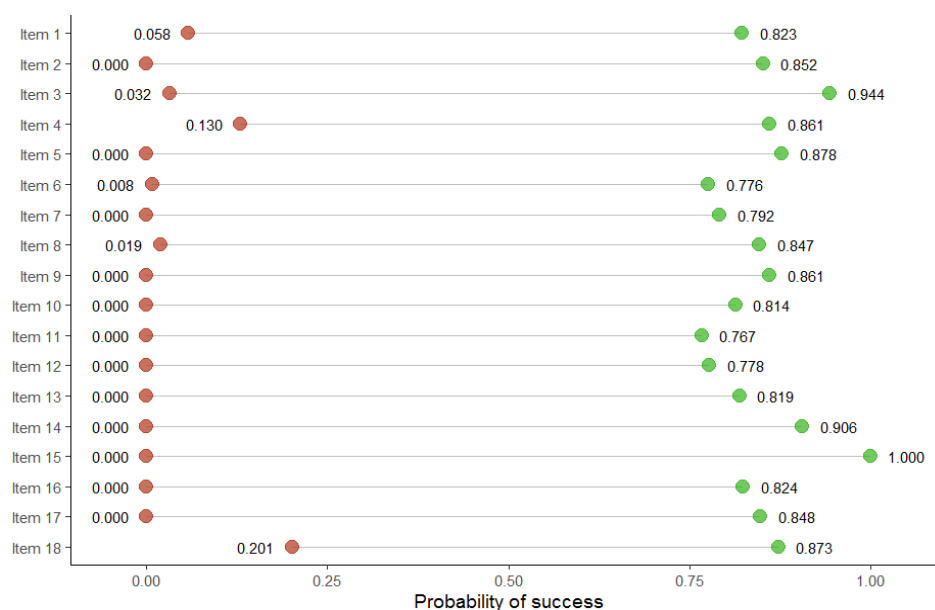
ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ข้อสอบ	รายการคำตอบ 1		รายการคำตอบ 2	
	$S_j(h=1 \alpha_{yjh}^* = 0)$	$S_j(h=1 \alpha_{yjh}^* = 1)$	$S_j(h=2 \alpha_{yjh}^* = 0)$	$S_j(h=2 \alpha_{yjh}^* = 1)$
1	1.000	0.164	0.823	0.058
2	0.959	0.122	0.852	0.000
3	1.000	0.212	0.944	0.032
4	0.979	0.190	0.861	0.130
5	1.000	0.185	0.878	0.000
6	0.945	0.079	0.776	0.008
7	1.000	0.190	0.792	0.000
8	1.000	0.176	0.847	0.019
9	1.000	0.186	0.861	0.000
10	1.000	0.113	0.814	0.000
11	0.990	0.043	0.767	0.000
12	0.871	0.036	0.778	0.000
13	1.000	0.193	0.819	0.000
14	1.000	0.100	0.906	0.000
15	1.000	0.018	1.000	0.000
16	0.887	0.094	0.824	0.000
17	1.000	0.162	0.848	0.000
18	1.000	0.056	0.873	0.201



หมายเหตุ จุดสีแดง แทนฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลสำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 1 ทั้งหมด ส่วนจุดสีเขียว แทนฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลสำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด

ภาพ 4.35 ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบสำหรับรายการคำตอบ 1 ของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์
ที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่



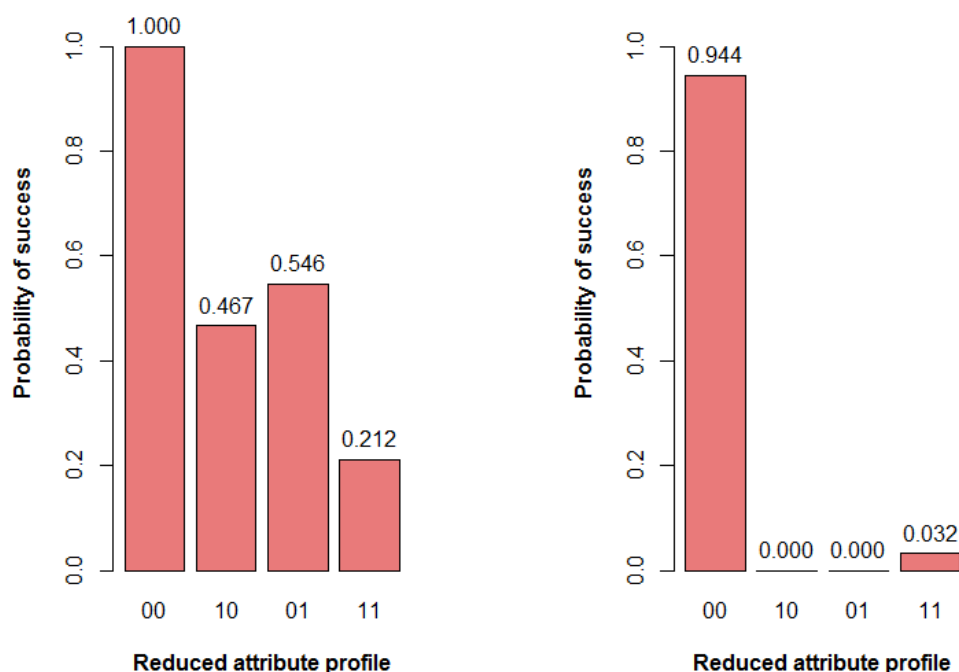
หมายเหตุ จุดสีแดง แทนฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลสำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 1 ทั้งหมด ส่วนจุดสีเขียว แทนฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลสำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด

ภาพ 4.36 ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบสำหรับรายการคำตอบ 2 ของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์
ที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลสำหรับผู้สอบแต่ละโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปของแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบที่ 1 - 18 แสดงดังภาพ 4.37 - 4.54 โดยผู้วิจัยขอยกตัวอย่างการแปลผลฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 3 และ 10 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ข้อสอบที่ 3 วัดคุณลักษณะ จำนวน 2 คุณลักษณะ ได้แก่ คุณลักษณะที่ 1 แรงลัพท์ และคุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 โดยรายการคำตอบ 1 และ 2 วัดทั้ง 2 คุณลักษณะ นั่นคือ แต่ละรายการคำตอบมีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปจำนวน 4 โปรไฟล์ ได้แก่ (1) โปรไฟล์ 00 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องทั้ง 2 คุณลักษณะ (2) โปรไฟล์ 10 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 1 แต่มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 2 (3) โปรไฟล์ 01 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 1 แต่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 และ (4) โปรไฟล์ 11 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้ง 2 คุณลักษณะ จากการพิจารณาฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 3 ดังภาพ 4.37 พบว่าผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ถูกต้องทั้ง 2 คุณลักษณะ (โปรไฟล์ 00) มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 1 ถูกต้อง เท่ากับ 1.000 (ร้อยละ 100.0) ส่วนผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 1 แต่มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 1 (โปรไฟล์ 10) มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 1 ถูกต้อง เท่ากับ 0.467 (ร้อยละ 46.7) ในขณะที่ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 1 แต่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 (โปรไฟล์ 01) และผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้ง 2 คุณลักษณะ (โปรไฟล์ 11) มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 1 ถูกต้อง เท่ากับ 0.546 (ร้อยละ 54.6) และ 0.212 (ร้อยละ 21.2) ตามลำดับ หลังจากตอบข้อสอบในรายการคำตอบ 1 ถูกต้องแล้ว ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ถูกต้องทั้ง 2 คุณลักษณะ (โปรไฟล์ 00) มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 2 ถูกต้อง เท่ากับ 0.944 (ร้อยละ 94.4) ส่วนผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้ง 2 คุณลักษณะ (โปรไฟล์ 11) มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 2 ถูกต้อง เท่ากับ 0.032 (ร้อยละ 3.2) ในขณะที่ทั้งผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 1 แต่มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 2 (โปรไฟล์ 10) และผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 1 แต่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 (โปรไฟล์ 01) มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 2 ถูกต้อง เท่ากับ 0.000 (ร้อยละ 0.0)

Processing functions for item 3 category 1 Processing functions for item 3 category 2



หมายเหตุ: คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงลัพท์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ตามลำดับ

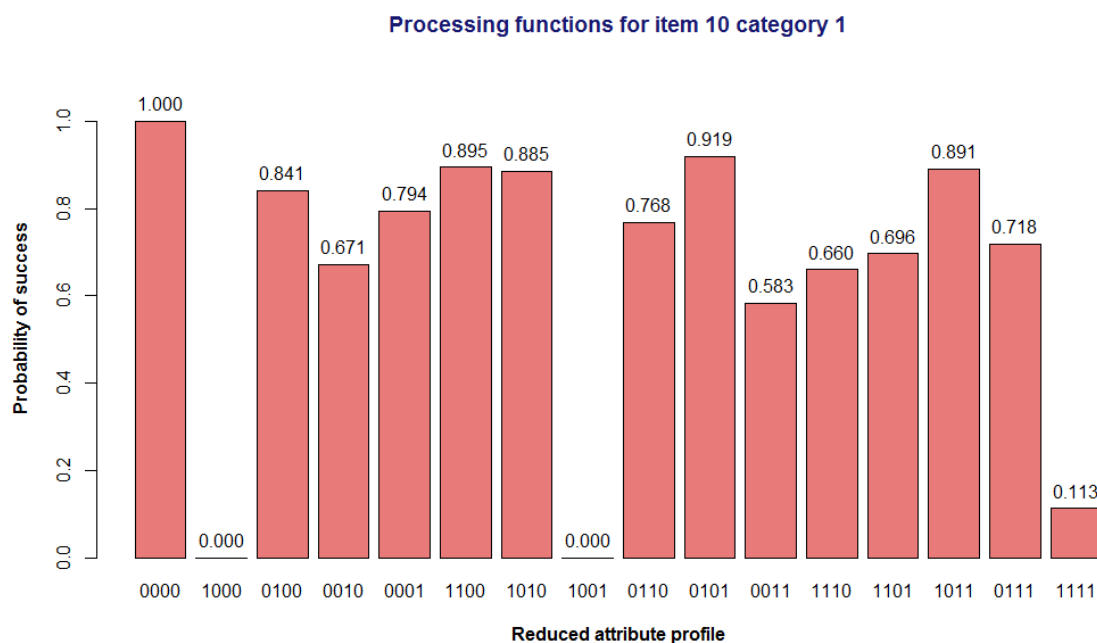
ภาพ 4.37 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 3

ข้อสอบที่ 10 วัดคุณลักษณะ จำนวน 4 คุณลักษณะ ได้แก่ คุณลักษณะที่ 1 แรงลัพท์ คุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 คุณลักษณะที่ 3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และคุณลักษณะที่ 4 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 โดยรายการคำตอบ 1 วัดทั้ง 4 คุณลักษณะ ส่วนรายการคำตอบ 2 วัดคุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และคุณลักษณะที่ 3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 นั่นคือ รายการคำตอบ 1 มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูป จำนวน 16 โปรไฟล์ ดังนี้

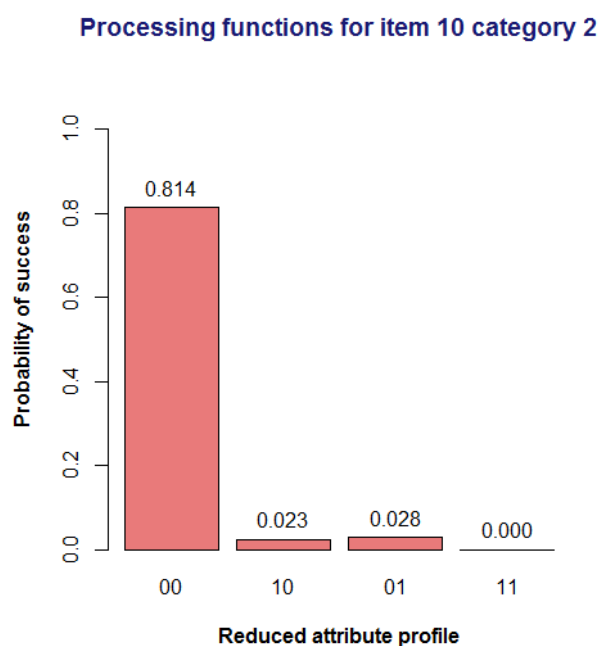
- (1) โปรไฟล์ 0000 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องทั้ง 4 คุณลักษณะ
- (2) โปรไฟล์ 1000 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 1 แต่มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 2, 3 และ 4
- (3) โปรไฟล์ 0100 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 แต่มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 1, 3 และ 4

รายการคำตอบ 2 มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปจำนวน 4 โปรไฟล์ ได้แก่ (1) โปรไฟล์ 00 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องทั้ง 2 คุณลักษณะ (2) โปรไฟล์ 10 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 แต่มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 3 (3) โปรไฟล์ 01 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 2 แต่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 3 และ (4) โปรไฟล์ 11 หมายถึง ผู้สอบมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้ง 2 คุณลักษณะ

จากการพิจารณาฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 10 ดังภาพ 4.38 พบว่า ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ถูกต้องทั้ง 4 คุณลักษณะ (โปรไฟล์ 0000) มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 1 ถูกต้อง เท่ากับ 1.000 (ร้อยละ 100.0) ส่วนผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจะมีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 1 ถูกต้อง ลดลง เช่น ผู้สอบที่มีโปรไฟล์ 0100, 0110 และ 1111 มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 1 ถูกต้อง เท่ากับ 0.841 (ร้อยละ 84.1), 0.768 (ร้อยละ 76.8) และ 0.113 (ร้อยละ 11.3) ตามลำดับ หลังจากตอบข้อสอบในรายการคำตอบ 1 ถูกต้องแล้ว ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ถูกต้องทั้งคุณลักษณะที่ 2 และ 3 (โปรไฟล์ 00) มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 2 ถูกต้อง เท่ากับ 0.814 (ร้อยละ 81.4) ส่วนผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 แต่มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 3 (โปรไฟล์ 10) และผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ถูกต้องในคุณลักษณะที่ 2 แต่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 3 (โปรไฟล์ 01) มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 2 ถูกต้อง เท่ากับ 0.023 (ร้อยละ 2.3) และ 0.028 (ร้อยละ 2.8) ตามลำดับ ในขณะที่ผู้สอบที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้งคุณลักษณะที่ 2 และ 3 มีความน่าจะเป็นที่จะตอบข้อสอบรายการคำตอบ 2 ถูกต้อง เท่ากับ 0.000 (ร้อยละ 0.0)



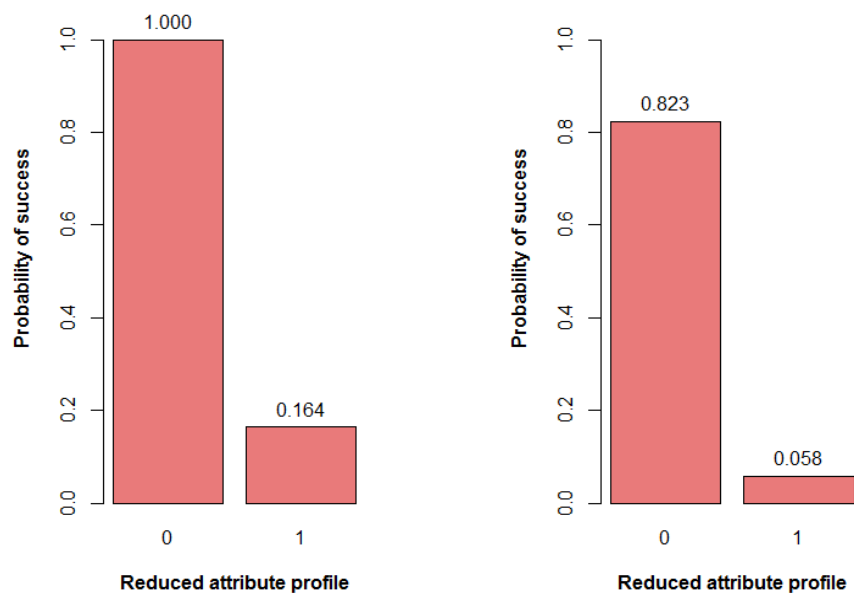
หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ตามลำดับ



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ตามลำดับ

ภาพ 4.38 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 10

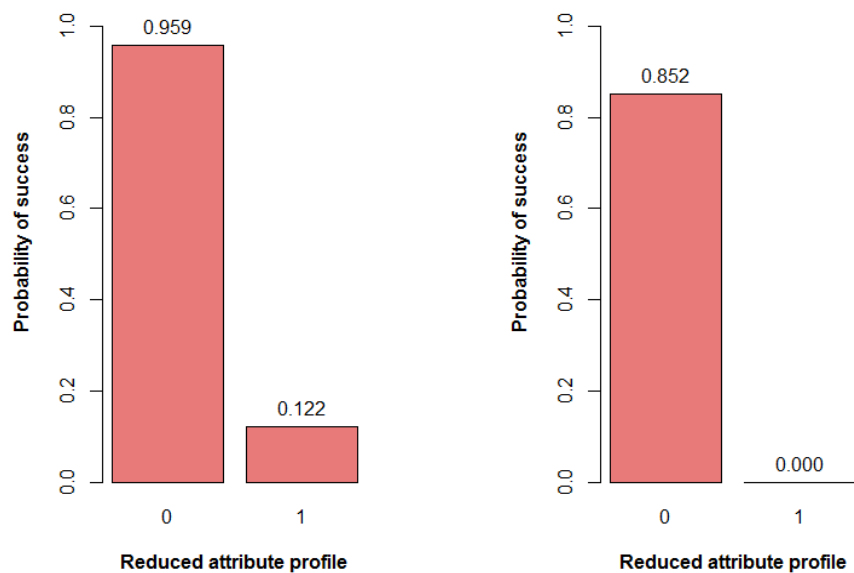
Processing functions for item 1 category 1 Processing functions for item 1 category 2



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงลัพท์

ภาพ 4.39 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 1

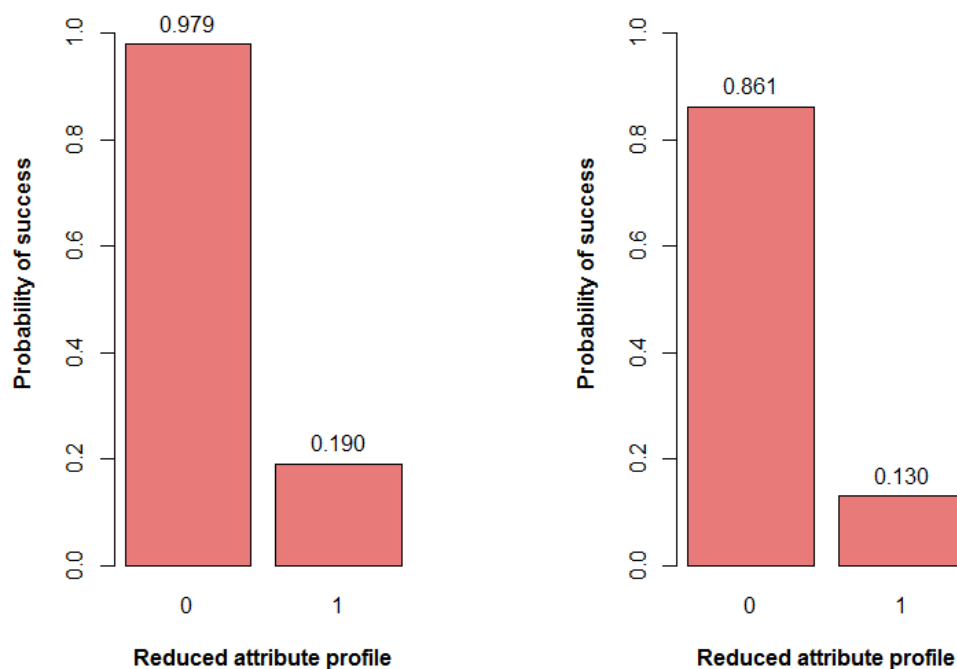
Processing functions for item 2 category 1 Processing functions for item 2 category 2



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1

ภาพ 4.40 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 2

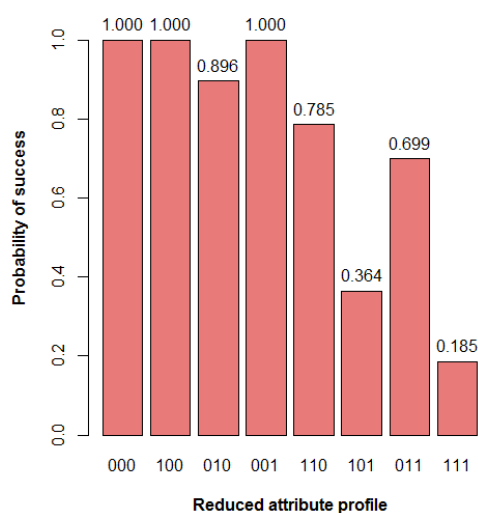
Processing functions for item 4 category 1 Processing functions for item 4 category 2



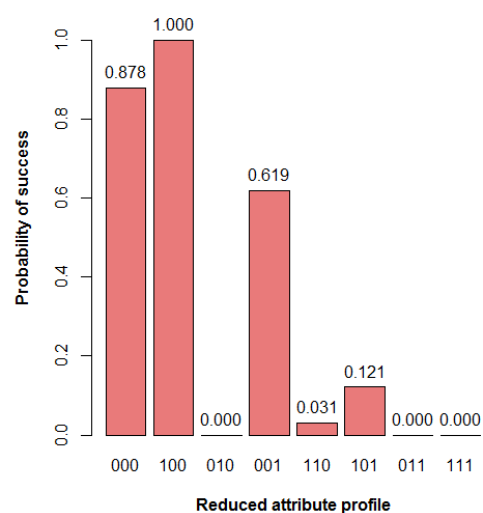
หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2

ภาพ 4.41 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 4

Processing functions for item 5 category 1



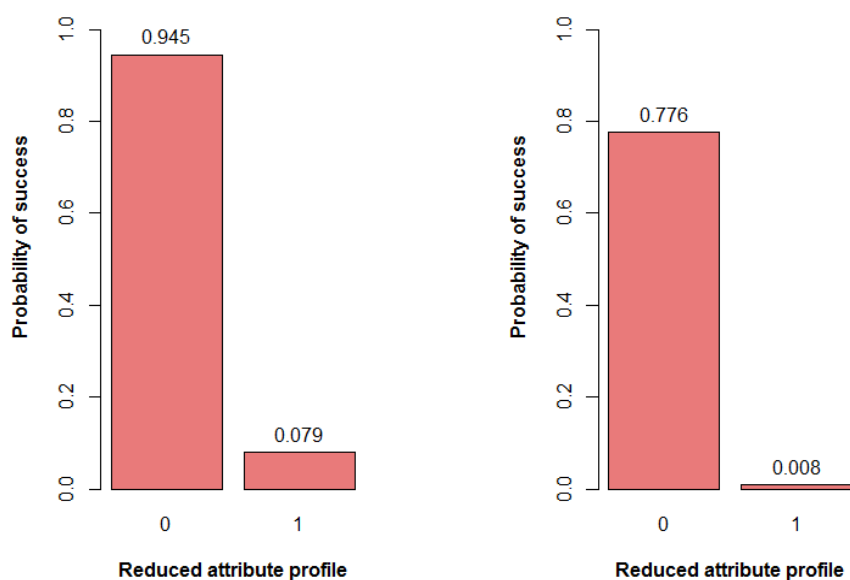
Processing functions for item 5 category 2



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ตามลำดับ

ภาพ 4.42 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 5

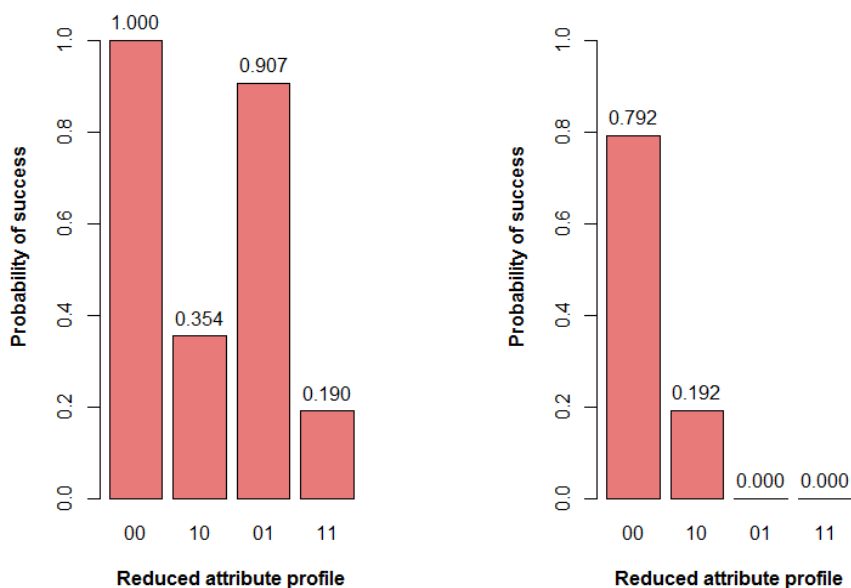
Processing functions for item 6 category 1 Processing functions for item 6 category 2



หมายเหตุ: คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3

ภาพ 4.43 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 6

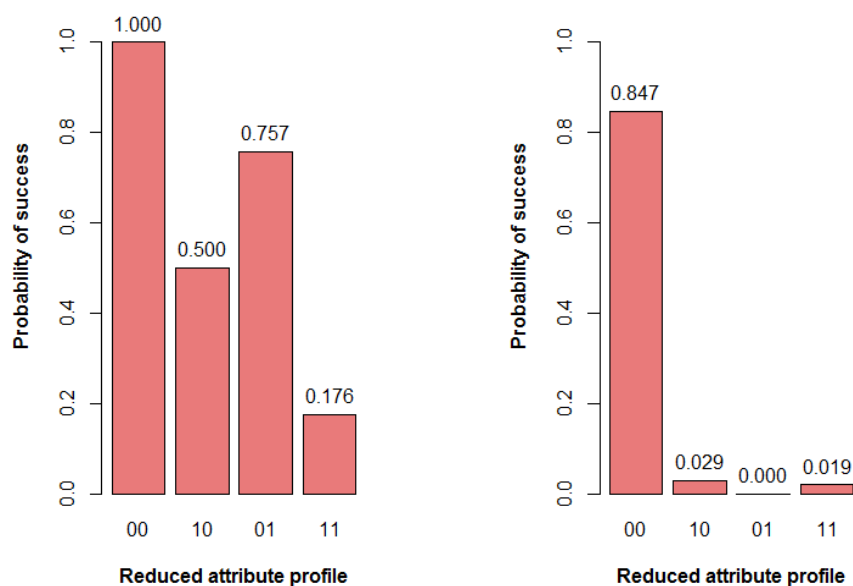
Processing functions for item 7 category 1 Processing functions for item 7 category 2



หมายเหตุ: คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ตามลำดับ

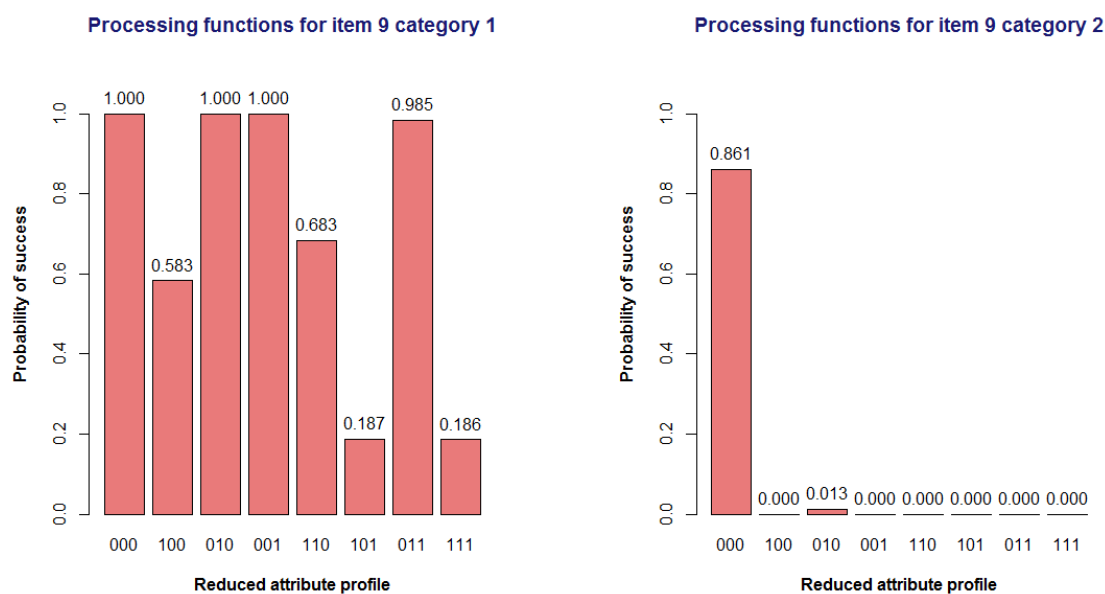
ภาพ 4.44 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 7

Processing functions for item 8 category 1 Processing functions for item 8 category 2



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ตามลำดับ

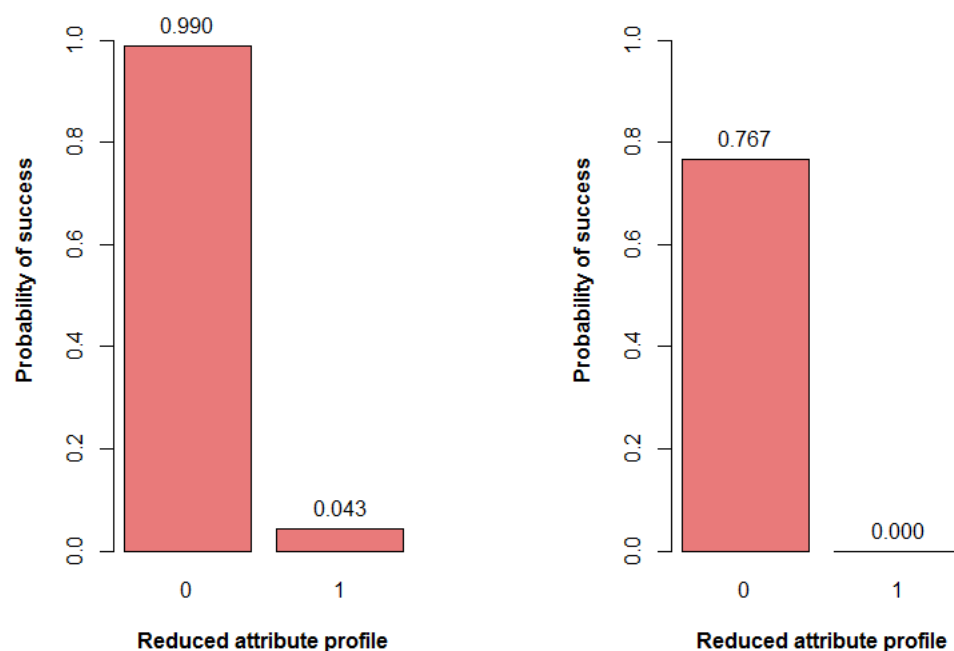
ภาพ 4.45 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 8



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ตามลำดับ

ภาพ 4.46 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 9

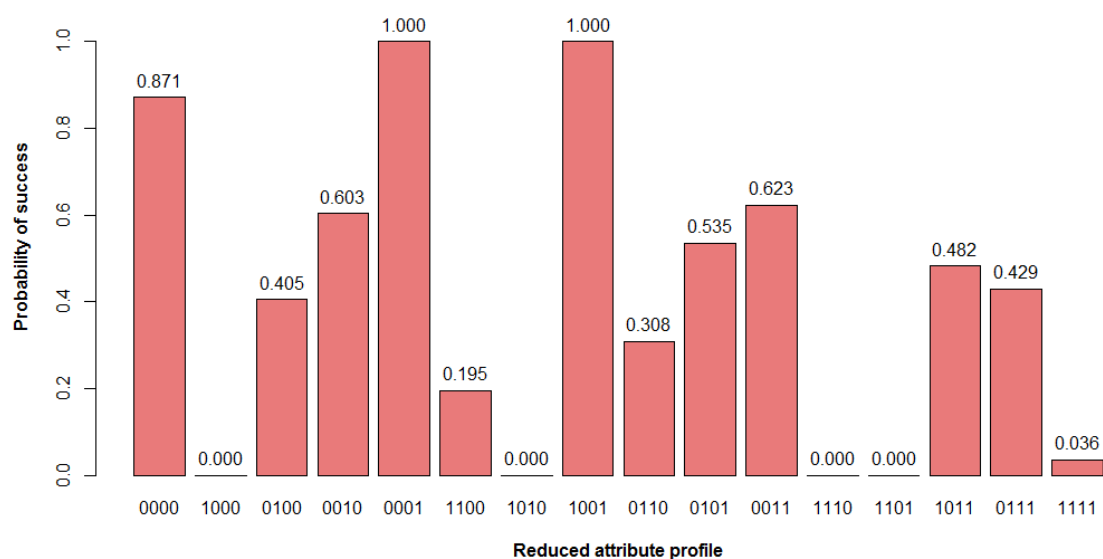
Processing functions for item 11 category 1 Processing functions for item 11 category 2



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงเสียดทาน

ภาพ 4.47 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 11

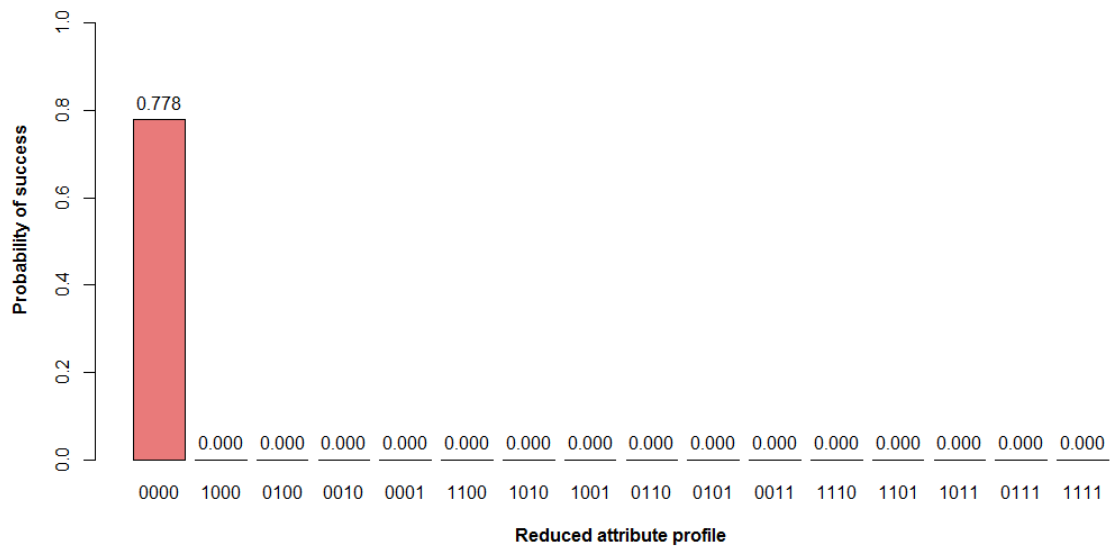
Processing functions for item 12 category 1



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงลัพท์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และแรงเสียดทาน ตามลำดับ

ภาพ 4.48 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 12

Processing functions for item 12 category 2

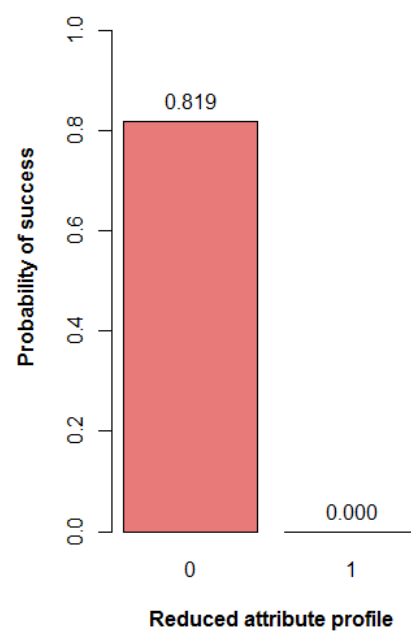
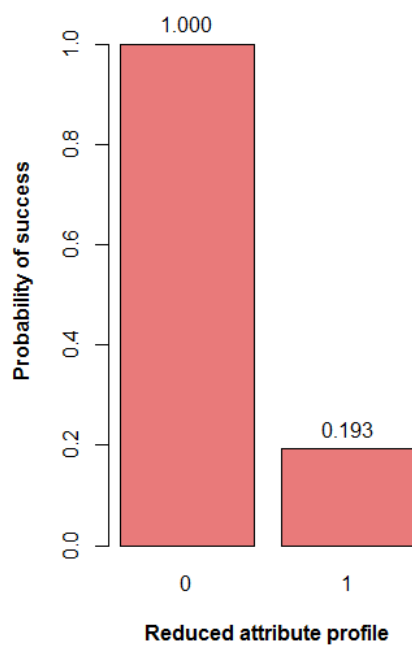


หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงลัพท์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และแรงเสียดทาน ตามลำดับ

ภาพ 4.48 (ต่อ)

Processing functions for item 13 category 1

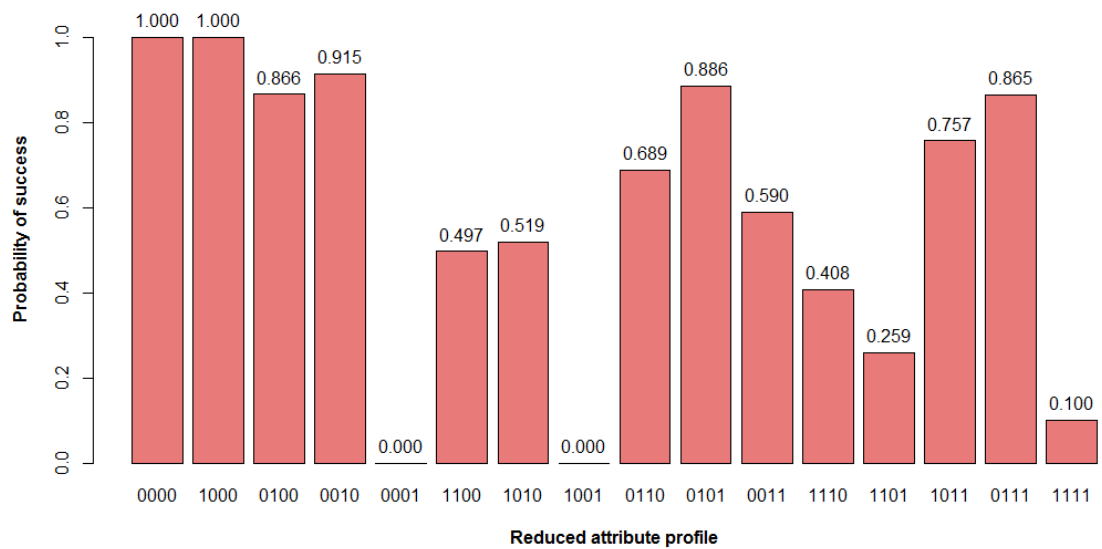
Processing functions for item 13 category 2



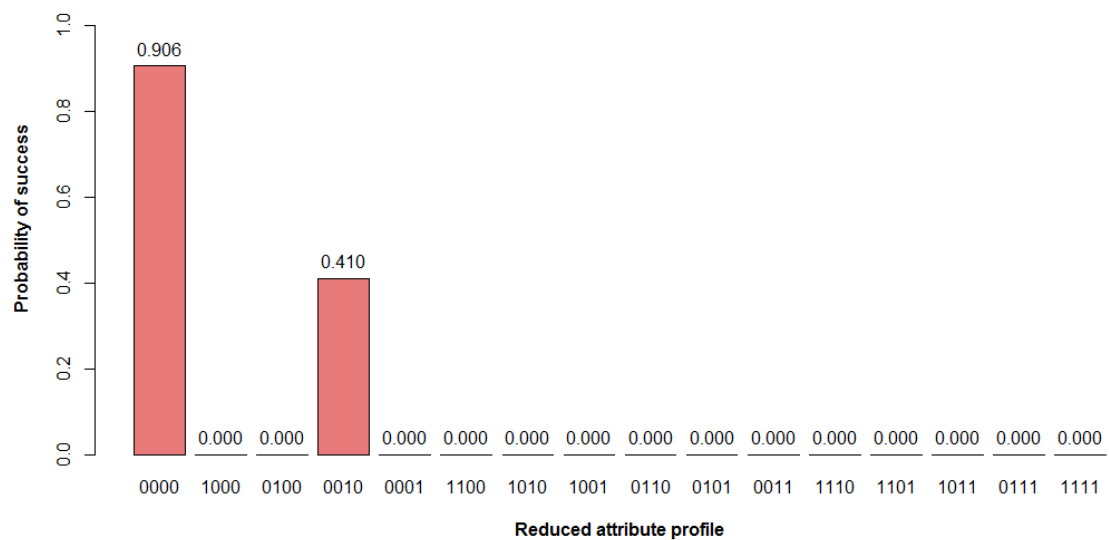
หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงโน้มถ่วงของโลก

ภาพ 4.49 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 13

Processing functions for item 14 category 1



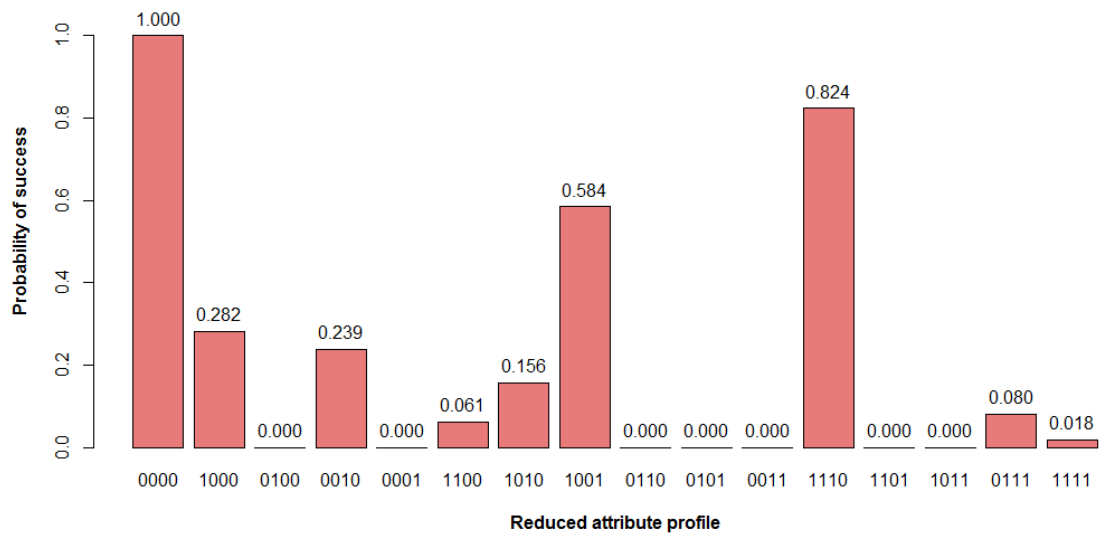
Processing functions for item 14 category 2



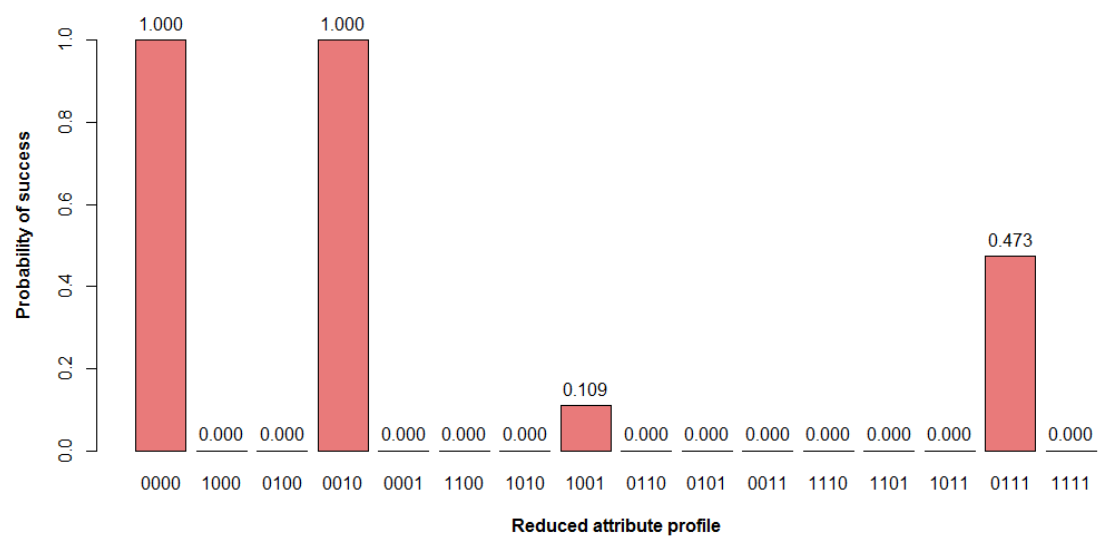
หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ แรงลัพท์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และแรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ

ภาพ 4.50 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 14

Processing functions for item 15 category 1

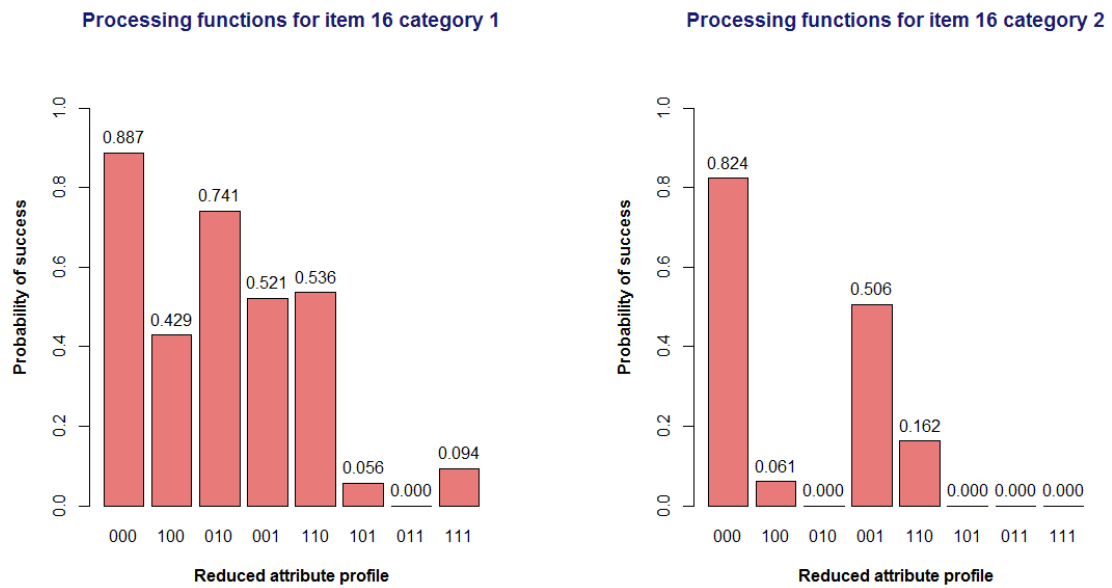


Processing functions for item 15 category 2



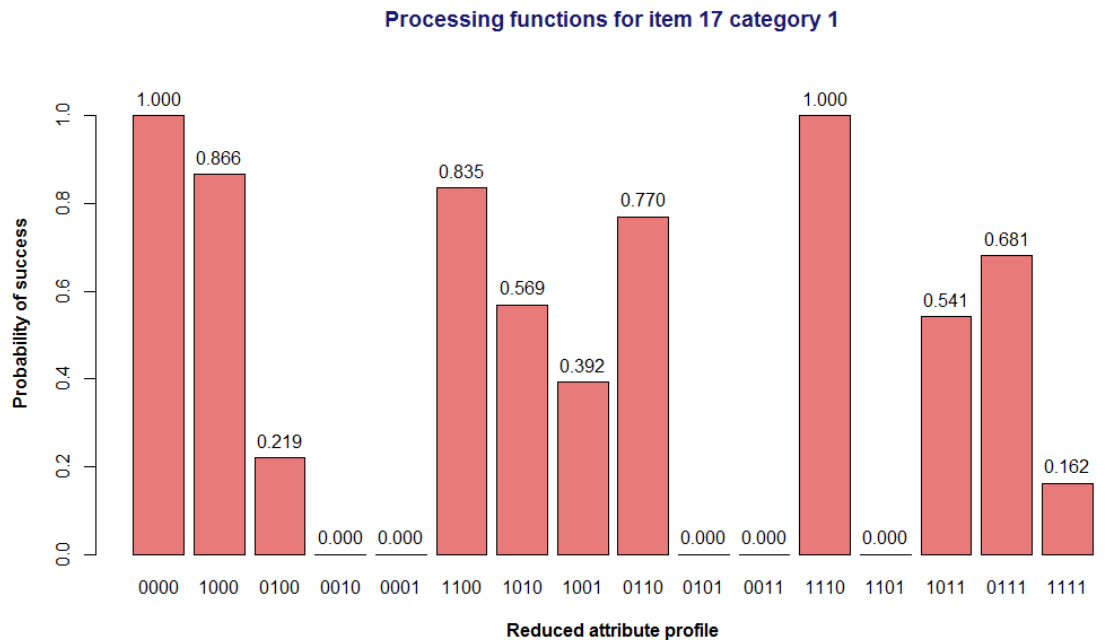
หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 และแรงเสียดทาน ตามลำดับ

ภาพ 4.51 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 15



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 และแรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ

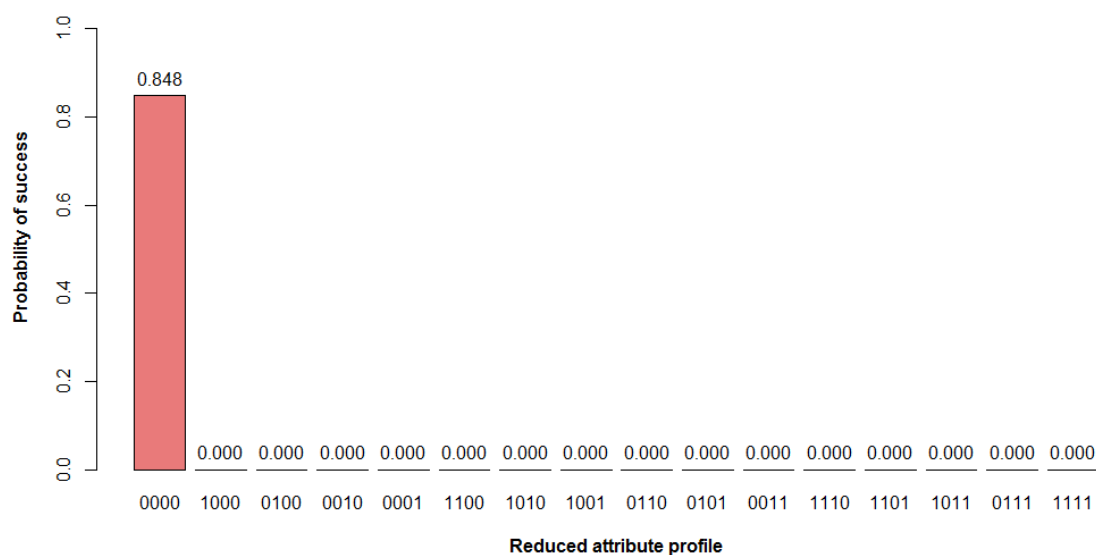
ภาพ 4.52 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 16



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ

ภาพ 4.53 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 17

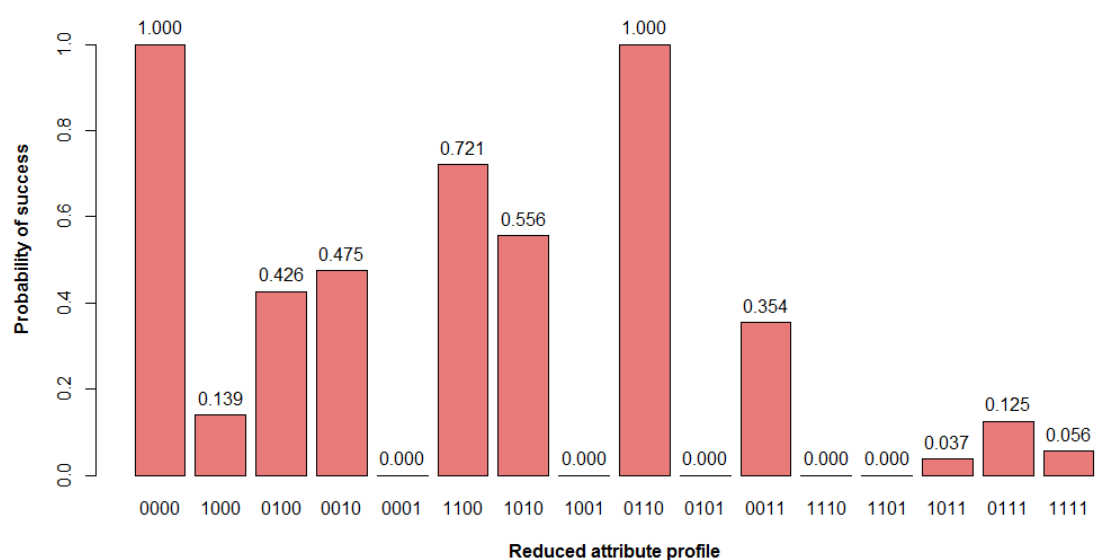
Processing functions for item 17 category 2



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ

ภาพ 4.53 (ต่อ)

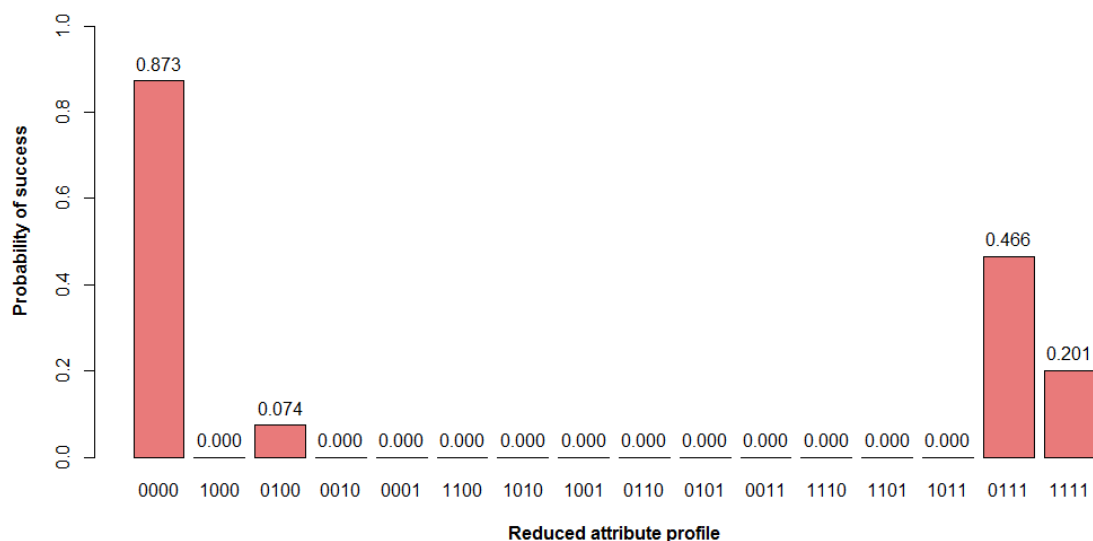
Processing functions for item 18 category 1



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก

ภาพ 4.54 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของข้อสอบที่ 18

Processing functions for item 18 category 2



หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก

ภาพ 4.54 (ต่อ)

2.3.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจัยทั้งฉบับ

ผู้วิจัยตรวจสอบคุณภาพทั้งฉบับของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยพิจารณาจากดัชนีความเที่ยงของการจำแนก ดัชนีความตรงของการจำแนก ความตรงเชิงโครงสร้าง และความตรงตามสภาพ ผลการตรวจสอบคุณภาพทั้งฉบับของแบบสอบวินิจัยแต่ละด้านมีรายละเอียดดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์ดัชนีความเที่ยงของการจำแนก และดัชนีความตรงของการจำแนก

แบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีดัชนีความเที่ยงของการจำแนก ($\hat{\gamma}$) เท่ากับ 0.857 ซึ่งมีค่าดัชนีความเที่ยงอยู่ในระดับสูง และมีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่าแบบสอบวินิจัยมีความคงเส้นคงวาในการจำแนกอยู่ในระดับสูง เมื่อพิจารณาดัชนีความเที่ยงของการจำแนกระดับคุณลักษณะทั้ง 6 คุณลักษณะ ได้แก่ คุณลักษณะที่ 1 แรงลัพธ์ ($\hat{\gamma}_1 = 0.990$) คุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ($\hat{\gamma}_2 = 0.994$) คุณลักษณะที่ 3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ($\hat{\gamma}_3 = 0.976$) คุณลักษณะที่ 4 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (

$\hat{\gamma}_4 = 0.975$) คุณลักษณะที่ 5 แรงเสียดทาน ($\hat{\gamma}_5 = 0.992$) และคุณลักษณะที่ 6 แรงโน้มถ่วงของโลก ($\hat{\gamma}_6 = 0.985$) พบว่า ดัชนีความเที่ยงของการจำแนกระดับคุณลักษณะมีค่าสูงใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.975 และ 0.994 ดังตาราง 4.29 แสดงว่าแบบสอบถามวิจัยมีความคงเส้นคงวาในการจำแนกระดับคุณลักษณะอยู่ในระดับสูงเช่นเดียวกับการพิจารณาระดับแบบสอบถาม

แบบสอบถามวิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีดัชนีความตรงของการจำแนก (\hat{t}) เท่ากับ 0.950 ซึ่งมีค่าดัชนีความตรงอยู่ในระดับสูงและมีค่ามากกว่า 0.7 แสดงว่าแบบสอบถามวิจัยมีความถูกต้องในการจำแนกอยู่ในระดับสูง เมื่อพิจารณาดัชนีความตรงของการจำแนกระดับคุณลักษณะทั้ง 6 คุณลักษณะ ได้แก่ คุณลักษณะที่ 1 แรงลัพธ์ ($\hat{t}_1 = 0.993$) คุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ($\hat{t}_2 = 0.996$) คุณลักษณะที่ 3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ($\hat{t}_3 = 0.984$) คุณลักษณะที่ 4 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ($\hat{t}_4 = 0.984$) คุณลักษณะที่ 5 แรงเสียดทาน ($\hat{t}_5 = 0.995$) และคุณลักษณะที่ 6 แรงโน้มถ่วงของโลก ($\hat{t}_6 = 0.990$) พบว่า ดัชนีความตรงของการจำแนกระดับคุณลักษณะมีค่าสูงใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.984 และ 0.996 ดังตาราง 4.29 แสดงว่าแบบสอบถามวิจัยมีความถูกต้องในการจำแนกระดับคุณลักษณะอยู่ในระดับสูงเช่นเดียวกับการพิจารณาระดับแบบสอบถาม

ตาราง 4.29

ดัชนีความเที่ยงของการจำแนก และดัชนีความตรงของการจำแนกของแบบสอบถามวิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ดัชนี	คุณลักษณะ						ทั้งฉบับ
	1	2	3	4	5	6	
ดัชนีความเที่ยงของการจำแนก	0.990	0.994	0.976	0.975	0.992	0.985	0.857
ดัชนีความตรงของการจำแนก	0.993	0.996	0.984	0.984	0.995	0.990	0.950

หมายเหตุ คุณลักษณะที่ 1 คือ แรงลัพธ์ คุณลักษณะที่ 2 คือ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 คุณลักษณะที่ 3 คือ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 คุณลักษณะที่ 4 คือ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 คุณลักษณะที่ 5 คือ แรงเสียดทาน และคุณลักษณะที่ 6 คือ แรงโน้มถ่วงของโลก

2) ผลการวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้าง

ผู้วิจัยตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบสอบถามวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ทั้งนี้ แบบสอบถามวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ แบ่งเป็น 6 องค์ประกอบ ผู้วิจัยจึงกำหนดโมเดลการวัดแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้ โมเดลการวัดประกอบด้วยตัวแฝง จำนวน 1 ตัวแปร ได้แก่ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ (FOMO) และมีตัวบ่งชี้หรือตัวแปรสังเกตได้ จำนวน 6 ตัวแปร ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (NET.F) (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (FIRST.L) (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (SECOND.L) (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (THIRD.L) (5) แรงเสียดทาน (FRICT.F) และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก (GRAV.F)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวบ่งชี้ในโมเดลการวัดแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน พบว่าตัวบ่งชี้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกคู่ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.708 และ 0.913 ดังตาราง 4.30 ตัวบ่งชี้คู่ที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด คือ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และแรงเสียดทาน ($r = 0.913$) ส่วนตัวบ่งชี้คู่ที่มีความสัมพันธ์กันน้อยที่สุด คือ แรงลัพธ์ และแรงเสียดทาน ($r = 0.708$)

ตาราง 4.30

เมทริกซ์สหสัมพันธ์ของตัวบ่งชี้ในโมเดลการวัดแรงและกฎการเคลื่อนที่

ตัวบ่งชี้	1	2	3	4	5	6
1. NET.F	1.000					
2. FIRST.L	0.901	1.000				
3. SECOND.L	0.840	0.896	1.000			
4. THIRD.L	0.842	0.867	0.875	1.000		
5. FRICT.F	0.708	0.820	0.913	0.799	1.000	
6. GRAV.F	0.714	0.788	0.901	0.800	0.909	1.000
<i>M</i>	0.572	0.474	0.447	0.475	0.368	0.465
<i>SD</i>	0.513	0.429	0.415	0.442	0.421	0.439

หมายเหตุ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกค่า

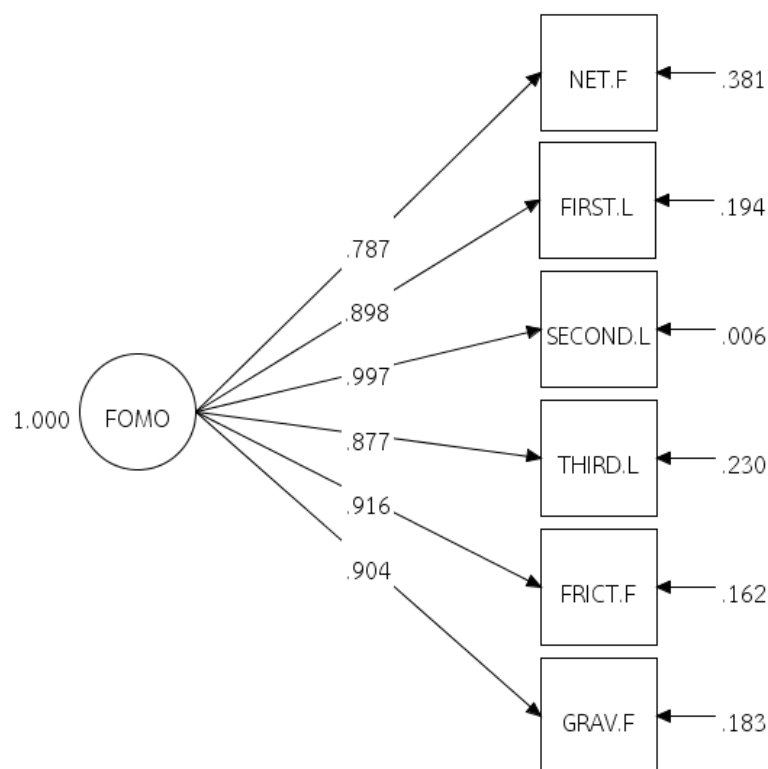
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน พบว่าโมเดลการวัดแรงและกฎการเคลื่อนที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ($\chi^2(2, N = 522) = 1.582, p = .453, CFI = 1.000, TLI = 1.000, RMSEA = 0.000, SRMR = 0.002$) โดยมีการปรับให้ความคลาดเคลื่อนของตัวบ่งชี้มีความสัมพันธ์กัน แสดงว่าแบบสอบบินิจนิยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีความตรงเชิงโครงสร้าง เมื่อพิจารณาน้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนมาตรฐานของตัวบ่งชี้ พบว่า น้ำหนักองค์ประกอบมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกค่า แสดงว่าตัวบ่งชี้ทั้ง 6 ตัว เป็นตัวบ่งชี้ของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำหนักองค์ประกอบมีค่าสูงอยู่ระหว่าง 0.787 และ 0.997 โดยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (SECOND.L; $\beta = 0.997$) มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด รองลงมาคือ แรงเสียดทาน (FRICT.F; $\beta = 0.916$) แรงโน้มถ่วงของโลก (GRAV.F; $\beta = 0.904$) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (FIRST.L; $\beta = 0.898$) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (THIRD.L; $\beta = 0.877$) และแรงลัพธ์ (NET.F; $\beta = 0.787$) ตามลำดับ ดังตาราง 4.31 และภาพ 4.55

ตาราง 4.31

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเพื่อตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบสอบบินิจนิยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ตัวบ่งชี้	น้ำหนักองค์ประกอบ ในรูปคะแนนดิบ		น้ำหนักองค์ประกอบ ในรูปคะแนนมาตรฐาน		R^2
	b (SE)	t	β (SE)	t	
NET.F	1.000	-	0.787 (0.019)	41.090	0.619
FIRST.L	0.954 (0.026)	36.412	0.898 (0.009)	96.963	0.806
SECOND.L	1.025 (0.034)	29.999	0.997 (0.004)	252.384	0.994
THIRD.L	0.961 (0.031)	30.533	0.877 (0.011)	81.993	0.770
FRICT.F	0.956 (0.040)	24.004	0.916 (0.008)	115.785	0.838
GRAV.F	0.983 (0.041)	24.173	0.904 (0.009)	100.463	0.817
$\chi^2(2, N = 522) = 1.582, p = .453$		CFI = 1.000		TLI = 1.000	
RMSEA = 0.000		SRMR = 0.002			

หมายเหตุ: น้ำหนักองค์ประกอบมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกค่า



ภาพ 4.55 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของโมเดลการวัดแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยแสดงน้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนมาตรฐาน

3) ผลการวิเคราะห์ความตรงตามสภาพ

ผู้วิจัยวิเคราะห์ความตรงตามสภาพของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยพิจารณาความสอดคล้องระหว่างผลการวินิจฉัยโดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA กับวิธีการคิดออกเสียงโดยใช้ Cohen's kappa จากการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของตัวอย่างวิจัย จำนวน 36 คน โดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA พบว่า ตัวอย่างวิจัยมีโปรไฟล์คุณลักษณะ จำนวน 14 โปรไฟล์ ในขณะที่การวินิจฉัยโดยใช้วิธีการคิดออกเสียง พบว่า ตัวอย่างวิจัยมีโปรไฟล์คุณลักษณะ จำนวน 13 โปรไฟล์ ทั้งนี้ การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ทั้ง 2 วิธี ระบุโปรไฟล์คุณลักษณะของตัวอย่างวิจัยสอดคล้องกัน จำนวน 31 คน และระบุไม่สอดคล้องกัน จำนวน 5 คน ดังตาราง 4.32 โดยมีค่า Cohen's kappa เท่ากับ 0.841 นั่นคือ ผลการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA มีความสอดคล้องสูงมากกับผลการวินิจฉัยโดยใช้วิธีการคิดออกเสียง

ตาราง 4.32

ผลการวินิจฉัยโมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยไม่เดล sequential bug-G-DINA และวิธีการคิดออกเสียง

ไปรไฟล์คุณลักษณะจากผลการวินิจฉัยโดยใช้วิธีการคิดออกเสียง															
	000100	001010	010011	010100	010101	011010	011011	011110	011111	101111	110010	111011	111111	จำนวน	
000100	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
001010	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	
010000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
010011	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
010100	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	
010101	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
010110	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
011011	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	
011100	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
011111	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	
101111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
110010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
111011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	
111111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	
จำนวน	1	1	2	4	2	1	2	1	7	1	1	4	9	36	
ไปรไฟล์คุณลักษณะจากผลการวินิจฉัยโดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA															

2.4 ผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยดัชนี CSI ต่ำที่สุด และสูงที่สุด

จากการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด ได้แก่ โมเดลที่ 2 ($M_{CSI} = 0.609$) ประกอบด้วยข้อสอบ 15 ข้อ และโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI สูงที่สุด ได้แก่ โมเดลที่ 16 ($M_{CSI} = 0.796$) ประกอบด้วยข้อสอบ 15 ข้อ นั่นคือ ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่ 16 มีความคล้ายคลึงกันมากกว่าข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่ 2 เนื่องจากมีค่าดัชนี CSI มากกว่า ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ข้อสอบทั้ง 4 ค่า ของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่ 2 มีค่าไม่แตกต่างจากค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบข้อที่ 2 จากแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบทั้ง 4 ค่า ได้แก่ (1) ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 1 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด $[S_j(h=1 | \alpha_{j,h}^* = 0)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.890 และ 0.984 (2) ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 1 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 1 ทั้งหมด $[S_j(h=1 | \alpha_{j,h}^* = 1)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.110 และ 0.134 (3) ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 2 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด $[S_j(h=2 | \alpha_{j,h}^* = 0)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.771 และ 0.891 และ (4) ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 2 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 1 ทั้งหมด $[S_j(h=2 | \alpha_{j,h}^* = 1)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.000 และ 0.020 ดังตาราง 4.33

นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ข้อสอบทั้ง 4 ค่า ของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่ 16 มีค่าไม่แตกต่างจากค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบข้อที่ 16 จากแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบทั้ง 4 ค่า ได้แก่ (1) ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 1 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด $[S_j(h=1 | \alpha_{j,h}^* = 0)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.846 และ 0.923 (2) ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 1 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 1 ทั้งหมด $[S_j(h=1 | \alpha_{j,h}^* = 1)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.052 และ 0.114 (3) ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 2 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด $[S_j(h=2 | \alpha_{j,h}^* = 0)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.750 และ 0.909 และ (4) ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 2 สำหรับผู้สอบ

ที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 1 ทั้งหมด [$S_j(h = 2 | \alpha_{yjh}^* = 1)$] มีค่าเท่ากับ 0.000 ทั้งหมด
ดังตาราง 4.34

ตาราง 4.33

ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่ 2 ซึ่งเป็นโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด

ข้อสอบ	รายการคำตอบ 1		รายการคำตอบ 2	
	$S_j(h = 1 \alpha_{yjh}^* = 0)$	$S_j(h = 1 \alpha_{yjh}^* = 1)$	$S_j(h = 2 \alpha_{yjh}^* = 0)$	$S_j(h = 2 \alpha_{yjh}^* = 1)$
1	0.953	0.132	0.808	0.000
2	0.968	0.127	0.859	0.000
3	0.921	0.134	0.852	0.000
4	0.969	0.132	0.859	0.000
5	0.984	0.119	0.782	0.000
6	0.969	0.110	0.859	0.020
7	0.953	0.116	0.873	0.000
8	0.969	0.119	0.859	0.000
9	0.890	0.132	0.865	0.000
10	0.968	0.114	0.794	0.000
11	0.968	0.114	0.843	0.000
12	0.953	0.116	0.841	0.000
13	0.937	0.121	0.771	0.000
14	0.968	0.121	0.876	0.000
15	0.952	0.117	0.891	0.000
ข้อ 2 ฉบับที่ 1	0.959	0.122	0.852	0.000

ผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ

$$S_j(h = 1 | \alpha_{yjh}^* = 0) : t(14) = -0.688, p = .503$$

$$S_j(h = 1 | \alpha_{yjh}^* = 1) : t(14) = -0.198, p = .846$$

$$S_j(h = 2 | \alpha_{yjh}^* = 0) : t(14) = -1.054, p = .310$$

$$S_j(h = 2 | \alpha_{yjh}^* = 1) : t(14) = 1.000, p = .334$$

ตาราง 4.34

ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่ 16 ซึ่งเป็นโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI สูงที่สุด

ข้อสอบ	รายการคำตอบ 1		รายการคำตอบ 2	
	$S_j(h = 1 \alpha_{ijh}^* = 0)$	$S_j(h = 1 \alpha_{ijh}^* = 1)$	$S_j(h = 2 \alpha_{ijh}^* = 0)$	$S_j(h = 2 \alpha_{ijh}^* = 1)$
1	0.846	0.113	0.818	0.000
2	0.923	0.089	0.750	0.000
3	0.923	0.101	0.833	0.000
4	0.923	0.052	0.833	0.000
5	0.923	0.071	0.833	0.000
6	0.923	0.080	0.750	0.000
7	0.923	0.089	0.750	0.000
8	0.923	0.114	0.833	0.000
9	0.923	0.077	0.833	0.000
10	0.923	0.111	0.833	0.000
11	0.923	0.058	0.833	0.000
12	0.846	0.058	0.818	0.000
13	0.923	0.095	0.750	0.000
14	0.846	0.074	0.818	0.000
15	0.846	0.077	0.909	0.000
ข้อ 16	0.887	0.094	0.824	0.000

ฉบับที่ 1

ผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ

$$S_j(h = 1 | \alpha_{ijh}^* = 0) : t(14) = 1.700, p = .111$$

$$S_j(h = 1 | \alpha_{ijh}^* = 1) : t(14) = -1.934, p = .074$$

$$S_j(h = 2 | \alpha_{ijh}^* = 0) : t(14) = -0.959, p = .354$$

$$S_j(h = 2 | \alpha_{ijh}^* = 1) : \text{ไม่สามารถคำนวณค่า } t \text{ ได้ เนื่องจากมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน}$$

เท่ากับ 0

ตอนที่ 3 ผลการวินิจฉัยและเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีโน้ตส์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ผลการวิจัยตอนที่ 3 แบ่งเป็น 4 ประเด็น ได้แก่ (1) สัดส่วนของโปรไฟล์คุณลักษณะ (2) สัดส่วนของการมีโน้ตส์ที่คลาดเคลื่อนในแต่ละคุณลักษณะ (3) ผลการเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีโน้ตส์ที่คลาดเคลื่อนแต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนเพศชายและเพศหญิง และ (4) ผลการเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีโน้ตส์ที่คลาดเคลื่อนแต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 สัดส่วนของโปรไฟล์คุณลักษณะ

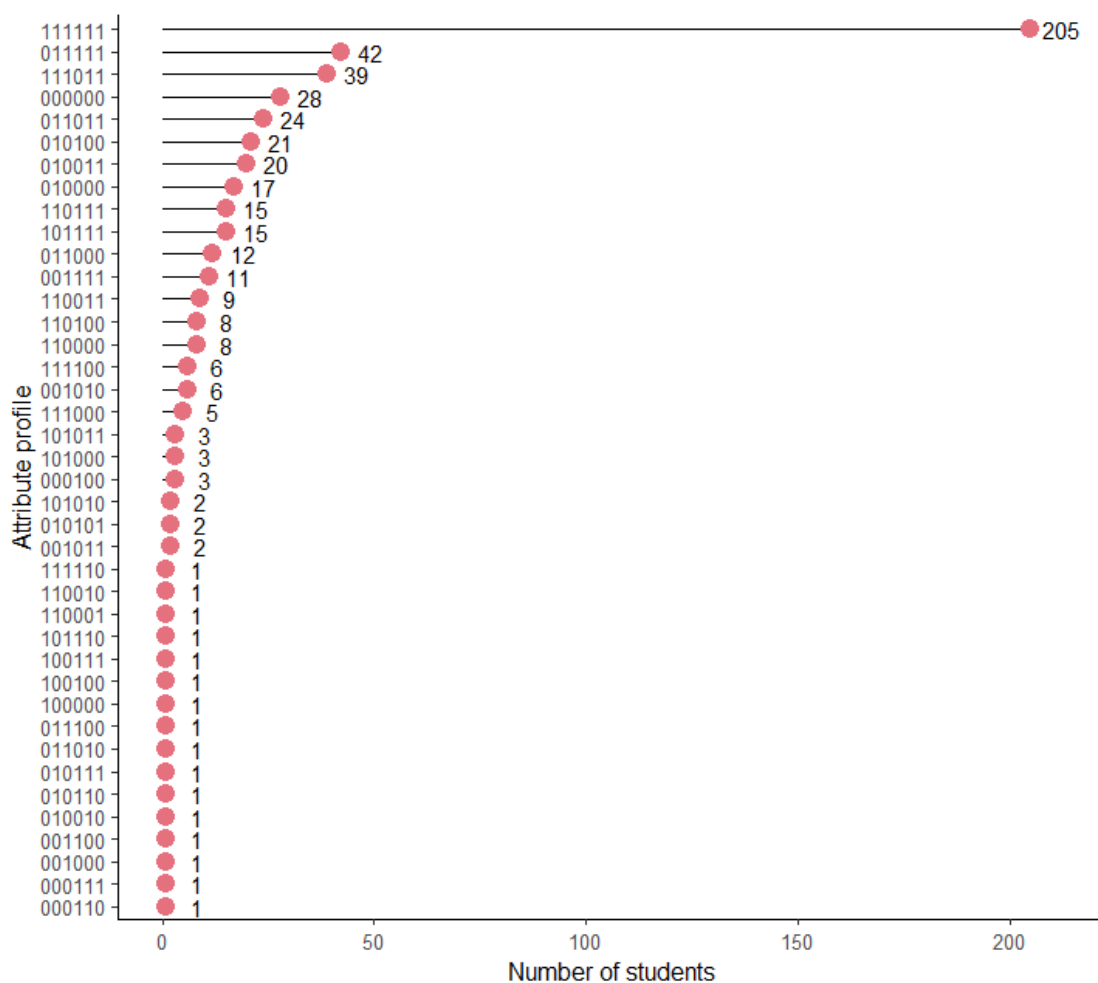
แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์วัดคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ทั้งสิ้น 6 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก จึงมีโปรไฟล์คุณลักษณะที่เป็นไปได้ทั้งหมด จำนวน 64 โปรไฟล์ จากผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ผู้สอบของโมเดล sequential bug-G-DINA พบว่า มีโปรไฟล์คุณลักษณะ จำนวน 42 โปรไฟล์ ที่มีความน่าจะเป็นมากกว่า 0.001 และจากการพิจารณาโปรไฟล์คุณลักษณะที่เกิดขึ้นจริงของนักเรียนแต่ละคน พบว่า มีโปรไฟล์คุณลักษณะ จำนวน 40 โปรไฟล์ โดยมีจำนวนนักเรียนแต่ละโปรไฟล์คุณลักษณะอยู่ระหว่าง 1 (ร้อยละ 0.192) และ 205 คน (ร้อยละ 39.272) ดังตาราง 4.35 และภาพ 4.56 ทั้งนี้ นักเรียนส่วนมาก (ร้อยละ 39.272) มีโปรไฟล์คุณลักษณะ 111111 นั่นคือ นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ทั้ง 6 คุณลักษณะ และมีนักเรียนในโปรไฟล์คุณลักษณะอื่นค่อนข้างน้อย ซึ่งมีจำนวนลดหลั่นกันไป โดยสามารถแบ่งโปรไฟล์คุณลักษณะที่พบออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 โปรไฟล์คุณลักษณะหลัก จำนวน 12 โปรไฟล์ เป็นโปรไฟล์ของนักเรียนส่วนใหญ่ ซึ่งมีจำนวนนักเรียนในแต่ละโปรไฟล์มากกว่า 10 คน และกลุ่มที่ 2 โปรไฟล์คุณลักษณะรอง จำนวน 28 โปรไฟล์ เป็นโปรไฟล์คุณลักษณะที่พบน้อย ซึ่งมีนักเรียนในแต่ละโปรไฟล์น้อยกว่า 10 คน

ตาราง 4.35

โปรไฟล์คุณลักษณะของตัวอย่างวิจัยที่ได้จากการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่อง
แรงและกฎการเคลื่อนที่

โปรไฟล์			โปรไฟล์		
คุณลักษณะ	ความน่าจะเป็น	จำนวน (ร้อยละ)	คุณลักษณะ	ความน่าจะเป็น	จำนวน (ร้อยละ)
111111	0.387	205 (39.272)	010010	0.003	1 (0.192)
111011	0.081	39 (7.471)	010111	0.003	1 (0.192)
011111	0.080	42 (8.046)	111110	0.003	1 (0.192)
000000	0.054	28 (5.364)	100000	0.002	1 (0.192)
011011	0.043	24 (4.598)	001000	0.002	1 (0.192)
010100	0.040	21 (4.023)	100100	0.002	1 (0.192)
010011	0.037	20 (3.831)	001100	0.002	1 (0.192)
010000	0.033	17 (3.257)	000110	0.002	1 (0.192)
101111	0.028	15 (2.874)	110010	0.002	1 (0.192)
110111	0.026	15 (2.874)	110001	0.002	1 (0.192)
011000	0.023	12 (2.299)	011100	0.002	1 (0.192)
001111	0.020	11 (2.107)	010110	0.002	1 (0.192)
110100	0.017	8 (1.533)	000111	0.002	1 (0.192)
110011	0.017	9 (1.724)	101110	0.002	1 (0.192)
110000	0.015	8 (1.533)	100111	0.002	1 (0.192)
111100	0.012	6 (1.149)	011010	0.001	1 (0.192)
001010	0.011	6 (1.149)	001101	0.001	0 (0.000)
111000	0.009	5 (0.958)	011110	0.001	0 (0.000)
101011	0.008	3 (0.575)			
000100	0.006	3 (0.575)			
101000	0.006	3 (0.575)			
101010	0.004	2 (0.383)			
010101	0.004	2 (0.383)			
001011	0.004	2 (0.383)			

หมายเหตุ คุณลักษณะที่มุ่งวัดในโปรไฟล์คุณลักษณะเรียงลำดับ ดังนี้ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ



หมายเหตุ คุณลักษณะที่ฝังไว้ในโปรไฟล์คุณลักษณะเรียงลำดับ ดังนี้ (1) แรงลัพท์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ

ภาพ 4.56 จำนวนนักเรียนในแต่ละโปรไฟล์คุณลักษณะ

จากการพิจารณาโปรไฟล์คุณลักษณะหลักซึ่งเป็นโปรไฟล์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการพิจารณาความถูกต้องของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เพิ่มเติม พบว่า การมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 4 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ไม่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะอื่นๆ นั่นคือ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ไม่มีความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นกับคุณลักษณะอื่น ซึ่งช่วยสนับสนุนความถูกต้องของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ สามารถพิจารณาได้จากโปรไฟล์คุณลักษณะ 111011, 011011, 010100 และ 010011

นักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 มักเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 นั่นคือ หากนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 จะก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ซึ่งช่วยสนับสนุนความถูกต้องของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ สามารถพิจารณาได้จากโปรไฟล์คุณลักษณะ 111011, 011111 และ 011011 อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณาโปรไฟล์คุณลักษณะของนักเรียน พบว่า ยังไม่แน่ชัดว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์จะก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เนื่องจากนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 มีแนวโน้มที่จะมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องเกี่ยวกับแรงลัพธ์

นอกจากนี้ยังพบว่า นักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 5 แรงเสียดทาน และคุณลักษณะที่ 6 แรงโน้มถ่วงของโลก มักมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และคุณลักษณะที่ 3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 นั่นคือ หากนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 และ 3 จะก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 5 และ 6 ซึ่งช่วยสนับสนุนความถูกต้องของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ สามารถพิจารณาได้จากโปรไฟล์คุณลักษณะ 111011, 011111 และ 011011

3.2 สัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแต่ละคุณลักษณะ

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีจำนวนมากกว่านักเรียนที่มีมโนทัศน์ถูกต้องทุกคุณลักษณะ โดยนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 มากที่สุด (ร้อยละ 84.483) รองลงมา คือ คุณลักษณะที่ 5 แรงเสียดทาน (ร้อยละ 77.203) คุณลักษณะที่ 6 แรงโน้มถ่วงของโลก (ร้อยละ 74.904) คุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (ร้อยละ 72.989) คุณลักษณะที่ 4 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (ร้อยละ 64.751) และคุณลักษณะที่ 1 แรงลัพธ์ (ร้อยละ 62.261) ตามลำดับ ดังตาราง 4.36

ตาราง 4.36

สัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ในแต่ละ
คุณลักษณะ

คุณลักษณะ	มโนทัศน์ถูกต้อง		มโนทัศน์คลาดเคลื่อน	
	ความน่าจะเป็น	จำนวน (ร้อยละ)	ความน่าจะเป็น	จำนวน (ร้อยละ)
แรงลัพธ์	0.377	197 (37.739)	0.623	325 (62.261)
กฎข้อที่ 1	0.157	81 (15.517)	0.843	441 (84.483)
กฎข้อที่ 2	0.269	141 (27.011)	0.731	381 (72.989)
กฎข้อที่ 3	0.358	184 (35.249)	0.642	338 (64.751)
แรงเสียดทาน	0.230	119 (22.797)	0.770	403 (77.203)
แรงโน้มถ่วงของโลก	0.255	131 (25.096)	0.745	391 (74.904)

จากการพิจารณาผลการตอบแบบสอบถามวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นแบบสอบถามสร้างคำตอบ พบว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่พบมากในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายมีจำนวน 16 ประเด็น จากทั้งหมด 27 ประเด็น ซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ (1) แรงลัพธ์ จำนวน 1 ประเด็น จากทั้งหมด 2 ประเด็น (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 จำนวน 2 ประเด็น จากทั้งหมด 3 ประเด็น (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จำนวน 4 ประเด็น จากทั้งหมด 9 ประเด็น (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 จำนวน 3 ประเด็น จากทั้งหมด 5 ประเด็น (5) แรงเสียดทาน จำนวน 3 ประเด็น จากทั้งหมด 4 ประเด็น และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก จำนวน 3 ประเด็น จากทั้งหมด 4 ประเด็น ดังรายละเอียดในตาราง 4.37

ตาราง 4.37

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่พบบ่อยในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

คุณลักษณะ	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่
1. แรงลัพธ์	1) วัตถุจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแรงที่มีขนาดมากกว่า
2. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1	2) วัตถุเก็บสะสมแรงกระทำในรูปของแรงผลักดัน (impetus) ซึ่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้หลังหยุดออกแรงกระทำ 3) วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่องเพราะมีแรงผลักดัน (impetus) กระทำต่อวัตถุ
3. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2	4) วัตถุจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อหยุดออกแรงกระทำ 5) ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ จะมีแรงกระทำต่อวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่เสมอ 6) เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุที่วางอยู่นิ่ง จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ 7) วัตถุที่เคลื่อนที่ จะมีแรงกระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ
4. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3	8) แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุขึ้นเดียวกัน 9) เมื่อพิจารณาแรงกระทำระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น พบว่าวัตถุที่มีมวลมาก จะออกแรงกระทำมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย 10) เมื่อพิจารณาแรงกระทำระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น พบว่าวัตถุที่เคลื่อนที่เร็ว จะออกแรงกระทำมากกว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ช้าหรือวัตถุที่อยู่นิ่ง
5. แรงเสียดทาน	11) มีแรงเสียดทานกระทำต่อวัตถุ เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ 12) แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอ 13) แรงเสียดทานสถิตมีค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตคูณกับแรงแนวฉาก (normal force)
6. แรงโน้มถ่วงของโลก	14) เมื่อพิจารณาการตกอย่างเสรี พบว่าวัตถุที่มีมวลมากมีความเร่งมากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย หรือวัตถุที่มีมวลมากตกเร็วกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย 15) แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าคงที่ทุกตำแหน่ง 16) วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อแรงผลักดันหายไป หรือมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งเท่านั้น

3.3 ผลการเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแต่ละคุณลักษณะ ระหว่างนักเรียนเพศชายและเพศหญิง

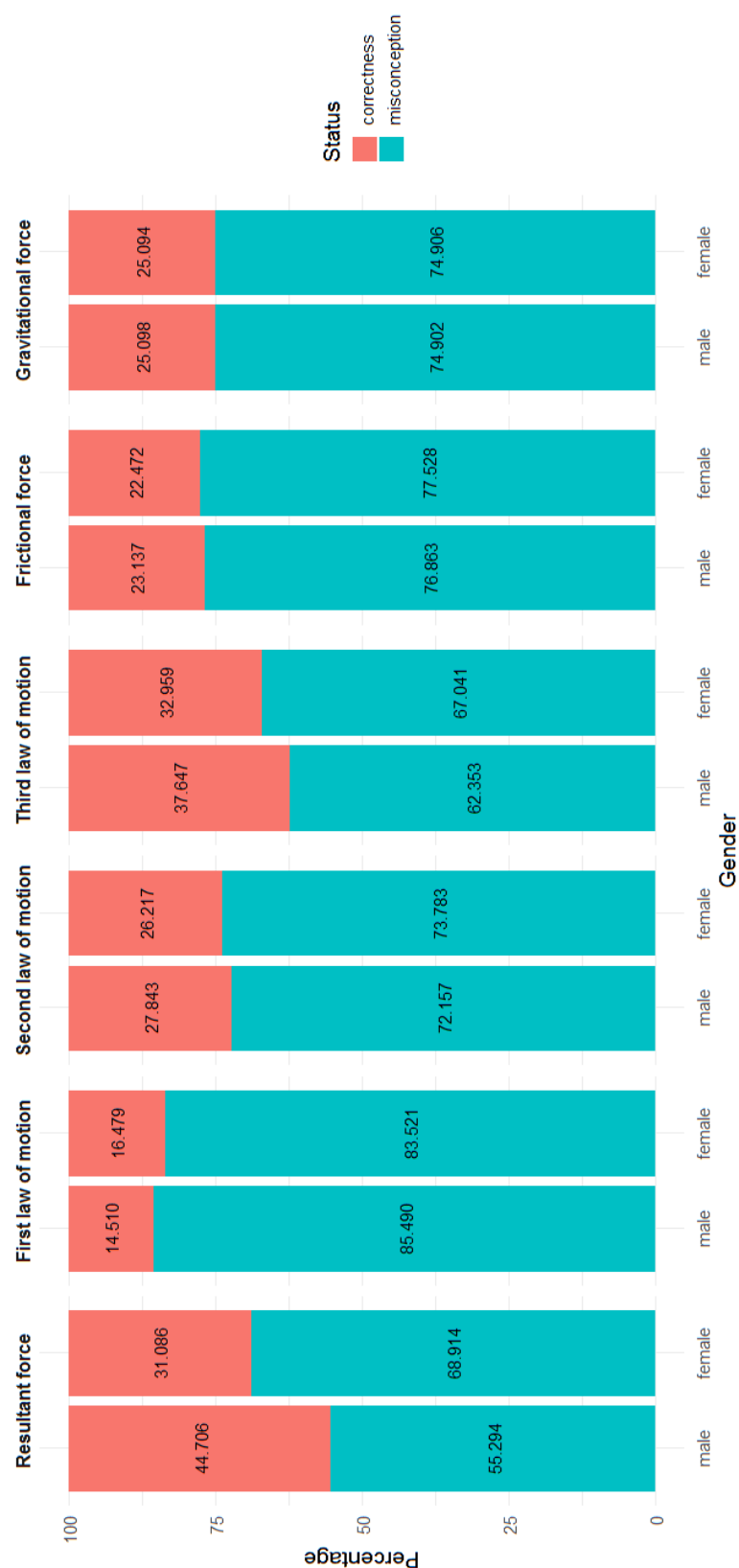
ผู้วิจัยเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนเพศชายและเพศหญิงโดยใช้สถิติทดสอบไค-สแควร์ ผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนเพศชายมีสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 1 แรงลัพธ์ น้อยกว่านักเรียนเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, $\chi^2(1, N = 522) = 10.297$, $p = .001$ ส่วนอีก 5 คุณลักษณะ นักเรียนเพศชายและเพศหญิงมีสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยจำนวนนักเรียนแต่ละเพศที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และมโนทัศน์ถูกต้องในแต่ละคุณลักษณะแสดงดังตาราง 4.38 และภาพ 4.57

ตาราง 4.38

จำนวนนักเรียนเพศชายและเพศหญิงที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และมีมโนทัศน์ถูกต้องจำแนกตาม
คุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

คุณลักษณะ	เพศ	มโนทัศน์ถูกต้อง	มโนทัศน์คลาดเคลื่อน
		n (%)	n (%)
แรงลัพธ์	เพศชาย	114 (44.706)	141 (55.294)
	เพศหญิง	83 (31.086)	184 (68.914)
	รวม	197 (37.739)	325 (62.261)
$\chi^2(1, N = 522) = 10.297, p = .001$			
กฎข้อที่ 1	เพศชาย	37 (14.510)	218 (85.490)
	เพศหญิง	44 (16.479)	233 (83.521)
	รวม	81 (15.517)	441 (84.483)
$\chi^2(1, N = 522) = 0.386, p = .534$			
กฎข้อที่ 2	เพศชาย	71 (27.843)	184 (72.157)
	เพศหญิง	70 (26.217)	197 (73.783)
	รวม	141 (27.011)	381 (72.989)
$\chi^2(1, N = 522) = 0.175, p = .676$			
กฎข้อที่ 3	เพศชาย	96 (37.647)	159 (62.353)
	เพศหญิง	88 (32.959)	179 (67.041)
	รวม	184 (35.249)	338 (64.751)
$\chi^2(1, N = 522) = 1.256, p = .262$			
แรงเสียดทาน	เพศชาย	59 (23.137)	196 (76.863)
	เพศหญิง	60 (22.472)	207 (77.528)
	รวม	119 (22.797)	403 (77.203)
$\chi^2(1, N = 522) = 0.033, p = .856$			
แรงโน้มถ่วงของโลก	เพศชาย	64 (25.098)	191 (74.902)
	เพศหญิง	67 (25.094)	200 (74.096)
	รวม	131 (25.096)	391 (74.094)
$\chi^2(1, N = 522) = 0.000, p = .999$			

หมายเหตุ นักเรียนเพศชาย จำนวน 255 คน (ร้อยละ 48.851) เพศหญิง จำนวน 267 คน (ร้อยละ 51.149)



ภาพ 4.57 จำนวนนักเรียนเพศชายและเพศหญิงที่มีแนวโน้มทัศนคติที่คลาดเคลื่อนและแนวโน้มถูกต้องจำแนกตามคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

3.4 ผลการเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกัน

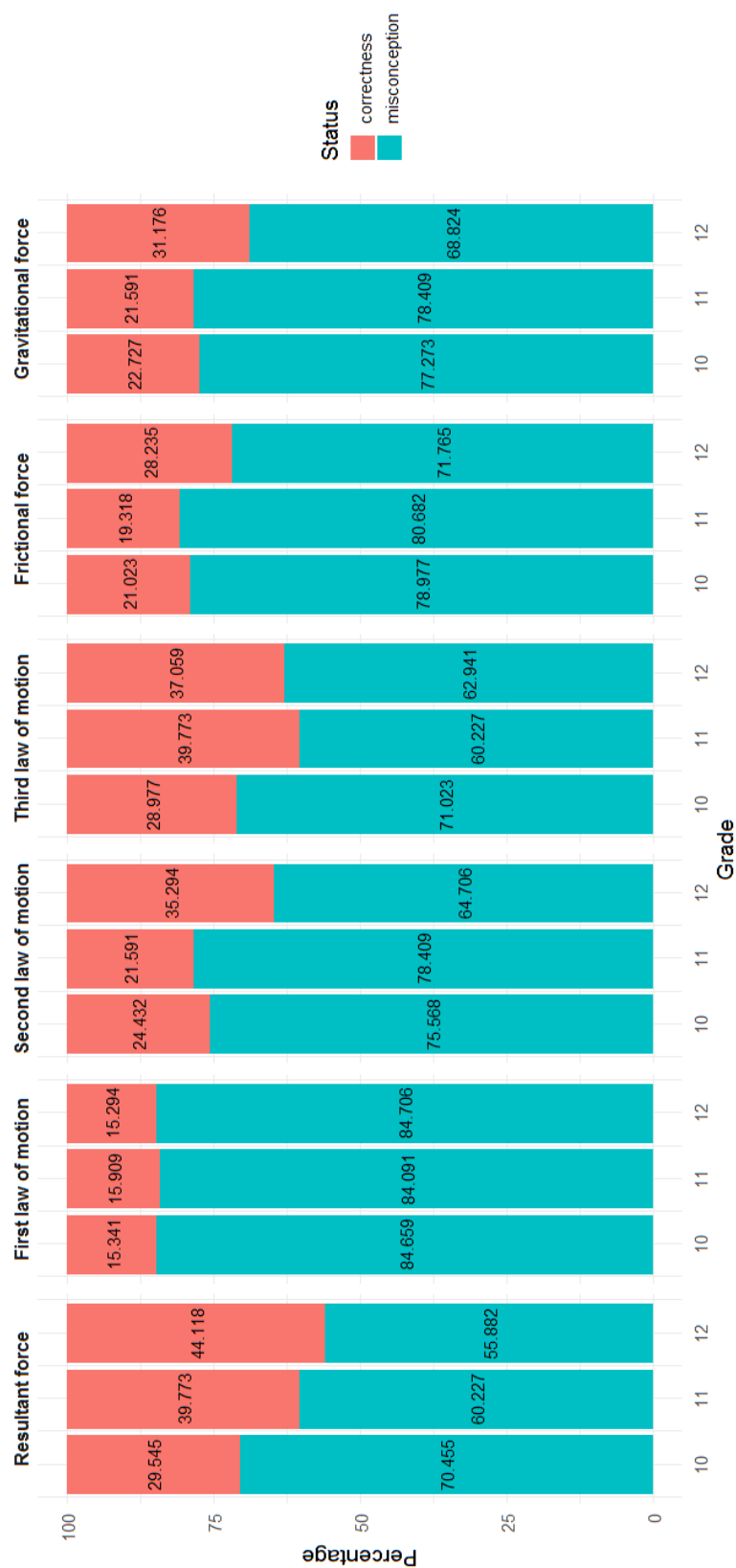
ผู้วิจัยเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันโดยใช้สถิติทดสอบไค-สแควร์ ผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันมีสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 1 แรงลัพธ์ ($\chi^2(2, N = 522) = 8.282, p = .016$) และคุณลักษณะที่ 3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ($\chi^2(2, N = 522) = 9.132, p = .010$) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์น้อยที่สุด รองลงมา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ตามลำดับ ส่วนคุณลักษณะที่ 3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน รองลงมา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามลำดับ โดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ 5 มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่า นักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันมีสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะอื่นอีก 4 คุณลักษณะ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยจำนวนนักเรียนแต่ละระดับชั้นที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และมโนทัศน์ถูกต้องในแต่ละคุณลักษณะแสดงดังตาราง 4.39 และภาพ 4.58

ตาราง 4.39

จำนวนนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และมโนทัศน์ถูกต้องจำแนกตามคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่และระดับชั้น

คุณลักษณะ	ชั้น	มโนทัศน์ถูกต้อง	มโนทัศน์คลาดเคลื่อน
		n (%)	n (%)
แรงลัพธ์	ม.4	52 (29.545)	124 (70.455)
	ม.5	70 (39.773)	106 (60.227)
	ม.6	75 (44.118)	95 (55.882)
	รวม	197 (37.739)	325 (62.261)
$\chi^2(2, N = 522) = 8.282, p = .016$			
กฎข้อที่ 1	ม.4	27 (15.341)	149 (84.659)
	ม.5	28 (15.909)	148 (84.091)
	ม.6	26 (15.294)	144 (84.706)
	รวม	81 (15.517)	441 (84.483)
$\chi^2(2, N = 522) = 0.031, p = .984$			
กฎข้อที่ 2	ม.4	43 (24.432)	133 (75.568)
	ม.5	38 (21.591)	138 (78.409)
	ม.6	60 (35.294)	110 (64.706)
	รวม	141 (27.011)	381 (72.989)
$\chi^2(2, N = 522) = 9.132, p = .010$			
กฎข้อที่ 3	ม.4	51 (28.977)	125 (71.023)
	ม.5	70 (39.773)	106 (60.227)
	ม.6	63 (37.059)	107 (62.941)
	รวม	184 (35.249)	338 (64.751)
$\chi^2(2, N = 522) = 4.855, p = .088$			
แรงเสียดทาน	ม.4	37 (21.023)	139 (78.977)
	ม.5	34 (19.318)	142 (80.682)
	ม.6	48 (28.235)	122 (71.765)
	รวม	119 (22.797)	403 (77.203)
$\chi^2(2, N = 522) = 4.382, p = .112$			
แรงโน้มถ่วงของโลก	ม.4	40 (22.727)	136 (77.273)
	ม.5	38 (21.591)	138 (78.409)
	ม.6	53 (31.176)	117 (68.824)
	รวม	131 (25.096)	391 (74.094)
$\chi^2(2, N = 522) = 5.019, p = .081$			

หมายเหตุ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 176 คน (ร้อยละ 33.716) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 176 คน (ร้อยละ 33.716) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 170 คน (ร้อยละ 32.567)



ภาพ 4.58 จำนวนนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และมโนทัศน์ถูกต้องจำแนกตามคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่และระดับชั้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา มีวัตถุประสงค์การวิจัยหลัก 3 ข้อ ได้แก่ (1) เพื่อพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (2) เพื่อพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และ (3) เพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนที่มีเพศและเรียนในระดับชั้นที่ต่างกัน การวิจัยแบ่งเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 การพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และระยะที่ 2 การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

การวิจัยระยะที่ 1 มีรายละเอียดโดยสรุป ดังนี้ ผู้ให้ข้อมูล คือ (1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 21 ท่าน และ (2) ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา จำนวน 3 ท่าน เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วย (1) แบบประเมินโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติและโมเดลข้อสอบ และ (2) แบบตรวจสอบความตรงของข้อสอบ ผู้วิจัยดำเนินการวิจัย ดังนี้ (1) สังเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (2) จัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เพื่อกำหนดเป็นคุณลักษณะที่มุ่งวัด (3) รวบรวมรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด (4) สร้างโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ (5) ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของการกำหนดคุณลักษณะที่มุ่งวัด การรวบรวมรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด และโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยใช้การสัมภาษณ์ (6) สร้างเมทริกซ์คิวโดยใช้ข้อมูลจากโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ (7) ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษาตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของเมทริกซ์คิวโดยใช้การสัมภาษณ์ (8) สร้างโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติให้สอดคล้องกับเมทริกซ์คิวที่แก้ไขตาม

ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ (9) สร้างโมเดลข้อสอบให้สอดคล้องกับโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ (10) ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ประเมินคุณภาพของโมเดลเชิงพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบโดยใช้แบบประเมินโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติและโมเดลข้อสอบ และ (11) ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยข้อสอบแต่ละข้อ ซึ่งเป็นตัวอย่างข้อสอบที่สร้างขึ้นจากโมเดลข้อสอบแต่ละโมเดลโดยใช้แบบตรวจสอบความตรงของข้อสอบเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงเมทริกซ์คิว การวิจัยระยะที่ 1 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา ความถี่ และสัดส่วนความสอดคล้อง

การวิจัยระยะที่ 2 มีรายละเอียดโดยสรุป ดังนี้ ประชากรวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนมัธยมศึกษาสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 และเขต 2 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน จำนวน 107,911 คน โดยมีตัวอย่างวิจัย จำนวน 522 คน ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน ส่วนผู้ให้ข้อมูลสำหรับประเมินคุณภาพของระบบ และคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา จำนวน 4 ท่าน (2) ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 ท่าน และ (3) ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 20 คน เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วย (1) แบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ (2) แบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ (3) แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ (4) แบบบันทึกการคิดออกเสียง และ (5) รูปปริศนารวให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัย

การวิจัยระยะที่ 2 ผู้วิจัยดำเนินการวิจัย ดังนี้ (1) ออกแบบระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ (2) จัดทำคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ (3) ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศประเมินคุณภาพของระบบ และคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้แบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และแบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ (4) ทดลองใช้ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และคู่มือการใช้งานกับครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายเพื่อเก็บข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้โดยใช้การสัมภาษณ์ (5) ใช้ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์สร้างแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 โดยสุ่มข้อสอบที่สร้างจากโมเดลข้อสอบ

มาโมเดลละ 1 ข้อ และสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 2 โดยสุ่มข้อสอบที่สร้างจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด และโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI สูงที่สุด มาโมเดลละ 15 ข้อ รวม 30 ข้อ (6) ทดลองใช้แบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 กับตัวอย่างขนาดเล็ก จำนวน 36 คน โดยใช้วิธีการคิดออกเสียง เพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาปรับแก้เมทริกซ์คิว และปรับปรุงโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ พร้อมทั้งตรวจสอบความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ภาษาในข้อสอบ (7) นำแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 และ 2 ไปทดสอบกับตัวอย่างวิจัย โดยจัดสอบ 2 ครั้ง ภายในสัปดาห์เดียวกัน และตรวจให้คะแนนโดยใช้รูปกริดตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจัยโดยผู้วิจัย เพื่อนำไปประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบโดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ และตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น และ (8) วินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของตัวอย่างวิจัย จำนวน 36 คน โดยใช้วิธีการคิดออกเสียง และบันทึกผลการวินิจัยลงในแบบบันทึกการคิดออกเสียง

การวิจัยระยะที่ 2 มีการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้ (1) วิเคราะห์ความคล้ายของข้อสอบในแต่ละโมเดลข้อสอบโดยใช้ดัชนี CSI พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี CSI ของแต่ละโมเดลข้อสอบ (2) วิเคราะห์คุณภาพของระบบและคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้ความถี่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (3) วิเคราะห์เนื้อหาจากการสัมภาษณ์ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายเกี่ยวกับข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้ระบบ และคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ (4) เปรียบเทียบความสอดคล้องของโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 ได้แก่ โมเดล sequential bug-G-DINA, sequential bug-DINA และ sequential bug-DINO โดยพิจารณาจากดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสมบูรณ์ ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมพัทธ์ และ likelihood ratio test (5) ตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยใช้วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้นร่วมกับการพิจารณา mesa plot (6) ประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 และ 2 (7) วิเคราะห์คุณภาพของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1 ได้แก่ ดัชนีความเที่ยงของการจำแนกสำหรับแบบสอบ และจำแนกตามคุณลักษณะ ดัชนีความตรงของการจำแนก

สำหรับแบบสอบ และจำแนกตามคุณลักษณะ ความตรงเชิงโครงสร้าง และความตรงตามสภาพ (8) เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด และโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI สูงที่สุด ซึ่งเป็นข้อสอบในแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 2 โดยใช้สถิติทดสอบทีสำหรับตัวอย่าง 1 กลุ่ม (9) ประมวลค่าพารามิเตอร์ผู้สอบ ได้แก่ โปรไฟล์คุณลักษณะ และสถานะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนทั้ง 6 คุณลักษณะ และ (10) เปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละคุณลักษณะระหว่างนักเรียนที่มีเพศและเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันโดยใช้สถิติทดสอบไค-สแควร์

สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิจัยออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และตอนที่ 3 ผลการวินิจัยและเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ผลการวิจัยแต่ละตอนสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ สรุปได้ดังนี้

1) โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แสดงความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นระหว่าง 6 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก โมเดลพุทธิปัญญาที่ผ่านการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญและวิธีการคิดออกเสียงสามารถอธิบายได้ดังนี้ นักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 จะเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เมื่อนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จะทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ไม่มีความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นกับคุณลักษณะอื่นๆ นอกจากนี้ เมทริกซ์ควิที่ใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบวินิจัยสร้างโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะตามโมเดลพุทธิปัญญา

เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และมีการปรับเมทริกซ์คิวให้มีความเหมาะสมมากขึ้น โดยเพิ่มเวกเตอร์คิวที่วัดเพียง 1 คุณลักษณะ และปรับเวกเตอร์คิวที่วัดคุณลักษณะตั้งแต่ 4 คุณลักษณะ ขึ้นไป ให้เหลือไม่เกิน 4 คุณลักษณะ อีกทั้ง มีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิว จำนวน 3 วิธี ได้แก่ การตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ วิธีการคิดออกเสียง และการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น ร่วมกับการพิจารณา mesa plot เมทริกซ์คิวที่ผ่านการตรวจสอบความตรงวัดคุณลักษณะเฉลี่ย จำนวน 2,500 คุณลักษณะ ($SD = 1.295$) ต่อข้อสอบ 1 ข้อ โดยเมทริกซ์คิวที่ใช้ในการวิเคราะห์ ผลการตอบข้อสอบเป็นเมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัด เนื่องจากแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์มีการตรวจให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า

2) โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ (1) คุณลักษณะที่มุ่งวัด (2) แหล่งข้อมูล และ (3) ลักษณะที่สำคัญของแหล่งข้อมูล ส่วนโมเดลข้อสอบที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ คำถาม เฉลย และรูปภาพ โดยมีโมเดลพุทธิปัญญา สำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบ จำนวน 18 คู่โมเดล จากผลการประเมินคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอน ฟิสิกส์ ซึ่งมีประเด็นในการประเมิน 3 ประเด็น ได้แก่ เนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ พบว่าโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบทุกคู่มีคุณภาพแต่ละด้านอยู่ในระดับ 3 (ยอมรับ, แก้ไขเล็กน้อย) ขึ้นไป โดยโมเดลแต่ละคู่ส่วนใหญ่มีคุณภาพแต่ละด้านอยู่ในระดับ 4 (ยอมรับ) นอกจากนี้ โมเดลข้อสอบ จำนวน 18 โมเดล สามารถสร้างข้อสอบได้จำนวน 320 ถึง 3,200 ข้อ ($M = 976.333$, $SD = 918.609$) อีกทั้งมีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI อยู่ระหว่าง 0.609 และ 0.796 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี CSI อยู่ระหว่าง 0.101 และ 0.280

2. ผลการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ สรุปได้ดังนี้

1) ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบที่ดำเนินการในรูปแบบฐานข้อมูลบนเครือข่าย อินเทอร์เน็ตแบบออนไลน์ พัฒนาโดยใช้ Laravel ซึ่งเป็นกรอบเว็บแอปพลิเคชันที่เขียนด้วยภาษา PHP ร่วมกับฐานข้อมูล MySQL ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีเมนูการใช้งานสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ โมเดลข้อสอบ การสร้างข้อสอบ และการสร้างแบบสอบ โดยแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การใช้งานสำหรับผู้ใช้ และการใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีคุณภาพด้าน

การใช้ประโยชน์ ความเป็นไปได้ ความเหมาะสม และความถูกต้อง อยู่ในระดับมากที่สุด นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังพัฒนาคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง กลศาสตร์ สำหรับเป็นแนวทางในการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ คู่มือการใช้งานมี องค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ รายละเอียดของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และการใช้งานระบบ สร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยมีคู่มือการใช้งานระบบ 2 ฉบับ ได้แก่ คู่มือการใช้งานระบบสำหรับผู้ใช้ และคู่มือการใช้งานระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ คู่มือการใช้งานมีคุณภาพด้านการใช้ประโยชน์ และด้าน ความเป็นไปได้ อยู่ในระดับมาก อีกทั้ง มีคุณภาพด้านความเหมาะสม และด้านความถูกต้อง อยู่ใน ระดับมากที่สุด ทั้งนี้ ผู้วิจัยใช้ข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้ในมิติการปฏิบัติงาน และมีมติความพึงพอใจ ของครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในการปรับปรุงระบบ และคู่มือการใช้งานระบบ สร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

2) โมเดล sequential bug-G-DINA มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่า โมเดล sequential bug-DINA และโมเดล sequential bug-DINO อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยพิจารณาจากดัชนีความสอดคล้องของโมเดลเชิงสัมบูรณ์ ได้แก่ SRMSR ดัชนีความสอดคล้อง ของโมเดลเชิงสัมพัทธ์ ได้แก่ $-2\log\text{-likelihood}$, AIC และ BIC รวมทั้งพิจารณาจาก likelihood ratio test

3) ผลการตรวจสอบคุณภาพรายข้อของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ พบว่าฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 1 สำหรับ ผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด $[S_j(h=1 | \alpha_{j,h}^* = 0)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.871 และ 1.000 ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 1 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูป เป็น 1 ทั้งหมด $[S_j(h=1 | \alpha_{j,h}^* = 1)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.018 และ 0.212 โดยมีข้อสอบที่ 3 ที่มีค่า ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลมากกว่า 0.2 ส่วนฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 2 สำหรับ ผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปเป็น 0 ทั้งหมด $[S_j(h=2 | \alpha_{j,h}^* = 0)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.767 และ 1.000 โดยมีข้อสอบ จำนวน 4 ข้อ ที่มีฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลน้อยกว่า 0.8 ได้แก่ ข้อที่ 6, 7, 11 และ 12 และฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลของรายการคำตอบ 2 สำหรับผู้สอบที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูป เป็น 1 ทั้งหมด $[S_j(h=2 | \alpha_{j,h}^* = 1)]$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.000 และ 0.201 โดยมีข้อสอบที่ 18 ที่มีค่า ฟังก์ชันประมวลผลข้อมูลมากกว่า 0.2 สรุปได้ว่า แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง กลศาสตร์มีคุณภาพรายข้อ เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ข้อสอบส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีเพียง

6 รายการคำตอบ จาก 36 รายการคำตอบ ที่มีค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากเกณฑ์เล็กน้อย ส่วนผลการตรวจสอบคุณภาพทั้งฉบับของแบบสอบวินิจฉัยมีนัยที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ พบว่าแบบสอบวินิจฉัยมีดัชนีความเที่ยงของการจำแนกทั้งฉบับ ($\hat{\gamma}$) เท่ากับ 0.857 และมีดัชนีความเที่ยงของการจำแนกระดับคุณลักษณะอยู่ระหว่าง 0.975 และ 0.994 อีกทั้งมีดัชนีความตรงของการจำแนกทั้งฉบับ (\hat{t}) เท่ากับ 0.950 และมีดัชนีความตรงของการจำแนกระดับคุณลักษณะอยู่ระหว่าง 0.984 และ 0.996 นอกจากนี้ยังพบว่าแบบสอบวินิจฉัยมีความตรงเชิงโครงสร้างเนื่องจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันบ่งชี้ว่าโมเดลการวัดแรงและกฎการเคลื่อนที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ อีกทั้งมีความตรงตามสภาพ เนื่องจากผลการวินิจฉัยโดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA กับวิธีการคิดออกเสียงมีความสอดคล้องสูงมาก โดยมีค่า Cohen's kappa เท่ากับ 0.841

4) ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด ได้แก่ โมเดลที่ 2 ($M_{CSI} = 0.609$) มีค่าพารามิเตอร์ข้อสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยดัชนี CSI สูงที่สุด ได้แก่ โมเดลที่ 16 ($M_{CSI} = 0.796$) มีค่าพารามิเตอร์ข้อสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เช่นเดียวกัน

3. ผลการวินิจฉัยและเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมีนัยที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ สรุปได้ดังนี้

1) จากผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ผู้สอบของโมเดล sequential bug-G-DINA ได้แก่ โปรไฟล์คุณลักษณะ พบว่านักเรียนทั้งหมดมีโปรไฟล์คุณลักษณะ จำนวน 40 โปรไฟล์ โดยนักเรียนส่วนมาก (ร้อยละ 39.272) มีโปรไฟล์คุณลักษณะ 111111 รองลงมา คือ โปรไฟล์ 011111 (ร้อยละ 8.046) โปรไฟล์ 111011 (ร้อยละ 7.471) และโปรไฟล์ 000000 (ร้อยละ 5.364) ตามลำดับ ทั้งนี้ นักเรียนที่มีมีนัยที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีจำนวนมากกว่านักเรียนที่มีมีนัยที่ถูกต้องทุกคุณลักษณะ โดยนักเรียนมีมีนัยที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 มากที่สุด (ร้อยละ 84.483) รองลงมา คือ คุณลักษณะที่ 5 แรงเสียดทาน (ร้อยละ 77.203) คุณลักษณะที่ 6 แรงโน้มถ่วงของโลก (ร้อยละ 74.904) คุณลักษณะที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (ร้อยละ 72.989) คุณลักษณะที่ 4 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (ร้อยละ 64.751) และคุณลักษณะที่ 1 แรงลัพธ์ (ร้อยละ 62.261) ตามลำดับ

2) นักเรียนเพศชายมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 1 แรงลัพท์ น้อยกว่านักเรียนเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนอีก 5 คุณลักษณะ นักเรียนเพศชายและเพศหญิงมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) นักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะที่ 1 แรงลัพท์ และคุณลักษณะที่ 3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพท์น้อยที่สุด รองลงมา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ตามลำดับ ส่วนคุณลักษณะที่ 3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน รองลงมา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามลำดับ โดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ 5 มีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ใกล้เคียงกัน ส่วนอีก 4 คุณลักษณะ นักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งการอภิปรายผลการวิจัยออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 การอภิปรายผลการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ตอนที่ 2 การอภิปรายผลการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ และตอนที่ 3 การอภิปรายผลการวินิจฉัยและเปรียบเทียบส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การอภิปรายผลการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

การอภิปรายผลการวิจัยตอนที่ 1 แบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ (1) ผลการสร้างและการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ (2) ผลการสร้างและการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิว และ (3) ผลการสร้างและการตรวจสอบคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบ ดังนี้

1. ผลการสร้างและการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ผู้วิจัยจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เพื่อกำหนดเป็นคุณลักษณะที่มุ่งวัดสำหรับนำไปสร้างโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยสามารถจัดเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก การจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนยึดตามลักษณะของโมเดลพุทธิปัญญา จำนวน 3 ประการ ได้แก่ (1) มีความละเอียดและเฉพาะเจาะจง (2) วัดค่าได้ และ (3) สอดคล้องกับการเรียนการสอน (Gierl et al., 2010) และใช้ระบบการจัดจำแนกมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (taxonomy of misconceptions) เสนอโดย Hestenes et al. (1992) เป็นแนวทางในการจัดกลุ่ม ทั้งนี้ ผู้วิจัยจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แตกต่างจากการจัดกลุ่มโดย Hestenes et al. (1992) ซึ่งจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนออกเป็น 6 กลุ่ม เช่นเดียวกัน แต่มีรายละเอียดของแต่ละกลุ่มต่างกัน ดังนี้ (1) จลนศาสตร์ (kinematics) (2) แรงผลักดัน (impetus) หรือกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) แรงกระทำ หรือกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา หรือกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) การรวมอิทธิพลที่มีต่อการเคลื่อนที่ หรือแรงลัพธ์ และ (6) อิทธิพลอื่นๆ ที่มีต่อการเคลื่อนที่ ได้แก่ ความเสียดทาน และความโน้มถ่วง ผู้วิจัยไม่ได้นำจลนศาสตร์เข้ามาจัดกลุ่มในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เนื่องจากมโนทัศน์เรื่องจลนศาสตร์อธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยไม่พิจารณาผลของแรงที่มีต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้น ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่สำคัญสำหรับการเรียนรู้มโนทัศน์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ (Klein et al., 2017; Rosenquist & McDermott, 1987) และเพื่อให้สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้แยกแรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลกออกมาจากกลุ่มอิทธิพลอื่นๆ ที่มีต่อการเคลื่อนที่ หรือประเภทของแรงที่จัดโดย Hestenes et al. (1992) เพื่อให้สามารถวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้ละเอียดมากขึ้น

โมเดลพุทธิปัญญา (cognitive model) เป็นโมเดลที่แสดงโครงสร้างความคิดและกระบวนการที่นักเรียนใช้ในการทำข้อสอบ โดยโมเดลพุทธิปัญญาสะท้อนถึงลำดับขั้นคุณลักษณะ (Gierl et al., 2010) กล่าวคือ โมเดลแสดงถึงการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะหนึ่งจะทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคุณลักษณะอื่นๆ ทั้งนี้ ลำดับขั้นคุณลักษณะ แบ่งเป็น 5 ประเภท ได้แก่ (1) ลำดับขั้นคุณลักษณะแบบเส้นตรง (2) ลำดับขั้นคุณลักษณะแบบลู่เข้า (3) ลำดับขั้นคุณลักษณะแบบลู่ออก (4) ลำดับขั้นคุณลักษณะแบบไม่มีโครงสร้าง และ (5) ลำดับขั้นคุณลักษณะแบบผสม ส่วนโครงสร้าง

คุณลักษณะที่ไม่มีความสัมพันธ์กันแบบลำดับชั้นเรียกว่า คุณลักษณะมีความเป็นอิสระต่อกัน (Leighton et al., 2004; Tu et al., 2019) ผู้วิจัยสร้างโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะที่มุ่งวัด จำนวน 6 คุณลักษณะ โมเดลพุทธิปัญญาที่สร้างขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ นักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 จะเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เมื่อนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จะทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ไม่มีความสัมพันธ์แบบลำดับชั้นกับคุณลักษณะอื่นๆ โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีลำดับชั้นคุณลักษณะแบบผสม กล่าวคือ โมเดลประกอบด้วยลำดับชั้นคุณลักษณะ 2 ชุดที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน ได้แก่ ชุดที่ 1 ลำดับชั้นคุณลักษณะที่ผสมระหว่างลำดับชั้นคุณลักษณะแบบลู่เข้า และลำดับชั้นคุณลักษณะแบบลู่ออก โดยแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ลู่เข้าสู่กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ส่วนแรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลกแยกออกมาจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และชุดที่ 2 โครงสร้างคุณลักษณะแบบคุณลักษณะมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ไม่มีความสัมพันธ์แบบลำดับชั้นกับอีก 5 คุณลักษณะ

การตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญา แบ่งเป็น 3 วิธี ได้แก่ (1) วิธีการคิดออกเสียง (think-aloud protocols) (2) การศึกษาการติดตามสายตา (eye-tracking studies) และ (3) การตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญ วิธีการสำคัญที่ใช้ในการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเพื่อพิจารณาว่ากระบวนการคิดของนักเรียนเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในโมเดลพุทธิปัญญาหรือไม่ คือ วิธีการคิดออกเสียง ส่วนการศึกษาการติดตามสายตาไม่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการคิดของนักเรียน แต่ให้เพียงหลักฐานทางอ้อมเกี่ยวกับกระบวนการตอบคำถาม ซึ่งใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับวิธีการเชิงคุณภาพ ได้แก่ วิธีการคิดออกเสียง และวิธีการเชิงปริมาณ ได้แก่ เวลาในการตอบคำถาม และผลการตอบคำถาม (Gorin, 2007; Rupp et al., 2010) การวิจัยนี้ ผู้วิจัยตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ จำนวน 2 วิธี ได้แก่ วิธีการคิดออกเสียง และการตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อรวบรวมหลักฐานจากทั้ง 2 วิธี มาใช้ในการปรับปรุงโมเดลพุทธิปัญญาให้มีความถูกต้องมากที่สุด ผลการตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่า นักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 จะเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เมื่อนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

เกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จะทำให้เกิดโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก โดยโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ไม่มีความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นกับคุณลักษณะอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ยังมีหลักฐานไม่เพียงพอที่จะสรุปว่านักเรียนที่มีโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์จะเกิดโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมว่าแรงลัพธ์มีลำดับขั้นคุณลักษณะแบบใดกับคุณลักษณะอื่นๆ เพื่อให้มีหลักฐานเพียงพอที่จะยืนยันความถูกต้องของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนทั้ง 6 กลุ่ม ตามโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เป็นแนวทางให้ครูผู้สอนวางแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อขจัดโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนอย่างเป็นลำดับ และสร้างความตระหนักถึงความสำคัญในการวินิจฉัยโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อน (Bradshaw & Templin, 2014; Ketterlin-Geller et al., 2019)

2. ผลการสร้างและการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิว

เมทริกซ์คิว (Q-matrix) เป็นตารางที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะกับข้อสอบ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา การสร้างเมทริกซ์คิวจะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะหรือลำดับขั้นคุณลักษณะ เพื่อให้สามารถสร้างข้อสอบที่วัดคุณลักษณะที่เป็นไปได้ตามความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ได้โปรไฟล์คุณลักษณะที่สมเหตุสมผล (Cai et al., 2018; Leighton et al., 2004) การวิจัยนี้ ผู้วิจัยสร้างเมทริกซ์คิวโดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ตามโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยเริ่มต้นจากการสร้างเมทริกซ์เหตุการณ์ (incidence matrix) เป็นเมทริกซ์ที่แสดงถึงจำนวนข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งใช้ในการวัดผลรวมของคุณลักษณะที่เป็นอิสระต่อกันทุกรูปแบบ จากนั้น สร้างเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะ (reachability matrix) เป็นเมทริกซ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ทั้งทางตรงและทางอ้อมระหว่างคุณลักษณะ และสร้างเมทริกซ์คิวลดรูป (reduced Q-matrix) เป็นเมทริกซ์ที่ได้มาจากการพิจารณาหลักของเมทริกซ์เหตุการณ์ที่สมเหตุสมผลกับเมทริกซ์การเชื่อมโยงคุณลักษณะ ขั้นตอนสุดท้าย คือ การปรับเมทริกซ์คิวลดรูปให้มีความเหมาะสมมากขึ้น โดยเพิ่มเวกเตอร์คิวที่วัดคุณลักษณะ จำนวน 1 คุณลักษณะ เนื่องจากแบบสอบวินิจฉัยควรมีข้อสอบที่วัดแต่ละคุณลักษณะรวมอยู่ด้วย เพราะจะทำให้แบบสอบวินิจฉัยมีความตรงในการจำแนกสูง (Cai et al., 2018) และปรับเวกเตอร์คิวที่วัดคุณลักษณะ

ตั้งแต่ 4 คุณลักษณะ ขึ้นไป ให้เหลือไม่เกิน 4 คุณลักษณะ เนื่องจากเมทริกซ์ควที่มีจำนวนคุณลักษณะเฉลี่ยต่อข้อสอบมากมีแนวโน้มที่จะมีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่ามาก ดังนั้น เพื่อความแม่นยำในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ควรมีคุณลักษณะต่อข้อสอบไม่มากจนเกินไป (DiBello et al., 2007) อีกทั้ง ในการประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาส่วนใหญ่ พบว่า ข้อสอบ 1 ข้อ วัดไม่เกิน 3 คุณลักษณะ (Rupp et al., 2010)

การตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควดำเนินการได้ 3 วิธี คือ (1) วิธีการคิดออกเสียง (2) การตัดสินโดยผู้เชี่ยวชาญ และ (3) การพิจารณาจากผลการวิเคราะห์โดยใช้โมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา ได้แก่ วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควแบบลำดับขั้น (stepwise Q-matrix validation method) เป็นวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควสำหรับโมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ (Lee & Sawaki, 2009; Ma & de la Torre, 2020) การตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากการกำหนดเมทริกซ์ควที่ผิด (Q-matrix misspecification) จะส่งผลต่อความแม่นยำในการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ รวมทั้งความแม่นยำในการจำแนกผู้สอบตามโปรไฟล์คุณลักษณะ และยังเป็นสาเหตุหนึ่งของความไม่สอดคล้องระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (Rupp & Templin, 2008a)

การกำหนดเมทริกซ์ควที่ผิดอาจเกิดขึ้นในระดับคุณลักษณะ หรือข้อสอบ โดยการกำหนดเมทริกซ์ควที่ผิดในระดับคุณลักษณะเป็นการนิยามคุณลักษณะที่ไม่เหมาะสม ส่วนการกำหนดเมทริกซ์ควที่ผิดระดับข้อสอบเป็นการกำหนดค่า 1 และ 0 ในเมทริกซ์ควไม่ถูกต้อง โดยแบ่งเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ (1) การระบุต่ำกว่าความเป็นจริง (underspecified) โดยกำหนดค่าเป็น 0 ซึ่งความเป็นจริงควรกำหนดเป็น 1 (2) การระบุเกินกว่าความเป็นจริง (overspecified) เป็นการกำหนดค่าเป็น 1 ซึ่งความเป็นจริงควรกำหนดเป็น 0 และ (3) การระบุทั้งต่ำกว่าและเกินกว่าความเป็นจริง (Chen, 2017; Chen et al., 2013) ทั้งนี้ ผลของการกำหนดเมทริกซ์ควที่ผิดที่มีต่อความแม่นยำในการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบ และพารามิเตอร์ผู้สอบขึ้นอยู่กับประเภทของการกำหนดเมทริกซ์ควที่ผิด กล่าวคือ การระบุต่ำกว่าความเป็นจริงส่งผลทางลบต่อความแม่นยำในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ในขณะที่การระบุเกินกว่าความเป็นจริงส่งผลเพียงเล็กน้อย (Choi et al., 2010 cited in Lei & Li, 2016)

การวิจัยนี้ ผู้วิจัยตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คว จำนวน 3 วิธี ได้แก่ วิธีการคิดออกเสียง การตัดสินโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควแบบลำดับขั้น

ผลการตรวจสอบพบว่า วิธีการคิดออกเสียง และการตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญ ให้ผลที่สอดคล้องกัน ส่วนวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควแบบลำดับขั้นให้ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควที่บ่งชี้ว่ามีการกำหนดเมทริกซ์ควที่ผิดเป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือ เวกเตอร์ควที่วัดเพียง 1 คุณลักษณะ บ่งชี้ว่ามีการกำหนดที่ถูกต้อง ส่วนเวกเตอร์ควที่วัดตั้งแต่ 2 คุณลักษณะ ขึ้นไป บ่งชี้ว่ามีการกำหนดที่ผิด โดยมีการระบุเกินกว่าความเป็นจริงเป็นส่วนใหญ่ ผู้วิจัยจึงพิจารณา mesa plot ประกอบการตัดสินใจปรับแก้เมทริกซ์คว พบว่าส่วนใหญ่มีการกำหนดเมทริกซ์ควที่ถูกต้องแล้ว สามารถอธิบายได้ดังนี้ วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควแบบลำดับขั้นจะเลือกเวกเตอร์ควที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากค่า PVAF (proportion of variance accounted for) ซึ่งเป็นความแปรปรวนของความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบถูกต้องที่เวกเตอร์ควสามารถอธิบายได้ เมื่อเทียบกับเวกเตอร์ควที่มีคุณลักษณะทั้งหมด โดยเวกเตอร์ควที่มีค่า PVAF สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แต่มีคุณลักษณะที่มุ่งวัดน้อยที่สุดถือว่าเป็นเวกเตอร์ควที่ถูกต้อง จึงอาจทำให้ได้ผลการตรวจสอบความตรงว่า เมทริกซ์ควมีการระบุเกินกว่าความเป็นจริงเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้ จะต้องกำหนดจุดตัดของค่า PVAF ในการวิเคราะห์ ซึ่งการใช้จุดตัดเพียงค่าเดียวกับเงื่อนไขที่ต่างกันยังมีข้อจำกัด เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว สามารถพิจารณา mesa plot เพิ่มเติม สำหรับเป็นแนวทางในการเลือกเวกเตอร์ควที่เหมาะสม โดย mesa plot เกิดจากการนำค่า PVAF มานำเสนอเป็นแผนภาพเพื่อแสดงเวกเตอร์ควที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ โดยเวกเตอร์ควบริเวณจุดเปลี่ยนโค้งมีแนวโน้มจะเป็นเวกเตอร์ควที่เหมาะสมที่สุด การพิจารณา mesa plot ทำให้ทราบเวกเตอร์ควทางเลือกอื่นๆ สำหรับใช้ในการตัดสินใจปรับแก้เมทริกซ์คว แทนที่จะพิจารณาเวกเตอร์ควเพียงค่าเดียวจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควแบบลำดับขั้น (de la Torre & Minchen, 2019)

นอกจากนี้ เวกเตอร์ควที่เสนอแนะให้ปรับแก้จากผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควแบบลำดับขั้นมีแนวโน้มที่จะเสนอว่าเวกเตอร์ควที่เหมาะสมวัดเพียง 1 - 2 คุณลักษณะ ซึ่งบ่งชี้ว่าเมทริกซ์ควมีการระบุเกินกว่าความเป็นจริง แต่ผลการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควด้วยวิธีการคิดออกเสียง และการตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้องกันว่าเมทริกซ์ควมีการระบุที่ถูกต้องแล้ว สามารถอธิบายได้ดังนี้ ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์ควแบบลำดับขั้นโดยการจำลองข้อมูล พบว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ โดยในการจำลองข้อมูลนั้นใช้โมเดล sequential G-DINA ในการวิเคราะห์ผลการตอบ และใช้เมทริกซ์ควระดับรายการคำตอบ

แบบจำกัด (restricted Q_c -matrix) ซึ่งแต่ละรายการคำตอบส่วนใหญ่วัดเพียง 1 คุณลักษณะ แต่ในการวิจัยนี้ วิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบโดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA และใช้เมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัด (unrestricted Q_c -matrix) โดยแต่ละรายการคำตอบวัดคุณลักษณะเฉลี่ย จำนวน 2.5 คุณลักษณะ ทั้งนี้ วิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้นอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัด เนื่องจากโครงสร้างของเมทริกซ์คิวส่งผลต่อประสิทธิภาพของวิธีการตรวจสอบความตรง จึงควรตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้นในเงื่อนไขอื่นเพิ่มเติม เช่น ใช้เมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัดในการวิเคราะห์ข้อมูล และจำนวนคุณลักษณะที่มุ่งวัดโดยแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ (Nájera et al., 2019) ทั้งนี้ การตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวโดยใช้วิธีการทางสถิติไม่สามารถใช้แทนที่ผู้เชี่ยวชาญได้ แต่ผลการตรวจสอบความตรงให้สารสนเทศเพิ่มเติมแก่ผู้เชี่ยวชาญในการตัดสินใจรับแก้เมทริกซ์คิว ส่งผลให้โมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากขึ้น และเพิ่มความตรงของผลการวินิจฉัย (de la Torre, 2016; Ma & de la Torre, 2020) นอกจากนี้ Wang et al. (2018) เสนอให้ตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวหลายวิธีประกอบกันเพื่อรวบรวมหลักฐานที่หนักแน่นในการสนับสนุนความตรงของเมทริกซ์คิว และเพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

3. ผลการสร้างและการตรวจสอบคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมิติ และโมเดลข้อสอบ

ผู้วิจัยสร้างโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมิติเพื่อกำหนดเนื้อหาสำหรับใช้เป็นแนวทางในการสร้างโมเดลข้อสอบซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการสร้างข้อสอบอัตโนมิติ โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมิติ แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) คุณลักษณะที่มุ่งวัด (2) แหล่งข้อมูลที่สอดคล้องกับคุณลักษณะที่มุ่งวัด แบ่งเป็นแหล่งข้อมูลที่เป็นตัวเลข และตัวอักษร และ (3) ลักษณะที่สำคัญของแหล่งข้อมูล ประกอบด้วยส่วนประกอบย่อยที่ต้องการจัดกระทำ และการบังคับค่าของส่วนประกอบย่อยเพื่อให้เนื้อหาในข้อสอบมีความหมาย โมเดลพุทธิปัญญาจะเชื่อมโยงคุณลักษณะที่มุ่งวัดกับลักษณะของแหล่งข้อมูลผ่านทางแหล่งข้อมูล ทั้งนี้ โมเดลพุทธิปัญญาที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นโมเดลพุทธิปัญญาแบบโครงสร้างเชิงตรรกะซึ่งใช้สำหรับวัดคุณลักษณะของนักเรียนในสถานการณ์ที่หลากหลาย แต่มีคุณลักษณะที่มุ่งวัดคงที่สำหรับข้อสอบที่สร้างขึ้น โดยข้อสอบที่สร้างขึ้นจะเป็นไปตามโครงสร้างเชิงตรรกะของเนื้อหาที่ระบุไว้ในโมเดลพุทธิปัญญา (Gierl & Lai, 2013, 2016)

โมเดลข้อสอบที่สร้างขึ้นตามรายละเอียดที่กำหนดในโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติทั้งโมเดลข้อสอบ 1 ชั้น เป็นโมเดลข้อสอบที่มีส่วนประกอบย่อยในคำถาม จำนวน 1 ระดับ และโมเดลข้อสอบหลายชั้น เป็นโมเดลข้อสอบที่มีส่วนประกอบย่อยในคำถามตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไป โดยส่วนประกอบหนึ่งสอดแทรกอยู่ในอีกส่วนประกอบหนึ่ง ทั้งนี้ โมเดลข้อสอบหลายชั้นมีความสามารถในการสร้างข้อสอบสูงกว่าโมเดลข้อสอบ 1 ชั้น ส่วนข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบ 1 ชั้น จะมีความคล้ายคลึงกันมากกว่าข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบหลายชั้น (Gierl & Lai, 2013)

โดยทั่วไป โมเดลข้อสอบมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ คำถาม ตัวเลือก และข้อมูลเพิ่มเติม (Gierl & Lai, 2018) สำหรับการวิจัยนี้มุ่งสร้างโมเดลข้อสอบสร้างคำตอบ (constructed-response item model) จึงไม่มีส่วนประกอบตัวเลือก โดยโมเดลข้อสอบบางโมเดลมีส่วนประกอบข้อมูลเพิ่มเติมซึ่งใช้ในการรวบรวมรูปภาพสำหรับใช้ในการสร้างข้อสอบที่จำเป็นต้องนำเสนอรูปภาพประกอบคำถามเพื่อให้นักเรียนเข้าใจคำถามมากยิ่งขึ้น ภายในคำถามมีส่วนประกอบย่อย 2 ประเภท ได้แก่ ตัวอักษร และตัวเลข สำหรับใช้ในการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบจำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว (Gierl et al., 2008)

การวิจัยนี้มุ่งสร้างโมเดลข้อสอบสำหรับสร้างข้อสอบที่มีความเป็นคู่ขนานกัน โดยมุ่งวัดคุณลักษณะเดียวกัน แต่มีรายละเอียดในข้อสอบไม่เหมือนกันจนเกินไป ผู้วิจัยจึงพัฒนาโมเดลข้อสอบให้มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI อยู่ระหว่าง 0.6 และ 0.8 ดัชนี CSI ใช้ในการพิจารณาความคล้ายของคำในข้อสอบแต่ละข้อที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบเดียวกัน โดยโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI สูง และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ จะสร้างข้อสอบที่มีลักษณะเหมือนกันมาก เรียกว่า isomorphs หรือ clones ส่วนโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง จะสร้างข้อสอบที่มีลักษณะที่แตกต่างกันมาก เรียกว่า variants (Gierl & Lai, 2013) ผู้วิจัยใช้ผลการศึกษาของ Latifi et al. (2017) ที่พบว่าโมเดลข้อสอบที่สร้างข้อสอบที่มีลักษณะ isomorphs จะมีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI มากกว่า 0.70 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี CSI น้อยกว่า 0.10 ส่วนโมเดลข้อสอบที่สร้างข้อสอบที่มีลักษณะ variants จะมีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI น้อยกว่า 0.70 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี CSI มากกว่า 0.10 เป็นแนวทางในการพัฒนาโมเดลข้อสอบให้มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI เท่ากับ 0.70 ± 0.10 เพื่อให้ข้อสอบที่สร้างขึ้นไม่เหมือนกัน หรือแตกต่างกันมากจนเกินไป ทั้งนี้ การกำหนดจุดตัดของค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ที่ใช้ในการระบุว่าโมเดลข้อสอบจะสร้างข้อสอบที่มี

ลักษณะ isomorphs หรือ variants เป็นประเด็นที่น่าสนใจในการทำวิจัยต่อไป อย่างไรก็ตาม ดัชนี CSI ไม่ได้ใช้ในการทำนายค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบเดียวกัน

โมเดลข้อสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น จำนวน 18 โมเดล มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI อยู่ระหว่าง 0.609 และ 0.796 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี CSI อยู่ระหว่าง 0.101 และ 0.280 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ค่อนข้างสูง และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี CSI ค่อนข้างต่ำ แสดงว่าข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบมีลักษณะที่ไม่เหมือนหรือแตกต่างกันมากจนเกินไป (Gierl & Lai, 2013) ดังนั้น ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI อยู่ระหว่าง 0.6 และ 0.8 น่าจะมีค่าพารามิเตอร์ข้อสอบไม่แตกต่างกัน และจากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบ จำนวน 15 ข้อ ที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนี CSI ต่ำที่สุด ได้แก่ โมเดลที่ 2 ($M_{CSI} = 0.609$) พบว่า ข้อสอบมีค่าพารามิเตอร์ข้อสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนข้อสอบจำนวน 15 ข้อ ที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยดัชนี CSI สูงที่สุด ได้แก่ โมเดลที่ 16 ($M_{CSI} = 0.796$) มีค่าพารามิเตอร์ข้อสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลักฐานเชิงประจักษ์นี้ช่วยสนับสนุนว่าข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีแนวโน้มที่จะมีลักษณะเป็นข้อสอบคู่ขนาน

ผู้วิจัยตรวจสอบคุณภาพของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบโดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ประเมินเนื้อหาและตรรกะที่ระบุในโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโครงสร้างของข้อสอบในโมเดลข้อสอบ ซึ่งมีประเด็นในการประเมิน 3 ประเด็น ได้แก่ เนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ เมื่อโมเดลข้อสอบมีความเหมาะสม และสมเหตุสมผล จะทำให้สามารถสร้างข้อสอบที่มีคุณภาพ และสมเหตุสมผล ทั้งนี้ การตรวจสอบคุณภาพของโมเดลข้อสอบยังช่วยลดกระบวนการทบทวนข้อสอบทีละข้อโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยทบทวนโมเดลข้อสอบแทน (Gierl & Lai, 2016)

ตอนที่ 2 การอภิปรายผลการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

การอภิปรายผลการวิจัยตอนที่ 2 แบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ (1) ผลการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ (2) ผลการเปรียบเทียบผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

โดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ และ (3) ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบ
วินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ดังนี้

1. ผลการพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง กลศาสตร์

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่ผู้วิจัย
พัฒนาขึ้นมีกระบวนการพัฒนาสอดคล้องกับกระบวนการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ จำนวน 3 ขั้นตอน
ได้แก่ (1) กำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบ (2) สร้างโมเดลข้อสอบ และ (3) สร้างข้อสอบและประเมิน
ความคล้ายของข้อสอบ (Gierl & Lai, 2013, 2016; Graf et al., 2005) กล่าวคือ ผู้วิจัยเริ่มต้นจาก
การกำหนดเนื้อหาสำหรับใช้ในการสร้างข้อสอบจากโมเดลข้อสอบในรูปของโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับ
การสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ซึ่งจัดเป็นการกำหนดเนื้อหาสำหรับโมเดลข้อสอบโดยใช้ทฤษฎีที่หนักแน่น
ขึ้นต่อมา คือ การสร้างโมเดลข้อสอบให้สอดคล้องกับโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบ
อัตโนมัติ โดยโมเดลข้อสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นโมเดลข้อสอบสร้างคำตอบ ซึ่งมีทั้งโมเดลข้อสอบ 1 ชั้น
และโมเดลข้อสอบหลายชั้น จากนั้น ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ประเมินเนื้อหาและตรรกะที่ระบุ
ในโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโครงสร้างของข้อสอบในโมเดลข้อสอบ
โดยมีประเด็นในการประเมิน 3 ประเด็น ได้แก่ เนื้อหา ความสมเหตุสมผล และการนำเสนอ เพื่อนำ
ข้อเสนอแนะมาปรับปรุงโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบ ส่งผลให้
โมเดลข้อสอบสามารถสร้างข้อสอบที่มีคุณภาพ และสมเหตุสมผล ขั้นสุดท้าย คือ การใช้ระบบสร้าง
ข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์สร้างข้อสอบโดยการรวม
ส่วนประกอบย่อยที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่กำหนดไว้ในโมเดลข้อสอบแต่ละโมเดล ทำให้ได้ข้อสอบจำนวนมาก
และมีความหมายในเวลาอันรวดเร็ว และสามารถประเมินความคล้ายของข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดล
ข้อสอบเดียวกันโดยใช้ดัชนี CSI

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น
มีความสอดคล้องกับกระบวนการสร้างข้อสอบอัตโนมัติจึงทำให้มีคุณภาพตามมาตรฐานของการประเมิน
ที่กำหนดโดย Joint Committee on Standards for Educational Evaluation จำนวน 4 ด้าน
ได้แก่ (1) การใช้ประโยชน์ แสดงว่าระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสามารถตอบสนองต่อความต้องการ
ใช้งานของผู้ใช้ (2) ความเป็นไปได้ แสดงว่าระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์จริง
สะดวกต่อการใช้งาน และมีความคุ้มค่าในการใช้งาน (3) ความเหมาะสม แสดงว่าระบบสร้างข้อสอบ

อัตโนมัติมีความสอดคล้องกับขั้นตอนการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และไม่ส่งผลเสียต่อผู้เกี่ยวข้อง และ (4) ความถูกต้อง แสดงว่าระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสามารถสร้างข้อสอบที่มีความถูกต้อง และมีความหมาย (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2562; The Joint Committee on Standards for Educational Evaluation, 1994; Yarbrough et al., 2011)

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังปรับปรุงระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้ข้อมูลเกี่ยวกับประสบการณ์ผู้ใช้ จำนวน 2 มิติ ได้แก่ (1) มิติการปฏิบัติงาน เป็นมิติด้านเครื่องมือที่ช่วยตอบสนองต่อเป้าหมายเชิงพฤติกรรมทั่วไปของผู้ใช้ มักพิจารณาเกี่ยวกับความชัดเจน การสนับสนุน ความเป็นประโยชน์ ความสามารถในการใช้งาน และความสามารถในการควบคุม และ (2) มิติความพึงพอใจ เป็นองค์ประกอบด้านความรู้สึกที่ช่วยตอบสนองต่อเป้าหมายเชิงพฤติกรรมของแต่ละบุคคล ซึ่งนำไปสู่ความพึงพอใจของผู้ใช้ มักพิจารณาเกี่ยวกับความโดดเด่น ความประทับใจ ความตื่นเต้น และความน่าสนใจ (Hassenzahl, 2003; Krueger et al., 2020) การเก็บข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้ช่วยให้เข้าใจความต้องการ และความคิดเห็นของผู้ใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ให้มากที่สุด นอกจากนี้ ผู้วิจัยเก็บข้อมูลประสบการณ์ผู้ใช้โดยใช้การสัมภาษณ์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ลุ่มลึกเกี่ยวกับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ทำให้เข้าใจความต้องการของผู้ใช้อย่างลึกซึ้ง (สุวิมล ว่องวานิช, 2563)

2. ผลการเปรียบเทียบผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ

จากผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องของแต่ละโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ พบว่า โมเดล sequential bug-G-DINA มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่าโมเดล sequential bug-DINA และโมเดล sequential bug-DINO ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ คือ โมเดล sequential bug-DINO น่าจะสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากที่สุด เนื่องจากโมเดล sequential bug-DINO มีหลักการรวมคุณลักษณะแบบไม่เชื่อมโยง (disjunctive condensation rule) จึงน่าจะสอดคล้องกับการวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Kuo et al., 2016) กล่าวคือ ผู้สอบที่ไม่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มุ่งวัดโดยข้อสอบข้อนั้นจะตอบข้อสอบถูกต้อง แต่ผู้สอบที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่มุ่งวัดโดยข้อสอบข้อนั้นจะตอบข้อสอบผิด ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เป็นแบบสอบสร้างคำตอบ โดยมีการให้คะแนน 3 ระดับ

คือ 0 หมายถึง คำตอบผิด, 1 หมายถึง คำตอบถูกต้องบางส่วน และ 2 หมายถึง คำตอบถูกต้องสมบูรณ์ นั่นคือ นักเรียนที่มีทั้งหมัดโน้ตที่คลาดเคลื่อน และหมัดโน้ตที่ถูกต้องในคุณลักษณะที่มุ่งวัด โดยข้อสอบแต่ละข้อ สามารถตอบข้อสอบได้ถูกต้องบางส่วน โดยได้รับคะแนนมาจากการตอบคำถาม โดยใช้หมัดโน้ตที่ถูกต้อง จึงทำให้นักเรียนที่มีโปรไฟล์คุณลักษณะลดรูปต่างกันมีความน่าจะเป็นที่จะได้รับคะแนนในแต่ละรายการคำตอบแตกต่างกัน ส่งผลให้ผลการตอบข้อสอบสอดคล้องกับโมเดล sequential bug-G-DINA มากที่สุด โดยโมเดล sequential bug-G-DINA เป็นกรอบโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (family of cognitive diagnosis models) ซึ่งช่วยผ่อนคลายข้อตกลงเบื้องต้นของโมเดล sequential bug-DINO ที่กำหนดให้ผู้สอบที่มีหมัดโน้ตที่คลาดเคลื่อน 1 คุณลักษณะ ขึ้นไป มีโอกาสในการตอบข้อสอบได้ถูกต้องเท่ากัน (de la Torre, 2011) นอกจากนี้ ความสอดคล้องของโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญายังขึ้นอยู่กับประเภทของแบบสอบ (Bradshaw, 2017; de la Torre & Minchen, 2014) กล่าวคือ หากแบบสอบวินิจฉัยหมัดโน้ตที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เป็นแบบสอบหลายตัวเลือก หรือแบบสอบสร้างคำตอบที่มีการตรวจให้คะแนนแบบ 2 ค่า ได้แก่ ถูก และผิด อาจทำให้โมเดล sequential bug-DINO มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่าโมเดล sequential bug-G-DINA เนื่องจากผู้สอบที่ไม่มีหมัดโน้ตที่คลาดเคลื่อนที่มุ่งวัดโดยข้อสอบข้อนั้นจะตอบข้อสอบถูกต้อง แต่ผู้สอบที่มีหมัดโน้ตที่คลาดเคลื่อนอย่างน้อย 1 คุณลักษณะ ที่มุ่งวัดโดยข้อสอบข้อนั้นจะตอบข้อสอบผิด

3. ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยหมัดโน้ตที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

จากผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยหมัดโน้ตที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ โดยพิจารณาจากดัชนีความเที่ยงของการจำแนก ดัชนีความตรงของการจำแนก ความตรงเชิงโครงสร้าง และความตรงตามสภาพ พบว่าแบบสอบวินิจฉัยมีดัชนีความเที่ยงของการจำแนก และดัชนีความตรงของการจำแนกอยู่ในระดับสูงทั้งในระดับทั้งฉบับ และจำแนกตามคุณลักษณะ ดัชนีความเที่ยงของการจำแนกอยู่ในระดับสูงสะท้อนถึงความคงเส้นคงวาในการจำแนกหมัดโน้ตที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนทั้งการพิจารณาภาพรวมในรูปของโปรไฟล์คุณลักษณะ และจำแนกตามคุณลักษณะ นั่นคือ ผลการวินิจฉัยโดยใช้แบบสอบวินิจฉัยหมัดโน้ตที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์มีความน่าเชื่อถือ (Gierl et al., 2010) ส่วนดัชนีความตรงของการจำแนกอยู่ในระดับสูง สะท้อนถึงความถูกต้องในการจำแนกหมัดโน้ตที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนทั้งการพิจารณาภาพรวมในรูปของโปรไฟล์คุณลักษณะ และจำแนกตามคุณลักษณะ แบบสอบวินิจฉัยมีทั้งดัชนีความเที่ยงของการจำแนก และดัชนีความตรงของการจำแนก

อยู่ในระดับสูง อาจเนื่องมาจากแบบสอบวินิจฉัยประกอบด้วยข้อสอบที่วัดคุณลักษณะ จำนวน 1 คุณลักษณะ รวมอยู่ด้วย (Cai et al., 2018; Liu et al., 2018) และมีข้อสอบที่วัดแต่ละคุณลักษณะ ไม่ต่ำกว่า 3 ข้อ (Javidanmehr & Sarab, 2017) นอกจากนี้ อาจเนื่องมาจากการกำหนดเมทริกซ์คิว ที่ถูกต้องซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพมาอย่างเข้มงวด (Nájera et al., 2020; Wang et al., 2018) ทั้งนี้ ดัชนีความเที่ยงของการจำแนกมีค่าน้อยกว่าดัชนีความตรงของการจำแนกเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ Wang et al. (2015) ที่กล่าวไว้ว่า ค่าดัชนีความเที่ยงของการจำแนกจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ค่าดัชนีความตรงของการจำแนก

แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่แบ่งเป็น 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก มีความตรงเชิงโครงสร้าง อาจเนื่องมาจากผู้วิจัยจัดกลุ่มมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยพิจารณาจาก ลักษณะของโมเดลพุทธิปัญญา จำนวน 3 ประการ ได้แก่ (1) มีความละเอียดและเฉพาะเจาะจง (2) วัดค่าได้ และ (3) สอดคล้องกับการเรียนการสอน (Gierl et al., 2010) อีกทั้ง ผ่านการตรวจสอบ โดยผู้เชี่ยวชาญ จึงทำให้มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้ง 6 กลุ่ม สอดคล้องกับเนื้อหาเรื่องแรงและกฎ การเคลื่อนที่ และเป็นไปตามโครงสร้างของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์มีความตรงตามสภาพอยู่ในระดับสูง โดยพิจารณาจากความสอดคล้องระหว่างผลการวินิจฉัยโดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA กับวิธีการคิดออกเสียง ซึ่งเป็นวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ทำให้ทราบกระบวนการคิดของ นักเรียนอย่างละเอียด แต่ใช้เวลาในการดำเนินการมาก อีกทั้ง ไม่สามารถนำไปใช้กับการทดสอบ ขนาดใหญ่ได้ (สุปราณี บุระ, 2557; Gorin, 2007) ทั้งนี้ แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง กลศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติให้ผลการวินิจฉัยที่มีความสอดคล้องสูงมากกับ วิธีการคิดออกเสียง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าแบบสอบวินิจฉัยดังกล่าวมีความตรงในการวินิจฉัยอยู่ใน ระดับสูงเทียบเท่ากับวิธีการคิดออกเสียง และแบบสอบวินิจฉัยยังสามารถใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนจำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว

Gierl & Chang (2012) ให้ความเห็นไว้ว่า แบบสอบวินิจฉัยที่มีความเที่ยง และความตรง ในการจำแนกอยู่ในระดับต่ำจะทำให้แปลความหมายโปรไฟล์คุณลักษณะไม่ถูกต้อง รวมทั้ง ออกแบบ วิธีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนผิดพลาด ซึ่งส่งผลเสียต่อทั้งนักเรียน และครูผู้สอน ผู้วิจัยจึง

รวบรวมหลักฐานเพื่อสนับสนุนความเที่ยง และความตรงของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์จากหลายแหล่งเพื่อสร้างความมั่นใจว่าแบบสอบวินิจฉัยสามารถใช้ในการวินิจฉัยหรือจำแนกมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนได้อย่างน่าเชื่อถือ และถูกต้อง

ตอนที่ 3 การอภิปรายผลการวินิจฉัยและเปรียบเทียบสัดส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีจำนวนมากกว่านักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องทั้ง 6 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก โดยนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 มากที่สุด ส่วนอีก 5 คุณลักษณะ นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่ศึกษาเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ เช่น Azman et al., 2013; Bayraktar, 2009; Eryilmaz, 2002 กล่าวคือ นักเรียนทั่วโลกมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่คล้ายคลึงกัน อีกทั้ง สภาพสังคมและวัฒนธรรมไม่ส่งผลต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ จึงกล่าวได้ว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีลักษณะที่เป็นสากล (Bani-Salameh et al., 2017; Mohammad et al., 2020) สาเหตุที่นักเรียนจำนวนมากมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ทั้ง 6 คุณลักษณะ อาจเนื่องมาจากนักเรียนคิดว่าวิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่ไม่น่าสนใจ มีเนื้อหาที่เป็นนามธรรม ทำความเข้าใจได้ยาก ส่งผลให้นักเรียนขาดความสนใจในการเรียนวิชาฟิสิกส์ (Martin-Blas et al., 2010) อีกทั้ง นักเรียนเรียนวิชาฟิสิกส์โดยเน้นการท่องจำสูตร โดยไม่พยายามทำความเข้าใจมโนทัศน์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ (Narjaikaew, 2013)

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 เกี่ยวข้องกับแนวคิดแรงผลักดัน (impetus) ซึ่งขัดแย้งกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 โดยแรงผลักดันเป็นแรงในจินตนาการของนักเรียนที่เชื่อว่าแรงผลักดันเป็นแรงขับเคลื่อนภายในวัตถุซึ่งได้มาจากการเก็บสะสมแรงที่กระทำต่อวัตถุ โดยทำให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่อง แรงผลักดันอาจมีค่าเพิ่มขึ้น ลดลง และสามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันตามความเชื่อของนักเรียนแต่ละคน

แนวคิดแรงผลักดันเชื่อว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จะมีแรงผลักดันกระทำต่อวัตถุเพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่ความจริงแล้ว วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จะมีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุเท่ากับศูนย์ (Hestenes et al., 1992) สาเหตุที่นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 มากกว่าคุณลักษณะอื่น อาจเนื่องมาจากนักเรียนพบเห็นวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ในชีวิตประจำวันส่วนใหญ่จะมีแรงกระทำต่อวัตถุนั้นขณะเคลื่อนที่ หรือต้องใช้เชื้อเพลิงในการเคลื่อนที่ เช่น รถยนต์ใช้น้ำมัน หรือแก๊สสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน ส่งผลให้นักเรียนเข้าใจผิดว่าวัตถุทุกชนิดจะเก็บสะสมแรงกระทำในรูปของแรงผลักดันซึ่งเปรียบเสมือนเชื้อเพลิงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ต่อไปได้เมื่อหยุดออกแรงกระทำ (Azman et al., 2013; Hestenes et al., 1992) นอกจากนี้ Mackay (2019) ยังพบว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ยากต่อการปรับเปลี่ยนให้ถูกต้อง

จากผลการวิจัยที่พบว่า นักเรียนเพศชายมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์น้อยกว่านักเรียนเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากนักเรียนเพศชายมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับแรงมากกว่านักเรียนเพศหญิง อีกทั้ง นักเรียนเพศชายสนใจปรากฏการณ์รอบตัวที่เกี่ยวข้องกับวิชาฟิสิกส์มากกว่านักเรียนเพศหญิง (Azman et al., 2013) จึงทำให้มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์น้อยกว่านักเรียนเพศหญิง สำหรับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่อีก 5 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (4) แรงเสียดทาน และ (5) แรงโน้มถ่วงของโลก นักเรียนเพศชายและเพศหญิงมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากลักษณะที่เป็นสากลของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ไม่ขึ้นอยู่กับภูมิหลังทางสังคมและวัฒนธรรมของนักเรียนแล้ว ยังไม่ขึ้นอยู่กับเพศของนักเรียนอีกด้วย (Bani-Salameh et al., 2017) จึงทำให้นักเรียนเพศชายและเพศหญิงมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่คล้ายคลึงกัน

จากผลการวิจัยที่พบว่า นักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้ง 2 คุณลักษณะ น้อยกว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ 5 อาจเนื่องมาจากมโนทัศน์เรื่องแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เป็นมโนทัศน์ที่มีความสำคัญ และนำไปประยุกต์ใช้มากในการเรียนวิชาฟิสิกส์ จึงทำให้

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งมีประสบการณ์ในการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ รวมทั้งมีประสบการณ์ในการนำมโนทัศน์เกี่ยวกับแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ไปประยุกต์ใช้มากกว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ 5 ส่งผลให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เข้าใจมโนทัศน์ทั้ง 2 เรื่อง มากขึ้น อีกทั้งยังอาจทราบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของตนเอง และสามารถแก้ไขให้เป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้องได้ด้วยตนเอง (Bayraktar, 2009; Demirci, 2003) สำหรับอีก 4 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (3) แรงเสียดทาน และ (4) แรงโน้มถ่วงของโลก นักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สามารถแก้ไขได้ยาก ทำให้มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนยังคงติดตัวนักเรียนไปตลอด ดังนั้น ครูผู้สอนต้องออกแบบวิธีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่อย่างเหมาะสม (Bani-Salameh, 2016) โดยเริ่มต้นจากการให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเพื่อให้ทราบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของตนเอง จากนั้นปรับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ให้เป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้องโดยใช้วิธีการที่ออกแบบไว้ เช่น การจัดการเรียนรู้โดยให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ การฝึกให้นักเรียนใช้ความรู้เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ในการอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองสถานการณ์เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในการจัดการเรียนรู้ (Tomara et al., 2017)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

1. จากผลการวิจัยที่พบว่า โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีความตรงซึ่งสร้างมาจากการพิจารณาความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นระหว่างคุณลักษณะที่มุ่งวัด จำนวน 6 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์จึงควรออกแบบวิธีการจัดการเรียนรู้ หรือวิธีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ตามความสัมพันธ์ในโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ เพื่อให้นักเรียนสามารถเรียนรู้มโนทัศน์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้ นักเรียนจะต้องมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องเกี่ยวกับแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 เพื่อทำให้มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เมื่อนักเรียนมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

ข้อที่ 2 จะทำให้มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้องเกี่ยวกับแรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก โดยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ไม่มีความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นกับคุณลักษณะอื่นๆ สำหรับวิธีการจัดการเรียนรู้ควรออกแบบให้สามารถปรับมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนทั้ง 6 คุณลักษณะ ให้เป็นมีโนทัศน์ที่ถูกต้อง ดังนี้

1) ปรับมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์ของนักเรียนให้มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้อง ดังนี้ (1) เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ และ (2) เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยแรงลัพธ์ค่าเดิม จะทำให้วัตถุเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศของแรงลัพธ์ค่าใหม่

2) ปรับมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ของนักเรียนให้มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้อง ดังนี้ (1) วัตถุไม่ได้เก็บสะสมแรงกระทำในรูปของแรงผลักดัน แต่วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้เนื่องจากผลของการออกแรงกระทำ (2) วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่将有แรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุเท่ากับศูนย์ และ (3) เส้นทางเคลื่อนที่ของวัตถุขึ้นอยู่กับมุมระหว่างแรงลัพธ์และความเร็ว

3) ปรับมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ของนักเรียนให้มีมีโนทัศน์ที่ถูกต้อง ดังนี้ (1) วัตถุที่อยู่นิ่งอาจจะมีแรงกระทำหรือไม่ก็ได้ หากมีแรงกระทำต่อวัตถุพบว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ (2) เมื่อหยุดออกแรงกระทำ วัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งหยุดการเคลื่อนที่ หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ขึ้นอยู่กับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ (3) วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่จะมีแรงกระทำหรือไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุก็ได้ (4) เมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่หรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสระหว่างวัตถุ นั่นคือ เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุที่วางอยู่บนผิวสัมผัสที่ปราศจากความเสียดทานจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไม่ว่าแรงนั้นจะมีขนาดเท่าใด แต่ในกรณีที่มีแรงมากระทำต่อวัตถุที่วางอยู่บนผิวสัมผัสที่มีความเสียดทาน แล้วทำให้วัตถุเคลื่อนที่เมื่อแรงกระทำนั้นมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุด (5) วัตถุที่เคลื่อนที่ไม่จำเป็นต้องมีแรงลัพธ์กระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ (6) แรงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร่ง นั่นคือ วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่将有แรงลัพธ์คงที่กระทำต่อวัตถุ (7) แรงไม่จำเป็นต้องเกิดจากการกระทำของสิ่งมีชีวิตหรือวัตถุที่เคลื่อนที่ และ (8) แรงกระทำต่อวัตถุสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในกรณีวัตถุสัมผัสกัน หรือวัตถุไม่ได้สัมผัสกัน

4) ปรับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 ของนักเรียน ให้มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง ดังนี้ (1) แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุคนละชิ้น (2) วัตถุที่มีมวลมากและมวลน้อยออกแรงกระทำซึ่งกันและกันด้วยแรงขนาดเท่ากัน (3) วัตถุขนาดใหญ่และขนาดเล็กออกแรงกระทำซึ่งกันและกันด้วยแรงขนาดเท่ากัน (4) วัตถุที่เคลื่อนที่เร็วและเคลื่อนที่ช้า หรือวัตถุที่อยู่นิ่งออกแรงกระทำซึ่งกันและกันด้วยแรงขนาดเท่ากัน และ (5) สิ่งกีดขวางจะออกแรงกระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่เข้าชนซึ่งมีค่าเท่ากับแรงที่วัตถุกระทำต่อสิ่งกีดขวาง

5) ปรับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทานของนักเรียนให้มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง ดังนี้ (1) วัตถุที่วางอยู่บนผิวสัมผัสใดๆ ที่มีความเสียดทาน เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุ แต่วัตถุยังไม่เคลื่อนที่จะมีแรงเสียดทานสถิตกระทำต่อวัตถุ หากวัตถุมีการเคลื่อนที่จะมีแรงเสียดทานจลน์กระทำต่อวัตถุ (2) แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามหรือทิศเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุก็ได้ โดยแรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับผิวสัมผัส (3) แรงเสียดทานสถิตมีค่ามากที่สุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ซึ่งเรียกว่า แรงเสียดทานสถิตสูงสุด และ (4) แรงเสียดทานสถิตมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำต่อวัตถุ แต่แรงเสียดทานสถิตสูงสุดมีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตคูณกับแรงแนวฉาก

6) ปรับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลกของนักเรียนให้มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง ดังนี้ (1) เมื่อปล่อยวัตถุให้ตกลงในแนวตั้งจากตำแหน่งเดียวกัน วัตถุจะตกถึงพื้นพร้อมกัน เนื่องจากวัตถุมีความเร่งเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (2) มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุไม่ว่าวัตถุจะอยู่ตำแหน่งใดก็ตามในบริเวณสนามโน้มถ่วงของโลก (3) แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของโลก และ (4) วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุตลอดการเคลื่อนที่

2. จากผลการวิจัยที่พบว่า เมทริกซ์คิวมีความตรง ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์และนักวิชาการสามารถใช้เมทริกซ์คิวที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สำหรับนำไปใช้วินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน โดยเมทริกซ์คิวเปรียบเสมือนผังการออกข้อสอบซึ่งเป็นตารางที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ จำนวน 6 คุณลักษณะ กับข้อสอบ จำนวน 18 ข้อ ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยข้อสอบอยู่ในแนวแถว ส่วนคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่อยู่ในแนวหลัก ภายในเมทริกซ์คิวประกอบด้วยตัวเลข 1 และ 0 หมายถึง ข้อสอบวัดคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ และข้อสอบ

ไม่ได้วัดคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ในหลักที่พิจารณา ตามลำดับ โดยข้อสอบ 1 ข้อ อาจวัดเพียง 1 คุณลักษณะ หรือวัดหลายคุณลักษณะรวมกัน ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์จึงควรพิจารณา การกำหนดรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัดซึ่งระบุลักษณะของข้อสอบที่วัดคุณลักษณะเรื่องแรง และกฎการเคลื่อนที่ทั้ง 6 คุณลักษณะ ประกอบการสร้างข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง กลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เพื่อให้ข้อสอบทุกข้อที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับลักษณะ ของข้อสอบที่วัดแต่ละคุณลักษณะเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

3. จากผลการวิจัยที่พบว่า โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัตี และโมเดล ข้อสอบทุกคู่มีคุณภาพ อีกทั้งยังพบว่า ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัตีสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีคุณภาพ ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์และนักวิชาการสามารถนำ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัตีสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎ การเคลื่อนที่ไปใช้สร้างข้อสอบเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของ นักเรียนได้จำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว เนื่องจากภายในระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัตีมีโมเดลข้อสอบ วินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ทั้งนี้ ครูผู้สอนและนักวิชาการจะต้องศึกษาคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัตีอย่างละเอียด รวมทั้ง มโนทัศน์พื้นฐานเกี่ยวกับโมเดลข้อสอบ ก่อนการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัตี โดยมีแนวทางใน การใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัตีในการสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง กลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้

1) เข้าเว็บไซต์ <https://aigmeemis.com> สำหรับลงทะเบียนเพื่อขออนุญาตเข้าใช้งาน ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัตีสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎ การเคลื่อนที่จากผู้ดูแลระบบ

2) เข้าใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัตีโดยใช้ชื่อบัญชีผู้ใช้ และรหัสผ่านที่ได้ ลงทะเบียนไว้

3) เลือกโมเดลข้อสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎ การเคลื่อนที่ในเมนูการสร้างข้อสอบเพื่อนำไปสร้างข้อสอบวินิจัย โดยสามารถใช้โมเดลข้อสอบทั้ง 18 โมเดล หรือเลือกเฉพาะบางโมเดลก็ได้ และสามารถพิจารณาข้อสอบวินิจัยแต่ละข้อที่สร้างขึ้น หลังจากดำเนินการสร้างข้อสอบ อีกทั้ง สามารถแก้ไขรายละเอียดของโมเดลข้อสอบในเมนูโมเดล

ข้อสอบก่อนการเลือกโมเดลข้อสอบเพื่อนำไปสร้างข้อสอบวินิจฉัย ทั้งนี้ ไม่จำเป็นต้องแก้ไขรายละเอียดในโมเดลข้อสอบ เนื่องจากการกำหนดรายละเอียดไว้อย่างครบถ้วนแล้ว

4) สร้างแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยกรอกรายละเอียดเกี่ยวกับแบบสอบวินิจฉัยที่ต้องการสร้างในเมนูการสร้างแบบสอบ ได้แก่ จำนวนแบบสอบวินิจฉัยที่ต้องการสร้าง จำนวนข้อสอบที่สุ่มมาจากแต่ละโมเดลข้อสอบที่เลือกประเภทไฟล์ของแบบสอบวินิจฉัย ซึ่งมีให้เลือก 2 ประเภท ได้แก่ ไฟล์ Word และไฟล์ PDF แบบสอบวินิจฉัยที่สร้างขึ้นมี 2 ส่วน ได้แก่ แบบสอบวินิจฉัยที่ไม่มีเฉลยคำตอบสำหรับนำไปทดสอบกับนักเรียน และแบบสอบวินิจฉัยที่มีเฉลยคำตอบสำหรับครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ใช้เป็นแนวทางในการตรวจให้คะแนน

4. จากผลการวิจัยที่พบว่า แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีคุณภาพทั้งคุณภาพรายข้อ และคุณภาพทั้งฉบับ ได้แก่ ดัชนีความเที่ยงของการจำแนก ดัชนีความตรงของการจำแนก ความตรงเชิงโครงสร้าง และความตรงตามสภาพ ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์และนักวิชาการสามารถนำแบบสอบวินิจฉัยซึ่งสร้างมาจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ไปวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียน โดยมีแนวทางการดำเนินการหลังการนำแบบสอบวินิจฉัยไปทดสอบกับนักเรียน สำหรับนำข้อมูลจากการวินิจฉัยนักเรียนไปใช้ในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ และการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเพื่อให้นักเรียนมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้

1) ตรวจสอบการตอบข้อสอบของนักเรียนที่ทำแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นแบบสอบสร้างคำตอบโดยใช้ระบบตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัย แบ่งการให้คะแนนออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0 หมายถึง คำตอบผิด, 1 หมายถึง คำตอบถูกต้องบางส่วน และ 2 หมายถึง คำตอบถูกต้องสมบูรณ์

2) นำผลการตอบข้อสอบของนักเรียนไปวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยใช้โมเดล sequential bug-G-DINA เพื่อระบุสถานะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนทั้ง 6 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก โดยสถานะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

มี 2 สถานะ ได้แก่ มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แทนด้วย 1 และไม่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน หรือมีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง แทนด้วย 0

3) นำผลการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ไปใช้ในการวางแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อช่วยเหลือนักเรียนให้มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยมีแนวทาง ดังนี้ ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ควรให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและการเคลื่อนที่เพื่อให้นักเรียนทราบความเข้าใจผิดของตนเอง จากนั้นให้ความรู้เกี่ยวกับมโนทัศน์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่ถูกต้องแก่นักเรียน นอกจากนี้ยังสามารถจัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนได้โดยให้นักเรียนฝึกใช้ความรู้เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ในการอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่พบเจอในชีวิตประจำวัน หากนักเรียนใช้คำอธิบายที่ไม่ถูกต้องตามมโนทัศน์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์จะคอยให้ข้อเสนอแนะ และแก้ไขคำอธิบายให้ถูกต้อง อีกทั้งยังสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองสถานการณ์เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในการจัดการเรียนรู้แก่นักเรียน ทำให้นักเรียนมองเห็นภาพปรากฏการณ์ และมีความเข้าใจเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มากขึ้น

5. จากผลการวิจัยที่พบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายส่วนใหญ่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ในทั้ง 6 คุณลักษณะ อีกทั้ง นักเรียนเพศชายมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนน้อยกว่านักเรียนเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะคุณลักษณะเกี่ยวกับแรงลัพธ์ นอกจากนี้ยังพบว่า นักเรียนในระดับชั้นที่ต่างกันมีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะคุณลักษณะเกี่ยวกับแรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 โดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีส่วนของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนต่ำกว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ 5 แสดงให้เห็นว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ยังคงติดตัวนักเรียนไปตลอดถึงแม้ว่าจะมีประสบการณ์ในการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์มากขึ้น ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์จึงควรปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนตั้งแต่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยออกแบบวิธีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่บูรณาการเข้ากับการจัดการเรียนรู้เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ตามปกติ และหลังจากเรียนจบหน่วยการเรียนรู้เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แล้ว ควรการมีกำกับติดตามและให้การช่วยเหลือให้นักเรียนให้สามารถมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ เพื่อทำให้นักเรียนประสบ

ความสำเร็จในการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ นอกจากนี้ ครูผู้สอนควรให้ความช่วยเหลือแก่นักเรียนเพศหญิง มากกว่านักเรียนเพศชายสำหรับการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. การวิจัยนี้ ผู้วิจัยพัฒนาและตรวจสอบความตรงของโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ จำนวน 2 วิธี ได้แก่ การพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการคิดออกเสียง พบว่า โมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่มีความตรง แต่ผลการตรวจสอบความตรงด้วยวิธีการคิดออกเสียง พบว่า ยังมีหลักฐานไม่เพียงพอที่จะสรุปได้ว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์จะก่อให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นระหว่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงลัพธ์กับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้ง 5 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (4) แรงเสียดทาน และ (5) แรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อนำสารสนเทศที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ให้มีความถูกต้องมากขึ้น

2. ควรตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการตรวจสอบความตรงของเมทริกซ์คิวแบบลำดับขั้น โดยการใช้การจำลองข้อมูลในสถานการณ์ที่ใช้เมทริกซ์คิวระดับรายการคำตอบแบบไม่จำกัดซึ่งเป็นเมทริกซ์คิวที่สร้างขึ้นเมื่อไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะและรายการคำตอบ และโมเดลเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญาที่ใช้สำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ผลการตอบข้อสอบ เช่น โมเดล sequential bug-G-DINA

3. ควรพัฒนาต่อย่อยระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช่มากขึ้น โดยเพิ่มการรายงานผลการวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนเป็นรายบุคคลเพื่อเป็นข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนในการพัฒนาตนเอง รวมทั้งรายงานเป็นภาพรวมเพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้สอนวิชาฟิสิกส์ได้นำผลการวินิจัยไปใช้ในการพัฒนานักเรียนต่อไป โดยมีแนวทางในการพัฒนาการรายงานผลการวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ดังนี้ ครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์สามารถนำผลการตอบแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนเข้าสู่ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ เพื่อให้ระบบประมาณค่าพารามิเตอร์ผู้สอบ ได้แก่ โปรไฟล์คุณลักษณะ และสถานะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนทั้ง 6 คุณลักษณะ โดยใบรายงานผลการวินิจฉัยที่ครูจะนำไปใช้เป็นข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียน ควรประกอบด้วย (1) สถานะมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแต่ละคุณลักษณะ ซึ่งมี 2 สถานะ ได้แก่ มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และมีมีโนทัศน์ที่ถูกต้อง (2) ความน่าจะเป็นที่จะมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแต่ละคุณลักษณะ (3) คำนิยามของแต่ละคุณลักษณะ (4) คำแนะนำในการแปลผล และ (5) คำแนะนำแก่นักเรียนในการพัฒนาตนเอง โดยใบรายงานผลควรนำเสนอทั้งข้อมูลทางสถิติ แผนภาพ และข้อความ ที่มีความเหมาะสมกับนักเรียน และแปลความหมายได้ง่ายสำหรับใบรายงานผลการวินิจฉัยของนักเรียนโดยภาพรวมควรประกอบด้วยโปรไฟล์คุณลักษณะของนักเรียนทุกคน และสัดส่วนของการมีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ในแต่ละคุณลักษณะ

4. ควรวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ให้ละเอียดมากกว่านี้ เพื่อให้ได้สารสนเทศที่มีความละเอียดในออกแบบวิธีการจัดการเรียนรู้ และให้การช่วยเหลือนักเรียนได้ตรงประเด็นมากขึ้น กล่าวคือ วินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแต่ละประเด็นภายใต้มีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ทั้ง 6 คุณลักษณะ โดยอาจเลือกวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ที่พบมากในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายเพียงบางประเด็น เพื่อไม่ให้มีคุณลักษณะที่มุ่งวัดมากเกินไป เนื่องจากแบบสอบวินิจฉัยที่มีคุณลักษณะที่มุ่งวัดจำนวนมากจะมีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์สูง นอกจากนี้ อาจแบ่งวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แต่ละประเด็นออกเป็นหลายส่วน จากนั้นจึงนำผลการวินิจฉัยแต่ละส่วนมารวมกันสำหรับนำไปใช้ในการช่วยเหลือนักเรียนต่อไป

5. ควรพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติที่ครูผู้สอนและนักวิชาการสามารถสร้างโมเดลข้อสอบในระบบได้ด้วยตนเอง ซึ่งจะทำให้สามารถสร้างข้อสอบจากโมเดลข้อสอบที่สร้างขึ้นสำหรับวัดคุณลักษณะที่ต้องการได้จำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว

6. การวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับ (sequential process model; Ma & de la Torre, 2016) ในการวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ เนื่องจากแนวคิดของโมเดลสอดคล้องกับกระบวนการแก้ปัญหาของนักเรียน กล่าวคือ นักเรียนมีการแก้ปัญหาขณะทำแบบสอบวินิจฉัยอย่างเป็นลำดับขั้นตอน อย่างไรก็ตาม โมเดลกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับไม่ได้นำผลของลำดับขั้นของคุณลักษณะมาใช้ในการคำนวณความน่าจะเป็นในการตอบแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อได้ถูกต้อง ทั้งนี้ โมเดล SH-CDM

(sequential hierarchical cognitive diagnostic model; Zhang & Wang, 2020) พิจารณากระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับร่วมกับลำดับชั้นคุณลักษณะ นั่นคือ ความน่าจะเป็นในการตอบแต่ละรายการคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อได้ถูกต้องได้รับผลมาจากลำดับชั้นคุณลักษณะ จึงควรมีการเปรียบเทียบว่าโมเดลที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สอดคล้องกับโมเดลใดมากกว่ากัน นอกจากนี้ ควรเปรียบเทียบความสอดคล้องกับโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาที่ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network; Cui et al., 2016) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ผู้สอบ โมเดลประเภทนี้แตกต่างจาก 2 โมเดลแรก เนื่องจากต้องสร้างโมเดลทำนายค่าพารามิเตอร์ผู้สอบจากชุดข้อมูลสร้างโมเดล (training data) เพื่อนำไปประมาณค่าพารามิเตอร์ผู้สอบแต่ละคน

7. ควรพัฒนาระบบการทดสอบเพื่อวินิจฉัยโมเดลที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยประยุกต์ใช้การตรวจข้อสอบอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถตรวจคำตอบของนักเรียนที่ทำข้อสอบแบบสร้างคำตอบได้ทันทีหลังจากทำข้อสอบเสร็จ จึงทำให้สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ผู้สอบ ได้แก่ โปรไฟล์คุณลักษณะ และให้ข้อมูลย้อนกลับแบบทันทีเกี่ยวกับผลการวิจัยแก่นักเรียน หลังจากนักเรียนทำข้อสอบเสร็จ

8. ควรพัฒนาระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อวินิจฉัยโมเดลที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา และการตรวจข้อสอบอัตโนมัติ เพื่อให้ นักเรียนแต่ละคนทำข้อสอบที่เหมาะสมกับโปรไฟล์คุณลักษณะของตนเอง

9. ในปัจจุบัน โมเดลทางจิตมิติที่ใช้ในการทำนายค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบเดียวกันยังไม่พัฒนาเท่าที่ควร โดยยังคงศึกษาเฉพาะในโมเดลการตอบสนองข้อสอบ หากมีการพัฒนาโมเดลทางจิตมิติที่ใช้ในการทำนายค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบในบริบทของโมเดลเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา ควรมีการประยุกต์ใช้โมเดลดังกล่าวในการทำนายค่าพารามิเตอร์ข้อสอบที่สร้างมาจากโมเดลข้อสอบวินิจฉัยโมเดลที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เพื่อให้ทราบค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบแต่ละข้อแทนที่จะใช้ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบตั้งต้นแทนพารามิเตอร์ข้อสอบของข้อสอบทุกข้อในโมเดลข้อสอบ

10. ควรตรวจสอบการทำหน้าที่ต่างกันของข้อสอบ และแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่โดยประยุกต์ใช้วิธีการตรวจสอบการทำหน้าที่ต่างกันของข้อสอบ และแบบสอบในบริบทของการประเมินเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา เพื่อรวบรวมหลักฐานสนับสนุนความตรงของแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เกี่ยวกับความยุติธรรมในการทดสอบเพิ่มเติม

11. ควรพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ในหัวข้ออื่นเพิ่มเติม ซึ่งเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ และเป็นพื้นฐานสำหรับมโนทัศน์อื่นที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น (1) จลนศาสตร์ (2) งานและพลังงาน และ (3) โมเมนตัมและการชน รวมทั้งเนื้อหาฟิสิกส์นอกเหนือจากกลศาสตร์ที่เป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ เช่น (1) คลื่นกล (2) ไฟฟ้าสถิต และ (3) ไฟฟ้ากระแสตรง



บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กมลวรรณ ตังธนากานนท์. (2561). การพัฒนากระบวนการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของครูในการใช้แฟ้มสะสมงานเพื่อประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนประถมศึกษา. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนบดี อินทาดกรวด. (2560). การเปรียบเทียบผลการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยาของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายระหว่างแบบสอบวินิจฉัยแบบเลือกตอบสามระดับกับสี่ระดับ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/60108>
- ปัทมาพร ณ น่าน, เชษฐ ศิริสวัสดิ์ และสมพงษ์ ปันนุ. (2561). การสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบบสามขั้นวิชาฟิสิกส์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 16(1), 198-208.
- พรพิมล ยังฉิม. (2557). การพัฒนาวิธีการวินิจฉัยการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยประยุกต์ใช้เครือข่ายเบย์เซียนและทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/45410>
- เลิศบุษยา ไทยเจริญ. (2558). การพัฒนาแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบบเลือกตอบสามระดับวิชาชีววิทยาของนิสิตฝึกสอน [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/51315>
- ศิริชัย กาญจนวาสี. (2556). มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในการวัดและประเมินทางการศึกษา. วารสารวิจัย มสท สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 9(2), 273-281.
- ศิริชัย กาญจนวาสี. (2562). ทฤษฎีการประเมิน (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ศิริเดช สุชีวะ. (2538). *การพัฒนาวิธีการวินิจฉัยสำหรับตรวจสอบโน้ตบุ๊กที่คลาดเคลื่อนทางคณิตศาสตร์* [วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/56547>
- สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2563). *วิชาสามัญ 9 วิชา*. เข้าถึงจาก <https://www.niets.or.th/th/catalog/view/247>
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เล่ม 1 (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ สกสศ. ลาดพร้าว.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2563). *ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารการศึกษา (Education Management Information System: EMIS)*. เข้าถึงจาก <https://data.bopp-obec.info/emis/index.php>
- สุปราณี บุระ. (2557). *การพัฒนาแบบสอบเชิงวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาเรื่องการดำเนินการเลขคณิตพื้นฐานโดยใช้คอมพิวเตอร์: การประยุกต์โมเดลดีไอเอ็นเอ* [วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/45404>
- สุรเดช อนันตสวัสดิ์. (2560). *การพัฒนาระบบวินิจฉัยโน้ตบุ๊กที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีโดยใช้แบบสอบวินิจฉัยสามระดับร่วมกับการสะท้อนข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4* [วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/59946>
- สุวิมล ว่องวาณิช. (2563). *การวิจัยการออกแบบทางการศึกษา (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อมรรัตน์ สร้อยสังวาลย์. (2551). *การพัฒนาวิธีการประเมินเชิงวินิจฉัยโดยประยุกต์ใช้โมเดลลำดับชั้นของคุณลักษณะและการทดสอบแบบปรับเหมาะโดยใช้คอมพิวเตอร์* [วิทยานิพนธ์ปริญญา ดุษฎีบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/58536>

ไอนิง เจ๊ะเหลาะ, อนุมัติ เดชนะ และสรณ เสนาสวัสดิ์. (2558). การศึกษามโนคติที่คลาดเคลื่อนเรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 2(1), 1-11.

ภาษาอังกฤษ

- Alonzo, A. C., & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93(3), 389-421.
- Arieli-Attali, M., & Liu, Y. (2016). Beyond correctness: development and validation of concept-based categorical scoring rubrics for diagnostic purposes. *Educational Psychology*, 36(6), 1083-1101. <https://doi.org/10.1080/01443410.2015.1031088>
- Aryadoust, V. (2011). Cognitive diagnostic assessment as an alternative measurement model. *SHIKEN: The JALT Testing and Evaluation SIG Newsletter*, 15(1), 2-6.
- Atasoy, S., Kucuk, M., & Akdeniz, A. R. (2011). Remedying science student teachers' misconceptions of force and motion using worksheets based on constructivist learning theory. *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies*, 3(4), 519-534.
- Azman, N. F., Ali, M., & Mohtar, L. E. (2013). *The level of misconceptions on force and motion among physics pre-service teachers in UPSI*. Paper presented at the 2nd International Seminar on Quality and Affordable Education, Johor, Malaysia.
- Bani-Salameh, H. N. (2016). How persistent are the misconceptions about force and motion held by college students?. *Physics Education*, 52(1), 014003. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/52/1/014003>
- Bani-Salameh, H., Nuseirat, M., & Alkofahi, K. A. (2017). Do first year college female and male students hold different misconceptions about force and motion. *IOSR Journal of Applied Physics*, 9(2), 14-18. <https://doi.org/10.9790/48610902021418>

- Basso, S. A. (2009). *Using the science writing heuristic to enhance middle school science students' understanding of force and motion laboratory activities* (UMI No.1466002) [Master's thesis, California State University, Fullerton]. ProQuest.
- Bates, S., Donnelly, R., MacPhee, C., Sands, D., Birch, M., & Walet, N. R. (2013). Gender differences in conceptual understanding of Newtonian mechanics: A UK cross-institution comparison. *European Journal of Physics*, 34(2), 421-437. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/34/2/421>
- Bayraktar, S. (2009). Misconceptions of Turkish pre-service teachers about force and motion. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(2), 273-291. <https://doi.org/10.1007/s10763-007-9120-9>
- Bejar, I. I., Lawless, R. R., Morley, M. E., Wagner, M. E., Bennett, R. E., & Revuelta, J. (2002). *A feasibility study of on-the-fly item generation in adaptive testing* (GRE Board Professional Report No. 98-12P). Princeton, NJ: ETS.
- Bradshaw, L. (2017). Diagnostic classification models. In A. A. Rupp & J. P. Leighton (Eds.), *The handbook of cognition and assessment: Frameworks, methodologies, and applications* (pp. 297-327). West Sussex: John Wiley & Sons, Inc.
- Bradshaw, L., & Templin, J. (2014). Combining item response theory and diagnostic classification models: A psychometric model for scaling ability and diagnosing misconceptions. *Psychometrika*, 79(3), 403-425. <https://doi.org/10.1007/s11336-013-9350-4>
- Briggs, D. C., Alonzo, A. C., Schwab, C., & Wilson, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11(1), 33-63. https://doi.org/10.1207/s15326977ea1101_2
- Cai, Y., Tu, D., & Ding, S. (2018). Theorems and methods of a complete Q matrix with attribute hierarchies under restricted Q-matrix design. *Frontiers in psychology*, 9, 1413. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01413>

- Chang, H. P., Chen, J. Y., Guo, C. J., Chen, C. C., Chang, C. Y., Lin, S. H., . . . Lin, J. L. (2007). Investigating primary and secondary students' learning of physics concepts in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 465-482. <https://doi.org/10.1080/09500690601073210>
- Chen, J. (2017). A residual-based approach to validate Q-matrix specifications. *Applied Psychological Measurement*, 41(4), 277-293. <https://doi.org/10.1177/0146621616686021>
- Chen, J., & de la Torre, J. (2018). Introducing the general polytomous diagnosis modeling framework. *Frontiers in psychology*, 9, 1474. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01474>
- Chen, J., de la Torre, J., & Zhang, Z. (2013). Relative and absolute fit evaluation in cognitive diagnosis modeling. *Journal of Educational Measurement*, 50(2), 123-140. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.2012.00185.x>
- Cheng, Y. (2009). When cognitive diagnosis meets computerized adaptive testing: CD-CAT. *Psychometrika*, 74(4), 619-632. <https://doi.org/10.1007/s11336-009-9123-2>
- Cui, Y., Gierl, M. J., & Chang, H. H. (2012). Estimating classification consistency and accuracy for cognitive diagnostic assessment. *Journal of Educational Measurement*, 49(1), 19-38. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.2011.00158.x>
- Cui, Y., Gierl, M., & Guo, Q. (2016). Statistical classification for cognitive diagnostic assessment: An artificial neural network approach. *Educational Psychology*, 36(6), 1065-1082. <https://doi.org/10.1080/01443410.2015.1062078>
- Culbertson, M. J. (2016). Bayesian networks in educational assessment: The state of the field. *Applied Psychological Measurement*, 40(1), 3-21. <https://doi.org/10.1177/0146621615590401>
- de la Torre, J. (2009). A cognitive diagnosis model for cognitively based multiple-choice options. *Applied Psychological Measurement*, 33(3), 163-183. <https://doi.org/10.1177/0146621609345601>

doi.org/10.1177%2F0146621608320523

de la Torre, J. (2011). The generalized DINA model framework. *Psychometrika*, 76(2), 179-199. <https://doi.org/10.1007/S11336-011-9207-7>

de la Torre, J., & Douglas, J. A. (2004). Higher-order latent trait models for cognitive diagnosis. *Psychometrika*, 69(3), 333-353. <https://doi.org/10.1007/BF02295640>

de la Torre, J., & Douglas, J. A. (2008). Model evaluation and multiple strategies in cognitive diagnosis: An analysis of fraction subtraction data. *Psychometrika*, 73(4), 595-624. <https://doi.org/10.1007/S11336-008-9063-2>

de la Torre, J., & Minchen, N. (2014). Cognitively diagnostic assessments and the cognitive diagnosis model framework. *Psicología Educativa*, 20(2), 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.pse.2014.11.001>

de la Torre, J., & Minchen, N. D. (2019). The G-DINA model framework. In M. von Davier, & Y. Lee (Eds.), *Handbook of diagnostic classification models: Models and model extensions, applications, software packages* (pp. 263–331). Cham: Springer.

Demirci, N. (2003). Dealing with misconceptions about force and motion concepts in physics: A study of using web-based physics program. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24, 40-47.

DiBello, L. V., Henson, R. A., & Stout, W. F. (2015). A family of generalized diagnostic classification models for multiple choice option-based scoring. *Applied Psychological Measurement*, 39(1), 62-79. <https://doi.org/10.1177/0146621614561315>

DiBello, L. V., Roussos, L. A., & W., S. (2007). Review of cognitively diagnostic assessment and a summary of psychometric models. In C. R. Rao & S. Sinharay (Eds.), *Handbook of Statistics (Psychometrics vol 26)* (pp. 970-1030). Amsterdam: North Holland.

Embretson, S. W. (1983). Construct validity: Construct representation versus nomothetic span. *Psychological bulletin*, 93(1), 179-197. <https://psycnet.apa.org/doi/10.10>

37/0033-2909.93.1.179

Embretson, S., & Yang, X. (2006). Automatic item generation and cognitive psychology.

In C. R. Rao & S. Sinharay (Eds.), *Handbook of statistics (psychometrics vol 24)* (pp. 747-768). Amsterdam: North Holland.

Ergin, S. (2016). The effect of group work on misconceptions of 9th grade students about Newton's laws. *Journal of Education and Training Studies*, 4(6), 127-136. <http://dx.doi.org/10.11114/jets.v4i6.1390>

Eryilmaz, A. (2002). Effects of conceptual assignments and conceptual change discussions on students' misconceptions and achievement regarding force and motion. *Journal of research in science teaching*, 39(10), 1001-1015. <https://doi.org/10.1002/tea.10054>

Fleiss, J. L. (1971). Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychological bulletin*, 76(5), 378-382. <https://doi.org/10.1037/h0031619>

Fratiwi, N. J., Ramalis, T. R., & Samsudin, A. (2019). *The three-tier diagnostic instrument: Using Rasch analysis to develop and assess K-10 students' alternative conceptions on force concept*. Paper presented at the RSU International Research Conference.

Gierl, M. J., Alves, C., & Majeau, R. T. (2010). Using the attribute hierarchy method to make diagnostic inferences about examinees' knowledge and skills in mathematics: An operational implementation of cognitive diagnostic assessment. *International Journal of Testing*, 10(4), 318-341. <https://doi.org/10.1080/15305058.2010.509554>

Gierl, M. J., & Lai, H. (2013). Instructional topics in educational measurement (ITEMS) module: Using automated processes to generate test items. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 32(3), 36-50. <https://doi.org/10.1111/emip.12018>

Gierl, M. J., & Lai, H. (2016). A process for reviewing and evaluating generated test items.

Educational Measurement: Issues and Practice, 35(4), 6-20. <https://doi.org/10.1111/emip.12129>

Gierl, M. J., & Lai, H. (2018). Using automatic item generation to create solutions and rationales for computerized formative testing. *Applied Psychological Measurement*, 42(1), 42-57. <https://doi.org/10.1177%2F0146621617726788>

Gierl, M. J., Lai, H., & Breithaupt, K. (2012). *Methods for creating and evaluating the item model structure used in automatic item generation*. Paper presented at the annual meeting of the National Council on Measurement in Education, Vancouver, BC, Canada.

Gierl, M. J., Leighton, J. P., & Hunka, S. M. (2007). Using the attribute hierarchy method to make diagnostic inferences about examinees' cognitive skills. In J. Leighton & M. J. Gierl (Eds.), *Cognitive diagnostic assessment for education: Theory and applications* (pp. 242-274). New York: Cambridge University Press.

Gierl, M. J., Zhou, J., & Alves, C. (2008). Developing a taxonomy of item model types to promote assessment engineering. *The Journal of Technology, Learning and Assessment*, 7(2), 1-51.

Gorin, J. S. (2007). Test construction and diagnostic testing. In J. Leighton & M. J. Gierl (Eds.), *Cognitive diagnostic assessment for education: Theory and applications* (pp. 173-201). New York: Cambridge University Press.

Gorin, J. S. (2009). Diagnostic classification models: Are they necessary? Commentary on Rupp and Templin (2008). *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 7(1), 30-33. <https://doi.org/10.1080/15366360802715387>

Graf, E. A., Peterson, S., Steffen, M., & Lawless, R. (2005). *Psychometric and cognitive analysis as a basis for the design and revision of quantitative item models* (ETS Research Report No.RR-05-25). Princeton, NJ: ETS.

Gurel, D. K., Eryilmaz, A., & McDermott, L. C. (2015). A review and comparison of

- diagnostic instruments to identify students' misconceptions in science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(5), 989-1008. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1369a>
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American journal of physics*, 53(11), 1056-1065. <https://doi.org/10.1119/1.14031>
- Handhika, J., Cari, C., Soeparmi, A., & Sunarno, W. (2016). *Student conception and perception of Newton's law*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, Bandung, Indonesia.
- Hassenzahl, M. (2003). The thing and I: Understanding the relationship between user and product. In M. A. Blythe, K. Overbeeke, A. F. Monk, & P. C. Wright (Eds.), *Funology: From usability to enjoyment* (pp. 31-42). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Henson, R. A. (2009). Diagnostic classification models: Thoughts and future directions. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 7(1), 34-36. <https://doi.org/10.1080/15366360802715395>
- Henson, R. A., Templin, J. L., & Willse, J. T. (2009). Defining a family of cognitive diagnosis models using log-linear models with latent variables. *Psychometrika*, 74(2), 191-210. <https://doi.org/10.1007/S11336-008-9089-5>
- Hestenes, D., & Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. *The physics teacher*, 30(3), 159-166. <https://doi.org/10.1119/1.2343498>
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, 30(3), 141-158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Hou, L., la Torre, J. d., & Nandakumar, R. (2014). Differential item functioning assessment in cognitive diagnostic modeling: Application of the Wald test to investigate DIF in the DINA model. *Journal of Educational Measurement*, 51(1), 98-125. <https://doi.org/10.1111/jedm.12036>

- Huff, K., & Goodman, D. P. (2007). The demand for cognitive diagnostic assessment. In J. P. Leighton & M. Gierl (Eds.), *Cognitive diagnostic assessment for education: Theory and applications* (pp. 19-60). New York: Cambridge University Press.
- Hung, S. P., & Huang, H. Y. (2019). A sequential process model for cognitive diagnostic assessment with repeated attempts. *Applied Psychological Measurement*, 43(7), 495-511. <https://doi.org/10.1177%2F0146621618813111>
- Jang, E. E. (2008). A framework for cognitive diagnostic assessment. In C. A. Chapelle, Y. R. Chung, & J. Xu (Eds.), *Towards adaptive CALL: Natural language processing for diagnostic language assessment* (pp. 117-131). Ames: Iowa State University.
- Javidanmehr, Z., & Anani Sarab, M. R. (2017). Cognitive diagnostic assessment: Issues and considerations. *International Journal of Language Testing*, 7(2), 73-98.
- Johnson, M. S., & Sinharay, S. (2018). Measures of agreement to assess attribute-level classification accuracy and consistency for cognitive diagnostic assessments. *Journal of Educational Measurement*, 55(4), 635-664. <https://doi.org/10.1111/jedm.12196>
- Junker, B. W., & Sijtsma, K. (2001). Cognitive assessment models with few assumptions, and connections with nonparametric item response theory. *Applied Psychological Measurement*, 25(3), 258-272. <https://doi.org/10.1177%2F01466210122032064>
- Kaltakci, D., & Didiş, N. (2007). *Identification of pre-service physics teachers' misconceptions on gravity concept: A study with a 3-tier misconception test*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Kaniawati, I., Fratiwi, N. J., Danawan, A., Suyana, I., Samsudin, A., & Suhendi, E. (2019). Analyzing students' misconceptions about Newton's laws through four-tier Newtonian test (FTNT). *Journal of Turkish Science Education*, 16(1), 110-122. <https://doi.org/10.12973/tused.10269a>

- Kaya, Y., & Leite, W. L. (2017). Assessing change in latent skills across time with longitudinal cognitive diagnosis modeling: An evaluation of model performance. *Educational and psychological measurement*, 77(3), 369-388. <https://doi.org/10.1177%2F0013164416659314>
- Ketterlin-Geller, L. R., Shivraj, P., Basaraba, D., & Yovanoff, P. (2019). Considerations for using mathematical learning progressions to design diagnostic assessments. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 17(1), 1-22. <https://doi.org/10.1080/15366367.2018.1479087>
- Ketterlin-Geller, L. R., & Yovanoff, P. (2009). Diagnostic assessments in mathematics to support instructional decision making. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 14(16), 1-11. <https://doi.org/10.7275/vxrk-3190>
- Klein, P., Müller, A., & Kuhn, J. (2017). Assessment of representational competence in kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 010132. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010132>
- Kline, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). New York: Guilford publications, Inc.
- Krueger, A. E., Pollmann, K., Fronemann, N., & Foucault, B. (2020). Guided user research methods for experience design—A new approach to focus groups and cultural probes. *Multimodal Technologies and Interaction*, 4(3), 1-22. <https://doi.org/10.3390/mti4030043>
- Kuo, B. C., Chen, C. H., & de la Torre, J. (2018). A cognitive diagnosis model for identifying coexisting skills and misconceptions. *Applied Psychological Measurement*, 42(3), 179-191. <https://doi.org/10.1177%2F0146621617722791>
- Kuo, B. C., Chen, C. H., Yang, C. W., & Mok, M. M. C. (2016). Cognitive diagnostic models for tests with multiple-choice and constructed-response items. *Educational Psychology*, 36(6), 1115-1133. <https://doi.org/10.1080/01443410.2016.1166176>

- Kurniawan, Y. (2018). Investigation of the misconception in Newton II law. *Jurnal Pena Sains*, 5(1), 11-18. <https://doi.org/10.21107/jps.v5i1.3879>
- LaDuca, A., Staples, W., Templeton, B., & Holzman, G. (1986). Item modelling procedure for constructing content-equivalent multiple choice questions. *Medical education*, 20(1), 53-56. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1986.tb01042.x>
- Lai, H., Gierl, M. J., Byrne, B. E., Spielman, A. I., & Waldschmidt, D. M. (2016). Three modeling applications to promote automatic item generation for examinations in dentistry. *Journal of dental education*, 80(3), 339-347. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2016.80.3.tb06090.x>
- Laird, T. F. N. (2005). College students' experiences with diversity and their effects on academic self-confidence, social agency, and disposition toward critical thinking. *Research in higher education*, 46(4), 365-387. <https://doi.org/10.1007/s11162-005-2966-1>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 33(1), 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Latifi, S., Gierl, M., Wang, R., Lai, H., & Wang, A. (2017). Information-based methods for evaluating the semantics of automatically generated test items. *Artificial Intelligence Research*, 6(1), 69-79. <http://dx.doi.org/10.5430/air.v6n1p69>
- Lee, Y. W., & Sawaki, Y. (2009). Cognitive diagnosis approaches to language assessment: An overview. *Language Assessment Quarterly*, 6(3), 172-189. <https://doi.org/10.1080/15434300902985108>
- Lei, P. W., & Li, H. (2016). Performance of fit indices in choosing correct cognitive diagnostic models and Q-matrices. *Applied Psychological Measurement*, 40(6), 405-417. <https://doi.org/10.1177/0146621616647954>
- Leighton, J. P., & Gierl, M. J. (2007). Why cognitive diagnostic assessment. In J. P. Leighton & M. J. Gierl (Eds.), *Cognitive diagnostic assessment for education:*

Theory and applications (pp. 3-18). New York: Cambridge University Press.

- Leighton, J. P., Gierl, M. J., & Hunka, S. M. (2004). The attribute hierarchy method for cognitive assessment: A variation on Tatsuoaka's rule-space approach. *Journal of Educational Measurement*, 41(3), 205-237. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.2004.tb01163.x>
- Li, H., & Suen, H. K. (2013). Constructing and validating a Q-matrix for cognitive diagnostic analyses of a reading test. *Educational Assessment*, 18(1), 1-25. <https://doi.org/10.1080/10627197.2013.761522>
- Liu, G., & Fang, N. (2016). Student misconceptions about force and acceleration in physics and engineering mechanics education. *International Journal of Engineering Education*, 32(1), 19-29.
- Liu, R., Huggins-Manley, A. C., & Bulut, O. (2018). Retrofitting diagnostic classification models to responses from IRT-based assessment forms. *Educational and psychological measurement*, 78(3), 357-383. <https://doi.org/10.1177%2F0013164416685599>
- Liu, R., & Jiang, Z. (2018). Diagnostic classification models for ordinal item responses. *Frontiers in psychology*, 9, 2512. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02512>
- Liu, R., & Jiang, Z. (2020). A general diagnostic classification model for rating scales. *Behavior research methods*, 52(1), 422-439. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01239-9>
- Liu, Y., Tian, W., & Xin, T. (2016). An application of M_2 statistic to evaluate the fit of cognitive diagnostic models. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 41(1), 3-26. <https://doi.org/10.3102%2F1076998615621293>
- Ma, W. (2019). A diagnostic tree model for polytomous responses with multiple strategies. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 72(1), 61-82. <https://doi.org/10.1111/bmsp.12137>

- Ma, W. (2020). Evaluating the fit of sequential G-DINA model using limited-information measures. *Applied psychological measurement*, 44(3), 167-181. <https://doi.org/10.1177/0146621619843829>
- Ma, W., & de la Torre, J. (2016). A sequential cognitive diagnosis model for polytomous responses. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 69(3), 253-275. <https://doi.org/10.1111/bmsp.12070>
- Ma, W., & de la Torre, J. (2019). Category-level model selection for the sequential G-DINA model. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 44(1), 45-77. <https://doi.org/10.3102/1076998618792484>
- Ma, W., & de la Torre, J. (2020). An empirical Q-matrix validation method for the sequential generalized DINA model. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 73(1), 142-163. <https://doi.org/10.1111/bmsp.12156>
- Ma, W., de la Torre, J., Sorrel, M., & Jiang, Z. (2020). Package 'GDINA'. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/GDINA/GDINA.pdf>
- Mackay, J. (2019). Developing and tracking profiles of student conceptions of force through an engineering degree. *Journal of Physics: Conference Series*, 1286, 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1286/1/012003>
- Madison, M. J., & Bradshaw, L. P. (2018a). Assessing growth in a diagnostic classification model framework. *Psychometrika*, 83(4), 963-990. <https://doi.org/10.1007/s11336-018-9638-5>
- Madison, M. J., & Bradshaw, L. P. (2018b). A evaluating intervention effects in a diagnostic classification model framework. *Journal of Educational Measurement*, 55(1), 32-51. <https://doi.org/10.1111/jedm.12162>
- Martin-Blas, T., Seidel, L., & Serrano-Fernández, A. (2010). Enhancing Force Concept Inventory diagnostics to identify dominant misconceptions in first-year engineering physics. *European Journal of Engineering Education*, 35(6), 597-606.

<https://doi.org/10.1080/03043797.2010.497552>

Messick, S. (1989). Validity. In R. L. Linn (Ed.), *Educational measurement* (3rd ed., pp. 13-103). New York: Macmillan publishing company.

Mislevy, R., & Riconscente, M. (2005). *Evidence-centered assessment design: Layers, structures, and terminology*. Retrieved from https://padi.sri.com/downloads/TR9_ECD.pdf

Mislevy, R. J., Almond, R. G., & Lukas, J. F. (2003). *A brief introduction to evidence-centered design* (ETS Research Report RR-03-16). Princeton: Educational Testing Service.

Mohammad, S., Khoshman, J. M., & Tayeh, K. A. (2020). Jordanian pre-service physics teacher's misconceptions about force and motion. *Journal of Turkish Science Education*, 17(4), 528-543. <https://doi.org/10.36681/tused.2020.43>

Nájera, P., Sorrel, M. A., & Abad, F. J. (2019). Reconsidering cutoff points in the general method of empirical Q-matrix validation. *Educational and psychological measurement*, 79(4), 727-753. <https://doi.org/10.1177%2F0013164418822700>

Nájera, P., Sorrel, M. A., de la Torre, J., & Abad, F. J. (2020). Balancing fit and parsimony to improve Q-matrix validation. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*. <https://doi.org/10.1111/BMSP.12228>

Narjaikaew, P. (2013). Alternative conceptions of primary school teachers of science about force and motion. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 88, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.503>

National Research Council. (1997). *Science teaching reconsidered: A hand book*. Washington, DC: National Academies Press.

Nichols, P. D. (1994). A framework for developing cognitively diagnostic assessments. *Review of Educational Research*, 64(4), 575-603. <https://doi.org/10.3102%2F00346543064004575>

- Poutot, G., & Blandin, B. (2015). Exploration of students' misconceptions in mechanics using the FCI. *American Journal of Educational Research*, 3(2), 116-120. <https://doi.org/10.12691/education-3-2-2>
- Ravand, H. (2016). Application of a cognitive diagnostic model to a high-stakes reading comprehension test. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 34(8), 782-799. <https://doi.org/10.1177%2F0734282915623053>
- Rosenquist, M. L., & McDermott, L. C. (1987). A conceptual approach to teaching kinematics. *American Journal of Physics*, 55(5), 407-415. <https://doi.org/10.1119/1.15122>
- Rupp, A. A., & Templin, J. (2008). The effects of Q-matrix misspecification on parameter estimates and classification accuracy in the DINA model. *Educational and psychological measurement*, 68(1), 78-96. <https://doi.org/10.1177%2F0013164407301545>
- Rupp, A. A., Templin, J., & Henson, R. A. (2010). *Diagnostic assessment: Theory, methods, and applications*. New York: Guilford.
- Rupp, A. A., & Templin, J. L. (2008). Unique characteristics of diagnostic classification models: A comprehensive review of the current state-of-the-art. *Measurement*, 6(4), 219-262. <https://doi.org/10.1080/15366360802490866>
- Sinharay, S., & Johnson, M. S. (2008). Use of item models in a large-scale admissions test: A case study. *International Journal of Testing*, 8(3), 209-236. <https://doi.org/10.1080/15305050802262019>
- Sinharay, S., & Johnson, M. S. (2013). Statistical modeling of automatically generated items. In M. J. Gierl & T. Haladyna (Eds.), *Automatic item generation: Theory and practice* (pp. 183–195). New York: Routledge.
- Snow, R. E., & Lohman, D. F. (1989). Implications of cognitive psychology for educational measurement. In R. L. Linn (Ed.), *Educational measurement* (3rd ed.,

- pp. 263–331). New York: Macmillan publishing company.
- Soeharto, S., Csapó, B., Sarimanah, E., Dewi, F., & Sabri, T. (2019). A review of students' common misconceptions in science and their diagnostic assessment tools. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(2), 247-266. <https://doi.org/10.15294/jpii.v8i2.18649>
- Svetina, D., Feng, Y., Paulsen, J., Valdivia, M., Valdivia, A., & Dai, S. (2018). Examining DIF in the context of CDMs when the Q-matrix is misspecified. *Frontiers in psychology*, 9, 696.
- Tatsuoka, K. K. (1983). Rule space: An approach for dealing with misconceptions based on item response theory. *Journal of Educational Measurement*, 20(4), 345-354. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1111/j.1745-3984.1983.tb00212.x>
- Templin, J., & Bradshaw, L. (2014). Hierarchical diagnostic classification models: A family of models for estimating and testing attribute hierarchies. *Psychometrika*, 79(2), 317-339. <https://doi.org/10.1007/S11336-013-9362-0>
- Templin, J., Henson, R., Rupp, A., Jang, E., & Ahmed, M. (2008). *Cognitive diagnosis models for nominal response data*. Paper presented at the Annual meeting of the National Council on Measurement in Education, New York.
- Templin, J. L., & Henson, R. A. (2006). Measurement of psychological disorders using cognitive diagnosis models. *Psychological methods*, 11(3), 287-305. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/1082-989X.11.3.287>
- The Joint Committee on Standards for Educational Evaluation. (1994). *The program evaluation standards: How to assess evaluations of educational programs* (2nd ed.). California: SAGE Publications, Inc.
- Thornton, R. K., & Sokoloff, D. R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American journal of physics*, 66(4),

338-352. <https://doi.org/10.1119/1.18863>

- Tomara, M., Tselfes, V., & Gouscos, D. (2017). Instructional strategies to promote conceptual change about force and motion: A review of the literature. *Themes in Science and Technology Education*, 10(1), 1-16.
- Tu, D., Wang, S., Cai, Y., Douglas, J., & Chang, H.-H. (2019). Cognitive diagnostic models with attribute hierarchies: model estimation with a restricted Q-matrix design. *Applied Psychological Measurement*, 43(4), 255-271. <https://doi.org/10.1177/2F0146621618765721>
- Tu, D., Zheng, C., Cai, Y., Gao, X., & Wang, D. (2018). A polytomous model of cognitive diagnostic assessment for graded data. *International Journal of Testing*, 18(3), 231-252. <https://doi.org/10.1080/15305058.2017.1396465>
- von Davier, M. (2005). *A general diagnostic model applied to language testing data* (Research Report No. RR-05-16). Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- von Davier, M. (2007). *Hierarchical general diagnostic models* (Research Report No. RR-07-19). Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Wang, W. C., & Qiu, X. L. (2019). Multilevel modeling of cognitive diagnostic assessment: The multilevel DINA example. *Applied Psychological Measurement*, 43(1), 34-50. <https://doi.org/10.1177/2F0146621618765713>
- Wang, W., Song, L., Chen, P., Meng, Y., & Ding, S. (2015). Attribute-level and pattern-level classification consistency and accuracy indices for cognitive diagnostic assessment. *Journal of Educational Measurement*, 52(4), 457-476. <https://doi.org/10.1111/jedm.12096>
- Wang, W., Song, L., Ding, S., Meng, Y., Cao, C., & Jie, Y. (2018). An EM-based method for Q-matrix validation. *Applied psychological measurement*, 42(6), 446-459. <https://doi.org/10.1177/0146621617752991>
- Weston, R., & Gore Jr, P. A. (2006). A brief guide to structural equation modeling. *The*

counseling psychologist. 34(5), 719-751. <https://doi.org/10.1177%2F0011000006286345>

Yarbrough, D. B., Shula, L. M., Hopson, R. K., & Caruthers, F. A. (2011). *The program evaluation standards: A guide for evaluators and evaluation users* (3rd ed.). California: SAGE Publications, Inc.

Yasri, P. (2014). A Systematic classification of student misconceptions in biological evolution. *International Journal of Biology*, 3(2), 31-41.

Zhang, X., & Wang, J. (2020). On the sequential hierarchical cognitive diagnostic model. *Frontiers in psychology*, 11, 579018. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.579018>





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ตรวจสอบการกำหนดคุณลักษณะที่มุ่งวัด การระบุรายละเอียดของคุณลักษณะที่มุ่งวัด และโมเดลพุทธิปัญญาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

รองศาสตราจารย์ ศิลปชัย บุรณพานิช	อาจารย์เกษียนอายุราชการจากกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อมรรัตน์ บุปผโชติ	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
อาจารย์วรรณ นาคศรีอาภรณ์	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
อาจารย์จอม ไสสว่าง	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสิริรัตนาร
อาจารย์ณัฐฤทัย สุชาติล้ำพงศ์	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนราชวินิต มัธยม
อาจารย์สิริรัตน์ ประจักษ์วรวิทย์	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนเทพศิรินทร์
อาจารย์สุขุมารณ์ เกสรจรง	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนธัญบุรี

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ตรวจสอบการร่างเมทริกซ์คิว

รองศาสตราจารย์ ดร.โชติกา ภาชีผล	อาจารย์ประจำภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.สังวรณ์ ังดกระโทก	อาจารย์ประจำสาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ ดร.ปรารณา พลอภิชาดิ	อาจารย์ประจำสำนักทะเบียนและวัดผล มหาวิทยาลัย สุโขทัยธรรมาธิราช
รองศาสตราจารย์ ศิลปชัย บุรณพานิช	อาจารย์เกษียณอายุราชการจากกลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อมรรรัตน์ บุปผโชติ	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
อาจารย์วรรณ นาคศรีอาภรณ์	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
อาจารย์สิริรัตน์ ประจักษ์วรวิทย์	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โรงเรียนเทพศิรินทร์

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ตรวจคุณภาพของโมเดลข้อสอบ และโมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ศักดิ์สุภาพ	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม)
อาจารย์นันทาริน อาษาธง	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม)
อาจารย์พรเทพ ทองตั้ง	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
อาจารย์ธนกานต์ ภู่งศ์ชนางกูร	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)
อาจารย์ปัญญา รุ่งชัยวงศ์	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสตรีศรีสุริโยทัย
อาจารย์ปวีณสุดา คงเกิด	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โรงเรียนเทพศิรินทร์
อาจารย์วิริสา ปัญญาโส	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โรงเรียนราชวินิตบางเขน

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ตรวจสอบความตรงของข้อสอบ

อาจารย์น้ำฝน นาสวาสดี

อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม

อาจารย์ณัฐพร แถมยิ้ม

อาจารย์ประจำสาขาวิจัยและพัฒนาการสอน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัย พัฒนา และสาธิตการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อาจารย์ณรงค์ศักดิ์ หงส์ตะนุ

อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนพระนารายณ์

อาจารย์ธนาชาติ เอียสกุล

อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)

อาจารย์ปิยชาติ มรกตคันโธ

อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนวัดนวลนรดิศ

ว่าที่ ร.ต.วราวุธ หมุนโย

อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนม่วงสามสิบอัมพวันวิทยา

อาจารย์สัญญาลักษณ์ สวัสดิ์มงคล

อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนเทพศิรินทร์

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ตรวจคุณภาพของแบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และแบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภรณ์ หลาวทอง อาจารย์ประจำภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์ อาจารย์ประจำภาควิชาการศึกษา คณะ

ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตบางเขน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรุณี ถิ่นโชคดี อาจารย์ประจำภาควิชาการศึกษา คณะ

ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตบางเขน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พินดา วราสุนันท์

อาจารย์ประจำภาควิชาครุศึกษา คณะศึกษาศาสตร์

และพัฒนาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวิกา ตั้งประภา

อาจารย์ประจำภาควิชาการวัดผลและวิจัยการศึกษา

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิดา ศกุนตนา

อาจารย์ประจำภาควิชาการวัดผลและวิจัยการศึกษา

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศจี จิระโร

อาจารย์ประจำสำนักทะเบียนและวัดผล มหาวิทยาลัย

สุโขทัยธรรมาธิราช

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ตรวจคุณภาพของรูปrikให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัย

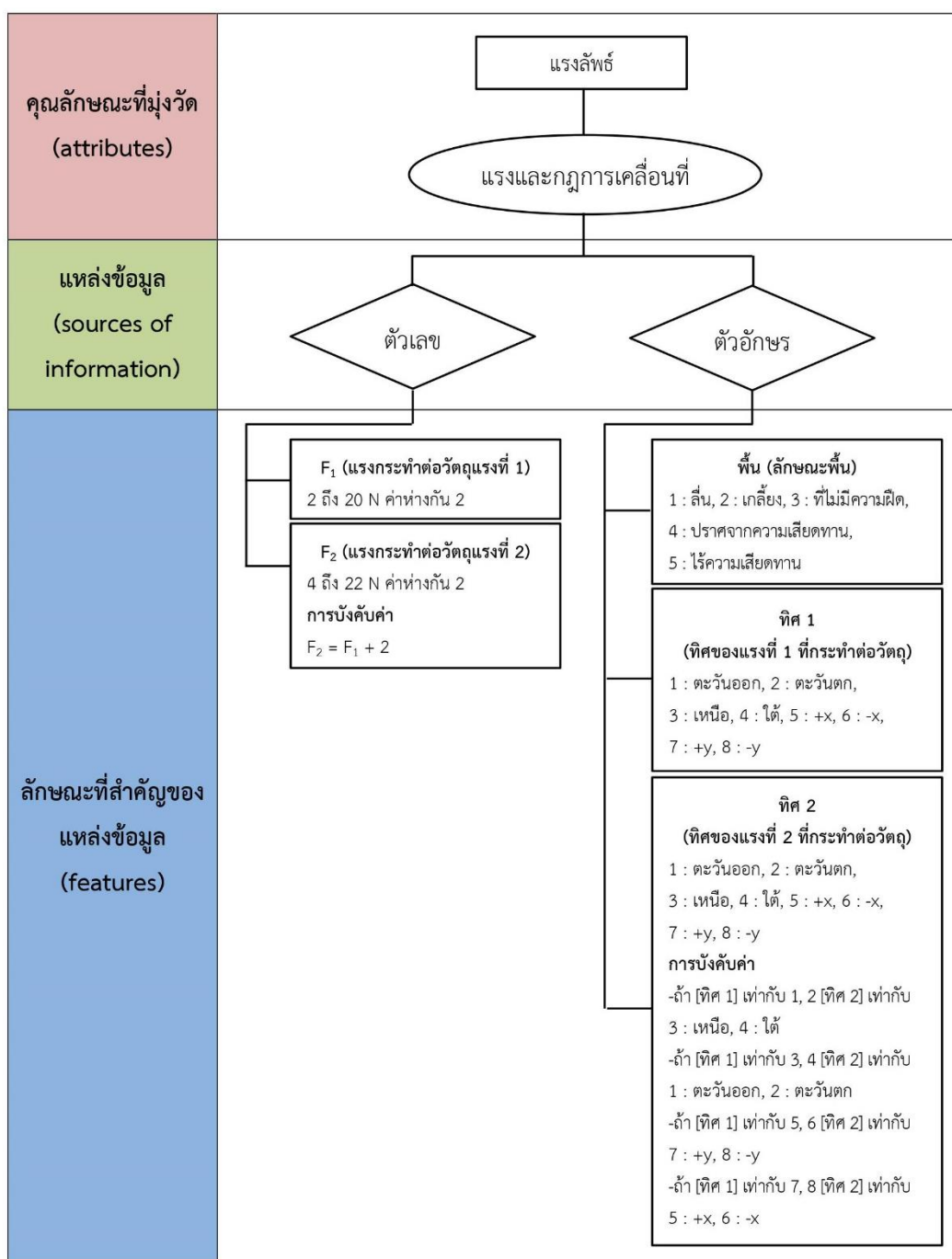
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อมรรัตน์ บุปผโชติ	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
อาจารย์ ดร.อัญญา พัวไพบูลย์	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน
อาจารย์พรเทพ ทองตั้ง	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
อาจารย์ณัฐฤทัย สุชาติล้ำพงศ์	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนราชวินิต มัธยม
อาจารย์ธนกานต์ ภู่งศ์ชนางกูร	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)
อาจารย์วินัส ชาลี	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนปทุมคงคา
ว่าที่ ร.ต.สุขสวัสดิ์ เชียงหว่อง	อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนธัญบุรี

ภาคผนวก ข

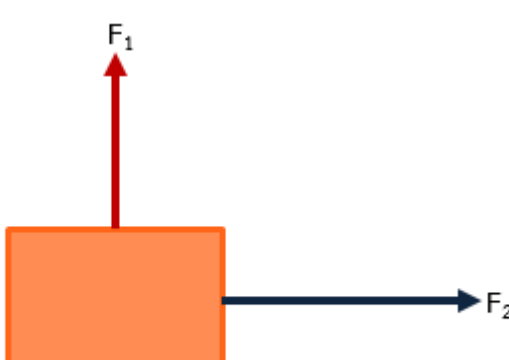
โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และโมเดลข้อสอบ



โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 1



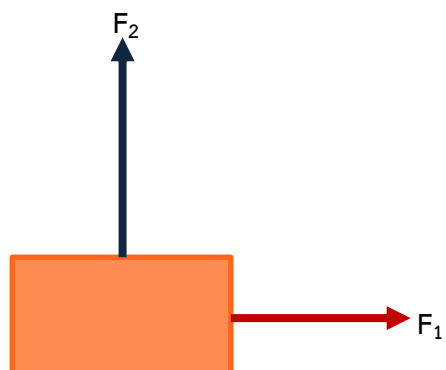
โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 1

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>วัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบไร้ความเสียดทาน เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุนี้พร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F_1 ขนาด 10 นิวตัน ทิศเหนือ และแรง F_2 ขนาด 12 นิวตัน ทิศตะวันออก ดังภาพ จงหาว่าวัตถุนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใดจึงเคลื่อนที่ในทิศนั้น</p>  <p>ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[สถานการณ์] [คำถาม]</p>
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>ขั้นที่ 1 [สถานการณ์] (ข้อความ) :</p> <p>1 : วัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบ [พื้น] เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุนี้พร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F_1 ขนาด $[F_1]$ นิวตัน ทิศ [ทิศ 1] และแรง F_2 ขนาด $[F_2]$ นิวตัน ทิศ [ทิศ 2] ดังภาพ</p> <p>2 : วัตถุชิ้นหนึ่งถูกแรง F_1 ขนาด $[F_1]$ นิวตัน กระทำให้เคลื่อนที่ไปทางทิศ [ทิศ 1] บนพื้นราบ [พื้น] ต่อมาถูกกระทำเพิ่มขึ้นด้วยแรง F_2 ขนาด $[F_2]$ นิวตัน ทิศ [ทิศ 2] ดังภาพ</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ) :</p> <p>1 : จงหาว่าวัตถุนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใดจึงเคลื่อนที่ในทิศนั้น</p> <p>2 : จงพิจารณาว่าวัตถุนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบ</p> <p>ขั้นที่ 2 [พื้น] (ตัวอักษร) : 1 : ลื่น, 2 : เกลี้ยง, 3 : ที่ไม่มีความฝืด, 4 : ปราศจากความเสียดทาน, 5 : ไร้ความเสียดทาน</p>

	<p>[ทิศ 1] (ตัวอักษร) : 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก, 3 : เหนือ, 4 : ใต้, 5 : +x, 6 : -x, 7 : +y, 8 : -y</p> <p>[ทิศ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 2 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 : เหนือ, 4 : ใต้</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 4 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 5, 6 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 7 : +y, 8 : -y</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 7, 8 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 5 : +x, 6 : -x</p> <p>[F₁] (ตัวเลข) : มีค่า 2 ถึง 20 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 2</p> <p>[F₂] (ตัวเลข) : มีค่า [F₁] + 2</p>
เฉลย (key)	<p>วัตถุจะเคลื่อนที่ในแนวทิศ [answer] เนื่องจากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ อยู่ในแนวทิศ [answer]</p> <p>หมายเหตุ แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ฉบับนี้ มุ่งวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน จึงอนุโลมให้ “แนวทิศ [answer]” เป็นคำตอบที่ถูกต้อง โดยไม่ต้องระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของ วัตถุในรูปของมุม เนื่องจากไม่ได้มุ่งวัดความรู้ของนักเรียนในเรื่องนี้</p> <p>ส่วนประกอบย่อย</p> <p>[answer] (ตัวอักษร) :</p> <p>1 : ตะวันออกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>2 : ตะวันออกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>3 : ตะวันตกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p> <p>4 : ตะวันตกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p>

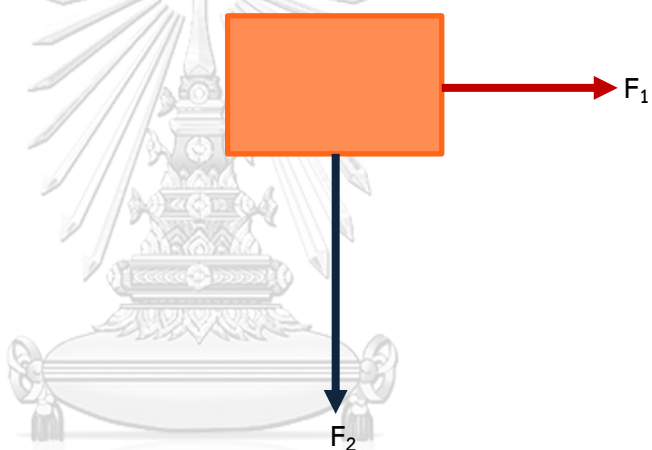
รูปภาพ

[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3, 7



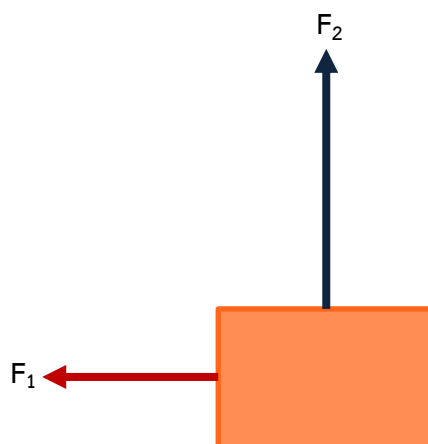
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4, 8



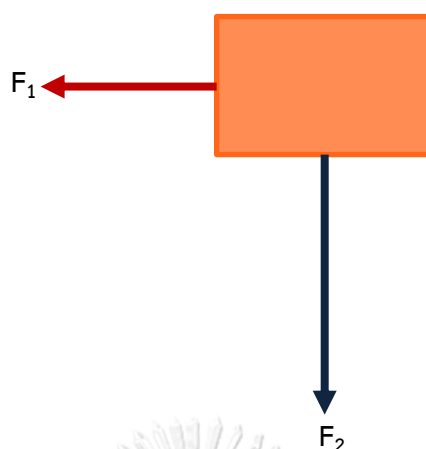
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3, 7



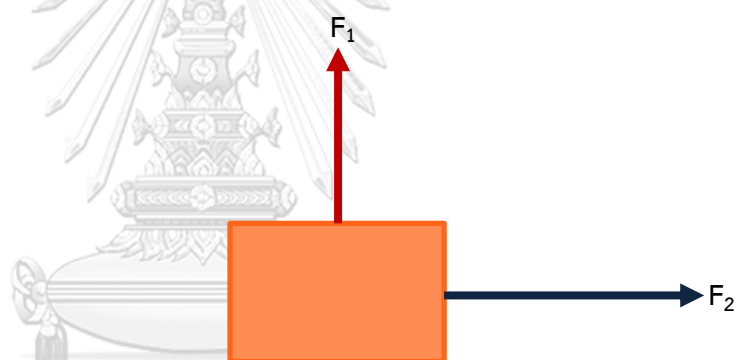
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4, 8



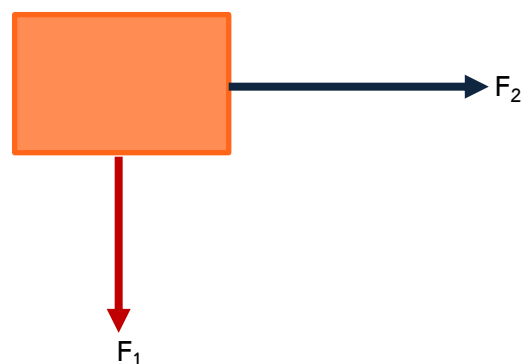
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1, 5



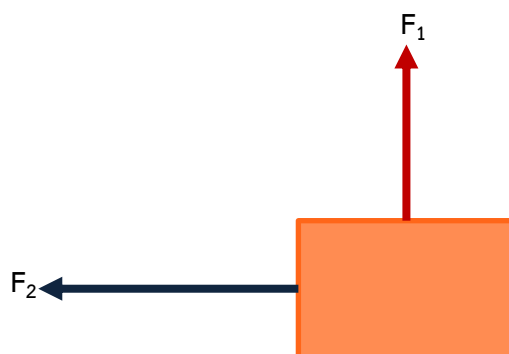
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1, 5



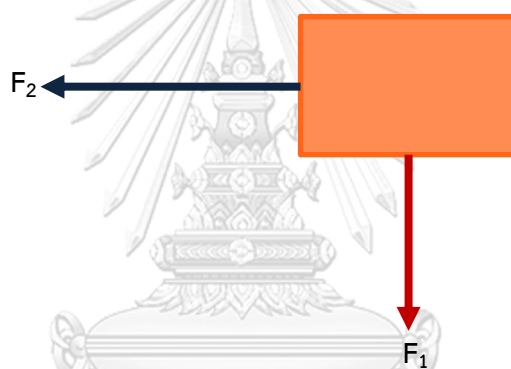
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2, 6



ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2, 6

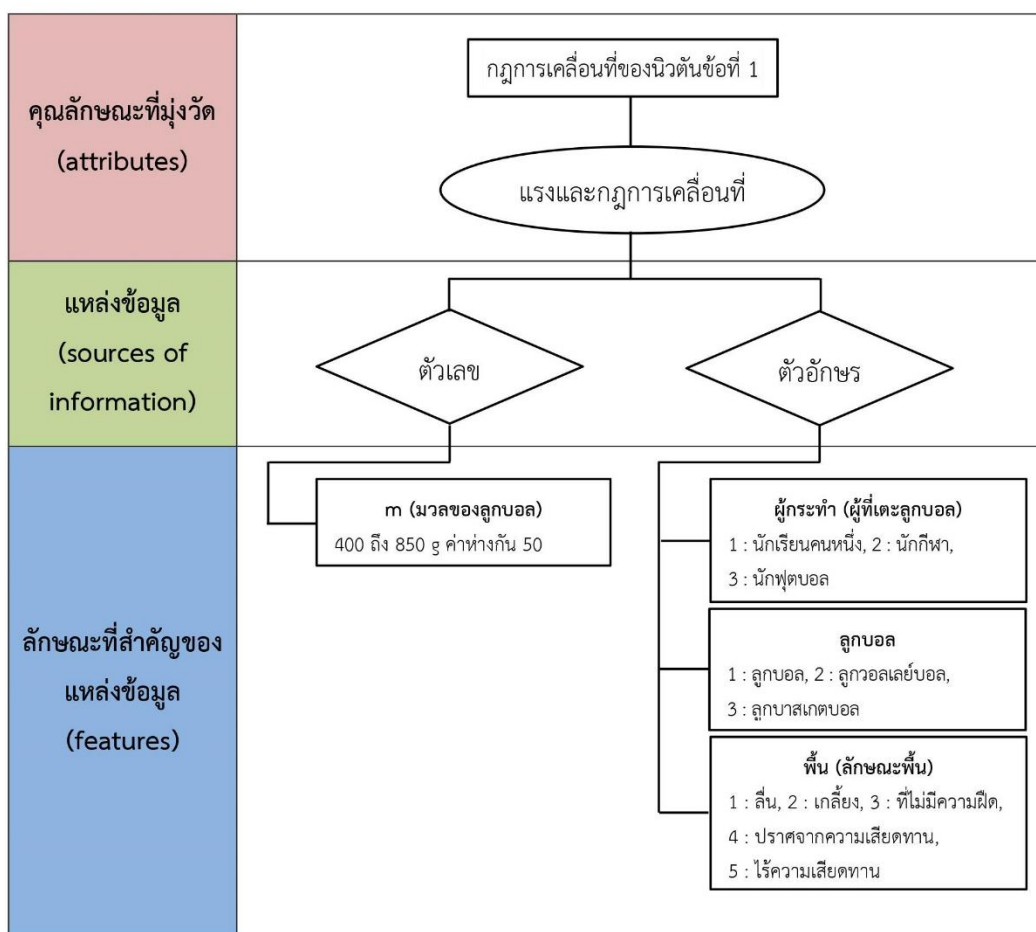


ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

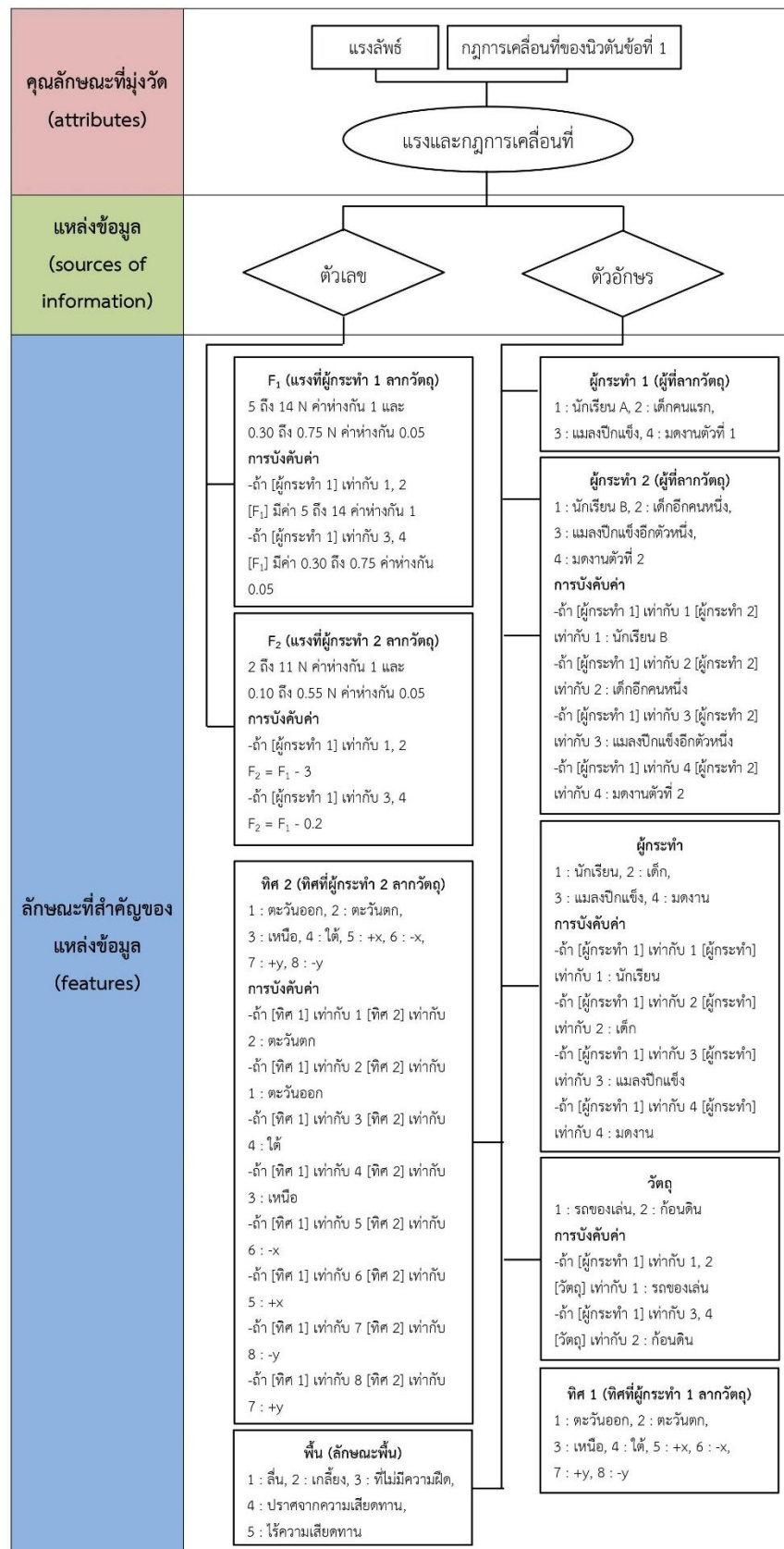
โมเดลพุทธิปัญญสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 2




โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 2

ข้อสอบตั้งต้น (parent item)	ลูกบอลมวล 600 กรัม วางอยู่กับที่ ถูกเตะให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบลื่น ในขณะที่ลูกบอลกำลังเคลื่อนที่ จงตอบคำถามต่อไปนี้ 1) มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล 2) เพราะเหตุใด ลูกบอลจึงสามารถเคลื่อนที่ได้หลังจากถูกเตะ ถึงแม้ว่าเท้าไม่ได้สัมผัสกับลูกบอลแล้ว
โมเดลข้อสอบ (item model)	
คำถาม (stem)	[สถานการณ์] [คำถาม]
ส่วนประกอบย่อย (elements)	<p>ขั้นที่ 1</p> <p>[สถานการณ์] (ข้อความ) :</p> <p>1 : [ผู้กระทำ] เตะ [ลูกบอล] มวล [m] กรัม ที่อยู่นิ่ง ให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบ [พื้น] ในขณะที่ [ลูกบอล] กำลังเคลื่อนที่ จงพิจารณาว่า</p> <p>2 : [ลูกบอล] มวล [m] กรัม วางอยู่กับที่ ถูกเตะให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบ [พื้น] ในขณะที่ [ลูกบอล] กำลังเคลื่อนที่ จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ) :</p> <p>1) มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างกระทำต่อ [ลูกบอล]</p> <p>2) เพราะเหตุใด [ลูกบอล] จึงสามารถเคลื่อนที่ได้หลังจากถูกเตะ ถึงแม้ว่าเท้าไม่ได้สัมผัสกับลูกบอลแล้ว</p> <p>จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY</p> <p>ขั้นที่ 2</p> <p>[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : 1 : นักเรียนคนหนึ่ง, 2 : นักกีฬา, 3 : นักฟุตบอล</p> <p>[ลูกบอล] (ตัวอักษร) : 1 : ลูกบอล, 2 : ลูกวอลเลย์บอล, 3 : ลูกบาสเกตบอล</p> <p>[m] (ตัวเลข) : มีค่า 400 ถึง 850 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 50</p> <p>[พื้น] (ตัวอักษร) : 1 : ลื่น, 2 : เกลี้ยง, 3 : ที่ไม่มีความฝืด, 4 : ปราศจากความเสียดทาน, 5 : ไร้ความเสียดทาน</p>
เฉลย (key)	<p>1) ไม่มีแรงในแนวระดับกระทำต่อ [ลูกบอล] ขณะกำลังเคลื่อนที่</p> <p>2) [ลูกบอล] สามารถเคลื่อนที่ได้เนื่องจากการรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมที่เป็นผลมาจากการถูกเตะ</p>





โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 3



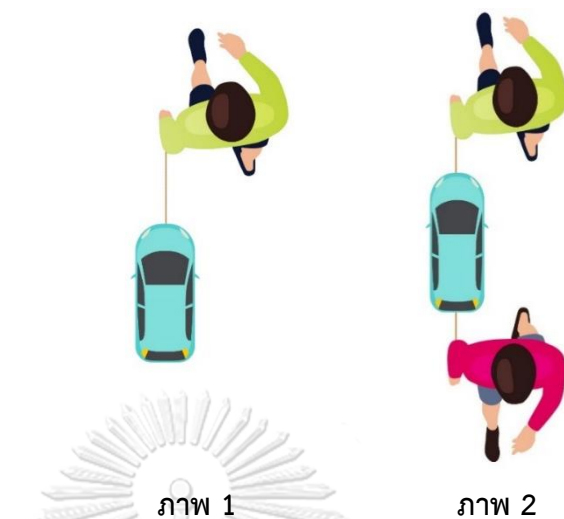
โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 3

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>นักเรียน A ลากรถของเล่นไปทางทิศตะวันตกบนพื้นราบเกลี้ยงด้วยแรงขนาด 12 นิวตัน ดังภาพ 1 ต่อมานักเรียน B ลากรถของเล่นไปทางทิศตะวันออก ด้วยแรงขนาด 9 นิวตัน ดังภาพ 2 จงหาว่า</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) รถของเล่นเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือไม่ เพราะเหตุใด 2) หากนักเรียนทั้งสองหยุดออกแรงกระทำพร้อมกัน จะทำให้รถของเล่นเคลื่อนที่ต่อไปได้ เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น <div style="text-align: center;">  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> ภาพ 1 ภาพ 2 </div> </div>
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[ผู้กระทำ 1] ลาก [วัตถุ] ไปทางทิศ [ทิศ 1] บนพื้นราบ [พื้น] ด้วยแรงขนาด $[F_1]$ นิวตัน ดังภาพ 1 ต่อมา [ผู้กระทำ 2] ลาก [วัตถุ] ไปทางทิศ [ทิศ 2] ด้วยแรงขนาด $[F_2]$ นิวตัน ดังภาพ 2 จงหาว่า</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) [วัตถุ] [คำถาม 1] 2) หาก [ผู้กระทำ] ทั้งสองหยุดออกแรงกระทำพร้อมกัน จะทำให้ [วัตถุ] [คำถาม 2]
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>[ผู้กระทำ 1] (ตัวอักษร) : 1 : นักเรียน A, 2 : เด็กคนแรก, 3 : แมลงปีกแข็ง, 4 : มดงานตัวที่ 1</p> <p>[ผู้กระทำ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ผู้กระทำ 2] เท่ากับ 1 : นักเรียน B</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ผู้กระทำ 2] เท่ากับ 2 : เด็กอีกคนหนึ่ง</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3 กำหนดให้ [ผู้กระทำ 2] เท่ากับ 3 : แมลงปีกแข็งอีกตัวหนึ่ง</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 4 กำหนดให้ [ผู้กระทำ 2] เท่ากับ 4 : มดงานตัวที่ 2</p> <p>[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1 : นักเรียน</p>

	<p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ผู้กระทำ] เท่ากับ 2 : เด็ก</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3 กำหนดให้ [ผู้กระทำ] เท่ากับ 3 : แมลงปีกแข็ง</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 4 กำหนดให้ [ผู้กระทำ] เท่ากับ 4 : มดงาน</p> <p>[วัตถุ] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1, 2 กำหนดให้ [วัตถุ] เท่ากับ 1 : รถของเล่น</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3, 4 กำหนดให้ [วัตถุ] เท่ากับ 2 : ก้อนดิน</p> <p>[ทิศ 1] (ตัวอักษร) : 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก, 3 : เหนือ, 4 : ใต้, 5 : $+x$, 6 : $-x$, 7 : $+y$, 8 : $-y$</p> <p>[ทิศ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 : ตะวันตก</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 : ตะวันออก</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 3 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 : ใต้</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 4 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 : เหนือ</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 5 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 6 : $-x$</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 6 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 5 : $+x$</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 7 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 8 : $-y$</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 8 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 7 : $+y$</p> <p>[พื้น] (ตัวอักษร) : 1 : ลื่น, 2 : เกลี้ยง, 3 : ที่ไม่มีความฝืด, 4 : ปราศจากความเสียดทาน, 5 : ไร้ความเสียดทาน</p> <p>[F₁] (ตัวเลข) : ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1, 2 กำหนดให้ [F₁] มีค่า 5 ถึง 14 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 1</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3, 4 กำหนดให้ [F₁] มีค่า 0.30 ถึง 0.75 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 0.05</p> <p>[F₂] (ตัวเลข) : ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1, 2 กำหนดให้ [F₂] มีค่า [F₁] - 3</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3, 4 กำหนดให้ [F₂] มีค่า [F₁] - 0.2</p> <p>[คำถาม 1] (ข้อความ) : 1 : เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือไม่ เพราะเหตุใด</p> <p>2 : เคลื่อนที่ต่อไปในทิศทางใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ</p> <p>[คำถาม 2] (ข้อความ) : ถ้า [คำถาม 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [คำถาม 2] เท่ากับ 1 : เคลื่อนที่ต่อไปได้ เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น</p> <p>ถ้า [คำถาม 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [คำถาม 2] เท่ากับ 2 : เคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงที่ เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น</p>
--	--

<p>เฉลย (key)</p>	<p>เมื่อ [คำถาม 1] และ [คำถาม 2] เท่ากับ 1 คำตอบมีรายละเอียด ดังนี้</p> <p>1) [วัตถุ] ไม่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ เพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อ [วัตถุ] มีทิศเดิม นั่นคือ ทิศ [ทิศ 1]</p> <p>2) [วัตถุ] เคลื่อนที่ต่อไปได้ เพราะรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมที่เป็นผลมาจากการออกแรงกระทำจาก [ผู้กระทำ] ทั้งสอง</p> <p>เมื่อ [คำถาม 1] และ [คำถาม 2] เท่ากับ 2 คำตอบมีรายละเอียด ดังนี้</p> <p>1) [วัตถุ] เคลื่อนที่ต่อไปในทิศ [ทิศ 1] เพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อ [วัตถุ] มีทิศ [ทิศ 1] และมีค่าไม่เป็นศูนย์</p> <p>2) [วัตถุ] เคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงที่ เนื่องจากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อ [วัตถุ] มีค่าเป็นศูนย์</p>
<p>รูปภาพ</p>	<p>[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1, 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5</p> <div style="text-align: center;">   </div> <p style="text-align: center;">ภาพ 1 ภาพ 2</p> <p>[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1, 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6</p> <div style="text-align: center;">   </div> <p style="text-align: center;">ภาพ 1 ภาพ 2</p>

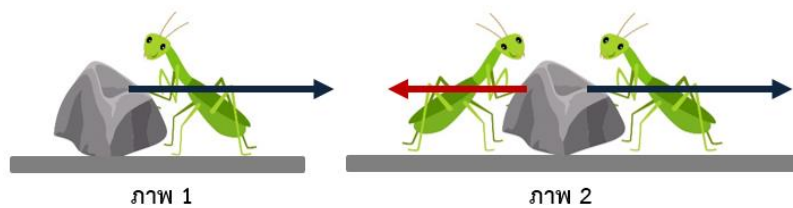
[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1, 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7



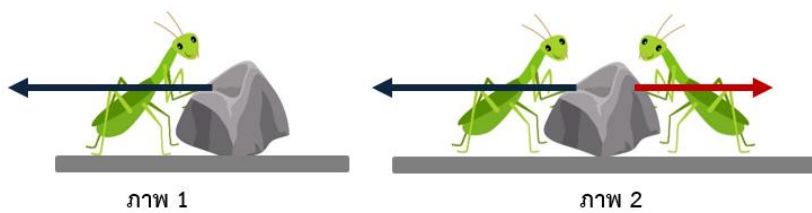
[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1, 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8



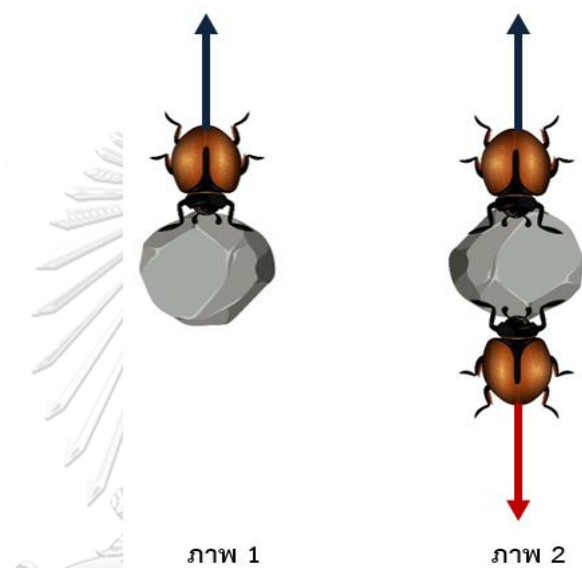
[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5



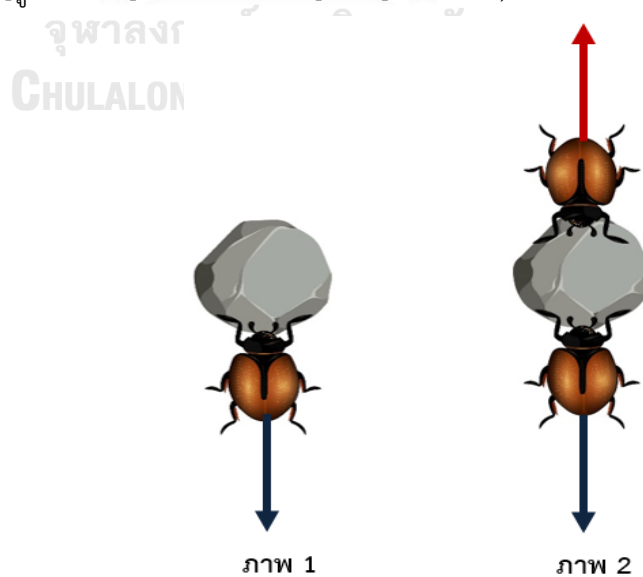
[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6



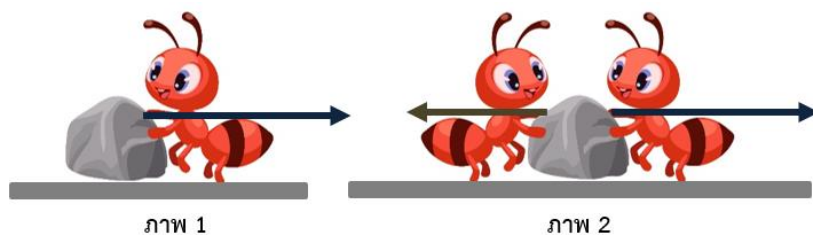
[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7



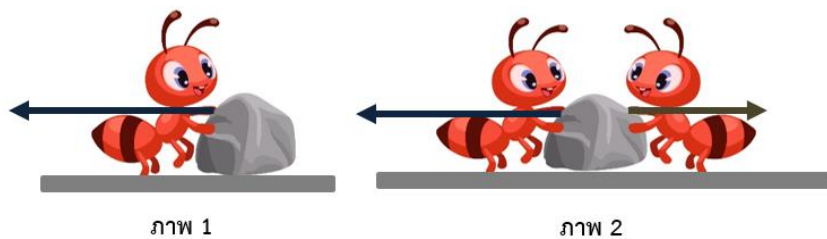
[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8



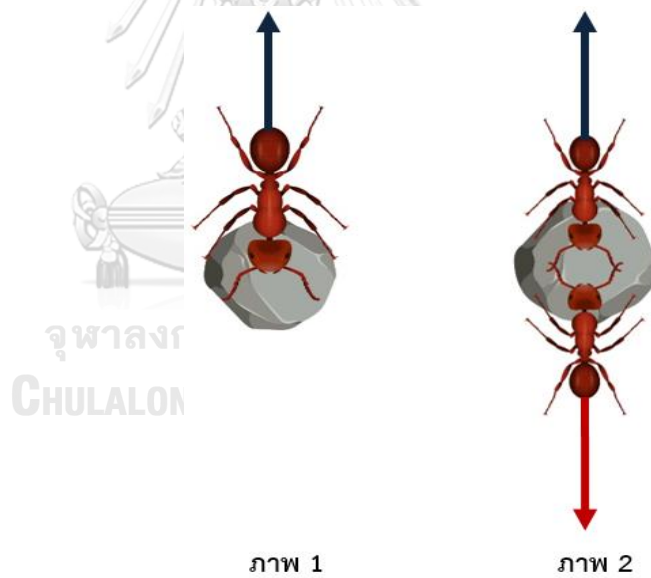
[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 4 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5



[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 4 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6



[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 4 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7



จุฬาลงกรณ์
CHULALONGKORN

[ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 4 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8

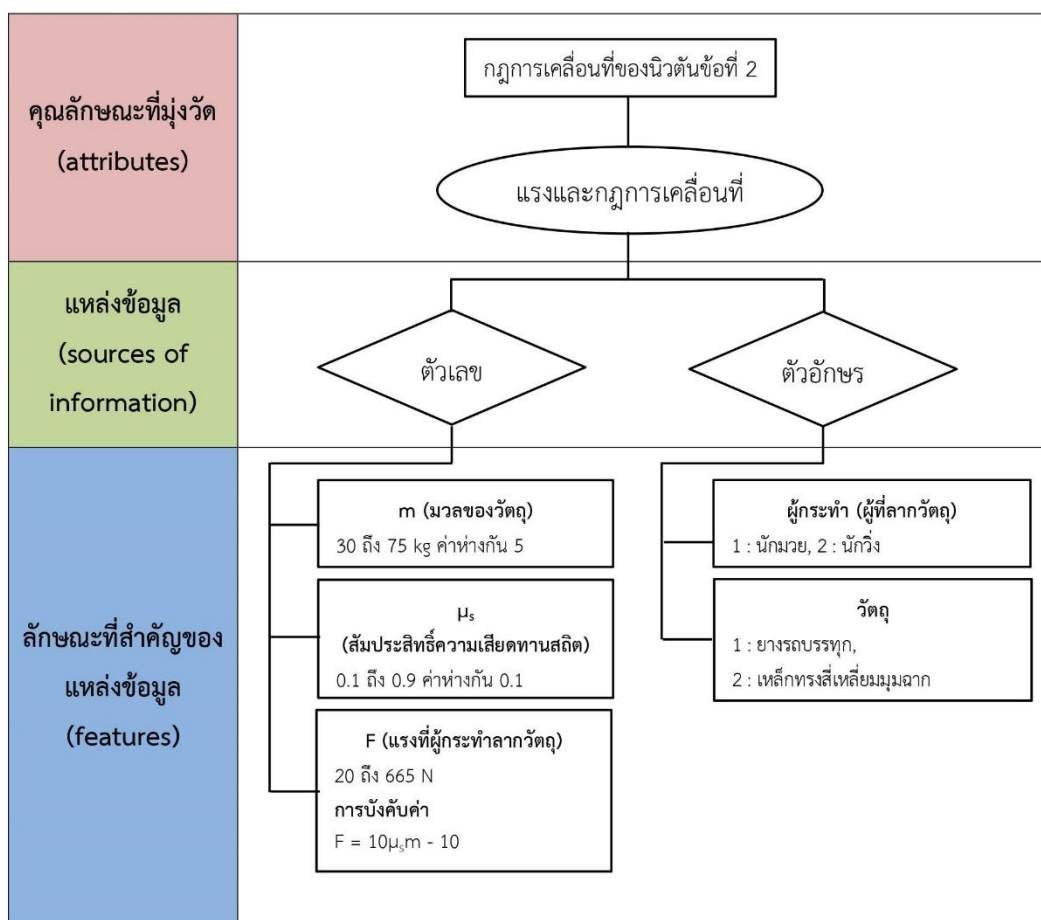


ภาพ 1



ภาพ 2

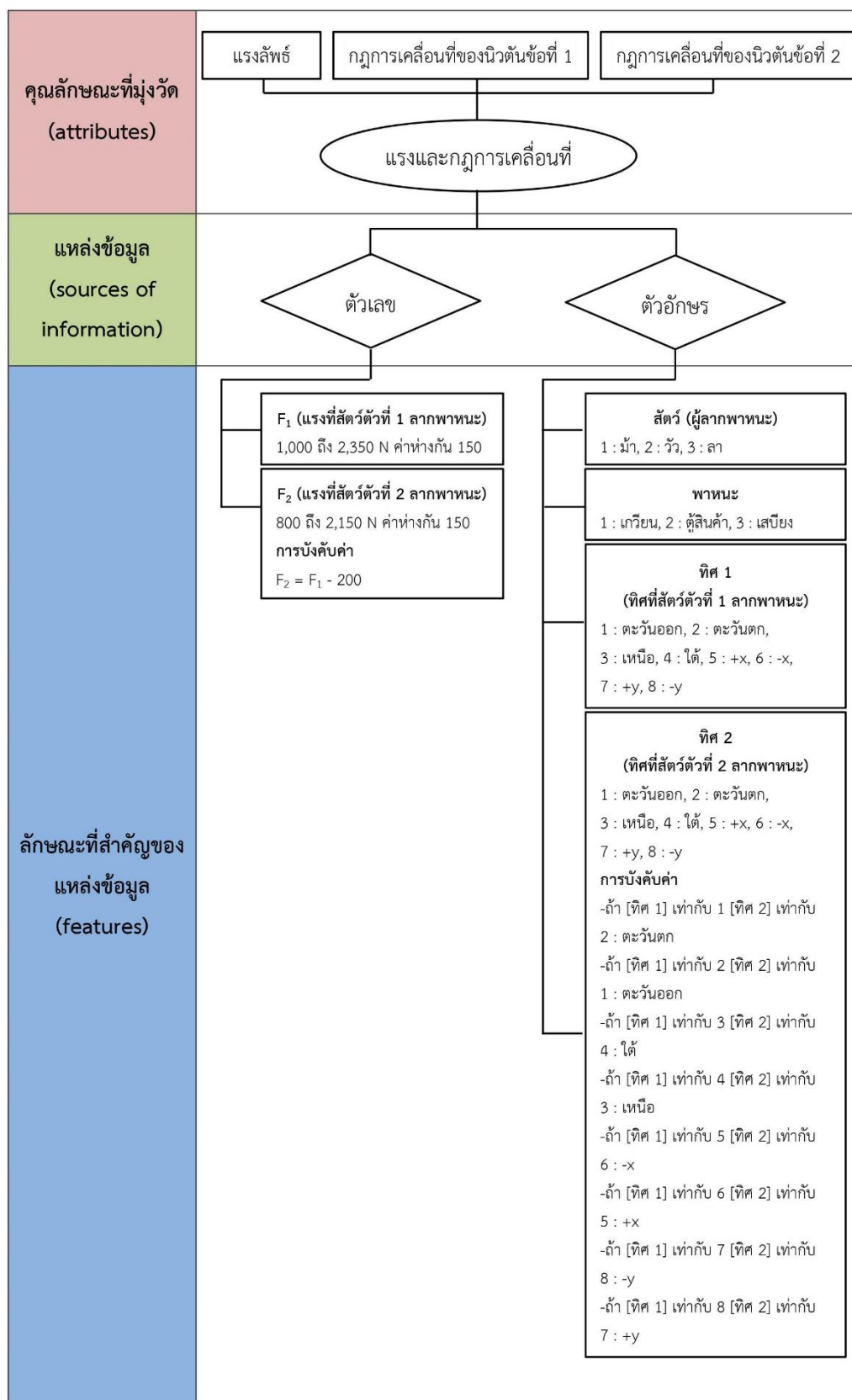
โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 4





โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 4







ข้อสอบตั้งต้น (parent item)	นักวิ่งนำเชือกมาผูกตนเองเข้ากับยางรถบรรทุกมวล 50 กิโลกรัม ที่วางนิ่งอยู่บนพื้นราบที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต เท่ากับ 0.2 จากนั้นออกแรงลาก 90 นิวตัน กระทำกับยางรถบรรทุกในแนวระดับ จงหาว่านักวิ่งสามารถลากยางรถบรรทุกไปได้หรือไม่ พร้อมให้เหตุผลสนับสนุนคำตอบ
โมเดลข้อสอบ (item model)	
คำถาม (stem)	[ผู้กระทำ] นำเชือกมาผูกตนเองเข้ากับ [วัตถุ] มวล [m] กิโลกรัม ที่วางนิ่งอยู่บนพื้นราบที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต เท่ากับ [μ_s] จากนั้นออกแรงลาก [F] นิวตัน กระทำกับ [วัตถุ] ในแนวระดับ จงหาว่า [ผู้กระทำ] สามารถลาก [วัตถุ] ได้หรือไม่ พร้อมให้เหตุผลสนับสนุนคำตอบ
ส่วนประกอบย่อย (elements)	[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : 1 : นักมวย, 2 : นักวิ่ง [วัตถุ] (ตัวอักษร) : 1 : ยางรถบรรทุก, 2 : เหล็กทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก [m] (ตัวเลข) : มีค่า 30 ถึง 75 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 5 [μ_s] (ตัวเลข) : มีค่า 0.1 ถึง 0.9 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 0.1 [F] (ตัวเลข) : มีค่า $10[\mu_s][m] - 10$
เฉลย (key)	[ผู้กระทำ] ไม่สามารถลาก [วัตถุ] ได้ เพราะแรงที่ใช้ลากมีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $10[\mu_s][m]$ นิวตัน จึงทำให้ [วัตถุ] ไม่เคลื่อนที่

โมเดลพหุปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 5

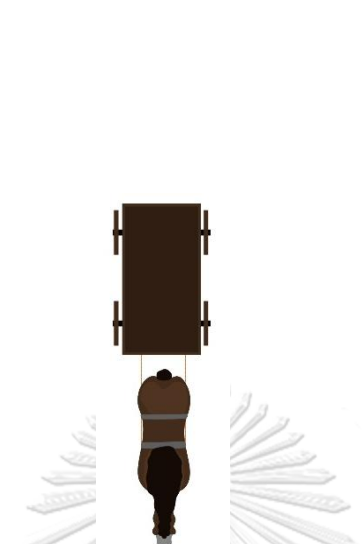


โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 5

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>ลาตัวหนึ่งลากเกวียนไปทางทิศตะวันออกด้วยแรง 1,000 นิวตัน บนพื้นราบลื่น ดังภาพ 1 ต่อมาผู้คุมนำลาอีกตัวหนึ่งมาผูกไว้กับเกวียนนี้ แล้วให้ลากไปทางทิศตะวันตก 800 นิวตัน ดังภาพ 2 จงหาว่า</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) เกวียนจะเคลื่อนที่ไปในทิศใด 2) หากเชือกที่ผูกเกวียนกับลาทั้ง 2 ตัว ขาด จะทำให้เกวียนเคลื่อนที่ต่อไปได้หรือไม่ เพราะเหตุใด <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <p>ภาพ 1</p> <p>ภาพ 2</p> </div>
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[สัตว์] ตัวหนึ่งลาก [พาหนะ] ไปทางทิศ [ทิศ 1] ด้วยแรง [F₁] นิวตัน บนพื้นราบลื่น ดังภาพ 1 ต่อมาผู้คุมนำ [สัตว์] อีกตัวหนึ่งมาผูกไว้กับ [พาหนะ] นี้ แล้วให้ลากไปทางทิศ [ทิศ 2] [F₂] นิวตัน ดังภาพ 2 จงหาว่า</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) [พาหนะ] จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด 2) หากเชือกที่ผูก [พาหนะ] กับ [สัตว์] ทั้ง 2 ตัว ขาด จะทำให้ [พาหนะ] เคลื่อนที่ต่อไปได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>[สัตว์] (ตัวอักษร) : 1 : ม้า, 2 : วัว, 3 : ลา</p> <p>[พาหนะ] (ตัวอักษร) : 1 : เกวียน, 2 : ตู้สินค้า, 3 : เสี่ยง</p> <p>[ทิศ 1] (ตัวอักษร) : 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก, 3 : เหนือ, 4 : ใต้, 5 : +x, 6 : -x, 7 : +y, 8 : -y</p> <p>[ทิศ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 : ตะวันตก</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 : ตะวันออก</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 3 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 : ใต้</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 4 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 : เหนือ</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 5 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 6 : -x</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 6 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 5 : +x</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 7 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 8 : -y</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 8 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 7 : +y</p>

	<p>$[F_1]$ (ตัวเลข) : มีค่า 1,000 ถึง 2,350 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 150</p> <p>$[F_2]$ (ตัวเลข) : มีค่า $[F_1] - 200$</p>
เฉลย (key)	<p>1) [พาหนะ] ยังคงเคลื่อนที่ในทิศ [ทิศ 1] เช่นเดิม</p> <p>2) [พาหนะ] สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้เนื่องจากการรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมที่เป็นผลมาจากการลากของ [สัตว์] ทั้ง 2 ตัว</p>
รูปภาพ	<p>[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 1 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">ภาพ 1 ภาพ 2</p> <p>[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 1 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">ภาพ 1 ภาพ 2</p> <p>[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 1 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">ภาพ 1 ภาพ 2</p>

[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 1 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8



ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5



ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6

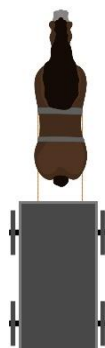


ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7



ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5



ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6



ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7



ภาพ 1



ภาพ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

[สัตว์] เท่ากับ 1, 3 และ [พาหนะ] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8



[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 1 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5



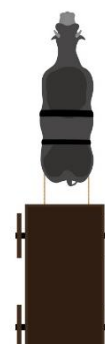
[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 1 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6



[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 1 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7



ภาพ 1

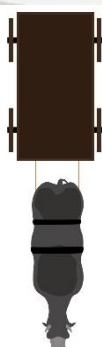


ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 1 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5



ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6



ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7



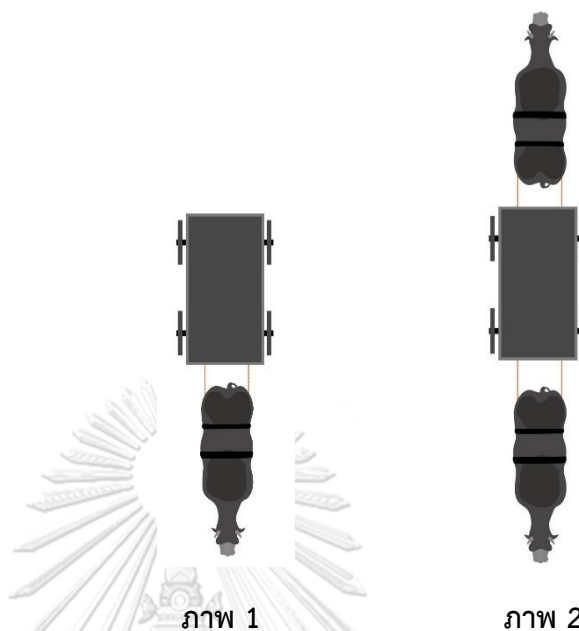
ภาพ 1



ภาพ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

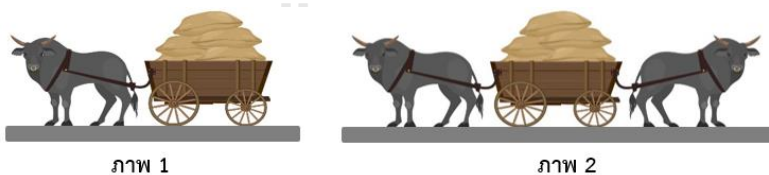
[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 2 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8



[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5



[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6



[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7



ภาพ 1



ภาพ 2

[สัตว์] เท่ากับ 2 และ [พาหนะ] เท่ากับ 3 และ [ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

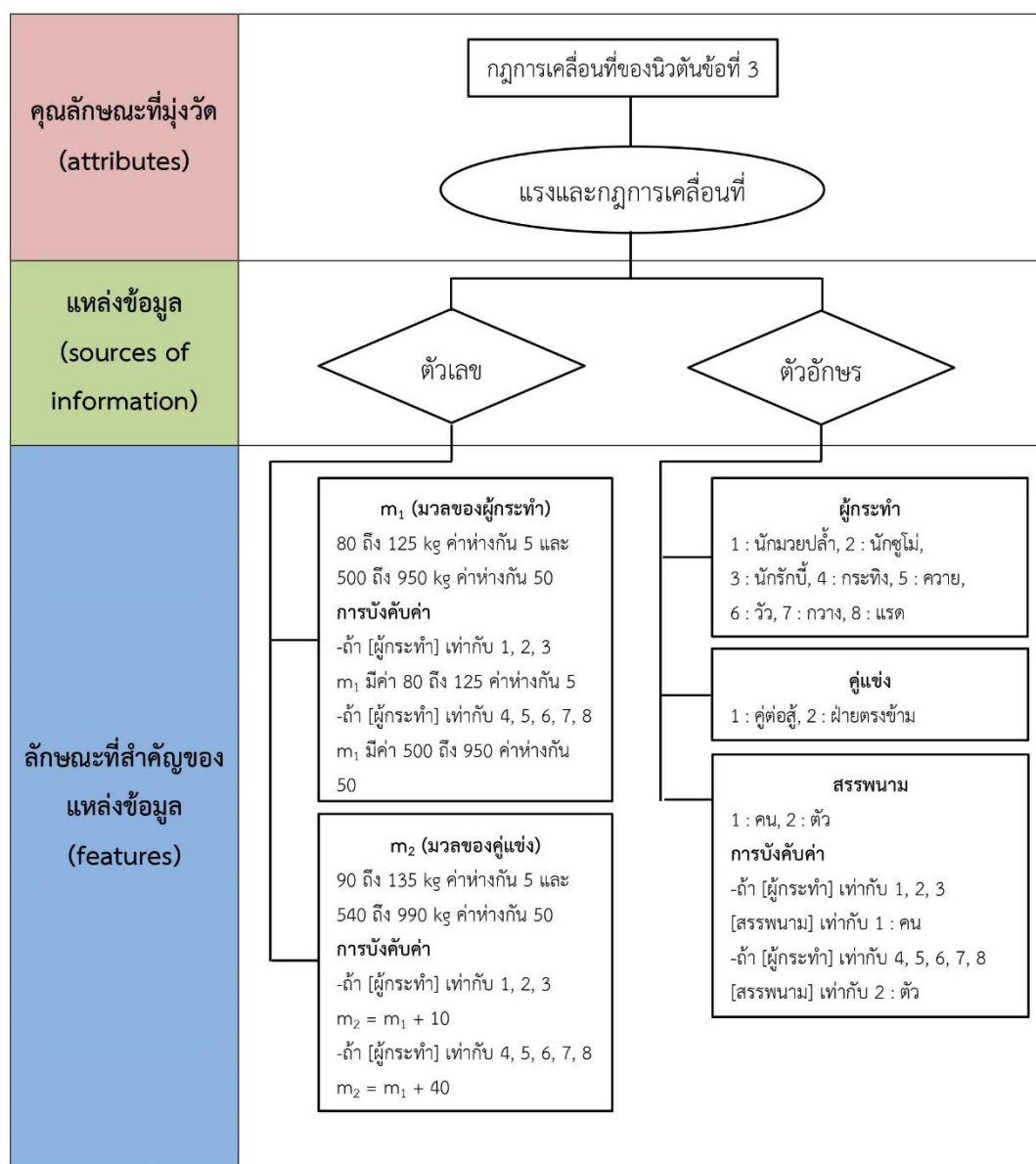


ภาพ 1



ภาพ 2

โมเดลพุทธิปัญญสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 6

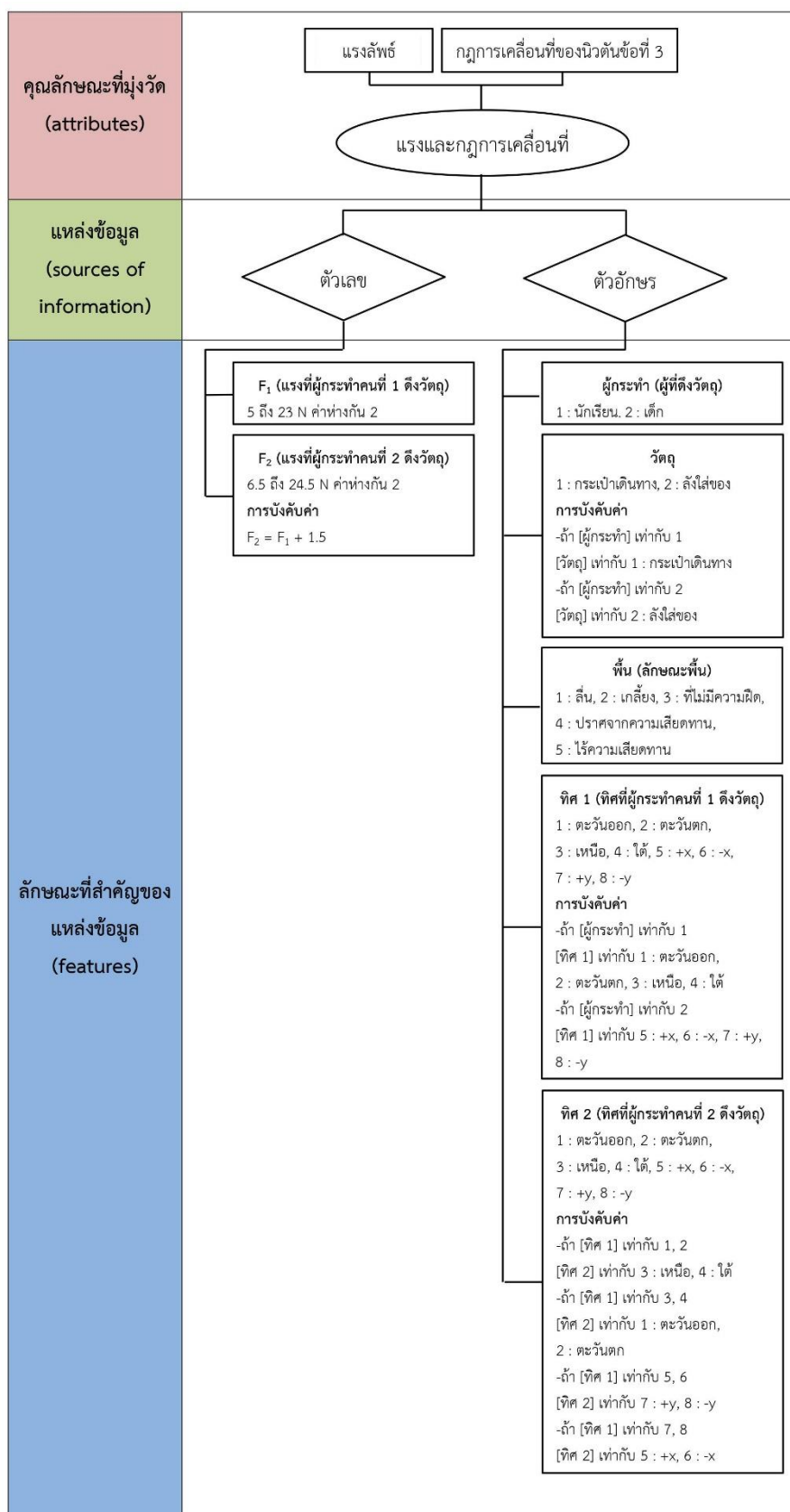


โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 6

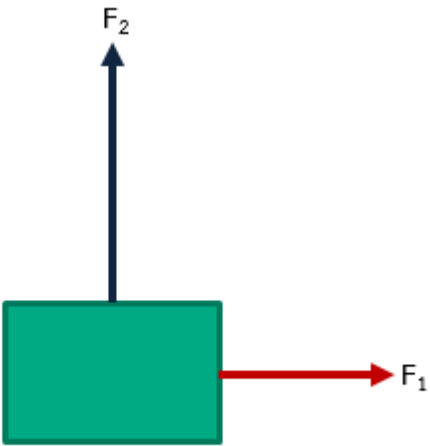
<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>นักมวยปล้ำ 2 คน เข้าปะทะกันบนพื้นราบลื่น โดยคนแรกมีมวล 100 กิโลกรัม ออกแรงผลักฝ่ายตรงข้าม มวล 110 กิโลกรัม ที่เป็นฝ่ายตั้งรับซึ่งยืนอยู่นิ่ง จงหาว่า</p> <p>1) นักมวยปล้ำคนที่สองถูกกระทำด้วยแรงอะไรบ้างในแนวระดับ</p> <p>2) ขนาดของแรงที่นักมวยปล้ำคนแรกกระทำต่อนักมวยปล้ำคนที่สอง (กำหนดให้เป็น F_1) มีค่าเป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับแรงที่นักมวยปล้ำคนที่สองกระทำต่อนักมวยปล้ำคนแรก (กำหนดให้เป็น F_2) เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น</p>
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[สถานการณ์] [คำถาม]</p>
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>ขั้นที่ 1</p> <p>[สถานการณ์] (ข้อความ) :</p> <p>1 : [ผู้กระทำ] 2 คน เข้าปะทะกันบนพื้นราบลื่น โดยคนแรกมีมวล $[m_1]$ กิโลกรัม ออกแรงผลัก [คู่แข่ง] มวล $[m_2]$ กิโลกรัม ที่เป็นฝ่ายตั้งรับซึ่งยืนอยู่นิ่ง จงหาว่า</p> <p>2 : [ผู้กระทำ] 2 ตัว กำลังต่อสู้กันบนพื้นราบลื่น โดยตัวแรกมีมวล $[m_1]$ กิโลกรัม ออกแรงผลัก [คู่แข่ง] มวล $[m_2]$ กิโลกรัม ที่เป็นฝ่ายตั้งรับซึ่งยืนอยู่นิ่ง จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ) :</p> <p>1 : 1) มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างกระทำต่อ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] แรก</p> <p>2) เปรียบเทียบขนาดของแรงที่ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] แรก กระทำต่อ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] ที่สอง (กำหนดให้เป็น F_1) และแรงที่ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] ที่สองกระทำต่อ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] แรก (กำหนดให้เป็น F_2) พร้อมให้เหตุผลประกอบ</p> <p>2 : 1) [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] ที่สอง ถูกกระทำด้วยแรงอะไรบ้างในแนวระดับ</p>

	<p>2) ขนาดของแรงที่ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] แรก กระทำต่อ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] ที่สอง (กำหนดให้เป็น F_1) มีค่าเป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับแรงที่ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] ที่สองกระทำต่อ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] แรก (กำหนดให้เป็น F_2) เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น</p> <p>ขั้นที่ 2</p> <p>[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : ถ้า [สถานการณ์] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1 : นักมวยปล้ำ, 2 : นักซูโม่, 3 : นักรักบี้</p> <p>ถ้า [สถานการณ์] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ผู้กระทำ] เท่ากับ 4 : กระทั่ง, 5 : ควายเป็น, 6 : วัว, 7 : กวาง, 8 : แรด</p> <p>[m_1] (ตัวเลข) : ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1, 2, 3 กำหนดให้ [m_1] มีค่า 80 ถึง 125 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 5</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 4, 5, 6, 7, 8 กำหนดให้ [m_1] มีค่า 500 ถึง 950 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 50</p> <p>[m_2] (ตัวเลข) : ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1, 2, 3 กำหนดให้ [m_2] มีค่า [m_1] + 10</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 4, 5, 6, 7, 8 กำหนดให้ [m_2] มีค่า [m_1] + 40</p> <p>[คู่แข่ง] (ตัวอักษร) : 1 : คู่ต่อสู้, 2 : ฝ่ายตรงข้าม</p> <p>[สรรพนาม] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1, 2, 3 กำหนดให้ [สรรพนาม] เท่ากับ 1 : คน</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 4, 5, 6, 7, 8 กำหนดให้ [สรรพนาม] เท่ากับ 2 : ตัว</p>
เฉลย (key)	<p>เมื่อ [คำถาม] เท่ากับ 1 คำตอบมีรายละเอียด ดังนี้</p> <p>1) แรงในแนวระดับที่กระทำต่อ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] แรก คือ แรงที่ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] ที่สอง กระทำต่อ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] แรก</p> <p>2) F_1 มีค่าเท่ากับ F_2 เนื่องจากแรงทั้งสองเป็นแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาจึงมีขนาดเท่ากัน</p> <p>เมื่อ [คำถาม] เท่ากับ 2 คำตอบมีรายละเอียด ดังนี้</p> <p>1) แรงในแนวระดับที่กระทำต่อ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] ที่สอง คือ แรงที่ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] แรก กระทำต่อ [ผู้กระทำ] [สรรพนาม] ที่สอง</p> <p>2) F_1 มีค่าเท่ากับ F_2 เนื่องจากแรงทั้งสองเป็นแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาจึงมีขนาดเท่ากัน</p>

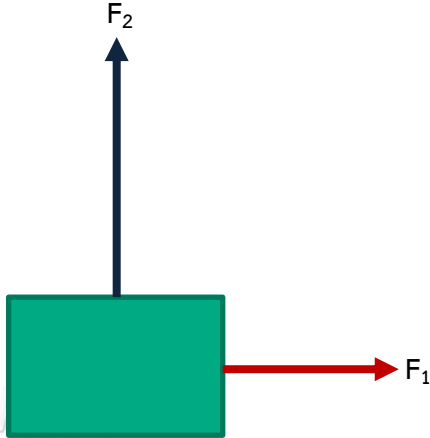
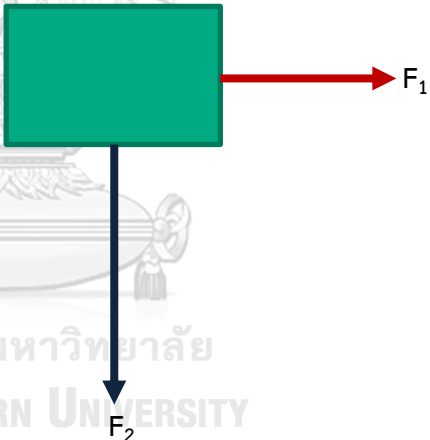
โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 7



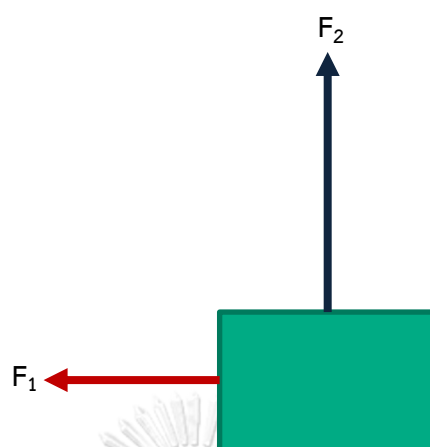
โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 7

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>นักเรียน 2 คน ดึงเชือกที่ผูกไว้คนละด้านของลังใส่ของที่วางอยู่บนพื้นราบลื่น ไปทางทิศตะวันออก 15 นิวตัน และทางทิศเหนือ 16.5 นิวตัน ดังภาพ เมื่อเชือกทั้งสองเส้นขาดพร้อมกัน ทำให้ลังใส่ของเคลื่อนที่ไปชนกำแพง จงหาว่า</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ลังใส่ของเข้าชนในทิศใด 2) ขณะเข้าชน มีแรงกระทำต่อกำแพงในแนวระดับหรือไม่ แรงอะไรบ้าง  <p>ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[ผู้กระทำ] 2 คน ดึงเชือกที่ผูกไว้คนละด้านของ [วัตถุ] ที่วางอยู่บนพื้นราบ [พื้น] ไปทางทิศ [ทิศ 1] [F_1] นิวตัน และทางทิศ [ทิศ 2] [F_2] นิวตัน ดังภาพ เมื่อเชือกทั้งสองเส้นขาดพร้อมกัน ทำให้ [วัตถุ] เคลื่อนที่ไปชนกำแพง จงหาว่า</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) [วัตถุ] เข้าชนในทิศใด 2) ขณะเข้าชน มีแรงกระทำต่อกำแพงในแนวระดับหรือไม่ แรงอะไรบ้าง
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : 1 : นักเรียน, 2 : เด็ก [วัตถุ] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [วัตถุ] เท่ากับ 1 : กระเป๋า เดินทาง ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [วัตถุ] เท่ากับ 2 : ลังใส่ของ [พื้น] (ตัวอักษร) : 1 : ลื่น, 2 : เกลี้ยง, 3 : ที่ไม่มีความฝืด, 4 : ปราศจาก ความเสียดทาน, 5 : ไร้ความเสียดทาน [ทิศ 1] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก, 3 : เหนือ, 4 : ใต้</p>

	<p>ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ทิศ 1] เท่ากับ 5 : +x, 6 : -x, 7 : +y, 8 : -y</p> <p>[ทิศ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 2 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 : เหนือ, 4 : ใต้</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 4 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 5, 6 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 7 : +y, 8 : -y</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 7, 8 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 5 : +x, 6 : -x</p> <p>[F₁] (ตัวเลข) : มีค่า 5 ถึง 23 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 2</p> <p>[F₂] (ตัวเลข) : มีค่า [F₁] + 1.5</p>
เฉลย (key)	<p>1) [วัตถุ] เข้าชนกำแพงในแนวทิศ [answer]</p> <p>2) มีแรงกระทำต่อกำแพงในแนวระดับ ได้แก่ แรงที่ [วัตถุ] กระทำต่อกำแพง</p> <p>หมายเหตุ แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับนี้มุ่งวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน จึงอนุโลมให้ “แนวทิศ [answer]” เป็นคำตอบที่ถูกต้อง โดยไม่ต้องระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในรูปของมุม เนื่องจากไม่ได้มุ่งวัดความรู้ของนักเรียนในเรื่องนี้</p> <p>ส่วนประกอบย่อย</p> <p>[answer] (ตัวอักษร) :</p> <p>1 : ตะวันออกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>2 : ตะวันออกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>3 : ตะวันตกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p> <p>4 : ตะวันตกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p>

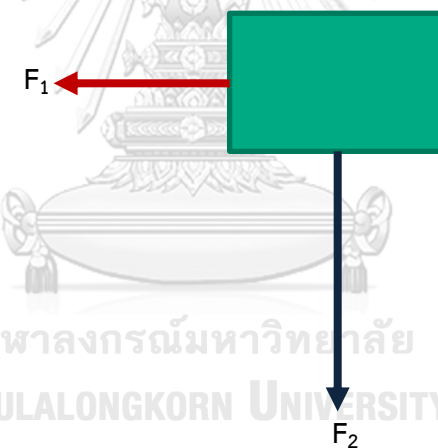
รูปภาพ	<p>[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3, 7</p>  <p>ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>
	<p>[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4, 8</p>  <p>ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3, 7



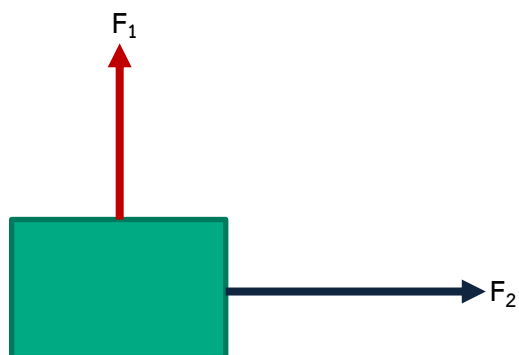
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4, 8



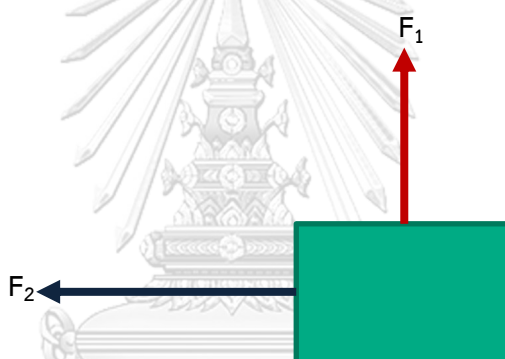
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1, 5



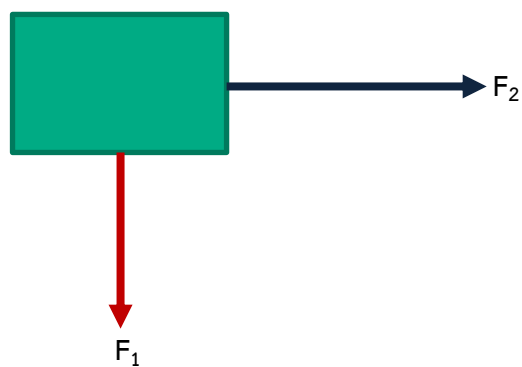
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2, 6



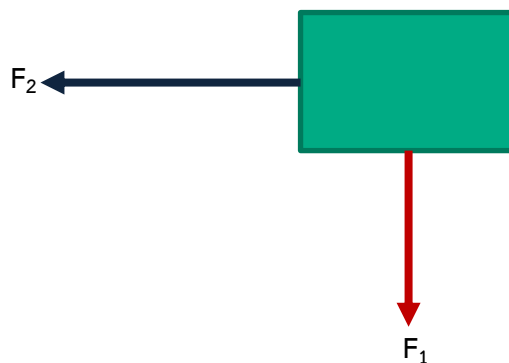
ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1, 5



ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

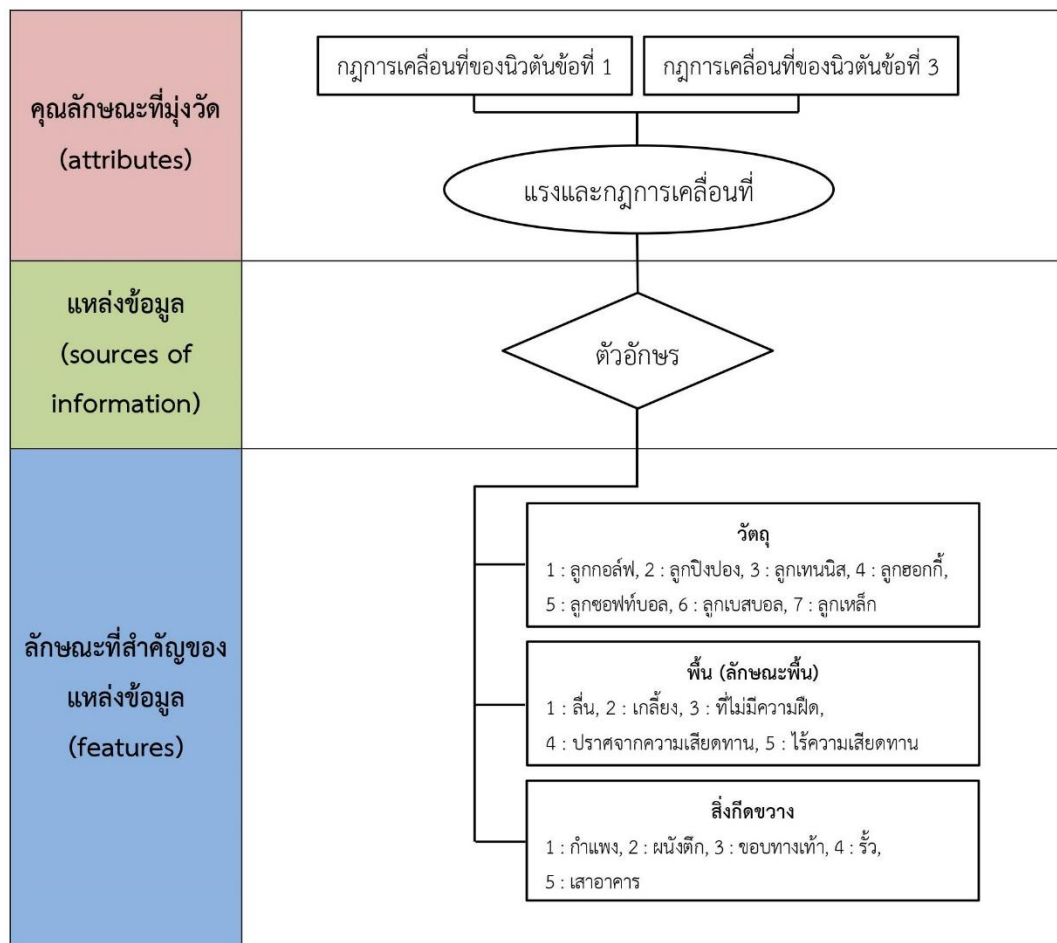
[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2, 6



ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)



โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 8



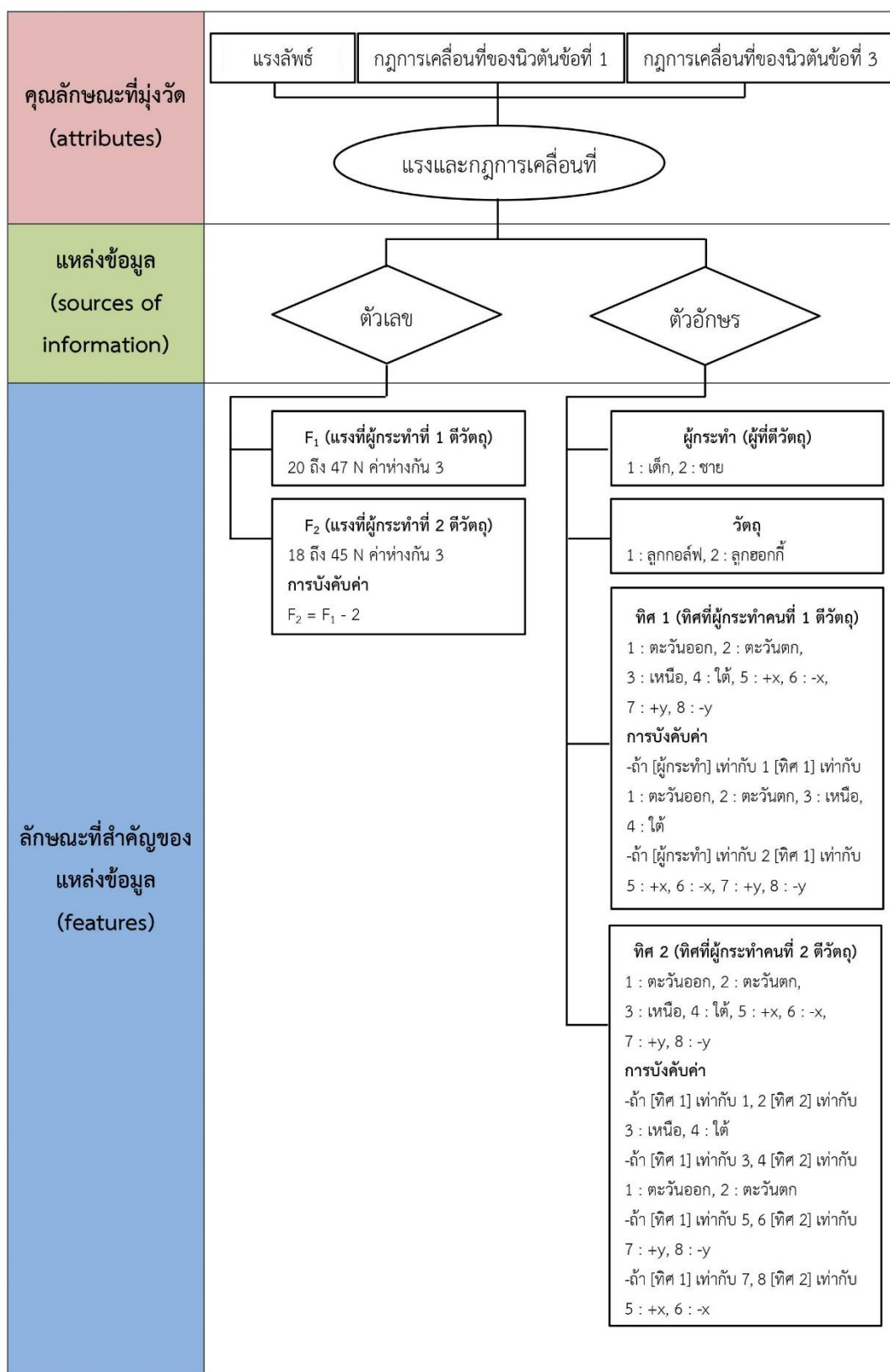
โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 8

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>นักเรียนคนหนึ่งตีลูกกอล์ฟให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบไร้ความเสียดทานเข้าชนกำแพง จงพิจารณาว่ามีแรงกระทำต่อวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ในกรณีต่อไปนี้หรือไม่ แรงอะไรบ้าง</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ลูกกอล์ฟก่อนเข้าชน 2) ลูกกอล์ฟขณะเข้าชน 3) กำแพงขณะถูกชน
โมเดลข้อสอบ (item model)	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>นักเรียนคนหนึ่งตี [วัตถุ] ให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบ [พื้น] เข้าชน [สิ่งกีดขวาง]</p> <p>[คำถาม]</p>
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>[วัตถุ] (ตัวอักษร) : 1 : ลูกกอล์ฟ, 2 : ลูกปิงปอง, 3 : ลูกเทนนิส, 4 : ลูกชกกี, 5 : ลูกซอฟท์บอล, 6 : ลูกเบสบอล, 7 : ลูกเหล็ก</p> <p>[พื้น] (ตัวอักษร) : 1 : ลื่น, 2 : เกลี้ยง, 3 : ที่ไม่มีความผิด, 4 : ปราศจากความเสียดทาน, 5 : ไร้ความเสียดทาน</p> <p>[สิ่งกีดขวาง] (ตัวอักษร) : 1 : กำแพง, 2 : ผนังตึก, 3 : ขอบทางเท้า, 4 : รั้ว, 5 : เสาอาคาร</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ) :</p> <p>1 : จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) มีแรงอะไรบ้างในแนวการเคลื่อนที่ที่กระทำต่อ [วัตถุ] ก่อนเข้าชน [สิ่งกีดขวาง] 2) มีแรงอะไรบ้างในแนวการเคลื่อนที่ที่กระทำต่อ [วัตถุ] ขณะเข้าชน [สิ่งกีดขวาง] 3) มีแรงอะไรบ้างในแนวการเคลื่อนที่ที่กระทำต่อ [สิ่งกีดขวาง] ขณะ [วัตถุ] เข้าชน <p>2 : จงพิจารณาว่ามีแรงกระทำต่อวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ในกรณีต่อไปนี้หรือไม่ แรงอะไรบ้าง</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) [วัตถุ] ก่อนเข้าชน 2) [วัตถุ] ขณะเข้าชน 3) [สิ่งกีดขวาง] ขณะถูกชน

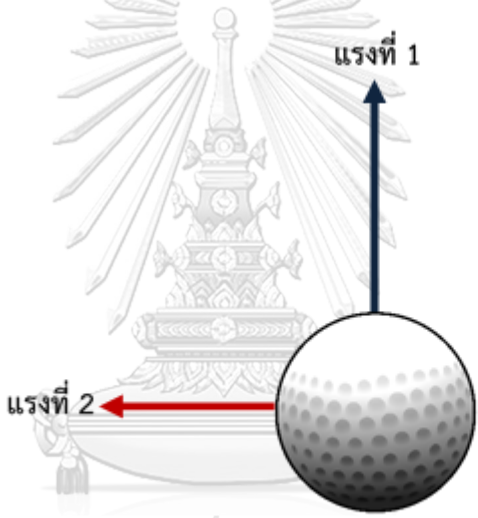
<p>เฉลย (key)</p>	<p>1) ไม่มีแรงกระทำต่อ [วัตถุ] ในแนวการเคลื่อนที่ ก่อนเข้าชน [สิ่งกีดขวาง]</p> <p>2) มีแรงกระทำต่อ [วัตถุ] ในแนวการเคลื่อนที่ ขณะเข้าชน [สิ่งกีดขวาง] คือ แรงที่ [สิ่งกีดขวาง] กระทำต่อ [วัตถุ]</p> <p>3) มีแรงกระทำต่อ [สิ่งกีดขวาง] ในแนวการเคลื่อนที่ ขณะ [วัตถุ] เคลื่อนที่เข้าชน คือ แรงที่ [วัตถุ] กระทำต่อ [สิ่งกีดขวาง]</p>
-----------------------	---



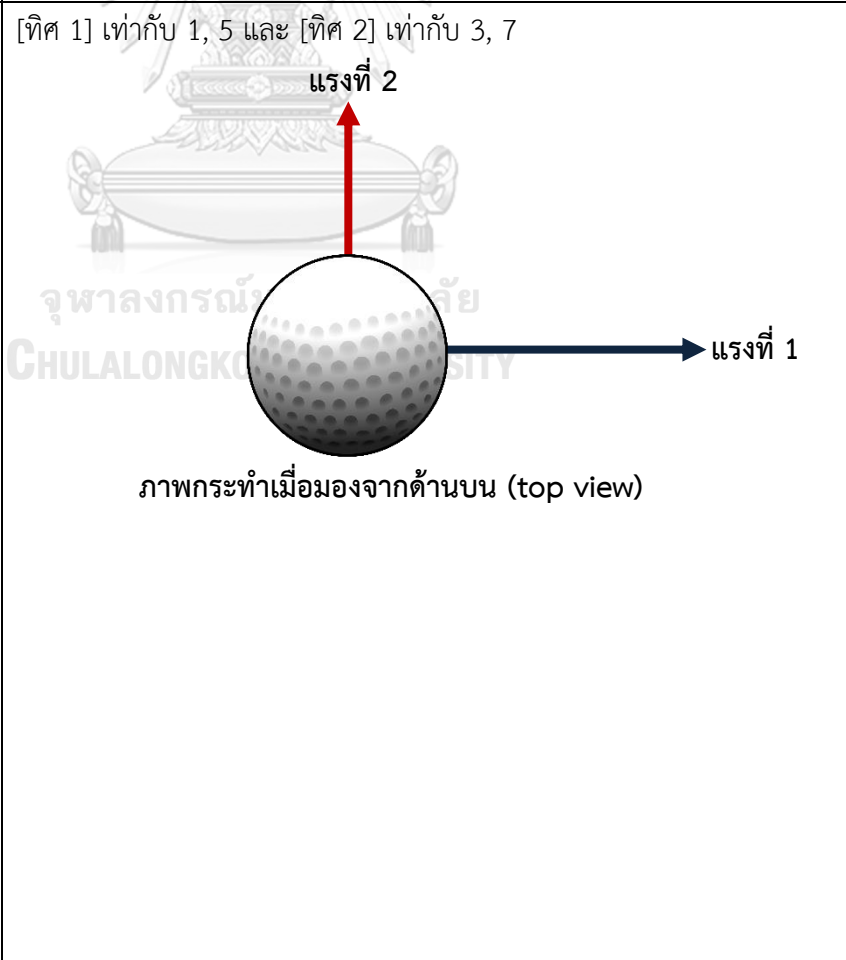
โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 9



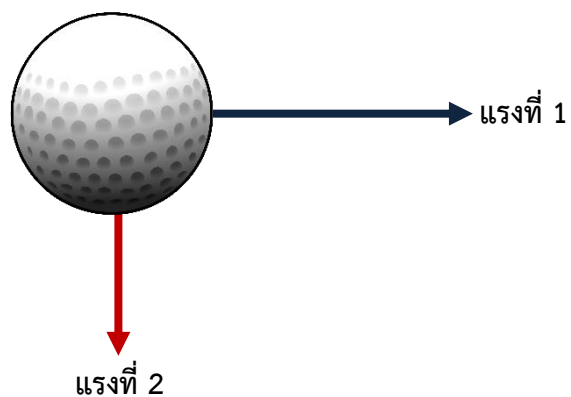
โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 9

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>เด็ก 2 คน ออกแรงตีลูกกอล์ฟที่วางนิ่งอยู่บนสนามหญ้าพร้อมกัน โดยเด็กคนที่ 1 ตีไปทางทิศเหนือด้วยแรงขนาด 20 นิวตัน ส่วนเด็กคนที่ 2 ตีไปทางทิศตะวันตกด้วยแรงขนาด 18 นิวตัน ดังภาพ ทำให้ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ไปชนขอบสนาม จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ไปชนขอบสนามในทิศใด 2) เพราะเหตุใด ลูกกอล์ฟจึงสามารถเคลื่อนที่ไปชนขอบสนามได้ถึงแม้ว่าไม่ตีจะไม่ได้อัดสัมผัสกับลูกกอล์ฟแล้ว 3) ขณะที่เข้าชนขอบสนาม มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างที่กระทำต่อลูกกอล์ฟ (ไม่คิดแรงเสียดทาน)  <p>ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[ผู้กระทำ] 2 คน ออกแรงตี [วัตถุ] ที่วางนิ่งอยู่บนสนามหญ้าพร้อมกัน โดย [ผู้กระทำ] คนที่ 1 ตีไปทางทิศ [ทิศ 1] ด้วยแรงขนาด $[F_1]$ นิวตัน ส่วน [ผู้กระทำ] คนที่ 2 ตีไปทางทิศ [ทิศ 2] ด้วยแรงขนาด $[F_2]$ นิวตัน ดังภาพ ทำให้ [วัตถุ] เคลื่อนที่ไปชนขอบสนาม [คำถาม]</p>
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : 1 : เด็ก, 2 : ชาย [วัตถุ] (ตัวอักษร) : 1 : ลูกกอล์ฟ, 2 : ลูกชอกกี [ทิศ 1] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก, 3 : เหนือ, 4 : ใต้</p>

	<p>ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ทิศ 1] เท่ากับ 5 : $+x$, 6 : $-x$, 7 : $+y$, 8 : $-y$</p> <p>[ทิศ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 2 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 : เหนือ, 4 : ใต้</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 4 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 5, 6 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 7 : $+y$, 8 : $-y$</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 7, 8 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 5 : $+x$, 6 : $-x$</p> <p>[F₁] (ตัวเลข) : มีค่า 20 ถึง 47 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 3</p> <p>[F₂] (ตัวเลข) : มีค่า [F₁] - 2</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ) :</p> <p>1 : จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) [วัตถุ] เคลื่อนที่ไปชนขอบสนามในทิศใด 2) เพราะเหตุใด [วัตถุ] จึงสามารถเคลื่อนที่ไปชนขอบสนามได้ ถึงแม้ว่าไม้ตีจะไม่ได้สัมผัสกับ [วัตถุ] แล้ว 3) ขณะที่เข้าชนขอบสนาม มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างที่กระทำต่อ [วัตถุ] (ไม่คิดแรงเสียดทาน) <p>2 : จงหา</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ทิศทางการเคลื่อนที่ของ [วัตถุ] หลังถูกตี 2) เพราะเหตุใด [วัตถุ] จึงสามารถเคลื่อนที่ไปชนขอบสนามได้ ถึงแม้ว่าไม้ตีจะไม่ได้สัมผัสกับ [วัตถุ] แล้ว 3) แรงในแนวระดับที่กระทำต่อ [วัตถุ] ขณะชนขอบสนาม (ไม่คิดแรงเสียดทาน)
<p>เฉลย (key)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) [วัตถุ] เคลื่อนที่ในแนวทิศ [answer] 2) [วัตถุ] สามารถเคลื่อนที่ไปชนขอบสนามได้ เนื่องจากผลจากการถูกตีโดย [ผู้กระทำ] ทั้ง 2 คน 3) แรงในแนวระดับที่กระทำต่อ [วัตถุ] ขณะชนขอบสนาม คือ แรงที่ขอบสนามกระทำต่อ [วัตถุ] <p>หมายเหตุ แบบสอบวินิจฉัยชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๓ ที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับนี้มุ่งวินิจฉัยชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๓ ที่ตลาดเคลื่อนของนักเรียน จึงอนุโลมให้ “แนวทิศ [answer]” เป็นคำตอบที่ถูกต้อง โดยไม่ต้องระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในรูปของมุม เนื่องจากไม่ได้มุ่งวัดความรู้ของนักเรียนในเรื่องนี้</p>

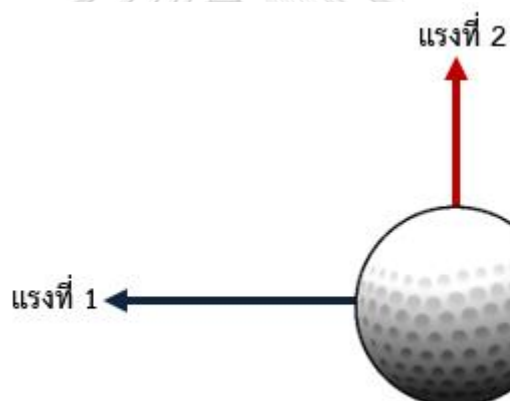
	<p>ส่วนประกอบย่อย</p> <p>[answer] (ตัวอักษร) :</p> <p>1 : ตะวันออกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>2 : ตะวันออกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>3 : ตะวันตกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p> <p>4 : ตะวันตกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p>
รูปภาพ	<p>[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3, 7</p>  <p>ภาพกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>

[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4, 8



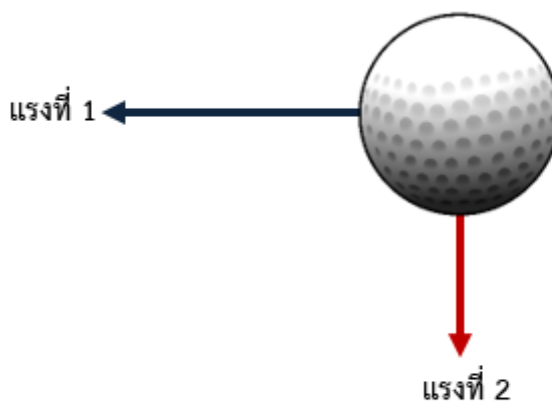
ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3, 7



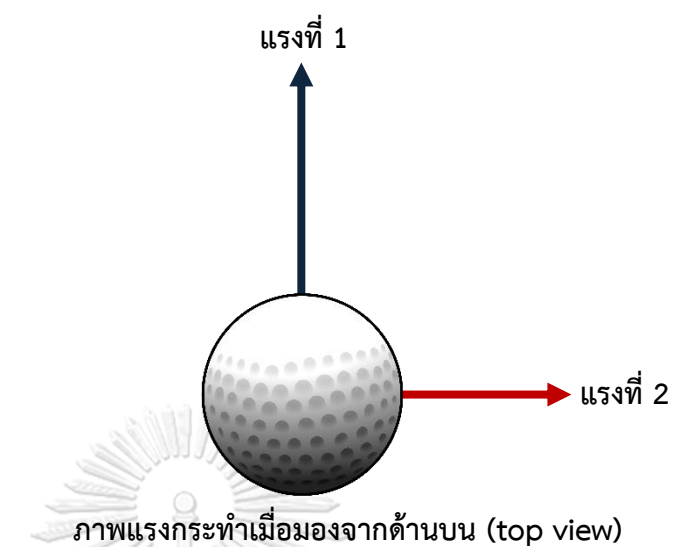
ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4, 8



ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

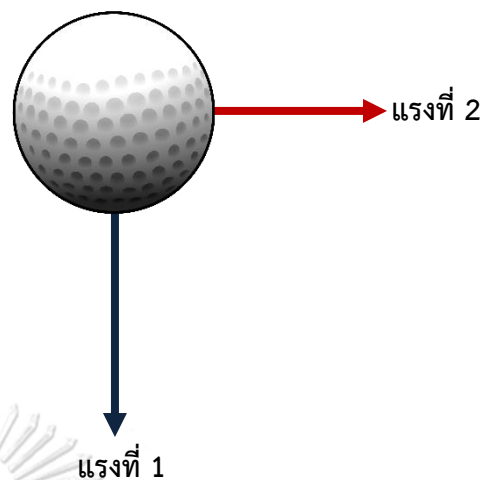
[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1, 5



[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2, 6



[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1, 5



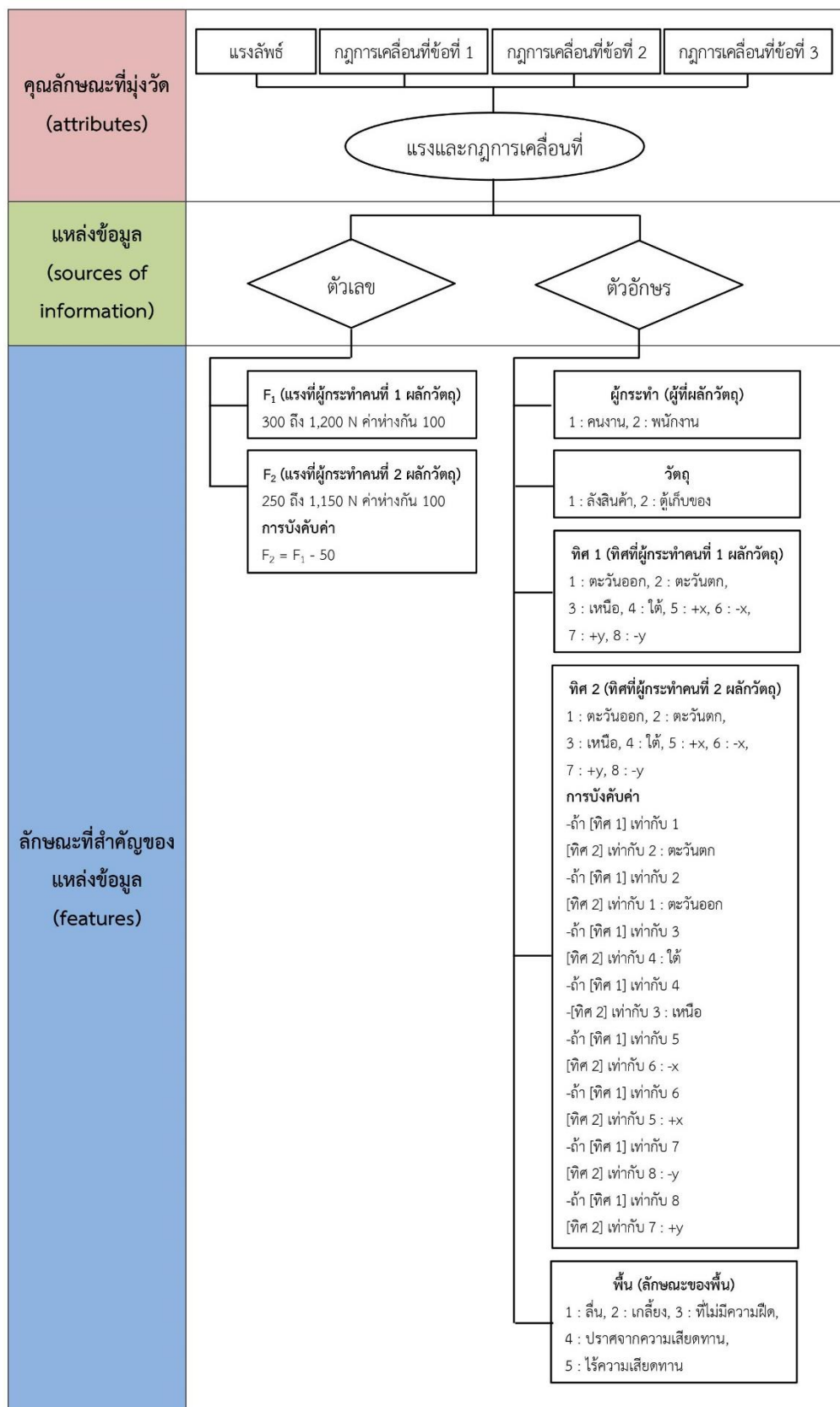
ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2, 6




ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 10



โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 10

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>คนงานผลักลังสินค้าไปทางทิศตะวันตก 1,000 นิวตัน บนพื้นราบลื่นเพื่อนำไปกองไว้รวมกัน ดังภาพ 1 ต่อมาคนงานคนที่ 2 ออกแรงผลักเพิ่ม 950 นิวตัน ไปทางทิศตะวันออก ดังภาพ 2 เมื่อลังสินค้านี้เคลื่อนที่เข้าใกล้ลังสินค้าอีกชั้นที่กองไว้ คนงานทั้ง 2 คน จึงหยุดออกแรงผลักพร้อมกันจากสถานการณ์ข้างต้น จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ลังสินค้าจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร หลังจากถูกคนงานคนที่ 2 ผลัก 2) อธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของลังสินค้า หลังจากคนงานทั้ง 2 คนหยุดออกแรงผลัก พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบ 3) สมมติว่าลังสินค้าชั้นนี้เคลื่อนที่เข้าชนลังสินค้าอีกชั้นที่วางอยู่ จงระบุแรงในแนวการเคลื่อนที่ที่กระทำต่อลังสินค้าที่เคลื่อนที่เข้าชน และลังสินค้าที่วางอยู่ (ถ้ามี) พร้อมทั้งเปรียบเทียบขนาดของแรงชนิดเดียวกันระหว่างลังสินค้าทั้ง 2 ชั้น <div style="text-align: center;">  <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> ภาพ 1 ภาพ 2 </div> </div>
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[ผู้กระทำ] ผลัก [วัตถุ] ไปทางทิศ [ทิศ 1] [F_1] นิวตัน บนพื้นราบ [พื้น] เพื่อนำไปกองไว้รวมกัน ดังภาพ 1 ต่อมา [ผู้กระทำ] คนที่ 2 ออกแรงผลักเพิ่ม [F_2] นิวตัน ไปทางทิศ [ทิศ 2] ดังภาพ 2 เมื่อ [วัตถุ] เคลื่อนที่เข้าใกล้ [วัตถุ] อีกชั้นที่กองไว้ [ผู้กระทำ] ทั้ง 2 คน จึงหยุดออกแรงผลักพร้อมกันจากสถานการณ์ข้างต้น จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) [วัตถุ] จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร หลังจากถูก [ผู้กระทำ] คนที่ 2 ผลัก 2) อธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของ [วัตถุ] หลังจาก [ผู้กระทำ] ทั้ง 2 คนหยุดออกแรงผลัก พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบ 3) สมมติว่า [วัตถุ] ชั้นนี้ เคลื่อนที่เข้าชน [วัตถุ] อีกชั้นที่วางอยู่ จงระบุแรงในแนวการเคลื่อนที่ที่กระทำต่อ [วัตถุ] ที่เคลื่อนที่เข้าชน และ [วัตถุ] ที่วางอยู่ (ถ้ามี) พร้อมทั้งเปรียบเทียบขนาดของแรงชนิดเดียวกันระหว่าง

	[วัตถุ] ทั้ง 2 ชิ้น
ส่วนประกอบย่อย (elements)	<p>[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : 1 : คนงาน, 2 : พนักงาน</p> <p>[วัตถุ] (ตัวอักษร) : 1 : ลังสินค้า, 2 : ตู้เก็บของ</p> <p>[ทิศ 1] (ตัวอักษร) : 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก, 3 : เหนือ, 4 : ใต้, 5 : +x, 6 : -x, 7 : +y, 8 : -y</p> <p>[ทิศ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 : ตะวันตก ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 : ตะวันออก ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 3 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 : ใต้ ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 4 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 : เหนือ ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 5 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 6 : -x ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 6 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 5 : +x ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 7 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 8 : -y ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 8 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 7 : +y</p> <p>[พื้น] (ตัวอักษร) : 1 : ลื่น, 2 : เกลี้ยง, 3 : ที่ไม่มีความฝืด, 4 : ปราศจากความเสียดทาน, 5 : ไร้ความเสียดทาน</p> <p>[F₁] (ตัวเลข) : มีค่า 300 ถึง 1,200 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 100</p> <p>[F₂] (ตัวเลข) : มีค่า [F₁] - 50</p>
เฉลย (key)	<p>1) [วัตถุ] ไม่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ โดยยังคงเคลื่อนที่ในทิศ [ทิศ 1] เช่นเดิม เนื่องจากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อ [วัตถุ] มีทิศ [ทิศ 1]</p> <p>2) [วัตถุ] จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ เนื่องจากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อ [วัตถุ] มีค่าเป็นศูนย์</p> <p>3) แรงในแนวการเคลื่อนที่ที่กระทำต่อ [วัตถุ] ที่เคลื่อนที่เข้าชน คือ แรงที่ [วัตถุ] ที่วางอยู่กระทำต่อ [วัตถุ] ที่เคลื่อนที่เข้าชน ส่วนแรงในแนวการเคลื่อนที่ที่กระทำต่อ [วัตถุ] ที่วางอยู่ คือ แรงที่ [วัตถุ] ที่เคลื่อนที่เข้าชนกระทำต่อ [วัตถุ] ที่วางอยู่ โดยทั้ง 2 แรง มีขนาดเท่ากัน</p>

รูปภาพ

[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5



ภาพ 1



ภาพ 2

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6



ภาพ 1



ภาพ 2

[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7



ภาพ 1



ภาพ 2

[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8

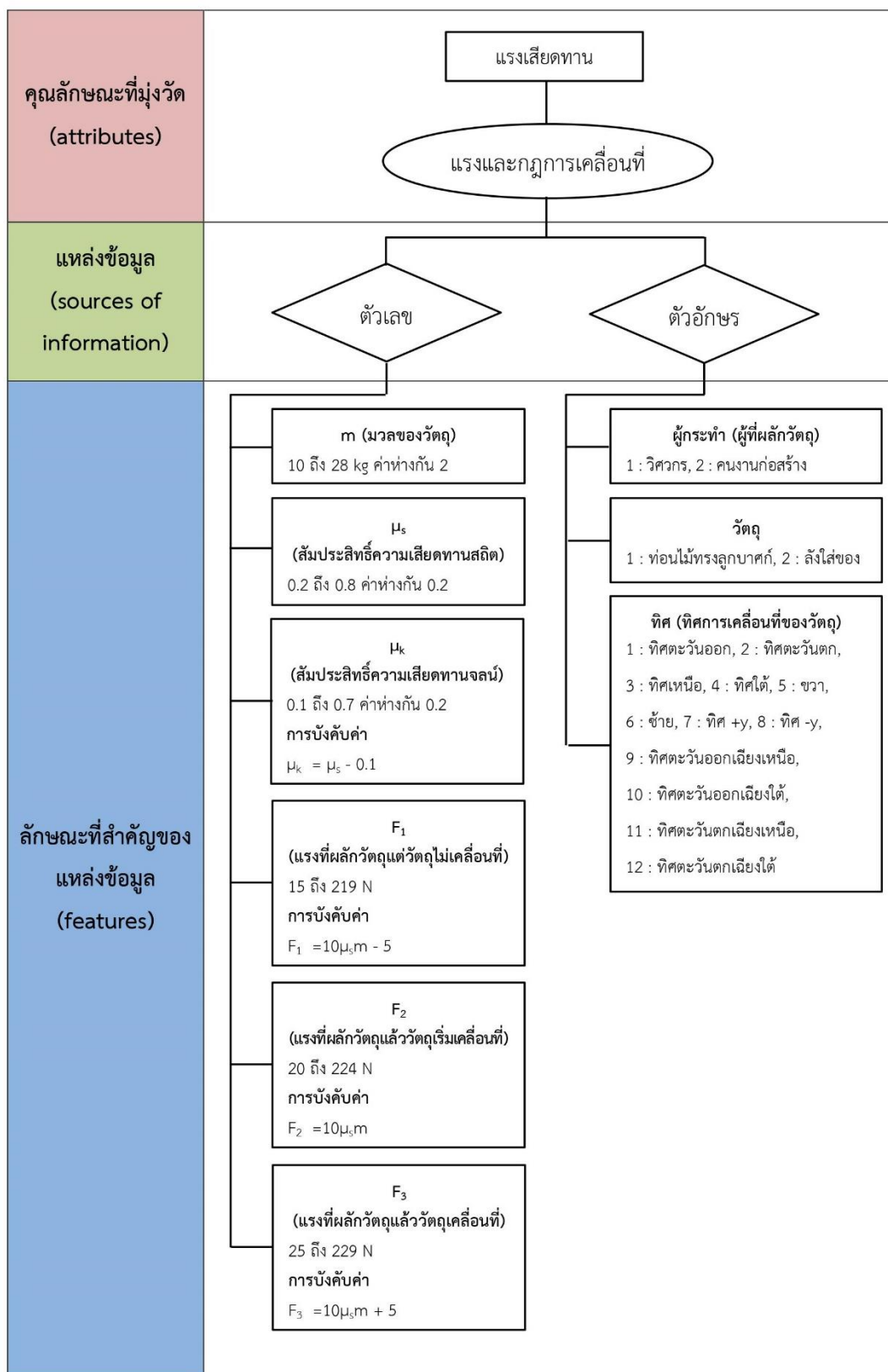


ภาพ 1



ภาพ 2

โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 11

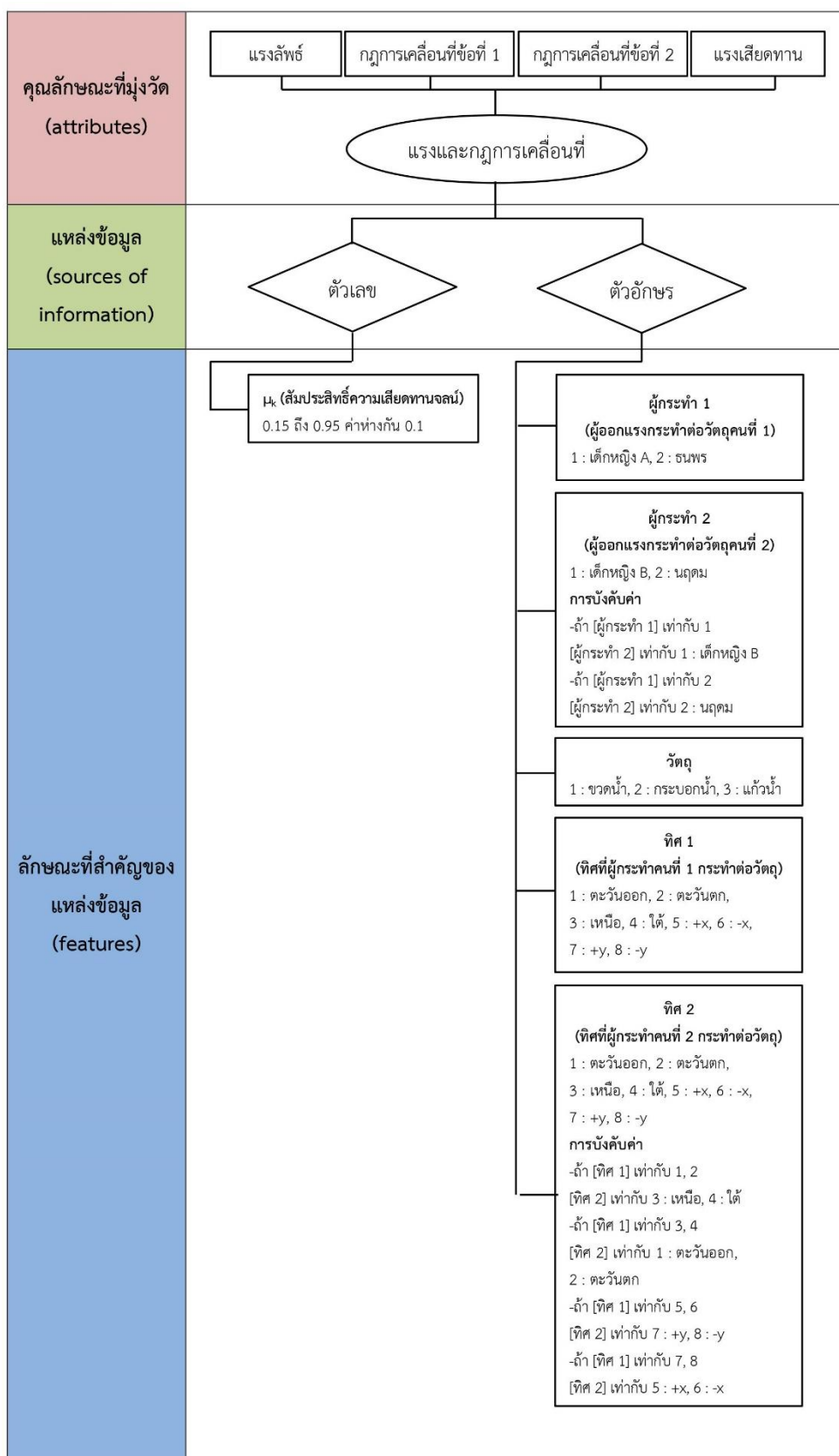


โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 11

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>คนงานก่อสร้างออกแรงผลักลิ้งใส่ของมวล 10 กิโลกรัม ที่วางนิ่งอยู่บนพื้นถนนที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต เท่ากับ 0.6 และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ เท่ากับ 0.5 เพื่อเคลื่อนย้ายไปไว้ทางทิศเหนือ พร้อมทั้งบันทึกสภาพการเคลื่อนที่ของลิ้งใส่ของ ดังนี้</p> <p>กรณีที่ 1 ออกแรงผลัก 55 นิวตัน พบว่า ลิ้งใส่ของไม่เคลื่อนที่</p> <p>กรณีที่ 2 ออกแรงผลัก 60 นิวตัน พบว่า ลิ้งใส่ของเริ่มขยับ</p> <p>กรณีที่ 3 ออกแรงผลัก 65 นิวตัน พบว่า ลิ้งใส่ของไถลไปบนถนน</p> <p>จากข้อมูลข้างต้น จงหาว่าแต่ละกรณีมีแรงเสียดทานกระทำต่อลิ้งใส่ของหรือไม่ ถ้ามี จงหาขนาดและทิศทางของแรงเสียดทาน</p>
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[ผู้กระทำ] ออกแรงผลัก [วัตถุ] มวล [m] กิโลกรัม ที่วางนิ่งอยู่บนพื้นถนนที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต เท่ากับ $[\mu_s]$ และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ เท่ากับ $[\mu_k]$ เพื่อเคลื่อนย้ายไปไว้ทาง [ทิศ] พร้อมทั้งบันทึกสภาพการเคลื่อนที่ของ [วัตถุ] ดังนี้</p> <p>กรณีที่ 1 ออกแรงผลัก $[F_1]$ นิวตัน พบว่า [วัตถุ] ไม่เคลื่อนที่</p> <p>กรณีที่ 2 ออกแรงผลัก $[F_2]$ นิวตัน พบว่า [วัตถุ] เริ่มขยับ</p> <p>กรณีที่ 3 ออกแรงผลัก $[F_3]$ นิวตัน พบว่า [วัตถุ] ไถลไปบนถนน</p> <p>จากข้อมูลข้างต้น จงหาว่าแต่ละกรณีมีแรงเสียดทานกระทำต่อ [วัตถุ] หรือไม่ ถ้ามี จงหาขนาดและทิศทางของแรงเสียดทาน</p>
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : 1 : วิศวกร, 2 : คนงานก่อสร้าง</p> <p>[วัตถุ] (ตัวอักษร) : 1 : ท่อนไม้ทรงลูกบาศก์, 2 : ลิ้งใส่ของ</p> <p>[m] (ตัวเลข) : มีค่า 10 ถึง 28 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 2</p> <p>$[\mu_s]$ (ตัวเลข) : มีค่า 0.2 ถึง 0.8 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 0.2</p> <p>$[\mu_k]$ (ตัวเลข) : มีค่า $[\mu_s] - 0.1$</p> <p>[ทิศ] (ตัวอักษร) : 1 : ทิศตะวันออก, 2 : ทิศตะวันตก, 3 : ทิศเหนือ, 4 : ทิศใต้, 5 : ขวา, 6 : ซ้าย, 7 : ทิศ +y, 8 : ทิศ -y, 9 : ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, 10 : ทิศตะวันออกเฉียงใต้, 11 : ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ, 12 : ทิศตะวันตกเฉียงใต้</p> <p>$[F_1]$ (ตัวเลข) : มีค่า $10[\mu_s][m] - 5$</p> <p>$[F_2]$ (ตัวเลข) : มีค่า $10[\mu_s][m]$</p>

	[F₃] (ตัวเลข) : มีค่า $10[\mu_s][m] + 5$
เฉลย (key)	<p>กรณีที่ 1 มีแรงเสียดทานกระทำ เท่ากับ [F₁] นิวตัน ไปทาง [ทิศ 1]</p> <p>กรณีที่ 2 มีแรงเสียดทานกระทำ เท่ากับ [F₂] นิวตัน ไปทาง [ทิศ 1]</p> <p>กรณีที่ 3 มีแรงเสียดทานกระทำ เท่ากับ [answer] นิวตัน ไปทาง [ทิศ 1]</p> <p>ส่วนประกอบย่อย</p> <p>[answer] (ตัวเลข) : มีค่า $10[\mu_k][m]$</p> <p>[ทิศ 1] (ตัวอักษร) :</p> <p>1 : ทิศตะวันออก เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 2</p> <p>2 : ทิศตะวันตก เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 1</p> <p>3 : ทิศเหนือ เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 4</p> <p>4 : ทิศใต้ เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 3</p> <p>5 : ขวา เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 6</p> <p>6 : ซ้าย เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 5</p> <p>7 : ทิศ +y เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 8</p> <p>8 : ทิศ -y เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 7</p> <p>9 : ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 12</p> <p>10 : ทิศตะวันออกเฉียงใต้ เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 11</p> <p>11 : ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 10</p> <p>12 : ทิศตะวันตกเฉียงใต้ เมื่อ [ทิศ] เท่ากับ 9</p>

โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 12

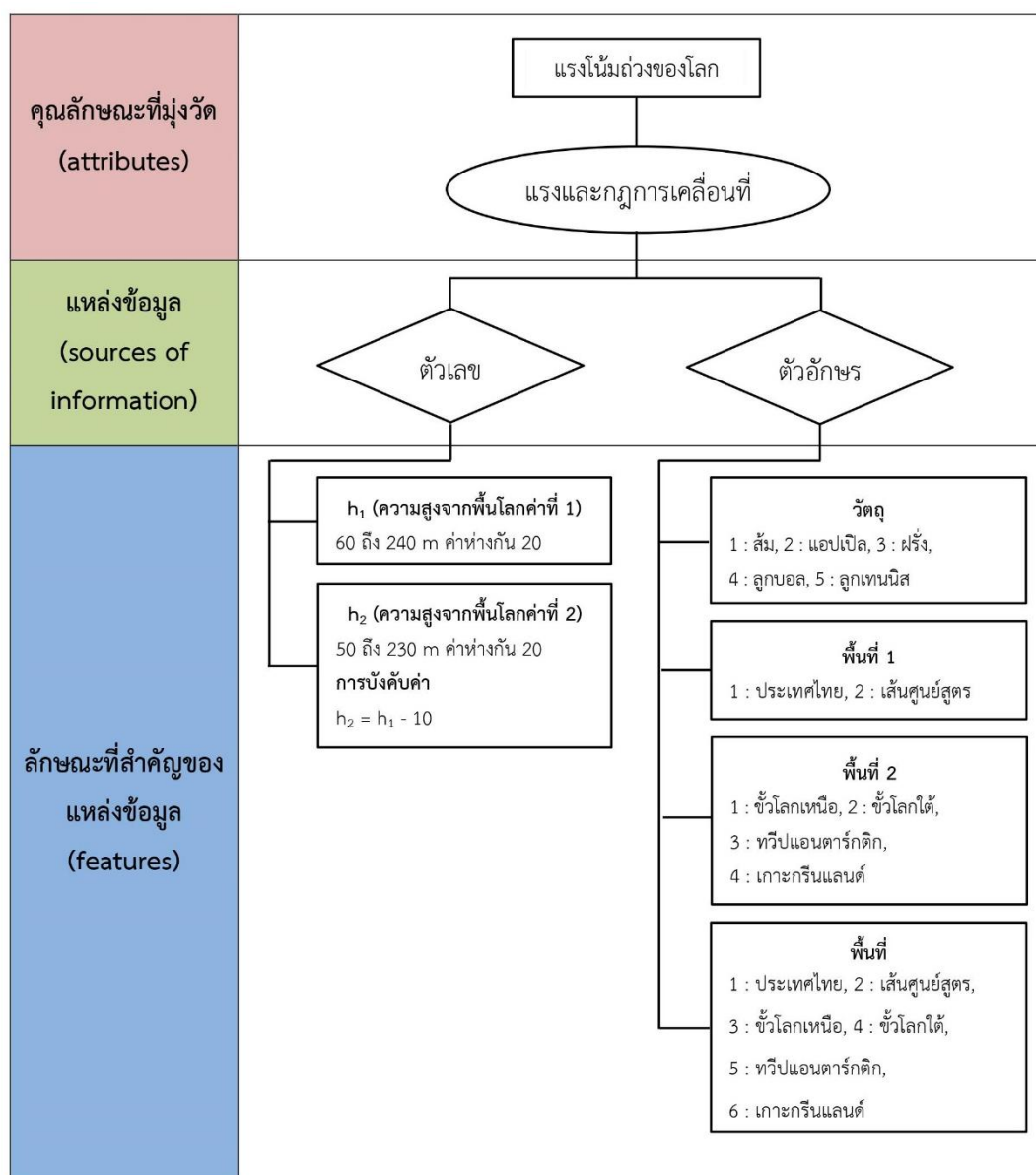


โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 12

ข้อสอบตั้งต้น (parent item)	เด็กหญิง A สะดุดแก้วน้ำทรงกระบอก ทำให้แก้วน้ำกลิ้งไปทางทิศตะวันออก บนพื้นราบที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ เท่ากับ 0.65 ต่อมาเด็กหญิง B จึงเตะขวดยน้ำไปทางทิศเหนือ จงหาว่าหลังจากถูกเด็กหญิง B เตะ แก้วน้ำ จะกลิ้งไปในทิศใด และมีแรงกระทำต่อแก้วน้ำหรือไม่ แรงอะไรบ้าง พร้อมทั้งระบุทิศทางของแรงเหล่านั้น
โมเดลข้อสอบ (item model)	
คำถาม (stem)	[ผู้กระทำ 1] สะดุด [วัตถุ] ทรงกระบอก ทำให้ [วัตถุ] กลิ้งไปทางทิศ [ทิศ 1] บนพื้นราบที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ เท่ากับ μ_k ต่อมา [ผู้กระทำ 2] จึงเตะ [วัตถุ] ไปทางทิศ [ทิศ 2] จงหาว่าหลังจากถูก [ผู้กระทำ 2] เตะ [วัตถุ] จะกลิ้งไปในทิศใด และมีแรงกระทำต่อ [วัตถุ] หรือไม่ แรงอะไรบ้าง พร้อมทั้งระบุทิศทางของแรงเหล่านั้น
ส่วนประกอบย่อย (elements)	<p>[ผู้กระทำ 1] (ตัวอักษร) : 1 : เด็กหญิง A, 2 : ชนพร</p> <p>[ผู้กระทำ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ผู้กระทำ 2] เท่ากับ 1 : เด็กหญิง B</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ผู้กระทำ 2] เท่ากับ 2 : นฤตม</p> <p>[วัตถุ] (ตัวอักษร) : 1 : ขวดยน้ำ, 2 : กระบอกน้ำ, 3 : แก้วน้ำ</p> <p>[ทิศ 1] (ตัวอักษร) : 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก, 3 : เหนือ, 4 : ใต้, 5 : +x, 6 : -x, 7 : +y, 8 : -y</p> <p>[ทิศ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 2 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 : เหนือ, 4 : ใต้</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 4 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 5, 6 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 7 : +y, 8 : -y</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 7, 8 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 5 : +x, 6 : -x</p> <p>μ_k (ตัวเลข) : มีค่า 0.15 ถึง 0.95 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 0.1</p>
เฉลย (key)	หลังจากถูก [ผู้กระทำ 2] เตะ [วัตถุ] จะเคลื่อนที่ในแนวทิศ [answer] โดยมีแรงกระทำต่อ [วัตถุ] ดังนี้ (1) แรงที่โลกดึงดูด [วัตถุ] มีทิศลง (2) แรงที่พื้นกระทำต่อ [วัตถุ] มีทิศขึ้น และ (3) แรงเสียดทาน มีทิศ [answer]

	<p>ส่วนประกอบย่อย</p> <p>[answer] (ตัวอักษร) :</p> <p>1 : ตะวันออกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>2 : ตะวันออกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>3 : ตะวันตกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p> <p>4 : ตะวันตกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8</p> <p>หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p>
--	---

โมเดลพุทธิปัญญสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 13

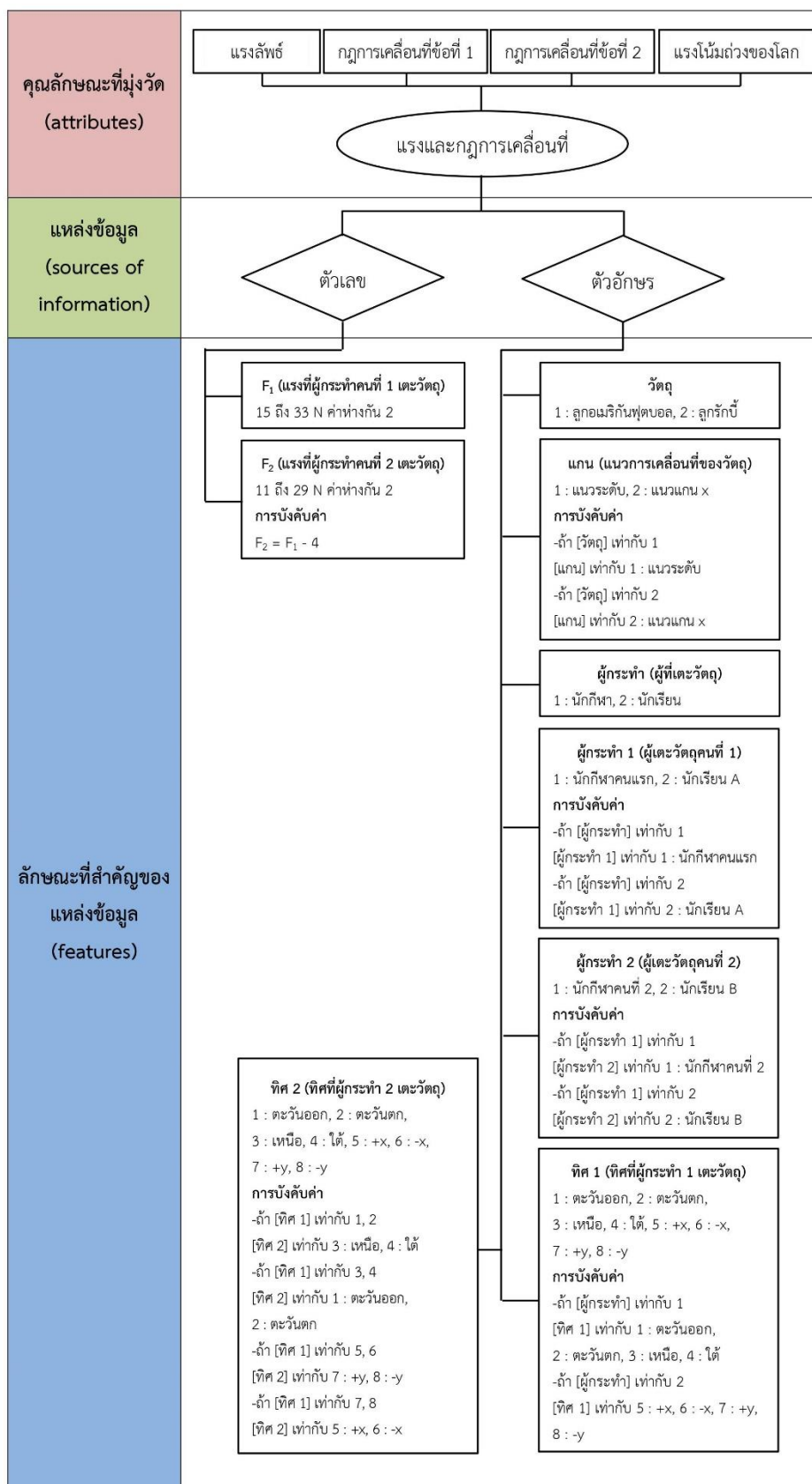


โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 13

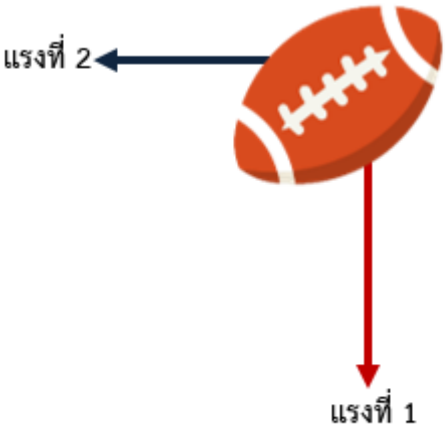
<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>วิทยาศาสตร์คนหนึ่งทดลองยิงลูกบอลขึ้นไปในแนวตั้งจากพื้นโลกบริเวณประเทศไทย แล้วพิจารณาการเคลื่อนที่ของลูกบอลตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่จนกระทั่งตกลงถึงพื้นโลก จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอลขณะเคลื่อนที่ขึ้น (ไม่คิดแรงต้านอากาศ) 2) มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอลขณะเคลื่อนที่ลง (ไม่คิดแรงต้านอากาศ) 3) เปรียบเทียบแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อลูกบอล เมื่ออยู่สูงจากพื้นโลก 200 เมตร และ 190 เมตร พร้อมให้เหตุผลประกอบ
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[สถานการณ์] [คำถาม]</p>
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>ขั้นที่ 1</p> <p>[สถานการณ์] (ข้อความ) :</p> <p>1 : นักท่องเที่ยวคนหนึ่งทดลองยิง [วัตถุ] ขึ้นไปในแนวตั้งจากพื้นโลก 2 ตำแหน่ง ได้แก่ บริเวณ [พื้นที่ 1] และ [พื้นที่ 2] ด้วยแรงขนาดเท่ากัน แล้วพิจารณาการเคลื่อนที่ของ [วัตถุ] ตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่จนกระทั่งตกลงถึงพื้นโลก</p> <p>2 : นักวิทยาศาสตร์คนหนึ่งทดลองยิง [วัตถุ] ขึ้นไปในแนวตั้งจากพื้นโลกบริเวณ [พื้นที่] แล้วพิจารณาการเคลื่อนที่ของ [วัตถุ] ตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่จนกระทั่งตกลงถึงพื้นโลก</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ) :</p> <p>ถ้า [สถานการณ์] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [คำถาม] เท่ากับ</p> <p>1 : จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อ [วัตถุ] ขณะเคลื่อนที่ขึ้น (ไม่คิดแรงต้านอากาศ) 2) มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อ [วัตถุ] ขณะเคลื่อนที่ลง (ไม่คิดแรงต้านอากาศ) 3) เปรียบเทียบเวลาที่ [วัตถุ] เคลื่อนที่ขึ้นจนกระทั่งตกลงถึงพื้นโลกเมื่ออยู่ที่ [พื้นที่ 1] และ [พื้นที่ 2] พร้อมให้เหตุผลประกอบ <p>ถ้า [สถานการณ์] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [คำถาม] เท่ากับ</p> <p>2 : จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อ [วัตถุ] ขณะเคลื่อนที่ขึ้น (ไม่คิดแรงต้านอากาศ) 2) มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อ [วัตถุ] ขณะเคลื่อนที่ลง (ไม่คิดแรงต้านอากาศ) 3) เปรียบเทียบแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อ [วัตถุ] เมื่ออยู่สูงจากพื้นโลก $[h_1]$ เมตร และ $[h_2]$ เมตร พร้อมให้เหตุผลประกอบ

	<p>ชั้นที่ 2</p> <p>[วัตถุ] (ตัวอักษร) : 1 : ส้ม, 2 : แอปเปิล, 3 : ฝรั่ง, 4 : ลูกบอล, 5 : ลูกเทนนิส</p> <p>[พื้นที่ 1] (ตัวอักษร) : 1 : ประเทศไทย, 2 : เส้นศูนย์สูตร</p> <p>[พื้นที่ 2] (ตัวอักษร) : 1 : ขั้วโลกเหนือ, 2 : ขั้วโลกใต้, 3 : ทวีปแอนตาร์กติกา, 4 : เกาะกรีนแลนด์</p> <p>[พื้นที่] (ตัวอักษร) : 1 : ประเทศไทย, 2 : เส้นศูนย์สูตร, 3 : ขั้วโลกเหนือ, 4 : ขั้วโลกใต้, 5 : ทวีปแอนตาร์กติกา, 6 : เกาะกรีนแลนด์</p> <p>[h_1] (ตัวเลข) : มีค่า 60 ถึง 240 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 20</p> <p>[h_2] (ตัวเลข) : มีค่า [h_1] - 10</p>
เฉลย (key)	<p>เมื่อ [คำถาม] เท่ากับ 1 คำตอบมีรายละเอียด ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) แรงที่กระทำต่อ [วัตถุ] ขณะเคลื่อนที่ขึ้น ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูด [วัตถุ] 2) แรงที่กระทำต่อ [วัตถุ] ขณะเคลื่อนที่ลง ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูด [วัตถุ] 3) เวลาที่ [วัตถุ] ใช้ในการเคลื่อนที่เมื่อยังบริเวณ [พื้นที่ 1] มีค่ามากกว่าเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เมื่อยังบริเวณ [พื้นที่ 2] เนื่องจากความเร่งของ [วัตถุ] บริเวณ [พื้นที่ 1] มีค่าน้อยกว่าบริเวณ [พื้นที่ 2] <p>หรือ เวลาที่ [วัตถุ] ใช้ในการเคลื่อนที่เมื่อยังบริเวณ [พื้นที่ 1] มีค่าเท่ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เมื่อยังบริเวณ [พื้นที่ 2] เนื่องจากความเร่งของ [วัตถุ] บริเวณ [พื้นที่ 1] และบริเวณ [พื้นที่ 2] มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย จึงถือได้ว่ามีค่าเท่ากัน</p> <p>เมื่อ [คำถาม] เท่ากับ 2 คำตอบมีรายละเอียด ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) แรงที่กระทำต่อ [วัตถุ] ขณะเคลื่อนที่ขึ้น ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูด [วัตถุ] 2) แรงที่กระทำต่อ [วัตถุ] ขณะเคลื่อนที่ลง ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูด [วัตถุ] 3) แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อ [วัตถุ] เมื่ออยู่สูงจากพื้นโลก [h_1] เมตร มีค่าน้อยกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อ [วัตถุ] เมื่ออยู่สูงจากพื้นโลก [h_2] เมตร เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของโลกยกกำลังสอง นั่นคือ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุจะมีค่าลดลงเมื่ออยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกมากขึ้น <p>หรือ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อ [วัตถุ] เมื่ออยู่สูงจากพื้นโลก [h_1] เมตร มีค่าเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อ [วัตถุ] เมื่ออยู่สูงจากพื้นโลก [h_2] เมตร เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของโลกน้อยมาก จึงถือได้ว่ามีค่าเท่ากัน</p>

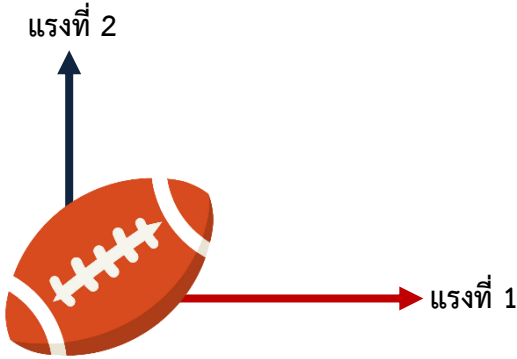
โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 14



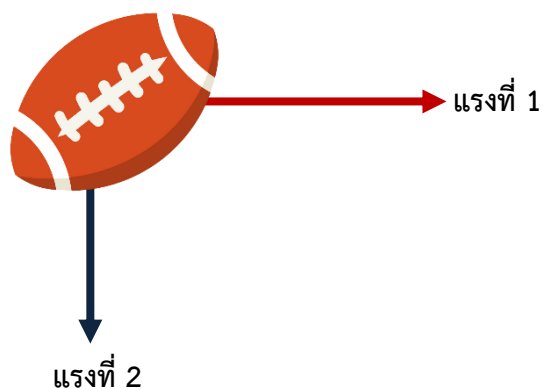
โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 14

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>ปาลูกรักบี้ออกไปในแนวแกน x ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ทำให้ลูกรักบี้ตกถึงพื้น และเคลื่อนที่บนพื้นราบจนกระทั่งหยุด หากนักกีฬา 2 คน เตะลูกรักบี้พร้อมกัน โดยนักกีฬาคนแรกเตะไปทางทิศใต้ด้วยแรงขนาด 15 นิวตัน ส่วนนักกีฬาคนที่ 2 เตะไปทางทิศตะวันตก ด้วยแรงขนาด 11 นิวตัน ดังภาพ จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ขณะอยู่ในอากาศ ลูกรักบี้มีเส้นทางการเคลื่อนที่อย่างไร เพราะเหตุใด และมีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกรักบี้ (ไม่คิดแรงต้านอากาศ) 2) หลังจากถูกเตะ ลูกรักบี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด 3) ความเร็วของลูกรักบี้หลังจากถูกเตะมีค่าอย่างไร หากมีแรงคงที่กระทำต่อลูกรักบี้ พร้อมให้เหตุผลประกอบ  <p>ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>ปา [วัตถุ] ออกไปใน [แกน] ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ทำให้ [วัตถุ] ตกถึงพื้น และเคลื่อนที่บนพื้นราบจนกระทั่งหยุด หาก [ผู้กระทำ] 2 คน เตะ [วัตถุ] พร้อมกัน โดย [ผู้กระทำ 1] เตะไปทางทิศ [ทิศ 1] ด้วยแรงขนาด $[F_1]$ นิวตัน ส่วน [ผู้กระทำ 2] เตะไปทางทิศ [ทิศ 2] ด้วยแรงขนาด $[F_2]$ นิวตัน ดังภาพ จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ขณะอยู่ในอากาศ [วัตถุ] มีเส้นทางการเคลื่อนที่อย่างไร เพราะเหตุใด และมีแรงอะไรบ้างกระทำต่อ [วัตถุ] (ไม่คิดแรงต้านอากาศ) 2) หลังจากถูกเตะ [วัตถุ] จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด

	<p>3) ความเร็วของ [วัตถุ] หลังจากถูกเตะมีค่าอย่างไร หากมีแรงคงที่กระทำต่อ [วัตถุ] พร้อมให้เหตุผลประกอบ</p>
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>[วัตถุ] (ตัวอักษร) : 1 : ลูกอเมริกันฟุตบอล, 2 : ลูกรักบี้</p> <p>[แกน] (ตัวอักษร) : ถ้า [วัตถุ] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [แกน] เท่ากับ 1 : แนวระดับ</p> <p>ถ้า [วัตถุ] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [แกน] เท่ากับ 2 : แนวแกน x</p> <p>[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : 1 : นักกีฬา, 2 : นักเรียน</p> <p>[ผู้กระทำ 1] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1 : นักกีฬาคนแรก</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 2 : นักเรียน A</p> <p>[ผู้กระทำ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ผู้กระทำ 2] เท่ากับ 1 : นักกีฬาคนที่ 2</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ผู้กระทำ 2] เท่ากับ 2 : นักเรียน B</p> <p>[ทิศ 1] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก, 3 : เหนือ, 4 : ใต้</p> <p>ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ทิศ 1] เท่ากับ 5 : +x, 6 : -x, 7 : +y, 8 : -y</p> <p>[ทิศ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 1, 2 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 : เหนือ, 4 : ใต้</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 3, 4 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 5, 6 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 7 : +y, 8 : -y</p> <p>ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 7, 8 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 5 : +x, 6 : -x</p> <p>[F₁] (ตัวเลข) : มีค่า 15 ถึง 33 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 2</p> <p>[F₂] (ตัวเลข) : มีค่า [F₁] - 4</p>
<p>เฉลย (key)</p>	<p>1) ขณะอยู่ในอากาศ [วัตถุ] มีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เนื่องจากมุมระหว่างแรงลัพธ์และความเร็วมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 90 องศา จึงทำให้ [วัตถุ] เคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งพาราโบลา โดยมีแรงที่กระทำต่อ [วัตถุ] ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูด [วัตถุ]</p> <p>2) หลังจากถูกเตะ [วัตถุ] จะเคลื่อนที่ในแนวทิศ [answer]</p> <p>3) ความเร็วของ [วัตถุ] หลังจากถูกเตะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่ (เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างคงที่) เนื่องจากความเร่งของ [วัตถุ] มีค่าคงที่</p>

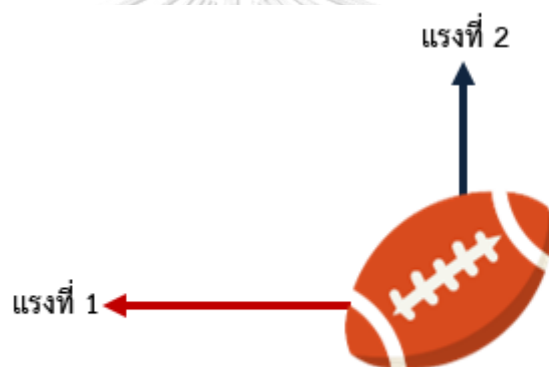
	<p>หมายเหตุ แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ฉบับนี้มุ่งวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน จึงอนุโลมให้ “แนวทิศ [answer]” เป็นคำตอบที่ถูกต้อง โดยไม่ต้องระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในรูปของมุม เนื่องจากไม่ได้มุ่งวัดความรู้ของนักเรียนในเรื่องนี้</p> <p>ส่วนประกอบย่อย</p> <p>[answer] (ตัวอักษร) :</p> <p>1 : ตะวันออกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>2 : ตะวันออกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 1 หรือ 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 หรือ 5</p> <p>3 : ตะวันตกเฉียงเหนือ</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 หรือ 7 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 3 หรือ 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p> <p>4 : ตะวันตกเฉียงใต้</p> <p>เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 2 หรือ 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 หรือ 8 หรือ เมื่อ [ทิศ 1] เท่ากับ 4 หรือ 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 หรือ 6</p>
<p>รูปภาพ</p>	<p>[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3, 7</p>  <p>ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)</p>

[ทิศ 1] เท่ากับ 1, 5 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4, 8



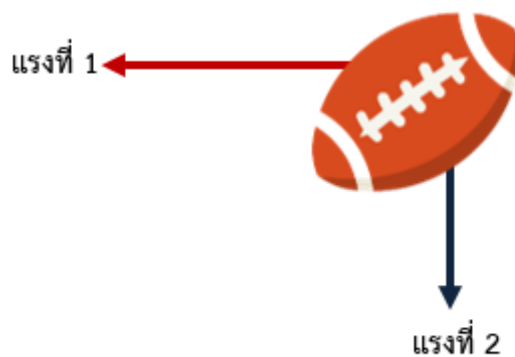
ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 3, 7



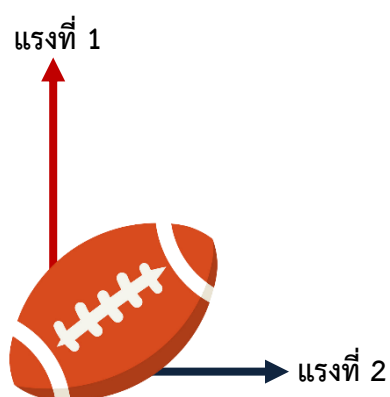
ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 2, 6 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 4, 8



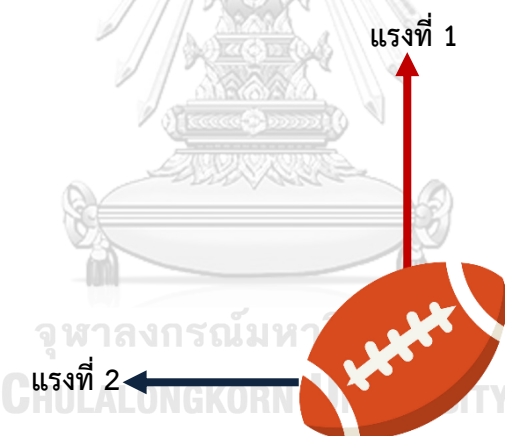
ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1, 5



ภาพกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 3, 7 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2, 6



ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 1, 5



แรงที่ 1

ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

[ทิศ 1] เท่ากับ 4, 8 และ [ทิศ 2] เท่ากับ 2, 6



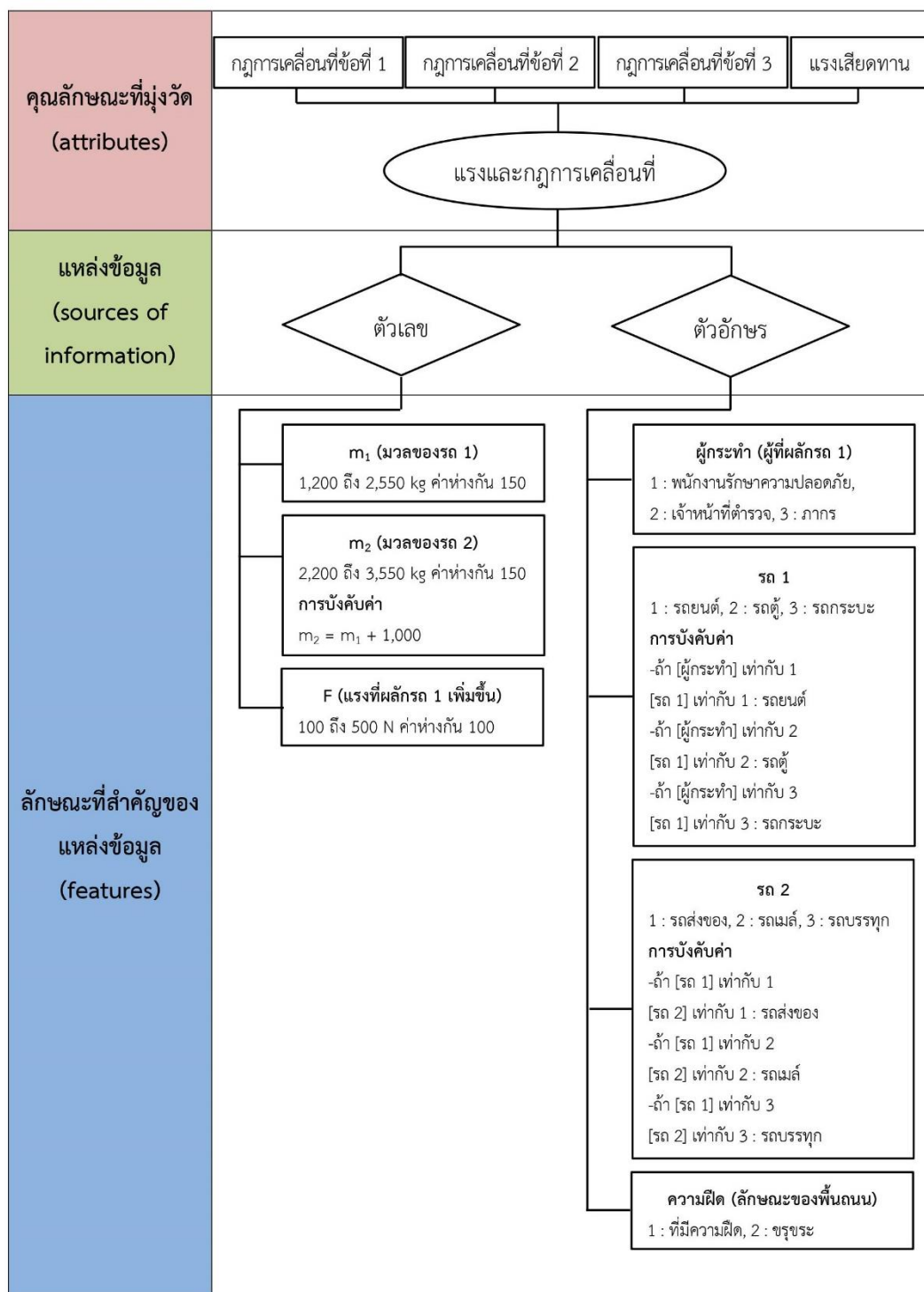
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

แรงที่ 1

ภาพแรงกระทำเมื่อมองจากด้านบน (top view)

โมเดลพุทธิปัญญสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 15

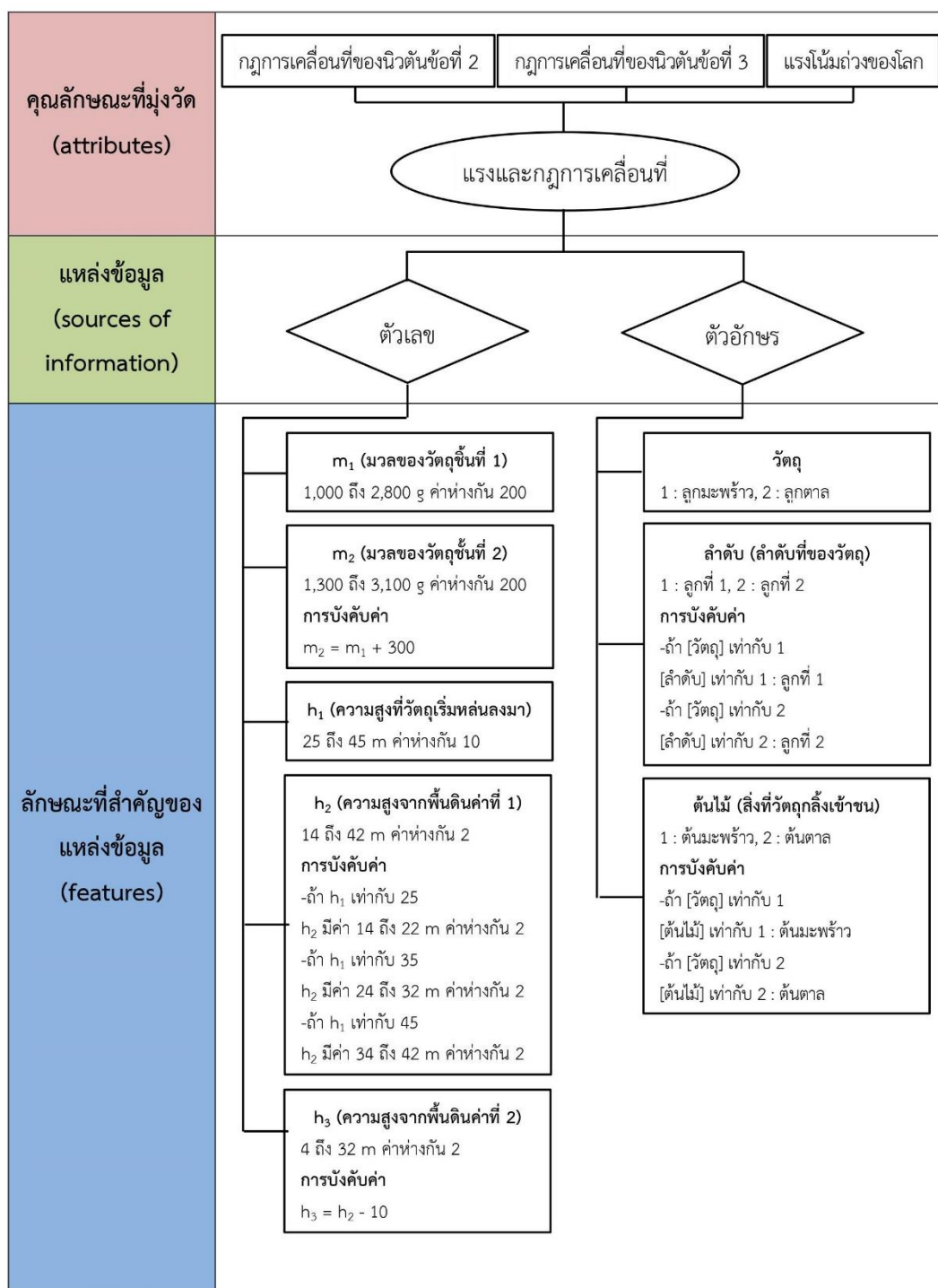


โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 15

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>ภากรผลักรถกระบะมวล 1,800 กิโลกรัม ที่จอดอยู่บนถนนที่มีความฝืดด้วยแรงค่าหนึ่ง แต่รถไม่เคลื่อนที่ ภากรจึงออกแรงเพิ่มขึ้นอีก 100 นิวตัน ทำให้รถเคลื่อนที่ไปชนกับรถบรรทุกมวล 2,800 กิโลกรัม ที่ขับสวนทางมา โดยในขณะที่รถกระบะเคลื่อนที่ ภากรได้หยุดออกแรงผลัก จากสถานการณ์นี้ จงหาว่ามีแรงกระทำต่อรถกระบะในกรณีต่อไปนี้หรือไม่ ถ้ามี จงระบุแรงเหล่านั้น</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ขณะยังไม่เคลื่อนที่ 2) ขณะเคลื่อนที่ก่อนเข้าชนรถบรรทุก 3) ขณะชนกับรถบรรทุก
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[ผู้กระทำ] ผลัก [รถ 1] มวล $[m_1]$ กิโลกรัม ที่จอดอยู่บนถนน [ความฝืด] ด้วยแรงค่าหนึ่ง แต่รถไม่เคลื่อนที่ [ผู้กระทำ] จึงออกแรงเพิ่มขึ้นอีก $[F]$ นิวตัน ทำให้รถเคลื่อนที่ไปชนกับ [รถ 2] มวล $[m_2]$ กิโลกรัม ที่ขับสวนทางมา โดยในขณะที่ [รถ 1] เคลื่อนที่ [ผู้กระทำ] ได้หยุดออกแรงผลัก จากสถานการณ์นี้ [คำถาม]</p>
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : 1 : พนักงานรักษาความปลอดภัย, 2 : เจ้าหน้าที่ตำรวจ, 3 : ภากร</p> <p>[รถ 1] (ตัวอักษร) : ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [รถ 1] เท่ากับ 1 : รถยนต์ ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [รถ 1] เท่ากับ 2 : รถตู้ ถ้า [ผู้กระทำ] เท่ากับ 3 กำหนดให้ [รถ 1] เท่ากับ 3 : รถกระบะ</p> <p>[ความฝืด] (ตัวอักษร) : 1 : ที่มีความฝืด, 2 : ขรุขระ</p> <p>[รถ 2] (ตัวอักษร) : ถ้า [รถ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [รถ 2] เท่ากับ 1 : รถส่งของ ถ้า [รถ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [รถ 2] เท่ากับ 2 : รถเมล์ ถ้า [รถ 1] เท่ากับ 3 กำหนดให้ [รถ 2] เท่ากับ 3 : รถบรรทุก</p> <p>$[m_1]$ (ตัวเลข) : มีค่า 1,200 ถึง 2,550 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 150</p> <p>$[m_2]$ (ตัวเลข) : มีค่า $[m_1] + 1,000$</p> <p>$[F]$ (ตัวเลข) : มีค่า 100 ถึง 500 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 100</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ) : 1 : จงตอบคำถามต่อไปนี้</p>

	<p>1) มีแรงกระทำต่อ [รท 1] ขณะยังไม่เคลื่อนที่หรือไม่ แรงอะไรบ้าง</p> <p>2) มีแรงกระทำต่อ [รท 1] ในขณะที่เคลื่อนที่ก่อนเข้าชน [รท 2] หรือไม่ แรงอะไรบ้าง</p> <p>3) มีแรงกระทำต่อ [รท 1] ในขณะที่เข้าชน [รท 2] หรือไม่ แรงอะไรบ้าง</p> <p>2 : จงหาว่ามีแรงกระทำต่อ [รท 1] ในกรณีต่อไปนี้หรือไม่ ถ้ามี จงระบุแรงเหล่านั้น</p> <p>1) ขณะยังไม่เคลื่อนที่</p> <p>2) ขณะเคลื่อนที่ก่อนเข้าชน [รท 2]</p> <p>3) ขณะชนกับ [รท 2]</p>
เฉลย (key)	<p>1) มีแรงกระทำ ดังนี้ (1) แรงที่โลกดึงดูด [รท 1] (2) แรงที่ถนนกระทำต่อ [รท 1] (3) แรงผลักรถจาก [ผู้กระทำ] และ (4) แรงเสียดทาน</p> <p>2) มีแรงกระทำ ดังนี้ (1) แรงที่โลกดึงดูด [รท 1] (2) แรงที่ถนนกระทำต่อ [รท 1] และ (3) แรงเสียดทาน</p> <p>3) มีแรงกระทำ ดังนี้ (1) แรงที่โลกดึงดูด [รท 1] (2) แรงที่ถนนกระทำต่อ [รท 1] (3) แรงเสียดทาน และ (4) แรงที่ [รท 2] กระทำต่อ [รท 1]</p>

โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 16

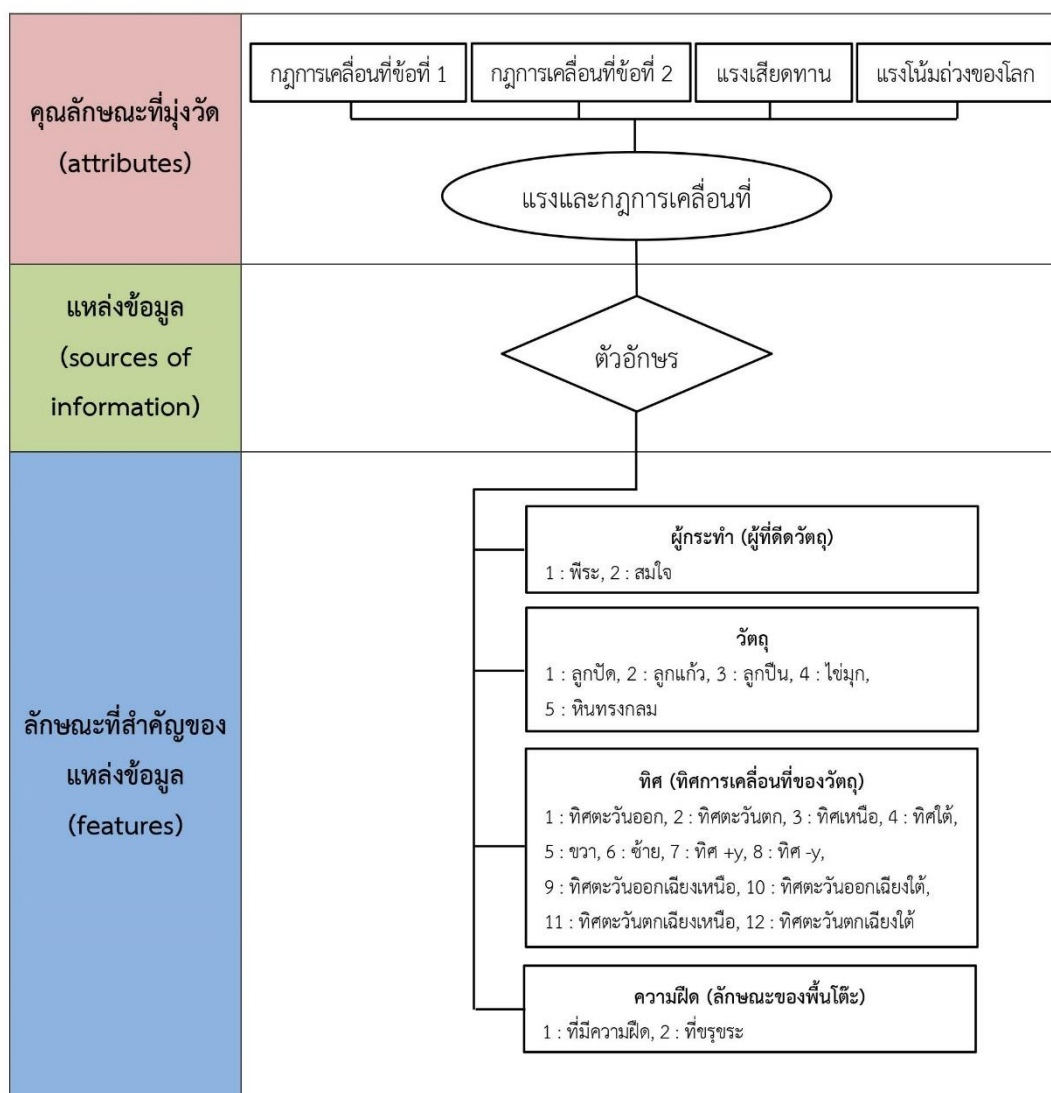


โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 16

ข้อสอบตั้งต้น (parent item)	<p>ลูกมะพร้าว 2 ลูก หล่นจากความสูง 45 เมตร โดยลูกที่ 1 มีมวล 2,600 กรัม ส่วนลูกที่ 2 มีมวล 2,900 กรัม หากลูกมะพร้าวลูกที่ 1 กระดอนและกลิ้งไปชนต้นมะพร้าวหลังจากตกกระทบพื้นดิน จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <p>1) เปรียบเทียบแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อลูกมะพร้าวลูกที่ 1 เมื่ออยู่สูงจากพื้นดิน 40 และ 30 เมตร เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น</p> <p>2) มีแรงกระทำต่อลูกมะพร้าวขณะชนกับต้นมะพร้าวหรือไม่ แรงอะไรบ้าง (ไม่คิดแรงเสียดทาน)</p>
โมเดลข้อสอบ (item model)	
คำถาม (stem)	<p>[วัตถุ] 2 ลูก หล่นจากความสูง [h₁] เมตร โดยลูกที่ 1 มีมวล [m₁] กรัม ส่วนลูกที่ 2 มีมวล [m₂] กรัม หาก [วัตถุ] [ลำดับ] กระดอนและกลิ้งไปชน [ต้นไม้] หลังจากตกกระทบพื้นดิน จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <p>1) [คำถาม]</p> <p>2) มีแรงกระทำต่อ [วัตถุ] ขณะชนกับ [ต้นไม้] หรือไม่ แรงอะไรบ้าง (ไม่คิดแรงเสียดทาน)</p>
ส่วนประกอบย่อย (elements)	<p>[วัตถุ] (ตัวอักษร) : 1 : ลูกมะพร้าว, 2 : ลูกตาล</p> <p>[h₁] (ตัวเลข) : มีค่า 25 ถึง 45 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 10</p> <p>[m₁] (ตัวเลข) : มีค่า 1,000 ถึง 2,800 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 200</p> <p>[m₂] (ตัวเลข) : มีค่า [m₁] + 300</p> <p>[ลำดับ] (ตัวอักษร) : ถ้า [วัตถุ] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ลำดับ] เท่ากับ 1 : ลูกที่ 1</p> <p>ถ้า [วัตถุ] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ลำดับ] เท่ากับ 2 : ลูกที่ 2</p> <p>[ต้นไม้] (ตัวอักษร) : ถ้า [วัตถุ] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ต้นไม้] เท่ากับ 1 : ต้นมะพร้าว</p> <p>ถ้า [วัตถุ] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ต้นไม้] เท่ากับ 2 : ต้นตาล</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ) :</p> <p>1 : เปรียบเทียบเวลาที่ [วัตถุ] ลูกที่ 1 และลูกที่ 2 ใช้ในการเคลื่อนที่ พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบ</p> <p>2 : เปรียบเทียบแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อ [วัตถุ] [ลำดับ] เมื่ออยู่สูงจากพื้นดิน [h₂] และ [h₃] เมตร เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น</p>

	<p>[h₂] (ตัวเลข) : ถ้า [h₁] เท่ากับ 25 กำหนดให้ [h₂] มีค่า 14 ถึง 22 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 2</p> <p>ถ้า [h₁] เท่ากับ 35 กำหนดให้ [h₂] มีค่า 24 ถึง 32 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 2</p> <p>ถ้า [h₁] เท่ากับ 45 กำหนดให้ [h₂] มีค่า 34 ถึง 42 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 2</p> <p>[h₃] (ตัวเลข) : มีค่า [h₂] - 10</p>
เฉลย (key)	<p>เมื่อ [คำถาม] เท่ากับ 1 คำตอบมีรายละเอียด ดังนี้</p> <p>1) เวลาที่ [วัตถุ] ลูกที่ 1 และลูกที่ 2 ใช้ในการเคลื่อนที่ มีค่าเท่ากัน เนื่องจาก [วัตถุ] ทั้ง 2 ลูก มีความเร่งเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก</p> <p>2) มีแรงกระทำต่อ [วัตถุ] ขณะชนกับ [ต้นไม้] ดังนี้ (1) แรงที่โลกดึงดูด [วัตถุ] (2) แรงที่พื้นกระทำต่อ [วัตถุ] และ (3) แรงที่ [ต้นไม้] กระทำต่อ [วัตถุ]</p> <p>เมื่อ [คำถาม] เท่ากับ 2 คำตอบมีรายละเอียด ดังนี้</p> <p>1) แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อ [วัตถุ] เมื่ออยู่สูงจากพื้นดิน [h₂] เมตร มีค่าน้อยกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อ [วัตถุ] เมื่ออยู่สูงจากพื้นดิน [h₃] เมตร เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของโลกยกกำลังสอง นั่นคือ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุจะมีค่าลดลงเมื่ออยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกมากขึ้น</p> <p>หรือ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อ [วัตถุ] เมื่ออยู่สูงจากพื้นดิน [h₂] เมตร มีค่าเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อ [วัตถุ] เมื่ออยู่สูงจากพื้นดิน [h₃] เมตร เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของโลกน้อยมาก จึงถือได้ว่ามีค่าเท่ากัน</p> <p>2) มีแรงกระทำต่อ [วัตถุ] ขณะชนกับ [ต้นไม้] ดังนี้ (1) แรงที่โลกดึงดูด [วัตถุ] (2) แรงที่พื้นกระทำต่อ [วัตถุ] และ (3) แรงที่ [ต้นไม้] กระทำต่อ [วัตถุ]</p>

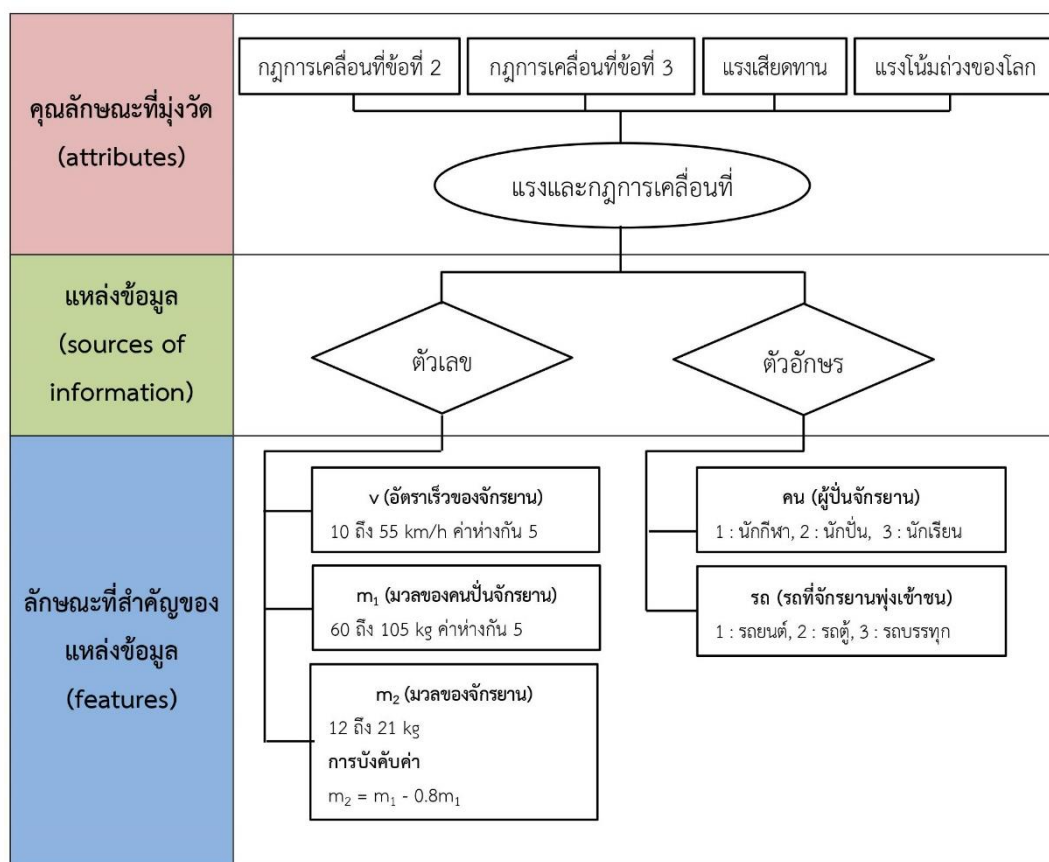
โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 17



โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 17

ข้อสอบตั้งต้น (parent item)	<p>สนใจติดลูกปิดไปทางทิศเหนือให้เคลื่อนที่ไปบนโต๊ะที่มีความฝืด ทำให้ลูกปิดกลิ้งจากโต๊ะหล่นสู่พื้นด้านล่าง จงระบุแรง และทิศทางของแรงที่กระทำต่อลูกปิด ในกรณีต่อไปนี้</p> <p>1) ขณะกลิ้งอยู่บนโต๊ะ</p> <p>2) ขณะเคลื่อนที่อยู่ในอากาศ (ไม่คิดแรงต้านอากาศ)</p>
โมเดลข้อสอบ (item model)	
คำถาม (stem)	<p>[ผู้กระทำ] ดัด [วัตถุ] ไปทางทิศ [ทิศ] ให้เคลื่อนที่ไปบนโต๊ะ [ความฝืด] ทำให้ [วัตถุ] กลิ้งจากโต๊ะหล่นสู่พื้นด้านล่าง [คำถาม]</p>
ส่วนประกอบย่อย (elements)	<p>[ผู้กระทำ] (ตัวอักษร) : 1 : พีระ, 2 : สมใจ</p> <p>[วัตถุ] (ตัวอักษร) : 1 : ลูกปิด, 2 : ลูกแก้ว, 3 : ลูกปิ่น, 4 : ไข่มุก, 5 : หินทรงกลม</p> <p>[ทิศ] (ตัวอักษร) : 1 : ตะวันออก, 2 : ตะวันตก, 3 : เหนือ, 4 : ใต้, 5 : ขวา, 6 : ซ้าย, 7 : +y, 8 : -y, 9 : ตะวันออกเฉียงเหนือ, 10 : ตะวันออกเฉียงใต้, 11 : ตะวันตกเฉียงเหนือ, 12 : ตะวันตกเฉียงใต้</p> <p>[ความฝืด] (ตัวอักษร) : 1 : ที่มีความฝืด, 2 : ที่ขรุขระ</p> <p>[คำถาม] (ข้อความ) :</p> <p>1 : จงหาตอบคำถามต่อไปนี้</p> <p>1) มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อ [วัตถุ] ในขณะที่กลิ้งอยู่บนโต๊ะ พร้อมทั้งบอกทิศทางของแรงเหล่านั้น</p> <p>2) มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อ [วัตถุ] ในขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในอากาศ พร้อมทั้งบอกทิศทางของแรงเหล่านั้น (ไม่คิดแรงต้านอากาศ)</p> <p>2 : จงระบุแรง และทิศทางของแรงที่กระทำต่อ [วัตถุ] ในกรณีต่อไปนี้</p> <p>1) ขณะกลิ้งอยู่บนโต๊ะ</p> <p>2) ขณะเคลื่อนที่อยู่ในอากาศ (ไม่คิดแรงต้านอากาศ)</p>
เฉลย (key)	<p>1) แรงที่กระทำต่อ [วัตถุ] ในเวลาที่กลิ้งอยู่บนโต๊ะ ได้แก่ (1) แรงที่โลกดึงดูด [วัตถุ] มีทิศลง (2) แรงที่โต๊ะกระทำต่อ [วัตถุ] มีทิศขึ้น และ (3) แรงเสียดทาน มีทิศ [ทิศ]</p> <p>2) แรงที่กระทำต่อ [วัตถุ] ในเวลาที่เคลื่อนที่อยู่ในอากาศ ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูด [วัตถุ] มีทิศลง</p>

โมเดลพุทธิปัญญาสำหรับการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ : โมเดลที่ 18



โมเดลข้อสอบ : โมเดลที่ 18

<p>ข้อสอบตั้งต้น (parent item)</p>	<p>นักเรียนปั่นจักรยานไปตามถนนที่มีความลาดด้วยอัตราเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ไม่ทันระวังจึงพุ่งเข้าชนรถยนต์ที่จอดนิ่งอยู่ข้างทาง ทำให้นักเรียนคนนี้ และจักรยานกระเด็นแยกออกจากกันขึ้นไปในแนวดิ่ง และตกสู่พื้นถนน จงหาว่า</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) มีแรงกระทำต่อจักรยานขณะชนกับรถยนต์หรือไม่ แรงอะไรบ้าง 2) มีแรงกระทำต่อรถยนต์ขณะถูกชนหรือไม่ แรงอะไรบ้าง 3) เปรียบเทียบความเร่งของนักเรียน และจักรยาน ขณะตกลงสู่พื้นถนน พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบ กำหนดให้ นักเรียนมีมวล 60 กิโลกรัม ส่วนจักรยานมีมวล 12 กิโลกรัม (ไม่คิดแรงต้านอากาศ)
<p>โมเดลข้อสอบ (item model)</p>	
<p>คำถาม (stem)</p>	<p>[คน] ปั่นจักรยานไปตามถนนที่มีความลาดด้วยอัตราเร็ว [v] กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ไม่ทันระวังจึงพุ่งเข้าชน [รถ] ที่จอดนิ่งอยู่ข้างทาง ทำให้นักเรียนคนนี้ และจักรยาน กระเด็นแยกออกจากกันขึ้นไปในแนวดิ่ง และตกสู่พื้นถนน จงหาว่า</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) มีแรงกระทำต่อจักรยานขณะชนกับ [รถ] หรือไม่ แรงอะไรบ้าง 2) มีแรงกระทำต่อ [รถ] ขณะถูกชน หรือไม่ แรงอะไรบ้าง 3) เปรียบเทียบความเร่งของ [คน] และจักรยาน ขณะตกลงสู่พื้นถนน พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบ กำหนดให้ [คน] มีมวล [m₁] กิโลกรัม ส่วนจักรยานมีมวล [m₂] กิโลกรัม (ไม่คิดแรงต้านอากาศ)
<p>ส่วนประกอบย่อย (elements)</p>	<p>[คน] (ตัวอักษร) : 1 : นักกีฬา, 2 : นักปั่น, 3 : นักเรียน [v] (ตัวเลข) : มีค่า 10 ถึง 55 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 5 [รถ] (ตัวอักษร) : 1 : รถยนต์, 2 : รถตู้, 3 : รถบรรทุก [m₁] (ตัวเลข) : มีค่า 60 ถึง 105 โดยมีค่าห่างกัน เท่ากับ 5 [m₂] (ตัวเลข) : มีค่า [m₁] - 0.8[m₁]</p>
<p>เฉลย (key)</p>	<p>1) มีแรงกระทำต่อจักรยานขณะชนกับ [รถ] ดังนี้ (1) แรงที่โลกดึงดูดจักรยาน (2) แรงที่ [คน] กระทำต่อจักรยาน (3) แรงที่ถนนกระทำต่อจักรยาน (4) แรงเสียดทาน และ (5) แรงที่ [รถ] กระทำต่อจักรยาน 2) มีแรงกระทำต่อ [รถ] ขณะถูกชน ดังนี้ (1) แรงที่โลกดึงดูด [รถ] (2) แรงที่ถนนกระทำต่อ [รถ] (3) แรงเสียดทาน และ (4) แรงที่จักรยานกระทำต่อ [รถ] 3) ความเร่งของ [คน] และจักรยาน มีค่าเท่ากัน เนื่องจากวัตถุที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกจะมีความเร่งเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก</p>

ภาคผนวก ค
คู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
ทางกลศาสตร์





คู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ เพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ สำหรับผู้ใช้

จัดทำโดย

นายกิตติทัศน์ หวานฉ่ำ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.กมลวรรณ ตั้งธนานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี

คู่มือการใช้งานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
รายละเอียดของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	1
1. หน้าเข้าสู่ระบบ.....	1
2. หน้าต่างหลักสำหรับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ.....	2
2.1 ข้อมูลผู้ใช้	2
2.2 โมเดลข้อสอบ	3
2.3 การสร้างข้อสอบ.....	6
2.4 การสร้างแบบสอบ.....	7
2.5 คู่มือการใช้งาน	7
2.6 ผู้พัฒนาระบบ.....	8
การใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	9
1. การลงทะเบียนเข้าใช้งานระบบ และการเข้าใช้งานระบบ	9
1.1 การลงทะเบียนเข้าใช้งานระบบ	9
1.2 การเข้าใช้งานระบบ.....	11
1.3 กรณีลืมชื่อบัญชีผู้ใช้หรือรหัสผ่าน.....	11
2. การสร้างข้อสอบ และแบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์	11
2.1 เมนูโมเดลข้อสอบ.....	11
2.2 เมนูการสร้างข้อสอบ.....	21
2.3 เมนูการสร้างแบบสอบ.....	23

รายละเอียดของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ใช้สำหรับสร้างข้อสอบ และจัดชุดแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยมีคุณลักษณะ ที่มุ่งวัด จำนวน 6 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) แรงลัพธ์ (2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 (3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (4) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (5) แรงเสียดทาน และ (6) แรงโน้มถ่วงของโลก

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติดำเนินการในรูปแบบฐานข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบออนไลน์ พัฒนาโดยใช้ Laravel ซึ่งเป็นกรอบเว็บแอปพลิเคชัน (web application framework) ที่เขียนด้วยภาษา PHP ร่วมกับฐานข้อมูล MySQL สามารถเข้าถึงได้จาก <https://aigmecmis.com> ซึ่งสามารถเข้าถึงผ่าน เบราวเซอร์ (browser) ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge และ Safari อีกทั้ง ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติยังสามารถปรับการแสดงผลให้เหมาะสมกับหน้าจอของอุปกรณ์ ที่ใช้ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ และแท็บเล็ต (tablet) ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ หน้าเข้าสู่ระบบ และหน้าต่างหลักสำหรับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

1. หน้าเข้าสู่ระบบ

หน้าเข้าสู่ระบบมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ดังนี้

- 1) ลงทะเบียน สำหรับให้ผู้ใช้ที่เข้าใช้งานครั้งแรกลงทะเบียนเพื่อสร้างบัญชีผู้ใช้
- 2) เข้าสู่ระบบ สำหรับให้ผู้ใช้กรอกชื่อบัญชีผู้ใช้ และรหัสผ่าน เพื่อเข้าใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ
- 3) ลืมรหัสผ่าน สำหรับให้ผู้ใช้ที่ลืมชื่อบัญชีผู้ใช้ หรือรหัสผ่าน ดำเนินการขอรับรายละเอียดเกี่ยวกับการตั้งรหัสผ่านใหม่เพื่อใช้ในการเข้าใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยหน้าเข้าสู่ระบบแสดงดังภาพ 1



ภาพ 1 หน้าเข้าสู่ระบบ

2. หน้าต่างหลักสำหรับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

หน้าต่างหลักสำหรับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ประกอบด้วย 6 เมนู ได้แก่ (1) ข้อมูลผู้ใช้ (2) โมเดลข้อสอบ (3) การสร้างข้อสอบ (4) การสร้างแบบสอบ (5) คู่มือการใช้งาน และ (6) ผู้พัฒนาระบบ แต่ละเมนูมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 ข้อมูลผู้ใช้

เมนูข้อมูลผู้ใช้ แสดงรายละเอียดของผู้ใช้ตามประเด็นที่กรอกไว้ในขณะลงทะเบียนเข้าใช้งานระบบ ซึ่งมี 8 รายการ ได้แก่ (1) ชื่อบัญชีผู้ใช้ (2) รหัสผ่านใหม่ (3) ยืนยันรหัสผ่านใหม่ (4) ชื่อ-นามสกุล (5) สถาบัน/สถานที่ทำงาน (6) อาชีพ (7) หมายเลขโทรศัพท์ และ (8) อีเมล ดังภาพ 2 ทั้งนี้ ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลของตนเองได้ และคลิกที่ปุ่ม “บันทึกข้อมูล” เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

ภาพ 2 เมนูข้อมูลผู้ใช้

2.2 โมเดลข้อสอบ

เมนูโมเดลข้อสอบ แสดงรายละเอียดของโมเดลข้อสอบสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทาง
กลศาสตร์ จำนวน 18 โมเดล แต่ละโมเดลมีรายละเอียด 6 ประเด็น ดังนี้

1) คำอธิบาย

หัวข้อคำอธิบายใช้ในการบันทึกรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับโมเดลข้อสอบ เช่น คุณลักษณะ
ที่มุ่งวัด

2) ข้อสอบตั้งต้น

หัวข้อข้อสอบตั้งต้นใช้ในการแสดงข้อสอบที่เป็นต้นแบบสำหรับการสร้างโมเดลข้อสอบ

3) คำถาม

หัวข้อคำถามใช้ในการแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับสถานการณ์ และคำถามที่ต้องการให้นักเรียน
หาคำตอบ

4) ส่วนประกอบย่อย

หัวข้อส่วนประกอบย่อยใช้ในการแสดง และการปรับแก้ค่าของส่วนประกอบย่อยซึ่งเป็นตัวแปร
ที่ใช้ในการจัดกระทำเพื่อสร้างข้อสอบใหม่จำนวนมาก ส่วนประกอบย่อยมี 3 ลักษณะ ได้แก่ (1) ส่วนประกอบย่อย
ที่เป็นข้อความ แสดงด้วยแถบสีเขียว (2) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษร แสดงด้วยแถบสีฟ้า และ (3) ส่วนประกอบ
ย่อยที่เป็นตัวเลข แสดงด้วยแถบสีแดง โดยผู้ใช้สามารถปรับค่าได้เฉพาะส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษร
(แถบสีฟ้า) และตัวเลข (แถบสีแดง) เท่านั้น

5) เฉลย

หัวข้อเฉลยใช้ในการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อในโมเดลข้อสอบ

6) รูปภาพ

หัวข้อรูปภาพใช้ในการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับการแสดงรูปภาพสำหรับข้อสอบแต่ละข้อ
ในโมเดลข้อสอบ โดยหัวข้อรูปภาพมีเฉพาะบางโมเดล

ตัวอย่างเมนูโมเดลข้อสอบแสดงดังภาพ 3 ซึ่งเป็นรายละเอียดของโมเดลข้อสอบที่ 2 และภาพ 4
แสดงตัวอย่างหัวข้อรูปภาพซึ่งเป็นรายละเอียดของโมเดลข้อสอบที่ 1

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยในทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

เลือกโมเดล โมเดล 2

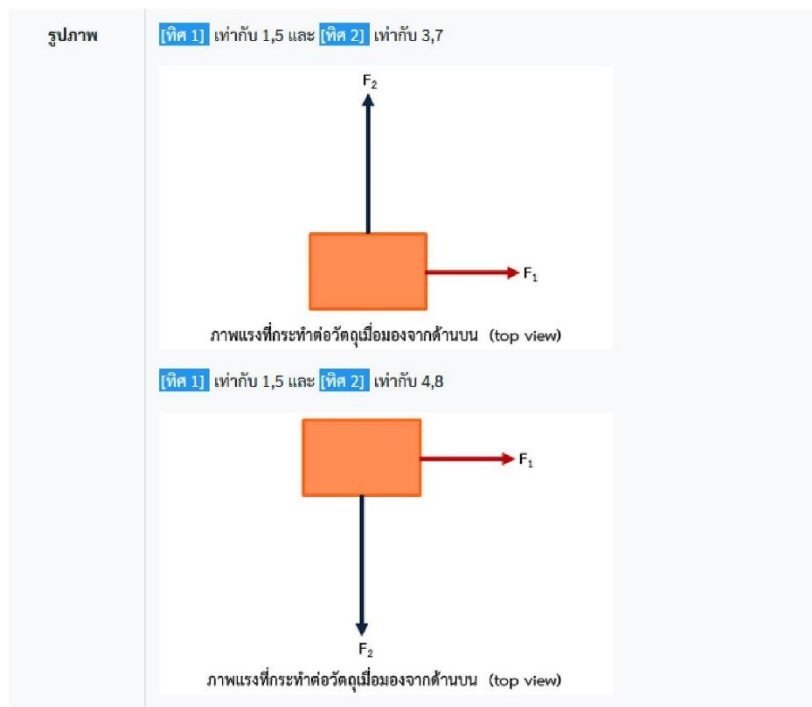
คลิกเพื่อเลือกโมเดลข้อสอบที่ต้องการพิจารณารายละเอียด

บันทึก

คำอธิบาย	คุณลักษณะที่มุ่งวัด คือ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1
ข้อสอบดั้งเดิม (parent item)	ลูกบอลมวล 600 กรัม วางอยู่กับที่ ถูกและให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบขึ้น ในขณะที่ ลูกบอลกำลังเคลื่อนที่ จงตอบคำถามต่อไปนี้ 1) มีแรงในแนวระดับและอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล 2) เพราะเหตุใด ลูกบอลจึงสามารถเคลื่อนที่ได้หลังจากถูกเตะ ถึงแม้ว่าทำไม่ได้สัมผัสกับลูกบอลแล้ว
คำถาม (stem)	[สถานการณ์] [คำถาม]
ส่วนประกอบย่อย (elements)	<p>ขั้นที่ 1</p> <p>[สถานการณ์] [ข้อความ]: 1: [ผู้กระทำ] และ [ลูกบอล] มวล [ค่า] กรัม พักอยู่กับที่เคลื่อนที่ไปบน พื้นราบ [ขึ้น] ในขณะที่ [ลูกบอล] กำลังเคลื่อนที่ จงพิจารณาว่า 2: [ลูกบอล] มวล [ค่า] กรัม วางอยู่กับที่ ถูกและให้เคลื่อนที่ไปบน พื้นราบ [ขึ้น] ในขณะที่ [ลูกบอล] กำลังเคลื่อนที่ จงตอบคำถามต่อไปนี้</p> <p>[คำถาม] [ข้อความ] 1) มีแรงในแนวระดับและอะไรบ้างกระทำต่อ [ลูกบอล] 2) เพราะเหตุใด [ลูกบอล] จึงสามารถเคลื่อนที่ได้หลังจากถูกเตะ ถึงแม้ว่าทำไม่ได้สัมผัสกับลูกบอลแล้ว</p> <p>ขั้นที่ 2</p> <p>[ผู้กระทำ] 1: นักเขียนคนหนึ่ง, 2: นักกีฬา, 3: นักฟุตบอล [ลูกบอล] 1: ลูกบอล, 2: ลูกบอลเคลือบ, 3: ลูกบาศก์ขอบ [ค่า] มีค่า 400 ถึง 850 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 50 [พื้น] 1: ลื่น, 2: เกือบ, 3: พื้นไม้ความลื่น, 4: ปราศจากความลื่น, 5: มีความลื่นปานกลาง</p>
เฉลย (key)	1) ไม่มีแรงในแนวระดับกระทำต่อ [ลูกบอล] ขณะกำลังเคลื่อนที่ 2) [ลูกบอล] สามารถเคลื่อนที่ได้เนื่องจากมีการรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม ที่เป็นผลมาจากการถูกเตะ

คลิกเพื่อบันทึกผลการแก้ไขทั้งหมดในโมเดลข้อสอบ บันทึกแก้ไข

ภาพ 3 ตัวอย่างเมนูโมเดลข้อสอบ



ภาพ 4 ตัวอย่างหัวข้อรูปภาพในเมนูโมเดลข้อสอบ

2.3 การสร้างข้อสอบ

เมนูการสร้างข้อสอบ แสดงรายการโมเดลข้อสอบทั้ง 18 โมเดล รวมทั้งระบุคุณลักษณะที่มุ่งวัดของแต่ละโมเดลข้อสอบ เพื่อให้ผู้ใช้เลือกโมเดลข้อสอบที่ต้องการนำไปสร้างข้อสอบ หลังจากเลือกโมเดลข้อสอบ ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติจะสร้างข้อสอบในแต่ละโมเดลข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยรวมส่วนประกอบย่อยที่กำหนดไว้ในโมเดลข้อสอบ เมนูการสร้างข้อสอบแสดงดังภาพ 5

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

กรุณาเลือกโมเดลข้อสอบที่ต้องการนำไปใช้ในการสร้างข้อสอบ

<input type="checkbox"/> เลือกทั้งหมด	
<input type="checkbox"/> โมเดล 1	แรงลัพธ์
<input type="checkbox"/> โมเดล 2	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1
<input type="checkbox"/> โมเดล 3	แรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1
<input type="checkbox"/> โมเดล 4	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2
<input type="checkbox"/> โมเดล 5	แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2
<input type="checkbox"/> โมเดล 6	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
<input type="checkbox"/> โมเดล 7	แรงลัพธ์ และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
<input type="checkbox"/> โมเดล 8	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
<input type="checkbox"/> โมเดล 9	แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
<input type="checkbox"/> โมเดล 10	แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3
<input type="checkbox"/> โมเดล 11	แรงเสียดทาน
<input type="checkbox"/> โมเดล 12	แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และแรงเสียดทาน
<input type="checkbox"/> โมเดล 13	แรงโน้มถ่วงของโลก
<input type="checkbox"/> โมเดล 14	แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 และแรงโน้มถ่วงของโลก
<input type="checkbox"/> โมเดล 15	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 และแรงเสียดทาน
<input type="checkbox"/> โมเดล 16	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 และแรงโน้มถ่วงของโลก
<input type="checkbox"/> โมเดล 17	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก
<input type="checkbox"/> โมเดล 18	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วงของโลก

สร้างข้อสอบ

ภาพ 5 เมนูการสร้างข้อสอบ

2.4 การสร้างแบบสอบ

เมนูการสร้างแบบสอบ ใช้ในการจัดชุดแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์สำหรับนำไปใช้งาน โดยระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติจะสุ่มข้อสอบจากแต่ละโมเดลข้อสอบที่เลือกมาจัดชุดเป็นแบบสอบ ซึ่งมีจำนวนชุดแบบสอบ และจำนวนข้อสอบตามที่ผู้ใช้กำหนด ทั้งนี้ ผู้ใช้สามารถกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับหัวกระดาษของแบบสอบได้จากปุ่ม “การตั้งค่าหัวกระดาษของแบบสอบ” แบบสอบวินิจัยสามารถสร้างได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ แบบสอบวินิจัยที่ไม่มีเฉลยคำตอบ และแบบสอบวินิจัยที่มีเฉลยคำตอบ โดยแต่ละลักษณะจะสร้างออกมาในรูปแบบไฟล์ Word และรูปแบบไฟล์ PDF เมนูการสร้างแบบสอบแสดงดังภาพ 6

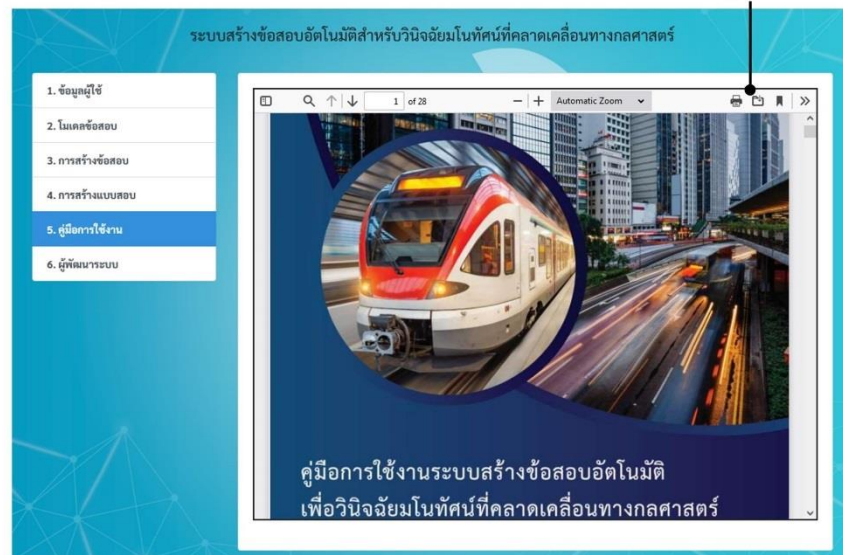
ภาพ 6 เมนูการสร้างแบบสอบ

2.5 คู่มือการใช้งาน

เมนูคู่มือการใช้งาน แสดงรายละเอียดของการทำงานของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ รายละเอียดของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ และการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดคู่มือการใช้งานในรูปแบบไฟล์ PDF เก็บไว้ได้ รวมทั้งสามารถพิมพ์คู่มือการใช้งานออกมาได้ เมนูคู่มือการใช้งานแสดงดังภาพ 7

8

คลิกเพื่อดูวิดีโอคู่มือการใช้งาน
หรือพิมพ์คู่มือการใช้งาน



ภาพ 7 เมนูคู่มือการใช้งาน

2.6 ผู้พัฒนาระบบ

เมนูผู้พัฒนาระบบ แสดงรายละเอียดของผู้พัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ เมนูผู้พัฒนาระบบแสดงดังภาพ 8



ภาพ 8 เมนูผู้พัฒนาระบบ

การใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

ผู้ใช้งานต้องลงทะเบียนเพื่อขออนุญาตเข้าใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติจากผู้ดูแลระบบ หลังจากนั้นจึงเข้าใช้งานระบบ โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับการเข้าใช้งานระบบ รวมทั้งการสร้างข้อสอบ และแบบสอบวินิจฉัยนิเทศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ดังนี้

1. การลงทะเบียนเข้าใช้งานระบบ และการเข้าใช้งานระบบ

1.1 การลงทะเบียนเข้าใช้งานระบบ

ผู้ใช้ที่เข้าใช้งานครั้งแรกจะต้องเข้าเว็บไซต์ <https://aigmeccmis.com> เพื่อลงทะเบียนขออนุญาตเข้าใช้งานระบบจากผู้ดูแลระบบ โดยคลิกที่ปุ่ม “ลงทะเบียน” (หมายเลข ①) ในหน้าเข้าสู่ระบบ ดังภาพ 9 แล้วกรอกรายละเอียดให้ครบถ้วนทุกรายการ ดังนี้

- 1) ชื่อบัญชีผู้ใช้ การตั้งชื่อบัญชีผู้ใช้จะต้องใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ และ/หรือตัวเลข
- 2) รหัสผ่าน การตั้งรหัสผ่านจะต้องใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ และ/หรือตัวเลข อย่างน้อย 6 หลัก
- 3) ยืนยันรหัสผ่าน กรอกรหัสผ่านอีกครั้งให้ตรงกับช่องรหัสผ่าน
- 4) ชื่อ-นามสกุล กรอกชื่อ-นามสกุล พร้อมทั้งคำนำหน้านาม
- 5) สถาบัน/สถานที่ทำงาน กรณีอยู่ระหว่างการศึกษาก็กรอกชื่อสถาบัน หากทำงานแล้ว

ให้กรอกสถานที่ทำงาน

- 6) อาชีพ กรอกอาชีพปัจจุบัน
- 7) หมายเลขโทรศัพท์ กรอกหมายเลขโทรศัพท์
- 8) อีเมล กรอกอีเมลสำหรับรับทราบผลการลงทะเบียนเข้าใช้งานระบบ

เมื่อกรอกรายละเอียดครบแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม “ลงทะเบียน” ดังภาพ 10 หลังจากนั้น รอผลการอนุมัติการลงทะเบียนเข้าใช้งานระบบจากผู้ดูแลระบบทางอีเมลที่ใช้ในการลงทะเบียน

ภาพ 9 หน้าเข้าสู่ระบบ

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ลงทะเบียน
โปรดกรอกข้อมูลต่อไปนี้ให้ครบถ้วน

ชื่อบัญชีผู้ใช้

หมายเหตุ : ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ และ/หรือตัวเลขในการตั้งชื่อบัญชีผู้ใช้

รหัสผ่าน

หมายเหตุ : ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ และ/หรือตัวเลข อย่างน้อย 6 หลัก ในการตั้งรหัสผ่าน

ยืนยันรหัสผ่าน

ชื่อ-นามสกุล

สถาบัน/สถานที่ทำงาน

อาชีพ

หมายเลขโทรศัพท์

E-mail

คลิกเพื่อยืนยันการลงทะเบียน
คลิกเพื่อกลับไปยังหน้าเข้าสู่ระบบ

ภาพ 10 หน้าลงทะเบียน

1.2 การใช้งานระบบ

เมื่อผู้ดูแลระบบอนุมัติการใช้งานระบบเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลผู้ใช้ และรหัสผ่านที่ลงทะเบียนไว้ แล้วคลิกที่ปุ่ม “เข้าสู่ระบบ” (หมายเลข ②) ในหน้าเข้าสู่ระบบ ดังภาพ 9 เพื่อใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

1.3 กรณีลืมข้อมูลผู้ใช้หรือรหัสผ่าน

ผู้ใช้ที่ลืมข้อมูลผู้ใช้หรือรหัสผ่านให้คลิกที่ปุ่ม “ลืมรหัสผ่าน” (หมายเลข ③) ในหน้าเข้าสู่ระบบ ดังภาพ 9 เพื่อกรอกอีเมลที่ใช้ในการลงทะเบียนใช้งาน จากนั้น กดปุ่ม “ดำเนินการ” ดังภาพ 11 เพื่อให้ระบบส่งรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินการสำหรับตั้งรหัสผ่านใหม่เพื่อใช้ในการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

ภาพ 11 หน้าลืมรหัสผ่าน

2. การสร้างข้อสอบ และแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

การสร้างข้อสอบ และจัดชุดแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เกี่ยวข้องกับเมนูการใช้งาน 3 เมนู ได้แก่ โมเดลข้อสอบ การสร้างข้อสอบ และการสร้างแบบสอบ แต่ละเมนูวิธีการใช้งาน ดังนี้

2.1 เมนูโมเดลข้อสอบ

ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีโมเดลข้อสอบ จำนวน 18 โมเดล โดยแต่ละโมเดลมีการกำหนดรายละเอียดต่างๆ ไว้ครบถ้วนแล้ว ทั้งนี้ ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลก่อนการสร้างข้อสอบได้ 4 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลในหัวข้อคำอธิบาย (2) ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบย่อย (3) ข้อมูลเกี่ยวกับเฉลย และ (4) ข้อมูลเกี่ยวกับรูปภาพ โดยมีรายละเอียดในการแก้ไข ดังนี้

2.1.1 ข้อมูลในหัวข้อคำอธิบาย

การแก้ไขข้อมูลในหัวข้อคำอธิบายดำเนินการได้โดยแก้ไขข้อความที่กำหนดไว้ในกล่องข้อความของหัวข้อคำอธิบาย เมื่อแก้ไขเสร็จแล้วให้คลิกที่ปุ่ม “บันทึก” โดยมีตัวอย่างการแก้ไขหัวข้อคำอธิบาย ดังภาพ 12

ก่อนการแก้ไข

คำอธิบาย	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; min-height: 100px;"> <p>คุณลักษณะที่มุ่งวัด คือ แรงลัพธ์</p> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> บันทึก </div>
-----------------	--

หลังการแก้ไข

คำอธิบาย	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; min-height: 100px;"> <p>คุณลักษณะที่มุ่งวัด คือ แรงลัพธ์ สร้างข้อสอบได้ จำนวน 3,200 ข้อ</p> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> บันทึก </div>
-----------------	---

ภาพ 12 ตัวอย่างการแก้ไขหัวข้อคำอธิบายในเมนูโมเดลข้อสอบ

2.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบย่อย

การแก้ไขข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบย่อย แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษร และ (2) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลข โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษร

ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษร (แถบสีฟ้า) แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ส่วนประกอบย่อยที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบย่อยอื่น (ภาพ 13) และส่วนประกอบย่อยที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบย่อยอื่น หรือมีการบังคับค่า (ภาพ 14)

[พื้น] 1: ลื่น, 2: เกลี้ยง, 3: ที่ไม่มีความผิด, 4: ปราศจากความเสียหาย, 5: ไร้ความเสียหาย

ภาพ 13 ตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษรที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบย่อยอื่น
(โมเดลข้อสอบที่ 1)

[ทิศ 2] ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 2 : ตะวันตก
ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 1 : ตะวันออก
ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 3 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 4 : ใต้
ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 4 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 3 : เหนือ
ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 5 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 6 : $+x$
ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 6 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 5 : $-x$
ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 7 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 8 : $+y$
ถ้า [ทิศ 1] เท่ากับ 8 กำหนดให้ [ทิศ 2] เท่ากับ 7 : $-y$

ภาพ 14 ตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษรที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบย่อยอื่นหรือมีการบังคับค่า
(โมเดลข้อสอบที่ 3)

การแก้ไขค่าส่วนประกอบย่อยทั้ง 2 ลักษณะ มีรายละเอียด ดังนี้

(1) คลิกลูกศรที่ส่วนประกอบย่อยที่ต้องการแก้ไขค่า หากเป็นโมเดลข้อสอบ 2 ชั้น

ให้คลิกลูกศรที่ส่วนประกอบย่อยในชั้นที่ 2 ดังภาพ 15 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อย ผู้ใช้สามารถแก้ไขค่าในหัวข้อตัวอักษรที่กำหนดไว้ได้ตามความต้องการ หากต้องการลบค่าใดในส่วนประกอบย่อย ให้คลิกลูกศรที่เครื่องหมายลบ หากต้องการกำหนดค่าของส่วนประกอบย่อยเพิ่มเติมให้คลิกลูกศรปุ่ม “เพิ่มช่อง” แล้วกรอกค่าที่ต้องการ ดังภาพ 16

ส่วนประกอบย่อย (elements)

คลิกเพื่อแก้ไขค่าส่วนประกอบย่อย

ขั้นที่ 1

[สถานการณ์] (ข้อความ):

1 : วัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบ [พื้น] เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุนี้พร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F1 ขนาด [F1] นิวตัน ทิศ [ทิศ 1] และแรง F2 ขนาด [F2] นิวตัน ทิศ [ทิศ 2] ดังภาพ

2 : วัตถุชิ้นหนึ่งถูกแรง F1 ขนาด [F1] นิวตัน กระทำให้เคลื่อนที่ไปทางทิศ [ทิศ 1] บนพื้นราบ [พื้น] ต่อมาถูกกระทำเพิ่มขึ้นด้วยแรง F2 ขนาด [F2] นิวตัน ทิศ [ทิศ 2] ดังภาพ

[คำถาม] (ข้อความ):

1 : จงหาว่าวัตถุนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใดจึงเคลื่อนที่ในทิศนั้น

2 : จงพิจารณาว่าวัตถุนี้เคลื่อนที่ไปในทิศใด พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบ

ขั้นที่ 2

[พื้น] 1: ลื่น, 2: เกลี้ยง, 3: ที่ไม่มีความฝืด, 4: ปราศจากความเสียดทาน, 5: ไร้ความเสียดทาน

[ทิศ 1] 1: ตะวันออก, 2: ตะวันตก, 3: เหนือ, 4: ได้, 5: +x, 6: -x, 7: +y, 8: -y

ภาพ 15 ตัวอย่างโมเดลข้อสอบ 2 ชั้น (โมเดลข้อสอบที่ 1)

คลิกเพื่อกลับสู่หน้าโมเดลข้อสอบ โดยไม่มีการบันทึกผลการแก้ไข

แก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อย

คลิกเพื่อลบค่าของส่วนประกอบย่อย

กรอกค่าของส่วนประกอบย่อย

คลิกเพื่อเพิ่มการกำหนดค่าของส่วนประกอบย่อย

คลิกเพื่อกลับสู่หน้าโมเดลข้อสอบ โดยไม่มีการบันทึกผลการแก้ไข

ปิดหน้าต่าง บันทึก

คลิกเพื่อบันทึกผลการแก้ไข

ตัวเลข	ตัวอักษร
1	ลื่น
2	เกลี้ยง
3	ที่ ไม่มีความฝืด
4	ปราศจากความเสียดทาน
5	ไร้ความเสียดทาน
6	

+ เพิ่มช่อง




ภาพ 16 การแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษรที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบย่อยอื่น

15

(2) การกำหนดค่าของส่วนประกอบย่อยเพิ่มเติมสำหรับส่วนประกอบย่อยที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบย่อยอื่นจะต้องกรอกชื่อส่วนประกอบย่อยที่นำมาบังคับค่า และกรอกตัวเลขแทนค่าของส่วนประกอบย่อยนั้นเพิ่มเติม ดังภาพ 17

(3) คลิกที่ปุ่ม “บันทึก” เพื่อบันทึกผลการแก้ไข และกลับไปสู่หน้าโมเดลข้อสอบ โดยผลการแก้ไขแสดงในหัวข้อส่วนประกอบย่อยของหน้าเมนูโมเดลข้อสอบ

ทิศ 2 ×

การบังคับค่า	ตัวเลข	ตัวอักษร	
[ทิศ 1]	1	2	ตะวันตก 
[ทิศ 1]	2	1	ตะวันออก 
[ทิศ 1]	3	4	ใต้ 
[ทิศ 1]	4	3	เหนือ 
[ทิศ 1]	5	6	+x 
[ทิศ 1]	6	5	-x 
[ทิศ 1]	7	8	+y 
[ทิศ 1]	8	7	-y 
			


กรอกชื่อส่วนประกอบย่อยที่นำมาบังคับค่า

กรอกตัวเลขแทนค่าของส่วนประกอบย่อยที่นำมาบังคับค่า
กรอกค่าของส่วนประกอบย่อยที่กำลังพิจารณา


ปิดหน้าต่าง
บันทึก



กรอกชื่อส่วนประกอบย่อยที่นำมาบังคับค่า



กรอกตัวเลขแทนค่าของส่วนประกอบย่อยที่นำมาบังคับค่า



กรอกตัวเลขแทนค่าของส่วนประกอบย่อยที่กำลังพิจารณา

ภาพ 17 การแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษรที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบย่อยอื่น

2) ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลข

ส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลข (แถบสีแดง) แบ่งเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ (1) ส่วนประกอบย่อยที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบย่อยอื่น (ภาพ 18) (2) ส่วนประกอบย่อยที่คำนวณมาจากส่วนประกอบย่อยอื่น (ภาพ 19) และ (3) ส่วนประกอบย่อยที่มีการบังคับค่า (ภาพ 20)

[F₁] มีค่า 2 ถึง 20 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 2

ภาพ 18 ตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลขที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบย่อยอื่น (โมเดลข้อสอบที่ 1)

[F₂] มีค่า $[F_1] + 2$

ภาพ 19 ตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลขที่คำนวณมาจากส่วนประกอบย่อยอื่น (โมเดลข้อสอบที่ 1)

[F₁] ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [F₁] มีค่า 5 ถึง 14 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 1
ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [F₁] มีค่า 5 ถึง 14 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 1
ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3 กำหนดให้ [F₁] มีค่า 0.3 ถึง 0.75 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 0.05
ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 4 กำหนดให้ [F₁] มีค่า 0.3 ถึง 0.75 โดยมีค่าต่างกัน เท่ากับ 0.05

[F₂] ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 1 กำหนดให้ [F₂] มีค่า $[F_1] - 3$
ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 2 กำหนดให้ [F₂] มีค่า $[F_1] - 3$
ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 3 กำหนดให้ [F₂] มีค่า $[F_1] - 0.2$
ถ้า [ผู้กระทำ 1] เท่ากับ 4 กำหนดให้ [F₂] มีค่า $[F_1] - 0.2$

ภาพ 20 ตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลขที่มีการบังคับค่า (โมเดลข้อสอบที่ 3)

การแก้ไขค่าส่วนประกอบย่อยทั้ง 3 ลักษณะ มีรายละเอียด ดังนี้

(1) คลินิกที่ซื้อส่วนประกอบย่อยที่ต้องการแก้ไขค่า จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างให้แก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อย ผู้ใช้สามารถแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยตามความต้องการ

17

(2) ส่วนประกอบย่อยที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบย่อยอื่นสามารถแก้ไขค่าได้ 3 ส่วน ได้แก่ ค่าเริ่มต้น ค่าสูงสุด และค่าระยะห่าง ดังภาพ 21

F1
×

ค่าเริ่มต้น	ค่าสูงสุด	ค่าระยะห่าง
2 ⌵	20 ⌵	2 ⌵

ปิดหน้าต่าง
บันทึก

ภาพ 21 ตัวอย่างหน้าต่างสำหรับแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลขที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบย่อยอื่น

(3) ส่วนประกอบย่อยที่คำนวณมาจากส่วนประกอบย่อยอื่นสามารถแก้ไขค่าได้เพียง 1 ค่า คือ ตัวเลขที่ใช้ในการดำเนินการทางคณิตศาสตร์กับส่วนประกอบย่อยอื่น ดังภาพ 22

F2
×

ตัวเลข

2
⌵

ปิดหน้าต่าง
บันทึก

ภาพ 22 ตัวอย่างหน้าต่างสำหรับแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลขที่คำนวณมาจากส่วนประกอบย่อยอื่น

(4) ส่วนประกอบย่อยที่มีการบังคับค่าสามารถแก้ไขค่าได้ตามความต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มการกำหนดค่าของส่วนประกอบย่อยได้ โดยคลิกที่ปุ่ม “เพิ่มช่อง” แล้วกรอกค่าที่กำหนดให้ครบถ้วน หากต้องการลบค่าใดในส่วนประกอบย่อยให้คลิกที่เครื่องหมายถังขยะ ดังภาพ 23

(5) คลิกที่ปุ่ม “บันทึก” เพื่อบันทึกผลการแก้ไข และกลับไปสู่หน้าโมเดลข้อสอบ โดยผลการแก้ไขแสดงในหัวข้อส่วนประกอบย่อยของหน้าเมนูโมเดลข้อสอบ

18

F1
×

การบังคับค่า	ค่าเริ่มต้น	ค่าสูงสุด	ค่าระยะห่าง	
[ผู้กระทำ 1]	1	5	14	1
[ผู้กระทำ 1]	2	5	14	1
[ผู้กระทำ 1]	3	0.3	0.75	0.05
[ผู้กระทำ 1]	4	0.3	0.75	0.05

+ เพิ่มช่อง

ปิดหน้าต่าง
บันทึก

ภาพ 23 ตัวอย่างหน้าต่างสำหรับแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวเลขที่มีการบังคับค่า

โมเดลข้อสอบแต่ละโมเดลมีส่วนประกอบย่อยแต่ละลักษณะที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของแต่ละโมเดลข้อสอบ

2.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับเฉลย

ข้อมูลในหัวข้อเฉลยเป็นการกำหนดค่าของคำตอบให้สอดคล้องกับค่าของส่วนประกอบย่อยที่มีผลต่อคำตอบ การแก้ไขรายละเอียดเกี่ยวกับเฉลยมีวิธีการแก้ไขเหมือนกับส่วนประกอบย่อยที่เป็นตัวอักษรในหัวข้อส่วนประกอบย่อย ดังนี้

(1) คลิกที่ชื่อส่วนประกอบย่อยที่ต้องการแก้ไขค่า จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างให้แก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อย ผู้ใช้สามารถแก้ไขค่าในหัวข้อตัวอักษรที่กำหนดไว้ได้ตามความต้องการ หากต้องการลบค่าใดในส่วนประกอบย่อยให้คลิกที่เครื่องหมายถังขยะ หากต้องการกำหนดค่าของส่วนประกอบย่อยเพิ่มเติมให้คลิกที่ปุ่ม “เพิ่มช่อง” แล้วกรอกค่าที่ต้องการ รวมทั้งชื่อส่วนประกอบย่อย และตัวเลขแทนค่าของส่วนประกอบย่อยที่มีผลต่อคำตอบ

(2) คลิกที่ปุ่ม “บันทึก” เพื่อบันทึกผลการแก้ไข และกลับไปสู่หน้าโมเดลข้อสอบ โดยผลการแก้ไขแสดงในหัวข้อเฉลยของหน้าเมนูโมเดลข้อสอบ ดังภาพ 24

ทศ 1
×

การบังคับค่า	ตัวเลข	ตัวอักษร		
[ทศ]	2	1	ทิศตะวันออก	
[ทศ]	1	2	ทิศตะวันออก	
[ทศ]	4	3	ทิศเหนือ	
[ทศ]	3	4	ทิศใต้	
[ทศ]	6	5	ขวา	
[ทศ]	5	6	ซ้าย	
[ทศ]	8	7	ทิศ +y	
[ทศ]	7	8	ทิศ -y	
[ทศ]	10	9	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	
[ทศ]	9	10	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	
[ทศ]	12	11	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	
[ทศ]	11	12	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	

+ เพิ่มช่อง

ปิดหน้าต่าง
บันทึก

ภาพ 24 ตัวอย่างหน้าต่างสำหรับแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยในหัวข้อเฉลี่ย
(โมเดลข้อสอบที่ 11)

2.1.4 ข้อมูลเกี่ยวกับรูปภาพ

การแก้ไขรายละเอียดเกี่ยวกับรูปภาพให้คลิกที่ชื่อส่วนประกอบย่อยใดในหัวข้อรูปภาพก็ได้ จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างสำหรับเปลี่ยนรูปภาพ และเงื่อนไขในการแสดงรูปภาพ ดังภาพ 25 ผู้ใช้สามารถแก้ไขเงื่อนไขในการแสดงรูปภาพได้โดยปรับค่าของส่วนประกอบย่อยที่มีผลต่อการแสดงรูปภาพ รวมทั้งสามารถเปลี่ยนรูปภาพที่แสดงได้โดยคลิกที่เครื่องหมายอัฒโทด เพื่ออัฒโทดรูปภาพที่ต้องการ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มเงื่อนไขการแสดงผลรูปภาพ โดยคลิกที่ปุ่ม “เพิ่มช่อง” นอกจากนี้ยังสามารถลบเงื่อนไขในการแสดงผลรูปภาพโดยคลิกที่เครื่องหมายถังขยะ เมื่อแก้ไขเรียบร้อยแล้วให้คลิกที่ปุ่ม “บันทึก” เพื่อบันทึกผลการแก้ไข และกลับไปสู่หน้าโมเดลข้อสอบ โดยผลการแก้ไขแสดงในหัวข้อรูปภาพของหน้าเมนูโมเดลข้อสอบ

รูปภาพ ×

การบันทึกค่า					
[ทิศ 1]	1,5	[ทิศ 2]	3,7	 	คลิกเพื่อลบเงื่อนไขในการแสดงรูปภาพ
[ทิศ 1]	1,5	[ทิศ 2]	4,8	 	
[ทิศ 1]	2,6	[ทิศ 2]	3,7	 	
[ทิศ 1]	2,6	[ทิศ 2]	4,8	 	
[ทิศ 1]	3,7	[ทิศ 2]	1,5	 	คลิกเพื่ออัปเดตรูปภาพ
[ทิศ 1]	4,8	[ทิศ 2]	1,5	 	
[ทิศ 1]	3,7	[ทิศ 2]	2,6	 	
[ทิศ 1]	4,8	[ทิศ 2]	2,6	 	

 **เพิ่มช่อง** คลิกเพื่อเพิ่มเงื่อนไขการแสดงผลรูปภาพ

 **ปิดหน้าต่าง**  **บันทึก**

ภาพ 25 การแก้ไขค่าของส่วนประกอบย่อยในหัวข้อรูปภาพ

เมื่อผู้ใช้แก้ไขรายละเอียดในส่วนต่างๆ ของโมเดลข้อสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม “บันทึกแก้ไข” ซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างของหน้าโมเดลข้อสอบ เพื่อบันทึกรายละเอียดทั้งหมดที่แก้ไขในแต่ละโมเดลข้อสอบ

หลังแก้ไขรายละเอียดในโมเดลข้อสอบตามความต้องการแล้ว ผู้ใช้จะต้องไปที่เมนูการสร้างข้อสอบเพื่อสร้างข้อสอบ และจัดชุดเป็นแบบสอบวินิจฉัยในเมนูการสร้างแบบสอบ ทั้งนี้ ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องแก้ไขรายละเอียดต่างๆ ในโมเดลข้อสอบ เนื่องจากมีการกำหนดรายละเอียดไว้อย่างครบถ้วนแล้ว หากผู้ใช้ไม่ได้แก้ไขรายละเอียดในโมเดลข้อสอบ สามารถเริ่มใช้งานจากเมนูการสร้างข้อสอบ

2.2 เมนูการสร้างข้อสอบ

เมนูการสร้างข้อสอบแสดงโมเดลข้อสอบทั้งหมดเพื่อให้ผู้ใช้เลือกโมเดลข้อสอบที่ต้องการนำไปสร้างข้อสอบ โดยคลิกที่ช่องสี่เหลี่ยมหน้าโมเดลข้อสอบ หากต้องการใช้โมเดลข้อสอบทั้ง 18 โมเดล ในการสร้างข้อสอบ ให้คลิกที่ช่องสี่เหลี่ยมหน้า “เลือกทั้งหมด” เมื่อเลือกโมเดลข้อสอบเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม “สร้างข้อสอบ” เพื่อสร้างข้อสอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดในแต่ละโมเดลข้อสอบที่เลือก ดังภาพ 26



ภาพ 26 การสร้างข้อสอบวินิจัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

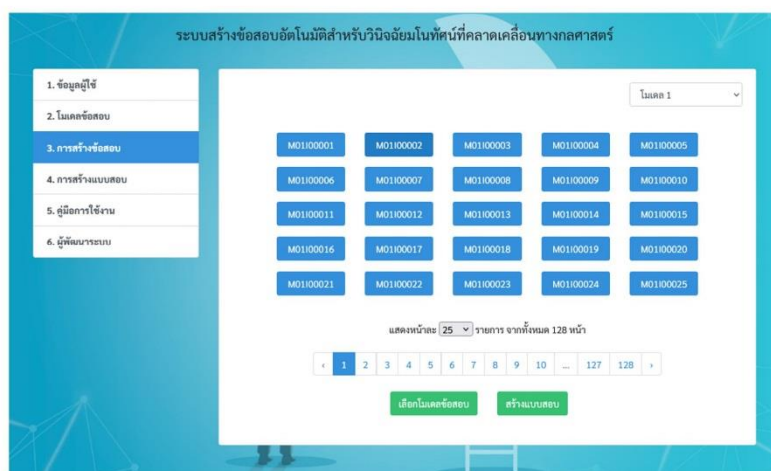
22

หลังจากสร้างข้อสอบเสร็จแล้ว ผู้ใช้สามารถพิจารณาข้อสอบแต่ละข้อ โดยคลิกที่กล่องรหัสข้อสอบ ดังภาพที่ 27 และ 28 รหัสข้อสอบมีจำนวน 9 หลัก แต่ละหลักมีความหมาย ดังนี้

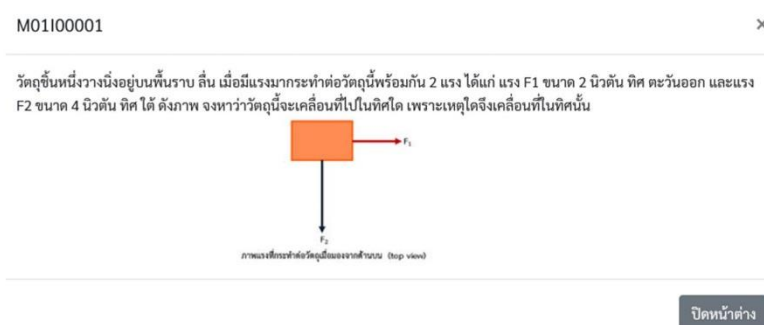
1) หลักที่ 1-3 แสดงถึงโมเดลข้อสอบ โดยหลักที่ 1 เป็นอักษร M ส่วนหลักที่ 2 และ 3 คือ ลำดับโมเดลข้อสอบ เช่น M01 หมายถึง โมเดลข้อสอบที่ 1

2) หลักที่ 4-9 แสดงถึงข้อสอบ โดยหลักที่ 4 เป็นตัวอักษร I ส่วนหลักที่ 5 ถึง 9 คือ ลำดับ ข้อสอบ เช่น I00050 หมายถึง ข้อสอบข้อที่ 50

ตัวอย่างรหัสข้อสอบ M04I00032 หมายถึง ข้อสอบข้อที่ 32 ในโมเดลข้อสอบที่ 4



ภาพ 27 ตัวอย่างหน้าจอหลังจากสร้างข้อสอบ



ภาพ 28 ตัวอย่างข้อสอบที่สร้างขึ้น

2.3 เมนูการสร้างแบบสอบ

หลังจากการสร้างข้อสอบ ผู้ใช้สามารถสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ โดยสุ่มข้อสอบมาจากแต่ละโมเดลข้อสอบที่เลือก ซึ่งจะต้องกำหนดรายละเอียด ดังนี้

- 1) จำนวนแบบสอบที่ต้องการสร้าง
- 2) จำนวนข้อสอบที่สุ่มมาจากแต่ละโมเดลข้อสอบ
- 3) ประเภทไฟล์ของแบบสอบ ซึ่งมีให้เลือก 2 ประเภท ได้แก่ ไฟล์ Word และไฟล์ PDF

เมนูการสร้างแบบสอบมีรายละเอียดดังภาพ 29 ทั้งนี้ แบบสอบวินิจัยที่สร้างขึ้นมี 2 ส่วน ได้แก่ แบบสอบที่ไม่มีเฉลยคำตอบ และแบบสอบที่มีเฉลยคำตอบ ซึ่งอยู่ด้านหลังแบบสอบที่ไม่มีเฉลยคำตอบ สำหรับการสร้างแบบสอบที่ไม่มีเฉลยคำตอบสามารถกำหนดค่าหัวกระดาษเพิ่มเติมได้ โดยคลิกที่ปุ่ม “การตั้งค่าหัวกระดาษของแบบสอบ” ดังภาพ 30 เมื่อกำหนดรายละเอียดทั้งหมดเรียบร้อยแล้วให้คลิกที่ปุ่ม “สร้างแบบสอบ” เพื่อสร้างแบบสอบวินิจัย จากนั้น ดาวน์โหลดแบบสอบวินิจัยที่สร้างขึ้นไปใช้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

คลิกเพื่อตั้งค่าหัวกระดาษของแบบสอบ

คลิกเพื่อสร้างแบบสอบวินิจัย

ภาพ 29 การสร้างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

คลิกเพื่อกลับสู่หน้าการสร้างแบบสอบ
โดยไม่มีการบันทึกผลการแก้ไข

✕

การตั้งค่าหัวกระดาษของแบบสอบ

ชื่อ-นามสกุล	ลบ	คลิกเพื่อลบประเด็น
ชั้น	ลบ	
เลขที่	ลบ	
โรงเรียน	ลบ	
วันที่	ลบ	
ประเด็นเพิ่มเติม	เพิ่ม	คลิกเพื่อเพิ่มประเด็นที่กรอก

กรอกประเด็นที่ต้องการให้แสดง
ในหัวกระดาษของแบบสอบ

คลิกเพื่อกลับสู่หน้าการสร้างแบบสอบ
โดยไม่มีการบันทึกผลการแก้ไข

ยกเลิก บันทึก

คลิกเพื่อบันทึกผลการแก้ไข

ภาพ 30 การตั้งค่าหัวกระดาษของแบบสอบวินิจัยที่ไม่มีเฉลยคำตอบ

ตัวอย่างแบบสอบวินิจัยที่ไม่มีเฉลยคำตอบ และมีเฉลยคำตอบ แสดงดังภาพ 31 และ 32 ตามลำดับ

ฉบับที่ 1

1

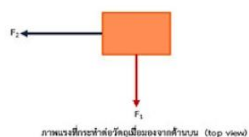
แบบสอบวินิจฉัยโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ชื่อ-นามสกุล _____ ชั้น _____
 เลขที่ _____ โรงเรียน _____
 วันที่ _____

คำชี้แจง

1. แบบสอบวินิจฉัยโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ประกอบด้วยข้อสอบ 18 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน มีทั้งหมด 18 หน้า
2. โน้ตนักเรียนตอบคำถามในพื้นที่ที่กำหนดให้ครบถ้วนทุกข้อ มีความชัดเจน และตรงประเด็นตามความเข้าใจของตนเอง

1. วัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบ เกลี้ยง เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุนี้พร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F_1 ขนาด 4 นิวตัน ทิศ ใต้ และแรง F_2 ขนาด 6 นิวตัน ทิศ ตะวันตก ดังภาพ จงหาว่าวัตถุนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใดจึงเคลื่อนที่ในทิศนั้น



พื้นที่สำหรับตอบคำถามข้อ 1

แบบสอบสร้างมาจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

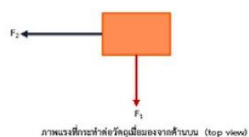
ภาพ 31 ตัวอย่างแบบสอบวินิจฉัยโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่ไม่มีเฉลยคำตอบ

ฉบับที่ 1

20

แบบสอบวินิจฉัยโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

M0100885 1. วัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบ เกลี้ยง เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุนี้พร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F_1 ขนาด 4 นิวตัน ชีศได้ และแรง F_2 ขนาด 6 นิวตัน ชีศตะวันตก ดังภาพ จงหาว่าวัตถุนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใดจึงเคลื่อนที่ไปในทิศนั้น



เฉลย

วัตถุจะเคลื่อนที่ในแนวทิศ ตะวันตกเฉียงใต้ เนื่องจากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ อยู่ในแนวทิศ ตะวันตกเฉียงใต้

หมายเหตุ แบบสอบวินิจฉัยโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียน ชีศอนุโลมให้ “แนวทิศ ตะวันตกเฉียงใต้” เป็นคำตอบที่ถูกต้อง โดยไม่ต้องระบุทิศทางเคลื่อนที่ของวัตถุในรูปของมุม เนื่องจากไม่ได้ระบุวัดความรอบรู้ของนักเรียนในเรื่องนี้

แบบสอบสร้างมาจากระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสำหรับวินิจฉัยโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

ภาพ 32 ตัวอย่างแบบสอบวินิจฉัยโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่มีเฉลยคำตอบ





เนื้อหาในภาคผนวก ง เครื่องมือวิจัย แบ่งเป็น 5 หัวข้อ ได้แก่ (1) รายละเอียดเกี่ยวกับแบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ (2) รายละเอียดเกี่ยวกับแบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ (3) แบบสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ (4) แบบบันทึกการคิดออกเสียง และ (5) รายละเอียดเกี่ยวกับรูปกริการตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. รายละเอียดเกี่ยวกับแบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

1.1 ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา

ข้อคำถาม	IOC	ข้อเสนอแนะ
<i>การใช้ประโยชน์</i>		
1. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติลดภาระของผู้สร้างข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์	1.00	-
2. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสร้างข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่มีคุณภาพไว้ใช้ในการทดสอบจำนวนมาก	1.00	เปลี่ยนจาก “จำนวนมาก” เป็น “อย่างเพียงพอ”
3. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติลดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบเนื่องจากการใช้ข้อสอบซ้ำ	0.86	ปรับข้อคำถามเป็น “ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติลดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบ (item exposure)”
<i>ความเป็นไปได้</i>		
4. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัตินำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับครูฟิสิกส์ในโรงเรียน	1.00	ปรับข้อคำถามเป็น “ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัตินำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับการวัดและการประเมินในโรงเรียน”
5. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติใช้งานได้ง่าย	0.86	-
6. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีการประมวลผลที่รวดเร็ว	1.00	-

ข้อคำถาม	IOC	ข้อเสนอแนะ
<i>ความเป็นไปได้</i>		
7. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติไม่มีปัญหาในการใช้งาน	0.71	-ข้อคำถามแสดงถึงการแก้ไขจนหมดปัญหา -ปรับข้อคำถามเป็น “ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีคำอธิบายในกรณีที่เกิดปัญหาในการใช้งาน”
8. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีความคุ้มค่าสำหรับใช้ในการสร้างข้อสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์	0.86	-ปรับคำว่า “ความคุ้มค่า” เป็น “ความคุ้มค่าในการดำเนินงาน”
<i>ความเหมาะสม</i>		
9. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับโมเดลข้อสอบอย่างครบถ้วน	0.86	-
10. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสร้างข้อสอบได้ทันทีหลังจากการกำหนดรายละเอียดในโมเดลข้อสอบ	0.86	-
11. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน	0.71	-ปรับคำว่า “ความยืดหยุ่น”
12. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติไม่ส่งผลเสียต่อผู้ใช้และผู้ที่เกี่ยวข้อง	0.86	-
<i>ความถูกต้อง</i>		
13. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสร้างข้อสอบที่มีความถูกต้องด้านหลักภาษาและไวยากรณ์	1.00	-
14. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติรวมส่วนประกอบย่อยในโมเดลข้อสอบได้อย่างถูกต้อง	1.00	-
15. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติสร้างแบบสอบได้อย่างถูกต้อง	0.86	-
16. ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติมีการแสดงผลที่ถูกต้อง	1.00	-

1.2 แบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

แบบประเมินระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

คำชี้แจง

ให้ท่านพิจารณาคุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์แต่ละรายการต่อไปนี้ แล้วตัดสินคุณภาพของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติโดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด ซึ่งมีระดับคุณภาพ 5 ระดับ ดังนี้

- | | |
|----------------------|----------------|
| 1 หมายถึง น้อยที่สุด | 2 หมายถึง น้อย |
| 3 หมายถึง ปานกลาง | 4 หมายถึง มาก |
| 5 หมายถึง มากที่สุด | |

รายการ	1	2	3	4	5
ระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ					
1. ลดภาระของผู้สร้างข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์					
2. สร้างข้อสอบสำหรับวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ที่มีคุณภาพไว้ใช้ในการทดสอบอย่างเพียงพอ					
3. ลดปัญหาการเปิดเผยข้อสอบ (item exposure)					
4. นำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับการวัดและการประเมินในโรงเรียน					
5. ใช้งานได้ง่าย					
6. มีการประมวลผลที่รวดเร็ว					
7. มีความคุ้มค่าในการดำเนินงานสำหรับใช้ในการสร้างข้อสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์					
8. แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับโมเดลข้อสอบอย่างครบถ้วน					
9. สร้างข้อสอบได้ทันทีหลังจากการกำหนดรายละเอียดในโมเดลข้อสอบ					
10. ไม่ส่งผลเสียต่อผู้ใช้และผู้ที่เกี่ยวข้อง					
11. สร้างข้อสอบที่มีความถูกต้องด้านหลักภาษาและไวยากรณ์					
12. รวมส่วนประกอบย่อยในโมเดลข้อสอบได้อย่างถูกต้อง					
13. สร้างแบบสอบได้อย่างถูกต้อง					
14. มีการแสดงผลที่ถูกต้อง					

2. รายละเอียดเกี่ยวกับแบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

2.1 ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา

ข้อคำถาม	IOC	ข้อเสนอแนะ
<i>การใช้ประโยชน์</i>		
1. คู่มือการใช้งานทำให้เข้าใจส่วนประกอบของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	0.86	เปลี่ยน “ส่วนประกอบ” เป็น “องค์ประกอบ”
2. คู่มือการใช้งานทำให้เข้าใจการทำงานของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ	1.00	-
3. คู่มือการใช้งานช่วยให้ใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง	0.86	-
4. คู่มือการใช้งานช่วยให้ใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้รวดเร็ว	1.00	-
5. คู่มือการใช้งานช่วยให้ใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้ครอบคลุมการทำงานของระบบทั้งหมด	0.71	ปรับข้อคำถามเป็น “คู่มือการใช้งานช่วยให้ใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้เต็มศักยภาพการทำงานของระบบ”
<i>ความเป็นไปได้</i>		
6. คู่มือการใช้งานสามารถนำไปใช้ควบคู่กับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้จริง	1.00	-
7. คู่มือการใช้งานอ่านเข้าใจง่าย	1.00	-
8. คู่มือการใช้งานมีความละเอียด	0.86	ปรับข้อคำถามเป็น “คู่มือการใช้งานมีความละเอียดเพียงพอในการนำไปใช้งาน”
9. คู่มือการใช้งานสะดวกต่อการอ่าน	1.00	-
10. คู่มือการใช้งานมีความคุ้มค่าในการใช้งาน	0.86	ปรับข้อคำถามเป็น “คู่มือการใช้งานมีความคุ้มค่าในการดำเนินงาน”

ข้อคำถาม	IOC	ข้อเสนอแนะ
<i>ความเหมาะสม</i>		
11. คู่มือการใช้งานมีรายละเอียดที่ครบถ้วน เกี่ยวกับส่วนประกอบของระบบสร้างข้อสอบ อัตโนมัติ	0.86	เปลี่ยนจาก “ส่วนประกอบ” เป็น “องค์ประกอบ”
12. คู่มือการใช้งานมีรายละเอียดที่ครบถ้วน เกี่ยวกับวิธีการใช้งานระบบสร้างข้อสอบ อัตโนมัติ	1.00	-
13. คู่มือการใช้งานแสดงขั้นตอนการทำงาน อย่างเป็นลำดับตามระบบสร้างข้อสอบ อัตโนมัติ	1.00	-
<i>ความถูกต้อง</i>		
14. คู่มือการใช้งานมีรายละเอียดที่ถูกต้อง เกี่ยวกับส่วนประกอบของระบบสร้างข้อสอบ อัตโนมัติ	0.86	เปลี่ยนจาก “ส่วนประกอบ” เป็น “องค์ประกอบ”
15. คู่มือการใช้งานมีรายละเอียดที่ถูกต้อง เกี่ยวกับวิธีการใช้งานระบบสร้างข้อสอบ อัตโนมัติ	1.00	-
16. คู่มือการใช้งานมีความถูกต้องด้านการใช้ ภาษา	1.00	-

2.2 แบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

แบบประเมินคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ

คำชี้แจง

ให้ท่านพิจารณาคุณภาพของคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์แต่ละรายการต่อไปนี้ แล้วตัดสินคุณภาพของคู่มือการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด ซึ่งมีระดับคุณภาพ 5 ระดับ ดังนี้

- | | |
|----------------------|----------------|
| 1 หมายถึง น้อยที่สุด | 2 หมายถึง น้อย |
| 3 หมายถึง ปานกลาง | 4 หมายถึง มาก |
| 5 หมายถึง มากที่สุด | |

รายการ	1	2	3	4	5
คู่มือการใช้งาน					
1. ทำให้เข้าใจองค์ประกอบของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ					
2. ทำให้เข้าใจการทำงานของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ					
3. ช่วยให้ใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง					
4. ช่วยให้ใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้รวดเร็ว					
5. สามารถนำไปใช้ควบคู่กับการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติได้จริง					
6. อ่านเข้าใจง่าย					
7. มีความละเอียดเพียงพอในการนำไปใช้งาน					
8. สะดวกต่อการอ่าน					
9. มีความคุ้มค่าในการดำเนินงาน					
10. มีรายละเอียดที่ครบถ้วนเกี่ยวกับองค์ประกอบของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ					
11. มีรายละเอียดที่ครบถ้วนเกี่ยวกับวิธีการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ					
12. แสดงขั้นตอนการทำงานอย่างเป็นลำดับตามระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ					
13. มีรายละเอียดที่ถูกต้องเกี่ยวกับองค์ประกอบของระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ					
14. มีรายละเอียดที่ถูกต้องเกี่ยวกับวิธีการใช้งานระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติ					
15. มีความถูกต้องด้านการใช้ภาษา					

3. แบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

3.1 ตัวอย่างแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1

เลขประจำตัวผู้สอบ -

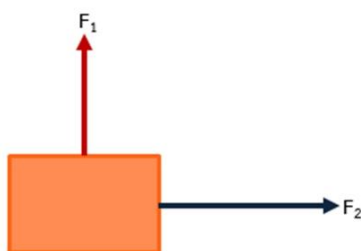
แบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 1

คำชี้แจง

1. แบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ประกอบด้วยข้อสอบ 18 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน มีทั้งหมด 18 หน้า
2. ให้นักเรียนตอบคำถามในพื้นที่ที่กำหนดให้ครบถ้วนทุกข้อ มีความชัดเจน และตรงประเด็นตามความเข้าใจของตนเอง
3. นักเรียนสามารถใช้ปากกาหรือดินสอในการเขียนคำตอบ
4. นักเรียนสามารถทดเลขได้บริเวณที่ว่างของแบบสอบ

กำหนดให้ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) มีค่า 10 เมตรต่อวินาที²

1. วัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบลื่น เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุนี้พร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F_1 ขนาด 4 นิวตัน ทิศเหนือ และแรง F_2 ขนาด 6 นิวตัน ทิศตะวันออก จงหาว่าวัตถุนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใด จึงเคลื่อนที่ในทิศนั้น



ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)

พื้นที่สำหรับตอบคำถามข้อ 1

3.2 ตัวอย่างแบบสอบวินิจฉัยมนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 2

เลขประจำตัวผู้สอบ □□□□ - □□

แบบสอบวินิจฉัยมนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ ฉบับที่ 2

คำชี้แจง

1. แบบสอบวินิจฉัยมนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์ประกอบด้วยข้อสอบ 30 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน มีทั้งหมด 30 หน้า
2. ให้นักเรียนตอบคำถามในพื้นที่ที่กำหนดให้ครบถ้วนทุกข้อ มีความชัดเจน และตรงประเด็นตามความเข้าใจของตนเอง
3. นักเรียนสามารถใช้ปากกาหรือดินสอในการเขียนคำตอบ

1. นักกีฬาเตะลูกบอลมวล 750 กรัม ที่อยู่นิ่ง ให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบลื่น ในขณะที่ลูกบอลกำลังเคลื่อนที่ จงพิจารณาว่า

- 1) มีแรงในแนวระดับแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล
- 2) เพราะเหตุใด ลูกบอลจึงสามารถเคลื่อนที่ได้หลังจากถูกเตะ ถึงแม้ว่าเท้าไม่ได้สัมผัสกับลูกบอลแล้ว

พื้นที่สำหรับตอบคำถามข้อ 1.1

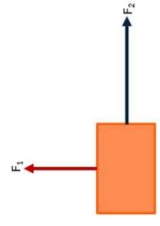
พื้นที่สำหรับตอบคำถามข้อ 1.2

4. แบบบันทึกการคิดออกเสียง

4.1 ตัวอย่างแบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับการทดลองใช้แบบสอบวินิจฉัย

เลขประจำตัวผู้สอบ -

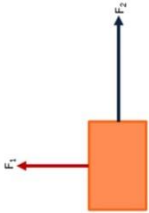
แบบบันทึกการคิดออกเสียง

ข้อสอบ	คุณลักษณะที่มุ่งวัด					รายละเอียด
	แรงลัพธ์	กฎข้อที่ 1	กฎข้อที่ 2	กฎข้อที่ 3	แรงเสียดทาน	แรงโน้มถ่วง
1. วิตุลินหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบลื่น เมื่อมีแรงมากระทำต่อวิตุลินนี้พร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F_1 ขนาด 4 นิวตัน ทิศเหนือ และแรง F_2 ขนาด 6 นิวตัน ทิศตะวันออก จงหาว่าวิตุลินนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใด จึงเคลื่อนที่ในทิศนั้น						
 <p>ภาพแรงที่กระทำต่อวิตุลินเนื่องจากด้านบน (top view)</p>						

4.2 ตัวอย่างแบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์

เลขประจำตัวผู้สอบ 00000 - 000

แบบบันทึกการคิดออกเสียง

ข้อสอบ	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน					รายละเอียด
	แรงลัพธ์	กฎข้อที่ 1	กฎข้อที่ 2	กฎข้อที่ 3	แรงเสียดทาน	แรงโน้มถ่วง
1. วัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นราบลื่น เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุนี้พร้อมกัน 2 แรง ได้แก่ แรง F_1 ขนาด 4 นิวตัน ทิศเหนือ และแรง F_2 ขนาด 6 นิวตัน ทิศตะวันออก จงหาว่าวัตถุนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศใด เพราะเหตุใด จึงเคลื่อนที่ไม่ติดนั้น  ภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมองจากด้านบน (top view)						
คุณลักษณะที่มุ่งวัด คือ แรงลัพธ์						

สรุปผลการวิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์เรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

คุณลักษณะ	มโนทัศน์ถูกต้อง	มโนทัศน์คลาดเคลื่อน
1. แรงลัพธ์		
2. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1		
3. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2		
4. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3		
5. แรงเสียดทาน		
6. แรงโน้มถ่วงของโลก		

5. รายละเอียดเกี่ยวกับรูปกรตรวจสอบให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัย

5.1 ผลการตรวจสอบความเหมาะสม และผลการวิเคราะห์ความเที่ยงระหว่างผู้ตรวจให้คะแนน

ข้อสอบ	ระดับความคิดเห็น		สัดส่วน ความสอดคล้อง (P_i)	ข้อเสนอแนะ	ความเที่ยงระหว่าง ผู้ตรวจให้คะแนน (Fleiss' kappa)
	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม			
1	0	7	1.000	-	0.872
2	1	6	0.714	ปรับปรุงประเด็นในรูปกร ให้เหมือนกับเฉลย	0.824
3	0	7	1.000	-	0.962
4	0	7	1.000	-	0.857
5	0	7	1.000	-	0.930
6	0	7	1.000	-	0.853
7	1	6	0.714	ปรับปรุงประเด็นในรูปกร ให้เหมือนกับเฉลย	0.875
8	1	6	0.714	ควรกำหนดระดับคะแนน มากกว่า 3 ระดับ	0.842
9	1	6	0.714	ควรกำหนดระดับคะแนน มากกว่า 3 ระดับ	0.870
10	1	6	0.714	ควรกำหนดระดับคะแนน มากกว่า 3 ระดับ	0.875
11	1	6	0.714	ควรกำหนดระดับคะแนน มากกว่า 3 ระดับ	0.908
12	1	6	0.714	ควรกำหนดระดับคะแนน มากกว่า 3 ระดับ	0.965
13	1	6	0.714	ควรกำหนดระดับคะแนน มากกว่า 3 ระดับ	0.842
14	1	6	0.714	ควรกำหนดระดับคะแนน มากกว่า 3 ระดับ	0.840
15	1	6	0.714	ควรกำหนดระดับคะแนน มากกว่า 3 ระดับ	0.943
16	1	6	0.714	ปรับปรุงประเด็นในรูปกร ให้เหมือนกับเฉลย	0.964
17	1	6	0.714	ควรกำหนดระดับคะแนน มากกว่า 3 ระดับ	0.866
18	1	6	0.714	ควรกำหนดระดับคะแนน มากกว่า 3 ระดับ	0.841

5.2 รูปกริตรจวให้คะแนนผลการตอบข้อสอบวินิจฉัย

1) รูปกริตรจวให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 1

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 2 ประเด็น ดังนี้ (1) ทิศทางการเคลื่อนที่ คือ แนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (2) เหตุผล คือ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุอยู่ในแนว ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

2) รูปกริตรจวให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 2

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 2 ประเด็น ดังนี้ (1) ไม่มีแรงในแนวระดับกระทำต่อลูกบอล ขณะกำลังเคลื่อนที่ (2) ลูกบอลสามารถเคลื่อนที่ได้เนื่องจากการรักษา สภาพการเคลื่อนที่เดิมที่เป็นผลมาจากการถูกเตะ

3) รูปกริตรจวให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 3

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 2 ประเด็น ดังนี้ (1) ก้อนดินไม่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ เพราะ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อก้อนดินมีทิศเดิม นั่นคือ ทิศ +x (2) ก้อนดินเคลื่อนที่ต่อไปได้เพราะรักษาสภาพ การเคลื่อนที่เดิมที่เป็นผลมาจากการออกแรงกระทำ ของมดงานทั้งสอง

4) รุปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 4

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 2 ประเด็น ดังนี้ (1) นักมวยไม่สามารถลากยารถบรรทุกไปได้ (2) เหตุผล คือ แรงที่ใช้ลากมีค่าน้อยกว่า แรงเสียดทานสถิตสูงสุด

5) รุปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 5

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 2 ประเด็น ดังนี้ (1) ตู้สินค้ายังคงเคลื่อนที่ในทิศใต้เช่นเดิม (2) ตู้สินค้าสามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ เนื่องจาก การรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมที่เป็นผลมาจากการ ลากของม้าทั้ง 2 ตัว

6) รุปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 6

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 2 ประเด็น ดังนี้ (1) แรงในแนวระดับที่กระทำต่อนักชู้โมคนแรก คือ แรงที่นักชู้โมคนที่สองกระทำต่อนักชู้โมคนแรก (2) การเปรียบเทียบขนาดของแรง คือ F_1 มีค่า เท่ากับ F_2 เนื่องจากแรงทั้งสองเป็นแรงคู่กิริยา- ปฏิกิริยา

7) รุปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 7

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 2 ประเด็น ดังนี้ (1) กระเป๋าดำเดินทางเข้าชนกำแพงในแนวทิศ ตะวันตกเฉียงเหนือ (2) มีแรงกระทำต่อกำแพงในแนวระดับ คือ แรงที่ กระเป๋าดำเดินทางกระทำต่อกำแพง

8) รุปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 8

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 3 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1-2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 3 ประเด็น ดังนี้ (1) ไม่มีแรงกระทำต่อลูกเทนนิสก่อนเข้าชน เสาอาคาร (2) แรงกระทำต่อลูกเทนนิสขณะเข้าชนเสาอาคาร คือ แรงที่เสาอาคารกระทำต่อลูกเทนนิส (3) แรงกระทำต่อเสาอาคารขณะลูกเทนนิส เคลื่อนที่เข้าชน คือ แรงที่ลูกเทนนิสกระทำต่อ เสาอาคาร

9) รุปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 9

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 3 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1-2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 3 ประเด็น ดังนี้ (1) ลูกชอกกี้เคลื่อนที่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้ (2) ลูกชอกกี้สามารถเคลื่อนที่ไปชนขอบสนามได้ เนื่องจากผลจากการถูกตีโดยชายทั้ง 2 คน (3) แรงในแนวระดับที่กระทำต่อลูกชอกกี้ขณะชน ขอบสนาม คือ แรงที่ขอบสนามกระทำต่อลูกชอกกี้

10) รุปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 10

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 5 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1-4 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 5 ประเด็น ดังนี้ (1) สภาพการเคลื่อนที่ของลังสินค้าหลังจากถูก พนักงานคนที่ 2 ผลัก คือ ไม่เปลี่ยนทิศทาง การเคลื่อนที่ โดยยังคงเคลื่อนที่ในทิศใต้เช่นเดิม (2) สภาพการเคลื่อนที่ของลังสินค้าหลังจากพนักงาน ทั้ง 2 คน หยุดออกแรงผลัก คือ ลังสินค้าจะเคลื่อนที่ ด้วยความเร็วคงที่ เนื่องจากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อ ลังสินค้านั้นมีค่าเป็นศูนย์ (3) แรงในแนวการเคลื่อนที่ที่กระทำต่อลังสินค้า ที่เคลื่อนที่เข้าชน คือ แรงที่ลังสินค้าที่วางอยู่กระทำ ต่อลังสินค้าที่เคลื่อนที่เข้าชน (4) แรงในแนวการเคลื่อนที่ที่กระทำต่อลังสินค้า ที่วางอยู่ คือ แรงที่ลังสินค้าที่เคลื่อนที่เข้าชนกระทำ ต่อลังสินค้าที่วางอยู่ (5) การเปรียบเทียบขนาดของแรง คือ มีขนาดเท่ากัน

11) รูปrikตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 11

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 3 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1-2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 3 ประเด็น ดังนี้ (1) กรณีล้งใส่ของไม่เคลื่อนที่ มีแรงเสียดทาน กระทำ เท่ากับ 75 นิวตัน ไปทางขวา (2) กรณีล้งใส่ของเริ่มขยับ มีแรงเสียดทานกระทำ เท่ากับ 80 นิวตัน ไปทางขวา (3) กรณีล้งใส่ของไถลไปบนถนน มีแรงเสียดทาน กระทำ เท่ากับ 60 นิวตัน ไปทางขวา

12) รูปrikตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 12

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 2 ประเด็น ดังนี้ (1) ทิศทางการเคลื่อนที่ คือ แนวทิศตะวันตกเฉียงใต้ (2) แรงกระทำ ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดขวดน้ำ มีทิศลง แรงที่พื้นกระทำกับขวดน้ำ มีทิศขึ้น และแรงเสียด ทาน มีทิศตะวันตกเฉียงใต้

13) รุปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 13

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 3 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1-2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 3 ประเด็น ดังนี้ (1) แรงที่กระทำขณะเคลื่อนที่ขึ้น ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดลูกเทนนิส (2) แรงที่กระทำขณะเคลื่อนที่ลง ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดลูกเทนนิส (3) การเปรียบเทียบเวลา คือ เวลาที่ลูกเทนนิสใช้ในการเคลื่อนที่เมื่อยิงบริเวณประเทศไทยมีค่ามากกว่าเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เมื่อยิงบริเวณขั้วโลกเหนือเนื่องจากความเร่งของลูกเทนนิสบริเวณประเทศไทยมีค่าน้อยกว่าบริเวณขั้วโลกเหนือ หรือ (3) เวลาที่ลูกเทนนิสใช้ในการเคลื่อนที่เมื่อยิงบริเวณประเทศไทยมีค่าเท่ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เมื่อยิงบริเวณขั้วโลกเหนือเนื่องจากความเร่งของลูกเทนนิสบริเวณประเทศไทย และบริเวณขั้วโลกเหนือมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย จึงถือได้ว่ามีค่าเท่ากัน

14) รูปrikตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 14

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 4 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1-3 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 4 ประเด็น ดังนี้ (1) ลูกรักบี้มีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เนื่องจากมุมระหว่างแรงลัพธ์และความเร็วมีค่าอยู่ ระหว่าง 0 และ 90 องศา (2) แรงกระทำ คือ แรงที่โลกดึงดูดลูกรักบี้ (3) ทิศทางการเคลื่อนที่ คือ แนวทิศตะวันออกเฉียงใต้ (4) ความเร็วของลูกรักบี้ หลังจากถูกเตะมี การเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่ (เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่าง คงที่) เนื่องจากความเร่งของลูกรักบี้มีค่าคงที่

15) รูปrikตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 15

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 3 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1-2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 3 ประเด็น ดังนี้ (1) แรงกระทำต่อรถตู้ขณะยังไม่เคลื่อนที่ ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดรถตู้ แรงที่พื้นกระทำต่อรถตู้ แรงผลักรถจากเจ้าหน้าที่ตำรวจ และแรงเสียดทาน (2) แรงกระทำต่อรถตู้ขณะไถลก่อนเข้าชนรถเมล์ ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดรถตู้ แรงที่พื้นกระทำต่อรถตู้ และแรงเสียดทาน (3) แรงกระทำต่อรถตู้ขณะชนกับรถเมล์ ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดรถตู้ แรงที่พื้นกระทำต่อรถตู้ แรงเสียดทาน และแรงที่รถเมล์กระทำต่อรถตู้

16) รุบริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 16

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 2 ประเด็น ดังนี้ (1) การเปรียบเทียบเวลา คือ เวลาที่ลูกตาลูกที่ 1 และลูกที่ 2 ใช้ในการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากัน เนื่องจาก ลูกตาลทั้ง 2 ลูก มีความเร่งเท่ากัน (2) แรงกระทำ ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดลูกตาล แรงที่พื้นกระทำต่อลูกตาล และแรงที่ต้นตาลกระทำต่อ ลูกตาล

17) รุบริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 17

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 2 ประเด็น ดังนี้ (1) แรงกระทำขณะกลิ้งอยู่บนโต๊ะ ได้แก่ แรงที่โลก ดึงดูดลูกแก้ว มีทิศลง แรงที่โต๊ะกระทำต่อลูกแก้ว มีทิศขึ้น และแรงเสียดทาน มีทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (2) แรงกระทำขณะเคลื่อนที่อยู่ในอากาศ ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดลูกแก้ว มีทิศลง

18) รุปริกตรวจให้คะแนนผลการตอบข้อสอบข้อที่ 18

ระดับคะแนน		
0 (คำตอบผิด)	1 (คำตอบถูกต้องบางส่วน)	2 (คำตอบถูกต้องสมบูรณ์)
คำตอบ ไม่ถูกต้องทั้ง 3 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง 1-2 ประเด็น	คำตอบถูกต้อง และครบถ้วนทั้ง 3 ประเด็น ดังนี้ (1) แรงกระทำต่อจักรยาน ขณะชนกับรถตุ้ ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดของจักรยาน แรงที่น้ำหนักก็ฬากกระทำต่อจักรยาน แรงที่พื้นกระทำต่อจักรยาน แรงเสียดทาน และแรงที่รถตุ้กระทำต่อจักรยาน (2) แรงกระทำต่อรถตุ้ ขณะถูกชน ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดรถตุ้ แรงที่พื้นกระทำต่อรถตุ้ แรงเสียดทาน และแรงที่จักรยานกระทำต่อรถตุ้ (3) ความเร่งของนักกีฬา และจักรยาน มีค่าเท่ากัน เนื่องจากวัตถุที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก จะมีความเร่งเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายกิตติทัศน์ หวานฉ่ำ
วัน เดือน ปี เกิด	5 กันยายน 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดชุมพร
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาคณะครุศาสตร์บัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) สาขาวิชา มัธยมศึกษา วิชาเอกฟิสิกส์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2558 และสำเร็จการศึกษา ครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชา วิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี การศึกษา 2560 จากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา เมื่อปีการศึกษา 2561