

2020

การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

จันทร์ เข้ม ปรีชา
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

ปรีชา, จันทร์ เข้ม, "การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย" (2020). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 4153.
<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/4153>

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.

การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL SYSTEMS THINKING SCALE FOR UPPER SECONDARY
SCHOOL STUDENTS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Education in Educational Measurement and Evaluation

Department of Educational Research and Psychology

FACULTY OF EDUCATION

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของ นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย
โดย	น.ส.จันทร์เพ็ญ ปรีชา
สาขาวิชา	การวัดและประเมินผลการศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ศิริเดช สุชีวะ

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะครุศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ศิริเดช สุชีวะ)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กมลวรรณ ตังธนากานนท์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์)	

จันทร์เพ็ญ ปรีชา : การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. (DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL SYSTEMS THINKING SCALE FOR UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ศิริเดช สุชีวะ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และ 2) เพื่อตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ และตอนที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.4-6) ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ของเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 10 จากการสุ่มแบบหลายชั้น จึงทำได้ตัวอย่างจำนวน 600 คน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยแบบประเมินความสอดคล้องความตามตรงเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ และแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ มีรูปแบบข้อคำถามแบบผสม ประกอบด้วยข้อคำถามแบบปรนัย และอัตนัย ประยุกต์ข้อคำถามจากสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติบรรยายและตรวจสอบคุณภาพรายข้อ อำนาจจำแนกโดยการพิจารณาการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) ด้วยโปรแกรม SPSS การตรวจสอบความตรงตามสภาพ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง ด้วยโปรแกรม LISREL และตรวจสอบค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha)

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ :

1. แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ประกอบไปด้วย ข้อคำถามแบบปรนัย จำนวน 7 ข้อ ข้อคำถามแบบอัตนัย จำนวน 11 ข้อ รวม 18 ข้อ สร้างจากสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

2. การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย การตรวจสอบคุณภาพรายข้อ มีเพียง 1 ข้อไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้จากจำนวน 18 ข้อคำถาม ความตรงตามเกณฑ์สัมพัทธ์ระหว่างคะแนนจากแบบทดสอบกับผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐานมีความสัมพันธ์เชิงบวกขนาดต่ำ ($r_{xy} = .418$) การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Chi-square=4.58, df=4, p=.329, GFI=.997, AGFI=.987, RMSEA=.016) และความเที่ยงอยู่ในระดับสูง ($\alpha = .818$)

สาขาวิชา การวัดและประเมินผลการศึกษา
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6183816227 : MAJOR EDUCATIONAL MEASUREMENT AND EVALUATION

KEYWORD: Development of Scale, Systems Thinking, Mathematical

Chanpen Preecha : DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL SYSTEMS THINKING SCALE FOR UPPER
SECONDARY SCHOOL STUDENTS. Advisor: Assoc. Prof. SIRIDEJ SUJIVA, Ph.D.

The purposes of this research were 1) to develop the mathematical systems thinking scale for upper secondary school students and 2) to verify the psychometric properties of the mathematical systems thinking scale for upper secondary school students. There are 2 sections of research procedures as follows: Section 1 Developing the mathematical systems thinking scale, and Section 2 Evaluating the quality of the mathematical systems thinking test. The sample consisted of 600 upper secondary school students in Phetchaburi, using a multi-stage random sampling. The research instrument was an evaluation form and mathematical systems thinking test. The test was a mixed format. The questions based on everyday life situations. Data were analyzed by using SPSS for corrected item-total correlation, t-test and confirmatory factor analysis (CFA).

The research findings were as follows:

1. The mathematical systems thinking test was a mixed format consisted 7 items of objective test, 11 items of subject test, total 18 items. The questions based on everyday life situations.
2. The test of the mathematical systems thinking scale for upper secondary school students is mixed-format test containing both multiple-choice items and open-ended question items, total 18 questions. The psychometric properties of the tests were from Discrimination Index relationship between exam scores and mathematics grades ($r_{xy} = .418$), construct validity (Chi-square=4.58, $df=4$, $p=.329$, $GIF=.997$, $AGIF=.987$, $RMSEA=.016$) and strong reliability ($= .818$).

Field of Study: Educational Measurement and
Evaluation

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสำเร็จจากความเมตตาจากรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ อาจารย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ อันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการวิจัย รวมถึงเป็นกำลังใจที่ดีแก่ผู้วิจัยเสมอมา ผู้วิจัยได้ตระหนักและซาบซึ้งในความกรุณาและปรารถนาดีที่ได้รับ จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.กมลวรรณ ตังธนากานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาและให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและมีความสมบูรณ์ทั้งด้านเนื้อหาและคุณค่าทางวิชาการมากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในคณะครุศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษาทุกท่านที่ได้มอบความรู้ ทักษะ ความสามารถ ประสบการณ์ และกำลังใจที่ดีแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านดังรายนามในภาคผนวก ที่ได้ให้ความกรุณาสละเวลาในการตรวจสอบและให้คำแนะนำที่มีคุณค่าอย่างยิ่งในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย อีกทั้งอาจารย์ผู้ประสานงาน อาจารย์ประจำวิชา และนักเรียนตัวอย่างที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นอย่างดี จนทำให้เก็บรวบรวมข้อมูลลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษาทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และเป็นทีปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้เป็นอย่างดี

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณแม่ คุณน้า น้องสาว และเพื่อนร่วมงานเป็นอย่างยิ่ง ที่สนับสนุน ให้กำลังใจ ให้การช่วยเหลือผู้วิจัยเป็นอย่างดี จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

จันทร์เพ็ญ ปรีชา

สารบัญ

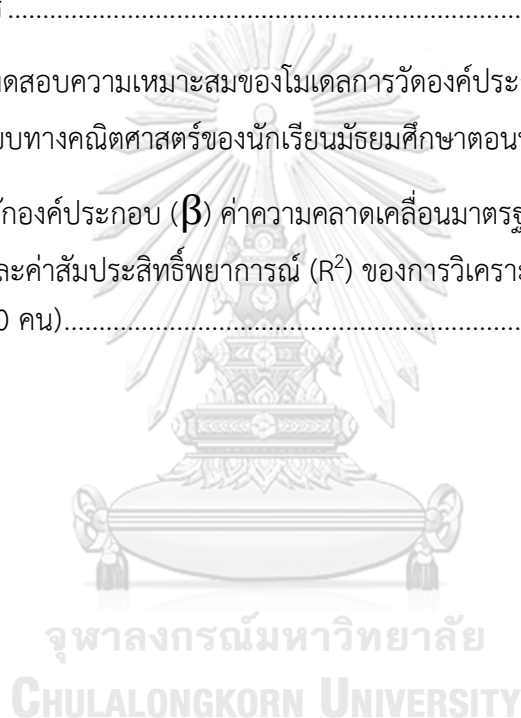
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
คำถามวิจัย	5
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
ขอบเขตการวิจัย	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบ	8
ตอนที่ 2 มาตรฐานการเรียนรู้ และสาระการเรียนรู้ช่วงชั้น วิชาคณิตศาสตร์.....	52
ตอนที่ 3 แนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาและสร้างแบบวัด.....	54
ตอนที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	64
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	65
ตอนที่ 1 การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย.....	65
ตอนที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย	68

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	72
ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย.....	72
ตอนที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย	86
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	97
สรุปผลการวิจัย.....	98
อภิปรายผล.....	99
บรรณานุกรม.....	104
ภาคผนวก.....	110
ภาคผนวก ก รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ.....	111
ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	112
ภาคผนวก ค ตัวอย่าง คู่มือแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย.....	122
ประวัติผู้เขียน.....	131

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ความแตกต่างของการคิดทั่วไปและการคิดเชิงระบบ	13
ตารางที่ 2 หลักการการคิดเชิงระบบ.....	17
ตารางที่ 3 คำอธิบายระดับของการคิดในแต่ละลำดับขั้นของการคิดเชิงระบบตามรูปแบบผสมผสานรวม	29
ตารางที่ 4 องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบที่สังเคราะห์ได้	31
ตารางที่ 5 การสรุปเครื่องมือและรูปแบบของการประเมินการคิดเชิงระบบ	46
ตารางที่ 6 ผังแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย.....	65
ตารางที่ 7 จำนวนโรงเรียนและนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจำแนกตามจังหวัดในเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 10 ปีการศึกษา 2563	69
ตารางที่ 8 รายชื่อโรงเรียนและระดับชั้นที่เป็นตัวอย่าง จำแนกตามขนาดของโรงเรียนและระดับชั้น	69
ตารางที่ 9 โครงสร้างในการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย	72
ตารางที่ 10 ลักษณะเฉพาะของข้อคำถามของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย.....	73
ตารางที่ 11 ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย	81
ตารางที่ 12 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อคำถามของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของกลุ่มนำร่อง.....	82
ตารางที่ 13 การปรับแก้ข้อคำถามตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ	83
ตารางที่ 14 จำนวนและร้อยละของตัวอย่างในการวิจัยจำแนกตามเพศ ระดับชั้น แผนการเรียน และขนาดโรงเรียน	87
ตารางที่ 15 เกณฑ์การแปลความหมายของคะแนนแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์	88

ตารางที่ 16	คะแนนเบื้องต้นของคะแนนสอบของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายแบบภาพรวม.....	88
ตารางที่ 17	ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย.....	89
ตารางที่ 18	การปรับแก้ข้อคำถาม.....	90
ตารางที่ 19	ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของตัวแปรในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์.....	92
ตารางที่ 20	ค่าดัชนีทดสอบความเหมาะสมของโมเดลการวัดองค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย.....	93
ตารางที่ 21	ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (β) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ค่าทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (t-value) และค่าสัมประสิทธิ์พหุการณ (R ²) ของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สอง (n = 600 คน).....	94



สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 รูปแบบของพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์และส่งผลซึ่งกันและกัน	11
ภาพที่ 2 ระดับการคิดเชิงระบบของ Stave and Hopper (2007).....	20
ภาพที่ 3 ลำดับขั้นตอนกระบวนการคิดเชิงระบบ.....	23
ภาพที่ 4 วงจรการคิดเชิงระบบของศูนย์ยุทธศาสตร์การจัดการ	25
ภาพที่ 5 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	64
ภาพที่ 6 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองขององค์ประกอบการเชิงระบบทาง คณิตศาสตร์.....	96
ภาพที่ 7 กราฟคิวพรีต (Q-Plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับค่าคลอนไท์ ปกติ.....	96

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบันที่โลกได้ก้าวเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 มนุษย์ได้เผชิญกับความท้าทายของความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การเข้าถึงข่าวสารข้อมูลหรือการสื่อสารไม่ได้จำกัดอยู่ในวงแคบอีกต่อไป เพียงแค่ใช้ปลายนิ้วมนุษย์ก็สามารถก้าวข้ามพรมแดนไปทั่วโลก จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น การศึกษาทั่วโลกต่างต้องการที่จะพัฒนาให้ผู้เรียนของตนก้าวทันโลก รูปแบบของการเรียนการสอนที่ครูยังคงเป็นศูนย์กลางบอกเล่าความรู้โดยที่นักเรียนเป็นผู้ปฏิบัติตามเป็นสิ่งที่ไม่ล้าหลัง กระบวนการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ในแบบกระบวนการที่คนใหม่จึงเกิดขึ้น ในยุคศตวรรษที่ 21 เราจะได้เห็นการเปลี่ยนแปลงของโลกที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่ส่งผลกระทบทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ มนุษย์ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้จึงต้องเตรียมพร้อมที่จะรับมือกับการเปลี่ยนแปลง และความซับซ้อนที่เกิดขึ้นทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี กล่าวคือการศึกษาเปรียบเสมือนเครื่องมือที่จะทำให้มนุษย์เกิดทักษะ ความรู้ และความสามารถในการรับมือกับความเปลี่ยนแปลง เพื่อยกระดับคุณภาพให้กับคนไทยทุกกลุ่มทุกวัยมีความพร้อมทั้งกาย ใจ และสติปัญญา

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 มาตรา 24(2) กำหนดให้สถานศึกษาจัดกระบวนการเรียนรู้ ผูกทักษะกระบวนการคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์ และการประยุกต์ความรู้มาใช้เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหา นอกจากนี้การจัดการเรียนการสอนต้องมุ่งเน้นให้มีการพัฒนาผู้เรียนด้านทักษะและกระบวนการคิด ความสามารถในการเรียนรู้ กระบวนการสืบค้นความรู้ การแก้ไขปัญหาและการคิดค้นอย่างสร้างสรรค์ องค์ความรู้ใหม่ ๆ โดยเน้นการเรียนการสอนที่หลากหลาย เพื่อตอบสนองความต้องการ ความสนใจที่แตกต่างกันของผู้เรียน (จิราภรณ์ ไชยมงคล, 2547) เร่งปฏิรูปการจัดการกระบวนการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้รับการฝึกการคิดอย่างเป็นระบบและเน้นการปฏิบัติมากกว่าการท่องจำ เพื่อให้ผู้เรียนมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ และสร้างความรู้ เพื่อเป็นพื้นฐานการเรียนรู้ในโลกแห่งอนาคต ซึ่งความคิดมีหลายประเภท ได้แก่ คิดวิเคราะห์ คิดริเริ่มสร้างสรรค์ คิดแก้ปัญหา คิดตัดสินใจ คิดใคร่ครวญ คิดอย่างมีวิจารณญาณ (พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์, 2548)

จากตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่ม สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อความสำเร็จในการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากคณิตศาสตร์ช่วยให้มนุษย์มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบและถี่ถ้วน ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจ แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการที่รัฐบาลได้ประกาศนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ได้ก่อให้เกิดการตื่นตัวและความเปลี่ยนแปลงในหลายภาคส่วนของหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนรวมถึงระบบการศึกษาในประเทศไทย ได้เกิดแนวทางการพัฒนาระบบการศึกษา เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ที่เป็น

วิสัยทัศน์เชิงนโยบายของประเทศ ไทยแลนด์ 4.0 เป็นนโยบายที่อธิบายถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ บทบาทของครูเปลี่ยนมาเป็นผู้แนะนำ มีการใช้เครื่องมือหรือสื่อสังคมออนไลน์มาพัฒนาการเรียนการสอน แต่ยังคงขาดวิจาร์ณญาณในการใช้ และยุค 4.0 ในปัจจุบัน สืบเนื่องจากการที่ทุกคนสามารถใช้เทคโนโลยีสื่อสารได้ง่ายและรวดเร็ว การศึกษาในยุคนี้จึงเน้นที่การประยุกต์ใช้และส่งเสริมการเรียนรู้ผ่านสังคมออนไลน์ สร้างทักษะการใช้สื่ออย่างมีวิจาร์ณญาณ สร้างมูลค่า สร้างนวัตกรรมที่ตอบสนองความต้องการทั้งของตนเอง สังคมไทย และสังคมโลก ครูมีบทบาทหน้าที่ในการเป็นโค้ชช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเสริมสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ นายแพทย์ธีระเกียรติ เจริญเศรษฐศิลป์ อดีตรัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการ (สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, 2559) ได้กล่าวว่า การศึกษาในยุคไทยแลนด์ 4.0 เป็นยุคที่การศึกษาเป็นเรื่องที่มากกว่าการเตรียมความพร้อมของคนหรือให้ความรู้กับคนเท่านั้น แต่เป็นการเตรียมมนุษย์ให้เป็นมนุษย์ด้วย นอกจากให้ความรู้แล้วจะต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนรักที่จะเรียน มีคุณธรรม สามารถอยู่ร่วมในสังคมได้อย่างเหมาะสม เพื่อตอบสนองการพัฒนา กระทรวงศึกษาธิการได้วางแนวทางในการปฏิรูปการศึกษา เพื่อพัฒนาให้ผู้เรียนเกิด “ทักษะ” ที่จำเป็นสำหรับการรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงของโลกและสังคมในอนาคต ซึ่งประกอบไปด้วยทักษะการคิดเชิงบริหาร ทักษะการใช้อินเทอร์เน็ต ทักษะการคิดวิเคราะห์ ทักษะการคิดอย่างมีวิจาร์ณญาณ ทักษะการแก้ปัญหา ทักษะความคิดสร้างสรรค์ ทักษะการสร้างสัมพันธภาพระหว่างบุคคล ทักษะด้านภาษาอังกฤษ ทักษะด้านคณิตศาสตร์ และทักษะด้านจิตสาธารณะ (อานนท์ ศักดิ์วรวิชญ์, 2560)

คณิตศาสตร์ถือเป็นพื้นฐานของการเรียนรู้ในศาสตร์ต่าง ๆ โดยเฉพาะทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณิตศาสตร์จึงมีความประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตและการพัฒนาความรู้ของมนุษย์ นอกจากนี้คณิตศาสตร์ยังช่วยให้มนุษย์มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ สามารถวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม (หลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560); สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2551) นอกจากนี้ สิริพร ทิพย์คง (2545) กล่าวว่าคณิตศาสตร์ช่วยเสริมสร้างความมีเหตุผล ความเป็นคนช่างคิดช่างริเริ่มสร้างสรรค์ มีระบบระเบียบในการคิด มีการวางแผนในการทำงาน มีความสามารถในการทำงาน มีความสามารถในการตัดสินใจ มีความรับผิดชอบต่อกิจการงานที่ได้รับมอบหมาย ตลอดจนมีลักษณะความเป็นผู้นำในสังคม ดังนั้นผู้เรียนต้องรับได้รับการพัฒนาทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ความรู้และทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์เป็นของคู่กันและเป็นสิ่งจะเป็นสำหรับการแก้ปัญหาในชีวิตจริง จึงมีการส่งเสริมให้มีการพัฒนาทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ในขณะที่เนื้อหาคณิตศาสตร์มีความต่อเนื่องกันในทุกระดับชั้นของนักเรียน

จากการจัดหลักสูตรการศึกษาของประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ในคณิตศาสตร์ กระทรวงศึกษาธิการจึงได้มีการจัดทำหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน ฉบับปัจจุบันคือ พุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560) ที่คำนึงถึงการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เป็นสำคัญ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ได้จัดเป็น 3 สาระ ได้แก่ จำนวนและพีชคณิต การวัดและเรขาคณิต และสถิติและความน่าจะเป็น โดยมีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียนมีทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ คิดอย่าง มีวิจาร์ณญาณ การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ สามารถแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสมด้วยกระบวนการและทักษะทางคณิตศาสตร์

การคิดเชิงระบบ (Systems Thinking) เป็นการคิดแบบองค์รวม (Peter M. Senge, 1990) เป็นการคิดที่มองภาพรวมเพื่อทำความเข้าใจองค์รวมของส่วนประกอบย่อยที่มีปฏิสัมพันธ์กัน เข้าใจว่าองค์ประกอบทั้งหมดส่งผลให้เข้าใจองค์รวมทั้งหมดของรูปแบบ หากขาดองค์ประกอบใดไป หรือองค์ประกอบใดมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อระบบ เนื่องจากการคิดเชิงระบบเป็นการคิดขั้นสูง ใน International Centre for development oriented Research in Agriculture: ICAR . (2011) (อ้างถึงใน ปารมี ศรีบุญ ทิพย์ ,2560) ได้เปรียบเทียบการคิดทั่วไปกับการคิดเชิงระบบว่า การคิดเชิงระบบเป็นการคิดที่สนใจปฏิสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ทั้งหมด ให้ความสำคัญกับผลย้อนกลับทั้งทางบวกและทางลบ เป็นแนวคิดที่ไม่ใช่เส้นตรง มีการมองเหตุและผลอย่างหลากหลาย คำตอบที่ถูกต้องไม่ได้มีเพียงมุมมองความคิดเดียว ในขณะที่การคิดทั่วไปจะสนใจเฉพาะส่วน ไม่สนใจผลย้อนกลับ มีการคิดลักษณะเป็นเส้นตรง มองที่เหตุและผลเพียงด้านเดียว คำตอบที่ถูกต้องมีเพียงหนึ่งเดียว การคิดเชิงระบบจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในปัญหาที่มีความซับซ้อน และยังเป็นเครื่องมือในการวางแผนและพัฒนา ช่วยให้สามารถดำเนินการตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้อย่างรอบคอบ จนทำให้การดำเนินงานและแก้ปัญหาประสบความสำเร็จ (มนตรี แยมกสิกร, 2546) มีประสิทธิภาพตามจุดมุ่งหมาย ผู้ที่มีการคิดเชิงระบบที่ดี จะนำไปสู่การดำเนินงานสำเร็จ หรือมีผลสัมฤทธิ์ของการทำงานที่ดี(กฤษมนันต์ วัฒนาณรงค์, 1998) จากงานวิจัยของ Waters Foundation (2017) พบว่า การคิดเชิงระบบสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางด้านวิชาการของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้เรียนสามารถประยุกต์ใช้ และได้รับประโยชน์ตลอดชีวิตผ่านแนวคิดของการคิดเชิงระบบ นอกจากนี้การคิดเชิงระบบยังถูกมองว่าเป็นสับเซตของการคิดอย่างวิจารณ์ญาณ ซึ่งทำให้เกิดความน่าเชื่อถือมากขึ้นจากการพัฒนาความเข้าใจที่ลึกซึ้งของโครงสร้าง (Berry Richmond, 1994)

วิธีการคิดเชิงระบบเป็นการคิดที่แสดงถึงความเข้าใจโลกและความเข้าใจในระบบที่ซับซ้อน โดยเฉพาะโลกสมัยใหม่ที่มีความสัมพันธ์สลับซับซ้อน เหตุและผลไม่ได้อยู่ใกล้กันและมองเห็น ระบบไม่ได้มีระบบเดียวแต่มีระบบต่าง ๆ มากมาย(ปิยนาด ประยูร, 2548) วิธีคิดเชิงระบบจึงเป็นวิธีคิดหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งในยุคปัจจุบัน ผู้ที่จะชนะหรือแพ้ ล้วนแล้วแต่เห็นว่า ระบบ (System) เป็นเครื่องตัดสินใจ จนกล่าวได้ว่าสิ่งใด ๆ ในโลกล้วนเป็นระบบ (ฝ่ายวิชาการ เอ็กซ์เปอร์เน็ต, 2544) การคิดเชิงระบบเป็นหนทางหนึ่งที่ทำให้สามารถมองเห็นรูปแบบและคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นได้ การคิดเชิงระบบมีหลักการพื้นฐานอยู่ 3 ประการ (Neuroth ; & others, 1992 อ้างถึงใน มนตรี แยม กสิกร, 2546) กล่าวว่ ประการแรก การคิดเชิงระบบ ช่วยทำให้เกิดแนวทางการสร้างความเข้าใจและความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ รวมกัน ประการที่สอง การบริหารจัดการข้อมูลจะช่วยให้ระบบดำเนินไปด้วยดี มีประสิทธิภาพ และประการสุดท้าย การเรียนรู้อย่างต่อเนื่องเป็นวินัย หากวิเคราะห์ตามแนวคิดของ Anderson and Johnson (1997); มนตรี แยม กสิกร (2546) สามารถแบ่งเป็นวิธีคิดเป็น 3 ระดับ คือ ระดับสถานการณ์ (Events) ระดับแผนพฤติกรรม (Patterns) และระดับโครงสร้าง (Structure) แนวคิดของ Peter M. Senge. (2006); ชัยวัฒน์ ธีระพันธุ์ (2551) แบ่งวิธีคิดเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับสถานการณ์ (Events) ระดับแบบแผนพฤติกรรม (Patterns) ระดับโครงสร้าง (Structure) และ ระดับภาพจำลองความคิด (Mental Model) โดยทั้ง 4 ระดับจะเน้นการมองภาพรวมของระบบ ทั้งระบบมีความเชื่อมโยงกัน การคิดเชิงระบบเป็นการคิดที่สามารถพัฒนาให้

เกิดการควบคุมสถานการณ์ที่เกิดขึ้น เตรียมรับมือเพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถตรวจสอบและเข้าใจได้ว่าการคิดนั้นเป็นส่วนหนึ่งของปัญหา

ปัจจุบันการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดเชิงระบบเริ่มเป็นที่แพร่หลาย การพัฒนาให้ผู้เรียนทางด้านการคิดเป็นสิ่งสำคัญ และมีความจำเป็น เนื่องจากการคิดเชิงระบบทำให้ผู้คิดมองเห็นภาพรวม มีขั้นตอนและลำดับในการคิด มีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ และมีเป้าหมายของการคิด การคิดเชิงระบบมีความสำคัญในด้านการวางแผน การวางแผนที่ดีสามารถทำงานได้บรรลุผลสำเร็จ รวมทั้งการถ้าได้ฝึกฝนการคิดเชิงระบบจะทำให้สามารถรับมือกับปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย(นพคุณ นิสาณณิ, 2549) จะเห็นว่าการคิดเชิงระบบ และ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องทางด้านกระบวนการคิดสามารถใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์มาเป็นองค์ประกอบในการคิดแก้ปัญหา

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย จากการวิจัยทั้งไทยและต่างประเทศพบว่าการศึกษาวิจัยโดยส่วนใหญ่เน้นที่กระบวนการพัฒนาการรูปแบบการจัดการเรียนการสอนการคิดเชิงระบบเป็นหลัก แต่การพัฒนาเครื่องมือวัดและประเมินการคิดเชิงระบบยังมีรูปแบบการวัดที่ไม่ชัดเจน รวมถึงการพัฒนาเครื่องมือการวัดและประเมินการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ยังไม่มีมาก่อน เนื่องจากแนวคิดการคิดเชิงระบบส่วนใหญ่มีรูปแบบการพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบและการวัดความสามารถการคิดเชิงระบบมักพบในวิชาวิทยาศาสตร์ นอกจากการคิดเชิงระบบจะเป็นกระบวนการในการคิดแล้ว(มกราพันธ์ จุฑะรสก, 2556) ยังเป็นการคิดอย่างวิทยาศาสตร์ ดังนั้นงานวิจัยโดยส่วนใหญ่จะเน้นการจัดการเรียนรู้เพื่อให้เกิดการคิดเชิงระบบผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ แต่ในความเป็นจริงแล้วการคิดเชิงระบบสามารถใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์มาพัฒนาและสร้างการคิดเชิงระบบได้เช่นกัน บุญเลี้ยง ทูมทอง (2553) ได้ศึกษาการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ ระดับชั้นช่วงชั้นที่ 4 เพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ โดยใช้กระบวนการคิดเชิงระบบมาเป็นกระบวนการในการจัดการเรียนการสอนในวิชาคณิตศาสตร์

การคิดเชิงระบบเป็นกระบวนการทางสมองที่เกิดจากการคิดย่อย ทักษะ หรือความสามารถทั้งหลายมาประกอบกัน จากการศึกษาองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบพบว่ายังไม่มีกรอบองค์ประกอบที่แน่ชัด แต่มีการอธิบายลักษณะบ่งชี้ของการคิดเชิงระบบ Anderson and Johnson (1997) ได้อธิบายลักษณะสำคัญของการคิดเชิงระบบ (general systems thinking characteristics) ไว้ 5 ด้าน ได้แก่ การคิดแบบองค์รวม คือการมองย้อนกลับไปจุดเริ่มต้นของปัญหา, การสร้างสมดุลระหว่างมุมมองระยะสั้นกับระยะยาว, ความเป็นพลวัตของระบบ การที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีความซับซ้อน, มีการให้ข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ และหน้าที่ขององค์ประกอบย่อยและหน้าที่ทั้งระบบมีอิทธิพลต่อกันและกัน ในขณะที่ Assaraf and Orion (2005) ได้แบ่งลักษณะบ่งชี้ของการคิดเชิงระบบเป็น 8 ลักษณะ คือ ความสามารถในการระบุงค์ประกอบและกระบวนการในระบบ, ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในระบบ ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์เชิงพลวัตในระบบ ความสามารถในการจัดลำดับองค์ประกอบและกระบวนการของระบบภายในกรอบความสัมพันธ์ ความสามารถในการเข้าใจธรรมชาติของ

วัฏจักรในระบบความสามารถในการสร้างให้เกิดความเข้าใจโดยทั่วไป ความเข้าใจในมิติที่มองไม่เห็นระบบ และการคิดสืบย้อนและพยากรณ์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องแม้องค์ประกอบการคิดเชิงระบบจะมีความแตกต่างกันแต่สามารถสรุปองค์ประกอบหลักได้คือ การคิดแบบองค์รวม การระบุปัญหา การเชื่อมโยงปัญหา และการประเมินกระบวนการ นอกจากนี้ปารมี ศรีบุญ ทิพย์ (2560) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ผลการวิเคราะห์พบว่าองค์ประกอบทั้ง 3 สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และเป็นองค์ประกอบที่ชัดเจนตรงตามสภาพจริงมากที่สุด

จากแนวคิดและความสำคัญที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงระบบ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อให้ได้เครื่องมือในการวัดและประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ที่มีคุณภาพและเป็นประโยชน์ต่อไป

คำถามวิจัย

1. แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนควรมีลักษณะและรูปแบบอย่างไร
2. แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายควรมีคุณภาพอย่างไร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. เพื่อตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ขอบเขตการวิจัย

ประชากร คือ ประชากรที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยคือ นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด โดยพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) ความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct validity) ของโมเดลองค์ประกอบการคิดเชิงระบบทาง

คณิตศาสตร์ ความตรงตามสภาพ (Concurrent validity) ตรวจสอบความเที่ยง (Reliability) ตรวจสอบค่าอำนาจจำแนก (Discriminant index)

นิยามศัพท์เฉพาะ

การคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ หมายถึง การคิดที่ทำให้มองเห็นภาพความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ การเข้าใจความสัมพันธ์ การมีเหตุและผล มีกระบวนการคิดเป็นขั้นตอน เพื่อนำไปสู่กระบวนการแก้ปัญหา โดยอาศัยทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา ซึ่งประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ คือ 1) การคิดแบบองค์รวม 2) การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และ 3) การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

การคิดแบบองค์รวม หมายถึง การคิดโดยการมองภาพรวมของระบบหรือปัญหาทั้งหมด การเข้าใจว่าส่วนย่อย ๆ ในระบบไม่สามารถแยกจากกันได้ การให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์ระบบหรือปัญหาที่มีส่วนประกอบเป็นระบบย่อยซ้อนกันอยู่ การระบุปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน และการระบุสาเหตุและปัจจัยของปัญหาที่เกิดขึ้น วัดด้วยแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ มีลักษณะเป็นแบบวัดสถานการณ์ รูปแบบข้อคำถามแบบปรนัย

การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง หมายถึง การมีปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในระบบ การเข้าใจว่าหากระบบย่อยมีการเปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลกระทบต่อระบบใหญ่ด้วย การระบุความสัมพันธ์ของสาเหตุหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องของปัญหา การเชื่อมความสัมพันธ์ด้วยแผนภาพ หรือการแสดงการคำนวณที่คำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการค้นหาความเป็นเหตุเป็นผลของปัจจัยและปัญหา วัดด้วยแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ มีลักษณะเป็นแบบวัดสถานการณ์ รูปแบบข้อคำถามแบบปรนัยและแบบอัตนัย

การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ หมายถึง การคิดเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ การขยายขอบเขตความคิดออกไปจากกรอบความคิดเดิมที่มีอยู่สู่ความคิดใหม่ ๆ เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดกับปัญหาที่เกิดขึ้น เป็นการเสนอความคิดที่แตกต่างจากเดิม แต่ยังคงสอดคล้องกับเงื่อนไขของระบบ นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่ทำให้ได้มาซึ่งคำตอบของปัญหาที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง รวมถึงการอธิบายแผนภาพ รูป และการคำนวณในแนวทางการแก้ปัญหา วัดด้วยแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ มีลักษณะเป็นแบบวัดสถานการณ์ รูปแบบข้อคำถามแบบอัตนัย

แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ หมายถึง เครื่องมือที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยการประยุกต์เนื้อหาความรู้ ทักษะ และกระบวนการทางคณิตศาสตร์ภายใต้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560)

คุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ หมายถึง คุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่ได้จากการตรวจสอบดังต่อไปนี้

- ความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) หมายถึง การวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างองค์ประกอบกับข้อคำถาม ด้วยการให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบนิยามขอบเขตและความครอบคลุม

เนื้อหาของสิ่งที่ต้องการวัด ด้วยการใช้ดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (item-objective congruence : IOC)

- ความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct validity) หมายถึง หลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์มีความตรงเชิงโครงสร้าง ตรวจสอบโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA)

- ความตรงตามสภาพ (Concurrent validity) หมายถึง คุณสมบัติของความสอดคล้องระหว่างคะแนนที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์กับผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน ด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient)

- ความเที่ยง (Reliability) หมายถึง ความสอดคล้องกันระหว่างคะแนนรายชื่อของแบบวัดหรือความเป็นเอกพันธ์ของเนื้อหารายชื่อซึ่งเป็นตัวแทนของคุณลักษณะที่ต้องการวัด โดยการตรวจสอบค่าความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายในด้วยวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha method)

- อำนาจจำแนก (Discriminant index) หมายถึง ความสามารถของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายในการจำแนกระดับความสามารถการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ระหว่างผู้ที่มีระดับความสามารถสูงและต่ำ ตรวจสอบโดยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent)

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้แนวทางและรูปแบบของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. ได้แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่สามารถวัดความสามารถของนักเรียนด้านการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ และนำเสนอสารสนเทศที่ได้ไปวางแผนการจัดการเรียนการสอน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และ 2) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยแบ่งเป็นประเด็นหลักตามลำดับต่อไปนี้

ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบ

- 1.1 แนวคิดของทฤษฎีระบบ
- 1.2 ความหมายของการคิดเชิงระบบ
- 1.3 แนวคิดของการคิดเชิงระบบ
- 1.4 คุณสมบัติการคิดเชิงระบบ
- 1.5 การพัฒนาการคิดเชิงระบบ
- 1.6 องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบ (ลักษณะบ่งชี้ของการคิดเชิงระบบ)

ตอนที่ 2 มาตรฐานการเรียนรู้ และสาระการเรียนรู้ช่วงชั้น วิชาคณิตศาสตร์

ตอนที่ 3 แนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาและสร้างแบบวัด

- 3.1 หลักการและขั้นตอนในการพัฒนาและสร้างแบบวัด
- 3.2 การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด

ตอนที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบ

การคิดเชิงระบบมีจุดเริ่มต้นมาจาก “ทฤษฎีระบบทั่วไป” (General System Theory) ซึ่งเป็นแนวคิดของ Ludwig Von Bertalanffy (1968) นักชีววิทยาชาวออสเตรีย เพื่อมาทดแทนแนวคิดพื้นฐานของกลไกทางวิทยาศาสตร์ที่มองทุกสิ่งทุกอย่างแยกส่วนกัน โดยเน้นที่การมองแบบองค์รวม และการให้ความสำคัญกับองค์ประกอบต่าง ๆ ว่าแต่ละองค์ประกอบมีความสำคัญ และปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ต่อมาเกิดแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการองค์กรด้วยตนเอง โดย Peter M. Senge (1990) กล่าวถึงการคิดเชิงระบบว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดใน 5 องค์ประกอบ การคิดเชิงระบบเป็นการคิดหรือการประยุกต์ใช้ ในการวางแผนจัดลำดับขั้นตอนเพื่อให้กระบวนการต่าง ๆ ที่วางแผนไว้สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นระบบ เกิดความเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน สามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ จากความสำคัญดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยสนใจทักษะการคิดเชิงระบบและได้ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1.1. แนวคิดของทฤษฎีระบบ

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวกับแนวคิดของทฤษฎีระบบ ดังนี้

ราชบัณฑิตยสถาน (2546) คำว่า “ระบบ” หมายถึง กลุ่มของสิ่งซึ่งมีลักษณะประสานเข้าเป็นสิ่งเดียวกันตามหลักแห่งความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกัน ด้วยระเบียบของธรรมชาติหรือหลักเหตุผลทางวิชาการ เช่น ระบบประสาท ระบบสังคม ระบบบริหารประเทศ

Ressell Ackoff (1971) ทฤษฎีระบบ (System theory) หมายถึง แนวคิดหรือกฎที่เป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ในการศึกษาที่ปรากฏการณ์อย่างเป็นองค์รวมทั้งหมด (Wholes and Wholeness)

Ludwig Von Bertalanffy (1968) ทฤษฎีระบบ หมายถึง สิ่งที่เกิดขึ้นและดำรงอยู่ได้เพราะองค์ประกอบตั้งแต่ 2 องค์ประกอบขึ้นไปอยู่ร่วมกัน โดยองค์ประกอบทั้งหมดล้วนมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันและกัน ผลลัพธ์ของปฏิสัมพันธ์จากองค์รวมทั้งหมดของระบบ มีค่าสูงกว่าผลการรวมระหว่างองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบ

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบดังกล่าวไม่ได้เกิดขึ้นจากความบังเอิญ (Random) แต่เกิดจากความเป็นระเบียบแบบแผน (Order) ที่สามารถตรวจสอบได้อย่างชัดเจน (Deterministic) องค์ประกอบของระบบที่แตกต่างกัน สามารถพิจารณาได้ 3 มิติ (Ludwig Von Bertalanffy, 1968) ได้แก่ 1) ระบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนองค์ประกอบ ถ้าระบบมีจำนวนองค์ประกอบมากยิ่งเป็นระบบที่ซับซ้อนมาก 2) ระบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด ประเภทขององค์ประกอบ 3) ระบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทั้งหมดของระบบ คือ รูปแบบ วิธีการ และผลลัพธ์ที่แตกต่างกันของปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นกับระบบ

ประจักษ์ ปฏิทัศน์ (2562) ทฤษฎีระบบ (System theory) หมายถึง แนวคิดหรือกฎที่เป็นศาสตร์ในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของปรากฏการณ์ต่าง ๆ อย่างเป็นองค์รวมทั้งหมด (Whole) โดยเชื่อว่าระบบต่าง ๆ เกิดขึ้นจากองค์ประกอบตั้งแต่ 2 ส่วนขึ้นไป โดยแต่ละส่วนมีคุณสมบัติ เป้าหมาย พฤติกรรม และหน้าที่ของตนเอง

กล่าวโดยสรุปว่า ทฤษฎีระบบ หมายถึง แนวคิดของสิ่งที่เกิดขึ้น และมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยแต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์กัน ระบบแต่ละระบบมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบย่อยของระบบนั้น ๆ ซึ่งทำให้เกิดผลลัพธ์ของระบบที่แตกต่างกัน

ลักษณะของระบบตามแนวคิดทฤษฎีระบบ

แนวคิดทฤษฎีระบบเน้นการพิจารณาให้เห็นองค์รวมทั้งหมดของระบบและการพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในระบบ การพิจารณาระบบตามแนวคิดทฤษฎีระบบจะพบลักษณะเฉพาะของระบบตามทฤษฎีระบบ (Ludwig Von Bertalanffy, 1968 อ้างถึงในประจักษ์ ปฏิทัศน์, 2562) ดังนี้

1) กระบวนการพื้นฐานของระบบ หมายถึง ระบบทุกชนิดมีกระบวนการที่มีพลวัต (Process and Transformation process) เกิดขึ้นในระบบ ได้แก่ การนำเข้าสู่ระบบ (Input) การจัดการสิ่งที่ถูกนำเข้าสู่ระบบ (Process) ผลลัพธ์ที่เกิดจากการจัดการ (Output) และการป้อนกลับข้อมูล (Feedback) (O'Connor and McDermott, 1997)

2) ขอบเขตของระบบ (Boundary) หมายถึง สิ่งที่อยู่รวมรวมองค์ประกอบของระบบให้อยู่รวมกัน และในเวลาเดียวกันก็ทำหน้าที่แบ่งแยกระบบกับสิ่งแวดล้อม (Russell Ackoff, 1971) การกำหนดขอบเขตของระบบเป็นสิ่งแรกที่จำเป็น เพื่อแยกองค์ประกอบของระบบที่ต้องการศึกษา ทำให้มองเห็นสิ่งแวดล้อม (Environment) หรือสิ่งที่อยู่นอกเหนือการศึกษา เพื่อจำกัดพื้นที่ของสิ่งที่ต้องการศึกษา ซึ่งเป็นเป้าหมายของการกำหนดขอบเขต (Boundary) ทำให้สามารถแยกแยะว่าที่อยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดขึ้นนั้น มีสิ่งใดเป็นองค์ประกอบของระบบ สิ่งใดอยู่นอกขอบเขต ทำให้สามารถกำหนดโครงสร้างของระบบได้อย่างถูกต้องชัดเจน

3) สิ่งแวดล้อม (Environment) หมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่อยู่นอกขอบเขตของระบบ สิ่งแวดล้อมถูกแยกให้อยู่นอกเหนือขอบเขตของระบบที่ต้องการศึกษา (Russell Ackoff, 1971)

4) เป้าหมาย (Goal) หมายถึง ระบบแต่ละระบบต้องการบรรลุวัตถุประสงค์ เป้าหมายจึงเป็นอัตลักษณ์ของระบบแต่ละระบบ ความต้องการบรรลุเป้าหมายเป็นเงื่อนไขในการคัดสรรองค์ประกอบต่าง ๆ ให้รวมตัวประสานปฏิสัมพันธ์กัน ทำงานร่วมกันเป็นระบบที่สมบูรณ์สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Checkland, 1981)

5) หน้าที่ของระบบ (Function) หมายถึง หน้าที่การทำงานของระบบทั้งหมด (Whole system) หรือเรียกว่าคุณสมบัติปัจจุบัน (Emergent property) ของระบบ (Cordon, 2013) คุณสมบัติปัจจุบันเป็นผลลัพธ์จากปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบย่อยทั้งหมด (Components) ที่รวมตัวกันเป็นระบบ มีขอบเขตที่ชัดเจนแล้ว

6) ตำแหน่งขององค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบถูกจัดเรียงต่อกันอย่างมีระเบียบหลักการและโครงสร้างที่แน่นอน (Order) ไม่ใช่การสุ่ม (Random) (Cordon, 2013) การสลับปรับเปลี่ยนตำแหน่งขององค์ประกอบจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ

7) จุดสมดุลของระบบ (Equilibrium) หมายถึง ความคงที่ คงตัว มั่นคงของระบบ ระบบจะมีความสมดุลเพียงใด ขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของระบบย่อย (Sub-system) ที่เป็นองค์ประกอบของระบบนั้น ระบบที่ประกอบจากระบบย่อย ๆ จำนวนมาก ระบบนั้นจะมีความซับซ้อนมากขึ้นและส่งผลให้ระบบนั้นมีจุดสมดุลสูง (Russell Ackoff, 1971)

8) องค์ประกอบต่าง ๆ ถูกคัดเลือกให้เป็นองค์ประกอบของระบบ เพราะองค์ประกอบเหล่านั้นมีคุณสมบัติที่สามารถทำหน้าที่ของตนเองและประสานปฏิสัมพันธ์การทำงานร่วมกับองค์ประกอบอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Cordon, 2013)

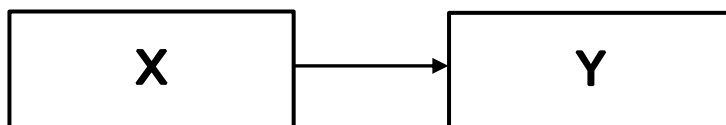
9) องค์รวมทั้งหมดของระบบให้เกิดการผนึกพลัง (Synergy) (ราชบัณฑิตยสถาน, 2546) ผลลัพธ์ที่เป็นองค์รวมทั้งหมดของระบบ มีค่ามากกว่าการรวมองค์ประกอบทั้งระบบแบบบวกกัน (Cordon, 2013)

10) ระบบย่อย (Subsystem) หมายถึง ระบบขนาดเล็กที่เป็นองค์ประกอบของระบบที่ขนาดใหญ่กว่า เรียกระบบขนาดเล็กดังกล่าวนี้ว่า “ระบบย่อย” (Cordon, 2013)

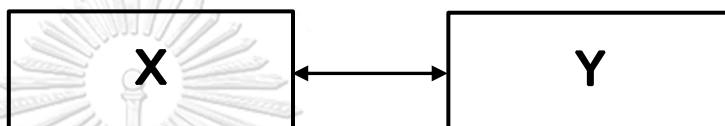
11) พฤติกรรมการเกี่ยวข้องสัมพันธ์และส่งผลซึ่งกันและกัน ระหว่างองค์ประกอบที่รวมตัวกันเป็นระบบ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2546) จำแนกได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) พฤติกรรมความสัมพันธ์ (Relation) หมายถึง พฤติกรรมการเชื่อมโยงเกี่ยวข้องแบบ X ไปสัมพันธ์กับ Y และ 2) พฤติกรรมการ

ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) หมายถึง กระบวนการแลกเปลี่ยนอิทธิพลต่อกันและกันระหว่าง X กับ Y ดังภาพที่ 2.1

พฤติกรรมความสัมพันธ์
(Relation)



พฤติกรรมปฏิสัมพันธ์
(Interaction)



ภาพที่ 1 รูปแบบของพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์และส่งผลซึ่งกันและกัน

การจำแนกประเภทของระบบ

การจำแนกระบบตามแนวคิดของ Ludwig von Bertalanffy (1968) โดยการใช้พฤติกรรมปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมเป็นเกณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ระบบปิดและระบบเปิด

1) ระบบปิด (Closed system) หมายถึง ระบบที่แยกออกจากสิ่งแวดล้อม เป็นระบบที่ไม่มีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่ระบบปิดเป็นระบบของสิ่งไม่มีชีวิต พบมากในการศึกษาทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์

2) ระบบเปิด (Open system) หมายถึง ระบบที่มีปฏิสัมพันธ์และปรับตัว (Adaptive system) เข้ากับสภาพแวดล้อมตลอดเวลา (Russell Ackoff, 1971) เช่น ร่างกายของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ระบบเปิดให้ความสัมพันธ์กับอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม (Ludwig von Bertalanffy, 1968)

สรุปได้ว่า ทฤษฎีระบบ (System theory) เป็นแนวคิดที่ศึกษาปรากฏการณ์ สิ่งที่เกิดขึ้นเป็นองค์รวมทั้งหมด (Wholes) โดยเชื่อว่าสิ่งที่เกิดขึ้นอยู่บนรากฐานขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในขอบเขตเดียวกัน องค์ประกอบทั้งหมดต่างมีปฏิสัมพันธ์กันและส่งผลต่อกันและกัน การทำหน้าที่ขององค์ประกอบหนึ่งจะสร้างผลลัพธ์ที่ส่งมอบให้องค์ประกอบอื่น ๆ นำไปใช้ประโยชน์ ถ้าองค์ประกอบใดหยุดทำหน้าที่ หรือมีปัญหาเกิดขึ้นจะส่งผลทำให้องค์รวมของระบบเกิดภาวะเสียสมดุล ทฤษฎีระบบแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามพฤติกรรมปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ระบบปิด (Closed system) ซึ่งเป็นระบบที่แยกออกจากสิ่งแวดล้อม และระบบเปิด (Open system) ที่มีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม จุดเน้นสำคัญของทฤษฎีระบบอยู่ที่การมองแบบองค์รวมไม่แยกส่วน ทุกอย่างมีความสัมพันธ์กัน รวมถึงองค์ประกอบย่อยก็สัมพันธ์กับระบบโดยรวม ด้วยลักษณะสำคัญของทฤษฎีระบบนี้จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ สาขา รวมถึงการพัฒนาการคิดเชิงระบบ

1.2. ความหมายของการคิดเชิงระบบ

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับความหมายของการคิดเชิงระบบ โดยมีผู้ให้ความหมายไว้ ดังนี้

Ludwig von Bertalanffy (1968) (อ้างถึงใน ประจักษ์ ปฏิทัศน์, 2562) การคิดเชิงระบบ หมายถึง การคิดโดยใช้ชุดเครื่องมือทางการคิดที่ช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ในระบบที่มีพลวัต (Dynamic system)

เฉลียว บุรุษดี (2540) การคิดเชิงระบบ หมายถึง การคิดที่เกี่ยวกับสิ่งหนึ่งสิ่งใด โดยคำนึงว่าสิ่งนั้นมีความเป็นระบบในตัวของมันเองตามแนวคิดทฤษฎีระบบ

นพคุณ นิสาณ (2549) การคิดเชิงระบบ หมายถึง การคิดอย่างมีหลักเกณฑ์ และเหตุผล โดยการจัดข้อมูลทั้งหลายให้มีหน้าที่สัมพันธ์กันด้วยองค์ประกอบย่อยต่าง ๆ ให้เป็นแบบแผนที่ชัดเจนด้วยการมองเห็นภาพ

มกราพันธุ์ จุฑารส (2556) การคิดเชิงระบบ หมายถึง การปรับเปลี่ยนวิธีคิด หรือเพิ่มวิธีคิด ใช้วิธีคิดหลาย ๆ แบบในเวลาเดียวกัน แต่ต้องมีวิธีคิดหลักในแต่ละสถานการณ์ มีหลักเกณฑ์และเหตุผล โดยใช้ข้อมูลที่หลากหลายให้สัมพันธ์กันเป็นองค์รวม โดยตระหนักถึงองค์ประกอบย่อยที่มีความสัมพันธ์ และมีหน้าที่ ต่อเชื่อมกันอยู่อย่างเป็นปฏิสัมพันธ์ที่ต่อเนื่อง

Barry Richmond (1993) การคิดเชิงระบบ เปรียบเสมือนศิลปะและวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือเกี่ยวกับพฤติกรรมที่ได้รับการพัฒนาโดยใช้ความเข้าใจที่ลึกซึ้งบนพื้นฐานของโครงสร้าง

Peter M. Senge (1990) การคิดเชิงระบบ หมายถึง การคิดภาพรวมทั้งระบบที่เกี่ยวกับเรื่องใดเรื่องหนึ่งอย่างเป็นระบบ อย่างเป็นขั้นเป็นตอน อย่างครบถ้วน เป็นวิธีการคิดที่สำคัญในปัจจุบัน

Sweeney (1999) การคิดเชิงระบบเป็นแขนงวิชาที่มองปัญหาแบบองค์รวม และเพื่อที่จะได้เข้าใจแบบแผนของการเกิดเป็นระบบและเหตุการณ์รอบ ๆ ตัวที่เห็นได้ การคิดเชิงระบบยังได้นำเสนอการทำงานเพื่อนิยามปัญหา การตั้งคำถาม และการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ

ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และสมยศ ชิดมงคล (2560) การคิดเชิงระบบ เป็นการใช้กระบวนการทางปัญญาในการคิด พิจารณาปัญหาแบบองค์รวม เพื่อมองให้เห็นถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ว่าแต่ละส่วนมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์และเชื่อมโยงกันอย่างไร หรือเป็นการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และรวมถึงการคิดอย่างมีเหตุผลต่อปัญหาที่เกิดขึ้น

ประจักษ์ ปฏิทัศน์ (2562) การคิดเชิงระบบ หมายถึง พฤติกรรมการรู้คิดโดยยึดทฤษฎีระบบเป็นหลักในการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ภายใต้ออบเชตของระบบ เพื่อเข้าใจองค์รวมของระบบ สามารถมองเห็นภาพรวมและรายละเอียดย่อย ๆ ของระบบ

กล่าวโดยสรุป การคิดเชิงระบบ (Systems Thinking) หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการคิดและมองสิ่งใดสิ่งหนึ่งในภาพรวม การเข้าใจความสัมพันธ์ องค์ประกอบย่อย ๆ ของระบบที่ซับซ้อน โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ในระบบ เป็นการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการคิดอย่างมีเหตุผล

การคิดเชิงระบบเป็นการคิดที่เป็นทักษะขั้นสูงจึงมีความแตกต่างกับการคิดทั่วไปดังที่ไอซีเออาร์ (International Centre for development oriented Research in Agriculture: ICAR , 2011) ได้สรุปความแตกต่างของการคิดทั่วไปและการคิดเชิงระบบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความแตกต่างของการคิดทั่วไปและการคิดเชิงระบบ

การคิดทั่วไป	การคิดเชิงระบบ
<ul style="list-style-type: none"> - สนใจเฉพาะส่วน - ไม่สนใจผลย้อนกลับ - คิดเป็นเส้นตรง - มองเหตุและผลเพียงด้านเดียว - มองคำตอบที่ถูกต้องเพียงหนึ่งเดียว 	<ul style="list-style-type: none"> - สนใจในสิ่งที่มีปฏิสัมพันธ์กับส่วนต่าง ๆ ทั้งหมด - ให้ความสำคัญกับผลย้อนกลับทั้งทางบวกและทางลบ - ไม่คิดเป็นเส้นตรง - มีการมองเหตุและผลอย่างหลากหลาย - คำตอบที่ถูกไม่ได้มีเพียงหนึ่งมุมมองความคิดที่หลากหลาย

ที่มา: International Centre for development oriented Research in Agriculture: ICAR. (2011). *Systems Thinking – Key Concepts*. P5. (อ้างถึงใน ปารมี ศรีบุญทิพย์, 2560)

1.3 แนวคิดของการคิดเชิงระบบ

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับแนวคิดของการคิดเชิงระบบ โดยมีผู้ให้แนวคิดไว้ ดังนี้

แนวคิดของ Fritjof Capra

ปิยนถ ประยูร (2548); มกราพันธุ์ จุฑะรสก (2556) กล่าวว่า Fritjof Capra นักวิทยาศาสตร์และนักคิดคนสำคัญได้สร้างทฤษฎีการคิดใหม่ที่ได้รับอิทธิพลจากทฤษฎีระบบ (System Theory) หรือการคิดเชิงระบบ (Systems Thinking) โดยได้เสนอแนวคิด วิธีการคิดกระบวนการระบบมาใช้ในการทำความเข้าใจในเรื่องของชีวิต และระบบต่าง ๆ การคิดแนวใหม่ที่ว่าด้วยเรื่องของระบบชีวิตนี้จะเปลี่ยนวิถีที่สัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ทั้งวิถีในด้านสุขภาพ มุมมองของระบบธุรกิจ ระบบการศึกษา ระบบของสถาบันทางสังคม และระบบการเมือง เพื่อให้สามารถช่วยกันสร้างสังคม และเข้าใจธรรมชาติของพืช สัตว์ และระบบนิเวศ วิธีคิดกระบวนการระบบของ Fritjof Capra มีจุดเน้นว่า “องค์รวมเป็นมากกว่าผลรวมขององค์ประกอบของมัน” และได้สร้างความเข้าใจให้กับนักชีววิทยาเกี่ยวกับการจัดการระบบของระบบชีวิต รวมทั้งแนวคิดในการเชื่อมโยงกันในลักษณะเครือข่าย (Network) วิธีคิดกระบวนการระบบ (Systems Thinking) เป็นวิธีคิดแบบใหม่ที่เปลี่ยนแปลง กระบวนทัศน์ และแก้ไขวิกฤตการณ์ทั้งหลาย ตลอดจนนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนได้จริง การนำเสนอแนวคิดแต่ละครั้งนั้นเน้นหนักไปที่วิธีคิดใหม่และการย้ายกระบวนทัศน์ (Paradigm Shift) ที่ทำให้เกิดประเด็นในแง่ของการให้น้ำหนักปัจจัยหรือตัวแปรด้านอื่น ๆ ที่เข้ามากระทบกับกระบวนทัศน์น้อยไป และกระบวนทัศน์ก็เป็นเพียงปัจจัยหนึ่งจากหลาย ๆ ปัจจัยที่ทำให้เกิดวิกฤตการณ์ เพียงแต่กระบวนทัศน์นั้นเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งเท่านั้น และหากมองว่าการแก้ปัญหาใด ๆ ก็ตามสามารถแก้ได้ด้วยการเปลี่ยนย้ายกระบวนทัศน์ (Paradigm Shift) โดยไม่วิเคราะห์ปัจจัยหรือตัวแปรอื่นประกอบ ก็จะทำให้การแก้ปัญหาหรือวิกฤตการณ์ จะง่ายเกินไป ดังนั้น แนวคิดของ Fritjof Capra จึงเป็นการนำเสนอวิธีคิดใหม่และการเปลี่ยนแปลงกระบวนทัศน์ (Paradigm Shift) ที่ทำให้เกิดข้อถกเถียงในการให้น้ำหนักปัจจัยหรือตัว

แปรอื่น ๆ ที่เข้ามากระทบกับกระบวนทัศน์และกระบวนทัศน์ก็เป็นเพียงปัจจัยหนึ่งจากหลาย ๆ ปัจจัยเท่านั้น โดยแนวคิดของ Fritjof Capra มองการคิดเชิงระบบ ว่าเป็นการคิดแบบองค์รวมที่มีความสัมพันธ์กัน

แนวคิดของ Peter M. Senge

Peter M. Senge (1990) ผู้ก่อตั้งและผู้อำนวยการของ Center for Organization Learning แห่ง MIT Sloan School of Management ได้นำทฤษฎีกระบวนระบบ (System Theory) มาประยุกต์ใช้กับการบริหารและการเสริมสร้างภาวะผู้นำ Peter M. Senge ได้เขียนหนังสือ The Fifth Discipline : The Art & Practice of the Learning Organization ที่นำเสนอแนวคิด และทฤษฎีการพัฒนาศักยภาพการเรียนรู้ (Learning Organization) ซึ่งประกอบไปด้วย 5 องค์ความรู้

1. การพัฒนาตนเองเพื่อบรรลุเป้าหมาย (Personal Mastery)
2. แบบจำลองความคิด (Mental Models)
3. การมีวิสัยทัศน์ร่วมกัน (Shared Vision)
4. การเรียนรู้ร่วมกันเป็นทีม (Team Learning)
5. การคิดเชิงระบบ (Systems Thinking)

จากองค์ความรู้ทั้ง 5 องค์ความรู้ Peter M. Senge มีความคิดเห็นว่า การคิดเชิงระบบเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญที่สุดจากทั้ง 5 องค์ความรู้ เป็นองค์ความรู้ที่จะพัฒนาศักยภาพไปสู่ความเป็นเลิศ การคิดเชิงระบบเป็นการคิดที่ทำความเข้าใจภาพรวมทั้งระบบ เป็นสิ่งที่ควบคุมองค์ความรู้ที่ 1 ถึง 4 การจะทำการใดต้องทำความเข้าใจถึงภาพรวมของทั้งระบบ และต้องปฏิบัติอย่างเป็นระบบ (Peter M. Senge, 1994; ปิยนารถ ประยูร, 2548)

การที่มนุษย์จะพัฒนาศักยภาพของตนเพื่อไปสู่ความปรารถนาในอนาคตจะต้องเริ่มจากการกำหนดวิสัยทัศน์แห่งตน (Personal Vision) คือ การตระหนักรู้ว่าตนเองต้องการอะไร อยากเป็นอะไร วิสัยทัศน์มีความหมายที่ลึกกว่าเป้าหมาย (Goal) หรือวัตถุประสงค์ (Objective) วิสัยทัศน์เป็นเป้าหมายที่มีความชัดเจน มีความเป็นรูปธรรมที่ต้องการที่จะบรรลุ มุ่งที่จะพัฒนาตนเองไปสู่อนาคตที่ปรารถนาของบุคคล

จากแนวคิดของ มกราพันธุ์ จุฑารส (2556) ความสามารถในการจัดการเรียนรู้มี 3 ประการหลัก คือ

1. ความตั้งใจที่จะทำสิ่งดี ๆ ให้เกิดขึ้น (Aspiration) หมายถึง แรงบันดาลใจ ที่จะผลักดันให้สำเร็จในขณะเดียวกันก็ตั้งความหวัง ความมุ่งมั่นที่จะเพิ่มความสำเร็จในระดับสูงขึ้น ซึ่งเป็นประเด็นมีสิ่งที่ต้องฝึกฝน คือ

1.1 การพัฒนาตนเองให้เป็นมนุษย์ที่แท้ (Personal Mastery) หมายถึงการเป็นนายตนเองที่จะพัฒนาศักยภาพสูงสุดที่ตนมี เพื่อนำไปสู่ความเป็นมนุษย์ที่แท้ การสร้างพลังแห่งตน เกิดการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์หลักการสร้างทักษะการเรียนรู้อย่างสร้างสรรค์มี 2 ประการคือ

1) การทำความเข้าใจ “สาระชีวิต” หมายความว่า ต้องฝึกฝนเอาใจใส่เรื่องที่สำคัญ การเรียงลำดับความสำคัญและมีสมาธิกับเรื่องนั้น

2) การฝึกมองโลกตามความเป็นจริง โดยเปรียบเทียบระหว่างความจริงที่มองเห็น กับ ทัศนคติที่ต้องการจะเป็น หากพบสภาพการณ์ที่เป็นอุปสรรค หรือปัญหา ต้องฝึกฝน พัฒนาตนเพื่อนำไปสู่การจัดการและแก้ปัญหาสภาพการณ์อย่างมีสติ

1.2 การสร้างวิสัยทัศน์ร่วมกัน (Shared Vision) หมายถึง การที่กลุ่มคนที่มีวิสัยทัศน์ส่วนบุคคลคล้ายกันหรือองค์กร เพราะการกำหนดวิสัยทัศน์ร่วมกันจะเป็นการสร้างบรรยากาศของการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อย่างแท้จริง อีกทั้งทำให้เขามีศักยภาพของกันและกันในการกำหนดทิศทางไปสู่สิ่งที่ปรารถนา ได้ชัดเจนขึ้น

2. การสนทนาอย่างครุ่นคิด (Dialogue) หรือ สุนทรียสนทนา หมายถึง กระบวนการพูดคุย เพื่อให้เกิดความเข้าใจกันโดยผ่านการครุ่นคิดที่ลึกซึ้ง เพื่อให้เกิดความคิดใหม่ มุมมองใหม่แทนที่ยืนยันความคิดเฉพาะตนว่าถูกต้อง เป็นการสนทนาที่ผู้ร่วมวงสนทนาแต่ละคนจะต้องใช้ความพยายามในการฟังคนอื่น ฟังให้ได้ยินเสียงที่คนอื่นพูด และตั้งคำถามเพื่อให้เกิดความรู้ใหม่ ๆ ร่วมกัน มี 2 ประการที่ต้องฝึกฝน คือ

2.1 ภาพจำลองความคิด (Mental Model) คือ โลกทัศน์และชีวทัศน์ที่รวมไปถึงความคิด ความเชื่อ ค่านิยม ที่จะนำบุคคลไปสู่พฤติกรรมการฝึกให้บุคคลรู้จักวิธีคิดที่ถูกต้อง และวิธีคิดที่หลากหลาย เพื่อสร้าง “ภาพจำลองความคิด” ที่ถูกต้องเพื่อไม่ให้เกิดความคิดผิด ๆ ความเชื่อผิด ๆ บุคคลควรศึกษาข้อมูลรอบด้าน รู้จักแยกแยะไม่ควรเชื่ออะไรง่าย ๆ จนกว่าจะมีข้อมูลที่เพียงพอ

2.2 การเรียนรู้ร่วมกันเป็นทีม (Team Learning) คือ การเรียนรู้ร่วมกันเป็นกลุ่ม มีกระบวนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน การเรียนเป็นทีมและการทำงานเป็นทีมจะทำให้สมาชิกในทีมเกิดการเกื้อกูลและพึ่งพากัน และตระหนักว่าความสามารถ อาจจะทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ระดับหนึ่ง แต่การร่วมเรียนรู้เป็นทีมจะทำให้ได้ผลสำเร็จตามเป้าหมายยิ่งขึ้น การใช้กระบวนการสนทนาอย่างครุ่นคิด (Dialogue) เข้ามาจะทำให้เกิดการเคารพความคิดของกันและกัน การแลกเปลี่ยนเรียนรู้จะมีความสนุกสนานในบรรยากาศแบบกัลยาณมิตร ทำให้เกิดความไว้วางใจ เชื่อมั่น (Trust) ต่อกันและกัน สร้างการทำงานเป็นทีมได้ดี

3. การเข้าใจโลกและระบบที่ซับซ้อน (The world understand and complex systems) หมายถึง ทัศนคติในการมองโลก มองชีวิตที่ต้องอาศัยความละเอียดอ่อน และความคิดแบบเชื่อมโยงบวกกับจินตนาการที่สร้างสรรค์เพราะบางครั้งสิ่งที่เราเห็นด้วยตาอาจจะไม่ใช้อย่างที่เราคิดและเข้าใจก็ได้ การฝึกทักษะในการมองโลกเพื่อให้เข้าใจถึงความเป็นจริงของธรรมชาติ ระบบที่ซับซ้อนมักเป็นเรื่องสำคัญของมนุษย์ ดังนั้นจึงต้องเรียนรู้วิธีคิดอย่างเป็นระบบอันเป็นฐานสำคัญ

วิธีคิดอย่างเป็นระบบ (Systems Thinking) เป็นกระบวนการคิดขั้นสูงสำหรับองค์กรการเรียนรู้และบุคคลแห่งการเรียนรู้ เพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาด ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน จนนำไปสู่การสร้างปัญหาที่ทำให้เราไม่สามารถไปถึงภาพอนาคตที่พึงปรารถนาได้ ดังนั้นการคิดอย่างเป็นระบบจึงมีความสำคัญที่เกี่ยวกับการคิดในลักษณะเชื่อมโยง คิดแบบภาพรวมมองให้เห็นภาพทั้งหมด รู้จักสังเคราะห์ และมองเส้นปฏิสัมพันธ์ต่าง ๆ ของระบบทำให้ความสัมพันธ์เชิงลึก และความสัมพันธ์แนวกว้าง รวมทั้งความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน เป็นการเน้นการคิดแบบกระบวนการเรียก “วิธีคิดแบบองค์รวม”

แนวคิดของ Peter M. Senge มองการคิดเชิงระบบ ว่าเป็นการคิดแบบองค์รวมที่มีความสัมพันธ์กัน ให้เห็นภาพรวมทั้งหมด เป็นกระบวนการคิดขั้นสูง เป็นการคิดในลักษณะเชื่อมโยง

ของเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกัน เป็นความสัมพันธ์แนวลึกและแนวกว้าง และเน้นการคิดแบบ กระบวนการ องค์ประกอบย่อย ต่าง ๆ ทำหน้าที่ปฏิสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง เป็นความคิดในลักษณะ วงกลม มากกว่าเป็นเส้นตรง

แนวคิดของ O' Connor and McDermott lan

O' Connor and McDermott lan (1997) ได้ให้แนวคิดเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบว่า “ระบบ” คือ การดำรงอยู่คงไว้ได้ทั้งหมดด้วยการทำงานของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่ไม่สามารถแยกออกได้ ประกอบด้วยหลาย ๆ อวัยวะมาอยู่รวมกัน ทำหน้าที่สัมพันธ์กัน ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบย่อย ต่าง ๆ ที่ต่างกัน ทำหน้าที่ปฏิบัติกันอย่างต่อเนื่อง และได้ให้ความหมายการคิดเชิงระบบ เป็นความคิด ในลักษณะเป็นวงมากกว่าที่จะเป็นเส้นตรง ทุกส่วนมีการเชื่อมต่อระหว่างส่วนต่าง ๆ จะก่อให้เกิด วงจรการป้อนกลับของระบบมาอยู่ที่จุดเริ่มต้น และเป็นการคิดขั้นสูง (มกราพันธุ์ จุฑารสกร, 2556)

แนวคิดของ O' Connor and McDermott lan มองการคิดเชิงระบบ ว่าเป็นการคิดแบบองค์ รวมที่มีความสัมพันธ์กันเป็นกระบวนการคิดขั้นสูง องค์ประกอบย่อยต่าง ๆ ทำหน้าที่ปฏิสัมพันธ์กัน อย่างต่อเนื่อง เป็นความคิดในลักษณะวงกลมมากกว่าที่จะเป็นเส้นตรง

แนวคิดของ Barry Richmond

Barry Richmond (2000) ได้ให้แนวคิดเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบว่า ความเชื่อมโยงระหว่าง ระบบย่อย (Subsystem) ในทางกายภาพ และนิเวศวิทยาทำให้ภาพความเป็นจริงเข้มข้นขึ้น แต่ เป็นที่น่าเสียดายที่วิวัฒนาการด้านการคิดตามไม่ทันระดับการพึ่งพาที่เกิดขึ้น ผลที่ตามมาก็คือปัญหา ยังดำรงอยู่ถึงแม้เราจะเข้าไปแทรกแซงก็ตาม ดังนั้น เพื่อหารากของปัญหาที่เกิดขึ้น ต้องพัฒนาระบบการศึกษาใน 3 มิติ คือ (1) กระบวนการศึกษา (2) กระบวนทัศน์ทางความคิด และ (3) อุปกรณ์การเรียน ซึ่งการเชื่อมโยงมิติทั้ง 3 ประการ คือ กระบวนการเรียนที่ชี้นำผู้เรียนที่จะอยู่ใน สิ่งแวดล้อมของการเรียนรู้ที่อยู่บนพื้นฐานการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อสร้างการเรียนรู้โดยสัญชาตญาณ และความเข้าใจในเรื่องระบบการพึ่งพากันอย่างซับซ้อนโดยมีส่วนร่วมในประสบการณ์ตรง แต่ก็จะมีพบ อุปสรรคหลัก คือ ศักยภาพที่มีอยู่อย่างจำกัดในการถ่ายโอนกรอบการคิดอย่างเป็นระบบจากผู้ให้ การศึกษาสู่ผู้เรียน หากการมองการคิดอย่างเป็นระบบในบริบทที่กว้างขึ้นของทักษะการคิดอย่างมี วิจัยญาณ พร้อม ๆ กับตระหนักถึงลักษณะที่มีอยู่หลายแง่มุมของทักษะ การคิดที่เชื่อมโยงกับการ คิดอย่างเป็นระบบแล้ว จะสามารถลดเวลาที่ผู้คนจะต้องใช้ทำความเข้าใจกรอบความคิดนี้ลงได้

แนวคิดของ Anderson and Johnson

Anderson and Johnson (1997) กล่าวถึงหลักการของลักษณะการคิดเชิงระบบ ไว้ว่า

1. เป็นความคิดที่มองภาพใหญ่
2. สร้างความสมดุลระหว่างมุมมองระยะสั้นและระยะยาว
3. ยอมรับในความมีพลวัต ความสลับซับซ้อน ความเกี่ยวข้องกับธรรมชาติของระบบ
4. ยอมรับและใช้ข้อมูลทั้งจากปัจจัยที่วัดได้จากเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ
5. ระลึกเสมอว่าทุกส่วนที่เป็นองค์ประกอบย่อยของระบบมีความสำคัญและการทำหน้าที่

ของแต่ละส่วนจะมีผลต่อส่วนรวม แม้ว่าส่วนรวมจะส่งผลกลับมายังแต่ละส่วนย่อยด้วยก็ตาม

แนวคิดของ Goodman

Goodman (1997) กล่าวถึงหลักการของลักษณะการคิดเชิงระบบไว้ว่า การคิดเชิงระบบ ทำให้เห็นภาพรวม เป็นการคิดในลักษณะวงกลมไม่คิดเป็นเส้นตรง เป็นการคิดที่มีความเชื่อมโยงของเหตุและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกัน เป็นความคิดที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ อีกทั้งเป็นวิธีการที่มีขั้นตอนชัดเจนสำหรับการตรวจสอบปัญหาให้มีความถูกต้องที่จะนำไปสู่ข้อสรุป การคิดเกี่ยวกับระบบช่วยเพิ่มทางเลือกในการแก้ปัญหาได้ โดยการขยายความคิดและช่วยให้สามารถพูดถึงการแก้ปัญหาด้วยวิธีใหม่และแตกต่างกัน โดยใช้วิธีการวาดผังสาเหตุ และจะเลือกใช้วิธีคิดเชิงระบบก็ต่อเมื่อ ปัญหานั้นมีความสำคัญ เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ เป็นประจำ และไม่ประสบผลสำเร็จในการแก้ปัญหา

จากแนวคิดเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบของนักวิชาการสรุปได้ว่า นักวิชาการ 6 ท่านมีความเห็นเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบว่าเป็นการคิดแบบองค์รวมให้เห็นภาพทั้งหมด นักวิชาการ 5 ท่าน มีความเห็นว่าการคิดเชิงระบบเป็นการคิดในลักษณะวงกลมมากกว่าการคิดเป็นเส้นตรง นักวิชาการ 4 ท่าน มีความเห็นเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบว่าเป็นการคิดในลักษณะเชื่อมโยงของเหตุและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกัน นักวิชาการ 3 ท่าน มีความเห็นเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบว่าเป็นกระบวนการคิดขั้นสูง และนักวิชาการ 2 ท่าน มีความเห็นว่าการคิดเชิงระบบมีความสัมพันธ์แนวลึก และความสัมพันธ์แนวกว้าง และเป็นการคิดแบบกระบวนการ สามารถสรุปหลักการการคิดเชิงระบบได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 หลักการการคิดเชิงระบบ

แนวคิดของการคิดเชิงระบบ	Peter M. Senge (1994)	O' Connor and McDermott lan (1995)	Fritjof Capra (1997)	Anderson and Johnson (1997)	Barry Richmond (2000)	Goodman (1997)
1. การคิดแบบองค์รวมให้เห็นภาพทั้งหมด	/	/	/	/	/	/
2. กระบวนการคิดขั้นสูง	/	/				/
3. การคิดในลักษณะเชื่อมโยงของเหตุและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกัน	/			/	/	/

แนวคิดของการคิดเชิงระบบ	Peter M. Senge (1994)	O' Connor and McDermott lan (1995)	Fritjof Capra (1997)	Anderson and Johnson (1997)	Barry Richmond (2000)	Goodman (1997)
4. การคิดแบบความสัมพันธ์แนวลึก และ ความสัมพันธ์แนวกว้าง	/				/	
5. การคิดแบบกระบวนการ	/				/	
6. การคิดในลักษณะวงกลมมากกว่าการคิดเป็น เส้นตรง	/	/		/	/	/

1.4 คุณสมบัติของการคิดเชิงระบบ

คุณสมบัติของการคิดเชิงระบบ ปิยนาด ประยูร (2548) กล่าวถึงคุณสมบัติหรือแนวคิดสำคัญของการคิดเชิงระบบเป็นกฎ 5 ข้อ คือ

1. การคิดเชิงระบบ คือการคิดเชิงเครือข่าย ที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน
 2. ระบบต่าง ๆ จะซ้อนกันในระบบใหญ่นั้นยังมีระบบย่อยลงมาเรื่อย ๆ เป็นชั้น เช่น ระบบร่างกาย ในร่างกายเรามีระบบย่อย ๆ มากมาย ตั้งแต่ระบบเซลล์ ระบบเส้นเลือด ระบบหายใจต่อไปจนถึง DNA ที่เป็นระบบที่เล็กลงไปอีก
 3. การคิดเชิงระบบ คือ การคิดแบบสัมพันธ์กับบริบท (Context) การคิดแบบสัมพันธ์กับบริบท คือ การคิดถึงสัมพันธ์ภาพระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งต้องทำความเข้าใจกับสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบสิ่งนั้น เพื่อที่จะสามารถทำความเข้าใจ หรือวิเคราะห์คุณสมบัติของสิ่งนั้นหรือระบบนั้นได้อย่างถูกต้อง
 4. การคิดเชิงกระบวนการระบบจะต้องจับความสัมพันธ์หรือการปฏิสัมพันธ์ให้ได้ หัวใจอยู่ที่การเชื่อมความสัมพันธ์ป้อนกลับ (Feedback) ระหว่างองค์ประกอบหรือส่วนต่าง ๆ
- สิริลักษณ์ เทียงธรรม และคนอื่น ๆ (2553); สุภาวดี เจริญเศรษฐมท (2550) กล่าวถึงคุณสมบัติของการคิดเชิงระบบไว้ว่า
1. คิดแบบมีความเป็นองค์รวม (Holistic or Wholeness) ผลที่ได้จากระบบไม่ใช่ผลบวกหรือเพียงแต่มารวมกันของส่วนประกอบเหล่านั้น แต่จะได้คุณสมบัติใหม่ด้วย

2. คิดเป็นเครือข่าย (Networks) คิดเชื่อมโยงปฏิสัมพันธ์ของระบบต่าง ๆ ที่เป็นการประกอบขึ้นมาเป็นเครือข่ายของระบบ

3. คิดเป็นลำดับชั้น (Hierarchy) เนื่องจากระบบหนึ่ง ๆ อาจจะมาจากระบบย่อย ๆ กับระบบที่ประกอบกันขึ้นมา และในระบบย่อยเองก็มีความสัมพันธ์ของแต่ละส่วนต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของระบบ

4. คิดแบบมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน (Interaction) ระหว่างระบบด้วยกัน ทั้งระบบย่อยกับระบบย่อยด้วยกัน ระบบย่อยกับระบบใหญ่ ระบบใหญ่กับสภาพแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงของระบบย่อยจะมีผลต่อระบบใหญ่ด้วย

5. คิดอย่างมีขอบเขต (Boundary) ระบบหนึ่งมาจากระบบย่อย ๆ และระหว่างระบบย่อยกับระบบใหญ่ ต่างมีขอบเขตของระบบที่แสดงให้เห็นเขตแดนว่า ระบบนั้น ๆ ครอบคลุมอะไรบ้าง และอะไรบ้างที่อยู่นอกเขตแดน ซึ่งก็จะถือว่าอยู่นอกระบบ แต่ในหลาย ๆ ระบบนั้นก็ไม่ได้แยกเขตแดนกันอย่างเด็ดขาด แต่มีการซ้อนทับ (Overlap) กันอยู่ เช่น ระบบที่เป็นนามธรรม ระบบธรรมชาติ และระบบทางสังคม เป็นต้น

6. คิดอย่างเป็นแบบแผน (Pattern) ระบบจะมีความคงที่แน่นอน เพื่อเป็นหลักประกันว่ากระบวนการทำงานทุกอย่างในทุก ๆ ขั้นตอน จะไม่มีการเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายของระบบโดยรวม

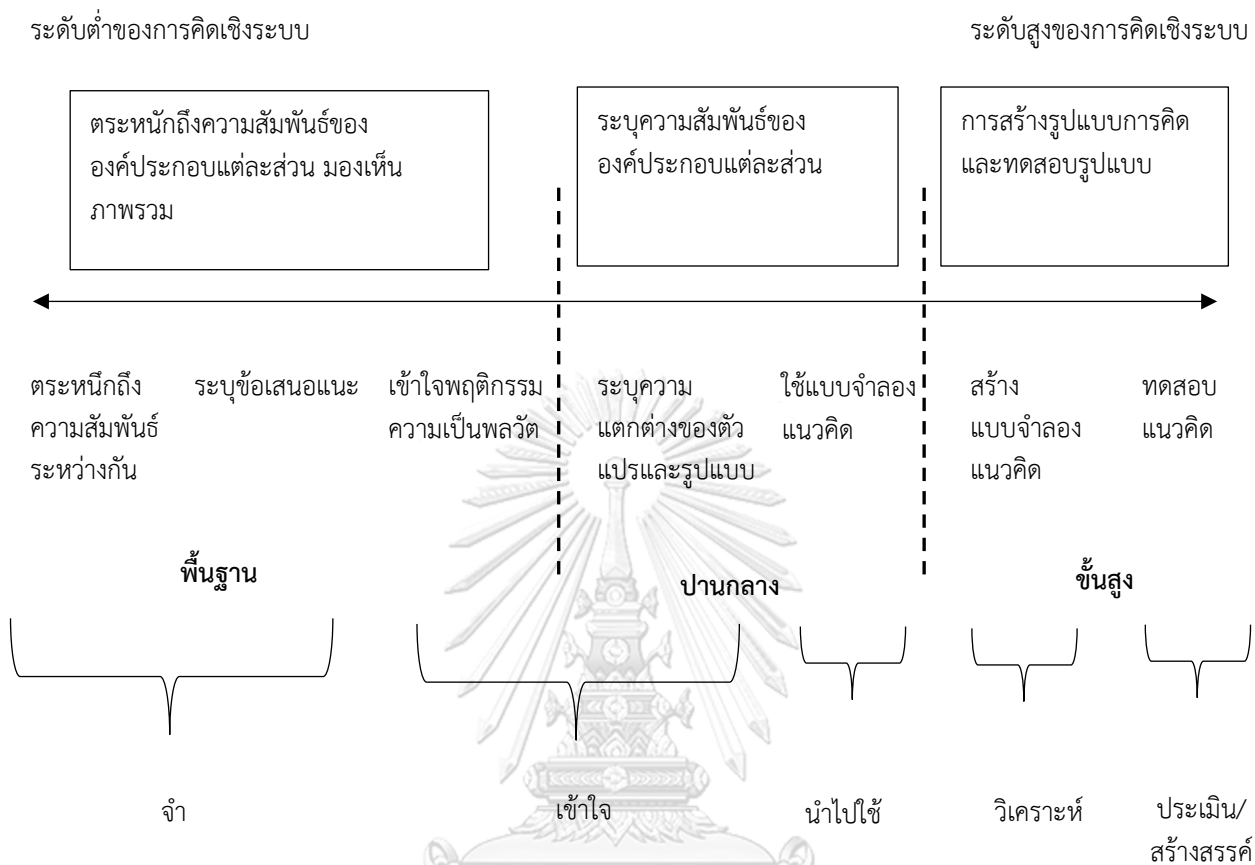
7. คิดอย่างมีโครงสร้าง (System Structure) แต่ละส่วนที่ประกอบเป็นระบบมีความเป็นตัวของตัวเอง มีความเป็นอิสระ ทั้ง ๆ ที่สิ่งที่ประกอบกันอาจจะมีลักษณะ รูปร่าง หน้าที่ หรือแบบแผนการทำงานที่แตกต่างกัน แต่ก็มีการเชื่อมโยงกันอย่างเหมาะสม ทำหน้าที่อย่างสัมพันธ์กัน ทำงานเสริมประสานกันกับส่วนประกอบอื่น ๆ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของระบบโดยรวม

8. คิดอย่างมีการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลง (Adaptation) ระบบต่าง ๆ จะมีการปรับตัวและพยายามสร้างสถานะสมดุล และคงความสมดุลนั้นไว้ ด้วยการจัดระบบภายในตนเอง (Self-organize)

9. คิดเป็นวงจรป้อนกลับ (Feedback Loops) การคิดเชิงระบบ เป็นการคิดในลักษณะเป็นวง (Loops) มากกว่าจะเป็นเส้นตรง ทุกส่วนต่างมีการเชื่อมต่อ ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม

Stave and Hopper (2007) ได้สรุปลักษณะของการคิดเชิงระบบไว้ว่า การคิดเชิงระบบต้องตระหนักถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบแต่ละส่วน มองเห็นภาพรวมเข้าใจถึงความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ระบุความสัมพันธ์และเข้าใจความสัมพันธ์ขององค์ประกอบย่อยต่าง ๆ และสร้างรูปแบบรวมทั้งหมดสอรูปแบบ

กล่าวโดยสรุป คุณสมบัติของการคิดเชิงระบบจะมีวิธีการคิดที่หลากหลาย ทั้งการคิดที่เป็นเครือข่าย ที่มีความสัมพันธ์กัน การคิดเป็นระบบต่าง ๆ โดยจะระบบจะซ้อนกันอยู่เป็นลำดับ การคิดแบบบริบทสัมพันธ์ การทำความเข้าใจระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ต้องตระหนักว่าการคิดเชิงระบบจะต้องเข้าใจภาพรวมของความสัมพันธ์การเข้าใจความสัมพันธ์ย้อนกลับ และการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ จนสามารถสร้างรูปแบบของความระบบได้



ภาพที่ 2 ระดับการคิดเชิงระบบของ Stave and Hopper (2007)

1.5 การพัฒนาการคิดเชิงระบบ

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการคิดเชิงระบบ ขั้นตอนการพัฒนาการสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบ มีรายละเอียดดังนี้

มกราพันธุ์ จูฑะรสก (2556) ได้เสนอการพัฒนาการคิดเชิงระบบโดยให้รายละเอียดดังนี้

พื้นฐานของการคิดเชิงระบบ เข้าใจคุณสมบัติของความเป็น “ระบบ” ต้องสามารถตอบคำถามได้ชัดเจน สิ่งที่เราเห็นเป็น “กอง” หรือเป็น “ระบบ” โดยมีหลักการพิจารณา คือ

1) “กอง” กับ “ระบบ” ประกอบด้วยส่วนประกอบสองส่วนหรือมากกว่าสองส่วนเสมอ แต่กอง ไม่ว่าจะนำเข้าหรือออกจะไม่เกิดความเปลี่ยนแปลงในทางคุณภาพ เช่น กองข้าวสาร ในขณะที่ระบบ หากเรานำส่วนใดส่วนหนึ่งออกไปหรือเพิ่มเข้ามาจะเกิดความเปลี่ยนแปลง เช่น ระบบในร่างกาย

2) ความเป็นองค์รวม “เหนือกว่า” ความเป็นผลรวม ผลรวมหมายถึง “คุณสมบัติ” ของระบบรวมหรือ “คุณภาพ” ของระบบใหญ่ แตกต่างกันไปจากคุณสมบัติของส่วนย่อย คุณภาพของระบบใหญ่ไม่ได้วัดจากปริมาณของส่วนย่อยที่เพิ่มเข้าไป

3) จุดมุ่งหมายหรือเป้าหมายของระบบคืออะไร ระบบต่าง ๆ ล้วนมีจุดมุ่งหมายหรือเป้าหมายของตนเองในความสัมพันธ์กับระบบใหญ่ที่ตนเป็นส่วนหนึ่ง

4) นักคิดเชิงระบบ (System thinker) จะมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลเป็นวงจรที่สามารถวกกลับหากันได้ (Feedback)

5) คำถามที่ต้องการหาคำตอบเสมอ คือ สิ่งที่ประสบนั้นเกิดขึ้นครั้งเดียวหรือพฤติกรรมของระบบจะทำให้เข้าใจว่าความเป็นระบบมีความเกี่ยวข้องกันทั้งหมด

การฝึกการคิดเชิงระบบ ผู้สอนจะต้องใช้กระบวนการที่ยืดหลักการแนวคิดทฤษฎีระบบเพื่อให้เกิดมุมมองใหม่

1) คำตอบที่ถูกต้องไม่ได้มีเพียงคำตอบเดียว โดยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผลกระทบ (Side Effects) ที่เกิดขึ้นทั้งทางบวกและทางลบ ทั้งระยะสั้นและระยะยาว

2) ผู้เรียนสามารถเปรียบเทียบได้ว่าการมองแยกส่วนกับการมองแบบภาพรวมมีผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกัน เน้นถึงความจำเป็นของการร่วมมือกัน (Need of collaboration) เพื่อผลประโยชน์ของส่วนร่วม

3) หลีกเลี่ยงวิธีคิดแบบทางตรง เพราะมักจะมีผลกระทบตามมา

4) มองผลลัพธ์และสาเหตุว่าอาจไม่ได้อยู่ใกล้กันเสมอ และไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัว

5) การจัดการปัญหาทุกอย่างไม่มีปัญหาใดที่จะจัดการได้ทันทีทันใดต้องอาศัยความอดทนประกอบการแก้ปัญหา

6) ความล้มเหลวจะทำให้เราได้เรียนรู้จุดอ่อนและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลง

การวิเคราะห์ระบบในแนวลึก หมายถึง การวิเคราะห์ระบบใดระบบหนึ่งว่าทั้งระบบมีส่วนประกอบเป็นระบบย่อยซ้อนอยู่ เพื่อให้เห็นระดับในแนวลึกซึ่งประกอบด้วย 4 ระดับ ได้แก่

1) ระดับปรากฏการณ์ (Event) เหตุการณ์ที่ปรากฏในสังคมปัจจุบัน 2) ระดับแนวโน้มและแบบแผน (Pattern) สิ่งที่เราสะท้อนว่าหากแบบแผนเป็นเช่นนี้ ปรากฏการณ์จะเป็นเช่นไร 3) ระดับโครงสร้าง (Structure) โครงสร้างจะเป็นตัวกำหนดแบบแผนพฤติกรรมและสิ่งที่แสดงออกมาให้ปรากฏ และ 4) ระดับภาพจำลองความคิดเห็น (Mental Model) วิธีคิดหรือแบบจำลองความคิดที่เกิดจากโครงสร้างเป็นการเชื่อมโยงกับสิ่งต่าง ๆ และหล่อหลอมออกมาเป็นวิธีคิด

การคิดเชื่อมโยงเรื่องเหตุและผล หลักการคิดสำคัญของการคิดเชิงระบบคือ การเชื่อมโยงขององค์ประกอบแต่ละส่วนในระบบนั้น โดยพิจารณาว่าเชื่อมโยงกันอย่างไร ซึ่งความเชื่อมโยงใช้ “เส้นสัมพันธ์” (Relationship) คำถามที่จะต้องตอบว่าส่วนประกอบของแต่ละองค์ประกอบนั้น ๆ เชื่อมโยงกันอย่างไร ผู้เรียนต้องเรียนรู้ในเชิงของระบบ (Learning as a system) การเรียนรู้ คือ กระบวนการที่ทำให้ผู้เรียนเปลี่ยนแปลงตนเองโดยอาศัยความรู้และประสบการณ์ โดยเฉพาะกระบวนการคิดเชื่อมโยงเหตุและผล และ “เส้นสัมพันธ์” จะถูกนำมาใช้เพื่อให้เรียนรู้ความคิด ใช้การเป็นเหตุและเป็นผล (ปิยนถ์ ประยูร, 2548)

ทักษะที่มีความจำเป็นต่อผู้เรียนการฝึกการคิดเชิงระบบ ทักษะที่จำเป็นในการฝึกการคิดเชิงระบบมี 4 ทักษะ คือ การลากเส้น การตั้งคำถาม การคิดทบทวน และการนำเสนอ รายละเอียดดังนี้

- การลากเส้น (Causal Loops) เป็นวิธีการลากเส้นเพื่อค้นหาความเชื่อมโยงของสิ่งต่าง ๆ ค้นหาเหตุและผลในการเกิดขึ้นองค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบ ต้องใช้วิธีการลากเส้นในรูปแบบการตั้งคำถามถึงสิ่งซึ่งทำให้เกิดปัจจัยหรือองค์ประกอบนั้น

- การตั้งคำถาม (Inquiry) การค้นหาคำตอบต้องเกิดจากการตั้งคำถามเสมอ
- การทบทวน (Reflection) คือการคิดไตร่ตรองในเรื่องราวใด ๆ อย่างครุ่นคิดพินิจพิจารณา

- การนำเสนอ (Advocacy) การผลักดันความคิด การอธิบายความคิด มักเกี่ยวข้องกับ “ภาษา”

ความคิดรวบยอดที่สำคัญของการคิดเชิงระบบ คือ กฎธรรมชาติ ซึ่งเป็นระบบองค์รวมมีรายละเอียดที่สำคัญ ดังนี้

- 1) องค์รวมและการส่งเสริมซึ่งกันและกัน ผลรวมของส่วนย่อยให้ผลรวมมากกว่าการนำส่วนย่อย ๆ มารวมกัน

- 2) เป็นการมองแบบระบบเปิด ซึ่งระบบเปิดเป็นระบบที่สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลพลังงาน หรือวัสดุกับสิ่งแวดล้อมได้

- 3) ขอบเขตระบบ ระบบจะมีขอบเขตของตนเองที่แยกออกจากสิ่งแวดล้อม การมีขอบเขตทำให้เราเข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างระบบปิดและระบบเปิด

- 4) แบบจำลองปัจจัยนำเข้า-การแปรรูป-ผลลัพธ์ ระบบเปิดสามารถถูกมองในลักษณะของแบบจำลองการแปรรูป

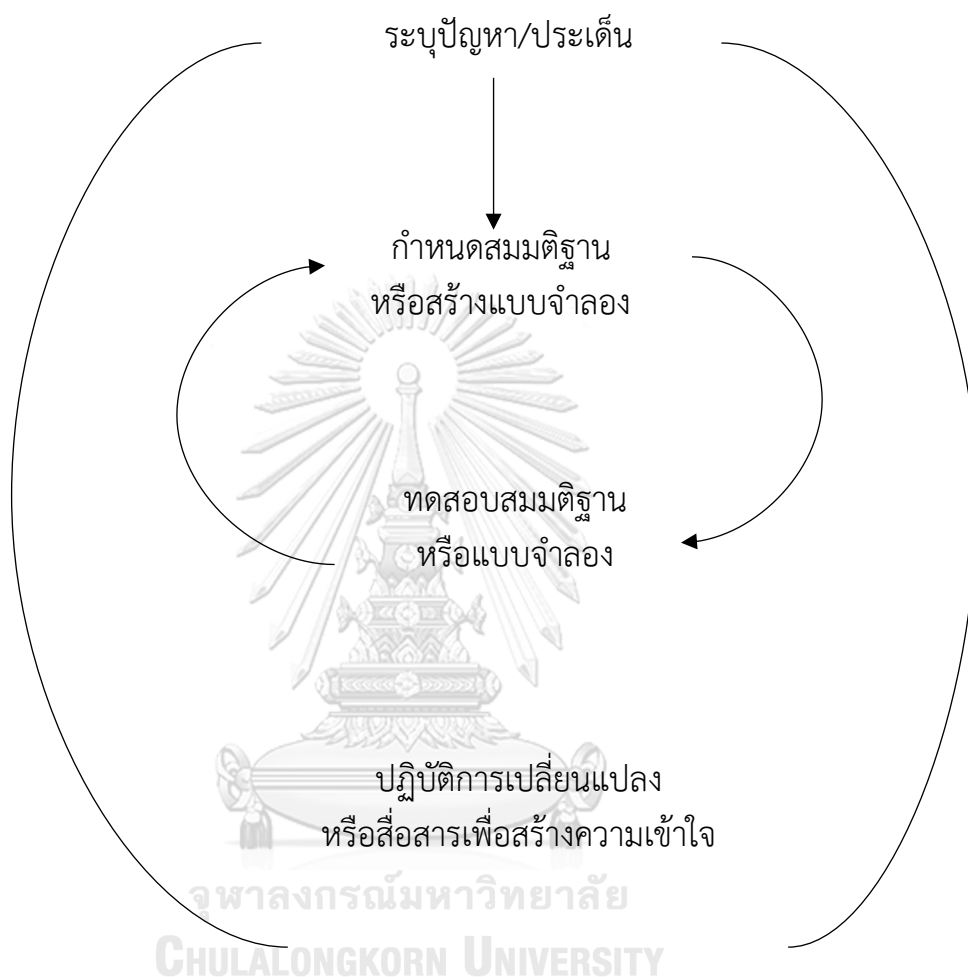
- 5) ปฏิกริยาย้อนกลับ ความคิดรวบยอดที่สำคัญของปฏิกริยาย้อนกลับ เป็นสิ่งที่ทำให้ระบบสามารถปรับซ่อมตนเองได้

- 6) การค้นหาเป้าหมายที่หลากหลาย ซึ่งระบบทางชีวภาพและระบบทางสังคมเป็นระบบที่มีวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่หลากหลาย

กระบวนการคิดเชิงระบบ

Berry Richmond (2000) และมกราพันธุ์ จุฑารส (2556) ได้เสนอวิธีการคิดเชิงระบบที่จะนำไปสู่การปฏิบัติมีกระบวนการที่สำคัญ 4 ขั้นตอน ดังภาพที่ 2.3 คือ

1. การระบุประเด็นปัญหาให้ชัดเจนหรือการนิยามปัญหาให้เด่นชัดว่าปัญหาคืออะไร (specify problem/issue)
2. การกำหนดสมมติฐานหรือสร้างแบบจำลอง (construct hypothesis or model)
3. การทดสอบสมมติฐานหรือการทดสอบแบบจำลอง (test hypothesis or model)
4. การปฏิบัติการเพื่อนำการเปลี่ยนแปลงหรือสื่อสารเพื่อสร้างความเข้าใจ (implement change/communicate understanding)



ภาพที่ 3 ลำดับขั้นตอนกระบวนการคิดเชิงระบบ

ที่มา: Berry Richmond (2000). *Toolbox Reprint Series: The Thinking in Systems Thinking Seven Essential Skill. P.4.*

กระบวนการคิดเชิงระบบที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องอาศัยทักษะการคิดย่อย ๆ 7 ทักษะ ตามแนวคิดของ Berry Richmond (2000) อันประกอบด้วย

1. ขั้นกำหนดประเด็นหรือกำหนดปัญหา จะต้องอาศัยทักษะการคิด 3 ทักษะย่อย คือ
 - 1.1 การคิดแบบพลวัต (Dynamic Thinking)
 - 1.2 การคิดแบบระบบแห่งสาเหตุ (System-as-cause Thinking)
 - 1.3 การคิดแบบมองภาพรวม (Forest Thinking)
2. ขั้นสังเคราะห์จำลอง จะต้องอาศัยทักษะการคิด 3 ทักษะย่อย คือ
 - 2.1 การคิดแบบปฏิบัติการ (Operational Thinking)

2.2 การคิดแบบวงจรสัมพันธ์ (Closed-loop Thinking)

2.3 การคิดแบบเชิงปริมาณ (Quantitative Thinking)

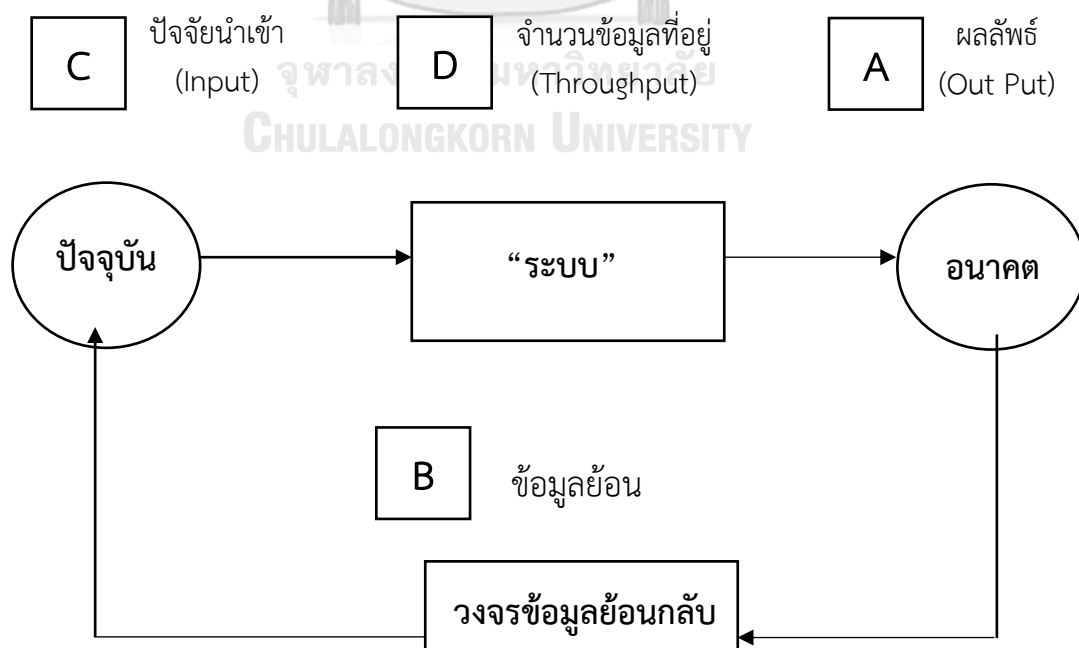
3. การทดสอบแบบจำลอง จะต้องอาศัยทักษะการคิดกระบวนการเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Thinking)

ซึ่งแนวคิดของ Barry Richmond (2000) มองการคิดเชิงระบบ ว่าเป็นการคิดแบบองค์รวมที่มีความสัมพันธ์กัน เป็นการคิดในลักษณะเชื่อมโยงของเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกัน และเป็นความสัมพันธ์แนวลึกและแนวกว้าง องค์ประกอบย่อยต่าง ๆ ทำหน้าที่ปฏิสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง คิดเป็นกระบวนการ และเป็นการคิดในลักษณะวงกลมมากกว่าที่จะเป็นเส้นตรง

อีกทั้ง Anderson and Johnson (1997) ยังได้เสนอขั้นตอนการสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบ รวม 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. จัดระเบียบปัญหาให้มีความชัดเจน
2. อภิปรายปัญหาที่เกิดขึ้น
3. เลือกตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักของปัญหา
4. กำหนดชื่อตัวแปรให้ชัดเจน
5. สร้างกราฟแนวโน้มของสถานการณ์

ทั้งนี้ Anderson and Johnson ได้เสนอกระบวนการคิดเชิงระบบ โดยเริ่มต้นจากการ จัดระเบียบแก่นของปัญหาให้มีความชัดเจน บรรยายเรื่องราวเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเลือกตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักของปัญหา กำหนดชื่อตัวแปรให้ชัดเจน เขียนกราฟแสดงพฤติกรรมของตัวแปรภายใต้ช่วงเวลาหนึ่ง ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตัวแปรที่อาจจะมีส่วนเกี่ยวพันกัน ตามวงจรการคิดเชิงระบบของศูนย์ยุทธศาสตร์การจัดการ (Center of Strategic Management, 1997)



ภาพที่ 4 วงจรการคิดเชิงระบบของศูนย์ยุทธศาสตร์การจัดการ

ที่มา: Center for strategic Management. (1999). Architects in strategic & social charge. In system thinking and learning: Executive Briefing and Seminar. P46.

ทั้งนี้ Goodman and Karash (1995) ได้เสนอขั้นตอนการสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบรวม 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขึ้นบอกเล่าเรื่องราวของปัญหา
2. ขึ้นกำหนดสมมติฐาน
3. ขึ้นนำพัฒนาความคิด
4. ขึ้นระบุโครงสร้าง
5. ขึ้นสร้างแบบจำลอง
6. ขึ้นวางแผนการแก้ปัญหา

ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และสมยศ ชิดมงคล (2560) ได้ศึกษาการพัฒนารูปแบบและแนวทางในการพัฒนาการคิดเชิงระบบ จากนักการศึกษาทั้งในระบบปฐมนิเทศ ประถมศึกษา มัธยมศึกษา และระดับอุดมศึกษา โดยสรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่สำคัญในการเป็นหลักการในการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบได้ดังนี้

1. การระบุประเด็นปัญหา ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการพัฒนาการคิดเชิงระบบ การกระตุ้นให้ผู้เรียนได้เผชิญกับสถานการณ์ที่ท้าทายที่กระตุ้นให้เกิดการคิดและใช้การคิดเชิงระบบ
2. การรวบรวมข้อมูลและศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เป็นขั้นตอนการค้นหาข้อมูลและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหรือสถานการณ์นั้น ๆ เพื่อจัดหมวดหมู่และกำหนดเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหา การเขียนกราฟเพื่อแสดงพฤติกรรมของตัวแปร เพื่อให้มองเห็นทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ
3. การพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลของปัจจัยหรือตัวแปรต่าง ๆ ด้วยการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ และสร้างวงจรป้อนกลับ เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลของข้อมูลแต่ละชุด เชื่อมโยงความสัมพันธ์ในรูปแบบของวงจรป้อนกลับ
4. การสร้างสรรค์แผนการแก้ปัญหาและพิจารณาความเป็นไปได้ เป็นการพิจารณาแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดจากการมองปัญหาแบบองค์รวม เข้าใจปัญหาอย่างแท้จริง การแก้ปัญหาแบบนี้จึงไม่ใช่การแก้ปัญหาเฉพาะหน้า

นอกจากนี้นักการศึกษายังได้เสนอวิธีการหรือเทคนิคที่ใช้พัฒนาการคิดเชิงระบบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น การใช้การสะท้อนคิด การใช้แผนภาพความคิด (mind map) หรือแผนภาพมโนทัศน์ (concept map) และจากประสบการณ์ในด้านการสอนในระดับอุดมศึกษาของ ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และสมยศ ชิดมงคล (2560) ได้พัฒนาการคิดเชิงระบบโดยการฝึกให้คิดตามขั้นตอนสำคัญ โดยกำหนดขั้นตอนการจัดการเรียนรู้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหา

ขั้นที่ 2 ระบุตัวแปรหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

- ขั้นที่ 3 การสร้างแผนภาพวงจรสาเหตุ
 ขั้นที่ 4 การวางแผนแก้ปัญหา (โดยตั้งสมมติฐานการแก้ปัญหาจากวงจรปัญหา และวางแผน
 โครงการงาน)
 ขั้นที่ 5 ดำเนินการและสรุปรายงานและนำเสนอผลการดำเนินงาน

1.6 องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบ (ลักษณะบ่งชี้ของการคิดเชิงระบบ)

การคิดเชิงระบบเป็นกระบวนการทางสมองที่เกิดจากการคิดย่อย ทักษะ หรือความสามารถ
 ทั้งหลายมาประกอบกัน จากการศึกษาองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบพบว่ายังไม่มีการระบุ
 องค์ประกอบที่แน่ชัด แต่มีการอธิบายลักษณะบ่งชี้ของการคิดเชิงระบบ ดังนี้

Anderson and Johnson (1997) ได้อธิบายลักษณะสำคัญของการคิดเชิงระบบ (General
 systems thinking characteristics) ไว้ 5 ด้าน ดังนี้

1) การคิดแบบองค์รวม

หลักการคิดเชิงระบบให้ความสำคัญกับการคิดแบบองค์รวม การมองย้อนกลับไปยังจุดกำเนิด
 ของปัญหาและมองเป็นภาพใหญ่ เน้นการพยายามค้นหาแหล่งของปัญหาที่อาจเกี่ยวโยงมาจากส่วน
 อื่น จะเป็นการมองที่ครอบคลุม รอบคอบ

2) การสร้างสมดุลระหว่างมุมมองระยะสั้นกับมุมมองระยะยาว

การคิดเชิงระบบมีแนวคิดว่าการพิจารณาว่าพฤติกรรมที่จะนำไปสู่ความสำเร็จระยะสั้นหรือ
 ความสำเร็จระยะสั้นที่ถูกทำให้เกิดขึ้นทันทีทันใดนั้น บางครั้งอาจจะเป็นสิ่งที่กลับไปทำลาย
 ความสำเร็จในระยะยาวก็ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาสร้างความสมดุลระหว่างการยอมให้เกิดผล
 ของความสำเร็จน้อยกว่าระยะ เพื่อหวังผลความสำเร็จระยะยาว

3) มีความเป็นพลวัตอันซับซ้อนของระบบ

ปัจจัยต่าง ๆ ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีความซับซ้อน และทุกปัจจัยมีความ
 เชื่อมโยงสัมพันธ์กัน การคิดเชิงระบบให้ความสำคัญกับการจัดลำดับหรือทำงานกับปัญหาที่ละปัญหา
 พิจารณาความสัมพันธ์ในลักษณะที่พิจารณาถึงความเชื่อมโยงอย่างสมเหตุสมผล

4) มีการใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ และข้อมูลเชิงคุณภาพ

การใช้แหล่งข้อมูลที่หลากหลายและครบถ้วนนำมาสู่การพิจารณาระบบให้มีความรอบด้านและ
 ลึกซึ้ง

5) หน้าที่ขององค์ประกอบย่อยและหน้าที่ของทั้งระบบมีอิทธิพลต่อกันและกัน

การคิดเชิงระบบมีแนวทางว่า ทุกองค์ประกอบย่อยของระบบล้วนมีความสำคัญต่อกระบวนการ
 โดยภาพรวมทั้งหมดของระบบ แต่ละองค์ประกอบย่อยล้วนมีหน้าที่ของตนเองและมีอิทธิพลต่อ
 กระบวนการโดยรวมของระบบ

Assaraf and Orion (2005) ได้แบ่งลักษณะบ่งชี้ของการคิดเชิงระบบ (Characteristics of
 systems thinking) ไว้ 8 ด้าน ดังนี้

1) ความสามารถในการระบุองค์ประกอบและกระบวนการในระบบ (The ability to identify
 the component of a system and processes within the system) ความสามารถในการระบุ
 องค์ประกอบ คือ ความสามารถในการแยกแยะองค์ประกอบย่อย ๆ ของระบบว่ามีอะไรบ้าง

ยกตัวอย่างความสามารถในการแยกแยะองค์ประกอบในการเรียนรู้เรื่องวัฏจักรของน้ำ เช่น การระบุได้ถึงแหล่งน้ำที่เกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำ ได้แก่ มหาสมุทร แม่น้ำ ทะเลสาบ น้ำพุร้อน แพนน้ำแข็ง ฝน และเมฆ ส่วนความสามารถในการระบุกระบวนการในระบบ คือ ความสามารถในการระบุองค์ประกอบในระบบมีการทำงานอย่างไรบ้าง เช่น การระบุได้ถึงกระบวนการที่ทำให้น้ำมีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การระเหย การควบแน่น การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ การแทรกซึมสู่ดิน การไหลของน้ำทั้งบนดินและใต้ดิน การหลอมเหลว การแข็งตัว และการละลายน้ำ

2) ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในระบบ (The ability to identify relationships among the system's components) คือ ความสามารถในการอธิบายว่าองค์ประกอบในระบบมีการเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกันอย่างไร เช่น การอธิบายได้ว่าทำการให้เกิดมลพิษในแม่น้ำจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของน้ำ

3) ความสามารถในการจัดลำดับองค์ประกอบและกระบวนการของระบบภายในกรอบความสัมพันธ์ (The ability to organize the systems' component and processes within a framework of relationship) คือ ความสามารถในการรวบรวมทุกความสัมพันธ์ขององค์ประกอบย่อยในระบบออกมาเป็นความสัมพันธ์ในลักษณะแผนภาพ เช่น แผนภาพแสดงวัฏจักรของน้ำที่ระบุทุกระบบที่เกี่ยวข้อง

4) ความสามารถในการสร้างให้เกิดความเข้าใจโดยทั่วไป (The ability to make generalizations) คือความสามารถในการอธิบายระบบในลำดับชั้น พลวัต และวัฏจักร ให้เป็นแบบแผนที่เข้าใจโดยทั่วไป

5) ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์เชิงพลวัตในระบบ (The ability to identify dynamic relationships within the system) คือ ความสามารถในการอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบและกระบวนการที่เชื่อมโยงองค์ประกอบย่อยในแง่ที่มีอิทธิพลต่อกัน

6) ความเข้าใจในมิติที่มองไม่เห็นของระบบ (Understanding the hidden dimensions of the system) คือ การระลึกได้ถึงแบบแผนและปฏิสัมพันธ์ขององค์ประกอบย่อยที่มีต่อกัน แต่ไม่ได้ปรากฏออกมาให้เห็น

7) ความสามารถในการเข้าใจธรรมชาติของวัฏจักรในระบบ (The ability to understand the cyclic nature of systems) คือ สามารถเข้าใจได้ว่าวัฏจักรไม่มีจุดสิ้นสุดและระบบหนึ่งประกอบด้วยวัฏจักรย่อยมากกว่า 1 วัฏจักร

8) การคิดสืบย้อนและพยากรณ์ (Thinking temporally: Retrospection and prediction) คือ สามารถเข้าใจได้ว่ากระบวนการที่เกิดขึ้น ณ ปัจจุบัน บางกระบวนการเป็นผลมาจากกระบวนการที่เกิดขึ้นในอดีต ในขณะที่วัฏจักรกระบวนการในปัจจุบันก็ส่งผลต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอนาคตด้วย

Assaraf and Orion (2010) และ Assaraf, Dodick and Tripto (2013) ได้เสนอรูปแบบลำดับขั้นของการคิดเชิงระบบ (Systems thinking hierarchical Model) โดยจัดเรียงลักษณะบ่งชี้ของการคิดเชิงระบบทั้ง 8 ลักษณะ ออกเป็น 3 ระดับที่ต่อเนื่อง กล่าวคือ ระดับที่ต่ำกว่าเป็นพื้นฐานในการพัฒนาระดับที่อยู่สูงกว่า (Assaraf and Orion, 2010) ดังนี้

ระดับ A การวิเคราะห์องค์ประกอบระบบ (Analyzing the system components)

1) ความสามารถในการระบุองค์ประกอบและกระบวนการในระบบ

ระดับ B การสังเคราะห์องค์ประกอบของระบบ (Synthesizing the system components)

- 1) ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในระบบ
- 2) ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์เชิงพลวัตในระบบ
- 3) ความสามารถในการจัดลำดับองค์ประกอบและกระบวนการของระบบภายในกรอบความสัมพันธ์
- 4) ความสามารถในการเข้าใจธรรมชาติของวัฏจักรในระบบ

ระดับ C การนำไปปฏิบัติและทำให้เกิดผล (Implementation)

- 1) ความสามารถในการสร้างให้เกิดความเข้าใจโดยทั่วไป
- 2) ความเข้าใจในมิติที่มองไม่เห็นระบบ
- 3) การคิดสืบย้อนและพยากรณ์

ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และสมยศ ชิดมงคล (2560) กล่าวว่า การคิดเชิงระบบเป็นกระบวนการทางปัญญาที่จะทำให้มองเห็นถึงความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับองค์ประกอบต่าง ๆ สามารถสรุปลักษณะสำคัญของการคิดเชิงระบบได้ดังนี้

1. การคิดแบบองค์รวม (Holistic) หรือภาพรวมทั้งหมด (Wholeness) เป็นการคิดเชื่อมโยงต่อกันในรูปของความสัมพันธ์เชิงเครือข่าย
2. การคิดที่สัมพันธ์กับการมองบริบท (Context) เป็นการคิดที่ให้ความสำคัญกับสัมพันธ์ภาพระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมของระบบ
3. คิดเป็นลำดับชั้น (Hierarchy) เป็นการคิดที่ว่าระบบหนึ่ง ๆ อาจมาจากระบบย่อย ๆ หลายระบบประกอบกัน และในขนาดเดียวกันระบบย่อยก็มีความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ
4. คิดแบบมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน (Interaction) การมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันในระบบด้วยกัน รวมถึงความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม
5. คิดแบบวงจรป้อนกลับ (Feedback-Loops) การคิดเชิงระบบนั้นเป็นการคิดในลักษณะเป็นวง กล่าวคือหากระบบเกิดความเปลี่ยนแปลงในส่วนใดส่วนหนึ่งจะส่งผลกระทบหรือเกิดผลกับส่วนอื่น การสร้างวงจรป้อนกลับเป็นการเขียนความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล เพื่อนำไปสู่แนวทางการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพต่อไป

งานวิจัยของ Raved and Yarden (2014) ได้พัฒนาแบบจำลองของการคิดเชิงระบบในด้านชีววิทยา โดยผสมผสานแบบจำลอง 3 แบบจำลอง คือ แบบจำลองลำดับชั้นของการคิดเชิงระบบ (Assaraf and Orion, 2010) แบบจำลองความสามารถของการคิดเชิงระบบสำหรับการศึกษาชีววิทยาของเซลล์ (Roald Verhoef, 2003) และแบบจำลองโครงสร้าง-พฤติกรรม-หน้าที่ (Liu & Hmelo-Silver, 2009) โดยเรียกรูปแบบนี้ว่า รูปแบบผสมผสานรวม (Unified model) ซึ่งอธิบายลำดับชั้นของการคิดเชิงระบบ 4 ชั้น รวมถึงระดับของการคิดเชิงระบบในแต่ละชั้น 2 ระดับ คือ ระดับพื้นฐาน (Basic level) และระดับสูง (High level) โดยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 3 คำอธิบายระดับของการคิดในแต่ละลำดับ

ขั้นของการคิดเชิงระบบตามรูปแบบผสานรวม (Raved & Yarden, 2014 อ้างถึงใน อิทธิศักดิ์ ศรีจันทร์, 2560)

ตารางที่ 3 คำอธิบายระดับของการคิดในแต่ละลำดับขั้นของการคิดเชิงระบบตามรูปแบบผสานรวม

ลำดับขั้นของการคิดเชิงระบบ	คำอธิบายระดับของการคิด	
	ระดับพื้นฐาน	ระดับสูง
1. ความสามารถในการระบุองค์ประกอบในระบบ	จัดโครงสร้างองค์ประกอบได้เพียงระดับขั้นเดียว	จัดโครงสร้างองค์ประกอบมากกว่า 1 ระดับขั้นได้
2. ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างองค์ประกอบที่อยู่ในระดับขั้นเดียวกันได้	ระบุความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่อยู่ในระดับขั้นเดียวกันได้	ระบุความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่อยู่คนละระดับขั้นได้
3. ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์เชิงพลวัตระหว่างองค์ประกอบในระบบ	ระบุความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่อยู่ในระดับขั้นเดียวกันได้	ระบุความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่อยู่คนละระดับขั้นได้
4. ความสามารถในการจัดองค์ประกอบในระบบให้อยู่ในกรอบปฏิสัมพันธ์	สร้างกรอบปฏิสัมพันธ์รูปแบบเส้นตรงและรูปแบบแตกกิ่ง	สร้างกรอบปฏิสัมพันธ์ในรูปแบบสายโซ่หรือรูปแบบเครือข่าย

ปารมี ศรีบุญทิพย์ (2560) ได้ศึกษาองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา โดยมีพื้นฐานสำคัญจากแนวคิดของ Peter M. Senge (1994); Goodman and Karash (1995); Anderson and Johnson (1997); Berry Richmond (2000) ประกอบกับการสัมภาษณ์ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีประสบการณ์และความรู้ทางด้านการคิดเชิงระบบ ทำให้ได้องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบ 3 องค์ประกอบ แต่ละองค์ประกอบมีตัวชี้วัด ด้านละ 2 ตัว ได้แก่

- 1) การคิดแบบองค์รวม (Holistic Thinking) ตัวบ่งชี้ที่ 1 การวิเคราะห์ปรากฏการณ์ ตัวบ่งชี้ที่ 2 การระบุสาเหตุของปัญหา
- 2) การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง (Cycle Thinking) ตัวบ่งชี้ที่ 1 การระบุความสัมพันธ์ของสาเหตุ ตัวบ่งชี้ที่ 2 เขียนความสัมพันธ์ของปัญหาในรูปแบบแผนภาพ
- 3) การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ (Creative Problem Solving) ตัวบ่งชี้ที่ 1 การอธิบายแผนภาพวงจรที่เกิดขึ้น ตัวบ่งชี้ที่ 2 เสนอแนวทางในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบ (ลักษณะบ่งชี้ของการคิดเชิงระบบ) สามารถแบ่งได้ตามองค์ประกอบของ ปารมี ศรีบุญทิพย์ (2560) ตามตารางที่ 4 การสังเคราะห์องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบโดยแบ่งองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบเป็น 3 องค์ประกอบคือ 1) การคิดแบบองค์รวม 2) การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และ 3) การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์



ตารางที่ 4 องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบที่สังเคราะห์ได้

องค์ประกอบ การคิดเชิงระบบ	Anderson and Johnson (1997)	Assaraf and Orion (2005)	Raved and Yarden (2014)	มนตรี แย้มกสิกร (2546)	อรรณพ ชนาศรี (2552)	บุญเลี้ยง พุ่มทอง (2553)
1. การคิดแบบองค์รวม	1. การคิดแบบองค์รวม	1. ความสามารถในการเข้าใจธรรมชาติและวิถีชีวิตในระบบ	1. ความสามารถในการระบุองค์ประกอบในระบบ	1. กำหนดประเด็นปัญหา	1. การมองแบบองค์รวม	1. กระตุ้นให้เกิดปัญหา/ให้สถานการณ์ (จัดแจ้งปัญญา)
	2. การสร้างสมดุลระหว่างมุมมองระยะสั้นกับมุมมองระยะยาว	2. ความเข้าใจในมิติที่มองไม่เห็นระบบ		2. วิเคราะห์ปัจจัยย่อย		
2. การคิดแบบวิพากษ์ เชื่อมโยง	3. มีความเป็นพลวัตอันซับซ้อนของระบบ	3. ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในระบบ	2. ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างองค์ประกอบในระบบ	3. หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยย่อย	2. การมองระบบใหญ่สู่ระบบย่อย	2. ทำความเข้าใจกับปัญหาและแสวงหาข้อมูลหรือขั้นตอนจัดการระเบียบปัญหา (แสวงหาข้อมูล)
	4. มีการใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ และข้อมูลเชิงคุณภาพ	4. ความสามารถในการจัดลำดับองค์ประกอบและกระบวนการของระบบภายในกรอบความสัมพันธ์				
	5. หน้าที่ขององค์ประกอบย่อยและหน้าที่ของทั้งระบบมีอิทธิพลต่อกันและกัน	5. การคิดสืบย้อนและพยากรณ์				
			3. ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์เชิงพลวัตระหว่างองค์ประกอบในระบบ	4. สังเคราะห์วงจรปัญหา	3. การเชื่อมโยงกับบริบทสิ่งแวดล้อม	3. พัฒนาการคิด (เพิ่มพูนวงจร)
			5. ความสามารถในการจัดองค์ประกอบในระบบให้อยู่ในกรอบปฏิสัมพันธ์		5. การคิดเชื่อมโยงและย้อนกลับระหว่างสิ่งต่าง ๆ	4. สื่อสารและปรับปรุงการคิด (สัญจรความคิด)
					6. การคิดอย่างเป็นกระบวนการ	

องค์ประกอบ การคิดเชิงระบบ	Anderson and Johnson (1997)	Assaraf and Orion (2005)	Raved and Yarden (2014)	มนตรี แยมกลีกร (2546)	อรรวรรณ ชนะศรี (2552)	บุญเสียง ทุมทอง (2553)
3. การคิดแก้ปัญหา อย่างสร้างสรรค์		6. ความสามารถในการ สร้างให้เกิดความเข้าใจ โดยทั่วไป 7. ความสามารถในการ ระบุความสัมพันธ์เชิง พลวัตในระบบ				5. วางแผนการนำเสนอการคิด (เสนอแนวคิดของกลุ่มใหญ่)
						6. นำเสนอผลการคิด (เปิดใจ ร่วมกัน)
						7. อภิปรายผลการคิด (สร้างสรรค์วิสัยทัศน์)
						8. ประเมินกระบวนการคิด (สะท้อนกลับกระบวนการ)

องค์ประกอบ การคิดเชิงระบบ	พงศ์ที่ สัตวทวา (2555)	ปรยานันท์ เหมรงไธสง (2558)	นิยม กิมาวฒน์ (2559)	ฤษัรตน์ ชิตมกค และสมยศ ชิตมกค (2560)	อิทธิกัต์ ศิริจันทร (2560)
1. การคิดแบบองคร้วม	1. ระบุนและนิยามปัญหา 2. ระบุนปัจจัยที่ส่งเสริม ปัญหา	1. กำหนดปัญหา 2. การระบุนตัวแปรที่ เกี่ยวข้องกัปัญหา	1. การกำหนดประเด็นปัญหา 2. วิเคราะห์ปัจจัยย่อย	1. การคิดแบบองคร้วม (Holistic)	1. การระบุนองค์ประกอบในระบบ
2. การคิดแบบวิจักร เชื่อมโยง	3. เชื่อมโยงและระบุน ความสัมพันธ์ของแต่ ละปัจจัย	3. การเขียนแผนภาพ แสดงแบบแผน พฤติกรรม 4. การเขียนแผนภาพวงจร สาเหตุ	3. หาความสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัยย่อย 4. สังเคราะห์หังจรปัญหา	2. การคิดที่สัมพันธ์กัการมอ บริบท (Context)	2. การระบุนความสัมพันธ์พื้นฐาน ระหว่างองค์ประกอบในระบบ
3. การคิดแก้ปัญหอย่าง สร้างสรค์	4. จัดโครงสร้างของ ระบบ 5. กำหนดแนวทาง ปฏิบัติเพื่อการ เปลี่ยนแปลง	5. การนำเสนอผลงาน 6. การประเมิน กระบวนการ		3. คิดเป็นลำดับขั้น (Hierarchy) 4. คิดแบบมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน (Interaction) 5. คิดแบบวงจรป้อนกลับ (Feedback-Loops)	3. การระบุนความสัมพันธ์เชิง พลวัตระหว่างองค์ประกอบใน ระบบ 4. การแสดงกรอบความสัมพัธ์ ขององค์ประกอบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงระบบ

Kubanek (1999) ได้ศึกษาเรื่องการคิดเชิงระบบในโรงเรียนมัธยม ที่จะพัฒนาเรื่องการเรียนรู้ และการทำให้นักเรียนเรียนกลายมาเป็นนักคิดเชิงระบบ โดยกระบวนการเรียนรู้เชิงระบบ 6 ขั้นตอน ของ Goodman ได้แก่ 1. บอกเล่าเรื่องราว 2. วาดกราฟแสดงพฤติกรรมภายใต้ช่วงเวลา 3. นำเสนอความคิด 4. กำหนดโครงสร้าง 5. ไปสู่การพัฒนาที่ลึกซึ้ง 6. วางแผนการแก้ปัญหา ผลการศึกษาพบว่า การฝึกการคิดเชิงระบบทำให้นักเรียนได้รู้จัดการวางแผนและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในห้องเรียน สัมพันธภาพระหว่างครูและนักเรียน นักเรียนและองค์ความรู้ และโรงเรียนกับสังคม

มนตรี แยมกสิกร (2546) ได้ศึกษาการพัฒนาแบบการสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบของนิสิตปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการศึกษา ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบของนิสิตระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการศึกษา หลังจากผ่านการทดลองใช้และปรับปรุง ขั้นสุดท้ายแล้ว มีลำดับการสอน 6 ขั้นตอน คือ ชัดแจ้งกังขา ค้นคว้าข้อมูล เพิ่มพูนปัญญา สัมมนา มวลมิตร เสนอความคิดกลุ่มใหญ่ และสร้างความมั่นใจร่วมกัน ผลการประเมินประสิทธิภาพรูปแบบการสอน พบว่า ค่าประสิทธิภาพโดยรวมทั้ง กระบวนการคิดเชิงระบบ คุณภาพการคิดเชิงระบบ และผลสัมฤทธิ์ด้านเนื้อหา พบว่า หน่วยการเรียนรู้เรื่องการจัดการศึกษานอกสถานที่ที่มีค่าประสิทธิภาพ 77.097 / 78.631 หน่วยการเรียนรู้เรื่องการจัดการนิทรรศการมีค่าประสิทธิภาพ 70.007 / 79.923 หน่วยการเรียนรู้เรื่องกิจกรรมกลุ่มสัมพันธ์และเกมมีค่าประสิทธิภาพ 77.022 / 75.062 หน่วยการเรียนรู้เรื่องการเขียนมีค่าประสิทธิภาพ 81.361 / 79.825 เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพของทุกหน่วยการเรียนรู้แล้ว พบว่า มีเฉพาะหน่วยการเรียนรู้เขียนเท่านั้นที่มีค่าประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่ถ้าพิจารณาแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงของค่าประสิทธิภาพโดยรวม พบว่า มีพัฒนาการความก้าวหน้าที่มีแนวโน้มสูงขึ้นของค่าประสิทธิภาพทั้งด้านกระบวนการเรียน และหลังการเรียนของแต่ละหน่วยการเรียนรู้ ผลการวัดความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการเรียนจากรูปแบบการสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบที่พัฒนาขึ้น พบว่า นิสิตมีความพึงพอใจระดับมาก

โครงการระบบพลวัตในการศึกษา (มนตรี แยมกสิกร, 2546 อ้างอิงจาก The Systems Dynamics in Education Project: SDEP. 2001. MIT System Dynamics in Education Project) เป็นโครงการทดลองบูรณาการการคิดเชิงระบบเข้ามาฝึกกับนักศึกษาระดับปริญญาตรีของสถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซต (Massachusetts Institute of Technology: MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มก่อตั้งโครงการเมื่อ ค.ศ. 1990 การทดลองตามโครงการนี้อยู่ภายใต้การดูแลของ Professor Emeritus และ Senior Lecture Jay W. Forrest ลักษณะการดำเนินการเป็นการสร้างแบบฝึกที่มีความหลากหลายให้นักศึกษาได้ศึกษาเรียนรู้ด้วยตนเองในการคิดเชิงระบบ โดยเป็นการจัดสถานการณ์การฝึกและทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ STELLA II ซึ่งมีลักษณะเป็นการสอนผ่านการฝึกภายใต้เกมและสถานการณ์จำลอง ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งคือ การเรียนรู้จะเน้นการเรียนรู้แบบบันไดเวียนของการเรียน (The Spiral Learning Approach) กล่าวคือ จะเป็นการกระทำซ้ำในลักษณะที่อาศัยข้อมูลย้อนกลับ นำมาปรับปรุงเพื่อวางแผนปฏิบัติการครั้งใหม่ที่มีความละเอียดรอบคอบสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น กระทำซ้ำในลักษณะนี้จนกว่าจะถึงเกณฑ์ที่กำหนด

อรรวรรณ ชนะศรี (2552) ได้ศึกษาการพัฒนาแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลยุทธ์การจัดการความรู้เพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ผลการวิจัยพบว่า

รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลยุทธ์ที่จัดการความรู้ เพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด กล่าวคือ ผลจากการศึกษานำร่อง คะแนนระหว่างและหลังการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนเป็นไปตามมาตรฐาน (E1/E2) 80.83/82.50 84.17/83.33 และใช้ในการทดลองจำนวนนักเรียน 90 คน คะแนนระหว่างและหลังการใช้รูปแบบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน 83.17/84.06 เมื่อศึกษาความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียนกลุ่มทดลองภายหลังการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนการใช้รูปแบบการเรียนรู้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียนกลุ่มทดลอง ภายหลังการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

บุญเลี้ยง พุ่มทอง (2553) ได้ศึกษาการพัฒนาแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาระบวนการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ ระดับชั้นช่วงชั้นที่ 4 ผลการวิจัยพบว่า

1. รูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาระบวนการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ ระดับช่วงชั้นที่ 4 พบว่า มีองค์ประกอบ 6 ด้าน ได้แก่ จุดประสงค์การเรียนรู้ ผู้เรียนและผู้สอน สภาพแวดล้อมในการเรียน การเตรียมการเรียนรู้ การดำเนินการจัดการเรียนรู้ และการประเมินผลการเรียนรู้ และมี 8 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นกระตุ้นให้เกิดปัญหา/ให้สถานการณ์ (ขัดแย้งปัญหา) 2) ขั้นทำความเข้าใจกับปัญหา และแสวงหาข้อมูล หรือขั้นจัดระเบียบปัญหา (แสวงหาข้อมูล) 3) ขั้นพัฒนาความคิด (เพิ่มพูนวงจร) 4) ขั้นสื่อสารและปรับปรุงการคิด (สังเคราะห์ความคิด) 5) ขั้นวางแผนการนำเสนอผลการคิดของกลุ่ม (เสนอความคิดกลุ่มใหญ่) 6) ขั้นนำเสนอผลการคิด (เปิดใจร่วมกัน) 7) ขั้นอภิปรายผลการคิด (สร้างสรรค์วิสัยทัศน์) และ 8) ขั้นประเมินกระบวนการคิด (สะท้อนกลับกระบวนการ)

2. ผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาระบวนการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ ระดับช่วงชั้นที่ 4 พบว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด และคะแนนเฉลี่ยกระบวนการคิดเชิงระบบในการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมกระบวนการคิดเชิงระบบหลังเรียนในแต่ละโรงเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p < .01$)

Connell, Remington and Armstrong (2012) ได้ศึกษาเรื่องการประเมินทักษะการคิดเชิงระบบในนักศึกษาปริญญาตรี จุดมุ่งหมายของการศึกษา เพื่อประเมินทักษะการคิดเชิงระบบของนักศึกษาปริญญาตรี 2 สถาบันที่ได้รับการสอนการคิดเชิงระบบที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเป็นนักศึกษาในภูมิภาคตอนกลางจำนวน 20 คน และตอนใต้จำนวน 16 คน เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินคือ แบบวัดที่มีเกณฑ์การให้คะแนน 0 ถึง 5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ t-test ผลการวิจัยพบว่า วิธีการสอนทั้ง 2 วิธี สามารถพัฒนาความสามารถของการคิดเชิงระบบของนักศึกษาให้เกิดขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาทำให้ผู้สอนได้บูรณาการการคิดเชิงระบบเข้าบรรจุเป็นหลักสูตรการเรียนการสอนของนักศึกษาปริญญาตรี

พงศ์ทิ สัตวเทวา (2555) ได้ศึกษาการพัฒนาโปรแกรมการจัดการเรียนรู้สุขศึกษาโดยใช้แนวคิดการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาที่ยั่งยืน เพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงระบบและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผลการวิจัยพบว่า โปรแกรมการจัดการเรียนรู้สุขศึกษาที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน การประเมินประสิทธิผลของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น พบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนการคิดเชิงระบบและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสุขศึกษาของนักเรียนกลุ่มทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าเฉลี่ยของคะแนน

การคิดเชิงระบบและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสุขศึกษาของนักเรียนกลุ่มทดลองหลังการทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมการจัดการเรียนรู้สุขศึกษาที่พัฒนาขึ้นสามารถเสริมสร้างการคิดเชิงระบบและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้

ศรินดา จามรมาน (2556) ได้ศึกษารูปแบบการจัดสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิสต์บนเครือข่ายด้วยกระบวนการสืบสอบเพื่อการพัฒนาการคิดเชิงระบบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืนของนักศึกษาปริญญาตรี โดยการแบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. ศึกษาสภาพปัญหา ความต้องการในการจัดการเรียนการสอนวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืน
2. สร้างรูปแบบการเรียนการสอน
3. ทดลองใช้รูปแบบกับตัวอย่าง
4. นำเสนอรูปแบบ

แบ่งตัวอย่างตามระยะของการวิจัยคือ ระยะที่ 1 ตัวอย่างคือ ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน และนักศึกษาระดับปริญญาตรีจำนวน 20 คน ระยะที่ 3 และระยะที่ 4 ตัวอย่างคือ ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 คน และนักศึกษาระดับปริญญาตรีจำนวน 8 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบประเมินตนเองด้านทักษะการคิดเชิงระบบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืน แบบประเมินผลงานที่แสดงทักษะการคิดเชิงระบบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืน แผนการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน และเว็บไซต์การเรียนวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืน ผลการวิจัยพบว่า หลังการทดลองผู้เรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืนสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีลำดับความถี่ในการเลือกใช้เครื่องมือในการจัดสิ่งแวดล้อมในการเรียนรู้บนเครือข่ายในทุกขั้นตอนการเรียน ได้แก่ แหล่งการเรียนรู้ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เครื่องมือช่วยบูรณาการ ฐานความช่วยเหลือการสร้างความคิดรวบยอด เป็นฐานความช่วยเหลือเกี่ยวกับการคิด ตามลำดับ

Constantinide Michaelides and Constantinou (2014) ได้ศึกษาการคิดเชิงระบบในเด็กจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบ Systems Thinking Test (STT) จำนวน 52 ข้อ กับเด็กอายุ 10 – 14 ปี แบบทดสอบการคิดเชิงระบบได้ข้อมูลเชิงปริมาณ และข้อมูลเชิงคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ ครูผู้สอนและนักเรียน ระหว่างการวิจัยระยะแรกได้วิเคราะห์ข้อมูลของแบบวัดจากนักเรียนจำนวน 900 คน เพื่อยืนยันความตรงเชิงโครงสร้างและความเที่ยงของแบบวัดรวมทั้งการพัฒนามาตรวัด

ปริยานันท์ เหมองไสสง (2558) ได้ศึกษาการพัฒนารายวิชาเพิ่มเติมเพื่อเสริมสร้างกระบวนการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ผลการวิจัยพบว่า

1. สภาพการจัดการเรียนรู้ของครูผู้สอนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาสุรินทร์ เขต 2 อยู่ในระดับปานกลาง และมีปัญหาอยู่ในระดับมาก ข้อเสนอแนะสำหรับการฝึกกระบวนการคิดให้นักเรียนคือ ควรมีการฝึกอย่างต่อเนื่อง ควรสอนแบบโครงงาน และมีวิธีการวัดผลประเมินผลที่เหมาะสม จัดสื่อและแหล่งการเรียนรู้ที่เพียงพอ เอื้อต่อการเรียนรู้ด้วย ควรมีการพัฒนารายวิชาที่ส่งเสริมการคิด เพื่อให้ผู้เรียนสามารถคิด

แก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม ควรมีกิจกรรมที่ทำให้นักเรียนได้คิดอย่างหลากหลาย เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

2. รายวิชาเพิ่มเติม ประกอบด้วย หลักการแนวคิด จุดมุ่งหมาย ผลการเรียนรู้ คำอธิบาย รายวิชา โครงสร้างเนื้อหาและหน่วยการเรียนรู้ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ การจัดสื่อและแหล่งการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล ซึ่งมีความเหมาะสมโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก

3. ผลการใช้รายวิชาเพิ่มเติม พบว่า นักเรียนมีความสามารถในการใช้กระบวนการคิดเชิงระบบโดยมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการใช้กระบวนการคิดเชิงระบบ 15.87 คิดเป็นร้อยละ 88.00 อยู่ในระดับดี ผลจากการสังเกตพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสามารถในการใช้กระบวนการคิดเชิงระบบ พบว่า นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหา มีความสามารถในการใช้กระบวนการคิดเชิงระบบในการกำหนดปัญหา เสนอแนวคิดทางการแก้ปัญหาและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ มีคุณธรรมจริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ บรรลุผลการเรียนรู้ของรายวิชา โดยนักเรียนทุกคนสามารถกำหนดปัญหา ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหา สามารถเขียนแผนภาพแสดงแบบแผนพฤติกรรมเกี่ยวกับปัญหาและแผนภาพวงจรเชิงสาเหตุได้ สามารถนำเสนอผลของกระบวนการคิดเชิงระบบ ประเมินกระบวนการคิด สะท้อนผลการคิดเกี่ยวกับปัญหาได้อย่างถูกต้อง สำหรับผลการเปรียบเทียบความสามารถในการใช้กระบวนการคิดเชิงระบบ นักเรียนมีความสามารถในการใช้กระบวนการคิดเชิงระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และผลการศึกษาความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อรายวิชาเพิ่มเติม พบว่า นักเรียนมีความคิดเห็นรายวิชาเพิ่มเติมเพื่อเสริมสร้างกระบวนการคิดเชิงระบบมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

นิยม กิমানุวัฒน์ (2559) ได้ศึกษาการพัฒนารูปแบบการสอนเพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา

1. รูปแบบการสอนเพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ที่มี 4 องค์ประกอบ คือ 1. ขั้นตอนการจัดกิจกรรม นำเสนอเป็น 6 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นที่ 1 นำเสนอสถานการณ์ ขั้นที่ 2 พัฒนาแนวทางการคิด ขั้นที่ 3 พิจารณาปัญหา ขั้นที่ 4 สนทนาแลกเปลี่ยน ขั้นที่ 5 เรียนรู้ผลงานกลุ่ม ขั้นที่ 6 สรุปร่วมกัน 2. ระบบทางสังคม 3. หลักการตอบสนอง และ 4. ระบบที่นำมาสนับสนุน

2. รูปแบบการสอนที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพ 81.15/85.95 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ 80/80

3. กระบวนการคิดเชิงระบบของนักเรียนหลังใช้รูปแบบสอนมีคะแนนสูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการสอนเพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

Tamara N. Hrin et al. (2017) ได้ศึกษาการคิดเชิงระบบในชั้นเรียนวิชาเคมี ที่ได้รับอิทธิพลจากการใช้คำถามสังเคราะห์อย่างเป็นระบบในการพัฒนาและการประเมิน ทำการทดลองกับนักเรียนจำนวน 119 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มทดลองที่ใช้คำถามสังเคราะห์อย่างเป็นระบบในการจัดการเรียนการสอน และกลุ่มควบคุมที่มีการเรียนการสอนตามปกติ มีเครื่องมือในการวัดคือคำถามสังเคราะห์อย่างเป็นระบบและคำถามทั่วไป ทำการให้คะแนนและวัดผลโดยใช้ rubric ที่พัฒนาขึ้นในการวัดระดับการคิดเชิงระบบซึ่งแบ่งเป็น 4 ระดับ ผลการวิจัยพบว่าความแตกต่างของการคิดเชิง

ระบบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าเพศเป็นตัวแปรอิสระ นักเรียนหญิงในกลุ่มทดลองมีการคิดเชิงระบบสูงกว่านักเรียนชาย

ปารมี ศรีบุญทิพย์ (2560) ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการเรียนรู้เชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ โดยแบ่งการดำเนินการวิจัยเป็น 3 ระยะ ผลการวิจัย พบว่า

ระยะที่ 1 ศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ โดยใช้แบบวัดการคิดเชิงระบบ มีค่าความเที่ยงของแบบวัดเท่ากับ 0.86 และการวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ผลการวิจัยพบว่าองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบมี 3 องค์ประกอบ 6 ตัวบ่งชี้ ได้แก่ 1) การคิดแบบองค์รวม ตัวบ่งชี้ การวิเคราะห์ปรากฏการณ์และการระบุสาเหตุของปัญหา 2) การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง ตัวบ่งชี้ การระบุความสัมพันธ์ของสาเหตุของปัญหา และเขียนความสัมพันธ์ของปัญหาในรูปแบบภาพ 3) การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ตัวบ่งชี้ การอธิบายแผนภาพวงจรที่เกิดขึ้น และการเสนอแนวคิดในการแก้ไขปัญหาอย่างสร้างสรรค์

ระยะที่ 2 พัฒนารูปแบบการเรียนรู้เชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ที่ระหว่าง 0.80-1.00 ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 กระตุ้นการรับรู้สถานการณ์ปัญหา ขั้นตอนที่ 2 ขั้นสำรวจและค้นหาสาเหตุ ขั้นตอนที่ 3 ขั้นพัฒนาความคิด ขั้นตอนที่ 4 ขั้นสังเคราะห์ความรู้ ขั้นตอนที่ 5 ขั้นแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และขั้นตอนที่ 6 ขั้นสรุปประเมินผล

ระยะที่ 3 ศึกษาผลของรูปแบบการเรียนรู้เชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ ตัวอย่างคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่มีคะแนนการคิดเชิงระบบอยู่ในระดับน้อยที่สุด และแบ่งเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เครื่องมือที่ใช้คือแบบวัดการคิดเชิงระบบ และรูปแบบการเรียนรู้เชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงระบบ วิเคราะห์ข้อมูล โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ ผลการวิจัยพบว่า การคิดเชิงระบบโดยรวมและรายด้านของกลุ่มทดลอง หลังทดลองและเมื่อสิ้นสุดระยะติดตามผล เพิ่มขึ้นกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 การคิดเชิงระบบโดยรวมและรายด้านของกลุ่มทดลอง หลังการทดลองและสิ้นสุดระยะติดตามผล เพิ่มขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

อิทธิศักดิ์ ศรีจันทร์ (2560) ได้ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาด้วยรูปแบบผสมผสานรวมที่มีต่อความสามารถในการคิดเชิงระบบและความคงทนในการเรียนรู้ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อศึกษาความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายหลังเรียนของนักเรียนที่เรียนวิชาชีววิทยารูปแบบผสมผสานรวม เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดเชิงระบบระหว่างนักเรียนที่เรียนชีววิทยาด้วยรูปแบบผสมผสานรวมกับนักเรียนที่เรียนชีววิทยาแบบทั่วไป และเพื่อเปรียบเทียบความคงทนในการเรียนรู้ระหว่างนักเรียนที่เรียนชีววิทยาแบบผสมผสานรวมกับนักเรียนที่เรียนชีววิทยาแบบทั่วไป โดยใช้ตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์จำนวน 60 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาด้วยรูปแบบผสมผสานรวมจำนวน 32 คน และกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาแบบทั่วไปจำนวน 28 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือ 1) แบบประเมินการคิดเชิงระบบ และ 2) แบบสอบถามผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ผลของการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนกลุ่มทดลองมีความสามารถในการคิดเชิงระบบอยู่ในระดับพื้นฐาน 2) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยแผนผังมโนทัศน์การคิดเชิงระบบสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) นักเรียนกลุ่มทดลองมีความคงทนในการเรียนรู้ ส่วนนักเรียนกลุ่มควบคุมไม่มีความคงทนในการเรียนรู้หลังทำการทดลอง 2 ครั้ง เมื่อผ่านไป 5 สัปดาห์

กฤติกรณ แกมใบ (2562) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้สุขศึกษาโดยใช้เทคนิคการตั้งคำถามขั้นสูงที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการคิดเชิงระบบก่อนและหลังของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการคิดเชิงระบบหลังการทดลองระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ตัวอย่างคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 60 คน ที่ได้จากการสุ่มอย่างง่าย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แผนการจัดการเรียนรู้สุขศึกษาโดยใช้เทคนิคการตั้งคำถามขั้นสูง จำนวน 8 แผน และแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ เจตคติ การปฏิบัติ และการคิดเชิงระบบ ผลการวิจัยพบว่า

1. ค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ เจตคติ การปฏิบัติ และการคิดเชิงระบบของนักเรียนกลุ่มทดลองหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าเฉลี่ยของคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ เจตคติ การปฏิบัติ และการคิดเชิงระบบของนักเรียนกลุ่มควบคุมหลังการทดลองไม่แตกต่างจากก่อนทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ เจตคติ การปฏิบัติ และการคิดเชิงระบบหลังทดลองของนักเรียนกลุ่มทดลองสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการคิดเชิงระบบ ผู้วิจัยได้สรุปองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบ เครื่องมือและรูปแบบของการประเมินการคิดเชิงระบบได้ดังตารางที่ 5 พบว่างานวิจัยการคิดเชิงระบบจะเน้นรูปแบบที่กระบวนการพัฒนาการคิดเชิงระบบ องค์ประกอบมีความแตกต่าง ด้านการวัดและประเมินการคิดเชิงระบบมีรูปแบบของการวัดที่หลากหลายทั้งใช้แบบประเมิน ประเมินความสามารถ การคิดเชิงระบบ โดยใช้เกณฑ์จากรูปรีดที่กำหนดซึ่งมีทั้งกำหนดคะแนน 3 คะแนนและ 5 คะแนน นอกจากนี้ยังใช้แบบวัดการคิดเชิงระบบที่สร้างขึ้นโดยกำหนดสถานการณ์เพื่อให้ผู้เรียนแก้ปัญหา

ตารางที่ 5 การสรุปเครื่องมือและรูปแบบของการประเมินการคิดเชิงระบบ

แหล่งข้อมูล	เรื่องที่ศึกษา	องค์ประกอบ	เครื่องมือที่ใช้	รูปแบบ
มนตรี แย้มกสิกร (2546)	การพัฒนารูปแบบการสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบของนิสิตปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการศึกษา	1. การกำหนดประเด็นปัญหา 2. วิเคราะห์ปัจจัยย่อย 3. หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยย่อย 4. สังเคราะห์วงจรปัญหา	- แบบวัดความรู้เกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการศึกษานอกสถานที่	- แบบสอบอัตนัยเขียนตอบ แบบไม่จำกัดความ ให้คะแนนโดยการกำหนดรูปรีค
อรรณ ชนะศรี (2552)	การพัฒนาวิธีแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลยุทธ์การจัดการความรู้เพื่อพัฒนาคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6	1. การมองแบบองค์รวม 2. การมองระบบใหญ่สู่ระบบย่อย 3. การเชื่อมโยงกับบริบทสิ่งแวดล้อม 4. การคิดเชื่อมโยงและย้อนกลับระหว่างสิ่งต่าง ๆ 5. การคิดอย่างเป็นกระบวนการ	- แบบทดสอบการคิดเชิงระบบ	- แบบสอบอัตนัยเขียนตอบ จำนวน 10 ข้อ กำหนดเวลาในการทำ 90 นาที
บุญเสียง ทมทอง (2553)	การพัฒนาแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากิจกรรมการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ ระดับชั้นช่วงชั้นที่ 4	1. กระตุ้นให้เกิดปัญหา / ให้สถานการณ์ (ขัดแย้ง ปัญหา) 2. ทำความเข้าใจกับปัญหา และแสวงหาข้อมูลหรือขึ้น	- แบบประเมินกระบวนการคิดเชิงระบบ	

แหล่งข้อมูล	เรื่องที่ศึกษา	องค์ประกอบ	เครื่องมือที่ใช้	รูปแบบ
		<p>จัดการระเบียบปัญหา (แสวงหาข้อมูล)</p> <p>3. พัฒนาความคิด (เพิ่มพูนวงจร)</p> <p>4. สื่อสารและปรับปรุงการคิด (สัญจรความคิด)</p> <p>5. วางแผนการนำเสนอการคิด (เสนอความคิดของกลุ่มใหญ่)</p> <p>6. นำเสนอผลการคิด (เปิดใจร่วมกัน)</p> <p>7. อภิปรายผลการคิด (สร้างสรรค์วิสัยทัศน์)</p> <p>8. ประเมินกระบวนการคิด (สะท้อนกลับกระบวนการ)</p>		
Connell Remington and Armstrong (2012)	การประเมินทักษะการคิดเชิงระบบในนักศึกษาระดับปริญญาตรี	-	- แบบวัดการคิดเชิงระบบ	<p>- แบบทดสอบสถานการณ์เขียนตอบอธิบาย มีเกณฑ์การให้คะแนนโดยการกำหนดรูบรีค 0-5 คะแนน</p> <p>-</p>

แหล่งข้อมูล	เรื่องที่ศึกษา	องค์ประกอบ	เครื่องมือที่ใช้	รูปแบบ
พงศินที่ ลัทธิเต๋า (2555)	การพัฒนาโปรแกรมการจัดการเรียนรู้สู่ศตวรรษที่ 21 โดยใช้แนวคิดการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาที่ยั่งยืน เพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงระบบและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4	<ol style="list-style-type: none"> 1. ระบุและนิยามปัญหา 2. ระบุปัจจัยที่ส่งเสริมปัญหา 3. เชื่อมโยงและระบุความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย 4. จัดโครงสร้างของระบบ 5. กำหนดแนวทางปฏิบัติเพื่อการเปลี่ยนแปลง 	- แบบวัดการคิดเชิงระบบ	- แบบสอบอัตนัยเขียนตอบ 3 ข้อ จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ 1 สถานการณ์
ครินดา จามรมาน (2556)	รูปแบบการจัดสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิสต์บนเครือข่ายด้วยกระบวนการสืบสอบเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืนของนักศึกษาปริญญาตรี	<ol style="list-style-type: none"> 1. การคิดอย่างมีการปรับตัว (Adaptation) 2. การคิดเป็นลำดับขั้น (Hierarchy) 3. การคิดเป็นองค์รวม (Holistic) 4. การคิดอย่างมีแบบแผน (Pattern) 5. การคิดเป็นเครือข่าย (Networks) 	<ul style="list-style-type: none"> - แบบประเมินคุณภาพตนเองด้านทักษะความคิดเชิงระบบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืน - แบบประเมินตนเองด้านทักษะการคิดเชิงระบบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืน 	<ul style="list-style-type: none"> - แบบประเมิน 3 ระดับ ประกอบด้วย เหมาะสม ไม่แน่ใจ ไม่เหมาะสม - แบบประเมิน 5 ระดับ

แหล่งข้อมูล	เรื่องที่ศึกษา	องค์ประกอบ	เครื่องมือที่ใช้	รูปแบบ
Constantinide Michaelides and Constantinou (2014)	การคิดเชิงระบบในเด็ก จุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาแบบวัด การคิดเชิงระบบ Systems Thinking Test (STT)	-	- แบบวัดการคิดเชิงระบบ จำนวน 52 ข้อ สำหรับเด็ก อายุ 10-14 ปี	-
ปริยานันท์ เหมธงไธสง (2558)	การพัฒนารายวิชาเพิ่มเติม เพื่อเสริมสร้างกระบวนการคิด เชิงระบบของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 3	1. การกำหนดปัญหา 2. การระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้อง กับปัญหา 3. การเขียนแผนภาพแสดง แบบแผนพฤติกรรม 4. การเขียนแผนภาพวงจร สาเหตุ 5. การนำเสนอผลงาน 6. การประเมินกระบวนการ	-	-
นิยม กิमानุวัฒน์ (2559)	การพัฒนารูปแบบการสอน เพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิง ระบบ สำหรับนักเรียนชั้น มัธยมศึกษา	1. การกำหนดประเด็นปัญหา 2. วิเคราะห์ปัจจัยย่อย 3. หาความสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัยย่อย 4. สังเคราะห์วงจรปัญหา	- แบบประเมินพฤติกรรม การคิดเชิงระบบ	- ประเมินความสามารถ กระบวนการ

แหล่งข้อมูล	เรื่องที่ศึกษา	องค์ประกอบ	เครื่องมือที่ใช้	รูปแบบ
Tamara N. Hirin (2017)	การคิดเชิงระบบในชั้นเรียน วิชาเคมี ที่ได้รับอิทธิพลจาก การใช้คำถามสังเคราะห์อย่าง เป็นระบบในการพัฒนาและ การประเมิน		- แบบประเมินพฤติกรรมการ คิดเชิงระบบ	- ประเมินความสามารถ กระบวนการ
ปารมี ศรีบุญทิพย์ (2560)	การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ เชิงบูรณาการเพิ่มเสริมสร้าง การคิดเชิงระบบสำหรับ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัย ของรัฐ	1. การคิดแบบองค์รวม 2. การคิดแบบวัฏจักร เชื่อมโยง 3. การคิดแก้ปัญหาอย่าง สร้างสรรค์	- แบบวัดการคิดเชิงระบบ	- แบบสอบอัตนัย กำหนดสถานการณ์ 1 ข้อ 6 ข้อ
อิทธิศักดิ์ ศิริจันทร์ (2560)	ผลของการจัดการเรียนรู้ ชีววิทยาด้วยรูปแบบผล รวมที่มีต่อความสามารถใน การคิดเชิงระบบและความ คงทนในการเรียนรู้ของ นักเรียนมัธยมศึกษาตอน ปลาย	1. การระบุองค์ประกอบใน ระบบ 2. การระบุความสัมพันธ์ พื้นฐานระหว่าง องค์ประกอบในระบบ 3. การระบุความสัมพันธ์เชิง พลวัตระหว่าง องค์ประกอบในระบบ	- แบบประเมินการคิดเชิงระบบ เรื่อง ระบบต่อมไร้ท่อ	- ประเมินความสามารถใน การคิดเชิงระบบ โดย กำหนดเกณฑ์การให้คะแนน

แหล่งข้อมูล	เรื่องการศึกษา	องค์ประกอบ	เครื่องมือที่ใช้	รูปแบบ
		4. การแสดงการอุปถัมภ์ ขององค์ประกอบ		
กฤตกรรม แกมใบ (2562)	ผลการจัดการเรียนรู้สู่ศตวรรษที่ โดยใช้เทคนิคการตั้งคำถาม ขั้นสูงที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนและการคิดเชิง ระบบของนักเรียน มัธยมศึกษาปีที่ 4	1. การคิดแบบองค์รวม 2. การคิดแบบวิพากษ์ เชื่อมโยง 3. การแก้ปัญหาอย่าง สร้างสรรค์	- แบบวัดการคิดเชิงระบบแบบ ผังมโนทัศน์	- อัดโน้ตเขียนตอบตาม ประเด็นของสถานการณ์ที่ กำหนดให้ โดยการสร้าง แผนผังมโนทัศน์

ตอนที่ 2 มาตรฐานการเรียนรู้ และสาระการเรียนรู้ช่วงชั้น วิชาคณิตศาสตร์

ความสำคัญของความรู้ทางคณิตศาสตร์

คณิตศาสตร์เป็นศาสตร์ที่กล่าวถึงสิ่งที่เป็นนามธรรม มีโครงสร้างประกอบด้วยคำนิยาม นิยาม สัจพจน์ที่เป็นข้อตกลงเบื้องต้น จากนั้นจึงใช้เหตุผลที่สมเหตุสมผลมาสร้างทฤษฎีบทต่าง ๆ ขึ้น และนำไปใช้อย่างเป็นระบบ อัมพร ม้าคนอง (2553) กล่าวถึงสิ่งที่นักเรียนจะเรียนรู้ในวิชาคณิตศาสตร์โดยตรง คือ ข้อเท็จจริงทางคณิตศาสตร์ ทักษะทางคณิตศาสตร์ มโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ และกฎคณิตศาสตร์

สิริพร ทิพย์คง (2545) ได้กล่าวถึงสิ่งที่ผู้เรียนควรได้รับในการเรียนคณิตศาสตร์ดังนี้

1. มีความรู้และความเข้าใจในคณิตศาสตร์พื้นฐานและทักษะการคำนวณ สามารถเลือกหลักการ กฎ หรือสูตรมาใช้ในการแก้ปัญหาได้
2. มีเหตุผลเชิงตรรกะในการคิด สามารถถ่ายทอดความคิดได้อย่างชัดเจน
3. มีความประทับใจ มองเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของวิชาคณิตศาสตร์ ตลอดจนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์
4. มีความสามารถในการใช้ความคิดรวบยอดทางคณิตศาสตร์ มีทักษะในการเรียนรู้และสามารถนำความรู้ไปใช้ในประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

กระทรวงศึกษาธิการ (2560) กล่าวว่า คณิตศาสตร์ช่วยให้มนุษย์มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบและถี่ถ้วน ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่า คณิตศาสตร์สามารถทำให้ผู้เรียนเกิดการคิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน สามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้เหตุผล ทักษะในการตัดสินใจที่เกิดจากการเรียนคณิตศาสตร์ การใช้ข้อเท็จจริง หลักการ และกระบวนการทางคณิตศาสตร์มาแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ประยุกต์ใช้ให้เข้ากับชีวิตประจำวันได้

มาตรฐานการเรียนรู้ และสาระการเรียนรู้ช่วงชั้น วิชาคณิตศาสตร์

ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ได้คำนึงถึงการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะการเรียนรู้ที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 เป็นสำคัญ โดยมีการจัดทำมาตรฐานการเรียนรู้ และตัวชี้วัดที่มุ่งเน้นการเตรียมผู้เรียนให้มีทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ การใช้เทคโนโลยี การสื่อสารและการร่วมมือ ที่สามารถส่งผลให้ผู้เรียนรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของระบบต่าง ๆ ทั้งระบบเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสภาพแวดล้อม ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสามารถในการแข่งขันและอยู่ร่วมกันกับผู้อื่นในประชาคมโลกได้ ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้ในวิชาคณิตศาสตร์จะถือว่าประสบความสำเร็จได้นั้นจะต้องเตรียมให้ผู้เรียนมีความพร้อมด้านต่าง ๆ เพื่อที่จะไปประกอบอาชีพเมื่อเรียนจบ หรือการศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น จึงจำเป็นต้องจัดการศึกษาที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมตามศักยภาพของผู้เรียน

กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) ได้แบ่งเป็น 3 สาระ ได้แก่ จำนวนและพีชคณิต การวัดและเรขาคณิต และสถิติและความน่าจะเป็น

จำนวนและพีชคณิต เรียนรู้เกี่ยวกับระบบจำนวนจริง สมบัติเกี่ยวกับจำนวนจริง อัตราส่วน ร้อยละ การประมาณค่า การแก้ปัญหาเกี่ยวกับจำนวน การใช้จำนวนในชีวิตจริง แบบรูป ความสัมพันธ์ฟังก์ชัน เซต ตรรกศาสตร์ นิพจน์ เอกนาม พหุนาม สมการ ระบบสมการ อสมการ กราฟ ดอกเบี้ยและมูลค่าเพิ่มของเงิน ลำดับและอนุกรม การนำความรู้เกี่ยวกับจำนวนและพีชคณิตไปใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ

การวัดและเรขาคณิต เรียนรู้เกี่ยวกับ ความยาว ระยะทาง น้ำหนัก พื้นที่ ปริมาตรและความจุ เงินและเวลา หน่วยวัดระบบต่าง ๆ การคาดคะเนเกี่ยวกับการวัด อัตราส่วนตรีโกณมิติ รูปเรขาคณิต และสมบัติของรูปเรขาคณิต การนิยาม แบบจำลองทางเรขาคณิต ทฤษฎีบททางเรขาคณิต การแปลงทางเรขาคณิตในเรื่องการเลื่อนขนาน การสะท้อน การหมุน และการนำความรู้เกี่ยวกับการวัดและเรขาคณิตไปใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ

สถิติและความน่าจะเป็น เรียนรู้เกี่ยวกับ การตั้งคำถามทางสถิติ การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณค่าสถิติ การนำเสนอและแปลผลสำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพและปริมาณ หลักการนับเบื้องต้น ความน่าจะเป็น การใช้ความรู้เกี่ยวกับสถิติและความน่าจะเป็นในการอธิบายเหตุการณ์ต่าง ๆ และช่วยในการตัดสินใจ

สาระ มาตรฐานการเรียนรู้ และตัวชี้วัด ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

สาระที่ 1 จำนวนและพีชคณิต

มาตรฐาน ค 1.1 เข้าใจความหลากหลายของการแสดงจำนวน ระบบจำนวน การดำเนินการของจำนวน ผลที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการ สมบัติของการดำเนินการ และการนำไปใช้

ม.4 1. เข้าใจและใช้ความรู้เกี่ยวกับเซตและตรรกศาสตร์เบื้องต้น ในการสื่อสารและสื่อความหมายทางคณิตศาสตร์

ม.5 1. เข้าใจความหมายและใช้สมบัติเกี่ยวกับการบวก การคูณ การเท่ากัน และการไม่เท่ากัน ของจำนวนจริงในรูปกรณ์ท์และจำนวนจริงในรูปเลขยกกำลังที่มีเลขชี้กำลังเป็นจำนวนตรรกยะ

ม.6 -

มาตรฐาน ค 1.2 เข้าใจและวิเคราะห์แบบรูป ความสัมพันธ์ ฟังก์ชัน ลำดับและอนุกรม และนำไปใช้

ม.4 -

ม.5 1. ใช้ฟังก์ชันและกราฟของฟังก์ชันอธิบายสถานการณ์ที่กำหนด
2. เข้าใจและนำข้อมูลความรู้เกี่ยวกับลำดับและอนุกรมไปใช้

ม.6 -

มาตรฐาน ค 1.3 ใช้นิพจน์ สมการ และอสมการ อธิบายความสัมพันธ์หรือช่วยแก้ปัญหาที่กำหนด

ม.4 -

ม.5 1. เข้าใจและใช้ความรู้เกี่ยวกับดอกเบี้ยและมูลค่าของเงินในการแก้ปัญหา

ม.6 -

สาระที่ 3 สถิติและความน่าจะเป็น

มาตรฐาน ค 3.1 เข้าใจกระบวนการทางสถิติ และใช้ความรู้ทางสถิติในการแก้ปัญหา

ม.4 -

ม.5 -

ม.6 1. เข้าใจและใช้ความรู้ทางสถิติในการนำเสนอข้อมูล และแปลความหมายของค่าสถิติ เพื่อประกอบการตัดสินใจ

มาตรฐาน ค 3.2 เข้าใจหลักการนับเบื้องต้น ความน่าจะเป็น และนำไปใช้

ม.4 1. เข้าใจและใช้หลักการบวกและการคูณ การเรียงสับเปลี่ยน และการจัดหมู่ในการแก้ปัญหา

2. หาความน่าจะเป็นและนำความรู้เกี่ยวกับความน่าจะเป็นไปใช้

ม.5 -

ม.6 -

คุณภาพผู้เรียน

จากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) ได้กำหนดคุณภาพผู้เรียนเมื่อจบการศึกษาโดยแบ่งเป็น 4 ช่วงชั้น โดยเมื่อจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ผู้เรียนจะต้อง

- เข้าใจและใช้ความรู้เกี่ยวกับเซตและตรรกศาสตร์เบื้องต้น ในการสื่อสาร และสื่อความหมายทางคณิตศาสตร์

- เข้าใจและใช้หลักการนับเบื้องต้น การเรียงสับเปลี่ยน และการจัดหมู่ ในการแก้ปัญหาและนำความรู้เกี่ยวกับความน่าจะเป็นไปใช้

- นำความรู้เกี่ยวกับเลขยกกำลัง ฟังก์ชัน ลำดับและอนุกรม ไปใช้ในการแก้ปัญหา รวมทั้งปัญหาเกี่ยวกับดอกเบี้ยและมูลค่าของเงิน

- เข้าใจและใช้ความรู้ทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล นำเสนอข้อมูล และแปลความหมายข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ

ตอนที่ 3 แนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาและสร้างแบบวัด

ในการวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และ 2) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาและสร้างแบบวัดหลักการและขั้นตอนในการพัฒนาและสร้างแบบวัด การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด โดยมีรายละเอียดที่ได้จากการศึกษาเอกสาร งานวิจัย บทความ และหนังสือ ดังนี้

3.1 หลักการและขั้นตอนในการพัฒนาและสร้างแบบวัด

การพัฒนาแบบวัดเป็นกระบวนการซึ่งประกอบด้วย การวางแผน วางโครงสร้าง ประเมิน รวมถึงการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแบบวัด ซึ่งมีหลักการและขั้นตอนในการพัฒนาดังต่อไปนี้

3.1.1 กำหนดวัตถุประสงค์ของการทดสอบ

การกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดสอบเป็นขั้นตอนที่จะต้องพิจารณาเป็นลำดับแรก ผู้พัฒนาแบบสอบหรือแบบวัดจะต้องระบุจุดมุ่งหมายของการสอบที่มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับ จุดมุ่งหมายของการเรียน จุดมุ่งหมายของหลักสูตร(ศิริชัย การญจนวาสี, 2556) (รวมทั้งคุณลักษณะของผู้สอบ และการนำผลการทดสอบไปใช้ประโยชน์

3.1.2 ออกแบบการสร้างแบบวัด

การออกแบบการสร้างแบบวัดและข้อคำถามเป็นรูปแบบการกำหนดรูปแบบ โครงสร้างและ แนวทางในการสร้างแบบวัดให้สามารถวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) การวางแผนการวัด

เป็นขั้นตอนที่ผู้สร้างแบบวัดต้องคำนึงก่อนที่จะสร้างแบบวัด โดยจะต้องวางแผนการวัดหรือ แผนการทดสอบ กำหนดว่าจะทำการทดสอบกี่ครั้งหรือทำการวัดกี่ครั้ง ในการวัดแต่ละครั้งจะต้อง ครอบคลุมเนื้อหา จุดมุ่งหมาย และเวลาที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้ง

2) กำหนดรูปแบบของการวัด (Test Format)

เป็นขั้นตอนที่ผู้สร้างแบบวัดจะต้องกำหนดรูปแบบของแบบวัดที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ ต้องการวัด โดยรูปแบบของการวัดสามารถแบ่งได้หลายรูปแบบทั้งแบบวัดอิงกลุ่มหรือแบบวัดอิง เกณฑ์ แบบวัดแบบเลือกตอบหรือแบบวัดที่ให้ผู้ตอบเสนอคำตอบได้อย่างอิสระ แบบวัดเป็นกลุ่มหรือ แบบวัดรายบุคคล เป็นต้น

3) สร้างผังการทดสอบ (Testing map)

การสร้างผังการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันของจุดประสงค์ในการวัด กิจกรรม การะงาน และการสร้างแบบวัด ซึ่งสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งการระบุน้ำหนักความสำคัญ ความถี่ของการวัด และรูปแบบของแบบวัดที่เหมาะสม

4) สร้างผังข้อสอบ (Test blueprint)

3.1.3 พัฒนาลักษณะเฉพาะของแบบวัด

ลักษณะเฉพาะของแบบวัดจะระบุเนื้อหาสาระที่ต้องการทดสอบ จำนวนข้อคำถาม รูปแบบ ของข้อคำถาม คุณสมบัติทางจิตมิติของข้อคำถาม และข้อมูลอื่น ๆ ที่สำคัญ ซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ของการทดสอบ เนื้อหาสาระ กิจกรรมต่าง ๆ และพฤติกรรมอันเป็น เป้าหมายที่ต้องการให้เกิดขึ้นกับผู้สอบ ซึ่งจะช่วยเป็นแนวทางของการดำเนินการสอบ ลักษณะของ ข้อสอบควรมีรูปแบบอย่างไร ลักษณะเฉพาะของแบบวัดจะถูกนำเสนอรูปแบบของผังข้อสอบ (Test blueprint) ซึ่งเป็นการนำเสนอรายละเอียดของการทดสอบแต่ละครั้ง โดยมีการระบุเนื้อหาที่จะวัด จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการวัด หรือจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ต้องการวัด มีลักษณะเป็นตารางที่ มีการกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญ จำนวนข้อคำถามที่ต้องการสร้างในแบบวัด

3.1.4 พัฒนาข้อคำถาม

หลักจากมีการพัฒนาลักษณะเฉพาะของแบบวัดและผังการทดสอบจะทำให้ผู้สร้างแบบสอบมีความพร้อมในการเขียนข้อสอบ ซึ่งการเขียนข้อสอบถือเป็นทักษะอย่างหนึ่ง ผู้สร้างแบบสอบต้องมีความรู้ในมวลเนื้อหา วิธีการและเทคนิคที่ใช้ในการเรียน ขั้นตอนของการเขียนข้อสอบที่ดีมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) กำหนดลักษณะเฉพาะของข้อคำถาม (Item specification)

ผู้สร้างแบบวัดหรือแบบสอบควรกำหนดลักษณะเฉพาะของข้อคำถาม ซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไปของข้อคำถามที่สามารถวัดตามองค์ประกอบที่ต้องการวัด ตามวัตถุประสงค์ของการทดสอบในแต่ละวัตถุประสงค์ โดยการสร้างลักษณะเฉพาะของข้อสอบจะช่วยลดเวลาในการเขียนข้อคำถาม ในครั้งต่อไป หรือการพัฒนาข้อคำถามที่มีความเป็นคู่ขนานได้

2) เขียนข้อคำถาม

ผู้สร้างแบบสอบควรเขียนข้อคำถามให้มีความชัดเจน เข้าใจง่าย สำหรับแบบสอบประเภทเลือกตอบ ตัวอย่างเช่น แบบสอบปรนัยแบบหลายตัวเลือกจะต้องมีความถูกต้อง สมเหตุสมผล และชัดเจนทั้งตัวข้อถาม และตัวเลือก ตัวเลือกที่ถูกเลือกจะต้องมีความเป็นไปได้ที่จะถูกเลือก และอยู่บนพื้นฐานของสิ่งที่ผู้สอบได้เรียน

3) เขียนคำชี้แจง

นอกจากการเขียนข้อคำถามแล้ว การเขียนอธิบายคำชี้แจงก็เป็นสิ่งสำคัญที่ควบคู่กับการสร้างแบบสอบ คำชี้แจงที่ดีต้องทำให้เกิดความมั่นใจในข้อคำถามหรือมวลเนื้อหาต้องการจะวัดอะไร คำชี้แจงที่พัฒนาขึ้นจะต้องเป็นคำชี้แจงที่อธิบายข้อปฏิบัติที่ผู้สอบพึงปฏิบัติ เวลาในการสอบ และข้อมูลเกี่ยวกับข้อสอบ

3.1.5 นำแบบวัดที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้

เมื่อได้แบบสอบที่มีการเขียนข้อคำถามสร้างเป็นแบบวัดที่สมบูรณ์จะต้องมีการประเมินคุณภาพของคำถามที่สร้างขึ้น ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ โดยการทำไปทดสอบกับตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ดีที่มีความคล้ายคลึงกับกลุ่มที่ต้องการนำแบบสอบไปใช้จริง และนำข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างนี้ไปใช้ในการประเมินคุณภาพของข้อคำถาม เพื่อให้ได้ข้อมูลว่าผู้สอบมีความเข้าใจในคำชี้แจงหรือคำสั่งข้อคำถามแต่ละข้อ ลักษณะของการตอบคำถาม ตัวเลือก ตลอดจนภาษาที่ใช้ในการเขียนมีความเหมาะสม ชัดเจนหรือไม่ เพื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงแก้ไขแบบสอบให้มีความสมบูรณ์ก่อนจะทำไปใช้กับกลุ่มผู้สอบจริง

3.1.6 วิเคราะห์ข้อสอบ (Item analysis)

การวิเคราะห์ข้อสอบเป็นการประเมินคุณลักษณะทางจิตมิติของข้อคำถาม เป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยทำการวิเคราะห์ค่าความยาก (P) อำนาจจำแนก (r)

1) ความยาก (Difficulty index) เป็นสัดส่วนที่แสดงร้อยละของข้อสอบว่ามีผู้ตอบถูกมากหรือน้อยเพียงใด ถ้ามีผู้ตอบถูกมากแสดงว่าข้อสอบข้อนั้นง่าย และถ้ามีผู้ตอบถูกน้อยแสดงว่าข้อสอบข้อนั้นยาก การหาค่าความยากเป็นการวิเคราะห์ข้อสอบรายข้อ (Item analysis) มิใช่การวิเคราะห์แบบสอบทั้งฉบับ ค่าความยากมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 นิยมเขียนแทนด้วย P สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\begin{array}{lll} \text{สูตร} & P & = \frac{R}{N} \\ \text{เมื่อ} & P & = \text{ดัชนีความยากง่าย} \\ & R & = \text{จำนวนผู้ตอบถูกทั้งหมด} \\ & N & = \text{จำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมด} \end{array}$$

คำนวณจากคะแนนของผู้สอบกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ จากสูตร

$$\begin{array}{lll} \text{สูตร} & P & = \frac{H+L}{N} \\ \text{โดย} & N & = \text{จำนวนผู้สอบในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ} \\ & H & = \text{จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง} \\ & L & = \text{จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ} \end{array}$$

โดยมีเกณฑ์การพิจารณาคัดเลือกข้อสอบที่สามารถนำไปใช้ได้จะต้องมีค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.8 ถ้าหากว่ามากหรือน้อยกว่าช่วงที่กำหนด ข้อสอบข้อนั้นจะต้องทำการปรับปรุงหรือตัดทิ้ง

2) อำนาจจำแนก (Discriminant index) คือ ความสามารถของข้อสอบที่สามารถจำแนกหรือแยกผู้ตอบออกได้ตามระดับความสามารถ โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มเก่ง - กลุ่มอ่อน ของสมรรถภาพทางสมอง หรือในเรื่องของความรู้สึก เช่น เจตคติ ความสนใจ การหาค่าอำนาจจำแนกใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือประเภทแบบทดสอบ แบบสอบถาม และแบบวัดเจตคติ มีลักษณะการวิเคราะห์รายข้อ ค่าอำนาจจำแนกมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 นิยมเขียนแทนด้วย r การหาค่าอำนาจจำแนกสามารถหาได้ จากสูตร

$$\begin{array}{lll} r & = & \frac{H-L}{n} \quad (\text{ในกรณีที่จำนวนคนกลุ่มสูงเท่ากับกลุ่มต่ำ}) \\ \text{เมื่อ} & r & = \text{ดัชนีอำนาจจำแนก} \\ & H & = \text{จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง} \\ & L & = \text{จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ} \\ & n & = \text{จำนวนผู้ตอบทั้งหมดของกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ} \\ \text{หรือใช้สูตร} & r & = P_H - P_L \quad (\text{ในกรณีที่จำนวนคนกลุ่มสูงไม่เท่ากับกลุ่มต่ำ}) \\ \text{เมื่อ} & P_H & = \text{สัดส่วนของผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง} \\ & P_L & = \text{สัดส่วนของผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ} \end{array}$$

โดยมีเกณฑ์การพิจารณาค่าอำนาจจำแนกคือ 0.4 ขึ้นไป มีอำนาจจำแนกดีมาก 0.30-0.39 มีค่าอำนาจจำแนกดีพอควร 0.20-0.29 มีค่าอำนาจจำแนกพอใช้ได้ และ 0.19 ลงไป มีค่าอำนาจจำแนกไม่ดีต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงใหม่ (โชติกา ภาชีผล, 2559)

นอกจากนี้การคำนวณค่าความยากและค่าอำนาจจากตัวถูกแล้ว ยังมีการตรวจสอบความยากและอำนาจจำแนกของตัวลองเพื่อการตรวจสอบคุณภาพของข้อสอบด้วยเช่นกัน การคำนวณค่าความ

ยากของตัวลงใช้สูตรเดียวกับค่าความยากของตัวถูก แต่มีความแตกต่างที่การแปลความหมาย คือค่าความยากของตัวลงเป็นสัดส่วนที่แสดงว่าตัวลงนั้นที่มีผู้สอบเลือกมากหรือเลือกน้อย มีเกณฑ์การพิจารณาคือ 0.05 ขึ้นไป

การคำนวณค่าอำนาจจำแนกจากตัวลงใช้สูตรเดียวกับค่าอำนาจจำแนกของตัวถูก แต่มีความแตกต่างที่ความหมาย โดยค่าอำนาจจำแนกของตัวลง หมายถึง ความสามารถของตัวลงใน การจำแนกบุคคล ออกเป็นสองกลุ่มที่ต่างกัน และต่างกันว่าเครื่องหมาย การเป็นตัวลงที่ดี ต้องมี ผู้สอบกลุ่มต่ำเลือกมากกว่ากลุ่มสูง ดังนั้น ค่าอำนาจจำแนกจึงมีค่าติดลบ มีเกณฑ์การพิจารณา คือ 0.05 ขึ้นไป

3.2 การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด

คุณภาพของเครื่องมือการวัด โดยทั่วไปการจะนำเครื่องมือไปใช้จำเป็นต้องมีการ ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือที่จะนำไปวัดมีคุณภาพสูง คุณภาพที่สำคัญของเครื่องมือที่ควรตรวจสอบได้แก่ความตรง (Validity) และความเที่ยง (Reliability)

3.2.1 ความตรง (Validity)

ความตรงของแบบวัดคือ การที่แบบวัดสามารถวัดได้ถูกต้องตรงกับวัตถุประสงค์และสิ่งที่ต้องการวัด นับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของแบบวัด แบบวัดที่พัฒนาขึ้นจะมีความตรงมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับกระบวนการตรวจสอบและรวบรวมหลักฐาน วิเคราะห์เพื่อสนับสนุนความถูกต้องเหมาะสม สำหรับการนำคะแนนหรือผลที่ได้จากการวัดไปใช้สรุปอ้างอิงไปยังสิ่งที่ต้องการมุ่งวัด (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

การตรวจสอบความตรงสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ ความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) ความตรงตามเกณฑ์สัมพันธ์ (Criterion-related validity) และความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct validity) โดยการตรวจสอบความตรงหรือการหาหลักฐานเพื่อสนับสนุนหรือยืนยันความตรงของเครื่องมือ นั้น จำเป็นต้องอาศัยหลักฐานหลายๆ ด้านประกอบกัน (Cronbach 1971 อ้างถึงใน ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) การตรวจสอบความตรงมีรายละเอียด ดังนี้

1) ความตรงเชิงเนื้อหา คือการตรวจสอบความตรงตามมูลเนื้อหา ความรู้ หรือประสบการณ์ ในขอบเขตที่กำหนด เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องมือวัดหรือแบบวัดที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดได้ครอบคลุม ถูกต้อง และตรงตามคุณลักษณะหรือสิ่งที่มุ่งวัดมากน้อยเพียงใด วิธีการตรวจสอบนี้ใช้การพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา ความรู้ หรือประสบการณ์ของเครื่องมือ นั้นเป็นตัวแทนเนื้อหาความรู้ หรือประสบการณ์ทั้งหมดหรือไม่ อย่างไร ดังนั้นผู้เชี่ยวชาญจะใช้วิธีการลงความคิดเห็นอย่างเป็นอิสระต่อกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการลงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ โดย (Lawshe , 1975 อ้างถึงใน ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) เสนอสูตรการวิเคราะห์ค่าความตรงตามเนื้อหา ของข้อสอบและเกณฑ์ในการคัดเลือกข้อสอบที่มีความตรงตามเนื้อหา ดังนี้

1.1) การตรวจสอบดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดมุ่งหมายของ การวัด (item-objective congruence: IOC)

$$IOC = \frac{\sum I_j}{n_j}$$

เมื่อ IOC = ความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดมุ่งหมายของการวัด
 I_j = คะแนนความเห็นด้านความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญ
 n_j = จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

ผู้เชี่ยวชาญจะพิจารณาว่าข้อสอบวัดได้ตรงตามจุดมุ่งหมายของการวัดหรือไม่ ถ้าแน่ใจว่าตรงตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการวัด จะตัดสินเป็นคะแนน “+1” ถ้าแน่ใจว่าไม่ตรงตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการวัด จะตัดสินเป็นคะแนน “-1” และถ้าไม่แน่ใจว่าตรงหรือไม่ตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการวัด จะตัดสินเป็นคะแนน “0” แล้วนำผลรวมการตัดสินของผู้เชี่ยวชาญอย่างน้อย 3 ท่าน มาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Consistency: IOC) หากค่าที่คำนวณได้มีค่าตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป ถือว่าข้อสอบข้อนั้นวัดได้ตรงตามจุดมุ่งหมายของการวัด (บุญใจ ศรีสถิตนรากร, 2555)

1.2) อัตราส่วนความตรงเชิงเนื้อเรื่องของข้อสอบ (content validity ration)

$$CVR_i = \frac{(n_e - \frac{N}{2})}{N/2}$$

เมื่อ CVR_i = อัตราส่วนความตรงตามเนื้อเรื่องของข้อสอบข้อที่ i
 N = จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด
 n_e = จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ลงความเห็นว่ายอมรับข้อสอบข้อที่ i
 สอดคล้องกับเนื้อเรื่องหรือจุดมุ่งหมาย

การแปลความหมายของค่า CVR_i หากค่า

CVR_i เป็น - หมายถึง $n_e < N/2$

CVR_i เป็น 0 หมายถึง $n_e = N/2$

CVR_i เป็น + หมายถึง $n_e > N/2$

CVR_i เป็น 1 หมายถึง $n_e = N$

1.3) ดัชนีความตรงเชิงเนื้อหาเรื่องของแบบสอบ (Content validity index)

$$CVI = \frac{\sum_{i=1}^k CVR_i}{k}$$

เมื่อ CVI = ดัชนีความตรงตามเนื้อเรื่องของแบบสอบ
 CVR_i = อัตราส่วนความตรงเชิงเนื้อเรื่องของข้อสอบข้อที่ i
 k = จำนวนข้อสอบ

2) ความตรงตามเกณฑ์สัมพันธ์ (Criterion-related validity) การตรวจสอบความตรงประเภทนี้ทำได้โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือที่ใช้เป็นเกณฑ์บางประการที่กำหนด เช่น พฤติกรรม สมรรถนะ หรือ ทักษะ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น แบบสอบคัดเลือกเข้ามหาวิทยาลัย แบบวัดความถนัดต่าง ทำให้สามารถแบ่งประเภทของความตรงนี้ออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของเกณฑ์ที่ใช้คือ

2.1) ความตรงตามสภาพ (Concurrent validity) เกณฑ์ที่ใช้สามารถบอกสภาพในปัจจุบันของค่าที่วัดได้จากเครื่องมือที่สร้าง เช่น แบบวัดความสามารถด้านการเขียน มีความตรงตามสภาพก็ต่อเมื่อ คะแนนที่ได้จากแบบสอบวัดได้มีความสัมพันธ์สูงกับผลการปฏิบัติของผู้สอบ เมื่อนำความสามารถทางการเขียนไปใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ผู้เรียนได้คะแนนผลการสอบวัดความสามารถ

ด้านการเขียนสูง ผู้เรียนสามารถเขียนเรียงความที่มีความสละสลวยของภาษา และสะกดคำได้ถูกต้อง ได้คะแนนการเขียนเรียงความสูงเช่นกัน การตรวจสอบความตรงตามสภาพสามารถคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่ได้จากแบบวัด กับคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ ถ้าคะแนนที่ได้จากทั้งสองมีคะแนนสูง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ถือว่ามีความตรงตามสภาพ

$$R_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

2.2) ความตรงเชิงทำนาย (Predictive validity) เกณฑ์ที่ใช้สามารถบอกสภาพในอนาคตของค่าที่วัดได้จากเครื่องมือที่สร้าง โดยคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนจากแบบวัดกับคะแนนเกณฑ์ เช่น แบบวัดความถนัดวิชาชีววิทยา สามารถทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนิสิตนักศึกษาที่ศึกษาในคณะครุศาสตร์ ศึกษาศาสตร์ได้ คะแนนที่ได้กับเกณฑ์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง แสดงว่าแบบวัดมีความตรงเชิงทำนาย

3) ความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct validity) การตรวจสอบความตรงเชิงทฤษฎี หรือเชิงโครงสร้างถือว่ามีความสำคัญต่อการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวัดทางจิตวิทยาที่มีลักษณะนามธรรม ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง เช่น เซวาร์ปัญญา ความคิดสร้างสรรค์ ทักษะ ทักษะ ความวิตกกังวล ความสามารถ หรือคุณภาพด้านต่าง ๆ แบบสอบที่จะนำมาใช้ในการวัดคุณลักษณะเช่นนี้ จึงจำเป็นต้องมีความตรงเชิงโครงสร้าง (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) ความตรงเชิงโครงสร้างสามารถตรวจสอบได้หลายวิธีดังนี้

3.1) การตรวจหาความสัมพันธ์กับเครื่องมือที่มีโครงสร้างเหมือนกัน

การหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการวัดที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับผลของเครื่องมือมาตรฐานที่มีโครงสร้างเหมือนกัน จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Product moment Correlation Coefficient)

3.2) การตรวจสอบด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) การวิเคราะห์องค์ประกอบเป็นเทคนิคทางสถิติในการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สังเกตค่าได้ หรือข้อคำถามแต่ละข้อว่าสามารถวัดองค์ประกอบร่วมกันหรือไม่ ซึ่งองค์ประกอบร่วมเป็นลักษณะที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อกลุ่มตัวแปร และองค์ประกอบร่วมที่ประกอบด้วยข้อคำถามที่มีความสัมพันธ์กันสูงในองค์ประกอบนั้น ๆ

จากการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบแบ่งออกเป็น 2 แบบได้แก่

1) การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจเป็นวิธีการที่ใช้ในกรณีที่ไม่มีการศึกษาไม่มีเอกสาร ทฤษฎี หรือความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตัวแปรน้อยมาก ๆ แต่ต้องการศึกษาโครงสร้างของตัวแปร และลดจำนวนตัวแปรให้มาอยู่กลุ่มเดียวกันได้

2) การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเป็นวิธีการที่ใช้ในกรณีที่มีการศึกษาทราบโครงสร้างความสัมพันธ์

ของตัวแปรที่ต้องการศึกษา ทราบว่าตัวแปรแต่ละตัวที่ศึกษาอยู่ในองค์ประกอบเดียวกันหรือมีความสัมพันธ์กันสูงและควรที่จะอยู่ในองค์ประกอบเดียวกัน ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวได้มาจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเพื่อตรวจสอบและยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่าเป็นไปตามที่ศึกษาหรือไม่

ในการวิจัยผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเพื่อเป็นหลักฐานในการตรวจสอบคุณภาพด้านความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้โมเดลการวัดที่สร้างขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ผ่านการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LISREL การตรวจสอบความตรงของโมเดล คือการประเมินผลความถูกต้องของโมเดล หรือการตรวจสอบความกลมกลืนระหว่างข้อมูลเชิงประจักษ์กับโมเดล โดยโปรแกรม LISREL จะให้ค่าสถิติที่จะตรวจสอบความตรงของโมเดล (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542)

3.3) การตรวจสอบด้วยการเทียบกับกลุ่มที่รู้จัก (Known-group)

เป็นวิธีการเปรียบเทียบกับกลุ่มที่รู้จัก (Known group) โดยต้องทราบกลุ่มที่มีลักษณะเดียวกับสิ่งที่จะวัดก่อน เช่น การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดเจตคติต่อความเป็นครู ก็ต้องทราบว่ากลุ่มที่ศึกษามีใครอยู่ในกลุ่มที่มีเจตคติทางบวกและลบต่อการเป็นครู แล้วแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีเจตคติทางบวก และกลุ่มที่มีเจตคติทางลบ แล้วให้ทั้ง 2 กลุ่มทำแบบวัด ต่อจากนั้นนำคะแนนเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบกับกัน โดยใช้สถิติ t-test independent ถ้าพบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าแบบวัดที่สร้างขึ้นมีความสามารถตรงตามโครงสร้าง

3.4) การตรวจโดยใช้เมทริกซ์พหุลักษณะ – พหุวิธี (Multitrait Multimethod : MTMM)

เป็นวิธีการตรวจสอบความตรงจากแนวคิดของ Campbell and Fiske (1959) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการวัดหลายลักษณะ (Multitrait) โดยใช้การวัดหลายวิธี (Multimethod) สามารถใช้วิธีนี้ได้เมื่อมีการวัดอย่างน้อย 2 คุณลักษณะ และวิธีในการวัดอย่างน้อย 2 วิธี เช่น การวัดลักษณะที่แตกต่างกัน 2 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะ A และ B วิธีการวัด 1 และ 2 เมื่อนำแบบวัดทั้ง 4 ฉบับ (ฉบับที่ 1 วัดลักษณะ A ด้วยวิธีที่ 1 ฉบับที่ 2 วัดลักษณะ A ด้วยวิธีที่ 2 ฉบับที่ 3 วัดลักษณะ B ด้วยวิธีที่ 1 และฉบับที่ 4 วัดลักษณะ B ด้วยวิธีที่ 2) ไปวัดกับกลุ่มตัวอย่างเดียวกันแล้วนำคะแนนที่ได้มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้ง 4 ฉบับ โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้แบ่งเป็น 4 กลุ่มได้แก่

1) สัมประสิทธิ์ความเที่ยง เป็นสัมประสิทธิ์ระหว่างคะแนนวัดคุณลักษณะเดียวกัน โดยใช้วิธีเดียวกัน หรือแบบสอบเดียวกัน เหมือนการวัดซ้ำ นั่นคือ สัมประสิทธิ์ความเที่ยง (Reliability)

2) สัมประสิทธิ์ความตรง เป็นสัมประสิทธิ์ระหว่างคะแนนวัดคุณลักษณะเดียวกัน โดยใช้วิธีวัดต่างกันหรือแบบสอบต่างชุดกัน นั่นคือสัมประสิทธิ์ความตรง ที่เรียกว่า ความตรงลู่เข้า (Convergent validity)

3) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณลักษณะต่างกัน ที่ใช้วิธีวัดเดียวกัน หรือแบบสอบชุดเดียวกัน

4) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณลักษณะต่างกัน และใช้วิธีการวัดต่างกันหรือแบบสอบต่างชุดกัน เรียกว่า ความตรงจำแนก (Discriminant validity)

3.2.2 ความเที่ยง (Reliability)

ความเที่ยง เป็นคุณสมบัติของเครื่องมือหรือแบบวัดที่แสดงถึงความคงเส้นคงวาของเครื่องมือในการให้ผลการวัดที่แน่นอนไม่ว่าจะวัดกี่ครั้ง ผลของการวัดยังคงเดิม ภายใต้เงื่อนไขและสถานการณ์เดียวกัน หากเครื่องมือหรือแบบวัดมีความเที่ยงจะทำให้มั่นใจได้ว่าเครื่องมือหรือแบบวัดนั้นจะให้ผลคะแนนของผู้สอบได้อย่างคงที่

วิธีการตรวจสอบความเที่ยง

1) การหาความเที่ยงเชิงความคงที่ (Stability) ทำได้โดยการใช้วิธีวัดซ้ำ คือให้ผู้ตอบกลุ่มเดียวกันทำแบบวัดชุดเดียวกันสองครั้งในเวลาที่ยาวนานพอสมควร (Test-retest method) แล้วนำคะแนนทั้งสองชุดมาหาความสัมพันธ์กัน ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง แสดงว่ามีค่าความเที่ยงสูง การวัดความคงที่โดยการวัดซ้ำสามารถใช้ได้กับเครื่องมือวัดที่เป็นแบบสอบ แบบสอบถาม หรือแบบวัดเจตคติชนิดมาตราส่วนประมาณค่า โดยคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Pearson Product moment Correlation Coefficient)

2) การหาค่าความเที่ยงเชิงความเท่าเทียม (Equivalence) ทำได้โดยการใช้แบบสอบที่สมมูลกัน (Equivalent-form) หรือ เป็นแบบสอบคู่ขนาน (Parallel-form) ทดสอบพร้อมกัน หรือเวลาใกล้เคียงกัน ทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน จากนั้นนำคะแนนทั้งสองชุดมาหาความสัมพันธ์กัน ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าสูง แสดงว่ามีความเที่ยงสูง โดยคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Pearson Product moment Correlation Coefficient)

3) การหาความเที่ยงเชิงสอดคล้องภายใน (Internal Consistency) วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้การวัดครั้งเดียว แต่มีวิธีการประมาณประมาณค่าความเที่ยงได้หลายวิธีดังนี้

3.1) วิธีแบ่งครึ่งข้อสอบ (Split-half Method) วิธีนี้ใช้แบบวัดเพียงแค่ฉบับเดียว ทำการวัดเพียงแค่ครั้งเดียว แต่แบ่งข้อสอบเป็นสองส่วนที่เท่าเทียมกัน เช่น การแบ่งข้อคู่-ข้อคู่ หรือการแบ่งครึ่งแรกกับครึ่งหลัง ทั้งนี้ทั้งสองส่วนที่แบ่งจะต้องเป็นคู่ขนานกัน จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างคะแนนทั้งสองส่วน เนื่องจากคะแนนที่ได้เป็นค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนครึ่งฉบับ (r_{hh}) จึงต้องปรับขยายเป็นสหสัมพันธ์ทั้งฉบับ (r_{tt}) ด้วยสูตรของ Spearman Brown ดังนี้

$$r_{tt} = \frac{r_{hh}}{1+r_{hh}}$$

3.2) วิธีของคูเดอร์ - ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson Method) เป็นวิธีที่แก้จุดอ่อนของวิธีการแบ่งครึ่งข้อสอบ เนื่องจากผลที่ได้จากวิธีการแบ่งครึ่งข้อสอบไม่คงที่ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้แบ่งครึ่ง วิธีนี้เป็นวิธีการวัดเพียงครั้งเดียวเช่นกัน ใช้ได้กับเครื่องมือที่ให้คะแนน 0 - 1 แล้วนำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้สูตรของ Kuder-Richardson ซึ่งแบ่งเป็น 2 สูตรคือ KR20 และ KR21 แต่สูตร KR21 ใช้ได้กับเครื่องมือที่ให้คะแนน 0-1 และข้อสอบทุกข้อต้องยากเท่ากัน หรือยากใกล้เคียงกัน

3.3) วิธีการหาด้วยสูตรสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha coefficient) Cronbach เป็นผู้ค้นคิด วิธีดังกล่าวเป็นการหาความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายในเช่นเดียวกับวิธีของ Kuder-Richardson แต่สามารถใช้กับเครื่องมือที่เป็นอัตรนัยหรือมาตราส่วนประมาณค่า ซึ่งไม่ได้เป็นวิธีการให้คะแนนแบบ 0 - 1

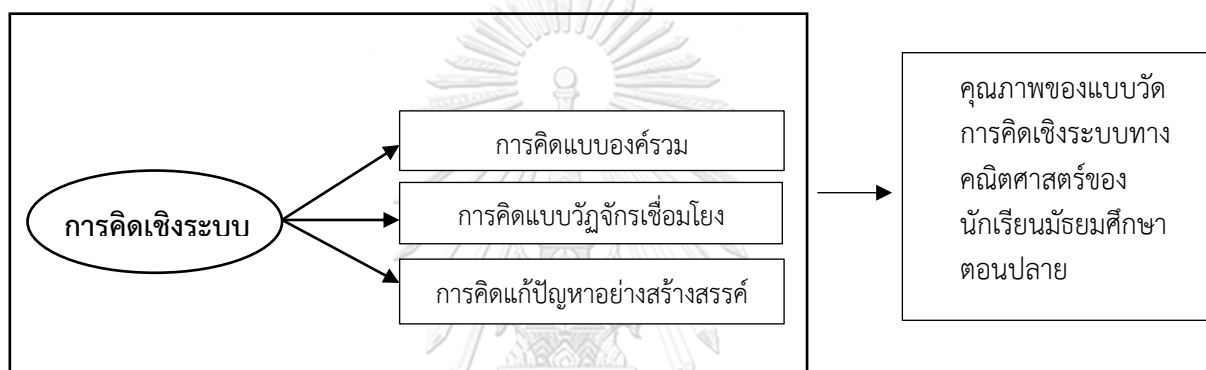
จากรายละเอียดที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นถึงแนวทางในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือหรือแบบวัดที่พัฒนาขึ้น โดยสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงมากที่สุดคือ ความตรงและความเที่ยง ในการสร้างและพัฒนาแบบวัดให้มีความตรงและความเที่ยงในเกณฑ์ที่สูงจะต้องให้ความสำคัญในทุกขั้นตอนของการสร้างและพัฒนา ตั้งแต่การกำหนดวัตถุประสงค์ของแบบวัด การกำหนดมวลงเนื้อหาที่ต้องการวัด การสร้างผังข้อสอบ การพัฒนาข้อคำถาม ตลอดจนการพิจารณาความเที่ยงของผลคะแนนที่ผู้สอบได้จากการวัดด้วยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น แบบวัดที่มีคุณภาพที่แท้จริงย่อมต้องวัดได้ตรงกับสิ่งที่ต้องการวัด นอกจากนี้ยังต้องมีความคงเส้นคงวาของผลจากการวัดด้วยแบบวัดฉบับนั้น



ตอนที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงระบบ ผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์องค์ประกอบการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อสร้างตัวชี้วัดของการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ นำไปสู่การสร้างแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด ดังภาพที่ ๕

แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และ 2) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ตอนที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ตอนที่ 1 การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. กำหนดจุดมุ่งหมายในการสร้างแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. กำหนดองค์ประกอบ ตัวบ่งชี้ และพฤติกรรมการคิดเชิงระบบ โดยการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดนิยาม ตัวบ่งชี้ และพฤติกรรมบ่งชี้

3. สร้างแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ตามองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

การสร้างแบบวัดแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยการสร้างผังแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ (Test Blueprint) ตามตาราง 6 และตารางลักษณะเฉพาะของแบบวัด (Test Specification)

ศึกษามาตรฐานและตัวชี้วัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เพื่อกำหนดขอบเขตของเนื้อหาและความรู้ทางคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมกับความสามารถตามคุณภาพผู้เรียน ซึ่งจะอยู่ในเนื้อหาของวิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน

ตัวชี้วัดที่ : ค 1.1 ม.4/1, ค 1.1 ม.5/1 และ ค. 3.1 ม.6/1

ตารางที่ 6 ผังแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

องค์ประกอบ	ตัวบ่งชี้	รูปแบบข้อคำถาม		รูปแบบการให้คะแนน
		แบบปรนัย	แบบอัตนัย	
การคิดแบบองค์รวม	การวิเคราะห์ปรากฏการณ์	3		- แบบปรนัยเลือกตอบ ให้คะแนนแบบ 0,1
	การระบุสาเหตุหรือปัจจัย	3		- แบบปรนัยเลือกตอบ ให้คะแนนแบบ 0,1

องค์ประกอบ	ตัวบ่งชี้	รูปแบบข้อคำถาม		รูปแบบการให้คะแนน
		แบบปรนัย	แบบอัตนัย	
การคิดแบบวิ จักรเชื่อมโยง	การระบุความสัมพันธ์ของสาเหตุหรือปัจจัย	1	2	- แบบปรนัยเลือกตอบ ให้คะแนนแบบ 0,1 - แบบอัตนัยเขียนตอบ ตรวจสอบให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนน
	การเขียนความสัมพันธ์ของปัญหา		3	- แบบอัตนัยเขียนตอบ ตรวจสอบให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนน
การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์	การระบุคำตอบของปัญหาอย่างสร้างสรรค์		3	- แบบอัตนัยเขียนตอบ ตรวจสอบให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนน
	การอธิบายการได้มาซึ่งคำตอบ		3	- แบบอัตนัยเขียนตอบ ตรวจสอบให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนน
รวม		7	11	

4. ตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายด้านความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและการวัดประเมิน 5 ท่าน ผู้ทรงคุณวุฒิตัดสินข้อคำถามที่สร้างขึ้นเป็นไปตามเนื้อหาและวัตถุประสงค์ของการวัดหรือไม่ นอกนี้ยังตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม ครอบคลุมของข้อคำถาม ความชัดเจนของการใช้ภาษา และให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ในการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) พิจารณาจากดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดมุ่งหมาย (item objective congruency index: IOC) ผู้ทรงคุณวุฒิตัดสินความสอดคล้องของข้อคำถามกับเนื้อหา ระดับพฤติกรรม และวัตถุประสงค์ที่ต้องการวัดโดยการระบุคะแนนเป็น +1, 0, -1 มีเกณฑ์ในการพิจารณา คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณต้องมากกว่าเท่ากับ .5 ($IOC \geq .5$) (ศิริชัย กางนวนาสี, 2552 โชติกา ภาชีผล, 2559) การระบุคะแนนมีความหมายดังนี้

+1	หมายถึง	ข้อคำถามมีความสอดคล้องกับเนื้อหา ระดับพฤติกรรม และ วัตถุประสงค์ที่ต้องการวัด
0	หมายถึง	ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับเนื้อหา ระดับพฤติกรรม และวัตถุประสงค์ที่ต้องการวัด
-1	หมายถึง	ข้อคำถามไม่มีความสอดคล้องกับเนื้อหา ระดับพฤติกรรม และ วัตถุประสงค์ที่ต้องการวัด

IOC < .5 แสดงว่าข้อคำถามไม่ได้วัดวัตถุประสงค์ข้อนั้นจริง หมายความว่าข้อนั้นไม่มีความตรงตามเนื้อหา (โชติกา ภาชีผล, 2559)

5. นำข้อคำถามของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ที่พัฒนาขึ้น ไปใช้กับกลุ่มนำร่อง เพื่อนำข้อคำถามมาตรวจสอบหาความสามารถในการจำแนกความสามารถในการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ด้วยการวิเคราะห์คุณภาพรายข้อ (t-test independent)

6. เลือกข้อคำถามที่มีค่าดัชนี IOC มากกว่า .50 มาปรับปรุงข้อคำถามตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิและจัดทำแบบวัดการคิดเชิงระบบวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผู้ทรงคุณวุฒิ

ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและการวัดประเมินจำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีประสบการณ์และความรู้ด้านการวัดและประเมินผล ด้านการคิดเชิงระบบ ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ ได้แก่

1. ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 2 ท่าน โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิคือ คุณวุฒิทางการศึกษาระดับปริญญาเอกด้านการวัดและการประเมินผลการศึกษาหรือทางด้านวิจัยการศึกษา
2. ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการคิดเชิงระบบ จำนวน 2 ท่าน โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิคือ คุณวุฒิทางการศึกษาระดับปริญญาโทขึ้นไป มีประสบการณ์การในการทำวิจัยเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบ หรือการคิดอย่างมีวิจารณญาณ
3. ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านคณิตศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิคือ คุณวุฒิทางการศึกษาระดับปริญญาโทขึ้นไปทางด้านคณิตศาสตร์ และมีประสบการณ์ทางการสอนคณิตศาสตร์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในตอนต้นที่ 1 คือ แบบประเมินความสอดคล้องความตรงตามเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

แบบประเมินความสอดคล้องความตรงเชิงเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีลักษณะเป็นมาตรประมาณค่า +1, 0, -1

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการคำนวณค่าเฉลี่ย และสรุปความคิดเห็นของแบบประเมินความสอดคล้องความตรงเชิงเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

การตรวจสอบดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดมุ่งหมายของ การวัด (item-objective congruence: IOC)

$$IOC = \frac{\sum I_j}{n_j}$$

เมื่อ IOC = ความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดมุ่งหมายของการวัด
 I_j = คะแนนความเห็นด้านความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ
 n_j = จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด

ตอนที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. กำหนดขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์
2. นำแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายไปเก็บรวบรวมข้อมูล
3. ตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย
4. สร้างคู่มือแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งประกอบไปด้วย คำชี้แจง เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแบบวัด และการแปลผลคะแนนที่ได้จากแบบวัด

ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

ตัวอย่าง

ตัวอย่างนำร่อง

ตัวอย่างนำร่อง เป็นนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคงคาราม แผนการเรียนวิทย์และแผนการเรียนศิลป์ โดยแบ่งเป็นแผนการเรียนวิทย์จำนวน 30 คน และแผนการเรียนศิลป์จำนวน 40 คน รวมทั้งหมด 70 คน ได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

ตัวอย่างในการวิจัย

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบหลายชั้น (Multi-stage Random Sampling) ขั้นแรกเลือกตัวอย่างระดับเขตพื้นที่การศึกษาโดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) คือ เขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 10 เนื่องจากเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 10 มีทั้งความเป็นเมืองและชนบท ประกอบด้วยจังหวัดสมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 7 ทำการสุ่มตัวอย่างง่าย (Simple Random Sampling) เพื่อให้ได้ตัวอย่างระดับจังหวัดคือ จังหวัดเพชรบุรี จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) สำหรับตัวอย่างโรงเรียน และขั้นตอนสุดท้ายทำการสุ่มตัวอย่างระดับห้องเรียนแบบยกกกลุ่ม (Cluster Random Sampling) ในแต่ละโรงเรียนโดยให้มิตินักเรียนตัวแทนตัวอย่างทั้งสายวิทย์และสายศิลป์จากโรงเรียนที่เป็นตัวอย่าง โดยกำหนดจำนวนจากพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า 19×20 (Hair & al., 2014) ดังนั้นควรใช้ตัวอย่างอย่างน้อย 380 คน และเพื่อป้องกันการสูญเสียของข้อมูลอีก 20% ตัวอย่างที่ใช้คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 456 คน ทั้งนี้ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างในจำนวนที่มากกว่าจำนวนตัวอย่างที่กำหนด เพื่อเป็นการทดแทนข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ โดยจะตัดตัวอย่างที่ไม่ระบุเกรดวิชาคณิตศาสตร์พื้นฐานออก ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 8

ตารางที่ 7 จำนวนโรงเรียนและนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจำแนกตามจังหวัดในเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 10 ปีการศึกษา 2563

สังกัด	จังหวัด	จำนวนนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (คน)	จำนวนโรงเรียน
สพม. 10	สมุทรสาคร	5,556	11
	สมุทรสงคราม	2,574	9
	เพชรบุรี	7,947	22
	ประจวบคีรีขันธ์	5,549	28
รวม	4	21,626	60

ตารางที่ 8 รายชื่อโรงเรียนและระดับชั้นที่เป็นตัวอย่าง จำแนกตามขนาดของโรงเรียนและระดับชั้น

ขนาดโรงเรียน	โรงเรียน	ระดับชั้นเรียน	แผนการเรียน	จำนวนนักเรียน
เล็ก	บางจานวิทยา	มัธยมศึกษาปีที่ 4	วิทย์	33
	ดอนยางวิทยา	มัธยมศึกษาปีที่ 5	ศิลป์	19
	วชิรธรรมโสภิต	มัธยมศึกษาปีที่ 6	วิทย์	35
	โตนดหลวงวิทยา	มัธยมศึกษาปีที่ 4	ศิลป์	27
รวม				114
กลาง	โรงเรียนเขาย้อยวิทยา	มัธยมศึกษาปีที่ 5	วิทย์	59
	โรงเรียนบ้านแหลมวิทยา	มัธยมศึกษาปีที่ 6	ศิลป์	36

ขนาด โรงเรียน	โรงเรียน	ระดับชั้นเรียน	แผนการเรียน	จำนวนนักเรียน
	โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เพชรบุรี	มัธยมศึกษาปีที่ 4	วิทย์	65
	โรงเรียนบ้านลาดวิทยา	มัธยมศึกษาปีที่ 5	ศิลป์	37
รวม				197
ใหญ่พิเศษ และใหญ่	โรงเรียนพรหมานุสรณ์จังหวัดเพชรบุรี	มัธยมศึกษาปีที่ 6	วิทย์	95
	โรงเรียนเบญจมเทพอุทิศจังหวัดเพชรบุรี	มัธยมศึกษาปีที่ 4	ศิลป์	60
	โรงเรียนคงคาราม	มัธยมศึกษาปีที่ 5	วิทย์	91
	โรงเรียนวัดจันทราวาส(ศุขประสารราษฎร์)	มัธยมศึกษาปีที่ 6	ศิลป์	43
			รวม	289
รวม	12 โรงเรียน			600

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในตอนที่ 2 คือ แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการนำแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ไปเก็บข้อมูลกับตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดของการดำเนินการดังนี้

1. ผู้วิจัยนำส่งหนังสือขออนุญาตจากบัณฑิตวิทยาลัยไปยังผู้อำนวยการโรงเรียนของแต่ละโรงเรียนตัวอย่าง เพื่อขออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยในสถานศึกษา
2. ผู้วิจัยประสานกับโรงเรียนเกี่ยวกับรายละเอียดของการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ระดับชั้น จำนวนห้อง ระยะเวลา วันและเวลาในการทำแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยประสานการเก็บข้อมูลด้วยตนเองตามวันและเวลาที่นัดหมายกับโรงเรียนตัวอย่าง และแจ้งวัตถุประสงค์ของการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ลักษณะของแบบวัด วัดวัตถุประสงค์ของการวัด จำนวนข้อคำถาม ตัวอย่างของการทำแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ และระยะเวลาในการทำแบบวัด แก่ผู้คุมสอบ
4. ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลกับตัวอย่าง โดยนักเรียนแต่ละคนได้ทำแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นคนละ 1 ฉบับ
5. ขั้นตอนการตรวจให้คะแนน ผู้วิจัยเป็นผู้ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์การตรวจและการให้คะแนนที่ตั้งไว้
6. ผู้วิจัยนำส่งหนังสือขอบคุณไปยังโรงเรียนตัวอย่างที่สนับสนุนการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีดังนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่าง ได้แก่ จำนวน และข้อมูลเบื้องต้น

1.2 การวิเคราะห์คะแนนสอบแบบภาพรวม ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) มัธยฐาน (Median) คะแนนสูงสุด (Maximum) คะแนนต่ำสุด (Minimum) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ค่าความเบ้ (Kurtosis) และค่าความโด่ง (Skewness) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window

2. การวิเคราะห์คุณภาพเครื่องมือ

2.1 การวิเคราะห์ความเที่ยงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (α = Coefficient) โดยยอมรับที่ค่า .70 ขึ้นไป ตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (Classical Test Theory: CTT) (ศิริชัย การญจนวาสี, 2552) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพรายข้อ (t-test independent) เพื่อตรวจสอบความสามารถในการจำแนกกลุ่มผู้สอบของข้อคำถามนั้น ๆ

2.3 การวิเคราะห์ความตรงตามสภาพ (Concurrent Validity) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของคะแนนที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์กับผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน ด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window

2.4 การวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้างของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis : CFA) เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ด้วยโปรแกรม LISREL

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แบ่งการนำเสนอข้อมูลออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และตอนที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร วิเคราะห์ สังเคราะห์ และนิยามองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบ และนำมากำหนดองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ โดยแบ่งองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ออกเป็น 3 องค์ประกอบคือ การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวิพากษ์ เชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ และนำมาสร้างแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ พร้อมตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน โดยใช้แบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหาของการสร้างเครื่องมือ แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 โครงสร้างของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และส่วนที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 โครงสร้างของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย จากการศึกษา วิเคราะห์ สังเคราะห์ และนิยามองค์ประกอบ รวมถึงการนิยามตัวบ่งชี้ในแต่ละองค์ประกอบของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีโครงสร้างในการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ ตามองค์ประกอบ ตัวบ่งชี้ และรูปแบบข้อคำถาม ดังตาราง 9

ตารางที่ 9 โครงสร้างในการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

องค์ประกอบ	ตัวบ่งชี้	รูปแบบข้อคำถาม		รวม (ข้อ)
		เลือกตอบ	เขียนตอบ	
การคิดแบบองค์รวม	การวิเคราะห์ ปรากฏการณ์	3		3
	การระบุสาเหตุหรือ ปัจจัย	3		3

องค์ประกอบ	ตัวบ่งชี้	รูปแบบข้อคำถาม		รวม (ข้อ)
		เลือกตอบ	เขียนตอบ	
การคิดแบบวิพากษ์ เชื่อมโยง	การระบุความสัมพันธ์ ของสาเหตุหรือปัจจัย	1	2	3
	การเขียนความสัมพันธ์ ของปัญหา		3	3
การคิดแก้ปัญหาอย่าง สร้างสรรค์	การระบุคำตอบของ ปัญหาอย่างสร้างสรรค์		3	3
	การอธิบายการได้มาซึ่ง คำตอบ		3	3
รวม		7	11	18

จากโครงสร้างในการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ช่วยในการกำหนดรูปแบบของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ และดำเนินการสร้างแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ตามลักษณะเฉพาะของข้อคำถามในแต่ละองค์ประกอบและตัวบ่งชี้ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10 ลักษณะเฉพาะของข้อคำถามของแบบวัดการเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

องค์ประกอบ	การคิดแบบองค์รวม
ตัวบ่งชี้	การวิเคราะห์ปรากฏการณ์
วัตถุประสงค์ในการวัด	นักเรียนสามารถคิดโดยการวิเคราะห์หามองภาพรวมของระบบหรือปัญหาทั้งหมด
รูปแบบข้อคำถาม	ข้อคำถามปรนัยแบบเลือกตอบ
ข้อคำถามปรนัยแบบเลือกตอบ	
ลักษณะคำถาม	กำหนดสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน และถามเกี่ยวกับภาพรวมของการคิดโดยการมองภาพรวมของระบบหรือปัญหาทั้งหมด การวิเคราะห์ระบบหรือปัญหาที่มีส่วนประกอบเป็นระบบย่อยซ้อนกันอยู่ การระบุปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน
ลักษณะคำตอบ	คำตอบมี 4 ตัวเลือก เป็นการวิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนดให้ เพื่อหาปัญหาของที่แท้จริงของสถานการณ์ดังกล่าว
ตัวถูก	เป็นปัญหาที่แท้จริงในสถานการณ์ที่กำหนด
ตัวลวง	เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา ซึ่งไม่ใช่ปัญหาที่แท้จริงของสถานการณ์
ตัวอย่างสถานการณ์	จินและแม่ของเธออยู่ชายหาด พวกเขาทั้งสองคนต้องการที่จะกลับโรงแรมก่อนเวลา 18.00 น. เพื่อให้ทันเวลาอาหารเย็นของโรงแรม ถ้าความเร็วในการขับของรถ

ให้สารน้ำ เช่น ชุดให้สารน้ำชนิดหยดใหญ่ (Macro drip) ให้อัตราการหยดที่ 15 หยดต่อ 1 มิลลิลิตร

การหาอัตราการหยดในการให้ยาสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{อัตราการหยดในการให้ยา(หยดต่อนาที)} = \frac{\text{อัตราการหยดของสารน้ำ (หยดต่อมิลลิลิตร)} \times \text{ปริมาตรของสารน้ำหรือยาที่ผู้ป่วย (มิลลิลิตร)}}{\text{เวลาของการให้สารน้ำทางหลอดเลือด (นาที)}}$$

ที่มาของข้อมูล: วิทยาลัยพยาบาลและสุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	
แพทย์พิจารณาแผนการรักษาผู้ป่วยโดยการให้ยาทางหลอดเลือดดำ โดยแพทย์สั่งการรักษาให้ 5% D/W 1 ลิตร ในเวลา 10 ชั่วโมง กำหนดให้ใช้ชุดให้สารน้ำชนิดหยดเล็กที่มีอัตราการหยดเท่ากับ 60 หยดต่อ 1 มิลลิลิตร	
ตัวอย่างข้อคำถาม	ก. 50 หยด/นาที
	<input checked="" type="radio"/> ข. 100 หยด/นาที
	ค. 600 หยด/นาที
	ง. 6,000 หยด/นาที
เกณฑ์ในการประเมิน	ตอบถูก ให้ 1 คะแนน ตอบผิด ให้ 0 คะแนน
องค์ประกอบ	การคิดแบบองค์รวม
ตัวบ่งชี้	การระบุสาเหตุหรือปัจจัย
วัตถุประสงค์ในการวัด	นักเรียนสามารถระบุสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบหรือสถานการณ์ที่กำหนดให้
รูปแบบข้อคำถาม	1. ข้อคำถามปรนัยแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก 2. ข้อคำถามปรนัยแบบตอบเชิงซ้อน
1. ข้อคำถามแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก	
ลักษณะคำถาม	จากสถานการณ์ที่เป็นปัญหาในโลกของความเป็นจริง และถามเกี่ยวกับสาเหตุหรือปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบหรือปัญหาของสถานการณ์นั้น ๆ
ลักษณะคำตอบ	คำตอบมี 4 ตัวเลือก เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้
ตัวถูก	เป็นปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อปัญหาของสถานการณ์ที่กำหนดให้
ตัวลวง	เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาของสถานการณ์ที่กำหนดให้
ตัวอย่างข้อคำถาม	ข้อใดไม่ใช่ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการหยดของสารน้ำที่ให้ผู้ป่วยทางหลอดเลือด
	ก. จำนวนการหยดของสารน้ำ
	ข. ระยะเวลาในการให้สารน้ำแก่ผู้ป่วย
	<input checked="" type="radio"/> ค. ช่วงเวลาในการให้สารน้ำแก่ผู้ป่วย
	ง. ปริมาตรของสารน้ำที่ต้องการให้ผู้ป่วย

เกณฑ์ในการประเมิน ตอบถูก ให้ 1 คะแนน ตอบผิด ให้ 0 คะแนน

2. ข้อคำถามปรนัยแบบตอบเชิงซ้อน

ลักษณะคำถาม	กำหนดสถานการณ์ที่เป็นปัญหาในโลกของความเป็นจริง และยกตัวอย่างสาเหตุหรือปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อระบบหรือสถานการณ์วิเคราะห์สิ่งเหล่านั้น
ลักษณะคำตอบ	เลือกว่าปัจจัยหรือองค์ประกอบที่กำหนดให้ส่งผลกระทบต่อระบบหรือสถานการณ์ที่กำหนดให้
ตัวถูก	เป็นปัจจัยหรือองค์ประกอบที่ส่งผลกระทบต่อระบบหรือปัญหาของสถานการณ์ที่กำหนด
ตัวหลง	ไม่เป็นปัจจัยหรือองค์ประกอบที่ส่งผลกระทบต่อระบบหรือปัญหาของสถานการณ์ที่กำหนด

เจและน้องสาววางแผนจะกลับบ้านที่เชียงใหม่ในช่วงวันหยุดเทศกาลสงกรานต์เพื่อไปเยี่ยมญาติที่ป่วย ได้ใช้ตารางเปรียบเทียบการเดินทาง เพื่อศึกษาและวางแผนค่าใช้จ่าย โดยเจจะได้หยุดในวันที่ 12 – 15 เมษายน และต้องการควบคุมค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปและกลับไม่เกิน 4,000 บาท

การเปรียบเทียบการเดินทางจากกรุงเทพไปเชียงใหม่

ตัวอย่างสถานการณ์

วิธีการเดินทาง	เวลา	ค่าใช้จ่าย
เครื่องบิน	70 นาที (ไม่รวมเวลาเดินทางไปสนามบิน)	1,210 บาท
รถยนต์	9 ชั่วโมง	1,500 บาทต่อรถ 1 คัน
รถบัส	9 ชั่วโมง 30 นาที	679 บาท
รถไฟ	11 ชั่วโมง	891 บาท
วิ่ง	20 วัน	0 บาท (ไม่รวมค่าอาหารและที่พัก)

เที่ยวบินแรก เวลา 6.05 น.
เที่ยวบินสุดท้าย เวลา 23.20 น.

➡ ทุกวันตั้งแต่ 8.00 – 21.00 น.
➡ จากสถานีหัวลำโพงตั้งแต่เวลา 7.00 น. – 22.00 น.

จากข้อมูลข้างต้น พิจารณปัจจัยที่กำหนดให้ว่าเป็นสิ่งที่เจและน้องสาวต้องคำนึงถึงในการวางแผนการเดินทางหรือไม่ โดยวงกลมล้อมรอบคำว่า “เป็น” หรือ “ไม่เป็น” ในแต่ละข้อความ

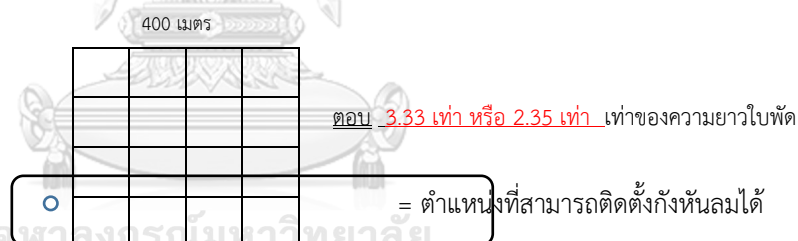
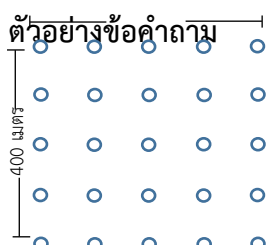
ตัวอย่างข้อคำถาม

ปัจจัย	ข้อความใช่หรือไม่ใช่ปัจจัย
สาเหตุของการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น
ช่วงเวลาที่เลือกเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น
ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น
บุคคลที่ร่วมเดินทางไปด้วย	เป็น / ไม่เป็น
การเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยวอื่น ๆ	เป็น / ไม่เป็น
ราคาหรือเงินที่ต้องจ่ายให้สำหรับการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น

เกณฑ์ในการประเมิน	ตอบถูกทั้งหมด ให้ 1 คะแนน ตอบอื่น ๆ ให้ 0 คะแนน
องค์ประกอบ	การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง
ตัวบ่งชี้	การระบุความสัมพันธ์ของสาเหตุหรือปัจจัย
วัตถุประสงค์ในการวัด	นักเรียนสามารถระบุความสัมพันธ์ของสาเหตุหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องของปัญหา
รูปแบบข้อคำถาม	1. ข้อคำถามปรนัยแบบเลือกตอบ 2. ข้อคำถามอัตนัยแบบเขียนตอบ
1. ข้อคำถามปรนัยแบบเลือกตอบ	
ลักษณะคำถาม	จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ ยกตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง หากมีปัจจัยตัวใดตัวหนึ่งเปลี่ยนแปลงหรือระบบมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลอย่างไรกับสถานการณ์ โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่นคงที่ (ระบบมีการเปลี่ยนแปลง)
ลักษณะคำตอบ	คำตอบมี 4 ตัวเลือก เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบหรือสถานการณ์นั้น ๆ
ตัวถูก	เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างถูกต้อง
ตัวหลง	เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างไม่ถูกต้อง
ตัวอย่างข้อคำถาม	ถ้าเพิ่มเวลาของการให้สารน้ำเป็นสองเท่า แต่ให้อัตราหยดและปริมาตรของสารน้ำเท่าเดิม อัตราการหยดของสารน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร ก. เปลี่ยนแปลงไป 50% ข. เพิ่มขึ้น 50% ค. ลดลง 50% ง. ไม่เปลี่ยนแปลง
เกณฑ์ในการประเมิน	ตอบถูก ให้ 1 คะแนน ตอบผิด ให้ 0 คะแนน
2. ข้อคำถามอัตนัยแบบเขียนตอบ	
ลักษณะคำถาม	กำหนดสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในโลกของความเป็นจริง วิเคราะห์ เชื่อมโยงผลกระทบของความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุหรือปัจจัยกับการแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่กำหนด
ลักษณะคำตอบ	เขียนคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่กำหนดกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
ตัวอย่างสถานการณ์	<u>โครงการกักกันลมผลิตไฟฟ้า</u> โครงการกักกันลมผลิตไฟฟ้า เป็นโครงการพัฒนาพลังงานทดแทนโดยใช้พลังงานลมจากกังหันลมในการผลิตไฟฟ้า โดยข้อมูลของโครงการได้ระบุข้อมูลของกังหันลมที่ต้องใช้ไว้ดังนี้

รุ่น : W-32	
ความสูงของเสา	100 เมตร
จำนวนใบพัด	3 ใบ
ความยาวใบพัด	60 เมตร
ความเร็วสูงสุดของการหมุน	15 รอบต่อนาที
ผลตอบแทน	0.20 บาทต่อกิโลวัตต์ (kW)
ค่าบำรุงรักษา	0.01 บาทต่อกิโลวัตต์ (kW)
ประสิทธิภาพในการทำงาน	95% ต่อ ปี
งบประมาณในการก่อสร้าง	145 ล้านบาท
ความสามารถในการทดสอบการนำเข้าเชื้อเพลิง	0.82 ล้านลิตร/ปี
ลดการปล่อย CO ₂ ได้	2,011 ตัน/ปี

จากข้อมูลกังหันลมระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างเสาสองเสาของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือกึ่งของความยาวใบพัด **พร้อมแสดงการคำนวณเพื่อสนับสนุนคำตอบ** เมื่อกำหนดพื้นที่ในการก่อสร้างเป็นพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และกำหนดตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกังหันลมดังกล่าว



เกณฑ์ในการประเมิน เขียนคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่กำหนดกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ถูกต้อง ให้ 1 คะแนน
เขียนคำตอบอื่น ๆ ให้ 0 คะแนน

องค์ประกอบ การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง

ตัวบ่งชี้ การเขียนความสัมพันธ์ของปัญหา

วัตถุประสงค์ในการวัด นักเรียนสามารถเขียนความสัมพันธ์ด้วยแผนภาพ หรือแสดงการคำนวณที่คำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการค้นหาความเป็นเหตุเป็นผลของปัจจัยและปัญหา

รูปแบบข้อคำถาม ข้อคำถามอัตนัยแบบเขียนตอบ

ข้อคำถามปรนัยแบบเลือกตอบ

ลักษณะคำถาม กำหนดสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในโลกของความเป็นจริง และถามเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด โดยการ

	เขียนแผนภาพ หรือแสดงการคำนวณที่มีการคำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบ				
ลักษณะคำตอบ	เขียนแผนภาพหรือแสดงการคำนวณ โดยระบุปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ				
ตัวอย่างข้อคำถาม	จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ จงเขียนเส้นทางการเดินทางจากชายหาดถึงโรงแรมที่จินและแม่ของเธอเลือกเดินทาง พร้อมทั้งระบุปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเวลาของการเดินทางมา 3 ปัจจัย				
เกณฑ์ในการประเมิน	เขียนแผนภาพหรือแสดงการคำนวณ พร้อมระบุปัจจัยที่ส่งผล 3 ปัจจัย ให้ 2 คะแนน				
	เขียนแผนภาพหรือแสดงการคำนวณ พร้อมระบุปัจจัยที่ส่งผล 1-2 ปัจจัย ให้ 1 คะแนน				
	เขียนแผนภาพหรือแสดงการคำนวณ พร้อมระบุปัจจัยที่ส่งผลไม่ถูกต้อง ให้ 0 คะแนน				
	คำตอบอื่น ๆ ให้ 0 คะแนน				
องค์ประกอบ	การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์				
ตัวบ่งชี้	การระบุคำตอบของปัญหาอย่างสร้างสรรค์				
วัตถุประสงค์ในการวัด	นักเรียนสามารถระบุคำตอบของปัญหาที่ได้จากการแก้ปัญหาแบบใหม่ ที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในสภาพปัจจุบัน				
รูปแบบข้อคำถาม	ข้อคำถามอัตนัยแบบเขียนตอบสั้น				
ข้อคำถามปรนัยแบบเลือกตอบสั้น					
ลักษณะคำถาม	กำหนดสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในโลกของความเป็นจริง และถามเกี่ยวกับคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหา มีการกำหนดรูปแบบลักษณะการตอบ				
ลักษณะคำตอบ	เขียนคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาแบบใหม่ที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้น				
ตัวอย่างข้อคำถาม	จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ จงระบุวิธีการเดินทางไปและกลับกรุงเทพฯ-เชียงใหม่ที่เหมาะสมที่เจและน้องสาวควรเลือก พร้อมอธิบายเหตุผลในการเลือกโดยอาศัยกระบวนการทางคณิตศาสตร์				
	<table><tr><td>การเดินทางไปเชียงใหม่</td><td>การเดินทางกลับกรุงเทพฯ</td></tr><tr><td>เครื่องบิน</td><td>รถบัส</td></tr></table>	การเดินทางไปเชียงใหม่	การเดินทางกลับกรุงเทพฯ	เครื่องบิน	รถบัส
	การเดินทางไปเชียงใหม่	การเดินทางกลับกรุงเทพฯ			
	เครื่องบิน	รถบัส			
เหตุผลในการเลือก					
....สอดคล้องกับการเดินทาง รวดเร็ว และ ไม่เกินงบ การเดินทางที่ตั้งไว้....					
เกณฑ์ในการประเมิน	เป็นคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาในรูปแบบใหม่ ถูกต้อง และสอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ ให้ 2 คะแนน				
	เป็นคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหา ถูกต้อง และสอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ ให้ 1 คะแนน				

	ไม่เป็นคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหา หรือไม่ถูกต้อง หรือไม่สอดคล้องกับ สถานการณ์ที่กำหนดให้ ให้ 0 คะแนน คำตอบอื่น ๆ ให้ 0 คะแนน
องค์ประกอบ	การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์
ตัวบ่งชี้	การอธิบายการได้มาซึ่งคำตอบ
วัตถุประสงค์ในการวัด	นักเรียนสามารถอธิบายหรือแสดงการได้มาซึ่งคำตอบของการแก้ปัญหา แบบใหม่ที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในสภาพปัจจุบัน
รูปแบบข้อคำถาม	ข้อคำถามอัตนัยแบบเขียนตอบ
ข้อคำถามปรนัยแบบเลือกตอบ	
ลักษณะคำถาม	กำหนดสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในโลกของความเป็นจริง และถามเกี่ยวกับ วิธีการ ขั้นตอน หรือการได้มาซึ่งคำตอบของการแก้ปัญหา มีการกำหนด รูปแบบการตอบ หรือการแสดงคำตอบ
ลักษณะคำตอบ	เขียนอธิบายหรือแสดงวิธีการได้มาซึ่งคำตอบ ได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน และสอดคล้องกับคำตอบในการแก้ปัญหา
ตัวอย่างข้อคำถาม	จงเขียนแสดงคำนวณและอธิบายเพื่อสนับสนุนคำตอบการปรับแผนการ รักษาของแพทย์ที่ต้องการให้ระยะเวลาในการให้สารน้ำทางหลอดเลือด ดำเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า แนวทางการตอบ โจทย์กำหนดให้เพิ่มระยะเวลาในการให้ยาทางหลอดเลือด เพิ่มเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจากเดิม
เกณฑ์ในการประเมิน	ตอบแสดงวิธีการได้มาซึ่งคำตอบ ได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วนและสอดคล้อง กับคำตอบในการแก้ปัญหา ให้ 1 คะแนน ตอบแสดงวิธีการได้มาซึ่งคำตอบ ไม่ถูกต้อง หรือไม่ครบถ้วน หรือไม่ สอดคล้องกับคำตอบในการแก้ปัญหา ให้ 0 คะแนน คำตอบอื่น ๆ ให้ 0 คะแนน

ส่วนที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา ตอนปลาย

ในการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน
มัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน ซึ่งแต่ละท่านได้ตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะ
เพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผ่านแบบประเมินความ
ตรงเชิงเนื้อหาของการสร้างเครื่องมือ แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียด
ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 11 ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ข้อที่	IOC	ข้อเสนอแนะ
1	1.00	-
2	0.80	-
3	0.60	ปรับคำสั่งในการตอบให้มีความชัดเจนมากขึ้น
4	1.00	ปรับรูปประโยคให้อ่านง่ายขึ้น และปรับคำให้เป็นตามโจทย์
5	0.40	-
6	0.20	ควรใช้คำถามจากสถานการณ์บนพื้นฐานของข้อมูล
7	1.00	-
8	0.40	-
9	1.00	-
10	0.40	ปรับการใช้คำถามให้รูปประโยคมีความต่อเนื่อง กระชับ
11	0.80	-
12	0.80	ปรับคำสั่งให้กระชับและปรับรูปแบบการตอบให้เข้าใจง่ายสอดคล้องกับคำถาม
13	0.60	มีการขึ้นนำคำตอบในข้อก่อนหน้า
14	0.80	-
15	1.00	ปรับตัวเลือกให้กระชับ
16	0.60	-
17	0.60	-
18	0.60	ปรับเกณฑ์การให้คะแนนให้ชัดเจนและครอบคลุม
19	0.80	ปรับข้อคำถาม ควรระบุจำนวนปัจจัยที่ต้องตอบให้ชัดเจน
20	0.60	ปรับคำถามให้เข้าใจง่ายขึ้น
21	1.00	ปรับคำถามให้เข้าใจง่ายขึ้น
22	0.60	-
23	0.80	-
24	0.80	เพิ่มรูปแบบการตอบเพื่อให้ผู้ตอบเข้าใจรูปแบบของการตอบ
25	0.80	-
26	0.80	ปรับคำอธิบายคำถามให้มีความละเอียดชัดเจนมากขึ้น
27	0.80	-
28	0.60	ควรเรียงเรียงประโยคคำถามใหม่
29	0.60	ควรเรียงเรียงประโยคคำถามใหม่
30	0.40	ควรขยายความเข้าใจของคำถามมากขึ้น

ข้อที่	IOC	ข้อเสนอแนะ
31	0.60	ปรับคำถามให้เข้าใจง่ายขึ้น

จากตารางที่ 11 พบว่าข้อคำถามในภาพรวมผ่านเกณฑ์การประเมิน มีข้อคำถามจำนวน 5 ข้อที่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้นำข้อคำถามทั้งหมดไปทดสอบตัวอย่างกลุ่มนักร้อง และนำข้อมูลที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพรายข้อ มีรายละเอียดดังนี้

ผลการตรวจสอบคุณภาพรายข้อของข้อคำถามของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของกลุ่มนักร้อง

การตรวจสอบคุณภาพรายข้อของข้อคำถามที่สร้างขึ้นเพื่อพัฒนาเป็นแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของกลุ่มนักร้อง โดยพิจารณาจากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) ผู้วิจัยใช้ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบของกลุ่มนักร้องทั้งหมด แบ่งออกเป็นกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อคำถามของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของกลุ่มนักร้อง

ข้อที่	ค่าเฉลี่ย กลุ่มสูง	ค่าเฉลี่ย กลุ่มต่ำ	t	Sig.	การแปลผล
1	0.49	0.17	2.928*	.005	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
2	0.83	0.54	1.371	.175	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
3	1.14	1.03	0.646	.521	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
4	0.46	0.20	2.347*	.022	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
5	0.40	0.14	2.491*	.015	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
6	0.77	0.43	3.943*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
7	0.63	0.20	3.984*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
8	0.34	0.06	2.656*	.010	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
9	0.54	0.23	1.952	.055	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
10	0.43	0.17	2.410*	.019	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
11	1.00	0.43	3.095*	.003	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
12	0.14	0.11	0.352	.726	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
13	0.69	0.54	1.223	.225	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
14	0.46	0.54	-0.709	.480	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
15	0.49	0.14	2.711*	.008	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
16	0.23	0.06	2.083*	.042	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
17	0.03	0.06	-0.583	.562	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้

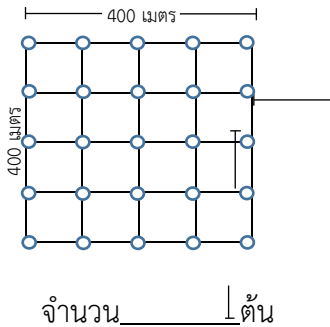
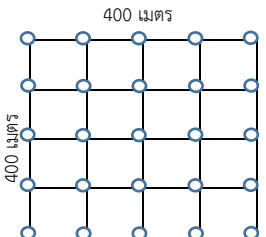
ข้อที่	ค่าเฉลี่ย กลุ่มสูง	ค่าเฉลี่ย กลุ่มต่ำ	t	Sig.	การแปลผล
18	0.23	0.00	3.174*	.002	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
19	0.17	0.09	1.065	.291	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
20	0.31	0.11	2.072*	.042	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
21	0.03	0.06	-0.583	.562	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
22	0.49	0.14	3.277*	.002	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
23	0.37	0.11	2.592*	.012	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
24	0.09	0.03	1.023	.310	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
25	0.69	0.46	1.389	.169	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
26	0.54	0.23	2.497*	.015	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
27	1.00	0.69	1.769	.081	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
28	1.03	0.71	1.976	.052	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
29	0.74	0.26	3.807*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
30	0.20	0.06	1.801	.076	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
31	0.74	0.43	2.610*	.011	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้

จากตารางที่ 12 พบว่ามีข้อคำถาม 14 ข้อไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้ มีข้อคำถามจำนวน 18 ข้อ สามารถจำแนกความสามารถของผู้สอบได้ จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงข้อคำถาม เพื่อที่จะนำมาพัฒนาเป็นแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ โดยมีการปรับแก้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 การปรับแก้ข้อคำถามตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

ก่อนปรับแก้ไข	หลังปรับแก้ไข
<p>ข้อ 4 แพทย์พิจารณาแผนการรักษาผู้ป่วยโดยการให้ยาทางหลอดเลือดดำ โดยแพทย์สั่งการรักษาให้ 5% D/W 1 ลิตร ในเวลา 10 ชั่วโมง กำหนดให้ใช้ชุดให้สารน้ำชนิดหยดเล็กที่มีอัตราหยดเท่ากับ 60 หยดต่อ 1 มิลลิลิตร พยาบาลต้องปรับอัตราการหยดในการให้ยาทางหลอดเลือดดำเป็นเท่าใด</p> <p>ก. 50 หยด/นาที่ ข. 100 หยด/นาที่ ค. 600 หยด/นาที่ ง. 6,000 หยด/นาที่</p>	<p>ข้อ 4 แพทย์พิจารณาแผนการรักษาผู้ป่วยโดยการให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ กำหนดการให้ปริมาตรสารน้ำ 1,000 มิลลิลิตร ในเวลา 10 ชั่วโมง กำหนดชุดให้สารน้ำชนิดหยดเล็กที่มีอัตราหยดเท่ากับ 60 หยดต่อ 1 มิลลิลิตร พยาบาลต้องปรับอัตราการหยดในการให้ยาทางหลอดเลือดดำเป็นเท่าใด</p> <p>ก. 50 หยด/นาที่ ข. 100 หยด/นาที่ ค. 600 หยด/นาที่ ง. 6,000 หยด/นาที่</p>

ก่อนปรับแก้ไข	หลังปรับแก้ไข																										
<p>ข้อ 12 จงตัดสินใจว่าองค์ประกอบที่กำหนดให้ส่งผลต่อราคาคอนโดมิเนียมห้องนี้หรือไม่ ถ้าใช่ให้วงกลมล้อมรอบคำว่า “ใช่” และ วงกลมล้อมรอบคำว่า “ไม่ใช่” ถ้าไม่ใช่องค์ประกอบที่ส่งผลต่อราคาคอนโดมิเนียม</p> <table border="1" data-bbox="304 674 828 1261"> <thead> <tr> <th>องค์ประกอบ</th><th>ใช่หรือไม่ใช่ องค์ประกอบ</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ขนาดของห้อง หน่วยเป็นตารางเมตร (ม²)</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> <tr> <td>ที่จอดรถ</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> <tr> <td>จำนวนแขกที่มาพักเฉลี่ยต่อปี</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> <tr> <td>ระยะทางการเดินทางถึงกรุงเทพฯ</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> <tr> <td>ระยะทางการเดินทางสู่ตัวเมือง</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> <tr> <td>ระยะทางไปถึงชายหาด</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> </tbody> </table>	องค์ประกอบ	ใช่หรือไม่ใช่ องค์ประกอบ	ขนาดของห้อง หน่วยเป็นตารางเมตร (ม ²)	ใช่ / ไม่ใช่	ที่จอดรถ	ใช่ / ไม่ใช่	จำนวนแขกที่มาพักเฉลี่ยต่อปี	ใช่ / ไม่ใช่	ระยะทางการเดินทางถึงกรุงเทพฯ	ใช่ / ไม่ใช่	ระยะทางการเดินทางสู่ตัวเมือง	ใช่ / ไม่ใช่	ระยะทางไปถึงชายหาด	ใช่ / ไม่ใช่	<p>ข้อ 12 พิจารณาองค์ประกอบที่กำหนดให้ว่าส่งผลต่อราคาคอนโดมิเนียมห้องนี้หรือไม่ ถ้าใช่ให้วงกลมล้อมรอบคำว่า “ใช่” และ วงกลมล้อมรอบคำว่า “ไม่ใช่” ถ้าไม่ใช่องค์ประกอบที่ส่งผลต่อราคาคอนโดมิเนียม</p> <table border="1" data-bbox="860 674 1383 1167"> <thead> <tr> <th>องค์ประกอบ</th><th>ใช่หรือไม่ใช่ องค์ประกอบ</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ขนาดของห้อง หน่วยเป็นตารางเมตร (ม²)</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> <tr> <td>ที่จอดรถ</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> <tr> <td>จำนวนแขกที่มาพักเฉลี่ยต่อปี</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> <tr> <td>ระยะทางการเดินทางถึงกรุงเทพฯ</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> <tr> <td>ระยะทางไปถึงชายหาด</td><td>ใช่ / ไม่ใช่</td></tr> </tbody> </table>	องค์ประกอบ	ใช่หรือไม่ใช่ องค์ประกอบ	ขนาดของห้อง หน่วยเป็นตารางเมตร (ม ²)	ใช่ / ไม่ใช่	ที่จอดรถ	ใช่ / ไม่ใช่	จำนวนแขกที่มาพักเฉลี่ยต่อปี	ใช่ / ไม่ใช่	ระยะทางการเดินทางถึงกรุงเทพฯ	ใช่ / ไม่ใช่	ระยะทางไปถึงชายหาด	ใช่ / ไม่ใช่
องค์ประกอบ	ใช่หรือไม่ใช่ องค์ประกอบ																										
ขนาดของห้อง หน่วยเป็นตารางเมตร (ม ²)	ใช่ / ไม่ใช่																										
ที่จอดรถ	ใช่ / ไม่ใช่																										
จำนวนแขกที่มาพักเฉลี่ยต่อปี	ใช่ / ไม่ใช่																										
ระยะทางการเดินทางถึงกรุงเทพฯ	ใช่ / ไม่ใช่																										
ระยะทางการเดินทางสู่ตัวเมือง	ใช่ / ไม่ใช่																										
ระยะทางไปถึงชายหาด	ใช่ / ไม่ใช่																										
องค์ประกอบ	ใช่หรือไม่ใช่ องค์ประกอบ																										
ขนาดของห้อง หน่วยเป็นตารางเมตร (ม ²)	ใช่ / ไม่ใช่																										
ที่จอดรถ	ใช่ / ไม่ใช่																										
จำนวนแขกที่มาพักเฉลี่ยต่อปี	ใช่ / ไม่ใช่																										
ระยะทางการเดินทางถึงกรุงเทพฯ	ใช่ / ไม่ใช่																										
ระยะทางไปถึงชายหาด	ใช่ / ไม่ใช่																										
<p>ข้อ 15 อัตราการหยุดของสารน้ำเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ถ้าเพิ่มเวลาของการให้สารน้ำเป็นสองเท่า แต่กำหนดให้อัตราหยุด และปริมาตรของสารน้ำที่ให้เท่าเดิม</p> <p>ก. อัตราการหยุดเปลี่ยนแปลงไป 50% ข. อัตราการหยุดเพิ่มขึ้นไป 50% ค. อัตราการหยุดลดลงไป 50% ง. อัตราการหยุดไม่เปลี่ยนแปลง</p>	<p>ข้อ 15 ถ้าเพิ่มเวลาของการให้สารน้ำเป็นสองเท่า แต่ให้อัตราหยุดและปริมาตรของสารน้ำเท่าเดิม อัตราการหยุดของสารน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร</p> <p>ก. เปลี่ยนแปลงไป 50% ข. เพิ่มขึ้น 50% ค. ลดลง 50% ง. ไม่เปลี่ยนแปลง</p>																										
<p>ข้อ 18 การให้คะแนน สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเดินทางกับปัจจัยที่ส่งในการเดินทางได้อย่างชัดเจน 2 ประเด็นขึ้นไป 2 คะแนน</p>	<p>ข้อ 18 การให้คะแนน</p> <ul style="list-style-type: none"> - สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเดินทางกับปัจจัยที่ส่งในการเดินทางได้อย่างชัดเจนและถูกต้องบน 																										

ก่อนปรับแก้ไข	หลังปรับแก้ไข
<p>สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเดินทางกับปัจจัยที่ส่งในการเดินทางได้อย่างชัดเจน 1 ประเด็น 1 คะแนน</p> <p>เขียนไม่ถูกต้องหรือคำตอบอื่น ๆ 0 คะแนน</p>	<p>พื้นฐานของข้อมูล 2 ประเด็นขึ้นไป ให้ 2 คะแนน</p> <ul style="list-style-type: none"> - สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเดินทางกับปัจจัยที่ส่งในการเดินทางได้อย่างชัดเจนและถูกต้องบนพื้นฐานของข้อมูล 1 ประเด็น 1 คะแนน - เขียนความสัมพันธ์ไม่ถูกต้อง ให้ 0 คะแนน - คำตอบอื่น ๆ ให้ 0 คะแนน
<p>ข้อ 19</p> <p>จงเขียนเส้นทางการเดินทางจากชายหาดถึงโรงแรมที่จินและแม่ของเธอเลือกเดินทาง พร้อมทั้งระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาของการเดินทาง</p>	<p>ข้อ 19</p> <p>จงเขียนเส้นทางการเดินทางจากชายหาดถึงโรงแรมที่จินและแม่ของเธอเลือกเดินทาง พร้อมทั้งระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาของการเดินทางมา 3 ปัจจัย</p>
<p>ข้อ 21</p> <p>จงเขียนการคำนวณเพื่อสนับสนุนแนวคิดการหาระยะทางที่น้อยที่สุดระหว่างเสาสองเสาของกังหันลมกระแสไฟฟ้า</p>	<p>ข้อ 21</p> <p>จากข้อมูลกังหันลมระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างเสาสองเสาของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือกึ่งของความยาวใบพัด พร้อมแสดงการคำนวณเพื่อสนับสนุนคำตอบ เมื่อกำหนดพื้นที่ในการก่อสร้างเป็นพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และกำหนดตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกังหันลมดังกล่าว</p>
<p>ข้อ 26</p> <p>จากพื้นที่และตำแหน่งที่กำหนดให้ สามารถติดตั้งกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากที่สุด ระบายวงกลม (o) ในตำแหน่งที่คิดว่าสามารถติดตั้งกังหันลมได้</p>  <p>จำนวน _____ ต้น</p>	<p>ข้อ 26</p> <p>จากข้อมูลกังหันลมระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างเสาสองเสาของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือกึ่งของความยาวใบพัด พร้อมแสดงการคำนวณเพื่อสนับสนุนคำตอบ เมื่อกำหนดพื้นที่ในการก่อสร้างเป็นพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และกำหนดตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกังหันลมดังกล่าว</p> 

ก่อนปรับแก้ไข	หลังปรับแก้ไข
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">○ = ตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกัณฑ์ลมได้</div> <p>ตอบ _____ เท่าของความยาวใบพัด</p>
ข้อ 28 จงแสดงวิธีการคำนวณเพื่อสนับสนุนคำตอบ เวลาที่จิ้นและแม่ของเธอควรออกจากชายหาด	ข้อ 28 จากข้อ... จงแสดงวิธีการคำนวณเพื่อหา ระยะเวลาที่จิ้นและแม่ควรออกจากชายหาด โดยเป็นไปตามเงื่อนไขของข้อมูลที่กำหนดให้
ข้อ 29 จงเขียนการคำนวณและอธิบายเพื่อสนับสนุน คำตอบการปรับแผนการรักษาของแพทย์ แนวทางการคำนวณ	ข้อ 29 จงเขียนแสดงคำนวณและอธิบายเพื่อสนับสนุน คำตอบการปรับแผนการรักษาของแพทย์ที่ ต้องการให้ระยะเวลาในการให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า
ข้อ 31 เจนในฐานะผู้ซื้อครุฑที่จะซื้อคอนโดมิเนียมห้อง นี้หรือไม่ จงระบุแนวทางในการตัดสินใจโดยใช้ การคำนวณเพื่อสนับสนุนแนวคิด	ข้อ 31 เจนควรซื้อคอนโดมิเนียมห้องนี้หรือไม่ เพราะ เหตุใด จงให้เหตุผลเพื่อการตัดสินใจโดยอาศัย กระบวนการคิดทางคณิตศาสตร์

นอกจากนี้ผู้ทรงคุณวุฒิ ได้เสนอแนะว่าควรปรับข้อคำถามที่มีความต่อเนื่องกันไว้ในข้อคำถามเดียวกันเพื่อลดความสับสนของผู้ตอบแบบวัด จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเลือกข้อคำถามที่ได้รับการตรวจสอบและปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อจัดทำแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ และเก็บข้อมูลกับตัวอย่างใช้สถิติเชิงบรรยายวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้น โดยใช้โปรแกรม SPSS และการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะนำเสนอในตอนี่ 2 ต่อไป

ตอนที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผู้วิจัยได้นำแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่ได้รับการปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิไปเก็บข้อมูลกับตัวอย่างที่เป็นกลุ่มทดลอง ซึ่งผลการใช้แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยจะนำเสนอออกเป็น 2 ส่วนย่อยได้แก่ ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่าง และส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่าง

2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น เป็นวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างในการวิจัย ตัวอย่างในการวิจัยเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย (มัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6) แผนการเรียนวิทย์ และแผนการเรียนศิลป์ของโรงเรียนในสังกัดเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 10 จังหวัดเพชรบุรี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 12 โรงเรียน จำนวน 600 คน พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 364 คน คิดเป็นร้อยละ 60.7 และเป็นเพศชายจำนวน 236 คน คิดเป็นร้อยละ 39.3 เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เป็นเพศชายจำนวน 78 คน คิดเป็นร้อยละ 13.00 เพศหญิงจำนวน 107 คน คิดเป็นร้อยละ 17.83 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เป็นเพศชายจำนวน 74 คน คิดเป็นร้อยละ 13.33 เพศหญิงจำนวน 132 คน คิดเป็นร้อยละ 22.00 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เป็น เพศชายจำนวน 84 คน คิดเป็นร้อยละ 14.00 เพศหญิงจำนวน 125 คน คิดเป็นร้อยละ 20.83

ตัวอย่างในการวิจัยที่เป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แบ่งเป็นแผนการเรียนศิลป์ ทั้งหมด 222 คน คิดเป็นร้อยละ 37.00 เป็นเพศชายจำนวน 102 คน คิดเป็นร้อยละ 17.00 เพศหญิง จำนวน 120 คน คิดเป็นร้อยละ 20.00 และแผนการเรียนวิทย์ทั้งหมด 378 คิดเป็นร้อยละ 63.00 เป็นเพศชายจำนวน 134 คน คิดเป็นร้อยละ 22.33 เพศหญิงจำนวน 244 คน คิดเป็นร้อยละ 40.67 ตัวอย่างตามขนาดโรงเรียน พบว่าเป็นโรงเรียนขนาดเล็กจำนวน 114 คน คิดเป็นร้อยละ 19.00 เพศชายจำนวน 52 คน คิดเป็นร้อยละ 8.67 เพศหญิงจำนวน 62 คน คิดเป็นร้อยละ 10.33 โรงเรียน ขนาดกลางจำนวน 197 คน คิดเป็นร้อยละ 32.83 เพศชายจำนวน 77 คน คิดเป็นร้อยละ 12.83 เพศหญิงจำนวน 120 คน คิดเป็นร้อยละ 20.00 โรงเรียนขนาดใหญ่จำนวน 134 คน คิดเป็นร้อยละ 22.33 เพศชายจำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 7.83 เพศหญิงจำนวน 87 คน คิดเป็นร้อยละ 14.50 และโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษจำนวน 155 คน คิดเป็นร้อยละ 25.83 เพศชายจำนวน 60 คน คิดเป็น ร้อยละ 10.00 เพศหญิงจำนวน 95 คน คิดเป็นร้อยละ 15.83 รายละเอียดดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 จำนวนและร้อยละของตัวอย่างในการวิจัยจำแนกตามเพศ ระดับชั้น แผนการเรียน และ ขนาดโรงเรียน

เพศ		ชาย		หญิง		รวม	
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับชั้น	ม.4	78	13.00	107	17.83	185	30.83
	ม.5	74	13.33	132	22.00	206	34.33
	ม.6	84	14.00	125	20.83	209	34.83
แผนการเรียน	ศิลป์	102	17.00	120	20.00	222	37.00
	วิทย์	134	22.33	244	40.67	378	63.00
ขนาดโรงเรียน	เล็ก	52	8.67	62	10.33	114	19.00
	กลาง	77	12.83	120	20.00	197	32.83
	ใหญ่	47	7.83	87	14.50	134	22.33

เพศ	ชาย		หญิง		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ใหญ่พิเศษ	60	10.00	95	15.83	1155	25.83
รวม	236	39.3	364	60.7	600	100

2.2. ผลการวิเคราะห์คะแนนสอบของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายแบบภาพรวม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของคะแนนสอบของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า มีคะแนนเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 7.63 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เท่ากับ 4.91 โดยมีคะแนนสูงสุดเท่ากับ 22.00 คะแนน คะแนนต่ำสุดเท่ากับ 0.00 จากคะแนนเต็ม 24 คะแนน มีความเบ้เท่ากับ 0.464 และค่าความโด่งเท่ากับ -0.731 เมื่อนำผลคะแนนของนักเรียนมาตัดสินผลประเมินระดับการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ตามตารางที่ 15 พบว่า นักเรียนมีผลการประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับสูงจำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 4.20 ระดับปานกลางจำนวน 216 คน คิดเป็นร้อยละ 36.00 และระดับต่ำจำนวน 359 คน คิดเป็นร้อยละ 59.80 หากแบ่งตามแผนการเรียน พบว่า นักเรียนแผนการเรียนวิทย์มีผลการประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับสูงจำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 4.20 ระดับปานกลางจำนวน 193 คน คิดเป็นร้อยละ 32.20 และระดับต่ำจำนวน 160 คน คิดเป็นร้อยละ 26.70 ในขณะที่นักเรียนแผนการเรียนศิลป์ไม่มีนักเรียนคนใดมีผลการประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับสูง และมีผลการประเมินระดับปานกลางจำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 3.80 ระดับต่ำจำนวน 199 คน คิดเป็นร้อยละ 33.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 15 เกณฑ์การแปลความหมายของคะแนนแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

เกณฑ์การแปลความหมายของคะแนนแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย จากคะแนนเต็ม 24 คะแนน

ระดับคะแนน	การแปลความหมาย
17 – 24	ความสามารถในการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับสูง
9 – 16	ความสามารถในการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับปานกลาง
0 - 8	ความสามารถในการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับต่ำ

ตารางที่ 16 คะแนนเบื้องต้นของคะแนนสอบของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายแบบภาพรวม

ข้อมูลเบื้องต้น	คะแนนสูงสุด	คะแนนต่ำสุด	คะแนนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความเบ้	ความโด่ง
ค่าคะแนน	22.00	0.00	7.63	4.91	0.464	-0.731

ผลการประเมินการคิดเชิง ระบบทางคณิตศาสตร์	คะแนน เฉลี่ย	แผนการเรียนรู้		แผนการเรียงศิลป์		รวม	
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับสูง	17 – 24	25	4.20	0	0.00	25	4.20
ระดับปานกลาง	9 – 16	193	32.20	23	3.80	216	36.00
ระดับต่ำ	0 -8	160	26.70	199	33.20	359	59.80
รวม		378	63.00	222	37.00	600	100.00

ส่วนที่ 2 ผลตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยเป็นการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ ในด้านความเที่ยง ความตรง และคุณภาพรายข้อของข้อคำถาม ด้วยโปรแกรม SPSS และโปรแกรม LISREL แบ่งเป็น ผลการตรวจสอบคุณภาพรายข้อของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ผลการตรวจสอบความเที่ยงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และผลการตรวจสอบความตรงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีรายละเอียดดังนี้

1) ผลการตรวจสอบคุณภาพรายข้อของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

การตรวจสอบคุณภาพรายข้อของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายพิจารณาจากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) ผู้วิจัยใช้ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบของตัวอย่างทั้งหมด แบ่งออกเป็นกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ข้อที่	ค่าเฉลี่ย กลุ่มสูง	ค่าเฉลี่ย กลุ่มต่ำ	t	Sig.	การแปลผล
1	0.27	0.22	1.22	.222	ข้อคำถามไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
2	1.06	0.59	8.24*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
3	1.06	0.56	9.03*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
4	0.30	0.10	6.09*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
5	0.28	0.08	6.59*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
6	0.78	0.18	18.36*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้

ข้อที่	ค่าเฉลี่ย กลุ่มสูง	ค่าเฉลี่ย กลุ่มต่ำ	t	Sig.	การแปลผล
7	0.66	0.04	20.48*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
8	0.89	0.41	14.12*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
9	0.88	0.36	14.52*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
10	0.66	0.16	13.93*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
11	0.41	0.03	9.61*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
12	0.51	0.03	15.52*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
13	0.17	0.01	6.97*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
14	0.26	0.01	9.07*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
15	0.86	0.21	11.42*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
16	0.37	0.21	4.30*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
17	1.11	0.15	18.04*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้
18	0.60	0.16	12.56*	.000	ข้อคำถามสามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้

จากตารางที่ 17 พบว่า มีข้อคำถามเพียง 1 ข้อที่ไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์และปรับปรุงข้อคำถาม ตามรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 18 การปรับแก้ข้อคำถาม

ก่อนปรับแก้ไข		หลังปรับแก้ไข	
จากข้อมูลข้างต้น พิจารณาปัจจัยที่กำหนดให้ว่าเป็นสิ่งที่เจและน้องสาวต้องคำนึงถึงในการวางแผนการเดินทางหรือไม่ โดยวงกลมล้อมรอบคำว่า “เป็น” หรือ “ไม่เป็น” ในแต่ละข้อความ		จากข้อมูลข้างต้น พิจารณาปัจจัยที่กำหนดให้ว่าเป็นสิ่งที่เจและน้องสาวต้องคำนึงถึงในการวางแผนการเดินทางหรือไม่ โดยวงกลมล้อมรอบคำว่า “เป็น” หรือ “ไม่เป็น” ในแต่ละข้อความ	
ปัจจัย	ข้อความใช่หรือไม่ใช่ปัจจัย	ปัจจัย	ข้อความใช่หรือไม่ใช่ปัจจัย
สาเหตุของการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น	ช่วงเวลาที่เลือกเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น
ช่วงเวลาที่เลือกเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น	ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น
ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น	บุคคลที่ร่วมเดินทางไปด้วย	เป็น / ไม่เป็น
บุคคลที่ร่วมเดินทางไปด้วย	เป็น / ไม่เป็น	การเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยวอื่น ๆ	เป็น / ไม่เป็น
การเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยวอื่น ๆ	เป็น / ไม่เป็น	ราคาหรือเงินที่ต้องจ่ายให้สำหรับการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น

ก่อนปรับแก้ไข		หลังปรับแก้ไข
ราคาหรือเงินที่ต้องจ่ายให้ สำหรับการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น	

2) ผลการตรวจสอบความเที่ยงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ค่าความเที่ยงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายทั้งฉบับ โดยการพิจารณาค่าความสอดคล้องภายในด้วยสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient: α) ด้วยโปรแกรม SPSS พบว่า มีค่าความเที่ยงของแบบวัดทั้งฉบับเท่ากับ 0.818 แสดงให้เห็นว่าแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์มีค่าความเที่ยงสูง (มีค่าอยู่ระหว่าง 0.70 – 1.00)

3) ผลการตรวจสอบความตรงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยจำนวน 600 คน ดังรายละเอียดในข้อมูลพื้นฐานที่ได้รายงานไว้ข้างต้น เพื่อนำมาตรวจสอบความตรงตามสภาพ (Concurrent Validity) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของคะแนนที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายกับผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน ด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) โดยใช้โปรแกรม SPSS และตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ด้วยโปรแกรม LISREL มีรายละเอียดดังนี้

(1) ความตรงตามสภาพ

จากการตรวจสอบความตรงตามเกณฑ์สัมพัทธ์เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของคะแนนที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์กับผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่ได้จากแบบสอบการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายและผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐานมีความสัมพันธ์เชิงบวกขนาดกลาง ขนาด .418 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($r_{xy} = .418$; sig. = .000) คะแนนที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์กับผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐานมีระดับความแปรผันร่วมกันคิดเป็นร้อยละ 20.11

(2) ความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายดำเนินการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน โดยใช้โปรแกรม LISREL มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความตรงหรือความสอดคล้องของโมเดลการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ว่าสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ โดยพิจารณาโมเดลการวัด

การคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ตามกรอบแนวคิดที่ผู้วิจัยศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยข้อคำถามจำนวน 18 ข้อ

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้เกี่ยวกับการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ รวม 6 ตัวแปร โดยใช้สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ดังแสดงในตารางที่ 19 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าตั้งแต่ 0.230 – 0.716 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีค่าแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .01$) 15 คู่ และเป็นความสัมพันธ์ทางบวกทุกคู่ โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสูงสุด ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร การเขียนความสัมพันธ์ของปัญหา (CT2) กับ ตัวแปรการอธิบายการได้มาซึ่งคำตอบ (CPT2) ส่วนตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่มีค่าต่ำที่สุด ได้แก่ ตัวแปรการระบุสาเหตุหรือปัจจัย (HT2) กับ ตัวแปรการระบุความสัมพันธ์ของสาเหตุหรือปัจจัย (CT1)

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรสังเกตได้ที่ใช้วัดความสามารถ พบว่า มีค่า Bartlett's Test of Sphericity ซึ่งเป็นค่าสถิติทดสอบสมมติฐานว่าเมทริกซ์สหสัมพันธ์นี้เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ (identity matrix) หรือไม่ พบว่ามีค่าเท่ากับ 1,216.92 ($p < .01$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าค่าดัชนี ไกเซอร์-เมเยอร์-ออลกิน (Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy: KMO) มีค่าเท่ากับ .837 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าตัวแปรต่าง ๆ ของข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมากพอ และเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบ เนื่องจากตัวแปรที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบควรเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของตัวแปรในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

ตัวบ่งชี้	การคิดแบบองค์รวม		การคิดแบบวิภาษวิธี		การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์	
	HT1	HT2	CT1	CT2	CPT1	CPT2
HT1	1.000					
HT2	0.331**	1.000				
CT1	0.285**	0.230**	1.00			
CT2	0.356**	0.378**	0.533**	1.00		
CPT1	0.287**	0.343**	0.382**	0.566**	1.00	
CPT2	0.365**	0.321**	0.562**	0.716**	0.584**	1.00
Bartlett's Test of Sphericity = 1216.92 df = 15 p = .000						
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO) = 0.837						
หมายเหตุ ** p < .01						

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สอง มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบความตรงหรือความสอดคล้องของโมเดลการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นโมเดลสมมติฐานตามกรอบแนวคิด โดยตรวจสอบจากดัชนีวัดระดับความสอดคล้อง แต่ละองค์ประกอบกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (Empirical data) พิจารณาจากค่าสถิติไค-สแควร์ (Chi-square: χ^2) ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p) ค่าไค-สแควร์สัมพันธ์ (Relative Chi-square: χ^2 / df) ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมพอดี (Goodness of fit Index: GFI) ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมพอดีที่ปรับแก้แล้ว (Adjusted Goodness of Fit Index: AGFI) ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษ (Root Mean Square Residual: RMR) ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษในรูปคะแนนมาตรฐาน (Standardized Root Mean Square Residual: SRMR) ค่าดัชนีรากที่สองของความคลาดเคลื่อนในการประมาณ (Root Mean Square Error of Approximation: RMSEA) ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมพอดีเชิงเปรียบเทียบ (Comparative Fit Index: CFI) ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมอิงเกณฑ์ (Normal Fit Index: NFI) และค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมไม่อิงเกณฑ์ (Non-Normed Fit Index: NNFI) ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีของความเหมาะสมพอดีของโมเดลเกณฑ์การพิจารณา และผลบ่งชี้ ตามเกณฑ์ของนงลักษณ์ วิรัชชัย (2524) และ Hair, et al., (2010) แสดงตามตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่าดัชนีทดสอบความเหมาะสมของโมเดลการวัดองค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ดัชนีทดสอบ	เกณฑ์	ค่าสถิติในโมเดล
ค่าไค-สแควร์ (Chi-square: χ^2)	(P > .05, df > 0) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ	4.58 (P = .329, df = 4)
ค่าไค-สแควร์สัมพันธ์ (Relative Chi-square: χ^2 / df)	$\chi^2 / df < 2$	1.145
ดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (Goodness of fit Index: GFI)	> .95 เข้าใกล้ 1	.997
ดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้ (Adjusted Goodness of Fit Index: AGFI)	> .95 เข้าใกล้ 1	.987
ดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษ (Root Mean Square Residual: RMR)	$\leq .05$ เข้าใกล้ 0	.006
ดัชนีรากที่สองของความคลาดเคลื่อนในการประมาณ (Root Mean Square Error of Approximation: RMSEA)	< .05 เข้าใกล้ 0	.016
ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมพอดีเชิงเปรียบเทียบ (Comparative Fit Index: CFI)	> .95	1.00
ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมอิงเกณฑ์ (Normal Fit Index: NFI)	> .95	.997
ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมไม่อิงเกณฑ์ (Non-Normed Fit Index: NNFI)	> .95	.999

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจากข้อมูลในตารางที่ 20 เพื่อทดสอบความเหมาะสมพอดีของโมเดล พบว่า ค่าไค-สแควร์ (Chi-square: $\chi^2 = 4.58$ df = 4, p = .329) ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นมากกว่า .05 แสดงว่าไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่า โมเดลสมมติฐานทางทฤษฎีสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และค่าไค-สแควร์สัมพันธ์ (Relative Chi-square: χ^2 / df) เท่ากับ 1.145 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์การพิจารณา 2.00 สามารถแปลความหมายได้ว่าโมเดลมีความเหมาะสมพอดีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าดัชนีปรับเหมาะพอดีค่าอื่น ๆ พบว่า ค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (Goodness of fit Index: GFI) มีค่าเท่ากับ .997 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ต้องมีค่ามากกว่า .95 ค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้ (Adjusted Goodness of Fit Index: AGFI) มีค่าเท่ากับ .987 ที่ผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ต้องมีค่ามากกว่า .95 รวมถึงค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษ (Root Mean Square Residual: RMR) มีค่าเท่ากับ .006 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ต้องมีค่าน้อยกว่า .05 ค่าดัชนีรากที่สองของความคลาดเคลื่อนในการประมาณ (Root Mean Square Error of Approximation: RMSEA) มีค่าเท่ากับ .016 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ต้องมีค่าน้อยกว่า .05 ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมพอดีเชิงเปรียบเทียบมีค่าเท่ากับ 1.00 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ต้องมีค่ามากกว่า .95 ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมอิงเกณฑ์มีค่าเท่ากับ .997 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ต้องมีค่ามากกว่า .95 และค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมไม่อิงเกณฑ์มีค่าเท่ากับ .999 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ต้องมีค่ามากกว่า .95 ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมพอดีเชิงเปรียบเทียบ (Comparative Fit Index: CFI) มีค่าเท่ากับ 1.00 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ต้องมีค่ามากกว่า .95 ค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมอิงเกณฑ์ (Normal Fit Index: NFI) มีค่าเท่ากับ .997 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ต้องมีค่ามากกว่า .95 และค่าดัชนีวัดระดับความเหมาะสมไม่อิงเกณฑ์ (Non-Normed Fit Index: NNFI) มีค่าเท่ากับ .999 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ต้องมีค่ามากกว่า .95 โดยค่าสถิติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าโมเดลการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และเมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปรในโมเดลพบว่าทุกตัวมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < .01) รายละเอียดผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (β) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ค่าทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (t-value) และค่าสัมประสิทธิ์พยากรณ์ (R^2) ของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สอง (n = 600 คน)

ตัวแปร	น้ำหนักองค์ประกอบ		t	R^2
	SE	β		
การคิดแบบองค์รวม	0.036	0.374	10.285***	0.140
การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง	0.069	1.000	14.534***	1.000
การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์	0.066	0.984	14.830***	0.968

หมายเหตุ: *** $p < .001$

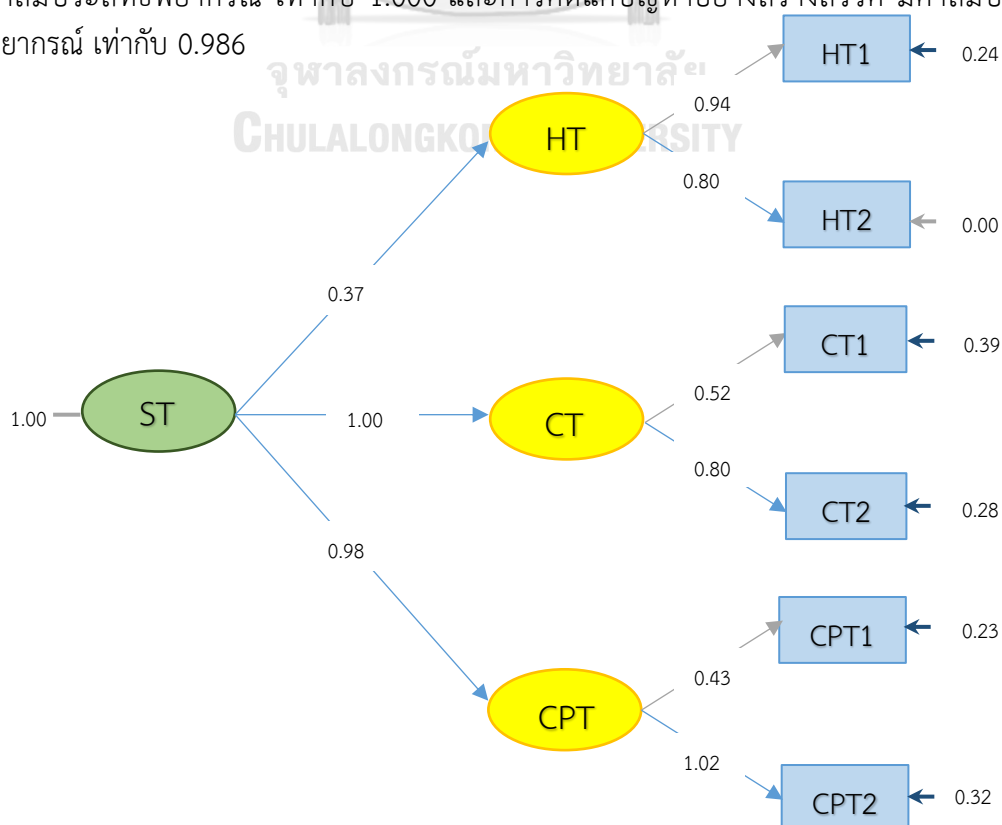
2. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ได้รับค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading: β) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE) การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (t values) ของค่าน้ำหนักองค์ประกอบ และค่าสัมประสิทธิ์พยากรณ์ (Coefficient of Determination: R^2) ของตัวชี้วัดของแต่ละองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 21 กล่าวคือ องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์มี 3 องค์ประกอบ ประกอบด้วย การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

1.1 ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading: b) ขององค์ประกอบการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์องค์ประกอบที่ 1 คือ การคิดแบบองค์รวม มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.374 องค์ประกอบที่ 2 คือ การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 1.00 และองค์ประกอบที่ 3 คือ การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.984

1.2 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE) ของทั้ง 3 องค์ประกอบ คือ การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ มีค่าตั้งแต่ 0.036 – 0.69

1.3 ค่าการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (t-value) ของค่าน้ำหนักองค์ประกอบของทั้ง 3 องค์ประกอบ คือ การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ มีค่าตั้งแต่ 10.285 – 14.830 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$)

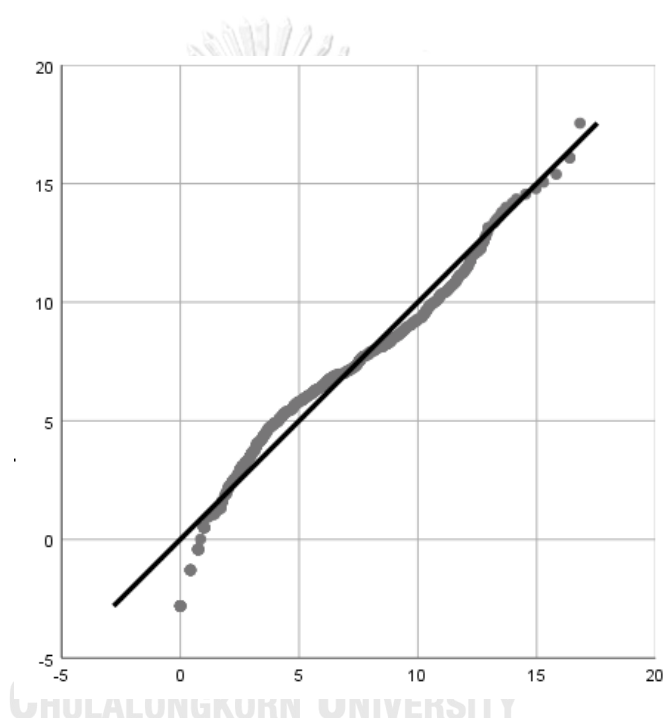
1.4 ค่าสัมประสิทธิ์พยากรณ์ (Coefficient of Determination: R^2) ของทั้ง 3 องค์ประกอบ คือ การคิดแบบองค์รวม มีค่าสัมประสิทธิ์พยากรณ์ เท่ากับ 0.140 การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง มีค่าสัมประสิทธิ์พยากรณ์ เท่ากับ 1.000 และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ มีค่าสัมประสิทธิ์พยากรณ์ เท่ากับ 0.986



Chi-Square = 4.58, df = 4, P-Value = 0.33264, RMSEA = 0.016

ภาพที่ 6 โมเดลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองขององค์ประกอบการเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์กราฟควิล็อต (Q-Plot) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับ ค่าควอนไทล์ปกติ (normal quantiles) ซึ่งจุดในเส้นกราฟตัดกันระหว่างความคลาดเคลื่อนมาตรฐานกับค่าควอนไทล์ปกติ โดยกราฟมีเส้นทแยงมุมที่แสดงให้เห็นความลาดเอียงที่มีค่าเท่ากับ 1 ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กราฟควิล็อต (Q-Plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับค่าควอนไทล์ปกติ

จากภาพ พบว่า เส้นกราฟที่ลากผ่าน X และ Y มีความลาดเอียงมากกว่า 1 กล่าวคือ เส้นกราฟมีความชันมากกว่าเส้นทแยงมุมอันเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ แสดงว่าโมเดลโครงสร้างการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ 1) เพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย 2) เพื่อตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ตามที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น

การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายได้ดำเนินการวิจัยเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้ดำเนินการตรวจสอบแบบวัดโดยวิธีการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาและคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิ โดยใช้แบบประเมินความสอดคล้องความตรงตามเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และ 2) การตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีรูปแบบข้อคำถามเป็นแบบวัดที่มีรูปแบบผสมประกอบไปด้วย แบบปรนัยเลือกตอบ 7 ข้อ แบบอัตนัยเขียนตอบ 11 ข้อ รวมเป็นจำนวน 18 ข้อ ซึ่งเป็นข้อคำถามที่ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาจากผู้ทรงคุณวุฒิ และผ่านการคัดเลือกปรับแก้ให้เหมาะสมตามคำแนะนำ จากนั้นนำแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ไปเก็บข้อมูลกับนักเรียนตัวอย่างในการวิจัย เพื่อนำผลมาตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

ตัวอย่างที่ใช้แบ่งเป็นตัวอย่างที่ใช้ในการนำร่องจำนวน 70 คน ได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) และตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยจำนวน 600 คน ได้มาโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้น (Multi-stage Random Sampling) ขั้นแรกเลือกตัวอย่างระดับเขตพื้นที่การศึกษาโดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากนั้นทำการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) เพื่อเลือกตัวอย่างระดับจังหวัด และทำการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) เลือกโรงเรียน โดยขั้นตอนสุดท้ายของการเลือกตัวอย่างได้ทำการสุ่มตัวอย่างระดับห้องเรียนแบบยกกกลุ่ม (Cluster Random Sampling) ในแต่ละโรงเรียนโดยให้มีทั้งนักเรียนตัวแทนตัวอย่างทั้งแผนการเรียนวิทย์และแผนการเรียนศิลป์จากโรงเรียนที่เป็นตัวอย่าง ทำให้ได้ตัวอย่างเป็นนักเรียนแผนการเรียนวิทย์จำนวน 378 คน นักเรียนแผนการเรียนศิลป์จำนวน 222 คน

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) ค่า

ความเที่ยงการวิเคราะห์คุณภาพของข้อคำถาม การตรวจสอบความตรงตามสภาพ (Concurrent Validity) โดยใช้โปรแกรม SPSS และวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันด้วยโปรแกรม LISREL สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล เชิงคุณภาพ โดยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและสรุปความตามประเด็นที่กำหนด

สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยขอเสนอผลการวิจัยออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และตอนที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงระบบ ทำให้ผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์องค์ประกอบการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ และออกแบบแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ประกอบด้วย บทนำ คำแนะนำการใช้งาน วัตถุประสงค์ของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โครงสร้างของแบบวัด ลักษณะเฉพาะของข้อคำถาม ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาข้อคำถาม เกณฑ์การประเมิน ตัวอย่างข้อคำถาม และตัวอย่างแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผลการประเมินคุณภาพข้อคำถามของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้ง 5 ท่าน เมื่อพิจารณา พบว่า ข้อคำถามมีความเป็นไปได้ เหมาะสม ผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับรูปแบบการใช้ของภาษาในแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) เพื่อตรวจสอบความสามารถในการจำแนกการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของกลุ่มนักร้อง เพื่อให้แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ มีคุณภาพ ความน่าเชื่อถือ มีความเป็นปรนัย เข้าใจง่าย มีความชัดเจน และมีการตรวจให้คะแนนที่เหมาะสม โดยเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ เน้นสถานการณ์ที่มีความสอดคล้องกับชีวิตจริงและสภาพแวดล้อมของโลกในปัจจุบันที่นักเรียนพบเจอ

ตอนที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ โดยให้ลักษณะเฉพาะของแบบวัดที่สร้างขึ้น ทำให้ได้แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ ที่มีรูปแบบข้อคำถามที่หลากหลาย ได้แก่ ข้อคำถาม แบบปรนัย จำนวน 7 ข้อ ข้อคำถามแบบอัตนัย จำนวน 11 ข้อ รวม 18 ข้อ โดยตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์ การตรวจให้คะแนนที่กำหนด นักเรียนใช้เวลาในการทำแบบวัด 50 นาที

ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย (มัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6) ทั้งแผนการเรียนวิทย์และศิลป์แบ่งเป็นแผนการเรียนวิทย์จำนวน 378 คน แผนการเรียนศิลป์จำนวน 222 คน และแบ่งเป็นเพศชายจำนวน 236 คน และเพศหญิงจำนวน 364 คน ผลการวิเคราะห์คะแนนสอบของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แบบภาพรวม พบว่า มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.63 คะแนน จากคะแนนเต็ม 24 คะแนน ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ความสามารถในการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับต่ำ

ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ของตัวอย่างในการวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพรายข้อของแบบวัด การคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ โดยใช้การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่า ข้อคำถามทั้ง 17 ข้อ สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้ มีเพียง 1 ข้อที่ไม่สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์และปรับปรุงข้อคำถาม จากนั้นได้ปรึกษาผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อให้ได้ข้อคำถามที่มีคุณภาพ การตรวจสอบความเที่ยงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ โดยการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ มีค่าความเที่ยงทั้งฉบับมี ความเที่ยงในระดับสูง ($\alpha = .818$) ด้านการตรวจสอบความตรงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ แบ่งเป็นความตรงตามสภาพด้วยการวิเคราะห์สถิติเพื่อหาความสอดคล้องของคะแนนสอบจากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์กับผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน พบว่า คะแนนสอบและผลสัมฤทธิ์ทางวิชาคณิตศาสตร์พื้นฐานมีความสัมพันธ์เชิงบวกขนาดกลาง ($r_{xy} = .418$) มีความแปรผันร่วมกันคิดเป็นร้อยละ 20.11 และการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน โดยใช้โปรแกรม LISREL พบว่า โมเดลการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์โดยการพิจารณาค่าไค-สแควร์, ดัชนี GFI, ดัชนี AGIF, ดัชนี RMSEA และ ดัชนี CFI ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นหลักฐานในการยืนยันความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ จากการตรวจสอบแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ฉบับนี้ มีทั้งคุณภาพทั้งด้านความตรงเชิงเนื้อหา ความตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ ความตรงเชิงโครงสร้าง ความเที่ยง และคุณภาพรายข้อ

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยมีประเด็นที่สำคัญที่นำมาอภิปราย 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นที่ 1 การสร้างและพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และประเด็นที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ประเด็นที่ 1 การสร้างและพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

การสร้างและพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงระบบเพื่อหารูปแบบของการวัดที่ผ่านมา พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นไปที่การพัฒนาการจัดรูปแบบการจัดการเรียนการสอน

การคิดเชิงระบบ จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อหาองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบเป็นลำดับแรก จากการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ แม้จะว่าองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบจะมีความแตกต่างกัน แต่ก็สามารถสรุปองค์ประกอบหลักได้คือ การคิดแบบองค์รวม การระบุปัญหา การเชื่อมโยงปัญหา และการประเมินกระบวนการ นอกจากนี้ยังพบว่า มีเพียงงานวิจัยของ ปารมี ศรีบุญทิพย์ (2560) ที่กำหนดองค์ประกอบชัดเจน ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลดังกล่าวมาพัฒนาองค์ประกอบ ตัวบ่งชี้ และพฤติกรรมบ่งชี้ โดยองค์ประกอบการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ประกอบไปด้วย การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ จากนั้นได้ทำการพัฒนาแผนผังแบบวัด (Test Blueprint) และ ลักษณะเฉพาะของแบบวัด (Test Specification) ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่วัด หรือ คุณลักษณะที่มุ่งวัด ตัวบ่งชี้ วัตถุประสงค์ในการวัด รูปแบบข้อคำถาม ลักษณะคำถาม ลักษณะคำตอบ ตัวอย่างข้อคำถาม และเกณฑ์ในการประเมิน

การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งได้รับการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน ผู้ทรงคุณวุฒิได้ประเมินข้อคำถามของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ ในด้านความเป็นไปได้ ด้านความเหมาะสม และความถูกต้อง สอดคล้องกับองค์ประกอบ ตัวบ่งชี้ และพฤติกรรมบ่งชี้ที่กำหนด โดยข้อคำถามส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์การประเมิน นอกจากนี้ผู้ทรงคุณวุฒิยังให้คำแนะนำในการใช้ภาษา การเรียบเรียงประโยค เพื่อให้ข้อคำถามสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) เพื่อตรวจสอบความสามารถในการจำแนกความสามารถในการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของข้อคำถาม ผู้วิจัยได้คัดเลือกข้อคำถามตามแผนผังของแบบวัด (Test Blueprint) จากข้อคำถามที่เหมาะสมและถูกต้องตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพ และสอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของแบบวัด (Test Specification)

ประเด็นที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา ตอนปลาย

2.1 แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายเป็นแบบวัดที่ประกอบไปด้วยข้อคำถามแบบปรนัยเลือกตอบ และอัตนัยเขียนตอบ โดยรูปแบบข้อคำถามเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน มีการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจนในแต่ละข้อ ที่ผ่านการวัดการคิดเชิงระบบมีรูปแบบของเครื่องมือในการวัดความสามารถที่ไม่ชัดเจน มนตรี แยมกสิกร (2546); อรรพรรณ ชนะศรี (2552); Connell Remington and Armstrong (2012); ปารมี ศรีบุญทิพย์ มีรูปแบบของเครื่องมือในการวัดการคิดเชิงระบบเป็นแบบสอบอัตนัยโดยกำหนดสถานการณ์ มีการให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด ในแต่ละสถานการณ์จะมีข้อคำถามที่เหมือนกัน แต่ต่างเพียงสถานการณ์ที่กำหนดให้ ซึ่งอาจเกิดการได้เปรียบเสียเปรียบต่อผู้สอบหากไม่เข้าใจในข้อคำถามนั้น ๆ และสามารถวัดได้เพียงการกระบวนการคิดเชิงระบบ ซึ่งผู้วิจัยต้องการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ที่มีความหลากหลายของสถานการณ์และนำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา และวัดความรู้ความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อสอดคล้องกับตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนมี

ทักษะการเรียนรู้ที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 เป็นสำคัญ มุ่งเน้นการเตรียมตัวให้ผู้เรียนมีทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ ดังนั้น ในแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายฉบับนี้มีการกำหนดองค์ประกอบการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการศึกษาอย่างละเอียดและครอบคลุม พร้อมทั้งมีรูปแบบของข้อคำถามที่หลากหลายทั้งแบบเลือกตอบ แบบเขียนตอบ ภายใต้ข้อคำถามจากสถานการณ์ในชีวิตประจำวันและทำให้แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ฉบับนี้ สามารถวัดระดับความสามารถของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายได้อย่างละเอียด ถูกต้อง และแม่นยำ ซึ่งต่างจากเครื่องมือการวัดการคิดเชิงระบบแบบรายการตรวจสอบ หรือแบบประเมิน ที่อาจมีความคลาดจากผู้ประเมินแต่ละคน ทำให้ไม่สามารถวัดความสามารถที่แท้จริงได้ เพื่อให้ได้แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ที่มีคุณภาพ มีความสามารถในการวัดที่แม่นยำ และถูกต้อง จึงต้องสร้างเครื่องมือที่เป็นแบบวัดที่มีรูปแบบชัดเจนขึ้นมา

2.2 การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย จากการพิจารณาโมเดลการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายทั้งแผนการเรียนวิทย์และแผนการเรียนศิลป์ โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LISREL ตัวแปรสังเกตได้ของโมเดลการวัดที่สร้างขึ้น มีความสัมพันธ์กันมากพอที่จะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบ (Bartlett's Test of Sphericity = 1,216.92, $p = .000$, Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO) = .837) ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน พบว่า โมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (Chi-square: $\chi^2 = 4.58$ df = 4, $p = .329$) แต่เนื่องจากค่าไค-สแควร์จะมีความไวต่อขนาดของตัวอย่างจึงต้องพิจารณาค่าสถิติตัวอื่นประกอบร่วมด้วย สถิติดังกล่าวคือ ดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (GFI = .997) ที่แสดงประสิทธิภาพของโมเดลในภาพรวมทั้งหมด มีค่ามากกว่า .95 ดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้ (AGIF = .987) เป็นดัชนีที่มีคุณสมบัติเดียวกับดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (GFI) โดยการนำค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (GFI) มาปรับแก้ โดยการคำนึงถึงขนาดขององศาความเป็นอิสระ ซึ่งรวมทั้งจำนวนตัวแปรและขนาดของตัวอย่าง และดัชนีรากที่สองของความคลาดเคลื่อนในการประมาณ (RMSEA = .016) มีค่าต่ำกว่า .05 เป็นค่าดัชนีแสดงขนาดของความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ จากเกณฑ์การพิจารณาค่าสถิติของ นงลักษณ์ วิรัชชัย (2542) ดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์การยอมรับทุกค่า และจากการวิเคราะห์กราฟคิวพล็อต (Q-Plot) เส้นกราฟมีเส้นทแยงมุมที่แสดงให้เห็นความลาดเอียงมีค่าเท่ากับ 1 จึงเป็นสิ่งที่บ่งชี้ว่าโมเดลการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ อันเป็นหลักฐานความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ สอดคล้องกับ ศิริชัย กาญจนวาสี (2552) ว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเป็นการแสดงหลักฐานความตรงเชิงโครงสร้าง โดยหลักฐานที่แสดงนั้นเป็นการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล หากโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลจะบ่งชี้ถึงโมเดลองค์ประกอบที่ศึกษาเป็นหลักฐานสำหรับองค์ประกอบทักษะที่วัด จากหลักฐานดังกล่าวสามารถแสดงถึงความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ โดยการทดสอบการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สอง

2.3 เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้แก่ การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ พบว่าแต่ละองค์ประกอบมีค่าน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน (0.98 – 1.00) มีเพียงองค์ประกอบเดียวที่มีค่าแตกต่างจากองค์ประกอบอื่น ๆ นั่นคือ การคิดแบบองค์รวม (0.37) ทั้ง ๆ ที่ข้อมูลของแต่ละองค์ประกอบที่นำมาวิเคราะห์นั้นมีการปรับน้ำหนักให้มีความสำคัญที่เท่ากันแล้ว ทั้งนี้ด้วยการคิดแบบองค์รวมมีรูปแบบข้อคำถามปรนัยตอบเชิงซ้อน หากเลือกผิดเพียงตัวเลือกเดียวจะทำให้ไม่ได้คะแนนในข้อนั้น ๆ จึงต้องมีการปรับข้อคำถามให้ชัดเจนทั้งนี้ต้องมีการปรับแก้ และศึกษาวิจัยต่อไป

2.4 การตรวจสอบความตรงตามสภาพ (Concurrent Validity) ด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของคะแนนสอบที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน เพื่อนำไปสู่การทำนายผลสัมฤทธิ์ของการทำงานหรือผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตามแนวคิดของ กฤษมันต์ วัฒนารงค์ (1998) และการสรุปงานวิจัยของ Waters Foundation (2017) พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกขนาดกลาง (Evans, 1996) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r_{xy} = .418, p = .000$) คะแนนที่ได้มีระดับความแปรผันร่วมคิดเป็นร้อยละ 20.11 Bounchanh Vongthongkham และคนอื่น ๆ (2563) ได้ศึกษา โมเดลอิทธิพลของอัตมโนทัศน์ต่อทักษะทางคณิตศาสตร์ โดยมีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์เป็นตัวแปรต้นกลาง พบว่าอัตมโนทัศน์เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยส่งผ่านพฤติกรรมที่มุ่งมั่นงาน และความสนใจทางคณิตศาสตร์ ซึ่งนักเรียนที่จะมีผลสัมฤทธิ์ที่ดีในวิชาคณิตศาสตร์ต้องมีมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ พฤติกรรมที่มุ่งมั่นงาน และความสนใจทางคณิตศาสตร์ ประกอบร่วมกับองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วย จากเหตุผลดังกล่าวอาจจะสรุปได้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ได้มีตัวแปรอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง นอกเหนือจากความสามารถการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

2.5 การตรวจสอบความเที่ยงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient: α) พบว่า ค่าความเที่ยงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ทั้งฉบับมีค่าความเที่ยงสูง (มีค่าระหว่าง 0.70 – 1.00) จากการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างที่มีความหลากหลาย ทั้งระดับชั้น (มัธยมศึกษาปีที่ 4-6) หลากหลาย แผนการเรียน (วิทย์และศิลป์) ขนาดของโรงเรียน (เล็ก กลาง ใหญ่และใหญ่พิเศษ) รวมถึงเพศ (ชายและหญิง) ความยาวหรือจำนวนข้อของแบบสอบที่มีความเหมาะสม รวมถึงระยะเวลาในการทำแบบวัดที่กำหนดไว้อย่างเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับ ศิริชัย กาญจนวาสี (2556) ที่กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความเที่ยง ระบุว่าปัจจัยที่มีผลได้แก่ ความเป็นเอกพันธ์ของผู้สอบ ความยาวของแบบสอบ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำข้อสอบ ความสัมพันธ์ระหว่างข้อสอบ และวิธีที่ใช้ในการประมาณค่าความเที่ยง

2.6 การตรวจสอบคุณภาพรายข้อของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย จากการพิจารณาการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) พบว่า แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ มีข้อคำถามที่สามารถใช้จำแนกกลุ่มผู้สอบได้ 17 ข้อ จากข้อคำถามทั้งหมด 18 ข้อ จากการพิจารณาพบว่าข้อคำถามดังกล่าวเป็นข้อ

คำถามปรนัยแบบตอบเชิงซ้อน หากผู้สอบตอบผิดหนึ่งตัวเลือกจากสูญเสียคะแนนในข้อดังกล่าวไป ทำให้ผลวิเคราะห์ของข้อคำถามในข้อดังกล่าวไม่สามารถจำแนกความสามารถของผู้สอบได้ จึงต้องปรับแก้ข้อคำถามเพื่อให้ได้คุณภาพรายข้อของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ที่ดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยมี ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ และข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1.1. การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีการกำหนดแผนผังของแบบวัด (Test Blueprint) และลักษณะเฉพาะของแบบวัด (Test Specification) ซึ่งผู้วิจัยที่มีความสนใจสามารถนำไปพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ได้ ทั้งนี้ควรศึกษา และทำความเข้าใจในการคิดเชิงระบบให้เข้าใจ รวมถึงการสร้างแบบวัด การสร้างข้อคำถาม รวมถึงรายละเอียดอื่น ๆ

1.2. การพัฒนาเครื่องมืออื่น ๆ ของการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ เช่น แบบประเมิน แบบสังเกต แบบสัมภาษณ์ หรือแบบสอบถาม เป็นต้น ผู้ที่มีความสนใจสามารถนำแผนผังของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ (Test Blueprint) และ ลักษณะเฉพาะของแบบวัด (Test Specification) ไปพัฒนาเครื่องมือของตนเองได้ รวมถึงรูปแบบของข้อคำถาม เพื่อให้ได้เครื่องมือในการวัดการคิดเชิงระบบที่มีคุณภาพ สามารถนำไปใช้ได้จริง

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย เป็นแบบวัดที่เน้นสถานการณ์ที่มีความสอดคล้องกับหลักการคิดทางคณิตศาสตร์ จึงอาจสามารถพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบให้สอดคล้องกับวิชาอื่น ๆ เพื่อให้ได้แบบวัดการคิดเชิงระบบในวิชานั้น ๆ

2.2 เนื่องจากตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ส่วนใหญ่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเรียนการสอนที่เน้น การคิดเชิงระบบเป็นหลัก จึงควรมีการทดสอบแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ กับนักเรียนในกลุ่มดังกล่าว เพื่อศึกษาคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ เพิ่มเติม และพัฒนาให้แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ดีขึ้น

2.3. แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มุ่งวัดกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายทั้งแผนการเรียนวิทย์และแผนการเรียนศิลป์ หากต้องการวัดในระดับชั้น อื่น ๆ หรือเฉพาะเจาะจง อาจต้องมีการพัฒนาแบบวัดเพิ่มเติม ทั้งทางด้านความยาก การใช้ภาษาให้เหมาะสมกับผู้สอบแต่ละระดับตั้งแต่ระดับประถมศึกษา มัธยมศึกษาตอนต้น หรือแม้แต่ระดับอุดมศึกษา

2.4 การสร้างข้อคำถามในแต่ละข้อสามารถวัดได้เพียง 1 ตัวบ่งชี้ จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการทำแบบวัดนาน ดังนั้นบางข้อคำถามสามารถพัฒนาให้สามารถวัดได้มากกว่า 1 มิติ

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- Bounchanh Vongthongkham และคนอื่น ๆ. (2563). อิทธิพลของอัตมโนทัศน์ต่อทักษะทางคณิตศาสตร์ โดยมีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์เป็นตัวแปรต้นกลาง. วารสารการวัดผลการศึกษา, 37(102), 219-229.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2542). พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560a). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560b). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560) กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- กฤติกรณ แกมใบ. (2562). ผลการจัดการเรียนรู้สุขศึกษาโดยใช้เทคนิคการตั้งคำถามขั้นสูงที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการคิดเชิงระบบของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4. . วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- กฤษมันต์ วัฒนารงค์. (1998). การคิดเชิงระบบ (*System Thinking*). Paper presented at the DVT Extension Officer Training on Planning and Monitoring of Training, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- <http://www.krismant.com/images/papers/system%20thinking.pdf>
- คอนเนอร์ โจเซฟ โอ และแมคเดอมอตต์ เอียน. (2544). หัวใจนักคิด (*Systems Thinking*). แปลโดย วีรวัธ มาฆะศิริวานน์ และ ณัฐพงศ์ เกศมาริช. กรุงเทพฯ: บริษัทด้านสุขภาพการพิมพ์ จำกัด.
- จิราภรณ์ ไชยมงคล. (2547). ผลการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ที่ส่งเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนนครวิทยาคม. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.
- เฉลียว บุรีภักดี. (2540). การคิดเชิงระบบ. วารสารบัณฑิตศึกษา 1, 70.
- ชัยวัฒน์ ถิระพันธุ์. (2551). วิธีคิดกระบวนระบบ (*Systems Thinking*). กรุงเทพฯ: บริษัทพริกหวานกราฟฟิค จำกัด.
- โชติกา ภาชีผล. (2559). การวัดและประเมินผลการเรียนรู้. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2542). โมเดลลิสเรล สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- นพคุณ นิศามณี. (2549). การคิดเชิงระบบและความคิดสร้างสรรค์. กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นิยม กิমানวัฒน์. (2559). การพัฒนารูปแบบการสอนเพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาคุชฎบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.
- บุญใจ ศรีสถิตนรากร. (2555). การพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย: คุณสมบัติการวัดเชิงจิตวิทยา / *Development and validation of research instruments : psychometric properties*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญเลี้ยง ทุมทอง. (2553). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบ วิชาคณิตศาสตร์ ระดับช่วงชั้นที่ 4. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรคุชฎบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ประจักษ์ ปฏิทัศน์. (2562). การคิดเชิงระบบและความคิดสร้างสรรค์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปริยานันท์ เหมไธส. (2558). การพัฒนารายวิชาเพิ่มเติมเพื่อเสริมสร้างกระบวนการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ปารมี ศรีบุญทิพย์. (2560). การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้เชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ปารมี ศรีบุญทิพย์ และคณะ. (2560). การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. *Veridian E-Journal, Silpakorn University 10*(กันยายน-ธันวาคม 2560), 38-51.
- ปิยนาด ประยูร. (2548). *Systems Thinking* วิธีคิดกระบวนการระบบ. กรุงเทพมหานคร: โครงการเสริมสร้างการเรียนรู้เพื่อชุมชนเป็นสุข (สรส).
- ฝ่ายวิชาการ เอ็กซ์เปอร์เนต. (2544). เทคนิคการคิดและจำเป็นอย่างเป็นระบบ-*Systematic Thinking & Ming Mapping*. กรุงเทพฯ: บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.
- พงศ์นที สัตยเทวา. (2548). การพัฒนาโปรแกรมการจัดการเรียนรู้สุขศึกษาโดยใช้แนวคิดการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาที่ยั่งยืน เพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงระบบและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์. (2548). การสอนคิดด้วยโครงงาน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มกราพันธุ์ จุฑะรสก. (2556). การคิดอย่างเป็นระบบ: การประยุกต์ใช้ในการสอน. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ธนาเพรส จำกัด.

- มนตรี แยมกลีกร. (2546). การพัฒนารูปแบบการสอนเพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบของนิสิตระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีทางการศึกษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). พจนานุกรมราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: นานมี บุ๊คส์ พับลิเคชันส์.
- อุทัยรัตน์ ชิดมงคล และ สมยศ ชิดมงคล. (2560). การคิดเชิงระบบ: ประสบการณ์การสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบ. วารสารครุศาสตร์ 45(เมษายน-มิถุนายน 2560), 209-224.
- ศรินดา จามรมาน. (2556). รูปแบบการจัดสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิสต์บนเครือข่ายด้วยกระบวนการสืบสอบเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืนของนักศึกษาปริญญาตรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริชัย การญจนวาสี. (2552). ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริชัย การญจนวาสี. (2556). ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (พิมพ์ครั้งที่ 7.). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2551). ทักษะ/กระบวนการทางคณิตศาสตร์. กรุงเทพฯ: ส.เจริญ การพิมพ์.
- สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา. (2559). สกอ.พัฒนานักศึกษาสู่ Thailand 4.0. อนุสารอุดมศึกษา, 43(462).
- สิริพร ทิพย์คง. (2545). หลักสูตรและการสอนคณิตศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 1.). กรุงเทพมหานคร: ศูนย์พัฒนาหนังสือกรมวิชาการกระทรวงศึกษาธิการ.
- สิริลักษณ์ เพ็ญธรรม และคนอื่น. (2553). การตรวจสอบภายในภาครัฐ ระดับพื้นฐาน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุภาวดี เจริญเศรษฐม. (2550). การคิดเชิงระบบ (Systems Thinking). วารสารรามคำแหง, 24(กรกฎาคม – กันยายน 2550).
- อรรพรรณ ชนะศรี. (2553). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลยุทธ์การจัดการความรู้เพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- อัมพร ม้าคนอง. (2553). ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์: การพัฒนาเพื่อพัฒนาการ. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ตำราและเอกสารทางวิชาการ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อานนท์ ศักดิ์วรวิชญ์. (2560, 17 มกราคม 2560). 11 คุณลักษณะของคนไทย 4.0 ที่ต้องปฏิรูปจะช่วยให้ Thailand 4.0 เป็นความจริง. ผู้จัดการออนไลน์. แหล่งที่มา: <https://mgronline.com/daily/detail/9600000005559>

อิทธิศักดิ์ ศิริจันทร์. (2560). ผลของการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาด้วยรูปแบบผสมผสานรวมที่มีต่อความสามารถในการคิดเชิงระบบและความคงทนในการเรียนรู้ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Ackoff, R. L. (1971). Towards A Systems of Systems Concepts*. *Management Science*, 17.

Anderson, V., and Jonhson, L. (1997). *Systems Thinking Basics: From Concepts to Causal Loops*. Waltham: Pegasus Communications.

Assaraf, O., B-Z, R., D., J., and Tripto, J. (2013). High school students' understanding of the human body system. *Research in Science Education*, 43(1), 1-24.

Assaraf, O. B.-Z., and Orion, N. (2005). Development of systems thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560.

Assaraf, O. B.-Z., and Orion, N. (2010). Four case studies, six years later: Developing systems thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1253-1280.

Bertalanffy, L. V. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.

Campbell, D. T., and Fiske, D. W. (1959). Convergent and Discriminant Validation by the Multitrait-Multimethod Matrix. *Psychological Bulletin*, 56, 81-105.

Checkland, P. (1981). *Systems Thinking Systems Practice*. Chichester: John Wiley & Sons.

Constantinide, K., Michaelides, M., and Constantinou, C. P. (2014). Development of an Instrument to Measure Children's Systems Thinking. *Evaluation and assessment of student learning and development*, 11.

Cordon, C. (2013). System Theories: An Overview of Various System Theories and Its Application in Healthcare. *American Journal of Systems Science*, 2(1), 13-22.

Evans, J. D. (1996). *Straightforward statistics for the behavioral science*: Thomson Brooks/Cole Publishing. Co.

- Goodman, M. (2016). SYSTEMS THINKING; WHAT, WHY, WHEN, WHERE, AND HOW?. .
[online] Available from: <https://thesystemsthinker.com/systems-thinking-what-why-when-where-and-how/>
- Goodman, M., and Karash, R. (1995). Six Steps to Thinking Systemically. *Applied systems Thinking*, 6(2), 16-17.
- ICAR, I. C. f. d. o. R. i. A. (2011). Systems Thinking – Key Concepts. [online] Available from: http://www.icra-edu.org/objects/anglolearn/Systems_Thinking-Key_Concepts1.pdf.
- J.F., H., G.T.M., H., C.M., R., and M., S. (2014). *A primer on partial least squares structural equations modeling (PLS-SEM)*. Los Angeles: SAGE.
- Kim Y. Hiller Connell, Sonya M. Remington, and Cosette Armstrong. (2012). Assessing Systems Thinking Skills in Two Undergraduate Sustainability Courses: A Comparison of Teaching Strategies. *Journal of Sustainability Education*, 3(March 2012).
- Kubaneck, G. (Producer). (1999). Systems Thinking in High Schools for 2100. [online] Available from:
https://www.academia.edu/5278500/Systems_Thinking_in_High_Schools_for_2100
- Lawshe, C. H. (1975). A Quantitative Approach to Content Validity. *Personal Psychology*, 28(4), 563-575.
- Liu, L., and Hmelo-Silver, C. E. (2009). Promoting complex systems learning through the use of conceptual representations in hypermedia. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(9), 1023-1040.
- Neuroth, J., and others, a. (1992). *Total Quality Management Handbook : Applying the Baldrige Criteria to school*. Retrieved from
- Raved, L., and Yarden, A. (2014). Developing seventh grade students' systems thinking skills in the context of the human circulatory system. *Frontiers in Public Health* 1(2), 1-11.
- Richmond, B. (1993). Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 9(2), 113-133.

Richmond, B. (1994). *System Dynamics/Systems Thinking: Let's Just Get On With It*. .

Paper presented at the International Systems Dynamics Conference in Sterling, Scotland.

Richmond, B. (2000). *Toolbox Reprint Series: The Thinking in Systems: Decision Making in Course Planning and Curriculum Design*. London: Kogon Page.

Senge, P., Kleinar, A., Robert, C., Roos, R., and Smith, B. (1994). *The Fifth Discipline Field Book: Strategies and Tools for Building a Learning Organization*. New York: Doubleday.

Senge, P. M. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of Learning Organization* (1st.). New York: : Doubleday/Currency.

Stave, K., and Hopper, M. (2007). *What Constitutes Systems Thinking? A Proposed Taxonomy*. Paper presented at the 5th International Conference of the System Dynamics Society.

Sweeney, L. B. (1999). *Guidelines for daily systems thinking practice*. Waltham: Pegasus Communication, Inc.

Tamara N. Hrin et al. (2017). Systems thinking in chemistry classroom: The influence of systemic synthesis questions on its development and assessment. *thinking Skills and Creativity*, 23(March 2017), 175-187.

Verhoeff, R. P. (2003). *Towards systems thinking in cell biology education*. . Retrieved from Utrecht: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
https://www.academia.edu/30309467/Towards_systems_thinking_in_cell_biology_education

Waters Foundation. (2017). The Impact of the Systems Thinking in School in School Project: 20 years of Research, Development and Dissemination. [online] Available from: http://watersfoundation.org/wp-content/uploads/2017/07/STIS_Research.pdf



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

**รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์
ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย**

1. ด้านการวัดและประเมินผล

- 1.1 รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภรณ์ หลาวทอง
อาจารย์ประจำสาขาการวัดและประเมินผลการศึกษา
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 1.2 อาจารย์ ดร.ณภัทร ชัยมงคล
อาจารย์ประจำสาขาการวัดและประเมินผลการศึกษา
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ด้านการคิดเชิงระบบ

- 2.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเลี้ยง ทุมทอง
อาจารย์ประจำสาขาวิชาหลักสูตรและการสอน
คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
- 2.2 รองศาสตราจารย์ ดร.ประจักษ์ ปฏิทัศน์
อาจารย์ประจำภาควิชามนุษยศาสตร์
คณะศิลปศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

3. ด้านคณิตศาสตร์

- 3.1 นายศักดิ์นรินทร์ จันท์นาค
ครูประจำกลุ่มสาระคณิตศาสตร์
โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย เพชรบุรี

ภาคผนวก ข
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

คำชี้แจง

แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายฉบับนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลทางการวิจัยในการจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาแบบการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย” ซึ่งนักเรียนเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่จะทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จและเชื่อถือได้ **ด้วยการตอบแบบวัดนี้อย่างเต็มความสามารถและตามความเป็นจริงของนักเรียนมากที่สุด** คำตอบของนักเรียนจะไม่ถูกนำไปเปิดเผยเป็นรายบุคคลจึงไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้นกับนักเรียน ทั้งข้อมูลส่วนตัว ผลคะแนนที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

โดยผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากนักเรียน และขอขอบคุณที่นักเรียนที่ให้ความร่วมมือการตอบแบบวัดเป็นอย่างดี

คำชี้แจงในการตอบแบบวัด

แบบวัดฉบับนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของนักเรียนผู้ตอบแบบวัด จำนวน 6 ข้อ

ตอนที่ 2 แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของ
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 18 ข้อ

กำหนดเวลาในการทำแบบวัด 50 นาที

ขอขอบคุณในความร่วมมือของนักเรียน

นางสาวจันทร์เพ็ญ ปรีชา

นิสิตระดับปริญญาโท สาขาการวัดและประเมินผลการศึกษา

ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของนักเรียนผู้ตอบแบบวัด

คำชี้แจง โปรดทำกรอกข้อมูลหรือทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ ที่ตรงกับความเป็นจริงของนักเรียนมากที่สุด

1. เพศ

☐ ชาย

☐ หญิง

2. ระดับชั้น

☐ ม.4

☐ ม.5

☐ ม.6

3. แผนการเรียน

☐ วิทย์

☐ ศิลป์

4. สถานศึกษาของนักเรียนจัดอยู่ในสถานศึกษาขนาด

☐ ขนาดเล็ก

☐ ขนาดกลาง

☐ ขนาดใหญ่

☐ ขนาดใหญ่พิเศษ

5. เกรดเฉลี่ย (GPAX) (ระบุ)

6. เกรดวิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน (ระบุ)

ตอนที่ 2 แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

คำชี้แจง จงใช้สถานการณ์ต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 1 – 3

เจและน้องสาววางแผนจะกลับบ้านที่เชียงใหม่ในช่วงวันหยุดเทศกาลสงกรานต์เพื่อไปเยี่ยมญาติที่ป่วย ได้ใช้ตารางเปรียบเทียบการเดินทาง เพื่อศึกษาและวางแผนค่าใช้จ่าย โดยเจจะได้หยุดในวันที่ 12 – 15 เมษายน และต้องการควบคุมค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปและกลับไม่เกิน 4,000 บาท

การเปรียบเทียบการเดินทางจากกรุงเทพไปเชียงใหม่

วิธีการเดินทาง	เวลา	ค่าใช้จ่าย
เครื่องบิน	70 นาที (ไม่รวมเวลาเดินทางไปสนามบิน)	1,210 บาท
รถยนต์	9 ชั่วโมง	1,500 บาทต่อรถ 1 คัน
รถบัส	ทุกวันตั้งแต่ 8.00 น. – 21.00 น. 9 ชั่วโมง 30 นาที	679 บาท
รถไฟ	จากสถานีหัวลำโพงตั้งแต่เวลา 1 ชั่วโมง	891 บาท
วิ่ง	7.00 น. – 22.00 น. 20 วัน	0 บาท (ไม่รวมค่าอาหารและที่พัก)

เที่ยวบินแรก เวลา 6.05 น.
เที่ยวบินสุดท้าย เวลา 23.20 น.



ทุกวันตั้งแต่ 8.00 – 21.00 น.

จากสถานีหัวลำโพงตั้งแต่เวลา 7.00 น. – 22.00 น.

- จากข้อมูลข้างต้น พิจารณาปัจจัยที่กำหนดให้ว่าเป็นสิ่งที่เจและน้องสาวต้องคำนึงถึงในการวางแผนการเดินทางหรือไม่ โดยวงกลมล้อมรอบคำว่า “เป็น” หรือ “ไม่เป็น” ในแต่ละข้อความ

ปัจจัย	ข้อความใช่หรือไม่ใช่ปัจจัย
สาเหตุของการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น
ช่วงเวลาที่เลือกเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น
ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น
บุคคลที่ร่วมเดินทางไปด้วย	เป็น / ไม่เป็น
การเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยวอื่น ๆ	เป็น / ไม่เป็น
ราคาหรือเงินที่ต้องจ่ายให้สำหรับการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น

- จงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเดินทางกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกการเดินทาง โดยระบุเป็นประเด็น

.....

.....

.....

3. จงระบุวิธีการเดินทางไปและกลับกรุงเทพ-เชียงใหม่ที่เหมาะสมที่เจและน้องสาวควรเลือก พร้อมอธิบายเหตุผลในการเลือกโดยอาศัยกระบวนการทางคณิตศาสตร์

การเดินทางไปเชียงใหม่	การเดินทางกลับกรุงเทพ

เหตุผลในการเลือก

.....

.....

.....

คำชี้แจง จงใช้สถานการณ์ต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 4 – 7

เจนต้องการซื้อคอนโดมิเนียมที่หัวหินเพื่อปล่อยเช่าให้นักท่องเที่ยวที่มาพักผ่อน เธอพบประกาศขายคอนโดมิเนียมที่หัวหินห้องหนึ่งทางอินเทอร์เน็ต โดยมีรายละเอียดของห้องดังตารางแสดงรายละเอียดของคอนโดมิเนียม และก่อนตัดสินใจซื้อเจนได้ปรึกษาผู้ประเมินทรัพย์สินมืออาชีพ ผู้ประเมินได้ให้เกณฑ์การประเมินดังตารางแสดงราคาการประเมิน

ตารางแสดงรายละเอียดของคอนโดมิเนียม

จำนวนห้อง	1 x ห้องรับแขกและห้องครัว 1 x ห้องนอน 1 x ห้องน้ำ	ราคาที่ประกาศ : 2,100,000 บาท
ขนาด	30 ตารางเมตร (ม ²)	
ที่จอดรถ	มี	
ระยะเวลาเดินทางสู่ตัวเมือง	10 นาที	
ระยะทางไปถึงชายหาด	500 เมตร (ม.) วัดแบบเส้นตรง	
ในรอบ 3 ปี ที่ผ่านมา มีนักท่องเที่ยวเช่าพักโดยเฉลี่ย	250 วันต่อปี	

ตารางแสดงราคาการประเมิน

ราคาต่อตารางเมตร	ราคากลาง:	65,000 บาทต่อตารางเมตร		
เกณฑ์การเพิ่มมูลค่า	ระยะเวลาการเดินทางสู่ตัวเมือง	มากกว่า 10 นาที + 0 บาท	ตั้งแต่ 5 ถึง 10 นาที + 50,000 บาท	น้อยกว่า 5 นาที + 100,000 บาท
	ระยะทางไปถึงชายหาด	มากกว่า 1 กม. + 0 บาท	ตั้งแต่ 0.5 ถึง 1 กม. + 50,000 บาท	น้อยกว่า 0.5 กม. + 100,000 บาท
	ที่จอดรถ	ไม่มี + 0 บาท	มี + 100,000 บาท	

4. ข้อความต่อไปนี้แสดงถึงข้อมูลที่ต้องเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินราคาของผู้ประเมินทรัพย์สินมืออาชีพกำหนดไว้
- ก. ถ้าระยะทางไปถึงชายหาดเพิ่มขึ้น 500 เมตร จะส่งผลให้ราคาประเมินลดลงจากเดิม
 - ข. ถ้าระยะเวลาการเดินทางสู่ตัวเมืองลดลง 5 นาที จะส่งผลให้ราคาประเมินเพิ่มขึ้นจากเดิม
 - ค. ถ้าระยะทางไปถึงกรุงเทพฯ ลดลง 10 กิโลเมตร จะส่งผลให้ราคาประเมินเพิ่มขึ้นจากเดิม
 - ง. ถ้าระยะเวลาการเดินทางสู่ตัวเมืองเพิ่มขึ้น 5 นาที จะส่งผลให้ราคาประเมินลดลงจากเดิม
5. พิจารณารายประกอบที่กำหนดให้ว่าส่งผลต่อราคาคอนโดมิเนียมห้องนี้หรือไม่ ถ้าใช่ให้วงกลมล้อมรอบคำว่า “ใช่” และ วงกลมล้อมรอบคำว่า “ไม่ใช่” ถ้าไม่ใช่องค์ประกอบที่ส่งผลต่อราคาคอนโดมิเนียม

องค์ประกอบ	ใช่หรือไม่ใช่ องค์ประกอบ
ขนาดของห้อง หน่วยเป็นตารางเมตร (ม ²)	ใช่ / ไม่ใช่
ที่จอดรถ	ใช่ / ไม่ใช่
จำนวนแขกที่มาพักเฉลี่ยต่อปี	ใช่ / ไม่ใช่
ระยะทางการเดินทางถึงกรุงเทพฯ	ใช่ / ไม่ใช่
ระยะทางไปถึงชายหาด	ใช่ / ไม่ใช่

6. ถ้าราคาของผู้ประเมินทรัพย์สินมืออาชีพประเมินราคานั้นถือว่า “ดีมาก” จากเกณฑ์การประเมินราคาที่กำหนดให้ จงแสดงให้เห็นว่าราคาที่ประกาศไว้ “ดีมาก” อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. เจนควรซื้อคอนโดมิเนียมห้องนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด จงให้เหตุผลเพื่อการตัดสินใจโดยอาศัยกระบวนการคิดทางคณิตศาสตร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำชี้แจง จงใช้สถานการณ์ต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 8 – 12

การให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ

การให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำเป็นวิธีการรักษาพยาบาล เพื่อแก้ไขปัญหาหรือป้องกันภาวะไม่สมดุลของสารน้ำในกรณีที่ผู้ป่วยไม่สามารถรับประทานยาทางปากได้ หรือต้องการควบคุมความเร็วในการรับยาของผู้ป่วย หรือเพื่อให้ยาทางหลอดเลือดดำเนื่องจากยาบางชนิดไม่สามารถดูดซึมเข้าทางระบบทางเดินอาหาร การให้สารน้ำต้องถูกต้องตามแผนการรักษา การควบคุมอัตราการไหลของสารน้ำและเวลาต้องอยู่ภายใต้การสั่งการของแพทย์

พยาบาลต้องคำนวณปริมาณสารน้ำต่อชั่วโมงและอัตราการหยดของสารน้ำต่อนาที การคำนวณอัตราการหยดของสารน้ำต่อนาที คำนวณได้จากอัตราหยดของสารน้ำ (Drop factor) ที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตร โดยจะกำหนดจากชนิดของชุดอุปกรณ์ให้สารน้ำ เช่น ชุดให้สารน้ำชนิดหยดใหญ่ (Macro drip) ให้อัตราหยดที่ 15 หยดต่อ 1 มิลลิลิตร

การหาอัตราการหยดในการให้ยาสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{อัตราการหยดในการให้ยา (หยดต่อนาที)} = \frac{\text{อัตราหยดของสารน้ำ (หยดต่อมิลลิลิตร)} \times \text{ปริมาตรของสารน้ำหรือยาที่ผู้ป่วย (มิลลิลิตร)}}{\text{เวลาของการให้สารน้ำทางหลอดเลือด (นาที)}}$$

ที่มาของข้อมูล: วิทยาลัยพยาบาลและสุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

8. แพทย์พิจารณาแผนการรักษาผู้ป่วยโดยการให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ กำหนดการให้ปริมาตรสารน้ำ 1,000 มิลลิลิตร ในเวลา 10 ชั่วโมง กำหนดชุดให้สารน้ำชนิดหยดเล็กที่มีอัตราหยดเท่ากับ 60 หยดต่อ 1 มิลลิลิตร พยาบาลต้องปรับอัตราการหยดในการให้ยาทางหลอดเลือดดำเป็นเท่าใด

- ก. 50 หยด/นาที
- ข. 100 หยด/นาที
- ค. 600 หยด/นาที
- ง. 6,000 หยด/นาที

9. ข้อใดไม่ใช่ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการหยดของสารน้ำที่ให้ผู้ป่วยทางหลอดเลือด

- ก. จำนวนการหยดของสารน้ำ
- ข. ระยะเวลาในการให้สารน้ำแก่ผู้ป่วย
- ค. ช่วงเวลาในการให้สารน้ำแก่ผู้ป่วย
- ง. ปริมาตรของสารน้ำที่ต้องการให้ผู้ป่วย

10. ถ้าเพิ่มเวลาของการให้สารน้ำเป็นสองเท่า แต่ให้อัตราหยดและปริมาตรของสารน้ำเท่าเดิม อัตราการหยดของสารน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร
- ก. เปลี่ยนแปลงไป 50%
 - ข. เพิ่มขึ้น 50%
 - ค. ลดลง 50%
 - ง. ไม่เปลี่ยนแปลง

11. จากแผนการรักษาแพทย์มีคำสั่งให้พยาบาลต้องการให้ระยะเวลาในการให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า พยาบาลควรทำอย่างไร เพื่อให้กระทบต่อประสิทธิภาพของการให้ยาทางหลอดเลือดดำน้อยที่สุด

.....

.....

.....

12. จงเขียนแสดงคำนวณและอธิบายเพื่อสนับสนุนคำตอบการปรับแผนการรักษาของแพทย์ที่ต้องการให้ระยะเวลาในการให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำชี้แจง จงใช้สถานการณ์ต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 13 – 15

โครงการกังหันลมผลิตไฟฟ้า

โครงการกังหันลมผลิตไฟฟ้า เป็นโครงการพัฒนาพลังงานทดแทนโดยใช้พลังงานลมจากกังหันลมในการผลิตไฟฟ้า โดยข้อมูลของโครงการได้ระบุข้อมูลของกังหันลมที่ต้องใช้ไว้ดังนี้

รุ่น : W-32

ความสูงของเสา 100 เมตร

จำนวนใบพัด 3 ใบ

ความยาวใบพัด 60 เมตร

ความเร็วสูงสุดของการหมุน 15 รอบต่อนาที

ผลตอบแทน 0.20 บาทต่อกิโลวัตต์ (kW)

ค่าบำรุงรักษา 0.01 บาทต่อกิโลวัตต์ (kW)

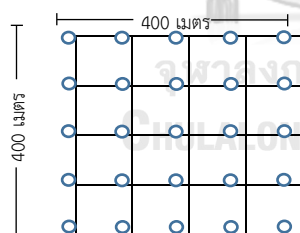
ประสิทธิภาพในการทำงาน 95% ต่อ ปี

งบประมาณในการก่อสร้าง 145 ล้านบาท

ความสามารถในการทดสอบการนำเข้าเชื้อเพลิง 0.82 ล้านลิตร/ปี
ลดการปล่อย CO₂ ได้ 2,011 ตัน/ปี



13. จากข้อมูลกังหันลมระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างเสาสองเสาของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือกี่เท่าของความยาวใบพัด **พร้อมแสดงการคำนวณเพื่อสนับสนุนคำตอบ** เมื่อกำหนดพื้นที่ในการก่อสร้างเป็นพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และกำหนดตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกังหันลมได้ภาพ

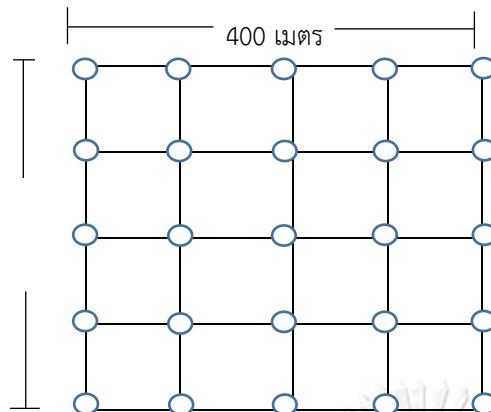


= ตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกังหันลมได้

ตอบ _____ เท่าของความยาวใบพัด

แสดงการคำนวณเพื่อสนับสนุนคำตอบ

14. จากพื้นที่และตำแหน่งที่กำหนดให้ สามารถติดตั้งกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากที่สุด
ระบายวงกลม (o) ในตำแหน่งที่คิดว่าสามารถติดตั้งกังหันลมได้



จำนวน ต้น

คำชี้แจง จงใช้สถานการณ์ต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 16 – 20

การเดินทาง

จินและแม่ของเธออยู่ชายหาด พวกเขาทั้งสองคนต้องการที่จะกลับโรงแรมก่อนเวลา 18.00 น. เพื่อให้ทันเวลาอาหารเย็นของโรงแรม ถ้าความเร็วในการขับของรถคันนี้อยู่ที่ไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสัญญาณเตือนว่าน้ำมันรถของจินใกล้จะหมดอีกด้วย เวลาที่จินและแม่ของเธอควรออกจากชายหาดอย่างน้อยที่สุดคือเวลาใด เพื่อที่พวกเขาจะถึงโรงแรมทันเวลา กำหนดให้ระยะทางและเส้นทางจากชายหาดถึงโรงแรมเป็น ดังภาพ



ที่มาของภาพ : <http://seasunsandresort.com/location.php#hotel>


15. ข้อใดคือปัญหาที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์ดังกล่าว
- จ. การกำหนดความเร็วในการขับรถ
 - ฉ. การกำหนดเวลาที่ควรจะออกจากชายหาด
 - ช. การเลือกเส้นทางในการเดินทางกลับโรงแรม
 - ซ. การระบุระยะทางของการเดินทางจากชายหาดถึงโรงแรม
16. จงเขียนเส้นทางการเดินทางจากชายหาดถึงโรงแรมที่จินและแม่ของเธอเลือกเดินทาง พร้อมทั้งระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาของการเดินทางมา 3 ปัจจัย




17. จินและแม่ควรเดินทางออกจากชายหาดในเวลาใด
18. จากข้อ 17 จงแสดงวิธีการคำนวณเพื่อสนับสนุนคำตอบเวลาที่จินและแม่ควรออกจากชายหาด
-
-
-
-
-

ภาคผนวก ค


ตัวอย่าง คู่มือแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย





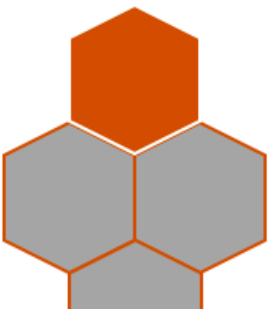
คู่มือ


แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์



Systems Thinking

สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย
(ม.4 – 6)





จัดทำโดย...
นางสาวจันทรีเพ็ญ ปรีชา

คำชี้แจง

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 มาตรา 24(2) กำหนดให้สถานศึกษา จัดกระบวนการเรียนรู้เพื่อฝึกทักษะกระบวนการคิด การจัดการ การผลิตสถานการณ์ และการประยุกต์ความรู้ มาใช้เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหา นอกจากนี้การจัดการเรียนต้องมุ่งเน้นให้นักเรียนด้านทักษะและ กระบวนการคิด ความสามารถในการเรียนรู้ กระบวนการสืบค้นความรู้ การแก้ปัญหาและการคิดอย่าง สร้างสรรค์ เพื่อตอบสนองการพัฒนา กระทรวงศึกษาธิการได้วางแนวทางในการปฏิรูปการศึกษา เพื่อพัฒนาให้ ผู้เรียนเกิด “ทักษะ” ที่จำเป็นสำหรับรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงของโลกและสังคมในอนาคต ซึ่งประกอบไปด้วยทักษะการคิดเชิงระบบ ทักษะการใช้คอมพิวเตอร์เน็ต ทักษะการคิดวิเคราะห์ ทักษะการคิดอย่างมี วิจารณญาณ ทักษะการแก้ปัญหา ทักษะความคิดสร้างสรรค์ ทักษะการสร้างสัมพันธ์ภาพระหว่างบุคคล ทักษะ ด้านภาษาอังกฤษ ทักษะด้านคณิตศาสตร์ และทักษะด้านจิตสาธารณะ

การคิดเชิงระบบ (Systems Thinking) เป็นารคิดแบบองค์รวม (Peter Senge, 1990) เป็นการคิด ที่มองภาพรวมเพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ของส่วนประกอบย่อยที่มีปฏิสัมพันธ์กัน เข้าใจว่าองค์ประกอบ ทั้งหมดส่งผลให้เข้าใจองค์รวมทั้งระบบรูปแบบ หากขาดองค์ประกอบใดไป หรือองค์ประกอบใดมีการ เปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อระบบ ผู้ที่มีการคิดเชิงระบบที่ดี จะนำไปสู่การทำความเข้าใจ หรือมีผลลัพธ์ ของการทำงานที่ดี ผู้จัดทำจึงจัดทำคู่มือแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอน ปลายเพื่อตรวจสอบระดับการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน

คู่มือแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ประกอบด้วย แบบ วัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.4 – 6) ทั้งแผนการเรียน วิทย์และแผนการเรียนศิลป์ โดยดำเนินการให้คะแนน และระดับการประเมินของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

จันทรีเพ็ญ ปรีชา
ผู้พัฒนาแบบวัด

การคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

บทนำ : การคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

คณิตศาสตร์ถือเป็นพื้นฐานของการเรียนรู้ในศาสตร์ต่าง ๆ โดยเฉพาะทางด้านวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี คณิตศาสตร์จึงมีความประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตและการพัฒนาความรู้ของมนุษย์ นอกจากนี้คณิตศาสตร์ยังช่วยให้เรามีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คืออย่างเหตุผล เป็นระบบ สามารถวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม (หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560) คณิตศาสตร์ช่วยเสริมสร้างความเป็นคนช่างคิดช่างริเริ่มสร้างสรรค์ มีระบบระเบียบในการคิด มีกระบวนการวางแผนในการทำงาน มีความสามารถในการทำงาน มีความสามารถในการตัดสินใจ มีความรับผิดชอบต่อการกระทำของตนเอง มีความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่นในสังคม ดังนั้นเราจึงต้องได้รับการพัฒนาทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ควบคู่กันไปด้วย และทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ควบคู่กันไปด้วย และทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการพัฒนาผู้เรียนให้เป็นคนดี มีคุณลักษณะที่พึงประสงค์ มีความรู้และทักษะที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต และสามารถนำความรู้และทักษะไปใช้ในการดำรงชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาจะระบบการศึกษาที่แตกต่างมีความเข้าใจโลกและความเข้าใจในประโยชน์ซึ่งกันและกัน โดยเฉพาะ
ลักษณะให้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เหตุผลและไม่ได้ยึดถือกันและกัน ระบบไม่ได้ระบบเดียวแต่มี
ระบบต่าง ๆ มากมาย (นิพนธ์ ประยูร, 2548) วิธีการจะระบบจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งในยุค
ปัจจุบัน การศึกษาจะระบบมีหลักการพื้นฐานอยู่ 3 ประการ (Nedguth & others, 1992 Total Quality
Management Handbook: Applying the Baldrige Criteria to schools. อ้างถึงใน มนตรี แก้วกสิกร,
2546: 2) กล่าวว่าการออกแบบ การศึกษาจะระบบ ช่วยให้ให้เกิดแนวทางการทำงานเข้าใจและความสัมพันธ์
ของส่วนต่าง ๆ รวมกัน ประการที่สอง การบริหารจัดการข้อมูลจะช่วยให้ระบบดำเนินไปด้วยดี มี
ประสิทธิภาพ และประการสุดท้าย การเรียนรู้อย่างต่อเนื่องเป็นวิสัย

หน้า	สารบัญ
1	การคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์
2	บทนำ : การคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ นิยามการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์
3	แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์
4	สถานการณ์ที่ 1 จากกรุงเทพฯไปเชียงใหม่
6	สถานการณ์ที่ 2 คอโมโม่เนียม
9	สถานการณ์ที่ 3 การให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ
12	สถานการณ์ที่ 4 โครงการกังหันลมผลิตไฟฟ้า
14	สถานการณ์ที่ 5 การเดินทาง
16	การตรวจหาคะแนนแบบวัด
24	เกณฑ์การประเมินการการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์
25	เอกสารอ้างอิง
26	ผู้จัดทำ

นิยามการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ :

การคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ หมายถึง การคิดที่ทำให้มองเห็นภาพความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ การเข้าใจความสัมพันธ์ การมีเหตุผลและมีกระบวนการคิดเป็นขั้นตอน เพื่อนำไปสู่กระบวนการแก้ปัญหา โดยอาศัยทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา ซึ่งประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ คือ 1) การคิดแบบองค์รวม 2) การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และ 3) การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

การคิดแบบองค์รวม หมายถึง การคิดโดยมองภาพรวมของระบบหรือปัญหาทั้งหมด การเข้าใจว่าส่วนย่อย ๆ ในระบบไม่สามารถแยกจากกันได้ การให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์ระบบหรือปัญหาที่มีส่วนประกอบเป็นระบบย่อยเชื่อมโยงกันอยู่ การระบุปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน และการระบุสาเหตุและปัจจัยของปัญหาที่เกิดขึ้น

การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง หมายถึง การมีปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในระบบ การเข้าใจจากกระบวนการย่อยมีการเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อระบบใหญ่ด้วย การระบุความสัมพันธ์ของสาเหตุหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา การเชื่อมความสัมพันธ์ด้วยแผนภาพ หรือการแสดงการคำนวณที่ดำเนินถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการค้นหาความเป็นเหตุเป็นผลของปัจจัยและปัญหา

การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ หมายถึง การคิดเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ การขยายขอบเขตความคิดออกไปจากการอบความคิดเดิมที่มีอยู่สู่ความคิดใหม่ ๆ เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดกับปัญหาที่เกิดขึ้น เป็นการเสนอความคิดที่แตกต่างกันเดิมแต่ยังคงสอดคล้องกับเงื่อนไขของระบบ นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่ได้ให้คำแนะนำของปัญหาที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง รวมถึงการอธิบายแผนภาพ รูป และการคำนวณในแนวทางการ

แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ หมายถึง เครื่องมือที่ใช้วัดการสร้างขึ้นเพื่อวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยการระบุจุดเนื้อหาความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ภายใต้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560)

คำอธิบายสำหรับการใช้งาน

แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ขึ้นเสนอในคู่มือเล่มนี้เป็นแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อวัดความสามารถทางการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.4 - ม.6) ซึ่งแผนการเขียนวิธีและแผนการเขียนศิลป

คู่มือเล่มนี้ประกอบไปด้วย แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ การตรวจให้คะแนนแบบวัดเกณฑ์การประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยข้อคำถามแบบปรนัย จำนวน 7 ข้อ ข้อคำถามแบบอัตนัยจำนวน 11 ข้อ รวม 18 ข้อ กำหนดเวลาในการทำแบบวัดฉบับนี้ 50 นาที

สถานการณ์ที่ 1 จากกรุงเทพมหานครไปเชียงใหม่

เจและน้องสาววางแผนจะกลับบ้านที่เชียงใหม่ในช่วงวันหยุดเทศกาลสงกรานต์เพื่อไปเยี่ยมญาติ ที่ไปขย ได้ใช้ตารางเปรียบเทียบการเดินทาง เพื่อศึกษาและวางแผนค่าใช้จ่าย โดยจะเดินทางในวันที่ 12 – 15 เมษายน และต้องการควบคุมค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปและกลับไม่เกิน 4,000 บาท

การเปรียบเทียบการเดินทางจากกรุงเทพไปเชียงใหม่

วิธีการเดินทาง	เวลา	ค่าใช้จ่าย
เครื่องบิน	70 นาที (ไม่รวมเวลาเดินทางในสนามบิน)	1,210 บาท
รถยนต์	9 ชั่วโมง	1,500 บาทต่อรถ 1 คัน
รถบัส	9 ชั่วโมง 30 นาที	679 บาท
รถไฟ	11 ชั่วโมง	891 บาท
วิ่ง	20 วัน	0 บาท (ไม่รวมค่าอาหารและที่พัก)

เที่ยวบินแรก เวลา 6.05 น.
เที่ยวบินสุดท้าย เวลา 23.20 น.

เที่ยวบินแรก 8.00 – 21.00 น.
เที่ยวบินสุดท้าย 7.00 น. – 22.00 น.

แบบวัดการตัดสินใจระบบทางคณิตศาสตร์

จากข้อมูลข้างต้น พิจารณาปัจจัยที่กำหนดให้ว่าเป็นสิ่งที่และน้องสาวต้องการใช้ในการวางแผนการเดินทางหรือไม่ โดยลงผลเลือกรอบคำว่า “เป็น” หรือ “ไม่เป็น” ในแต่ละข้อความ (1 คะแนน)

คำถามที่ 1

ปัจจัย	ข้อความใช่หรือไม่ใช่ปัจจัย
ช่วงเวลาที่ใช้การเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น
ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น
บุคคลที่ร่วมเดินทางไปด้วย	เป็น / ไม่เป็น
การจ้างรถหรือรถโดยสารอื่น ๆ	เป็น / ไม่เป็น
ราคาหรือเงินที่ต้องจ่ายให้สำหรับการเดินทาง	เป็น / ไม่เป็น

สถานการณ์ที่ 3 การให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ

การให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำเป็นวิธีการรักษาพยาบาล เพื่อแก้ไขปัญหาวหรือป้องกันภาวะไม่สมดุลของสารน้ำในร่างกายที่ผู้ป่วยไม่สามารถปรับสภาพตามปกติได้ หรือต้องการควบคุมความเร็วในการรับยาของผู้ป่วย หรือเพื่อให้ยาทางหลอดเลือดดำเนื่องจากยาบางชนิดไม่สามารถดูดซึมเข้าทางระบบทางเดินอาหาร การให้สารน้ำดังกล่าวต้องคำนึงถึงปริมาณการรับยา การควบคุมอัตราการไหลของสารน้ำและเวลาต้องอยู่ภายใต้การสังเกตของแพทย์

พยาบาลต้องคำนวณปริมาณสารน้ำต่อชั่วโมงและอัตราการหยดของสารน้ำต่อนาที การคำนวณอัตราการหยดของสารน้ำต่อนาที สามารถได้จากอัตราหยดของสารน้ำ (Drop factor) ที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตร โดยจะกำหนดจากชนิดของชุดอุปกรณ์ให้สารน้ำ เช่น ชุดให้สารน้ำชนิดหยดใหญ่ (Macrodrop) ให้อัตราการหยดที่ 15 หยดต่อ 1 มิลลิลิตร

การทำอัตราการหยดในการให้ยาสามารถคำนวณได้จาก

อัตราการหยดในการให้ยา(หยด/วินาที) =
$$\frac{\text{อัตราหยดของสารน้ำ (หยดต่อมิลลิกรัม)} \times \text{ปริมาณของสารน้ำที่ผู้ป่วยได้รับ (มิลลิกรัม)}}{\text{เวลาของการให้สารน้ำทางหลอดเลือด (วินาที)}}$$

ที่มาของข้อมูล: วิทยาลัยพยาบาลและสุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

คำถามที่ 1

แพทย์พิจารณาแผนการรักษาผู้ป่วยโดยการให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ กำหนดการให้ปริมาณสารน้ำ 1,000 มิลลิลิตร ในเวลา 10 ชั่วโมง กำหนดชุดให้สารน้ำชนิดหยดเล็กที่มีอัตราการหยดเท่ากับ 60 หยดต่อ 1 มิลลิลิตร พยาบาลต้องปรับอัตราการหยดในการให้ยาทางหลอดเลือดดำเป็นเท่าใด (1 คะแนน)

- ก. 50 หยด/นาที
- ข. 100 หยด/นาที
- ค. 600 หยด/นาที
- ง. 6,000 หยด/นาที

คำถามที่ 2

ข้อใดไม่ใช่ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการหยดของสารน้ำที่ผู้ป่วยทางหลอดเลือด (1 คะแนน)

- ก. จำนวนการหยดของสารน้ำ
- ข. ระยะเวลานในการให้สารน้ำแก่ผู้ป่วย
- ค. ช่วงเวลาในการให้สารน้ำแก่ผู้ป่วย
- ง. ปริมาตรของสารน้ำที่ต้องการให้ผู้ป่วย

คำถามที่ 3

ถ้าเป็นเวลาของการให้สารน้ำเป็นสองเท่า แต่ให้อัตราหยดและปริมาณของสารน้ำเท่าเดิม อัตราการหยดของสารน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร (1 คะแนน)

- ก. เปลี่ยนแปลงไป 50%
- ข. เพิ่มขึ้น 50%
- ค. ลดลง 50%
- ง. ไม่เปลี่ยนแปลง

คำถามที่ 4

จากแผนการรักษาแพทย์มีคำสั่งให้พยาบาลต้องทำการหยาบเวลาในการให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำขึ้นนี้เป็นสองเท่า พยาบาลควรทำอย่างไร เพื่อไม่กระทบต่อประสิทธิภาพของการให้ยาทางหลอดเลือดดำน้อยที่สุด (2คะแนน)

.....

.....

.....

คำถามที่ 2
จงเขียนเส้นทางจากชายหาดถึงโรงแรมที่เงินและแม่ของเรอเลือกเดินทาง พร้อมทั้งระบุปัจจัย
ที่ส่งผลต่อเวลาของการเดินทางมา 3 ปัจจัย (2 คะแนน)

คำถามที่ 3
เงินและแม่ควรเดินทางออกจากชายหาดในเวลาใด (1 คะแนน).....

คำถามที่ 4
จากคำถามที่ 2 จงแสดงวิธีการคำนวณเพื่อหาต้นทุนค่าตอบแทนเงินและแม่ควรออกจากชายหาด (1 คะแนน)

.....

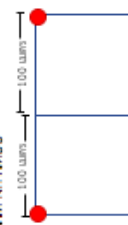
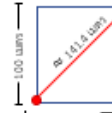
.....

.....

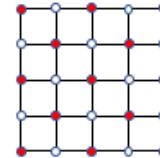
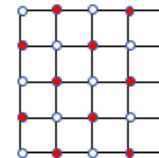
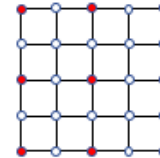
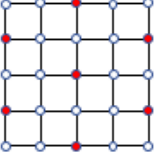
.....

.....

คำถาม ข้อที่		เกณฑ์การให้คะแนน		คะแนนที่ได้ (คะแนน)	
สถานการณ์ที่ 1 จากกรุงเทพไปเชียงใหม่					
1	ตอบ ตอบถูกต้องหมด : เป็น เป็น เป็น เป็น เป็น เป็น			1	
	ตอบ คำตอบอื่น ๆ			0	
2	ตอบ เขียนความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเดินทางและปัจจัยในการเดินทาง 2 ประเด็นขึ้นไป			2	
	ตอบ เขียนความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเดินทางและปัจจัยในการเดินทาง 1 ประเด็น			1	
	ตอบ คำตอบอื่น ๆ			0	
	ตอบ			2	
	การเดินทางไปเชียงใหม่	การเดินทางกลับกรุงเทพ			
	เครื่องบิน	รถบัส			
แนวการตอบเหตุผลในการเลือก					
สอดคล้องกับการเดินทาง รวดเร็ว และไม่เงินงบนการเดินทางที่ตั้งไว้					
3	ตอบ			1	
	การเดินทางไปเชียงใหม่	การเดินทางกลับกรุงเทพ			
	รถบัส	รถไฟ			
	การเดินทางไปเชียงใหม่	การเดินทางกลับกรุงเทพ			
	รถบัส	รถบัส			
	การเดินทางไปเชียงใหม่	การเดินทางกลับกรุงเทพ			
รถไฟ	รถไฟ				
เหตุผลในการเลือก					
สอดคล้องกับการเดินทาง ประหยัดค่าใช้จ่าย					
แนวการตอบ					

คำถาม ข้อที่	เกณฑ์การให้คะแนน	คะแนนที่ได้ (คะแนน)
สถานการณ์ที่ 4 โครงการกังหันลมผลิตไฟฟ้า	ส่วนที่ 1 ระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างเสาของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือ เฉลย 3.33 เท่า หรือ 2.35 เท่า	1
	ส่วนที่ 1 ระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างเสาของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือ เฉลย คำตอบอื่น ๆ	0
	ส่วนที่ 2 การแสดงการคำนวณเพื่อสนับสนุนคำตอบในส่วนที่ 1 เฉลย แสดงวิธีการคำนวณที่สนับสนุนคำตอบในส่วนที่ 1	
	แนวทางการตอบ  ความยาวของใบพัดกังหันลมคือ 60 เมตร ระยะห่างที่ระหว่างเสาของเสา = 60 + 60 = 120 เมตร แต่จากด้านหนึ่งซึ่งสามารถติดตั้งกังหันลมที่ กำหนดได้ ทำให้ระยะห่าง ระหว่างเสาของเสาของกังหันลม = 100 + 100 = 200 เมตร คิดเป็น $\frac{200}{60} \approx 3.33$ เท่าของความ ยาวใบพัด	1
หรือ	 ระยะห่างของเสาของกังหันลม ² = 100 ² + 100 ² ระยะห่างของเสาของกังหันลม = $\sqrt{10,000 + 10,000}$ ≈ 141.4 เมตร ระยะห่างที่น้อยที่สุดคือ ≈ 2.35 เท่าของความยาวใบพัด	
	ส่วนที่ 2 การแสดงการคำนวณเพื่อสนับสนุนคำตอบในส่วนที่ 1 เฉลย คำตอบอื่น ๆ หรือ คำนวณผิด	0

1

คำถาม ข้อที่	เกณฑ์การให้คะแนน	คะแนนที่ได้ (คะแนน)
เฉลย	 จำนวน 13 จุด	2
	เฉลย คำตอบที่แสดงจำนวนกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่สอดคล้องกับเงื่อนไข แนวทางการตอบ  จำนวน 12 จุด	1
	 จำนวน 9 จุด	
	 จำนวน 7 จุด	
2		
	เฉลย คำตอบอื่น ๆ	0

2

คำถาม ข้อที่	เกณฑ์การให้คะแนน	คะแนนที่ได้ (คะแนน)
	<p>แนวทางการตอบ</p> <ul style="list-style-type: none">- เลือกเดินทางเส้นทางที่มีระยะ 8 กิโลเมตร และมีการจำกัดความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการเดินทางอย่างน้อยที่สุดโดยไม่คำนึงถึงปัจจัยแทรกซ้อนอื่น $\eta = \frac{8 \times 60}{35} \approx 13.71 \text{ นาที}$<p>เท่ากับ 14 นาที ดังนั้นควรออกจากชายหาดเวลา 17.46 น. เป็นอย่างน้อย</p>- เลือกเดินทางเส้นทางที่มีระยะ 7 กิโลเมตร และมีการจำกัดความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการเดินทางอย่างน้อยที่สุดโดยไม่คำนึงถึงปัจจัยแทรกซ้อนอื่น $\eta = \frac{7 \times 60}{50} \approx 8.54 \text{ นาที}$<p>เท่ากับ 9 นาที ดังนั้นควรออกจากชายหาดเวลา 17.51 น. เป็นอย่างน้อย</p>- เลือกเดินทางเส้นทางที่มีระยะ 7 กิโลเมตร และมีการจำกัดความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการเดินทางอย่างน้อยที่สุดโดยไม่คำนึงถึงปัจจัยแทรกซ้อนอื่น $\eta = \frac{4.5 \times 60}{50} \approx 5.4 \text{ นาที}$<p>ช่วงจำกัดความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง</p>$= \frac{50}{2.5 \times 60}$<p>ช่วงจำกัดความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง</p>$= \frac{35}{35}$<p>เท่ากับ $6 + 5 = 11$ นาที ดังนั้นควรออกจากชายหาดเวลา 17.49 น. เป็นอย่างน้อย</p>	
	ตอบ คำตอบอื่น ๆ หรือ คำนวณผิด	0

เกณฑ์การแปลความหมายของคะแนนแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์

เกณฑ์การแปลความหมายของคะแนนแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย จากคะแนนเต็ม 24 คะแนน

คะแนนเฉลี่ย	การแปลความหมาย
17 – 24	ความสามารถในการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับสูง
9 – 16	ความสามารถในการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับปานกลาง
0 – 8	ความสามารถในการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับต่ำ



เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560)* สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

บารมี ศรีบุญพิมพ์. (2560). *การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้เชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ: วิทยาลัยน้อมรับปัญญาของผู้บัณฑิต* สาขาการวิจัยและพัฒนาศึกษาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ปิยะนวด ประยูร. (2548). *Systems Thinking วิธีคิดกระบวนการ. กรุงเทพมหานคร: โครงการเสริมสร้างการเรียนรู้เพื่อชุมชนเป็นสุข (สรส).*

มนต์รี แม้นเกลิก. (2546). *การพัฒนากระบวนการสอนเพื่อพัฒนาระบบการคิดเชิงระบบของนิสิตระดับปริญญาตรี สาขาสหศาสตร์ไม่ใช่วิทยาศาสตร์. วิทยาลัยน้อมรับปัญญาของผู้บัณฑิต สาขาการวิจัยและพัฒนาหลักสูตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.*

Senge, Peter. (1993). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of Learning Organization.* London: Century Business.

Senge, P.M. (2006). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of Learning Organization.* London: Random House Business.

ผู้จัดทำ

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวจันทร์เพ็ญ ปรีชา
วัน เดือน ปีเกิด	5 สิงหาคม 2533
ภูมิลำเนา	จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขามนุษยศาสตร์ วิทยาศาสตร - คณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2556 เข้าศึกษาหลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2561 ครูประจำกลุ่มสาระคณิตศาสตร์ โรงเรียนสงคราม จังหวัดเพชรบุรี
การทำงาน	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวจันทร์เพ็ญ ปรีชา
วัน เดือน ปี เกิด	5 สิงหาคม 2533
สถานที่เกิด	ราชบุรี
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการศึกษา วิชาเอก คอมพิวเตอร์ - คณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2556 เข้าศึกษาหลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2561
ที่อยู่ปัจจุบัน	จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย