

July 2021

ขณิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับ  
ความสามารถทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทาง  
อิเล็กทรอนิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

T. Thanyalakmara

K. Tangdhanakanond

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



Part of the [Education Commons](#)

## Recommended Citation

Thanyalakmara, T. and Tangdhanakanond, K. (2021) "ขณิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางอิเล็กทรอนิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4," *Journal of Education Studies*: Vol. 49: Iss. 3, Article 2.

DOI: 10.58837/CHULA.EDUCU.49.3.1

Available at: <https://digital.car.chula.ac.th/educujournal/vol49/iss3/2>

This Article is brought to you for free and open access by the Chulalongkorn Journal Online (CUJO) at Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Journal of Education Studies by an authorized editor of Chula Digital Collections. For more information, please contact [ChulaDC@car.chula.ac.th](mailto:ChulaDC@car.chula.ac.th).



ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์  
ที่มีต่อพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4  
Interaction between Interactive Computer-based Feedback Types and Physics Ability Levels on  
the Growth of Problem-Solving Abilities in Physics of Tenth Grade Students

ธัญบุรณ์ ธัญลักษณ์ระ<sup>1\*</sup> และ กมลวรรณ ตังธนากันน<sup>2</sup>

Thanyaboon Thanyalakmara<sup>1\*</sup> and Kamonwan Tangdhanakanond<sup>2</sup>

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ (ลดความคล้าย เพิ่มความคล้าย ความคล้ายคงที่ และบอกคำตอบที่ถูกต้อง) กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ (สูง ปานกลาง และต่ำ) ที่มีต่อพัฒนาการความสามารถของนักเรียน และ 2) เปรียบเทียบพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างวิจัย คือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 73 คน เครื่องมือวิจัย คือ แบบฝึกหัดการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์ และแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณใช้สถิติเชิงบรรยาย คะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง ผลการวิจัยพบว่า 1) มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบกับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ต่อพัฒนาการความสามารถอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) นักเรียนที่มีความสามารถระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับต่างประเภทกันมีพัฒนาการความสามารถไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบลดความคล้ายและแบบความคล้ายคงที่ รวมถึงนักเรียนที่มีความสามารถระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบความคล้ายคงที่ มีพัฒนาการความสามารถสูงกว่าแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**คำสำคัญ :** ปฏิสัมพันธ์, ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ, ความสามารถทางฟิสิกส์, ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

Article Info: Received 26 April, 2021; Received in revised form 11 May, 2021; Accepted 12 May, 2021

<sup>1</sup> นิสิตมหาบัณฑิต สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อีเมล : thanyaboon.ttr@gmail.com

Graduate Student in Division of Educational Measurement and Evaluation, Department of Educational Research and Psychology, Faculty of Education, Chulalongkorn University Email: thanyaboon.ttr@gmail.com

<sup>2</sup> อาจารย์ประจำสาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อีเมล : tkamonwan@hotmail.com

Lecturer in Division of Educational Measurement and Evaluation, Department of Educational Research and Psychology, Faculty of Education, Chulalongkorn University Email: tkamonwan@hotmail.com

\* Corresponding author

### Abstract

The purposes of this study were 1) to study the interactions between interactive computer-based feedback types (fade-out, fade-in, constant, and knowledge of correct response feedback) and physics ability levels (high, moderate, and low) on the growth of physics-based problem-solving abilities of students, and 2) to compare the growth of physics-based problem-solving abilities of students who received four different types of interactive computer-based feedback. The sample consisted of 73 tenth grade students. The research instruments were physics-based problem-solving ability exercises delivered via computer systems and physics-based problem-solving ability tests. Quantitative data were analyzed by using descriptive statistics, relative gain scores, repeated measures ANOVA, and two-way ANOVA. Results revealed that 1) there was an interaction between interactive computer-based feedback types and physics ability levels on the growth of physics-based problem-solving abilities of students at the statistically significant level of .05, and 2) students in the high ability level who received different interactive computer-based feedback types did not differ in the development of problem-solving abilities at the statistically significant level of .05. Students in the moderate ability level, who received fade-out feedback and constant feedback, as well as students in the low ability level, who received constant feedback were better in developing problem-solving abilities than those who received knowledge of correct response feedback at the statistically significant level of .05.

**Keywords:** interaction, interactive feedback, physics ability, problem solving ability

### บทนำ

สภาพการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในปัจจุบัน พบว่า ส่วนใหญ่เป็นการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายโดยเน้นครูเป็นศูนย์กลาง ซึ่งมุ่งเน้นให้นักเรียนท่องจำสูตรและฝึกแทนค่าจากที่โจทย์ปัญหากำหนดให้ลงในสูตรเพื่อคำนวณหาค่าตามที่โจทย์ปัญหาต้องการได้ โดยไม่ให้ความสำคัญกับการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน ทำให้นักเรียนขาดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาทางฟิสิกส์ ตลอดจนไม่สามารถวิเคราะห์ เชื่อมโยง หรือประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางฟิสิกส์ที่มีในการแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอน (เกริก ศักดิ์สุภาพ, 2561; รัชพล ธนานุวงศ์, 2558; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาฟิสิกส์, 2554) ประกอบกับผลการทดสอบวิชาสามัญในวิชาฟิสิกส์ ช่วงปีการศึกษา 2559-2563 ซึ่งจัดสอบโดยสถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (สทศ.) พบว่า มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50 ตลอดทุกปีการศึกษา จากข้อมูลเชิงประจักษ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า นักเรียนควรได้รับการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ให้ดียิ่งขึ้น

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นความสามารถในการใช้กระบวนการทางปัญญาสำหรับการดำเนินการหาคำตอบอย่างเป็นลำดับขั้นตอนโดยอาศัยความรู้ทางฟิสิกส์สำหรับการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางฟิสิกส์ที่กำหนดให้ในโจทย์ปัญหา และทักษะการคำนวณทางคณิตศาสตร์ในการดำเนินการแก้สมการเพื่อหาคำตอบของโจทย์ปัญหา (นิพนธ์ นิลคง, 2541; Hollabaugh, 1995) นักการศึกษาหลายท่านได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยสามารถสังเคราะห์ออกมาเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) วิเคราะห์และแปลงข้อมูลจากโจทย์ปัญหา (2) จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์ (3) วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา (4) ดำเนินการทางคณิตศาสตร์ และ (5) ตรวจสอบและประเมินคำตอบ (Çalışkan et al., 2010; Heller & Heller, 2010; Serway & Jewett 2019)

ในขณะเดียวกันมีการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนโดยใช้วิธีการ กลยุทธ์ รวมถึงสื่อประกอบการเรียนรู้ต่าง ๆ โดยหนึ่งในแนวทางการพัฒนานั้น ได้แก่ การให้ข้อมูลย้อนกลับ (feedback) ซึ่งเป็นหลักสำคัญสำหรับการประเมินเพื่อการเรียนรู้ (assessment for learning) หรือการวัดและประเมินผลเพื่อการพัฒนา (formative assessment) ตามหลักการประเมินผลการเรียนรู้ของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2557; โชติกา ภาชีผล, 2559) โดยเป็นสารสนเทศในรูปแบบข้อความภาพหรือเสียงที่ผ่านแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น ครู เพื่อน ผู้ปกครอง ตนเอง หนังสือ คอมพิวเตอร์ แก่นักเรียนเพื่อให้รับรู้ถึงความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ จุดเด่น จุดที่ควรแก้ไขในการเรียนรู้ของตนเอง ตลอดจนเสริมแรงให้เกิดแรงจูงใจในการกำกับตนเองเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ให้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขความรู้ความเข้าใจเดิมหรือพฤติกรรมที่ไม่ถูกต้องหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้ถูกต้องหรือเป็นไปตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ได้ (Shute, 2008) ซึ่งการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูงกว่าแหล่งข้อมูลอื่น เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถให้ข้อมูลย้อนกลับภายหลังจากนักเรียนตอบคำถามได้ทันที อีกทั้งสามารถให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนได้เป็นจำนวนมากตามที่กำหนดไว้ได้ (Hattie & Timperley, 2007; Mason & Bruning, 2001)

ข้อมูลย้อนกลับสามารถจำแนกได้หลายประเภท โดยแต่ละประเภทมีลักษณะเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะ (hint feedback) เหมาะสำหรับกลุ่มรายวิชาที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับการคำนวณ (กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ, 2560; อนงค์ เมธิพิทักษ์ธรรม, 2555) เนื่องจากเป็นข้อมูลย้อนกลับที่ช่วยฝึกกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียนให้รู้จักคิดหาแนวทางหรือคำตอบได้ด้วยตนเอง โดยอาศัยรายละเอียดจากข้อมูลย้อนกลับ ซึ่งตัวอย่างโจทย์ปัญหา (worked-out example) เป็นรูปแบบหนึ่งของรายละเอียดที่ช่วยให้สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับโจทย์ปัญหาหลัก ซึ่งช่วยให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาหลักได้เร็วขึ้น และลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ให้น้อยลง แต่การใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาดังกล่าวอาจทำให้นักเรียนไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาหลักได้ เนื่องจากตัวอย่างโจทย์เป็นในลักษณะของการสื่อสารทางเดียวไปยังนักเรียน ทำให้ไม่ได้เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาด้วยตนเอง (Atkinson & Renkl, 2007) จึงมีการนำแนวคิดการโต้ตอบเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) การเติมคำลงในช่องว่าง (including gap) (2) การสร้างคำอธิบายด้วยตนเอง (self-explanation prompt) และ (3) การขอความช่วยเหลือตามความต้องการ (help on demand) โดยพบว่า ส่วนใหญ่นำการเติมคำลงในช่องว่างไปใช้ในข้อมูลย้อนกลับที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับรายวิชาคำนวณ เนื่องจากนักเรียนสามารถตรวจสอบความถูกต้องและทราบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของตนเองได้ในแต่ละขั้นตอน (สุวรรินทร์ ทองพันธ์, 2560; Corbalan et al., 2010)

การคัดลอกแนวทางการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาหลัก เป็นข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของการใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหา เนื่องจากนักเรียนอาจคัดลอกแนวทางไปโดยไม่ได้อธิบายหรือทำความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาอย่างลุ่มลึก ซึ่งผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียนในระยะยาวได้ (Sweller & Cooper, 1985) เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดข้อจำกัดดังกล่าว จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายแตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) ตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับสูง เป็นตัวอย่างที่มีลำดับขั้นตอนสำหรับการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา และ (2) ตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับต่ำ เป็นตัวอย่างที่มีการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่สลับลำดับขั้นตอนในการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา รวมถึงปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา จากนั้นจึงนำตัวอย่างโจทย์นั้นมาจัดเรียงให้เกิดเป็นลำดับทิศทางได้ 3 ประเภท ได้แก่ (1) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบลดความคล้าย เป็นตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูงในข้อคำถามช่วงแรกและมีความคล้ายระดับต่ำในข้อคำถามช่วงหลัง ตามลำดับ (2) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบเพิ่มความคล้าย เป็นตัวอย่างโจทย์ปัญหา

ที่มีความคล้ายระดับต่ำในข้อคำถามช่วงแรกและมีความคล้ายระดับสูงในข้อคำถามช่วงหลัง ตามลำดับ และ (3) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบความคล้ายคงที่ เป็นตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูงตลอดทุกข้อคำถาม (Jennings & Muldner, 2020)

แนวคิดการโต้ตอบด้วยการเติมคำลงในช่องว่างและแนวคิดของลำดับทิศทางความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหาเป็นแนวคิดที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่การใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหา ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำทั้งสองแนวคิดมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลย้อนกลับด้วยเช่นกัน โดยการวิจัยครั้งนี้มีข้อมูลย้อนกลับทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับสูงในข้อคำถามช่วงแรกและมีความคล้ายระดับต่ำในข้อคำถามช่วงหลัง ตามลำดับ (2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับต่ำในข้อคำถามช่วงแรกและมีความคล้ายระดับสูงในข้อคำถามช่วงหลัง ตามลำดับ (3) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับสูงตลอดทุกข้อคำถาม และ (4) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด พร้อมคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งใช้ในการควบคุมของการวิจัยครั้งนี้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวอย่างโจทย์ปัญหาแต่ละประเภท พบว่า ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบเพิ่มความคล้ายมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบลดความคล้าย แต่มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบความคล้ายคงที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงระดับความสามารถทางการเรียนของนักเรียนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากนักเรียนแต่ละคนสามารถใช้ประโยชน์จากตัวอย่างโจทย์ปัญหาได้แตกต่างกันไปตามระดับความสามารถของตนเอง โดยตัวอย่างโจทย์ปัญหาเหมาะสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับต่ำมากกว่านักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับสูง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงพิจารณาระดับความสามารถทางการเรียนของนักเรียนเป็นตัวแปรอิสระอีกตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ (Mason & Bruning, 2001; Renkl & Atkinson, 2010; Shute, 2008)

ข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมานี้ ทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนและเปรียบเทียบพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้สารสนเทศเกี่ยวกับการออกแบบและการเลือกใช้ประเภทของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมกับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ของแต่ละคนสำหรับการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

### วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน
- 2) เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์

## วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi-experimental design) แบบ 4 x 3 แฟคทอเรียลที่ทำการทดลองซ้ำในตัวอย่างเดิม (4 x 3 repeated measured factorial design) โดยกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมจำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ (ลดความคล้าย เพิ่มความคล้าย ความคล้ายคงที่ และบอกคำตอบที่ถูกต้อง) และระดับความสามารถทางฟิสิกส์ (สูง ปานกลาง และต่ำ) โดยกระบวนการทั้งหมดมีจำนวน 5 ครั้ง ซึ่งวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยแบบสอบถามที่ 1, 2 และ 3 ในครั้งที่ 1, 3 และ 5 ตามลำดับ และทดลองด้วยแบบฝึกหัด ชุดที่ 1 และ 2 ในครั้งที่ 2 และ 4 ตามลำดับ

**ประชากรที่ใช้ในการวิจัย** คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ศึกษาอยู่ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาปทุมธานี จำนวน 6,710 คน

**ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย** คือ นักเรียนที่กำลังศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต จังหวัดปทุมธานี จำนวน 73 คน โดยผู้วิจัยเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) จากนั้นจำแนกเป็น 3 กลุ่ม ตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์ (สูง ปานกลาง และต่ำ) ด้วยผลคะแนนสอบปลายภาครายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 เทียบกับเกณฑ์การตัดสินผลการเรียนรู้ของกระทรวงศึกษาธิการ จากนั้นสุ่มตัวอย่างในแต่ละชั้นระดับความสามารถทางฟิสิกส์ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) จนได้กลุ่มตัวอย่างครบทั้ง 12 กลุ่ม ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มทดลอง จำนวน 9 กลุ่ม เป็นกลุ่มนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และ (2) กลุ่มควบคุม จำนวน 3 กลุ่ม เป็นกลุ่มนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย** มี 2 ประเภท ได้แก่ (1) แบบฝึกหัดการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นแบบสอบถามเติมคำในรูปแบบของตัวเลข เรื่อง โมเมนตัมและการชน ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบจากคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกัน 4 ประเภท (ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง) จำนวน 2 ชุด ที่มีความเป็นคู่ขนาน โดยแต่ละชุดมีทั้งหมด 6 ข้อ และเวลาที่ใช้ในการทำแบบฝึกหัดแต่ละชุด เท่ากับ 60 นาที โดยทุกข้อให้ผลการวัดที่มีความตรงเชิงเนื้อหา (IOC มีค่าเท่ากับ 1.0) มีความเป็นคู่ขนาน รวมถึงสอดคล้องกับระดับความคล้ายของข้อมูลย้อนกลับตามความคิดเห็นของกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิ และ (2) แบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นแบบสอบถามเติมคำในรูปแบบของตัวเลข เรื่อง โมเมนตัมและการชน จำนวน 3 ฉบับ ที่มีความเป็นคู่ขนาน โดยแต่ละฉบับมีทั้งหมด 10 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน คะแนนเต็มของแบบสอบทั้งฉบับ เท่ากับ 10 คะแนน และเวลาที่ใช้ในการทำแบบสอบแต่ละฉบับ เท่ากับ 60 นาที โดยข้อคำถามทุกข้อให้ผลการวัดที่มีความตรงเชิงเนื้อหา (IOC มีค่าอยู่ในช่วง .8 ถึง 1.0) และมีความเที่ยง (ค่าความเที่ยงของแบบสอบอิงเกณฑ์ด้วยวิธีของลิฟวิงตันมีค่าเท่ากับ .78, .78 และ .80 ตามลำดับ) รวมถึงแบบสอบมีความเป็นคู่ขนานกัน

**การเก็บรวบรวมข้อมูล** แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

1) ระยะนำเครื่องมือไปทดลองใช้ ผู้วิจัยนำแบบสอบทุกฉบับเข้าสู่ระบบการใช้งาน Google form ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และทดสอบการใช้งานระบบ เพื่อตรวจสอบความพร้อมและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของระบบในขณะที่ใช้งาน จากนั้นทำหนังสือขออนุญาตในการทดลองใช้แบบสอบถึงผู้อำนวยการโรงเรียน และประสานงานกับครูผู้สอนรายวิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัย รวมถึงนัดหมายวันและเวลาที่ใช้ในการทดลองใช้แบบสอบ และแบบวัด จากนั้นนำคะแนนที่ได้จากการทดลองใช้แบบสอบมาวิเคราะห์คุณภาพและความเป็นคู่ขนานของแบบสอบ

2) ให้นำเครื่องมือไปใช้จริง ผู้วิจัยนำแบบสอบทุกฉบับและแบบฝึกหัดทุกชุดเข้าสู่โปรแกรม Moodle ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และทดสอบการใช้งานระบบ เพื่อตรวจสอบความพร้อมและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของระบบในขณะที่ใช้งาน จากนั้นจัดทำหนังสือขออนุญาตในการเก็บรวบรวมข้อมูลถึงผู้อำนวยการโรงเรียน และประสานงานกับครูผู้สอนรายวิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัย รวมทั้งขอข้อมูลเกี่ยวกับผลคะแนนสอบปลายภาครายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อใช้ในการจำแนกตัวอย่างวิจัยเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม รวมถึงนัดหมายวันและเวลาที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยกระบวนการทั้งหมดใช้ระยะเวลา 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง กล่าวคือ นักเรียนจะต้องทำแบบสอบ ฉบับที่ 1, 2 และ 3 ในครั้งที่ 1, 3 และ 5 ตามลำดับ และทำแบบฝึกหัด ชุดที่ 1 และ 2 ในครั้งที่ 2 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุมการเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างวิจัยตามวันและเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรมระบบประชุมทางไกล Zoom ด้วยตนเอง

**การวิเคราะห์ข้อมูล** ผู้วิจัยนำผลคะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบมาคำนวณหาพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ของ ศิริชัย กาญจนวาสี (2556) เป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ระหว่างแบบสอบฉบับที่ 1 กับ 2, ระยะที่ 2 ระหว่างแบบสอบฉบับที่ 2 กับ 3 และระยะที่ 3 ระหว่างแบบสอบฉบับที่ 1 กับ 3 จากนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย 2 ข้อ ได้แก่ (1) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two-way ANOVA) (2) การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (repeated measures ANOVA)

## ผลการวิจัย

**ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05,  $F(6, 61) = 2.405, p = .038$

เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลหลักอย่างง่ายของประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ด้วยเช่นกัน โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 1

## ตาราง 1

การทดสอบอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยที่ 3

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	$\eta_p^2$
ประเภทข้อมูลย้อนกลับ	12013.301	3	4004.434	9.396	.000	.316
ระดับความสามารถทางฟิสิกส์	6177.708	2	3088.854	7.248	.001	.192
ข้อมูลย้อนกลับ*ความสามารถ	6150.036	6	1025.006	2.405	.038	.191
Error	25996.138	61	426.166			
Corrected Total	51153.357	72				
Levene's test $F(11, 61) = 1.808, p = .072$						
การเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparisons) ด้วยวิธี Bonferroni						
ระดับความสามารถทางฟิสิกส์	ประเภทข้อมูลย้อนกลับ	Mean difference	SE	p		
ระดับปานกลาง	ลดความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง	54.427**	13.848	.001		
	ความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง	46.542**	13.848	.008		
ระดับต่ำ	ความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง	42.826**	10.660	.001		

หมายเหตุ : \*\* $p < .01$

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการวิเคราะห์ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ พบว่า ไม่มีความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการแต่ละระยะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ระดับสูง  $\chi^2(2) = 25.669, p = .000$ , ระดับปานกลาง  $\chi^2(2) = 12.876, p = .002$  และระดับต่ำ  $\chi^2(2) = 50.496, p = .000$ ) ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Greenhouse-Geisser

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ปานกลาง และต่ำมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการทั้ง 3 ระยะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01, .05 และ .01 ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ของคะแนนพัฒนาการของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 สูงกว่าระยะที่ 2 และ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการในระยะที่ 2 สูงกว่าระยะที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 สูงกว่าระยะที่ 2 และ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ .01 ตามลำดับ เช่นเดียวกับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 สูงกว่าระยะที่ 2 และ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์จะมีพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาสูงขึ้น



เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ของคะแนนพัฒนาการของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกัน สำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 2

## ตาราง 2

การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์

ระดับ ความสามารถ ทางฟิสิกส์	Within subjects effect	Mauchly's W	Approx. Chi- Square	df	p	Epsilon		
						Greenhouse- Geisser	Huynh- Feldt	Lower- bound
ระดับสูง	time	.240	25.669	2	.000	.568	.676	.500
ระดับปานกลาง	time	.342	12.876	2	.002	.603	.785	.500
ระดับต่ำ	time	.165	50.496	2	.000	.545	.608	.500
การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการประมาณค่าแบบ Greenhouse-Geisser								
ระดับความสามารถ ทางฟิสิกส์	แหล่งที่มา	SS	df	MS	F	p		
ระดับสูง	time	13700.815	1.137	12054.977	22.554**	.000		
	Error(time)	11542.032	21.594	534.501				
ระดับปานกลาง	time	6841.755	1.206	5671.919	4.914*	.036		
	Error(time)	18100.053	15.681	1154.248				
ระดับต่ำ	time	14693.845	1.090	13483.557	16.297**	.000		
	Error(time)	26147.824	31.603	827.383				
การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่								
ระดับความสามารถทางฟิสิกส์	ระยะการวัด	Mean difference	SE	p				
ระดับสูง	ระยะที่ 2-ระยะที่ 1	22.979*	6.879	.010				
	ระยะที่ 3-ระยะที่ 2	12.103**	2.300	.000				
	ระยะที่ 3-ระยะที่ 1	35.082**	5.645	.000				

## ตาราง 2 (ต่อ)

การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษา  
ปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์

การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่				
ระดับความสามารถทางฟิสิกส์	ระยะการวัด	Mean difference	SE	p
ระดับปานกลาง	ระยะที่ 3-ระยะที่ 2	19.752*	6.739	.035
	ระยะที่ 3-ระยะที่ 1	27.673**	7.280	.007
ระดับต่ำ	ระยะที่ 3-ระยะที่ 2	16.839**	2.677	.000
	ระยะที่ 3-ระยะที่ 1	30.327**	5.099	.000
ระดับความสามารถทางฟิสิกส์	ประเภทข้อมูลย้อนกลับ	Mean difference	SE	p
ระดับปานกลาง	ลดความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง	52.035*	13.477	.012
	ความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง	43.325*	13.477	.041
ระดับต่ำ	ความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง	32.013*	9.785	.017

หมายเหตุ : \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

## อภิปรายผล

### 1. การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

ผลการวิจัย พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน โดยข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ส่งผลให้นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางมีพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ส่งผลให้นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำมีพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักเรียนแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ใช้ประโยชน์จากข้อมูลย้อนกลับได้แตกต่างกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบมีประโยชน์กับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและต่ำมากกว่า ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงอาจใช้แค่เพียงข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องซึ่งมีรายละเอียดหรือความซับซ้อนน้อยที่สุดก็เป็นประโยชน์ไม่แตกต่างจากข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุวรรณ์ ทองพันธ์ (2560) และอนงค์ เมธิพิทักษ์ธรรม (2555) ซึ่งพบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการให้ข้อมูลย้อนกลับกับระดับความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีรูปแบบการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์เช่นเดียวกัน ซึ่ง สุวรรณ์ ทองพันธ์ (2560) มีการนำลักษณะการโต้ตอบเข้ามาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการให้ข้อมูลย้อนกลับเพิ่มเติมไปจากเดิม เป็นที่สังเกตว่าเนื้อหาที่ใช้ในการศึกษาของทั้งสองท่านจะแตกต่างไปจากการวิจัยในครั้งนี้ แต่เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ พบว่า นักเรียนจะต้องผ่านกระบวนการตีความ วิเคราะห์ วางแผน และ

ดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอนจึงจะสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ดังการวิจัยครั้งนี้

## 2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการเปรียบเทียบพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง มีพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง เป็นนักเรียนที่มีความรู้ความเข้าใจในมโนทัศน์ทางฟิสิกส์ อีกทั้งสามารถตีความและวิเคราะห์โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ได้เป็นอย่างดี เช่น ทราบว่าสิ่งที่โจทย์ปัญหากำหนดมาให้เน้นแสดงแทนตัวแปรหรือสัญลักษณ์ใด และมีค่าเป็นเท่าใด แต่อาจเกิดข้อผิดพลาดจากการคำนวณหรือแก้สมการทางฟิสิกส์ ดังนั้นข้อมูลย้อนกลับที่ใช้ในนักเรียนระดับนี้อาจเป็นเพียงให้รายละเอียดแค่ความถูกต้องของผลการตอบเท่านั้น โดยหากนักเรียนทราบว่าตอบคำถามผิด นักเรียนจะเริ่มแก้โจทย์ปัญหาเดิมอีกครั้งหรือแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระหว่างการแก้โจทย์ปัญหานั้น ในขณะที่ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบเป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้คำชี้แนะด้วยตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับทิศทางความคล้ายแตกต่างกันซึ่งให้รายละเอียดที่มากเกินไปจนอาจเป็นอุปสรรคสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Atkinson and Renkl (2007) และ Renkl and Atkinson (2010) ซึ่งพบว่า การใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาเหมาะสมสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนในระดับต่ำมากกว่านักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนในระดับสูง ในขณะเดียวกันเมื่อนักเรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง หากนักเรียนตอบผิด นักเรียนจะได้รับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ผิด ทำให้นักเรียนทราบและดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาอีกครั้งหนึ่ง หรือแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการแก้โจทย์ปัญหาที่ละขั้นตอน

ผลการเปรียบเทียบพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ เป็นข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดประเภทหนึ่งที่มีการให้คำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับโจทย์ปัญหาหลักอย่างมาก โดยเฉพาะข้อคำถามช่วงแรกของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย และตลอดทุกข้อคำถามสำหรับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ ทำให้นักเรียนเกิดการถ่ายโยงการเรียนรู้โดยนำความรู้ที่ได้จากการโต้ตอบกับข้อมูลย้อนกลับไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาหลักได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีธาตุมูลที่เหมือนกันหรือคล้ายคลึง (identical elements theory) ของ Thorndike (1913, อ้างถึงใน สุรางค์ ไคว์ตระกูล, 2556) และทฤษฎีการถ่ายโยง (transposition theory) ของนักจิตวิทยากลุ่มเกสตัลท์ ที่เสนอแนวคิดที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันไว้ว่า การถ่ายโยงการเรียนรู้จะเกิดขึ้นเมื่อนักเรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากสถานการณ์ในอดีตไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ที่มีความคล้ายคลึงกัน จากแนวคิดข้างต้น หากเปรียบเทียบกับกรวิจัยครั้งนี้ จะเห็นว่า นักเรียนเกิดการถ่ายโยงการเรียนรู้เมื่อนักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาหลักได้ภายหลังได้รับข้อมูลย้อนกลับที่มีลักษณะใกล้เคียงกับโจทย์ปัญหาหลัก ซึ่งสอดคล้องกับนิยามของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ

แบบความคล้ายคลึงที่ และเมื่อพิจารณาถึงลำดับทิศทางความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหา พบว่า ควรนำเสนอตัวอย่างที่ง่ายไปสู่ตัวอย่างที่ซับซ้อน (ศักดิ์ศรี ปาณะกุล และคณะ, 2562) ซึ่งสามารถอนุมานได้ว่า ควรนำเสนอตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับสูงไปสู่ระดับต่ำ โดยสอดคล้องกับนิยามของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ซึ่งไม่มีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักเรียนมีพื้นฐานความรู้และประสบการณ์ที่ไม่เพียงพอในการถ่ายโยงการเรียนรู้ระหว่างการได้รับข้อมูลย้อนกลับกับการนำไปใช้แก้โจทย์ปัญหาหลัก ดังนั้นจึงควรให้ข้อมูลย้อนกลับที่มีลักษณะใกล้เคียงกับโจทย์ปัญหาหลักเป็นจำนวนที่มากเพียงพอต่อการทำความเข้าใจ ซึ่งจากการวิจัยในครั้งนี้จะเห็นว่าข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคลึงที่เป็นข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบประเภทเดียวที่มีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและต่ำ เนื่องจากข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบมีลักษณะใกล้เคียงกับโจทย์ปัญหาหลัก อีกทั้งมีลักษณะการโต้ตอบเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลย้อนกลับ ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งเป็นข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยันประเภทหนึ่งที่ทำให้ข้อมูลเกี่ยวกับความถูกต้องของผลการตอบเท่านั้น พร้อมบอกคำตอบที่ถูกต้องในกรณีที่ตอบคำถามครบจำนวนครั้งที่จำกัดไว้ จึงอนุมานได้ว่า ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง โดยสอดคล้องกับผลการศึกษาของ van der Kleij et al. (2015) ที่พบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยัน และหากนำข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดที่มีการให้คำชี้แนะด้วยตัวอย่างมาใช้ร่วมกับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องจะมีประสิทธิภาพมากกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง (อนงค์ เมธิพิทักษ์ธรรม, 2555; Finn et al., 2017)

### ข้อเสนอแนะ

#### ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ครูผู้สอนควรเลือกใช้ประเภทข้อมูลย้อนกลับให้เหมาะสมกับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ของนักเรียน โดยนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงควรได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบใดแบบหนึ่งหรือข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริบทหรือสถานการณ์นั้น ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางควรได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคลึงที่ และนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำควรได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคลึงที่

#### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำลักษณะการโต้ตอบและลำดับทิศทางความคล้ายของโจทย์ปัญหามาประยุกต์ใช้กับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลย้อนกลับประเภทอื่น เพื่อให้ได้สารสนเทศเกี่ยวกับแนวทางการส่งเสริมให้นักเรียนมีพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่สูงขึ้น เช่น ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน

2) การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งศึกษาระดับความสามารถของนักเรียน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาร่วมกับปัจจัยอื่นเพิ่มเติมด้วย เช่น ระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ที่วัด เวลาในการให้ข้อมูลย้อนกลับ รวมไปถึงความสามารถในการใช้เทคโนโลยีของนักเรียน ซึ่งอาจเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเรียนรู้ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

3) การวิจัยครั้งนี้มีกระบวนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลภายในระยะเวลา 1 เดือน โดยมีการให้ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ และวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ จำนวน 2 และ 3 ครั้ง ตามลำดับ ซึ่งมีจำนวนน้อยครั้งและเป็นการศึกษาในระยะสั้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับในระยะยาวด้วยการเพิ่มจำนวนครั้งของการให้ข้อมูลย้อนกลับและการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เช่น ตลอดทั้งภาคการศึกษา

4) การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาย้อนกลับการนำข้อมูลย้อนกลับไปใช้ในรายวิชาอื่น ๆ เช่น ภาษาไทย สังคมศึกษา เนื่องจากแต่ละรายวิชา มีบริบทที่แตกต่างกันออกไป

5) การวิจัยครั้งนี้เกิดขึ้นในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถทำการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้การเขียนตอบ (paper-pencil test) ที่โรงเรียนได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนรูปแบบการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นการทดสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์ (computer-based test) รวมถึงเปลี่ยนประเภทของแบบสอบเป็นแบบสอบแบบเติมคำตอบด้วยคอมพิวเตอร์โดยให้นักเรียนเติมคำตอบในรูปแบบของตัวเลขลงในช่องว่างที่กำหนดให้ ซึ่งมีข้อจำกัดคือ ไม่เหมาะสำหรับการวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับที่ซับซ้อนได้ รวมถึงไม่สามารถให้ข้อมูลการประเมินที่มีรายละเอียดซับซ้อนได้ (โชติกา ภาชีผล, 2559) ดังนั้น จึงควรมีการเปลี่ยนแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นประเภทอื่น ๆ เช่น แบบสอบความเรียงจำกัดคำตอบ เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแบบรูบริกส์

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กระทรวงศึกษาธิการ. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2557). *แนวทางการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551* (พิมพ์ครั้งที่ 4). ขุมนมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ. (2560). ผลของประเภทข้อมูลย้อนกลับและการเปลี่ยนคำตอบที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คะแนนที่เพิ่มขึ้น และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/59861>

เกริก ศักดิ์สุภาพ. (2561). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ PECA ร่วมกับโปรแกรมคิวบเปอร์ สดูล เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยนครสวรรค์*, 20(2), 12-20. [https://so06.tcithaijo.org/index.php/edujournal\\_nu/article/view/62063](https://so06.tcithaijo.org/index.php/edujournal_nu/article/view/62063)

โชติกา ภาชีผล. (2559). *การวัดและประเมินผลการเรียนรู้*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพนธ์ นิลคง. (2541). *ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการคิดหาเหตุผลเชิงตรรกศาสตร์ ทักษะการคำนวณในการเรียนวิชาฟิสิกส์และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย กรุงเทพมหานคร* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/10336>

รักษพล ธนานุวงศ์. (2558). สอนเพื่อทำข้อสอบ หรือ สอบก่อนแล้วค่อยทำข้อสอบ. *นิตยสาร สสวท.*, 43(194), 40-44. <https://library.ipst.ac.th/bitstream/handle/ipst/340/194.pdf>

ศักดิ์ศรี ปาณะกุล, นิรมล ศตวุฒิ, และ ระวีวรรณ ศรีศรีรามครัน. (2562). *หลักสูตรและการจัดการเรียนรู้* (พิมพ์ครั้งที่ 5). มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2556). *ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม* (พิมพ์ครั้งที่ 7). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาฟิสิกส์. (2554). สอนฟิสิกส์อย่างไร ให้ผู้เรียนเข้าใจจริง. *นิตยสาร สสวท.*, 39(172), 40-43. [https://library.ipst.ac.th/bitstream/handle/ipst/318/172\\_ฉบับเต็ม.pdf](https://library.ipst.ac.th/bitstream/handle/ipst/318/172_ฉบับเต็ม.pdf)

สุรางค์ ไคว์ตระกูล. (2556). *จิตวิทยาการศึกษา* (พิมพ์ครั้งที่ 11). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สุวรรณ์ ทองพันธุ์. (2560). ผลของรูปแบบการให้ข้อมูลย้อนกลับแบบผสมที่แตกต่างกันด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีต่อพัฒนาการความสามารถด้านคำนวณของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/58440>
- อนงค์ พิทักษ์เมธีธรรม. (2555). ผลของรูปแบบการให้ข้อมูลย้อนกลับที่แตกต่างกันที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1 [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/45304>

### ภาษาอังกฤษ

- Atkinson, R. K., & Renkl, A. (2007). Interactive example-based learning environments: using interactive elements to encourage effective processing of worked examples. *Educational Psychology Review*, 19(3), 375-386. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9055-2>
- Çalışkan, S., Selçuk, G. S., & Erol, M. (2010). Instruction of problem solving strategies: Effects on physics achievement and self-efficacy beliefs. *Journal of Baltic Science Education*, 9(1), 20-34. [http://www.scientiasocialis.lt/jbse/files/pdf/vol9/2034.Caliskan\\_Vol.9\\_No.1.pdf](http://www.scientiasocialis.lt/jbse/files/pdf/vol9/2034.Caliskan_Vol.9_No.1.pdf)
- Corbalan, G., Paas, F., & Cuypers, H. (2010). Computer-based feedback in linear algebra: Effects on transfer performance and motivation. *Computers & Education*, 55(2), 692-703. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.03.002>
- Finn, B., Thomas, R., & Rawson, K. A. (2018). Learning more from feedback: Elaborating feedback with examples enhances concept learning. *Learning and Instruction*, 54, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.08.007>
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Heller, K., & Heller, P. (2010). *Cooperative problem solving in physics a user's manual*. <https://www.aapt.org/Conferences/newfaculty/upload/Coop-Problem-Solving-Book.pdf>
- Hollabaugh, M. (1995). *Physics problem solving in cooperative learning groups* [Doctoral dissertation]. University of Minnesota Physics Education Research and Development. <https://groups.spa.umn.edu/phased/People/Hollabaugh%20Dissertation.pdf>
- Jennings, J., & Muldner, K. (2020). Assistance that fades in improves learning better than assistance that fades out. *Instructional Science*, 48(2020), 371-394. <https://doi.org/10.1007/s11251-020-09520-7>
- Mason, B. J., & Bruning, R. H. (2001). *Providing feedback in computer-based instruction: What the research tells us*. <http://dwb.unl.edu/Edit/MB/MasonBruning.html>
- Renkl, A., & Atkinson, R. K. (2010). Learning from worked-out examples and problem solving. In J. L. Plass, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive load theory* (pp. 91-108). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511844744.007>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W., Jr. (2019). *Physics for scientists and engineers with modern physics* (10th ed.). Cengage.

- Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research*, 78(1).  
<https://doi.org/10.3102/0034654307313795>
- Sweller, J., & Cooper, G. A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2(1), 59-89. [https://doi.org/10.1207/s1532690xci0201\\_3](https://doi.org/10.1207/s1532690xci0201_3)
- van der Kleij, F. M., Feskens, R. C. W., & Eggen, T. J. H. M. (2015). Effects of feedback in a computer-based learning environment on students' learning outcomes. *Review of Educational Research*, 85(4), 475-511. <https://doi.org/10.3102/0034654314564881>