



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 ธนานวงศ์, 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 (Çalişkan 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 ทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนและเปรียบเทียบพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้สารสนเทศเกี่ยวกับการออกแบบและการเลือกใช้ประเภทของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมกับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ของแต่ละคนสำหรับการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

### วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อการพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน
- 2) เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์

## 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<br>ความสามารถ<br>ทางฟิสิกส์                                                   | Within<br>subjects<br>effect | Mauchly's<br>W  | Approx.<br>Chi-<br>Square | df        | p        | Epsilon                |                 |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------|-----------|----------|------------------------|-----------------|-----------------|
|                                                                                     |                              |                 |                           |           |          | Greenhouse-<br>Geisser | Huynh-<br>Feldt | Lower-<br>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<br>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 การใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาเหมาะสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนในระดับต่ำมากกว่านักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนในระดับสูง 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 ศรีศรีรัมย์. (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>