วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2566

การพัฒนาเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นสำหรับตรวจให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

DEVELOPMENT OF THE DOUBLE LAYER SCORING RUBRIC FOR SCORING PHYSICS PROBLEM-SOLVING PERFORMANCE

กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ[1] และกมลวรรณ ตังธนกานนท์[2]
Kittitas Wancham[1] and Kamonwan Tangdhanakanond[2]

[1,2]ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[1,2]Department of Educational Research and Psychology, Faculty of Education, Chulalongkorn University
E-mail: tkamonwan@hotmail.com

Received: May 1, 2020
Revised: June 23, 2021
Accepted: July 1, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นสำหรับตรวจให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และ 2) ตรวจสอบความตรงของโมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ตัวอย่างวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และ 6 จำนวน 120 คน ได้มาจากการสุ่มแบบหลายขั้นตอน เครื่องมือวิจัย คือ แบบสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และเอกสารประกอบการฝึกอบรมผู้ตรวจให้คะแนน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Cohen's kappa และการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

ผลการวิจัยพบว่า 1) เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเป็นเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้น แบ่งออกเป็น 4 ประเด็นหลักตามกลยุทธ์การแก้โจทย์ปัญหา โดยเกณฑ์การให้คะแนนมีความสอดคล้องกับนิยามความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และมีความเที่ยงระหว่างผู้ประเมินอยู่ในระดับสูง (Cohen's kappa ตั้งแต่ 0.79 ถึง 1.00) และ 2) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของโมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ประกอบด้วย 4 ตัวบ่งชี้ ได้แก่ การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา การวางแผนแก้โจทย์ปัญหา การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา และการประเมินคำตอบ พบว่าโมเดลการวัดมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ($\chi^2(2) = 2.64$, $p = .27$, CFI = 1.00, TLI = 0.99, RMSEA = 0.05, SRMR = 0.01)

คำสำคัญ

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ กลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้น

ABSTRACT

This research aimed to 1) develop and validate the double layer scoring rubric for scoring physics problem-solving performance, and 2) validate the measurement model of physics problem-solving performance. Participants were 120 eleventh and twelfth graders which were randomized by using multistage random sampling method. Materials used in this study were a physics problem-solving test and a rater training manual. A Cohen's kappa and a confirmatory factor analysis were performed to analyze data.

The results can be summarized as follows: 1) The developed physics problem-solving performance scoring rubric in form of double layer scoring rubric comprised four dimensions according to physics problem-solving strategy. The scoring rubric was aligned with the definition of physics problem-solving performance and also had high inter-rater reliability (Cohen's kappa ranged from 0.79 to 1.00). And 2) the confirmatory factor analysis results of the measurement model of physics problem-solving performance consisting of four indicators (i.e., analyzing the problem, planning a solution, solving the problem, and evaluating a solution) showed that the measurement model fit the empirical data ($\chi^2(2) = 2.64$, $p = .27$, CFI = 1.00, TLI = 0.99, RMSEA = 0.05, SRMR = 0.01).

Keywords

Physics Problem-Solving Performance, Physics Problem-Solving Strategy, Double Layer Scoring Rubric

ความสำคัญของปัญหา

การจัดการศึกษาในปัจจุบันมุ่งให้ความสำคัญกับการพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ของผู้เรียน โดยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเป็นส่วนหนึ่งของทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ซึ่งช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จในการเรียน และการดำเนินชีวิต (Battelle for Kids, 2019) สำหรับในบริบทของวิชาฟิสิกส์นั้น พบว่า การแก้โจทย์ปัญหาเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการเรียนรู้ฟิสิกส์หรือกล่าวได้ว่าการแก้โจทย์ปัญหาเป็นเครื่องมือสำคัญที่นำไปสู่ความสำเร็จในการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ (Gok, 2011; Huffman, 1997) โดยทั่วไปแล้ว ผู้สอนมักจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์โดยใช้การแก้โจทย์ปัญหาเป็นกลไกในการสอนเนื้อหาฟิสิกส์ รวมทั้งใช้ในการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน (Docktor et al., 2016) ซึ่งให้ผลการประเมินที่มีความน่าเชื่อถือ (Zewdie, 2014)

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ (Physics problem-solving performance) หมายถึง ความสามารถทางการคิด (Thinking ability) รูปแบบหนึ่งที่บุคคลใช้ความรู้ และทักษะในการค้นหาคำตอบของปัญหาซึ่งเป็นเป้าหมายที่ต้องการโดยใช้วิธีการหรือกลยุทธ์ที่มีตรรกะและถูกต้อง (Docktor et al., 2016; Gok, 2011; Naqiyah, Rosana, Sukardiyono & Ernasari, 2020) ทั้งนี้ กลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหามีทั้งกลยุทธ์ทั่วไป (General problem-solving strategy) และกลยุทธ์

ที่เฉพาะเจาะจง (Specific problem-solving strategy) โดยกลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหาทั่วไปที่มีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ กลยุทธ์ของ Dewey ถูกเสนอในปี ค.ศ.1910 และกลยุทธ์ของ Polya ถูกเสนอในปี ค.ศ.1945 (Gok, 2011) อย่างไรก็ตาม กลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหามีความเฉพาะเจาะจงกับบริบท นักวิชาการได้เสนอกลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ไว้จำนวน 3 ขั้นตอน (Belikov, 1989; Gok, 2011; Ling, Sanny & Moebs, 2020) และ 5 ขั้นตอน (Docktor et al., 2016; Heller, Keith & Anderson, 1992) ทั้งนี้ จากการสังเคราะห์ พบว่า กลยุทธ์ดังกล่าวมีการดำเนินการที่คล้ายคลึงกันซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา (2) การวางแผนแก้โจทย์ปัญหา (3) การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา และ (4) การประเมินคำตอบ แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้

การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา เป็นขั้นทำความเข้าใจโจทย์ปัญหาเพื่อระบุมโนทัศน์หรือหลักการทางฟิสิกส์ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ในโจทย์ปัญหาสำหรับเป็นแนวทางในการวางแผนแก้โจทย์ปัญหา อีกทั้งวิเคราะห์ปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ และปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบ พร้อมทั้งกำหนดสัญลักษณ์ให้กับปริมาณเหล่านั้น ทั้งนี้ จะต้องแปลงข้อความในโจทย์ปัญหาให้เป็นรูปภาพเกี่ยวกับสถานการณ์ทางฟิสิกส์เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจโจทย์ปัญหา พร้อมทั้งกำหนดรายละเอียดที่สำคัญในการแก้โจทย์ปัญหา เช่น การกำหนดเครื่องหมายให้กับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ การกำหนดแกนพิกัดฉาก และเขียนแผนภาพวัตถุอิสระซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการแก้โจทย์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับแรง

การวางแผนแก้โจทย์ปัญหา เป็นขั้นที่ต้องเลือกสูตรหรือสมการที่สอดคล้องกับมโนทัศน์หรือหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวกับสถานการณ์ในโจทย์ปัญหาสำหรับใช้ในการหาปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบ หากในการแก้โจทย์ปัญหามีปริมาณที่ไม่ทราบค่าหลายปริมาณจะต้องแบ่งการแก้โจทย์ปัญหาเป็นขั้นตอนย่อยโดยเลือกใช้สมการที่เหมาะสมสำหรับหาค่าปริมาณที่ต้องการให้ครบทุกปริมาณเพื่อให้มีข้อมูลเพียงพอในการคำนวณหาปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบ

การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา เป็นขั้นหาปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบโดยใช้กฎทางคณิตศาสตร์ และการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ระบุไว้ในขั้นการวางแผนแก้โจทย์ปัญหา พร้อมทั้งแทนค่าปริมาณที่โจทย์กำหนดให้

การประเมินคำตอบ เป็นขั้นประเมินความสมเหตุสมผลของคำตอบที่ได้จากการแก้โจทย์ปัญหา รวมทั้งพิจารณาการแก้โจทย์ปัญหาในแต่ละขั้นตอน หากพบข้อผิดพลาดจึงย้อนกลับไปแก้ไขเพื่อให้สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างถูกต้อง และสมบูรณ์ โดยมีประเด็นที่ใช้ในการประเมินคำตอบ ได้แก่ (1) หน่วย หน่วยของคำตอบจะต้องเหมาะสม หรือใช้หน่วย SI นอกจากนี้ ควรพิจารณาความเหมาะสมของหน่วยของปริมาณต่าง ๆ ที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา เพื่อให้สามารถแทนค่าเพื่อหาคำตอบได้อย่างถูกต้อง และ (2) ความหมายทางฟิสิกส์ และความเป็นไปได้ของคำตอบ กล่าวคือ ทั้งขนาด เครื่องหมาย และทิศทางของคำตอบจะต้องอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ และอยู่ในรูปอย่างง่าย หากโจทย์ปัญหาอยู่ในรูปสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์ คำตอบจะต้องอยู่ในรูปของปริมาณที่โจทย์กำหนดให้

การผลิตผู้เรียนให้เป็นผู้ที่สามารถแก้โจทย์ปัญหาที่มีประสิทธิผล และเข้าใจมโนทัศน์ฟิสิกส์เป็นเป้าหมายที่ยากต่อการบรรลุ โดยงานวิจัยจำนวนมาก พบว่า หลังจากการจัดการเรียนรู้ ผู้เรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์อยู่ในระดับต่ำซึ่งยังคงใช้วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอย่างผู้ไม่มี

ความเชี่ยวชาญในการแก้โจทย์ปัญหา จึงต้องมีการออกแบบการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนแก้โจทย์ปัญหาอย่างผู้เชี่ยวชาญในการแก้โจทย์ปัญหา (Huffman, 1997) ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อรวบรวมสารสนเทศที่บ่งบอกจุดเด่น และจุดด้อยของผู้เรียนสำหรับนำไปออกแบบการเรียนรู้ให้ตรงกับความต้องการของผู้เรียนแต่ละบุคคล หรือเหมาะสมกับผู้เรียนแต่ละห้องเรียน

วิธีการประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์สามารถแบ่งเป็น 2 วิธีหลัก ได้แก่ (1) การทดสอบ โดยสามารถใช้ได้ทั้งแบบสอบเลือกตอบ และแบบสอบสร้างคำตอบ ซึ่งอาจตรวจให้คะแนนโดยใช้การคำนวณร้อยละของคำตอบที่ถูกต้อง เวลาที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา แบบมาตรประมาณค่า และเกณฑ์การให้คะแนนรูบริก (scoring rubric) และ (2) การคิดออกเสียง (think-aloud interview) โดยให้ผู้เรียนอธิบายกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาขณะทำแบบสอบ (Docktor et al., 2016; Zewdie, 2014) ทั้งนี้ การประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยพิจารณาจากร้อยละของคำตอบที่ถูกต้อง และเวลาที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาเป็นวิธีการทางอ้อมซึ่งไม่สะท้อนถึงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของผู้เรียนอย่างแท้จริง นอกจากนี้ วิธีการคิดออกเสียงมีความยากลำบากในการนำไปประยุกต์ใช้เนื่องจากใช้เวลาในการดำเนินการมาก และมีความซับซ้อนในการวิเคราะห์ข้อมูล เพราะมีข้อมูลเชิงคุณภาพจำนวนมาก ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้กับการทดสอบขนาดใหญ่ได้ (Docktor et al., 2016) ทั้งนี้ วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และง่ายต่อการนำไปใช้ คือ การทดสอบซึ่งใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบริก เนื่องจากมีคำอธิบายสิ่งที่ต้องการประเมินแต่ละระดับอย่างละเอียด ทำให้มีความเที่ยงในการให้คะแนน อีกทั้งยังสามารถให้สารสนเทศที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนในการปรับปรุงและพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของตนเอง (Burkholder et al., 2020) โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกในการตรวจการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของผู้เรียนจากการทำแบบสอบสร้างคำตอบ

นักวิชาการที่พัฒนาเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกสำหรับใช้ในการประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เช่น Huffman (1997) Selçuk & Çalýskan (2008) Docktor et al. (2016) และ Burkholder et al. (2020) โดยเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกที่พัฒนาโดย Docktor et al. (2016) มีผู้นำไปประยุกต์ใช้มากที่สุด ซึ่งเป็นเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบแยกองค์ประกอบ (analytic scoring rubric) อย่างไรก็ตาม เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกดังกล่าวยังขาดสารสนเทศที่ละเอียดในการปรับปรุงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของผู้เรียน เนื่องจากประเมินกลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหาแต่ละขั้นตอนโดยภาพรวม ทำให้ไม่ทราบว่าในแต่ละขั้นตอน ผู้เรียนมีข้อบกพร่องในประเด็นใดบ้าง โดยสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้น (double layer scoring rubric) ซึ่งประกอบด้วยการให้คะแนน 2 ระดับชั้น คือ ระดับชั้นที่ 1 เป็นเกณฑ์การให้คะแนนที่อธิบายสิ่งที่มุ่งประเมินในข้อรายการย่อย ๆ ลดหลั่นตามระดับความสามารถ หรือกล่าวได้ว่าเป็นการระบุประเด็นที่ต้องการประเมินของแต่ละมิติเพื่อให้มีความละเอียดในการประเมิน ส่วนระดับชั้นที่ 2 เป็นการแปลงคะแนนรวมที่ได้จากระดับชั้นที่ 1 ให้เป็นไปตามสเกลที่กำหนด หรือกล่าวได้ว่าเป็นการหาคะแนนของแต่ละมิติ โดยเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นช่วยให้การตรวจให้คะแนนมีความเป็นปรนัยมากขึ้นกว่าเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกประเภทอื่น (Tangdhanakanond, 2020) อีกทั้งยังสามารถประเมินความสามารถในการแก้โจทย์

ปัญหาฟิสิกส์ ได้อย่างละเอียดในแต่ละขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา ทำให้ได้สารเทศที่ละเอียดสำหรับนำไปวางแผน การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เมื่อผู้เรียนมีความสามารถ ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์จะทำให้เรียนฟิสิกส์ได้อย่างมีประสิทธิผล และสามารถนำความรู้ไปปรับใช้ในการสถานการณ์ใหม่ได้ (Hegde & Meera, 2012)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้น พบว่า นักวิจัยประยุกต์ใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นในการประเมินภาคปฏิบัติ เช่น Hamzah, Idris, Abdullah, Abdullah & Muhammad (2015) พัฒนาเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นสำหรับประเมินการนำการประเมินโดยใช้โรงเรียนเป็นฐานไปประยุกต์ใช้ของครูทั้งระดับประถมศึกษาและระดับมัธยมศึกษา โดยเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกที่พัฒนาขึ้นมีความเที่ยงอยู่ในระดับสูงซึ่งมี ความเที่ยงวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคของแต่ละองค์ประกอบตั้งแต่ 0.86 ถึง 0.89 นอกจากนี้ Sirichoti & Tangdhanakanond (2016) พัฒนาเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นสำหรับประเมินทักษะปฏิบัติการทดลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยนักเรียนมีพัฒนาการทักษะปฏิบัติการทดลองหลังจากการใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกในการประเมินตนเอง

ผู้วิจัยจึงมุ่งพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นสำหรับตรวจให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ได้แก่ ความสอดคล้องระหว่างเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกกับนิยามความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และความเที่ยงระหว่างผู้ประเมิน รวมทั้งตรวจสอบความตรงของโมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ได้จากการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสะท้อนถึงความตรงเชิงโครงสร้างของเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกเพื่อนำไปประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของผู้เรียน และให้สารสนเทศที่มีความละเอียดแก่ผู้สอนสำหรับออกแบบการจัดการเรียนรู้

โจทย์วิจัย/ปัญหาวิจัย

1. เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นสำหรับตรวจให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์มีลักษณะ และคุณภาพอย่างไร

2. โมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ อย่างไร

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นสำหรับตรวจให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

2. เพื่อตรวจสอบความตรงของโมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและตัวอย่างวิจัย

ประชากรวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนมัธยมศึกษาสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 และเขต 2 จำนวน 107,911 คน

ตัวอย่างวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และ 6 ในโรงเรียนมัธยมศึกษาสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 และเขต 2 จำนวน 120 คน ตัวอย่างวิจัยได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multistage Random Sampling) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) การกำหนดขนาดตัวอย่างวิจัย โดยกำหนดขนาดตัวอย่างวิจัยสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันโดยใช้โปรแกรมการคำนวณของ Soper (2020) ผลการคำนวณพบว่า ควรใช้ตัวอย่างวิจัยอย่างน้อย 100 คน และเพื่อชดเชยอัตราการตอบกลับ รวมทั้งความสมบูรณ์ของผลการตอบแบบสอบ ผู้วิจัยจึงกำหนดตัวอย่างวิจัย จำนวน 120 คน

2) การสุ่มขั้นตอนที่ 1 ใช้โรงเรียนเป็นหน่วยในการสุ่มโดยใช้การสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) จำนวน 2 โรงเรียน

3) การสุ่มขั้นตอนที่ 2 ใช้นักเรียนเป็นหน่วยในการสุ่มโดยใช้การสุ่มอย่างง่าย นั่นคือ สุ่มนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และ 6 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ในแต่ละโรงเรียนมาระดับละ 30 คน รวมทั้งสิ้น 120 คน เหตุที่ศึกษากับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และ 6 คือ นักเรียนผ่านการเรียนรู้เนื้อหาฟิสิกส์เกี่ยวกับกลศาสตร์มาอย่างครบถ้วน โดยนำผลการตอบแบบสอบมาตรวจสอบคุณภาพของเกณฑ์การให้คะแนนรูบริก ดังนั้น ระดับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่แตกต่างกันระหว่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และ 6 จึงไม่มีผลต่อการวิจัย

2. เครื่องมือวิจัย

2.1 แบบสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เป็นแบบสอบสร้างคำตอบ (constructed-response test) จำนวน 5 ข้อ โดยให้นักเรียนแสดงวิธีการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับกลศาสตร์ซึ่งครอบคลุมเนื้อหาเรื่อง (1) การเคลื่อนที่แนวตรง (2) แรงและกฎการเคลื่อนที่ (3) งานและพลังงาน และ (4) โมเมนตัมและการชน แบบสอบมีดัชนีความตรงตามเนื้อหา (content validity index: CVI) เท่ากับ 0.96 โดยมีผู้เชี่ยวชาญที่ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา จำนวน 5 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา จำนวน 2 ท่าน นอกจากนี้ แบบสอบมีค่าความยาก (p) ตั้งแต่ 0.23 ถึง 0.53 มีค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.42 ถึง 0.60 และมีความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายในวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เท่ากับ 0.98

2.2 เอกสารประกอบการฝึกอบรมผู้ตรวจให้คะแนน ใช้สำหรับการฝึกอบรมครูฟิสิกส์ก่อนการตรวจให้คะแนนผลการตอบแบบสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เนื้อหาในเอกสารประกอบด้วยจุดมุ่งหมายของการวัดและประเมิน รายละเอียดเกี่ยวกับแบบสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เฉลยคำตอบ เกณฑ์การให้คะแนน ตัวอย่างการตรวจให้คะแนนกระดาษคำตอบของนักเรียนสำหรับฝึกตรวจให้คะแนน และตารางบันทึกคะแนน เอกสารประกอบการฝึกอบรมผู้ตรวจให้คะแนนผ่านการตรวจสอบ และแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 3 ท่าน

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การจัดสอบกับตัวอย่างวิจัย และการอบรมครูฟิสิกส์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การจัดสอบกับตัวอย่างวิจัย ผู้วิจัยให้ตัวอย่างวิจัย จำนวน 120 คน นั่งตามแผนผังที่นั่งที่กำหนด พร้อมทั้งชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการสอบ จากนั้นให้ตัวอย่างวิจัยทำแบบสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ จำนวน 5 ข้อ โดยใช้เวลาประมาณ 50 นาที การสอบจัดขึ้นในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563

2. การอบรมครูฟิสิกส์ ผู้วิจัยอบรมครูฟิสิกส์เกี่ยวกับการตรวจให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และสอบวัดคุณสมบัติโดยใช้เอกสารประกอบการฝึกอบรม ผู้ตรวจให้คะแนนก่อนการตรวจให้คะแนนจริง จากผลการสอบวัดคุณสมบัติ พบว่าครูฟิสิกส์ตรวจให้คะแนนสอดคล้องกับผู้วิจัยคนที่ 1 ร้อยละ 87.78 ถือได้ว่าครูฟิสิกส์มีมาตรฐานเพียงพอที่จะตรวจข้อสอบจริง เนื่องจากผลการตรวจให้คะแนนมีความสอดคล้องมากกว่าร้อยละ 70 (Johnson, Penny & Gordon, 2009) ทั้งนี้ ผู้วิจัยคนที่ 1 และครูฟิสิกส์ร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับประเด็นที่ให้คะแนนไม่ตรงกันเพื่อให้ครูฟิสิกส์เข้าใจเกณฑ์การให้คะแนนอย่างถ่องแท้

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ตรวจสอบคุณภาพของเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

4.1.1 วิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างเกณฑ์การให้คะแนนกับนิยามความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ จำนวน 3 ท่าน พิจารณาความสอดคล้องระหว่างเกณฑ์การให้คะแนนกับนิยาม โดยผู้เชี่ยวชาญจะต้องสำเร็จการศึกษาจากคณะครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์ วิชาเอกฟิสิกส์ และมีประสบการณ์สอนไม่น้อยกว่า 5 ปี และวิเคราะห์ความสอดคล้องของความคิดเห็นโดยใช้ Cohen’s kappa ซึ่งมีเกณฑ์ในการแปลความหมายดังนี้ (Landis & Koch, 1977)

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

4.1.2 วิเคราะห์ความเที่ยงระหว่างผู้ประเมิน (inter-rater reliability) โดยใช้ร้อยละความสอดคล้อง และ Cohen’s kappa ในการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างคะแนนที่ตรวจโดยผู้วิจัยคนที่ 1 และครูฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 1 คน ทั้งนี้ ผู้วิจัยนำผลการตรวจให้คะแนนมาหาข้อยุติในการให้คะแนนโดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยผลการประเมินจากผู้ประเมิน (rater mean) เนื่องจากคะแนนจากผู้ตรวจทั้ง 2 คน มีคะแนนต่างกันแบบคะแนนติดกัน (adjacent scores; Johnson, Penny & Gordon, 2009) เพื่อนำคะแนนไปวิเคราะห์ความตรงของโมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

4.2 วิเคราะห์ความตรงของโมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (confirmatory factor analysis: CFA) โดยโปรแกรม Mplus และพิจารณาความสอดคล้องระหว่างโมเดลการวัดกับข้อมูลเชิงประจักษ์จากดัชนีความสอดคล้องของโมเดล ซึ่งมีเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้ (Kline, 2016; Weston & Gore, 2006)

4.2.1 ค่าไค-สแควร์ ควรไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
4.2.2 CFI ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.95
4.2.3 RMSEA ควรมีค่าไม่เกิน 0.06
4.2.4 SRMR ควรมีค่าไม่เกิน 0.08

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิจัยออกเป็น 2 ประเด็น ตามวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

1. ผลการพัฒนา และตรวจสอบคุณภาพเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

1.1 ผลการพัฒนาเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์มีลักษณะเป็นเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้น แบ่งออกเป็น 4 ประเด็นหลัก ตามกลยุทธ์การแก้โจทย์ปัญหา ได้แก่ (1) การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา (2) การวางแผนแก้โจทย์ปัญหา (3) การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา และ (4) การประเมินคำตอบ แต่ละประเด็นหลักมีประเด็นย่อย และรายละเอียดในการให้คะแนนดังตารางที่ 1 ซึ่งเป็นเกณฑ์การให้คะแนนระดับชั้นที่ 1 โดยแต่ละประเด็นย่อยมีการให้คะแนน 3 ระดับ คือ 0, 1 และ 2 คะแนน นอกจากนี้ยังมีการให้คะแนนในกลุ่มไม่เกี่ยวข้อง (not applicable; NA) ซึ่งใช้ในกรณีที่โจทย์ปัญหาข้อนั้นไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการในประเด็นย่อยนั้นในการดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา โดยจะไม่นำประเด็นย่อยนั้นมาคิดคะแนน นอกจากนี้ คะแนนรวมของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์แต่ละด้านแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นเกณฑ์การให้คะแนนระดับชั้นที่ 2

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ระดับชั้นที่ 1

ประเด็น	ประเด็นย่อย	ระดับคะแนน			
		0	1	2	NA
1. การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา	1.1 การระบุปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ และปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบในรูปสัญลักษณ์	ไม่ระบุปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ และปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบในรูปสัญลักษณ์ **หรือ** ระบุไม่ถูกต้องเลย	ระบุปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ และปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบในรูปสัญลักษณ์ได้ถูกต้อง แต่ไม่ครบถ้วน **หรือ** ระบุได้ครบถ้วน แต่ถูกต้องบางส่วน	ระบุปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ และปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบในรูปสัญลักษณ์ได้ถูกต้องทั้งหมด และครบถ้วน	
1. การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา	1.2 การวาดภาพสถานการณ์ในโจทย์ปัญหา	ไม่วาดภาพสถานการณ์ในโจทย์ปัญหา	วาดภาพสถานการณ์ในโจทย์ปัญหา และกำหนดรายละเอียดที่สำคัญได้ถูกต้องบางส่วน หรือกำหนดไม่ถูกต้องเลย **หรือ** วาดเฉพาะภาพสถานการณ์ในโจทย์ปัญหาแต่ไม่ได้กำหนดรายละเอียดที่สำคัญในภาพ	วาดภาพสถานการณ์ในโจทย์ปัญหา และกำหนดรายละเอียดที่สำคัญได้อย่างถูกต้องทั้งหมดและครบถ้วน	

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ประเด็น	ประเด็นย่อย	ระดับคะแนน			
		0	1	2	NA
1. การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา	1.3 การเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ	ไม่เขียนแผนภาพวัตถุอิสระ **หรือ** เขียนแผนภาพวัตถุอิสระไม่ถูกต้องเลย	เขียนแผนภาพวัตถุอิสระได้ครบถ้วน แต่ถูกต้องบางส่วน **หรือ** เขียนแผนภาพวัตถุอิสระไม่ครบถ้วน แต่มีความถูกต้องทั้งหมดหรือบางส่วน	เขียนแผนภาพวัตถุอิสระได้ครบถ้วนและถูกต้องทั้งหมด	
	คะแนนรวม เท่ากับ ☐ คะแนน **คิดเป็นร้อยละ** ☐				
2. การวางแผนแก้โจทย์ปัญหา	2.1 การระบุสมการที่ใช้ในการคำนวณ	ไม่ระบุสมการที่ใช้ในการคำนวณ **หรือ** ระบุไม่ถูกต้องเลย	ระบุสมการที่ใช้ในการคำนวณได้ครบถ้วน แต่ถูกต้องบางส่วน **หรือ** ระบุได้ถูกต้อง หรือถูกต้องบางส่วนแต่ไม่ครบถ้วน	ระบุสมการที่ใช้ในการคำนวณได้ครบถ้วน และถูกต้องทุกสมการ	
	2.2 การแบ่งการแก้โจทย์ปัญหาออกเป็นขั้นตอนย่อย	ไม่แสดงการแก้โจทย์ปัญหา	แบ่งการแก้โจทย์ปัญหาออกเป็นขั้นตอนย่อยเพื่อคำนวณหาปริมาณที่ใช้ในการหาปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบไม่ครบถ้วน	แบ่งการแก้โจทย์ปัญหาออกเป็นขั้นตอนย่อยเพื่อคำนวณหาปริมาณที่ใช้ในการหาปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบได้อย่างครบถ้วน	
	คะแนนรวม เท่ากับ ☐ คะแนน **คิดเป็นร้อยละ** ☐				
3. การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา	3.1 การแทนค่าปริมาณที่โจทย์กำหนดให้	ไม่แทนค่าปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ในสมการ **หรือ** แทนค่าปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ไม่ถูกต้องเลย	แทนค่าปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ในสมการได้ถูกต้องบางส่วน และครบตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา **หรือ** แทนค่าถูกต้องทุกปริมาณ แต่ไม่ครบตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา **หรือ** แทนค่าถูกต้องบางส่วนและไม่ครบตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา	แทนค่าปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ในสมการได้ถูกต้องทุกปริมาณ และครบตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา	

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ประเด็น	ประเด็นย่อย	ระดับคะแนน			
		0	1	2	NA
3. การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา	3.2 การดำเนินการทางคณิตศาสตร์	ไม่มีการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณเพื่อหาคำตอบ **หรือ** ใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ไม่ถูกต้องเลย	ใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องทั้งหมด แต่ไม่ครบตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา **หรือ** ใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องบางส่วน แต่ครบตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา **หรือ** ใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องบางส่วนและไม่ครบตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา	ใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องทั้งหมด และครบตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา	
	คะแนนรวม เท่ากับ ☐ คะแนน **คิดเป็นร้อยละ** ☐				
4. การประเมินคำตอบ	4.1 การพิจารณาหน่วย	ไม่ระบุหน่วยของปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ ปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบ และปริมาณที่เกี่ยวข้อง **หรือ** ระบุหน่วยไม่เหมาะสมทุกปริมาณ	ระบุหน่วยของปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ ปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบ และปริมาณที่เกี่ยวข้องได้เหมาะสมบางปริมาณ หรือใช้หน่วย SI บางปริมาณ	ระบุหน่วยของปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ ปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบ และปริมาณที่เกี่ยวข้องได้เหมาะสมทุกปริมาณ หรือใช้หน่วย SI ทุกปริมาณ	
	4.2 การพิจารณาคำตอบ	คำตอบไม่ถูกต้องและไม่อยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ **หรือ** ไม่ระบุคำตอบ	คำตอบไม่ถูกต้อง แต่อยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ **หรือ** คำตอบถูกต้อง แต่มีบางปริมาณที่โจทย์ไม่ได้กำหนดให้ สำหรับโจทย์ปัญหาที่อยู่ในรูปสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์	คำตอบมีความถูกต้อง (ขนาด เครื่องหมาย และทิศทาง) หากโจทย์ปัญหาอยู่ในรูปสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์ คำตอบจะต้องอยู่ในรูปของปริมาณที่โจทย์กำหนดให้	
	คะแนนรวม เท่ากับ ☐ คะแนน **คิดเป็นร้อยละ** ☐				

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ระดับชั้นที่ 2

ระดับคะแนนก่อนการแปลง	ระดับคะแนนหลังการแปลง
ร้อยละ 0.00 - 49.99	1 หมายถึง มีความสามารถอยู่ในระดับต่ำ
ร้อยละ 50.00 - 74.99	2 หมายถึง มีความสามารถอยู่ในระดับปานกลาง
ร้อยละ 75.00 - 100.00	3 หมายถึง มีความสามารถอยู่ในระดับสูง

1.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

1) ผลวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างเกณฑ์การให้คะแนนกับนิยามความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ทุกท่านมีความเห็นว่าเกณฑ์การให้คะแนนสอดคล้องกับนิยามความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ทุกประเด็นย่อย นั่นคือ Cohen’s kappa มีค่าเท่ากับ 1.00 ทุกประเด็นย่อย

2) ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงระหว่างผู้ประเมิน (inter-rater reliability)

จากการวิเคราะห์ความเที่ยงระหว่างผู้ประเมินของข้อสอบทั้ง 5 ข้อ จำแนกตามประเด็นย่อยในเกณฑ์การให้คะแนน จำนวน 9 ประเด็นย่อย พบว่า ผู้วิจัยคนที่ 1 และครูฟิสิกส์ให้คะแนนส่วนใหญ่สอดคล้องกันสูงมาก โดยมีค่า Cohen’s kappa ตั้งแต่ 0.79 ถึง 1.00 และมีร้อยละความสอดคล้อง ตั้งแต่ 88.18 ถึง 100 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงระหว่างผู้ประเมิน

ข้อสอบ	ประเด็นที่ 1			ประเด็นที่ 2		ประเด็นที่ 3		ประเด็นที่ 4	
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
1	0.81 91.82%	0.96 97.27%	1.00 100.00%	0.88 91.82%	0.87 92.73%	0.96 97.27%	0.88 91.82%	0.81 97.27%	0.98 99.09%
2	0.89 92.73%	0.85 90.91%	1.00 100.00%	0.90 93.64%	0.85 92.73%	0.79 88.18%	0.87 91.82%	0.85 99.09%	0.93 95.45%
3	0.90 95.45%	0.88 92.73%	0.84 91.82%	0.88 93.64%	0.89 92.73%	0.90 93.64%	0.82 89.09%	0.83 95.45%	0.86 90.91%
4	0.96 99.09%	0.83 90.91%	0.81 96.36%	0.98 99.09%	0.94 97.27%	0.96 98.18%	0.94 97.27%	0.93 96.36%	0.89 94.55%
5	0.93 97.27%	0.91 96.36%	0.88 99.09%	0.89 94.55%	0.90 95.45%	0.89 94.55%	0.92 96.36%	0.81 90.91%	0.88 94.55%

หมายเหตุ ตัวเลขบรรทัดบน คือ ค่า Cohen’s kappa ส่วนบรรทัดล่าง คือ ร้อยละความสอดคล้อง

2. ผลการวิเคราะห์ความตรงของโมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

ก่อนการวิเคราะห์ความตรงของโมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ผู้วิจัยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวบ่งชี้ของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ จำนวน 4 ตัว โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน พบว่า ตัวบ่งชี้มี

ความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกค่า ซึ่งมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ตั้งแต่ 0.30 ถึง 0.88 โดยตัวบ่งชี้คู่ที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด คือ การวางแผนแก้โจทย์ปัญหา และการดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา (r = 0.88) ส่วนตัวบ่งชี้คู่ที่มีความสัมพันธ์กันน้อยที่สุด คือ การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา และการดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา (r = 0.30)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของโมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ พบว่าโมเดลการวัดมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ($\chi^2(2) = 2.64$, $p = .27$, CFI = 1.00, TLI = 0.99, RMSEA = 0.05, SRMR = 0.01) โดยไม่มีการปรับโมเดล ซึ่งมีดัชนีความสอดคล้องของโมเดลดังตารางที่ 4

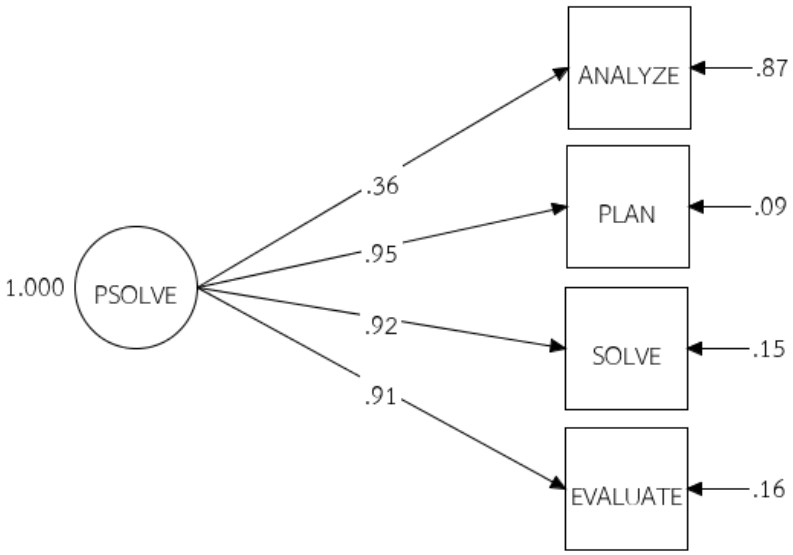
เมื่อพิจารณาน้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนมาตรฐานของตัวบ่งชี้ พบว่า น้ำหนักองค์ประกอบมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกค่า แสดงว่า ตัวบ่งชี้ทั้ง 4 ตัว เป็นตัวบ่งชี้ของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งน้ำหนักองค์ประกอบมีค่าเป็นบวก ตั้งแต่ 0.36 ถึง 0.95 โดยการวางแผนแก้โจทย์ปัญหา (PLAN; β = 0.95) มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด รองลงมา คือ การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา (SOLVE; β = 0.92) การประเมินคำตอบ (EVALUATE; β = 0.91) และการวิเคราะห์โจทย์ปัญหา (ANALYZE; β = 0.36) ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 1

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของโมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

ตัวบ่งชี้	น้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนดิบ		น้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนมาตรฐาน		R^2	สัมประสิทธิ์คะแนนองค์ประกอบ
	b (*SE*)	t	β (*SE*)	t		
ANALYZE	1.00	-	0.36 (0.09)	4.23	0.13	0.01
PLAN	6.64 (1.69)	3.94	0.95 (0.02)	62.33	0.91	0.07
SOLVE	5.18 (1.33)	3.89	0.92 (0.02)	49.19	0.85	0.05
EVALUATE	3.65 (0.94)	3.89	0.91 (0.02)	47.14	0.84	0.07
$\chi^2(2) = 2.64$, $p = .27$ CFI = 1.00 TLI = 0.99 RMSEA = 0.05 SRMR = 0.01						

หมายเหตุ น้ำหนักองค์ประกอบมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกค่า

Journal of Graduate Studies Valaya Alongkorn Rajabhat University
Vol. 17 No. 1 (January – April 2023)



ภาพที่ 1 โมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

อภิปรายผล

ผู้วิจัยอภิปรายผลการวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกที่พัฒนาขึ้นมีความเที่ยงระหว่างผู้ประเมินอยู่ในระดับสูง แสดงว่าเกณฑ์การให้คะแนนมีความเป็นปรนัย และผู้ตรวจมีการตีความตรงกัน เนื่องจากมีการอบรมผู้ตรวจก่อนการตรวจให้คะแนน จึงทำให้ผู้ตรวจเข้าใจเกณฑ์การให้คะแนนเป็นอย่างดี และมีมาตรฐานในการตรวจให้คะแนน (Johnson, Penny & Gordon, 2009) อีกทั้งเกณฑ์การให้คะแนนมีลักษณะเป็นรูบริกแบบสองชั้นซึ่งมีการแบ่งมิติในการตรวจให้คะแนน และมีคำอธิบายคุณภาพแต่ละระดับที่ละเอียด จึงทำให้การให้คะแนนมีความเป็นปรนัย (Tangdhanakanond, 2020) อย่างไรก็ตาม เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นใช้เวลาในการตรวจให้คะแนนมากกว่าเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกประเภทอื่น แต่ผลการตรวจให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบสองชั้นให้สารสนเทศที่มีความละเอียด ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของผู้เรียน ทั้งนี้ การนำเกณฑ์การให้คะแนนไปใช้ในการตรวจให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ในสถานการณ์การทดสอบที่ต่างกัน เช่น จำนวนข้อสอบ และจำนวนผู้ตรวจต่างกัน รวมทั้งการเลือกใช้การตัดสินใจที่ต่างกัน ได้แก่ การตัดสินใจเชิงสัมบูรณ์ และการตัดสินใจเชิงสัมพัทธ์ จะทำให้คะแนนมีความเที่ยงต่างกัน ผู้วิจัยจึงต้องศึกษา และควบคุมแหล่งความคลาดเคลื่อน เพื่อนำไปออกแบบการวัดให้มีความเที่ยงถึงระดับที่ต้องการ ทำให้ผลการวัดมีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำผลการตรวจให้คะแนนไปใช้เป็นสารสนเทศในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Kanjanawasee, 2012) นอกจากนี้ ควรรวบรวมหลักฐานความตรงเพิ่มเติมของเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกเกี่ยวกับความสอดคล้องระหว่างการตรวจให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกกับวิธีการคิดออกเสียง เนื่องจากเป็นวิธีการที่เข้าใจกระบวนการคิดของผู้เรียนอย่างลึกซึ้ง ขณะดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

กลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ได้จากการสังเคราะห์มีความสอดคล้องกับกลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหาทั่วไปของ Polya ซึ่งแบ่งการแก้โจทย์ปัญหาออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การทำความเข้าใจปัญหา (2) การวางแผน (3) การดำเนินการตามแผน และ (4) การตรวจสอบการแก้ปัญหา (Gok, 2011) ทั้งนี้ กลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์มีรายละเอียดในแต่ละขั้นที่เฉพาะเจาะจงกับการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ นอกจากนี้ กลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ยังเป็นตัวบ่งชี้ของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น ครูผู้สอนควรส่งเสริมให้ผู้เรียนแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยดำเนินการ 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา (2) การวางแผนแก้โจทย์ปัญหา (3) การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา และ (4) การประเมินคำตอบ เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของผู้เรียน และใช้เป็นแนวทางในการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนเพื่อให้ข้อมูลย้อนกลับที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงการเรียนรู้ของผู้เรียน เมื่อผู้เรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์จะทำให้เรียนฟิสิกส์ได้อย่างมีประสิทธิผล (Hegde & Meera, 2012) และประสบความสำเร็จในการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ (Gok, 2011)

เมื่อพิจารณาน้ำหนักองค์ประกอบซึ่งสะท้อนถึงความสำคัญของตัวบ่งชี้ของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ พบว่าการวิเคราะห์โจทย์ปัญหามีน้ำหนักองค์ประกอบน้อยที่สุด ส่วนการวางแผนแก้โจทย์ปัญหา การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา และการประเมินคำตอบมีน้ำหนักองค์ประกอบสูงใกล้เคียงกัน โดยการวิเคราะห์โจทย์ปัญหามีน้ำหนักองค์ประกอบน้อยกว่าตัวบ่งชี้ทั้ง 3 ตัวมาก อาจเนื่องมาจากผู้เรียนบางคนไม่จำเป็นต้องเขียนรายเอียดเกี่ยวกับสัญลักษณ์ของปริมาณที่โจทย์กำหนดให้ และปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบ รวมทั้งการวาดภาพสถานการณ์ในโจทย์ปัญหา นั่นคือผู้เรียนสามารถวิเคราะห์รายละเอียดต่าง ๆ ได้ภายในใจ โดยไม่จำเป็นต้องเขียนในกระดาษคำตอบ จึงทำให้การวิเคราะห์โจทย์ปัญหามีความสำคัญน้อยกว่าตัวบ่งชี้อื่น ๆ (Burkholder et al., 2020) นอกจากนี้ยังพบว่า การวางแผนแก้โจทย์ปัญหามีน้ำหนักองค์ประกอบสูงกว่าการดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา และการประเมินคำตอบ เล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการวางแผนแก้โจทย์ปัญหาเกี่ยวข้องกับการเลือกสูตรที่สอดคล้องกับมโนทัศน์ หรือหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวกับสถานการณ์ในโจทย์ปัญหา โดยความรู้เชิงมโนทัศน์เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ (Docktor et al., 2016)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

1. จากผลการวิจัยที่พบว่า เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับนิยามความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และมีความเที่ยงระหว่างผู้ประเมินอยู่ในระดับสูง ดังนั้น ครูฟิสิกส์สามารถนำเกณฑ์การให้คะแนนไปใช้ในการประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของผู้เรียน หรือใช้ในการประเมินประสิทธิผลของสิ่งทดลองที่ใช้ในการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญญาฟิสิกส์ นอกจากนี้ เกณฑ์การให้คะแนนยังให้ข้อมูลย้อนกลับแก่ผู้เรียนในการพัฒนาตนเอง หรือให้สารสนเทศแก่ครูในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ ทั้งนี้ ก่อนการตรวจให้คะแนนควรมีการอบรมผู้ตรวจเพื่อให้เข้าใจเกณฑ์การให้คะแนนตรงกันและมีมาตรฐานในการตรวจให้คะแนน

2. จากผลการวิจัยที่พบว่า โมเดลการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ดังนั้น ครูฟิสิกส์ควรส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของผู้เรียนโดยยึดกลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหา จำนวน 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา (2) การวางแผนแก้โจทย์ปัญหา (3) การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา และ (4) การประเมินคำตอบ

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรตรวจสอบคุณภาพของเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เกี่ยวกับความสอดคล้องระหว่างการตรวจให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกกับวิธีการคิดออกเสียง

2. ควรศึกษาสถานการณ์การทดสอบที่ทำให้ความเที่ยงมีค่าสูงตามที่ต้องการตามประเภทการตัดสินใจ เช่น จำนวนข้อสอบ จำนวนผู้ตรวจ โดยใช้ทฤษฎีการสรุปอ้างอิงความน่าเชื่อถือของผลการวัด (generalizability theory) เนื่องจากความเที่ยงมีค่าเปลี่ยนไปตามสถานการณ์การทดสอบ นั่นคือเมื่อทราบแหล่งความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ จึงสามารถออกแบบการวัดเพื่อให้มีความเที่ยงถึงระดับที่ต้องการ ทำให้ผลการวัดมีความน่าเชื่อถือ

References

Battelle for Kids. (2019). **Framework for 21st century learning definitions**. Retrieved from https://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21_Framework_DefinitionsBFK.pdf

Belikov, B. S. (1989). **General methods for solving physics problems**. Moscow: Mir Publishers.

Burkholder, E. W., et al. (2020). Template for teaching and assessment of problem solving in introductory physics. **Physical Review Physics Education Research**. 16(1), 010123.

Docktor, J. L., et al. (2016). Assessing student written problem solutions: A problem-solving rubric with application to introductory physics. **Physical Review Physics Education Research**. 12(1), 010130.

Gok, T. (2011). Development of problem solving strategy steps scale: study of validation and reliability**. The Asia-Pacific Education Researcher**. 20(1), 151-161.

Hamzah, M. S. G. B., Idris, N., Abdullah, S. K., Abdullah, N., & Muhammad, M. M. (2015). Development of the double layer rubric for the study on the implementation of school-based assessment among teachers. **US-China Education Review**. 5(4), 245-256.

Hegde, B. & Meera, B. N. (2012). How do they solve it? An insight into the learner's approach to the mechanism of physics problem solving. **Physical Review Special Topics-Physics Education Research**. 8(1), 010109.

Heller, P., Keith, R. & Anderson, S. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. **American Journal of Physics**. 60(7), 627-636.

Huffman, D. (1997). Effect of explicit problem solving instruction on high school students' problem-solving performance and conceptual understanding of physics. **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**. 34(6), 551-570.

Johnson, R. L., Penny, J. A. & Gordon, B. (2009). **Assessing performance: design, scoring, and validating performance tasks**. New York: The Guilford Press.

Kanjanawasee, S. (2012). **thritsadī kānthotsop̣ nǣo mai** [Modern test theories]. 4th ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Kline, R. B. (2016). **Principles and practice of structural equation modeling**. 4th ed. New York: Guilford publications, Inc.

Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. 33(1), 159-174.

Ling, S., Sanny, J. & Moebs, B. (2020). **Solving problems in physics**. Retrieved from https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_University_Physics_(OpenStax)

Naqiyah, M., Rosana, D., Sukardiyono & Ernasari. (2020). Developing instruments to measure physics problem solving ability and nationalism of high school student. **International Journal of Instruction**. 13(4), 921-936.

Selçuk, G. S. & Çalýskan, S. (2008). The effects of problem solving instruction on physics achievement, problem solving performance and strategy use. **Latin-American Journal of Physics Education**. 2(3), 151-166.

Sirichoti, N. & Tangdhanakanond, K. (2016). pati samphan rawāng withīkān pramœ̄n ton ‘ēng læ khwāmsāmāt thāng witthayāsāt thī mī to̜ phatthanākān thaksa patibatkān thotlo̜ng kho̜ng nakrīan [The interaction between self-assessment methods and science ability on experimental skill development of students]. **An Online Journal of Education**. 11(4), 712-728.

Soper, D. S. (2020). **A-priori sample size calculator for structural equation models**. Retrieved from http://www.danielsoper.com/statcalc

Tangdhanakanond, K. (2020). **kān wat læ pramœ̄n thaksa kān patibat** [Measuring and assessing performance]. 3rd ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Weston, R. & Gore, Jr., P. A. (2006). A brief guide to structural equation modeling. **The counseling psychologist**. 34(5), 719-751.

Zewdie, Z. M. (2014). An investigation of students’ approaches to problem solving in physics courses. **International Journal of Chemical and Natural Science**. 2(1), 77-89.