

การพัฒนาแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส
สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

Development of a Scientific Explanation Test on the topic of Gases
for Upper Secondary School Students

จักรพงษ์ ปินชัย^{1*} และ ณวรา สีสี่²

Jakkrapong Pinchai^{1*} and Navara Seetee²

(Received: September 5, 2024; Revised: October 5, 2024; Accepted: October 8, 2024)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายให้มีคุณภาพ มีขั้นตอนในการพัฒนาแบบวัด ดังนี้ 1) กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส 2) กำหนดโครงสร้างของแบบวัดและรายละเอียดของข้อคำถาม 3) สร้างข้อคำถามและเกณฑ์การให้คะแนนแบบจำเพาะ 4) ประเมินความเที่ยงตรงและความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแบบวัด 5) ปรับปรุงแบบวัดแล้วนำไปทดลองใช้ 6) หาคุณภาพในด้านความยากง่าย อำนาจจำแนก ความเชื่อมั่น และคุณภาพของเกณฑ์การให้คะแนน ผลการวิจัย พบว่า แบบวัดอัตนัยแบบความเรียงที่ไม่จำกัดคำตอบที่สร้างขึ้นมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ เมื่อนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียน เรื่อง แก๊ส มาแล้ว แต่ยังไม่เคยฝึกการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 41 คน จากโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร พบว่า ข้อคำถามมีความยากง่ายและอำนาจจำแนกเหมาะสม ($P_i = .33 - .57$, $R_i = .22 - .42$) มีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในระดับสูง (ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เท่ากับ .732) และเกณฑ์การให้คะแนนมีคุณภาพ ผู้ตรวจให้คะแนน ประเมินได้สอดคล้องกัน ($ICC = .862$) ดังนั้น แบบวัดที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ กรอบแนวคิด CER การประเมิน เคมี่

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา ศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

² อาจารย์ ศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

¹ Master Degree's Student, Science Education Program, Science Education Center, Faculty of Science, Srinakharinwirot University

² Lecturer, Science Education Center, Faculty of Science, Srinakharinwirot University

* Corresponding Author E-mail: Jakkrapong.pinch@g.swu.ac.th

Abstract

This research aimed to develop a quality scientific explanation test on the topic of gases for upper secondary school students. The development of the test followed these steps: 1) defining the operational definition of scientific explanation in the context of gases, 2) creating a test blueprint and item specifications, 3) constructing test items and their corresponding analytic rubrics, 4) examining content validity and overall suitability, 5) finalizing the test and conducting a pilot study, and 6) evaluating the finalized test in terms of item difficulty, discrimination, reliability, and rubric quality. The results indicated that the extended-response, constructed-response test demonstrated appropriate content validity and alignment with the intended construct. Following a pilot study with 41 eleventh-grade students from a large public school in Bangkok—students who had studied the topic of gases but had not received explicit instruction in constructing scientific explanations—the test showed acceptable item difficulty ($P_i = .33-.57$) and discrimination indices ($R_i = .22-.42$). The test demonstrated satisfactory reliability (Cronbach's $\alpha = .732$). In addition, the analytic rubrics were of high quality, with strong inter-rater consistency ($ICC = .862$). Therefore, the developed test is valid and reliable for accurately assessing students' scientific explanation skills related to the topic of gases.

Keywords: scientific explanation, CER framework, assessment, chemistry

บทนำ

การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้นักเรียนเข้าใจหลักการ ทฤษฎี และกฎที่เป็นพื้นฐานของธรรมชาติ (OBEC, 2017) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (construction of scientific explanation) เป็นพฤติกรรมหนึ่งที่สามารถสะท้อนความเข้าใจในองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ (Promyod, 2019) ช่วยให้ครูวินิจฉัยได้ว่านักเรียนมีความเข้าใจในหลักการ ทฤษฎี และกฎที่เป็นพื้นฐานของวิชาวิทยาศาสตร์มากน้อยเพียงใด ดังเช่นในมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ของประเทศสหรัฐอเมริกา (Next Generation Science Standards; NGSS) ได้กำหนดให้การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งในแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม (science and engineering practices) โดยกำหนดไว้อย่างชัดเจนว่า นักเรียนจะต้องสร้างคำอธิบายเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยประยุกต์ใช้ความรู้ที่ได้เรียนมา ซึ่งจะมีระดับความซับซ้อนที่แตกต่างกันไปตามระดับชั้น (National Research Council, 2012) นอกจากนี้ การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ยังเป็นหนึ่งในสมรรถนะของการเป็นผู้มีความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ (scientific literacy) ของโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Program for International Student Assessment; PISA) (IPST, 2017)

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง การลงข้อสรุปหรือการให้คำตอบที่จำเพาะกับสถานการณ์หรือคำถามทางวิทยาศาสตร์ที่สนใจ โดยมีข้อมูลสนับสนุนที่น่าเชื่อถือ ภายใต้กรอบของหลักการหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่จำเพาะกับสิ่งที่กำลังสนใจ อาจเป็นการบอกสาเหตุหรือทำนายผลที่จะเกิดขึ้น (McNeill & Krajcik, 2008; Tang, 2015; Yao & Guo, 2018) ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ (McNeill & Krajcik, 2008) ได้แก่ 1) ข้อกล่าวอ้าง (claim) หมายถึง ข้อสรุปหรือคำตอบของประเด็นทางวิทยาศาสตร์ที่สนใจศึกษา 2) หลักฐาน (evidence) เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ถูกเลือกนำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ต้องมีความเหมาะสม สอดคล้องกับสถานการณ์และมีจำนวนมากเพียงพอที่จะทำให้ผู้อื่นคล้อยตามและยอมรับได้ และ 3) การให้เหตุผล (reasoning) คือ การใช้หลักการหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่จำเพาะกับสถานการณ์นั้น ๆ เชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผล เมื่อนำแต่ละองค์ประกอบมารวมกัน

การส่งเสริมให้นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายได้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มีความจำเป็น เพราะการฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างต่อเนื่อง จะช่วยให้นักเรียนพัฒนาตนเองจนกลายเป็นผู้มีความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของพลเมืองไทยในยุคปัจจุบันและอนาคต (IPST, 2017) นักเรียนจึงควรได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างสม่ำเสมอผ่านการส่งเสริมและสนับสนุนของครู แต่การที่ครูจะส่งเสริมได้อย่างเหมาะสมนั้น ครูจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร จึงจะสามารถช่วยเหลือและสนับสนุนให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีความสมบูรณ์มากขึ้นได้ กระบวนการที่จะช่วยให้ครูทราบเกี่ยวกับลักษณะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ คือ การวัดและประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ที่ผ่านมา มีการใช้เครื่องมือวัดและประเมินผลในลักษณะที่ต่างกันไป เช่น แบบทดสอบปรนัย สี่ตัวเลือกที่เป็นการถามแยกองค์ประกอบ (IPST, 2017) หรือแบบทดสอบอัตนัยแบบความเรียง (Aniwatanawong & Jantrasri, 2019; Hirio et al., 2020; Juthanaruepakij et al., 2018; McNeill & Krajcik, 2008; Tang, 2015; Yao & Guo, 2018) รูปแบบของเครื่องมือที่นิยมใช้มากที่สุด คือ แบบทดสอบอัตนัยแบบความเรียง (Singwee, 2020) เพราะเป็นแบบวัดที่นักเรียนได้ลงมือสร้างแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง แบบวัดในลักษณะนี้จึงสะท้อนคุณลักษณะของนักเรียนอย่างแท้จริง ต่างจากแบบทดสอบปรนัย ที่มีตัวเลือกเป็นองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ส่วนต่าง ๆ แล้วให้นักเรียนพิจารณาเลือกว่าคำตอบใดคือคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้น นอกจากนี้ แบบทดสอบอัตนัยยังแบ่งเป็นแบบทดสอบอัตนัยที่จำกัดคำตอบ คือ ระบุให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามแต่ละองค์ประกอบอย่างชัดเจน และแบบทดสอบอัตนัยที่ไม่จำกัดคำตอบ คือ ระบุให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น ไม่มีการแจกแจงองค์ประกอบ ซึ่งแบบทดสอบอัตนัยที่ไม่จำกัดคำตอบมีประสิทธิภาพในการประเมินสูงกว่าแบบทดสอบอัตนัยที่จำกัดคำตอบ (Wannathai & Pruekpramool, 2021)

การเรียนรู้ในวิชาเคมี เป็นการเรียนรู้เพื่ออธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นในปรากฏการณ์ต่าง ๆ รอบตัว เช่น การนำไฟฟ้าของโลหะ การระเบิดของถังบรรจุแก๊ส การเปลี่ยนสีของเครื่องดื่ม การเรียนรู้ในวิชาดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีจำนวนผลการเรียนรู้เน้นให้นักเรียนต้อง “อธิบาย” มากที่สุด

ตัวอย่างเช่น อธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม (OBEC, 2017)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหาเคมีระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบบทดสอบอัตนัยที่จำกัดคำตอบ เช่น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Nimdam et al., 2020) สมดุลเคมี (Tanang, 2019) สารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ (Aniwatanawong & Jantrasri, 2019) และเคมีไฟฟ้า (Supasatwong et al., 2020) แต่ยังไม่พบแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบไม่จำกัดคำตอบในเนื้อหาเรื่อง แก๊ส

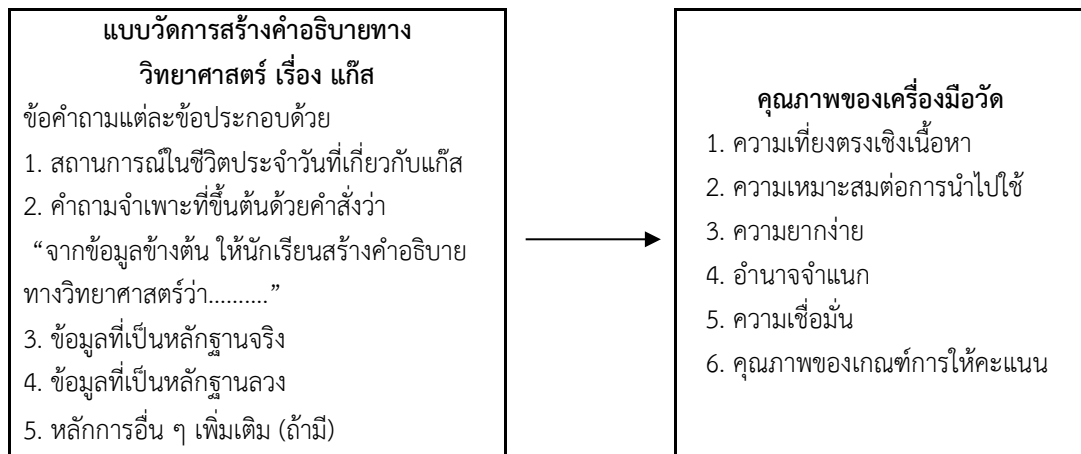
ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายให้มีคุณภาพ ในลักษณะของแบบทดสอบอัตนัยที่ไม่จำกัดคำตอบ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อครูผู้สอนเคมี สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือเพื่อประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีองค์ประกอบครบถ้วน และนำไปสู่การส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในเรื่องนี้ได้อย่างเต็มความสามารถ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เรื่อง แก๊ส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

กรอบแนวคิดการวิจัย

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิดข้อกล่าวอ้าง-หลักฐาน-การให้เหตุผลของ McNeill & Krajcik (2008) นักเรียนจะต้องพิจารณาข้อมูลก่อนจะตัดสินใจสร้างข้อกล่าวอ้าง และเลือกใช้ข้อมูลที่พิจารณาแล้วมาเป็นหลักฐานมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง โดยมีกฎหรือหลักการมาแสดงการเชื่อมโยงอย่างสมเหตุสมผลว่าหลักฐานนั้นสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง เพื่อให้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนได้ครอบคลุมทุกองค์ประกอบอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงดำเนินการสร้างแบบวัดโดยใช้ข้อคำถามที่มีสถานการณ์หลากหลายที่เกี่ยวข้องกับ แก๊ส มีข้อมูลประกอบทั้งที่เป็นหลักฐานจริง และหลักฐานลวง รวมทั้งให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับหลักการอื่น ๆ ที่ไม่ใช่กฎของแก๊ส ในกรณีที่เป็นสถานการณ์ที่มีความซับซ้อน เพื่อให้ให้นักเรียนได้พิจารณาเลือกใช้ แล้วสร้างเป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เมื่อสร้างข้อคำถามในแบบวัดได้ครบถ้วนตามรายละเอียดข้างต้น จะนำไปสู่การศึกษาคุณภาพของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น ทำให้กรอบแนวคิดของการวิจัยนี้ แสดงดังภาพ 1



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในเรื่อง แก๊ส ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 266 คน ของโรงเรียนมัธยมสหศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 41 คน ที่เรียนเนื้อหาเรื่อง แก๊ส มาเรียบร้อยแล้ว ได้มาจากการเลือกตามความสะดวก (convenience sampling) เพราะโรงเรียนให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปเก็บข้อมูลในห้องเรียนปกติ ที่มีการลดความสามารถของผู้เรียน อย่างไรก็ตาม นักเรียนกลุ่มนี้ยังไม่เคยได้รับการฝึกหรือมีประสบการณ์เกี่ยวกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาก่อน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้มีคุณภาพ ซึ่งมีขั้นตอนในการพัฒนาเครื่องมือ ดังนี้

2.1 ระบุผลการเรียนรู้ที่ต้องการจะวัดและกำหนดพฤติกรรมการเรียนรู้ จากการวิเคราะห์ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) จุดมุ่งหมายของการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ในสาระเคมี ข้อ 1 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ข้อย่อย 6 คือ อธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม พฤติกรรมที่ต้องการให้นักเรียนแสดงออก คือ เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของสถานการณ์หรือปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง แก๊ส

2.2 กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนำไปสู่การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของคำว่า การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส หมายถึง การให้ข้อสรุปแก่ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์รอบตัว เรื่อง แก๊ส อย่างสมเหตุสมผลและน่าเชื่อถือ มีหลักฐานประกอบอย่างเหมาะสมและเพียงพอ สามารถวัดได้ด้วยแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

2.3 กำหนดโครงสร้างและรายละเอียดของแบบวัด จากการสังเคราะห์งานวิจัยเกี่ยวกับการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน แล้วพบว่าแบบทดสอบอัตนัยแบบความเรียงที่ไม่จำกัดคำตอบมีประสิทธิภาพในการประเมินสูงกว่า ในการวิจัยนี้จึงใช้แบบทดสอบอัตนัยดังกล่าว พร้อมกับเกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกประเด็นตามองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยข้อคำถามทั้งหมด 4 ข้อ ใช้เวลาประมาณ 50 นาที (Singwee, 2020) คำถามที่ใช้มีสองลักษณะ คือ 1) ถามให้คาดคะเนหรือทำนาย และ 2) ถามหาความสัมพันธ์ ทุกข้อใช้ประโยคคำสั่งขึ้นต้นเหมือนกัน คือ “จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า.....” แล้วจึงระบุคำถามที่จำเพาะของข้อนั้น ๆ แบบวัดแต่ละข้อจะมีข้อมูลประกอบสถานการณ์ที่เป็นทั้งหลักฐานจริง และหลักฐานลวง เพื่อประเมินว่า นักเรียนสามารถใช้กฎของแก๊สในการพิจารณาเลือกหลักฐานที่เกี่ยวข้องได้อย่างสมเหตุสมผลหรือไม่ นอกจากนั้น หากสถานการณ์มีความซับซ้อน จำเป็นที่จะต้องใช้หลักการอื่น ๆ ที่ไม่ใช่กฎของแก๊สเพิ่มเติม จะระบุเข้าไปในข้อมูลประกอบสถานการณ์ด้วย เพื่อให้ นักเรียนมีข้อมูลเพียงพอที่จะสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ รายละเอียดของข้อคำถามแต่ละข้อ แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 โครงสร้างแบบวัดรายข้อ

สถานการณ์	คำถามจำเพาะ	หลักฐานจริง	หลักฐานลวง	กฎของแก๊ส	หลักการเพิ่มเติม
ถุงลมปอด	ถุงลมปอดหมายเลข 4 ที่บรรจุแก๊สในเตมไนเทรต 9.76 กรัม ควรมีเส้นรอบวงประมาณเท่าใด (คาดคะเน)	1. สมการการสลายตัวของแก๊สในเตมไนเทรต 2. เส้นรอบวงของถุงลมปอดที่เพิ่มขึ้น	1. มวลแก๊สในเตมไนเทรต 2. ปริมาตรของถุงลมปอดที่เพิ่มขึ้น	กฎของอาโวกาโด	ไม่มี
เสื้อชูชีพ	เสื้อชูชีพพองได้ที่มีขนาดเล็กที่สุดควรมีกระบอกบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หมายเลขใดเป็นส่วนประกอบบนตัวเสื้อ (ความสัมพันธ์)	1. มวลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่บรรจุไว้ในกระบอก 2. แรงดันของเสื้อชูชีพแต่ละขนาดสร้างได้	1. วัสดุที่ใช้ทำเสื้อชูชีพ 2. วัสดุที่เหมาะสมกับขนาดของเสื้อชูชีพ 3. ภาพแสดงส่วนประกอบของเสื้อชูชีพ	กฎของอาโวกาโด	แรงดันของแก๊สแปรผันตรงกับขนาดของเสื้อชูชีพ
ฟองอากาศ	ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็น ในบริเวณใกล้ผิวน้ำจะมีขนาดเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดที่สังเกตได้ในตอนแรก ณ บริเวณใต้น้ำ (ทำนาย)	1. กราฟแสดงค่าความดันใต้น้ำที่เพิ่มขึ้นตามระดับความลึก 2. ภาพฟองอากาศที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงตามระดับความลึก	อุณหภูมิของน้ำทะเล	กฎของบอยล์	ฟองอากาศจะปรับความดันให้เท่ากับภายนอกเพื่อให้คงรูปร่างอยู่ได้

ตาราง 1 (ต่อ)

สถานการณ์	คำถามจำเพาะ	หลักฐานจริง	หลักฐานลง	กฎของแก๊ส	หลักการเพิ่มเติม
ขวดน้ำดื่มแช่เย็น	ขวดน้ำดื่มที่วินนี้ดื่มไม่หมด แล้วนำไปแช่ตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 4°C จะมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างไร (ทำนาย)	1. ปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่ลดลงตามอุณหภูมิ 2. ขวดน้ำดื่มทำมาจาก Polyethylene terephthalate	องค์ประกอบของอากาศ	กฎของชาร์ล	Polyethylene terephthalate มีความยืดหยุ่น
แป้งพืชมะพร้าว	แป้งพืชมะพร้าวอุณหภูมิเท่าใดจะมีความนุ่มมากที่สุด (คาดคะเน)	1. ปริมาตรของแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ 2. แก๊สมีปริมาตรสูงสุดที่ 270 °C	ภาพแสดงลักษณะของแป้งพืชมะพร้าวในช่วงเวลาต่าง ๆ	กฎของชาร์ล	ความนุ่มของพืชมะพร้าวขึ้นกับขนาดช่องว่างภายในเนื้อแป้ง
หลอดโซเดียมความดันต่ำ	ช่วงเวลาใด ที่หลอดโซเดียมความดันต่ำจะมีความดันรวมของแก๊สภายในหลอดสูงที่สุด (คาดคะเน)	ชนิดของแก๊สที่พบภายในหลอด	1. สีของหลอดไฟ 2. ภาพหลอดไฟ ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ 3. สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของโซเดียม	กฎความดันของดอลตัน	ไม่มี
แก๊สปิโตรเลียม	หลังปรับอุณหภูมิและความดัน ได้ตามที่ต้องการแล้ว แก๊สปิโตรเลียมชนิดใดจะเคลื่อนที่ไปถึงหอควบแน่นหมายเลข 1 เป็นลำดับสุดท้าย (ทำนาย)	มวลต่อโมลของแก๊สบิวเทนมีค่าสูงที่สุด	1. สูตรโมเลกุลของแก๊สปิโตรเลียม 2. จุดเดือดของแก๊สปิโตรเลียม	กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม	ไม่มี

2.4 สร้างแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามโครงสร้างที่กำหนด พร้อมกับเกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกประเด็นที่จำเพาะกับข้อคำถามนั้น ๆ ในหนึ่งเกณฑ์จะประเมินตามองค์ประกอบ 3 ด้าน คือ ข้อกล่าวอ้าง (C) หลักฐาน (E) และการให้เหตุผล (R) แต่ละด้านแบ่งเป็นการให้คะแนน 3 ระดับ คือ ได้ 2 คะแนน เมื่อสร้างองค์ประกอบนั้นได้ถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์ ได้ 1 คะแนน เมื่อสร้างได้ถูกต้องและสมบูรณ์บางส่วน และได้ 0 คะแนน เมื่อสร้างได้ไม่ถูกต้อง หรือ ไม่สร้างองค์ประกอบนั้นเลย ตัวอย่างข้อคำถามและเกณฑ์การให้คะแนน แสดงดังภาพ 2 และตาราง 2 ตามลำดับ

สถานการณ์ที่ 3 ฟองอากาศใต้ท้องทะเล



ภาพที่ 1 : เต่าหายใจ

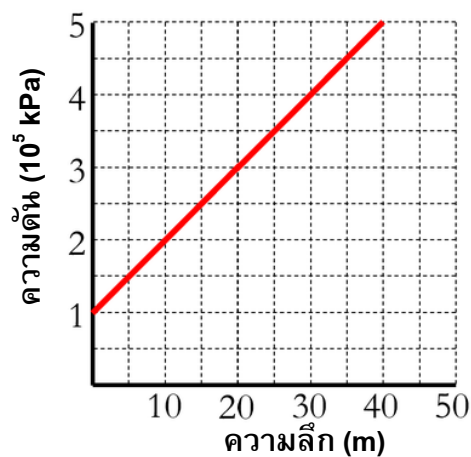
ที่มา : <https://www.pinterest.com/pin/bubble-ring-blowing-at-its-finest-ig-user-charlottepiho-31666003621196500/>

เมื่อกลับมาถึงที่พัก คัลเลนก็ได้เล่าสิ่งที่ตนเองสังเกตเห็นให้กับจู้ดีฟัง จู้ดีอธิบายว่า ฟองอากาศจะคงรูปอยู่ได้ เมื่อความดันภายในฟองอากาศมีค่าเท่ากับความดันภายนอก การที่คัลเลนสังเกตเห็นว่าฟองอากาศไม่แตก แสดงว่าฟองอากาศมีการปรับความดันในขณะที่กำลังลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งความดันบรรยากาศใต้น้ำที่ระดับความลึกต่างกัน จะมีการเปลี่ยนแปลงดังกราฟที่ 1 และจู้ดีได้เปิดภาพเต่าหายใจให้กับคัลเลน ดังภาพที่ 1 ในภาพจะสังเกตเห็นว่า ฟองอากาศที่ออกมาจากปากของเต่าจะมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเมื่อลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำจะมีขนาดเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดที่สังเกตได้ในตอนแรก ณ บริเวณใต้น้ำ

ในวันหยุดมาชมบูชาที่ผ่านมา คัลเลนกับพี่จ้องได้ไปดำน้ำแบบสแนกเกิ้ล (Snorkeling) ที่เกาะแก้วพิสดาร เนื่องจากเป็นสถานที่ที่มีปะการังน้ำตื้นสวยงาม ติดอันดับโลก ในช่วงท้ายของการดำน้ำ คัลเลนสังเกตเห็นฟองอากาศลอยออกมาจากท่อหายใจของพี่จ้อง จึงว่ายน้ำตามฟองอากาศฟองเดิมจนถึงบริเวณผิวน้ำ โดยไม่ทำให้ฟองอากาศแตก ซึ่งคัลเลนพบว่าฟองอากาศมีขนาดต่างไปจากเดิม เขาเก็บความสงสัยนี้เอาไว้เพื่อรอไปถามจู้ดี ผู้ซึ่งสามารถอธิบายได้ทุกอย่าง ในวันดังกล่าว น้ำทะเลมีอุณหภูมิประมาณ 27°C และอุณหภูมิของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อระดับความลึกของน้ำเปลี่ยนไป

กราฟที่ 1 ความดันบรรยากาศที่ระดับความลึกต่าง ๆ



ที่มา : <https://study.com/skill/learn/how-to-calculate-the-density-of-a-fluid-from-a-linear-pressure-versus-depth-plot-explanation.html>

ภาพ 2 ตัวอย่างข้อคำถามและข้อมูลประกอบสถานการณ์ในแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ตาราง 2 เกณฑ์การให้คะแนนเฉพาะ สถานการณ์ที่ 3 พองอากาศใต้ท้องทะเล

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	0	1	2
ข้อกล่าวอ้าง	เขียนข้อความที่ระบุว่า พองอากาศที่คลื่นสังเกตเห็นใน บริเวณใกล้ผิวน้ำ <u>จะมีขนาดลดลง</u> หรือ <u>มีขนาดเท่าเดิม</u>	เขียนข้อความที่บ่งบอกว่า พองอากาศที่คลื่นสังเกตเห็นใน บริเวณใกล้ผิวน้ำ <u>จะมีขนาด</u> <u>เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม</u>	เขียนข้อความที่สื่อ ความหมายได้ว่า พองอากาศ ที่คลื่นสังเกตเห็นในบริเวณ ใกล้ผิวน้ำ <u>จะมีขนาดใหญ่ขึ้น</u>
หลักฐาน	ระบุว่าสังเกตจาก ข้อมูลอื่น ๆ <u>นอกเหนือจาก</u> (1) ความดันบรรยากาศใต้น้ำที่มีค่า ลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และ (2) พองอากาศที่ออกมาจากปาก ของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูง จากตัวเต่ามากขึ้น	ระบุว่าสังเกตจาก (1) ความดันบรรยากาศ ใต้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความ ลึกลดลง และ (2) พองอากาศที่ออกมาจากปาก ของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจากตัวเต่ามากขึ้น <u>เพียงอย่างเดียวหนึ่ง</u>	ระบุว่า สังเกตจาก (1) ความดันบรรยากาศใต้น้ำ ที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความ ลึกลดลง และ (2) พองอากาศที่ออกมาจาก ปากของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจาก ตัวเต่ามากขึ้น
การให้ เหตุผล	ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์อื่น ๆ เชื่อมโยง <u>หลักฐาน</u> (1) ความดันบรรยากาศใต้น้ำที่มีค่า ลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และ (2) พองอากาศที่ออกมาจากปาก ของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูง จากตัวเต่ามากขึ้น ให้เข้ากับ <u>ข้อ</u> <u>กล่าวอ้าง</u> ที่ว่า พองอากาศที่คลื่น สังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมี ขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ พองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้ น้ำ <u>หรือ</u> ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ อื่น ๆ ในการเชื่อมโยงหลักฐานอื่น ๆ ให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไป <u>หรือ</u> ไม่ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ ใด ๆ ในการเชื่อมโยงหลักฐาน ให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง	ใช้ กฎของบอยล์ หรือ หลักการ ปรับความดันของพองอากาศ <u>เพียงอย่างเดียวหนึ่ง</u> เชื่อมโยง <u>หลักฐาน</u> (1) ความดันบรรยากาศ ใต้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความ ลึกลดลง และ (2) พองอากาศที่ ออกมาจากปากของเต่ามีขนาด ใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจากตัวเต่า มากขึ้น <u>เพียงอย่างเดียวหนึ่ง</u> ให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างที่ว่า พองอากาศที่คลื่นสังเกตเห็นใน บริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดใหญ่ ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ พองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณ ใต้น้ำ	ใช้ทั้ง กฎของบอยล์ และ หลักการปรับความดันของ พองอากาศ เชื่อมโยง <u>หลักฐาน</u> (1) ความดันบรรยากาศใต้น้ำ ที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความ ลึกลดลง และ (2) พองอากาศ ที่ออกมาจากปากของเต่ามี ขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจาก ตัวเต่ามากขึ้น ให้เข้ากับ <u>ข้อกล่าวอ้าง</u> ที่ว่าพองอากาศที่ คลื่นสังเกตเห็นในบริเวณ ใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ พองอากาศที่สังเกตเห็นที่ บริเวณใต้น้ำ

2.5 นำแบบวัดที่สร้างขึ้นเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญในเนื้อหาเรื่องแก๊สที่เป็นอาจารย์สังกัดภาควิชาเคมี 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นอาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน และครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาที่เคยทำวิจัยในระดับปริญญาเอกเกี่ยวกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ 1 ท่าน รวมจำนวน 3 ท่าน ประเมินคุณภาพด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและประเมินความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ด้วยมาตรประมาณค่า 5 ระดับ

2.6 นำแบบวัดไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่เรียนเนื้อหาเรื่อง แก๊ส มาเรียบร้อยแล้ว

2.7 หาคุณภาพของแบบวัด โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อรายงานคุณภาพของแบบวัด ได้แก่ ความยากง่าย อำนาจจำแนก และ ความเชื่อมั่นของแบบวัดทั้งฉบับ

2.8 หาความน่าเชื่อถือของเกณฑ์การให้คะแนน โดยผู้วิจัยได้เลือกคำตอบของนักเรียน 5 คนที่เป็นตัวแทนของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละลักษณะที่แตกต่างกัน ไปให้ครูอีกสองคนซึ่งไม่เคยมีประสบการณ์ในการสร้างหรือประเมินคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาก่อน ตรวจให้คะแนนในแต่ละองค์ประกอบของทุกข้อคำถามด้วยเกณฑ์เดียวกัน แล้วนำคะแนนที่ได้ไปคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ภายในชั้น

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำหนังสือขออนุญาตเข้าไปเก็บข้อมูลภายในโรงเรียน เมื่อได้รับอนุญาตจากโรงเรียนแล้ว จึงนำแบบวัดที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเรียบร้อยแล้ว ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 ก่อนลงมือเก็บข้อมูล ผู้วิจัยซึ่งมีได้เกี่ยวข้องหรือมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของนักเรียนได้ชี้แจงให้นักเรียนทราบเกี่ยวกับการวิจัยและรายละเอียดต่าง ๆ เช่น ข้อมูลที่รวบรวมในครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเครื่องมือ ถ้านักเรียนยินยอมเข้าร่วมการวิจัยจะต้องทำแบบวัดโดยเขียนตอบจำนวน 7 ข้อ นักเรียนสามารถใช้เวลาได้อย่างเต็มที่ นักเรียนสามารถเข้าร่วมและถอนตัวจากการเก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่างอิสระ และจะปกปิดข้อมูลส่วนบุคคลของนักเรียนเป็นความลับ ซึ่งพบว่านักเรียนใช้เวลาในการทำแบบวัดประมาณ 50 นาที โดยผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมแบบวัดด้วยตนเอง

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ มีการวิเคราะห์ข้อมูลสองช่วง ช่วงแรก คือ ก่อนนำแบบวัดไปทดลองใช้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1) ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ผู้วิจัยนำความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มาคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยข้อคำถามที่สอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการควรมีค่า IOC ตั้งแต่ .50 ขึ้นไป

2) ความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ ผู้วิจัยนำความคิดเห็นจากรายการประเมินทั้งสี่ประเด็นในข้อคำถามแต่ละข้อ คือ สถานการณ์ ข้อคำถาม เกณฑ์การให้คะแนน และภาษาที่ใช้ มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ และแปลความหมายของความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของข้อคำถามแต่ละข้อ ตามเกณฑ์ดังนี้ 4.50 – 5.00 หมายถึง เหมาะสมมากที่สุด 3.50 – 4.49 หมายถึง เหมาะสมมาก 2.50 – 3.49 หมายถึง เหมาะสมปานกลาง 1.50 – 2.49 หมายถึง เหมาะสมน้อย และ 1.00 – 1.49 หมายถึง เหมาะสมน้อยที่สุด (Ritcharoon, 2021)

ช่วงที่สอง หลังจากที้นำแบบวัดไปทดลองใช้ ผู้วิจัยนำแบบวัดที่นักเรียนทำเรียบร้อยแล้วมาตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนนเฉพาะ จากนั้นวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนในแต่ละข้อ และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อรายงานคุณภาพของแบบวัด ดังนี้

1) ความยากง่ายและอำนาจจำแนก ใช้เทคนิค 50% แบ่งคะแนนที่ได้จากการทำแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละข้อเป็นกลุ่มสูงและต่ำ แล้วคำนวณหาค่าความยากง่าย (P_i)

และค่าอำนาจจำแนก (R_i) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ข้อคำถามควรมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง .20 - .80 และมีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .20 ขึ้นไป (Kanjawasee, 2013)

2) ความเชื่อมั่นของแบบวัดทั้งฉบับ นำคะแนนที่ได้จากการทำแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในข้อที่มีความยากง่ายและอำนาจจำแนกเหมาะสมจำนวน 4 ข้อ ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's " α " Coefficient) ของแบบวัดทั้งฉบับ ผ่านโปรแกรม IBM SPSS Statistics 22 แบบวัดที่มีความเชื่อมั่นสูง ควรมีค่าสัมประสิทธิ์ตั้งแต่ .70 ขึ้นไป (Worakham, 2023)

3) ความน่าเชื่อถือของเกณฑ์การให้คะแนน แสดงผ่านค่าความเชื่อมั่นระหว่างผู้ให้คะแนน การวิจัยครั้งนี้ มีผู้ตรวจให้คะแนนจำนวน 3 คน โดยผู้วิจัยคัดเลือกคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีลักษณะแตกต่างกัน จำนวน 5 คน แล้วนำคะแนนที่ได้จากการตรวจซ้ำของนักเรียนห้าคน ซึ่งจัดเป็นข้อมูลในระดับอันตรภาค (interval scale) มาหาค่าสหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intra-class correlation coefficient; ICC) เกณฑ์การให้คะแนนที่มีคุณภาพและน่าเชื่อถือ ควรมีความเชื่อมั่นระหว่างผู้ตรวจให้คะแนน .85 ขึ้นไป (Worakham, 2023)

ผลการวิจัย

แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ที่ได้สร้างขึ้น มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) และค่าความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เฉลี่ย ดังตาราง 3

ตาราง 3 ค่าดัชนีความสอดคล้องและความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของข้อคำถามในแบบวัด

ข้อ ที่	สถานการณ์	IOC	การแปลความหมาย	ความเหมาะสม ต่อการนำไปใช้เฉลี่ย	การแปลความหมาย
1	ถุงลมปอด	1.00	สอดคล้อง	4.50	เหมาะสมมากที่สุด
2	เลือดซีสฟองได้	0.67	สอดคล้อง	4.00	เหมาะสมมาก
3	ฟองอากาศใต้ทะเล	1.00	สอดคล้อง	4.33	เหมาะสมมาก
4	ขวดน้ำดื่มแช่เย็น	1.00	สอดคล้อง	4.50	เหมาะสมมากที่สุด
5	แปรงพิซซาหลังอบ	0.67	สอดคล้อง	4.08	เหมาะสมมาก
6	หลอดโซเดียมความดันต่ำ	0.67	สอดคล้อง	4.08	เหมาะสมมาก
7	แก๊สปิโตรเลียม	1.00	สอดคล้อง	4.42	เหมาะสมมาก

จากตาราง 3 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีค่า IOC อยู่ระหว่าง .67 – 1.00 ซึ่งมากกว่า .50 แสดงว่า ข้อคำถามทุกข้อวัดได้ตรงตามนิยามเชิงปฏิบัติการ (Ritcharoon, 2021) และทุกข้อมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.00 – 4.50 จัดอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด โดยผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นเพิ่มเติม ดังนี้ ในด้านสถานการณ์ มีความคิดเห็นตรงกัน คือ สถานการณ์น่าสนใจ นำไปสู่การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ แต่ควรเพิ่มหลักฐานลงให้ครบทุกข้อ จะได้ประเมินการเลือกหลักฐานของนักเรียนได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงได้เพิ่มข้อมูลในข้อคำถาม จนมีรายละเอียดดังตาราง 1 ด้านเกณฑ์การให้คะแนน ควรเพิ่ม

รายละเอียดของเกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งผู้วิจัยจึงได้แจกแจงกรณีเพิ่มเติม เช่น ด้านการให้เหตุผล เดิมระบุเพียงว่า ได้ 0 คะแนน เมื่อใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์เชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้อง ปรับเป็นดังตัวอย่างในตาราง 2 ที่มีกรณีที่เป็นไปได้สามกรณีที่แตกต่างกัน

เมื่อผู้วิจัยตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนนเฉพาะเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำคะแนนแยกตามองค์ประกอบและคะแนนรวม ไปหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ได้ข้อมูลดังตาราง 4

ตาราง 4 คะแนนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้อที่	สถานการณ์	ข้อกล่าวอ้าง (2 คะแนน)		หลักฐาน (2 คะแนน)		การให้เหตุผล (2 คะแนน)		คะแนนรวม (6 คะแนน)	
		$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
1	ถูกลมนิรภัย	1.28	0.58	0.59	0.50	0.00	0.00	1.88	0.94
2	เสื้อชูชีพพองได้	1.78	0.61	0.34	0.55	0.19	0.40	2.31	1.06
3	พองอากาศได้ทะเล	1.88	0.42	0.97	0.59	0.56	0.50	3.41	0.80
4	ขวดน้ำดื่มแช่เย็น	1.56	0.62	0.41	0.61	0.13	0.34	2.09	0.82
5	แปรงพิชชาหลังอบ	1.87	0.43	0.42	0.56	0.45	0.51	2.74	0.96
6	หลอดโซเดียมความดันต่ำ	1.94	0.25	0.47	0.51	0.06	0.35	2.47	0.67
7	แก๊สปิโตรเลียม	0.91	0.69	0.66	0.60	0.44	0.72	2.00	1.57

จากตาราง 4 เมื่อพิจารณาคะแนนรวมจะเห็นว่า คำถามข้อที่ 3 มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 3.41 จากคะแนนเต็ม 6 คะแนน และคำถามข้อที่ 1 มีคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 1.88 คำถามข้อที่ 7 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด คือ 1.57 และคำถามข้อที่ 6 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ต่ำที่สุด คือ 0.67

เมื่อผู้วิจัยนำคะแนนรวมของนักเรียนแต่ละคนมาเรียงลำดับจากสูงไปต่ำ แล้วใช้เทคนิค 50% แบ่งนักเรียนออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มสูงและกลุ่มต่ำที่มีจำนวนเท่า ๆ กัน จากนั้นคำนวณหาความยากง่ายและอำนาจจำแนกของข้อคำถามแต่ละข้อ ได้ข้อมูลดังตาราง 5

ตาราง 5 ความยากง่าย อำนาจจำแนก และผลการพิจารณา

ข้อที่	สถานการณ์	ความยากง่าย	ความหมาย	อำนาจจำแนก	ความหมาย	ผลการพิจารณา
1	ถูกลมนิรภัย	.31	ค่อนข้างยาก	.27	จำแนกได้พอใช้	นำไปใช้ได้
2	เสื้อชูชีพพองได้	.39	ค่อนข้างยาก	.23	จำแนกได้พอใช้	นำไปใช้ได้*
3	พองอากาศได้ทะเล	.57	ปานกลาง	.22	จำแนกได้พอใช้	นำไปใช้ได้*
4	ขวดน้ำดื่มแช่เย็น	.35	ค่อนข้างยาก	.18	จำแนกได้ค่อนข้างต่ำ	ตัดออก
5	แปรงพิชชาหลังอบ	.44	ปานกลาง	.24	จำแนกได้พอใช้	นำไปใช้ได้*
6	หลอดโซเดียมความดันต่ำ	.41	ปานกลาง	.19	จำแนกได้ค่อนข้างต่ำ	ตัดออก
7	แก๊สปิโตรเลียม	.33	ค่อนข้างยาก	.42	จำแนกได้ดี	นำไปใช้ได้*

* ข้อที่ถูกคัดเลือก

จากตาราง 5 จะเห็นว่า คำถามทุกข้อมีค่าความยากง่ายตั้งแต่ระดับปานกลางถึงค่อนข้างยาก คำถามข้อที่ 1, 2, 3, 5 และ 7 มีอำนาจจำแนกตั้งแต่ระดับพอใช้ถึงดี แต่คำถามข้อที่ 4 และ 6 มีอำนาจจำแนกต่ำกว่า .20 แปลว่า จำแนกได้ค่อนข้างต่ำ ผู้วิจัยจึงพิจารณาตัดข้อคำถามทั้งสองข้อออก เนื่องจากเนื้อหาเรื่อง แก๊สประกอบด้วย 6 หัวข้อ ได้แก่ กฎของอาโวกาโดร กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก กฎความดันย่อยของดอลตัน และกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม แต่ข้อคำถามในแบบวัดมีได้เพียง 4 ข้อตามที่กำหนดไว้ และควรมีสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่ครอบคลุมกฎต่าง ๆ ของแก๊สให้ได้มากที่สุด ข้อที่ 3 ใช้กฎของบอยล์ ข้อที่ 5 ใช้กฎของชาร์ล และข้อที่ 7 ใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม ส่วนคำถามข้อที่ 1 และ 2 ใช้กฎเดียวกันคือกฎของอาโวกาโดร ทั้งสองข้อมีค่าความยากง่ายอยู่ในระดับค่อนข้างยากเหมือนกัน และมีอำนาจจำแนกอยู่ในระดับพอใช้เท่ากัน ผู้วิจัยจึงพิจารณาที่ลักษณะคำตอบของนักเรียนจากการนำไปทดลองใช้ ซึ่งพบว่า คำถามข้อที่ 1 มีนักเรียนบางส่วนเข้าใจผิดเขียนแสดงวิธีการคำนวณหาค่าเส้นรอบวงของทรงกลมนิรภัยจากมวลของแก๊ส แทนการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถามดังกล่าว ส่วนคำถามข้อที่ 2 นักเรียนทุกคนเขียนตอบในลักษณะที่เป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ แต่อาจจะมียกประกอบไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ ดังนั้นในการวิจัยนี้คำถามข้อที่ 2, 3, 5 และ 7 จึงเป็นข้อที่ถูกคัดเลือกไว้

ผู้วิจัยนำคะแนนของนักเรียนที่ได้จากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในข้อที่ 2, 3, 5 และ 7 ไปคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดทั้งฉบับด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค พบว่ามีค่าเท่ากับ .732 แสดงว่า แบบวัดดังกล่าวมีความเชื่อมั่นในระดับสูง สามารถนำไปใช้วัดและประเมินผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายได้

ด้านความน่าเชื่อถือของเกณฑ์การให้คะแนน ผู้วิจัยนำคะแนนที่ได้จากการตรวจให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนเดียวกันจากผู้ตรวจทั้งหมด 3 คน ไปวิเคราะห์หาความเชื่อมั่นระหว่างผู้ตรวจให้คะแนนด้วยค่าสหสัมพันธ์ภายในชั้น (ICC) พบว่า มีค่าเท่ากับ .862 ซึ่งสูงกว่าระดับที่กำหนดไว้ แสดงว่า เกณฑ์การให้คะแนนมีความละเอียด ชัดเจน ครูที่ไม่เคยมีประสบการณ์เกี่ยวกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาก่อนก็สามารถตรวจให้คะแนนได้ไม่แตกต่างกัน

อภิปรายผล

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง แก๊ส ให้มีคุณภาพ โดยแบบวัดที่พัฒนาขึ้นใช้สถานการณ์ที่เกิดขึ้นรอบตัวและเกิดขึ้นได้ในโลกแห่งความจริงเกี่ยวกับแก๊ส พร้อมให้ข้อมูลและหลักการเพิ่มเติม (ถ้ามี) และถามให้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

จากผลการวิจัยพบว่า แบบวัดที่ได้สร้างขึ้นสามารถวัดพฤติกรรมด้านการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายได้ตรงตามนิยามเชิงปฏิบัติการ มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในระดับมากถึงมากที่สุด มีความยากง่ายตั้งแต่ระดับปานกลางถึงค่อนข้างยาก มีอำนาจจำแนกพอใช้ถึงดี มีความเชื่อมั่นในระดับสูง มีความน่าเชื่อถือของเกณฑ์การให้คะแนน สามารถอภิปรายผลการวิจัยในประเด็นต่าง ๆ ได้ ดังนี้

ข้อคำถามทุกข้อในแบบวัดที่สร้างขึ้นมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ผู้วิจัยใช้สถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้กฎของแก๊สในการอธิบาย แก๊ส เช่น หลอดโซเดียมความดันต่ำที่ใช้ให้แสงสว่างบนท้องถนน การนำขวดน้ำดื่มเข้าไปแช่ในตู้เย็น การพองของถุงลมนิรภัย และต่างก็เป็นสถานการณ์ที่นักเรียนสามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน สอดคล้องกับลักษณะของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ดีที่ Kamtet et al. (2020) กล่าวไว้ คือ ควรเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวัน หรือสถานการณ์ที่มีบริบทจำเพาะเพื่อช่วยกระตุ้นให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลประกอบสถานการณ์ที่ให้ อีกทั้งยังใช้ประโยคคำสั่งขึ้นต้นเหมือนกันในทุกข้อคำถาม คือ “จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า.....” แล้วจึงระบุคำถามที่จำเพาะกับสถานการณ์ ทำให้ทุกข้อคำถามมีความชัดเจนว่าต้องการให้นักเรียนทำอะไร ส่งผลให้ข้อคำถามทุกข้อมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง .67 – 1.00 อยู่ในระดับยอมรับได้ และ มีค่าใกล้เคียงกับแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อนหน้า (Nimdam et al., 2020; Tanang, 2019)

ความเหมาะสมต่อการนำไปใช้โดยเฉลี่ยของแบบวัด มีค่าอยู่ระหว่าง 4.00 – 4.50 ซึ่งอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด เนื่องจากลักษณะของคำถามในแบบวัดไม่ได้เป็นการถามความรู้ความจำ (Janto et al., 2020) แต่เป็นการถามตามรายละเอียดของสถานการณ์ที่ให้ ดังที่ Wetworanan et al. (2019) ได้ระบุลักษณะคำถามที่ใช้เพื่อให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า รูปแบบคำถาม จะต้องเป็นคำถามที่กระตุ้นให้หาแนวโน้มที่เป็นไปได้มากที่สุด ผ่านการคิดพิจารณาตามเงื่อนไขที่มีในข้อคำถาม

ข้อคำถามที่คัดเลือกไว้ 4 ข้อในแบบวัด มีค่าความยากง่ายตั้งแต่ .33 - .57 จัดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างยาก สอดคล้องกันกับการวิจัยก่อนหน้าของ Wannathai & Pruekpramool (2021) ที่มีความยากอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างยาก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสถานการณ์ที่ใช้ในข้อคำถามบางข้อมีการใช้หลักการอื่น ๆ เพิ่มเติม นอกเหนือจากกฎของแก๊ส ซึ่งต่างจากงานวิจัยของ Janto et al. (2020) ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะเอาไว้ว่า แบบวัดหนึ่งข้อ ควรมีหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเพียงหนึ่งแนวคิด เพราะโดยทั่วไปนักเรียนจะร่างคำตอบขึ้นมาตามแนวคิดหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์ก่อน แล้วจึงค่อยเลือกหลักฐานมาสนับสนุน (Wetworanan et al., 2019) เมื่อมีแนวคิดที่มากขึ้น จึงอาจทำให้นักเรียนเกิดความสับสนได้ แต่สถานการณ์ที่เลือกมานั้น บางสถานการณ์ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของแก๊สเพียงข้อเดียว เพราะเป็นสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่มีความซับซ้อน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้หลักการเพิ่ม และได้ระบุลงไป ข้อมูลประกอบสถานการณ์ด้วย และในส่วนของการให้เหตุผล นักเรียนส่วนใหญ่ไม่ได้เขียนตอบในส่วนดังกล่าว (Hirio et al., 2020) ทำให้ได้คะแนนเป็นศูนย์ จึงทำให้ค่าที่คำนวณออกมามีค่าค่อนข้างน้อย ส่งผลให้ความยากง่ายของแบบวัดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างยาก

ข้อคำถามที่ได้คัดเลือกไว้ 4 ข้อของแบบวัดมีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง .22 - .42 คือ จำแนกได้พอใช้ถึงจำแนกได้ดี ส่วนใหญ่อยู่ในระดับพอใช้ ซึ่งต่างจากงานวิจัยก่อนหน้าที่ข้อคำถามมีอำนาจจำแนกอยู่ในระดับดีมาก (Wannathai & Pruekpramool, 2021) โดยมีข้อสังเกตคือ ข้อคำถามที่มีการกระจายตัวของคะแนนมาก จะมีอำนาจจำแนกที่สูง เช่น ข้อที่ 7 ที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดเท่ากับ 1.57 มีอำนาจจำแนกเป็น .42 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด และจัดอยู่ในระดับดี

ความเชื่อมั่นของแบบวัดฉบับนี้ มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคเท่ากับ .732 จัดอยู่ในระดับสูง ซึ่งไม่แตกต่างจากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อนหน้าก่อนหน้า (Wannathai & Pruekpramool, 2021) เป็นแบบวัดที่มีคุณภาพและเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย การที่แบบวัดมีความเชื่อมั่นในระดับสูง สอดคล้องกับค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาที่บ่งบอกว่าข้อคำถามทุกข้อในแบบวัดสามารถวัดได้ตรงตามนิยามเชิงปฏิบัติการ

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 แบบวัดฉบับนี้เป็นแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีความจำเพาะต่อเนื้อหา เรื่อง แก๊ส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์เท่านั้น การนำแบบวัดไปใช้จะต้องมั่นใจว่า นักเรียนจะต้องได้เรียนรู้เกี่ยวกับกฎต่าง ๆ ของแก๊สมาเรียบร้อยแล้ว เพื่อไม่ให้ความรู้เรื่องแก๊ส เป็นอุปสรรคต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยอาจจะนำไปประเมินในตอนท้ายของบทเรียน เช่นเดียวกันกับการสอบเก็บคะแนน

1.2 ข้อคำถามในแบบวัดมีความง่ายอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างยาก อาจจะต้องพิจารณาถึงระดับความสามารถของนักเรียนก่อนนำแบบวัดนี้ไปใช้

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ผลการวิจัยในครั้งนี้ ได้มาจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนจากโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ในจังหวัดกรุงเทพมหานครเพียงโรงเรียนเดียว ซึ่งอาจจะมีบริบทในการเรียนที่แตกต่างจากโรงเรียนในลักษณะอื่น ๆ เช่น โรงเรียนหญิงล้วน โรงเรียนขนาดเล็กในต่างจังหวัด ในการวิจัยครั้งต่อไป จึงควรนำแบบวัดฉบับเดียวกันนี้ไปทดลองใช้กับนักเรียนในโรงเรียนอื่น ๆ ที่มีบริบทแตกต่างไปจากเดิม

2.2 แบบวัดนี้สามารถบอกได้เพียงระดับคะแนนในแต่ละองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังไม่สามารถให้รายละเอียดเชิงลึกได้ ดังนั้น การวิจัยครั้งต่อไปควรออกแบบวิธีการวัดและประเมินที่แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดขั้นตอนหรือกระบวนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เช่น การใช้ Think aloud การสัมภาษณ์ เพื่อที่ครูจะได้นำผลการประเมินไปช่วยเหลือนักเรียนในการสร้างองค์ประกอบด้านหลักฐานและการให้เหตุผลได้ตรงจุดมากยิ่งขึ้น

2.3 ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของข้อคำถาม และลักษณะของข้อมูลประกอบสถานการณ์ว่า ลักษณะข้อคำถาม และลักษณะของข้อมูลประกอบสถานการณ์แบบใด ที่ช่วยกระตุ้นหรือส่งเสริมให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาสื่อประกอบการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในอนาคตได้

References

- McNeill, K. L., & Krajcik, J. S. (2008). Assessing middle school students' content knowledge and reasoning through written scientific explanations. In J. Coffey, R. Douglas, & C. Stearns (Eds.), *Assessing science learning: Perspectives from research and practice* (pp. 101–116). NSTA Press.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/13165>
- Tang, K. S. (2015). The PRO instructional strategy in the construction of scientific explanations. *Teaching Science*, 61(4), 14-21.
- Yao, J. X., & Guo, Y. Y. (2018). Validity evidence for a learning progression of scientific explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(2), 299-317.

Translate Thai References

- Aniwatanawong P., & Jantrasri, R. (2019). Evaluating the impact of model-based inquiry with model-evidence link on grade 11 students' scientific explanation of electrolyte and non-electrolyte solutions. *Walailak Journal of Learning Innovations*, 5(1), 65–83. (in Thai)
- Hirio, S., Pitiporntapin, S., Chumnannpuen, P., & Phongpajit, P. (2020). The development of 11th grade students' scientific explanation construction in learning unit of circulatory system using inquiry-based mobile learning. *Proceedings of the 21st National Graduate Research Conference (Online), Khon Kaen University*, 518–528. (in Thai)
- Janto, N., Kijkuakul, S., & Chapoo, S. (2020). The Development of the instruction argumentation using forensic science issue for promoting the scientific explanation ability of grade 10 students on human homeostasis. *Journal of Education and Innovation*, 24(1), 176–187. (in Thai)
- Juthanaruepakij, K., Chanthrakhanthi, E., & Chiangga, S. (2018). Implementing scientific inquiry approaches to develop grade 10th students' scientific explanation in the topic of circular motion. *Proceedings of the 13th RSU National Graduate Research Conference*, 13, 728–740. (in Thai)
- Kamtet, W., Wannagatesiri, T., & Kruea-In, N. (2020). Scientific Explanation Ability Assessment Based on Context-Rich Problems for Biology Student Teachers. *Journal of Education, Prince of Songkla University, Pattani Campus*, 31(3), 45–59. (in Thai)

- Kanjanawasee, S. (2013). *Classical Test Theory* (7th ed.). Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Nimdam, S., Chaowakeratipong, N., & Suwanjinda, D. (2020). The Effects of Inquiry Learning Management Together with Science Writing Heuristic in the Topic of Reaction Rate on Science Learning Achievement and Scientific Explanation of MathayomSuksa V at Small School in Chumphon Campus Area II of Chumphon Province. *Journal of Kasetsart Educational Review*, 35(2), 96 – 109. (in Thai)
- Office of the Basic Education Commission (OBEC). (2017). *Learning Standards and Indicators in Science (revised 2017) according to Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)*. The Agricultural co-operative federation of Thailand Press. (in Thai)
- Promyod, N. (2019). Construction Scientific Explanation through CER (Claim, Evidence, and Reasoning) Learning Process. *IPST Magazine*, 47(219), 11-15. (in Thai)
- Ritcharoon, P. (2021). *Classroom research Techniques*. Chatuporn design. (in Thai)
- Singwee, K. (2020). Guidelines for Science Instructional Management to Promote Ability in Scientific Explanation making of Students in Basic Educational Level. *Journal of Education Mahasarakham University*, 14(3), 18-31. (in Thai)
- Supasatwong, P., & Sangsuwan, A. (2022). The Development of Scientific Explanation Ability with Scientific Model on Electrochemistry of Grade 11 Students Using Model-Based Inquiry Combining with Animation. *Journal of Inclusive and Innovative Education*, 6(3), 101–115. (in Thai)
- Tanang, M. (2019). *The development of scientific explanation ability in chemical equilibrium of grade 11 students using predict observe explain (POE)* [Master's thesis]. Rangsit University. (in Thai)
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2017). PISA 2015 Assessment and Analytical Framework. The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (In Thai)
- Wannathai, P., & Pruekpramool, C. (2021). Comparing the efficiency between ability in constructing scientific explanation restricted – and extended – response subjective test for mathayom suksa 4 students. *Journal of graduate research*, 12(2), 103 - 118. (in Thai)
- Wetworanan, R., Tanak, A., Faikhamta, C. & Sritha, S. (2019). Developing Grade 10 Students' Scientific Explanation Skill using Game-based Inquiry. *Proceedings of the 20th National Graduate Research Conference, Khon Kaen University*, 1664-1674. (in Thai)
- Worakham, P. (2023). *Educational Research* (14th ed.). Taksila press. (in Thai)