การพัฒนาและประเมินความก้าวหน้าในการเรียนรู้สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนผ่านระบบการประเมิน BEAR

ศักรินทร์ อะจิมา* พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ และปัฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง

สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

*E-mail: sakkarin.a@ku.th

รับบทความ: 9 ธันวาคม 2565 แก้ไขบทความ: 3 มีนาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 4 เมษายน 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการพัฒนาและประเมินความก้าวหน้าในการเรียนรู้สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนผ่านระบบการประเมิน BEAR โดยเริ่มต้นด้วยการนำเสนอที่มาและความสำคัญของการพัฒนาสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน นิยามและความสำคัญของความก้าวหน้าในการเรียนรู้ การนำเสนอรูปแบบการประเมินแบบ BEAR และกรณีศึกษาเกี่ยวกับการนำรูปแบบการประเมินแบบ BEAR ไปใช้ในการพัฒนาและประเมินความก้าวหน้าในการเรียนรู้การโต้แย้งซึ่งเป็นหนึ่งในสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน รวมถึงข้อแนะนำในการนำข้อมูลความก้าวหน้าในการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาหลักสูตร การจัดการเรียนการสอน และการประเมิน

คำสำคัญ: ความก้าวหน้าในการเรียนรู้ สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ การประเมินเพื่อการเรียนรู้ ระบบการประเมิน BEAR

Development and Assessment of Learners' Learning Progression for Scientific Competency through BEAR Assessment System

Sakkarin Achimar*, Pongprapan Pongsophon and Pattamaporn Pimthong

Division of Science Education, Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand
*E-mail: sakkarin.a@ku.th

Received: 9 December 2022 Revised: 3 March 2023 Accepted: 4 April 2023

Abstract

This article aims to present the development and assessment of learners' learning progression for scientific competency. It begins with presenting the background and significance of the development of scientific competence of learners. It presents the definition and importance of learning progression, BEAR assessment system and the case study of the application of the BEAR assessment system in the development and evaluation of scientific argumentation, one of components of scientific competency. This article discusses how to apply information from learning progression in curriculum development, teaching, and assessment.

Keywords: Learning progression, Science competency, Assessment for learning, BEAR assessment system

สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ ความก้าวหน้าในการเรียนรู้และระบบการประเมิน BEAR

ในปัจจุบันโลกของเรามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วเป้าหมายสำคัญในการสอนวิทยาศาสตร์คือการพัฒนาให้นักเรียนเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ (scientifically literate person) ด้วยเหตุนี้องค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (OECD) จึงได้จัดตั้งโปรแกรมประเมินสมรรถนะนักเรียนมาตรฐานสากล (Programme for International Student Assessment หรือ PISA) และประเทศไทยได้เข้าร่วมตั้งแต่ปีพ.ศ. 2543 เป็นต้นมา โปรแกรมการประเมินดังกล่าวมุ่งเน้นวัดการรู้วิทยาศาสตร์ซึ่งครอบคลุมความสามารถของนักเรียนในการมีส่วนร่วมกับประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีวิจารณญาณในฐานะพลเมืองที่รู้จักไตร่ตรองและเป็นผู้มีความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งถือว่า ซึ่งความสามารถเหล่านี้จัดเป็นสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ (OECD, 2019) ผลการประเมิน PISA ของประเทศไทยซึ่งเริ่มต้นในปีค.ศ. 2000 และดำเนินการประเมินในทุก ๆ 3 ปีชี้ให้เห็นว่ากาารู้เรื่องด้านวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยมีแนวโน้มลดต่ำลงมาอย่างต่อเนื่อง และมีผลการประเมินของนักเรียนไทยยังคงต่ำกว่า

ค่าเฉลี่ย OECD ทุกครั้ง ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบการศึกษายังไม่สามารถเตรียมความพร้อมให้นักเรียนเป็นพลเมืองที่มีศักยภาพที่จะเป็นทรัพยากรมนุษย์ที่มีคุณภาพในโลกอนาคตที่มีการเปลี่ยนแปลงของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว (Klainin, 2012; The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST], 2018, 2021) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสัดส่วนของนักเรียนไทยที่มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์ในระดับต่าง ๆ พบว่านักเรียนไทยมีระดับความสามารถทางวิทยาศาสตร์ในหลายระดับโดยนักเรียนไทยร้อยละ 56 มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์ระดับ 2 ขึ้นไป หมายถึงนักเรียนสามารถใช้ความรู้ด้านเนื้อหาที่มีความซับซ้อนปานกลางเพื่อระบุประเด็นหรือสร้างคำอธิบายได้ สามารถตีความข้อมูล ออกแบบการทดลองอย่างง่ายในบริบทที่มีข้อจำกัด อย่างไรก็ตามนักเรียนไทยร้อยละ 44 มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าระดับ 2 โดยนักเรียนร้อยละ 31.6 มีความสามารถอยู่ในระดับ 1a หมายถึงนักเรียนสามารถใช้ความรู้ด้านเนื้อหาและกระบวนการเบื้องต้นในชีวิตประจำวันเพื่อรับรู้หรือระบุคำอธิบายของปรากฏการณ์วิทยาศาสตร์อย่างง่ายที่ต้องการการคิดไม่มาก สามารถระบุความสัมพันธ์หรือบอกถึงสาเหตุแบบง่ายได้ นักเรียนไทยร้อยละ 11.6 มีความสามารถอยู่ในระดับ 1b หมายถึงนักเรียนสามารถใช้ความรู้วิทยาศาสตร์เบื้องต้นในชีวิตประจำวันเพื่อนึกถึงปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ในบางแง่มุมที่คุ้ยเคยหรือง่าย ๆ สามารถบอกรูปแบบอย่างง่ายในชุดข้อมูล จำคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ และสามารถทำการทดลองตามวิธีการที่บอกไว้ชัดเจนได้ และนักเรียนร้อยละ 1.3 มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์ไม่ถึงระดับ 1b (Auld *et al*., 2022; IPST, 2018; OECD, 2019)

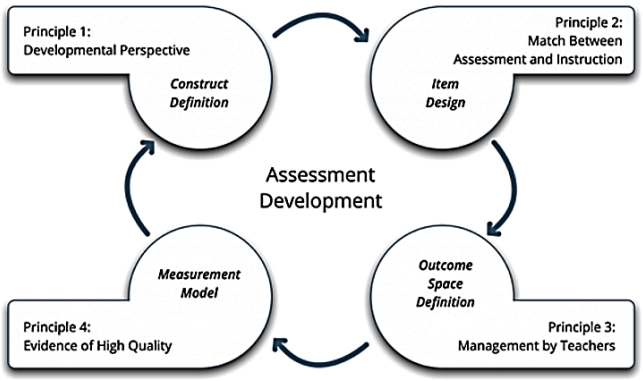
ความก้าวหน้าในการเรียนรู้เป็น 1 ใน 5 แนวทางสำหรับใช้ประเมินความก้าวหน้าของนักเรียนเนื่องจากข้อมูลที่ได้สามารถเป็นใช้เป็นแนวทางในออกแบบการจัดการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับวิถีในการเรียนรู้ (learning pathway) ของนักเรียน (Duncan and Hmelo-Silver, 2009; Duschl *et al*., 2007) Duschl *et al*. (2007) อธิบายการเรียนรู้ของนักเรียนในหนังสือเรื่อง Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K–8 ใจความว่าการเรียนรู้ของนักเรียนจะเริ่มต้นจากระดับแนวคิดที่มีความซับซ้อนน้อย (lower anchor) ไปยังระดับความรู้ระดับกลาง (intermediate level) และระดับสูง (upper anchor) โดยเนื้อหาที่มีความซับซ้อนน้อยเป็นพื้นฐานให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ในเนื้อหาที่มีความซับซ้อนในระดับที่สูงขึ้นได้ โดยเป้าหมายของการศึกษาเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้คือเพื่อพัฒนานักเรียนจากความสามารถในระดับเริ่มต้น (novice) ให้มีความสามารถใกล้เคียงระดับเชี่ยวชาญ (expert) ให้มากที่สุด ดังนั้นครูจึงเป็นสื่อกลางที่มีความสำคัญในการสนับสนุน (scaffold) ให้นักเรียนสามารถพัฒนาความสามารถของตนเองให้สูงขึ้นได้ (Duncan and Hmelo–Silver, 2009; Lehrer and Schauble, 2015) อย่างไรก็ตามหากนักเรียนมีความก้าวหน้าในการเรียนรู้ในระดับล่าง (lower anchor) ในมุมมองของวิทยาศาสตร์ศึกษาอาจไม่ได้หมายความว่านักเรียนไม่มีความเข้าใจในเรื่องนั้น ๆ แต่อาจหมายถึงนักเรียนอาจมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหรือมีความเข้าใจที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งต้องได้รับการแก้ไขจึงจะสามารถพัฒนาความสามารถให้สูงขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้ความก้าวหน้าในการเรียนรู้จึงเปรียบ-

เสมือนแผนที่การเรียนรู้ของนักเรียนที่ครูสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนที่ตอบสนองต่อความสามารถของนักเรียน (Alonzo, 2011, 2018) เช่นเดียวกับสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ซึ่งแบ่งออกเป็นหลายระดับความสามารถ การที่นักเรียนมีระดับความสามารถที่สูงขึ้นได้นักเรียนจำเป็นต้องมีความสามารถในระดับที่ต่ำกว่าก่อน ด้วยเหตุนี้การประเมินความก้าวหน้าของนักเรียนโดยใช้ความก้าวหน้าในการเรียนรู้จะทำให้ครูได้เห็นระดับความสามารถของนักเรียนรายบุคคล ณ ขณะนั้นและออกแบบการจัดการเรียนรู้แบบมุ่งเป้าซึ่งเป็นการสอนที่ออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการ เป้าหมาย และระดับความสามารถของนักเรียน ณ ขณะนั้น (Achieve, 2015; Corcoran *et al*., 2009) ดังนั้นการพัฒนาและประเมินความก้าวหน้าในการเรียนรู้สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีระบบการประเมินที่ทำให้เกิดความสอดคล้องระหว่าง เป้าหมายการเรียนรู้ การสอนและการประเมิน อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยระบุว่าการให้ข้อมูลป้อนกลับกับนักเรียนของครูยังไม่สามารถทำให้นักเรียนเกิดการพัฒนาระดับความสามารถในการเรียนรู้ได้ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเครื่องมือที่ครูใช้ในการประเมินนักเรียนมักเป็นข้อถามที่วัดว่านักเรียนเข้าใจถูกหรือเข้าใจผิดแต่ไม่ได้ให้นักเรียนระบุเหตุผลในการตอบคำถามข้อนั้น ๆ ส่งผลให้ครูไม่สามารถตรวจสอบ ตีความ และให้ข้อมูลป้อนกลับที่ตอบสนองต่อระดับความสามารถของนักเรียนได้ตรงจุด (Alozo, 2018) ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่ครูต้องมีความเข้าใจที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับกระบวนการคิดและเส้นทางการเรียนรู้ของนักเรียน ไม่ใช่แค่เพียงการรู้ว่านักเรียนตอบถูกหรือผิด แต่ต้องรู้ว่าจะพัฒนานักเรียนที่มีกระบวนการคิดที่แตกต่างกันในระดับใด และจะปรับปรุงการสอนเพื่อยกระดับความสามารถในการเรียนรู้ที่สูงขึ้นได้อย่างไร (Gotwals and Birmingham, 2016; Heritage *et al*., 2009; Otero, 2006; Ruiz–Primo and Furtak, 2007; Tom Gallacher, 2019)

ระบบการประเมิน The BEAR Assessment System (BAS) (The BEAR Center, 2009) เป็นระบบการประเมินที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้และทำให้เกิดความสอดคล้องระหว่างเป้าหมายการเรียนรู้ การสอนและการประเมิน เนื่องจากระบบการประเมินแบบ BEAR มีพื้นฐานมาจาก 4 หลักการ ได้แก่ 1) การประเมินควรมีพื้นฐานมามุมมองของพัฒนาการในการเรียนรู้ของนักเรียน 2) สิ่งที่สอนกับสิ่งที่ประเมินต้องสอดคล้องกัน 3) ครูคือผู้ประเมินและใช้ข้อมูลจากการประเมิน และ 4) การประเมินในชั้นเรียนต้องถูกต้องและเชื่อถือได้ ระบบการประเมินดังกล่าวประกอบด้วย 4 เสาหลัก (building blocks) ได้แก่ 1) แผนที่โครงสร้าง (construct maps) 2) การออกแบบข้อสอบ (the items design) 3) การกำหนดแบบแผนของการตอบสนอง (the outcome space) และ 4) โมเดลการวัด (measurement model) โดยแต่ละ building block มีลักษณะเป็นวงจร (Wilson, 2009) ดังภาพที่ 1 ระบบการประเมินนี้ช่วยทำให้กรอบของความก้าวหน้าในการพัฒนาสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีความเป็นรูปธรรมมากขึ้นเนื่องจากจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับแบบจำลองเส้นทางการเรียนรู้ของนักเรียนและโมเดลการวัดที่เหมาะสมและสอดคล้องกับเส้นทางการเรียนรู้ นอกจากนี้ระบบการประเมินดังกล่าวยังสอดคล้องกับสามเหลี่ยมของการประเมิน (assessment triangle) ซึ่งพัฒนาโดย National Research Council [NRC] (2001) ตีพิมพ์

ในรายงานเรื่อง Knowing what students know ใจความว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้ประเมินความสามารถของนักเรียน (observation) ต้องสอดคล้องกับความรู้และกระบวนการคิดของนักเรียน (cognition) ซึ่งส่งผลต่อการจัดการเรียนรู้ การให้คะแนน และการตีความในชิ้นงานของนักเรียน (interpretation) ให้ไปในทิศทางเดียวกันกับกิจกรรมที่ใช้ประเมิน ความรู้และกระบวนการคิดของนักเรียน

ด้วยเหตุนี้บทความนี้จึงมุ่งเน้นการนำเสนอแนวทางการพัฒนาและประเมินความก้าวหน้าในการเรียนรู้สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนผ่านระบบการประเมิน BEAR



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง 4 Building block และหลักการของ BAS (The BEAR Center, 2009)

ความก้าวหน้าในการเรียนรู้สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ตามแนวทางของ สสวท. ซึ่งดัดแปลงมาจากโปรแกรมการสอบ PISA สามารถแบ่งออกเป็น 3 ด้านได้แก่ 1) การอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ 2) การประเมินและออกแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และ 3) การแปลความหมายข้อมูลและการใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์ (IPST, 2020; OECD, 2019) ในการพัฒนาสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 3 ด้านของผู้เรียนจำเป็นจะต้องคำนึงถึงระดับความสามารถของผู้เรียน เนื่องจากระดับความสามารถของสมรรถนะที่แตกต่างกันจะมีความซับซ้อนของบริบทและสถานการณ์ที่ใช้ประเมินแตกต่างกัน ในที่นี้จะยกตัวอย่างสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์โดย สสวท.ได้กำหนดระดับความสามารถของนักเรียนออกเป็น 6 ระดับ โดยแต่ละระดับมีความต่อเนื่องกันดังนี้

ระดับที่ 1 สามารถบอกข้อเท็จจริงที่ได้จากการสังเกตสถานการณ์ในชีวิตประจำวันโดยใช้คำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์

ระดับที่ 2 สามารถบอกความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

ระดับที่ 3 สามารถใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนในการสร้างคำอธิบายเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์นั้นได้อย่างสมเหตุสมผล

ระดับที่ 4 สามารถใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนหรือเป็นนามธรรมในการสร้าง

คำอธิบายเหตุการณ์ที่ไม่คุ้นเคย

ระดับที่ 5 สามารถใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนและเป็นนามธรรมในการสร้างคำอธิบายปรากฏการณ์ที่ไม่คุ้นเคย

ระดับที่ 6 สามารถใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ ชีวภาพ โลกและอวกาศในระดับบูรณาการเพื่อเสนอสมมติฐานเชิงอธิบายต่อปรากฏการณ์ใหม่ ในการพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคต

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่าการที่นักเรียนจะมีสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ในระดับสูงได้นักเรียนจำเป็นต้องมีความสามารถในระดับก่อนหน้าเสียก่อน ตัวอย่างเช่น การที่นักเรียนจะสามารถใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์เพื่อเสนอสมมติฐานต่อปรากฏการณ์ใหม่และพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคตได้ ซึ่งเป็นความสามารถในระดับที่ 6 นักเรียนต้องสามารถใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างคำอธิบายปรากฏการณ์ที่ไม่คุ้นเคยซึ่งเป็นความสามารถในระดับที่ 5 เสียก่อน ด้วยเหตุนี้การประเมินความก้าวหน้าของนักเรียนโดยใช้ความก้าวหน้าในการเรียนรู้จะทำให้ครูได้เห็นระดับความสามารถของนักเรียนรายบุคคล ณ ขณะนั้น และออกแบบการจัดการเรียนรู้แบบมุ่งเป้า ซึ่งเป็นการสอนที่ออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการ เป้าหมาย และระดับความสามารถของนักเรียน (Achieve, 2015; Corcoran *et al*., 2009)

ระบบการประเมินแบบ BEAR (The BEAR Assessment System)

ในปี ค.ศ. 2009 The BEAR Center ได้เผยแพร่ระบบการประเมินชื่อว่า The BEAR Assessment System (BAS) โดยเป็นระบบการประเมินที่บูรณาการระหว่างชิ้นงานของนักเรียนกับพัฒนาการทางความคิดของนักเรียนและเป้าหมายของหลักสูตรประกอบด้วย 4 เสาหลัก ได้แก่ 1) แผนที่โครงสร้าง 2) การออกแบบข้อสอบ 3) รูปแบบการตอบสนอง และ 4) โมเดลการวัด โดยแต่ละเสาหลักมีลักษณะเป็นวงจร (Wilson, 2009) มีรายละเอียดดังนี้

1) **แผนที่โครงสร้าง** เป็นขั้นตอนในการสร้างสมมติฐานความก้าวหน้าในการเรียนรู้ (hypothetical construct map) ของนักเรียนที่มีคำอธิบายเส้นทางการเรียนรู้ในเนื้อหาหนึ่ง โดยแบ่งเป็นระดับบนซึ่งเป็นเป้าหมายสูงสุดที่หลักสูตรได้กำหนดให้นักเรียนแสดงความสามารถนั้นได้เมื่อเรียนจนจบหลักสูตร ซึ่งมักจะเป็นระดับที่มีความซับซ้อนของเนื้อหามากที่สุดและลดระดับความซับซ้อนลงมาเรื่อย ๆ จนถึงความคิดระดับล่างซึ่งจะมีความซับซ้อนของเนื้อหาน้อยที่สุด (Draney, 2009; Kongkoey *et al*., 2022)

2) **การออกแบบข้อสอบ** เป็นขั้นตอนในการออกแบบและสร้างเครื่องมือเพื่อสำรวจความเข้าใจในเนื้อหาของนักเรียนในเรื่องนั้น ๆ โดยข้อคำถามถูกออกแบบมาให้วัดผลการเรียนรู้ตามแผนที่โครงสร้างเชิงสันนิษฐาน

3) **การกำหนดแบบแผนของการตอบสนอง (the outcome space)** เป็นขั้นตอนในการกำหนดแบบแผนตอบสนองข้อสอบของผู้เรียนทั้งหมดที่สามารถเป็นไปได้ และกำหนดค่าคะแนน (scoring) ของผลลัพธ์ที่ผู้เรียนให้คำตอบ

4) **โมเดลการวัด** เป็นขั้นตอนในการตรวจสอบความตรง (validation) ของ construct map ที่สร้างขึ้น โดยใช้การจำลองแบบ Rasch (Rasch model) และนำเสนอออกมาในรูปของ Wright map การตรวจสอบโดย Wright map เป็น

การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างโดยตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืน (fit) ระหว่างแผนที่โครงสร้างเชิงสันนิษฐานในขั้นตอนที่ 1 กับข้อมูลเชิงประจักษ์ (คำตอบของนักเรียน) แสดงค่าที่ประมาณได้ (parameters) ได้แก่ ค่าความยากข้อสอบ (item difficulty) และความสามารถของนักเรียน (student ability) โดยจะแสดงผลในหน่วย logits (log odd unit) ช่วยให้ตีความความสามารถของนักเรียนในมุมมองของประสิทธิภาพเฉลี่ย ตัวแทนของกลุ่มที่ศึกษา หรือใช้เป็นข้อมูลในการวินิจฉัยผู้เรียนเป็นรายบุคคลได้ (Todd *et al*., 2017; Wilson, 2009)

ด้วยเหตุนี้การใช้ระบบการประเมินแบบ BEAR เป็นแนวทางในการประเมินความก้าวหน้าในการเรียนรู้เพื่อพัฒนาสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจะช่วยทำให้กรอบของความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของนักเรียนมีความเป็นรูปธรรมมากขึ้น

แนวทางการนำระบบการประเมินแบบ BEAR ไปใช้พัฒนาและประเมินสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน: กรณีศึกษาการพัฒนาสมรรถนะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์

ในการนำเสนอแนวทางการนำระบบการประเมินแบบ BEAR มาใช้พัฒนาสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนผู้เขียนนำตัวอย่างมาจากงานวิจัยของ Osborne *et al*. (2016) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของนักเรียนในสมรรถนะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์โดยใช้ระบบการประเมินแบบ BEAR เป็นแนวทางการในศึกษาความก้าวหน้าของนักเรียน Osborne *et al*. (2016) ได้ศึกษาความก้าวหน้าในการเรียนรู้โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: แผนที่โครงสร้าง

การกำหนดคำอธิบายของแผนที่โครงสร้างในระดับบนและระดับล่างสามารถพิจารณาจากตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้ในหลักสูตรแกนกลางของชาติ หลักสูตรสถานศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับแนวคิดคลาดเคลื่อนในเนื้อหานั้น ๆ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น

งานวิจัยของ Osborne *et al*. (2016) ที่วิเคราะห์องค์ประกอบในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ของ Toulmin (1958) จากนั้นนำองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบมาแบ่งระดับความสามารถโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกล่าวอ้าง (claim) และหลักฐานย่อย ๆ (pieces of evidence) เป็นแนวทางในการแบ่งระดับ โดยแบ่งสมรรถนะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 2 ส่วนคือ การสร้างข้อโต้แย้ง (constructing argument) และการวิพากษ์ข้อโต้แย้ง (critiquing argument) เนื่องจากในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์นักเรียนจะต้องสามารถสร้างข้อโต้แย้งที่ประกอบด้วย ข้อกล่าวอ้าง (claim) ที่มีเหตุผล (reasoning) และหลักฐานสนับสนุน (evidence) ที่สอดคล้องกับข้อกล่าวอ้างของตนเองได้ นอกจากนี้นักเรียนยังต้องสามารถวิพากษ์ข้อโต้แย้งอื่นเพื่อตัดสิน (justification) ความน่าเชื่อถือของเหตุผลและหลักฐานสนับสนุนของข้อโต้แย้งที่ตรงข้ามได้ (Chen *et al*., 2016) ทั้งนี้ในสมรรถนะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์บางระดับอาจต้องอาศัยความสามารถทั้ง 2 ส่วน เช่น ความสามารถในระดับ 1d ที่ต้องอาศัยการสร้างโต้แย้งที่ต่างออกไป และวิพากษ์ข้อโต้แย้งที่สร้างขึ้นว่ามีความไม่น่าเชื่อถือหรือน่าเชื่อถืออย่างไร ดังในตาราง 1

ขั้นตอนที่ 2: การออกแบบข้อสอบ

ในงานวิจัยของ Osborne *et al*. (2016)

ตาราง 1 ความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของสมรรถนะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์

ระดับ	การสร้าง (constructing)	การวิพากษ์ (critiquing)	รายละเอียด
0	–	–	ไม่มีหลักฐานสนับสนุนข้อโต้แย้งหรือไม่ระบุข้อกล่าวอ้าง
0a	สร้างข้อกล่าวอ้าง	–	นักเรียนมีการระบุข้อกล่าวอ้างที่เกี่ยวข้อง
0b	–	ระบุข้อกล่าวอ้าง	นักเรียนสามารถระบุข้อกล่าวอ้างของผู้อื่นได้
0c	ให้หลักฐานสนับสนุน	–	นักเรียนสามารถให้หลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างของตนเองได้
0d	–	ระบุหลักฐาน	นักเรียนสามารถระบุหลักฐานที่ผู้อื่นใช้สนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้
1a	สร้างเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง	–	นักเรียนสามารถให้เหตุผลสนับสนุนที่สัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างของตนเองได้
1b	–	ระบุเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง	นักเรียนสามารถระบุเหตุผลสนับสนุนที่ผู้อื่นใช้สนับสนุนข้อกล่าวอ้างของตนเองได้
1c	สร้างข้อโต้แย้งที่สมบูรณ์	–	นักเรียนสามารถสร้างข้อกล่าวอ้าง เลือกหลักฐานสนับสนุน และให้เหตุผลสนับสนุนที่สัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างของตนเองได้
1d	ให้ข้อโต้แย้งที่ต่างออกไปได้		นักเรียนสามารถให้ข้อโต้แย้งที่ตรงข้ามกับข้อโต้แย้งของตนเองได้
2a	วิพากษ์ความน่าเชื่อถือของข้อโต้แย้งที่ต่างออกไปได้		นักเรียนสามารถตัดสินได้ว่าข้อกล่าวอ้างของฝ่ายตรงข้ามน่าเชื่อถือหรือไม่ พร้อมให้เหตุผลว่าข้อกล่าวอ้างนั้นมีข้อบกพร่องอย่างไร
2b	สร้างข้อโต้แย้งเปรียบเทียบทางเดียวได้	–	นักเรียนสามารถตัดสินว่าข้อโต้แย้งใดน่าเชื่อถือแต่ไม่สามารถให้เหตุผลสนับสนุนว่าเพราะเหตุใดข้อโต้แย้งของอีกฝ่ายจึงน่าเชื่อถือน้อยกว่า
2c	สร้างข้อโต้แย้งเปรียบเทียบแบบคู่ขนานได้		นักเรียนสามารถตัดสินว่าข้อโต้แย้งใดน่าเชื่อถือและให้เหตุผลสนับสนุนได้ว่าข้อโต้แย้งทั้งสองมีจุดแข็งและจุดอ่อนอย่างไร
2d	สร้างข้อโต้แย้งที่ต่างออกไปและลงข้อสรุปว่าเพราะเหตุใดข้อกล่าวอ้างของตนจึงถูกต้องได้		นักเรียนสามารถสร้างข้อโต้แย้งใหม่ที่น่าเชื่อถือกว่าข้อโต้แย้งก่อนหน้า

ได้พัฒนาข้อคำถามเพื่อศึกษาความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของนักเรียนโดยใช้เนื้อหาเรื่องสมบัติของสาร โดยออกแบบข้อคำถามในรูปแบบของการสอบข้อเขียน (paper and pencil format) ที่ประกอบด้วยสถานการณ์และข้อคำถามที่ประเมินองค์ประกอบของสมรรถนะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชุดคำถามประกอบด้วย 3 ส่วนที่เหมือนกันคือ ส่วนที่ 1 สถานการณ์/ข้อคำถามทางวิทยาศาสตร์ ส่วนที่ 2 ข้อคำถามที่ใช้ประเมินการให้หลักฐานสนับสนุน และส่วนที่ 3

ข้อคำถามที่ใช้ประเมินข้อโต้แย้งที่ต่างออกไป ตัวอย่างชุดคำถามดังในภาพที่ 2

หลังจากนั้น Osborne *et al*. (2016) ได้นำชุดคำถามที่ออกแบบให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ให้ข้อเสนอแนะ และนำชุดคำถามที่ออกแบบไปทดลองใช้ (pilot study) กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 803 คน และสุ่มนักเรียนเพื่อสัมภาษณ์ด้วยเทคนิค

ตัวอย่างชุดคำถาม

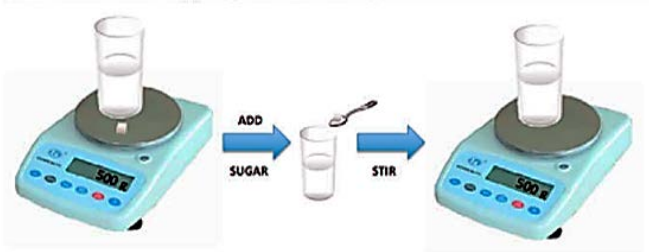
ส่วนที่ 1 สถานการณ์/ข้อคำถามทางวิทยาศาสตร์

นักเรียน 2 คนเทน้ำตาลลงในแก้วที่มีน้ำร้อน นักเรียนทั้ง 2 คนสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

1) หลังจากที่เทน้ำตาลลงไปในน้ำร้อนและคนน้ำตาลให้เข้ากับน้ำร้อนพบว่าน้ำตาลหายไป

2) หลังจากการคน นักเรียนทั้ง 2 คนได้ชิมน้ำและพบว่าน้ำมีรสหวาน

3) หลังจากการคน น้ำหนักของน้ำก่อนและหลังเทน้ำตาลลงไปมีค่าเท่ากัน



หลังจากนั้นครูได้ถามนักเรียนทั้ง 2 คนว่า “นักเรียนคิดว่าน้ำตาลยังคงอยู่ในน้ำร้อนหรือไม่”

นักเรียนคนที่ 1 ตอบว่า “ฉันคิดว่าน้ำตาลได้สลายไป ไม่อยู่ในน้ำร้อน”

นักเรียนคนที่ 2 ตอบว่า “ฉันคิดว่าน้ำตาลยังคงอยู่ในน้ำร้อน”

ส่วนที่ 2 ข้อคำถาม

A. ผลการสังเกตในส่วนที่ 1 ในข้อใดสอดคล้องกับคำตอบของนักเรียนคนที่ 2
(ประเมินหลักฐานสนับสนุน)

B. ผลการสังเกตจากส่วนที่ 1 ที่นักเรียนเลือกสนับสนุนคำตอบของนักเรียนคนที่ 2 อย่างไร
(ประเมินหลักฐานสนับสนุน)

C. ผลการสังเกตในส่วนที่ 1 ในข้อใดสอดคล้องกับคำตอบของนักเรียนคนที่ 1 มากที่สุด
(ประเมินหลักฐานสนับสนุน)
ผลการสังเกตในส่วนที่ 1 สนับสนุนคำตอบของนักเรียนคนที่ 1 ได้ดีกว่าอีก 2 ผลการสังเกตอย่างไร
(ประเมินหลักฐานสนับสนุน)
เพราะเหตุใดผลการสังเกตอีก 2 ข้อจึงไม่สามารถใช้สนับสนุนคำตอบของนักเรียนคนที่ 1 ได้
(ประเมินหลักฐานสนับสนุนและข้อโต้แย้งที่แตกต่างกันที่เกี่ยวข้องกับคำถาม)

D. นักเรียนเห็นด้วยกับนักเรียนคนใด เพราะเหตุใด และเพราะเหตุใดนักเรียนจึงไม่เห็นด้วยกับนักเรียนอีกคน
(ประเมินหลักฐานสนับสนุนและข้อโต้แย้งที่แตกต่างกันที่เกี่ยวข้องกับคำถาม)

ภาพที่ 2 ตัวอย่างชุดคำถามที่ใช้ศึกษาความก้าวหน้าในการเรียนรู้สมรรถนะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ในงานวิจัยของ Osborne *et al*. (2016)

การคิดออกเสียง (think aloud) เพิ่มเติมจำนวน 16 คน (นักเรียนหญิง 8 คนและนักเรียนชาย 8 คน) โดยข้อมูลจากการสัมภาษณ์จะนำไปใช้ปรับปรุงข้อคำถามให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จากนั้นนำไปใช้จริงกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 119 คนและนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 159 คน และสุ่มนักเรียนเพื่อสัมภาษณ์ด้วยเทคนิคการคิดออกเสียง เพิ่มเติมจำนวน 15 คน

อย่างไรก็ตามข้อคำถามที่ออกแบบในขั้นตอนนี้สามารถทำได้หลากหลายวิธีโดยพิจารณาให้เหมาะสมกับลักษณะของสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ที่ต้องการประเมิน เช่น แบบวัดที่เป็นข้อสอบแบบเขียนอธิบายคำตอบ (constructed response) คำถามปรนัยแบบหลายระดับ (ordered multiple–choice) ข้อสอบแบบตัวเลือก 2 ลำดับขั้น (two–tier test) แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ข้อคำถามอาจมาจากงานวิจัยที่มีผู้เคยศึกษาอยู่แล้วหรือเป็นข้อคำถามที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นเอง (Jin *et al*., 2019; Kongkoey *et al*., 2022; Todd *et al*., 2017)

ขั้นตอนที่ 3: การกำหนดแบบแผนการตอบสนอง

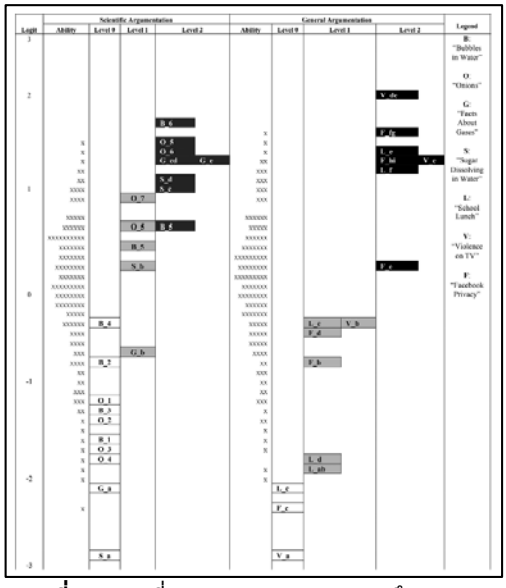
Osborne *et al*. (2016) ได้ระบุว่าขั้นตอนที่สำคัญหลังจากที่นำชุดคำถามที่ออกแบบใช้จริงแล้วคือการสร้างเกณฑ์การประเมินคำตอบ (scoring) และหาค่าความเชื่อมั่นระหว่างผู้ประเมินแต่ละคน (inter–rater reliability) ผู้ประเมินต้องประเมินคำตอบของนักเรียนคนเดียวกันด้วยเกณฑ์เดียวกัน จากนั้นนำผลการตรวจมาเปรียบเทียบกัน หากผลการประเมินคำตอบสอดคล้องกันน้อย ผู้ประเมินต้องพูดคุยเพื่อทำความเข้าใจและปรับปรุงเกณฑ์การตรวจให้ชัดเจนมากขึ้นจนกว่าผลการประเมินคำตอบของผู้ประเมินแต่ละคนมีความสอดคล้องกันในระดับสูง ในขั้นตอนนี้ Osborne *et al*. (2016) ได้ดำเนินการอยู่หลายครั้งจนความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินมีค่า 0.74 ซึ่งอยู่ในระดับสูง (Pasunon, 2016) โดย Osborne *et al*. (2016) ได้นำเสนอตัวอย่างของเกณฑ์การให้คะแนนซึ่งเป็นการให้คะแนนการตอบของนักเรียนเป็นข้อมูลหลายระดับ (polytomous data) คือมีคะแนนมากกว่า 2 ค่า ได้แก่ 0 คะแนน 1 คะแนน และ 2 คะแนน ดังในตาราง 2

ขั้นตอนที่ 4: โมเดลการวัด

ขั้นตอนนี้ Osborne *et al*. (2016) นำคะแนนจากการประเมินคำตอบของนักเรียนในขั้นตอนที่ 3 มาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบราส์ช (Rasch analysis) ซึ่งเป็นตัวแบบชนิดหนึ่งของทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ ซึ่งเป็นทฤษฎีการทดสอบแนวใหม่ (modern test theory: MTT) โดยเป็นทฤษฎีที่มีการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของแต่ละบุคคล และมีการกำหนดหน่วยเป็นลอจิท (log odd unit [Logit]) ที่ใช้ในการบอกความแตกต่างระหว่างระดับความสามารถของตนเอง (person ability [B]) และระดับความยากของข้อสอบ (item difficulty [D]) สามารถแสดงค่าที่ได้ออกมาในรูปแบบแผนที่ของ Wright (Wright map) เป็นภาพแสดงการเรียนรู้ของนักเรียนเป็นรายบุคคล (Julia *et al*., 2018; Linacre, 2002; Wright, 1977) โดยโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์มีหลากหลาย เช่น โปรแกรม R โดยใช้ package TAM โปรแกรม *ConQuest* (Langbeheim *et al*., 2022; Osborne *et al*., 2016) Osborne *et al*. (2016) ได้ใช้โปรแกรม *ConQuest* ในการวิเคราะห์ได้ผลการวิเคราะห์ดังในภาพที่ 3

ตาราง 2 ตัวอย่างเกณฑ์การให้คะแนนคำถามข้อ D (สมรรถนะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ระดับ 1C) จากข้อคำถาม “นักเรียนเห็นด้วยกับนักเรียนคนใด เพราะเหตุใด และเพราะเหตุใดนักเรียนจึงไม่เห็นด้วยกับนักเรียนอีกคน”

คะแนน	รายละเอียด	ตัวอย่างคำตอบ
2	นักเรียนเลือกนักเรียนคนที่ 2 และสามารถระบุและให้เหตุผลหลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง	- ความหวานมาจากน้ำตาล แสดงให้เห็นว่าน้ำตาลยังคงอยู่ในน้ำ - หากน้ำตาลหายไป น้ำจะไม่มีรสหวาน - น้ำเปล่าไม่มีรสชาติ หากชิมน้ำแล้วมีรสหวานแสดงว่าน้ำตาลอยู่ในน้ำ
1	นักเรียนเลือกนักเรียนคนที่ 2 แต่ไม่สามารถระบุและให้เหตุผลหลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง “นักเรียนตอบ นักเรียนคนที่ 2 เท่านั้น”	- ฉันเห็นด้วยกับคำตอบของนักเรียนคนที่ 2 มาก ๆ - นักเรียนคนที่ 2 ให้ข้อกล่าวอ้างว่าน้ำตาลอยู่ในน้ำ ส่วนนักเรียนคนที่ 1 ไม่ได้ตอบ
0	นักเรียนไม่ได้เลือกนักเรียนคนที่ 2	ฉันเห็นด้วยกับคำตอบของทั้ง 2 คน นักเรียนคนที่ 1 ตอบว่าน้ำตาลไม่ได้อยู่ในน้ำอาจเนื่องจากน้ำตาลไม่สามารถละลายได้ ส่วนนักเรียนคนที่ 2 ตอบว่าน้ำตาลอยู่ในน้ำเพราะน้ำมีรสหวาน



ภาพที่ 3 แผนที่ของ Wright จากการศึกษาของ Osborne *et al*. (2016)

จากภาพที่ 3 แผนที่ของ Wright แสดงให้เห็นระดับความยากของข้อคำถามและระดับความสามารถของนักเรียนโดย X แสดงถึงระดับความสามารถของนักเรียน สีของกรอบแสดงระดับความยากของข้อสอบที่สอดคล้องกับระดับความสามารถของนักเรียน กรอบสีขาวแทนระดับ 0 กรอบสีเทาแทนระดับ 1 กรอบสีดำแทนระดับ 2 ตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่แทนชุดคำถาม และตัวอักษรพิมพ์เล็กหรือตัวเลขแทนข้อคำถามย่อยในแต่ละชุดคำถาม ผลการศึกษาในภาพที่ 3 แสดงให้เห็นข้อมูลใน 2 มิติคือ 1) การกระจายตัวของค่าความยากของข้อสอบแต่ละข้อโดยพบว่าข้อสอบมีการกระจายตัวของค่าความยากในหลายระดับ 2) นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับสมรรถนะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับ 0 ค่อนไปทาง 1 ซึ่งอาจหมายความว่านักเรียนระดับชั้นมัธยม-

ศึกษาปีที่ 2 ไม่สามารถบรรลุสมรรถนะในการโต้แย้งในระดับ 2 ได้

การใช้ประโยชน์จากความก้าวหน้าในการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและประเมินสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์

ความก้าวหน้าในการเรียนรู้ที่ได้จากระบบการประเมินแบบ BEAR ให้ผู้สอนได้เห็นเส้นทางความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของนักเรียนรายบุคคลอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น ผู้สอนสามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ได้ดังนี้

1) ใช้ในการพัฒนาหลักสูตรและการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากระบบการประเมินแบบ BEAR จะทำให้ผู้สอนได้เห็นระดับความสามารถของนักเรียนในภาพรวมและความสามารถของนักเรียนรายบุคคลทำให้สามารถนำไปวางแผนการจัดหลักสูตรและการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับระดับความสามารถของนักเรียนเพื่อพัฒนานักเรียนให้มีความสามารถในระดับที่ผู้สอนตั้งเป้าหมายไว้ได้ (Corcoran *et al*., 2009; Henderson *et al*., 2015; Songer *et al*., 2009) ตัวอย่างเช่น ผลการศึกษาของ Osborne *et al*. (2016) ที่แสดงให้เห็นถึงระดับสมรรถนะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาส่วนใหญ่ค่อนไปทางระดับ 1 แต่ยังไม่มีนักเรียนที่สามารถไปถึงระดับ 2 ได้ดังนั้นการออกแบบการสอนแบบมุ่งเป้าควรต้องจัดการเรียนการสอนโดยปรับพื้นฐานให้นักเรียนสามารถสร้างข้อโต้แย้งที่สมบูรณ์ของตนเองให้ได้ซึ่งเป็นความสามารถในระดับที่ 1 แต่ในขณะเดียวกันครูควรเพิ่มความซับซ้อนของสถานการณ์การโต้แย้งให้มากขึ้นโดยฝึกฝนให้นักเรียนสร้างข้อโต้แย้งที่ต่างออกไปและวิพากษ์ความน่าเชื่อถือของข้อโต้แย้งอื่น ๆ เพื่อพัฒนานักเรียนให้มีความสามารถอยู่ในระดับ 2

2) ใช้ในการประเมินเนื่องจากข้อคำถามที่ได้จากระบบการประเมินแบบ BEAR ผ่านวงจรการทดลองใช้และปรับปรุงซ้ำ ๆ และตรวจสอบความถูกต้อง (validate) ด้วยสถิติทำให้ได้ข้อคำถามที่สามารถประเมินสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ได้ตรงตามระดับความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน นอกจากนี้เกณฑ์ในการประเมินของข้อคำถามยังมีการยืนยันความถูกต้องด้วยค่าความเชื่อมั่นระหว่างผู้ประเมินทำให้เกณฑ์ที่ใช้มีการปรับปรุงให้ชัดเจนและถูกต้องมากขึ้นทำให้ครูสามารถนำไปใช้ในการประเมินสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้อย่างแม่นยำ (Mark, 2005; Osborne *et al*., 2016)

การประยุกต์ใช้ข้อมูลข้างต้นเป็นประโยชน์ต่อครูในการออกแบบการสอนแบบกำหนดเป้าหมาย (targeted instruction) ซึ่งเป็นการสอนที่มีพื้นฐานมาจากการใช้หลักฐานการเรียนรู้ของนักเรียนเพื่อกำหนดเป้าหมายและกลยุทธ์ในการสอนเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน ซึ่งสอดคล้องกับ ที่กล่าวว่าการจัดการเรียนการสอนในห้องเรียนควรเป็นการเรียนรู้อย่างประจักษ์ชัด (visible learning) กล่าวคือผู้เรียนควรรู้ว่าตอนนี้ตนเองมีความสามารถอยู่ในระดับใด ต้องการพัฒนาตนเองให้อยู่ในระดับใด และจะทำอย่างไรจึงจะทำให้สำเร็จตามเป้าหมาย และครูควรเป็นผู้สนับสนุนโดยการจัดการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับระดับความสามารถและความต้องการของผู้เรียน รวมถึงควรเป็นผู้ให้ข้อมูลป้อนกลับที่มีประสิทธิภาพให้กับนักเรียน (Equitable Education Fund, 2021; Chomeya, 2019)

สรุป

การพัฒนาและประเมินความก้าวหน้าในการเรียนรู้สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนสามารถทำได้หลายวิธี ในบทความนี้เป็นการนำเสนอระบบการประเมินแบบ BEAR ในการประเมินสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนจากงานวิจัยของ Osborne *et al*. (2016) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) แผนที่โครงสร้าง 2) การออกแบบข้อสอบ 3) การกำหนดแบบแผนการตอบสนอง และ 4) โมเดลการวัด ระบบการประเมินนี้มีประโยชน์ต่อการพัฒนาหลักสูตรการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ใช้การกำหนดเป้าหมายการจัดการเรียนรู้หรือสมรรถนะวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนควรรู้ ซึ่งทำให้เกิดการเรียนรู้อย่างประจักษ์ชัด และทำให้ผู้เรียนทราบว่าตนเองมีความรู้อยู่ในระดับใด และสามารถพัฒนาตนเองโดยมีครูเป็นผู้สนับสนุนให้ข้อมูลป้อนกลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้เกิดความสอดคล้องระหว่างหลักสูตรการสอนและการประเมิน

เอกสารอ้างอิง

Achieve, I. (2015). **The Role of Learning Progressions in Competency–Based Pathways**. Retrieved from https://www.achieve.org/files/Achieve-LearningProgressionsinCBP.pdf, November 12, 2022.

Alonzo, A. C. (2011). Learning progressions that support formative assessment practices. **Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives** 9(2–3): 124–129. DOI:10.1080/15366367.2011.599629

Alonzo, A. C. (2018). An argument for formative assessment with science learning progressions. **Applied Measurement in Education** 31(2): 104–112.

Auld, E., Xiaomin, L., and Morris, P. (2022). Piloting PISA for development to success: An analysis of its findings, framework and recommendations. **Compare: A Journal of Comparative and International Education** 52(7): 1145–1169.

Chen, Y.–C., Park, S., and Hand, B. (2016). Examining the use of talk and writing for students' development of scientific conceptual knowledge through constructing and critiquing arguments. **Cognition and Instruction** 34: 100–147.

Chomeya, R. (2019). Visible learning. **Journal of Education, Mahasarakham University** 13(2): 22–31. (in Thai)

Corcoran, T., Mosher, F. A., and Rogat, A. (2009). **Learning Progressions in Science: An Evidence–Based Approach to Reform**. Philadelphia, PA: Consortium for Policy Research in Education.

Draney, K. (2009). **Designing Learning Progressions with the BEAR Asessment System**. Paper presented at the Learning Progressions in Science (LeaPS) Conference, Iowa City.

Duncan, R. G., and Hmelo–Silver, C. E. (2009). Learning progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. **Journal of Research in Science Teaching** 46(6): 606–609.

Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., and Shouse, A. W. (2007). **Taking science to school: learning and teaching science in grades K–8.** USA: National Academies Press.

Equitable Education Fund. (2021). **The Heart of Learning is to Look at the Student as the Center**. Retrieved from https://www.eef.or.th/article-07-02-21, October 21, 2022.

Gotwals, A., and Birmingham, D. (2016). Eliciting, identifying, interpreting, and responding to students' ideas: Teacher candidates' growth in formative assessment practices. **Research in Science Education** 46(3): 365–388.

Henderson, J. B., MacPherson, A., Osborne, J., and Wild, A. (2015). Beyond construction: Five arguments for the role and value of critique in learning science. **International Journal of Science Education** 37(10): 1668–1697.

Heritage, M., Kim, J., Vendlinski, T., and Herman, J. (2009). From evidence to action: A seamless process in formative assessment. **Educational Measurement: Issues and Practice** 28(3): 24–31.

Jin, H., Shin, H. J., Hokayem, H., Qureshi, F., and Jenkins, T. (2019). Secondary students' understanding of ecosystems: A learning progression approach. **International Journal of Science & Mathematics Education** 17(2): 217–235.

Julia, C. A., William, J. B., Kerstin, K., and Jürgen, M. (2018). Assessment of competencies in scientific inquiry through the application of rasch measurement techniques. **Education Sciences** 8(4): 184.

Klainin, S. (2012). **Science Education in Thailand: The development and dilemmas**. Retrieved from https://drive.google.com/file/d/0BwqFSkq5b7zSLVIzendtdk1vUmc/view?resourcekey=0-eMvC4jmINkrdzTbH_jVaUA, October 18, 2022. (in Thai)

Kongkoey, T., Boonsoong, B., and Ketsing, J. (2022). Grade 10 students' learning progressions for ecosystem through adaptive instruction. **Journal of Education Naresuan University** 24(1): 138–152. (in Thai)

Langbeheim, E., Ben–Eliyahu, E., Adadan, E., Akaygun, S., and Ramnarain, U. D. (2022). Intersecting visual and verbal representations and levels of reasoning in the structure of matter learning progression. **Chemistry Education Research and Practice** 23(4): 969–979.

Lehrer, R., and Schauble, L. (2015). Learning Progressions: The whole world is not a stage. **Science Education** 99(3): 432–437.

Linacre, J. M. (2002). "What do infit and outfit, mean–square and standardized mean?" **Rasch Measurement Transactions** 16(2): 8–18.

Mark, W. (2005). **Constructing Measures: An Item Response Modeling Approach.** Mahwah, NJ: Routledge.

National Research Council. (2001). **Knowing what students know: The science and design of educational assessment**. Washington, DC: National Academies Press.

OECD. (2019). "PISA 2018 Science Framework" in **PISA 2018 Assessment and Analytical Framework**. Paris: OECD. DOI: 10.1787/f30da688-en

OECD. (2019). **PISA 2018 Assessment and Analytical Framework**. Paris: OECD. DOI: 10.1787/b25efab8-en

Osborne, J. F., Henderson, J. B., MacPherson, A., Szu, E., Wild, A., and Yao, S. Y. (2016). The development and validation of a learning progression for argumentation in science. **Journal of Research in Science Teaching** 53(6): 821–846.

Otero, V. K. (2006). Moving beyond the 'get it or don't' conception of formative assessment. **Journal of Teacher Education** 57(3): 247.

Pasunon, P. (2016). Evaluation of inter–rater reliability using kappa statistics. **The Journal of Faculty of Applied Arts** 8(1): 2–20. (in Thai)

Ruiz–Primo, M. A., and Furtak, E. M. (2007). Exploring teachers' informal formative assessment practices and students' understanding in the context of scientific inquiry. **Journal of Research in Science Teaching** 44(1): 57–84.

Songer, N. B., Kelcey, B., and Gotwals, A. W. (2009). How and when does complex reasoning occur? Empirically driven development of a learning progression focused on complex reasoning about biodiversity. **Journal of Research in Science Teaching** 4(6): 610–631.

The BEAR Center. (2009). **The BEAR Assessment System**. Retrieved from https://old.bear.berkeley.edu/page/bear-assessment-system, November 12, 2022.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2020). **Science Competency–Based Learning Management: Teacher Potential Training Program for Teacher Competencies for the 21st Century**. Retrieved from https://eledu.ssru.ac.th/sumalee_ti/pluginfile.php/218/mod_resource/content1/Scientific Competency Learning Management for the Development of Thinking.pdf, October 24, 2022. (in Thai)

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2018). **PISA 2015 Assessment Results Science, Reading and Mathematics Education Excellence and Equality**. Retrieved from https://drive.google.com/file/d/1XE2_ubzIwLNH5tSZjgsIM33eYdzq1IYl/view, November 11, 2022. (in Thai)

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2021). **PISA Assessment Results 2018 Reading, Mathematics and Science**. Retrieved from https://

drive.google.com/file/d/1YJPcpAk6FfQb9RP3FBumLvZIgDgOpTUo/view, October 10, 2022. (in Thai)

Todd, A., Romie, W. L., and Cook Whitt, K. (2017). Development and validation of the learning progression–based assessment of modern genetics in a high school context. **Science Education** 101(1): 32–65.

Tom Gallacher, M. J. (2019). "Learning Progressions": A historical and theoretical discussion. **Research Matters** 2019(28): 10–16.

Wilson, M. (2009). Measuring progressions: Assessment structures underlying a learning progression. **Journal of Research in Science Teaching** 46(6): 716–730.

Wright, B. D. (1977). Solving measurement problems with the Rasch model. **Journal of Educational Measurement** 14(2): 97–116.