# จากการสืบเสาะตามวัฏจักร 5Es สู่การสืบเสาะที่มีทฤษฎีชี้นำ

**ลือชา ลดาชาติ[1] และลฎาภา ลดาชาติ[2*]**

[1]วิทยาลัยการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา แม่กา เมือง พะเยา 56000
[2]คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สุเทพ เมือง เชียงใหม่ 50200
[*]E-mail: ladapa23@gmail.com

**รับบทความ: 23 พฤศจิกายน 2559 ยอมรับตีพิมพ์: 30 พฤษภาคม 2560**

**บทคัดย่อ**

ประเทศไทยได้ส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยการสืบเสาะมาเป็นเวลานาน แนวทางหนึ่งที่ได้รับการสนับสนุนอย่างกว้างขวางคือการสืบเสาะตามวัฏจักร 5Es ในขณะที่งานวิจัยก่อนหน้านี้มุ่งอธิบายข้อจำกัดของการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางนี้ โดยการมุ่งเป้าไปที่การขาดความเข้าใจของครูเป็นหลัก บทความนี้จึงนำเสนออีกมุมมองหนึ่งว่า วัฏจักร 5Es เองก็มีข้อจำกัดบางประการ ซึ่งไม่สะท้อนลักษณะสำคัญของการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน ได้แก่ บทบาทของทฤษฎีที่ชี้นำกระบวนการสืบเสาะ และการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ บทความนี้เสนอแนะให้ครูเน้นลักษณะ 2 ประการนี้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้นักเรียนเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยกระบวนการสืบเสาะที่แท้จริงยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** วัฏจักร 5Es การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะที่มีทฤษฎีชี้นำ

# From 5Es Inquiry Cycle towards Theory–Directed Inquiry

**Luecha Ladachart[1] and Ladapa Ladachart[2*]**

[1]School of Education, University of Phayao, Maega, Muang, Phayao 56000, Thailand
[2]Faculty of Education, Chiang Mai University, Suthep, Muang, Chiang Mai 50200, Thailand
[*]E-mail: ladapa23@gmail.com

**Received: 23 November 2016 Accepted: 30 May 2017**

**Abstract**

Thailand has promoted an inquiry–based approach to teaching and learning science for a long time. One way that has been widely supported is a 5Es cycle. While previous researches explain the limitation of teaching and learning in this way by pointing to teachers' lack of understanding, this article aims at presenting another perspective that the 5Es cycle itself has some limitation that it does not explicitly reflect some important aspects of scientists' knowledge construction (i.e., the roles of theory guiding inquiry processes and scientific argumentation). This article urges teachers to pay greater emphasis on these two aspects, so that students can learn science through more authentic inquiry processes.

**Keywords:** 5Es cycle, Scientific inquiry, Theory-directed inquiry

## บทนำ

การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในยุคปัจจุบันมุ่งเน้นให้นักเรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Abd-El-Khalick et al., 2004) ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนได้พัฒนาตนเองหลายด้านไปพร้อมกัน ทั้งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จิตวิทยาศาสตร์ และเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ (Bureau of Academic Affairs and Educational Standards, 2010) นอกจากนี้การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ยังเป็นพื้นฐานให้นักเรียนเข้าใจว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกิดขึ้นเป็นที่ยอมรับและก้าวหน้าได้อย่างไร (Ladachart et al., 2013) ผลการเรียนรู้เหล่านี้เป็นพื้นฐานสำหรับนักเรียนในการดำรงชีวิตและประกอบอาชีพในอนาคต (Organisation for Economic Cooperation and Development [OECD], 2013) ด้วยเหตุนี้ หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 จึงกำหนดให้การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็นแนวทางหลักในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ (Bureau of Academic Affairs and Educational Standards, 2010)

การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ตามวัฏจักร 5Es ได้รับการส่งเสริมมาเป็นเวลานานเพื่อ

ตอบสนองแนวทางข้างต้น (Ketsing and Roadrangka, 2011) วัฏจักรนี้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การสร้างความสนใจ (engagement) 2) การสำรวจตรวจสอบ (exploration) 3) การสร้างคำอธิบาย (explanation) 4) การขยายความรู้ (elaboration) และ 5) การประเมินผล (evaluation) ซึ่งนักเรียนจะได้ตั้งคำถามเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ วางแผนและดำเนินการสำรวจตรวจสอบ นำผลจากการสำรวจตรวจสอบมาสร้างคำอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์นั้น ประยุกต์ใช้คำอธิบายนั้นกับปรากฏการณ์อื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกัน และประเมินผลการเรียนรู้ของตนเองจากการมีส่วนร่วมในกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Bybee et al., 2006) วัฏจักรนี้มุ่งเน้นให้การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีส่วนคล้ายหรือสอดคล้องกับกระบวนการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์ (Faikhamta, 2009)

แต่การจัดการเรียนการสอนตามวัฏจักร 5Es มักถูกตีความอย่างผิวเผิน (Bongkotphet and Roadrangka, 2010) Liangkrilas and Yutakom (2010) พบว่า ครูยังขาดความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามวัฏจักร 5Es ซึ่งทำให้การจัดการเรียนการสอนไม่สะท้อนลักษณะสำคัญของกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ในทำนองเดียวกัน Faikhamta and Ladachart (2016) รายงานว่า ครูอาจสร้างความสนใจของนักเรียนด้วยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ แต่แทบไม่กระตุ้นให้นักเรียนตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ ด้วยเหตุนี้ ครูจึงไม่สามารถสร้างความเชื่อมโยงระหว่างการสำรวจตรวจสอบกับคำถามทางวิทยาศาสตร์ การสำรวจตรวจสอบจึงมักอยู่ในรูปแบบของการศึกษาจากเอกสาร โดยที่นักเรียนไม่มีโอกาสได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์และสร้างคำอธิบายด้วยตนเอง ทั้งนี้เพราะครูเป็นผู้นำเสนอคำอธิบายให้กับนักเรียน (Ketsing and Roadrangka, 2010)

การขาดความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ครูไม่สามารถจัดการเรียนการสอนที่สะท้อนลักษณะสำคัญของกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Suttakun et al., 2011) ครูหลายคนมักเข้าใจว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกิดขึ้นจาก “วิธีการทางวิทยาศาสตร์” ที่เคร่งครัดและแน่นอน ได้แก่ การกำหนดคำถาม การตั้งสมมติฐาน การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการสรุปผล (Buaraphan, 2009) ความเข้าใจนี้อาจทำให้ครูมองว่า การปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ อย่างครบถ้วนเป็นการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ (Ketsing and Roadrangka, 2010) ทั้ง ๆ ที่การปฏิบัติตามขั้นตอนเหล่านั้นอาจไม่สะท้อนลักษณะสำคัญของกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์เลย ด้วยเหตุนี้ นักเรียนไทยจึงมีความสามารถด้านวิทยาศาสตร์ที่ไม่ทัดเทียมนักเรียนจากนานาประเทศ (Ladachart and Yuenyong, 2015)

งานวิจัยก่อนหน้านี้พยายามอธิบายอุปสรรคของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยการมุ่งเป้าไปที่การขาดความเข้าใจที่ถูกต้องของครูเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นการขาดความเข้าใจเกี่ยวกับวัฏจักร 5Es (Bongkotphet and Roadrangka, 2010; Liangkrilas and Yutakom, 2010) และการขาดความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Buaraphan, 2009; Suttakun et al., 2011) แต่ข้อจำกัดหนึ่งที่ยังไม่ได้รับความสนใจมากนักคือตัววัฏจักร 5Es เอง ซึ่งเป็นเพียงการ “จำลอง” (model) กระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยา-

ศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ (Bybee et al., 2006) วัฏจักร 5Es จึงไม่ได้ (และไม่มีทาง) สะท้อนลักษณะสำคัญทุกประการของกระบวนการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์ บทความนี้จึงนำเสนอมุมมองที่แสดงให้เห็นว่า วัฏจักร 5Es เองมีลักษณะสำคัญบางอย่างที่ถูกลดทอนไป ซึ่งเป็นสิ่งที่ครูทุกคนควรตระหนัก เข้าใจ และไม่ละเลยในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

บทความนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการนำเสนอตัวอย่างประวัติการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในอดีต ทั้งนี้เพื่อนำเสนอว่ากระบวนการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์เป็นอย่างไร ส่วนที่ 2 เป็นการนำเสนอสิ่งที่หายไปหรือไม่ปรากฏชัดเจนในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามวัฏจักร 5Es ทั้ง ๆ ที่สิ่งเหล่านั้นมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์ และส่วนที่ 3 เป็นการเสนอความท้าทายอีกก้าวหนึ่งของครูวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อให้การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์สอดคล้องกับกระบวนการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ดี บทความนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ให้ยกเลิกการใช้วัฏจักร 5Es เพียงแต่นำเสนอมุมมองและให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับ “ส่วนเติมเต็ม” ที่จะทำให้การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามวัฏจักร 5Es สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

**กระบวนการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์**

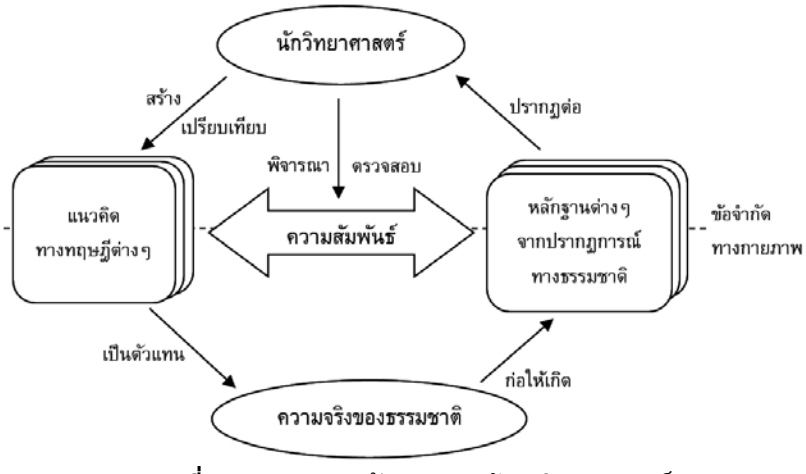
การศึกษาประวัติศาสตร์ในอดีตช่วยให้ภาพที่สมบูรณ์มากขึ้นเกี่ยวกับกระบวนการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์ Ladachart and Nashon (2010) ศึกษากระบวนการพัฒนาความรู้เรื่องเสียง นับตั้งแต่ยุคกรีกจนถึงช่วงปลายศตวรรษที่ 18 ซึ่งให้มุมมองที่สำคัญว่า นักฟิสิกส์ในอดีตเคยมีความคิดที่ขัดแย้งกันเกี่ยวกับธรรมชาติของเสียง บางคน (เช่น พลาโต) คิดว่า “เสียงเป็นสสาร” ทั้งนี้เพราะเขาเคยระบุว่า เสียงที่ดังมีขนาดใหญ่ส่วนเสียงที่เบามีขนาดเล็ก ในขณะที่บางคน (เช่น อริสโตเติล) กลับคิดว่า “เสียงเป็นคลื่น” ดังที่เขาเคยกล่าวว่า เสียงเป็นการบีบอัดและการขยายตัวของอากาศที่ถูกรบกวน ข้อขัดแย้งนี้ดำรงอยู่นานหลายร้อยปี จนกระทั่งกาลิเลโอศึกษาโดยการนำฐานของแก้วไวน์มายึดไว้กับถาดขนาดใหญ่ที่มีน้ำบรรจุอยู่ เมื่อเขาใช้มือลูบวนไปบนปากแก้วไวน์จนเกิดเสียง เขาสังเกตพบว่า น้ำในถาดมีการกระเพื่อมเป็นคลื่นวงกลมที่แผ่ออกมาจากฐานแก้วไวน์นั้น หลักฐานชิ้นนี้นำไปสู่การให้เหตุผลว่า เสียงน่าจะเป็นคลื่นมากกว่าสสาร

จากบันทึกทางประวัติศาสตร์โดย Thagard (1992) นักเคมีเองก็เคยมีข้อขัดแย้งเกี่ยวกับกระบวนการเผาไหม้ บางคน (เช่น โจเซฟ พริสต์ลีย์) เชื่อว่า สารที่ติดไฟได้จะมีธาตุที่มีชื่อว่า “โฟลจิสตัน” (phlogiston) เป็นองค์ประกอบ ยิ่งสารใดมีโฟลจิสตันมาก สารนั้นจะมีสมบัติไวไฟมาก การเผาไหม้เป็นการปลดปล่อยโฟลจิสตันออกจากสารต่าง ๆ เช่น ไม้ติดไฟได้เพราะไม้มีโฟลจิสตันเป็นองค์ประกอบ เมื่อไม้ถูกเผา ไม้จะเสียโฟลจิสตันไปและกลายเป็นขี้เถ้า ซึ่งไม่มีโฟลจิสตันเหลืออยู่ ในขณะที่บางคน (เช่น อ็องตวน ลาวัวซีเย) ไม่เชื่อเรื่องโฟลจิสตัน เขาได้ทดลองเผาสารบางชนิดและพบว่า มวลของสารหลังเผามีค่ามากกว่ามวลของสารก่อนเผา ซึ่งขัดแย้งกับคำอธิบายว่า การเผาไหม้เป็นการปลดปล่อยโฟลจิสตัน ข้อขัดแย้งนี้ดำรงอยู่นานหลายปี พร้อมกับการทดลองต่าง ๆ ทั้งจากฝั่งที่สนับสนุนและไม่สนับสนุนการมีอยู่ของโฟลจิสตัน จนกระทั่ง

นักเคมีมั่นใจว่า โฟลจิสตันไม่มีอยู่จริง แต่เป็นออกซิเจนในอากาศที่มีบทบาทในการเผาไหม้

นอกจากนี้ Thagard (1992) ยังบันทึกเหตุการณ์ที่คล้ายกันในวงการชีววิทยา ท่ามกลางนักชีววิทยาที่เชื่อเรื่องการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ชอง ลามาร์ก เป็นคนหนึ่งที่คิดว่า สิ่งมีชีวิตวิวัฒนาการด้วยกระบวนการใช้และไม่ใช้อวัยวะ หากอวัยวะใดมีการใช้มากและบ่อย อวัยวะนั้นจะพัฒนาและแข็งแรงขึ้น แต่หากอวัยวะใดไม่ค่อยมีการใช้ อวัยวะนั้นก็จะค่อย ๆ หดหายไป ในทางตรงกันข้าม ชาร์ล ดาร์วิน กลับคิดว่า การวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นจากกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ในกลุ่มประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน พวกที่มีลักษณะทางพันธุกรรมที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมจะมีโอกาสรอดชีวิตขยายพันธุ์ และสืบทอดลักษณะทางพันธุกรรมนั้นได้มากกว่าพวกที่ไม่มี ความคิดที่ขัดแย้งกันนี้ดำรงอยู่นานช่วงเวลาหนึ่ง จนกระทั่ง ออกัส ไวส์แมน ทำการทดลองตัดหางหนู และผสมพันธุ์พวกมันติดต่อกัน 5 รุ่น การทดลองนี้ให้หลักฐานว่า แม้พ่อแม่หนูจะไม่มี(และไม่ได้ใช้)หาง หนูที่เกิดใหม่ก็ยังคงมีหาง ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎีการใช้และไม่ใช้อวัยวะ

จากประวัติศาสตร์ข้างต้น กระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์แท้จริงแล้วก็คือ “กระบวนการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลองที่เป็นคู่แข่งกัน” (Schwarz and White, 2005) โดยแบบจำลองในที่นี้หมายถึง “ตัวแทนความคิด” (Gilbert and Boulter, 2000) หรือแนวคิดทางทฤษฎีที่นักวิทยาศาสตร์มีต่อปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไม่ได้เกิดขึ้นจากการปฏิบัติตามขั้นตอนที่แน่นอน ในทางตรงกันข้าม นักวิทยาศาสตร์มีการตั้งคำถามเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (เช่น เสียงคืออะไร การเผาไหม้เกิดขึ้นได้อย่างไร และวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นด้วยกระบวนการใด) และพยายามสร้างแนวคิดทางทฤษฎีต่าง ๆ (เช่น เสียงเป็นคลื่น การเผาไหม้เกิดจากโฟลจิสตัน และสิ่งมีชีวิตวิวัฒนาการโดยการใช้หรือไม่ใช้อวัยวะ) อันจะนำไปสู่การหาทางทดสอบแนวคิดทางทฤษฎีนั้นด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์ แนวคิดที่ไม่สามารถอธิบายหลักฐานต่าง ๆ ได้จะถูกละทิ้งจนเหลือเพียงแนวคิดที่อธิบายหลักฐานเหล่านั้นได้ดีที่สุด




**ภาพที่ 1** กระบวนการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

กระบวนการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (ภาพที่ 1) เกิดขึ้นเพราะมนุษย์ (รวมทั้งนักวิทยาศาสตร์) มีข้อจำกัดหลายประการในการเข้าถึงความจริงของธรรมชาติ มนุษย์ไม่สามารถย้อนไปดูเหตุการณ์ในอดีต ไม่สามารถมองเห็นสิ่งที่เล็กมาก หรือสังเกตเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเร็วมากได้ แม้เครื่องมือสมัยใหม่อาจช่วยเพิ่มความสามารถให้กับมนุษย์ได้บ้าง แต่นักวิทยาศาสตร์ยังต้องใช้ความรู้เดิมและจินตนาการในการสร้างแนวคิดทางทฤษฎีเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่ตนเองสนใจ ซึ่งอาจมีได้มากกว่าหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ ภูมิหลัง และความคิดของนักวิทยาศาสตร์แต่ละคน แนวคิดทางทฤษฎีจะชี้นำให้นักวิทยาศาสตร์ออกแบบการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งหลักฐานที่จะนำไปสู่การทดสอบความเป็นไปได้ของแนวคิดทางทฤษฎีนั้น หากหลักฐานสนับสนุน แนวคิดทางทฤษฎีนั้นก็จะคงอยู่ แต่หากไม่ แนวคิดทางทฤษฎีนั้นก็จะถูกละทิ้งไป ในบางกรณี นักวิทยาศาสตร์อาจปรับเปลี่ยนแนวคิดทางทฤษฎีเดิมให้สามารถอธิบายหลักฐานได้ดียิ่งขึ้น ดังเช่นในกรณีของแนวคิดเรื่องทวีปเลื่อน ซึ่งได้ถูกปรับเปลี่ยนไปเป็นแนวคิดเรื่องการเคลื่อนตัวของแผ่นธรณีภาค (Thagard, 1992)

ในการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์จึงไม่ได้เพียงพิสูจน์ความจริงเพื่อยืนยันแนวคิดทางทฤษฎีของตนเอง แต่พวกเขายังต้องพิสูจน์ความเท็จเพื่อหักล้างแนวคิดทางทฤษฎีอื่นด้วย (Popper, 1998) นอกจากนี้ นักวิทยาศาสตร์ยังจำเป็นต้องโต้แย้งกันว่า หลักฐานต่าง ๆ สนับสนุนแนวคิดทางทฤษฎีที่ตนเองสนใจอย่างไร และหักล้างแนวคิดทางทฤษฎีอื่นอย่างไร ดังเช่นที่ อ็องตวน ลาวัวซีเย ให้เหตุผลว่า มวลของสารหลังเผาไม่สนับสนุนการมีอยู่ของโฟลจิสตัน ทั้งนี้เพราะหากการเผาไหม้เป็นการปลดปล่อยโฟลจิสตันอย่างที่ โจเซฟ พริสต์ลีย์ กล่าวอ้าง มวลของสารหลังเผาจะต้องลดลงจากเดิม ในการนี้ หาก โจเซฟ พริสต์ลีย์ สามารถโต้แย้งเหตุผลของ อ็องตวน ลาวัวซีเย ได้ แนวคิดเกี่ยวกับโฟลจิสตันก็อาจยังคงอยู่ต่อไป แต่ถ้าไม่ นักเคมีก็ต้องมองหาแนวคิดอื่นที่อธิบายหลักฐานชิ้นนี้ได้ดีกว่า กระบวนการทางสังคมเช่นนี้มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมา (Thagard, 1978)

**ลักษณะที่หายไปในวัฏจักร 5Es**

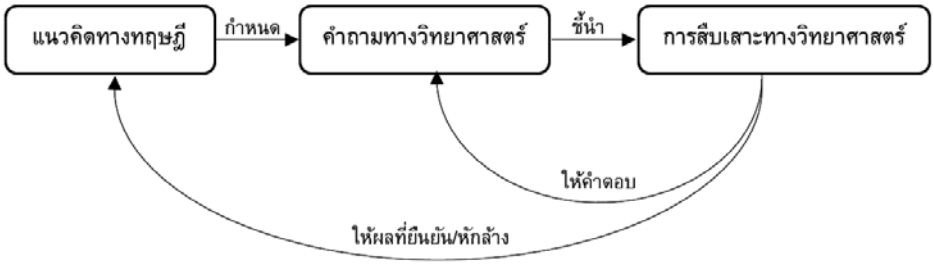
ด้วยความพยายามให้นักเรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ผ่านกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 จึงกำหนดให้การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็นแนวทางหลักในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ (Bureau of Academic Affairs and Educational Standards, 2010) จากคำนิยามในส่วนของอภิธานศัพท์ การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หมายถึง “การหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์” ซึ่ง “ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก คือ การตั้งคำถามหรือกำหนดปัญหา การสร้างสมมติฐานหรือการคาดการณ์คำตอบ การออกแบบวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล การลงข้อสรุปและการสื่อสาร” การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ยังหมายรวมถึงการหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ด้วย “วิธีการอื่น ๆ เช่น การสำรวจ การสังเกต การวัด การจำแนกประเภท การทดลอง การสร้างแบบจำลอง การสืบค้นข้อมูล” (หน้าที่ 105)

จากคำนิยามข้างต้น การสืบเสาะตามวัฏจักร 5Es จึงได้รับการส่งเสริม ทั้งนี้เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ตั้งคำถาม สร้างสมมติฐาน ออกแบบการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล และสื่อสารผลการศึกษาของตนเองต่อผู้อื่น กระบวนการเหล่านี้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับ “วิธีการทางวิทยาศาสตร์” ที่ปรากฏในหนังสือและครูหลายคนก็คุ้นเคย อย่างไรก็ตาม ลักษณะสำคัญของกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 2 ประการได้ถูกลดทอนลงไปจนแทบไม่ปรากฏ ทั้งในคำนิยามของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์และในขั้นตอนของการสืบเสาะตามวัฏจักร 5Es ลักษณะประการแรกคือ “ที่มาของคำถามทางวิทยาศาสตร์” และลักษณะประการที่สองคือ “การโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์” ไม่ว่าการหายไปนี้จะเกิดขึ้นโดยตั้งใจหรือไม่ ครูหลายคนอาจมองข้ามหรือไม่ตระหนักถึงความสำคัญของ 2 ลักษณะนี้ในระหว่างการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ทั้ง ๆ ที่ลักษณะเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์

*ที่มาของคำถามทางวิทยาศาสตร์*

การสืบเสาะตามวัฏจักร 5Es เริ่มต้นด้วยขั้นตอนแรก ซึ่งก็คือ “การสร้างความสนใจ” ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ขั้นตอนนี้สอดรับกับตัวชี้วัดในสาระที่ 8 ที่กำหนดให้นักเรียนตั้งคำถามเกี่ยวกับเรื่องที่ตนเองจะศึกษาตามที่ครูกำหนดให้หรือตามความสนใจของนักเรียนเอง แต่สิ่งที่ยังไม่ชัดเจนในวัฏจักร 5Es ก็คือว่าหากนักเรียนจะตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์เอง คำถามทางวิทยาศาสตร์เกิดขึ้นจากอะไร ตัวชี้วัดแรกในสาระที่ 8 ไม่ได้ให้รายละเอียดมากนักเกี่ยวกับที่มาของคำถามทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะตัวชี้วัดในระดับประถมศึกษา ดังนั้น นักเรียนจึงถูกทึกทักเอาว่าจะสามารถตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ได้เองโดยอัตโนมัติ ทั้ง ๆ ที่ความสามารถในการตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ “ที่ดี” เป็นเรื่องที่นักเรียนต้องเรียนรู้และฝึกฝน (Hofstein et al., 2005) งานวิจัยของ Ladachart and Ladachart (2016) ระบุว่า นักเรียนไทยประสบปัญหากับการตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนมักตั้งคำถามตามอำเภอใจ สมมติฐานที่เกิดจากคำถามเหล่านี้จึงไม่มีอะไรมากไปกว่าการเดาสุ่ม (Windschitl et al., 2008)

ในกรณีของนักวิทยาศาสตร์นั้น คำถามทางวิทยาศาสตร์เกิดขึ้นจากกรอบแนวคิดทางทฤษฎีที่พวกเขาต้องการทดสอบ จากตัวอย่างในอดีตก่อนหน้านี้ หากปราศจากทฤษฎีการใช้หรือไม่ใช้อวัยวะ มันไม่มีเหตุผลเลยที่ ออกัส ไวส์แมน จะสงสัยว่า “หนูที่โดนตัดหาง จะให้กำเนิดลูกที่มีหางหรือไม่” ในทำนองเดียวกัน หากปราศจากทฤษฎีการเผาไหม้ด้วยโฟลจิสตัน มันไม่มีเหตุผลอะไรที่ อ็องตวน ลาวัวซีเย จะตั้งคำถามว่า “มวลของสารหลังเผามีค่าน้อยกว่ามวลของสารก่อนเผาหรือไม่” เนื่องจากทุกการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เริ่มต้นจากคำถามทางวิทยาศาสตร์ (Lederman et al., 2014) ผลของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์จึงไม่เพียงแค่ให้คำตอบต่อคำถามทางวิทยาศาสตร์ แต่ยังเป็นหลักฐานที่ยืนยันหรือหักล้างแนวคิดทางทฤษฎีที่อยู่เบื้องหลังคำถามทางวิทยาศาสตร์นั้นด้วย (ภาพที่ 2) การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่มุ่งตอบคำถามที่ปราศจากแนวคิดทางทฤษฎีจึงแทบไม่ให้ประโยชน์อะไรมากไปกว่าข้อเท็จจริง (Windschitl et al., 2008)




**ภาพที่ 2** ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดทางทฤษฎี คำถามทางวิทยาศาสตร์ และการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามวัฏจักร 5Es การละเลยบทบาทของแนวคิดทางทฤษฎีอาจทำให้ครูเน้น “ขั้นตอน” เป็นสำคัญ โดยครูอาจละเลยไปว่า ขั้นตอนเหล่านั้นแท้จริงแล้วมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบแนวคิดทางทฤษฎีบางอย่างที่อยู่เบื้องหลัง ตัวอย่างที่ชัดเจนปรากฏในการสังเกตการสอนของครูวิทยาศาสตร์คนหนึ่ง ซึ่ง Pongsophon (2009) ได้บันทึกไว้ว่า “บ่อยครั้ง นักเรียนทำการทดลองอย่างไม่มีเป้าหมาย ครูก็ไม่ได้ชี้แนะว่า (นักเรียน)ทำการทดลองไปเพื่ออะไร ... นักเรียนได้ผล ครูพอใจ นักเรียนก็พอใจ แต่นักเรียนไม่รู้ว่า ตนได้เรียนรู้อะไร” นักเรียนจึงอาจไม่รู้ว่า ผลการทดลองมีความหมายอย่างไรในบริบทของแนวคิดทางทฤษฎีที่อยู่เบื้องหลังการทดลอง ดังนั้น มันจึงไม่ใช่เรื่องแปลกหากนักเรียนจะ “ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นเกณฑ์ในการตัดสินว่า การศึกษาใดเป็นหรือไม่เป็นการศึกษาทางวิทยาศาสตร์” (Ladachart and Mahalee, 2016) โดยนักเรียนไม่ได้สนใจการนำข้อมูลไปทดสอบแนวคิดทางทฤษฎี

*การโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์*

สืบเนื่องมาจากการขาดหายไปของแนวคิดทางทฤษฎีที่อยู่เบื้องหลังการตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ลักษณะอีกประการหนึ่งที่ไม่ปรากฏชัดเจนในวัฏจักร 5Es ก็คือการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้หลักฐานร่วมกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการยืนยันหรือหักล้างแนวคิดทางทฤษฎี ถึงแม้ว่าวัฏจักร 5Es เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายด้วยตนเอง แต่ครูมักคาดหวังให้นักเรียนทุกคนสร้างคำอธิบายที่สอดคล้องกับความรู้ในหนังสือเรียน (Ketsing and Roadrangka, 2010) ด้วยเหตุนี้ การโต้แย้งระหว่างกลุ่มนักเรียนที่สร้างคำอธิบายไม่เหมือนกันจึงไม่ค่อยเกิดขึ้น นอกจากนี้ ตัวชี้วัดในสาระที่ 8 ก็แทบไม่ได้ระบุถึงการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน ตัวชี้วัดเน้นให้นักเรียน “นำเสนอผลงาน...ให้ผู้อื่นเข้าใจ” (ว 8.1 ป1/7) ซึ่งเป็นการสื่อสารทางเดียวราวกับว่า สิ่งที่นักเรียนนำเสนอจะเป็นที่ยอมรับในทันที (Ladachart and Yuenyong, 2015) ทั้ง ๆ ที่ในทางวิทยาศาสตร์แล้ว แม้แต่ข้อสรุปของนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงก็ต้องผ่านการตรวจสอบก่อนเสมอ

เนื่องจากหลักฐาน “ไม่ใช่สิ่งที่มีความชัดเจนในตัวเอง” (Ladachart and Suttakun, 2012) นักวิทยาศาสตร์จึงต้องลงข้อสรุปจากหลักฐาน พร้อมทั้งชี้แจงว่า หลักฐานนั้นสนับสนุนหรือหักล้างแนวคิดทางทฤษฎีอย่างไร การให้เหตุผล

และการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จากตัวอย่างในอดีตข้างต้น อ็องตวน ลาวัวซีเย ต้องโต้แย้งว่า การเพิ่มขึ้นของมวลสารหลังเผาขัดแย้งกับทฤษฎีโฟลจิสตันอย่างไร และออกัส ไวส์แมนต้องโต้แย้งว่า ลูกหนูที่เกิดมามีหางหักล้างแนวคิดเรื่องการใช้หรือไม่ใช้อวัยวะอย่างไร แต่งานวิจัยเปิดเผยว่า นักเรียนไทยยังมีปัญหาในการลงข้อสรุปจากหลักฐาน (Ladachart et al., 2015) และการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ (Suttakun and Ladachart, 2013) ในขณะที่การวิเคราะห์ผลจากโครงการประเมินนักเรียนนานาชาติก็ยืนยันว่านักเรียนไทยขาดทักษะในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ (Ladachart and Yuenyong, 2015) สิ่งเหล่านี้ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ถูกละเลยมาโดยตลอด

สิ่งสำคัญในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์คือการตัดสินว่า ในบรรดาแนวคิดทางทฤษฎีที่เป็นคู่ขัดแย้งกัน (เช่น เสียงเป็นสสาร/เสียงเป็นคลื่น ทฤษฎีโฟลจิสตัน/ทฤษฎีออกซิเจน การใช้และไม่ใช้อวัยวะ/การคัดเลือกโดยธรรมชาติ) แนวคิดทางทฤษฎีใดควรเป็นที่ยอมรับมากกว่ากัน ในการนี้ นักวิทยาศาสตร์มักใช้เกณฑ์บางอย่างในการตัดสิน เช่น ความสามารถในการอธิบายหลักฐานที่หลากหลาย ความสอดคล้องกันภายในแนวคิดทางทฤษฎีนั้น ความสอดคล้องกับความรู้เรื่องอื่นที่เกี่ยวข้อง และความสามารถในการพยากรณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (อ่านเพิ่มเติมได้จาก Thagard, 1978, 1992) แต่สิ่งเหล่านี้กลับไม่ปรากฏชัดเจนในวัฏจักร 5Es ซึ่งเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการส่งเสริมอย่างกว้างขวางและยาวนานในประเทศไทย การขาดหายของลักษณะสำคัญเหล่านี้ทำให้การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ยังไม่สอดคล้องกับกระบวนการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง อย่างไรก็ดี งานวิจัยในปัจจุบันเริ่มให้ความสำคัญกับการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น (Tongprapai et al., 2016)

**อีกหนึ่งก้าวข้างหน้า**

การจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์จะสมบูรณ์และสอดคล้องกับกระบวนการสร้างความรู้ของนักวิทยาศาสตร์มากขึ้น หากลักษณะสำคัญ 2 ประการข้างต้นได้รับการเน้นย้ำ ในการนี้ Windschitl et al. (2008) เสนอว่า การจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ต้องเปลี่ยนจุดเน้นจาก “ขั้นตอนหรือวิธีการ” ที่ครูหรือนักเรียนต้องปฏิบัติตาม (method-directed) ไปเป็น “แนวคิดทางทฤษฎี” ที่ขับเคลื่อนกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (theory-directed) ไม่ว่าจะเป็นการตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ การออกแบบและดำเนินการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ การลงข้อสรุปจากผลของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ จนกระทั่งการให้เหตุผลและโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ แนวคิดทางทฤษฎีจะอยู่เบื้องหลังของกระบวนการเหล่านี้ทั้งหมด และเป้าหมายสุดท้ายของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์คือการทดสอบความเป็นไปได้ของแนวคิดทางทฤษฎีที่อยู่เบื้องหลังนั้น (ไม่ใช่การปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ อย่างครบถ้วน)

เนื่องจากนักเรียนมีความรู้เดิมเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ซึ่งมักคลาดเคลื่อนไปจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Allen, 2004) ความรู้เดิมนี้จะทำหน้าที่เป็นกรอบแนวคิดทางทฤษฎีที่นักเรียนใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ดังนั้น ครูจึงต้องเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความรู้

เดิมของตนเองออกมา เช่นเดียวกับนักวิทยาศาสตร์ นักเรียนแต่ละคนอาจมีแนวคิดทางทฤษฎีแตกต่างกัน (Nareewong and Chatwong, 2013) ซึ่งครูจำเป็นต้องนำแนวคิดทางทฤษฎีที่แตกต่างกันเหล่านั้นมาเปรียบเทียบให้นักเรียนเห็นความแตกต่าง และเกิดเป็นแนวคิดทางทฤษฎีคู่ขัดแย้งกัน จากนั้นครูจึงเปิดโอกาสให้นักเรียนตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์และออกแบบการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ภายใต้กรอบแนวคิดทางทฤษฎีต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งหลักฐานในการตัดสินว่า แนวคิดทางทฤษฎีใดเป็นไปได้มากกว่ากัน เมื่อนักเรียนได้หลักฐานแล้ว ครูจึงกระตุ้นให้นักเรียนลงข้อสรุป ให้เหตุผล และโต้แย้งร่วมกัน จนกระทั่งนักเรียนสร้างแนวคิดทางทฤษฎีที่อธิบายหลักฐานต่าง ๆ ได้อย่างครบถ้วน

การจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะที่มีแนวคิดทางทฤษฎีชี้นำ (theory-directed inquiry) แตกต่างจากวัฏจักร 5Es หลายประการ วัฏจักร 5Es มุ่งเน้นให้นักเรียนมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์ผ่านหลักฐานที่สนับสนุนเป็นหลัก แต่มักละเลยการหักล้างความรู้เดิมที่นักเรียนมีอยู่ ซึ่งมักคลาดเคลื่อนไปจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์ การนำเสนอเพียงหลักฐานที่สนับสนุนอาจไม่ช่วยให้นักเรียนเปลี่ยนแปลงความคิดของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Posner et al., 1982) แต่การจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะเพื่อทดสอบแนวคิดทางทฤษฎีที่เป็นคู่ขัดแย้งกันไม่เพียงแค่ยืนยันความรู้ที่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์ แต่ยังช่วยหักล้างความรู้เดิมที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนไปพร้อมกัน ซึ่งอาจช่วยให้นักเรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงแนวคิดได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ กระบวนการทางสังคมที่เกิดขึ้นในการโต้แย้งกันระหว่างแนวคิดที่เป็นคู่ขัดแย้งกันอาจช่วยให้นักเรียนเห็นจุดเด่นและจุดด้อยของแต่ละแนวคิดได้อย่างชัดเจน ซึ่งเอื้อต่อการทำความเข้าใจความรู้ทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น

การจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะที่มีแนวคิดทางทฤษฎีชี้นำยังเปิดโอกาสให้ครูได้สอดแทรกลักษณะสำคัญของ “ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์” (nature of science: NOS) ได้อย่างหลากหลาย (อ่านเพิ่มเติมที่ได้ Ladachart et al., 2013) ตัวอย่างเช่น เมื่อครูนำเสนอปรากฏการณ์ใด ๆ แล้วนักเรียนต้องเสนอแนวคิดทางทฤษฎีที่อธิบายปรากฏการณ์นั้น ครูสามารถสอดแทรกเรื่องของการใช้จินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ (Imaginative and creative NOS) และหากนักเรียนแต่ละคนเสนอแนวคิดทางทฤษฎีแตกต่างกัน ครูสามารถสอดแทรกเรื่องอัตวิสัย (subjective NOS) ของการทำงานทางวิทยาศาสตร์ เมื่อนักเรียนทำการสืบเสาะจนได้ผลออกมาแล้ว ครูอาจสอดแทรกเรื่องความจำเป็นของหลักฐาน (empirical NOS) และบทบาทของการอนุมาน (inferential NOS) ในการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ สิ่งที่ครูสามารถสอดแทรกได้เพิ่มเติมก็คือบทบาทของแนวคิดทางทฤษฎีที่ชี้นำกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (theory-ladenness) และกระบวนการทางสังคม (social process) ในการพิจารณาข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งยังไม่ปรากฏชัดเจนนักในวัฏจักร 5Es

## บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอข้อจำกัดบางอย่างในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามวัฏจักร 5Es ซึ่งได้รับการส่งเสริมมาอย่างยาวนานในประเทศไทย ข้อจำกัดนี้คือการขาดหายไปของ 2 ลักษณะสำคัญของกระบวนการสร้างความรู้ทาง

วิทยาศาสตร์ ได้แก่ (1) บทบาทของแนวคิดทางทฤษฎีในการชี้นำกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ และ (2) การโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์เพื่อตัดสินแนวคิดทางทฤษฎีที่เป็นไปได้ที่สุด ประวัติการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์หลายเรื่องแสดงว่า นักวิทยาศาสตร์มักมีแนวคิดทางทฤษฎีที่เป็นคู่ขัดแย้งกัน ซึ่งต้องอาศัยหลักฐานต่าง ๆ จากการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในการพิจารณาและตัดสินว่า แนวคิดทางทฤษฎีใดควรเป็นที่ยอมรับ การพิจารณาและตัดสินนี้เกิดขึ้นรูปแบบของกระบวนการทางสังคม ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ทำการให้เหตุผลและโต้แย้งกันด้วยหลักฐานและความรู้อื่นที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ดี บทความนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ให้ยกเลิกการใช้วัฏจักร 5Es เพียงแต่นำเสนอมุมมองที่จะ “เติมเต็ม” การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามวัฏจักร 5Es ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง


Abd-El-Khalick, F. Boujaoude, S., Duschl, P., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Nias, M., Treagust, D., and Tuan, H. (2014). Inquiry in science education: International perspectives. **Science Education** 88(3): 397–419.

Allen, M. (2014). **Misconceptions in Primary Science**. New York: Open University.

Bongkotphet, T. and Roadrangka, V. (2010). Sixth grade science teachers' knowledge/ belief of inquiry-based astronomy teaching. **Journal of Humanities and Social Sciences Mahasarakham University** 29(3): 85–97. (in Thai)

Buaraphan, K. (2009). Thai in-service science teachers' conceptions of the nature of science. **Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia** 32(2): 188–217.

Bureau of Academic Affairs and Educational Standards. (2010). **Indicators and Core Learning Content in Science According to the Basic Education Core Curriculum B.E. 2551**. Bangkok: Agricultural Co-operative Federation of Thailand. (in Thai)

Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Scotter, P. V., Powell, J. C., Wesbrook, A., and Landes, N. (2006). **The BSCS 5E Instructional Models: Origins, Effectiveness, and Applications**. Retrieved from https://www.bscs.org/sites/default/files/_legacy/BSCS_5E_Instructional_Model-Executive_Summary_0.pdf, November 22, 2016.

Faikhamta, C. (2009). Inquiry-based teaching and learning. **Journal of Education Naresuan University** 11(1): 31–45. (in Thai)

Faikhamta, C., and Ladachart, L. (2016). Science education in Thailand: Moving through crisis to opportunity. In Chiu, M-H. (Ed). **Science Education Research and Practice in Asia**. (pp. 197–214) Singapore: Springer.

Gilbert, J. K., and Boulter, C. J. (2000). **Developing Models in Science Education**. Dordrecht: Kluwer Academic.

Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M., and Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions: Resulting from inquiry-type chemistry laboratories. **Journal of Research in Science Teaching** 42(7): 791–806.

Ketsing, J., and Roadrangka, V. (2010). A case study of science teachers' understanding and practice of inquiry-based instruction. **Kasetsart Journal (Social Sciences)** 31(1): 1–16. (in Thai)

Ketsing, J., and Roadrangka, V. (2011). Inquiry-based instruction for science teaching. **Journal of Humanities and Social Sciences Mahasarakham University** 30(1): 84–105. (in Thai)

Ladachart, L. and Chimphali, K., Aryowong, N., Ngaewkoodrua, N., Srakho, S., Wangead, C., and Thammaprateep, J. (2015). Ninth grade students' making inferences and explanations. **Silpakorn University Journal (Social Science, Humanities, and Art)** 35(1): 171–206. (in Thai)

Ladachart, L. and Ladachart, L. (2016). Fifth grade students' questioning about science. **Journal of Humanities and Social Sciences Mahasarakham University** 35(1): 188–202. (in Thai)

Ladachart, L., and Mahalee, K. (2016). Lower-secondary school students' understandings about nature of scientific inquiry. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 7(2): 298–324. (in Thai)

Ladachart, L., and Nashon, S. (2010). Alternative frameworks in conceptions of sound: A historical evolution. **International Journal of Education** 33(2): 3–24.

Ladachart, L., and Suttakun, L. (2012). Exploring and developing tenth-grade students' understandings of nature of science. **Princess of Naradhivas University Journal** 4(2): 73–90. (in Thai)

Ladachart, L., and Yuenyong, C. (2015). What Thai science teachers should learn from the Programme for International Student Assessment? **Parichart Journal** 28(2): 108–137. (in Thai)

Ladachart, L., Suttakun, L., and Faikhamta, C. (2013). A Critical difference between the promotion of "Nature of Science" instruction outside and inside Thailand. **Kasetsart Journal (Social Sciences)** 34(2): 269–282. (in Thai)

Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bortos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A., and Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry—The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. **Journal of Research in Science Teaching** 51(1): 65–83.

Liangkrilas, J., and Yutakom, N. (2010). Case

study: Perception among biology teachers of an inquiry-based approach to teaching and teaching practices. **Journal of Humanities and Social Sciences Mahasarakham University** 29(4): 23–37. (in Thai)

Nareewong, A., and Chatwong, A. (2013). **Eighth grade students' explanations about vision**. Retrieved from http://www.inquiringmind.in.th/documents/StudentExplanationsVision.pdf, November 22, 2016. (in Thai)

Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2013). **PISA 2015: Draft Science Framework**. Retrieved from https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf, November 22, 2016.

Pongsophon, P. (2009). Teach science as science is. **Science** 63(1): 84–89. (in Thai)

Popper, K. (1998). Science: Conjecture and refutations. In Curd, M. and Cover, J. A. (Eds). **Philosophy of Science: The Central Issues**. (pp. 3–10). New York: W. W. Norton and Company.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., and Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education** 66(2): 211–227.

Schwarz, C. V., and White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. **Cognition and Instruction** 23(2): 165–205.

Suttakun, L., and Ladachart, L. (2013). Fourth grade students' scientific reasoning. **Naresuan University Journal: Science and Technology** 21(3): 107–123. (in Thai)

Suttakun, L., Yutakom, N., and Vajarasathira, B. (2011). A case study of understanding of the nature of science by elementary teachers and their teaching practices. **Kasetsart Journal (Social Sciences)** 32(3): 458–469. (in Thai)

Thagard, P. R. (1978). The best explanation: Criteria for theory choice. **The Journal of Philosophy** 75(20): 76–92.

Thagard, P. R. (1992). **Conceptual Revolutions**. New Jersey: Princeton University.

Tongprapai, K., Pitiporntapin, S., Shinnasin, K., and Jamjai, O. (2016). Development of grade 8 students' argumentation skill in nutrients and life unit using socio-scientific issue (SSI)–based teaching. **Journal of Research Unit on Science, Technology, and Environment for Learning** 7(1): 48–61. (in Thai)

Windschitl, M., Thompson, J., and Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. **Science Education** 92(5): 941–967.