การสร้างกรอบแนวคิด “การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์” ผ่านประวัติของวิทยาศาสตร์

สุทธิดา จำรัส

ภาควิชาหลักสูตร การสอนและการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมือง เชียงใหม่ 50200
E-mail: suthida.c@cmu.ac.th

รับบทความ: 2 ตุลาคม 2559 ยอมรับตีพิมพ์: 23 ธันวาคม 2559

บทคัดย่อ

“การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (scientific inquiry)” เป็นกระบวนการค้นหาความรู้ความจริงเกี่ยวกับธรรมชาติแบบหนึ่ง การศึกษาประวัติของวิทยาศาสตร์ที่แสดงให้เห็นวิวัฒนาการของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์จะส่งผลให้เข้าใจธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น บทความนี้นำเสนอการสืบเสาะในอดีตจนถึงปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 6 ยุค คือ ยุคคลาสสิก ยุคกลาง ยุคปฏิวัติวิทยาศาสตร์ ยุคแห่งการใช้เหตุผล ยุควิทยาศาสตร์แนวคิดใหม่ และยุคศตวรรษที่ 21 เพื่อการสร้างกรอบแนวคิดจากข้อเท็จจริงทางประวัติศาสตร์ ทั้งการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่ประสบความสำเร็จและไม่ประสบความสำเร็จ ซึ่งแนวคิดเหล่านี้มีความสำคัญต่อการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ สิ่งที่ปรากฏจากการเรียนรู้ผ่านประวัติศาสตร์จะเผยให้เห็นลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่แท้จริงที่ได้รับการยอมรับและปฏิบัติทั้งในวงการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา นอกจากนี้บทความยังแสดงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การตั้งคำถาม การสั่งสมและถ่ายโอนความรู้และแนวปฏิบัติ การเปลี่ยนกระบวนทัศน์ การให้คุณค่าหลักฐานเชิงประจักษ์ การใช้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ การกลั่นกรองและการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ อิทธิพลจากสังคมและเทคโนโลยี การทำงานเป็นกลุ่มของนักวิทยาศาสตร์ และจริยธรรมและกฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ: ประวัติของวิทยาศาสตร์ ประวัติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

Conceptualization of "Scientific Inquiry" through the History of Science

Suthida Chamrat

Department of Curriculum Instruction and Learning, Faculty of Education,
Chiang Mai University, Muang, Chiang Mai 50200, Thailand
*E-mail: suthida.c@cmu.ac.th

Received: 2 October 2016 Accepted: 23 December 2016

Abstract

Scientific inquiry may be defined as a rational process which guides the search for truth and knowledge about the natural world. Studying the history of science provides insights into how scientific inquiry has evolved, thereby bettering our understanding of the nature of scientific inquiry. This article suggests that scientific discovery can be sensibly divided into 6 eras or ages: The Classical Age, the Middle Ages, The Scientific Revolution, the Age of Reason, the Modern Science Age, and the 21st Century. Employing such a chronology allows us to employ historical facts – both the successes and failures of science over time, to better conceptualize those understandings essential for science education. What emerges from studying such a timeline is that there has emerged a consensus as to an authentic scientific inquiry has been consensually valued and practiced in science and science education. This article also refers to various factors affecting scientific inquiry, such as questioning, the accumulation and transfer of knowledge, paradigm shifts, empirical evidence, scientific reasoning, scrutinizing and peer review, influences of technology and society, scientists' collaboration as well as ethics and regulations in science.

Keywords: History of science; History of scientific inquiry, Scientific inquiry

บทนำ

การสืบเสาะ (inquiry) เป็นกิจกรรมหนึ่งที่มีรากฐานมายาวนานในประวัติศาสตร์ของมวลมนุษยชาติได้ปรากฏหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ว่ามนุษย์ได้ออกเดินทางจาก ณ ที่แห่งหนึ่งในทวีปแอฟริกา ซึ่งปัจจุบันคาดว่าคือประเทศเอธิโอเปีย (White et al., 2003) รอนแรมไปยังทวีปต่าง ๆ มีการตั้งรกราก สร้างอารยะธรรม พัฒนา

เติบโต ล่มสลาย ย้ายถิ่นฐาน มนุษย์จะทำเช่นนี้ไม่ได้ถ้าปราศจากจิตวิญญาณของการสืบเสาะ ซึ่งถือเป็นวิวัฒนาการทางสติปัญญา (intellectual evolution) อย่างหนึ่งของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อโลกอย่างมากมายในทุก ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม การเมือง รวมไปถึงค่านิยมต่าง ๆ ซึ่งการสืบเสาะได้เปลี่ยนแปลงไปตามบริบทสังคม เวลา สถานที่แวดล้อม

การสืบเสาะมีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่นำไปสู่การค้นพบและสร้างองค์ความรู้ แนวคิด และความเข้าใจในสรรพสิ่ง การจัดการศึกษาขั้นพื้นฐานได้เน้นกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็นเป้าหมายสำคัญของการจัดการเรียนรู้ทั้งในประเทศไทย (Ministry of Education, 2008) และนานาชาติ (Barrow, 2006) อย่างไรก็ตามคำว่า “การสืบเสาะ” หรือ “การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์” เป็นคำที่มีการตีความไปอย่างหลากหลาย พบว่า ถูกให้นิยามเป็นเพียง “วิธีสอน” (Gyllenpalm et al., 2010) เป็นเพียงการสืบค้น การค้นคว้าหรือรูปแบบการสอนหนึ่ง เช่น วัฏจักรการสอนแบบห้าขั้น (5E) เท่านั้น ดังงานวิจัยของ Wanaek et al. (2013) ที่พบว่าครูเข้าใจว่าการสอนแบบสืบเสาะหมายถึง “ครู ให้ความรู้ ทฤษฎี หรือข้อมูลเบื้องต้นกับนักเรียนในห้องเรียนก่อน จากนั้นครูมอบหมายงานให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มโดยให้ไปศึกษาค้นคว้าหรือสืบค้น เพิ่มเติมจากแหล่งความรู้ต่าง ๆ เช่น ห้องสมุด อินเทอร์เน็ต” จึงเป็นที่น่าเสียดายหากจิตวิญญาณสำคัญของวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการถ่ายทอดและวิวัฒนาการมาหลายพันปีจะถูกลดทอนหรือบิดเบือนไปจากลักษณะที่แท้จริงของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

คำถามว่า การสืบเสาะคืออะไร การสืบเสาะสามารถนำไปสู่ความรู้ความจริงอย่างไรและการสืบเสาะมีวิวัฒนาการอย่างไรที่นำไปสู่การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เป็นคำถามที่จะตอบได้ก็ต่อเมื่อผู้ถามต้องสืบเสาะกลับไปยังกระบวนการได้มาซึ่งความรู้จากอดีตจนถึงปัจจุบัน บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่ออภิปรายความเป็นมาของการสืบเสาะผ่านประวัติศาสตร์ของมนุษยชาติ โดยจะแบ่งเป็น 6 ช่วงดังนี้

1. ยุคคลาสสิก (classical age) (2000 ปีก่อนคริสตกาล – ค.ศ. 500)
2. ยุคกลาง (the middle age) (ค.ศ. 500 – 1450)
3. ยุคปฏิวัติวิทยาศาสตร์ (the scientific revolution) (ค.ศ. 1450 – 1700)
4. ยุคแห่งการใช้เหตุผล (the age of reason) (ค.ศ.1701 – 1800)
5. ยุควิทยาศาสตร์แนวคิดใหม่ (the modern science age) (ค.ศ. 1801-2000)
6. ยุคศตวรรษที่ 21 (the 21st century) (คศ.2001 – 2099)

บทความนี้นำเสนอตัวอย่างลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทั้งที่ประสบความสำเร็จและไม่ประสบความสำเร็จ จากการวิเคราะห์ตามมุมมองของผู้เขียนมาอภิปรายตามหัวข้อดังต่อไปนี้

การสืบเสาะในยุคคลาสสิก

เมื่อกล่าวถึงยุคคลาสสิก เอกสารต่าง ๆ อ้างอิงถึงช่วงเวลาก่อนประวัติศาสตร์จนถึงยุคกรีก ซึ่งมีวิวัฒนาการด้านความคิดและการสืบเสาะเด่นชัดมาก โดยเฉพาะการเริ่มต้นด้วยการตั้งคำถามต่อชีวิต ธรรมชาติ สิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงตอบด้วยกระบวนการทางความคิด การใช้

เหตุและผล แบ่งไปตามสำนัก (school of thoughts) ที่มีความเชื่อ ความสนใจ ปรัชญาแตกต่างกันออกไป นักปรัชญาของกรีกในยุคเริ่มต้น คือ ธาเลส (Thales) ซึ่งมีชีวิตอยู่ในช่วง 546 – 624 ปีก่อนคริศตกาลได้ตั้งคำถามสำคัญที่ว่า “โลกประกอบขึ้นจากอะไร” โดยเขาคิดว่า “ทุกสิ่งทุกอย่างสร้างมาจากน้ำ” อันเป็นต้นกำเนิดของทฤษฎีองค์ประกอบพื้นฐาน โดยให้เหตุผลว่าน้ำคือหัวใจของสิ่งมีชีวิตและการเจริญเติบโต โดยน้ำสามารถเปลี่ยนรูปได้หลายอย่างทั้งของแข็ง ของเหลว และกลายเป็นไอ ในยุคบาบิโลนและอียิปต์ น้ำมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตอย่างมาก โดยถือว่าศักดิ์สิทธิ์ทั้งในเชิงการดำรงชีวิตประจำวันและทางจิตวิญญาณ (Principe, 2002)

ธาเลส เป็นบุคคลแรก ๆ ที่เปิดศักราชของการศึกษาธรรมชาติในแนวทางสำคัญคือการมองสิ่งที่ปรากฏและสิ่งที่ซ่อนอยู่ภายใต้สิ่งที่ปรากฏ หรือที่ จาคอบ โบรโนสกี (Jacob Bronowski) เรียกกรอบแนวคิดของประเด็นดังกล่าวในหนังสือ The Ascent of Man (Bronowski, 2011) ว่า “โลกที่อยู่ภายในโลก” (world within world) หากจะใช้แนวคิดปัจจุบันอธิบายนั่นคือ จุดเริ่มต้นของการศึกษาสมบัติมหภาค (macroscopic property) ที่กำหนดโดยจุลภาค (microscopic entity) อันเป็นหัวใจของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ นอกจากนี้ความพยายามศึกษาว่าทุกสิ่งทุกอย่างอาจจะประกอบมาจากสสารชนิดใดชนิดหนึ่งที่เป็นมูลฐาน ยังสืบทอดมาถึงปัจจุบันคือแขนงวิชาฟิสิกส์อนุภาค ซึ่งในแง่ของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ผลงานของธาเลสอาจไม่หลงเหลือความถูกต้องมากนัก แต่ในแง่ของการสืบเสาะ ธาเลสและนักคิดในยุคแรก ๆ ของกรีกได้วางพื้นฐานสำคัญไว้สองประการ

ประการแรกคือ การศึกษาธรรมชาติอย่างเป็นระบบ มีการสังเกต การบันทึก เพื่อค้นหาสาเหตุและหลักการของธรรมชาติ ประการที่สองคือการมองโลกด้วยกรอบแนวคิดที่เอื้อต่อการทำความเข้าใจธรรมชาติ หรือในปัจจุบันเราเรียกว่า โลกทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (scientific worldview) (Chamrat and Yutakom, 2008) นั่นคือ ธรรมชาติมีกฎเกณฑ์ มีความสม่ำเสมอ และเป็นไปได้ที่มนุษย์จะทำความเข้าใจด้วยการใช้สติปัญญารวมทั้งการคิดเพื่อศึกษากฎเกณฑ์หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งก็คือรากฐานของการเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (scientific inquiry) ในปัจจุบันนั่นเอง

ในยุคที่ธาเลสมีชีวิตอยู่ ยังปรากฏชื่อนักคิดอีกหลายคน มีการเรียกกลุ่มนักคิดยุคนี้ว่านักปรัชญาก่อนยุคโสเครติส (The Pre-Socratic) (Guthrie, 1962) ซึ่งมักแสวงหาคำตอบของคำถาม เช่น โลกประกอบด้วยอะไร จักรวาลเกิดขึ้นได้อย่างไร โลกมาจากไหน การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้อย่างไร สามารถศึกษาความจริงของโลกได้หรือไม่และอย่างไร โลกเราเป็นระเบียบแบบแผนจนสามารถศึกษาได้จริงหรือ แล้วการรับรู้ของคนเราจะนำไปสู่ความรู้นั้นจริงหรือไม่และอย่างไร ซึ่งคำถามเหล่านี้เป็นคำถามสำคัญของปรัชญาสาขาต่าง ๆ (Copleston, 1946)

นักปรัชญาในสำนัก Milesian ได้นำเสนอว่าองค์ประกอบของสรรพสิ่งในจักรวาลประกอบด้วยดิน น้ำ ลม ไฟ และอีเทอร์ นอกจากนี้ยังมีดิโมเครตุส (Democritus) และลิวซิปปุส (Leucippus) ซึ่งได้ใช้กระบวนการสืบเสาะทางความคิดเปรียบเทียบแล้วนำเสนอว่า สสารทุกอย่างล้วนประกอบขึ้นด้วยสิ่งที่เล็กที่สุดและแบ่งแยกไม่ได้อีกแล้ว เรียกว่าอะตอม มาจากภาษากรีกคือ อะตอมมัส

(*átomos*) (Taylor, 2010)

ความพยายามอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ เป็นการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งที่ขยายขอบเขตการรับรู้ กล่าวคือ “ความมีตัวตนตามทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ (theoretical entities in science)” โดยการมีอยู่ของปรากฏการณ์บางอย่างไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยการสังเกตทางกาย แต่ต้องใช้กระบวนการคิดวิเคราะห์ร่วมกับทฤษฎีอธิบาย ใคร่ครวญด้วยเหตุและผล อนุมานผ่านหลักฐานที่ปรากฏ เช่น การอธิบายการมีอยู่ของแรงโน้มถ่วง (gravity)

ในยุคคลาสสิก มีอีกรูปแบบหนึ่งของการสืบเสาะเพื่อนำไปสู่การค้นพบหรือสร้างความรู้ คือ การสนทนาซักถามที่เรียกว่า Socratic method วิธีนี้ใช้โดย โสเครติส (Socrates) (600 ปีก่อนคริสตกาล) ซึ่งมีความสำคัญในแง่ของรูปแบบวิธีการคิด รูปแบบการสืบเสาะแบบนี้ผู้ตั้งคำถามต้องมีประสบการณ์สูงและเข้าใจเรื่องที่กำลังจะถามอย่างลึกซึ้ง เนื่องจากต้องตั้งคำถามที่นำไปสู่คำอธิบาย และการทำความเข้าใจประเด็นที่ต้องการในที่สุด รูปแบบการสืบเสาะแบบนี้ยังคงใช้ในปัจจุบัน เช่น การซักพยานในระบบไต่สวน (inquisitorial system) ของศาลยุติธรรม การใช้คำถามในชั้นเรียน รวมทั้งการสนทนาซักถามในการดำเนินชีวิตต่าง ๆ เช่น การสัมภาษณ์ โดยเรียกวิธีการนี้ว่า การใช้คำถามแบบโซเครติส (Socratic questioning หรือ Socratic maieutics)

โดยสรุปการสืบเสาะในยุคคลาสสิกมีการวางรากฐานการตั้งคำถามในเชิงปรัชญาเพื่อศึกษาธรรมชาติ เน้นการใคร่ครวญใช้เหตุผล สร้างองค์ความรู้โดยการถามตอบ วิทยาการต่าง ๆ ที่เจริญก้าวหน้าในยุคต่อมาได้วางรากฐานและได้รับอิทธิพลมาจากแนวคิดยุคคลาสสิกเป็นอย่างมาก

การสืบเสาะในยุคกลาง

การสืบเสาะในยุคกลาง อยู่ในช่วง ศตวรรษที่ 13 ถึงกลางศตวรรษที่ 14 ผู้คนมักจดจำยุคนี้ด้วยภาพการล่าและเผาแม่มด การครอบงำจากอิทธิพลความเชื่อและศาสนา ซึ่งเป็นประวัติศาสตร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในโลกตะวันตก การพบความก้าวหน้าสำคัญในการสืบเสาะของยุคนี้จึงปรากฏไม่มากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของศาสนา การเผาทำลายหนังสือและตำราที่ตกทอดมาจากยุคกรีก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสืบเสาะ “ที่ไม่ประสบความสำเร็จ” นั่นคือ การมีอำนาจเหนืออิสระในการสืบเสาะ การกำหนดกรอบ กฎเกณฑ์ด้วยความเชื่อ ความโน้มเอียงปราศจากเหตุผล ซึ่งขวางกั้นวิธีคิดและวิธีปฏิบัติที่นำไปสู่การศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีความเชื่อที่ฝังรากลึกมานานคือ การเล่นแร่แปรธาตุ (Alchemy) ซึ่งมุ่งแสวงหาน้ำอมฤต (The Fountain) ศิลานักปราชญ์ (Philosophers’ stone) ซึ่งล้วนแต่เป็นการแสวงหาที่อยู่บนฐานของความเชื่อ อย่างไรก็ตามในเวลาเดียวกันนั้นการศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติและวิทยาการต่าง ๆ ของโลกมุสลิมมีความเจริญก้าวหน้าจนเรียกว่าเป็นยุคทองของอิสลาม (Islamic golden age) ซึ่งมีระยะเวลาเริ่มตั้งแต่ศตวรรษที่ 7 – 13 คาบเกี่ยวช่วงเวลายุคกลางของยุโรป ความรู้ต่าง ๆ ในกลุ่มอาหรับพัฒนาอย่างยิ่งยวดทั้ง คณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ ชีววิทยา การแพทย์ รวมไปถึงวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (scientific method) ซึ่งเป็นวิธีการสืบเสาะที่สำคัญอย่างหนึ่งของวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะของกลุ่มนักคิดชาวอาหรับเน้นการ “ทดลอง” ปรากฏหลักฐานการทดลองแบบควบคุมตัวแปรในการศึกษาทางการแพทย์ของ อัล ราซี (Al Razi) นักวิทยาศาสตร์และแพทย์ชาวอิหร่านที่มีชีวิตอยู่

ในช่วงศตวรรษที่ 9 – 10 ซึ่งการสืบเสาะของเขาครอบคลุมทั้งเรื่องวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ การแพทย์ ปรัชญา และวรรณกรรม โดยเขาได้นำเสนอว่า “หากต้องการศึกษาผลของเจาะเลือดออกทิ้งเพื่อการรักษา ให้แบ่งกลุ่มคนไข้ออกเป็นสองกลุ่ม เจาะเลือดทิ้งเพื่อการรักษา 1 กลุ่ม สังเกตผลทั้งสองกลุ่มแล้วเปรียบเทียบกัน” (Hajar, 2013) โดยลักษณะดังกล่าวคือการทดลองที่มีการควบคุมตัวแปร หนึ่งในวิธีการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นที่รู้จักและแพร่หลายมากที่สุดวิธีหนึ่งในปัจจุบัน

นอกจากนี้ อัล ราซี ยังได้เขียนและรวบรวมหนังสือจำนวนมาก เช่น หนังสือด้านการแพทย์ที่ชื่อว่า Kitab al-Hawi ซึ่งต่อมามีความสำคัญในฐานะเอกสารบันทึกความรู้จากแหล่งต่าง ๆ โดยแปลหนังสือและเอกสารทั้งภาษากรีก ภาษาอินเดีย ภาษาจีน เป็นภาษาอาหรับ ดังนั้นหนังสือที่เขียนโดยนักปรัชญาชาวกรีกจึงเหลือรอดจากการเผาในยุคกลางของยุโรป ทำให้ความรู้และการค้นพบต่าง ๆ ยังไม่สูญหายไปจากโลกนี้ การเลื่อนไหลของความรู้ผ่านการเผยแพร่ทางหนังสือและเอกสารผ่านการค้าขายระหว่างประเทศต่าง ๆ ในยุโรป ทำให้เกิดการถ่ายโอน แลกเปลี่ยนความรู้และนวัตกรรมซึ่งกันและกันเป็นรากฐานของการเปลี่ยนแปลงด้านกระบวนวิธีคิดที่นำไปสู่การปฏิวัติวิทยาศาสตร์ที่จะเกิดขึ้นในยุคถัดไป

โดยสรุปแม้ว่าในยุคกลาง การสืบเสาะไม่ก้าวหน้ามากนักด้วยอิทธิพลของกระบวนการคิดที่ปะปนระหว่างความจริง ความเชื่อ และอคติ แต่ก็แสดงให้ให้เห็นว่าการสั่งสมวิทยาการต่าง ๆ ทั้งองค์ความรู้และวิธีปฏิบัติด้วยการบันทึก การแปลและการถ่ายทอด ทำให้องค์ความรู้ไม่สูญหายไปจากโลก หากแต่รอวันมาถึงของเทคโนโลยีที่สามารถเผยแพร่วิธีคิดและวิธีปฏิบัติเหล่านั้นให้แพร่หลายในวงกว้าง นั่นคือ เทคโนโลยีการพิมพ์ และในทัศนะของผู้เขียนเห็นว่าเป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญของการนำไปสู่การปฏิวัติวิทยาศาสตร์ในเวลาต่อมา

การสืบเสาะในยุคปฏิวัติวิทยาศาสตร์

ก่อนที่จะเกิดการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ในยุโรปช่วงคริสตศตวรรษ 16 – 17 มีการประดิษฐ์เครื่องพิมพ์ยุคใหม่ที่สามารถจัดเรียงตัวอักษรได้ในช่วงปี ค.ศ.1450 ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อการสืบเสาะ เนื่องจากการพิมพ์นำมาซึ่งการนำเสนอแนวคิด การค้นพบต่าง ๆ ในเชิงวิชาการ ทำให้เกิดการเปรียบเทียบ แลกเปลี่ยนความรู้ในกลุ่มสังคมของผู้ที่สนใจศึกษาเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งการสืบเสาะเพื่อทำความเข้าใจธรรมชาติ เมื่อสิ่งพิมพ์และหนังสือเป็นเสมือนการจัดการองค์ความรู้และเผยแพร่ จึงมีการทดสอบหลักการ แนวคิดหรือสมมติฐาน โดยการนำไปใช้อธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ แต่เมื่อความรู้เดิมไม่สามารถอธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ได้ หรือการค้นพบความผิดปกติ (anomali) ของปรากฏการณ์ที่ไม่สอดคล้องกับหลักการหรือคำอธิบายเดิมนั้น ผู้คนจึงต้องสืบเสาะหาความรู้ใหม่หรือคำอธิบายใหม่ด้วยประสบการณ์ตรงและวิธีคิดที่เรียกว่า ประสบการณ์นิยม (empiricism) ซึ่งให้ความสำคัญของสังเกต การทดลอง และเน้นหลักฐาน โดยเริ่มมีการเก็บหลักฐานอย่างรัดกุมด้วยวิธีชั่ง ตวง วัด เช่น การทดลองของโรเบิร์ต บอยล์ (Robert Boyle) ในปี ค.ศ. 1662 ที่ใช้การทดลองและวิธีการเก็บและวัดปริมาณแก๊สจากการเกิดปฏิกิริยา มีการสังเกต โดยใช้การชั่ง ตวง วัด ที่แม่นยำมากขึ้น

นอกจากนี้การประดิษฐ์เทคโนโลยีใหม่ ๆ

เช่น กล้องโทรทรรศน์ กล้องจุลทรรศน์ ทำให้เพิ่มขีดจำกัดของการสังเกต ในที่สุดจึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนทัศน์ (paradigm) ในการมองโลก คือการเปลี่ยนจากความเชื่อเดิมที่วางรากฐานมาอย่างยาวนานนับตั้งแต่ยุคกรีก เช่น การแทนที่ Geocentric ที่มองโลกเป็นศูนย์กลางเปลี่ยนเป็น Heliocentric ที่มองว่าดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางเมื่อโคเปอร์นิคัสตีพิมพ์หนังสือ "On the Revolutions of the Celestial Spheres "ใน ค.ศ.1543 รวมทั้งการแทนที่โหราศาสตร์ (As-trology) ด้วยดาราศาสตร์ (Astronomy)

นอกจากนี้การเกิดขึ้นของสมาคมวิชาชีพที่ศึกษาด้านธรรมชาติ เช่น The Royal Society ทั้งการเกิดขึ้นของเทคโนโลยีการพิมพ์และการเกิดขึ้นของกลุ่มสมาคมที่ศึกษาธรรมชาติ (ซึ่งภายหลังเรารู้จักในนามสมาคมวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ) ได้กลายมาเป็น "หัวใจ" ของธรรมชาติของการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ที่สำคัญประเด็นหนึ่ง นั่นคือ การทบทวนวรรณกรรม (literature review) และการตรวจสอบโดยผู้คนในแวดวงเดียวกัน (peer review) เป็นกิจกรรมสำคัญที่มีบทบาทสูงต่อการพัฒนาให้วิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือที่เข้าใกล้ "ความจริง" หรือ สัจธรรมแห่งธรรมชาติมากขึ้น ซึ่งเมื่อผลการค้นพบได้เผยแพร่ออกไป ก็จะเกิดการเปรียบเทียบและการถูกตรวจสอบอย่างเข้มข้น ทำให้ความรู้และวิธีปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์มีความน่าเชื่อถือและระมัดระวังในการกล่าวอ้าง (claim) และสิ่งที่จะช่วยได้คือ หลักฐาน (evidence) ที่จะมาสนับสนุน ดังนั้นเมื่อปรากฏ “การกล่าวอ้าง” ก็จะมี “หลักฐาน” มายืนยัน สิ่งนี้ปรากฏจนเป็นธรรมเนียม (norm) ของวงการวิทยาศาสตร์ การดำเนินการในลักษณะดังกล่าวได้สร้างกระบวนทัศน์ใหม่ของวิทยาศาสตร์ที่เรียกว่า การปฏิวัติวิทยาศาสตร์ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของการนำไปสู่ยุคของการใช้เหตุผล ในศตวรรษที่ 18 ดังหัวข้อถัดไป

การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในยุคแห่งการใช้เหตุผล

การสืบเสาะที่ถือได้ว่าเข้าสู่ความเป็นวิทยาศาสตร์ถือกำเนิดขึ้น เนื่องจากการละทิ้งกรอบแนวคิดเดิมที่มีตั้งแต่สมัยยุคคลาสสิกที่ตกทอดมายังยุคกลาง ทำให้เกิดการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ กระบวนการคิดอย่างเป็นวิทยาศาสตร์จึงมีความแพร่หลายในยุคนี้ โดยครอบคลุมในช่วงปลายของศตวรรษที่ 17 ถึงต้นศตวรรษที่ 19 มีบทบาททั้งในยุโรปและอเมริกาเหนือ ยุคแห่งการใช้เหตุผล (the Age of Reason) ปรากฏชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น ยุคภูมิธรรมหรือยุคเรืองปัญญา (the Age of Enlightenment) ลักษณะสำคัญของยุคนี้คือวิทยาการต่าง ๆ เข้าสู่ความรุ่งเรือง มีการเปลี่ยนกรอบในการมองโลก มีความเคลื่อนไหวในเชิงวิชาการเพื่อตอบคำถามต่าง ๆ โดยระบบวิธีคิดอย่างเป็นเหตุเป็นผลและความปรารถนาอย่างแรงกล้าของผู้คนในสังคมที่จะตอบคำถามและอธิบายสิ่งต่าง ๆ ทำให้เกิดความตื่นตัวที่จะนำแนวคิดการสืบเสาะอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ขยายไปยังศาสตร์อื่น ๆ อย่างกว้างขวางแม้ไม่ใช่ในแวดวงวิทยาศาสตร์ (Outram, 2013)

การกำเนิดของเคมีแทนที่รสายนเวท (Alchemy) เป็นเสมือนด่านแรกของการเปลี่ยนแปลงในยุคของการใช้เหตุผล การเก็บข้อมูลอย่างรัดกุมด้วยการชั่ง ตวง วัด และการรายงานเป็นการเปิดเผยขั้นตอนและวิธีการสืบเสาะที่ส่งผลอย่างมากในการประเมินความรู้และวิธีการได้มาซึ่งความรู้เหล่านั้น แล้วต่อยอดหรือการ

นำไปลงข้อสรุปด้วยการสร้างคำอธิบายต่าง ๆ ซึ่งจอห์น ดาลตัน (John Dalton) ได้ใช้ผลการทดลองของโจเซฟ เพรสลีย์ (Joseph Presley) และ อองตวน ลาวัวซิแอร์ (Antoine Lavoisier) มาสนับสนุนการอธิบายด้วยแนวคิดธรรมชาติความเป็นอนุภาคของสสารอันเป็นรากฐานของทฤษฎีอะตอมที่มีใจความว่าสสารทุกชนิดประกอบด้วยหน่วยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า “อะตอม” ซึ่งผู้เขียนวิเคราะห์ว่าเป็นการสิ้นสุดของรสายนเวทอย่างเป็นทางการ โดยมีแนวคิดสำคัญหนึ่งของทฤษฎีอะตอมที่เสนอว่า “ไม่สามารถเปลี่ยนจากธาตุหนึ่งไปเป็นอีกธาตุหนึ่งได้” (Freund, 2014) โดยใช้หลักฐานจากผลการทดลองที่เป็นไปตามกฎทรงมวลและกฎสัดส่วนคงที่ซึ่งอธิบายการเข้าทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบโดยใช้ทฤษฎีอะตอม ซึ่งถือเป็นการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญในยุคของการใช้เหตุผล (Golinski,1999)

นอกจากนี้การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เพื่อนำไปสู่ "กระบวนการคิด" แบบใหม่ ได้กำเนิดขึ้นในช่วงเวลานี้ ดังเช่นการคิดค้นกระบวนการจัดกลุ่มและแบ่งประเภทของสิ่งมีชีวิตอันเป็นรากฐานการกำเนิดของสาขาวิชาอนุกรมวิธาน (Taxonomy) โดย คาโรลัส ลินเนียส (Carolus Linnaeus) ใน ค.ศ. 1735 และความพยายามในการจำแนกชนิดของหินโดยนักธรณีวิทยา (Miyashiro, 1994) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการจัดจำแนกประเภทของหินที่มีการปรับเปลี่ยนและพัฒนามาจนถึงปัจจุบัน วิธีการสืบเสาะนี้เป็นกระบวนการคิดแบบใหม่ที่นำไปสู่การสร้างความรู้ใหม่ ไม่ใช่เพียงแค่การค้นพบข้อเท็จจริงใหม่เท่านั้น ความสำเร็จของวิทยาศาสตร์ในยุคแห่งการใช้เหตุผลแสดงให้เห็นว่าลำพังเพียงการค้นพบหลักฐานแต่อย่างเดียวไม่อาจนำไปสู่ความสำเร็จในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ได้ วิธีการคิด (ways of thinking) เป็นลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสะท้อนโดยคำอธิบายของเออร์วิน โชร์ดิงเจอร์ (Erwin Schrödinger) ว่า

> *“การทำงาน[ของนักวิทยาศาสตร์] ไม่ใช่การมองหาสิ่งที่คนอื่นยังไม่เห็น แต่เป็นการคิดที่ยังไม่มีใครเคยคิด ในสิ่งที่ทุก ๆ คนก็เห็นเหมือน กัน”* (Kaplan, 2000)

สิ่งที่น่าสังเกตอีกประการหนึ่งที่เป็นปัจจัยสนับสนุนความสำเร็จในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์คือความนิยมในวิทยาศาสตร์ ทั้งด้านการตีพิมพ์วารสาร หนังสือ รวมไปถึงในแวดวงวรรณกรรม โดยถือว่า การคิดอย่างเป็นเหตุผลหรือการนำไปสู่การรู้แจ้งนั้น (enlightenment) ทำได้โดยผ่านกระบวนการคิดและสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ปรากฏการณ์ทางสังคมที่ให้คุณค่า สนใจและสนับสนุนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ (OECD, 2013) นับเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการขับเคลื่อนความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะการเข้ามามีบทบาทในการสร้างกลุ่มทางสังคม เพื่อแลกเปลี่ยน นำเสนอข้อค้นพบ ตรวจสอบกลั่นกรอง (scrutinizing) นอกจากนี้ยังมีการก่อตั้งสถาบันด้านการศึกษาจำนวนมาก เช่นการกำเนิดสาขาต่าง ๆ ของวิทยาศาสตร์ในมหาวิทยาลัย ซึ่งมีบทบาททั้งสร้างและเผยแพร่องค์ความรู้ต่อยอดให้เกิดวิทยาศาสตร์ยุคใหม่ที่เปลี่ยนแปลงวิถีการดำเนินชีวิตของผู้คนในเวลาต่อมา (Knight, 2010)

การสืบเสาะในยุควิทยาศาสตร์แนวคิดใหม่

เมื่อกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่ได้รับอิทธิพลแนวคิดจากกลุ่มประสบ-

การณ์นิยม (Empiricism) และปฏิฐานนิยม (Positivism) ซึ่งประสบความสำเร็จในยุคปฏิวัติวิทยาศาสตร์ จนก่อให้เกิดความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ในช่วงศตวรรษที่ 18 คาบเกี่ยวจนถึงวิทยาศาสตร์ยุคใหม่ ในช่วงศตวรรษที่ 19 – 20 ซึ่งเป็นระยะเวลา 200 ปี ที่เกิดการค้นพบทั้งในเชิงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมาก ยุคศตวรรษที่ 20 ได้แสดงให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างเทคโนโลยีและสังคมที่มีต่อการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ และการมีส่วนร่วมของภาคเอกชนที่มีต่อการวิจัยทางวิทยาศาสตร์อันนำไปสู่การสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ ที่ใช้วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์เป็นพื้นฐาน อาจจะกล่าวได้ว่ายุคนี้เองที่เทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์ประยุกต์เช่น วิศวกรรมศาสตร์มีความเจริญก้าวหน้าอย่างยิ่งยวด ผลสืบเนื่องของความก้าวหน้านี้นำไปสู่การปฏิวัติอุตสาหกรรม (Musson and Robinson, 1969) และการปฏิวัติเกษตรกรรม (Paarlberg and Paarlberg, 2000)

จากการศึกษาการค้นพบทางวิทยาศาสตร์และการประดิษฐ์คิดค้นที่สารานุกรม Britannica รวบรวมไว้จากอดีตถึงปี 2003 พบว่าการค้นพบและการประดิษฐ์ทั้งในเชิงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของช่วงศตวรรษที่ 19 – 20 มีมากถึงร้อยละ 69 ของทั้งหมด (Folta, 2007) ความรู้ต่าง ๆ นำไปสู่การประดิษฐ์เทคโนโลยี แล้วเทคโนโลยีนั้นก็ถูกนำมาใช้ในการค้นพบวิทยาศาสตร์ใหม่ ๆ แสดงให้เห็นความสัมพันธ์แต่แตกต่างที่เป้าหมาย ดังที่เอกสารกรอบแนวคิดการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ของ PISA OECD ระบุว่า

> *“วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีความแตกต่างใน เป้าหมาย กระบวนการและผลที่ได้ เทคโนโลยีมุ่งหมายเพื่อแก้ปัญหาอย่างเหมาะสมโดยอาจมีได้มากกว่าหนึ่งวิธี ในทางตรงข้าม วิทยาศาสตร์มุ่งตอบคำถามของปัญหาที่เกี่ยวข้องทั้งทางธรรมชาติและทางวัตถุ..”* (OECD, 2013)

ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในยุคนี้ไม่ได้เกิดจากกลุ่มของนักวิทยาศาสตร์ที่สังกัดสถาบันการศึกษาหรือสมาคมวิทยาศาสตร์เท่านั้น หน่วยงานเอกชนได้เข้ามามีส่วนร่วมในการประดิษฐ์คิดค้น วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีซึ่งมีเป้าหมายเพื่อการค้า อุตสาหกรรม เช่น การประดิษฐ์เครื่องยนต์สันดาปภายใน การนำความรู้เรื่องเครื่องจักรไปนำไปประดิษฐ์รถไฟ รวมถึงได้รับอิทธิพลจากการเมือง เช่น กลุ่มนักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาในโครงการแมนฮัตตัน (Hughes, 2002) นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารทางไกล โทรเลข โทรศัพท์ และเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารยุคใหม่ที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสาร อินเทอร์เนต (Friedman, 2005)

เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารส่งผลต่อการทำงานของนักวิทยาศาสตร์มาก นับตั้งแต่มีการสร้าง World Wide Web (WWW) โดย CERN (Segal, 1995) ซึ่งจุดมุ่งหมายเพื่อให้กลุ่มนักวิจัย และนักวิทยาศาสตร์ได้มีการสื่อสารปฏิสัมพันธ์กัน ต่อมาได้กลายเป็นแหล่งข้อมูล สื่อกลางการติดต่อสื่อสาร การเผยแพร่งานวิจัย การสร้างเครือข่ายและการเข้าถึงงานวิจัย รวมทั้งเอื้อให้เกิดการการกลั่นกรองและการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

ในภาพรวมของยุควิทยาศาสตร์แนวคิดใหม่ การกำเนิดของเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารไม่เพียงแต่ยกระดับการเผยแพร่การค้นพบทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังตอบสนองต่อธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่

ต้องมีการพิสูจน์ยืนยัน (verification) โดยการตรวจสอบและกลั่นกรองคำกล่าวอ้าง (claim) และกระบวนการได้มาซึ่งการค้นพบหรือการลงข้อสรุปอันเป็นที่มาของคำกล่าวอ้างนั้น ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ก้าวหน้าและประสบความสำเร็จอีกครั้ง

การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในยุคศตวรรษที่ 21

การสืบเสาะในยุคศตวรรษที่ 21 มาพร้อมความจำเป็นใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้นเพราะความเปลี่ยนแปลงสภาพเศรษฐกิจและสังคม ทำให้ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่ไม่เพียงจะเปลี่ยนวิถีการดำเนินชีวิตของผู้คน ยังเปลี่ยนวิธีการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากความซับซ้อนของระบบต่าง ๆ มีมากขึ้น ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีทำให้สาขาวิชาใหม่ ๆ เกิดขึ้น เช่น การสืบเสาะไปยังข้อมูลจำนวนมหาศาล (big data) อันเป็นผลจากการก้าวกระโดดของความสามารถในการตรวจวัด จัดเก็บข้อมูลจำนวนมาก การพัฒนาของอินเตอร์เน็ต เครือข่ายไร้สาย Cloud Technology ซึ่งมีบทบาทถึงขั้นเปลี่ยนแปลงวิธีการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ โดยจะเห็นได้ชัดในช่วงต้นของศตวรรษที่ 21 เมื่อเทคโนโลยีในการเก็บและจัดกระทำข้อมูลมีศักยภาพเพียงพอจนกระทั่งนักวิทยาศาสตร์บางสาขาไม่ต้องใช้วิธีลดทอนนิยม (Reductionism) เพื่อทดสอบสมมติฐานเพียงบางประเด็นเหมือนนอดีต ดังงานวิจัยของ Wong and Hudson (2009) ที่นำเสนอแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ด้านชีวโมเลกุลที่ว่า ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบัน ส่งผลให้บางครั้งการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไม่จำเป็นต้องมีการตั้งสมมติฐานแล้วตามด้วยทดสอบ เนื่องจากความสามารถของเทคโนโลยีที่จัดเก็บและประมวลข้อมูลจำนวนมหาศาลในเวลาอันรวดเร็ว นักวิทยาศาสตร์เก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนมากก่อน จากนั้นจึงศึกษาโดยวิธี "Data Mining" หรือการทำเหมืองข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งคำถามหรือข้อค้นพบใหม่

การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันยังต้องอาศัยการทำงานร่วมกัน โดยในปี ค.ศ. 2001 กลุ่มนักวิทยาศาสตร์ได้ร่วมมือกันศึกษาจีโนมของมนุษย์และได้ตีพิมพ์ผลการค้นพบในวารสาร Nature เดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2001 (Lander et al., 2001) ปรากฏชื่อผู้เขียนรวมหลายร้อยคน จาก 18 หน่วยงานทั่วโลก เพราะการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มีความซับซ้อนและเฉพาะทางมากขึ้น การทำงานจึงต้องการผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขามามีส่วนร่วมในงานวิจัย ลักษณะงานที่ต้องใช้ความร่วมมือ เช่น ความร่วมมือในการสำรวจด้านอวกาศของสถานีอวกาศนานาชาติ (International Space Station, ISS) จึงมีนักบินอวกาศหลากหลายเชื้อชาติ การรวมกลุ่มทำงานวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ (research cluster) ซึ่งเป็นได้ทั้งกลุ่มวิจัยเล็ก ๆ ในหน่วยงาน หรือกลุ่มวิจัยระดับโลก เช่น กลุ่มนักวิทยาศาสตร์หลายพันคนที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (IPCC, n.d.) กลุ่มนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานใน LIGO (Laser Investigation Gravitational Observation) เพื่อศึกษาคลื่นความโน้มถ่วง (Gravitatinal Wave) โดยการตีพิมพ์ในวารสาร Physical Review Letters (Abbott et al., 2016) ระบุผู้มีส่วนร่วมในการสืบเสาะครั้งนี้มากกว่าหนึ่งพันคน จาก 133 หน่วยงานทั่วโลก โดยหนึ่งในนั้นมีนักวิทยาศาสตร์คนไทยรวมอยู่ด้วย (The LIGO Scientific Collaboration, 2016) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า

ในศตวรรษที่ 21 คนไทยได้เข้าไปมีบทบาทในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญมากขึ้น ตัวอย่างเช่น การค้นพบและนำเสนอสูตรคำนวณพฤติกรรมของอิเล็กตรอนในอะตอม ของ ทีปานิส ชาชิโย ซึ่งได้รับการยอมรับในระดับโลก (Chachiyo, 2016)

นอกจากนี้ในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในยุคหลัง โดยเฉพาะศตวรรษที่ 21 ยังเน้นเรื่องของ ขนบ กฎเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับศีลธรรมและจริยธรรม จนถึงความเกี่ยวข้องในเชิงกฎหมาย นักวิทยาศาสตร์ที่จะทดลองใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคนและสัตว์ต้องผ่านการอนุญาตในการดำเนินการ โดยวารสารทางวิทยาศาสตร์ชั้นนำ เช่น Nature (Nature: Editorial and publishing policies, n.d.) หรือ Science (Science: Editorial policies, 2015) กำหนดให้นักวิจัยต้องแสดงเอกสารรับรองการอนุญาตการทำการทดลองในสัตว์หรือการทดลองในมนุษย์ รวมไปถึงการดำเนินการใด ๆ ตามข้อกำหนดด้านจริยธรรม จรรยาบรรณ กฎหมายลิขสิทธ์ จึงจะรับเพื่อพิจารณาการตีพิมพ์ ในสังคมวิจัยด้านวิทยาศาสตร์จึงมีคณะกรรมการพิจารณาการวิจัยประจำสถาบัน (Institutional review board) หรือคณะกรรมการที่เทียบเท่าเพื่อทำหน้าที่พิจารณาจริยธรรมการวิจัย

นอกจากนี้ยังมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เช่น ข้อห้ามในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการโคลนนิ่งมนุษย์ การทดลองกับเอมบริโอ ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่นักวิทยาศาสตร์ต้องทำตามข้อบังคับนี้ แม้กระทั่งกฎหมายระหว่างประเทศ เช่น อนุสัญญาห้ามอาวุธเคมี (Chemical Weapon Convention; CWC) ซึ่งว่าด้วยข้อจำกัดการผลิต ใช้สารเคมีอันตราย เป็นพิษ ที่มีศักยภาพเป็นหรือสามารถนำไปผลิตเป็นอาวุธเคมีได้ (OPCW, 2005) กฎหมายระหว่างประเทศหลายฉบับเป็นผลสืบเนื่องจากการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เช่น พิธีสารมอนทรีออลที่ประเทศสมาชิกลงนามเพื่อยุติการผลิตและใช้สาร CFCs สนธิสัญญาเกียวโต ที่ว่าด้วยการจำกัดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก (Posner and Weisbach, 2010; Sunstein, 2007)

การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 จึงมีความซับซ้อน มีผู้เข้าร่วมการสืบเสาะจำนวนมาก ซึ่งมีความเชี่ยวชาญเฉพาะเจาะจงในสาขา มีการใช้เทคโนโลยีเป็นตัวช่วยในการสืบเสาะ มีกฎระเบียบด้านจริยธรรมและกฎหมายมาควบคุม มีกลุ่มทางสังคมของนักวิทยาศาสตร์ร่วมกลั่นกรองและตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและวิธีการ มีความซื่อสัตย์ในการรายงานผล การไม่ละเมิดงานผู้อื่น การไม่ลอกผลงานผู้อื่น (plagiarism) ซึ่งทั้งหมดนี้ถือเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานด้านวิทยาศาสตร์ เป็นปัจจัยร่วมที่ช่วยให้กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ประสบความสำเร็จ รวมทั้งยกระดับความก้าวหน้าของการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์จึงไม่ใช่กระบวนการที่เป็นอิสระจากบริบททางสังคม ในทางตรงกันข้ามกลับพึ่งพาสังคม และเทคโนโลยี รวมทั้งอยู่ภายใต้บริบทของระเบียบ กฎเกณฑ์ ศีลธรรม และกฎหมาย

การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในชั้นเรียน

การสืบเสาะของมนุษย์ได้เริ่มขึ้นเมื่อก่อกำเนิดอารยะธรรมในยุคก่อนประวัติศาสตร์ จนพัฒนามาเป็นการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในยุคปฏิวัติวิทยาศาสตร์ จนปัจจุบันได้กลายเป็นเป้าหมายสำคัญของวิทยาศาสตร์ศึกษาทั้งในประเทศ

ไทยและนานาชาติเพื่อให้พัฒนาบุคคลให้เป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ (science literate person) โดยเฉพาะในช่วงกลางศตวรรษที่ 19 จอห์น ดิวอี้ (John Dewey) ได้นำเสนอแนวคิดให้การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในชั้นเรียนเป็นเช่นกับวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้สืบเสาะหาความรู้ (Barrow, 2006) นอกจากนี้สมรรถนะการประเมินและออกแบบ “การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์” ยังเป็นดัชนีชี้วัดศักยภาพในการพัฒนาประเทศอีกด้วย (OECD, 2013)

ความสำเร็จของเป้าหมายดังกล่าวยังคงไม่ชัดเจน ทั้งผลผลิตที่ตัวผู้เรียนหรือกระบวนการเรียนการสอนที่มุ่งเน้นให้เกิดการสืบเสาะอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ ทั้งความเข้าใจในความหมายการจัดการเรียนการสอนที่แสดงลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ความไม่เข้าใจในธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ไม่เพียงแต่จะแสดงออกมาด้วยผลการประเมินหรืองานวิจัยเท่านั้น แต่ในบริบทของสังคมที่รายรอบก็ก่อให้เกิดความกังวลของระดับความเข้าใจและสมรรถนะของประชาชนที่มีต่อวิทยาศาสตร์ (และเทคโนโลยี) ดังที่ คาร์ล เซแกน (Carl Sagan) แสดงทัศนะด้วยความกังวลไว้ว่า

> *“...เราอยู่ในสังคมที่พึ่งพาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมากมาย และเป็นสังคมเดียวกันนี้ที่ผู้คนแทบจะไม่รู้อะไรเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเลย...”* (Sagan, 1990)

ท่ามกลางความสับสนในนิยามของ “การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์” อันรวมไปถึงการ “ปฏิบัติ” หรือการนำไปใช้ การ “รอ” ให้เอกสารหลักสูตร หนังสือ หรือการอบรมเพื่อพัฒนาวิชาชีพครู มาบอกว่าครูควรทำอะไรเพื่อเป็นการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ตัวครู ศึกษานิเทศก์ และนักการศึกษา อาจต้องเป็นผู้สืบเสาะด้วยตัวเองว่า ลักษณะเช่นใดเป็นองค์ประกอบสำคัญที่บ่งบอกความเป็น การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่แท้จริง ดังที่ โจเซฟ ชเวป (Joseph Schwab) (Barrow, 2006) เรียกร้องให้ครูวิทยาศาสตร์สะท้อนธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ด้วยการศึกษาปรัชญาและประวัติของวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้การศึกษาปรัชญาและประวัติของวิทยาศาสตร์ไม่ใช่การเน้นการตีความหรือหาคำตอบให้คำถามเชิงปรัชญา แต่หมายถึงการศึกษาจุดมุ่งหมายของวิทยาศาสตร์ การตั้งคำถาม วิธีคิด การทำงาน วิธีตีความข้อมูลหลักฐานของนักวิทยาศาสตร์ ศึกษาลักษณะสำคัญของการทำงาน ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสืบเสาะเพื่อดึงประเด็นที่แสดงการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มาอภิปราย มากกว่าการมุ่งศึกษาความรู้ที่เป็นผลผลิตของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในอดีตแต่เพียงอย่างเดียว สิ่งที่ปรากฏจากการเรียนรู้ผ่านประวัติศาสตร์ได้เผยให้เห็นลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่แท้จริงที่ได้รับการยอมรับและปฏิบัติทั้งในวงการวิทยาศาสตร์ ซึ่งบทความนี้ได้พาผู้อ่านสืบเสาะกลับไปยังกระบวนการได้มาซึ่งความรู้จากอดีตจนถึงปัจจุบัน รวมทั้งอภิปรายความเป็นมาของการสืบเสาะผ่านประวัติศาสตร์ 6 ช่วง ซึ่งประกอบด้วย รูปแบบการตั้งคำถาม การสั่งสมและถ่ายโอนความรู้และแนวปฏิบัติจากอดีตจนถึงปัจจุบัน การเปลี่ยนกระบวนทัศน์ การให้คุณค่าหลักฐานเชิงประจักษ์ การใช้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ การกลั่นกรองและการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ อิทธิพลจากสังคมและเทคโนโลยี การทำงานเป็นกลุ่มของนักวิทยาศาสตร์ และจริยธรรมและกฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

การสืบเสาะเพื่อหาความรู้ตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมาในประวัติศาสตร์มีอย่างหลากหลาย มีวิวัฒนาการผ่านการเปลี่ยนกระบวนทัศน์ ส่งผลกระทบและได้รับผลกระทบจากบริบททางสังคมวัฒนธรรม จนกล่าวได้ว่าการสืบเสาะเป็นวิวัฒนาการทางปัญญาอย่างหนึ่งของมนุษย์ การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มีการปรับเปลี่ยน ต่างกันไปในห้วงเวลา สาขาวิชา สังคมและวัฒนธรรม ในกรณีของห้องเรียน ครูต้องออกแบบให้การสืบเสาะนั้นสะท้อนลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ชี้ประเด็นให้เห็นลักษณะของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่ประสบความสำเร็จหรือไม่ประสบความสำเร็จ นำเสนอหลักฐานและเหตุผลประกอบ เลือกลักษณะการสืบเสาะที่เหมาะสมกับแนวคิดที่จะสอน รวมทั้งชี้ประเด็นกระบวนการได้มาซึ่งความรู้ให้กับผู้เรียน โดยระลึกไว้เสมอว่าความรู้เกี่ยวกับกระบวนการได้มาซึ่งความรู้ (epistemological knowledge) (OECD, 2013) สำคัญไม่น้อยไปกว่าตัวความรู้นั้นเอง การเปิดโอกาสให้ “การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์” โดดเด่นในชั้นเรียน จึงเป็นการเรียนการสอนที่เข้าใกล้ความเป็นจริงเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ เป็นการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในแบบที่วิทยาศาสตร์เป็น เนื่องจากการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ถือเป็นหัวใจสำคัญของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ การสะท้อนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ออกมาอย่างชัดแจ้ง (Chamrat and Yutakom, 2008; Chamrat et al., 2009) เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนรู้จักและเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์อันเป็นหัวใจสำคัญของการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญของการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ (Ladachart et al., 2013)

การสร้างกรอบแนวคิด “การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์” ผ่านประวัติวิทยาศาสตร์ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้ครู นักการศึกษา และนักวิทยาศาสตร์ศึกษาทำความเข้าใจ สำหรับการออกแบบหลักสูตร และดำเนินกิจกรรมเพื่อสะท้อน “การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์” อย่างแท้จริง องค์ความรู้และแนวปฏิบัติที่สั่งสมมาจึงเปรียบเสมือนบ่าของยักษ์ที่คนรุ่นหลังยืนอยู่และมองไปข้างหน้าได้ไกลกว่าเดิมดังคำกล่าวของไอแซค นิวตัน (Isaac Newton) ที่ว่า

> *“ที่ข้าพเจ้าสามารถมองได้ไกลกว่า นั่นก็เพราะยืนอยู่บนบ่าของยักษ์”* (Chen, 2003)

เอกสารอ้างอิง

Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., Abernathy, M. R., Acernese, F., Ackley, K., and Adya, V. B. (2016). Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. **Physical Review Letters** 116(6): 061102.

Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: From Dewey to standards. **Journal of Science Teacher Education** 17(3): 265–278.

Bronowski, J. (2011). **The Ascent of Man**. London: BBC Books.

Chachiyo, T. (2016). Communication: Simple and accurate uniform electron gas correlation energy for the full range of densities. **The Journal of Chemical Physics** 145(2): 021101.

Chamrat, S., and Yutakom, N. (2008). Chemistry teachers’ understanding and practices of the nature of science when teach-

ing atomic structure concepts. **Kasetsart Journal: Social Sciences** 29(3): 228–239. (in Thai)

Chamrat, S., Yutakom, N., and Chaiso, P. (2009).

Chen, C. (2003). Mapping scientific frontiers: The quest for knowledge visualization. **Journal of Documentation** 59(3): 364–369.

Copleston, F. C. (1946). **A History of Philosophy**. Westminster, MD: Newman Bookshop. Grade 10 science students' understanding of the nature of science. **KKU Research Journal** 14(4): 360–374. (in Thai)

Folta, J. (Ed.). (2007). **What to Do with the 20th Century in the History of Science and Technology**. Prague: National Technical Museum.

Freund, I. (2014).**The Study of Chemical Composition**. USA: Cambridge University.

Friedman, T. L. (2005). **The World is Flat: A Brief History of the Twenty-first Century**. New York: Farrar, Straus and Giroux.

Golinski, J. (1999). **Science as Public Culture: Chemistry and enlightenment in Britain, 1760–1820**. USA: Cambridge University.

Guthrie, W. K. C. (1962). **A History of Greek Philosophy**. USA: Cambridge University.

Gyllenpalm, J., Wickman, P. O., and Holmgren, S. O. (2010). Teachers' language on scientific inquiry: Methods of teaching or methods of inquiry? **International Journal of Science Education** 32(9): 1151–1172.

Hajar, R. (2013). The air of history (Part IV): Great muslim physicians Al Rhazes: heart views*:* **The Official Journal of the Gulf Heart Association** 14(2): 93.

Hughes, J. A. (2002). **The Manhattan Project: Big Science and the Atom Bomb**. USA: Columbia University.

IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). (n.d.). **How Does the IPCC Work?** Retrieved from http://www.ipcc.ch/organizationorganization_structure. shtml, December 24, 2015.

Kaplan, R. (2000). **Science Says: A Collection of Quotations on the History, Meaning, and Practice of Science**. New York: W.H. Freeman.

Knight, D. (2010). **Science For All: The Popularization of Science in Early Twentieth Century Britain**. USA: University of Chicago.

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)

Lander, E. S., Linton, L. M., Birren, B., Nusbaum, C., Zody, M. C., Baldwin, J., and Funke, R. (2001). Initial sequencing and analysis of the human genome. **Nature** 409(6822): 860–921.

Ministry of Education. (2008). **The Basic Educ-**

ation Core Curriculum B.E.2551. Retrieved from http://www.curriculum51net/upload/cur51.pdf (in Thai), December 10, 2015.

Miyashiro, A. (1994). **Metamorphic Petrology**. London: UCL.

Musson, A. E., and Robinson, E. (1969). **Science and Technology in the Industrial Revolution**. UK: Manchester University.

Nature: Editorial and Publishing Policies. (n.d.). Retrieved from http://www.nature.com/sdata/ for- authors/ editorial- and- publishing-policies, February 10, 2016.

OECD. (2013). **PISA 2015 Draft Science Framework. Paris: OECD**. Retrieved from http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft PISA 2015 Science Framework.pdf, September 15, 2015.

OPCW. (2005). **Convention on The Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on their Destruction**. The Technical Secretariat of the Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons: The Hague.

Outram, D. (2013). **The Enlightenment**. London: Cambridge University.

Paarlberg, D., and Paarlberg, P. (2000). **The Agricultural Revolution of the 20th Century**. Ames, IA: Iowa State University.

Posner, E. A., and Weisbach, D. A. (2010). **Climate Change Justice**. Princeton, N.J: Princeton University.

Sagan, C. (1990). Why we need to understand science. **Skeptical Inquirer** 14(3): 253–259.

Science: Editorial policies. (2015). Retrieved from http://www.sciencemag.org/authors/science-editorial-policies, February 10, 2016.

Segal, B. (1995). **A Short History of Internet Protocols at CERN**. Retrieved from http://ben.home.cern.ch/ben/TCPHIST.html., February 20, 2016.

Sunstein, C. R. (2007). Of Montreal and Kyoto: A tale of two protocols. **Harvard Environmental Law Review** 31: 1.

Taylor, C. C. W. (2010). **The atomists, Leucippus and Democritus: Fragments: A Text and Translation with a Commentary (Vol. 5)**. Canada: University of Toronto.

The LIGO Scientific Collaboration. (2016). **About the LSC**. Retrieved from http://www.ligo.org/about.php, April 7, 2016.

Wanaek, A., Yutakom, N., and Veerapaspong, T. (2013). Science student teachers' understanding and teaching practices of inquiry approach. **Kasetsart Journal: Social Sciences** 34(3): 456–470. (in Thai)

White, T. D., Asfaw, B., DeGusta, D., Gilbert, H., Richards, G. D., Suwa, G., and Howell, F.C. (2003). Pleistocene *Homo sapiens* from Middle Awash, Ethiopia. **Nature** 423 (6491): 742–747.

Wong, S. L., and Hodson, D. (2009). From the horse's mouth: What scientists say about scientific investigation and scientific knowledge. **Science Education** 93(1): 109–130.