ความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายของโรงเรียนเอกชน

Scientific reasoning abilities of upper secondary school students in private schools

ปรารถนา เสือกลั่น[1] และปริณดา ลิมปานนท์ พรหมรัตน์[2]

[1] นิสิตหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, Prathana.sua@gmail.com

[2] อาจารย์ประจำภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, Parinda.L@chula.ac.th

---

บทคัดย่อ

การให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์เป็นความสามารถสำคัญซึ่งเป็นพื้นฐานของการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ ข้อมูลจากการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์จะช่วยให้เราสามารถส่งเสริมและพัฒนานักเรียนให้กลายเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์อย่างมีเป้าหมาย การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบซึ่งสามารถนำมาเป็นข้อมูลในการนำไปพัฒนาและส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยมีตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่กำลังศึกษาอยู่ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการส่งเสริมการศึกษาเอกชน เขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 31 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ แบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ ที่มีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.89 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติบรรยาย ผลการวิจัยสรุปได้ว่า นักเรียนมีคะแนนความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์เฉลี่ยร้อยละ 27.34 เมื่อพิจารณาความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์แยกรายองค์ประกอบ พบว่าองค์ประกอบการระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกตมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละสูงที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 63.98 และองค์ประกอบการให้เหตุผลเชิงความน่าจะเป็น มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละต่ำที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 8.60 เมื่อจัดกลุ่มนักเรียนตามระดับความซับซ้อนในการให้เหตุผลพบว่า นักเรียนมีความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับซับซ้อนน้อยจำนวน 24 คน ระดับซับซ้อนบางส่วนจำนวน 7 คน และไม่พบนักเรียนที่มีความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับซับซ้อนมาก ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า นักเรียนกลุ่มตัวอย่างพอที่จะมีพื้นฐานในการระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกตซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ แต่มีความจำเป็นที่จะต้องได้รับการพัฒนาให้สูงขึ้น และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาความสามารถในการให้เหตุผลในองค์ประกอบด้านอื่นต่อไป

คำสำคัญ: การให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

ABSTRACT

Scientific reasoning is one of the basic important abilities in science education. Some evidence in research about students' scientific reasoning could be utilized with expected outcomes to promote and develop our students to become scientific literacy person. The purpose of this research is to investigate each component of students' scientific reasoning ability. The participants for this research were grade 10 students of a private school in Bangkok who were studying in the second semester of the academic year 2019. The number of participants was 31 students. The research instrument was a scientific reasoning test with the reliability of 0.89. Descriptive statistics was selected to analyze the data. The results

found that 27.34 was the mean percentage score of scientific reasoning ability. The component aspect for specifying the subjects from observation has the highest percentage score of 63.98, and the lowest percentage score of 8.60 was detected for the probability reasoning component aspect. When classifying students according to their levels of complexity in reasoning, it was shown that 24 students had a scientific reasoning ability at least complex level, 7 of them had the ability somewhat complex level, and none of them was at more complex level. The results showed that the participants have some basic ability to identify specifying the subjects from observation which is the basic component aspect of scientific reasoning. However, there is a need for improving this to higher abilities, and it is necessary to further develop other components in scientific reasoning ability as well.

Keywords: Scientific Reasoning

1. บทนำ

การพัฒนาบุคลากรทางด้านวิทยาศาสตร์ต้องอาศัยการศึกษาเป็นกลไกสำคัญในการเตรียมพร้อมให้บุคคลมีความสามารถในการปรับตัวและดำรงชีวิตอย่างรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของเศรษฐกิจและสังคมพหุวัฒนธรรมในยุคศตวรรษที่ 21 (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ, 2559) เป้าหมายหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) จึงกำหนดให้ทำการส่งเสริมผู้เรียนให้ได้รับการเรียนรู้แนวคิดวิทยาศาสตร์ควบคู่กับการพัฒนาความคิดระดับสูง การคิดเป็นเหตุเป็นผล การคิดสร้างสรรค์ การแก้ปัญหา เพื่อส่งเสริมผู้เรียนกลายเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561a) อย่างไรก็ตามการจะนำนักเรียนไปสู่การเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ จำเป็นที่จะต้องใช้ความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐาน ในการสนับสนุนให้ผู้เรียนสามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ทำการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ จนเกิดสมรรถนะด้านวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ในการทำความเข้าใจในสถานการณ์ปัจจุบัน (Lawson, 2000, 2004, 2010; Weld, Stier, & McNew-Birren, 2011)

ในการศึกษาพบว่าการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการคิดที่มีเป้าหมายเพื่อสรุปความสัมพันธ์อย่างมีเหตุผลในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน โดยอาศัยการตรวจสอบสมมติฐาน และการอนุมานเพื่อสรุปความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างผลที่ได้จากการตรวจสอบสมมติฐานกับสมมติฐาน (Ding, Wei, & Mollohan, 2014; Kambeyo, 2017; Lawson, 1978; Opitz, Heene, & Fischer, 2017)

Lawson (2004) ได้อธิบายว่าการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์เป็นกลยุทธ์ทางความคิดมีลักษณะที่เป็นนามธรรมและเป็นความรู้เชิงกระบวนการ (procedural knowledge) ดังนั้น การให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์จึงประกอบไปด้วยความสามารถด้านการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์และขั้นตอนของการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การให้เหตุผลเชิงความน่าจะเป็น การควบคุมตัวแปร การให้เหตุผลเชิงสัดส่วน การให้เหตุผลเชิงสหสัมพันธ์ และการให้เหตุผลแบบนิรนัยเชิงสมมติฐาน เพื่อดำเนินการตามขั้นตอนในการระบุสิ่งประเด็นที่สงสัย และการวางแผนการทดสอบสมมติฐาน

นอกจากนี้ Lawson (2004) อธิบายเพิ่มเติมไว้ว่า บุคคลที่จะมีสมรรถนะในการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ได้ดี จะต้องมีความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดีด้วย ดังนั้นผลการประเมินสมรรถนะในการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์จากโครงการ PISA 2015 จึงถูกนำมาเป็นหลักฐานที่สะท้อนถึงความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน จากผลการประเมินสมรรถนะในการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ในประเทศไทยเปิดเผยว่านักเรียนทำคะแนนได้เพียงร้อยละ 27.7 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561b) และ

เมื่อเปรียบเทียบผลการประเมินการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยจำแนกตามกลุ่มโรงเรียน พบว่า นักเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชนมีผลคะแนนการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ อยู่ที่ 410 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยของประเทศซึ่งมีค่า 421 คะแนน แสดงให้เห็นว่านักเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชนอาจจะมีความเป็นไปได้ที่จะมีปัญหาด้านความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับการศึกษาเอกสารของ Piraksa, Srisawasdi, and Koul (2014) ที่ศึกษาความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในภาคเหนือ แล้วพบว่ามีองค์ประกอบของความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ด้านการให้เหตุผลเชิงสัดส่วน การควบคุมตัวแปร และการให้เหตุผลแบบนิรนัยเชิงสมมติฐานอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ

แม้ว่านักเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน เขตกรุงเทพมหานคร จะมีบริบทของความพร้อมในการเข้าถึงการจัดการเรียนรู้สอดคล้องตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน มีกิจกรรมส่งเสริมเพื่อพัฒนาทักษะในด้านต่าง ๆ ของผู้เรียน แต่คะแนนเฉลี่ยสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ก็ยังต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศจึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ในระดับองค์ประกอบของนักเรียนเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ส่งเสริมและพัฒนานักเรียนในลำดับต่อไปได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน

3. การดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการศึกษาความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน ซึ่งเป็นกลุ่มนักเรียนที่มีคะแนนสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ในโครงการ PISA 2015 ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย จึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีปัญหาด้านความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ด้วย

3.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่กำลังศึกษาอยู่ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการส่งเสริมการศึกษาเอกชน เขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นโรงเรียนที่ผู้วิจัยทำงานอยู่ ดำเนินการทำการสุ่มแบบอย่างง่ายจากนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนเน้นวิทยาศาสตร์ จาก 7 กลุ่มการเรียน ซึ่งนักเรียนในแต่ละกลุ่มการเรียนมีความแตกต่างกันในการเลือกตามความถนัดในการเรียนและเป้าหมายในการประกอบอาชีพ ทำให้ได้กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย จำนวน 31 คน

นักเรียนกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด 31 คน มีคุณลักษณะ คือ เป็นนักเรียนที่อยู่ในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการส่งเสริมการศึกษาเอกชนมาที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานมาโดยตลอดตั้งแต่ระดับชั้นประถมศึกษาจนถึงปัจจุบัน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบวัดความสามารถการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบวัดที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยใช้แนวคิดมาจากแบบทดสอบความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของ Johnson and Lawson (1998) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.2.1 กำหนดนิยามและโครงสร้างของแบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

ศึกษาตำรา งานวิจัย และบทความวิชาการเกี่ยวกับความหมาย ประเภท องค์ประกอบของการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์และแนวทางการวัดประเมินการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ สร้างข้อคำถามสำหรับการวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับนิยาม และพฤติกรรมชี้วัด โดยมีแนวทางในการสร้างข้อคำถามตามองค์ประกอบการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของ Benford and Lawson (2001) ได้แบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์เป็นแบบสอบเขียนอธิบายคำตอบ ประกอบด้วยส่วนที่เป็นสถานการณ์หรือข้อมูลที่กำหนดให้จำนวน 3 สถานการณ์ และส่วนที่ให้นักเรียนเขียนตอบเพื่อแสดงความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์จากสถานการณ์หรือข้อมูลที่กำหนดให้ จำนวน 21 ข้อ มีโครงสร้างข้อคำถามและนิยามองค์ประกอบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 โครงสร้างของแบบวัดความสามารถการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

นิยามองค์ประกอบ	ข้อคำถาม			
	สถานการณ์ไก่ไข่-ไข่ไก่	สถานการณ์ต้นอ่อนทานตะวัน	สถานการณ์วงจรชีวิตของปลาแซลมอน	
การระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกต คือ การระบุประเด็นที่สงสัยจากการสังเกตต่อปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น	ข้อ 1	ข้อ 8	ข้อ 15	
การให้เหตุผลเชิงความน่าจะเป็น คือการให้เหตุผลในการคาดคะเนเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมดจากตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	ข้อ 3	ข้อ 9	ข้อ 16	
การวางแผนการทดสอบสมมติฐาน คือ การออกแบบการทดลอง เพื่อนำไปสู่การตรวจสอบสมมติฐาน และการประเมินผลการตรวจสอบสมมติฐาน	ข้อ 6	ข้อ 11	ข้อ 19	
การให้เหตุผลเชิงสัดส่วน คือการให้เหตุผลจากการใช้ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนที่เท่ากัน	ข้อ 4	ข้อ 13	ข้อ 20	
การควบคุมตัวแปร คือ การกำหนดตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น และการควบคุมตัวแปร	ข้อ 7	ข้อ 10	ข้อ 18	
การให้เหตุผลเชิงสหสัมพันธ์ คือการให้เหตุผลโดยการกำหนดความสัมพันธ์เชื่อมโยงระหว่างตัวแปร	ข้อ 2	ข้อ 12	ข้อ 21	
การให้เหตุผลแบบนิรนัยเชิงสมมติฐาน คือการให้เหตุผลโดยการสร้างสมมติฐานซึ่งได้จากหลักฐานเชิงประจักษ์ และการพยากรณ์ผลของปรากฏการณ์จากการตั้งสมมติฐาน	ข้อ 5	ข้อ 14	ข้อ 17	
รวม (ข้อ)	**7**	**7**	**7**	**21**

3.2.2 กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้เกณฑ์การจัดกลุ่มความซับซ้อนในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ตามแนวคิดของ Dolan and Grady (2010) โดยสามารถจำแนกความซับซ้อนในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ตาม 3 ระดับ ดังนี้

(1) ระดับซับซ้อนน้อย (least complex) มีคะแนนในช่วง 0 – 14 คะแนน

(2) ระดับซับซ้อนบางส่วน (somewhat complex) มีคะแนนในช่วง 15 – 28 คะแนน

(3) ระดับซับซ้อนมาก (more complex) มีคะแนนในช่วง 29 – 42 คะแนน

แสดงรายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนสำหรับแบบวัดความสามารถการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบ	ระดับความซับซ้อนของการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์		
	ซับซ้อนน้อย (0)	ซับซ้อนบางส่วน (1)	ซับซ้อนมาก (2)
การระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกต	นักเรียนไม่สามารถตั้งคำถามหรือตั้งคำถามไม่สอดคล้องกับประเด็นที่สงสัย	นักเรียนตั้งคำถามได้โดยไม่ระบุสาเหตุในคำถามแต่แสดงเหตุผลบนพื้นฐานของการสังเกตจากข้อมูลที่กำหนดให้	นักเรียนตั้งคำถามได้สอดคล้องกับประเด็นที่สงสัย แสดงสาเหตุในคำถาม แสดงเหตุผลบนพื้นฐานของการสังเกตจากข้อมูลที่กำหนดให้
การให้เหตุผลเชิงความน่าจะเป็น	จากตัวแปรที่เกี่ยวข้องนักเรียนไม่สามารถคาดคะเนเหตุการณ์ที่น่าจะเกิดขึ้นได้ หรือ คาดคะเนเหตุการณ์ที่น่าจะเกิดขึ้นได้เพียง 1 คำตอบ โดยจากข้อมูลที่กำหนดให้เท่านั้น	จากตัวแปรที่เกี่ยวข้องนักเรียนคาดคะเนเหตุการณ์ที่น่าจะเกิดขึ้นได้แต่ไม่ได้ใช้หลักการความน่าจะเป็นในการทำนายอย่างเป็นระบบ	จากตัวแปรที่เกี่ยวข้องนักเรียนคาดคะเนเหตุการณ์ที่น่าจะเกิดขึ้นได้มากกว่า 1 คำตอบ จากข้อมูลที่กำหนดให้ โดยใช้หลักการความน่าจะเป็นในการทำนายอย่างเป็นระบบ
การให้เหตุผลแบบนิรนัยเชิงสมมติฐาน	นักเรียนไม่สามารถตั้งสมมติฐานได้ หรือตั้งสมมติฐานที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ หรือ เป็นสมมติฐานที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับคำถามเชิงสาเหตุ	นักเรียนตั้งสมมติฐานที่สามารถตรวจสอบได้ เป็นสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถามเชิงสาเหตุ แต่เป็นสมมติฐานที่ไม่ได้อยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่ได้จากการสังเกตเบื้องต้น	นักเรียนตั้งสมมติฐานที่สามารถตรวจสอบได้ เป็นสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถามเชิงสาเหตุ และเป็นสมมติฐานที่อยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่ได้จากการสังเกตเบื้องต้น
การควบคุมตัวแปร	นักเรียนกำหนดชนิดของตัวแปรไม่ได้ หรือนักเรียนกำหนดชนิดของตัวแปรไม่ได้ แต่ไม่แสดงหลักการและเหตุผลในการเลือกตัวแปร	นักเรียนกำหนดชนิดของตัวแปรได้ แต่ให้หลักการและเหตุผลในการเลือกตัวแปรไม่ชัดเจน	นักเรียนกำหนดชนิดของตัวแปรได้ และมีหลักการและเหตุผลในการเลือกตัวแปรชัดเจน
การวางแผนการทดสอบสมมติฐาน	นักเรียนออกแบบการทดลองไม่ได้ หรือ ออกแบบการทดลองแต่ไม่สอดคล้องกับคำถาม	นักเรียนสามารถออกแบบการทดลองได้สอดคล้องกับคำถามแต่ไม่สามารถแสดงเงื่อนไขที่ต้องควบคุมในการออกแบบการทดลอง	นักเรียนสามารถออกแบบการทดลองได้ สอดคล้องกับคำถามและสามารถแสดงเงื่อนไขที่ต้องควบคุมในการออกแบบการทดลอง
การให้เหตุผลเชิงสัดส่วน	นักเรียนตอบคำถามไม่ได้ หรือนักเรียนตอบคำถามได้ แต่ไม่แสดงเหตุผลของคำตอบ	นักเรียนตอบคำถามได้ คำตอบและเหตุผลมีความสอดคล้องกันแต่ไม่ได้อธิบายเหตุผลของคำตอบด้วยการคำนวณเรื่องสัดส่วน	นักเรียนตอบคำถามได้ คำตอบและเหตุผลมีความสอดคล้องกันสามารถอธิบายเหตุผลของคำตอบด้วยการคำนวณเรื่องสัดส่วน
การให้เหตุผลเชิงสหสัมพันธ์	นักเรียนตอบคำถามไม่ได้ หรือนักเรียนตอบคำถามได้ แต่ไม่	นักเรียนตอบคำถามได้ แต่แสดงเหตุผลที่ระบุให้เห็นการ	นักเรียนตอบคำถามได้ คำตอบและเหตุผลมีความสอดคล้องกัน

องค์ประกอบ	ระดับความซับซ้อนของการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์		
	ซับซ้อนน้อย (0)	ซับซ้อนบางส่วน (1)	ซับซ้อนมาก (2)
	แสดงเหตุผลของคำตอบ	เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตามไม่ชัดเจน	และในการการอธิบายเหตุผลสามารถแสดงเหตุผลที่ระบุให้เห็นการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้

3.2.3 ดำเนินการสร้างแบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ จากนั้นนำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมในด้านเนื้อหาและภาษาที่ใช้ แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา จากนั้นนำแบบวัดความสามารถการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ที่แก้ไขเรียบร้อยแล้วให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน พิจารณาตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา ความสอดคล้องกับนิยาม และองค์ประกอบของความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ที่ต้องการวัด โดยพิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากนั้นคัดเลือกข้อคำถามที่มีดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 และปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

ผลการตรวจสอบค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ มีค่าความสอดคล้องระหว่างคำถามกับนิยามอยู่ในช่วง 0.67 – 1.00 และมีค่าความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนในช่วง 4.00 – 5.00

3.2.4 นำแบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้วส่งให้คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนกลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 2 เมื่อผ่านคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนกลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 2 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงนำไปตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือด้าน ความเที่ยง ค่าความยาก และค่าอำนาจจำแนก โดยทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในปีการศึกษา 2562 จำนวน 41 คน ซึ่งไม่ใช่นักเรียนกลุ่มเป้าหมายเป็นผู้ทำแบบวัด

3.2.5 การวิเคราะห์คุณภาพของแบบวัดความสามารถด้านการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

(1) วิเคราะห์คุณภาพแบบวัดทั้งฉบับด้วยการตรวจสอบความเที่ยงด้วยสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (Cronbach's Alpha Coefficient: α)

ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ทั้งฉบับมีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.89

(2) วิเคราะห์คุณภาพแบบวัดรายข้อด้วยการหาระดับความยาก (Level of Difficulty; P) และอำนาจจำแนก (Power of Discrimination; r)

ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ทั้งฉบับ มีค่าความยากในช่วง 0.21 - 0.79 และมีค่าอำนาจจำแนกในช่วง 0.22 - 0.47

(3) ทดสอบค่าความเที่ยงแบบความสอดคล้องระหว่างผู้ให้คะแนน (Raters' agreement) หรือ ความเป็นปรนัย (Objectivity) ระหว่างครูผู้เชี่ยวชาญ 2 ท่านกับผู้วิจัย วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แบบเพียร์สันโปรดักโมเมนต์ (Pearson Production-Moment Coefficient) โดยทำการวิเคราะห์และจะยอมรับค่าความเที่ยงที่มากกว่า 0.7 ขึ้นไป

ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ทั้งฉบับ มีค่าความเป็นปรนัยในช่วง 0.81-0.86

นำแบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ที่ปรับแก้ไขแล้ว ให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบอีกครั้ง จากนั้นจึงนำไปใช้ในการวิจัย

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย ดังนี้

(1) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติบรรยาย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละค่าเฉลี่ย จากคำตอบของนักเรียนที่ได้จากแบบวัดการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

(2) นำคะแนนความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้แล้วจัดกลุ่มตามระดับความซับซ้อนในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

(3) นำคะแนนความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ซึ่งจำแนกตามองค์ประกอบของนักเรียนมาเทียบกับเกณฑ์แล้วจัดกลุ่มแบ่งตามระดับความซับซ้อน

4. ผลการวิจัย

4.1 คะแนนความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์ความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบวัดความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ จำนวน 21 ข้อ ซึ่งมีคะแนนเต็ม 42 คะแนน เมื่อพิจารณาแยกตามองค์ประกอบของการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ จะมีคะแนนเต็มองค์ประกอบละ 6 คะแนน สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คะแนนความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบของความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}_{ร้อยละ}$
การระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกต (Q)	3.84	0.95	63.98
การวางแผนการทดสอบสมมติฐาน (PL)	1.90	1.69	31.72
การควบคุมตัวแปร (CV)	1.90	1.77	31.72
การให้เหตุผลเชิงสัดส่วน (PP)	1.26	1.22	20.97
การให้เหตุผลเชิงสหสัมพันธ์ (CR)	1.19	1.09	19.89
การให้เหตุผลแบบนิรนัยเชิงสมมติฐาน (HD)	0.90	1.12	15.05
การให้เหตุผลเชิงความน่าจะเป็น (PB)	0.52	0.71	8.60
รวมทุกองค์ประกอบ	11.48	5.30	27.34

จากการวิเคราะห์ตารางที่ 3 พบว่าคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ซึ่งมีคะแนนเต็ม 42 คะแนน แยกเป็น 7 องค์ประกอบ องค์ประกอบละ 6 คะแนน พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยรวม 11.48 คะแนน (ร้อยละ 27.34) และเมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยแยกองค์ประกอบพบว่า องค์ประกอบที่ได้คะแนนสูงที่สุดคือ การระบุ

สิ่งที่สงสัยจากการสังเกตมีคะแนนเฉลี่ย 3.84 คะแนน (ร้อยละ 63.98) และองค์ประกอบที่ได้คะแนนต่ำที่สุดคือ การให้เหตุผลเชิงความน่าจะเป็นมีคะแนนเฉลี่ย 0.52 คะแนน (ร้อยละ 8.60)

4.2 ระดับความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

การนำคะแนนความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน จำนวน 31 คน มาจัดกลุ่มตามระดับความซับซ้อนในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์สามารถแบ่งเป็น 3 ระดับตามช่วงคะแนน ได้แก่ ระดับซับซ้อนน้อย มีช่วงคะแนนอยู่ที่ 0 - 14 คะแนน ระดับซับซ้อนบางส่วน มีช่วงคะแนนอยู่ที่ 15 - 28 คะแนน และระดับซับซ้อนมากมีช่วงคะแนนอยู่ที่ 29 - 42 คะแนน แสดงผลดังตารางที่ 4

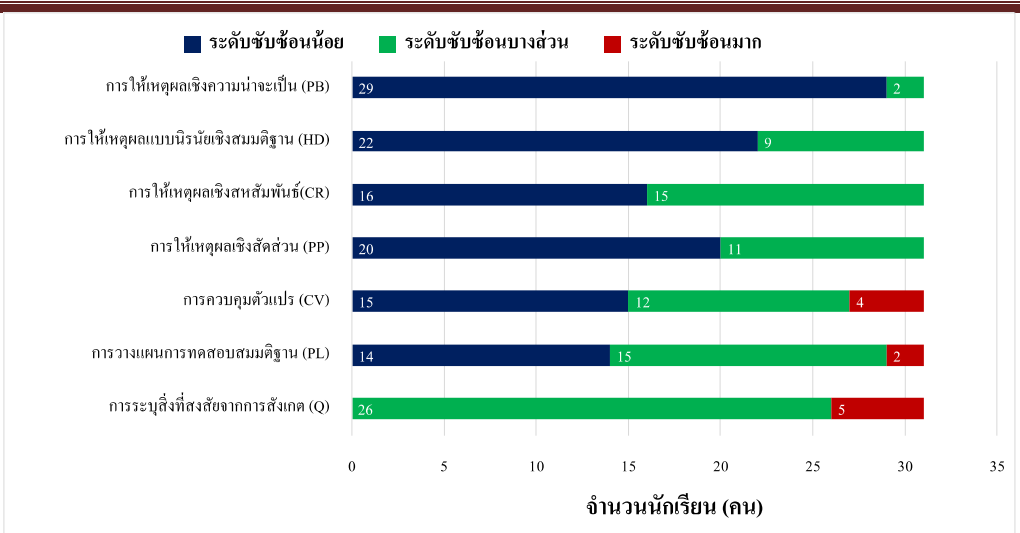
ตารางที่ 4 ระดับความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

ระดับความสามารถ	จำนวนนักเรียน	
	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ซับซ้อนน้อย (0 – 14 คะแนน)	24	77.42
ซับซ้อนบางส่วน (15 – 28 คะแนน)	7	22.58
ซับซ้อนมาก (29 – 42 คะแนน)	0	0
รวม	31	100

จากตารางที่ 4 สรุปได้ว่า นักเรียนมีความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับซับซ้อนน้อยมีจำนวนมากที่สุด คือ 24 คน (ร้อยละ 77.42) และไม่พบนักเรียนที่มีความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับซับซ้อนมาก

4.3 จำนวนนักเรียนเมื่อจัดระดับความซับซ้อนในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์จำแนกตามองค์ประกอบ

เมื่อนำคะแนนความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน จำนวน 31 คน มาจำแนกตามองค์ประกอบของความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์แล้วจัดกลุ่มคะแนนนักเรียนแบ่งตามระดับความซับซ้อนในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับซับซ้อนน้อย ระดับซับซ้อนบางส่วนและระดับซับซ้อนมาก สามารถแสดงผลดังแผนภูมิที่ 1 ดังนี้



แผนภูมิที่ 1 จำนวนนักเรียนจำแนกตามระดับความซับซ้อนของความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

เมื่อพิจารณาตามระดับความซับซ้อนในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของแต่ละองค์ประกอบ สามารถสรุปได้ดังนี้

ระดับการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ในระดับซับซ้อนน้อย พบมากที่สุดในองค์ประกอบการให้เหตุผลเชิงความน่าจะเป็น จำนวน 29 คน รองลงมาคือองค์ประกอบการให้เหตุผลแบบนิรนัยเชิงสมมติฐาน จำนวน 22 คน และองค์ประกอบการระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกตพบว่าเป็นองค์ประกอบที่ไม่มีนักเรียนอยู่ในระดับซับซ้อนน้อย

ระดับการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ในระดับซับซ้อนบางส่วนพบมากที่สุดในองค์ประกอบการระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกต จำนวน 26 คน รองลงมาคือองค์ประกอบการวางแผนการทดสอบสมมติฐานและการให้เหตุผลเชิงสหสัมพันธ์ จำนวนนักเรียนเท่ากัน 15 คน

ระดับการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ในระดับซับซ้อนมากพบเพียง 3 องค์ประกอบที่มีนักเรียนอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ องค์ประกอบการระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกต จำนวน 5 คน องค์ประกอบการควบคุมตัวแปร จำนวน 4 คน และ องค์ประกอบการวางแผนการทดสอบสมมติฐาน จำนวน 2 คน

5. อภิปรายผล

การอภิปรายผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์สามารถอภิปรายได้ ดังนี้

ประการแรก องค์ประกอบด้านการระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกตเป็นองค์ประกอบที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด อาจจะเป็นเพราะว่า วิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้นั้นเป็นวิธีที่สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ส่งเสริมให้ครูใช้ในการจัดการเรียนการสอนมาตั้งแต่ปีพุทธศักราช 2515 โดยเน้นให้กระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนดำเนินผ่านกิจกรรมการทดลองเพื่อให้นักเรียนตั้งคำถามจากการสังเกตได้ ผลการใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะที่มีต่อเนื่องยาวนานจนถึงหลักสูตรในปัจจุบันจึงสามารถพัฒนาการระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกตด้วยการตั้งคำถามเชิงสาเหตุได้

อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียนในการตั้งคำถามเพื่อจะหาสาเหตุของสถานการณ์ที่กำหนดให้ นักเรียนกลับไม่ระบุปัจจัยที่สงสัยในประโยคคำถาม แต่มักจะใช้การตั้งคำถามโดยใช้คำสำคัญทั่วไป เช่น คำว่า “ทำไม” “เพราะเหตุใด” หรือ “ปัจจัยใด” ตัวอย่างเช่น จากสถานการณ์ไข่ไก่-ไก่ไข่ นักเรียนควรจะระบุสิ่งที่น่า

สงสัยจากการสังเกตโดยตั้งคำถามว่า “อายุของไก่มีผลต่อขนาดของไข่ไก่ใช่หรือไม่” ผลจากการสัมภาษณ์นักเรียนกลุ่มที่ตั้งคำถามด้วยการใช้คำสำคัญทั่วไป พบว่า นักเรียนเข้าใจว่าการระบุสาเหตุที่สงสัยแบบเจาะจงอาจจะทำให้ไม่ครอบคลุมประเด็นที่สงสัยทั้งหมด

ดังนั้นองค์ประกอบด้านการระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกต ก็ควรที่จะต้องได้รับการส่งเสริมต่อไปเพื่อให้นักเรียนได้พัฒนาการตั้งคำถามเชิงสาเหตุไปสู่ระดับซับซ้อนมาก โดยมีความชัดเจนในการระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกตด้วยการระบุปัจจัยที่สงสัยในการตั้งคำถาม ซึ่งการตั้งคำถามที่ชัดเจนจะนำไปสู่การคาดคะเนคำตอบและการตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบในลำดับต่อไป

ประการที่สอง องค์ประกอบด้านการให้เหตุผลเชิงความน่าจะเป็นซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีจำนวนนักเรียนอยู่ในระดับซับซ้อนน้อยมีจำนวนมากที่สุด โดยพบว่าการให้เหตุผลเชิงความน่าจะเป็นมักจะเกี่ยวข้องกับการทำนายสถานการณ์คำตอบที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมดจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยอาศัยหลักการความน่าจะเป็นในการคาดคะเนที่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งเป็นขั้นตอนก่อนที่นักเรียนจะเลือกสถานการณ์คำตอบที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุดมาใช้ในการตั้งสมมติฐาน โดยพิจารณาจากหลักฐานเชิงประจักษ์ แต่กิจกรรมการทดลองของนักเรียนในห้องเรียนส่วนมากจะมุ่งเน้นที่การปฏิบัติเพื่อให้ได้หลักฐานแล้วนำมาสรุปผลทันที ทำให้ขาดกระบวนการของนักวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการสืบเสาะหาความรู้ และการคาดคะเนคำตอบจากหลักฐานเชิงประจักษ์ สอดคล้องกับ ลือชา ลดาชาติ และ ลฎาภา สุทธกูล (2555) ที่พบว่า การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนเคยได้รับมาในอดีตอาจเน้นการทดลองหรือการสาธิตเพื่อแสดงหลักฐานเชิงประจักษ์ที่สนับสนุนความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยปราศจากความเข้าใจกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องใช้ ทำให้นักเรียนเข้าใจว่าหลักฐานเชิงประจักษ์เป็นสิ่งที่มีความชัดเจนในตัวเอง อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้นักเรียนขาดความเข้าใจในการคาดคะเนสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

6.1.1 คะแนนรวมของความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 27.34 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 50 เป็นข้อมูลที่ทำให้ทราบว่าความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนควรได้รับการพัฒนาและส่งเสริมต่อไป

6.1.2 คะแนนเฉลี่ยแยกองค์ประกอบพบว่า องค์ประกอบที่ได้คะแนนสูงที่สุดคือ การระบุสิ่งที่สงสัยจากการสังเกต มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 63.98 และองค์ประกอบที่ได้คะแนนต่ำที่สุดคือ การให้เหตุผลเชิงความน่าจะเป็น มีคะแนนเฉลี่ย ร้อยละ 8.60 เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ทำให้ทราบว่าการจะพัฒนาความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในภาพรวม ควรจะเพิ่มจุดเน้นในการพัฒนาในองค์ประกอบย่อยในด้านใด

6.1.3 การจัดระดับความซับซ้อนในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน มีนักเรียนที่มีความสามารถในการให้เหตุเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับซับซ้อนน้อย 24 คน และระดับซับซ้อนบางส่วน 7 คน

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการนำมาวิเคราะห์วิเคราะห์เพื่อจัดการเรียนการสอนในการส่งเสริมและพัฒนาความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ ดังนี้

การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ยังคงเป็นวิธีการที่ดีในการส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ ตามที่ Zimmerman (2000) เสนอไว้ว่า การเปิดโอกาสให้ผู้เรียนใช้กระบวนการออกแบบการทดลองสนับสนุนให้ผู้เรียนลงมือทำเช่นเดียวกันกับนักวิทยาศาสตร์ จะช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ได้ สอดคล้องกับการวิจัยที่ผ่านมาก็จะเห็นได้ว่านักเรียนสามารถระบุสิ่งที่สงสัยด้วยการตั้งคำถามได้ แต่ยังขาดบริบทบางอย่างในการจัดการเรียนรู้ที่จะสนับสนุนให้นักเรียนได้พัฒนาความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

การเพิ่มมุมมองเชิงประวัติศาสตร์ ตามแนวคิดของ Monk and Osborne (1997) ที่ได้เสนอการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเชิงประวัติศาสตร์ (Historical approach) ที่มีการนำประวัติวิทยาศาสตร์มาบูรณาการกับการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะ โดยใช้กรณีศึกษาของนักวิทยาศาสตร์มาเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ โดยให้ความสำคัญกับกระบวนการที่ใช้ในการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการตีความจากหลักฐานของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตโดยใช้การคิดให้เหตุผลในการอธิบายความสัมพันธ์ของการเป็นเหตุและผลระหว่างหลักฐานเชิงประจักษ์กับปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ (Stinner et.al, 2003) ดังนั้น การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเชิงประวัติศาสตร์ อาจจะเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาและส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้

เอกสารอ้างอิง

ลือชา ลดาชาติ และ ลฎาภา สุทธกูล. (2555). การสำรวจและพัฒนาความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *Princess of Naradhiwas University Journal, 4*(2).

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561a). *คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 วิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย.* กระทรวงศึกษาธิการ: กรุงเทพฯ แหล่งที่มา http://www.scimath.org/e-books/8417/flippingbook/index.html

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561b). *ผลการประเมิน PISA 2015 วิทยาศาสตร์ การอ่าน และคณิตศาสตร์ ความเป็นเลิศและความเท่าเทียมทางการศึกษา.* สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: กรุงเทพมหานคร: แหล่งที่มา https://drive.google.com/file/d/1e24UPQWdKa_Hsc6jfl8I3At5S6-HumrN/view

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. (2559). *กรอบทิศทางแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2574*. แหล่งที่มา http://backoffice.onec.go.th/uploaded/Outstand/2016-EdPlan60-74.pdf.

Benford, R., & Lawson, A. E. (2001). Relationships between Effective Inquiry Use and the Development of Scientific Reasoning Skills in College Biology Labs.

Ding, L., Wei, X., & Mollohan, K. (2014). Does Higher Education Improve Student Scientific Reasoning Skills? *International Journal of Science and Mathematics Education, 14*(4), 619-634. doi:10.1007/s10763-014-9597-y

Dolan, E., & Grady, J. (2010). Recognizing students' scientific reasoning: A tool for categorizing complexity of reasoning during teaching by inquiry. *Journal of Science Teacher Education, 21*(1), 31-55.

Johnson, M. A., & Lawson, A. E. (1998). What are the relative effects of reasoning ability and prior knowledge on biology achievement in expository and inquiry classes? *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching, 35*(1), 89-103.

Kambeyo, L. (2017). Scientific reasoning skills: a theoretical background on science education. *14*, 40-64.

Lawson, A. E. (1978). The development and validation of a classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching, 15*(1), 11-24.

Lawson, A. E. (2000). The generality of hypothetico-deductive reasoning: Making scientific thinking explicit. *The American Biology Teacher, 62*(7), 482-495.

Lawson, A. E. (2004). The nature and development of scientific reasoning: A synthetic view. *International Journal of Science and Mathematics Education, 2*(3), 307-338. doi:10.1007/s10763-004-3224-2

Lawson, A. E. (2010). Basic inferences of scientific reasoning, argumentation, and discovery. *Science Education*, n/a-n/a. doi:10.1002/sce.20357

Monk, M., & Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education, 81*(4), 405-424.

Opitz, A., Heene, M., & Fischer, F. (2017). Measuring scientific reasoning – a review of test instruments. *Educational Research and Evaluation, 23*(3-4), 78-101. doi:10.1080/13803611.2017.1338586

Piraksa, C., Srisawasdi, N., & Koul, R. (2014). Effect of Gender on Student's Scientific Reasoning Ability: A Case Study in Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 116*, 486-491. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.245

Stinner, A., McMillan, B. A., Metz, D., Jilek, J. M., & Klassen, S. (2003). The renewal of case studies in science education. *Science & Education, 12*(7), 617-643.

Weld, J., Stier, M., & McNew-Birren, J. (2011). The Development of a Novel Measure of Scientific Reasoning Growth Among College Freshmen: The Constructive Inquiry Science Reasoning Skills Test. *Journal of College Science Teaching, 40*(4), 101.

Zimmerman, C. (2000). The Development of Scientific Reasoning Skills. *Developmental Review, 20*(1), 99-149. doi:10.1006/drev.1999.0497