

ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง สารพันธุกรรม ที่มีต่อสมรรถนะ
การอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์และความสามารถในการคิดอย่างเป็น
ระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย
นครศรีธรรมราช

The Effects of Model-based Instructions in the Topic of Genetic
Materials on Explaining Phenomena Scientifically Competency and
Systematic Thinking Ability of Grade 10 Students at Princess
Chulabhorn Science High School Nakhon Si Thammarat

Received : 2024-03-15

Revised : 2024-04-05

Accepted : 2024-02-19

ผู้วิจัย ปภาดา บุญสิน¹

ดวงเดือน สุวรรณจินดา²
จุฬารัตน์ ธรรมประทีป³

Papada Boonsin
Papada.pb@gmail.com
Duongdearn Suwanjinda
Jurarat Thammaprteep

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง สารพันธุกรรม และ
นักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ และ 2) เปรียบเทียบความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบของ
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง สารพันธุกรรม และ
นักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่
4 โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 2 ห้อง
รวม 48 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม แล้วจับฉลากห้องเรียนเป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 24 คน และกลุ่มควบคุม
จำนวน 24 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาชีววิทยา เรื่อง สารพันธุกรรม
ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 5 แผน เวลารวม 18 ชั่วโมง และแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบปกติ 2) แบบวัด
สมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารพันธุกรรม และ 3) แบบวัดความสามารถในการคิด
อย่างเป็นระบบ เรื่อง สารพันธุกรรม สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการ
ทดสอบค่าที

¹ นักศึกษาระดับมหาบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
Student in the Degree of Master of Education in Science Education, School of Educational Studies,
Sukhothai Thammathirat Open University

² รองศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
Associate Professor Dr., School of Educational Studies, Sukhothai Thammathirat Open University

³ รองศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
Associate Professor Dr., School of Educational Studies, Sukhothai Thammathirat Open University

ผลการวิจัยพบว่า 1) สมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง สารพันธุกรรม สูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) ความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง สารพันธุกรรม สูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ สมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ การคิดอย่างเป็นระบบ แบบจำลองเป็นฐาน สารพันธุกรรม

Abstract

The purposes of this research were to 1) compare explaining phenomena scientifically competency of grade 10 students learning through the model-based instructions in the topic of genetic materials with those of students learning through the traditional learning, and 2) compare systematic thinking ability of grade 10 students learning through the model-based instructions in the topic of genetic materials with those of students learning through the traditional learning. The sample was 48 grade 10 students from two intact classrooms, in the second semester of the academic year 2022, at Princess Chulabhorn Science High School Nakhon Si Thammarat, obtained from cluster random sampling. Then, one classroom of 24 students was randomly assigned as the experimental group; while the other classroom of 24 students was the control group. The research tools were 1) 5 lesson plans using model-based instructions in the topic of genetic materials for grade 10 students with the total learning duration of 18 hours, and lesson plans for the traditional learning management, 2) an explaining phenomenon scientifically competency test in the topic of genetic materials, and 3) a measurement form of systematic thinking ability in the topic of genetic materials. Statistics employed for data analysis were the mean, standard deviation, and t-test.

The results of this research were as follows: 1) the explaining phenomena scientifically competency of grade 10 students learning through the model-based instructions in the topic of genetic materials was higher than the students learning through the traditional learning at the .05 level of statistical significance, and 2) the systematic thinking ability of grade 10 students learning through the model-based instructions in topic of genetic materials was higher than the students learning through the traditional learning at the .05 level of statistical significance.

Keywords Explaining Phenomena Scientifically Competency, Systematic Thinking, Model-based Instructions, Genetic Materials

บทนำ

การศึกษาเป็นหนึ่งในรากฐานสำคัญเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้คน ซึ่งจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสังคมโดยรวมให้ดีขึ้น เป้าหมายของแผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561 – 2580) ประเด็นการพัฒนาการเรียนรู้ ว่าด้วย “คนไทยมีการศึกษาที่มีคุณภาพตามมาตรฐานสากลเพิ่มขึ้น มีทักษะที่จำเป็นของโลกศตวรรษที่ 21 สามารถแก้ปัญหา ปรับตัว สื่อสาร และทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น มีนิสัยใฝ่เรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต” ซึ่งในการประเมินผลเป้าหมายนี้จะใช้ตัวชี้วัด คือ คะแนนเฉลี่ย PISA ซึ่งโปรแกรมประเมินสมรรถนะนักเรียนมาตรฐานสากล (Programme for International Student Assessment หรือ PISA) ริเริ่มโดยองค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organisation for Economic Co-operation and Development หรือ OECD)

การประเมินของ PISA เน้นการประเมินสมรรถนะของนักเรียนเกี่ยวกับการใช้ความรู้และทักษะในชีวิตจริงมากกว่าการเรียนรู้ตามหลักสูตรในโรงเรียน หรือเรียกว่า “ความฉลาดรู้” (Literacy) หนึ่งในความฉลาดรู้ที่ประเมิน คือ ฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ (Scientific Literacy) คือ ความรู้วิทยาศาสตร์ที่ครอบคลุมความรู้ที่ใช้ได้ในบริบทที่ต้องประสบในชีวิตจริง ความรู้ในกระบวนการวิทยาศาสตร์ และความรู้ในเรื่องความเชื่อมโยงระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมไปถึงสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นจุดเน้นของ PISA คือ การให้ความสำคัญกับศักยภาพของนักเรียนในการใช้วิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในชีวิตจริง ซึ่งสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ถือเป็นสมรรถนะที่มีเนื้อหาในการประเมินมากที่สุดถึงร้อยละ 49.07 (สุนีย์ คล้ายนิล และคณะ, 2551)

สมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นสมรรถนะที่สำคัญที่จะนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการอธิบายเหตุการณ์และสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันได้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), 2560) ซึ่งจากผลการประเมินคะแนน PISA ในสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 ถึงปี ค.ศ. 2012 พบว่า ผลคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่ามาตรฐานเมื่อเทียบกับเกณฑ์ OECD (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), 2560) และจากผลการประเมิน PISA ในปี 2015 พบว่านักเรียนไทยมีจุดอ่อนที่สมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), 2560)

เนื่องด้วยบริบทของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัยที่มีอุดมการณ์ในการมุ่งส่งเสริม สนับสนุน และพัฒนานักเรียนให้มีความรู้ความเข้าใจหลักการพื้นฐานด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์อย่างลึกซึ้ง ในระดับเดียวกันกับนักเรียนโรงเรียนวิทยาศาสตร์ชั้นนำของนานาชาติ โดยมีรูปแบบการจัดการชั้นเรียนที่ทุก ๆ ระดับชั้นนักเรียนทุกห้องเรียนเป็นแบบคละความสามารถ ซึ่งจากประสบการณ์ในการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ของผู้วิจัยเป็นระยะเวลา 3 ปีมานี้ เมื่อมีการสอบวัดผลกลางภาคเรียนและปลายภาคเรียน ซึ่งจากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าการสอบวัดผลกลางภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 มีนักเรียนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 35.28 ซึ่งลักษณะข้อสอบที่ใช้ในการสอบวัดผลกลางภาคเรียนและปลายภาคเรียนนั้นมีความคล้ายคลึงกับข้อสอบ PISA และเมื่อได้ทำการวิเคราะห์ข้อสอบเป็นรายข้อ พบว่า นักเรียนไม่สามารถตอบคำถามในข้อที่เป็นสถานการณ์ได้ แสดงให้เห็นว่านักเรียนขาดสมรรถนะในการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้ให้แก่แก่นักเรียนจึงไม่ใช่แค่การเรียนแบบท่องจำเนื้อหาความรู้ แต่จะต้องให้นักเรียนคิดวิเคราะห์ คิดอย่างเป็นระบบ และสามารถนำความรู้ไปใช้ในการอธิบายสถานการณ์ต่างๆ ได้ ดังนั้น ทักษะการคิด จึงเป็นพื้นฐานของกระบวนการทางปัญญาที่บุคคลจะกระทำต่อข้อมูลต่าง ๆ เพื่อสร้างความเข้าใจ (Berger, 1984)

การคิดอย่างเป็นระบบ เป็นกระบวนการที่ช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ในระบบ และนำมาสู่การสร้างเข้าใจในความสัมพันธ์และผลกระทบซึ่งกันและกันของแต่ละส่วน เพื่อสรุปเป็นกฎเกณฑ์ของปรากฏการณ์ (Evagorou et al., 2009, pp. 655-674) ซึ่งจะช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดเชิง

วิทยาศาสตร์ และเป็นการคิดที่มองทั้งระบบแบบ “องค์รวม” และจากการศึกษาแนวคิดของ Centre for Strategic Management, Architects in Strategic and Social Change (1999) Gardner and Demello (1993) และ Senge (1993) ซึ่งสรุปได้ว่า การคิดอย่างระบบ เป็นกระบวนการคิดที่มุ่งใหญ่เรียนใช้ความรู้ความสามารถของตนเองในการเชื่อมโยงข้อมูลของปัญหาหรือสถานการณ์แบบองค์รวมในลักษณะที่ทุกส่วนมีการเชื่อมโยงและสัมพันธ์กันหมด ดังนั้น การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการคิดอย่างเป็นระบบ เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับเนื้อหาสาระที่ซับซ้อน ทำความเข้าใจได้ยาก และเป็นนามธรรม

พันธุศาสตร์เป็นแขนงหนึ่งของวิชาชีววิทยา ที่ศึกษาเกี่ยวกับยีน การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม และความหลากหลายทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเนื้อหาเรื่องยีนและโครโมโซมเป็นเนื้อหาที่ค่อนข้างทำความเข้าใจยาก เนื่องจากเป็นสิ่งที่นักเรียนมองไม่เห็นภาพ ดังนั้น การใช้การแสดงผลภาพภายนอกในรูปแบบแผนผัง กราฟ และแบบจำลอง จึงเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการเรียนการสอน เพื่อเพิ่มความเข้าใจในแนวคิดและระบบชีวภาพที่ซับซ้อน (Krell et al., 2015) การสร้างแบบจำลองทางชีววิทยา สามารถนำไปใช้ในการทำนายหรือคาดการณ์ และการอธิบายปรากฏการณ์หรือแนวคิดทางชีววิทยาได้ สอดคล้องกับ Treagust and Tsui (2013) ที่กล่าวไว้ว่า คุณลักษณะของวิชาชีววิทยา ควรมีการใช้การแสดงผลภาพข้อมูลเพื่ออธิบายแนวคิดทางชีววิทยา และแบบจำลองยังช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากนามธรรมให้กลายเป็นรูปธรรม (Verhorff et al., 2008, pp.543-568)

การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model – based Learning) เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่จะช่วยให้นักเรียนทำความเข้าใจปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเป็นรูปธรรมและลึกซึ้งยิ่งขึ้น สอดคล้องกับคำกล่าวที่ว่า ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง หรือมีความซับซ้อน ซึ่งยากต่อการทำความเข้าใจ (Bryce et al., 2016, pp.37) ดังนั้นแล้วการอธิบายปรากฏการณ์จึงต้องอาศัยแบบจำลองเข้ามาช่วยในการอธิบาย (ภรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์ และคณะ, 2558) และจากการศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based Learning) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางโดยให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 คือ การเข้าถึงปรากฏการณ์ ทำความเข้าใจ และระบุองค์ประกอบ ขั้นที่ 2 คือ การสร้างแบบจำลอง ขั้นที่ 3 คือ ประเมินแบบจำลอง ขั้นที่ 4 คือ การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง และขั้นที่ 5 คือ ใช้แบบจำลองทำนายและอธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงสรุปได้ว่า สมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์จะช่วยในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการอธิบายเหตุการณ์และสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันได้ และการคิดอย่างเป็นระบบจะช่วยในการเชื่อมโยงความรู้ในแต่ละส่วน นำมาสู่การสร้างเข้าใจในความสัมพันธ์เพื่อสรุปเป็นกฎเกณฑ์ของปรากฏการณ์ได้ ร่วมกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนได้นำเอาความรู้ออกมาใช้ในการสร้างแบบจำลองที่ใช้อธิบายสิ่งที่เป็นามธรรมให้เป็นรูปธรรมได้ ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยเฉพาะโรงเรียนที่เน้นด้านวิทยาศาสตร์ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง สารพันธุกรรม และนักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ
2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง สารพันธุกรรม และนักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช อำเภอ เมืองนครศรีธรรมราช จังหวัด นครศรีธรรมราช ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 6 ห้องเรียน รวม 144 คน ซึ่งจัดห้องเรียนโดยความสามารถ

1.2 กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช อำเภอ เมืองนครศรีธรรมราช จังหวัด นครศรีธรรมราช โดยการสุ่มแบบกลุ่มเพื่อให้ได้ห้องเรียน จำนวน 2 ห้องเรียน รวม 48 คน แล้วจับฉลากห้องเรียนเป็นกลุ่มทดลอง 1 ห้อง จำนวน 24 คน และกลุ่มควบคุม 1 ห้อง จำนวน 24 คน ซึ่งนักเรียนทั้ง 2 ห้องเรียนมีผลการเรียนในภาคเรียนที่ 1 ที่ใกล้เคียงกัน

2. ตัวแปรที่ศึกษา

2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน และการจัดการเรียนรู้แบบปกติ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ สมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบ

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง สารพันธุกรรม ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 5 แผนการจัดการเรียนรู้ เวลารวม 18 ชั่วโมง โดยผลการประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีความเหมาะสมในระดับมาก ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.44-4.67 มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน แสดงดังตารางที่ 1 และแบบจำลองในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานและกิจกรรมสำคัญ

ขั้นตอน	กิจกรรมสำคัญ	
	บทบาทผู้สอน	บทบาทผู้เรียน
1. การเข้าถึง ปรากฏการณ์ ทำความเข้าใจ และระบอบค์ ประกอบ	- ครูกระตุ้นให้นักเรียนสนใจสิ่งที่จะเรียนรู้โดยเป็นเรื่องในชีวิตประจำวัน - ครูใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียน แสดงความคิดเห็นและอภิปรายร่วมกัน เพื่อฝึกการดึงความรู้วิทยาศาสตร์มา สร้างคำอธิบายอย่างสมเหตุสมผล	- นักเรียนเรียนรู้องค์ประกอบย่อยต่าง ๆ ด้วยการสังเกตและจดจำรายละเอียด ผ่านการตั้งคำถาม และร่วมอภิปราย โดยใช้สื่อการเรียนรู้
2. การสร้างแบบ จำลอง	- ครูให้ความรู้เกี่ยวกับแบบจำลองและ ตัวอย่างแบบจำลองก่อน	- นักเรียนแสดงแบบจำลองความคิดของตนเองออกมาให้มากที่สุด - นักเรียนแต่ละคนนำเอาองค์ประกอบที่ สังเกตได้จากขั้น 1 มาสร้างแบบจำลอง
3. ประเมินแบบ จำลอง	- ครูส่งเสริมแบบจำลองทางความคิดของ นักเรียนโดยการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ ของตัวแปรต่างๆ ใช้ความสัมพันธ์ อธิบายปรากฏการณ์	- นักเรียนค้นคว้าหาข้อมูลเพื่อรวบรวม ข้อมูลเชิงประจักษ์ - นักเรียนประเมินความสอดคล้องของ แบบจำลองที่สร้างขึ้นกับหลักฐานที่เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์

ขั้นตอน	กิจกรรมสำคัญ	
	บทบาทผู้สอน	บทบาทผู้เรียน
		- นักเรียนนำความรู้มาวิเคราะห์และสังเคราะห์ร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปและพัฒนาแบบจำลองให้ชัดเจนขึ้น
4. การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง	- ครูคอยสังเกตการณ์ขณะที่นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน คอยสนับสนุนให้นักเรียนดัดแปลงแก้ไขแบบจำลองให้ถูกต้อง	- นักเรียนดัดแปลงแก้ไขแบบจำลองเพิ่มเติมจนแบบจำลองสามารถอธิบายข้อมูลที่ได้อย่างถูกต้อง - นักเรียนเปรียบเทียบแบบจำลองกลุ่มตัวเองกับกลุ่มเพื่อน และรวมแบบจำลองของแต่ละกลุ่มเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นมติของกลุ่มหรือของชั้นเรียน - นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันเพื่อสร้างแบบจำลองที่ดีที่สุดและสอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์
5. ใช้แบบจำลองทำนายและอธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ	- ครูกระตุ้นให้นักเรียนประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงแล้วเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ โดยใช้คำถามเชื่อมโยงระหว่างแบบจำลองและสถานการณ์ใหม่ที่ได้รับ	- นักเรียนได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อคาดเดาและสร้างคำอธิบายปรากฏการณ์ใหม่เพื่อแสดงศักยภาพทางวิทยาศาสตร์ - นักเรียนประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงแล้วเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ หรือสถานการณ์ใหม่ที่ได้รับ

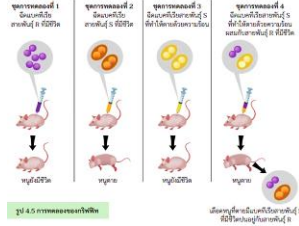
ตารางที่ 2 แบบจำลองในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้	แบบจำลองที่นักเรียนสร้าง
แผนที่ 1 เรื่อง โครโมโซม	- แคริโอไทป์
แผนที่ 2 เรื่อง สารพันธุกรรม	- ไทม์ไลน์การค้นพบสารพันธุกรรม
แผนที่ 3 เรื่อง การจำลอง DNA	- โครงสร้าง DNA
แผนที่ 4 เรื่อง การควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของ DNA	- ขั้นตอนการจำลอง DNA
แผนที่ 5 เรื่อง มิวเทชัน	- ขั้นตอนการถอดรหัส DNA
	- ขั้นตอนการแปลรหัส DNA
	- สาย Mutant
	- แคริโอไทป์ของกลุ่มอาการต่าง ๆ
	- แผนผังสรุป มิวเทชัน

3.2 แบบวัดสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารพันธุกรรม ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จำนวน 14 ข้อ โดยแบบทดสอบมี 3 รูปแบบ คือ รูปแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก รูปแบบเลือกตอบเชิงซ้อน และรูปแบบเปิด ตามแนวการประเมิน PISA ซึ่งข้อคำถามมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 1 ทุกข้อ ค่าความยาก

(p) อยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.75 ค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.35 ถึง 0.80 และค่าความเที่ยง 0.934 ตัวอย่างข้อคำถามแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างข้อคำถามในแบบวัดสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์

สถานการณ์	ข้อคำถาม
ปี พ.ศ. 2471 Frederick Griffith แพทย์ชาวอังกฤษ ทดลองฉีดแบคทีเรีย <i>Streptococcus pneumoniae</i> เป็นแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคปอดบวมเข้าไปในหนู ซึ่งแบคทีเรีย <i>Streptococcus pneumoniae</i> มี 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ S ที่ทำให้เกิดโรคปอดบวมรุนแรงจนหนูตาย และสายพันธุ์ R ที่ไม่ทำให้เกิดโรคปอดบวม แสดงดังรูปการทดลองด้านล่าง  ที่มา : หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม 2 ชั้น	จากผลการทดลองของ Frederick Griffith นักเรียนจะตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการทดลองนี้ว่าอย่างไร 1. แบคทีเรีย <i>Streptococcus pneumoniae</i> สายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อน ทำให้หนูตาย 2. แบคทีเรีย <i>Streptococcus pneumoniae</i> สายพันธุ์ R ที่ทำให้ตายด้วยความร้อน ทำให้หนูตาย 3. มีสารบางอย่างจากแบคทีเรียสายพันธุ์ R ที่ไปทำให้แบคทีเรียสายพันธุ์ S กลายเป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ R ได้ 4. มีสารบางอย่างจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ไปทำให้แบคทีเรียสายพันธุ์ R กลายเป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ S ได้

เกณฑ์การให้คะแนน	
1 คะแนน	ข้อ 4. มีสารบางอย่างจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ไปทำให้แบคทีเรียสายพันธุ์ R กลายเป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ S ได้
0 คะแนน	คำตอบอื่น ๆ

ลักษณะของข้อสอบ

ตัวบ่งชี้ : เสนอสมมติฐานหรือคำอธิบายที่เป็นไปได้เกี่ยวกับปรากฏการณ์นั้น

ความรู้ : การสืบสวนเชิงวิทยาศาสตร์ (ความรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์)

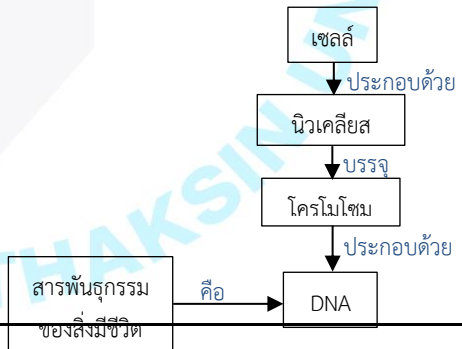
การใช้ความรู้ : ขอบเขตของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถานการณ์ : ส่วนตัว

รูปแบบข้อสอบ : รูปแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก

3.3 แบบวัดความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบ เรื่อง สารพันธุกรรม ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งจะนำคำศัพท์มาเขียนแสดงความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันในลักษณะแผนผัง ซึ่งข้อคำถามมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 1 ทุกข้อ ค่าความยาก (p) อยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.75 ค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.43 ถึง 0.80 และค่าความเที่ยง 0.914 ตัวอย่างข้อคำถามแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างข้อคำถามในแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบ

บทความ	เขียนแสดงความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันในลักษณะแผนผัง
ในนิวเคลียสของเซลล์สิ่งมีชีวิต จะมีสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตอยู่ นักวิทยาศาสตร์ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ค้นพบว่า DNA เป็นสารพันธุกรรม ส่วนของ DNA ที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตเรียกว่า ยีน	

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยปฐมนิเทศและชี้แจงวัตถุประสงค์ของการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนที่เป็นกลุ่มทดลองทราบ พร้อมทั้งจัดเตรียมความพร้อมในด้านต่างๆ เช่น ห้องเรียน จากนั้นดำเนินการจัดการเรียนรู้ให้กับกลุ่มทดลองตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น ซึ่งมีรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เมื่อทำการสอนเสร็จตามแผนการจัดการเรียนรู้ จึงทำการทดสอบหลังเรียน โดยใช้แบบทดสอบวัดสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ และแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบ มาทดสอบกับนักเรียนทั้งกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุม

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป โดยใช้สถิติพื้นฐานคำนวณค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้สถิติทดสอบสมมติฐาน คือ การทดสอบค่าทีกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกัน (t-test for independent sample) (ไพศาล วรคำ, 2556, น. 351)

สรุปผลการวิจัย

1. นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน มีคะแนนสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานกับนักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

การจัดการเรียน	n	คะแนนเต็ม	M	SD	t	Sig
แบบจำลองเป็นฐาน	24	20	15.83	2.07	9.846*	.000
แบบปกติ	24	20	8.17	3.20		

*p < .05

2. นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน มีคะแนนสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 ตัวบ่งชี้ สูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์แต่ละตัวบ่งชี้ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานกับนักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

ตัวบ่งชี้	การจัดการเรียน	n	คะแนนเต็ม	M	SD	t	Sig
ตัวบ่งชี้ที่ 1	แบบจำลองเป็นฐาน	24	4	2.96	1.08	5.936*	.000
	แบบปกติ	24	4	1.17	1.01		
ตัวบ่งชี้ที่ 2	แบบจำลองเป็นฐาน	24	4	2.79	0.88	5.472*	.000

	แบบปกติ	24	4	1.08	1.25		
ตัวบ่งชี้ที่ 3	แบบจำลองเป็นฐาน	24	4	3.25	0.74	4.226*	.000
	แบบปกติ	24	4	2.13	1.08		
ตัวบ่งชี้	การจัดการเรียน	n	คะแนนเต็ม	M	SD	t	Sig
ตัวบ่งชี้ที่ 4	แบบจำลองเป็นฐาน	24	4	3.50	0.51	7.702*	.000
	แบบปกติ	24	4	1.75	0.99		
ตัวบ่งชี้ที่ 5	แบบจำลองเป็นฐาน	24	4	3.33	0.70	5.340*	.000
	แบบปกติ	24	4	2.04	0.95		

*p < .05

3. นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน มีคะแนนความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานกับนักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

การจัดการเรียน	n	คะแนนเต็ม	M	SD	t	Sig
แบบจำลองเป็นฐาน	24	12	9.92	1.10	12.205*	.000
แบบปกติ	24	12	5.75	1.26		

*p < .05

4. นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน มีคะแนนความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบทุกตัวบ่งชี้สูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบแต่ละตัวบ่งชี้ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานกับนักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

ตัวบ่งชี้	การจัดการเรียน	n	คะแนนเต็ม	M	SD	t	Sig
ตัวบ่งชี้ที่ 1	แบบจำลองเป็นฐาน	24	3	2.71	0.46	5.576*	.000
	แบบปกติ	24	3	1.80	0.66		
ตัวบ่งชี้ที่ 2	แบบจำลองเป็นฐาน	24	3	2.63	0.50	6.448*	.000
	แบบปกติ	24	3	1.54	0.66		
ตัวบ่งชี้ที่ 3	แบบจำลองเป็นฐาน	24	3	2.17	0.70	4.076*	.000
	แบบปกติ	24	3	1.04	0.86		
ตัวบ่งชี้ที่ 4	แบบจำลองเป็นฐาน	24	3	2.42	0.50	5.548*	.000
	แบบปกติ	24	3	1.38	0.77		

*p < .05

อภิปรายผล

1. การเปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานกับนักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของราตรี ยะคำ (2560) ที่

ได้ทำการวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนาสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์และผลิตภัณฑ์ พบว่า นักเรียนที่ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานนั้น มีคะแนนสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นการใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ (Schwarz, 2009) ซึ่งจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่ได้ลงมือปฏิบัติ นั้น ซึ่งขั้นตอนในแต่ละขั้นตอนก็จะมีสำคัญในการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละตัวบ่งชี้ ดังนี้

ตัวบ่งชี้ที่ 1 นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้สร้างคำอธิบายที่สมเหตุสมผล พบว่า นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีคะแนนสมรรถนะสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นผลมาจากในขั้นตอนที่ 1 การเข้าถึงปรากฏการณ์ ทำความเข้าใจ และระบุงองค์ประกอบ ขั้นนี้ครูจะกระตุ้นให้นักเรียนสนใจสิ่งที่จะเรียนรู้ โดยการใช้สื่อรูปภาพ สถานการณ์จำลองเพื่อให้เกิดการอุปมาอุปไมย หรือนำสถานการณ์ที่เป็นความรู้เดิมของนักเรียนมาใช้ในการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจ โดยครูใช้คำถามกระตุ้นเพื่อให้นักเรียนเกิดการแสดงความคิดเห็นและอภิปรายร่วมกันถึงสถานการณ์นั้น ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงแบบจำลองทางความคิด เพื่อที่ครูจะได้รับรู้และทำความเข้าใจว่านักเรียนมีความรู้เรื่องนั้น ๆ มากน้อยเพียงใด และสิ่งที่นักเรียนรู้และเข้าใจนั้นถูกต้องหรือไม่ สอดคล้องกับทศนา แหมมณี (2557) ที่กล่าวว่า นักเรียนจะสร้างความหมายให้กับสิ่งนั้นด้วยตัวเอง โดยการมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อ ซึ่งจะกระตุ้นความสนใจเพื่อให้นักเรียนอยากที่จะเรียนรู้ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของภรทพย์ สุภัทรชัยวงศ์ (2558) พบว่า การจัดกิจกรรมโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ควรมีการสร้างสถานการณ์ที่น่าสนใจเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนแสดงแบบจำลองทางความคิดออกมา ร่วมกับคำถามที่จะใช้ตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน และจากการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ ในการทำงานร่วมกันที่นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนในกลุ่ม โดยเกิดการอภิปรายและโต้แย้งร่วมกัน เกิดเป็นข้อสรุปและนำองค์ความรู้ที่ได้มาสร้างคำอธิบายเกิดเป็นแบบจำลองที่สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์ได้อย่างสมเหตุสมผล ซึ่งถือได้ว่าช่วยพัฒนาความสามารถของนักเรียนในการดึงความรู้วิทยาศาสตร์มาสร้างคำอธิบายอย่างสมเหตุสมผล

ตัวบ่งชี้ที่ 2 ระบุ ใช้ และสร้างรูปแบบการอธิบายและการแสดงข้อมูล พบว่า นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีคะแนนสมรรถนะสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นผลมาจากนักเรียนนำองค์ความรู้ที่ได้จากขั้นที่ 1 มาสร้างแบบจำลอง ซึ่งก่อนสร้างแบบจำลอง ครูจะให้ความรู้เกี่ยวกับแบบจำลองและตัวอย่างแบบจำลองก่อน ซึ่งสอดคล้องกับภรทพย์ สุภัทรชัยวงศ์ (2558) ที่มีการแทรกสอดกิจกรรมที่สะท้อนธรรมชาติของแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลองเพื่อให้นักเรียนนั้นเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลอง และนำไปสู่การเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ แบบจำลองนักเรียนสร้างขึ้นนั้นมีความเป็นรูปธรรม เป็นแบบจำลอง 2 มิติ หรือแผนผัง ซึ่งการสร้างผังมโนทัศน์ช่วยให้นักเรียนจัดลำดับความรู้ที่ได้ สามารถเชื่อมโยงและสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้ให้ดูเข้าใจง่าย มีศักยภาพในการพัฒนาการเรียนรู้อย่างมีความหมาย และส่งผลให้การเรียนมีประสิทธิภาพมากกว่าการสรุปความรู้แบบบทความ (Yang and Wang, 2013) แบบจำลองที่ได้นำมาใช้อธิบายหรือแสดงข้อมูล แต่แบบจำลองอาจจะยังไม่ถูกต้องสมบูรณ์ในตอนเริ่มขึ้น จะมีขั้นที่ 3 การประเมินแบบจำลอง และขั้นที่ 4 การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง นักเรียนมีการเปรียบเทียบแบบจำลองของกลุ่มตัวเองกับแบบจำลองของกลุ่มเพื่อน และรวมแบบจำลองของแต่ละกลุ่มเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดที่เป็นมติของชั้นเรียน เพื่อที่นักเรียนจะได้เห็นจุดเด่นและจุดด้อย เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองให้สามารถอธิบายแนวคิดหรือปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ดียิ่งขึ้น (ชัยยนต์ ศรีเชียงหา, 2554) เพื่อให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ใช้ในการเป็นตัวแทนของข้อมูลหรือใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับ Schwarz (2009) ที่กล่าวไว้ว่า แบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงและแก้ไขแล้ว จะมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น เพราะนักเรียนได้รับการสะท้อนผลกลับจากครูและเพื่อนในระหว่างการอภิปราย ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้สิ่งที่ผิดพลาดและส่งผลให้นักเรียนเกิดแนวคิดใหม่ที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ตัวบ่งชี้ที่ 3 เสนอการอธิบายด้วยสมมติฐาน พบว่า นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีคะแนนสมรรถนะสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เริ่มต้นจากนักเรียนได้ตั้งสมมติฐานของแบบจำลองไว้ในขั้นที่ 2 การสร้างแบบจำลอง เมื่อถึงขั้นที่ 3 การประเมินแบบจำลอง นักเรียนแต่ละกลุ่มจะร่วมกันสรุปและอภิปรายองค์ความรู้ที่ได้จากการค้นคว้า และจากการทำแบบฝึกหัด เกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์และสังเคราะห์ร่วมกันเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อสรุปที่จะใช้ในการตรวจสอบสมมติฐาน เพื่อพัฒนาแบบจำลองให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับ Windschitl et al. (2008) อธิบายว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถในการตั้งสมมติฐานที่มีความเกี่ยวข้องกับบริบทได้

ตัวบ่งชี้ที่ 4 การพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงในเชิงวิทยาศาสตร์และให้เหตุผลที่สมเหตุสมผล พบว่านักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีคะแนนสมรรถนะสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นผลมาจากขั้นที่ 5 การใช้แบบจำลองทำนายและอธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ นักเรียนได้ใช้แบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นเพื่อทำนายหรือคาดเดา หรือพยากรณ์ปรากฏการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นในเชิงวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับ Windschitl et al. (2008) กล่าวไว้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ส่งผลให้นักเรียนสามารถพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงอย่างมีเหตุมีผลบนพื้นฐานกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ตัวบ่งชี้ที่ 5 การอธิบายถึงศักยภาพของความรู้วิทยาศาสตร์ที่สามารถนำไปใช้เพื่อสังคมได้ พบว่านักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีคะแนนสมรรถนะสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นผลมาจากขั้นที่ 5 การใช้แบบจำลองทำนายและอธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ นักเรียนประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ โดยใช้คำถามเชื่อมโยงระหว่างแบบจำลองและสถานการณ์ใหม่ที่ได้รับ สอดคล้องกับ Windschitl et al. (2008) ที่อธิบายไว้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน นักเรียนสามารถใช้แบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างมีเหตุผล ตลอดจนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้ทุกแง่มุม และสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Schwarz (2009) พบว่า เมื่อนักเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน นักเรียนสามารถที่จะประยุกต์ใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอื่น ๆ ได้อย่างมีเหตุผลในเชิงวิทยาศาสตร์

2. การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานกับนักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชนาธิป โตรภวานนท์ และคณะ (2562) ทำการวิจัย เรื่อง การพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน จากผลการวิจัยพบว่า ความสามารถของนักเรียนในการคิดอย่างเป็นระบบมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นในแต่ละวงรอบ โดยระดับคะแนนเฉลี่ยภายหลังการจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 4 วงรอบนั้น นักเรียนมีการคิดอย่างเป็นระบบในระดับดีมาก เนื่องจากกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบนั้น จำเป็นต้องอาศัยทักษะการสร้างแบบจำลอง เพื่อช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากนามธรรมให้กลายเป็นรูปธรรม ซึ่งช่วยให้วิเคราะห์ผลกระทบระหว่างองค์ประกอบที่มีอยู่ในระบบได้ง่ายขึ้น (Verhorff, et al., 2008) ซึ่งขั้นตอนในแต่ละขั้นตอนก็มีความสำคัญในการพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบในแต่ละตัวบ่งชี้ ดังนี้

ตัวบ่งชี้ที่ 1 การระบุองค์ประกอบย่อยของระบบ พบว่า นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีคะแนนสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นผลมาจากขั้นที่ 1 ครูจะกระตุ้นให้นักเรียนสนใจสิ่งที่จะเรียนรู้ โดยการใช้สื่อรูปภาพ สถานการณ์จำลองเพื่อให้เกิดการอุปมาอุปไมย หรือนำสถานการณ์ที่เป็นความรู้เดิมของนักเรียนมาใช้ในการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจ ซึ่งการเลือกใช้สื่อการเรียนรู้ต่าง ๆ ตามเนื้อหาและบทเรียนที่เหมาะสม จะช่วยให้ผู้เรียนระบุองค์ประกอบของระบบได้สมบูรณ์ (ชนาธิป โตรภวานนท์ และคณะ, 2562) ซึ่งคำถามที่ครูใช้ในการถามนั้น จะทำให้นักเรียนได้รู้จักองค์ประกอบย่อยต่าง ๆ ของระบบ ผ่านกระบวนการสังเกต จดจำรายละเอียด และร่วมอภิปราย ซึ่งทำให้นักเรียน

สามารถระบุองค์ประกอบย่อยต่าง ๆ ของระบบได้ สอดคล้องกับ Evagorou et al. (2009) ที่ได้อธิบายไว้ว่า การมีส่วนร่วมในการอภิปราย แบ่งปันประสบการณ์ซึ่งกันและกัน ทำให้สามารถระบุองค์ประกอบพื้นฐานต่าง ๆ ของระบบได้ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นทำให้เกิดการคิดอย่างเป็นระบบ และในขั้นที่ 2 การสร้างแบบจำลอง ก็มีส่วนช่วยพัฒนาการระบุองค์ประกอบย่อยของระบบด้วยเช่นกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Verhorff et al. (2008) ผลการวิจัยพบว่า หลังจากการสังเกตองค์ประกอบย่อยของระบบในขั้นที่ 1 แล้ว หากนักเรียนได้สร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ จะช่วยให้นักเรียนจดจำและสามารถระบุองค์ประกอบย่อยของระบบได้ดียิ่งขึ้น

ตัวบ่งชี้ที่ 2 การระบุความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงความรู้ในระดับทางชีวภาพเดียวกัน พบว่า นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีคะแนนสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เริ่มจากนักเรียนนำองค์ประกอบที่สังเกตได้จากขั้นที่ 1 มาสร้างเป็นแบบจำลอง ซึ่งครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงแบบจำลองความคิดของตนเองออกมาให้มากที่สุด และสร้างเป็นแบบจำลองสองมิติ ที่เป็นรูปภาพ หรือแผนผัง สอดคล้องกับงานวิจัยของสันติชัย อนุวรชัย (2561) ทำการวิจัย เรื่อง การพัฒนาความสามารถในการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในหน่วยการเรียนรู้ดาราศาสตร์ ผ่านกลยุทธ์การเสริมศักยภาพด้วยผังมโนทัศน์ พบว่า การสร้างผังมโนทัศน์จะช่วยให้เห็นถึงการเชื่อมโยงกันของความรู้ การมีลำดับขั้นของความรู้ชัดเจน และเมื่อนำข้อมูลจากผังมโนทัศน์ไปเขียนในรูปแบบอื่น ๆ หรือใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ ก็จะทำให้สื่อสารเข้าใจ และง่ายต่อการจัดลำดับความคิด หลังจากนั้นทำการประเมินและดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง ซึ่งถ้าหากนักเรียนได้สร้างแบบจำลองที่อธิบายความคิดของตนเองอย่างเป็นขั้นเป็นตอน มีระเบียบแบบแผนที่ชัดเจน และได้นำเสนอแบบจำลองของตนเองร่วมกับผู้อื่น จะช่วยให้นักเรียนเกิดการจัดระเบียบทางความคิดถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี (Verhorff, et al., 2008)

ตัวบ่งชี้ที่ 3 การเชื่อมโยงความรู้ของชีววิทยาที่ต่างระดับทางชีวภาพ พบว่า นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีคะแนนสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นผลมาจากขั้นที่ 5 การใช้แบบจำลองทำนายและอธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ นักเรียนประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงแล้วในการตอบคำถามหรืออธิบายปรากฏการณ์ที่เป็นความรู้ชีววิทยาที่ต่างระดับชีวภาพ เช่น การที่นักเรียนนำแบบจำลองขั้นตอนการสังเคราะห์โปรตีนของสิ่งมีชีวิตกลุ่มยูแคริโอตที่นักเรียนได้สร้างขึ้น มาใช้ในการอธิบายการสังเคราะห์โปรตีนของสิ่งมีชีวิตกลุ่มโพรแคริโอต ทำให้นักเรียนเกิดความสามารถในการเชื่อมโยงความรู้ของชีววิทยาที่ต่างระดับทางชีวภาพ ถือเป็นการขยายความสามารถของแบบจำลองอีกด้วย ซึ่งนำไปสู่การเสนอปรากฏการณ์ในระดับที่ใหญ่ขึ้นได้อย่างสมเหตุสมผล (Coll & Taylor, 2005; Verhorff, et al., 2008)

ตัวบ่งชี้ที่ 4 การเชื่อมโยงระหว่างความรู้และแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นจริง พบว่า นักเรียนที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีคะแนนสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นผลมาจากขั้นที่ 5 นักเรียนจะทำกิจกรรมผ่านใบกิจกรรมที่ครูได้ให้สถานการณ์ เป็นสถานการณ์ที่สามารถเชื่อมโยงระหว่างแบบจำลองกับปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นจริง สอดคล้องกับ Evagorou et al. (2009) ที่ได้อธิบายไว้ว่า การขยายแบบจำลองเพื่ออธิบายสถานการณ์ใหม่นั้น ทำให้นักเรียนสามารถที่จะเชื่อมโยงความรู้ไปยังสถานการณ์หรือความรู้วิทยาศาสตร์อื่น ๆ ได้ และการประยุกต์ใช้แบบจำลองไปยังสถานการณ์อื่น ๆ ช่วยพัฒนาให้นักเรียนทำความเข้าใจกระบวนการที่เกิดขึ้นได้อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น และทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในการเชื่อมโยงระหว่างความรู้และแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับปรากฏการณ์ได้ง่ายยิ่งขึ้น (กรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์, และคณะ, 2558)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 การจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ควรให้อิสระแก่นักเรียนในขั้นตอนที่นักเรียนสร้างแบบจำลอง โดยที่ผู้วิจัยจะมีหน้าที่ในการสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ หรือช่วยกระตุ้นโดยการใช้อคำถามเพื่อให้นักเรียนเกิดการแสดงความคิดเห็น อภิปราย

1.2 บางสถานการณ์ยากต่อการทำความเข้าใจ เนื่องจากมีคำศัพท์เฉพาะ ผู้วิจัยควรใช้สถานการณ์ที่ทำความเข้าใจง่าย ใช้ภาษาที่นักเรียนสามารถเข้าใจง่าย หรือเพิ่มคำอธิบายความหมายของคำศัพท์เฉพาะลงไปด้วย

1.3 อาจจะปรับเปลี่ยนแบบจำลองจาก 2 มิติ ที่ทำผ่านแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เป็นแบบจำลองที่เป็น 3 มิติ โดยใช้อุปกรณ์ที่หาง่ายได้จากท้องถิ่นของตน

2. ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 พิจารณาสรรณะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์และความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบแยกแต่ละตัวบ่งชี้ เพื่อที่จะได้ปรับปรุงวิธีการจัดการเรียนรู้ หรือใช้วิธีการจัดการเรียนอื่น ๆ ที่มีความเหมาะสมมากกว่า

2.2 นำการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ไปใช้ในการพัฒนาสมรรถนะอีก 2 สมรรถนะ ได้แก่ สมรรถนะการประเมินและการออกแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และสมรรถนะการแปลความหมายข้อมูลและประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์

2.3 นำการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ไปใช้ในการพัฒนาทักษะการพยากรณ์ ซึ่งเป็นทักษะทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากว่า ตัวบ่งชี้ การพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงในเชิงวิทยาศาสตร์และให้เหตุผลที่สมเหตุสมผลของนักเรียนมีการพัฒนามากที่สุด

บรรณานุกรม

- ชนาธิป โทตรถวานนท์, สุรีย์พร สว่างเมฆ และวันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ. (2562). การพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์*, 21(2), 64-79.
- ชัยยนต์ ศรีเชียงหา. (2553). การพัฒนาแนวคิดเรื่องสมดุลเคมีและเจตคติต่อ วิชาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารการศึกษา). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ทิตินา แคมมณี. (2557). ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพศาล วรคำ. (2556). การวิจัยทางการศึกษา. (พิมพ์ครั้งที่ 6). มหาสารคาม: ตักศิลาการพิมพ์.
- ภรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์, ชาตรี ฝ่ายคำตา และพจนารถ สุวรรณจุ. (2558). การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางความคิด เรื่อง โครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้*, 1(1), 97-124.
- ราตรี ยะคำ. (2560). การวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนาสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์และผลิตภัณฑ์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยนครสวรรค์, พิษณุโลก.
- ศูนย์ดำเนินงาน PISA แห่งชาติ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2564). ผลการประเมิน PISA 2018 การอ่าน คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.).

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *กรอบโครงสร้างการประเมินผลนักเรียนโครงการ PISA 2015*. กรุงเทพฯ: สสวท.
- สันติชัย อุนวรชัย. (2561). การพัฒนาความสามารถในการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในหน่วยการเรียนรู้ดาราศาสตร์ผ่านกลยุทธ์การเสริมศักยภาพด้วยผังโน้ตทัศน์. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 12(2), 280-191.
- สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2564). *โครงการการพัฒนาระบบสถิติข้อมูลและตัวชี้วัดเพื่อใช้ในการบริหารราชการแผ่นดินตามยุทธศาสตร์ชาติ ประเด็นที่ 12 การพัฒนาการเรียนรู้*. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุนีย์ คล้ายนิล, ปรีชาญ เดชศรี และอัมพลิกา ประโมจน์ย์. (2551). *ความรู้และสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ สำหรับโลกวันพรุ่งนี้*. กรุงเทพฯ: เซเวนพรีนติ้ง กรุ๊ป.
- Barger, M. C. (1984). Clinical Thinking ability and Nursing students. *Journal of Nursing Education*, 23 (7), 306–309.
- Bryce, C., Baliga, V. B., de Nesnera, K., Fiack, D., Goetz, K., Tarjan, L. M., Gilbert, G. S. (2016). Models in the NGSS biology classroom. *American biology teacher*, 78(1), 35–42.
- Centre for Strategic Management, Architects in Strategic and Social Charge. (1999). *Systems thinking and learning: Executive briefing and seminar*. San Diego: Pleasantville Press.
- Coll, R. K., & Taylor, I. (2005). The role of models and analogies in science education. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183–198.
- Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C., & Constantinou, C. (2009). An investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: A case study with fifth graders and sixth graders. *International Journal of Science Education*, 31(5), 655–74.
- Gardner, B. H., & Demello, S. (1993). System thinking in action. *Health Care Forum Journal*, 36(4), 25-28.
- Krell, M., zu Belzen, A. U., & Krüger, D. (2014). Students' levels of understanding models and modelling in biology: global or aspect-dependent. *Research in Science Education*, 44(1), 109–132. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9365-y>.
- Schwarz, C. V., et al. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Senge, P. M. (1993). *The fifth discipline: The art & practice of the learning organization*. London: Century Business.
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2008). Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543–568.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model – based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigation. *Science Education*, 92(5), 941-967.
- Yang, Hsiu-Ting., & Wang, Kuo-Hua. (2013). A teaching model for scaffolding 4th grade students' scientific explanation writing. *Research Science Education*, 44(4), 531–548.