

บทความวิจัย (Research Article)

การพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน DEVELOPING OF SYSTEM THINKING FOR MATTAYOMSUKSA 4 STUDENTS IN NERVOUS SYSTEM AND SENSORY ORGANS THROUGH MODEL-BASED LEARNING

Received: June 28, 2017

Revised: July 18, 2017

Accepted: July 19, 2017

ชนาธิป โหตรพานนท์^{1*} สุรีย์พร สว่างเมฆ² และวันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ³
Chanatip Hotarapawanon^{1*} Sureeporn Sawangmek² and Wandee Wattanachaiyingcharoen³

^{1,2}คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

³คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

^{1,2}Faculty of education, Naresuen University, Phitsanulok 65000, Thailand

³Faculty of science, Naresuen University Phitsanulok 65000, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: ho.chanatip@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงปฏิบัติการครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อ 1) ศึกษาแนวทางในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ และ 2) ศึกษาผลการพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบภายหลังการจัดการเรียนรู้ กลุ่มเป้าหมายคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ ในโรงเรียนขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง จำนวน 27 คน โดยการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก และแบบจำลองระบบ เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก ผลการวิจัย พบว่า

1. แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เริ่มจากการทำความเข้าใจและระบุองค์ประกอบผ่านการสังเกตสิ่งที่ครูกำหนด การพัฒนาแบบจำลองอย่างง่าย จากผลการสังเกตองค์ประกอบของระบบ การพัฒนาแบบจำลอง 2 มิติของกลุ่มให้สมบูรณ์โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองอย่างง่ายของสมาชิกในกลุ่ม

การนำแบบจำลอง 2 มิติ มาใช้อธิบายสถานการณ์ที่กำหนด และการสร้างแบบจำลองระบบเพื่ออธิบายสถานการณ์ใหม่

2. ผลการพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบในด้านการระบุงค์ประกอบและความสัมพันธ์ในระดับชีวภาพเดียวกันในระดับดีมาก การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ต่างระดับทางชีวภาพและการอธิบายปรากฏการณ์ทางชีววิทยาด้วยแบบจำลองอยู่ในระดับดี ส่งผลให้นักเรียนมีภาพรวมการคิดอย่างเป็นระบบอยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: การคิดอย่างเป็นระบบ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก

Abstract

This action research aims to 1) study about how to use model-based leaning management to develop the systems thinking in nervous system and sensory organs lesson and 2) study about systems thinking of student after using model-based learning management. The target group of this study is Mattayomsuksa 4 students that study in enrichment science classroom. The research tools were used 1) Four learning management plans that using model-based leaning to develop systems thinking in nerve system and sensory organs lesson, 2) reflecting form of learning management, and 3) the system modeling. The results are;

1. The model-based leaning management begin at; Explain the system components that student recognize by learning medias. Then, Student develops a simple model by using components that observed. Next, Students develop a general 2D model that using student group to compare their simple models to develop group 2-D model. After that, Application of systems thinking which use the group model to explain biology phenomena. Last, Application of the hierarchical systems model by generate system model to explain new biology phenomena.

2. After learning management, the students' systems thinking is in good level.

Keywords: Systems Thinking, Model-based Learning, Nerve System and Sensory Organs

บทนำ

การคิดอย่างเป็นระบบ เป็นกระบวนการที่ช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของส่วนต่างๆ ในระบบ นำมาสู่การสร้างเข้าใจในสัมพันธ์และผลกระทบซึ่งกันและกันของแต่ละส่วนเพื่อสรุปเป็นกฎเกณฑ์ของปรากฏการณ์โดยยังคงตระหนักถึงปฏิสัมพันธ์ ความเกี่ยวเนื่องภายใน และการพึ่งพาซึ่งกันและกันของส่วนประกอบต่างๆ ภายในระบบที่ซับซ้อน (Evagorou, et al., 2009, pp. 655-674) ซึ่งช่วยในการพัฒนาความสามารถในการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ เพราะบริบทและเนื้อหาของวิชาวิทยาศาสตร์นั้นเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ประกอบไปด้วยปัจจัยหลายอย่าง ส่งผลต่อกันในลักษณะลูกโซ่ การพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบ ซึ่งกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบเริ่มจากการทำความเข้าใจกับระบบอันประกอบด้วยสองส่วนหรือมากกว่าเสมอ ดังนั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงที่ส่วนใดส่วนหนึ่ง ย่อมส่งผลกระทบต่อส่วนอื่นๆ เพราะแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กัน อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความเชื่อมโยงขององค์ประกอบแต่ละส่วนในระบบ โดยพิจารณาว่าแต่ละองค์ประกอบเป็นเหตุเป็นผลกันอย่างไร ดังนั้น กระบวนการคิดอย่างเป็นระบบจึงจำเป็นต้องอาศัยทักษะการสร้างแบบจำลองของระบบที่กำลังวิเคราะห์ เพื่อช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากนามธรรมให้กลายเป็นรูปธรรม สามารถจับต้องและจินตนาการไปถึงได้ง่ายขึ้น ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบระหว่างองค์ประกอบแต่ละชนิดที่มีอยู่ในระบบได้ง่ายขึ้น (Verhorff, et al., 2008, pp.543-568)

ดังนั้น การจัดการเรียนรู้ที่จะช่วยพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบจึงจะต้องมีกระบวนการสร้างแบบจำลองของระบบ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนได้เชื่อมโยงความรู้และความสัมพันธ์มากขึ้น เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้อธิบายความคิดและเชื่อมโยงความคิดระหว่างองค์ประกอบของระบบไปสู่ประยุกต์ใช้เข้ากับปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ รูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ต้องเปลี่ยนแปลงจากรูปแบบเดิม เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ อีกทั้งการสร้างแบบจำลองระบบ จะช่วยให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้ง่ายขึ้น และช่วยให้นักเรียนได้รับแนวคิดที่จะนำไปสู่การเกิดการเรียนรู้ นอกจากนี้ ยังพบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานนั้นยังพัฒนาการทำความเข้าใจในแต่ละหน่วยย่อยของระบบ ทำให้นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองรูปธรรม นำไปพัฒนาต่อยอดจนสามารถสร้างแบบจำลองนามธรรม ซึ่งช่วยให้เกิดการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง เพราะในกระบวนการสร้างแบบจำลอง ผู้เรียนจะต้องเรียนรู้ส่วนประกอบแต่ละส่วนนำมาสร้างเป็นแบบจำลอง และเชื่อมโยงแต่ละแบบจำลองย่อยเป็นแบบจำลองของระบบได้ (Coll & Taylor, 2005, pp.183-198) โดย Najang and Kaewdee (2014, pp.1830-1844) พบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน สามารถส่งเสริมการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ ผ่านการสร้างและใช้แบบจำลอง ร่วมกับ Evagorou, et al. (2009) พบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นตัวช่วยในการจัดการเรียนรู้นั้น สามารถพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียน ให้สามารถเชื่อมโยงและอธิบายการทำงานของระบบนิเวศป่าไม้ได้ดีขึ้น อีกทั้ง Verhoeff, et al. (2008) ยังพัฒนาการจัดการเรียนรู้วิชาชีววิทยาโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ ผ่านการสร้างแบบจำลองระบบ ซึ่งพบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานนั้น สามารถช่วยให้นักเรียนสามารถ

ถ่ายทอดความรู้ที่ได้เรียนไปแล้ว ออกมาอย่างเป็นลำดับขั้นตอน ทั้งยังคำนึงถึงระดับทางชีวภาพของระบบต่างๆ ที่ทำงานร่วมกันได้อีกด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้น จึงสรุปได้ว่า การพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบในนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาเป็นสิ่งจำเป็น เพราะจะสามารถช่วยส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยเฉพาะห้องเรียนที่เน้นด้านวิทยาศาสตร์ เพราะนักเรียนต้องเรียนเนื้อหาที่ลึก ละเอียด และมีความหลากหลาย ซึ่งการคิดอย่างเป็นระบบจะสามารถช่วยในการเชื่อมโยงความรู้ในแต่ละส่วน ไปสู่การประยุกต์และพัฒนา ร่วมกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ซึ่งจะช่วยให้เด็กเรียนได้นำเอาความรู้ออกมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง งานวิจัยนี้จึงศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก ในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ ในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก
2. เพื่อศึกษาผลการพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภายหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายในงานวิจัยนี้คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ ในโรงเรียนขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง ในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 28 คน ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง โดยเป็นนักเรียนชาย 1 คน และนักเรียนหญิง 27 คน ที่เรียนวิชาชีววิทยา เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก ในภาคเรียนที่ 2 โดยใช้เวลาในการศึกษา 3 ชั่วโมง/สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง ในปีการศึกษา 2559

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action research) ตามแนวคิดของ Kemmis and Schmuck (as cited in Kijkuakul, 2015) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ขั้นวางแผน 2) ขั้นปฏิบัติ 3) ขั้นสังเกตการณ์ และ 4) ขั้นสะท้อนผล

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ ใช้ในการเก็บข้อมูลในการสะท้อนและพัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก โดยผู้สะท้อนประกอบด้วย ผู้วิจัย อาจารย์

ประจำภาควิชาชีววิทยา และครูชำนาญการซึ่งสอนในรายวิชาชีววิทยา โดยแบบสะท้อนผ่านการประเมินของผู้เชี่ยวชาญในระดับเหมาะสมมาก

2. ชิ้นงานแบบจำลองระบบในแต่ละวงรอบการจัดการเรียนรู้ เพื่อเก็บข้อมูลการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียน

3. แบบจำลองระบบ เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการคิดอย่างเป็นระบบ ซึ่งผ่านเกณฑ์การประเมินการคิดอย่างเป็นระบบโดยผู้เชี่ยวชาญในระดับเหมาะสมมากที่สุด

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยออกแบบและวางแผนการจัดการเรียนรู้ในวงรอบที่ 1 เรื่อง การรับรู้และการตอบสนอง เซลล์ประสาท และการทำงานของเซลล์ประสาท โดยใช้ข้อมูลจากผลสำรวจการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้เป็นพื้นฐาน จากนั้นดำเนินการตามแผนการจัดการเรียนรู้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วให้นักเรียนสร้างแบบจำลองระบบ เรื่อง การทำงานของระบบประสาทเมื่อสัมผัสสิ่งกระตุ้น เพื่อใช้ตรวจสอบการคิดอย่างเป็นระบบภายหลังการจัดการเรียนรู้ในวงรอบที่ 1 โดยในระหว่างการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยและผู้สะท้อนได้เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในวงรอบถัดไปผ่านแบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้

ในวงรอบที่ 2 ทำการวางแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง ศูนย์ควบคุมระบบประสาท โดยปรับปรุงตามผลการสะท้อนจากวงรอบที่ 1 จากนั้นปฏิบัติการตามแผนการจัดการเรียนรู้ แล้วให้นักเรียนสร้างแบบจำลองระบบ เรื่อง การทำงานของระบบประสาทส่วนกลางเมื่ออ่านหนังสือ เพื่อตรวจสอบการคิดอย่างเป็นระบบภายหลังการจัดการเรียนรู้ในวงรอบที่ 2 และในระหว่างการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยและผู้สะท้อนได้เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในวงรอบถัดไปผ่านแบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้

ในวงรอบที่ 3 ทำการวางแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง การทำงานของระบบประสาท โดยปรับปรุงตามผลการสะท้อนจากแบบสะท้อนในวงรอบที่ 2 จากนั้นปฏิบัติตามแผนการจัดการเรียนรู้ในวงรอบที่ 3 แล้วให้นักเรียนสร้างแบบจำลองระบบ เรื่อง การควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจด้วยระบบประสาทรอบนอก เพื่อใช้ตรวจสอบการคิดอย่างเป็นระบบภายหลังการจัดการเรียนรู้ในวงรอบที่ 3 และสะท้อนผลร่วมกับผู้สะท้อนผ่านแบบสะท้อน ก่อนจะวิเคราะห์ผลการสะท้อนเพื่อปรับปรุงในวงรอบถัดไป

วงรอบที่ 4 ทำการวางแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง อวัยวะรับสัมผัส โดยปรับปรุงจากผลการสะท้อนจากแบบสะท้อนในวงรอบที่ 3 แล้วปฏิบัติตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่วางไว้ จากนั้นเก็บข้อมูลการจัดการเรียนรู้จากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้เพื่อสรุปแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก และผลการพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ ภายหลังการจัดการเรียนรู้ โดยให้นักเรียนแต่ละคนทำแบบวัดการคิดอย่างเป็นระบบ ผ่านการสร้างแบบจำลองระบบ เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ โดยนำข้อมูลจากแบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ จากผู้สะท้อน 2 ท่าน และผู้วิจัย มาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (content analysis) โดยทำการให้รหัสและจัดระเบียบข้อมูลตามประเด็นที่สร้างไว้ ได้แก่ จุดเด่น จุดที่ควรพัฒนา และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในแต่ละขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยการตรวจสอบจากแหล่งข้อมูลมากกว่า 1 ชนิด (resource triangulation) โดยการวิเคราะห์และหาข้อสรุปจากผลการสะท้อนจากแบบสะท้อนของผู้ร่วมสังเกตการณ์สอน

2. การวิเคราะห์ผลพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ ภายหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้นาแบบจำลองระบบในแต่ละวงรอบ และแบบจำลองระบบภายหลังการจัดการเรียนรู้ มาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (content analysis) โดยทำการให้รหัสและจัดระเบียบข้อมูลตามตัวบ่งชี้การคิดอย่างเป็นระบบ ดังนี้ ตัวบ่งชี้ที่ 1 การระบุองค์ประกอบย่อยของระบบ ตัวบ่งชี้ที่ 2 การระบุความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงความรู้ในระดับทางชีวภาพเดียวกันตัวบ่งชี้ที่ 3 การเชื่อมโยงความรู้ของชีววิทยาที่ต่างระดับทางชีวภาพ ตัวบ่งชี้ที่ 4 การเชื่อมโยงระหว่างความรู้และแบบจำลองที่สร้างขึ้น กับปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นจริง โดยในแต่ละตัวบ่งชี้แบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ ตีมาก ปานกลาง พอใช้ และปรับปรุง จากนั้นทำการจัดกลุ่มให้เป็นหมวดหมู่สอดคล้องกับตัวบ่งชี้ แล้วจึงสรุปข้อมูลเป็นความเรียงเพื่อรายงานผลความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียน และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลแบบสามเส้า (triangulation) ด้วยการใช้เครื่องมือวิจัยมากกว่า 1 ชนิด (method triangulation) ได้แก่ แบบจำลองระบบในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ และแบบจำลองระบบภายหลังการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับรู้สัมผัส

2.2 การวิเคราะห์ระดับการคิดอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยนำแบบจำลองระบบในแต่ละวงรอบ และแบบจำลองระบบภายหลังการจัดการเรียนรู้ มาตรวจให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินในแต่ละตัวบ่งชี้ในแต่ละระดับ ได้แก่ ระดับตีมาก ได้ 3 คะแนน ระดับปานกลาง ได้ 2 คะแนน ระดับพอใช้ ได้ 1 คะแนน และระดับปรับปรุง ได้ 0 คะแนน จากนั้นหาคะแนนเฉลี่ยรวมเพื่อนำมาเทียบกับเกณฑ์โดยปรับปรุงมาจากเกณฑ์การประเมินสมรรถนะสำคัญของผู้เรียนระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ของ Bureau of educational testing Thailand (2014) โดยการคิดระดับตีมากอยู่ในช่วง 10 – 12 คะแนน การคิดในระดับดีอยู่ในช่วง 7 – 9 คะแนน การคิดในระดับพอใช้อยู่ในช่วง 4 – 6 คะแนน และการคิดในระดับปรับปรุงอยู่ในช่วง 0 – 3 คะแนน

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถสรุปขั้นการจัดการเรียนรู้ได้ 5 ขั้น ดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจและระบุองค์ประกอบ ครูกระตุ้นให้นักเรียนได้รู้จักองค์ประกอบย่อยต่างๆ ของระบบประสาท ด้วยการสังเกต และจดจำรายละเอียดผ่านการตั้งคำถาม และร่วมอภิปราย โดยใช้สื่อการเรียนรู้ในวงรอบที่ 1 ใช้รูปภาพ และปรับเป็นวิดีโอในวงรอบที่ 2 เพื่อเน้นสังเกตการณ์ตอบสนองและอภิปรายต่อไปยังการทำงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งได้ข้อสรุปจากแบบสะท้อนว่า การเชื่อมโยงสื่อเข้ากับเนื้อหาที่เกี่ยวข้องช่วยให้นักเรียนสามารถสังเกตและจดจำองค์ประกอบของระบบได้ง่ายขึ้น และในวงรอบที่ 3 และ 4 ได้ปรับปรุงให้นักเรียนสังเกตผ่านการทดลอง ซึ่งได้ข้อสรุปผลสะท้อนว่านักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลอง ทำให้มีความเข้าใจและระบบองค์ประกอบย่อยได้ ในกรณีที่ระบบมีการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน

ขั้นที่ 2 พัฒนาแบบจำลองอย่างง่าย ครูให้นักเรียนแต่ละคนนำเอาองค์ประกอบที่สังเกตได้มาสร้างแบบจำลองอย่างง่าย โดยครูเป็นผู้กำหนดชนิดของแบบจำลองให้เหมาะสมกับสิ่งที่นักเรียนสังเกตมา โดยในวงรอบที่ 1 นักเรียนได้สร้างแบบจำลองภาพวาดจากการสังเกตภาพจำลอง ซึ่งจากผลสรุปแบบสะท้อน พบว่า นักเรียนสามารถพัฒนาแบบจำลองให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่นักเรียนใช้เวลาในการสร้างแบบจำลองมากกว่าที่กำหนด ดังนั้น ในวงรอบที่ 2 จึงได้ปรับให้นักเรียนสร้างแบบจำลองแผนผังซึ่งช่วยให้นักเรียนเชื่อมโยงส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันอย่างรวดเร็ว และในวงรอบที่ 3 ได้ใช้แบบจำลองกระบวนการเมื่อสังเกตผ่านการทำการทดลอง โดยในระหว่างการสร้างแบบจำลอง ครูต้องช่วยตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลองได้สมบูรณ์

ขั้นที่ 3 พัฒนาแบบจำลอง 2 มิติ ครูให้นักเรียนจับกลุ่มสร้างและพัฒนาแบบจำลอง 2 มิติให้สอดคล้องกับแบบจำลองอย่างง่าย และเพิ่มเติมรายละเอียด พร้อมทั้งอธิบายการทำงานของแบบจำลอง ครูต้องกระตุ้นให้นักเรียนใช้แบบจำลองอย่างง่ายของสมาชิกในกลุ่มเป็นแหล่งข้อมูลในการสร้างแบบจำลองกลุ่ม ซึ่งช่วยให้นักเรียนได้ทดลองใช้แบบจำลองของตน และมองเห็นจุดที่ต้องพัฒนาและข้อจำกัดของแบบจำลอง นอกจากนี้ครูควรสังเกต และตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลอง 2 มิติได้สมบูรณ์

ขั้นที่ 4 พัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ ครูนำแบบจำลองของนักเรียนแต่ละกลุ่มมาจัดแสดงร่วมกัน และกำหนดสถานการณ์การตอบสนองต่อสิ่งเร้า เพื่อตั้งคำถามให้นักเรียนใช้แบบจำลอง 2 มิติ ของแต่ละกลุ่มร่วมกันอภิปราย เช่น เมื่อผิวหนังสัมผัสแล้วส่งกระแสประสาทไปยังสมอง จะเกิดการทำงานของระบบใดบ้าง เป็นต้น แล้วจึงร่วมกันสรุปเนื้อหาที่ได้นำเสนอไปอีกครั้ง โดยในวงรอบที่ 1 ได้ให้นักเรียนนำแบบจำลองภาพเซลล์ประสาทมาเชื่อมต่อกัน เพื่ออธิบายการสร้างและส่งต่อกระแสประสาท ซึ่งผลการสะท้อนการจัดการเรียนรู้ระบุว่าสามารถช่วยให้นักเรียนเข้าใจความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบย่อย ต่อการเกิดปรากฏการณ์ทางร่างกายได้

ขั้นที่ 5 ประยุกต์ให้เข้ากับลำดับขั้นของแบบจำลองระบบ ครูกำหนดสถานการณ์การรับสิ่งเร้าใหม่ของร่างกาย ให้นักเรียนสร้างแบบจำลองระบบอธิบายการทำงานของระบบประสาทด้วยตนเอง เพื่อประเมินการคิด

อย่างเป็นระบบ ซึ่งจากผลการสะท้อน พบว่านักเรียนได้สร้างแบบจำลองระบบอธิบายกระบวนการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางของการอ่านหนังสือ ซึ่งช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงมโนทัศน์ด้านการควบคุมการทำงานของร่างกายผ่านระบบประสาทส่วนกลางไปยังปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นจริงได้ ผ่านแบบจำลอง

ตอนที่ 2 ผลการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ ภายหลังการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ได้ผลดังนี้

ผู้วิจัยวิเคราะห์การคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียน จากแบบจำลองระบบภายหลังการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบประสาท และอวัยวะรับความรู้สึก ร่วมกับ แบบจำลองระบบของนักเรียนในแต่ละวงรอบการจัดการเรียนรู้ ได้ผลดังตาราง 1

ตาราง 1 คะแนนเฉลี่ยของแบบจำลองระบบของนักเรียน

ตัวบ่งชี้	ระดับการคิดอย่างเป็นระบบระหว่างการจัดการเรียนรู้								หลังการจัดการเรียนรู้ วงรอบที่ 4	
	วงรอบที่ 1		วงรอบที่ 2		วงรอบที่ 3		คะแนนเฉลี่ย			
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
ตัวบ่งชี้ที่ 1	2.70	0.47	2.75	0.66	2.85	0.36	2.77	0.08	3.00	0.00
ตัวบ่งชี้ที่ 2	2.56	0.51	2.70	0.47	2.85	0.36	2.70	0.15	3.00	0.00
ตัวบ่งชี้ที่ 3	1.04	0.76	1.56	0.51	1.85	0.77	1.48	0.41	2.00	0.78
ตัวบ่งชี้ที่ 4	0.89	0.85	1.56	0.51	1.85	0.77	1.43	0.49	2.00	0.78
รวม	7.19	2.37	8.67	1.62	9.41	1.99	8.42	1.13	10.00	1.57
ระดับการคิดเป็นระบบ	ดี		ดี		ดี		ดี		ดีมาก	

จากตาราง 1 พบว่า การคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนภายหลังการจัดการเรียนรู้ในตัวบ่งชี้ที่ 1 การระบุองค์ประกอบย่อยของระบบ และตัวบ่งชี้ที่ 2 การระบุความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงความรู้ในระดับทางชีวภาพเดียวกัน นั้นอยู่ในระดับดีมาก และตัวบ่งชี้ที่ 3 การเชื่อมโยงความรู้ทางชีววิทยาที่ต่างระดับทางชีวภาพ และตัวบ่งชี้ที่ 4 การเชื่อมโยงระหว่างความรู้และแบบจำลองที่สร้างขึ้น กับปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นจริง อยู่ในระดับดี ซึ่งภาพรวมการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนอยู่ในระดับดีมาก ด้วยคะแนนเฉลี่ย 10.00 โดยสามารถอธิบายรายตัวบ่งชี้ได้ดังนี้

ตัวบ่งชี้ที่ 1 การระบุองค์ประกอบย่อยของระบบ พบว่า ภายหลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนสามารถระบุตัวบ่งชี้ในระดับดีมาก ด้วยคะแนนเฉลี่ย 3.00 จากการที่นักเรียนได้ระบุองค์ประกอบต่างๆ ของระบบประสาทส่วนกลางในการควบคุมร่างกายตั้งแต่ส่วนต่างๆ ของสมอง และไขสันหลัง และวงรอบที่ 3 นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย

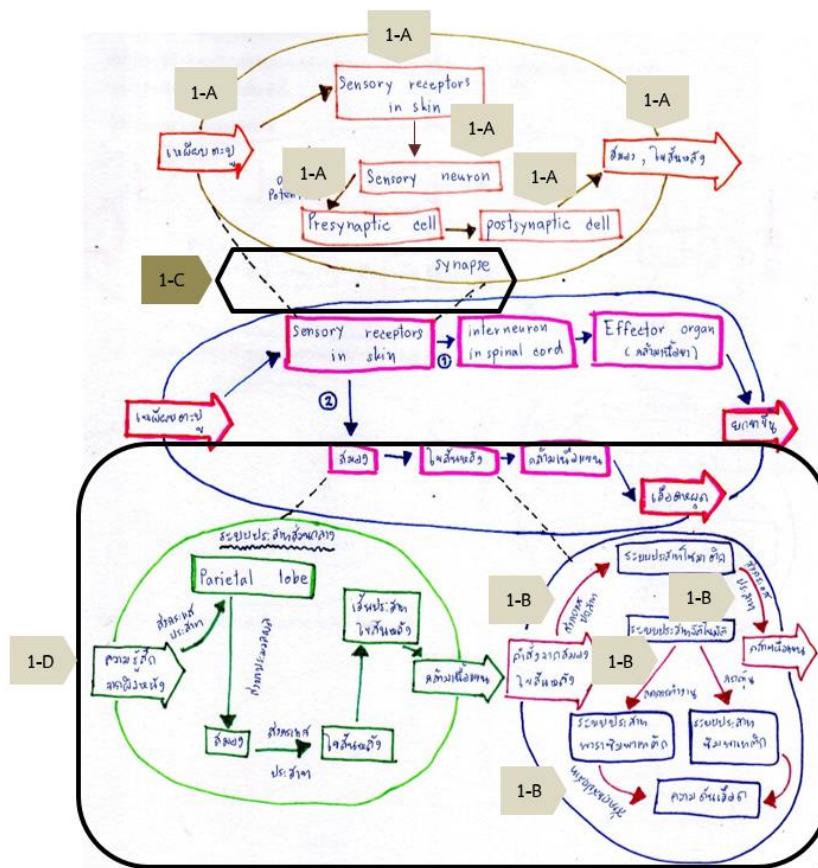
เพิ่มขึ้นเป็น 2.85 ซึ่งนักเรียนได้ระบุชนิดของระบบประสาทรอบนอกทั้งเซลล์ประสาทก่อนไขสันหลัง เซลล์ประสาทหลังไขสันหลัง ระบบประสาทไขมาติก และระบบประสาทอัตโนมัติ ทั้งซิมพาเทติก และพาราซิมพาเทติก

ตัวบ่งชี้ที่ 2 การระบุความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงความรู้ในระดับทางชีวภาพเดียวกัน พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนบรรลุตัวบ่งชี้ในระดับดีมาก โดยได้คะแนนเฉลี่ย 3.00 จากแบบจำลองระบบของนักเรียนภายหลังการจัดการเรียนรู้นั้นนักเรียนสามารถอธิบายกระบวนการรับรู้ความรู้สึกผ่าน หน่วยรับความรู้สึกในผิวหนังไปยังเซลล์ประสาทรับรู้ความรู้สึกซึ่งสร้างและส่งกระแสประสาทได้ถูกต้อง ซึ่งพบพัฒนาการของนักเรียนตั้งแต่ช่วงรอบที่ 1 ซึ่งนักเรียนได้คะแนนเฉลี่ย 2.56 ซึ่งนักเรียนได้อธิบายการทำงานของกระบวนการรับรู้ความรู้สึกผ่านกระแสประสาท โดยเริ่มจากอวัยวะรับรู้ความรู้สึก ถูกกระตุ้น แล้วส่งความรู้สึกไปยังระบบประสาท จากนั้นระบบประสาทจะควบคุมกล้ามเนื้อให้เกิดการแสดงออก และในวงรอบที่ 2 พบว่าคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 2.70 ซึ่งนักเรียนอธิบายการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางในการรับภาพ เริ่มจากการรับภาพที่ตา และตาส่งภาพไปยังสมอง ในระบบสมอง เริ่มจากที่ตารับภาพและส่งกระแสประสาทไปยังสมองผ่านเส้นประสาทออพติกไปประมวลผลที่สมอง และการทำงานของสมองส่วนต่างๆ โดยกระแสประสาทถูกส่งไปยังสมองส่วนทาลามัสเพื่อแยกกระแสประสาท และส่งไปยังสมองส่วนนอกซีพิทาลโลปเพื่อประมวลผล จากนั้นส่งภาพไปยังพรีฟรอนทาลโลปเพื่อประมวลผลว่าต้องตอบสนองอย่างไร จนกระทั่งในวงรอบที่ 3 นักเรียนได้คะแนนเฉลี่ย 2.85 จากการอธิบายการทำงานของระบบประสาทรอบนอกในการควบคุมการเต้นของหัวใจ ทั้งซิมพาเทติกในการเร่งการเต้นของหัวใจ และพาราซิมพาเทติกในการลดอัตราการเต้นของหัวใจ

ตัวบ่งชี้ที่ 3 การเชื่อมโยงความรู้ของชีววิทยาที่ต่างระดับทางชีวภาพ พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนบรรลุตัวบ่งชี้ในระดับดี ที่คะแนนเฉลี่ย 2.00 จากแบบจำลองระบบของนักเรียนที่เชื่อมโยงการรับและส่งความรู้สึกผ่านระบบประสาทรอบนอก เริ่มจากหน่วยรับความรู้สึกในผิวหนัง ส่งกระแสประสาทไปยังเซลล์ประสาทรับรู้ความรู้สึก ส่งกระแสประสาทไปยังเซลล์ประสาทก่อนไขสันหลัง และเซลล์ประสาทหลังไขสันหลัง ก่อนจะเข้าไปยังระบบประสาทส่วนกลางได้แก่ สมอง และไขสันหลัง แต่นักเรียนกลับอธิบายกระบวนการเดิมซ้ำ โดยขยายแบบจำลองจากการเหยียบตะปูไปกระตุ้นหน่วยรับความรู้สึกในผิวหนังอีกครั้ง ก่อนจะส่งกระแสประสาทเข้าไปยังเซลล์ประสาทประสานงานภายในไขสันหลัง และกระตุ้นให้เกิดการทำงานของกล้ามเนื้อหาเพื่อชักขาออกทันที ซึ่งขัดกับส่วนแรกของแบบจำลองซึ่งกระแสประสาทต้องส่งไปยังเซลล์ประสาทรับรู้ความรู้สึกก่อน ส่งผลให้แบบจำลองของนักเรียนไม่มีความต่อเนื่องในการนำเสนอเนื้อหา อย่างไรก็ตามยังพบว่านักเรียนมีพัฒนาการในตัวบ่งชี้นี้อย่างต่อเนื่อง โดยในวงรอบที่ 1 นักเรียนได้คะแนนเฉลี่ย 1.04 เพราะนักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่สามารถอธิบายการเกิดกระแสประสาท กับกระบวนการรับรู้และตอบสนองของร่างกายได้ แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงรอบที่ 2 นักเรียนพัฒนาจนได้คะแนนเฉลี่ย 1.56 พบว่านักเรียนสามารถเชื่อมโยงกระบวนการระหว่างการรับภาพที่ตา เข้ากับระบบประสาทส่วนกลาง จนกระทั่งเกิดการประมวลผล และในวงรอบที่ 3 นักเรียนพัฒนาได้คะแนนเฉลี่ย 1.85 ซึ่งพบว่านักเรียนเชื่อมโยงการทำงานของระบบประสาทรอบนอกในการควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจให้เพิ่มขึ้น หรือลดลงได้ อีกทั้งยังอธิบายกระบวนการรีเฟล็กซ์ของระบบประสาท ต่อการตอบสนองอย่างรวดเร็วอีกด้วย

ตัวบ่งชี้ที่ 4 การเชื่อมโยงระหว่างความรู้และแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นจริง พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนบรรลุตัวบ่งชี้ในระดับดี ที่คะแนนเฉลี่ย 2.00 โดยนักเรียนสามารถอธิบายการตอบสนองต่างๆ ของร่างกายเมื่อเหยียบตะปู เริ่มตั้งแต่การรับรู้ความรู้สึกผ่านเท้า ไล่เรียงมาจนเกิดการตอบสนองได้อย่างเป็นขั้นตอน มีการเชื่อมโยงลักษณะความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ในระบบได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยพบพัฒนาการตั้งแต่ช่วงรอบที่ 1 ซึ่งนักเรียนได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.89 โดยแบบจำลองระบบของนักเรียนยังไม่มี การเชื่อมโยงแต่ละตัวบ่งชี้ในต่างระดับที่ดี ส่งผลให้การอธิบายการตอบสนองต่อสิ่งเร้าเป็นไปได้ไม่ดีนัก แต่ในวงรอบที่ 2 พบว่านักเรียนพัฒนาคะแนนเฉลี่ยขึ้นถึง 1.56 โดยนักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองระบบที่ถูกต้องได้มากขึ้น เชื่อมโยงองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของการมองเห็นตัวคำเชื่อมที่ชัดเจน เช่น กระแสประสาทจากตา จะถูกส่งไปยังออกซิฟิลลอป ผ่านเส้นประสาทออปติก และส่งไปประมวลผลภาพที่สมองส่วนพรีมอเทิลลอป แต่ยังมึนักเรียนบางส่วนอธิบายรายละเอียดไม่ครบถ้วน จึงทำให้การใช้แบบจำลองระบบอธิบายสถานการณ์ยังไม่สมบูรณ์ และในวงรอบที่ 3 นักเรียนพัฒนาคะแนนเฉลี่ยขึ้นเป็น 1.85 โดยนักเรียนอธิบายการตอบสนองแบบรีแฟล็กซ์ ร่วมกับการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจได้ แต่ยังขาดการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระบบประสาทรอบนอกและระบบประสาทส่วนกลางที่ชัดเจน

โดยสรุป พบว่า การคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนภายหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ แบบจำลองเป็นฐานนั้น อยู่ในระดับดีที่คะแนนเฉลี่ย 10.00 โดยนักเรียนมีพัฒนาการในที่สูงขึ้นในแต่ละวงรอบตั้งแต่ช่วงรอบที่ 1 ที่คะแนน 7.19 วงรอบที่ 2 ที่คะแนน 8.67 และวงรอบที่ 3 ด้วยคะแนน 9.41 ซึ่งพบว่านักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบย่อยของระบบ และระบุความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงความรู้ในระดับทางชีวภาพเดียวกัน ได้ในระดับดีมาก แต่ยังเชื่อมโยงความรู้ของชีววิทยาที่ต่างระดับทางชีวภาพ และเชื่อมโยงระหว่างความรู้และแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นจริง ได้ในระดับดี โดยตัวอย่างการวิเคราะห์แบบจำลองระบบของนักเรียนเป็นดังภาพ 1



ภาพ 1 แบบจำลองระบบอธิบายการทำงานของระบบประสาทและอวัยวะรับรู้ความรู้สึกเมื่อเหยียบตะปูของนักเรียนในแต่ละตัวบ่งชี้โดย

1-A แสดงการระบุองค์ประกอบในระดับดีมากในระดับดี

1-B แสดงความสัมพันธ์ในระดับชีวภาพเดียวกันของการควบคุมการทำงานด้วยระบบประสาทในระดับดีมาก

1-C กรอบแสดงการเชื่อมโยงความรู้ที่ต่างระดับทางชีวภาพในระดับดี

1-D กรอบแสดงอธิบายการทำงานภายในสมองและไขสันหลังผ่านแบบจำลองระบบในระดับดี

การอภิปรายผลการวิจัย

ตอนที่ 1 การศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับรู้ความรู้สึก เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจและระบุองค์ประกอบ พบว่าการเลือกใช้สื่อการเรียนรู้ ในการกระตุ้นให้นักเรียนได้สังเกตองค์ประกอบต่างๆ ของระบบที่มีความละเอียด และสมบูรณ์ต่อการสังเกตองค์ประกอบ ร่วมกับการ

เลือกใช้สื่อต่างๆ ตามเนื้อหาและบทเรียนที่เหมาะสมจะช่วยให้ผู้เรียนระบอบองค์ประกอบได้สมบูรณ์ อีกทั้งยังกระตุ้นผู้เรียนด้วยการถามคำถาม หรือการตั้งประเด็นอันจะพัฒนาให้เกิดการอภิปรายสิ่งที่สังเกตเห็นนั้นช่วยให้นักเรียนเห็นภาพและเข้าใจแนวคิดได้ง่ายขึ้น ดังที่ Supatchaiwong, et al. (2015, pp. 97-124) ได้ระบุไว้ว่า การใช้สื่อการสอนที่มีความหลากหลายนั้นยังช่วยให้นักเรียนเห็นภาพและเข้าใจแนวคิดได้ง่ายขึ้นสอดคล้องกับ Evagorou, et al. (2009) ซึ่งพบว่า เชื่อมโยงสถานการณ์ในชีวิตประจำวันจะช่วยให้ผู้เรียนจะเกิดความสนใจ มีการร่วมกันอภิปราย แบ่งปันประสบการณ์ของแต่ละคนเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถระบอบองค์ประกอบพื้นฐานอันเป็นสิ่งตั้งต้นของการคิดอย่างเป็นระบบได้ ขั้นที่ 2 พัฒนาแบบจำลองอย่างง่ายนั้นจะกระตุ้นให้นักเรียนนำเอาผลการสังเกตมาสร้างเป็นแบบจำลองอย่างง่ายภายในเวลาที่กำหนด เพราะการสร้างให้นักเรียนแต่ละคนสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายสถานการณ์ที่น่าสนใจนั้นจะช่วยให้สามารถอธิบายแนวคิดหรือปรากฏการณ์ได้ดีขึ้น รวมทั้งการสร้างแบบจำลองนั้นจะช่วยให้สามารถจดจำรายละเอียดและนักเรียนเริ่มเชื่อมโยงองค์ประกอบของระบบมากขึ้น เพราะนักเรียนได้นำเอาองค์ประกอบมาจัดเรียนเพื่อให้สัมพันธ์กับการทำงานของระบบ (Supatchaiwong, et al., 2015, pp. 97-124; Verhorff, et al., 2008) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srirod, et al. (2016, pp. 171-180) ซึ่งพบว่า การสร้างแบบจำลองจะทำให้ผู้เรียนเข้าใจถึงประเด็นหลักที่สำคัญของความรู้ และสามารถเชื่อมโยงความรู้ความคิดอย่างเป็นระบบได้ ขั้นที่ 3 พัฒนาแบบจำลอง 2 มิติ นั้น นักเรียนจะได้นำแบบจำลองอย่างง่ายของตนเอง มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองกลุ่ม ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้นักเรียนทราบถึงข้อจำกัดของแบบจำลองของตน และได้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงแบบจำลองของตน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Najang and Kaewdee (2014, pp. 1830-1844) ซึ่งพบว่า การปรับปรุงแบบจำลองจะช่วยให้ผู้เรียนขยายความสามารถในการอธิบายเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองให้นักเรียนอธิบายข้อมูลได้อย่างถูกต้องและเป็นวิทยาศาสตร์มากขึ้น อีกทั้งในขั้นที่ 3 นักเรียนยังได้ร่วมกันสร้างแบบจำลองผ่านกระบวนการกลุ่มซึ่งช่วยให้นักเรียนได้ร่วมกันอภิปรายความรู้ และนำไปสู่การสืบค้น และพัฒนาการเรียนรู้ การรู้และธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ นำไปสู่การระบอบความสัมพันธ์ในแต่ละองค์ประกอบละเอียดและลึกซึ้งขึ้น (Coll & Taylor, 2005; Evagorou, et al., 2009) ต่อมาในขั้นที่ 4 พัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ จะเป็นการกำหนดสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายการทำงานของระบบประสาท ผ่านแบบจำลองมีส่วนช่วยในการพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการเข้าใจการทำงานของแต่ละองค์ประกอบ ต่อองค์ประกอบอื่นๆ จนสามารถเกิดเป็นปรากฏการณ์ได้ เพราะว่ามันนักเรียนได้ช่วยกันนำเอาความรู้เกี่ยวกับระบบประสาทแต่ละส่วน ออกมาเป็นข้อมูลในการอภิปรายและขยายความสามารถของแบบจำลองในแต่ละกลุ่ม ไปสู่การนำเสนอปรากฏการณ์ในระดับที่ใหญ่ขึ้นได้อย่างสมเหตุสมผล (Coll & Taylor, 2005; Verhorff, et al., 2008) และสุดท้ายขั้นที่ 5 ประยุกต์ให้เข้ากับลำดับขั้นของแบบจำลองระบบ นักเรียนจะได้สร้างแบบจำลองระบบอีกครั้ง เพื่อใช้เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ กับความรู้ของนักเรียนยังช่วยให้นักเรียนสามารถตรวจสอบความถูกต้องของความรู้ของตน และขยายการใช้แบบจำลองเข้ากับสถานการณ์ดังผลการศึกษาของ Evagorou, et al. (2009) ซึ่งพบว่า การขยายแบบจำลองเพื่ออธิบายสถานการณ์ใหม่นั้นจะช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ไปยังสถานการณ์หรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ใหม่ๆ ได้

ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียน หลังการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

จากผลการวิจัย พบว่า ความสามารถของนักเรียนในการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นในแต่ละวงรอบ โดยเฉพาะระดับคะแนนเฉลี่ยภายหลังการจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 4 วงรอบนั้น นักเรียนมีการคิดอย่างเป็นระบบในระดับดีมาก จากเดิมที่อยู่ในระดับต่ำโดยตลอดในระหว่างการจัดการเรียนรู้ เพราะนักเรียนมีการพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบเพิ่มขึ้นในแต่ละวงรอบอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในวงรอบที่ 3 นั้นนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 9.41 ซึ่งใกล้เคียงระดับดีมากของการคิดอย่างเป็นระบบ โดยพบว่านักเรียนมีการพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบหลังการจัดการเรียนรู้ในแต่ละตัวบ่งชี้ ดังนี้

ตัวบ่งชี้ที่ 1 การระบอบองค์ประกอบของระบบได้ถูกต้องครบถ้วน จากการที่นักเรียนได้สังเกตองค์ประกอบต่างๆ ของระบบในการสอนชั้นทำความเข้าใจและระบอบองค์ประกอบจากสื่อการเรียนรู้แต่ละวงรอบนั้น พบว่าทั้งในระหว่าง และหลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนสามารถระบอบองค์ประกอบได้ในระดับดีมาก เกิดจากในระหว่างการจัดการเรียนรู้ชั้นสังเกตและระบอบองค์ประกอบของระบบนั้น มีการใช้คำถาม และสื่อการเรียนรู้ที่มีความหลากหลาย ซึ่งช่วยพัฒนาให้นักเรียนระบอบองค์ประกอบได้ เพราะการใช้คำถามร่วมกันสร้างสถานการณ์ที่น่าสนใจ และกระตุ้นให้นักเรียนได้ตรวจสอบองค์ประกอบของความรู้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Verhorff, et al. (2008) ซึ่งพบว่า ภายหลังการสังเกตองค์ประกอบของระบบ หากนักเรียนได้สร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางชีววิทยา จะช่วยให้สามารถระบอบองค์ประกอบภายในระบบได้ดีขึ้น ด้านตัวบ่งชี้ที่ 2 ความสามารถในการเชื่อมโยงความรู้เรื่องระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึกที่ระดับทางชีวภาพเดียวกัน พบว่านักเรียนบรรลุตัวบ่งชี้ในระดับดีมากทั้งในระหว่างการจัดการเรียนรู้ และหลังการจัดการเรียนรู้ โดยพบว่า การที่นักเรียนนำเอาองค์ประกอบของระบบ มาใช้ในการสร้างแบบจำลองในการจัดการเรียนรู้ชั้นพัฒนาแบบจำลองอย่างง่าย และพัฒนาแบบจำลอง 2 มิติ โดยการสร้างแบบจำลองนั้น ช่วยให้นักเรียนได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ของระบบผ่านแบบจำลอง และการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ยังมีส่วนช่วยในการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับการทำงานของระบบอีกด้วย ดังผลการศึกษาของ Supatchaiwong, et al. (2015, pp. 97-124) ซึ่งการสร้างและประยุกต์ใช้แบบจำลองนั้น มีส่วนช่วยในการเชื่อมโยงความรู้แต่ละส่วนให้เป็นระบบเดียวกันได้ ด้านตัวบ่งชี้ที่ 3 การเชื่อมโยงความรู้ของชีววิทยาที่ต่างระดับทางชีวภาพ พบว่า ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ นักเรียนบรรลุตัวบ่งชี้ในระดับพอใช้ แต่เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 4 วงรอบ นักเรียนสามารถพัฒนาขึ้นมาอยู่ในระดับปานกลางได้ พบว่า ในการจัดการเรียนรู้วงรอบที่ 1 และ 2 นั้น นักเรียนยังสร้างแบบจำลองระบบที่ระบุการเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบในต่างระดับได้ไม่ดีนัก เช่น ไม่มีการระบุว่าการทำงานของระบบย่อยภายในการทำงานของระบบประสาท ไม่มีการเชื่อมโยงการทำงานของแต่ละระบบ แต่เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้ที่ 3 และ 4 แล้ว พบว่า นักเรียนสามารถเชื่อมโยงการทำงานของแต่ละระบบได้ดีขึ้น เพราะนักเรียนได้เข้าใจถึงการทำงานในแต่ละองค์ประกอบในระบบมากขึ้น จากการที่นักเรียนเริ่มคุ้นชินกับการสร้างเชื่อมโยงแบบจำลองของนักเรียนแต่ละกลุ่มในชั้นการจัดการเรียนรู้ที่ 4 พัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบนั้นจะเป็นการนำแบบจำลองที่นักเรียนสร้างและปรับปรุงแล้วไปใช้อธิบายสถานการณ์ใหม่ๆ และนักเรียนยังได้ร่วมกันอภิปรายสถานการณ์ที่มีความละเอียด

มากขึ้น รวมทั้งมีความรู้เรื่องระบบประสาทและอวัยวะรับรู้มากขึ้น ดังผลการศึกษาของ Najang and Kaewdee (2014, pp. 1830–1844) ซึ่งพบว่า การขยายแบบจำลองจะช่วยให้นักเรียนมีพัฒนาการด้านการคิดและความเข้าใจได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น อีกทั้งนักเรียนยังสามารถนำเอาความรู้ที่ได้จากแต่ละวงรอบ มาใช้ในวงรอบหลังๆ ซึ่งพบว่ายิ่งนักเรียนมีความรู้เกี่ยวกับระบบหลากหลายมากเท่าไร ก็ยังสามารถเชื่อมโยงความรู้ต่างๆ เข้าด้วยกันได้อย่างเป็นระบบมากขึ้น และผลการศึกษาของ Verhorff, et al. (2008) ยังพบว่า หากนักเรียนได้สร้างแบบจำลองอธิบายความคิดตนได้อย่างเป็นขั้นตอน และมีระเบียบแบบแผนที่ชัดเจน ร่วมกับการนำเสนอแบบจำลองของตน ร่วมกันกับผู้อื่นจะช่วยให้เกิดการจัดระเบียบทางความคิดถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ได้ ด้านตัวบ่งชี้ที่ 4 การเชื่อมโยงระหว่างความรู้และแบบจำลองที่สร้างขึ้น กับปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นจริง พบว่า ภายหลังการจัดการเรียนรู้วงรอบที่ 1 นักเรียนบรรลุตัวบ่งชี้ในระดับปรับปรุง เพราะนักเรียนยังไม่คุ้นเคยกับการใช้แบบจำลองระบบในการอธิบายการตอบสนองต่อสิ่งเร้า แต่เมื่อผ่านวงรอบที่ 2 พบว่า นักเรียนพัฒนาขึ้นจนถึงระดับพอใช้ได้ และคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในวงรอบที่ 3 โดยพบว่านักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองระบบได้อย่างเป็นขั้นตอน เริ่มจากการตอบสนองในภาพรวมก่อน แล้วจึงอธิบายกระบวนการทำงานภายในระบบย่อยภายหลัง แต่ยังไม่ครบถ้วน และนักเรียนยังมีการขยายแบบจำลองที่ผิดพลาด โดยเฉพาะในการขยายแบบจำลองจากการตอบสนองระดับอวัยวะ ไปยังระดับเซลล์ จนกระทั่งภายหลังวงรอบที่ 4 นักเรียนผ่านตัวบ่งชี้ในระดับดี เพราะนักเรียนได้สร้างแบบจำลองระบบในแต่ละวงรอบ ทำให้นักเรียนมีความคุ้นชินในการอธิบายปรากฏการณ์ด้วยแบบจำลองระบบมากขึ้น โดยอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับที่สังเกตเห็นได้ก่อนซึ่งเป็นระบบใหญ่ แล้วขยายกระบวนการภายในระบบออกมาอธิบายการทำงานของระบบย่อยภายใน ซึ่งการประยุกต์ใช้แบบจำลองไปยังสถานการณ์นั้นยังพัฒนาให้นักเรียนได้ทำความเข้าใจกระบวนการที่เกิดขึ้นให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยในด้านการพัฒนาความสัมพันธ์ของแบบจำลอง ไปสู่ปรากฏการณ์ได้ง่ายขึ้น (Najang & Kaewdee, 2014, pp. 1830–1844); Supatchaiwong, et al., 2015, pp. 97-124)

สามารถสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ตามตามแนวทางของ Verhoeff, et al. (2008) สามารถพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบได้ ตามขั้นการจัดการเรียนรู้แต่ละขั้นที่มีการพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบอย่างมีลำดับขั้นตอน เริ่มจากการกระตุ้นให้เกิดการสังเกตองค์ประกอบ และสร้างแบบจำลองเพื่อช่วยในการจดจำ อีกทั้งมีการปรับปรุงความรู้ให้ถูกต้องผ่านกระบวนการสร้างแบบจำลองกลุ่ม จากนั้นนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้ เพื่อเป็นการขยายแบบจำลองไปยังเนื้อหาใหม่ สุดท้ายจึงให้นักเรียนได้สร้างแบบจำลองระบบ เพื่ออธิบายการทำงานของระบบประสาท เมื่อต้องรับรู้และตอบสนองกับสิ่งเร้าต่างๆ ที่เข้ามา

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้

1.1 การพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบด้านการเชื่อมโยงความรู้ชีววิทยาที่ต่างระดับทางชีวภาพ และด้านการเชื่อมโยงระหว่างความรู้และแบบจำลองที่สร้างขึ้น กับปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นจริง ให้บรรลุในระดับดีมาก นั้นควรให้นักเรียนสร้างสถานการณ์และอธิบายสถานการณ์ดังกล่าวด้วยแบบจำลองระบบด้วยตนเอง

1.2 การแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ควรเพิ่มกิจกรรมให้นักเรียนได้ประยุกต์ใช้ และปรับปรุงแบบจำลองระบบของตน

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการศึกษผลของความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาที่จัดการเรียนรู้ต่อคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียน เนื่องจากในระหว่างการจัดการเรียนรู้นั้น นักเรียนต้องเชื่อมโยงความรู้ในระบบเข้าด้วยกัน ซึ่งอาจจะส่งผลต่อความคิดรวบยอดในเนื้อหาที่เรียน

2.2 ในระหว่างการสร้างและนำเสนอแบบจำลองระบบ พบว่า นักเรียนบางส่วนสามารถสรุปกระบวนการทำงานของระบบประสาทได้อย่างชัดเจน ซึ่งควรมีการศึกษผลของการสร้างแบบจำลองระบบต่อการพัฒนาความคิดรวบยอด

References

- Bureau of educational testing Thailand. (2014). *Handbook of a Competency Appraisal for Basic Education students based on the Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D.2008)*. Bangkok: Ministry of Education. [in Thai]
- 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.
- Kijkuakul, S. (2015). *21st Century Learning in Science*. Pitsanulok: Faculty of Education, Naresuan University. [in Thai]

- Najang, K., & Kaewdee, W. (2014). Effects of using model-centered instruction sequence on ability in making scientific model and concepts of laws of motion and types of motion of upper secondary school students. *An Online Journal of Education*, 7(1), 1830 – 1844. [in Thai]
- Srikrod, C., Srisawat, C., Panprueksa, K., & Prasopkittikun, T. (2016). The effect of 5E inquiry learning cycle model and mind mapping technique on “Nervous system and sensory organ” for 11th grade students. *Journal of Education Naresuan University*, 18(2), 171 – 180. [in Thai]
- Supatchaiwong, P., Faikhamta, C., & Suwanruji, P. (2015). Using model-based learning for enhancing mental model of atomic structure and understandings of the nature of model of 10th grade students. *Journal of Learning Innovations Walailak University*. 1(1), 97-124. [in Thai]
- 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.