

การวิเคราะห์ธรรมชาติของเนื้อหาชีววิทยาด้วยคำถาม 3 ข้อ
เพื่อการออกแบบการเรียนการสอนวิชาชีววิทยา: กรณีตัวอย่าง เรื่อง เซลล์ประสาท
The analysis of the nature of biology content knowledge using 3 questions
to design biology instruction: the case of neurons

ลลิตชัช วัชยดิษฐ์

อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
โทร. 084 - 1006408 E-mail: 123inquiry@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ธรรมชาติของเนื้อหาทางชีววิทยาเพื่อช่วยครูผู้สอนในการตัดสินใจเลือกกิจกรรมการเรียนรู้ กลวิธีและเทคนิคการสอน และการประเมินผลการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับเนื้อหา แนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ดังกล่าวมาจากการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษาเกี่ยวกับ ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ การสอนโครงสร้างและหน้าที่ไปด้วยกัน และการนำเสนอที่หลากหลายทางชีววิทยา ในกระบวนการวิเคราะห์ ให้ครูพิจารณาเนื้อหาที่กำลังจะสอนและตั้งคำถาม 3 ข้อ เพื่อเป็นกรอบแนวคิดในการวิเคราะห์ ดังนี้ 1) เนื้อหาชีววิทยานี้มีการพัฒนาอย่างไรเป็นการวิเคราะห์การสร้างความรู้ทางชีววิทยา เพื่อให้ครูออกแบบการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาที่ส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ 2) ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่ของเนื้อหาชีววิทยาที่กำลังจะสอนคืออะไร เป็นการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิต เพื่อให้ครูพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่มีความหมายโดยอธิบายลักษณะของโครงสร้างต่างๆ ในระบบของสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมกับหน้าที่ของโครงสร้างนั้นๆ 3) ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดในระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ของเนื้อหานี้คืออะไร เป็นการวิเคราะห์ระดับความเป็นนามธรรมของแนวคิดทางชีววิทยาเพื่อให้ครูออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงแนวคิดทางชีววิทยาในแต่ละระดับเข้าด้วยกันอย่างมีความหมาย บทความนี้นำเสนอกรณีตัวอย่างในการตั้งคำถาม 3 ข้อเพื่อการวิเคราะห์เนื้อหา เรื่อง เซลล์ประสาทและเสนอแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่นำผลการวิเคราะห์เนื้อหามาใช้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E เพื่อออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอนที่ส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ โครงสร้างและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิต การนำเสนอที่หลากหลาย รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E

Abstract

This article presents the ideas of how biology contents can be analyzed in order to assist a biology teacher making an effective decision for choosing learning activities, teaching strategies or techniques, and learning assessments which are highly appropriate for the subject content. The idea of this analysis came from science education research regarding nature of science, teaching forms and functions together, and multiple representations in biology. In order to analyze the content, the teacher considers biology knowledge to be taught and ask oneself three questions as the framework of analysis. First, how was the biology knowledge constructed? This question focuses on the analysis of the construction of biology knowledge in order that the teacher is able to design biology learning activity that enhances understanding in nature of science. Second, what is the relationship between biological structures and functions? This question emphasizes the features of each biological structure related to its function in order that the teacher is able to design a meaningful biology learning activity that explains how biological structure is proper for its function. Lastly, what is the relationship among macro, micro and symbolic level of abstractness of biology knowledge? This question emphasizes the abstract levels of biological concepts in order that the teacher will design a learning activity that meaningfully relates all levels of abstractness of biology knowledge. This article presents the case of content analysis using the three questions regarding the study of neurons. It also presents a guideline for an implementation of the results to design learning activities incorporated with the 5E instructional model to supports effective biology learning.

Keywords: *Nature of Science, Biological Forms and Functions, Multiple Representations, 5E Instructional Model*

บทนำ

ในขั้นตอนการออกแบบการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาโดยทั่วไป ครูผู้สอนต้องวิเคราะห์หลักสูตร เพื่อกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามจุดประสงค์ และออกแบบวิธีการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้และกิจกรรม ในขั้นตอนการวิเคราะห์หลักสูตรนั้น มักมีการเสนอว่า ครูผู้สอนต้องวิเคราะห์เนื้อหาวิชาเพื่อกำหนดขอบเขตของเนื้อหาที่สอนและระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ที่คาดหวัง เช่น ความรู้ ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และการประเมินค่า อย่างไรก็ตาม รายละเอียดที่มักถูกละเลยในกระบวนการวิเคราะห์หลักสูตรคือการวิเคราะห์ธรรมชาติของเนื้อหาวิชา ซึ่งมีผลอย่างมากในการเลือกวิธีการนำเสนอ เทคนิคและกลวิธีการสอน รูปแบบการสอน หรือแม้กระทั่งรูปแบบการประเมินผล บทความฉบับนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อช่วยเหลือครูผู้สอนในการวิเคราะห์ธรรมชาติของเนื้อหาชีววิทยา โดยนำเสนอการใช้คำถาม 3 ข้อ เพื่อเป็นกรอบแนวคิดในการวิเคราะห์ธรรมชาติของเนื้อหาชีววิทยาโดยครูผู้สอนพิจารณาเนื้อหาชีววิทยาที่กำลังจะสอนและตั้งคำถาม 3 ข้อ ดังนี้ 1) เนื้อหาชีววิทยานี้มีการพัฒนามาอย่างไร เป็นกรอบแนวคิดในการวิเคราะห์การสร้างความรู้ทางชีววิทยา เพื่อให้ครูออกแบบการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาที่ส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ 2) ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่ของเนื้อหาชีววิทยานี้คืออะไร เป็นการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิต เพื่อให้ครูพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่มีความหมายโดยอธิบายลักษณะของโครงสร้างต่างๆ ในระบบของสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมกับหน้าที่ของโครงสร้างนั้นๆ 3) ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดในระดับมหภาค

ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ของเนื้อหาคืออะไร เป็นการวิเคราะห์ระดับความเป็นนามธรรมของแนวคิดทางชีววิทยา เพื่อให้ครูออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงแนวคิดทางชีววิทยาในแต่ละระดับเข้าด้วยกันอย่างมีความหมาย บทความนี้ประกอบด้วยเนื้อหา 2 ส่วน คือ 1) วิธีการวิเคราะห์ธรรมชาติของเนื้อหาชีววิทยาด้วยการตั้งคำถาม 3 ข้อ โดยใช้กรณีตัวอย่างเนื้อหาเรื่องเซลล์ประสาทและ 2) การนำผลการวิเคราะห์จากคำถาม 3 ข้อมาใช้ในการออกแบบการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E

คำถามข้อที่ 1 เนื้อหาชีววิทยานี้มีการพัฒนาอย่างไร

การตั้งคำถามข้อนี้ในการวิเคราะห์เนื้อหาชีววิทยาเป็นการวิเคราะห์การสร้างความรู้ทางชีววิทยา เพื่อให้ครูออกแบบการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาที่ส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ศึกษา แวนเดอร์ซี พิชเซอร์และมูตี (Wandersee, et al., 2001) เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาความรู้ทางชีววิทยาในหนังสือ Mapping Biology Knowledge ไว้ว่า นักชีววิทยาในอดีตเชื่อว่า ความรู้ทางชีววิทยาได้มาจากการสังเกตโลกของสิ่งมีชีวิตเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไปนักชีววิทยาเชิงทดลองจึงตระหนักว่า แท้จริงแล้ว ความรู้เดิมของนักชีววิทยาส่งผลอย่างมากต่อการสังเกต การสร้างความรู้ การจัดโครงสร้างความรู้ และการนำความรู้ไปใช้

แม้ว่าการสังเกตโลกของสิ่งมีชีวิตจะเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญทางชีววิทยา แต่ยังมีสิ่งอื่นที่ส่งผลต่อการพัฒนาแนวคิดทางชีววิทยา นั่นคือ สังคมและวัฒนธรรม การเรียนรู้นอกระบบโรงเรียน และการเรียนรู้ในระบบโรงเรียน พื้นฐานแนวคิดเหล่านี้จะส่งผลต่อเจตคติและการให้คุณค่าต่อสิ่งต่างๆ และแม้แต่การเลือกรับรู้แนวคิดใหม่

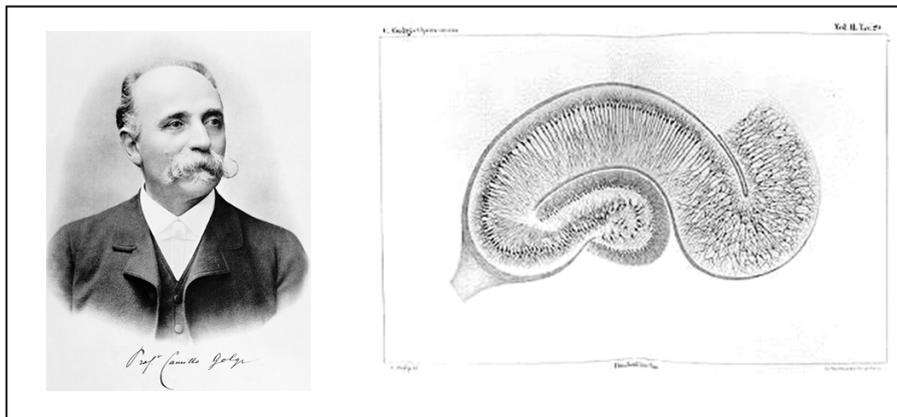
วิธีการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงลักษณะเฉพาะของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ หรือ ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์นั้น เป็นสิ่งจำเป็นในการเรียนการสอนในชั้นเรียน แม้แต่ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 นั้น ได้กำหนดมาตรฐานการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไว้ในมาตรฐาน ว 8.1 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) นักวิชาการและองค์กรต่างๆ ได้ให้ความสำคัญของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ไว้อย่างหลากหลาย อย่างไรก็ตาม นิยามที่ได้รับการยอมรับโดยมีงานวิจัยสนับสนุนเป็นจำนวนมาก คือ การให้ความหมายธรรมชาติของวิทยาศาสตร์โดย นอร์แมน ลีเดอร์แมน (Lederman, 2006) เนื่องจากนิยามดังกล่าวเป็นลักษณะเฉพาะของวิทยาศาสตร์ที่ควรส่งเสริมให้นักเรียนทำความเข้าใจผ่านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียน ไม่ได้เป็นแนวคิดทางปรัชญามากจนเกินไป แต่เน้นการให้ความสำคัญของวิทยาศาสตร์ในฐานะวิธีการได้มาซึ่งความรู้ การให้คุณค่า และข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- 1) ความรู้วิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้
- 2) ความรู้วิทยาศาสตร์มีพื้นฐานมาจาก หรือถูกสร้างขึ้นมาจากการสังเกตโลกธรรมชาติ หรือ ประจักษ์พยาน
- 3) ความรู้วิทยาศาสตร์ไม่ได้มีความเป็นปรนัยทั้งหมด แต่ยังประกอบด้วย การลงความเห็น จินตนาการ และความคิดสร้างสรรค์ของนักวิทยาศาสตร์
- 4) สภาพสังคมและวัฒนธรรมมีผลต่อความรู้วิทยาศาสตร์
- 5) การสังเกต (Observation) แตกต่างจากการลงความเห็นจากข้อมูล (Inference)
- 6) ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์แตกต่างจากกฎของวิทยาศาสตร์ โดยกฎวิทยาศาสตร์บรรยายความสัมพันธ์ของตัวแปรในธรรมชาติ ส่วนทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์อธิบายเหตุผลของแบบแผนในธรรมชาติ

โดยสรุป นักเรียนควรจะมีศ้าใจว่า การได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีการศึกษาประจักษ์พยาน และสร้างคำอธิบายประจักษ์พยานนั้นโดยอาศัยการสังเกตและการลงความเห็นจากข้อมูล อย่างไรก็ตาม ประสบการณ์และความรู้เดิมของนักวิทยาศาสตร์มีผลอย่างมากในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และที่สำคัญที่สุด คือ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไม่ใช่ความจริงสูงสุดของธรรมชาติ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ หรือแม้แต่ประจักษ์พยานหนึ่งอาจอธิบายได้โดยทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างกัน

ตัวอย่างการศึกษาทางชีววิทยาที่สะท้อนให้เห็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์หนึ่งที่น่าสนใจ และสามารถนำไปใช้สอนในชั้นเรียนได้คือ ประวัติการศึกษาเซลล์ประสาทของนักวิทยาศาสตร์สองท่าน คือ คามิลโล กอลจิ (Camillo Golgi) ผู้ที่ค้นพบโครงสร้างสำคัญภายในเซลล์ที่ภายหลังเรียกว่า กอลจิ บอดี้ (Golgi body) และ ซานเตียโก รามอน คาลจัล (Santiago Ramón y Cajal) ซึ่งนำไปสู่การค้นพบครั้งสำคัญของวงการประสาทวิทยา และทำให้ทั้งสองได้รับรางวัลโนเบลสาขาการแพทย์ในปี ค.ศ. 1906 สิ่งที่น่าสนใจคือ ทั้งสองเสนอทฤษฎีวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงในการอธิบายประจักษ์พยานเดียวกัน

ในช่วงคริสต์ศักราชที่ 19 ความเข้าใจของนักวิทยาศาสตร์มีอย่างจำกัดเนื่องจากไม่มีกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงพอ และไม่มีเทคนิคการเตรียมสไลด์เนื้อเยื่อของระบบประสาทที่ดีพอ อย่างไรก็ตาม กอลจิ ค้นพบวิธีการที่ชาญฉลาดในการเตรียมสไลด์เซลล์ประสาท โดยการทำให้มีการตกตะกอนโลหะเงินบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ประสาท (Black Reaction) ทำให้สามารถมองเห็นเซลล์ประสาทผ่านกล้องจุลทรรศน์ที่มีในขณะนั้นได้ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ที่เห็นทำให้กอลจิมั่นใจว่า เซลล์ประสาทไม่ได้ดำรงอยู่เป็นหน่วยเดี่ยวๆ แต่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย ที่เรียกว่า “เครือข่ายที่ประสานกันของประสาท” (Diffuse Nerve Network) มีการเชื่อมต่อของไซโทพลาสซึมระหว่างเซลล์ การทำงานของระบบประสาทเกิดโดยกลไกบางอย่างภายในเครือข่ายดังกล่าว” (ภาพ 1)

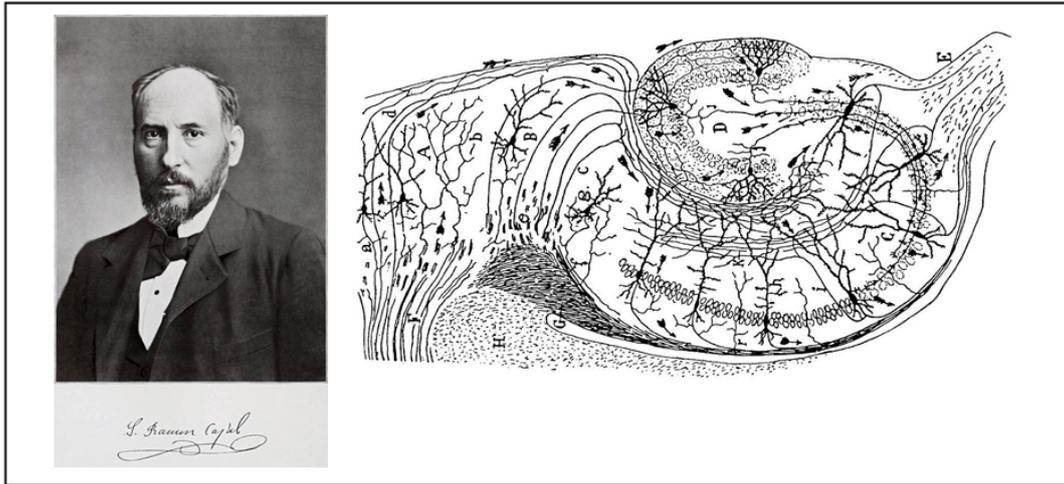


ภาพ 1 คามิลโล กอลจิ และภาพวาดจากกล้องจุลทรรศน์ของเขา โดยแสดงให้เห็น ฮิปโปแคมปัส (Hippocampus) และเซลล์ประสาทภายใน

ที่มาภาพ https://en.wikipedia.org/wiki/Camillo_Golgi

อย่างไรก็ตาม คาลจัล นักวิทยาศาสตร์ชาวสเปน ผู้มีความสามารถในการวาดภาพ ได้ปรับปรุงวิธีการของ กอลจิ ในการเตรียมสไลด์ และเลือกตัวอย่างระบบประสาทของสัตว์หลายชนิด รวมถึง นก ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ดีในการศึกษาโดยเทคนิคการเตรียมสไลด์ดังกล่าว เขาพบว่า ปลายเส้นประสาทแอกซอน (Axon) ของเซลล์ประสาทหลายเซลล์มีจุดสิ้นสุด และไม่ได้เชื่อมต่อกับเซลล์อื่น (ภาพ 2) แม้ คาลจัล จะไม่สามารถมองเห็นจุดรอยต่อของเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์เนื่องจากข้อจำกัดด้านกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ แต่เขาสามารถสรุปอ้างอิงว่า เซลล์ประสาทแท้จริงแล้วไม่ได้เชื่อมติดกัน แต่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ และมีการส่งผ่านกระแสประสาทจากเซลล์หนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่ง โดยทฤษฎีโพลาไรเซชัน (polarization) ซึ่งเสนอว่าเซลล์

ประสาทที่มีบริเวณรับข้อมูลคือ เดนไดรท์ (Dendrite) และ บริเวณที่ส่งต่อข้อมูล คือ แอกซอน แนวคิดนี้ขัดแย้งอย่างมากกับความเชื่อของ กอลจิ ซึ่งเชื่อว่าเซลล์ประสาทเชื่อมติดกัน



ภาพ 2 ซานเตียโก รัมอน คาลจิลและภาพวาดจากกล้องจุลทรรศน์ของเขา โดยแสดงให้เห็น ฮิปโปแคมปัส (Hippocampus) และเซลล์ประสาทภายใน

ที่มาภาพ https://en.wikipedia.org/wiki/Santiago_Ram%C3%B3n_y_Cajal

ในบทความบรรยายของ กอลจิในการรับรางวัลโนเบล เขาแสดงออกชัดเจนว่าไม่ยอมรับทฤษฎี ของ คาลจิล โดยยกตัวอย่างภาพจากกล้องจุลทรรศน์ที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์ประสาททั้งหลายล้วนเชื่อมโยงกันอย่างไร้รอยต่อ ดังนั้นเซลล์ประสาทจึงไม่ได้เป็นหน่วยที่แยกจากกัน แต่เป็นเครือข่ายที่ต่อเนื่องกันโดยเขาไม่ลังเลที่จะใช้คำว่า อวัยวะประสาท (Nerve Organ) ในการตั้งชื่อให้กับโครงสร้างดังกล่าว (Golgi, 1906)

ปัจจุบัน ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสนับสนุนแนวคิดของ คาลจิล ที่เสนอว่าเซลล์ประสาทไม่ได้เชื่อมต่อกันแต่มีที่ว่างหรือรอยต่อระหว่างเซลล์ประสาท ที่เรียกว่า ซิแนปส์ (Synapse) และยังมีหลักฐานอีกมากที่สนับสนุนแนวคิดเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของกระแสประสาททางเดียวจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง

ตัวอย่างในประวัติศาสตร์นี้แสดงให้เห็นว่า แม้การให้ความสำคัญกับหลักฐานเชิงประจักษ์ แต่ความรู้ความเชื่อเดิม มีผลอย่างมากในการลงความเห็นข้อมูล และการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับที่ ฟาวด์แอบด์-เอล-คาลิค (Abd-El-Khalick, 2006) กล่าวว่า

“วิทยาศาสตร์มีพื้นฐานหรือสร้างขึ้นมาจากการสังเกตโลกธรรมชาติ การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของคำกล่าวอ้างทางวิทยาศาสตร์สุดท้ายจำเป็นต้องใช้การสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติ ซึ่งบางครั้งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในการสังเกตเนื่องจากปรากฏการณ์บางอย่างเกินกว่าประสาทสัมผัสของมนุษย์จะสามารถสังเกตได้...”

ทัศนคติของนักวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงความมีระเบียบวินัย ความเชื่อ ข้อมูลมัดทางทฤษฎี ประสบการณ์การฝึกฝน และความคาดหวัง ส่งผลต่อการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ โดยเป็นเครื่องชี้นำปัญหาที่จะศึกษา วิธีการศึกษา ตัวแปรที่ต้องสังเกต การทำความเข้าใจ และลงข้อสรุป บางครั้งชุดของความคิดความเชื่อเหล่านี้ส่งผลต่อการสร้างทฤษฎีและความรู้ทางวิทยาศาสตร์”

สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา การที่ทัศนคติของนักวิทยาศาสตร์มีผลต่อการแปลความหมายประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์เป็นเรื่องที่อาจขัดแย้งกับความรู้เดิมอยู่บ้าง เนื่องจากนักเรียนมักได้รับการสั่งสอนว่าวิทยาศาสตร์ปราศจากอคติ แต่ในความจริงแล้วแม้ว่าการเก็บข้อมูลในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์จะเป็นไปโดยปราศจากอคติ แต่การแปลความหมายข้อมูลดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยทัศนคติและความคิดสร้างสรรค์อย่างมากของนักวิทยาศาสตร์

สิ่งสำคัญที่ควรเน้นย้ำในการสอนชีววิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสอนปฏิบัติการ คือการส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจว่า การเรียนรู้ชีววิทยานั้นไม่ได้มีเพียงการท่องจำคำศัพท์ ชื่อโครงสร้างและกระบวนการในสิ่งมีชีวิตอย่างเดียว แต่ควรเข้าใจวิธีการได้มาซึ่งความรู้ทางชีววิทยา เหตุการณ์ในประวัติศาสตร์สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาหลักฐานเชิงประจักษ์ การอธิบายผลการศึกษา และการยอมรับคำอธิบายที่แตกต่างว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาชีววิทยา การทำการทดลองชีววิทยาในชั้นเรียนจึงไม่ควรเป็นเพียงแค่การสาธิตให้นักเรียนได้เห็นตัวอย่างจริงของสิ่งมีชีวิต แต่ควรเป็นไปเพื่อให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของชีววิทยา และให้ความสำคัญต่อการบันทึกผลการสังเกตอย่างละเอียด เพื่ออธิบายผลการศึกษิตตามผลที่ได้จริง ไม่ใช่การลอกข้อความในหนังสือเรียน หรือการพยายามทำให้ผลการศึกษิตสอดคล้องกับเนื้อหาในหนังสือเรียนให้มากที่สุด

การตั้งคำถามข้อที่ 1 เป็นการศึกษิตและวิเคราะห์พัฒนาการของความรู้ทางชีววิทยาในเนื้อหาที่ครูกำลังจะสอน ผลจากการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้ครูสามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และยังได้ตัวอย่างทางประวัติศาสตร์การค้นพบความรู้ เพื่อนำมาใช้ในการกระตุ้นความสนใจของนักเรียนได้อีกทางหนึ่ง

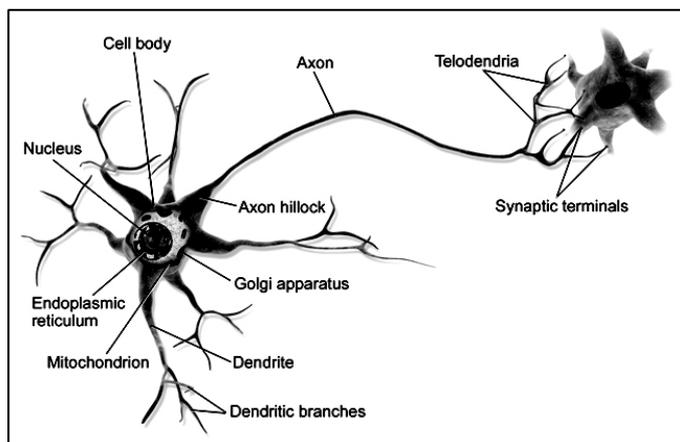
คำถามข้อที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่ของเนื้อหาชีววิทยาที่กำลังจะสอนคืออะไร

การตั้งคำถามข้อนี้เป็นกรณีวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิต เพื่อให้ครูพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่มีความหมายโดยอธิบายลักษณะของโครงสร้างต่างๆ ในระบบของสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมกับหน้าที่ของโครงสร้างนั้นๆ

เป็นที่ยอมรับกันมาเป็นเวลาเกือบครึ่งศตวรรษแล้วว่าวิชาชีววิทยานำการศึกษาโครงสร้างและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิต ในหนังสือ Creative Biology Teaching บทที่ 2 เรื่อง Teaching Form and Function Together ฮาร์ดิง วอลเกอร์และฟาเกิล (Harding, et al., 1969) แบ่งความรู้ทางชีววิทยาเป็น 2 ประเภท คือ ความรู้ชีววิทยาเชิงบรรยาย (Descriptive Biology) ซึ่งเน้นการบรรยายลักษณะโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตและการตั้งชื่อโครงสร้างเหล่านั้น และความรู้ชีววิทยาเชิงหน้าที่ (Functional Biology) ซึ่งเน้นการอธิบายหน้าที่ของโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตซึ่งทำให้ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างเหล่านั้นมีความหมายมากยิ่งขึ้น

การสอนชีววิทยาที่เน้นการบรรยายและท่องจำลักษณะโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต เช่น การท่องจำชื่อโครงสร้างกระดูก 208 ชิ้น โดยไม่มีความสัมพันธ์กับหน้าที่ของกระดูกแต่ละชิ้น ไม่มีการเปรียบเทียบกระดูกกับสัตว์ชนิดอื่น ไม่มีการอธิบายความสำคัญในเชิงวิวัฒนาการ การสอนในลักษณะดังกล่าวเป็นการสอน “ศัพท์วิทยา (Terminology)” แทนที่จะเป็นการสอน “สัณฐานวิทยา (Morphology)” หรือเป็นการสอนท่องศัพท์นั่นเอง จุดมุ่งหมายคือให้นักเรียนท่องจำชื่อโครงสร้างแต่ไม่มีการเชื่อมโยงกับหน้าที่ เป็นการสอนที่ไม่มีมีความหมาย (Harding, et al., 1969).

เปรียบเทียบการอธิบายโครงสร้างเซลล์ประสาท ตามภาพที่ 3 ต่อไปนี้



ภาพที่ 3 โครงสร้างเซลล์ประสาท

ที่มาภาพ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0657_MultipolarNeuron.png

การอธิบายแบบที่ 1 เซลล์ประสาทประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 3 ส่วน คือ ตัวเซลล์ (Cell Body) เดนไดรต์ (Dendrite) และแอกซอน (Axon) ตัวเซลล์ประกอบด้วย นิวเคลียส (Nucleus) เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (Endoplasmic Reticulum) กอลจี แอปพาราตัส (Golgi Apparatus) เดนไดรต์แตกแขนงเป็นจำนวนมากออกจากตัวเซลล์ ในขณะที่แอกซอนมีเพียงแขนงเดียว และมีความยาวมากกว่าเดนไดรต์ อย่างไรก็ตาม ส่วนปลายของแอกซอนมีการแตกแขนงเป็นจำนวนมากเช่นกัน

การอธิบายแบบที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของเซลล์ประสาทมีผลอย่างมาก ในการทำหน้าที่รับส่งกระแสประสาท เซลล์ประสาทมีนิวเคลียส (Nucleus) และออร์แกเนลล์สำคัญภายในตัวเซลล์ (Cell Body) เช่น เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (Endoplasmic Reticulum) และกอลจี แอปพาราตัส (Golgi Apparatus) และมีแขนงที่ยื่นออกมาเป็นจำนวนมากทำหน้าที่รับกระแสประสาทจากเซลล์อื่น เรียกว่า แอกซอน (Axon) ส่วนปลายของแอกซอนมีการแตกแขนงออกไป และเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทอื่นตรงบริเวณที่เรียกว่า ซินแนป (Synapse) ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการรับส่งกระแสประสาทจากบริเวณที่ถูกกระตุ้นไปยังสมองและการส่งกระแสประสาทจากสมองไปยังส่วนที่ทำหน้าที่ตอบสนอง การที่เดนไดรต์มีแขนงเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถรับการกระตุ้นกระแสประสาท หรือกระแสประสาทจากเซลล์อื่นได้เป็นจำนวนมากในขณะเดียวกัน ความยาวของแอกซอนมีผลให้สามารถส่งกระแสประสาทไปได้ในระยะไกล เช่น เซลล์ประสาทจากไขสันหลังยี่ราฟถึงปลายเท้า มีความยาวมากกว่า 1 เมตร และการที่แอกซอนส่วนปลายมีการแตกแขนงเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถส่งกระแสประสาทไปยังเซลล์อื่นได้เป็นจำนวนมากเช่นกัน

จะเห็นได้ว่า คำอธิบายแรกเป็นเพียงการบรรยายลักษณะของเซลล์ประสาทและชื่อเรียกแต่ละโครงสร้าง ในขณะที่ คำอธิบายที่สองเป็นการบรรยายชื่อโครงสร้างไปพร้อมๆ กับการอธิบายหน้าที่ของแต่ละโครงสร้างนั้น นักเรียนจะเข้าใจความหมายของโครงสร้างทางชีววิทยาอย่างถ่องแท้ ก็ต่อเมื่อนักเรียนรู้หน้าที่หรือกลไกการทำงานของโครงสร้างนั้น

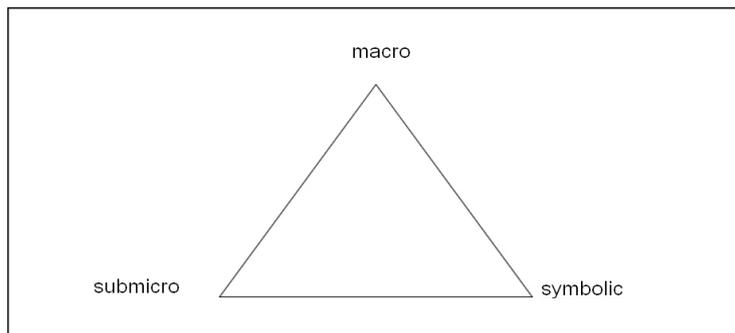
การตั้งคำถามข้อที่ 2 นำไปสู่การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตที่มีความเหมาะสมกับหน้าที่ของโครงสร้างนั้นๆ อันเกิดจากวิวัฒนาการทางชีววิทยามาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ความเข้าใจดังกล่าวจะช่วยให้ครูสามารถอธิบายเนื้อหาชีววิทยาอย่างมีความหมาย ไม่ได้เน้นแค่การท่องจำชื่อโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตอย่างเดียว

ในปัจจุบัน ความรู้ทางชีววิทยาก้าวหน้าไปมากจนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางชีววิทยาในระดับโมเลกุลได้ ทำให้การศึกษาชีววิทยามีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น การทำความเข้าใจหน้าที่ของโครงสร้างต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตสำหรับนักเรียนบางครั้งต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ในระดับโมเลกุล หัวข้อถัดไปจะนำเสนอเกี่ยวกับคำถามที่เกี่ยวกับความเป็นนามธรรมของแนวคิดทางชีววิทยา

คำถามข้อที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดในระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ของเนื้อหาเนื้อคืออะไร

การตั้งคำถามข้อนี้ในการวิเคราะห์เนื้อหาทางชีววิทยาเป็นการวิเคราะห์ระดับความเป็นนามธรรมของแนวคิด เพื่อให้ครูออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงแนวคิดทางชีววิทยาในแต่ละระดับเข้าด้วยกันอย่างมีความหมาย

ความรู้ทางชีววิทยามีทั้งความรู้ที่เป็นรูปธรรมเช่น โครงสร้างอวัยวะในระบบประสาท และความรู้ที่เป็นนามธรรม เช่น กระบวนการเกิดกระแสประสาทและถ่ายทอดกระแสประสาท นักวิทยาศาสตร์สร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์แสดงสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็น เช่น อะตอม ไอออน โมเลกุล สนามไฟฟ้า เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่สามารถสังเกตเห็นได้ จอห์น สโตน (Johnstone) (1993) เสนอว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีระดับความเป็นนามธรรม 3 ระดับคือ ระดับมหภาค (Macro) เป็นความรู้ที่ได้จากการสังเกต ระดับจุลภาค (Submicro หรือ Micro) เป็นความรู้ที่ใช้อธิบายกลไก หรือกระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นได้โดยตรง และระดับสัญลักษณ์ (Symbolic) เป็นความรู้ในเชิงสัญลักษณ์ใช้แทนสิ่งต่างๆ เช่น อะตอม ไอออน โมเลกุล สมการเคมี ซึ่งแสดงเป็นแผนผังสามเหลี่ยมดังภาพ 4



ภาพ 4 ระดับความเป็นนามธรรมของแนวคิดทางชีววิทยา

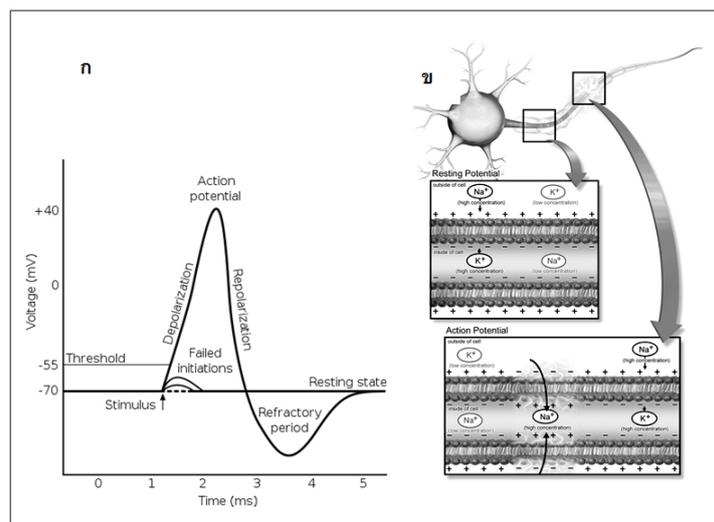
ที่มา: Johnstone, A.H. (1993). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. In Edwards, Dee; Scanlon, Eileen; & West, Dick. (Eds.). Teaching Learning and Assessment in Science Education. (pp. 113-123). London: The Open University

การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ควรทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงแนวคิดในระดับต่างๆ จึงจะทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจที่แท้จริงและสามารถนำความรู้ไปใช้ได้ ในที่นี้จะนำเสนอตัวอย่างแนวคิดทางชีววิทยาในสามระดับเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องกระแสประสาท

นักชีววิทยาสามารถบรรยายลักษณะโครงสร้างของเซลล์ประสาทและระบบประสาทได้ตั้งแต่ในช่วงศตวรรษที่ 18 ถึงศตวรรษที่ 19 โดยการพัฒนากล้องจุลทรรศน์ แต่อย่างไรก็ตาม ความรู้ทางโครงสร้างเหล่านี้ไม่สามารถอธิบายได้ว่าเซลล์ประสาทมีการสื่อสารอย่างไร จนในช่วงปลายศตวรรษที่ 18 ลุยจิ กัลวานี (Luigi Galvani) ค้นพบว่ากล้ามเนื้อสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า และ ต้นศตวรรษที่ 19 เฮอร์แมน วอน เฮลล์มโฮลต์ส (Hermann Von Helmholtz) พบว่าเซลล์ประสาทผลิตกระแสไฟฟ้าจากปลายด้านหนึ่งของเซลล์สู่ปลายอีกด้านหนึ่ง รวมถึงการส่งต่อกันระหว่างเซลล์

ในปัจจุบัน ด้วยเทคนิคและอุปกรณ์ที่ทันสมัย นักชีววิทยาศึกษาความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายนอกเซลล์และภายในเซลล์ประสาทของหมึกซึ่งมีขนาดใหญ่ โดยใช้อุปกรณ์ไมโครอิเล็กโทรด (Microelectrode) พบว่าในระยะที่ยังไม่เกิดกระแสประสาท หรือระยะพัก (Resting Potential) ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ -70 มิลลิโวลต์ และพบว่าภายในเซลล์มีโพแทสเซียมไอออนปริมาณมากกว่าด้านนอก และโซเดียมไอออนภายนอกเซลล์มากกว่าภายใน เมื่อเกิดกระแสประสาทจะพบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง จาก -70 มิลลิโวลต์ เป็น +40 มิลลิโวลต์ ก่อนที่จะลดลงอย่างรวดเร็วจนอยู่ในระดับต่ำกว่า -70 มิลลิโวลต์ เล็กน้อย จากนั้นจึงเพิ่มขึ้นจนมาอยู่ในระดับเดิมคือ -70 มิลลิโวลต์ ข้อมูลเหล่านี้จัดเป็นแนวคิดที่ได้จากการสังเกตผ่านการใช้อุปกรณ์ จัดเป็นความรู้ในระดับมหภาค (macro) (ภาพ 5 ก.)

การอธิบายกลไกที่เป็นสาเหตุทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ประสาทมีการเปลี่ยนแปลงจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลอง หรือ แนวคิดทางชีววิทยาในระดับจุลภาค (Submicro) รวมถึงการใช้สัญลักษณ์แทนสิ่งที่อยู่ในกระบวนการ เช่น โพแทสเซียมไอออน โซเดียมไอออน และโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ (ภาพที่ 5ข.) แสดงกลไกการควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ประสาท



ภาพ 5 การส่งกระแสประสาทของเซลล์ประสาท ก. กราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายนอกและภายในเยื่อหุ้มเซลล์
 ข. กลไกการเกิดกระแสประสาท

ที่มาภาพ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0011_ActionPotential_Nerve.png

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Action_potential.svg

จากภาพ 5 แสดงให้เห็นว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดจากความแตกต่างของไอออนภายนอกเซลล์และภายในเซลล์ ความต่างศักย์ -70 มิลลิโวลต์เกิดจากภายในเซลล์มีสถานะทางไฟฟ้าเป็นลบ ในขณะที่ภายนอกเซลล์มีสถานะทางไฟฟ้าเป็นบวก เยื่อหุ้มเซลล์มีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่านและมีโปรตีนขนส่งทำหน้าที่เป็นช่องทางผ่านเข้าออกของสาร ภายในเซลล์มีโพแทสเซียมไอออนซึ่งมีประจุบวกในปริมาณมาก และมีแนวโน้มจะแพร่ออกทางช่องโปรตีนสู่ภายนอกเซลล์ผ่านทางช่องโปรตีนขนส่ง ในขณะที่โซเดียมไอออนซึ่งมีประจุบวกเช่นกัน มีปริมาณมากภายนอกเซลล์แต่มีโอกาสน้อยในการแพร่เข้ามาภายในเซลล์ เนื่องจากมีช่องโปรตีนขนส่งน้อยกว่าโปรตีนขนส่งโพแทสเซียมไอออน สถานะดังกล่าวส่งผลให้ภายนอกเซลล์มีประจุบวกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้ความต่างศักย์น้อยกว่า -70 มิลลิโวลต์ กลไกที่รักษาความต่างศักย์ไฟฟ้าไว้ที่ -70 มิลลิโวลต์คือ กระบวนการขนส่ง

โซเดียม-โพแทสเซียมไอออนที่ใช้พลังงาน (Sodium-Potassium Pump) ขนส่งโพแทสเซียมไอออนกลับเข้ามาภายในเซลล์ และขนส่งโซเดียมไอออนออกนอกเซลล์เมื่อมีสิ่งรบกวนกระตุ้นเซลล์ประสาทถึงระดับที่เซลล์สามารถตอบสนองได้ (Threshold) สมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทจะมีการเปลี่ยนแปลง ช่องโปรตีนขนส่งโซเดียมเปิด ทำให้โซเดียมไอออนเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในเซลล์ ผลคือภายในเซลล์มีความเป็นบวกมากขึ้น ความต่างศักย์ที่เยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนจาก -70 มิลลิโวลต์เป็น $+50$ มิลลิโวลต์เรียกว่าดีโพลาไรเซชัน (Depolarization)

เมื่อเวลาผ่านไปช่องโปรตีนขนส่งโซเดียมไอออนปิด โซเดียมไอออนไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่เซลล์ได้อีก ในขณะที่ช่องโปรตีนขนส่งโพแทสเซียมไอออนเปิด ทำให้โพแทสเซียมไอออนเคลื่อนที่ออกนอกเซลล์ ความต่างศักย์จึงเปลี่ยนกลับจาก $+50$ มิลลิโวลต์ เป็น -70 มิลลิโวลต์ สู่สภาพเดิมเรียกขั้นตอนนี้ว่า รีโพลาไรเซชัน (Repolarization)

กระแสประสาท (Nerve Impulse) คือ การเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนี้เอง โดยการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณหนึ่งจะกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณถัดไป และบริเวณเดิมจะกลับสู่ระยะพัก กระบวนการนี้เกิดขึ้นเป็นลำดับ มีผลให้กระแสประสาทเคลื่อนที่ไปตามความยาวของเซลล์ประสาท

จะสังเกตเห็นได้ว่า การทำความเข้าใจกลไกที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ประสาทต้องอาศัยแนวคิดที่เป็นนามธรรมในระดับจุลภาค และในระดับสัญลักษณ์ แนวคิดดังกล่าวคือสิ่งที่นักชีววิทยาสร้างขึ้นเพื่อให้สามารถอธิบายสิ่งที่สังเกตเห็นได้ในระดับมหภาค รวมถึงการทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยบางประการ เช่น ในที่นี้เราสามารถทำนายได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อเกิดกระแสประสาท ต้องเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอออนระหว่างภายนอกเซลล์และภายในเซลล์

การตั้งคำถามข้อที่ 3 นี้ จะช่วยให้ครูวิเคราะห์เนื้อหาชีววิทยาที่กำลังจะสอนว่าแนวคิดดังกล่าวมีระดับความเป็นนามธรรมอย่างไรโดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรมในระดับจุลภาคและสัญลักษณ์ ครูอาจตั้งคำถามค้นคว้าตัวอย่างของแนวคิดในระดับมหภาคมาเสนอเพิ่มเติม เพื่อให้นักเรียนเห็นความเชื่อมโยงของแนวคิดในระดับต่างๆ และเห็นความสำคัญของแนวคิดระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ในการใช้อธิบายแนวคิดในระดับมหภาค

การนำผลการวิเคราะห์จากคำถาม 3 ข้อมาใช้ในการออกแบบการเรียนรู้ชีววิทยา

การวิเคราะห์ธรรมชาติของเนื้อหาชีววิทยานำไปสู่การออกแบบการสอนชีววิทยาที่มีประสิทธิภาพ ในเนื้อหาที่ผ่านมาได้แสดงถึงธรรมชาติของเนื้อหาชีววิทยา ทั้งด้านวิธีการได้มาซึ่งความรู้ ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่ และระดับความเป็นนามธรรมของเนื้อหา ในส่วนนี้จะเป็นการนำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของเนื้อหาชีววิทยาในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้อิงวิทยาศาสตร์ที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในประเทศไทย คือ รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E

สาเหตุที่รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายในบรรดาครูวิทยาศาสตร์ในประเทศไทย เนื่องจากมีการเผยแพร่และการอบรมครูอย่างต่อเนื่องโดย สสวท. อย่างไรก็ตาม ได้มีการตีความรูปแบบการเรียนรู้แบบ 5E ไว้หลากหลาย ตามความรู้และความเชี่ยวชาญของผู้ตีความ ในที่นี้จะขอนำเสนอแนวคิดของ รอดเจอร์ บายบี (Roger Bybee) ผู้ที่มีส่วนร่วมในการพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ตั้งแต่เริ่มแรก บายบี พาวเวลล์ และ ไทรวบริดจ์ (Bybee, Powell & Trowbridge, 2008) เสนอว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E มีวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ 1) เป็นรูปแบบในการพัฒนาหลักสูตรในหลายระดับ ตั้งแต่ในระดับแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละคาบ ไปจนถึงหลักสูตรสถานศึกษา ที่วางแผนการศึกษาเป็นรายปี 2) เป็นแนวทางที่ช่วยครูวิทยาศาสตร์ในการพัฒนาการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ของนักเรียนและจุดมุ่งหมายทางการศึกษา

งานวิจัยที่ผ่านมาสนับสนุนรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E โดยชานนทร์ โควสุภัทรและคณะ (Kowasupat et al., 2012) ออกแบบหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง พฤติกรรมของสัตว์ ด้วยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E โดยใช้ปลาเก็ดเป็นตัวอย่ง การแสดงพฤติกรรมสัตว์ ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E มีความเข้าใจแนวคิดทางชีววิทยา กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีการแบบบรรยาย อีกทั้งยังมีเจตคติที่ดีต่อกิจกรรมการเรียนรู้

รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E ยังถูกนำมาใช้ในสถานะที่เป็นโครงสร้างของหน่วยการเรียนรู้หลัก ที่มีการสอดแทรกเทคนิคการสอนอื่นๆ เข้าไป เช่น การวิจัยของ Ürey & Çalik (2008) โดยออกแบบการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้หัวข้อ เซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยมีการสอดแทรกเทคนิคการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิด (Conceptual Change) เช่น การใช้อุปมาอุปไมย และ ใบความรู้ที่ออกแบบเป็นพิเศษเพื่อการเปลี่ยนแปลงแนวคิด (Conceptual Change Text) ลงไปในขั้นตอนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ตามรูปแบบ 5E ผลการศึกษาพบว่านักเรียนเปลี่ยนแปลงแนวคิดและมีแนวคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้นหลังผ่านการเรียนการสอน

รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E ประกอบด้วยขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นกระตุ้นความสนใจ (Engagement) 2) ขั้นสำรวจตรวจสอบ (Exploration) 3) ขั้นอธิบาย (Explanation) 4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) และ 5) ขั้นประเมิน (Evaluation) การบูรณาการผลการวิเคราะห์โดยใช้คำถาม 3 ข้อเข้าไปในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ มีรายละเอียด ดังนี้

1) ขั้นกระตุ้นความสนใจ (Engagement)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำเข้าสู่บทเรียน กิจกรรมการเรียนรู้ควรมีจุดประสงค์เพื่อเชื่อมโยงประสบการณ์การเรียนรู้เดิมของผู้เรียนกับประสบการณ์ใหม่ อาจเป็นขั้นตอนที่มีการประเมินความรู้เดิมของผู้เรียน นอกจากนั้นกิจกรรมต้องกระตุ้นให้นักเรียนสนใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่กำลังจะเรียน กิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสม คือการนำเสนอสถานการณ์ที่ชวนสงสัย การสาธิต การตั้งคำถามปลายเปิด การดึงความรู้เดิมของนักเรียน กิจกรรมการเรียนรู้ที่ไม่เหมาะสมคือ การแจกใบความรู้ให้นักเรียนอ่าน การบรรยาย

ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงควรนำเสนอแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ในระดับมหภาค เพื่อเชื่อมโยงกับประสบการณ์เดิมของผู้เรียน หรือมีการนำเสนอประวัติศาสตร์การค้นพบทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาเพื่อเป็นการกระตุ้นความสนใจ

2) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration)

ขั้นตอนนี้เป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนสำรวจตรวจสอบเหตุการณ์หรือสถานการณ์ในธรรมชาติหรือในการจัดกระทำในการทดลอง ควรเน้นกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนลงมือปฏิบัติ (Hands-on Activity) และใช้กระบวนการคิด (Minds-on) ในการแปลความหมาย วิเคราะห์ข้อมูล และสร้างความรู้ ทักษะ และกระบวนการจากการทำกิจกรรม กิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสม คือ การทดลอง การสำรวจ การสาธิต กิจกรรมการเรียนรู้ที่ไม่เหมาะสม คือ การแจกใบความรู้ให้นักเรียนอ่าน การบรรยาย

เช่นเดียวกับขั้นกระตุ้นความสนใจ ขั้นตอนนี้ควรนำเสนอแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ในระดับมหภาคผ่านการทดลอง การสำรวจ หรือการสาธิต ขั้นตอนนี้มีความเหมาะสมที่ครูจะนำเสนอเนื้อหาชีววิทยาในส่วนของกระบวนการสร้างของสิ่งมีชีวิตผ่านการสังเกตตัวอย่างจริง เป็นการเรียนรู้ธรรมชาติเกี่ยวกับการได้มาซึ่งความรู้ทางชีววิทยาโดยให้ความสำคัญกับการรวบรวมหลักฐานเชิงประจักษ์ (Empirical Evidence)

3) ชั้นอธิบาย (Explanation)

ในชั้นตอนนี้ นักเรียนให้ความสนใจกับการอธิบายเหตุการณ์ สถานการณ์ หรือกิจกรรมในชั้นสำรวจ และค้นหา ให้ออกาสนักเรียนในการสร้างคำอธิบาย แสดงทักษะ หรือกระบวนการ ในชั้นตอนนี้ครูอาจอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดยใช้เทคนิควิธีการที่หลากหลาย เช่น การใช้สื่อภาพเคลื่อนไหว แผนภาพ วิดีทัศน์ หรือแม้กระทั่งการให้นักเรียนอ่านใบความรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสม คือ การอภิปรายกลุ่ม การบรรยาย กิจกรรมการเรียนรู้ที่ไม่เหมาะสม คือ การบรรยายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หัวข้ออื่น ที่ไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมในชั้นสำรวจและค้นหา

ในชั้นตอนนี้ครูควรใช้สื่อการสอนภาพเคลื่อนไหว แผนภาพ หรือ วิดีทัศน์ประกอบการอภิปรายเพื่อให้นักเรียนเข้าใจความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ของแนวคิดระดับมหภาคกับแนวคิดระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ และทำให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ผ่านกระบวนการสังเกตและการลงความเห็นข้อมูล

4) ชั้นขยายความรู้ (Elaboration)

เป็นชั้นตอนที่นักเรียนได้ใช้ความรู้ความเข้าใจที่ได้จากการทำกิจกรรมในชั้นตอนก่อนหน้าไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ เป็นการขยายความเข้าใจและเป็นการฝึกทักษะและกระบวนการ กิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสม คือ การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน การตอบคำถามปลายเปิดที่เกี่ยวข้องกับการนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน การเขียนโปสเตอร์ ออกแบบสื่อสิ่งพิมพ์ กิจกรรมการเรียนรู้ที่ไม่เหมาะสม คือ การบรรยาย การเสนอแนวทางการแก้ปัญหาโดยไม่ให้ออกาสนักเรียนคิด

การนำความรู้ไปใช้ในชั้นตอนนี้ ควรเป็นการที่นักเรียนใช้แนวคิดทางชีววิทยาในระดับนามธรรมในการอธิบายปรากฏการณ์ในระดับมหภาคในสถานการณ์อื่น หรือเป็นการใช้ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ไปอธิบายหรือใช้แก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับผลของความผิดปกติของโครงสร้างที่ส่งผลให้การทำหน้าที่ผิดปกติ

5) ชั้นประเมิน (Evaluation)

เป็นชั้นตอนที่ครูใช้กระบวนการประเมินทั้งการประเมินระหว่างเรียนและการประเมินเพื่อสรุปผลการเรียนรู้ ในการตรวจสอบการเรียนรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ทักษะและกระบวนการ และคุณลักษณะหรือเจตคติ กิจกรรมที่เหมาะสมคือ การให้นักเรียนสะท้อนผลการเรียนรู้ การสังเกตการตอบคำถามของนักเรียน การให้นักเรียนประเมินตนเองและประเมินเพื่อน การทำแบบฝึกหัดหลังเรียน กิจกรรมที่ไม่เหมาะสม คือ การตั้งคำถามที่ไม่เกี่ยวข้องกับหัวข้อเนื้อหาที่นักเรียนทำกิจกรรม การทดสอบการจำคำศัพท์ หรือข้อเท็จจริงปลีกย่อย

การประเมินผลการเรียนรู้ ควรเป็นการประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีทั้งการเชื่อมโยงแนวคิดที่เป็นรูปธรรมและแนวคิดที่เป็นนามธรรม การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่ และการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยการใช้ประจักษ์พยาน การออกแบบการประเมินดังกล่าวจึงควรมีลักษณะเป็นการประเมินผลการปฏิบัติ (Performance Assessment) หรือ การประเมินตามสภาพจริง (Authentic Assessment)

ตาราง 1 นำเสนอการใช้ผลการวิเคราะห์ธรรมชาติของเนื้อหาชีววิทยาด้วยคำถาม 3 ข้อในการออกแบบการเรียนการสอนร่วมกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E ครูผู้สอนสามารถเลือกใช้คำถามแต่ละข้อให้เหมาะสมกับเนื้อหาที่จะสอนได้ เช่น ใช้คำถามข้อที่ 1 เนื้อหาชีววิทยานี้มีการพัฒนาอย่างไร สำหรับออกแบบการจัดการเรียนรู้ขั้นกระตุ้นความสนใจ โดยยกตัวอย่างประวัติการค้นพบทางชีววิทยา ใช้คำถามข้อที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่ของเนื้อหาชีววิทยานี้คืออะไร สำหรับออกแบบการจัดการเรียนรู้ขั้นสำรวจและค้นหา และชั้นอธิบาย โดยให้นักเรียนสังเกตและบรรยายโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตและร่วมกันอธิบายหน้าที่ของโครงสร้างนั้นๆ จากนั้นจึงใช้คำถามข้อที่ 3 ในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ชั้นอธิบาย ชั้นขยายความรู้และชั้นประเมินโดยใช้แนวคิดระดับจุลภาคและสัญลักษณ์ในการอธิบายแนวคิดในระดับมหภาคเกี่ยวกับโครงสร้าง

สิ่งมีชีวิตที่กำลังศึกษารวมถึงในสถานการณ์อื่นและประเมินความสามารถในการเชื่อมโยงแนวคิดในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์

ตาราง 1 การใช้ผลการวิเคราะห์ธรรมชาติของเนื้อหาชีววิทยาด้วยคำถาม 3 ข้อในการออกแบบการเรียนการสอนร่วมกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E

รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E	คำถามข้อที่ 1: เนื้อหาชีววิทยานี้มีการพัฒนาอย่างไร	คำถามข้อที่ 2: ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่ของเนื้อหาชีววิทยานี้คืออะไร	คำถามข้อที่ 3: ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดในระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ของเนื้อหา นี้คืออะไร
1. ขั้นกระตุ้นความสนใจ	การยกตัวอย่างประวัติการค้นพบทางชีววิทยา	ยกตัวอย่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต	นำเสนอแนวคิดในระดับมหภาค
2. ขั้นสำรวจและค้นหา	การให้ความสำคัญกับประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์	ให้สังเกตและบรรยายโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต	นำเสนอแนวคิดในระดับมหภาค
3. ขั้นอธิบาย	การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากการสังเกตและการลงความเห็นข้อมูล	ร่วมกันอธิบายหน้าที่ของโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต	เชื่อมโยงแนวคิดระดับมหภาคกับแนวคิดระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์
4. ขั้นขยายความรู้	การเห็นประโยชน์ของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ต่อสังคม	ใช้ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ในการอธิบายหรือแก้ปัญหา เมื่อโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตมีความผิดปกติซึ่งส่งผลให้ทำหน้าที่ผิดปกติ	ใช้แนวคิดระดับจุลภาคและสัญลักษณ์ในการอธิบายแนวคิดในระดับมหภาคในปรากฏการณ์อื่น
5. ขั้นประเมิน	ประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยาน	ประเมินความเข้าใจแนวคิดและการนำไปใช้	ประเมินความสามารถในการเชื่อมโยงแนวคิดในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์

บทสรุป: คำถาม 3 ข้อ เพื่อวิเคราะห์เนื้อหาชีววิทยาเพื่อการออกแบบการเรียนการสอน

บทความฉบับนี้แนะนำแนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ธรรมชาติของเนื้อหาชีววิทยา โดยใช้คำถาม 3 ข้อ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ โดยมีความเชื่อพื้นฐานว่า การวิเคราะห์เนื้อหาเพื่อออกแบบการจัดการเรียนรู้นั้นไม่ควรเป็นเพียงการศึกษาทำความเข้าใจต่อองค์ความรู้เพียงอย่างเดียว แต่ควรวิเคราะห์ถึงที่มาของความรู้ และความสัมพันธ์ภายในองค์ประกอบย่อยของเนื้อหาด้วย กระบวนการดังกล่าวจะช่วยในการตัดสินใจของครูในการเลือกวิธีสอน กลวิธีและ

เทคนิคการจัดการเรียนรู้ รูปแบบการสอน รวมไปถึงวิธีการวัดและประเมินผล ดังนั้นก่อนการออกแบบการเรียนการสอน
ชีววิทยา ครูควรตั้งคำถามกับตัวเองเพื่อการวิเคราะห์เนื้อหา ดังนี้

1. เนื้อหาชีววิทยานี้มีการพัฒนาอย่างไร
2. ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่ของเนื้อหาชีววิทยานี้คืออะไร
3. ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดในระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ของเนื้อหานี้คืออะไร

แม้ว่า ตัวอย่างในบทความนี้คือ เนื้อหาเกี่ยวกับเซลล์ประสาท สามารถหาคำตอบได้ทั้ง 3 ข้อ อย่างไรก็ตาม สำหรับ
บางเนื้อหาครูอาจพบว่าเป็นการยากในการตอบคำถามให้ครบทุกข้อ ดังนั้น ในการวิเคราะห์เนื้อหาทางชีววิทยาเพื่อออกแบบ
การเรียนการสอน ครูควรหาคำตอบให้ได้อย่างน้อย 1 ข้อ เพื่อการเรียนรู้ชีววิทยาอย่างมีความหมาย เช่น การตอบคำถามข้อที่ 1
ได้จะทำให้ครูมีตัวอย่างการค้นพบทางวิทยาศาสตร์ที่น่าสนใจ มีตัวอย่างการสืบเสาะหาความรู้เพื่อสร้างคำอธิบายจากประจักษ์
พยาน การตอบคำถามข้อที่ 2 ได้ ครูจะสามารถเชื่อมโยงเนื้อหาและทำให้นักเรียนเข้าใจหน้าที่ของโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต หรือ
แม้แต่ร่างกายมนุษย์ซึ่งเป็นสิ่งใกล้ตัว สุดท้าย การตอบคำถามข้อที่ 3 ได้ ครูจะสามารถหาวิธีการช่วยนักเรียนให้เชื่อมโยงแนวคิด
ทางชีววิทยาในระดับที่มองไม่เห็นเข้ากับสถานการณ์หรือปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันได้ การเรียนรู้ชีววิทยาจึงไม่ได้เป็นการ
เรียนแบบท่องจำที่น่าเบื่อสำหรับนักเรียนอีกต่อไป ดังที่ ประสาท เนืองเฉลิม (2558) กล่าวว่า การเรียนรู้ต้องผูกโยงเรื่องราวสิ่ง
ที่เรียนเข้ากับสถานการณ์จริงของชีวิต เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ร่วมกันคิด ร่วมกันแบ่งปัน และร่วมกันสืบเสาะหาความรู้ด้วยการ
ลงมือทำ การเรียนรู้จะมีความหมายมากกว่าแค่การท่องสอบตอบลืม

บรรณานุกรม

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย
- ประสาธน์ เณียงเฉลิม. (2558). แนวทางการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21: 21st Century Learning in Science. *วารสารพัฒนาการเรียนการสอนมหาวิทยาลัยรังสิต*, 9(1), 136 -154.
- Abd-El-Khalick, F. (2006). Over and Over Again: College Students' View of Nature of Science. In L. B. Flick & N.G. Lederman (Eds). *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (pp. 389-425). The Netherlands: Springer.
- Bybee, R. W., Powell, J. C., & Trowbridge, L.W. (2008). *Teaching Secondary School Science: Strategies for Developing Scientific Literacy*. Ohio: Pearson Prentice Hall.
- Golgi, C. (1906). *The Neuron Doctrine – Theory and Facts*. Retrieved June, 25, 2015 from http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1906/golgi-lecture.html
- Harding, D. E., Volker, R. P., & Fagle, D.L. (1969). *Creative Biology Teaching*. Iowa: The Iowa State University.
- Johnstone, A.H. (1993). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. In D. Edwards, E. Scanlon, & D. West (Eds.). *Teaching Learning and Assessment in Science Education* (pp. 113-123). London: The Open University.
- Kowasupat, C., Jittam, P., Sriwattanarothai, N., Ruenwongsa, P., & Panijpan, B. (2012). Development of an Inquiry-based Learning Unit for Enhancing High-school Students' Understanding of Animal Social Behavior. *The International Journal of Learning*, 18(10), 167-190.
- Lederman, Norman. G. (2006). Syntax of Nature of Science within Inquiry and Science Instruction. In L. B. Flick & N.G. Lederman (Eds), *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (pp. 389-425). Netherlands: Springer.
- Ürey, M. & Çalik, M. (2008). Combining different conceptual change methods within 5E model: A sample teaching design of 'cell' concept and its organelles. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 9(2), 1-14.
- Wandersee, J.H, Fisher, K.M., & Moody, D.E (2001). The Nature of Biology Knowledge. In K.M. Fisher, J.H. Wandersee, & D.E. Moody (Eds.), *Mapping Biology Knowledge*. (pp. 25-37). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer.