

Science Teachers Designing Theory - Laden Experiments : A Case Study in Human Fertilization

Ladapa Ladachart

Ph.D. (Science Education), Lecturer

Department of Curriculum, Teaching, and Learning, Faculty of Education
Chiang Mai University

Received : September 19, 2018/ **Revised** : June 7, 2019/ **Accepted** : June 14, 2019

Abstract

This research was a case study, which aimed at investigating 5 science teachers' ability in designing experiments. The researcher asked two groups of two and three teachers to collectively design experiments to test theoretical hypotheses about human fertilization. The researcher analyzed components of the experiment designed by each group, which included questions, experimental hypotheses, independent variables, dependent variables, and controlled variables. The research results revealed some important limitations the teachers encountered in designing an experiment such as transforming a theoretical hypothesis to an experimental question, identifying and manipulating an independent variable in a continuous manner, giving an operational definition to a dependent variable, and identifying appropriate controlled variables. This research suggests that teacher professional development should focus on facilitating teachers' understandings about scientific experiments.

Keywords: Experimental Design, Scientific Experiment, Science Teachers

ครูวิทยาศาสตร์ออกแบบการทดลองที่มีทฤษฎีนำทาง : กรณีศึกษาเรื่องการปฏิสนธิในมนุษย์

ลฎาภา ลดาชาติ

ปร.ด. (วิทยาศาสตร์), อาจารย์

ภาควิชาหลักสูตร การสอน และการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วันรับบทความ : 19 กันยายน 2561/ วันแก้ไขบทความ : 7 มิถุนายน 2562/

วันตอบรับบทความ : 14 มิถุนายน 2562

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษา ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการออกแบบการทดลองของครูวิทยาศาสตร์ 5 คน ผู้วิจัยสร้างสถานการณ์ให้ครู 2 กลุ่ม (กลุ่มละ 2 และ 3 คน) ออกแบบการทดลองร่วมกัน เพื่อทดสอบสมมติฐานทางทฤษฎีเกี่ยวกับการปฏิสนธิในมนุษย์ ผู้วิจัยวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบสำคัญของการทดลองที่ครูแต่ละกลุ่มได้ออกแบบไว้ ได้แก่ คำถาม สมมติฐานทางการทดลอง ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม ผลการวิจัยเปิดเผยข้อจำกัดสำคัญที่ครูเหล่านี้ประสบในการออกแบบการทดลอง เช่น การแปลงสมมติฐานทางทฤษฎีให้เป็นคำถามของการทดลอง การระบุและจัดกระทำตัวแปรต้นให้มีค่าต่อเนื่อง การให้นิยามเชิงปฏิบัติการให้กับตัวแปรตาม และการระบุตัวแปรควบคุมที่เหมาะสม การวิจัยนี้เสนอให้การพัฒนาวิชาชีพครูให้ความสำคัญกับการส่งเสริมให้ครูเข้าใจเกี่ยวกับการทดลองทางวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, การทดลองทางวิทยาศาสตร์, ครูวิทยาศาสตร์

บทนำ

ประเทศไทยกำหนดให้ “การรู้วิทยาศาสตร์” (Scientific Literacy) เป็นเป้าหมายหลักของการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2553) ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เรียนทุกคนสามารถเข้าใจ มีส่วนร่วม และตัดสินใจเกี่ยวกับข้อถกเถียงที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ในสังคมปัจจุบัน และอนาคตได้ (Kolsto, 2001) แม้นิยามของคำว่า “การรู้วิทยาศาสตร์” อาจแตกต่างกันบ้างในแต่ละบริบท และช่วงเวลา (DeBoer, 2000) แต่ในโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (PISA) การรู้วิทยาศาสตร์ครอบคลุมความสามารถพื้นฐาน 3 ประการ ได้แก่ 1. การอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ 2. การออกแบบและประเมินการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ และ 3. การตีความและลงข้อสรุปจากข้อมูลหรือหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ (Organisation for Economic Cooperation and Development [OECD], 2013)

ความสามารถในการออกแบบและประเมินการทดลองทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นคุณลักษณะหนึ่งของผู้รู้วิทยาศาสตร์ (OECD, 2013) หลักสูตรวิทยาศาสตร์ของสหรัฐอเมริกาจึงเน้นให้นักเรียนได้ออกแบบและทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ตลอดจนประเมินความน่าเชื่อถือของกระบวนการและผลการทดลองในฐานะรูปแบบหนึ่งของการสำรวจตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ (NGSS Lead States, 2013) ในกรณีของประเทศไทย หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ก็ได้กำหนดให้นักเรียนได้ออกแบบและทำการทดลองในรูปแบบของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นการสืบเสาะหาความรู้ (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2553) ความสามารถนี้ไม่เพียงช่วยให้นักเรียนสามารถหาคำตอบของคำถามทางวิทยาศาสตร์ที่ตนเองสนใจได้ หากยังช่วยให้นักเรียนประเมินความน่าเชื่อถือของผลการทดลองที่ผู้อื่นกล่าวอ้างได้อีกด้วย

อย่างไรก็ดี งานวิจัยในต่างประเทศเปิดเผยว่านักเรียนมักประสบปัญหาในการออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนอาจไม่เข้าใจวัตถุประสงค์ของการทดลอง ไม่สามารถระบุตัวแปรของการทดลองได้ ลงข้อสรุปจากผลการทดลองคลาดเคลื่อน และ/หรือไม่เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างการทดลองกับปรากฏการณ์จริงในธรรมชาติ (Germann, Aram & Burke, 1996; Schauble,

Glaser, Duschl, Schulze & John, 1995) และในบางกรณี แม้นักเรียนระบุตัวแปรได้ถูกต้อง แต่นักเรียนอาจเลือกวิธีการวัดหรือกำหนดค่าให้กับตัวแปรไม่เหมาะสม (เช่น การจัดกระทำตัวแปรต้นออกเป็นประเภท ทั้ง ๆ ที่ตัวแปรต้นนั้นสามารถมีค่าที่ต่อเนื่องได้) ซึ่งทำให้การทดลองมีข้อจำกัดที่ไม่จำเป็น (Duggan 1996) นอกจากนี้ นักเรียนอาจไม่เข้าใจเหตุผลของการใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น การจัดกระทำค่าของตัวแปรต้น การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการให้กับตัวแปรตาม การควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน การทำซ้ำ และการสุ่มตัวอย่าง (Arnold, Kremer & Mayer, 2014)

ในประเทศไทย งานวิจัยด้านนี้กับนักเรียนยังคงมีจำกัด ถึงกระนั้นก็ตาม งานวิจัยบางเรื่องเปิดเผยว่านักเรียนไทยก็มีความสามารถที่จำกัดด้านการออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ จากการวิเคราะห์ผลจากการประเมินนักเรียนนานาชาติ (PISA) ลีอา ลดาชาติ และ โชคชัย ยืนยง (2559) พบว่า นักเรียนไทยอายุประมาณ 15 ปี เพียงประมาณร้อยละ 32 สามารถตอบคำถามเกี่ยวกับการออกแบบการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง ในขณะที่งานวิจัยอีก 2 เรื่องเปิดเผยว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ประมาณร้อยละ 40 (ลีอา ลดาชาติ และกาญจนา มหาลี, 2559) และนิสิตครูชีววิทยาประมาณร้อยละ 20 (ลีอา ลดาชาติ และลฎาภา ลดาชาติ, 2559) ไม่สามารถเลือกการทดลองที่สามารถตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง ความสามารถที่จำกัดนี้อาจเป็นผลมาจากการที่นักเรียนยังขาดประสบการณ์ในการออกแบบการทดลองด้วยตนเอง ทั้งนี้เพราะหนังสือเรียนหรือคู่มือกำหนดวิธีการทดลองมาให้แก่นักเรียนไว้แล้ว

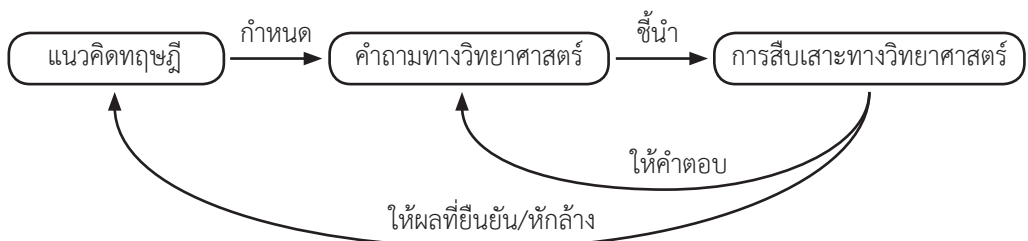
จากผลการวิจัยกับนักเรียนเกี่ยวกับความสามารถในการออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาต่อยอดว่า ครูวิทยาศาสตร์มีความสามารถในการออกแบบการทดลองอย่างไร และประสบปัญหาอะไรบ้างในการออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยด้านนี้มีความสำคัญ ทั้งนี้เพราะหากครูจะส่งเสริมให้นักเรียนสามารถออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้ ครูจำเป็นต้องเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ก่อน ซึ่งจะเป็นพื้นฐานให้ครูสามารถแนะนำนักเรียนได้อย่างแม่นยำ แต่ด้วยหนังสือเรียนและคู่มือครูอาจกำหนดวิธีการทดลองมาให้

กับครูไว้แล้ว ครูจึงอาจขาดโอกาสในการฝึกฝนตนเอง เรื่องการออกแบบการทดลอง ดังนั้น ผลการวิจัยนี้จะให้ ข้อมูลที่จำเป็นต่อการพัฒนาหลักสูตรการพัฒนาคู วิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง

การทดลองทางวิทยาศาสตร์

การทดลองเป็นวิธีการหนึ่งในการสร้างและพัฒนา ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (ลือชา ลดาชาติ และกาญจนา มหาลี, 2559) วัตถุประสงค์ของการทดลองทางวิทยาศาสตร์คือ การระบุความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างตัวแปรต้นและ ตัวแปรตาม (Arnold, Kremer & Mayer, 2014) โดย นักวิทยาศาสตร์ ทำการจัดกระทำทำให้ค่าของตัวแปรต้น เปลี่ยนแปลงไปทั้งนี้เพื่อวัดค่าของตัวแปรตามว่า เปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ และอย่างไร ภายใต้เงื่อนไขที่ ตัวแปรอื่น ๆ มีค่าคงตัว อย่างไรก็ตาม การทดลองทาง วิทยาศาสตร์ไม่ได้เกิดขึ้นจากความคิดที่ว่างเปล่า นักวิทยาศาสตร์ต้องมีข้อสงสัยเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทาง ธรรมชาติ จากนั้น พวกเขาจึงพยายามสร้างคำอธิบาย ปรากฏการณ์ทางธรรมชาตินั้น ในรูปแบบของสมมติฐาน ทางทฤษฎี ดังตัวอย่างในกรณีเรื่องการเผาไหม้ (Thagard, 1992) นักวิทยาศาสตร์สร้างสมมติฐานทางทฤษฎีว่า สารที่ติดไฟได้มีธาตุชนิดหนึ่งที่มีชื่อว่า “โพลิจิสตัน” เป็นองค์ประกอบ การเผาไหม้คือการปลดปล่อยโพลิจิส ตันออกจากสารนั้น และเมื่อสารนั้นไม่มีโพลิจิสตัน

สารนั้นก็กลายเป็นขี้เถ้าซึ่งไม่มีโพลิจิสตันเหลืออยู่ จากนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงหาวิธีการทดสอบว่า สมมติฐานทาง ทฤษฎีนี้เป็นไปได้หรือไม่ การทดลองเป็นหนึ่งในวิธีการ ที่นักวิทยาศาสตร์สามารถใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานทาง ทฤษฎี ในการนี้ นักวิทยาศาสตร์ต้องแปลงสมมติฐาน ทางทฤษฎีให้อยู่ในรูปแบบคำถามของการทดลอง (ลฎาภา ลดาชาติ และลือชา ลดาชาติ, 2559) ซึ่งมัก เกี่ยวข้องกับการใช้ เหตุผล และ ความรู้ ที่มีอยู่ (ลือชา ลดาชาติ และลฎาภา ลฎทกุล, 2556) ตัวอย่างเช่น หากนักวิทยาศาสตร์จะทดสอบการมีอยู่ของโพลิจิสตัน นักวิทยาศาสตร์อาจตั้งคำถามของการทดลองว่า “หลัง การเผาไหม้มวลของสารจะลดลงจากเดิมหรือไม่” ซึ่ง ตั้งอยู่บนเหตุผลที่ว่า หากการเผาไหม้เป็นการปลดปล่อย โพลิจิสตัน และหากโพลิจิสตันเป็นธาตุที่มีมวล หลังการ เผาไหม้มวลของสารนั้นจะต้องลดลงจากเดิม ซึ่งก็คือ สมมติฐานของการทดลอง ด้วยกระบวนการนี้ นักวิทยาศาสตร์จึงสามารถระบุตัวแปรต่าง ๆ และ ออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้ อันจะนำไปสู่ หลักฐานและการให้เหตุผลเพื่อลงข้อสรุปต่อไปว่า สมมติฐานทางทฤษฎีเป็นไปได้หรือไม่ ดังภาพประกอบ ที่ 1 การทดลองของนักวิทยาศาสตร์จึงมักมีทฤษฎี นำทาง (Theory - laden) ซึ่งอาจแตกต่างจากการทดลอง ในโรงเรียนที่มักเป็นการปฏิบัติตามขั้นตอนที่ครูหรือ หนังสือเรียนกำหนดไว้แล้ว



ภาพประกอบ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมมติฐานทางทฤษฎี คำถามของการทดลอง และการทดลอง ที่มา : ลือชา ลดาชาติ และลฎาภา ลดาชาติ (2560)

คำถามวิจัย

เนื่องจากการออกแบบการทดลองที่มีทฤษฎีนำทางอาจเป็นเรื่องที่ครูวิทยาศาสตร์ไม่คุ้นเคย การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่า เมื่อมีสมมติฐานทางทฤษฎีมาให้:

1. ครูมีการออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อสำรวจตรวจสอบสมมติฐานทางทฤษฎีนั้นอย่างไร
2. ครูประสบปัญหาอะไรบ้างในการออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์

ขอบเขตของการวิจัย

การออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการคิดทั้งในเชิงทฤษฎีและในทางปฏิบัติ (Klahr and Dunbar, 1988) งานวิจัยนี้จึงมีขอบเขตแค่การตั้งคำถามของการทดลอง การตั้งสมมติฐานของการทดลอง การระบุและจัดกระทำตัวแปรต้น การระบุและให้นิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรตาม และการระบุและควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ซึ่งเป็นเรื่องพื้นฐานของการออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ประเด็นอื่น ๆ เช่น การสุ่มตัวอย่าง การทำซ้ำ และการวิเคราะห์ข้อมูล ไม่อยู่ในขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้

วิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษา (Yin, 2014) ภายใต้กระบวนการต้นของการวิจัยเชิงคุณภาพ (ลือชา ลดาชาติ, 2558) ที่เน้นการตีความหมายข้อมูลในบริบทที่ไม่มีการจัดกระทำใด ๆ (Lincoln and Guba, 1985) รายละเอียดของบริบท ผู้มีส่วนร่วม กิจกรรม การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังต่อไปนี้

บริบท

การวิจัยนี้เกิดขึ้นในบริบทของการอบรมเชิงปฏิบัติการใน “โครงการพัฒนาข้าราชการครูและบุคลากรทางการศึกษาเชิงพื้นที่ด้วยการวิจัยและพัฒนาเป็นฐาน” โดย สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 34 เป็นเวลา 2 วัน (วันที่ 10-11 พฤษภาคม 2560) การอบรมเชิงปฏิบัติการมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมให้ครูวิทยาศาสตร์มีแนวทางการจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในบริบทแวดล้อมที่ขาดแคลนด้านวัสดุและอุปกรณ์ การจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการมีการแยกสาขาวิชา (ฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา) ตามความสนใจและวิชา

ที่ครูแต่ละคนปฏิบัติการสอนในโรงเรียน ในการนี้ ครูวิทยาศาสตร์ที่เลือกเข้ารับการอบรมในสาขาชีววิทยามีทั้งสิ้น 5 คน ซึ่งทุกคนยินดีเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้

ผู้มีส่วนร่วม

ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยนี้คือครูวิทยาศาสตร์จำนวน 5 คน (ชาย 3 คน และหญิง 2 คน) จาก 5 โรงเรียนในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งมีผลการประเมินระดับชาติ (ONET) ด้านวิทยาศาสตร์ในระดับต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ครูส่วนใหญ่ (ชาย 2 คน และหญิง 2 คน) มีอายุในช่วง 27-32 ปี และมีประสบการณ์สอนในช่วง 2-7 ปี ยกเว้นครูชาย 1 คน ที่มีอายุ 56 ปี และมีประสบการณ์สอน 27 ปี ครูทั้ง 5 คน มีวุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรีด้านวิทยาศาสตร์หรือการสอนวิทยาศาสตร์ โดยครู 3 คน มีวุฒิการศึกษาระดับปริญญาโท (2 คน ด้านการบริหารการศึกษา ส่วนอีก 1 คน ไม่ระบุสาขา) ครูทั้ง 5 คน ปฏิบัติการสอนในโรงเรียนห่างไกลที่มีความหลากหลายทางชาติพันธุ์ ครูเหล่านี้ได้รับการคัดเลือกอย่างเจาะจง (Patton, 2002) ด้วยเหตุผล 2 ประการ ได้แก่ 1. ทุกคนสมัครใจให้ข้อมูลแก่ผู้วิจัย และ 2. ทุกคนยินดีให้ผู้วิจัยติดตามเก็บข้อมูลในอนาคต

กิจกรรม

ในการอบรมเชิงปฏิบัติการ ผู้วิจัยได้พัฒนากิจกรรมเรื่อง “การปฏิสนธิในมนุษย์” เพื่อสาธิตการจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ และใช้เป็นสถานการณ์ในการเก็บข้อมูลวิจัย กิจกรรมนี้ถูกพัฒนาขึ้นตามแนวทางของ Chinn and Malhotra (2002) ซึ่งเสนอรูปแบบกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้คิด ลงมือปฏิบัติ และให้เหตุผลเชิงเช่นเดียวกับนักวิทยาศาสตร์จริง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบการศึกษา ปากเปล่า การวิเคราะห์ข้อมูล การประเมินหลักฐาน และการทดลองเสมือนจริงด้วยคอมพิวเตอร์ โดยกิจกรรมเรื่อง “การปฏิสนธิในมนุษย์” เป็นการบูรณาการกันระหว่างการออกแบบการศึกษาปากเปล่ากับการประเมินหลักฐาน (ผู้อ่านศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับรูปแบบและตัวอย่างกิจกรรมได้ที่ ลือชา ลดาชาติ และโชคชัย ยืนยง, 2560)

กิจกรรมนี้เริ่มต้นด้วยคำถามจากกระทู้หนึ่ง (พันทิป, 2552) ว่า “อสุจิว่ายไปเจอไข่ได้อย่างไร” ในการนี้ ผู้วิจัยให้ครูแบ่งกลุ่มตามความสมัครใจออกเป็น 2 กลุ่ม (กลุ่มที่ 1 มี 2 คน และกลุ่มที่ 2 มี 3 คน) และอภิปราย

ร่วมกันเกี่ยวกับโครงสร้างภายในของระบบสืบพันธุ์เพศหญิง โดยแต่ละกลุ่มต้องวาดตำแหน่งของอวัยวะต่าง ๆ (เช่น มดลูก ท่อนำไข่ และรังไข่) พร้อมทั้งระบุตำแหน่งที่เกิดการปฏิสนธิ จากนั้นผู้วิจัยจึงอภิปรายเพื่อให้ครูเห็นภาพว่า อสุจิมิขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับขนาดของระบบสืบพันธุ์ของเพศหญิง ยิ่งไปกว่านั้นระบบสืบพันธุ์เพศหญิงยังมีความซับซ้อน ซึ่งยากที่อสุจิของเพศชายจะเดินทางไปถึงไข่ได้โดยง่าย ในการนี้ ผู้วิจัยจึงให้แต่ละกลุ่มเสนอสมมติฐานทางทฤษฎีเกี่ยวกับกลไกที่ทำให้ อสุจิเดินทางไปเจอไข่ได้ เมื่อครูเสนอสมมติฐานแล้ว ผู้วิจัยจึงให้แต่ละกลุ่มออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของสมมติฐานใดสมมติฐานหนึ่ง

หลังจากที่ครูแต่ละกลุ่มออกแบบการทดลองแล้ว ตัวแทนของแต่ละกลุ่มออกมาแนะนำชั้นเรียน ทั้งนี้ เพื่อให้สมาชิกทั้ง 5 คน ได้อภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับกระบวนการทดลอง จากนั้น ผู้วิจัยจึงนำเสนอการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ พร้อมกับผลการทดลองหรือหลักฐานต่าง ๆ (Bahat, Tur - Kaspas, Gakamsky, Giojalas, Breitbarit & Eisenbach 2003; Eisenbach, 1999; Eisenbach and Giojalas, 2006; Eisenbach and Tur-Kaspas, 1999) เพื่อให้ครูแต่ละกลุ่มลงข้อสรุปและสร้างคำอธิบายจากหลักฐานเหล่านั้น ก่อนที่ครูทั้งหมดจะสร้างข้อสรุปร่วมกันว่า เมื่ออสุจิมิแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่แบบสุ่มในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีสิ่งกระตุ้นใด ๆ แต่กลไกหลายอย่างในระบบสืบพันธุ์เพศหญิงมีส่วนช่วยให้ อสุจิสามารถเดินทางไปเจอไข่ได้ ไม่ว่าจะเป็นการบีบตัวของกล้ามเนื้อในมดลูก ความแตกต่างของอุณหภูมิในบริเวณที่มีและไม่มีไข่ และสารบางชนิดในบริเวณโดยรอบไข่ (Eisenbach and Giojalas, 2006) การดำเนินกิจกรรมเสร็จสิ้นลงด้วยการให้ครูแต่ละกลุ่มตั้งคำถามเพิ่มเติมที่จะต่อยอดความรู้ที่ได้ในอนาคต

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การประเมินความสามารถด้านการออกแบบการทดลองมีได้หลายวิธี เช่น การใช้แบบทดสอบแบบเลือกตอบ การใช้แบบทดสอบแบบเขียนตอบ และการสังเกตในสถานการณ์จริง (Hamman, Phan, Ehmar & Grimm, 2008) ด้วยจำนวนครูที่มีส่วนร่วมในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวนน้อย ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การสังเกตในสถานการณ์จริง ซึ่งมีข้อดีในแง่ที่ว่า ครูสามารถแสดงความสามารถที่แท้จริงในกิจกรรมที่ผู้วิจัยจัดขึ้น อย่างไรก็ตาม

เนื่องจากครูทั้ง 5 คน แสดงความไม่สะดวกใจในการทำกิจกรรมเป็นรายบุคคล ผู้วิจัยจึงเลือกเก็บข้อมูลกับครูเป็นรายกลุ่มแทน ในการนี้ผู้วิจัยได้ข้อมูลต่าง ๆ จากครูทั้ง 2 กลุ่ม ได้แก่ ภาพวาดโครงสร้างระบบสืบพันธุ์ของเพศหญิง ข้อความที่บรรยายสมมติฐาน และแผนภาพการออกแบบการทดลองนอกจากนี้ ในระหว่างที่ครูแต่ละกลุ่มนำเสนอ ผู้วิจัยได้บันทึกเหตุการณ์ด้วยกล้อง ซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลได้ในภายหลัง ในตอนท้ายของการอบรมเชิงปฏิบัติการ ผู้วิจัยให้ครูแต่ละคนเขียนอนุทินสะท้อนความคิดเกี่ยวกับสิ่งที่ตนเองได้เรียนรู้

การวิเคราะห์ข้อมูล

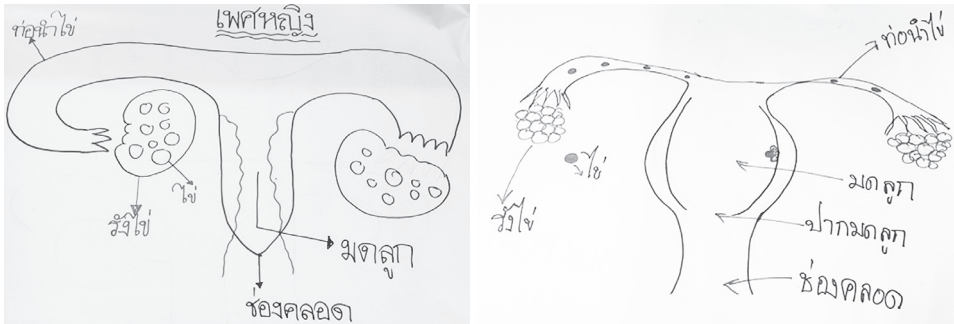
การวิเคราะห์ข้อมูลเริ่มต้นพร้อม ๆ กับการเก็บรวบรวมข้อมูล (ลือชา ลดาชาติ, 2558; Lincoln and Guba, 1985) ซึ่งผู้วิจัยทำความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองและเหตุผลเบื้องหลังการออกแบบนั้นจากการนำเสนอของครูแต่ละกลุ่ม (Ericsson and Simon, 1980) จากนั้น ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์การออกแบบของครูแต่ละกลุ่มอย่างละเอียดอีกครั้งในภายหลัง ทั้งนี้ เพื่อระบุปัญหาที่ครูแต่ละกลุ่มประสบ เช่นเดียวกับการวิจัยของ Arnold, Kremer & Mayer (2014) ผู้วิจัยพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ของการออกแบบการทดลอง ได้แก่ การตั้งคำถามของการทดลอง การตั้งสมมติฐานของการทดลอง การระบุ และเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต้น การระบุ และวัดค่าของตัวแปรตาม และการระบุและควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนอื่น ๆ ให้คงตัว ในการนี้ ผู้วิจัยนำเสนอการออกแบบการทดลองของครูแต่ละกลุ่มตามลำดับ จากนั้น ผู้วิจัยจึงอภิปรายข้อจำกัดของการออกแบบการทดลองของครูแต่ละกลุ่ม

ผลการวิจัย

ก่อนการนำเสนอผลการวิจัย ผู้วิจัยขอรายงานผลการทำกิจกรรมก่อนว่า ภาพวาดของครูแต่ละกลุ่มสอดคล้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ดังภาพประกอบที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยช่องคลอด มดลูก ท่อนำไข่ และรังไข่ ภาพวาดทั้งสองแสดงถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโครงสร้างภายในของระบบสืบพันธุ์เพศหญิง อย่างไรก็ตาม ครูแต่ละคนกลับเห็นแตกต่างกันบ้างเกี่ยวกับตำแหน่งที่เกิดการปฏิสนธิ แม้ครูทุกคนเห็นตรงกันว่า การปฏิสนธิเกิดขึ้นในบริเวณท่อนำไข่ ณ ตำแหน่งที่ค่อนข้างไปทางรังไข่ แต่ครู 2 คนจากกลุ่มที่ 2 แสดงความคิดเห็นว่า การปฏิสนธิอาจเกิดขึ้น

ในบริเวณรังไข่หรือบริเวณท่อนำไข่ ณ ตำแหน่งที่ค่อนข้างไปทาง
มดลูกได้เช่นกัน โดยเฉพาะในกรณีของการตั้งครรภ์ที่ไม่ปกติ
ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงต้องสร้างความเข้าใจเบื้องต้น

ก่อนว่า กิจกรรมนี้เน้นไปที่การปฏิสนธิในกรณีปกติ ซึ่ง
เกิดขึ้นภายในท่อนำไข่ในส่วนที่ค่อนข้างไปทางรังไข่
(Eisenbach and Giojalas, 2006)



ภาพประกอบ 2 ภาพวาดระบบสืบพันธุ์เพศหญิงของครูกุ่มที่ 1 (ชาย) และกลุ่มที่ 2 (ขวา)

จากนั้น ผู้วิจัยให้ครูแต่ละกลุ่มตั้งสมมติฐานทาง
ทฤษฎีเพื่ออธิบายว่า “อสุจิเดินทางไปเจอกับไข่ในท่อนำ
ไข่ได้อย่างไร” ในการนี้ ผู้วิจัยคาดหวังว่าครูจะเสนอ
สมมติฐานในลักษณะของคำอธิบายทางทฤษฎีอย่างไร
ก็ตาม สมมติฐานบางส่วนอยู่ในลักษณะของปัจจัยที่ส่งผล
ให้เกิดการปฏิสนธิ (ดังตาราง 1) ไม่ว่าจะเป็นความ
แข็งแรง/ความสมบูรณ์ของตัวอสุจิ (1.1, 2.2, และ 2.5)
ความสมบูรณ์ของไข่ (1.4) และระยะทางการเคลื่อนที่
ของไข่ (1.5) แม้ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลว่า การปฏิสนธิจะ

เกิดขึ้นหรือไม่ แต่ไม่ได้ช่วยอธิบายว่าอสุจิเดินทางไป
เจอไข่ได้อย่างไร ดังนั้น เพื่อให้ครูมีสมมติฐานทางทฤษฎี
ที่ชัดเจน ผู้วิจัยจึงสรุปคำตอบของครูแต่ละกลุ่มให้อยู่ใน
รูปแบบของสมมติฐานทางทฤษฎีว่าสารบางชนิดบริเวณ
โดยรอบไข่ทำให้อสุจิเดินทางมายังไข่ได้ เช่น สารหล่อลื่น
ภายในมดลูก (1.2) ความเป็นกรด - เบสภายในมดลูก
(1.3) ฮอร์โมนภายในอวัยวะสืบพันธุ์ของเพศหญิง (2.3)
และของเหลวภายในรังไข่/ปีกมดลูก (2.4)

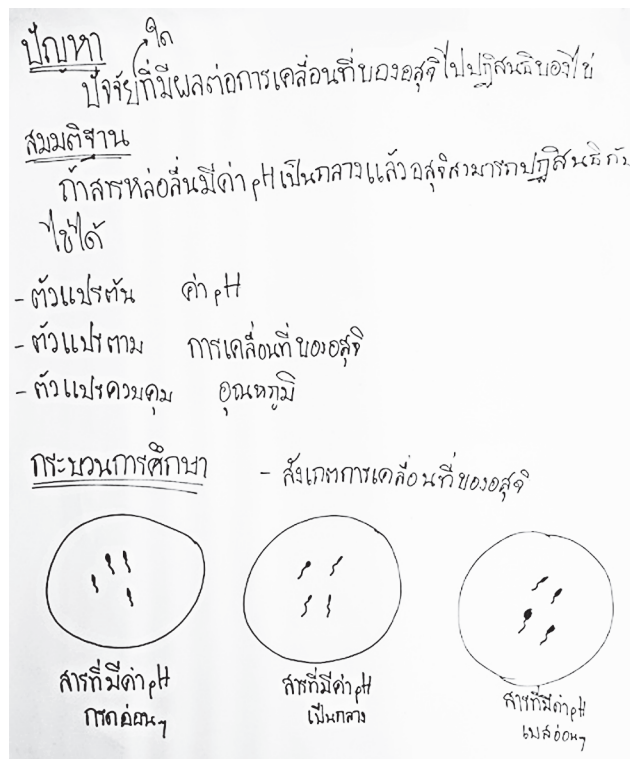
ตาราง 1 สมมติฐานทางทฤษฎีที่ครูทั้ง 2 กลุ่มตั้งขึ้นเกี่ยวกับกลไกที่ทำให้อสุจิเดินทางไปเจอไข่ได้

กลุ่มที่	สมมติฐานทางทฤษฎี
1	1.1 ความแข็งแรงของตัวอสุจิ 1.2 สารหล่อลื่นภายในมดลูก 1.3 ความเป็นกรด - เบสภายในมดลูกของเพศหญิง 1.4 ความสมบูรณ์ของไข่ 1.5 ระยะทางการเคลื่อนที่ของไข่ 1.6 หางของตัวอสุจิ
2	2.1 หางของอสุจิจะเป็นตัวช่วยให้อสุจิพบกับไข่ 2.2 ความแข็งแรงของตัวอสุจิ 2.3 ฮอร์โมนภายในอวัยวะสืบพันธุ์ของเพศหญิง 2.4 ของเหลวภายในรังไข่/ปีกมดลูก 2.5 ถ้าตัวอสุจิมีความสมบูรณ์จะสามารถเข้าไปปฏิสนธิกับไข่ได้

เนื่องจากไม่มีครุคนใดเสนอสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างของอุณหภูมิในบริเวณที่มีและไม่มีไขในฐานะกลไกหนึ่งที่ทำอาจทำให้อุสจิดินทางมาเจอไขได้ (Bahat, Tur - Kaspas, Gakamsky, Giojalas, Breitbarit & Eisenbach, 2003) ผู้วิจัยจึงเสนอสมมติฐานนี้เพิ่มเติมพร้อมกับการอภิปรายเหตุผลที่ทำให้สมมติฐานนี้เป็นไปได้มากขึ้น ดังที่ปรากฏในการถามตอบในเว็บไซต์เกี่ยวกับการใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิของร่างกายเป็นตัวบ่งชี้ช่วงเวลาที่มีการตกไข่ (พันทิป, 2556) ผู้วิจัยตั้งใจใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์นี้ แทนการใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์อื่นที่น่าเชื่อถือมากกว่า ทั้งนี้เพื่อคงสถานะความไม่แน่นอนของสมมติฐานไว้ จากนั้นผู้วิจัยให้ครุแต่ละกลุ่มเลือกสมมติฐาน 1 ข้อ เพื่อออกแบบการทดลองที่จะทดสอบความเป็นไปได้ของสมมติฐานนั้น โดยการทดลองต้องไม่ขัดกับหลักจริยธรรมของการวิจัยในมนุษย์ ในการนี้ครุกลุ่มที่ 1 เลือกศึกษาว่า สารหล่อลื่นของเพศหญิงมีผลต่อ (ทิศทาง) การเคลื่อนที่ของอสุจิหรือไม่ ในขณะที่ครุกลุ่มที่ 2 เลือกศึกษาว่า อุณหภูมิส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอสุจิหรือไม่

ครุกลุ่มที่ 1

จากสมมติฐานทางทฤษฎีที่ว่า สารคัดหลั่งที่ช่วยหล่อลื่นมีผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอสุจิ ครุกลุ่มที่ 1 ตั้งคำถามของการทดลองว่า “ปัจจัยใดที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอสุจิไปปฏิสนธิกับไข่” และตั้งสมมติฐานของการทดลองว่า “ถ้าสารหล่อลื่นมีค่า pH เป็นกลางแล้วอสุจิสามารถไปปฏิสนธิกับไข่ได้” โดยตัวแปรต้นในการทดลองคือ “ค่า pH” ซึ่งถูกจัดกระทำออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ กรดอ่อน กลาง และเบสอ่อน ในขณะที่ตัวแปรตามคือ “การเคลื่อนที่ของอสุจิ” อย่างไรก็ตาม ครุกลุ่มนี้ไม่มีการระบุถึงนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรตาม ซึ่งทำให้ไม่ปรากฏวิธีการในการวัดค่าของตัวแปรตาม ครุกลุ่มนี้ระบุให้ “อุณหภูมิ” เป็นตัวแปรเดียวที่ต้องมีการควบคุมให้คงตัว ดังภาพประกอบ 3 กระบวนการทดลองจึงเป็นเพียงการนำอสุจิไปหยดบนสไลด์ที่มีอุณหภูมิเท่ากัน แต่มีสารที่มีความเป็นกรด-เบสแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของอสุจิ โดยปราศจากการระบุว่าเป็นตนเองจะสังเกตอะไรจากการเคลื่อนที่ของอสุจิ

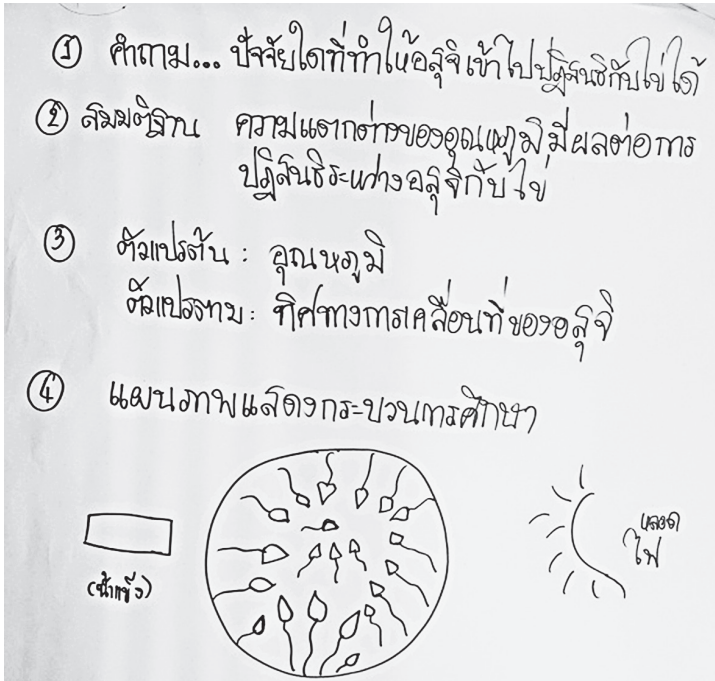


ภาพประกอบ 3 การออกแบบการทดลองของครุกลุ่มที่ 1

ครูกลุ่มที่ 2

จากสมมติฐานทางทฤษฎีที่ว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิในบริเวณที่มีกับไม่มีไขมีผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอสุจิ ครูกลุ่มที่ 2 ตั้งคำถามของการทดลองว่า “ปัจจัยใดทำให้อสุจิเข้าไปปฏิสนธิกับไข่ได้” และตั้งสมมติฐานของการทดลองว่า “ความแตกต่างของอุณหภูมิมีผลต่อการปฏิสนธิระหว่างอสุจิกับไข่” โดยตัวแปรต้นของการทดลองคือ “อุณหภูมิ” ซึ่งถูกจัดกระทำออกเป็น

2 ประเภท ได้แก่ อุณหภูมิสูง และอุณหภูมิต่ำ ในขณะที่ตัวแปรตามคือ “ทิศทางการเคลื่อนที่ของอสุจิ” ซึ่งไม่มีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรตามเช่นเดียวกัน ยิ่งไปกว่านั้น ครูกลุ่มนี้ไม่มีการระบุตัวแปรควบคุมใด ๆ ดังภาพประกอบ 4 กระบวนการทดลองคือการนำตัวอย่างอสุจิหยดลงบนสไลด์ ซึ่งฝั่งหนึ่งอยู่ใกล้น้ำแข็ง (อุณหภูมิต่ำ) และอีกฝั่งหนึ่งอยู่ใกล้หลอดไฟ (อุณหภูมิสูง) ทั้งนี้เพื่อสังเกตทิศทางการเคลื่อนที่ของอสุจิ



ภาพประกอบ 4 การออกแบบการทดลองของครูกลุ่มที่ 2

การอภิปรายผล

จากการตั้งคำถามของการทดลองครูทั้ง 2 กลุ่ม จึงอาจยังไม่เข้าใจว่า คำถามทางวิทยาศาสตร์มีได้หลายประเภท (ลือชา ลดาชาติ และลฎาภา ลดาชาติ, 2559) ไม่ว่าจะเป็นคำถามทางทฤษฎี คำถามทางการทดลอง และคำถามทางการสำรวจ คำถามทางทฤษฎีมักเป็นคำถามประเภท “ทำไม” หรือ “อย่างไร” ซึ่งต้องการคำตอบในลักษณะของคำอธิบาย ในขณะที่คำถามของการทดลองเป็นคำถามประเภท “หรือไม่” ซึ่งจะนำไปสู่การตั้งสมมติฐานของการทดลองที่จำเพาะเจาะจงมากขึ้น ดังนั้น เมื่อผู้วิจัยนำเสนอคำถามทางทฤษฎีว่า “อสุจิเคลื่อนที่ไปเจอไข่ได้อย่างไร” ครูทั้ง 2 กลุ่ม ไม่ได้แปลง

คำถามทางทฤษฎีนี้ให้เป็นคำถามทางการทดลอง อาทิ “อุณหภูมิส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอสุจิหรือไม่” หรือ “ความเป็นกรดเบสส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอสุจิหรือไม่” ผลการวิจัยนี้แสดงว่า ครูอาจขาดความชัดเจนเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดทางทฤษฎีกับการทดลอง (Klahr and Dunbar, 1988) ครูทั้ง 2 กลุ่ม อาจคิดว่าการทดลองจะนำไปสู่การทดสอบสมมติฐานทางทฤษฎีได้ในทันที โดยปราศจากการให้เหตุผลระหว่างผลการทดลองกับสมมติฐานทางทฤษฎี ด้วยคำถามของการทดลองที่ค่อนข้างกว้าง ครูทั้ง 2 กลุ่ม จึงยังตั้งสมมติฐานได้ไม่เหมาะสม โดยครูทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งสมมติฐานที่ครอบคลุมไปถึง “การปฏิสนธิ”

ระหว่างไข่กับอสุจิ ทั้ง ๆ ที่วัตถุประสงค์ของการทดลองคือการศึกษาว่า อุณหภูมิ/ความเป็นกรดเบสส่งผลต่อ “การเคลื่อนที่ของอสุจิ” หรือไม่เท่ากัน (ไม่ได้รวมถึงการปฏิสนธิ) การตั้งสมมติฐานของการทดลองเช่นนี้ ยืนยันอีกครั้งว่าครูยังไม่ชัดเจนเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดทฤษฎีกับการทดลอง นอกจากนี้ ครูกลุ่มที่ 1 ยังตั้งสมมติฐานของการทดลองบนพื้นฐานของการขาดข้อมูลที่ชัดเจนว่า สารหล่อลื่นในร่างกายมีค่า pH เท่าใดด้วยเหตุนี้ สมมติฐานของครูกลุ่มที่ 1 จึงดูเหมือนมีสมมติฐาน 2 ข้อในตัวเอง นั่นคือ 1. สารหล่อลื่นมีค่าเป็นกลางหรือไม่ และ 2. สารหล่อลื่นที่เป็นกลางนั้นทำให้เกิดการปฏิสนธิได้หรือไม่ ซึ่งครูกลุ่มที่ 1 ไม่สามารถหาคำตอบทั้งหมดได้จากการทดลองเดี่ยวที่ตนเองได้ออกแบบไว้

แม้คำถามและสมมติฐานของการทดลองอาจยังไม่เหมาะสม แต่ครูทั้ง 2 กลุ่มระบุตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งแสดงว่า ครูทั้ง 2 กลุ่ม เข้าใจสมมติฐานทางทฤษฎีที่ผู้วิจัยนำเสนอ อย่างไรก็ตาม ครูทั้ง 2 กลุ่ม จัดกระทำค่าของตัวแปรต้นในลักษณะของการระบุประเภท เช่น ค่า pH ที่เป็นกรด กลาง และเบส (กลุ่มที่ 1) และอุณหภูมิสูงและต่ำ (กลุ่มที่ 2) ทั้ง ๆ ที่ตัวแปรต้นเหล่านี้สามารถมีค่าที่ต่อเนื่องได้ ด้วยการจัดกระทำตัวแปรต้นเช่นนี้ การทดลองของครูทั้ง 2 กลุ่ม จึงให้หลักฐานได้เพียงข้อมูลแบบนามบัญญัติหรือข้อมูลแบบเรียงอันดับ แทนที่ข้อมูลเหล่านั้นจะเป็นข้อมูลแบบระดับช่วง (เช่น อุณหภูมิที่ 36°C, 36.5°C, 3°C, 37.5°C, และ 38°C หรือค่า pH ที่ 6, 6.5, 7, 7.5, และ 8 เป็นต้น) ซึ่งจะเอื้อให้มีการวิเคราะห์ในระดับที่สูงขึ้น เช่น การเขียนกราฟและการหาความชัน (Duggan, Johnson & Gott, 1996)

ในส่วนของตัวแปรตาม ครูทั้ง 2 กลุ่ม ไม่มีให้นิยามเชิงปฏิบัติการแก่ตัวแปรตาม อย่างไรก็ตาม ครูกลุ่มที่ 2 มีการระบุตัวแปรตามที่เจาะจงมากกว่าครูกลุ่มที่ 1 โดยครูกลุ่มที่ 2 ระบุว่า ตัวแปรตามคือ “ทิศทางการเคลื่อนที่ของอสุจิ” ในขณะที่ครูกลุ่มที่ 1 ระบุว่า ตัวแปรตามคือ “การเคลื่อนที่ของอสุจิ” ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบการระบุตัวแปรตามของครูทั้ง 2 กลุ่ม ครูกลุ่มที่ 2 สามารถกำหนดวิธีการวัดค่าของตัวแปรตามได้เป็นรูปธรรมมากกว่าครูกลุ่มที่ 1 ถึงกระนั้น ครูทั้ง 2 กลุ่มอาจยังไม่ตระหนักว่า การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ

ให้กับตัวแปรตามจะช่วยกำหนดว่า ค่าของตัวแปรตามจะถูกวัดด้วยวิธีการอะไรและอย่างไร (Germann, Aram & Burke, 1996) ตัวอย่างเช่น การนับจำนวนอสุจิที่เคลื่อนที่ไปยังบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือการนับอสุจิที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ดังนั้น เมื่อปราศจากนิยามเชิงปฏิบัติการ การวัดค่าตัวแปรตามของครูทั้ง 2 กลุ่ม จึงยังไม่ชัดเจน

ครูกลุ่มที่ 1 มีการระบุตัวแปรควบคุม 1 ตัว ซึ่งก็คือ “อุณหภูมิ” โดยการจัดชุดทดลองทั้ง 3 ชุดให้อยู่ในบริเวณเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ ครูกลุ่มที่ 1 จึงสามารถลงข้อสรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิมีค่าคงตัว ความเป็นกรดเบสส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอสุจิหรือไม่ และให้เหตุผลเพื่อเชื่อมโยงกับสมมติฐานทางทฤษฎีได้ว่า ความเป็นกรดเบสมีส่วนทำให้อสุจิเดินทางไปเจอกับไข่หรือไม่ แต่ครูกลุ่มที่ 2 ไม่มีการระบุตัวแปรควบคุม ดังนั้น แม้ครูกลุ่มที่ 2 มีการจัดกระทำตัวแปรต้นและวัดค่าของตัวแปรตามอย่างถูกต้อง แต่ก็ไม่สามารถลงข้อสรุปได้ว่าอุณหภูมิส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอสุจิหรือไม่ ทั้งนี้เพราะตัวแปรอื่น ๆ เช่น แสงจากหลอดไฟ อาจมีส่วนทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน การทดลองของครูกลุ่มที่ 2 จึงไม่เพียงแต่ไม่สามารถตอบคำถามของการทดลอง หากยังไม่สามารถทดสอบสมมติฐานทางทฤษฎีได้อีกด้วย

บทสรุป

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการออกแบบการทดลองของครูวิทยาศาสตร์ 5 คน ผู้วิจัยสร้างสถานการณ์ให้ครู 2 กลุ่ม (กลุ่มละ 2 และ 3 คน) ออกแบบการทดลอง เพื่อทดสอบสมมติฐานทางทฤษฎีเกี่ยวกับการเดินทางของอสุจิ การวิเคราะห์องค์ประกอบของการทดลองของครูแต่ละกลุ่ม ทั้งคำถามของการทดลอง สมมติฐานของการทดลอง และตัวแปรต่าง ๆ ผลการวิจัยปรากฏว่า ครูแต่ละกลุ่มประสบปัญหาต่าง ๆ ในการออกแบบการทดลอง ดังนี้

1. ครูไม่ได้แปลงสมมติฐานทางทฤษฎีให้อยู่ในรูปของคำถามของการทดลองได้ ซึ่งแสดงว่า ครูยังไม่เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดทางทฤษฎีกับการทดลอง ครูมีแนวโน้มที่จะเข้าใจว่า การทดลองจะนำไปสู่การทดสอบสมมติฐานทางทฤษฎีในทันที โดยปราศจากการให้เหตุผลเพื่อเชื่อมโยงว่า ผลการทดลองสนับสนุนสมมติฐานทางทฤษฎีหรือไม่และอย่างไร

2. แม้ครูสามารถระบุตัวแปรต้นได้ถูกต้อง แต่ครูมีแนวโน้มที่จะจัดกระทำตัวแปรต้นนั้นแบบนามบัญญัติหรือแบบเรียงอันดับ ทั้ง ๆ ที่ตัวแปรต้นนั้นสามารถมีค่าที่ต่อเนื่องและเพิ่มระดับความละเอียดได้

3. แม้ครูสามารถระบุตัวแปรตามได้ถูกต้อง แต่ครูมีแนวโน้มที่จะละเลยการให้นิยามเชิงปฏิบัติการกับตัวแปรตามนั้น ซึ่งทำให้วิธีการวัดค่าของตัวแปรตามไม่ชัดเจนหรือคลุมเครือ

4. ครูละเลยการระบุตัวแปรควบคุม ซึ่งทำให้ผลการทดลองขาดความน่าเชื่อถือ ในการนี้ ผู้วิจัยตั้งข้อสันนิษฐานว่า ข้อบกพร่องในการออกแบบการทดลองมาจากการที่ครูขาดโอกาสในการสะท้อนคิดและฝึกฝนการออกแบบการทดลองอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้เพราะหนังสือเรียนหรือคู่มือครูมักมีการกำหนดวิธีการทดลองมาให้ไว้แล้ว ซึ่งครูสามารถให้นักเรียนปฏิบัติตามได้โดยปราศจากความเข้าใจอย่างแท้จริง

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ควรให้ความสำคัญกับความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองให้มากขึ้น ทั้งนี้เพราะการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนยัง

คงเน้นให้นักเรียนเรียนรู้จากการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ครูจึงจำเป็นต้องเข้าใจเกี่ยวกับการทดลองทางวิทยาศาสตร์ให้ถ่องแท้ มิเช่นนั้นแล้วครูคงไม่สามารถให้คำแนะนำแก่นักเรียนได้อย่างถูกต้อง ในการนี้ การพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ควรเปิดโอกาสให้ครูได้ออกแบบการทดลองด้วยตนเอง เพื่อทดสอบสมมติฐานทางทฤษฎี ทั้งนี้เพราะครูจะได้คิดเกี่ยวกับการทดลองในมิติที่หลากหลายทั้งในเชิงทฤษฎีและทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ครูควรมีโอกาสได้ประเมินและวิพากษ์การออกแบบการทดลองของผู้อื่นด้วย เนื่องจากผลการวิจัยนี้เปิดเผยว่า ครูยังขาดความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสมมติฐานทางทฤษฎี คำถามของการทดลอง และกระบวนการทดลอง การพัฒนาครูจึงควรให้ความสำคัญกับเรื่องนี้มากขึ้น โดยครูควรได้รับการส่งเสริมให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีกับการทดลอง บทบาทของคำถามต่อการออกแบบการทดลอง ประเภทและหน้าที่ของตัวแปรต่าง ๆ ตลอดจนการจัดกระทำ การวัด และการควบคุมตัวแปรแต่ละประเภท การวิจัยในอนาคตควรเน้นหาแนวทางส่งเสริมให้ครู ตลอดจนนักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองให้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- พันทิป. (2552). *เชื่อกุสัจจะว่าไปหาไข่ได้ไง ในเมื่อ... .* สืบค้นเมื่อ 16 พฤษภาคม 2560, จาก <http://topicstock.pantip.com/wahkor/topicstock/2009/12/X8690855/X8690855.html>
- _____. (2556). *ช่วยดูอุณหภูมิไขตกให้หน่อยค่ะ.* สืบค้นเมื่อ 16 พฤษภาคม 2560, จาก <https://pantip.com/topic/30339300>
- ลฎาภา สุทธกุล และลือชา ลดาชาติ. (2556). การให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4. *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 21(3), 107-123.
- ลฎาภา ลดาชาติ และลือชา ลดาชาติ. (2559). การตั้งคำถามเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 35(1), 188-202.
- ลือชา ลดาชาติ. (2558). *การวิจัยเชิงคุณภาพสำหรับครูวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลือชา ลดาชาติ และกาญจนา มหาลี. (2559). ความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 7(2), 284-310.

- ลือชา ลดาชาติ และโชคชัย ยืนยง. (2559). สิ่งที่เกิดจากวิทยาศาสตร์ไทยควรเรียนรู้จากโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ. *วารสารปาริชาติ*, 28(2), 108-137.
- _____. (2560). การใช้กิจกรรมการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาการรู้วิทยาศาสตร์ของครูและศึกษานิเทศก์. *วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (สังคมศาสตร์)*. 38(1), 482-492.
- ลือชา ลดาชาติ และลฎาภา ลดาชาติ. (2559). ความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ของนิสิตครูวิชาเอกชีววิทยา. *วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์*. 2(1), 24-44.
- _____. (2560). จากการสืบเสาะตามวัฏจักร 5Es สู่การสืบเสาะที่มีทฤษฎีชี้นำ. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 8(2), 436-448.
- สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. (2553). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- Arnold, J. C., Kremer, K., and Mayer, J. (2014). Understanding students' experiments - what kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*. 36(16), 2719-2749.
- Bahat, A., Tur-Kaspa, I., Gakamsky, A., Giojalas, L. C., Breitbart, H., and Eisenbach, M. (2003). Thermotaxis of mammalian sperm cells : A potential navigation mechanism in the female genital tract. *Nature Medicine*. 9(2), 149-150.
- Chinn, C. A. and Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*. 86(2), 175-218.
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy : Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*. 37(6), 582-601.
- Duggan, S., Johnson, P., and Gott, R. (1996). A critical point in investigative work: Defining variables. *Journal of Research in Science Teaching*. 33(5), 461-474.
- Eisenbach, M. (1999). Sperm chemotaxis. *Reviews of Reproduction*. 4(1), 56-66.
- Eisenbach, M. and Tur-Kaspa, I. (1999). Do human eggs attract spermatozoa? *BioEssays*. 21(3), 203-210.
- Eisenbach, M. and Giojalas, L. C. (2006). Sperm guidance in mammals - an unpaved road to the egg. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 7(4), 276-285.
- Ericsson, K. A. and Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*. 87(3), 215-251.
- Germann, P. J., Aram, R., and Burke, G. (1996). Identifying patterns and relationships among the responses of seventh - grade students to the science process skill of designing experiments. *Journal of Research in Science Teaching*. 33(1), 79-99.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M., and Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimentation. *Journal of Biological Education*. 42(2), 66-72.
- Klahr, D. and Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*. 12(1), 1-48.
- Kolsto, S. D. (2001). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*. 85(3), 291-310.
- Lincoln, Y. S. and Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. California: Sage Publications.

- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards : For states, by states*. Washington D.C. : National Academy of Sciences.
- Organisation for Economic Cooperation and Development [OECD]. (2013). *PISA 2015: Draft science framework*. Retrieved May 5, 2017, from [https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/ Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf](https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf)
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods*. (3rd ed.). California : Sage Publication.
- Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R. A., Schulze, S., and John, J. (1995). Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *Journal of the Learning Sciences*. 4 (2), 131-166.
- Thagard, P. R. (1992). *Conceptual revolutions*. New Jersey : Princeton University Press.
- Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods*. (5th ed.). California: SAGE Publications.