หัวข้อบรรยายเรื่อง การออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ (Designing Science Experiment)

ดร.บรรณรักษ์ คุ้มรักษา คณะครุศาสตร์

1. การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์โดยใช้วิธีการทดลอง

จากกิจกรรมในหัวข้อบรรยายก่อนหน้าก่อนหน้านี้ นักศึกษาได้เรียนรู้มาแล้วว่าการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์สามารถกระทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของคำถามที่นักวิทยาศาสตร์ตั้งขึ้น (Inquiry Procedures are Guided by the Question Asked) ซึ่งนักวิทยาศาสตร์จะสามารถสืบเสาะเพื่อหาคำตอบของคำถามทางวิทยาศาสตร์นั้นได้ทั้งจาก การสังเกต สำรวจ ตรวจสอบ หรือการทดลอง หรืออาจจะใช้หลาย ๆ วิธีร่วมกันก็ได้ และโดยทั่วไปนักวิทยาศาสตร์จะใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมักประกอบด้วย การตั้งคำถาม (Asking Question) การตั้งสมมติฐาน (Proposing Hypotheses) การทำนาย (Making Prediction) การออกแบบการทดลอง (Designing Experiment) การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล (Collecting and Analyzing Data) การลงข้อสรุป (Drawing Conclusion) การตีความหลักฐาน (Interpreting Evidence) การสร้างแบบจำลอง (Building Model) การตัดสิน (Judgements) เป็นต้น (Wilke & Straits, 2005) โดยขั้นตอนเหล่านี้นักวิทยาศาสตร์ไม่จำเป็นต้องใช้ทุกขั้นตอน และไม่มีลำดับหรือขั้นตอนที่แน่นอน (Nonlinear) ไม่สามารถคาดเดาลำดับขั้นตอนได้ (Unpredictable) เพราะขั้นตอนในการปฏิบัติงานของนักวิทยาศาสตร์จริง ๆ มักจะขึ้นอยู่กับผลหรือหลักฐานที่ปรากฏอยู่ ณ ขณะนั้น ๆ (Ongoing) (Lederman et al., 2002; Schwartz et al., 2004)

อย่างไรก็ตาม กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่มุ่งหาคำตอบของ “คำถามเชิงทำนาย” ส่วนใหญ่ มักจะใช้การทดลองเป็นเครื่องมือในการสืบเสาะเพื่อหาคำตอบของปรากฏการณ์นั้น และ/หรือใช้การทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งขึ้น ดังนั้นในการทดลองจึงมีการนำเอากระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science Process) หลาย ๆ กระบวนการมาประกอบกันและต้องนำทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science Process Skills) หลาย ๆ ทักษะมาใช้ เช่น ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการออกแบบการทดลอง ทักษะการสังเกตและการบันทึกผลการทดลองอย่างละเอียดถี่ถ้วน ทักษะการลงความเห็นข้อมูล ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล ตลอดจนทักษะการตีความหมายข้อมูลอย่างตรงไปตรงมา ดังนั้นความสามารถในการออกแบบการทดลองและการดำเนินการทดลองจึงเป็นทักษะที่สำคัญอย่างหนึ่งในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

2. ความหมายของการทดลอง

การทดลอง (Experiment) หมายถึง วิธีการในการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการระบุความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม (Arnold, Kremer & Mayer, 2014) โดย นักวิทยาศาสตร์ จะต้องทำการจัดกระทำ (Setting) ให้ค่าของตัวแปรต้น (สิ่งที่กำลังสนใจศึกษา) เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้เพื่อวัดค่าของตัวแปรตาม (ผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต้น) ว่าเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ และอย่างไร ภายใต้เงื่อนไขที่ตัวแปรอื่น ๆ (ตัวแปรควบคุม) มีค่าคงตัว

3. ความสัมพันธ์ระหว่างสมมติฐานและการทดลอง

เนื่องจากการทดลองทางวิทยาศาสตร์เกิดขึ้นจากการอยากค้นหาคำตอบจากข้อสงสัยเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ โดยนักวิทยาศาสตร์ได้ตั้งคำถามที่เป็น “คำถามสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์” ดังนั้นการทดลองจึงไม่ได้เกิดขึ้นจากความคิดที่ว่างเปล่า ทว่านักวิทยาศาสตร์พยายามสร้างคำอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาตินั้นในรูปแบบของสมมติฐานทางทฤษฎี (Hypothesis) ดังนั้นสมมติฐานจึงเป็นเสมือน คำตอบล่วงหน้าที่นักวิทยาศาสตร์คาดเดาโดยอาศัยความรู้จากทฤษฎีพื้นฐานที่มีอยู่ในขณะนั้น โดยสมมติฐานนี้จะเป็นจริงหรือไม่นั้น นักวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูล-หลักฐานที่ได้จากการทดลองมาใช้พิสูจน์ยันยันสมมติฐานที่ได้ตั้งขึ้นไว้นั่นเอง ดังนั้นการตั้งสมมติฐานจากคำถามทางวิทยาศาสตร์นักวิทยาศาสตร์จึงสามารถระบุตัวแปรต่าง ๆ และออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้อันจะนำไปสู่หลักฐานและการให้เหตุผลเพื่อลงข้อสรุปต่อไปว่าสมมติฐานทางทฤษฎีเป็นไปได้หรือไม่

ตัวอย่างเช่น การศึกษาของนักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งศึกษาเกี่ยวกับประโยชน์สารอาหารโดยใช้หนูทดลอง และตั้งสมมติฐานว่า

“หนูที่กินอาหารที่ไมมีโปรตีน จะมีอัตราการเจริญเติบโตต่างกับหนูที่กินอาหารที่มีโปรตีน”

จากสมมติฐานดังกล่าวนักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้อาจจะออกแบบการทดลองได้โดย ใช้หนู 2 กลุ่มที่มีสายพันธุ์เดียวกัน อายุเท่ากัน มีลักษณะต่าง ๆ เหมือนกัน อยู่ในสภาพแวดล้อมอย่างเดียวกัน จำนวนหนูที่ใช้ทำการทดลองทั้งสองกลุ่มเท่ากัน และทำการทดลองพร้อม ๆ กัน โดยหนูกลุ่มที่ 1 ให้กินอาหารตามปกติ ซึ่งเป็นอาหารที่มีโปรตีนรวมอยู่ด้วย ส่วนหนูกลุ่มที่ 2 ให้อาหารที่ไม่มีโปรตีน และเฝ้าสังเกตติดตาม และบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการเติมเติบโตของหนูทั้ง 2 กลุ่มนี้ เป็นต้น

อีกตัวอย่างหนึ่งเช่น หากเราสงสัยว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการหมักสับปะรดให้เป็นอัลกอฮอล์ โดยเรามีความรู้พื้นฐานอยู่ว่าในกระบวนการหมักผลไม้ให้เป็นอัลกอฮอล์นั้น จะเกิดจากการที่ยีสต์ย่อยสลายน้ำตาลที่อยู่ในผลไม้นั้นด้วยกระบวนการทางชีวเคมี ดังนั้นคำถามนี้อาจจะสามารถสร้างสมมติฐานได้หลายสมมติฐาน เช่น

"ปริมาณยีสต์มีผลต่อการย่อยน้ำตาลในสับปะรด"

"อากาศในขวดมีผลต่อการย่อยน้ำตาลในสับปะรด"

"ปริมาณน้ำสับปะรดมีผลต่อการย่อยน้ำตาลของยีสต์"

"ความหวานหรือปริมาณน้ำตาลที่อยู่ในสับปะรดมีผลต่อปริมาณอัลกอฮอลที่เกิดขึ้น"

จากสมมติฐานที่ยกตัวอย่างมาข้างต้น หากเราเลือกเอาสมมติฐานแรกมามาตรวจสอบ เราอาจจะออกแบบการทดลองได้โดยใช้ชุดการทดลอง 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ทำการหมักสับปะรดโดยใช้ปริมาณยีสต์จำนวนหนึ่ง (สมมติว่า 1 หน่วย) และชุดที่ 2 ทำการหมักสับปะรดโดยใช้ปริมาณยีสต์เพิ่มเป็น 2 ของชุดแรก (สมมติว่า 2 หน่วย) โดยที่ชุดการทดลองทั้ง 2 ชุดนั้นใช้สับปะรดพันธุ์เดียวกัน ปลูกในพื้นที่เดียวกัน และเก็บเกี่ยวมาพร้อม ๆ กัน ใช้สับปะรดปริมาณเท่ากัน ภาชนะเหมือนกัน และตั้งไว้ในสภาพแวดล้อมที่เหมือนกัน จากนั้นจึงเฝ้าสังเกตติดตาม และบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยการตรวจวัดหาความเข้มข้นของอัลกอฮอล์ที่เกิดขึ้น เป็นต้น

จากตัวอย่างทั้งสองสถานการณ์นี้ นักศึกษาคงจะเห็นแล้วว่าสมมติฐานมีผลต่อการกำหนดทิศทางและการออกแบบการทดลองของนักวิทยาศาสตร์อย่างไร ดังนั้นการกำหนดสมมติฐานจึงมิใช่เป็นการคาดเดาลอย ๆ หากแต่เป็นการคาดเดาโดยอาศัยทฤษฎีหรือความรู้พื้นฐานมาใช้ในการคาดเดานี้ โดยที่สมมติฐานของนักวิทยาศาสตร์จะมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากเท่าไรก็ขึ้นอยู่กับเหตุผลและทฤษฎีที่รองรับการตั้งสมมติฐานนั้นว่ามีความน่าเชื่อถือและมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงไร ดังนั้นการทดลองของนักวิทยาศาสตร์จึงมักมีทฤษฎีนำทาง (Theory - laden) ซึ่งอาจแตกต่างจากการทดลองในโรงเรียนที่มักเป็นการปฏิบัติตามขั้นตอนที่ครูหรือหนังสือเรียนกำหนดไว้แล้ว (ลฎาภา ลดาชาติ, 2562)

4. การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการคิดทั้งในเชิงทฤษฎีและในทางปฏิบัติ (Klahr & Dunbar, 1988) ฉะนั้นแล้วการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ย่อมมีวิธีการที่หลากหลาย มีความแตกต่างกันไปตามจุดมุ่งหมาย เนื้อหาการทดลอง อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จะใช้ตลอดจนระยะเวลาที่ใช้ต่อการทดลอง โดยเป็นการวางแผนการทดลองก่อนลงมือปฏิบัติจริง โดยให้สอดคล้องกับปัญหาหรือสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทดลอง ได้แก่

1. ตัวตัวแปรต้น (Manipulated Variable) คือ ตัวแปรที่ต้องทำการตรวจสอบดูว่าเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลเช่นนั้นหรือไม่

2. ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ ผลที่เกิดจากการทดลองตามตัวแปรต้น โดยการสังเกตหรือวัดผลด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อเก็บข้อมูลไว้

3. ตัวแปรควบคุม (Control Variable) คือปัจจัยอื่นๆ ที่นอกเหนือจากตัวแปรต้นที่มีผลต่อการทดลอง และต้องควบคุมให้เหมือนกันทุกชุดการทดลอง เพื่อป้องกันไม่ให้ผลการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อน

ในการทดลองใด ๆ จึงต้องมีการทดลองอย่างน้อย 2 ชุด คือ 1) ชุดทดลอง หมายถึง ชุดที่เราใช้ศึกษาผลของตัวแปรต้น 2) ชุดควบคุม หมายถึง ชุดของการทดลองที่ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งชุดควบคุมนี้จะมีตัวแปรต่าง ๆ เหมือนชุดทดลองแต่จะแตกต่างจากชุดทดลองเพียง 1 ตัวแปรเท่านั้น คือตัวแปรที่เราจะตรวจสอบหรือตัวแปรควบคุม เมื่อได้ออกแบบวางตัวแปรในการทดลอง จึงค่อยลงมือทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้อาจทำการทดลองหลายๆ ซ้ำ เพื่อความมั่นใจผลการทดลองพร้อมกับรวบรวมข้อมูลบันทึกผลการทดลอง

ตัวอย่างการกำหนดตัวแปรในการทดลอง เช่น เมื่อเราเกิดข้อสงสัยว่าหญ้าที่ขึ้นในบริเวณที่มีแสงแดดมากกับที่ขึ้นบริเวณแสงแดดน้อยเจริญงอกงามต่างกัน เราจึงตั้งสมมติฐานขึ้นว่า

"แสงแดดทำให้ต้นหญ้าเจริญงอกงาม ดังนั้น ต้นหญ้าที่ถูกแสงแดดจะเจริญงอกงาม ส่วนต้นหญ้าที่ไม่ถูกแสงแดดจะไม่เจริญงอกงามหรือเฉาตายไป"

คำตอบที่เราคาดคะเนไว้นี้จะถูกต้องหรือไม่ จะต้องทดลองโดยออกแบบการทดลองนำต้นหญ้า 2 ชุดการทดลอง ชุดหนึ่งปลูกในที่ที่มีแสงแดด ส่วนอีกชุดหนึ่งปลูกโดยใช้ถุงพลาสติกสีดำครอบไว้ไม่ให้ได้รับแสงแดด ทำการควบคุมโดยใช้ดินชนิดเดียวกันในการปลูก ใช้แปลงปลูกหรือกระถางที่เหมือนกันและมีขนาดเท่ากันที่มี ปริมาณน้ำที่รดให้หญ้าทั้ง 2 ชุดให้เท่ากัน และรดน้ำเป็นเวลาในเวลาที่เหมือนกัน เป็นเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ จากนั้นจึงทำการสังเกตและบันทึกผล

จากการทดลองดังกล่าวนี้ ตัวแปรต้น คือ แสงแดด ตัวแปรตาม คือ การเจริญเติบโตงอกงามของต้นหญ้า ส่วนตัวแปรควบคุม คือ ปริมาณน้ำ ชนิดของดิน ปริมาณของดิน ชนิดของกระถางที่ใช้ปลูก ขนาดของกระถาง ชนิดของต้นหญ้า และเวลาที่รดน้ำ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ สรุปผลการทดลองได้เป็นคำตอบในข้อสงสัยของเรา เป็นต้น

5. การกำหนดปัญหาจากผลการทดลอง

การทำงานเกี่ยวกับการสืบเสาะของนักวิทยาศาสตร์นั้น สิ่งที่น่าสนใจอย่างหนึ่ง ก็คือ ความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการทดลองกับปัญหาใหม่ ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทดลองหรือเกิดขึ้นหลังจากที่การทดลองอย่างหนึ่งเสร็จสิ้นไป การมองเห็นปัญหา เป็นเรื่องของความช่างสังเกตและความคิดที่ลึกซึ้งของการเป็นนักวิทยาศาสตร์ แต่อย่างไรก็ตาม รายละเอียดเกี่ยวกับการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองก็เป็นสิ่งที่ช่วยแนะปัญหา อันจะนำไปสู่การสร้างสมมติฐานและทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานอื่น ๆ ตอ ๆ ไป อันเป็นผลทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นความก้าวหน้าทาง

วิทยาศาสตร์ ดังนั้นนักศึกษาเอง ในฐานที่เป็นครูวิทยาศาสตร์จึงควรไดลองฝึกตั้งข้อสงสัยหรือตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ใหม่ ๆ จากผลการทดลองที่ได้ทำมาแล้วด้วย

ตัวอย่างเช่น จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหมักสับปะรดให้เป็นอัลกอฮอล์ในตัวอย่างก่อนหน้านั้น หากสมมติฐานทั้ง 4 สมมติฐานได้รับการตรวจสอบเสร็จสิ้นลงไปแล้วว่าทั้ง ปริมาณยีสต์ ปริมาณอากาศ ปริมาณน้ำตาลในสับปะรด และปริมาณน้ำในสับปะรดต่างก็มีผลต่อปฏิกิริยาการย่อยสลายน้ำตาลของยีสต์ทั้งสิ้น นักศึกษาคิดว่าเราจะตั้งคำถามเพื่อให้เกิดการสืบเสาะต่อไป ได้อย่างไรบ้าง

ตัวอย่างคำตอบ เช่น

“พันธุ์ของสับปะรดมีผลต่อการย่อยสลายน้ำตาลของยีสต์หรือไม่”

“อายุการเก็บเกี่ยวของสับปะรดมีผลต่อการย่อยสลายน้ำตาลของยีสต์หรือไม่”

“สถานที่ปลูกของสับปะรดมีผลต่อการย่อยสลายน้ำตาลของยีสต์หรือไม่”

กิจกรรมในชั้นเรียน

กิจกรรมเรื่อง “สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม GMO” เป็นกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อสาธิตการจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์และใช้เป็นสถานการณ์ในการเก็บข้อมูลวิจัย กิจกรรมนี้ถูกพัฒนาขึ้นตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2563)

1. แบ่งนักศึกษาออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน
2. ผู้สอนให้นักศึกษาสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ “สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม” และบันทึกความรู้ที่ได้ลงในใบกิจกรรมที่ 1
3. ผู้สอนกำหนดสถานการณ์ให้นักศึกษาแต่ละกลุ่มออกแบบการทดลองจากสถานการณ์ต่อไปนี้ (30 นาที)

> ถ้าหากนักศึกษาเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานอยู่ในสถาบันวิจัยแห่งชาติ BioTech และได้รับนโยบายของสถาบันให้ทำวิจัยศึกษาเพื่อตรวจสอบว่า อาหารที่มาจากสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์หรือไม่ อย่างไร? ในฐานนักวิทยาศาสตร์นักศึกษาจะกำหนดสมมติฐาน และออกแบบการทดลองนี้ได้อย่างไร

4. นักศึกษาแต่ละกลุ่มเขียนแผนภาพเพื่อแสดงวิธีการทดลอง และนำภาพไปติดไว้บนผนังห้องเรียน

5. ผู้สอนใช้เทคนิค Gallery Walk โดยให้นักศึกษาแต่ละกลุ่มเดินสำรวจวิธีการทดลองของเพื่อน ๆ กลุ่มอื่น โดยให้พิจารณาถึง **ความเหมาะสม ความรัดกุม และสามารถดำเนินการได้จริง** ทั้งนี้หากมีข้อสงสัยหรือข้อโต้แย้งเกี่ยวกับวิธีการทดลองให้นักศึกษาใช้ปากกาธรรมดา เขียนบนแผนภาพของเพื่อนกลุ่มอื่น ๆ นั้นได้ (20 นาที)
6. นักศึกษาแต่ละกลุ่มกลับมาประจำตำแหน่งแผนภาพของกลุ่มตนเอง และอ่านข้อความที่เพื่อน ๆ กลุ่มอื่นเขียนไว้
7. ผู้สอนนำประเด็นการออกแบบทดลองของนักศึกษาแต่ละกลุ่มมาอภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียนอีกครั้ง และสรุปประเด็นการออกแบบการทดลองของนักวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

ลฎาภา ลดาชาติ. (2562). ครูวิทยาศาสตร์ออกแบบการทดลองที่มีทฤษฎีนำทาง: กรณีศึกษาเรื่องการปฏิสนธิในมนุษย์. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 30*(2), 28–40.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2563). *เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรเพิ่มศักยภาพครูให้มีสมรรถนะของครูยุคใหม่สำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์*. สุราษฎร์ธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี.

Arnold, J. C., Kremer, K., & 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.

Klahr, D. and Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science.12*(1), 1-48.

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(6), 497-521.

Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education, 88*(4), 610-645.

Wilke, R. R., & Straits, W. J. (2005). Practical Advice for Teaching Inquiry-Based Science Process Skills in the Biological Science. *The American Biology Teacher, 67*(9), 534-540.