

มุมห้องเรียน

Take a Peek at a Classroom Corner

โกเมศ นาแจ่ง

**ถอดบทเรียนจากครูฟิสิกส์:
อุปนัย (Induction) หรือ นิรนัย (Deduction) กับการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์
เรื่อง สมบัติคลื่น**

**A Lesson Derived from A Physics Teacher: Induction or
Deduction to Learning Physics about Wave Properties.**

บทนำ

ทำไมครูสอนวิทยาศาสตร์ต้องเข้าใจวิธีการสอนแบบอุปนัยและนิรนัยอย่างลึกซึ้ง ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะทั้งสองวิธีเป็นหัวใจหลักของกระบวนการสร้างองค์ความรู้ของนักปรัชญาทาง วิทยาศาสตร์ตั้งแต่ยุคก่อนคริสตกาล เป็นองค์ประกอบของทักษะการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific thinking skills) ที่ในวงการศึกษาวิทยาศาสตร์ปัจจุบันใช้คำว่า การโต้แย้งเชิง วิทยาศาสตร์ (Scientific argumentation) (Matthews, 2015: 169) และเป็นวิธีสอนที่ยังคง ร่วมสมัยมาจนถึงปัจจุบัน ครูสามารถนำไปจัดประสบการณ์ให้กับนักเรียนได้เรียนรู้ กระบวนการสร้างองค์ความรู้จนนำไปสู่การสร้างความรู้ความเข้าใจในโน้ตทัศน์ทางวิทยาศาสตร์อย่าง เหมาะสมได้ ถึงแม้ว่าครูหลายท่านอาจทราบกันดีว่าการสอนแบบนิรนัยและอุปนัยคืออะไร ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกัน บางท่านอาจมีความเข้าใจว่า วิธีการสอนแบบอุปนัยดีกว่าแบบ นิรนัย เนื่องจากนักเรียนเป็นผู้สร้างความรู้ได้ด้วยตนเองตามแนวทฤษฎีการเรียนรู้แบบ สรรคนิยม (Constructivism) จริงหรือไม่

ในบทความนี้ผู้เขียนใช้วิธีการถอดบทเรียน (Lesson-learned) ซึ่งเป็นกระบวนการ หนึ่งที่ชาวการศึกษาเรียกกันว่า ชุมชมแห่งการเรียนรู้เชิงวิชาชีพ (Professional learning community) เพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์การปฏิบัติส่วนบุคคล จากการวิเคราะห์ผลการ จัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสอนแบบอุปนัยเรื่องสมบัติของคลื่นผิวน้ำ ที่หลายสถานศึกษานิยม ทดลองด้วยถาดคลื่น เพื่อนำนักเรียนไปสู่การสรุปสมบัติของคลื่นผิวน้ำ อันเป็นโน้ตทัศน์พื้นฐาน

สำคัญของการสอนสมบัติคลื่นเสียงและแสงในรายวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ทำให้พบอุปสรรคในระหว่างการเรียนรู้ของนักเรียนบางประการ จึงทดลองปรับเปลี่ยนวิธีโดยหาแนวทางที่จะทำให้ให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาเรื่องนี้ได้ง่ายขึ้น ซึ่งพบวิธีที่เหมาะสมที่สามารถช่วยให้นักเรียนสังเกต ทดลองสมบัติต่างๆ ของคลื่นผิวน้ำได้สำเร็จ และเกิดการใช้ความรู้ในกระบวนการเรียนรู้ได้อย่างมีความหมาย

จุดเริ่มต้นของอุปนัย-นินัย

หากกล่าวถึงการอุปนัยและการนินัยแล้วนั้น สองวิธีการนี้เป็นวิธีที่นักวิทยาศาสตร์และนักปรัชญาเริ่มรับรู้ว่ามี การนำมาใช้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์และใช้ตรวจสอบองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยนักปรัชญาวิทยาศาสตร์ชาวกรีกที่ชื่อ อริสโตเติล (384-322 ก่อนคริสตกาล) ในหนังสือ Posterior Analytics, Physics and Metaphysics ซึ่งเขากล่าวไว้ว่า แนวคิดการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการพัฒนาจากการสังเกตปรากฏการณ์จนนำไปสู่การสร้างหลักการทั่วไป และนำหลักการดังกล่าวที่สร้างขึ้นกลับมาอธิบายหรือคาดคะเนปรากฏการณ์อีกครั้ง (Stadler, 2004: 1) จากจุดเริ่มต้นนี้เองทำให้เกิดการตรวจสอบความถูกต้องในวิธีการของอริสโตเติลโดยนักปรัชญาและนักวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่ยุคกลาง จนถึงศตวรรษที่ 20 ว่าอุปนัยหรือนินัยที่เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ หรือเป็นวิธีการที่แยกออกจากกัน หรือเป็นวิธีการที่เกี่ยวข้องด้วยกันไม่สามารถพิจารณาแยกออกจากกันได้ ผู้สนใจสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ในหนังสือ Induction and deduction in the sciences เขียนโดย Friedrich Stadler

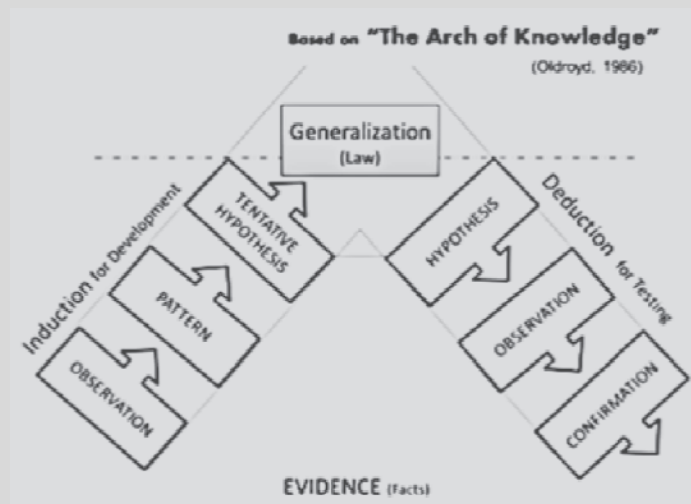
จะพบว่านักปรัชญา นักวิทยาศาสตร์รวมถึงนักการศึกษาต่างเสนอข้อโต้แย้งด้วยหลักการและข้อเท็จจริงเพื่อหาข้อสรุปว่าวิธีใดเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ในความเห็นของผู้เขียนมองว่าทั้งอุปนัยและนินัยต่างเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อหาคำตอบและอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ และเป็นวิธีการที่อยู่คู่กัน ขึ้นอยู่กับจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นมาทดสอบแนวคิดเพื่ออธิบายและสร้างข้อสรุปใหม่อีกครั้ง

ความหมาย และหลักการอุปนัย-นินัย

จากการสืบค้นความหมายในพจนานุกรมศัพท์ศึกษาศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน (2551: 110, 219) และคำศัพท์ทางการศึกษาวิทยาศาสตร์ที่เขียนโดย McComas (2014: 31, 49) สรุปได้ว่า อุปนัย (Induction) เป็นวิธีการให้เหตุผลโดยเริ่มจากการสังเกตข้อเท็จจริงย่อยๆ เฉพาะเรื่องชุดหนึ่ง เพื่อนำไปสู่การสร้างกฎ หรือทฤษฎีใหม่ๆ ในขณะที่ นินัย (Deduction) เป็นวิธีการให้เหตุผลโดยใช้กฎ หรือทฤษฎีเพื่อทดสอบและประเมินแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เฉพาะเรื่อง

หากศึกษาความหมายในแง่ของวิธีการสอน ดังที่ ทิศนา แคมมณี (2552: 337-342) และราชบัณฑิตยสถาน (2551: 110, 219) ได้ให้ความหมายวิธีการสอนทั้งสองไว้ดังนี้ วิธีการสอนแบบอุปนัย (Induction method) เป็นการสอนที่ให้ผู้เรียนสรุปหลักการจากตัวอย่างต่างๆ ด้วยตนเอง ในขณะที่ วิธีการสอนแบบนิรนัย (Deductive method) เป็นการสอนจากหลักการไปสู่ตัวอย่างย่อยๆ หรือจากกฎเกณฑ์ไปหาตัวอย่าง

อาจกล่าวได้ว่า อุปนัยเป็นกระบวนการใช้ที่ใช้เพื่อสร้างแนวคิดและหลักการทั่วไป ในขณะที่นิรนัย เป็นกระบวนการให้เหตุผลที่สัมพันธ์กับอุปนัยใช้เพื่อทดสอบแนวคิด ซึ่งมี นักการศึกษาวิทยาศาสตร์ได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์และความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการอุปนัยและวิธีการนิรนัยเป็นซุ้มประตูความรู้ (The arch of knowledge) ดังภาพ (Oldroyd, 1986: 49)



โดยซุ้มประตูเริ่มต้นจากการใช้วิธีอุปนัยด้วยการสังเกตข้อเท็จจริง เพื่อสร้างแบบแผนหลักการทั่วไป หรือกฎ ซึ่งหลักการทั่วไปที่จะต้องประกอบขึ้นจากสิ่งที่สังเกตและอธิบาย สิ่งสังเกตได้มากที่สุด และแสดงได้ว่าใช่หรือไม่ใช่ จากนั้นจึงเป็นการใช้วิธีนิรนัยเพื่อตรวจสอบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ หรือที่ Oldroyd เรียกว่า Hypothetico-deductive เป็นลักษณะที่สำคัญของซุ้มประตูความรู้ โดยเริ่มต้นจากการเขียนเพื่อกำหนดสมมติฐานที่สามารถทดสอบได้ จากนั้นลงมือทดลอง หรือเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตเพื่อทดสอบสมมติฐาน และ

พิจารณาว่าเป็นไปตามหลักการหรือไม่ ซึ่งบทบาทของทั้งสองวิธีต่างเป็นหัวใจที่สำคัญของธรรมชาติวิทยาศาสตร์ (The nature of science) จึงสรุปได้ว่า ครูวิทยาศาสตร์จึงควรส่งเสริมโดยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกการให้เหตุผลทั้งสองวิธี

ถอดบทเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่อง สมบัติคลื่นผิวน้ำ

หากครูลองฝึกใช้คำถามต่อไปนี้

- 1) มีวิธีการใดบ้างที่สามารถช่วยให้นักเรียนเข้าใจโมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ได้
- 2) มีโมโนทัศน์พื้นฐานใดที่นักเรียนจำเป็นต้องรู้ก่อนเรียน
- 3) มีโมโนทัศน์ใดอาจจะเป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้ได้บ้าง
- 4) มีสื่อการเรียนรู้หรือเครื่องมือใดที่ครูต้องมีเพื่อช่วยส่งเสริมการสร้าง ความเข้าใจ

ของนักเรียนได้ง่ายยิ่งขึ้น

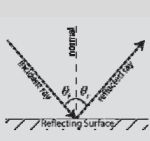
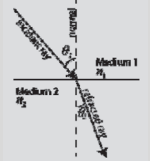
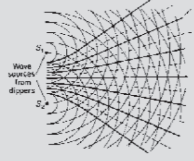
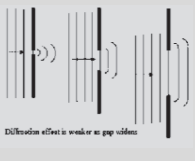
คำถามข้างต้นเป็นคำถามที่ Gess-Newsome และ Lederman (1999: 95) ได้กล่าวไว้ว่า หากครูใช้คำถามลักษณะนี้ก่อนออกแบบการจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนของตนเองและปฏิบัติเป็นประจำ จะเป็นครูที่มีความรู้เกี่ยวกับวิชาชีพครูสูง (Pedagogy Content Knowledge: PCK) ผู้เขียนมีความเห็นว่า ครูไม่เพียงมีความรู้เรื่องความหมายหรือเปรียบเทียบความต่างของอุปนัยและนิรนัยเพียงเท่านั้น แต่ต้องสามารถเลือกวิธีสอนแบบอุปนัยหรือนิรนัย หรือทั้งสองวิธีโดยใช้อย่างเหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของโมโนทัศน์ที่สอน เลือกวิธีการเรียนรู้ที่ทำให้ให้นักเรียนเข้าใจและเห็นภาพได้ง่าย เหมาะสมกับคาบเรียนที่มีอยู่อย่างจำกัดและเกิดประสิทธิภาพ และไม่ลืมที่จะช่วยให้นักเรียนของตนเกิดความสามารถ คุณลักษณะ และทักษะที่จำเป็นผ่านกระบวนการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์

การสอนเรื่องสมบัติคลื่นผิวน้ำ ผู้เขียนขออภิปรายเป็นลำดับหัวข้อ ดังนี้

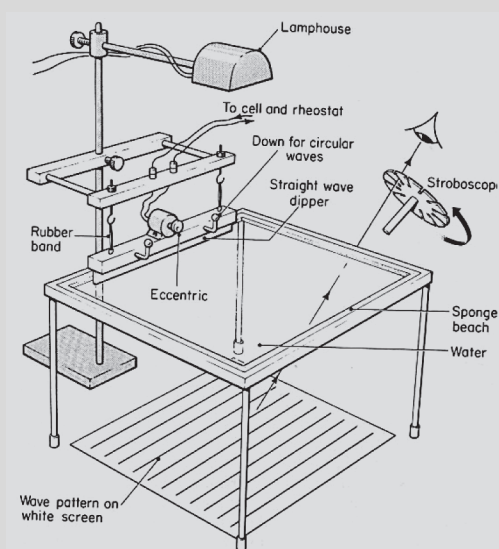
การวิเคราะห์โมโนทัศน์ เรื่องสมบัติคลื่นผิวน้ำ

สมบัติของคลื่นเป็นหัวข้อหนึ่งที่อยู่ภายใต้หัวข้อหลักเรื่องคลื่น (Wave) ในวิชาฟิสิกส์ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของคลื่น ซึ่งสมบัติคลื่นประกอบด้วย 4 สมบัติได้แก่ สมบัติการสะท้อน สมบัติการหักเห สมบัติการแทรกสอด และสมบัติการเลี้ยวเบน โดยทั้ง 4 สมบัตินี้จะเป็นความรู้พื้นฐานให้กับการเรียนรู้เรื่องสมบัติของคลื่นเสียงและคลื่นแสงต่อไป เมื่อวิเคราะห์สามารถสรุปเป็นตัวอย่างได้ดังตาราง วิเคราะห์สมบัติคลื่นผิวน้ำ ดังนี้

ตาราง วิเคราะห์หมโนทัศน์ของสมบัติคลื่นผิวน้ำทั้ง 4 สมบัติ

สมบัติ หมโนทัศน์	การสะท้อน	การหักเห	การแทรกสอด	การเลี้ยวเบน
ภาพหรือ ลักษณะของ สมบัติคลื่น ที่สังเกตได้				
เงื่อนไขการ เกิดสมบัติ คลื่นผิวน้ำ	เมื่อคลื่นไปเจอ สิ่งกีดขวางที่มีขนาด ใหญ่กว่าความยาว คลื่น	เมื่อระดับน้ำมีความลึกดิน แตกต่างกัน	เมื่อมีแหล่งกำเนิดคลื่น ตั้งแต่ 2 แหล่ง	เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่าน ช่องแคบเดียว
หลักการของ สมบัติคลื่น ผิวน้ำ	มุมตกกระทบ- มุมสะท้อน	ความยาวคลื่นในน้ำลึก มากกว่าในน้ำตื้น	ความสัมพันธ์ของผลต่าง ระยะทางมีค่าเป็นจำนวน เท่าของความยาวคลื่น	ความกว้างของช่องแคบ มีผลต่อการเลี้ยวเบน ของคลื่น
กฎหรือ สมการความ สัมพันธ์	กฎการสะท้อน	กฎของสเนลล์ $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$	$IS_1P-S_2P = n \lambda$	$d \sin \theta = n \lambda$

ลักษณะของคลื่นผิวน้ำทั้ง 4 สมบัติ ครูผู้สอนสามารถแสดงเพื่อให้นักเรียนสังเกตผ่าน
การทดลองโดยใช้ถาดคลื่นน้ำดังภาพ



ที่มาภาพ <http://physicsmax.com/>

ก่อนที่นักเรียนจะสามารถบันทึกลักษณะต่างๆ ของสมบัติคลื่นได้นั้น นักเรียนควรมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับองค์ประกอบของคลื่นทั้งหมด เนื่องจากเป็นมโนทัศน์พื้นฐานที่นักเรียนจะใช้ศึกษาสมบัติคลื่น เช่น การสังเกตความยาวคลื่น 1 ลูกคลื่นสังเกตอย่างไร การคำนวณหาอัตราเร็วคลื่นจาก การสังเกตแนวขั้ว แนวปฏิบัติขั้ว ที่เกิดจากการซ้อนทับกันของคลื่น การหาสมการความสัมพันธ์ของผลต่างระยะทางมีลักษณะเป็นอย่างไร เป็นต้น

ปัญหาและอุปสรรคที่พบหลังใช้วิธีการสอนแบบอุปนัยกับการทดลองเรื่องสมบัติคลื่นผิวน้ำ

เริ่มแรกผู้เขียนได้ทดลองสอนโดยให้นักเรียนสังเกตลักษณะเฉพาะของสมบัติคลื่นผิวน้ำทั้ง 4 สมบัติ ผ่านการทดลอง ทำให้พบปัญหาที่ว่า นักเรียนยังไม่รู้วิธีการสังเกตแบบแผนหรือลักษณะเฉพาะของสมบัติคลื่นผิวน้ำ

ทั้ง 4 การวาดภาพแสดงองค์ประกอบที่เป็นลักษณะสำคัญของสมบัติคลื่นแต่ละสมบัตินั้น ความชัดเจน ซึ่งอาจจะท่อนว่า นักเรียนทดลองไปโดยไม่รู้ว่าสิ่งที่สังเกตคืออะไร ส่งผลให้นักเรียนใช้เวลาในการปฏิบัติการทดลองมาก การสอนไม่บรรลุผลสำเร็จ ข้างครูต้องใช้เวลาเพื่ออธิบายเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนเข้าใจอย่างถ่องแท้

จึงกล่าวได้ว่า การสอนเรื่องสมบัติคลื่นผิวน้ำอาจไม่เหมาะสมกับวิธีการแบบอุปนัยเท่าไรนัก

เมื่อปรับเปลี่ยนวิธีสอนเป็นวิธีการสอนแบบนิรนัยสำหรับการทดลองเรื่อง สมบัติคลื่นผิวน้ำ

ครูจะต้องสอนเรื่องสมบัติคลื่นผิวน้ำทั้ง 4 โดยใช้การสอนแบบสืบสอบร่วมกับการใช้คำถาม การใช้สื่อวีดิทัศน์ สื่อแอนิเมชัน แผนภาพที่แสดงสมบัติคลื่นประกอบ เพื่อให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ในสมบัติคลื่นทั้ง 4 สมบัติก่อน จากนั้นจึงนำนักเรียนทดลองเพื่อสังเกตลักษณะของสมบัติคลื่นแต่ละสมบัติ ทั้งนี้เนื่องจากนักเรียนมีความรู้เชิงทฤษฎีมาก่อนแล้วว่าลักษณะสมบัติคลื่นเป็นอย่างไร ครูจึงควรกำหนดภาระงานในการทดลองแต่ละสมบัติของคลื่นผิวน้ำ รวมถึงการพัฒนาการทำงานเป็นทีม วางแผนเพื่อทดลองให้สำเร็จตามเป้าหมาย ซึ่งตัวอย่างการกำหนดภาระงานมีดังนี้

1) **สมบัติการสะท้อน** ให้นักเรียนทดลองเพื่อแสดงสมบัติการสะท้อนโดยการวางองค์ประกอบของคลื่นให้ถูกต้องดังปรากฏในแผนภาพที่ 1 พร้อมวัดความยาวคลื่น ความถี่ และคำนวณหาอัตราเร็วคลื่น จากนั้นจึงวาดภาพบันทึกลงในสมุดบันทึก

2) **สมบัติการหักเห** ให้นักเรียนทดลองเพื่อแสดงสมบัติการหักเห โดยการวางองค์ประกอบของคลื่นให้ถูกต้องดังปรากฏในแผนภาพที่ 2 พร้อมวัดความยาวคลื่นในน้ำตื้นและน้ำลึกเปรียบเทียบกับกัน รวมถึงคำนวณหาอัตราเร็วคลื่นในน้ำตื้นและน้ำลึก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวาดภาพบันทึกลงในสมุดบันทึก

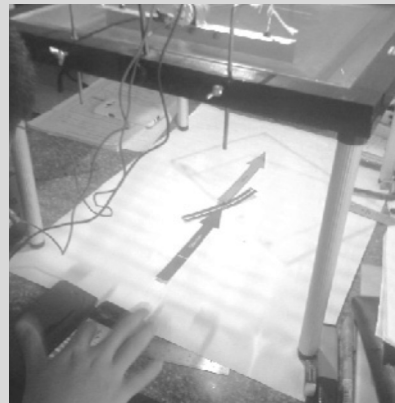
3) **สมบัติการแทรกสอด** ให้นักเรียนทดลองเพื่อแสดงสมบัติการแทรกสอด โดยคำนวณหาผลต่างระยะทางจากจุดที่สนใจที่อยู่บนแนวปฏิบัติและบัพ เพื่อคำนวณหาความยาวคลื่นทั้งสองกรณี พร้อมวาดภาพบันทึกลงในสมุดบันทึก

4) **สมบัติการเลี้ยวเบน** ให้นักเรียนทดลองเพื่อแสดงสมบัติการเลี้ยวเบน โดยศึกษาเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนดีหรือไม่ดี พร้อมระบุแนวบัพที่เกิดขึ้น และวาดภาพลงในสมุดบันทึก

ภาพตัวอย่าง การทดลองเรื่องสมบัติคลื่นผิวน้ำที่นำลูกศรมาช่วยการสังเกตปรากฏการณ์ให้ง่ายขึ้น



ภาพ 1 การทดลองสมบัติการสะท้อน



ภาพ 2 การทดลองสมบัติการหักเห

ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น คือ นักเรียนสามารถกำกับตนเองและสมาชิกในกลุ่มเพื่อทดลองสมบัติของคลื่นผิวน้ำทั้ง 4 สมบัติได้ อีกทั้งยังสามารถวาดภาพที่สะท้อนลักษณะสำคัญของสมบัติคลื่นออกมาได้อย่างถูกต้อง ผู้เขียนจึงเสนอวิธีการนัยเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการสอนลักษณะสมบัติของคลื่น

บทสรุป

การสอนวิทยาศาสตร์ไม่ว่าสาขาวิชาใดก็ตามล้วนมีความเกี่ยวข้องกับวิธีการอุปนัย และวิธีการนิรนัย เนื่องจากวิธีการทั้งสองเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่นักวิทยาศาสตร์ใช้เพื่ออธิบายและหาคำตอบ ครูผู้สอนควรวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเนื้อหาว่านักเรียนควรใช้วิธีการเรียนรู้แบบใด เนื้อหาใดที่ครูสามารถออกแบบให้นักเรียนทดลองเพื่อเห็นความสัมพันธ์ของตัวแปรและนำไปสู่ข้อสรุปได้ วิธีการที่ใช้ควรเป็น วิธีการสอนแบบอุปนัย เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้และเข้าใจที่มาของกระบวนการสร้างองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างเช่น ความเร่ง กฎของโอห์ม ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้านทาน การเกิดภาพจากเลนส์ เป็นต้น แต่ถ้าหากเนื้อหาดังกล่าวนักเรียนมีความจำเป็นต้องมีความรู้มาก่อนจึงจะเรียนรู้ได้ดี วิธีการที่ใช้ควรเป็น วิธีการสอนแบบนิรนัย ตัวอย่างเช่น การทดลองสมบัติคลื่น และการสอนเรื่องการสังเกตกลุ่มดาวบนท้องฟ้าจริง กล่าวคือ ก่อนที่นักเรียนจะสามารถสังเกตกับท้องฟ้าจริงได้ นักเรียนจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจก่อนว่ากลุ่มดาวมีลักษณะการเรียงตัว เป็นอย่างไร จึงจะสามารถไปสังเกตกลุ่มดาวในท้องฟ้าจริงอย่างมีความหมายได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ราชบัณฑิตยสถาน (2551). *พจนานุกรมศัพท์ศึกษาศาสตร์ อักษร A-L ฉบับราชบัณฑิตยสถาน*. กรุงเทพมหานคร: อรุณการพิมพ์.
- ทศนา เขมมณี (2552). *ศาสตร์การสอน:องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ* (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพมหานคร: บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.

ภาษาอังกฤษ

- Oldroyd, D. R. (1986). *The arch of knowledge: An introductory study of the history of the Philosophy and methodology of science*. New York, NY: Methuen.
- Gess-Newsome, J., & Lederman, N. (1999). *Examining pedagogical content knowledge: The Construct and its implications for science education*. Boston, MA: Kluwer.
- Stadler, F. (2004). *Induction and deduction in the sciences*. Austria: Springer Science + Business Media, B.V.

McComas, F.W. (2014). *The Language of Science Education An Expanded Glossary of Key Terms and Concepts in Science Teaching and Learning*. Netherlands: Sense Publishers

Michael, R.M. 2015. *Science teaching: The contribution of history and philosophy of science, 20th anniversary revised and expanded edition*. (2nd edition.) New York: Routledge

ผู้เขียน

อาจารย์โกเมศ นาแฉ่ง อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม E-mail: komed.na@gmail.com