**Practices สำหรับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ 12 ชั้นปี (ป.1 – ม.6)**

 Practices สำหรับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ใน 12 ชั้นปี (ป.1 – ม.6) ที่จะกล่าวถึงนี้ มีที่มาจากการศึกษาการปฏิบัติงานของผู้ประกอบอาชีพนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรโดยตรง ซึ่งคณะผู้จัดทำเอกสารเชื่อว่า การเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ลองลงมือปฏิบัติ ได้ค้นพบสิ่งต่างๆ ด้วยตัวพวกเขาเอง ว่าทำไม Practice ต่างๆ เหล่านี้ จึงเป็นหัวใจสำคัญของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ในการที่จะให้นักเรียนได้เห็นคุณค่าของทักษะและธรรมชาติของงานนี้

 คณะผู้จัดทำเอกสารได้พิจารณาเห็นว่า สำหรับหลักสูตรการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับชั้น ป.1 - ม.6 ควรมี Practices สำคัญ 8 ข้อหลักดังต่อไปนี้

1. การตั้งคำถามและการระบุปัญหา (Asking questions and defining problems)
2. การสร้างและการใช้แบบจำลอง (Developing and using models)
3. การวางแผนและดำเนินการสำรวจตรวจสอบ (Planning and carrying out investigations)
4. การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล (Analyzing and interpreting data)
5. การใช้คณิตศาสตร์และการคิดเชิงคำนวณ (Using mathematics and computational thinking)
6. การสร้างคำอธิบายและการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา (Constructing explanations and designing solutions)
7. การโต้แย้งบนพื้นฐานของประจักษ์พยาน (Engaging in argument from evidence)
8. การเสาะหา ประเมิน และสื่อสารข้อมูล (Obtaining, evaluating and communicating information)

รายละเอียดของ Practice ทั้ง 8 ตัวข้อ ประกอบด้วย (1)คำอธิบายของ Practice แต่ละอย่าง (2)ทักษะที่นักเรียนควรมีเมื่อเรียนจบชั้น ม.6 (Goals) และ (3)พัฒนาการที่ควรเกิดตามระดับชั้นปี (Progression) การจัดทำเนื้อหาในส่วนนี้ มุ่งสนับสนุนให้นักเรียนทุกคนได้พัฒนาทักษะและเจตคติให้เพียงพอที่จะสนับสนุนการเรียนรู้ และการแสดงออกถึงความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

ทั้งนี้ พึงระลึกเสมอว่า Practice ด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ทั้ง 8 ข้อนี้ เมื่อนำไปปฏิบัติจริง จะมีรูปแบบการดำเนินการไม่เป็นขั้นตอนตามลำดับ 1 2 3 ไปจนถึงขั้นตอนสุดท้าย แต่จะเป็นการดำเนินการที่กลับไปกลับมา และบางครั้ง เป็นการปฏิบัติในหลายหัวข้อร่วมกัน

**Practice ที่ 1 การตั้งคำถามและการระบุปัญหา (Asking questions and defining problems)**

คำถามเป็นกลไกขับเคลื่อนวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ทางวิทยาศาสตร์ถามว่า **มีสิ่งอะไรอยู่ เกิดอะไรขึ้น สิ่งนั้นๆ เกิดขึ้นได้อย่างไร เรารู้สิ่งที่เรารู้ได้อย่างไร** แต่ทางวิศวกรรมศาสตร์จะถามว่า

* เราสามารถทำอะไรได้อีกบ้าง เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการ (need and want) ของมนุษย์
* จะสามารถปรับแก้ความต้องการต่างๆ ให้ชัดเจนยิ่งขึ้นได้อย่างไร
* มีเครื่องมือหรือเทคโนโลยีอะไร ที่สามารถพัฒนาขึ้นมาได้ สำหรับตอบสนองความต้องการที่มีอยู่

ส่วนคำถามที่ทั้งทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ก็ถามตรงกันคือ

* เราจะสามารถสื่อสารสิ่งที่พบ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง หรือ คำอธิบายต่างๆ เกี่ยวกับสิ่งหนึ่งๆ ให้ผู้อื่นเข้าใจได้อย่างไร และเราจะออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาต่างๆ ได้อย่างไร

 การตั้งคำถามที่ดี เป็นหัวใจสำคัญของการสร้างอุปนิสัยแบบนักวิทยาศาสตร์ และแม้กระทั่งผู้ที่ไม่ได้จะเติบโตไปเป็นนักวิทยาศาสตร์หรือวิศวกร ก็ควรสามารถถามคำถามที่ดี (well-defined questions) ที่เป็นพื้นฐานสำคัญของการ “รู้เรื่องวิทยาศาสตร์” (science literacy) ช่วยให้เป็นผู้บริโภคข้อมูลข่าวสารทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่มีวิจารณญาณ และรู้เท่าทัน

 คำถามเชิงวิทยาศาสตร์เกิดขึ้นจากแรงจูงใจต่างๆ ที่หลากหลาย อาจจะเกิดจากความสนใจใฝ่รู้ (curiosity) เกี่ยวกับความเป็นไปของสิ่งต่างๆ รอบตัว (เช่น ทำไมท้องฟ้าจึงมีสีฟ้า) หรือ อาจเกิดจากการคาดเดาเชิงทฤษฎีหรือจากแบบจำลองต่างๆ หรือ อาจจะได้จากการพยายามขยายขอบเขตหรือปรับปรุงทฤษฎีหรือแบบจำลองที่มีอยู่แล้ว (เช่น คำถามว่า แบบจำลองของอนุภาคในสสารสามารถนำมาอธิบายสมบัติของของเหลวได้อย่างไร) หรือ คำถามเหล่านั้น อาจจะเกิดจากความต้องการหาแนวทางการแก้ปัญหา เช่น การพยายามตอบคำถามว่าทำไมจึงไม่สมารถถ่ายเทน้ำ ด้วยวิธีกาลักน้ำ ที่ระดับความสูง 32 ฟุตจากพื้นดินได้ ช่วยให้ Evangelista Torricelli (ผู้ประดิษฐ์บารอมิเตอร์) ค้นพบธรรมชาติของบรรยากาศ (atmosphere) และสภาพสุญญากาศ (vacuum)

 การตั้งคำถามที่ดี สำคัญกับงานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์เช่นกัน วิศวกรจำเป็นต้องถามคำถามเชิงสำรวจตรวจสอบที่ดี เพื่อที่จะสามารถระบุปัญหาเชิงวิศวกรรมได้ ยกตัวอย่างเช่น พวกเขาอาจจะถามว่า ความต้องการพื้นฐานของปัญหานี้คืออะไร เกณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อการแก้ปัญหาได้ดีคืออะไร ขอบเขตและข้อจำกัดต่างๆ ของปัญหานี้คืออะไร

**ทักษะที่คาดหวังเมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับชั้น ม. 6 (Goals)**

เมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 นักเรียนควรมีความสามารถดังต่อไปนี้

* ตั้งคำถามเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ รอบตัวได้ ไม่ว่าจะเป็นสิ่งที่เกิดเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากมนุษย์สร้างขึ้น เช่น ทำไมโลกจึงมีฤดูกาล ผึ้งมีการดำเนินชีวิตอย่างไร ทำไมโครงสร้างตึกจึงถล่ม พลังงานไฟฟ้าได้มาได้อย่างไร
* แยกแยะคำถามที่เป็นวิทยาศาสตร์ (เช่น ทำไมลูกโป่งที่บรรจุแก๊สฮีเลียม จึงลอยขึ้นไปบนท้องฟ้า) กับคำถามที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ (เช่น ลูกโป่งสีไหนสวยงามที่สุด) ได้
* ตั้งคำถามและใช้วิจารณญาณกลั่นกรองลักษณะของคำถามที่สามารถนำไปสู่การทดลองหาคำตอบได้ และสามารถใช้คำถามต่างๆ เหล่านั้น ในการออกแบบการสืบเสาะหาความรู้หรือการสร้างแนวทางการแก้ปัญหาได้จริงในทางปฏิบัติ
* ตั้งคำถามเชิงสำรวจตรวจสอบ ที่บ่งชี้ถึงสมมติฐานตั้งต้นของข้ออภิปรายโต้แย้งต่างๆ ซึ่งนำไปสู่การค้นพบรายระเอียดที่สำคัญเพิ่มเติม เช่น คุณรู้ได้อย่างไร มีหลักฐานหรือข้อเท็จจริงอะไรสนับสนุนข้อโต้แย้งนี้ เป็นต้น
* ระบุ ลักษณะสำคัญ (features) รูปแบบ (patterns) หรือ ข้อขัดแย้ง (contradictions) ในสิ่งที่สังเกต และสามารถตั้งคำถามเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ เหล่านั้นได้
* (สำหรับทางวิศวกรรมศาสตร์) ตั้งคำถามที่นำไปสู่การชี้ชัดถึงความต้องการ และข้อจำกัดและกรอบของแนวทางการแก้ปัญหาได้

**พัฒนาการที่เกิดขึ้นเมื่อเลื่อนระดับชั้นปี (Progression)**

 นักเรียนในทุกระดับชั้น ควรจะมีความสามารถในการตั้งคำถามที่ดี เกี่ยวกับสาระสำคัญในหนังสือเรียน สาระสำคัญของปรากฏการณ์ต่างๆ ที่สังเกตพบ และ ข้อสรุปที่พวกเขาได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นหรือจากการสืบเสาะหาความรู้ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของพวกเขาเอง ในทางวิศวกรรมศาสตร์ นักเรียนต้องสามารถตั้งคำถามที่นำไปสู่การระบุปัญหาที่สามารถแก้ไขได้ และการขยายแนวคิด ที่นำไปสู่การระบุขอบเขตและข้อจำกัดต่างๆ ของการแก้ปัญหาได้

 เมื่อนักเรียนได้เลื่อนชั้นจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่ง คำถามควรจะ เกี่ยวข้องกับบริบทของปัญหา (relevant) จำเพาะเจาะจง (focused) และซับซ้อน (sophisticated) มากขึ้น พัฒนาการของทักษะในการตั้งคำถามของนักเรียน จำต้องอาศัยวัฒนธรรมในห้องเรียนที่ให้เกียรติและให้คุณค่าคำถามที่ดี เปิดโอกาสให้นักเรียนได้กลั่นกรองคำถามที่ตั้งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนมีความชำนาญในการตั้งคำถามที่ดีมากยิ่งขึ้น

**Practice ที่ 2 การสร้างและการใช้แบบจำลอง (Developing and using models)**

 นักวิทยาศาสตร์สร้างแบบจำลองทางความคิด (mental model) และแบบจำลองเชิงความคิดรวบยอด (conceptual model) ของปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ แบบจำลองทางความคิด เป็นแบบจำลองที่ อยู่ข้างใน (internal) เป็นส่วนตัว (personal) ไม่สมบูรณ์ (incomplete) และไม่เสถียร (unstable) แต่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การนำไปเป็นเครื่องมือสำหรับการคิด การคาดการณ์ และการสร้างเหตุผลคำอธิบายรองรับสิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้น

 ในขณะเดียวกัน แบบจำลองเชิงความคิดรวบยอด (conceptual model) เป็นแบบจำลองที่มีความใกล้เคียงกับระบบในธรรมชาติที่ศึกษาอย่างชัดเจน และเป็นแบบจำลองที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ ทั้งนี้ แบบจำลองเชิงความคิดรวบยอดทำให้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรสามารถมองเห็นภาพและเข้าใจสิ่งที่ต้องการศึกษาได้ดียิ่งขึ้น ประเภทของแบบจำลองมีหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น แผนภาพ วัตถุลักษณะเหมือนของจริง สัญลักษณ์ต่างๆ ทางคณิตศาสตร์ หรือ แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

แบบจำลองทั้งหลาย ถึงแม้จะไม่สามารถแทนธรรมชาติที่ซับซ้อนได้ แต่ทำให้เห็นบางแง่มุมที่สำคัญของระบบที่ต้องการศึกษา และเนื่องจากแบบจำลองทุกประเภท ล้วนมีการประมาณ และมีการใช้สมมติฐานเบื้องต้น ในการสร้าง แบบจำลองทุกประเภทจึงมีข้อจำกัด การจะนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ทำนายผลต่างๆ นั้น ล้วนมีค่าคลาดเคลื่อน ดังนั้น การสร้างและการใช้แบบจำลองจึงต้องมีการคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ เสมอ

ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างและปรับปรุงแบบจำลองทางความคิด ที่ใช้แทนระบบของธรรมชาติที่ซับซ้อนได้ แบบจำลองทางความคิดที่ได้รับการแก้ไข ปรับปรุง มากขึ้นเรื่อยๆ จะนำไปสู่ความเข้าใจในธรรมชาติที่ศึกษาได้ลึกซึ้งขึ้น และส่งเสริมการใช้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์อีกด้วย

นักวิทยาศาสตร์อาศัยแบบจำลอง (จากนี้ไป คำว่า “แบบจำลอง” จะหมายถึง “แบบจำลองเชิงความคิดรวบยอดเท่านั้น) เป็นตัวแทนความเข้าใจเกี่ยวกับระบบต่างๆ ที่กำลังศึกษาอยู่ ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาคำถามและคำอธิบายที่ดียิ่งขึ้น แบบจำลองสามารถถูกประเมิน และแก้ไขปรับปรุง และใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการสื่อสารแนวคิดต่างๆ ไปให้ผู้อื่นได้รับรู้

วิศวกรใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ระบบที่มีอยู่ เพื่อช่วยให้ทราบว่าข้อบกพร่องของระบบจะเกิดขึ้นที่ส่วนใด หรือในสภาวะแบบใด แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (computer simulation) มีประโยชน์อย่างมากในการออกแบบและทดสอบแบบต่างๆ ที่สร้างขึ้น ไม่ว่าจะเป็น การออกแบบอาคาร สะพาน หรือ เครื่องบิน ที่มีค่าใช้จ่ายสูงในการสร้างขึ้นมาทดสอบ หรือการสร้างภาวะวิกฤตทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นน้อยครั้ง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสิ่งต่างๆ

อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรที่ใช้แบบจำลองในการศึกษา ค้นคว้า ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดที่มีเสมอ และต้องทำการทดสอบแบบจำลองในสภาวะต่างๆ ที่ทราบแน่ชัด เพื่อเป็นการแน่ใจว่า แบบจำลองที่ใช้นั้นมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ

**ทักษะที่คาดหวังเมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับชั้น ม. 6 (Goals)**

เมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 นักเรียนควรมีความสามารถดังต่อไปนี้

* สร้างภาพหรือแผนภาพ ที่เป็นตัวแทนของเหตุการณ์หรือระบบต่างๆ ที่สนใจศึกษาได้ เช่น การวาดรูปแมลงและใช้ลูกศรระบุอวัยวะที่สำคัญ การเขียนแผนภาพเพื่อแสดงสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อแอ่งน้ำบนถนนแห้งเหือดจากความร้อนของดวงอาทิตย์
* สร้างแบบจำลองแบบต่างๆ และใช้แบบจำลองที่สร้างมาอธิบายระบบที่สนใจศึกษาได้ เช่น การสร้างแบบจำลองของโมเลกุล ด้วย แบบจำลองภาพ 3 มิติ หรือ แผนภาพแสดงพันธะเคมี ทั้งนี้ นักเรียนควรสามารถเลือกใช้แบบจำลองประเภทต่างๆ ได้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้
* อภิปรายถึงข้อจำกัดและความแม่นยำของแบบจำลองที่ใช้ศึกษาระบบหนึ่งๆ ได้ และสามารถออกแบบหรือเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงแบบจำลองเพื่อการให้ผลที่ใกล้เคียงกับระบบในธรรมชาติที่กำลังศึกษามากที่สุด สามารถปรับปรุงแบบจำลองบนพื้นฐานของผลการทดสอบ หรือคำวิพากษ์วิจารณ์ได้
* ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (computer simulations) หรือ พัฒนาแบบจำลองขึ้นมาด้วยเครื่องมือที่มีอยู่ สำหรับการทำความเข้าใจและศึกษาค้นคว้าแง่มุมต่างๆ ของระบบได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบของธรรมชาติ ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
* สร้างและใช้แบบจำลองในการทดสอบการออกแบบ หรือ ทดสอบบางแง่มุมของการออกแบบ เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้แบบที่แตกต่างกัน

**พัฒนาการที่เกิดขึ้นเมื่อเลื่อนระดับชั้นปี (Progression)**

 การใช้แบบจำลองในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ สามารถเริ่มได้ตั้งแต่ระดับประถมศึกษา โดยให้นักเรียน ได้ใช้ “ภาพวาด” หรือ “สิ่งของที่จับต้องได้” (เช่น รถเด็กเล่น) สำหรับการสร้างแบบจำลอง ก่อนจะพัฒนาให้ซับซ้อนยิ่งขึ้น ในระดับชั้นที่สูงขึ้น นักเรียนควรได้ใช้แผนภาพ แผนที่ หรือ แบบจำลองที่เป็นนามธรรมต่างๆ เป็นเครื่องมือให้ได้แสดงแนวคิดหรือสิ่งที่ค้นพบ

 เมื่อนักเรียนเลื่อนระดับสูงขึ้น ควรฝึกการใช้แบบจำลองที่เป็นนามธรรมมากขึ้น คุณภาพของแบบจำลองที่นักเรียนสร้าง จะขึ้นอยู่กับความรู้พื้นฐานที่มี ทักษะ และความเข้าใจในระบบของธรรมชาติที่เป็นแบบในการสร้างแบบจำลอง หลักสูตรจึงจำเป็นต้องเน้นถึงบทบาทของการสร้างและใช้แบบจำลองให้ชัดเจน พร้อมกับจัดหาเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองให้นักเรียนได้ใช้ เพื่อให้นักเรียนได้เห็นถึงคุณค่าของ Practice ข้อที่ 2 นี้ และได้พัฒนาระดับความสามารถในการสร้างและประยุกต์ใช้แบบจำลองได้อย่างเหมาะสม

**Practice ที่ 3 การวางแผนและดำเนินการสำรวจตรวจสอบ
(Planning and carrying out investigations)**

 นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรสำรวจตรวจสอบและสังเกตสิ่งต่างๆ รอบตัว ด้วยจุดประสงค์หลัก 2 ข้อ ได้แก่ (1) เพื่ออธิบายธรรมชาติบนพื้นฐานของเหตุผลอย่างเป็นระบบ และ (2) เพื่อสร้างและทดสอบทฤษฎีหรือคำอธิบายต่างๆ เกี่ยวกับธรรมชาติ การสำรวจตรวจสอบในข้อแรกอาศัยการสังเกตและการบรรยายลักษณะอย่างละเอียด ส่วนในข้อที่สองอาศัยการทดสอบแนวคิดและคำอธิบายที่มีอยู่ หรือแบบจำลองของปรากฏการณ์ ว่ามีข้อมูลสนับสนุนมากน้อยเพียงใด

 การสำรวจตรวจสอบข้างต้น ต้องอาศัยความสามารถในการออกแบบการสืบเสาะหาความรู้เชิงทดลองและเชิงสังเกต (experimental and observational inquiries) อย่างเหมาะสม เพื่อหาคำตอบของคำถามที่ตั้งไว้ หรือพิสูจน์ความถูกต้องของสมมติฐานที่สร้างขึ้น ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการตัดสินใจเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ ด้วยว่า จะทำการวัดอะไร วัดอย่างไร สิ่งใดที่จะจัดให้แตกต่างกัน และจะดำเนินการอย่างไร ต้องควบคุมตัวแปรใดบ้าง อย่างไร ตัวแปรใดควบคุมไม่ได้ และจะจัดการอย่างไร การวัดควรแม่นยำขนาดไหน อุปกรณ์ใดที่เหมาะสมกับการวัดแต่ละแบบ ทั้งนี้ การทดลองต้องให้ความสำคัญกับ “ความแม่นยำในการวัด” (precision) โดย เป้าหมายหลักคือ การวัดค่าต่างๆ ของตัวแปรในการทดลองให้ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากที่สุด ผู้ทำการทดลองต้องพิจารณาว่า อะไรที่มีผลกับระดับความแม่นยำ และเทคนิคใดที่สามารถใช้ในการลดค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (random errors) และ ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic errors) ลงได้

**ทักษะที่คาดหวังเมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับชั้น ม. 6 (Goals)**

เมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 นักเรียนควรมีความสามารถดังต่อไปนี้

* ตั้งคำถามที่นำไปสู่การสืบเสาะหาความรู้ ภายใต้สภาวะในห้องเรียน หรือห้องปฏิบัติการในโรงเรียนได้ อีกทั้งตั้งสมมติฐานที่นำไปสู่ผลที่คาดหวัง จากแบบจำลองหรือทฤษฎีที่มีอยู่ได้
* ตัดสินใจได้ว่า จะรวบรวมข้อมูลอะไร จะใช้เครื่องมือใดเพื่อให้ได้ข้อมูลเหล่านั้น และจะมีการบันทึกผลการวัดในขั้นตอนของการทำการทดลองอย่างไร
* ตัดสินใจได้ว่า ข้อมูลที่ต้องการเพื่อนำไปสู่การผลการทดลองที่น่าเชื่อถือควรมีปริมาณมากน้อยเพียงไร และสามารถพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ที่มีผลกับค่าความแม่นยำในการวัดได้อีกด้วย
* วางแผนการค้นคว้าทดลอง ทั้งในเชิง experimental และเชิง field-research ระบุตัวแปรอิสระและตัวแปรควบคุมในการทดลองได้ และตัดสินใจได้ว่า มีความจำเป็นต้องมีการควบคุมหรือไม่
* พิจารณาถึงตัวแปรหรือผลข้างเคียงอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งมีผลกับการทดลอง และแสดงให้เห็นได้ว่า ในการทดลองได้มีการควบคุมตัวแปรต่างๆ เป็นอย่างดี

**พัฒนาการที่เกิดขึ้นเมื่อเลื่อนระดับชั้นปี (Progression)**

 ในการพัฒนาทักษะของ Practice ที่ 3 นักเรียนจำเป็นต้องได้รับเวลาและโอกาสในการได้เป็นผู้ออกแบบการดำเนินการสำรวจตรวจสอบด้วยตัวเอง เพื่อจะได้เรียนรู้ถึงความสำคัญของแต่ละขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นการตัดสินใจว่าจะวัดอะไร ตัวแปรใดต้องควบคุมให้มีค่าคงที่ จะเลือกหรือสร้างเครื่องมือในการวัดอย่างไรให้เหมาะสม อีกทั้งนักเรียนควรได้รับประสบการณ์มากพอที่จะนำไปสู่ความเข้าใจว่า การสำรวจตรวจสอบไม่จำเป็นต้องเกิดในห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่สามารถเกิดขึ้นได้ทุกที่ ไม่ว่าจะเป็น ที่สนามหญ้าในโรงเรียน สระน้ำ ใต้ต้นไม้ ฯลฯ

 ในระดับประถมศึกษา การฝึกทักษะของ Practice ที่ 3 นี้ นักเรียนควรได้รับโอกาสในการฝึกฝนการสังเกต การวัด และการบันทึกข้อมูล โดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสม ได้ระบุสิ่งที่ต้องการสำรวจตรวจสอบ เช่น ลักษณะใดของพื้นเอียงที่มีผลต่ออัตราเร็วของลูกบอลที่กลิ้งลงมาถึงพื้น และควรได้ฝึกฝนเกี่ยวกับพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง เช่น ควรทำซ้ำกี่ครั้ง และจะบันทึกผลอย่างไร จากนั้นนักเรียนต้องมีโอกาสได้แก้ไขปรับปรุงหลายๆ รอบ เพื่อให้ได้เรียนรู้ข้อจำกัดของการทดลองที่ออกแบบไว้ในตอนแรก

 ในช่วงระยะเวลา 12 ปีของการเรียน นักเรียนควรมีโอกาสทำการสำรวจตรวจสอบอย่างหลากหลาย โดยในทุกๆ ระดับ ควรมีทั้งการสำรวจตรวจสอบที่มีการวางแนวทางไว้ชัดเจน (โดยครูผู้สอน) และการสำรวจตรวจสอบที่นักเรียนได้ออกแบบเองตั้งแต่การตั้งคำถาม

ในระดับชั้นที่สูงขึ้น นักเรียนควรได้รับการกระตุ้นให้พยายามตั้งสมมติฐาน และให้เหตุผลอธิบายสาเหตุที่ใช้สมมติฐานนั้นๆ ด้วยตัวเอง สมมติฐานที่นักเรียนตั้งขึ้น ควรตั้งอยู่บนพื้นฐานของแบบจำลองหรือทฤษฎีที่ดี (well-developed model or theory) นอกจากนี้ ในระดับชั้นมัธยมปลาย นักเรียนควรจะสามารถพิจารณาได้เองว่า เป็นไปไม่ได้เสมอไปที่จะควบคุมตัวแปรบางตัว และในแต่ละกรณีอาจมีวิธีการอื่นๆ ที่ดีกว่า ที่ใช้แทนทดได้

**Practice ที่ 4 การวิเคราะห์และการแปลความหมายข้อมูล**

 เมื่อมีข้อมูลปริมาณหนึ่งที่ได้จากการทดลองแล้ว นักวิทยาศาสตร์หรือวิศวกรจำต้องจัดการข้อมูลเหล่านั้นให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถแสดงให้เห็นถึง แนวโน้ม (pattern) ความเชื่อมโยง (relation) ของตัวแปรต่างๆ เพื่อที่จะช่วยให้สามารถสื่อสารให้ผู้อื่นได้รับทราบและเข้าใจผลจากการทดลองของพวกเขาได้ เนื่องจากข้อมูลดิบ (raw data) ไม่ได้แสดงถึงประเด็นใดๆ อย่างเด่นชัด ดังนั้น Practice หลักที่สำคัญ Practice หนึ่งของนักวิทยาศาสตร์คือ การเรียบเรียง จัดการ และแปรความหมายข้อมูลดิบ ให้อยู่ในรูปที่สามารถเข้าใจได้ง่าย ไม่ว่าจะเป็นด้วยการ แสดงข้อมูลในตาราง กราฟ หรือ การวิเคราะห์เชิงสถิติ ซึ่งช่วยให้ข้อมูลดิบที่มีอยู่ กลายเป็นข้อมูลที่แสดงความเชื่อมโยง ให้ความหมาย และสามารถถูกนำไปใช้เป็นหลักฐาน (evidence) อ้างอิงสำหรับการสรุปผลได้

 วิศวกรมีการตัดสินใจในการทำงานบนพื้นฐานของข้อเท็จจริงที่เป็นหลักฐาน (evidence) ซึ่งได้จากการทดลองใช้งานที่ออกแบบไว้จริงๆ พวกเขาไม่ได้ทำการตัดสินใจจากการลองถูกลองผิด (trials and errors) วิศวกรมักจะวิเคราะห์งานต่างๆ ผ่านการทดสอบของแบบจำลองที่สร้างขึ้น ภายใต้สภาวะที่เปลี่ยนไป เพื่อนำข้อมูลจากการทดสอบมาวิเคราะห์ ก่อนทำการตัดสินใจ

 การจัดทำข้อมูลในแบบของ “แผ่นตารางทำการ” (spreadsheets) และ “ฐานข้อมูล” (databases) เป็นแนวทางที่มีประโยชน์สำหรับการเรียบเรียงจัดทำข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่ข้อมูลมีปริมาณมหาศาล การบ่งชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตัวแปต่างๆ ในชุดของข้อมูลที่มีอยู่ จำต้องอาศัยเครื่องมือหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น ตาราง (tables) กราฟ หรือ วิธีการทางคณิตศาสตร์ และในยุคปัจจุบัน การสร้างงานกราฟฟิกด้วยคอมพิวเตอร์เป็นแนวทางที่ดีแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้นักเรียนสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ยิ่งไปกว่านั้น การใช้เทคนิคมาตรฐานทางสถิติ (standard statistical analysis) สามารถเป็นเครื่องมือที่ช่วยลดความผิดพลาด (error) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ของข้อมูลได้อีกด้วย

 เพื่อการพัฒนาทักษะของ Practice ที่ 4 นี้ นักเรียนจำเป็นต้องได้รับโอกาสในการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆ ระหว่างตัวแปรในชุดข้อมูลนั้นๆ สำหรับในโลกสมัยใหม่ที่มีอินเทอร์เน็ต ข้อมูลต่างๆ มีมากมายและสามารถหาได้ง่าย นักเรียนจึงมีโอกาสที่จะขยายความเข้าใจและเรียนรู้การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น

**ทักษะที่คาดหวังเมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับชั้น ม. 6 (Goals)**

เมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 นักเรียนควรมีความสามารถดังต่อไปนี้

* สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ
* สามารถพิจารณาเพื่อตัดสินใจได้ว่า ข้อมูลที่มีอยู่ ขัดแย้งกับผลที่คาดหวังจากการทดลองเพียงใด และอย่างไร เพื่อการพิจารณาตัดสินใจ ในการแก้ไขการทดลองให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้น
* มีทักษะในการใช้ แผนตารางทำการ (spreadsheets) ฐานข้อมูล (databases) ตาราง แผนที่ กราฟ สถิติ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ สำหรับการวิเคราะห์ สรุปผล และแสดงผล ของข้อมูลที่ได้ อีกทั้ง มีทักษะในการใช้เครื่องมือข้างต้น ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่มีอยู่ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม
* สามารถใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์และวิธีทางสถิติที่เหมาะสมในแต่ละระดับชั้นเรียน เพื่อประเมินจุดเด่นของผลสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล โดยสามารถแยกแยะประเภทของความสัมพันธ์ที่มีอยู่ออกเป็น ประเภทให้ผลทางเดียว (causal relationship) และประเภทให้ผลซึ่งกันและกัน (correlation relationship) ได้
* สามารถรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยแบบจำลองกายภาพ (physical model) และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองนั้นภายใต้สภาวะต่างๆ ได้

**พัฒนาการที่เกิดขึ้นเมื่อเลื่อนระดับชั้นปี (Progression)**

 ในการพัฒนาทักษะของ Practice ที่ 4 ในระยะแรกเริ่ม นักเรียนควรได้รับการสนับสนุนให้มีโอกาสในการเรียนรู้ถึงความสำคัญของการบันทึกผลการสังเกต ไม่ว่าจะเป็นการบันทึกโดยใช้ภาพ ตัวอักษร หรือ ตัวเลข และนักเรียนควรได้รับโอกาสในการนำผลการบันทึกที่ได้ไปแบ่งปันกับเพื่อนๆ ในชั้นเรียน

 ในระดับชั้นมัธยมต้น นักเรียนควรได้มีโอกาสเรียนรู้เทคนิคมาตรฐานที่ใช้ในการนำเสนอ วิเคราะห์ และแปลความหมายข้อมูล เช่น กราฟชนิดต่างๆ การหาค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ นักเรียนควรจะสามารถอธิบายให้เหตุผลได้ด้วยว่า เพราะเหตุใด จึงเลือกใช้เทคนิคที่ต่างกันในการวิเคราะห์หรือนำเสนอข้อมูลที่แตกต่างกัน

 เมื่อนักเรียนเลื่อนชั้นเรียนเข้าสู่ระดับมัธยมปลาย การศึกษา ค้นคว้า ทดลอง จะซับซ้อนมากกว่าเดิม นักเรียนต้องเรียนรู้และพัฒนาทักษะเชิงเทคนิคของวิธีการนำเสนอและวิเคราะห์ข้อมูลอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น การสร้างกราฟแบบ x-y scatterplot หรือ การสร้างตารางแบบ cross-tabulation เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ เป็นต้น

นักเรียนควรได้รับการสนับสนุนให้เรียนรู้ว่า แนวทางการนำเสนอข้อมูลเพื่อแสดงให้เห็นถึงสาระสำคัญที่ซ่อนอยู่ในข้อมูลนั้นๆ มีมากกว่า 1 วิธี นอกจากนี้นักเรียนควรได้รับโอกาสในการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์และทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ข้อมูลที่นักเรียนได้วิเคราะห์ในระดับชั้นมัธยมปลาย ควรเป็นข้อมูลที่มีความหลากหลายยิ่งขึ้น โดยนักเรียนควรได้รับการสนับสนุนให้ใช้คอมพิวเตอร์หรือเครื่องมือดิจิตอล ในการวิเคราะห์ด้วย

 ในวิชาวิศวกรรมศาสตร์ นักเรียนควรได้รับโอกาสในการฝึกฝนการใช้เทคนิคต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วเช่นกัน ในการเรียนรู้เทคนิคเหล่านี้ นักเรียนทางสาขาวิศวกรรมศาสตร์ต้องได้รับการชี้ให้เห็นเสมอว่า จุดประสงค์หลักของเทคนิคต่างๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ เพื่อพิสูจน์สมรรถนะของแบบจำลอง และเพื่อการพัฒนาแบบจำลองให้ดียิ่งขึ้น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาหนึ่งๆ ได้อย่างเหมาะสมที่สุด

**Practices ที่ 5 การใช้คณิตศาสตร์ สารสนเทศ และเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์**

**และการใช้การคิดเชิงคำนวณ (computational thinking)**

 คณิตศาสตร์และเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ เป็นหัวใจของวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ช่วยให้การนำเสนอข้อมูลเชิงตัวเลขเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในทางแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ หรือการคาดการณ์ผลการทดลอง คณิตศาสตร์ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายและคาดการณ์
สิ่งต่างๆ ในธรรมชาติ เช่น โครงสร้างของอะตอม แรงโน้มถ่วงโลก หรือ กลศาสตร์ควอนตัม

 ตั้งแต่สมัยกลางศตวรรษที่ 20 (ประมาณช่วงปี พ.ศ. 2485 – 2500) ศาสตร์ด้านทฤษฎีการคำนวณ สารสนเทศ เทคโนโลยีของเครื่องคอมพิวเตอร์ และ ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหา (algorithm) เสมือนว่าได้ปฏิวัติแนวทางการทำงานในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เครื่องมือดังกล่าวทำให้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรสามารถจัดเก็บข้อมูลได้ในปริมาณมหาศาล สามารถค้นหาแนวโน้ม ระบุความสัมพันธ์เชื่อมโยง และสาระสำคัญที่ซ่อนเร้นอยู่ในธรรมชาติที่ซับซ้อนได้อย่างที่ไม่เคยทำได้มาก่อน อีกทั้งเครื่องมือเหล่านี้ ช่วยให้พวกเขาสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทางธรรมชาติที่ซับซ้อน เช่น วัฏจักรของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลกและในทะเล

 คณิตศาสตร์และการคำนวณ สามารถเป็นเครื่องมือที่ทรงประสิทธิภาพ เมื่อนำมาใช้ในการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์เป็นทั้งภาษาสำหรับการสื่อสารความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเป็นโครงสร้างของการหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (communicative and functional tool) ยกตัวอย่างเช่น ทฤษฎีสัมพันธภาพของไอน์สไตน์ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าในสมการของแม็กซ์เวลล์

 นอกจากนี้ ในโลกสมัยใหม่ การทำนายและการสรุปผลที่ได้ ล้วนมีความคลาดเคลื่อนจากปริมาณของข้อมูลที่ใช้ศึกษา ดังนั้น การทำความเข้าใจสาขาของคณิตศาสตร์ด้าน “ความน่าจะเป็น” (probability) และ “สถิติ” (statistics) เป็นส่วนสำคัญของการศึกษาค้นคว้าและทำความเข้าใจความรู้ทางวิทยาศาสตร์

 เครื่องมือการคำนวณ (computational tools) สามารถเพิ่มขีดความสามารถของคณิตศาสตร์ได้ โดยอาศัยการสร้างสรรค์วิธีการคำนวณที่ทำไม่ได้ด้วยวิธีการศึกษาเชิงวิเคราะห์ (analytic) เช่น การสร้างแบบจำลองของระบบทางธรรมชาติที่ซับซ้อน และยังเป็นเครื่องมือที่ทรงประสิทธิภาพในการแสดงข้อมูล (visualization) และแสดงผลการทดลอง ที่ช่วยให้มองเห็นแนวโน้มและความเชื่อมโยงต่างๆ ของข้อมูลได้เป็นอย่างดี

 ในทางวิศวกรรมศาสตร์ ทักษะทางคณิตศาสตร์และการคำนวณมีความสำคัญมากเช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น วิศวกรโยธาจำต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทดสอบโครงสร้างของสะพานหรืออาคาร บนพื้นฐานของสมการทางฟิสิกส์ สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพและตรวจสอบข้อจำกัดทางโครงสร้าง และประเมินว่า การก่อสร้างที่ออกแบบจะสามารถทำได้ภายใต้งบประมาณที่จำกัดหรือไม่ โดยภาพรวมแล้ว การออกแบบในงานด้านวิศวกรรมศาสตร์ ล้วนเกี่ยวข้องกับการใช้ทักษะการคำนวณในการแก้ปัญหาทั้งนั้น

 ถึงแม้ว่า จะมีข้อแตกต่างพอสมควรระหว่างการนำการคิดเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical thinking) และการคิดเชิงคำนวณ (computational thinking) มาประยุกต์ใช้ในงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ บ่อยครั้ง คณิตศาสตร์จะเป็นตัวประสานสองสาขาวิชาเข้าด้วยกัน นั่นคือ คณิตศาสตร์ช่วยให้วิศวกรสามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ที่อยู่ในรูปแบบของคณิตศาสตร์ได้ ในขณะที่ คณิตศาสตร์ช่วยให้นักวิทยาศาสตร์สามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศที่มีศักยภาพสูงซึ่งออกแบบโดยวิศวกรสำหรับงานค้นคว้าวิจัย อาชีพทั้งสองอาชีพ จึงสามารถทำการค้นคว้า ศึกษา และ วิเคราะห์ สร้างแบบจำลอง ของระบบที่ซับซ้อนมากๆ ได้ อย่างที่ไม่อาจจะได้ทำได้ด้วยวิธีอื่น

 ยิ่งไปกว่านั้น คณิตศาสตร์ (รวมทั้ง ศาสตร์ทางสถิติ) และเครื่องมือการคำนวณ เป็นหัวใจหลักของการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ข้อมูลมีปริมาณมาก นอกจากนี้ เครื่องมือทั้งสองยังสามารถช่วยสร้างให้เกิดการมองข้อมูลในแง่มุมต่างๆ ผ่านกราฟหรือการแสดงภาพทางกราฟิกหลากหลายประเภท อีกทั้งช่วยในการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ การปรับสภาพแวดล้อมการทดลองที่หลากหลาย ซึ่งล้วนแต่ต้องอาศัยทักษะทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาและขยายขอบเขตให้กว้างไกลยิ่งขึ้นโดยอาศัยทักษะการคำนวณ

**ทักษะที่คาดหวังเมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับชั้น ม. 6 (Goals)**

เมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 นักเรียนควรมีความสามารถดังต่อไปนี้

* สามารถเข้าใจมิติของปริมาณต่างๆ ที่ได้จากการวัด และสามารถใช้หน่วยที่เหมาะสมกับแต่ละปริมาณในการประยุกต์ใช้สูตรทางคณิตศาสตร์และกราฟ กับการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ได้
* สามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ด้วยสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ และด้วยขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหา (algorithm) ที่เหมาะสม เพื่อการสร้างแบบจำลองหรือการค้นคว้าทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้
* สามารถเข้าใจได้ว่า แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (computer simulation) ถูกสร้างบนพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical models) ที่ได้ถูกออกแบบโดยอาศัยสมมติฐานต่างๆ เกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือระบบทางธรรมชาติที่ต้องการศึกษาได้
* สามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือ แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อ ทดสอบระบบทางธรรมชาติที่ไม่ซับซ้อน เพื่อที่จะดูว่า สิ่งเหล่านั้น สมเหตุสมผล (make sense) หรือไม่ อย่างไร
* สามารถประยุกต์ใช้ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์และสถิติที่เหมาะสมในแต่ละระดับชั้นเรียน สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลได้

**พัฒนาการที่เกิดขึ้นเมื่อเลื่อนระดับชั้นปี (Progression)**

 การเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของคณิตศาสตร์ในการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ เป็นหัวใจของการพัฒนาความเข้าใจวิทยาศาสตร์ในระดับที่ลึกยิ่งๆ ขึ้น ทันทีที่นักเรียนได้ฝึกฝนทักษะการนับ พวกเขาจะสามารถเริ่มใช้ตัวเลขในการสืบเสาะและอธิบายความสัมพันธ์ต่างๆ ที่มีในธรรมชาติ และเมื่อเข้าสู่ระดับชั้นเรียนที่เหมาะสม นักเรียนควรจะได้เรียนรู้ที่จะใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น ไม้บรรทัด ไม้โพรแทรกเตอร์ หรือเทอร์มอมิเตอร์ สำหรับการวัดปริมาณต่างๆ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ และการระบุเนื้อหาสาระสำคัญที่มีอยู่ในแต่ละชุดของข้อมูล (เช่น การหาค่าสูงสุด (maximum) ค่าต่ำสุด (minimum) ค่าเฉลี่ย (average) ฯลฯ)

 การพัฒนาอย่างก้าวกระโดดจะเกิดขึ้นเมื่อนักเรียนสามารถแทนความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในข้อมูลด้วยประโยค ก่อนจะเป็นการแทนด้วยสัญลักษณ์ทางพีชคณิต ในการนี้ นักเรียนควรได้รับโอกาสในการค้นคว้า ศึกษาว่า สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ถูกใช้ในการแทนปริมาณที่ได้จากการวัด ใช้ในการทำนายผล หรือ การนำไปสู่การค้นพบความสัมพันธ์ใหม่ๆ ได้อย่างไร นักเรียนควรได้มีประสบการณ์ในการใช้คอมพิวเตอร์ในการบันทึกผลการทดลอง ได้มีโอกาสในการใช้อุปกรณ์ที่มีหัววัดที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะเรียนรู้ว่าการวัดสามารถปฏิบัติได้จำนวนมากครั้ง ทำได้อย่างรวดเร็วและซ้ำกันได้ด้วยคอมพิวเตอร์ และในขณะเดียวกัน นักเรียนควรได้รับประสบการณ์ในการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์สำหรับการนำเสนอข้อมูลที่มีอยู่ในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบของตาราง หรือ แบบของกราฟิก เพื่อช่วยในการระบุความสัมพันธ์ต่างๆ ที่มีอยู่ของในชุดข้อมูล

 ในระดับชั้นเรียนแรกเริ่ม นักเรียนควรได้รับการสนับสนุนให้ใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างง่ายๆ ยกตัวอย่างเช่น การใช้ spreadsheets ในการบันทึกผลการทดลอง หรือ การคำนวณหาค่าเฉลี่ยของปริมาณต่างๆ ที่วัดได้ จากนั้น ในระดับชั้นเรียนที่สูงขึ้น นักเรียนควรได้เรียนรู้เกี่ยวกับการใช้สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์อย่างง่าย โดยอาศัยเครื่องมือทาง IT และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ เมื่อนักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจทางด้านคณิตศาสตร์และการคำนวณมากขึ้นเรื่อยๆ การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในห้องเรียนในทุกระดับชั้นปี ควรมีการใช้เครื่องมือเหล่านี้ในการศึกษาเรียนรู้ เพื่อการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

**Practices ที่ 6 การสร้างทฤษฎีเพื่ออธิบายผลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า (สำหรับวิชาวิทยาศาสตร์)**

**และการออกแบบแนวทางในการแก้ปัญหา (สำหรับวิชาวิศวกรรมศาสตร์)**

 ด้วยวิทยาศาสตร์เป็นศาสตร์ที่เสาะแสวงหาแนวทางในการสร้างความเข้าใจในธรรมชาติรอบๆ ตัว ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์จึงถูกสร้างขึ้นเพื่อก่อให้เกิดความกระจ่างในการเข้าใจปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติ หรือ เพื่อการคาดการณ์เหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต หรือเพื่อการอนุมานถึงเหตุการณ์ในอดีต ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานขององค์ความรู้ (knowledge) และหลักฐานที่พบ (evidence) ซึ่งสามารถแก้ไขได้เมื่อมีการค้นพบหลักฐานใหม่ๆ ทั้งนี้ความรู้ต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ทั้งหลาย จำต้องผ่านข้อโต้แย้งและการอภิปรายวิพากษ์วิจารณ์อย่างเข้มข้นจากชุมชนนักวิทยาศาสตร์ ก่อนที่จะได้รับการยอมรับหรือนำไปประยุกต์ใช้ ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์จึงไม่ใช่เรื่องของการคาดเดา ทฤษฎีหนึ่งๆ จะได้รับการยอมรับและยกย่องอย่างมากถ้าหากทฤษฎีนั้นๆ สามารถนำไปอธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติได้หลากหลายสภาวการณ์

 ในบริบททางวิทยาศาสตร์ คำว่า “สมมติฐาน” มีความหมายแตกต่างจากคำว่า “สมมติฐาน” ในบริบททั่วไป คำว่า “สมมติฐาน” ทางวิทยาศาสตร์ไม่ใช่ทฤษฎีหรือการทำนาย แต่เป็นคำอธิบายถึงสิ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในสถานการณ์หนึ่งๆ สมมติฐานถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานความเข้าใจในทฤษฎีที่มีอยู่เดิม ซึ่งเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบที่ต้องการศึกษา และบ่อยครั้ง สมมติฐานจะถูกสร้างขึ้นบนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาระบบนั้นๆ

 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นตัวเชื่อมโยงทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์เข้ากับปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติที่สังเกตพบ การเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นมาตรฐาน ถือเป็นหัวใจหนึ่งของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในห้องเรียน การให้นักเรียนได้มีโอกาสนำเสนอความเข้าใจของตนเองถึงความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ใดๆ ผ่านการบรรยายด้วยสำนวนของนักเรียนเอง หรือ ผ่านการนำเสนอผลที่ได้จากการสังเกต หรือ ผ่านการนำเสนอแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาเอง จะสามารถช่วยให้นักเรียนรู้สึกมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ และนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงกรอบความเข้าใจ (conceptual change) ในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้

 เนื่องจากนักวิทยาศาสตร์สร้างความเข้าใจในธรรมชาติที่พวกเขาศึกษา ผ่านการสร้างทฤษฎีและการสร้างคำอธิบาย ที่อาศัยแบบจำลองและสัญลักษณ์ต่างๆ และตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลและหลักฐานที่มีอยู่ ดังนั้น ในการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ นักเรียนจึงควรได้รับการพัฒนาทักษะในการสร้างแบบจำลองหรือการสร้างคำอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติ บนพื้นฐานของหลักฐานที่มีอยู่เช่นเดียวกัน ขั้นตอนนี้ถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการเรียนรู้เพื่อสร้างความเข้าใจในธรรมชาติ นำไปสู่ การเห็นคุณค่า (appreciation) ของวิทยาศาสตร์ที่ได้เรียนในชั้นเรียน และนำไปสู่การตกผลึกทางความเข้าใจที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น (insight) ว่าการทำงานของนักวิทยาศาสตร์เป็นอย่างไร

 ในทางวิศวกรรมศาสตร์ เป้าหมายของการเรียนรู้ใน Practice ที่ 6 นี้คือ ความสามารถในการออกแบบ (design) มากกว่าที่จะเป็นการสร้างคำอธิบาย กระบวนการในการพัฒนางานออกแบบเป็นกระบวนการที่ซ้ำไปซ้ำมา (iterative) และเป็นระบบ (systematic) เช่นเดียวกับกระบวนการของการพัฒนาคำอธิบายหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ดี แนวปฏิบัติในทางวิศวกรรมศาสตร์กับทางวิทยาศาสตร์แตกต่างกันอย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น ในทางวิศวกรรมศาสตร์ ต้องมีการระบุถึงข้อจำกัดหรือเกณฑ์ต่างๆ สำหรับการพัฒนางานให้ดี มีคุณภาพ ต้องมีการพัฒนาแผนการออกแบบ การสร้างและทดสอบแบบจำลองหรือต้นแบบ (prototype) มีการเลือกแนวทางการออกแบบต่างๆ ที่เหมาะสมที่สุด และการแก้ไขปรับปรุงงานออกแบบ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน เป็นต้น

**ทักษะที่คาดหวังเมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับชั้น ม. 6 (Goals)**

เมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 นักเรียนควรมีความสามารถดังต่อไปนี้

* สามารถสร้างความเข้าใจในปรากฏการณ์ต่างๆ ทางธรรมชาติ โดยอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการยอมรับเป็นอย่างดีแล้ว และสามารถเชื่อมโยงความเข้าใจนั้นกับแบบจำลองหรือหลักฐานที่สังเกตพบ
* สามารถใช้หลักฐานปฐมภูมิและทุติยภูมิ (primary and secondary evidence) และแบบจำลองต่างๆ ในการสนับสนุน หรือ โต้แย้ง คำอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติได้เป็นอย่างดี
* สามารถนำเสนอคำอธิบายเชิงเหตุและผล (causal explanations) ที่เหมาะสมกับแต่ละระดับชั้นเรียนได้เป็นอย่างดี
* สามารถระบุช่องโหว่หรือจุดด้อยของคำอธิบายต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ (ที่นักเรียนสร้างขึ้นเอง หรือที่สร้างขึ้นโดยคนอื่น) ได้

ในเชิงวิศวกรรมศาสตร์ นักเรียนควรที่จะได้รับโอกาสในการ

* แก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ โดยการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสม
* สร้างสรรค์โครงงานออกแบบ มีส่วนร่วมในทุกขั้นตอนของวงจรการออกแบบ และสร้างแผนการดำเนินการที่สอดคล้องกับเกณฑ์การออกแบบที่ต้องการ
* สร้างเครื่องมือหรือนำแนวทางการแก้ปัญหาไปปฏิบัติได้
* ประเมินและวิพากษ์วิจารณ์งานออกแบบต่างๆ ที่ใช้แก้ปัญหาเดียวกัน บนพื้นฐานของเกณฑ์การออกแบบที่ได้ถูกพัฒนาร่วมกันหรือได้ตกลงร่วมกันได้

**พัฒนาการในการสร้างคำอธิบายที่เกิดขึ้นเมื่อเลื่อนระดับชั้นปี (Progression in Explanation)**

 สำหรับการพัฒนาทักษะใน Practice ที่ 6 นี้ ในระยะแรกเริ่มของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ นักเรียนควรได้มีส่วนร่วมในการสร้างคำอธิบายและการวิพากษ์วิจารณ์คำอธิบายต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่เดิม ควรมีการประเมินว่า คำอธิบายที่ตนเองหรือเพื่อนร่วมชั้นสร้างขึ้นนั้นสอดคล้องกับหลักฐานที่พบเพียงไร

 เมื่อนักเรียนได้เรียนรู้มากยิ่งขึ้น พวกเขาควรสามารถบ่งชี้หรือระบุถึงตัวแปรต่างๆ ที่สำคัญในปรากฏการณ์ต่างๆ ได้ และสามารถนำผลจากการสังเกตมาใช้อธิบายปรากฏการณ์นั้นๆ ได้ การใช้กระบวนการที่บ่งชี้ได้ว่า ตัวแปรใดส่งผลกับตัวแปรใด ช่วยให้สามารถสร้างคำอธิบายเชิงเหตุและผล (causal explanation) ของปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ เช่น ในการสืบเสาะหาความรู้เกี่ยวกับสภาวะที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี นักเรียนสังเกตพบได้ว่า พืชจะตายเมื่อจัดให้อยู่ในที่มืด การสร้างคำอธิบายสิ่งที่สังเกตพบนี้ ถึงแม้จะเป็นคำอธิบายง่ายๆ เช่น “เนื่องจากพืชต้องการแสงในการเจริญเติบโต พืชจึงตายเมื่ออยู่ในที่มืด” แต่สามารถเป็นพื้นฐานในการตั้งคำถามเพื่อการทำความเข้าใจในระดับลึกยิ่งขึ้นเกี่ยวกับการใช้แสงในการเจริญเติบโตของพืช เมื่อนักเรียนได้เรียนในชั้นสูงๆ ขึ้นไป นักเรียนจะเข้าใจว่า คำอธิบายที่ว่า “พืชต้องการแสงในการเจริญเติบโต” ไม่สามารถใช้อธิบายว่าทำไมพืชจึงตายเมื่อขาดน้ำ ด้วยเหตุนี้นักเรียนจึงควรได้รับการส่งเสริมให้ทบทวนแนวคิดเริ่มต้น (initial ideas) และนำไปปรับปรุงคำอธิบายที่มีอยู่ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เพื่อที่จะสามารถนำไปอธิบายได้อย่างครอบคลุมทุกสภาวการณ์ที่สังเกตพบได้

 เมื่อนักเรียนเข้าสู่ระดับมัธยมต้น นักเรียนควรได้เรียนรู้ว่า มีคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์หรือระบบในธรรมชาติที่เล็กมาก จนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือระบบในธรรมชาติที่ใหญ่มาก จนไม่สามารถสร้างภาพขึ้นมาแสดงได้ ยกตัวอย่างเช่น การอธิบายว่า ทำไมอุณหภูมิของน้ำจึงไม่เพิ่มขึ้นเกินกว่า 100 องศาเซลเซียสเมื่อได้รับความร้อน นักเรียนจำต้องสร้างจินตภาพว่า น้ำประกอบไปด้วยอนุภาคขนาดเล็กๆ ซึ่งจะเคลื่อนที่เร็วยิ่งขึ้นเมื่อได้รับพลังงานความร้อน และอนุภาคเหล่านี้จะเป็นอิสระ เมื่อได้รับพลังงานปริมาณมากพอ และเมื่อนักเรียนเข้าสู่ช่วงท้ายของการเรียน 12 ปี นักเรียนควรจะสามารถพัฒนาทักษะการใช้สมการและสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์หรือแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการสร้างคำอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติได้

**พัฒนาการในการออกแบบเมื่อเลื่อนระดับชั้นปี (Progression in Design)**

 ขอเว้นไว้ ไม่เรียบเรียง เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสาขาวิศวกรรมศาสตร์

**Practices ที่ 7 การโต้แย้งบนพื้นฐานของประจักษ์พยาน (evidence)**

 นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรอาศัยการ วิพากษ์วิจารณ์ อภิปรายประเด็นข้อโต้แย้งต่างๆ บนพื้นฐานของเหตุและผล เพื่อการนำไปสู่ข้อสรุป หรือ ทฤษฎีใหม่ๆ คำอธิบายใหม่ๆ แนวทางการแก้ปัญหาใหม่ๆ ตลอดจนวิธีการแปลความหมายของข้อมูลใหม่ๆ

 ในทางวิทยาศาสตร์ การสร้างองค์ความรู้ใหม่ๆ ขึ้นอยู่กับกระบวนการใช้เหตุผล ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงต้องสร้างคำอธิบายที่สมเหตุสมผลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ รอบตัว และในขณะเดียวกัน นักวิทยาศาสตร์คนอื่นๆ จำต้องพยายามระบุจุดอ่อนและข้อจำกัดของคำอธิบายนั้นๆ นอกจากนี้ ในการตอบคำถามต่างๆ นักวิทยาศาสตร์จำต้องมีการอภิปรายถกเถียงกัน ยกตัวอย่างเช่น การถกเถียงกันเพื่อหาคำตอบว่า จะออกแบบการทดลองอย่างไรจึงได้ผลดีที่สุด เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลใดที่เหมาะสมที่สุด หรือแนวทางการแปลความหมายข้อมูลแนวทางใดที่ดีที่สุด เป็นต้น

 โดยสรุปแล้ว วิทยาศาสตร์เต็มไปด้วยการอภิปรายโต้แย้งเชิงเหตุและผลที่เกิดขึ้นอย่างไม่เป็นทางการ ทั้งการโต้แย้งในห้องปฏิบัติการ ในงานประชุมสัมมนา หรืออาจเป็นการโต้แย้งที่เกิดขึ้นอย่างเป็นทางการ อย่างเช่นใน กระบวนการ peer review

จากกรณีศึกษาต่างๆ ที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ทฤษฎีใหม่ๆ หรือคำอธิบายใหม่ๆ ทางวิทยาศาสตร์ มักจะไม่ได้รับการยอมรับง่ายๆ และจำต้องผ่านการอภิปราย โต้แย้ง วิพากษ์วิจารณ์อย่างหนัก ก่อนจะมีการยอมรับ เช่น ทฤษฎีโลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ของคอร์โพนิคัส หรือทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน และเมื่อเวลาผ่านไป ทฤษฎีหรือแนวคิดที่จะได้รับการยอมรับจากชุมชนนักวิทยาศาสตร์ จะต้องผ่านการตรวจสอบอย่างเข้มข้น ผ่านการทดสอบด้วยข้อมูลใหม่ๆ ที่พบ ดังนั้น วิทยาศาสตร์จึงเป็นศาสตร์เชิงวัตถุประสงค์ (objectivity) และเชิงการพัฒนา (progress)

 นักวิทยาศาสตร์และประชาชนทั่วไปควรมีความรู้และทักษะเพียงพอที่จะบอกได้ว่า ข้อมูล ข่าวสารใดๆ “ไม่เป็นวิทยาศาสตร์” (bad science) ในงานทางวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์จำต้องอาศัยวิจารณญาณตัดสินในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานที่พวกเขาทำ แต่ประชาชนทุกคน ไม่ว่าจะเป็นนักวิทยาศาสตร์หรือไม่ จำเป็นต้องมีทักษะในการประเมินข่าวสารทางวิทยาศาสตร์ในสื่อทั่วๆ ไป ว่าความถูกต้อง (validity) ทางวิทยาศาสตร์เพียงใด และเหตุการณ์นั้นๆ อาจมีผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของผู้คนในสังคมอย่างไร การที่จะเป็นผู้บริโภคข้อมูลข่าวสารทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีวิจารณญาณได้นั้น จึงจำเป็นต้องได้รับโอกาสให้ได้วิพากษ์วิจารณ์และประเมินคุณค่าข้ออภิปรายโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์

**ทักษะที่คาดหวังเมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับชั้น ม. 6 (Goals)**

เมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 นักเรียนควรมีความสามารถดังต่อไปนี้

* สามารถสร้างข้ออภิปรายโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์เพื่อแสดงให้เห็นได้ว่า ข้อมูลที่มีอยู่นั้น สนับสนุนทฤษฎีหรือสนับสนุนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างไร
* สามารถบ่งชี้จุดอ่อนของข้ออภิปรายโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมกับระดับการเรียนรู้ และสามารถอภิปรายประเด็นต่างๆ ด้วยเหตุและผล และด้วยหลักฐานข้อเท็จจริงที่มี
* สามารถระบุข้อบกพร่องของข้ออภิปรายโต้แย้งที่สร้างขึ้นเองได้ และสามารถแก้ไข ปรับปรุง ข้ออภิปรายโต้แย้งนั้นให้ดียิ่งขึ้น จากคำวิพากษ์วิจารณ์ที่ได้รับ
* มีความเข้าใจองค์ประกอบสำคัญของข้ออภิปรายโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ คำกล่าวอ้าง (claims) ข้อมูล (data) และ การใช้เหตุผล (reasoning) และระบุองค์ประกอบต่างๆ นี้ในตัวอย่างที่ให้มาได้
* สามารถอธิบายธรรมชาติของการโต้เถียง (controversy) ในการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และอธิบายถึงการโต้แย้ง (debate) ที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดต่างๆ ได้ อีกทั้งระบุได้ว่า เพราะเหตุใดจึงมีเพียงบางทฤษฎีเท่านั้นที่ได้รับการยอมรับและถูกนำไปใช้ในการใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ
* สามารถอธิบายได้ว่า ข้อกล่าวอ้าง (claim) ถูกตัดสินโดยชุมชนนักวิทยาศาสตร์อย่างไร และ สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณค่าและข้อจำกัดของวิธีการตรวจสอบแบบ peer review ได้
* สามารถอ่านบทความ รายงาน ข่าวสาร ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้อย่างมีวิจารณญาณ ซึ่งนำไปสู่การระบุจุดแข็งและจุดอ่อนของเนื้อหาในรายงานนั้นๆ ได้

**พัฒนาการที่เกิดขึ้นเมื่อเลื่อนระดับชั้นปี (Progression)**

 การศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ควรนำไปสู่การมีส่วนร่วมในกระบวนการอภิปรายโต้แย้ง ซึ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนา (develop) และปกป้อง (defend) แนวคิดใหม่ๆ เช่นนี้แล้ว นักเรียนควรจะได้โอกาสในการอภิปราย และปกป้องคำอธิบายที่สร้างขึ้น จากข้อมูลที่มี และสามารถให้คำอธิบายเพื่อสนับสนุนการออกแบบการทดลอง หรือ แบบจำลองที่นำเสนอได้

ในขณะเดียวกัน นักเรียนควรจะได้เรียนรู้ที่จะใช้วิจารณญาณในการประเมินข้อถกเถียงทางวิทยาศาสตร์ และสามารถนำเสนอข้อโต้แย้งประเด็นต่างๆ กลับคืนไปได้ด้วย การเรียนรู้ที่จะอภิปรายถกเถียงทางวิทยาศาสตร์ ไม่เพียงแต่จะช่วยให้นักเรียนมีโอกาสใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อสร้างข้อโต้แย้งในประเด็นต่างๆ หรือเพื่อระบุจุดอ่อนในข้อโต้แย้งของผู้อื่น แต่ยังช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับประเด็นต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ด้วยตัวเองได้อีกด้วย

 การสร้างและการวิพากษ์วิจารณ์ข้อโต้แย้งเป็นทั้งแก่นของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และแก่นของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ งานวิจัยได้บ่งชี้ชัดว่า การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันของนักเรียนในห้องเรียนผ่านการอภิปรายถกเถียงประเด็นต่างๆ ทำให้เกิดการเรียนรู้เชิงปัญญา (cognitive learning) ที่มีประสิทธิภาพ

 นักเรียนในระดับประถมศึกษาสามารถเริ่มพัฒนาทักษะ Practice ที่ 7 ได้ด้วยการเรียนรู้ที่จะสร้างข้อกล่าวอ้าง (claim) เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่สังเกตได้ หรือ ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง นอกจากนั้นนักเรียนยังควรได้ใช้เหตุผลและเอกสารอ้างอิงต่างๆ ในการสร้างคำอธิบายด้วย นอกจากนี้ นักเรียนควรเริ่มเรียนรู้ที่จะสามารถแบ่งแยกข้อเท็จจริง (evidence) จากข้อคิดเห็น (opinion) ถ้าเป็นไปได้

เมื่อทักษะการสร้างข้ออภิปรายโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาขึ้นเรื่อยๆ นักเรียนควรจะสามารถใช้เหตุผลและข้อเท็จจริงที่หลากหลายสำหรับการสร้างข้อโต้แย้งที่ซับซ้อนมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นนักเรียนควรสามารถพิจารณาได้ว่าแง่มุมใดของข้อเท็จจริงที่มีอยู่ จะเป็นประเด็นสำคัญในการสนับสนุน หรือ ปฏิเสธ ข้อโต้แย้งหนึ่งๆ ได้

 นักเรียนได้เรียนรู้ที่จะวิพากษ์วิจารณ์ ด้วยการถามคำถามเกี่ยวกับข้อสรุปที่ตนเองและเพื่อนๆ ได้จากการศึกษาค้นคว้า จากนั้น ควรคาดหวังให้นักเรียนสามารถระบุจุดอ่อนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นจุดอ่อนของข้อมูลที่มี หรือจุดอ่อนของข้อถกเถียงโต้แย้ง และควรจะสามารถให้เหตุผลได้ว่า เพราะเหตุใด คำวิจารณ์ของตนจึงถูกต้องและเหมาะสม และเมื่อนักเรียนมีความชำนาญในการอภิปรายโต้แย้ง วิพากษ์วิจารณ์มากยิ่งขึ้น พวกเขาควรจะได้เรียนรู้คำต่างๆ ที่ใช้ในการอภิปรายโต้แย้ง ยกตัวอย่างเช่น ข้อกล่าวอ้าง (claim) เหตุผล (reason) ข้อมูล (data) ฯลฯ นักเรียนควรได้เรียนรู้ว่า การตรวจสอบโดยเพื่อนร่วมอาชีพ (peer review) และการตรวจสอบอย่างอิสระ (independent verification) ของข้อสรุปที่ได้จากการทดลอง ช่วยให้วิทยาศาสตร์คงความเป็นศาสตร์เชิงวัตถุประสงค์ (objectivity) และมีความน่าเชื่อถือ (trust) อย่างไม่จืดจาง

**Practices ที่ 8 การเสาะหา การประเมิน และ การนำเสนอข้อมูล**

 เพื่อการเป็นผู้รู้เรื่องวิทยาศาสตร์ (science literate) นักเรียนจำต้องมีความสามารถในการอ่านและเข้าใจเนื้อหาในงานตีพิมพ์ (literature) ทางวิทยาศาสตร์ได้ วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์คือวิถีทางในการได้มาซึ่งความเข้าใจผ่านการสื่อสารในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น คำพูด แผนภาพ กราฟ รูป สัญลักษณ์ หรือคณิตศาสตร์

การอ่าน การแปลความหมาย และการสื่อสารด้วยวิธีการต่างๆ (เขียน พิมพ์ สร้างคลิปวีดีโอ) เป็นแนวปฏิบัติพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ และเป็นแนวปฏิบัติที่ใช้เวลาอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของเวลาทั้งหมดในการทำงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

ถึงแม้ว่านักเรียนในแต่ละชั้นปีจะได้รับการพัฒนาทักษะการอ่านที่เหมาะสมแล้ว การอ่านเพื่อทำความเข้าใจเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์มักจะเป็นเรื่องที่ท้าทาย อันเนื่องมาจากเหตุผล 3 ประการ ได้แก่ (1) นักเรียนไม่คุ้นเคยกับศัพท์เฉพาะ (jargon) หรือประโยคที่มีโครงสร้างซับซ้อนที่ใช้ในเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ (2) การอ่านเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ต้องดำเนินไปเพื่อกลั่นกรองข้อมูลที่มีความถูกต้องมากที่สุด ดังนั้น สมาธิ ทักษะ ในการอ่านเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์จึงไม่เหมือนกับการอ่านสื่อสิ่งพิมพ์ทั่วๆ ไป อย่างหนังสือพิมพ์ หรือ นวนิยาย (3) เนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงในสื่อต่างๆ อยู่ในหลากหลายรูปแบบผสมกัน ไม่ว่าจะเป็น ตัวอักษร แผนภาพ สัญลักษณ์ ฯลฯ ผู้อ่านจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจรูปแบบการสื่อสารต่างๆ ด้วย

การสื่อสารด้วยการเขียนหรือการบรรยายเป็น Practice พื้นฐานของวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีความสามารถในการอธิบายผลการสังเกตให้ตรงกับความเป็นจริง ต้องสามารถขัดเกลาความคิดและปรับแก้ข้อโต้แย้งให้ชัดเจนที่สุด และเนื่องจากการเขียนเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สื่อสารภายในชุมชนนักวิทยาศาสตร์ การเรียนรู้ที่จะเขียนรายงานทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ วิทยาศาสตร์จะไม่สามารถก้าวหน้าไปได้ ถ้าหากนักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถสื่อสารผลงานของตนได้อย่างชัดเจนและน่าสนใจ การสื่อสารทางวิทยาศาสตร์เกิดขึ้นในหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบที่เป็นทางการ เช่น หนังสือ เว็บไซต์ วารสารที่มี peer-review หรือการนำเสนอในงานประชุมวิชาการ และอาจเกิดขึ้นอย่างไม่เป็นทางการ เช่น การโต้ตอบทางอีเมลล์ การโทรศัพท์ การเขียน-อ่าน blog เป็นต้น นอกจากนี้ ในโลกปัจจุบัน เทคโนโลยีสารสนเทศได้ช่วยให้เกิดเครือข่ายการติดต่อสื่อสาร แลกเปลี่ยนความรู้ ในหมู่นักวิทยาศาสตร์ไปรอบโลก ส่งผลให้ทักษะการอ่านและการเขียน ทวีความสำคัญมากยิ่งขึ้น

ผู้บริโภคข้อมูลข่าวสารทางวิทยาศาสตร์ ไม่ว่าจะในฐานะประชาชน หรือในฐานะนักวิทยาศาสตร์ จำต้องมีความสามารถในการระบุสาระสำคัญของเนื้อหา ระบุแหล่งที่มาของความผิดพลาดเชิงเนื้อหาและเชิงเทคนิค สามารถแยกแยะได้ว่าเนื้อหาส่วนใดเป็นผลจากการสังเกต ส่วนใดเป็นผลจากการอนุมาน (inference) ส่วนใดเป็นข้อโต้แย้ง ส่วนใดเป็นคำอธิบาย และส่วนใดเป็นข้อกล่าวอ้าง ส่วนใดเป็นข้อเท็จจริง

**ทักษะที่คาดหวังเมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับชั้น ม. 6 (Goals)**

เมื่อนักเรียนจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 นักเรียนควรมีความสามารถดังต่อไปนี้

* สามารถใช้ตัวอักษร ตาราง แผนภาพ และกราฟ (ไม่ว่าจะเป็นแบบกระดาษหรืออิเล็กทรอนิคส์) รวมถึง สัญลักษณ์และสมการทางคณิตศาสตร์ ในการสื่อสารความเข้าใจหรือถามคำถามเกี่ยวกับระบบในธรรมชาติที่ทำการศึกษาได้
* สามารถอ่านเนื้อหา ตาราง แผนภาพ กราฟ ในสื่อสิ่งพิมพ์ทางวิทยาศาสตร์ และสามารถใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่สำหรับทำความเข้าใจ และอธิบายสาระสำคัญที่พบให้ผู้อื่นเข้าใจได้
* สามารถพิจารณาเห็นหลักการสำคัญของการเขียนและการบรรยายทางวิทยาศาสตร์ และสามารถสร้างงานเขียน หรือ นำเสนองานแบบบรรยาย ที่สามารถสื่อสารแนวคิดและผลงานของตนเองออกไปให้ผู้อื่นรับรู้ได้
* สามารถอ่านสื่อสิ่งพิมพ์ปฐมภูมิ (primary scientific literature) หรือรายงานทางวิทยาศาสตร์ อย่างมีวิจารณญาณ และสามารถอภิปรายโต้แย้งถึง ความถูกต้อง (validity) และความน่าเชื่อถือ (reliability) ของข้อมูล สมมติฐาน และข้อสรุป ในรายงานทางวิทยาศาสตร์ได้

**พัฒนาการที่เกิดขึ้นเมื่อเลื่อนระดับชั้นปี (Progression)**

 การศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในรูปแบบใดก็ตาม จำเป็นต้องให้นักเรียนได้พัฒนาทักษะในการอ่านและเขียน เพราะฉะนั้นแล้ว การเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์หรือวิศวกรรมศาสตร์ในแต่ละหัวข้อจึงเปรียบเหมือนว่า ได้มีการเรียนวิชาภาษาอังกฤษ (หรือภาษาไทย) ไปพร้อมกันด้วย

 นักเรียนจำเป็นต้องได้รับการฝึกฝนและส่งเสริมให้ได้พัฒนาความสามารถในการอ่านจับใจความเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็น ในหนังสือ รายงาน หรือ รูปแบบการสื่อสารต่างๆ นักเรียนควรสามารถทำเข้าใจสิ่งที่เนื้อหาพยายามสื่อได้ และสามารถสร้างงานเขียนหรือแผนภาพ สำหรับการสื่อสารแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ให้ผู้อื่นเข้าใจได้ อีกทั้ง นักเรียนควรได้มีส่วนร่วมในการอภิปรายเกี่ยวกับแนวความคิด (idea) ต่างๆ อีกด้วย

 เมื่อเริ่มต้นการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ นักเรียนควรได้มีส่วนร่วมในการสื่อสารเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสื่อสารถึงผลการค้นคว้าทดลอง หรือผลการสังเกต ที่นักเรียนเองได้ลงมือทำ ควรได้ฝึกทักษะในการบันทึกผลการสังเกตอย่างรอบคอบ การสร้างคำอธิบายแนวคิดที่ชัดเจน พร้อมกับการแต่งประโยคเพื่อตอบคำถามหรือเพื่อถามคำถาม ทักษะเหล่านี้ควรเป็นทักษะที่เริ่มฝึกฝนในระดับชั้นแรกเริ่มที่สุด

 ในระดับชั้นประถมปลายจนถึงระดับมัธยมต้น ความสามารถในการทำความเข้าใจงานเขียนทางวิทยาศาสตร์ยิ่งทวีความสำคัญมากขึ้น การเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับนี้ นักเรียนควรได้อ่านเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ ทำความเข้าใจสิ่งที่เนื้อหาต้องการสื่อ เข้าใจความหมายของข้อมูลในตาราง แผนภาพ และสามารถสร้างงานเขียนที่สื่อถึงความหมายของข้อมูลในรูปแบบต่างๆ นี้ได้

 ตลอดช่วงเวลาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ นักเรียนจะได้เรียนรู้ศัพท์ใหม่ๆ ซึ่งแนวทางที่จะทำให้นักเรียนเข้าใจความหมายของคำศัพท์ใหม่ๆ ทางวิทยาศาสตร์ได้ดีที่สุด คือการได้มีโอกาสใช้คำต่างๆ ในบริบทจำเพาะของคำเหล่านั้น

 เพื่อที่จะมีความเชี่ยวชาญในการทำความเข้าใจเนื้อหาในสื่อสิ่งพิมพ์ทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนจำเป็นต้องได้มีโอกาสฝึกฝนการระบุสาระสำคัญของเนื้อหาต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ที่ได้อ่าน โดยไม่ควรคาดหวังว่า นักเรียนจะสามารถนำทักษะที่ใช้อ่านหนังสือทั่วไปมาใช้กับการอ่านทำความเข้าใจเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

 นักเรียนควรได้บันทึกผลงานของพวกเขาในสมุดบันทึก ไม่ว่าจะเป็นการบันทึกผลการสังเกต แนวคิดใหม่ๆ หรือ แบบจำลองที่ออกแบบไว้ นักเรียนควรได้รับการส่งเสริมให้สร้างแผนภาพ กราฟ หรือ ตารางเพื่อแสดงข้อมูลที่ได้จากการสังเกต นักเรียนควรได้ฝึกฝนการนำเสนองานที่ได้ศึกษาผ่านการเขียนรายงานหรือจัดทำโปสเตอร์ และผ่านการอภิปราย ได้ฝึกฝนการซักถามประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานที่ได้ทำ ทั้งนี้ การพัฒนาทักษะในการเขียนและการพูดเพื่อการสื่อสารเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ควรดำเนินไปพร้อมๆ กัน

ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย Practice ที่ 8 นี้ควรได้รับการพัฒนายิ่งขึ้นอีก นักเรียนในระดับชั้นนี้ ควรจะได้อ่านเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เช่นรายงานทางเทคนิค (technical report) หรือ งานตีพิมพ์ (scientific literature) ยิ่งไปกว่านั้น นักเรียนจะต้องได้อ่านและอภิปรายเนื้อหาของรายงานทางวิทยาศาสตร์ อย่างมีวิจารณญาณ เพื่อในที่สุด พวกเขาจะได้เรียนรู้ว่า ความรู้ แนวคิด ทฤษฎีต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ มีการสื่อออกไปถึงชุมชนนักวิทยาศาสตร์ได้อย่างไร

**บทสะท้อนถึง Practices ทั้ง 8 ข้อ**

ในอดีต วิทยาศาสตร์ได้แสดงให้เห็นว่า เป็นศาสตร์ที่ได้ขยายขอบเขตความรู้ความเข้าใจในธรรมชาติให้กับมนุษย์ พร้อมกับเปลี่ยนแปลง (transform) ความเข้าใจนั้นๆ ไปในกระบวนการด้วย ดังนั้น การทำความเข้าใจว่า วิทยาศาสตร์ก่อให้เกิดความเป็นไปดังกล่าวได้อย่างไร ถือเป็นหัวใจสำคัญของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

 ถึงแม้ว่า จะไม่มีข้อตกลงที่ทุกคนเห็นร่วมกัน ถึงแนวทางในการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (nature of science) ให้กับนักเรียนในชั้นเรียน แต่ได้มีข้อคิดเห็นของคนส่วนใหญ่ที่ตรงกัน (consensus) ถึง ลักษณะ (characteristics) ของวิทยาศาสตร์ ที่ประชาชนที่ได้รับการศึกษาควรเข้าใจ ยกตัวอย่างเช่น ความเข้าใจที่ว่า วิธีการทางวิทยาศาสตร์ (scientific method) ประกอบไปด้วย การสังเกต ตั้งสมมติฐาน การวิเคราะห์และสรุปผล เป็นเหมือนนิทานปรัมปราที่อยู่ในแบบเรียนทางวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ผิดเชิงรากฐาน (fundamentally wrong) เพราะในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ต้องทำในสิ่งที่หลากหลาย ตั้งแต่การใช้เหตุผลในการสร้างข้อสรุป เสาะหารูปแบบ จำแนกแยกแยะประเภทของสิ่งต่างๆ สร้างคำอธิบายที่ครอบคลุมผลที่ได้จากการสังเกตซึ่งได้กระทำซ้ำๆ กัน และการได้มีส่วนร่วมในการอภิปรายถกเถียงถึงความถูกต้องของคำอธิบายต่างๆ

ดังนั้น ภาพที่แสดงถึงการใช้เหตุผลในวิธีการทางวิทยาศาสตร์นั้น จึงมีความเข้มข้น ซับซ้อน และหลากหลายกว่าภาพที่คนทั่วไปเข้าใจกันว่าวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (scientific method) เป็นวิธีที่มีลำดับขั้นตอนจากลำดับแรกไปลำดับสุดท้าย อย่างตรงไปตรงมา

สิ่งที่ดึงดูดมากที่สุดในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์คือ การที่นักวิทยาศาสตร์ได้มีส่วนร่วมในการอภิปราย วิพากษ์วิจารณ์ ประเด็นต่างๆ ทั้งนี้ เนื่องจากว่า นักวิทยาศาสตร์จำต้องเป็นผู้สำรวจ ตรวจสอบ แนวความคิดของนักวิทยาศาสตร์คนอื่นๆ ในวงการ ดังนั้น การโต้แย้ง ถกเถียงกันในชุมชนนักวิทยาศาสตร์จึงเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตลอดเวลา ยิ่งไปกว่านั้น แนวทางการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ได้วางรากฐานของระบบการตรวจสอบผลงานทางวิทยาศาสตร์ด้วยเพื่อนร่วมอาชีพ (peer-review) สำหรับการสร้างคุณค่าและความน่าเชื่อถือ (credibility) ให้กับผลงานของนักวิทยาศาสตร์ที่อยู่ในวงการ แนวคิดใหม่ๆ ที่ได้ผ่านการกลั่นกรอง วิพากษ์วิจารณ์ สำรวจตรวจสอบ ในลักษณะดังกล่าวเท่านั้น จึงจะกลายเป็นแนวคิดที่ได้รับการยอมรับในวงการของนักวิทยาศาสตร์

 ในความเห็นของคณะกรรมการจัดทำเอกสารฉบับนี้ การที่นักเรียนได้มีโอกาสในการเรียนรู้ทักษะพื้นฐานของ Practices ทั้ง 8 เปรียบเสมือนว่า เป็นการให้นักเรียนได้มีโอกาสใช้เวลาครุ่นคิด สร้างสมความเข้าใจว่า การสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ดำเนินไปอย่างไร ยกตัวอย่างเช่น เมื่อนักเรียนได้ทำความเข้าใจว่าการสร้างแบบจำลองเป็นขั้นตอนสำคัญในการได้มาซึ่งความเข้าใจใหม่ๆ นักเรียนควรเข้าใจว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นสอดคล้องกับลักษณะสำคัญของธรรมชาติที่ทำการศึกษาเป็นอย่างดี ซึ่งเปรียบเสมือนแผนที่มากกว่าที่จะเป็นตัวแทนของระบบในธรรมชาติ นักเรียนควรได้ทำความเข้าใจว่า ความสำเร็จที่ยิ่งใหญ่ของวิทยาศาสตร์ คือ การได้มาซึ่งทฤษฎีหลักที่สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ สิ่งที่สังเกตพบในธรรมชาติได้อย่างสอดคล้องกัน และเป็นทฤษฎีที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้หลากหลายกรณี

การที่จะเข้าใจได้ว่าวิทยาศาสตร์ทำงานอย่างไร จำต้องอาศัยการสังเคราะห์ ความรู้ 3 ประเภท ได้แก่ ความรู้เชิงเนื้อหาสาระ (content knowledge) ความรู้เชิงกระบวนการ (procedural knowledge) และความรู้เชิงความเชื่อ (epistemic knowledge)

ความรู้เชิงกระบวนการคือความรู้ว่า นักวิทยาศาสตร์ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ได้มาซึ่งผลสรุปที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือได้อย่างไร ความรู้เชิงกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มีลักษณะจำเพาะเจาะจง และบางครั้งถูกเรียกว่า “concepts of evidence”

ความรู้เชิงความเชื่อ (epistemic knowledge) คือความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและคุณค่าที่มีอยู่ในวิทยาศาสตร์เอง นักเรียนควรมีโอกาสทำความเข้าใจความหมายของคำว่า “การสังเกต” “การตั้งสมมติฐาน” “การอนุมาน” “การสร้างแบบจำลอง” “ทฤษฎี” หรือ “ข้อกล่าวอ้าง” และพร้อมที่จะจำแนกแยกแยะสิ่งต่างๆ เหล่านี้

ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ควรมีการแสดงให้เห็นว่า แนวคิดใหม่ๆ ทางวิทยาศาสตร์ มีจุดกำเนิดมาจาก “การใช้จินตนาการ” ของนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งปัจจุบันนี้ แนวคิดใหม่ๆ ทางวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นโดยการประสานงานร่วมมือกันศึกษาค้นคว้าในหมู่นักวิทยาศาสตร์ ที่ได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น ข้อถกเถียงและอภิปรายประเด็นต่างๆ อันนำไปสู่การตัดสินว่า แนวคิดใหม่แนวคิดใด ที่จะมีคุณค่าพอสำหรับการค้นคว้าศึกษาเพิ่มเติม

ลักษณะสำคัญของแนวคิดใหม่ๆ ที่สามารถผ่านกระบวนการตรวจสอบอย่างเข้มข้นได้นั้น คือ เป็นแนวคิดที่สอดคล้องกับความรู้หรือทฤษฎีเดิมที่มีอยู่แล้ว เป็นแนวคิดที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ไม่เคยถูกอธิบายได้เป็นอย่างดี หรือเป็นแนวคิดที่สามารถอธิบายสิ่งที่สังเกตพบเพิ่มเติมได้ หรือสามารถอธิบายปรากฏการณ์เดิมได้อย่างสั้น ครอบคลุมและลงตัวกว่าเดิม

วิทยาศาสตร์เต็มไปด้วยแนวคิดจำนวนมากที่ครั้งหนึ่งอาจดูเหมือนจะเป็นแนวคิดที่ดีเยี่ยม แต่ไม่สามารถคงอยู่ได้เมื่อกาลเวลาผ่านไป ยกตัวอย่างเช่น กรณีของแนวคิดของ “อีเธอร์” (ether) ดังนั้น แนวคิดใหม่ๆ ที่ดูอาจจะเหมือนเป็นแนวคิดที่ดี เมื่อเวลาผ่านไป หลังจากที่ได้ผ่านการทดสอบซ้ำๆ กันหลายๆ ครั้ง แนวคิดนั้นอาจจะกลายเป็น “ข้อเท็จจริง” (fact) นั่นคือ องค์ความรู้องค์ที่ไม่ต้องมีการทดสอบหรือซักถามเพิ่มเติมอีกแล้ว ยกตัวอย่างเช่น องค์ความรู้ที่ว่า อะตอมมีอยู่จริง

นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้ทฤษฎีและแบบจำลองที่มีอยู่สำหรับการอธิบายและทำนายความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (causal relationship) เมื่อทฤษฎีได้รับการทดสอบอย่างเข้มข้นแล้ว ทฤษฎีนั้นจะสามารถนำไปทำนายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี ช่วยให้เกิดการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์สร้างสรรค์เทคโนโลยีใหม่ๆ และนำไปใช้เป็นหลักในการตัดสินในนโยบายต่างๆ อีกด้วย

อาจกล่าวได้ว่า วิทยาศาสตร์ไม่ใช่รายการเบ็ดเตล็ดของข้อเท็จจริง (miscellany of facts) แต่เป็นองคาพยพที่ประกอบด้วยองค์ความรู้ที่ได้ผ่านการทดสอบมาอย่างเข้มข้น สอดคล้องกลมกลืนกันเป็นอย่างดี และสามารถเป็นเครื่องมือที่ทรงประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ

การที่นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการสร้างแบบจำลองและวิพากษ์วิจารณ์ประเด็นต่างๆ ของระบบที่ศึกษาบนพื้นฐานของข้อเท็จจริง จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้คิดสะท้อน (reflect) ถึงสถานะของความรู้เดิมที่พวกเขารู้ และช่วยให้พวกเขาได้ทำความเข้าใจว่า ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เป็นอย่างไร และเมื่อพวกเขาได้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และได้เรียนรู้ที่จะเห็นคุณค่าในระดับพื้นฐานของธรรมชาติ (basic nature) แล้ว ระดับความเข้าใจถึงบทบาทที่แต่ละขั้นตอนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลกับการพัฒนาวงการวิทยาศาสตร์ (scientific enterprise) จะเพิ่มระดับความซับซ้อนมากขึ้นอีก และจะได้รับการพัฒนามากยิ่งขึ้น ในชั้นเรียนสูงขึ้นต่อไป

สรุปความจาก National Research Council. (2011). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press. หน้า 3-5 ถึง 3-23 โดย อ.รักษพล ธนานุวงศ์ ฝ่ายบริหารโครงการริเริ่มพิเศษ สสวท. เพื่อประกอบการประชุมปฏิบัติการปรับปรุงมาตรฐานหลักสูตรวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สำหรับอนาคต