รายงานสรุปการอบรมเชิงปฏิบัติการ STEM Education

วิทยากร Prof. Mitchell Nathan, University of Wisconsin, Madison

สรุปรายงานโดย นายรักษพล ธนานุวงศ์

นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนต้น สสวท.

เมื่อวันที่ 10 – 11 มกราคม พ.ศ. 2556 ที่ผ่านมา Professor Mitchell Nathan จาก Educational Psychology Department, University of Wisconsin ได้ให้เกียรติมาเป็นวิทยากรจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการให้กับนักวิชาการ สสวท. ในหัวข้อ STEM Education ซึ่งเป็นการอบรมที่มีทั้งการบรรยาย และการให้ผู้เข้ารับการอบรมได้ร่วมทำกิจกรรม เพื่อการทำความเข้าใจ STEM Education ที่ดียิ่งขึ้น

เพื่อเป็นประโยชน์ทางวิชาการในวงกว้างต่อไป จึงได้มีการจัดทำรายงานสรุปการอบรมฯ สำหรับเผยแพร่ให้กับนักวิชาการ สสวท. และบุคคลทั่วไป ทั้งนี้ ในการจัดทำรายงานฉบับนี้ ผู้เขียนได้มีการศึกษา ค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับเนื้อหาในบางหัวข้อ ซึ่งผู้เขียนไม่มีความเชี่ยวชาญ ดังนั้น หากมีข้อบกพร่องประการใดในการใช้คำศัพท์ การแปลความหมาย หรือ สิ่งอื่นใด ผู้เขียนต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ และ ถ้าหากผู้อ่านท่านใด มีข้อเสนอแนะ ติชม เพิ่มเติม เกี่ยวกับเนื้อหาในรายงานสรุปฉบับนี้ จะได้โปรดให้ความกรุณาแจ้งมาที่อีเมล์ rthan@ipst.ac.th จักขอบคุณอย่างสูง

เนื้อหาจากการบรรยายและการทำกิจกรรมเรื่อง STEM Education มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความหมายและแนวทางการเรียนรู้แบบ STEM Education

STEM Education คือ การเรียนรู้เนื้อหาและทักษะทางด้านวิชาวิทยาศาสตร์ (Science) คณิตศาสตร์ (Mathematics) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และ เทคโนโลยี (Technology) ซึ่งล้วนเป็นวิชาที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้มีความรู้ความสามารถที่จะดำรงชีวิตได้อย่างมีคุณภาพในโลกศตวรรษที่ 21 ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว มีความเป็นโลกาภิวัฒน์ ตั้งอยู่บนฐานความรู้ และเต็มไปด้วยเทคโนโลยี อีกทั้งวิชาทั้งสี่เป็นวิชาทีมีความสำคัญอย่างมากกับการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจ การพัฒนาคุณภาพชีวิต และ ความมั่นคงของประเทศ

ในอดีตที่ผ่านมา การเรียนรู้วิชาทั้งสี่ใน STEM เป็นการเรียนรู้ที่แยกออกจากกันอย่างอิสระ (separated and independent) ดังเช่นการเรียนการสอน STEM ในประเทศไทย หรือ การเรียนการสอน STEM ในประเทศสหรัฐอเมริกา ที่แยกวิชา วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และ เทคโนโลยี ออกจากกันอย่างชัดเจน (ในขณะที่ไม่มีการเน้นวิชาวิศวกรรมศาสตร์มากนัก) ทั้งนี้ นักการศึกษาและนักวิชาการในประเทศสหรัฐอเมริกาเปรียบเทียบแนวทางการเรียนรู้ที่แยกออกจากกันอย่างอิสระของวิชาทั้งสี่ใน STEM ว่าคล้ายกับ “ชุดของฉางเก็บเมล็ดพืช” หรือ “ไซโล” (silo) ที่ตั้งอยู่ตามทุ่งนา ซึ่งถูกสร้างให้อยู่ใกล้ชิดกัน เรียงกันเป็นระเบียบ แต่ฉางแต่ละฉางแยกกันเป็นอิสระ (แต่ในบริบทของประเทศไทย ฉางเก็บข้าวหรือฉางเก็บสิ่งของของชาวนา อาจจะไม่มีลักษณะดังกล่าวอย่างเด่นชัด ดังนั้น นักวิชาการไทยอาจจะใช้การเปรียบเทียบกับสิ่งอื่น)

ภาพที่ 1 ชุดของฉางเก็บของ (silo) ของชาวไร่ชาวนาตามพื้นที่ชนบทในประเทศสหรัฐอเมริกา

ทั้งนี้ เมื่อไม่กี่สิบปีที่ผ่านมา ได้มีกระแสของกลุ่มนักวิชาการ นักการศึกษา และ ครู ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่ต้องการให้มีการเน้นการเรียนการสอน “E” ของ STEM หรือ วิศวกรรมศาสตร์ ให้มากและชัดเจนกว่าเดิม เนื่องด้วย มีการพบว่า การเน้นให้มีการเรียนรู้เนื้อหาวิชาวิศวกรรมศาสตร์มากยิ่งกว่าเดิม นอกจากจะส่งเสริมให้การเรียนรู้เนื้อหาในวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ มีความน่าสนใจและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นแล้ว ผู้เรียนยังได้ฝึกฝนทักษะการนำเนื้อหาที่ได้เรียนรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง และทำให้การเรียนรู้ STEM สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น **[1]

แนวทางหนึ่งของ STEM Education แบบบูรณาการดังที่ Prof. Nathan จะได้นำเสนอกิจกรรมให้ผู้เข้ารับการอบรมได้ลองปฏิบัติ คือ การเรียนรู้ที่มีการเชื่อมโยงวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เข้ากับวิศวกรรมศาสตร์อย่างชัดเจน (Explicit in Engineering Connection) หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งคือ มีการเรียนรู้ STEM ที่ผนวกการเรียนรู้บนฐานการออกแบบ (Design-based Learning) ซึ่งเป็นแนวทางการเรียนรู้เชิงวิศวกรรมศาสตร์เข้าไปอย่างชัดเจน

การเรียนการสอนแบบประสานรวมกันของวิชาทั้งสี่ใน STEM ดังกล่าว จำเป็นต้องให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ ได้ทำงานเป็นกลุ่ม อภิปราย และ สื่อสารเพื่อนำเสนอผลงาน คล้ายกับแนวทางการเรียนรู้แบบ Project-based Learning ซึ่งได้มีการศึกษามาแล้วว่า สามารถส่งเสริมให้ผู้ทำกิจกรรมเกิด “การเรียนรู้ที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น” หรือ Deeper Learning**[2] อันได้แก่ การเรียนรู้ที่เตรียมความพร้อมผู้เรียนใน 5 ด้านสำคัญ ได้แก่

- การทำความเข้าใจเนื้อหาแกนหลักทางวิชาการได้อย่างดี (mastering core content)
- การคิดวิเคราะห์วิจารณ์ (thinking critically) และการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน (solving complex problems)
- การทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม (working collaboratively)
- การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ (communicating effectively) และ
- การเป็นผู้ริเริ่ม (self-directed) และรับคำวิพากษ์วิจารณ์ได้อย่างดี (incorporate feedback)

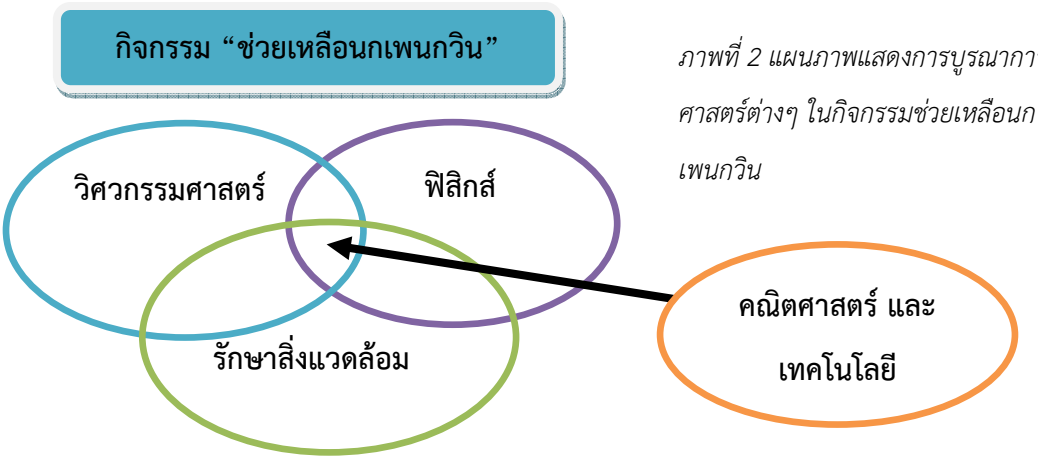
นอกจากนี้ STEM Education แบบบูรณาการ ยังมีการผนวกองค์ประกอบสำคัญของการเรียนการสอน 2 ด้านนั่นคือ

- การผนวกกันด้านบริบท (Context Integration) มีการทำให้ศาสตร์ทั้ง 4 รวมเข้าด้วยกันด้วยบริบทที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียนบริบทเดียว
- การผนวกกันด้านเนื้อหา (Content Integration) มีการทำให้ศาสตร์ทั้ง 4 รวมกัน “แนวคิดใหญ่” (Big Ideas) แนวคิดเดียว

กิจกรรม “ช่วยเหลือนกเพนกวิน” (Save the Penguins)

เพื่อการทำความเข้าใจเกี่ยวกับ STEM Education แบบบูรณาการที่ดียิ่งขึ้น Prof. Mitchell Nathan ได้จัดกิจกรรมให้กับนักวิชาการ สสวท. ได้ลองลงมือปฏิบัติ ในช่วงเวลา 2 วันของการอบรมเชิงปฏิบัติการ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่มีบริบทเกี่ยวกับ “สภาวะโลกร้อน” ชื่อว่ากิจกรรม “ช่วยเหลือนกเพนกวิน” (Save the Penguins)**[3] ซึ่งเป็นกิจกรรมที่พัฒนาโดย Dr. Christine Schnittaka มหาวิทยาลัย Auburn

ในภาพรวม ผู้ทำกิจกรรม “ช่วยเหลือนกเพนกวิน” จะได้นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับ “การถ่ายโอนความร้อน” (heat transfer) ที่สอดคล้องกับตัวชี้วัดในวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น มาออกแบบสร้างบ้านให้กับนกเพนกวิน (ที่จะใช้ก้อนน้ำแข็งแทน) ตามหลักการและกระบวนการทางวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาที่อยู่อาศัยของนกเพนกวิน (หรือ พื้นที่ของก้อนน้ำแข็งขั้วโลก) ที่กำลังลดน้อยลงทุกที อันเนื่องมาจากอุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้น ทั้งนี้ ในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองจะต้องมีการใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หลักการทางสถิติ และ พีชคณิต มาช่วย อีกทั้ง จะต้องมีการเลือกใช้วัสดุและการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ที่ผู้ทำกิจกรรมจำเป็นต้องอาศัยทักษะและความรู้ทางเทคโนโลยี เพื่อให้การทำกิจกรรมบรรลุเป้าหมาย



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงการบูรณาการศาสตร์ต่างๆ ในกิจกรรมช่วยเหลือนกเพนกวิน

คำแนะนำก่อนเริ่มทำกิจกรรม “ช่วยเหลือนกเพนกวิน”

ก่อนการทำกิจกรรม Prof. Nathan ได้ชี้ให้เห็นถึงแนวทางปฏิบัติที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าที่ดีของนักวิทยาศาสตร์ วิศวกร หรือ นักประดิษฐ์ ที่มีชื่อเสียงหลายคน นั่นคือ “การจดบันทึก” และ “การมีสมุดจดบันทึกไว้เสมอ” Prof. Nathan ได้กล่าวว่า การบันทึกต่างๆ นั้นไม่เพียงเป็นการบันทึกสิ่งที่สังเกตเห็น หรือ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง แต่รวมไปถึง การบันทึก “กระบวนการคิด” ของผู้บันทึกไว้ด้วย ว่า เมื่อผู้ทำการบันทึกได้ผลการทดลองออกมาแล้ว มีแนวคิดกับเรื่องนั้นอย่างไร มีคำอธิบายอย่างไร หรือ มีคำถามอะไรที่ต้องการหาคำตอบเพิ่มเติม เป็นต้น

ทั้งนี้ Prof. Nathan ได้ย้ำว่า การจดบันทึก สำคัญมาก ผู้สอน STEM Education ทุกคนควรเน้นให้ผู้เรียนพยายามฝึกฝนการมีอุปนิสัยของการเป็นผู้จดบันทึกที่ดี และพยายามให้ผู้เรียนเก็บสมุดจดบันทึกการเรียนรู้สำหรับการศึกษาค้นคว้าไว้เสมอ

การประเมินความเข้าใจเบื้องต้นของผู้เรียนก่อนทำกิจกรรม “ช่วยเหลือนกเพนกวิน”

ก่อนการเริ่มต้นทำกิจกรรม “ช่วยเหลือนกเพนกวิน” Prof. Nathan ได้จัดกิจกรรมเพื่อการประเมินความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นของผู้เรียนเกี่ยวกับเนื้อหาที่จะสอนเสียก่อน ซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์กับการวางแผนการสอนในช่วงการดำเนินการสอนต่อไปแล้ว ยังจะสามารถช่วยกระตุ้นและสร้างความสนใจให้กับผู้เรียนเกี่ยวกับการเรียนรู้หัวข้อนั้นๆ ได้อีกด้วย

ในกิจกรรม “ช่วยเหลือนกเพนกวิน” นี้ แนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลักที่ผู้เรียนต้องทำความเข้าใจคือ เรื่อง “การถ่ายโอนความร้อน” ดังนั้น หนึ่งในวิธีการประเมินความรู้ความเข้าใจเดิมของผู้เรียนสามารถจัดทำได้โดย ให้ผู้เรียนได้ลองใช้ความเข้าใจเดิมเกี่ยวกับการถ่ายโอนความร้อนในการทำนายสถานการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียน ซึ่งในการอบรมครั้งนี้ ได้มีการสาธิตสถานการณ์ 3 สถานการณ์ เพื่อประเมินความเข้าใจเบื้องต้นของผู้เข้ารับการอบรม ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (ในการอธิบายการสาธิตทั้ง 3 ต่อไปนี้ กำหนดให้คำว่า “ผู้เรียน” แทนคำว่า “ผู้เข้ารับการอบรม” และ คำว่า “ผู้สอน” แทนคำว่า “วิทยากร” เพื่อสร้างความเข้าใจว่ากิจกรรมที่ปฏิบัติ เป็นกิจกรรมที่ใช้ในบริบทของการเรียนการสอนในห้องเรียน)

การสาธิตที่ 1 สมบัติการเป็นฉนวนความร้อนของวัสดุต่างๆ

ประสิทธิภาพของวัสดุต่างๆ ในการป้องกันการถ่ายโอนความร้อนนั้นแตกต่างกัน ผู้สอนสามารถประเมินความเข้าใจของผู้เรียนเรื่องการถ่ายโอนความร้อนได้ โดยการนำวัสดุที่มีอยู่ในชีวิตประจำวัน มาหุ้มกระป๋องน้ำอัดลมที่ผ่านการแช่เย็นและทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่ม ได้ลองทำนายว่า วัสดุชนิดใด ที่จะสามารถรักษาความเย็นของน้ำอัดลมในกระป๋องได้ดีที่สุด

การสาธิตที่ 1 มีขั้นตอนต่อไปนี้

1. นำกระป๋องน้ำอัดลมจำนวน 6 กระป๋องที่ผ่านการแช่เย็นด้วยเครื่องทำความเย็นเครื่องเดียวกันเป็นเวลา มาวางไว้หน้าชั้นเรียน
2. วัดอุณหภูมิของน้ำอัดลมในกระป๋องใดกระป๋องหนึ่ง สำหรับใช้เป็นตัวแทนค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำอัดลมในกระป๋องทั้ง 6 ใบ
3. ห่อหุ้มกระป๋องแต่ละใบ ด้วยวัสดุต่างชนิดกัน 5 ชนิด ได้แก่ กระดาษฟอยล์ ถุงเท้าผ้าด้ายดิบ ถุงเท้าโพลิเอสเตอร์ พลาสติก และ กระดาษทิชชูอเนกประสงค์ (paper towel) และ จัดให้กระป๋องน้ำอัดลมอีกใบไม่มีวัสดุใดหุ้มอยู่เลย
4. ปล่อยกระป๋องทั้ง 6 ใบที่หุ้มด้วยวัสดุต่างๆ ไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 10 - 15 นาที
5. ระหว่างการปล่อยให้เวลาผ่านไป ให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มได้ร่วมกันอภิปรายเพื่อทำนายว่า เมื่อปล่อยไว้ระยะเวลาหนึ่ง กระป๋องน้ำอัดลมที่หุ้มด้วยวัสดุชนิดใด จะยังคงมีความเย็นอยู่มากที่สุด (หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งคือ น้ำอัดลมในกระป๋องใบใด จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด)
6. ผู้สอนเขียนคำทำนายที่แต่ละกลุ่มให้มาบนกระดานดำ และให้ผู้เรียนจดบึกทึกคำทำนาย และคำอธิบายที่ใช้สนับสนุนการทำนายในกระดาษจดบันทึก
7. ผู้สอนนำเสนอคลิปวีดิโอเกี่ยวกับปัญหาการละลายของน้ำแข็งที่ขั้วโลกเนื่องจากสภาวะโลกร้อน ซึ่งทำให้พื้นที่อาศัยของนกเพนกวินลดลงเรื่อยๆ
8. เมื่อครบเวลาประมาณ 10 - 15 นาที ให้ผู้เรียนทำการวัดอุณหภูมิของน้ำอัดลมในกระป๋องแต่ละใบ ทั้ง 6 ใบ
9. ผู้เรียนบันทึกผลการวัดที่ได้ และให้แจ้งผลการวัดที่ได้กับผู้สอนด้วย เพื่อให้ผู้สอนกรอกข้อมูลลงใน Excel Spreadsheet ที่แสดงผลการวัดบนฉากหน้าห้องเรียนผ่านเครื่องฉาย

10. ให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายถึงสาเหตุที่สอดคล้องกับผลการสาธิตที่ได้ และพยายามทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการของการถ่ายโอนความร้อน

ภาพที่ 3 การใช้วัสดุทีหาได้รอบๆ ตัวมาหุ้มกระป๋องน้ำอัดลมเพื่อประเมินความเข้าใจเดิมของผู้เรียนเกี่ยวกับ "การถ่ายโอนความร้อน" (ที่มา: [3])

ผลการสาธิตที่ 1 ดังแสดงในตารางด้านล่าง

วัสดุ	อุณหภูมิเริ่มต้น (^{o}C)	อุณหภูมิจากการวัดครั้งที่ 1 (^{o}C)
กระดาษฟอยล์	8	14.7
ถุงเท้าผ้าฝ้าย	8	15.2
ถุงเท้าโพลิเอสเตอร์	8	15.7
พลาสติก	8	16.2
กระดาษทิชชูอเนกประสงค์	8	14.3
ไม่ใช้วัสดุห่อ	8	16.9

จากตาราง จะเห็นได้ว่า กระดาษทิชชูอเนกประสงค์ (paper towel) สามารถรักษาความเย็นของน้ำอัดลมได้ดีที่สุด หรือ อาจกล่าวได้ว่า กระดาษทิชชูอเนกประสงค์ ทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อน ป้องกันไม่ให้ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมในห้องเรียน ถูกถ่ายโอนผ่านเข้าไปในน้ำอัดลม ได้ดีที่สุด ส่วนในลำดับรองลงมา วัสดุที่รักษาความเย็นน้ำอัดลมได้ดี คือ กระดาษฟอยล์ ถุงเท้าผ้าฝ้าย ถุงเท้าโพลิเอสเตอร์ และ พลาสติก ตามลำดับ

สาเหตุที่กระดาษทิชชูอเนกประสงค์ สามารถรักษาความเย็นของน้ำอัดลมในกระป๋องได้ดีที่สุด เนื่องจากภายในเยื่อของกระดาษทิชชูที่ทำมาจากเยื่อของพืชนั้น มีอากาศแทรกอยู่ข้างในเซลล์ของเยื่อเหล่านี้ปริมาณหนึ่ง อากาศที่ถูกกักเก็บ (Trapped) ไว้ในเยื่อกระดาษนี้ เป็นอากาศที่ไม่มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนถ่ายกับสิ่งแวดล้อมและมีสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี การใช้อากาศที่ถูกกักเก็บไว้มาเป็นฉนวนความร้อนนี้ หลายคนอาจจะเคยสังเกตเห็นบ้านที่อยู่ในประเทศเมืองหนาว ซึ่งจะมีหน้าต่างสองชั้น เพราะต้องการกักเก็บอากาศให้อยู่ระหว่างหน้าต่างทั้งสองสำหรับเป็นฉนวนกันไม่ให้ความร้อนภายในบ้านถูกถ่ายโอนให้กับอากาศภายนอกบ้านที่หนาวเย็น

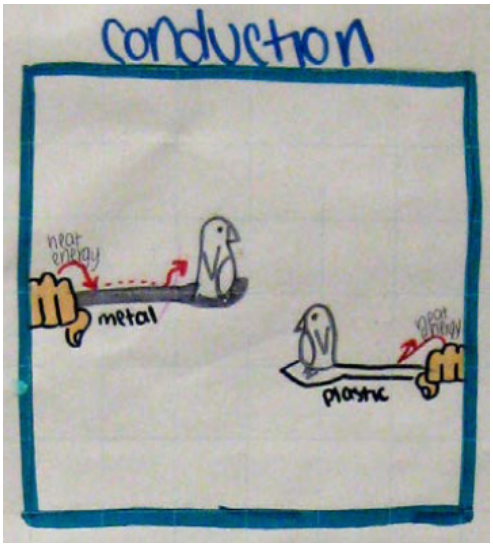
ในกรณีของถุงเท้าผ้าฝ้ายและถุงเท้าโพลิเอสเตอร์ การกักเก็บอากาศภายในใยผ้าทำได้ดีระดับหนึ่ง แต่ยังไม่ดีพอ เพราะว่าใยผ้าทั้งสอง ยังมีช่องที่อำนวยให้มีการระบายอากาศได้ดี การเป็นฉนวนความร้อนของถุงเท้าทั้งสอง จึงไม่ดีเท่ากับกระดาษทิชชูอเนกประสงค์

ส่วนกระดาษฟอยล์ ถึงแม้จะมีสมบัติเป็นตัวนำความร้อนที่ดี แต่เนื่องจากกระดาษฟอยล์สามารถกักเก็บอากาศไว้ระหว่างกระป๋องกับอากาศแวดล้อมภายนอกปริมาณหนึ่ง ทำให้กระดาษฟอยล์ สามารถป้องกันการถ่ายโอนความร้อนได้ดีระดับหนึ่ง ในขณะที่ถุงพลาสติก ถึงแม้จะมีสมบัติเป็นฉนวนความร้อน แต่ด้วยความบางและลักษณะการห่อกระป๋องที่แผ่นพลาสติกแนบชิดกับผิวของกระป๋องน้ำอัดลม ทำให้ปริมาณอากาศที่ถูกกักเก็บไว้ระหว่างกระป๋องกับสิ่งแวดล้อมมีน้อยมาก การห่อกระป๋องน้ำอัดลมด้วยพลาสติกจึงไม่สามารถรักษาความเย็นให้กับน้ำอัดลมไว้ได้ดีมากนัก

การสาธิตที่ 2 การนำความร้อนของช้อนโลหะและช้อนพลาสติก

การสาธิตที่ 2 นี้ เป็นการประเมินความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับ “การนำความร้อน” โดยให้ผู้เรียนได้ใช้ประสบการณ์เดิมเกี่ยวกับการได้เคยสัมผัสวัสดุที่ทำจากโลหะและวัสดุที่ทำจากพลาสติก เพื่ออธิบายการถ่ายโอนความร้อนผ่านวัสดุทั้งสองชนิด ซึ่งในการสาธิต ผู้สอนสามารถดำเนินการได้โดย ให้ผู้เรียนคนใดคนหนึ่งที่เป็น

ตัวแทนของแต่ละกลุ่มใช้มือข้างหนึ่งถือช้อนโลหะ ส่วนมืออีกข้างหนึ่งถือช้อนพลาสติก จากนั้น นำน้ำแข็งสองก้อนที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกันวางบนช้อนที่ถืออยู่ คันละหนึ่งก้อน จัดให้ส่วนปลายช้อนอยู่เหนือภาชนะรองรับ เช่น กระดาษทิชชูอเนกประสงค์ หรือ แก้วพลาสติก



ภาพที่ 4 ผู้เรียนคนเดียวกันใช้มือถือช้อนโลหะและช้อนพลาสติกที่มีก้อนน้ำแข็งวางอยู่ (ที่มา:[3])

จากนั้น ผู้สอนให้ผู้เรียนทำนายว่า “เมื่อถือช้อนทั้งสองคันไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง น้ำแข็งในช้อนคันใดจะละลายได้มากกว่ากัน”

ผู้เรียนที่อยู่ในระดับชั้นมัธยมต้นส่วนใหญ่ จะตอบว่า น้ำแข็งในช้อนที่ทำจากพลาสติกจะมีน้ำแข็งที่ละลายมากกว่า เนื่องจาก ผู้เรียนจะคุ้นเคยกับการได้สัมผัสวัสดุที่เป็นโลหะ และจะรู้สึกเย็นกว่าการได้สัมผัสวัสดุที่ทำจากพลาสติก ผู้เรียนส่วนใหญ่จึงมีความเข้าใจว่า ช้อนโลหะที่เย็นกว่า จะสามารถทำให้น้ำแข็งเย็นได้นานกว่าช้อนพลาสติกที่อุ่นกว่า ซึ่งคำตอบดังกล่าว จะตรงข้ามกับผลที่ได้จากการสาธิต ทั้งนี้ เนื่องจาก “โลหะเป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ดี” ส่วน “พลาสติกเป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ไม่ดี” การที่ผู้เรียนใช้มือถือช้อนโลหะไว้เป็นเวลาระยะหนึ่ง ความร้อนจากร่างกายของผู้เรียนจะถูกถ่ายเทไปให้น้ำแข็งผ่านช้อนโลหะได้ดีกว่าช้อนพลาสติก และด้วยความร้อนที่มากกว่า จึงทำให้น้ำแข็งละลายที่อยู่บนช้อนโลหะละลายได้มากกว่า

การที่เมื่อเราใช้มือสัมผัสกับวัสดุที่ทำจากโลหะ และรู้สึกเย็น เนื่องจาก ความร้อนในวัสดุที่ทำจากโลหะ ถูกถ่ายเทไปยังวัสดุรอบๆ ได้เป็นอย่างดี วัสดุที่ทำจากโลหะจึงเย็น ในขณะที่พลาสติกเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ความ

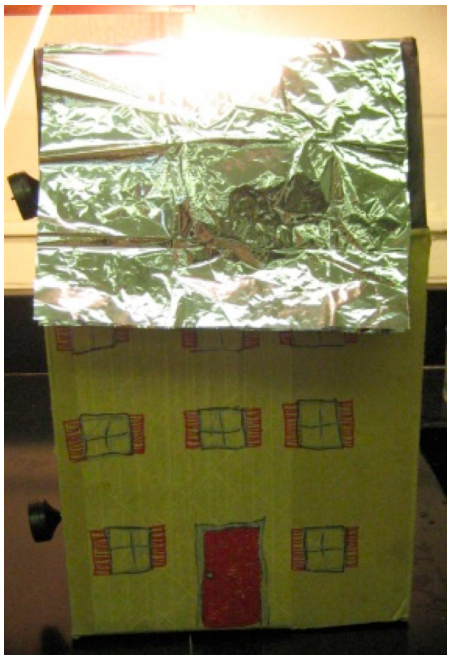
ร้อนที่สะสมอยู่ในพลาสติกจึงไม่ได้รับการถ่ายโอนให้กับสิ่งแวดล้อมได้ดีเท่าโลหะ การสัมผัสวัสดุที่ทำจากพลาสติกจึงให้ความรู้สึกอุ่นกว่าวัสดุที่ทำจากโลหะ

การสาธิตที่ 3 ความร้อนภายในบ้าน

ผู้สอนสอบถามผู้เรียนเกี่ยวกับประสบการณ์จากการที่เคยอาศัยอยู่ภายในบ้านว่า ระหว่างบริเวณชั้นบนและบริเวณชั้นล่างของบ้านของผู้เรียน บริเวณใดมีอากาศร้อนกว่ากัน โดยพยายามมุ่งเน้นไปที่ความเข้าใจ (ที่ไม่ถูกต้อง) ของผู้เรียนที่ว่า “ความร้อนลอยจากที่ต่ำขึ้นสู่ที่สูง” (heat rises)

จากนั้นผู้สอนนำบ้านจำลองที่หลังคาบ้านหุ้มด้วยกระดาษฟอยล์มาแสดงหน้าชั้นเรียน ถัดมา ผู้สอนใช้โคมไฟส่องไฟไปที่หลังคาบ้าน และให้ผู้เรียนลองใช้มือสัมผัสบริเวณด้านหลังแผ่นกระดาษฟอยล์ และให้บอกว่า รู้สึกร้อนมากน้อยเพียงไร ผู้สอนพยายามเน้นไปที่ความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับ “วัสดุที่มีลักษณะมันวาวจะดูดซับความร้อนได้ดี”

ต่อมา ให้เปลี่ยนวัสดุหุ้มหลังคาบ้าน จากแผ่นกระดาษฟอยล์เป็นแผ่นไมลาร์ (mylar sheet) จากนั้น ให้ผู้เรียนใช้มือสัมผัสบริเวณด้านหลังแผ่นไมลาร์ และให้ตอบว่ารู้สึกร้อนมากน้อยเพียงไร



ภาพที่ 5 ตัวอย่างบ้านจำลองที่ใช้ประเมินความรู้เดิมเกี่ยวกับ “การพาความร้อน” และ “การแผ่รังสี” ของผู้เรียน (ที่มา: [3])

** แผ่นไมลาร์ (mylar sheet) เป็นแผ่นที่ทำจากโพลิเอสเตอร์ ที่มีลักษณะมันวาวคล้ายแผ่นกระดาษฟอยล์ แต่มีสมบัติยืดหยุ่นที่ดีกว่า และเป็นฉนวนความร้อน และ ฉนวนไฟฟ้าที่ดี

การบรรยายให้ความรู้เรื่อง “การถ่ายโอนความร้อน”

หลังจากที่ผู้เรียน ได้อภิปรายเกี่ยวกับการถ่ายโอนความร้อนในกิจกรรมการสาธิตทั้ง 3 แล้ว ผู้สอนจึงได้บรรยายให้ความรู้ที่ถูกต้องหน้าชั้นเรียน เพื่อเป็นแก้ปัญหา “ความไม่ลงตัวทางความคิด” (Cognitive Dissonance) ที่เกิดขึ้นกับตัวผู้เรียน ยกตัวอย่างเช่น

ความร้อน (Heat) คือ การถ่ายโอน “พลังงานความร้อน” (thermal energy) ซึ่ง พลังงานความร้อนเกิดขึ้นเมื่ออะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของสสารมีการสั่น (vibrate) พลังงานความร้อนที่เรารู้สึกในระดับมหภาค (macro) มาจากพลังงานจลน์ของอะตอมหรือโมเลกุลในระดับจุลภาค (micro) พลังงานความร้อนสามารถถูกถ่ายโอนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ เมื่อมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิระหว่างบริเวณทั้งสองแห่ง การถ่ายโอนความร้อนจะมีทิศทางจากบริเวณที่ๆ มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่ๆ มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ

อุณหภูมิ (Temperature) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงระดับพลังงานความร้อนของวัตถุ ซึ่ง (ดังที่ได้กล่าวข้างต้น) คือพลังงานจลน์โดยเฉลี่ยของอนุภาคทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบของสสารนั้นๆ

การนำความร้อน (Conduction) คือ การถ่ายโอนความร้อนจากสสารหนึ่งไปยังอีกสสารหนึ่งที่ต้องอาศัยการสัมผัสกันของสสารทั้งสองนั้น เมื่อมีการสัมผัส พลังงานจลน์ของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของสสารที่ร้อนกว่าจะถูกถ่ายโอนให้อนุภาคของสสารที่เย็นกว่า ทำให้สสารที่เย็นกว่ามีพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น

การพาความร้อน (Convection) คือ การถ่ายโอนความร้อนอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของของไหล (แก๊ส หรือ ของเหลว) ที่มีความหนาแน่นต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการมีพลังงานความร้อนแตกต่างกัน อย่างเช่น ในกรณีของบริเวณด้านบนของบ้านมีอากาศร้อนกว่าบริเวณด้านล่าง ทั้งนี้ เนื่องจาก อากาศร้อนจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็น อากาศร้อนจึงลอยตัวขึ้นสู่ที่สูง

การแผ่รังสี (Radiation) คือ การถ่ายโอนความร้อนที่อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) เช่น แสง หรือ รังสีอินฟราเรด เป็นตัวกลางในการส่งผ่านพลังงานความร้อนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง อย่างเช่น ในกรณีของหลังคาบ้านที่ทำจากกระดาษฟอยล์ จะสามารถป้องกันความร้อนจากการแผ่รังสีของหลอดไฟได้เป็นอย่างดี เพราะลักษณะมันวาวของกระดาษฟอยล์ทำให้สะท้อนแสงได้ดี

กิจกรรม “สร้างบ้านให้นกเพนกวิน”

เมื่อผู้เรียนได้รับฟังการบรรยายเกี่ยวกับหลักการของการถ่ายโอนความร้อนจากผู้สอนแล้ว กิจกรรมต่อไปเป็นการให้ผู้เรียนได้ใช้ความรู้ที่ได้เรียนรู้และผลที่ได้จากการสาธิตทั้ง 3 มาเป็นพื้นฐานในการออกแบบและสร้างบ้านให้กับนกเพนกวิน ด้วยหลักการและกระบวนการทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยการสร้างบ้านมีจุดประสงค์หลักคือการพยายามให้บ้านหลังที่สร้างสามารถป้องกันการถ่ายโอนความร้อนจากภายนอกมาสู่ภายในตัวบ้านให้ได้มากที่สุด ซึ่งในที่นี้ สามารถระบุได้โดยการชั่งหามวลของก้อนน้ำแข็งที่ละลายไปหลังจากเวลาผ่านไประยะหนึ่ง กลุ่มใดที่มีมวลของน้ำแข็งที่ละลายไปต่อมวลของน้ำแข็งเริ่มต้นน้อยที่สุด กลุ่มนั้นคือกลุ่มที่ได้รับการประกาศให้เป็นผู้ชนะเลิศ

วัสดุที่ใช้สำหรับสร้างบ้านนกเพนกวิน มีรายการและราคาดังต่อไปนี้

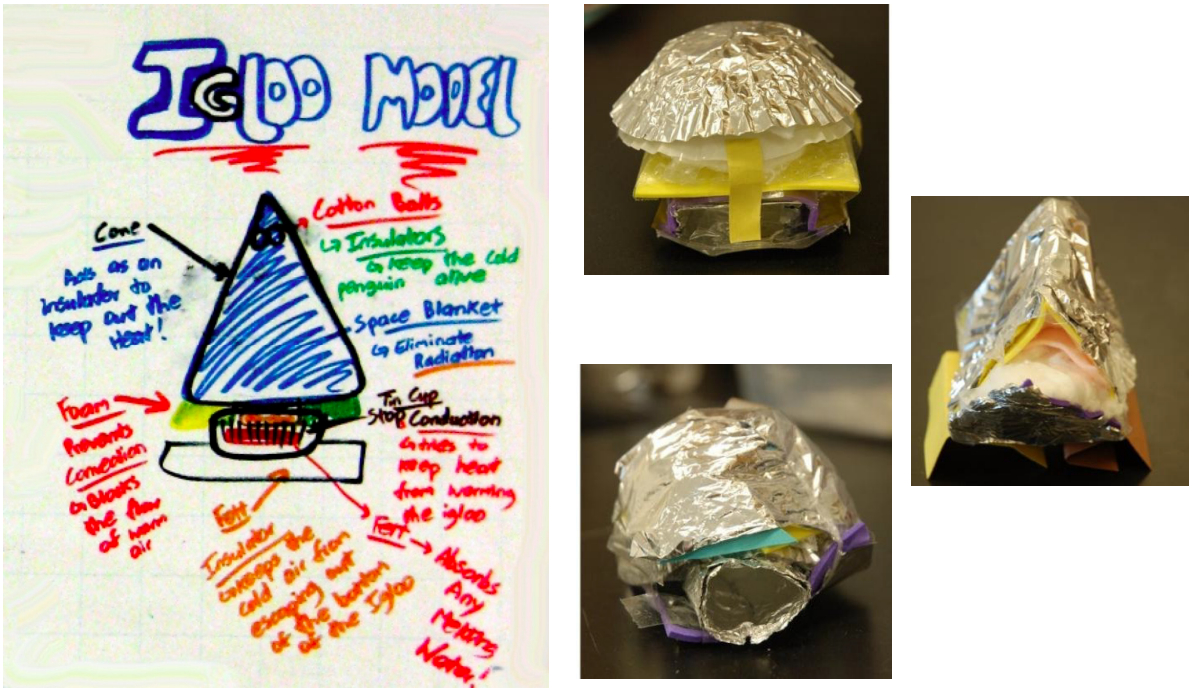
1.	ถ้วยทำขนมกระดาษ	ถ้วยละ $30
2.	ถ้วยทำขนมกระดาษฟอยล์	ถ้วยละ $30
3.	ก้อนสำลี	ก้อนละ $10
4.	ไม้ไอติม	แท่งละ $20
5.	แผ่นโฟม	แผ่นละ $40
6.	ผ้าสักหลาด	แผ่นละ $40
7.	พลาสติกกันกระแทกสำหรับห่อของ	แผ่นละ $10
8.	กระดาษฟอยล์	แผ่นละ $4
9.	แผ่นไมลาร์	แผ่นละ $5

ภาพที่ 6 วัสดุสำหรับการสร้างบ้านนกเพนกวิน (ที่มา:[3])

ผู้เรียนต้องสร้างบ้านให้นกเพนกวินภายใต้งบประมาณ $250 โดยเมื่อสร้างเสร็จแล้ว จะต้องนำบ้านนกเพนกวินที่มีนกเพนกวิน (น้ำแข็ง) อาศัยอยู่ ไปวางไว้ในกล่องสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 100 cm × 50 cm ที่ด้านข้างมีการบุด้วยแผ่นกระดาษฟอยล์ไว้โดยรอบ และที่พื้นกล่องมีกระดาษสีดำปูไว้ ส่วนบริเวณทางด้านบน มี

หลอดไฟ 4 หลอด ส่องไฟเข้ามาด้านในกล่อง หลังจากนั้น เมื่อปล่อยให้บ้านเพนกวินอยู่ในกล่องดังกล่าวประมาณ 15 - 20 นาที แล้ว ให้นำน้ำแข็งที่อยู่ในบ้านออกมาชั่งอีกครั้ง เพื่อหามวลสุดท้าย

ในขั้นตอนการสร้างนกเพนกวิน ผู้สอนปล่อยให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มได้อภิปราย ออกแบบ ประดิษฐ์ อย่างอิสระ ผู้สอนเพียงเดินไปรอบๆ ห้องเรียน เพื่อสังเกต ให้คำแนะนำ ตอบคำถาม หรือ ถามคำถามว่าเพื่อกระตุ้นให้แต่ละกลุ่มได้อภิปราย และเมื่อแต่ละกลุ่ม สร้างบ้านให้กับนกเพนกวินเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ตั้งชื่อให้กับบ้านนกเพนกวินและส่งตัวแทนออกมานำเสนอวิธีการ หลักการ ที่กลุ่มได้ใช้ในการสร้าง



ภาพที่ 7 ตัวอย่างโปสเตอร์ในการนำเสนอผลงานของนักเรียน (ซ้าย) และตัวอย่างบ้านนกเพนกวินที่ถูกสร้างขึ้น (ขวา) (ที่มา:[3])

จากนั้น เมื่อแต่ละกลุ่มได้นำเสนอเรียบร้อยแล้ว ให้นำบ้านที่สร้างเสร็จและนำก้อนน้ำแข็งที่จะใช้แทนนกเพนกวิน มาชั่งด้วยเครื่องชั่งเพื่อหามวลเริ่มต้น บันทึกผล ถัดมา นำน้ำแข็งใส่เข้าไปในบ้าน ก่อนจะนำไปวางไว้ในกล่องที่ผู้สอนจัดเตรียมไว้ให้ โดยการนำไปวาง ต้องเป็นการปฏิบัติที่พร้อมเพรียงกันทุกกลุ่ม

ภาพที่ 8 ตัวอย่างการวางบ้านนกเพนกวินในกล่อง (ซ้าย) และ
ตัวอย่างการจัดแสงไฟให้ส่องเข้าไปในกล่องที่มีบ้านนกเพนกวินอยู่ (ขวา) (ที่มา:[3])

เมื่อนำบ้านเพนกวินไปวางในกล่องเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้เรียนแจ้งค่าเริ่มต้นของมวลที่ชั่งได้และค่าต้นทุนในการสร้างบ้านกับผู้สอน เพื่อผู้สอนจะได้นำข้อมูลของทุกกลุ่มบันทึกลงใน Excel Spreadsheet สำหรับฉายผ่านเครื่องฉายให้ทุกคนได้เห็นหน้าชั้นเรียนและได้อภิปรายร่วมกัน

ระหว่างการรอ ผู้สอนสามารถบรรยายให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับปัญหาสภาวะโลกร้อน โดยอาจให้ผู้เรียนได้ชมคลิปวีดีโอเกี่ยวกับสภาวะโลกร้อน หรือ คลิปวีดิโอบางส่วนของสารคดีหรือการ์ตูนที่มีนกเพนกวินเป็นตัวละคร เช่น Planet Earth หรือ Happy Feet แต่ในการอบรมครั้งนี้ Prof. Nathan ได้ใช้เวลาระหว่างการรอให้น้ำแข็งละลาย ให้การบรรยายเกี่ยวกับ STEM Education ซึ่งมีเนื้อหาโดยสรุปดังข้อความในส่วนท้ายของรายงานการอบรมฉบับนี้

หลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 15 – 20 นาที ให้แต่ละกลุ่มนำน้ำแข็งที่อยู่ในบ้านมาชั่งเพื่อหาค่ามวลที่เหลืออยู่ และให้แจ้งกับผู้สอนเพื่อบันทึกผลลงใน Excel Spreadsheet ที่แสดงค่าที่บันทึกหน้าชั้นเรียน ผู้สอนให้ผู้เรียนได้ลองใช้หลักการทางพีชคณิต คำนวณหาค่ามวลของน้ำแข็งที่ละลายไปของแต่ละกลุ่ม จากนั้น นำไปเปรียบเทียบกับมวลเริ่มต้น และ ราคาต้นทุน เพื่อหาว่ากลุ่มใดที่สามารถสร้างบ้านนกเพนกวินที่รักษาความเย็นได้ดีที่สุด และประกาศให้กลุ่มนั้นเป็นผู้ชนะเลิศ (การเปรียบเทียบมวลน้ำแข็งที่ละลายไป กับ มวลน้ำแข็งเริ่มต้น อาจให้ผู้เรียนคำนวณเป็นร้อยละ เพื่อเป็นการฝึกทักษะทางคณิตศาสตร์เพิ่มเติม)

เมื่อผลการทำกิจกรรมออกมาแล้ว สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้อภิปรายถึงสาเหตุที่บ้านนกเพนกวินของกลุ่มที่ชนะเลิศสามารถป้องกันการถ่ายโอนความร้อนจากภายนอกไปสู่ภายตัวบ้านนกเพนกวินได้ดีที่สุด อีกทั้ง ให้อภิปรายถึงสาเหตุของบ้านบางกลุ่มที่ป้องกันการถ่ายโอนความร้อนได้น้อยด้วย ซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้เรียนจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับลักษณะและวิธีการที่สามารถป้องกันการถ่ายโอนความร้อน และ สมบัติการเป็นฉนวนความร้อนของวัสดุต่างๆ ได้เป็นอย่างดี อันเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีของวัสดุ

กิจกรรม “การปรับปรุงบ้านนกเพนกวิน”

หลังจากการทราบผลแล้วว่า บ้านนกเพนกวินของกลุ่มใดชนะเลิศ ผู้สอนอธิบายถึงขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการทางวิศวกรรมศาสตร์ นั่นคือ การทดสอบว่า งานออกแบบที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีนั้นสามารถถูกนำไปปฏิบัติซ้ำโดยผู้อื่นได้หรือไม่ (repeatability) เพื่อจะนำไปสู่การเป็นงานออกแบบที่น่าเชื่อถือ (reliability) หรือ ในคำศัพท์ทางวิศวกรรมศาสตร์ จะใช้คำเรียกกระบวนการนี้ว่า “scale up”

ดังนั้น เพื่อการได้งานออกแบบที่น่าเชื่อถือ ผู้เรียนแต่ละกลุ่มจะต้องสร้างบ้านเพนกวินขึ้นมาใหม่อีกหลังหนึ่ง โดยให้ใช้แนวทาง วัสดุ และการออกแบบของบ้านนกเพนกวินที่ชนะเลิศเป็นแบบอย่าง และเมื่อผู้เรียนแต่ละกลุ่มได้สร้างบ้านเพนกวินตามแนวทางของบ้านเพนกวินที่ชนะเลิศแล้ว ให้ดำเนินการเหมือนกับขั้นตอนในการทดสอบประสิทธิภาพของบ้านก่อนหน้านี้ นั่นคือ นำบ้านเพนกวินและก้อนน้ำแข็งไปชั่งหามวล จากนั้นนำก้อนน้ำแข็งใส่เข้าไปในบ้าน ก่อนจะนำไปวางไว้ในกล่องและรอให้เวลาผ่านไปประมาณ 15 – 20 นาที ก่อนจะนำก้อนน้ำแข็งออกมาชั่งหามวลของที่เหลืออยู่

ในขั้นตอนวิเคราะห์ผล ผู้เรียนต้องอาศัยความรู้และกระบวนการทางคณิตศาสตร์เรื่อง “สถิติ” เพื่อคำนวณหา “ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน” (Standard deviation) ของผลการทดสอบ เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่าแบบอย่างของบ้านนกเพนกวินที่เป็นผู้ชนะเลิศ มีความน่าเชื่อถือ (reliability) และเหมาะที่จะนำไปใช้ดำเนินการสร้างหรือปรับปรุงพัฒนาต่อไปหรือไม่

เมื่อได้ข้อสรุปแล้ว ให้ผู้เรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับการออกแบบที่ดีของบ้านนกเพนกวิน

การประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนหลังการทำกิจกรรม “ช่วยเหลือนกเพนกวิน”

หลังจากการทำกิจกรรม “ช่วยเหลือนกเพนกวิน” แล้ว ผู้สอนสามารถประเมินความเข้าใจเกี่ยวกับ “การถ่ายโอนความร้อน” ของผู้เรียนได้โดยการให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบแบบปรนัย จากนั้น ให้ผู้สอนเฉลยคำตอบหน้าชั้นเรียนร่วมกับผู้เรียนทั้งหมด ระหว่างการเฉลย ผู้สอนช่วยตอบคำถามและอภิปรายแนวคิดที่ผู้เรียนไม่เข้าใจ

ในที่นี้ ขอยกตัวอย่างคำถาม 2 ข้อ จากคำถามทั้งหมด 12 ข้อที่ Prof. Nathan ได้นำมาให้ผู้รับการอบรมได้ทดสอบ

1. ในการต้มไข่ทั้งฟอง เรานำไข่ผ่านการต้มแล้วไปทำให้เย็นลงด้วยการนำไปวางไว้ในภาชนะที่ใส่น้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง คำอธิบายในข้อใด กล่าวถึงกระบวนการที่ทำให้ไข่เย็นลงได้ถูกต้อง
    ก. อุณหภูมิถูกถ่ายโอนจากไข่ไปสู่น้ำ
    ข. ความเย็นเคลื่อนที่จากน้ำไปสู่ไข่
    ค. พลังงานถูกถ่ายโอนจากน้ำไปสู่ไข่
    ง. พลังงานถูกถ่ายโอนจากไข่ไปสู่น้ำ

    (คำตอบที่ถูกต้องคือ ข้อ ง. เพราะพลังงานความร้อนจากไข่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าถูกถ่ายโอนไปให้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า)
2. เด็กหญิงเอมี่ใช้ผ้าห่มห่อหุ้มตุ๊กตาของเธอไว้ แต่เอมี่ไม่เข้าใจว่า ทำไมตุ๊กตาจึงไม่อุ่นขึ้น นักเรียนคิดว่าเป็นเพราะสาเหตุใด
    ก. ผ้าห่มที่เอมี่ใช้เป็นฉนวนความร้อนที่ไม่ดี
    ข. ผ้าห่มที่เอมี่ใช้เป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี
    ค. ตุ๊กตาของเอมี่ทำมาจากวัสดุที่ไม่สามารถดูดซับความร้อนได้ดี
    ง. ไม่มีคำตอบที่ถูกต้อง

    (คำตอบที่ถูกต้องคือ ข้อ ง. เพราะสาเหตุที่จริงแล้ว คือ ตุ๊กตาของเอมี่ ไม่มีการสร้างความร้อนขึ้นมาภายในตัวตุ๊กตา ต่างจากร่างกายของคน ที่มีการสร้างความร้อนและระบายออกมาตามผิวหนัง คนที่ห่มผ้าไว้สักระยะเวลาหนึ่ง จึงรู้สึกอุ่น)

ทฤษฎีในการทำความเข้าใจเชิงแนวคิดของผู้เรียน (Theory of Conceptual Change)

หลังจากการประเมินความเข้าใจในการเรียนรู้แล้ว Prof. Nathan ได้บรรยายให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับทฤษฎีการเปลี่ยนความเข้าใจเชิงแนวคิดของผู้เรียน (Theory of Conceptual Change) ซึ่งสรุปเนื้อหาโดยย่อได้ดังต่อไปนี้

การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ จะเกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนได้มีการเชื่อมโยงความเข้าใจเดิมที่มีอยู่กับเรื่องนั้นๆ กับเนื้อหาที่จะเรียน ดังนั้น ก่อนการเริ่มต้นทำกิจกรรม ควรมีการจัดให้มีการประเมินความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นของผู้เรียนเกี่ยวกับเนื้อหาที่จะสอนเสียก่อน โดยการทำการประเมินลักษณะนี้ เป็นการประเมินที่ไม่ได้มุ่งเน้นที่คะแนนหรือ เกรด แต่เป็นการประเมินแบบไม่เป็นทางการ และมุ่งไปที่แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เป็นการประเมินที่เรียกว่า การประเมินระหว่างเรียน (Formative Assessment) ทั้งนี้ การประเมินความรู้ความเข้าใจเดิมของผู้เรียนนอกจากจะช่วยให้ผู้สอนได้เข้าใจพื้นฐานความรู้เดิมของผู้เรียน อันจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนการสอนในลำดับต่อไปแล้ว ยังจะสามารถช่วยกระตุ้นและสร้างความสนใจให้กับผู้เรียนเกี่ยวกับการเรียนรู้หัวข้อนั้นๆ ได้ เพราะ ถ้าหากผู้เรียนได้ทราบว่า ความรู้ความเข้าใจเดิมที่มีนั้น ไม่เพียงพอที่จะอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ ผู้เรียนจะเกิดความไม่พอใจกับความเข้าใจเดิมที่ตนเองมี หรือ ที่เรียกว่า “การไม่ลงตัวทางความคิด” (Cognitive Dissonance หรือ Cognitive Conflict) ซึ่งจะเป็นสิ่งกระตุ้นให้ผู้เรียนต้องการอยากรู้ อยากเข้าใจแนวคิดใหม่ อันจะนำไปสู่ความพอใจทางความคิดของตนเองในเรื่องนั้นๆ

ในการประเมินความเข้าใจเบื้องต้นของผู้เรียน ผู้สอนยังสามารถประเมินได้หลากหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ถามคำถาม การสังเกต และ สัมภาษณ์ผู้เรียน เป็นต้น

เมื่อผู้เรียนได้ทำความเข้าใจกับแนวคิดใหม่ที่ได้เรียนรู้แล้ว เพื่อความเข้าใจที่คงทนและมีประสิทธิภาพ ผู้สอนต้องพยายามทำให้แนวคิดใหม่ที่ผู้เรียนได้เรียนรู้ มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- เป็นแนวคิดที่มีเหตุมีผล (Intelligible) หรือ เข้าใจได้ มีหลักการ ที่มาที่ไป (internally consistent)
- เป็นแนวคิดที่สอดคล้องกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวันของผู้เรียน (Plausible) หรือ น่าเชื่อถือ ซึ่งเกิดจากการที่นำไปอธิบายปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ต่างๆ ที่ผู้เรียนเคยประสบได้อย่างดี

- เป็นแนวคิดที่มีประโยชน์ (Useful) หรือ การที่ผู้เรียนสามารถนำความเข้าใจที่ได้ไปประยุกต์แก้ปัญหาในชีวิตจริงได้ หรือนำไปทำนายสถานการณ์ต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

Prof. Nathan ได้ยกตัวอย่างของแนวคิดที่ขาดลักษณะที่ดีทั้ง 3 ดังกล่าวคือแนวคิดเรื่อง “นาโนเทคโนโลยี” ที่ ผู้สอนเชื่อมโยงเข้ากับประสบการณ์ในชีวิตจริงได้ยาก เพราะเป็นเทคโนโลยีระดับอะตอม ที่ค่อนข้างเป็นนามธรรม อีกทั้ง การแสดงตัวอย่างนำไปใช้ประโยชน์หรือทำนายสถานการณ์ต่างๆ ไม่สามารถกระทำได้อย่างที่สังเกตได้ชัดเจน

ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับ STEM Education

นอกจากการได้ทำกิจกรรม “ช่วยเหลือนกเพนกวิน” แล้ว Prof. Nathan ได้บรรยายให้ความรู้เกี่ยวกับ STEM Education ซึ่งมีหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

- ประโยชน์จากการเรียนการสอน STEM
- ข้อดีของการรวมศาสตร์ทั้ง 4 เข้าด้วยกัน (STEM Integration)
- สิ่งที่ท้าทายในการเรียนการสอน STEM Education
- การเชื่อมโยง STEM Education กับเส้นทางอาชีพในอนาคต
- ข้อเสนอแนะอื่นๆ ในการเรียนการสอน STEM Education ในประเทศไทย

ประโยชน์จากการเรียนการสอนแบบ STEM Education

1. ด้านเศรษฐกิจ (Economic Opportunity): การเรียนรู้ STEM ช่วยเพิ่มโอกาสในทางด้านเศรษฐกิจ การทำงาน การเพิ่มมูลค่า เพราะนวัตกรรมใหม่ๆ ที่เกิดขึ้น ที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจของโลก ล้วนมีพื้นฐานมาจาก STEM
2. ด้านทรัพยากรบุคคล (Attract more students to technological fields): การเรียนรู้ STEM ช่วยดึงดูดและสร้างทรัพยากรบุคคลให้เข้าสู่การทำงานด้านเทคโนโลยี ที่ยังขาดแคลนอีกมาก

3. ด้านความมั่นคง (National Security): การเรียนรู้ด้าน STEM ช่วยสร้างเสริมความมั่นคงให้กับประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในด้านความมั่นคงและความปลอดภัยด้านไซเบอร์ (cyber security) ในโลกปัจจุบันที่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีด้านการสื่อสารอย่างมาก

4. ด้านสุขภาพ (Enhancing Health): ความรู้และทักษะจากการได้เรียนรู้ STEM ช่วยให้ประชากรในประเทศมีสุขภาพแข็งแรง และอายุยืนขึ้น เพราะ มีเทคโนโลยีในการรักษาโรคภัยต่างๆ ได้ดีขึ้น มีการตรวจพบโรคร้ายต่างๆ ได้เร็วก่อนจะลุกลาม ทำให้สามารถทำการรักษาได้ทัน

ข้อดีของการรวมศาสตร์ทั้ง 4 เข้าด้วยกัน (STEM Integration)

- ส่งเสริมให้เกิดความเข้าใจในศาสตร์ทั้ง 4 ได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น (Deeper Learning) **[2]
- ช่วยให้ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และ คณิตศาสตร์ มีความหมายมากยิ่งขึ้น ผ่านการนำไปออกแบบและแก้ปัญหาตามแนวทางของวิศวกรรมศาสตร์ และ เทคโนโลยี ในบริบทที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน
- ส่งเสริมให้มีความเข้าใจและทักษะในการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ดี
- ผู้เรียนมีทักษะในการเรียนรู้และการประยุกต์ใช้ข้ามศาสตร์ทั้ง 4 อย่างไม่ติดขัด (students are able to move fluidly between natural science and design science)
- ผู้เรียนเห็นความสำคัญของ “วิศวกรรมศาสตร์” มากยิ่งขึ้น

สิ่งที่ท้าทายในการเรียนการสอนแบบ STEM Education

- ผู้บริหารโรงเรียนและครูผู้สอนอาจจะไม่ให้ความร่วมมือในการนำการเรียนการสอนแบบ STEM Education มาใช้ในโรงเรียนสาเหตุหลักคือ โรงเรียนจะมีหลักสูตรและกิจกรรมต่างๆ ที่ถูกจัดไว้ค่อนข้างแน่นอนแล้ว การเปลี่ยนแปลง เพิ่ม หรือ ลด เนื้อหาที่ต้องสอน จะทำให้ครูผู้สอนและผู้บริหารโรงเรียนไม่พร้อมที่จะให้ความร่วมมือ

- การสอนต้องใช้เวลานาน และต้องใช้เวลาและทรัพยากรในการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ มาก
- ครูผู้สอนในระดับชั้นมัธยมต้น หรือ มัธยมปลาย อาจจะไม่สามารถสอนข้ามศาสตร์ได้ เนื่องจากเนื้อหาในศาสตร์อื่นเป็นเนื้อหาที่ครูผู้สอนไม่ได้เรียนมาโดยตรง และบางเนื้อหายากต่อการทำความเข้าใจ
- ในการเรียนการสอนศาสตร์ทั้ง 4 แบบบูรณาการ ถึงแม้จะทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ข้ามศาสตร์ต่างๆ ได้ดี แต่เป็นการยากที่จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจและเห็นคุณค่าลักษณะจำเพาะของศาสตร์แต่ละศาสตร์ใน STEM
- เป็นการยากที่จะมีการผนวกศาสตร์ทั้ง 4 ในเชิงกระบวนการคิด (Cognitive Integration) ด้วย
- บางครั้ง ผู้เรียนเกิดความสับสนในการทำความเข้าใจในเนื้อหาที่ไม่ได้มีการสอนแบบแยกเป็นรายวิชา
- การเรียนรู้บนฐานของการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ ไม่เพียงพอที่จะส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนเชิงกระบวนการคิดอย่างลึกซึ้ง

การเชื่อมโยง STEM Education กับเส้นทางอาชีพในอนาคต

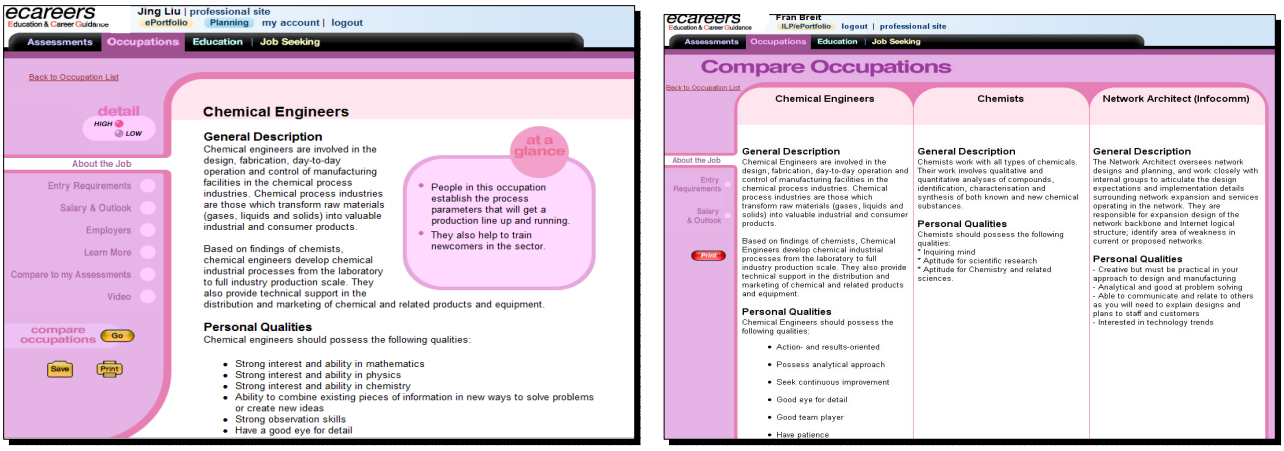
Prof. Nathan ได้กล่าวว่า เป็นสิ่งสำคัญที่จะมีการเชื่อมโยงการเรียนการสอน STEM Education เข้ากับเส้นทางการทำงานในอนาคต เพราะผู้เรียนจะได้มีการพิจารณา ตัดสินใจ ว่าจะเน้นการเรียนไปที่วิชาใด เน้นการทำกิจกรรมในส่วนใด เพื่อเป็นการวางแนวทางในการเรียนรู้ในระดับสูง และการทำงานในอนาคตต่อไป

ทั้งนี้ ในการอบรมเชิงปฏิบัติการครั้งนี้ Prof. Nathan ได้นำเสนอตัวอย่างเว็บไซต์ ecareers.sg ที่นักเรียนในประเทศสิงคโปร์ได้ใช้ในการเรียนรู้เกี่ยวกับอาชีพต่างๆ เพื่อเชื่อมโยง STEM Education กับสาขาอาชีพที่มีอยู่ และเพื่อจะได้มองเห็นเส้นทางการเรียนและการเข้าสู่การทำงานในอนาคต ได้เปรียบเทียบ ทำความเข้าใจ และวางแผนในการเรียนของตนเอง ซึ่งเว็บไซต์ดังกล่าว ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยความร่วมมือระหว่าง University of Wisconsin กับรัฐบาลสิงคโปร์ โดยมุ่งหวังให้นักเรียนประเทศสิงคโปร์ทั้งในระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาได้มีแหล่งข้อมูลที่จะอำนวยให้วางแผนการเรียนและการประกอบอาชีพได้เป็นอย่างดี

ภาพที่ 9 หน้าแรกของเว็บไซต์ ecareers.sg (ที่มา: ecareeers.sg)

เว็บไซต์ ecareers.sg มีการให้บริการกับผู้ใช้ดังต่อไปนี้

1. ให้คำแนะนำเกี่ยวกับสาขาอาชีพต่างๆ ว่า มีการลักษณะการทำงานอย่างไร ผู้เรียนต้องมีความรู้ มีทักษะด้านใดบ้าง
2. มีบริการประเมินความสนใจและความเหมาะสมของผู้ใช้กับสาขาอาชีพต่างๆ
3. มีบริการนำเสนอเส้นทางการทำงานของอาชีพต่างๆ
4. บริการเปรียบเทียบลักษณะของอาชีพต่างๆ
5. มีการให้คำแนะนำการเขียนประวัติการทำงาน (resume)
6. ผู้ใช้สามารถเลือก Avatar ที่เป็นตัวแทนของผู้ใช้ในการสำรวจข้อมูลและมีปฏิสัมพันธ์กับเว็บไซต์
7. ผู้ใช้ที่เป็นเด็ก สามารถฝึกฝนการเข้ารับการสัมภาษณ์งาน คล้ายกับการเล่นเกม
8. มี ePorfolio ที่บันทึกสิ่งต่างๆ ที่ผู้ใช้ได้สำรวจหรือได้ร่วมปฏิบัติแล้วในเว็บไซต์ เพื่อช่วยในการจัดการข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้ ช่วยให้สะดวกต่อการวางแผนในเส้นทางการเรียนในอนาคต



ภาพที่ 10 ตัวอย่างบางส่วนของภายในเว็บไซต์ ecareers.sg (ที่มา: [4])

ข้อเสนอแนะอื่นๆ ในการเรียนการสอนแบบ STEM Education ในประเทศไทย

1. อาจจะเป็นการดี ถ้าให้มีการเริ่มการเรียนการสอน STEM Education ในระดับชั้นประถมศึกษา เพราะว่าในระดับชั้นประถมศึกษา การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เป็นการเรียนแบบบูรณาการ ทั้ง ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ดาราศาสตร์ รวมด้วยกันอยู่แล้ว อีกทั้ง ครูผู้สอนเอง มีความสามารถที่จะสอนเนื้อหาในศาสตร์ทั้ง 4 ได้อย่างไม่ยากมากนัก เพราะเนื้อหาในวิชาเหล่านี้ ยังไม่ลึกเกินไปที่ครูผู้สอนจะสอนให้ผู้เรียนเข้าใจได้

2. การเรียนการสอน STEM Education ในระดับประถมศึกษา เมื่อประสบความสำเร็จแล้ว อาจจะสามารถช่วยให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทักษะและความรู้ที่ดี และเกิดความประทับใจ จากนั้น ผู้เรียนเหล่านี้ จะสามารถมาเป็นแรงขับเคลื่อนการเรียนการสอนแบบ STEM Education ในระดับชั้นสูงต่อไป

บรรณานุกรม

[1] Katehi, Linda. Pearson, Greg. Feder, Michael. (2009). *Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospects.* National Academy Press.

[2] Pellegrino, James, W. and Hilton, Margaret, L. (2012). *Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century*. National Academy Press.

[3] Schnittka, Christine. *Save the Penguins Engineering Teaching Kit: An Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer. Teacher's Guide.* Retrived January 17, 2013, from http://www.auburn.edu/~cgs0013/ETK/ SaveThePenguinsETK.pdf

[4] Nathan, Mitchell, J. *Save the Penguins: Integrated STEM Education Unit*. STEM Education Workshop at IPST. January 2013.