

การบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์เรื่องกระบวนการความดันคงที่ โดยตุ๊กตาฉี่

Interactive Lecture Demonstration in the Isobaric Process by Using Pee-Pee Boy

ชาญวิทย์ คำเจริญ^{1*} และขวัญหทัย กวดนอก²

Chanwit Kamcharean^{1*} and Kuanhathai Kuadnok²

¹ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

²สาขาวิชาภาษาอังกฤษธุรกิจ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

¹Department of Physics and General Science Faculty of Science and Technology
Chiang Mai Rajabhat University

²Department of Business English Faculty of Humanities and Social Sciences
Chiangmai Rajabhat University

*Corresponding author e-mail: chanwit_kam@cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ 1) พัฒนาและตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนที่มีต่อการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์เรื่องกระบวนการความดันคงที่โดยตุ๊กตาฉี่ และ 2) ประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ การบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ถูกออกแบบเพื่อใช้กับห้องบรรยายขนาดใหญ่ที่ต้องการให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมด้วยการถามคำถาม ให้ผู้เรียนทำนายผลการทดลอง สังเกตผลการทดลอง และอภิปรายผลการทำนายพร้อมกับทำใบกิจกรรมประกอบการสาธิต ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์เรื่องกระบวนการความดันคงที่โดยใช้ตุ๊กตาฉี่ กลุ่มเป้าหมายคือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 จำนวน 82 คน ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ การวิเคราะห์ผลจากคำตอบในใบกิจกรรมประกอบการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ และผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์สามารถพัฒนาความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับกระบวนการความดันคงที่ กระตุ้นให้ผู้เรียนมีความสนใจ และเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการสอนอุณหพลศาสตร์

คำสำคัญ: การบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ กระบวนการความดันคงที่ ตุ๊กตาฉี่

Abstract

The purposes of this research were to 1) develop and examine interactive lecture demonstration (ILD) in the isobaric process by using the pee-pee boys and 2) investigate students' satisfaction with ILD. The ILD is designed for a large lecture class, motivating students to engage with the interactive tasks. The students were asked to predict the experimental results, observe the outcomes and discuss them in relation to the previous predictions. In this study, the ILD worksheet for isobaric process was designed and implemented for students to complete after being demonstrated by the interactive pee-pee boys experiment. The target group of this research

is 82 freshmen who enrolled in a fundamental physics course in the 2nd semester of the academic year 2022 at Chiang Mai Rajabhat University. The collection of ILD students' worksheets was analyzed, and students' satisfaction responses were categorized. The results of this research reveal that implemented ILD can improve students' understanding of the isobaric process and motivation. This study has highlighted that ILD serves as a suitable methodology for teaching thermodynamics.

Keywords: Interactive Lecture Demonstration, Isobaric process, Pee-Pee Boys

บทนำ

การสาธิตประกอบการบรรยาย เป็นเทคนิคการสอนฟิสิกส์ที่นิยมใช้เพื่อให้ผู้เรียนสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงทางฟิสิกส์ เป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนสนใจและสามารถเชื่อมโยงผลการทดลองจริงกับผู้เรียนสังเกตเข้ากับหลักการทางฟิสิกส์ (Milner, Kotlicki, and Rieger, 2007) อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การที่ผู้เรียนสังเกตการสาธิตทางฟิสิกส์เพียงอย่างเดียว ผู้เรียนมีความเข้าใจไม่แตกต่างจากวิธีการสอนโดยตรงที่ไม่มีการสาธิต ผู้เรียนส่วนใหญ่ยังคงไม่เข้าใจในเนื้อหาที่สาธิต เพราะช่วงที่ทำการสาธิตผู้เรียนให้ความสนใจต่อสิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างการสาธิต จนไม่ได้คำนึงถึงเนื้อหาหลักของการสาธิต (Crouch et al, 2004) อีกทั้งยังพบว่า การสาธิตที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ยังขึ้นอยู่กับความสามารถและประสบการณ์ในการสอนของผู้สอนอีกด้วย ถ้าผู้สอนมีประสบการณ์สอนและความเข้าใจในการสาธิตประกอบการบรรยายไม่เพียงพอ ก็จะทำให้การสอนไม่มีประสิทธิภาพ (Andrews et al, 2011) ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้เทคนิคการสอนเชิงรุก มาร่วมออกแบบการสอนร่วมกับการสาธิตประกอบการบรรยาย ซึ่ง Sokoloff และ Thornton ได้คิดค้นวิธีการสอนแบบบรรยายเชิงรุกประกอบกับการสาธิตคือ การสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ (Interactive Lecture Demonstration: ILD) ขึ้นมา ซึ่งวิธีการสอนดังกล่าวมีกระบวนการสำคัญคือ การทำนายผลที่ได้จากการสาธิต แล้วนำผลการทำนายมาอภิปรายร่วมกัน จากนั้นให้ผู้เรียนสังเกตผลที่ได้จากการสาธิตเพื่อนำผลที่ได้จากการสังเกตมาอภิปรายเปรียบเทียบกับผลจากการทำนาย (Sokoloff, and Thornton, 1997) ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ผู้เรียนได้มีโอกาสเรียนรู้ด้วยตัวเอง และได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกับผู้เรียนคนอื่นๆ ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเป็นแนวคิดที่ถูกต้องได้ด้วยตัวเอง (Zimrot, and Ashkenazi, 2007) ซึ่งที่ผ่านมาได้มีนักฟิสิกส์ศึกษา นำวิธีการสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนในหัวข้อต่างๆ ดังนี้ Tanahoung และคณะ ได้ศึกษาผลการใช้การสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ในเรื่องความร้อนและอุณหภูมิแก่นักศึกษาสายวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 1 พบว่า การสอนรูปแบบนี้ทำให้นักศึกษามีความเข้าใจที่ดีขึ้นกว่าการสอนในรูปแบบธรรมดา (Tanahoung et al, 2009) Yoder และ Cook ใช้เซนเซอร์วัดแรงและความเร่งในการออกแบบการสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ในรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐานพบว่าสามารถสร้างความสนใจแก่นักศึกษา และสร้างความเข้าใจได้เป็นอย่างดี (Yoder, and Cook, (2010) Mazzolini, Daniel และ Edwards ใช้การสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์เรื่องการสั่นพ้องในรายวิชาอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ช่วยให้นักศึกษามีความเข้าใจว่าวิธีการสอนแบบเดิมโดยมีผลการทดสอบหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Mazzolini, Daniel, and Edwards, 2012) Lakshminarayanan ได้ใช้การสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ในโครงการ ALOP (Active Learning in Optics and Photonics) พบว่ารูปแบบการสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ช่วยให้ครูสามารถออกแบบการเรียนการสอนเชิงรุก และสามารถวัดและทราบความเข้าใจของนักเรียนได้ (Lakshminarayanan, 2011) พรรัตน์ วัฒนกสิวิษฐ์ และคณะ ได้ใช้รูปแบบการสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ในเรื่องกฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์พบว่าวิธีการสอนนี้ช่วยให้ทราบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักศึกษา และมีส่วนช่วยให้นักศึกษาเห็นภาพปรากฏการณ์ทางอุณหพลศาสตร์ได้

ชัดเจนยิ่งขึ้น (Wattanakasiwich et al, 2012) Sokoloff ใช้รูปแบบการสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ในการสอนปฏิบัติการเรื่องแสง พบว่าการสอนรูปแบบนี้ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เรื่องแสงได้มากขึ้น (Sokoloff, 2016)

สำหรับประเทศไทยมีการใช้รูปแบบการสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์เพื่อพัฒนาความเข้าใจในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ในหลากหลายหัวข้อเช่น แม่เหล็กไฟฟ้า (สุระ วุฒิพรหม และฉวีวรรณ ชัยวัฒนา, 2554) แรงและการเคลื่อนที่ (รุจิรา ราชรักษ์ และ โชคศิลป์ ธนเอื้อง, 2558) งานและพลังงาน (มัทยาภรณ์ รังษีการ และสาคร อัมจักร, 2559) การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบกลิ้ง (อุดมศักดิ์ กิจทวี และคณะ, 2562) นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคการวิเคราะห์แทรกเกอร์วิดีโอร่วมกับการสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์เพื่อส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงมุมมองเกี่ยวกับกราฟการเคลื่อนที่ของนักเรียน (กิตติยา ประวัง และกฤษา แก้วคง, 2563) จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า มีการนำวิธีการสอนบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ไปใช้ในการสอนฟิสิกส์ในหลายหัวข้อ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการความดันคงที่ ซึ่งเป็นกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่ผู้เรียนมักเกิดความสับสนและเข้าใจผิดได้ง่ายเพราะเป็นกระบวนการที่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความดันของระบบที่พิจารณามีค่าเท่ากับความดันภายนอกซึ่งก็คือความดันบรรยากาศ นอกจากนี้แล้วกระบวนการความดันคงที่ยังเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำความเย็นของตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศโดยทั่วไป ซึ่งกระบวนการเหล่านี้สามารถวิเคราะห์ให้เห็นได้อย่างชัดเจนในแผนภูมิไซโครเมตริก ซึ่งการใช้ตุ๊กตาฉี่มาประกอบการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์จะช่วยให้เข้าใจลักษณะและกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมองเห็นภาพเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น จึงเป็นส่วนสำคัญที่ผู้วิจัยมีความสนใจนำเอาตุ๊กตาฉี่มาใช้เป็นสื่อสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์เรื่องกระบวนการความดันคงที่ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ 1) เพื่อพัฒนาและตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนที่มีต่อการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์เรื่องกระบวนการความดันคงที่โดยตุ๊กตาฉี่ และ 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์เรื่องกระบวนการความดันคงที่โดยตุ๊กตาฉี่

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยสรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พัฒนาและสร้างตุ๊กตาฉี่แบบแก้วใส ด้านหน้ามีรูเล็กๆ สำหรับเป็นทางเข้า-ออกของน้ำ ซึ่งมีต้นแบบมาจากตุ๊กตาฉี่เซรามิก เพื่อให้สามารถสังเกตกระบวนการเปลี่ยนแปลงภายในของตัวตุ๊กตาฉี่ และระดับน้ำที่เติมเข้าไปในตัวตุ๊กตาฉี่ได้อย่างชัดเจน ทำให้ควบคุมตัวแปรในการสาธิตได้ดีกว่าการใช้ตุ๊กตาฉี่แบบเซรามิกซึ่งไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำภายในได้ ดังแสดงในภาพที่ 1



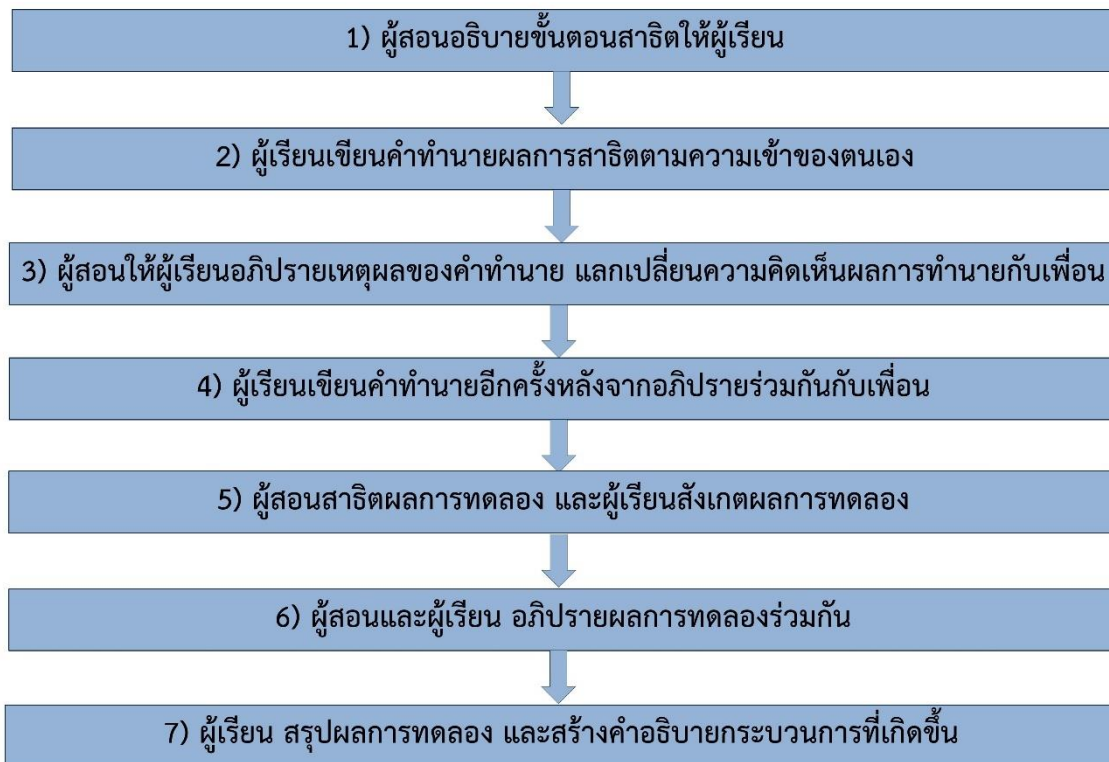
ภาพที่ 1 มุมมองด้านข้าง (ภาพซ้าย) มุมมองด้านหน้า (ภาพขวา) เปรียบเทียบระหว่างตุ๊กตาฉี่ต้นแบบทำจากเซรามิก และตุ๊กตาฉี่แก้วที่ใช้ในการสาธิต

การพุ่งของน้ำออกมาจากตัวตุ๊กตาที่สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการทางฟิสิกส์คือ เมื่อพิจารณาอากาศในตัวตุ๊กตาที่เป็นระบบทางอุณหพลศาสตร์ เมื่อให้ความร้อนแก่ระบบ (เทน้ำร้อนลงบนตัวตุ๊กตา) ความร้อนจากน้ำร้อนจะถ่ายเทให้กับผิวของตัวตุ๊กตา และส่งผ่านไปยังอากาศ และน้ำในตัวตุ๊กตา โดยอากาศมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร (มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรเท่ากับ $3.67 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) สูงกว่า ตัวตุ๊กตาซึ่งทำมาจากแก้ว (มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรเท่ากับ $27 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) และน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 20°C (มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรเท่ากับ $0.27 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) จึงทำให้อากาศในตัวตุ๊กตาเมื่อได้รับความร้อนขยายตัวได้มากกว่าน้ำ อากาศจึงขยายตัวดันให้น้ำพุ่งออกมาจากรูของตุ๊กตา ตามสมการ $\Delta V = \beta V_0 \Delta T$ เมื่อ β คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร V_0 คือ ปริมาตรของอากาศตอนเริ่มต้น และ ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (Wattanakasiwich et al, 2012) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมาก ก็จะทำให้ปริมาตรของอากาศเปลี่ยนแปลงมากขึ้น (อากาศขยายตัวมากขึ้น) ทำให้ดันน้ำพุ่งออกมาจากรูของตุ๊กตาได้มากขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ น้ำในตัวตุ๊กตาก็จะพุ่งออกมาจากรูเล็กๆ ที่อยู่ด้านหน้า ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงการพุ่งของน้ำออกมาจากรูด้านหน้าของตุ๊กตาเมื่อราดน้ำร้อนลงบนตัวตุ๊กตา

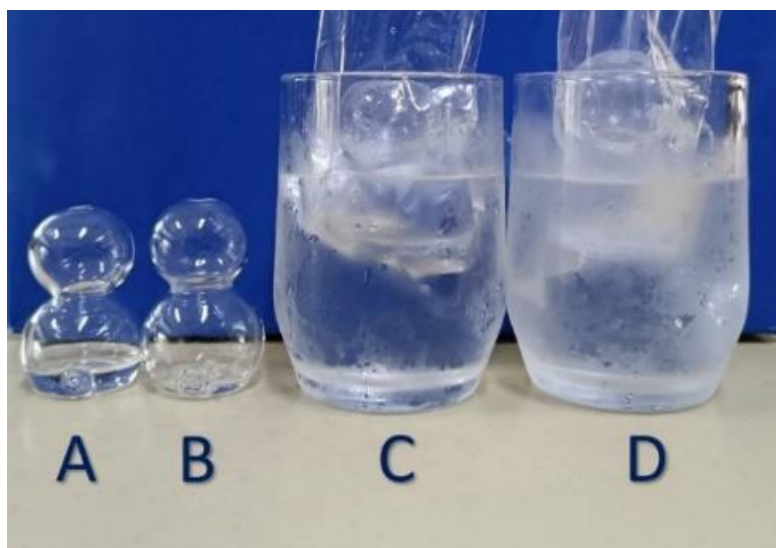
ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบใบกิจกรรมประกอบการสาธิตให้มีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ โดยมีการตรวจสอบด้วยการให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องและความเหมาะสมกับสื่อสาธิต (Index of item objective congruence: IOC) จำนวน 5 ท่าน ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.72 แปลความได้ว่า สามารถนำไปใช้ได้ โดยขั้นตอนการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์มีความเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการทำนายผล การสังเกต และการอภิปราย ซึ่งเป็นวิธีการเรียนรู้แบบ Active Learning รูปแบบหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง ซึ่งสรุปขั้นตอนได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์

ขั้นตอนที่ 3 สร้างแบบประเมินความพึงพอใจต่อการบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ ซึ่งประกอบด้วยคำถามทั้งหมด 10 ข้อ เป็นคำถามความพึงพอใจในเชิงบวกจำนวน 5 ข้อ และคำถามความพึงพอใจในเชิงลบจำนวน 5 ข้อ โดยมีระดับการประเมินความพึงพอใจ 5 ระดับ

ขั้นตอนที่ 4 เก็บข้อมูลกับกลุ่มเป้าหมาย คือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 82 คน โดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย การบรรยายเชิงสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์ได้นำตุ๊กตาฉี่จำนวน 4 ตัวมาทำการสาธิตซึ่งตุ๊กตาฉี่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสาธิตแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตุ๊กตาฉี่ที่ใช้ในการสาธิต

โดยกำหนดให้ตุ๊กตาแต่ละตัวอยู่ในสถานะที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถานะของตุ๊กตาที่ใช้ในการบรรยายเชิงสถิติแบบมีปฏิสัมพันธ์

ตุ๊กตา	อุณหภูมิของตุ๊กตา	น้ำที่ราดลงบนตัวตุ๊กตา
A	วางไว้ในอุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 25°C)	ราดด้วยน้ำอุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 25°C)
B	วางไว้ในอุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 25°C)	ราดด้วยน้ำร้อน (อุณหภูมิ 80°C)
C	วางไว้ในน้ำผสมน้ำแข็ง (อุณหภูมิ 0°C)	ราดด้วยน้ำอุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 25°C)
D	วางไว้ในน้ำผสมน้ำแข็ง (อุณหภูมิ 0°C)	ราดด้วยน้ำร้อน (อุณหภูมิ 80°C)

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการวิจัย โดยการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 วิเคราะห์ความเข้าใจของผู้เรียนจากการตอบคำถามในใบกิจกรรมใช้สถิติร้อยละในการแสดงผลคำตอบ และสรุปความเข้าใจจากเหตุผลที่ตอบ ส่วนที่ 2 วิเคราะห์ข้อมูลจากคำตอบในแบบสำรวจความพึงพอใจที่มีต่อการบรรยายเชิงสถิติแบบมีปฏิสัมพันธ์ ใช้ค่าเฉลี่ยในการแสดงผลคำตอบ

ผลการวิจัย

1. ผลจากการวิเคราะห์คำตอบในใบกิจกรรมประกอบการบรรยายเชิงสถิติแบบมีปฏิสัมพันธ์

คำถามในใบกิจกรรมมีด้วยกันทั้งหมด 11 ข้อ คำถามข้อ 1 เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับตุ๊กตา สามารถนำมาศึกษาหรือสถิติประกอบการเรียนในเรื่องใดในวิชาฟิสิกส์ นักศึกษาจำนวน 38 คน (46.34%) ตอบว่า นำมาศึกษาเกี่ยวกับ ความดันและแรงดันของอากาศ อุณหภูมิและความร้อน มีนักศึกษาเพียงส่วนน้อยจำนวน 5 คน (6.09%) ตอบว่า การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การเคลื่อนที่ของน้ำ นอกนั้นไม่ระบุคำตอบ

คำถามข้อ 2 เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับอุณหภูมิของน้ำแข็งผสมน้ำเท่ากับกึ่งศาเซลเซียส นักศึกษาจำนวน 18 คน (21.94%) ตอบถูกว่าเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส โดยในจำนวนนี้มีนักศึกษาเพียง 2 คน (2.44%) เท่านั้นที่ให้เหตุผลว่าเพราะ น้ำกับน้ำแข็งอยู่ด้วยกันในสภาพสมดุลที่อุณหภูมิเท่ากับจุดหลอมเหลวของน้ำแข็งหรือจุดเยือกแข็งของน้ำ และนักศึกษาส่วนใหญ่จำนวน 62 คน (75.61%) ตอบว่าไม่สามารถรู้ได้เพราะไม่มีอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิ

คำถามข้อ 3 เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับการเติมน้ำเข้าไปในตัวตุ๊กตา มีนักศึกษาเพียง 1 คนเท่านั้นที่ตอบถูก นักศึกษาส่วนใหญ่จำนวน 49 คน (59.76%) ตอบผิดโดยให้เหตุผลต่างๆ เช่น นำตุ๊กตาดูแล้วน้ำร้อน หรือน้ำเย็นให้น้ำค่อยๆ ไหลผ่านเข้าที่รูเล็กๆ เอง ใช้เข็มฉีดยาขนาดเล็กๆ ฉีดน้ำเข้าไปในรูของตุ๊กตา เป็นต้น

คำถามข้อ 4 และข้อ 5 ให้นักศึกษาทำนายผลการสถิติของน้ำที่พุ่งออกจากตัวตุ๊กตาโดยเรียงลำดับจากพุ่งไกลที่สุดไปยังพุ่งใกล้ที่สุด โดยมีนักศึกษาจำนวน 21 คน (25.61%) ตอบถูก โดยให้เหตุผลว่า น้ำร้อน (ความร้อน) ทำให้อากาศขยายตัวแทนที่น้ำ แล้วดันน้ำให้พุ่งออกมาได้ไกล ส่วนเหตุผลที่ตอบผิดส่วนใหญ่ให้เหตุผลว่า น้ำร้อน (ความร้อน) ทำให้น้ำเกิดแรงดัน ดันออกมาจากตุ๊กตา

คำถามข้อ 6 เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับระบบทางอุณหพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการสถิติ มีนักศึกษาตอบถูกจำนวน 57 คน (69.51%) ตอบผิดจำนวน 22 คน (26.83%) และไม่ระบุคำตอบจำนวน 3 คน (3.66%) ซึ่งคำตอบที่นักศึกษาตอบผิดส่วนใหญ่เกิดจากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับระบบทางอุณหพลศาสตร์ ความสับสนเกี่ยวกับตัวแปรที่ใช้อธิบายระบบทางอุณหพลศาสตร์

คำถามข้อ 7 – 9 เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์คือ งานทางอุณหพลศาสตร์ การถ่ายเทความร้อน พลังงานภายในของระบบ โดยคำตอบของแต่ละข้อ ให้ระบุว่าตัวแปรเหล่านี้มีค่า เป็นบวก (เพิ่มขึ้น)

เป็นลบ (ลดลง) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (ไม่มี) หรือ ไม่ตอบ พร้อมทั้งระบุเหตุผลในการตอบของแต่ละข้อ โดยสามารถสรุปคำตอบ และเหตุผลที่ตอบ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คำตอบและเหตุผลเกี่ยวกับตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์ (*เป็นคำตอบที่ถูกต้อง)

คำถาม/การให้เหตุผล	คำตอบ			
	บวก/ เพิ่มขึ้น	ลบ /ลดลง	ไม่ตอบ	ไม่เกิด/ ไม่มี
ข้อ 7 งานทางอุณหพลศาสตร์				
เหตุผลถูก หรือถูกบางส่วน	8 คน* (9.76%)	1 คน (1.22%)		
เหตุผลไม่ถูก - มีการถ่ายเทมวลสาร	5 คน (6.09%)			
เหตุผลไม่ถูก - มีการถ่ายเทความร้อน	5 คน (6.09%)	13 คน (15.85%)		
เหตุผลไม่ถูก - มีการแลกเปลี่ยนพลังงาน	5 คน (6.09%)	7 คน (8.54%)		
เหตุผลไม่ถูก - พลังงานไม่ถูกสร้างขึ้นใหม่				1 คน (1.22%)
เหตุผลไม่ถูก - เหตุผลอื่นๆ	11 คน (13.41%)	21 คน (25.61%)	5 คน (6.09%)	
ข้อ 8 การถ่ายเทความร้อน				
เหตุผลถูก หรือถูกบางส่วน	21 คน* (25.61%)			
เหตุผลไม่ถูก - เกิดความดันภายในตัวตุ้กตา	7 คน (8.54%)	9 คน (10.97%)		
เหตุผลไม่ถูก - ความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น		12 คน (14.63%)		
เหตุผลไม่ถูก - เหตุผลอื่นๆ	9 คน (10.97%)	18 คน (21.94%)	6 คน (7.32%)	
ข้อ 9 พลังงานภายใน				
เหตุผลถูก หรือถูกบางส่วน	10 คน* (12.19%)			
เหตุผลไม่ถูก - ความดันเพิ่มขึ้น พลังงานภายในเพิ่มขึ้น	13 คน (15.85%)			
เหตุผลไม่ถูก - น้ำพุ่งออกมาทำให้พลังงานภายในเพิ่มขึ้น	16 คน (19.51%)			
เหตุผลไม่ถูก - กระบวนการคายความร้อน		3 คน (3.66%)		

ตารางที่ 2 คำตอบและเหตุผลเกี่ยวกับตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์ (*เป็นคำตอบที่ถูกต้อง) (ต่อ)

คำถาม/การให้เหตุผล	คำตอบ			
	บวก/ เพิ่มขึ้น	ลบ /ลดลง	ไม่ตอบ	ไม่เกิด/ ไม่มี
เหตุผลไม่ถูก - มีการคายพลังงานเพื่อให้น้ำพุ่งออกมา		6 คน (7.32%)		
เหตุผลไม่ถูก - พลังงานภายในมีค่าเท่าเดิม				10 คน (12.19%)
เหตุผลไม่ถูก - ความดันคงที่ทำให้พลังงานภายในคงเดิม				2 คน (2.44%)
เหตุผลไม่ถูก - เหตุผลอื่นๆ	16 คน (19.51%)	5 คน (6.09%)	1 คน (1.22%)	

คำถามข้อ 10 เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางอุณหพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นขณะที่มีน้ำพุ่งออกมาจากตัวตุ๊กตา ซึ่งมึนักศึกษาจำนวน 27 คน (32.93%) ตอบถูกว่าเป็นกระบวนการความดันคงที่ ซึ่งมีจำนวนใกล้เคียงกับนักศึกษาจำนวน 26 คน (31.70%) ที่ตอบว่าเป็นกระบวนการความดันและอุณหภูมิคงที่ นอกจากนั้นให้คำตอบที่แตกต่างกันออกไป เช่น กระบวนการปริมาตรคงที่ กระบวนการดูดความร้อน

2. ผลจากแบบประเมินความพึงพอใจต่อการบรรยายเชิงสถิติแบบมีปฏิสัมพันธ์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินความพึงพอใจต่อการบรรยายเชิงสถิติแบบมีปฏิสัมพันธ์การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น 2 ด้าน คือความพึงพอใจในเชิงบวกและความพึงพอใจในเชิงลบ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจ

ข้อ	คำถาม	ระดับคะแนนเฉลี่ย	ความหมาย
1	กิจกรรม ILD Pee-Pee Boy มีความน่าสนใจ	4.58±0.63	พึงพอใจมากที่สุด
2	กิจกรรม ILD-PeePeeBoy ทำให้มองเห็นปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ได้ชัดเจน เป็นรูปธรรม	4.54±0.65	พึงพอใจมากที่สุด
3	กิจกรรม ILD-PeePeeBoy ทำให้เข้าใจกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ได้ดีขึ้น	4.44±0.63	พึงพอใจมากที่สุด
4	กิจกรรม ILD-PeePeeBoy มีความสนุกและทำให้อยากเรียนฟิสิกส์มากขึ้น	4.52±0.65	พึงพอใจมากที่สุด
5	กิจกรรม ILD-PeePeeBoy ทำให้มองฟิสิกส์เป็นเรื่องใกล้ตัว เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์/อุปกรณ์ที่อยู่ในชีวิตประจำวัน	4.51±0.63	พึงพอใจมากที่สุด
6	กิจกรรม ILD-PeePeeBoy มีความยุ่งยากในการเรียน	2.75±1.39	พึงพอใจปานกลาง
7	กิจกรรม ILD-PeePeeBoy มีหลายขั้นตอนทำให้เกิดความสับสนในเนื้อหา	2.86±1.41	พึงพอใจปานกลาง

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจ(ต่อ)

ข้อ	คำถาม	ระดับคะแนนเฉลี่ย	ความหมาย
8	กิจกรรม ILD-PeePeeBoy ค่อนข้างยุ่งยากเพราะต้องเตรียมอุปกรณ์ในการทดลองหลายอย่าง	2.58±1.40	พึงพอใจมาก
9	กิจกรรม ILD-PeePeeBoy ใช้เวลาค่อนข้างเยอะจึงจะสามารถสรุปแนวคิดสำคัญได้	2.85±1.39	พึงพอใจปานกลาง
10	กิจกรรม ILD-PeePeeBoy ทำให้ต้องคิดวิเคราะห์มากขึ้นกว่าการเรียนรู้แบบปกติ	3.54±1.29	พึงพอใจน้อย

สรุปและอภิปรายผล

1. นักศึกษาจำนวน 66 คน (80.49%) มีแนวคิดที่ว่า เมื่ออุณหภูมิของอากาศในตัวตุ๊กตาเพิ่มขึ้น (ด้วยการรดน้ำร้อนลงบนตัวตุ๊กตา) โมเลกุลของอากาศในตัวตุ๊กตาก็จะเคลื่อนที่เร็วขึ้น จนผิวภายในของตุ๊กตาเพิ่มขึ้นทำให้เกิดความดันเพิ่มขึ้น ดันน้ำให้พุ่งออกมาจากตัวตุ๊กตา ซึ่งเป็นความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนว่า ความดันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้พิจารณาถึงปริมาตรของอากาศในตัวตุ๊กตาว่ามีการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้ดันน้ำพุ่งออกจากตัวตุ๊กตา ซึ่งความดันภายในกับภายนอกของตุ๊กตามีค่าเท่ากัน และเท่ากับความดันบรรยากาศโดยรอบตุ๊กตา ความดันไม่ได้มีส่วนในการทำให้น้ำพุ่งออกจากตัวตุ๊กตา ซึ่งการพิจารณาตัวแปรในระบบของอุณหพลศาสตร์ต้องคำนึงถึงตัวแปรสามตัวแปรคือ ความดัน อุณหภูมิ และปริมาตรไปพร้อมกัน ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Kautz และคณะ ที่พบว่าผู้เรียนมักจะพิจารณาความสัมพันธ์ของความดันกับอุณหภูมิ โดยไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Kautz et al, 2005) ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ผู้สอนต้องระมัดระวังในการเน้นย้ำให้ผู้เรียนต้องพิจารณาตัวแปรทั้งสามตัวแปร โดยการสาธิตแบบมีปฏิสัมพันธ์โดยใช้ตุ๊กตาช่วยให้นักศึกษาเข้าใจและสามารถสังเกตกระบวนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศภายในตัวตุ๊กตาได้ชัดเจนขึ้น ทำให้นักศึกษามองเห็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม

2. นักศึกษาจำนวน 29 คน (35.37%) มีแนวคิดว่า ความดันขึ้นกับอุณหภูมิ และ ความดันมีผลต่อพลังงานภายใน เมื่อความดันเพิ่มขึ้นทำให้พลังงานภายในเพิ่มขึ้น ซึ่งนักศึกษาเชื่อมโยงผ่านสมการสถานะของแก๊สอุดมคติคือ $PV = nRT$ โดยสรุปว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความดันเพิ่มขึ้น และเมื่อความดันเพิ่มขึ้น พลังงานภายในก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวคิดนี้ตรงกับงานวิจัยของ Loverude และคณะ ได้ศึกษาแนวคิดของผู้เรียนเกี่ยวกับกฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์พบว่า ผู้เรียนมักจะเชื่อมความสัมพันธ์ตามสมการสถานะ โดยไม่ได้พิจารณาว่าการเพิ่มขึ้นของความดันขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกด้วย (Loverude et al, 2002)

3. ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจ พบว่าส่วนใหญ่ นักศึกษามีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด สามารถสร้างความสนใจให้กับนักศึกษาในการเรียนฟิสิกส์ได้มาก โดยมีระดับคะแนนความพึงพอใจสูงสุด อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ส่วนระดับความพึงพอใจน้อยมีเพียงหัวข้อเดียวคือ การคิดวิเคราะห์ที่มากกว่าการเรียนรู้แบบปกติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่ให้การสนับสนุนและความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กิตติยา ประวัง และกริธา แก้วคง. 2563. การศึกษาผลการจัดการเรียนรู้เชิงปฏิสัมพันธ์ผ่านการวิเคราะห์แทรกเกอร์วิดีโอเพื่อส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงมโนคติเกี่ยวกับกราฟการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 43(1): 69-83.
- มัทยาภรณ์ รังษีการ และสาคร อัมจักร. 2559. การพัฒนาการเรียนรู้แบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์โดยใช้ชุดกิจกรรมเรื่องงานและพลังงานเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และความฉลาดทางสังคมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 10(ฉบับพิเศษ): 657-671.
- รุจิรา ราชรักษ์ และโชคศิลป์ ธนเสียง. 2558. การพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่โดยใช้รูปแบบการสอนแบบบรรยายประกอบการสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 53, 389-395. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สุระ วุฒิพรหม และฉวีวรรณ ชัยวัฒนา. 2554. การบรรยายเชิงปฏิสัมพันธ์วิชาฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัยเพื่อพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเรื่องแม่เหล็กไฟฟ้า. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 2(1): 39-47.
- อุดมศักดิ์ กิจทวี และคณะ. 2562. การพัฒนาชุดทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบกลิ้งเพื่อใช้ในการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี*. 13(2): 77-91.
- Andrews T.M., et al. 2011. Active Learning Not Associated with Students Learning in a Random Sample of College Biology Courses. *Life Science Education*. 10(4): 395-405.
- Crouch C., et al. 2004. Classroom demonstrations: Learning tools entertainment? *American Journal of Physics*. 72(6): 835-838.
- Kautz C.H., et al. 2005. Student understanding of the ideal gas law, Part I: A macroscopic perspective. *American Journal of Physics*. 73(11): 1055-1063.
- Lakshminarayanan V. 2011. *Interactive Lecture Demonstration, Active Learning and the ALOP Project*. In Proceeding of SPIE Eco-Photonics 2011: Sustainable Design, Manufacturing, and Engineering Workforce Education for a Green Future, pp.S1-S6. United Kindom: SPIE Digital Library.
- Loverude M.E., et al. 2002. Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. *American Journal of Physics*. 70(2): 137-148.
- Mazzolini A.P., Daniel S., and Edwards T. 2012. Using interactive lecture demonstrations to improve conceptual understanding of resonance in an electronics course. *Australasian Journal of Engineering Education*. 18(1): 69-88.
- Milner-Bolotin M., Kotlicki, A., and Rieger G.W. 2007. Can Students Learn from Lecture Demonstrations? *Journal of College Science Teaching*. 36(4): 45-49.
- Sokoloff D.R. 2016. Active Learning Strategies for Introductory Light and Optics. *The Physics Teacher*. 54(1): 18-22.
- Sokoloff D.R., and Thornton R.K. 1997. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher*. 35(6): 340-347.

- Tanahoung C., et al. 2009. The effect of Interactive Lecture Demonstrations on students' understanding of heat and temperature: a study from Thailand. *Research in Science & Technological Education*. 27(1): 61-74.
- Wattanakasiwich P., et al. 2012. Interactive lecture demonstration in thermodynamics. *Latin American Journal of Physics Education*. 6(4): 508-514.
- Yoder G., and Cook J. 2010. Innovative Interactive Lecture Demonstrations Using Wireless Force Sensors and Accelerometers for Introductory Physics Courses. *The Physics Teacher*. 48(9): 567-571.
- Zimrot R., and Ashkenazi G. 2007. Interactive lecture demonstrations: a tool for exploring and enhancing conceptual change. *Chemistry Education Research and Practice*. 8(2): 197-211.