



Constructed a Low-Vacuum chamber with a food container: A wireless sensor Gas Law Experiment

Sarawut Kongthong^{1,2} and Chittra Kedkaew^{2,*}

¹Benchamatheputhit Phetchaburi School, Phetchaburi, 76000

²Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140

*Email: chittra.ked@kmutt.ac.th

Received <23 September 2025>; Revised <4 November 2025>; Accepted <9 November 2025>

Abstract

This research aimed to develop a user-friendly experimental set for studying gas laws and to investigate the relationship between volume and pressure inside a vacuum food container. The prototype consisted of a 1-litre polypropylene food vacuum container with a four-sided locking lid, modified to connect to a small air pump as vacuum pump. A wireless pressure sensor was integrated, capable of measuring pressures in the range of 300–1100 hPa. The developed apparatus demonstrated that the selected vacuum container maintained its shape without deformation under low-pressure conditions and was able to sustain reduced pressure throughout the experiments. Within a 30-second period, the small air pump successfully achieved a minimum pressure of approximately 474 hPa, which does not deform the shape of the food container. In the experiment, a balloon was placed inside the food container, and then the volume changes of the balloon were investigated. When the pressure decreased, the balloon expanded. The Tracker program was used to measure changes in the balloon's diameter, from which its volume was calculated. The measured pressures from the wireless sensor showed an error margin of 6.06% compared to the calculated. The results indicated that the relationship between the balloon's volume and the reciprocal of pressure ($1/P$) exhibited a linear trend with range 1003.15 – 474.90 hPa pressure, confirming an inverse relationship between volume and pressure, consistent with Boyle's Law. This study demonstrates that an easy-to-construct experimental set can effectively study the gas laws, especially in contexts where access to specialized laboratory equipment is limited.

Keywords: Gas laws; Wireless pressure sensor; Vacuum food container

การสร้างกล่องสุญญากาศความดันต่ำจากกล่องอาหาร : การทดลองกฎของแก๊สด้วยเซนเซอร์ไร้สาย

สรารุท คงทอง^{1,2} และ จิตรา เกตุแก้ว^{2*}

¹โรงเรียนเบญจมเทวฤทธิศ จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี 76000

²ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

*Email: chittra.ked@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาชุดการทดลองกฎของแก๊สที่ใช้งานง่าย เพื่อใช้ในการศึกษากฎของแก๊สและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันภายในภาชนะสุญญากาศที่ได้จากกล่องอาหาร สำหรับชุดทดลองต้นแบบประกอบด้วยภาชนะสุญญากาศสำหรับใส่อาหาร ผลิตด้วยวัสดุโพลีโพรพิลีน ขนาดความจุ 1 ลิตร มีฝาล็อก 4 ด้าน ดัดแปลงให้ต่อท่ออากาศเข้ากับปั๊มลม (air pump) ขนาดเล็ก ซึ่งทำหน้าที่เป็นปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) และเครื่องวัดความดันแบบไร้สาย ซึ่งสามารถวัดความดันในช่วง 300 – 1100 hPa ซึ่งชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น แสดงให้เห็นว่าภาชนะสุญญากาศที่เลือกใช้สามารถคงรูปได้โดยไม่เกิดการเสียรูปภายใต้สภาวะความดันต่ำ และสามารถรักษาความดันที่ลดลงไว้ได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง และขณะเปิดปั๊มลมเป็นเวลา 30 s สามารถลดความดันภายในภาชนะลงมาถึงประมาณ 474 hPa โดยภาชนะยังไม่มีรูรั่วหายไป และจากการทดลองวางลูกโป่งไว้ในภาชนะสุญญากาศ เพื่อศึกษาปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปของลูกโป่ง พบว่า เมื่อความดันภายในภาชนะลดลง ลูกโป่งจะขยายใหญ่ขึ้น เมื่อใช้โปรแกรม Tracker วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่ง และนำไปคำนวณหาปริมาตรของลูกโป่ง และค่าความดันที่วัดได้จากเซนเซอร์ไร้สายมีค่าความคลาดเคลื่อน 6.06% เมื่อเทียบกับค่าที่คำนวณได้ ผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของลูกโป่งและส่วนกลับของความดัน ($1/P$) มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ในช่วงความดัน 103.15 – 474.90 hPa ซึ่งยืนยันความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างปริมาตรและความดัน โดยมีความสอดคล้องกับกฎของบอยล์ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่สร้างขึ้น สามารถศึกษาใช้ศึกษากฎของแก๊สได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทที่การเข้าถึงอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการเฉพาะทางมีจำกัด

คำสำคัญ: กฎของแก๊ส; เครื่องวัดความดันแบบไร้สาย; ภาชนะสุญญากาศสำหรับใส่อาหาร

บทนำ

การจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในโรงเรียนส่วนใหญ่ ยังคงประสบปัญหาเรื่องการเข้าถึงอุปกรณ์การทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีราคาสูงและต้องใช้ทักษะเฉพาะทางในการใช้งาน อุปสรรคนี้ทำให้โรงเรียนจำนวนมากจำกัดการเรียนการสอนให้อยู่ในรูปแบบการบรรยายหรือการสาธิตโดยครูผู้สอนเพียงอย่างเดียว (Erol and Oğur, 2023) ส่งผลให้ผู้เรียนขาดโอกาสลงมือปฏิบัติจริงและไม่สามารถพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (scientific thinking) และการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ได้อย่างเต็มที่ การพัฒนาสื่อการเรียนรู้อุปกรณ์การทดลองที่ช่วยให้ผู้เรียนได้มีประสบการณ์ทำจริงจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการยกระดับคุณภาพการเรียนการสอนฟิสิกส์ในศตวรรษที่ 21 ทำให้การจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาและปรับเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว สืบเนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและแนวคิดทางการศึกษาแบบใหม่ที่เข้ามาตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้เปิดโอกาสใหม่ให้มีการพัฒนาเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลองที่มีราคาต่ำลง เมื่อเทียบกับในอดีตที่ผ่านมา ยกตัวอย่างเช่น การใช้สมาร์ตโฟน เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในเครื่องมือที่ใช้สำหรับเก็บผลการทดลอง โดยใช้แท่นกล้องถ่ายภาพ แท่นเซนเซอร์ ซึ่งมีอยู่หลายแบบ สามารถใช้ร่วมกับแอปพลิเคชัน เพื่อบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล เช่น แอปพลิเคชัน Phyphox เพื่อเก็บข้อมูลจากการทดลองแบบเรียลไทม์ (Kaewsri, Kaewurai and Meesuwat, 2023) ขณะเดียวกัน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อย่าง Arduino (Jaewijarn, 2020) ได้รับความนิยมสูงในการสร้างนำมาใช้ควบคุม และเก็บข้อมูลการทดลองทางฟิสิกส์ เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ได้หลายชนิด เช่น BME280 สำหรับวัดความดัน อุณหภูมิ และความชื้น (Schnider and Hömöstrei, 2024) ทำให้ครูและนักเรียนสามารถออกแบบการทดลองที่มีความหลากหลายยืดหยุ่น ใช้งานง่าย และมีต้นทุนต่ำ Khamprawat *et.al* (2025) ได้แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองราคาถูกที่นักเรียนสามารถสร้างได้เอง ไม่เพียงแต่ช่วยลดค่าใช้จ่าย แต่ยังเสริมสร้างการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Inquiry-Based Learning) ให้เกิดขึ้นอย่างแท้จริง ผลการประเมินพบว่าชุดการทดลองมีความตรงและความเชื่อมั่นสูง สอดคล้องกับหลักการทางทฤษฎี อีกทั้งยังผู้เชี่ยวชาญ ครู และนักเรียนประเมินคุณภาพในระดับดีมากในด้านลักษณะทางกายภาพ ความสะดวกในการใช้งาน การบำรุงรักษา และความเหมาะสมต่อการสอน การวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้วัสดุพื้นฐานและความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างเครื่องมือการเรียนรู้ที่เข้าถึงได้ง่ายและตอบโจทย์การเรียนรู้เชิงรุก (active learning) ในการบูรณาการสื่อการทดลองที่ลงมือปฏิบัติจริงและสื่อการทดลองเสมือนจริง (Ramos *et.al.*, 2020; Boonrangsi, 2025) ได้พัฒนาและทดสอบสื่อการทดลองเสมือนจริงร่วมกับการเรียนรู้แบบสืบสอบ 5E พบว่าผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงเพิ่มขึ้นกว่า 77% ของผู้เรียนทั้งหมด อีกทั้งผู้เรียนยังมีความพึงพอใจในระดับสูง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงสามารถแก้ข้อจำกัดของการทดลองที่ลงมือปฏิบัติจริงได้ ซึ่งช่วยลดข้อจำกัดด้านทรัพยากร เวลา และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้เรียน เมื่อนำมาผสมผสานกับการทดลองจริง จะช่วยสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่ครอบคลุมทั้งการสังเกต การคิดวิเคราะห์ และการแก้ปัญหา

สำหรับองค์ประกอบสำคัญในการสร้างชุดทดลองในวิชาฟิสิกส์โดยเฉพาะการศึกษาภาวของแก๊ส คือ ภาชนะสุญญากาศ ซึ่งวัสดุและคุณสมบัติของภาชนะมีผลโดยตรงต่อความแม่นยำและเสถียรภาพของการรักษาความดันที่วัดได้ Holovko, Kryzhanovskiy and Matsyuk (2025) แสดงให้เห็นว่าแก้วมีความสามารถในการรักษาสภาพสุญญากาศได้นาน ความดันภายในมีค่าคงที่ ประกอบกับแก้วมีลักษณะโปร่งใส เหมาะสำหรับการสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น Bartholomew and Zürcher (2023) ได้ศึกษาการสังเกตการเปลี่ยนแปลงความดันภายในของลูกโป่ง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันตามกฎของบอยล์ ซึ่งทำให้ผู้เรียนเข้าใจถึงปรากฏการณ์ที่ได้จากการสังเกต จากความนิยมที่มีการใช้วัสดุแก้วเป็นภาชนะสุญญากาศที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป เนื่องจากภาชนะไม่มีการเสียรูปเมื่อมีการดึงอากาศออกจากภาชนะโดยการใช้ปั๊ม ประกอบกับภาชนะมีความใส ทำให้สามารถสังเกตเห็นปรากฏการณ์ได้ง่าย แต่การใช้งานยังมีข้อจำกัดในเรื่องของน้ำหนัก เนื่องจากแก้วต้องมีความหนาพอสมควรระดับหนึ่งที่จะสามารถรับแรงดันที่ผนังได้ และการเจาะรู หรือการประกอบฝาปิดภาชนะเพื่อใส่สายยางหรือท่อ ยังคงทำได้ไม่สะดวก นอกจากการใช้แก้วเป็นภาชนะสุญญากาศแล้ว ยังมีการประยุกต์ใช้ภาชนะสุญญากาศที่ทำจากพลาสติกชนิดต่าง ๆ เช่น พลาสติกโพลิโพรพิลีน (PP) และโพลีสไตรีน (PS) ซึ่งวัสดุประเภทพลาสติกนี้ สามารถรักษาความดันให้คงที่ได้ในระดับที่น้อยกว่ากระจก แต่มีข้อดีเรื่องน้ำหนักเบา มีหลากหลายปริมาตร และง่ายต่อการเจาะรูเพื่อประกอบเป็นชุดการทดลอง สามารถทนการแตกหัก แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถรับแรงดันในระดับต่ำ เนื่องจากอาจมีการเสียสภาพของวัสดุเนื่องจากแรงดัน ซึ่งได้มีงานวิจัยหลาย ๆ งานที่มีการใช้ภาชนะที่ทำจากพลาสติกมาเป็นภาชนะสุญญากาศ เช่น Ogawara (2020) ได้ประยุกต์ใช้ภาชนะสุญญากาศจากกล่องอาหารพลาสติกพร้อมกับสมาร์ตโฟนและบาร์โอมิเตอร์ดิจิทัล เพื่อสาธิตแนวคิดทางเทอร์โมไดนามิกส์และกฎแก๊สรวม การศึกษาเหล่านี้ไม่เพียงชี้ให้เห็นถึงความสามารถของอุปกรณ์ที่ราคาถูกสำหรับการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ แต่ยังนำเสนอวิธีการเก็บข้อมูลที่แม่นยำและสามารถวิเคราะห์ผลเชิงลึกได้ การจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมทดลองที่ดึงดูดความสนใจผู้เรียน เช่น การดัดแปลงเครื่องชั่งสุญญากาศอาหารให้เป็นปั๊มสุญญากาศราคาถูก (McClymer, 2010) ช่วยให้ผู้เรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงของวัตถุที่มีอากาศภายในเมื่อลดความดันได้ชัดเจน หรือการศึกษา

การหดตัวของมาร์ชเมลโลเมื่อเพิ่มความดัน (Murray, 2022) ซึ่งสร้างความตื่นเต้นและสามารถเชื่อมโยงกับหลักการของกฎบอยล์และแก๊สอุดมคติได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาชุดทดลอง เพื่อใช้ศึกษากฎของแก๊ส โดยใช้เซนเซอร์วัดความดันไร้สายที่สร้างขึ้น และใช้กล่องอาหารเป็นภาชนะสุญญากาศ เพื่อใช้ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความดันที่สัมพันธ์กับปริมาตรตามกฎของแก๊ส ซึ่งชุดทดลองนี้ถูกออกแบบให้เหมาะสมต่อการใช้งานในห้องเรียนฟิสิกส์ทั้งระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา และมีศักยภาพในการขยายผลสู่การพัฒนาวัตรกรรมการเรียนการสอนฟิสิกส์ที่มีการใช้เทคโนโลยีและทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วม

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวัตรกรรมชุดทดลองในรายวิชาฟิสิกส์ สำหรับศึกษากฎของแก๊ส
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊ส และความดัน ภายในภาชนะสุญญากาศที่ได้สร้างขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) เพื่อออกแบบและประเมินคุณภาพของชุดทดลองกฎของแก๊สที่ความดันต่ำ โดยส่วนประกอบที่สำคัญของชุดทดลอง ได้แก่ ภาชนะที่ใช้ในการทำโถสุญญากาศที่ความดันต่ำ ระบบตรวจวัดความดัน และปั๊มลม

การเลือกวัสดุและอุปกรณ์สำหรับใช้ในชุดทดลอง

ในงานวิจัยนี้มีเกณฑ์ในการเลือกภาชนะที่จะนำมาใช้เป็นภาชนะสุญญากาศ โดยจะเลือกวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย สามารถดัดแปลงและเจาะรูในการเชื่อมต่ออากาศ ที่สามารถรับแรงดันต่ำ เมื่อมีการดูดอากาศออก ไม่มีการเสียรูปทรงของภาชนะ รวมถึงสามารถรักษาความดันภายในภาชนะให้คงที่ได้ในระดับหนึ่ง มีขนาดปริมาตรไม่เกิน 2 L ซึ่งในงานนี้ได้เลือกใช้วัสดุประเภท ขวดแก้ว และพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นภาชนะที่ใช้ในห้องครัว ดังแสดงในรูปที่ 1

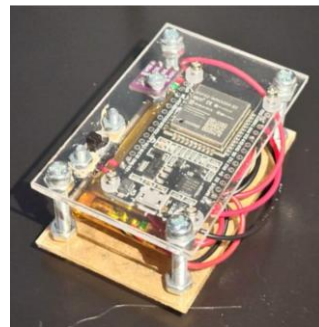


รูปที่ 1 รูปแบบภาชนะต่างๆที่นำมาใช้ในการทดสอบ (ก) พลาสติกโพลิโพรพิลีน (PP) ขนาด 1 ลิตร (ข) ขวดแก้วขนาดเล็ก (ค) ขวดแก้วขนาดใหญ่ (ง) พลาสติกประเภทพอลิสไตรีน (PS) (จ) พลาสติกโพลิโพรพิลีน ขนาด 2.1 ลิตร

จากรูปแสดงภาชนะที่นำมาทดสอบทั้ง 5 แบบ เรียงลำดับจาก (ก) - (จ) ได้แก่ (ก) กล่องอาหารที่ทำจากพลาสติกประเภทโพลิโพรพิลีน (PP) ฝาปิดมีซีลยางปิดล็อกสี่ด้าน ขนาด 1 L (ข) ขวดโหลแก้วแบบฝาเกลียว (ค) ขวดแก้วมีซีลยางปิดล็อก (ง) กล่องพลาสติกประเภทพอลิสไตรีน (PS) มีซีลยางปิดล็อก และ (จ) ขวดโหลพลาสติกประเภทโพลิโพรพิลีน (PP) เป็นฝาแบบเกลียว ขนาด 2.1 L นำภาชนะทั้ง 5 แบบ มาทดสอบการรักษาความดันภายในภาชนะ โดยทำการเจาะรูที่ด้านบน หรือบริเวณของฝากล่อง เพื่อติดตั้งวาล์วสำหรับต่อท่อดูดอากาศ ดังรูปที่ 2(ก) นำเซนเซอร์วัดความดันแบบไร้สายวางไว้ด้านในของภาชนะ สำหรับเซนเซอร์วัดความดันผู้วิจัยได้ประกอบขึ้นโดยใช้ เซนเซอร์ BME280 และบอร์ด ESP32 ซึ่งสามารถส่งข้อมูลความดันแบบทันทีผ่านระบบการเชื่อมต่อไร้สาย ตัวเซนเซอร์มีขนาดเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2(ข) นำท่อมาต่อเชื่อมภาชนะเข้ากับปั๊มลมขนาดเล็กใช้ไฟ DC ขนาด 12 V มีอัตราการปั๊มอยู่ที่ 2.5 LPM ซึ่งปั๊มลมนี้จะทำหน้าที่เป็นปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump)

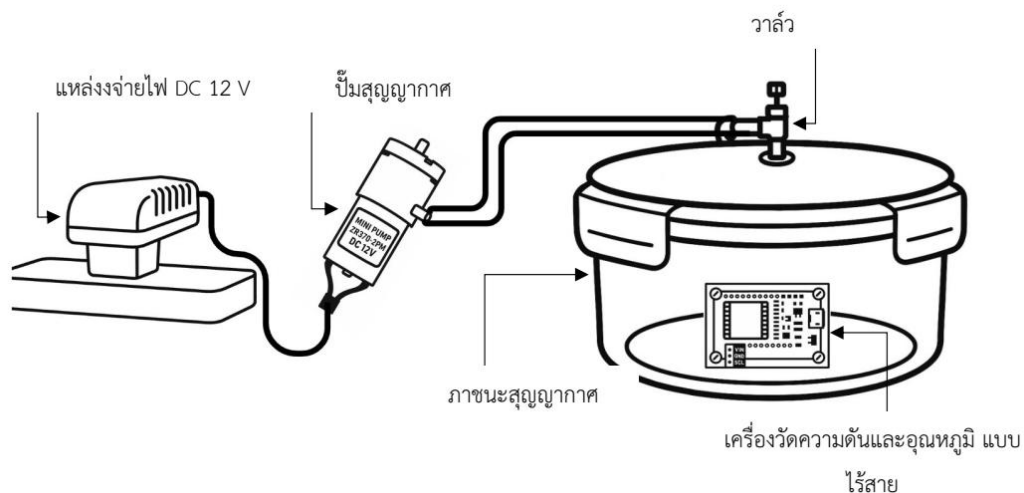


(ก)

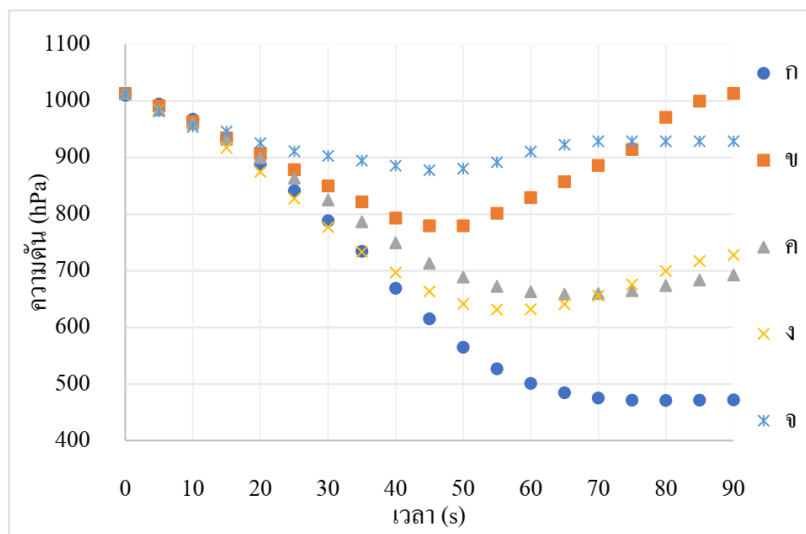


(ข)

รูปที่ 2 (ก) ภาชนะสุญญากาศที่ถูกเจาะรูและใส่วาล์ว และ (ข) อุปกรณ์วัดค่าความดันและอุณหภูมิแบบไร้สาย



รูปที่ 3 การติดตั้งชุดทดลอง

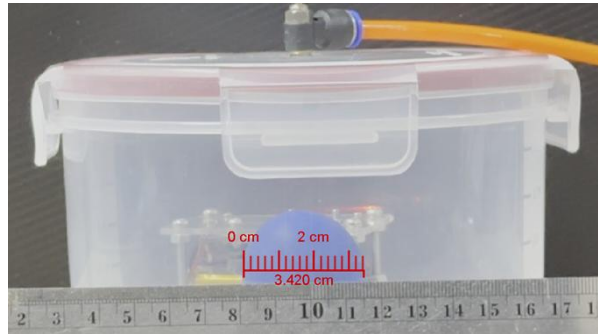


รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (s) กับความดันในภาชนะรูปร่างต่าง ๆ

เมื่อนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบและติดตั้งได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3 จะได้ชุดทดลองไปทดสอบการรักษาความดันของภาชนะ หลังจากนั้นจะทดสอบภาชนะที่เหมาะสม โดยการเปิดปั๊มเพื่อดูดอากาศออกเป็นเวลา 30 s หลังจากนั้นปิดวาล์ว และเริ่มบันทึกค่าความดัน ตั้งแต่เริ่มเปิดปั๊มสุญญากาศ ปิดปั๊มที่เวลา 30 s และบันทึกข้อมูลความดันจนถึงวินาทีที่ 90 นำข้อมูลเวลานับตั้งแต่เปิดปั๊มเพื่อดูดอากาศ จนถึงวินาทีที่ 90 และความดันที่วัดได้ภายในภาชนะทั้ง 5 แบบ มาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4 จากรูปจะเห็นว่า ค่าความดันเริ่มต้นที่ เซนเซอร์วัดได้จะอยู่ที่ประมาณ 1000 hPa ซึ่งเป็นความดันบรรยากาศ และเมื่อเปิดปั๊มเพื่อดูดอากาศออกจากภาชนะเป็นเวลา 30 s ในช่วงนี้ทุก ๆ ภาชนะมีแนวโน้มที่ความดันจะมีค่าลดลงใกล้เคียงกันมาก โดยมีอัตราการลดลงของความดันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 7.51 hPa/s ในช่วงเวลา 30 s หลังจากนั้น ในบางภาชนะมีค่าความดันที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการรั่วของอากาศเข้าไปภายใน ดังเช่นในภาชนะ (ข) และ (จ) ที่ทำจากขวดแก้ว และขวดพลาสติกโพลิโพรพิลีนตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าภาชนะทั้งสองมีฝาปิดด้านบนที่เป็นฝาเกลียว ทำให้ง่ายต่อการรั่วไหลของอากาศ นอกจากนี้ยังพบการบิดตัวของภาชนะ (จ) เพิ่มเติมอีกด้วย ในขณะที่ ภาชนะในรูป (ค) ขวดแก้วขนาดใหญ่ และ (ง) พลาสติกโพลีไธรีน มีการรั่วของอากาศบ้างแต่น้อยกว่าภาชนะในข้างต้น ในขณะที่ข้อมูลความดันภายในภาชนะ (ก) (ดูรูปที่ 4 จุดสีน้ำเงิน) ค่าความดันเริ่มต้นที่วัดได้จะอยู่ที่ประมาณ 1000 hPa ขณะเปิดปั๊มลม ค่าความดันค่อย ๆ ลดลงเช่นเดียวกับภาชนะอื่น และเมื่อปิดปั๊มลมที่เวลา 30 s พบว่าค่าความดันที่ถูกส่งออกจากจากเซนเซอร์มายังคอมพิวเตอร์จะยังคงมีค่าลดลงต่อเนื่องไปจนถึงที่เวลาประมาณ 65 s จากนั้นค่าความดันจึงมีค่าคงที่ ที่ประมาณ 405 hPa สาเหตุที่ค่าความดันมีค่าลดลงถึงแม้ว่าจะปิดปั๊มลมแล้ว มีสาเหตุมาจากตำแหน่งการวางของเซนเซอร์ และความเร็วในการส่งข้อมูลของบอร์ด ESP32 ซึ่งมีช่วงเวลาส่งข้อมูลประมาณ 30 – 35 s จากผลการทดสอบภาชนะทั้ง 5 แบบ ข้างต้น พบว่าภาชนะ (ก) สามารถรักษาการรักษาความดันให้คงที่ได้ แม้จะปิดปั๊มสุญญากาศแล้ว (Kongthong, 2024) โดยที่ภาชนะยังคงมีรูปร่างไม่บิดเบี้ยว ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกใช้ภาชนะ ที่เป็นกล่องใส่อาหารขนาด 1 L ที่ทำจากพลาสติกโพลิโพรพิลีน ที่มีความเหนียวและโปร่งใส นอกจากนี้ภาชนะประเภทนี้ยังมีซิลที่ทำการยางบริเวณฝาปิดล็อก ด้านบน ทำให้ภาชนะสามารถรักษาความดันภายในไว้ได้นานที่สุด โดยสามารถรักษาความดันให้คงที่อยู่ได้ประมาณ 6-7 hr. (Kongthong, 2024) จึงเลือกภาชนะนี้เพื่อใช้ในการทดลองของแก๊สต่อไป

การทดลองเพื่อศึกษากฎของแก๊ส

สำหรับการทดลองเพื่อศึกษากฎของแก๊ส จะใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยใช้กล่องสำหรับใส่อาหาร ขนาด 1 L ผลิตจากพลาสติกโพลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) มีฝาล็อก 4 ด้าน พร้อมซิลยางกันรั่ว ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) และเครื่องวัดความดันแบบไร้สายที่สามารถตรวจวัดความดันในช่วง 300–1100 hPa ได้อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) ที่ได้ทดสอบความสามารถในการรักษาความดันภายในภาชนะได้แล้ว นำอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบดังรูปที่ 3 ชุดทดลองนี้จะใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปของลูกโป่ง ตามกฎของบอยล์ รวมถึงสามารถประยุกต์ใช้ในกฎของแก๊สอื่น ๆ ได้



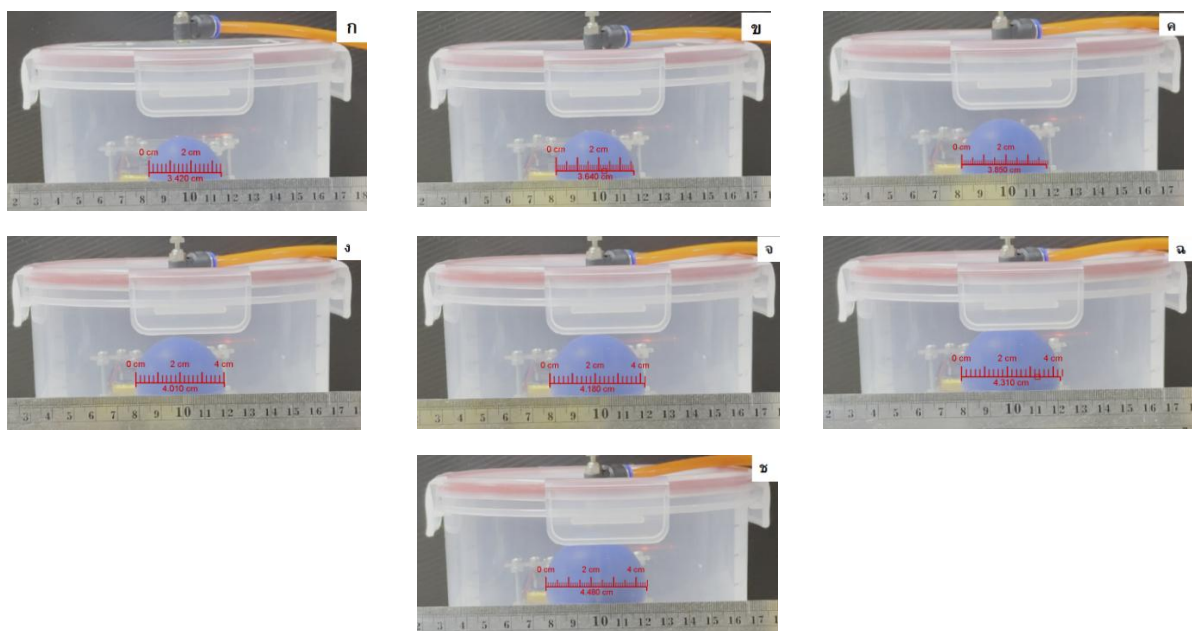
รูปที่ 5 ลูกโป่งที่ถูกใส่ไว้ในภาชนะของชุดทดลอง

ขั้นตอนการทดสอบชุดการทดลอง

- 1) ต่อสายยางเข้ากับปั๊มสุญญากาศขนาดเล็กโดยเชื่อมต่อกับวาล์วด้านล่างบนของฝาปิดภาชนะสุญญากาศที่ได้ทดสอบมาแล้ว นำเครื่องวัดความดันแบบไร้สายใส่ลงในภาชนะสุญญากาศ ดังรูปที่ 3
- 2) ใส่ลูกโป่งที่บรรจุอากาศไว้ลงในภาชนะสุญญากาศและปิดฝาล็อคทั้ง 4 ด้าน (ดังรูปที่ 5)
- 3) บันทึกค่าความดันภายในภาชนะ ที่อุณหภูมิห้องเป็นค่าเริ่มต้น
- 4) เปิดปั๊มเพื่อลดความดันภายในเป็นเวลา 30 s พร้อมบันทึกค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่อง
- 5) บันทึกวิถีการขยายตัวของลูกโป่งในแต่ละระดับความดัน
- 6) ใช้โปรแกรม Tracker วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกโป่งในแต่ละช่วง แล้วคำนวณปริมาตรของลูกโป่งจากสมการทรงกลม ที่เวลา 0 5 10 15 20 25 และ 30 s ตามลำดับ ทำการทดลองเพื่อเก็บผลจำนวน 5 ครั้ง
- 7) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดัน และตรวจสอบความสอดคล้องกับกฎของบอยล์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความดันภายในภาชนะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิห้องโดยประมาณ 25°C) โดยการดูดอากาศออกจากภาชนะเป็นเวลา 30 s มีอัตราการลดลงของความดันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 7.51 hPa/s ทำการบันทึกผลด้วยวิธีโอร่วมกับบันทึกการสังเกตด้วยตากับการเปลี่ยนแปลงของลูกโป่ง พบว่า ขนาดของลูกโป่งมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งการพองตัวของลูกโป่งเกิดจากความดันภายในภาชนะที่ลดลง จากการที่ดูดอากาศออก ทำให้ปริมาตรของแก๊สภายในลูกโป่งจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของบอยล์



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของลูกโป่งเมื่อปั๊มอากาศออก ที่เวลา (ก) ที่เวลา 0 s, (ข) ที่เวลา 5 s, (ค) ที่เวลา 10 s, (ง) ที่เวลา 15 s, (จ) ที่เวลา 20 s, (ฉ) ที่เวลา 25 s, (ช) ที่เวลา 30 s

ตารางที่ 1 ความดัน ปริมาตร และผลคูณระหว่างความดันกับปริมาตร

t (s)	P _{ave} (hPa)	D _{ave} (cm)	r (cm)	V × 10 ⁻⁶ (m ³)	ΔV × 10 ⁻⁶ (m ³)	PV	1/P
0	1003.15	3.42	1.71	20.95	979.05	0.021	0.000997
5	885.66	3.64	1.82	25.26	974.74	0.022	0.001129
10	769.86	3.85	1.93	29.89	970.11	0.023	0.001299
15	679.08	4.01	2.01	33.78	966.22	0.023	0.001473
20	614.51	4.18	2.09	38.26	961.74	0.024	0.001627
25	548.44	4.36	2.18	43.41	956.59	0.024	0.001823
30	474.90	4.48	2.24	47.10	952.90	0.022	0.002106

นำวิดีโอผลการทดลองเข้าโปรแกรม Tracker ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหวเชิงฟิสิกส์ เพื่อวัดขนาดของลูกโป่งที่เปลี่ยนแปลงไปตามการลดลงของความดันภายในภาชนะ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 1 จากตารางผลการทดลองแสดงข้อมูลเวลา เริ่มต้นเมื่อเปิดปั๊มสุญญากาศ ที่เวลา t = 0 จนถึงปิดปั๊มที่เวลา t = 30 s ข้อมูลค่าความดันเฉลี่ย (P_{ave}) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่ง (D_{ave}) สำหรับข้อมูลอื่นๆ ได้แก่ ค่ารัศมี (r), ปริมาตรของลูกโป่ง (V), ผลต่างของปริมาตร (ΔV = V₀-V โดย V₀ ในที่นี้คิดเป็น 1 L) จากข้อมูลในตารางที่ 1 ค่าความดันในตอนเริ่มต้นที่อยู่ที่ประมาณ 1003.15 hPa ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความดันบรรยากาศ (1 atm = 1013.25 hPa) และความดันจะค่อยๆ ลดลง จนถึง 474.90 hPa ที่เวลา t = 30 s ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งเริ่มต้นที่ 3.42 cm และเมื่อความดันลดลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะเพิ่มขึ้นเป็น 4.48 cm เมื่อพิจารณาโดยใช้กฎของบอยล์ (Boyle's Law) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในภาชนะสุญญากาศกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งในงานวิจัยนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของลูกโป่งในการหาปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงภายในภาชนะสุญญากาศ โดยมีคำอธิบายการดำเนินการต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ปริมาตรภายในภาชนะสุญญากาศ จะอาศัยผลต่างของปริมาตรของภาชนะสุญญากาศ (V₀ มีขนาด 1 L) และปริมาตรลูกโป่ง (V) นั่นคือ $\Delta V = V_0 - V$
- 2) การหาปริมาตรของลูกโป่ง สมมติให้มีรูปร่างเป็นทรงกลม และหาปริมาตรจากสมการ $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ เมื่อ V แทน ปริมาตรของลูกโป่ง และ r แทน รัศมีของลูกโป่ง (cm) (ข้อมูลจากตารางที่ 1 คอลัมน์ที่ 5) โดยอ้างอิงงานวิจัยของ Bartholomew and Zürcher (2023) ที่ได้พิจารณาลักษณะของลูกโป่งเป็นทรงหยดน้ำและศึกษาอัตราส่วนระหว่างความสูงและความกว้างของหยดน้ำ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าประมาณ 1.2 และผลของการขยายขนาดของลูกโป่งจากการเป่าลมเข้าไปภายในลูกโป่ง หรือค่าความตึงผิวของลูกโป่งที่ทำจากยาง พบว่าสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของลูกโป่งจากการเป่าลมเข้าไปโดยตรงจะเป็นไปตามกฎของแก๊ส เมื่อยางที่ใช้ทำลูกโป่งยังมีสภาพยืดหยุ่น และค่าแรงตึงผิวของลูกโป่งมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อมีการเปลี่ยนความดันแก๊สภายในลูกโป่ง

ทดสอบความสัมพันธ์ตามกฎของบอยล์ ตามสมการ $P_1V_1 = P_2V_2$ โดยใช้ข้อมูลการทดลองในตารางที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบความดันภายในภาชนะสุญญากาศ และปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปโดยอาศัยการขยายตัวของลูกโป่ง โดยที่เวลาเริ่มต้น, t = 0 s ความดันภายในภาชนะจะมีค่าความดันเท่ากับความดันบรรยากาศเมื่อนำปั๊มลมมาดูดอากาศออกจากภาชนะ ความดันภายในภาชนะจะค่อย ๆ ลดลง อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปภายในระบบปิด จากกฎของบอยล์ (Boyle's Law)

$$P_1V_1 = P_2V_2 \tag{1}$$

เมื่อ P₁ และ P₂ แทน ความดันภายในภาชนะที่เวลา 0 และ 30 s ตามลำดับ
V₁ และ V₂ แทน ปริมาตรของลูกโป่งที่เวลา 0 และ 30 s ตามลำดับ

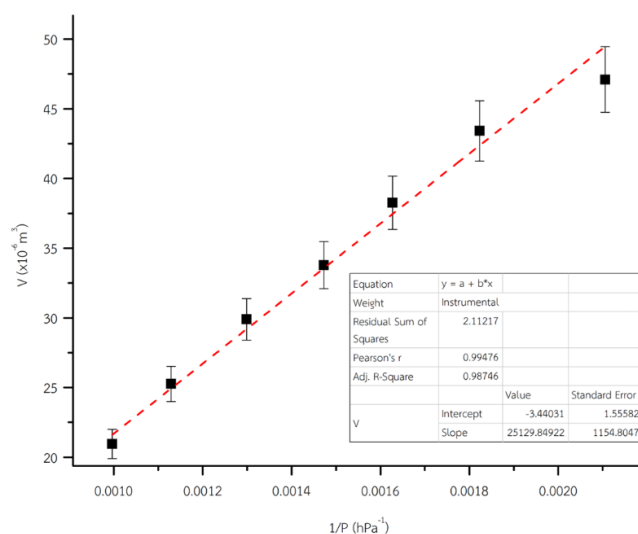
อาศัยข้อมูลในตารางที่ 1 คำนวณหาความดัน P₂ ได้จาก

$$P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2}$$

$$P_2 = \frac{(1.003.15 \text{ hPa})(20.95 \times 10^{-6} \text{ m}^3)}{(47.10 \times 10^{-6} \text{ m}^3)}$$

$$P_2 = 446.12 \text{ hPa}$$

จากค่าความดันที่คำนวณได้ ($P_2 = 446.12$ hPa) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความดันที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เวลา 30 s เป็น 474.90 hPa และมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.06% แสดงให้เห็นว่าค่าที่วัดได้ และค่าที่คำนวณได้จากการแทนปริมาตรของลูกโป่งเป็นทรงกลม ให้ค่าความดันที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของลูกโป่งกับอัตราส่วนของความดัน

การหาจำนวนโมลของอากาศ

พิจารณาที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง การใช้ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออกจากภาชนะที่มีปริมาตรคงที่ จะทำให้ปริมาณของอากาศที่เหลืออยู่ และค่าความดันภายในภาชนะสุญญากาศมีค่าลดลงไปพร้อมๆ กัน ส่งผลให้ความดันภายในลูกโป่งมากกว่าความดันภายในภาชนะสุญญากาศ และลูกโป่งขยายตัวออกตามค่าความแตกต่างของความดันที่เปลี่ยนแปลง ดังข้อมูลในตารางที่ 1 ถ้าวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกลับของความดัน ($1/P$) กับปริมาตรของลูกโป่ง จะได้ดังรูปที่ 7 ลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นตรง ที่มีค่าความชันของกราฟเท่ากับ PV เมื่อนำกฎของแก๊สมาพิจารณา ทำให้เราสามารถคำนวณหาจำนวนโมลของอากาศภายในภาชนะ นั่นคือจำนวนโมล ของแก๊สจะมีค่าคงที่ ตามสมการ (2)

$$PV = nRT \quad (2)$$

กำหนดให้ อุณหภูมิห้องคงที่ 25°C หรือ 298.15 K และ R เป็นค่าที่ เป็น 8.314 ($\text{m}^3\text{Pa})(\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1})$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{\text{slope}}{RT} = \frac{25129.84 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ hPa}}{(8.314 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{Pa}}{\text{mol} \cdot \text{K}})(298.15 \text{ K})}$$

$$n = 101 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

จากตัวอย่างการแสดงวิธีคำนวณหาจำนวนโมลของอากาศที่อยู่ภายในลูกโป่งได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ตามกฎของแก๊ส สามารถนำตัวอย่างดังกล่าวไปปรับและประยุกต์ใช้ในการศึกษาทฤษฎีของแก๊สในเชิงของการเรียนรู้เชิงทดลองได้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาภาชนะแต่ละชนิดพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการรักษาความดันต่ำภายในภาชนะสุญญากาศ ประกอบด้วย ซิลยางที่ฝาและชนิดของวัสดุ โดยซิลยางที่มีความหนาแน่นและยืดหยุ่นดีจะช่วยลดการรั่วไหลของอากาศ ส่วนวัสดุที่แข็งแรงและคงรูป เช่น แก้วหรือโพลีโพรพิลีนที่มีความหนา สามารถคงสภาพความดันต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตรงกันข้าม วัสดุที่บางและยืดหยุ่นสูงจะยุบตัวง่ายและทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อน ขณะที่ปริมาตรของภาชนะ และขนาดของปั๊มสุญญากาศจะต้องมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการดูดอากาศออกจากภาชนะ จากการเลือกภาชนะสุญญากาศที่เหมาะสม สามารถออกแบบชุดการทดลองเพื่อนำมาใช้ศึกษาทฤษฎีของแก๊สได้ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนของค่าความดันที่วัดได้จากเซนเซอร์และค่าที่คำนวณได้มีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 6.06% นอกจากนี้การศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับส่วน

กลับของความดันสามารถซึ่งสามารถอธิบายถึงความสอดคล้องกับกฎของบอยล์ที่ว่า ความดันแปรผกผันกับปริมาตร และสามารถคำนวณหาจำนวนโมลของอากาศที่อยู่ภายในลูกโป่งได้ประมาณ $101 \times 10^{-3} \text{ mol}$ และเป็นไปตามกฎของแก๊ส

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

เนื่องจากภาชนะที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็ก เพื่อให้การวัดขนาดของลูกโป่งมีความชัดเจนและแม่นยำ ควรบันทึกวิดีโอด้วยกล้องที่มีความละเอียดสูงและจัดให้มีแสงสว่างเพียงพอ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าและการวิเคราะห์ภาพ ในภายหลัง นอกจากนี้ควรเลือกภาชนะที่มีผนังใสเพื่อให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย มีความแข็งแรงและคงรูปเมื่ออยู่ในสภาวะความดันต่ำ รวมถึงต้องมีซีลยางที่มีคุณภาพดีเพื่อลดการรั่วไหลของอากาศ ทั้งนี้การเลือกภาชนะที่เหมาะสมจะช่วยให้เพิ่มความถูกต้องของข้อมูลและความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (KMUTT) ที่ได้สนับสนุนการดำเนินการในงานวิจัย และงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ทุนสนับสนุนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ภายใต้รหัสโครงการ 27752 เลขที่สัญญา FRB670016/0164

References

- Bartholomew, A. and Zürcher, U. (2023). Measuring the pressure inside a party balloon with a ruler. **Physics Education**, 58(3), 035006.
- Boonrangsri, K. (2025). Development of learning achievement, learning progress, and advanced science process skills of grade 9 students through inquiry-based learning with virtual experimental media on the topic of waves and light (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 8(1), 123–139.
- Erol, M. and Oğur, M. (2023). Teaching a large-angle pendulum via Arduino-based STEM education material. **Physics Education**, 58(4), 045001.
- Holovko, M., Kryzhanovskiy, S. and Matsyuk, V. (2025). Studying the pressure in a rubber balloon in a vacuum bell jar using digital technologies. **Physics Education**, 60(3), 035008.
- Jaewijam, C. (2020). Adapting Arduino for low-cost laboratory for developing students' conception on pressure and buoyant force (in Thai). **Doctoral Dissertation**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.
- Kaewsri, T., Kaewurai, R. and Meesuwat, W. (2023). Using digital technology in scientific practices of student (in Thai). **Research and Development Journal Suan Sunandha Rajabhat University**, 15(2), 27-36.
- Khamprawat, B., Thippharat, U., Phiomchitphong, T., Wuttisela, K. and Wutthiprom, S. (2025). Student-constructed low-cost experimental kit for enhancing inquiry-based learning in high school fluid dynamics (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 8(1), 24 – 31.
- Kongthong, S., (2024). Design and construction of low-pressure chamber for gas laws experimental set (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- McClymer, J. (2010). Using vacuum food sealers as a low-cost vacuum pump. **The Physics Teacher**, 48(3), 202-203.
- Murray, J. K. (2022). Exploring to explain the marshmallow phenomenon. **The Physics Teacher**, 60(6), 449–452.
- Ogawara, Y. (2020). Teaching thermodynamics using a vacuum container for food. **The Physics Teacher**, 58(3), 186 – 190.
- Ramos, L. M., Rodrigues, F. B., Reis, C. R. N., Bozano, D. F., Reis, D. D. and Goncalves, A. M. B. (2020). An experiment to observe Stevin's law with an Arduino. **Physics Education**, 55(3), 033004.
- Schnider, D. and Hömöstrei, M. (2024). Classroom experimentation: Arduino projects to teach electromagnetism. **Journal of Physics: Conference Series**, 2693, 012015.