

การสร้างชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลว

โดยอาศัยแรงดันของของเหลวและกฎของฮุก

Development of Experimental Set for Measuring Liquid Density

Based on Hydrostatic Pressure and Hooke's Law

ศรัณย์ พวงสมบัติ¹ และ เขมฤทัย งามะพัฒน์²

Sarun Phuangsombat¹ and Kheamrutai Thamaphat²

ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อคำตอบของสังคม ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี^{1,2}

Applied Science and Engineering for Social Solution Research Center, Department of Physics, Faculty of Science,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand^{1,2}

E-mail: ¹sarun@satitpatumwan.ac.th; ²kheamruthai.tha@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ความหนาแน่นถูกนิยามด้วยอัตราส่วนระหว่างมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของสารที่มีความสำคัญ สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ที่หลากหลายและประกอบการศึกษาที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามยังคงมีความยากในการหาค่าความหนาแน่นของของเหลว งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลวโดยอาศัยการบูรณาการความรู้ทางฟิสิกส์ เรื่อง แรงดันของของเหลวและกฎของฮุก ผลการวิจัยพบว่า สามารถสร้างชุดการทดลองจากวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องตลาด (เช่น ท่อพีวีซี ท่ออะคริลิก และสปริง) โดยมีการใช้งานเซนเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ร่วมกับแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน เพื่อให้ชุดทดลองใช้งานได้ง่าย มีราคาถูกลงและน่าสนใจ เมื่อนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปทดสอบประสิทธิภาพ โดยนำไปใช้หาค่าความหนาแน่นของของเหลวชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน เอทานอล กลีเซอริน น้ำมันปรุงอาหาร และน้ำเชื่อม ผลการทดลองพบว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่าความหนาแน่นของของเหลวโดยมีความผิดพลาดสัมพัทธ์ไม่เกิน 5.5 % แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้หาค่าความหนาแน่นของของเหลวในชีวิตประจำวันได้

คำสำคัญ: กฎของฮุก; ความหนาแน่นของของเหลว; ชุดการทดลอง; ความหนาแน่นของของเหลว

Abstract

Density of a substance defined as its mass per unit volume is an importance characteristic of a matter, especially the density of liquid. It can provide valuable information for serving numerous purposes and making decision relating to the production process. However, the difficulties are encountered when measuring the density of liquid in daily life. This research aims to design and construct an experimental set for measuring the liquid density integrating the physics concepts of hydrostatic pressure and Hooke's law. The local materials (e.g., a PVC pipe, acrylic pipe, and spring), sensor interfaced with microcontroller, and smartphone application were achieved for construction of the economical, easy-to-use, and fascinating liquid density measuring instrument. Various liquids with different densities including deionized water, ethanol, glycerin, cooking oils, and cane sugar syrup were used to test the performance of the developed liquid density measuring instrument. The results showed that the obtained percentage error was below 5.5%. It indicated that the developed experimental set can be applied to measure the liquid density in daily life.

Keywords: Hooke's Law; Liquid Density; Experimental Set; Hydrostatic Pressure

บทนำ

ความหนาแน่นถูกนิยามด้วยอัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตร เป็นปริมาณที่มีความสำคัญเนื่องจากสามารถบ่งบอกคุณสมบัติเฉพาะของของสาร โดยเฉพาะความหนาแน่นของของเหลวซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เราสามารถใช้ความหนาแน่นของของเหลวสำหรับการควบคุมคุณภาพและการวิเคราะห์กระบวนการผลิต เช่น ในอุตสาหกรรมไวน์ ความหนาแน่นของน้ำหมักที่เปลี่ยนไปนั้นจะส่งผลต่อปริมาณแอลกอฮอล์ ซึ่งบ่งบอกถึงความก้าวหน้าของกระบวนการหมัก ในอุตสาหกรรมนมความหนาแน่นของน้ำนมดิบ จะบ่งบอกถึงคุณภาพของนม (Andrew et al., 2004) ในอุตสาหกรรมน้ำมันเชื้อเพลิง ความหนาแน่นเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงจะสัมพันธ์กับปริมาณต่าง ๆ เช่น ค่าซีเทน (cetane number) และค่าความร้อน (heating value) (Ertan & Mustafa, 2008)

การหาความหนาแน่นของของแข็งสำหรับวัตถุที่มีรูปร่างแน่นอนสามารถทำได้โดยทำการวัดปริมาตรของวัตถุและหามวลของวัตถุโดยใช้เครื่องชั่ง จากนั้นคำนวณหาความหนาแน่นโดยนำขนาดของมวลหารด้วยขนาดของปริมาตร แต่สำหรับการหาความหนาแน่นของของเหลวนั้น พบว่าเป็นสิ่งที่ยากขึ้นเนื่องจากความไม่แม่นยำในการวัดปริมาตรของของเหลว ถึงแม้ว่าจะแก้ปัญหาโดยการใส่ของเหลวลงในภาชนะที่เป็นทรงกระบอกก่อนที่จะทำการชั่งน้ำหนัก แต่พบว่าค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลอง

มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นค่อนข้างสูง (Hughes, 2005) อย่างไรก็ตามการหาความหนาแน่นของของเหลวสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน เช่น ขวดความถ่วงจำเพาะ (pycnometer) ไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) รวมไปถึงเครื่องวัดความหนาแน่นแบบดิจิตอล (electronic densimeter) ที่สามารถวัดค่าความหนาแน่นของของเหลวได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียคือมีราคาที่สูง ทำให้ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้นำเสนอวิธีการหาความหนาแน่นของของเหลวด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การอาศัยหลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedes's principle) ที่กล่าวไว้ว่า วัตถุใด ๆ ที่อยู่ในของไหลทั้งก้อนหรืออยู่เพียงบางส่วนจะได้รับแรงพยุงกระทำซึ่งมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่ถูกแทนที่ (Halliday et al., 2013) จากหลักการดังกล่าวสามารถนำมาสร้างเป็นชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลว โดยที่ไม่ต้องทำการวัดมวลและปริมาตรของสาร (Hughes, 2006; Halit et al., 2018) รวมไปถึงมีกลุ่มผู้วิจัยที่ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) มาประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลการทดลองร่วมกับ เซนเซอร์พลาสติกออปติคัลไฟเบอร์ (plastic optical fiber) และเซนเซอร์โฟโตไดโอด (photodiode sensor) เพื่อพัฒนาให้ ชุดทดลองวัดความหนาแน่นของของเหลวที่สามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น (Atul et al., 2008; Hundayan et al., 2021) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มผู้วิจัยที่ได้นำเสนอวิธีการวัดความหนาแน่นของของเหลวของเหลวที่ผสมกันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยการวัดอาศัยสมบัติการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเมื่อเคลื่อนที่ไปชนรอยต่อของตัวกลางที่มีค่าอิมพีแดนซ์เสียงแตกต่างกัน ซึ่งจุดเด่นของงานวิจัยนี้เป็นวิธีการวัดความหนาแน่นของของเหลวและสามารถหาอัตราเร็วเสียงได้ (Neeranun et al., 2003)

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวิธีการหาความหนาแน่นของของเหลวหรือชุดทดลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในบางงานวิจัยมีขั้นตอนการใช้งานที่ซับซ้อน รวมไปถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาสูงและหาได้ยาก โดยทั่วไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลว โดยบูรณาการหลักการทางฟิสิกส์ได้แก่ แรงดันของของเหลว (hydrostatic pressure) และกฎของฮุค (Hooke's law) โดยจะเลือกใช้วัสดุทั่วไปที่หาได้ง่ายในท้องตลาดและมีราคาถูก เช่น ท่อพีวีซี ท่ออะคริลิก และสปริง รวมไปถึงการใช้งานเซนเซอร์ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน เพื่อให้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นใช้งานได้ง่าย จากนั้นผู้วิจัยจะดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยทดสอบหาค่าความหนาแน่นของของเหลวชนิดต่าง ๆ เทียบกับค่ามาตรฐาน เพื่อแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่าความหนาแน่นของของเหลวได้ถูกต้องและนำไปใช้งานในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองสำหรับวัดความหนาแน่นของของเหลวโดยใช้หลักการเรื่องแรงดันของของเหลวและกฎของฮุค
2. เพื่อดำเนินหาประสิทธิภาพของชุดการทดลองที่สร้างขึ้น

การทบทวนวรรณกรรม

ความหนาแน่นของวัตถุ คือ มวลสารของวัตถุที่มีอยู่ใน 1 หน่วยปริมาตร ณ อุณหภูมิหนึ่ง โดยที่หน่วยของความหนาแน่น คือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การหาความหนาแน่นของของเหลวสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน เช่น ขวดความถ่วงจำเพาะ ไฮโดรมิเตอร์ รวมไปถึงเครื่องวัดความหนาแน่นแบบดิจิตอลที่สามารถวัดค่าความหนาแน่นของของเหลวได้อย่างแม่นยำ

ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการออกแบบและสร้างชุดการทดลองสำหรับวัดความหนาแน่นของของเหลวโดยใช้หลักการเรื่องแรงดันของของเหลวและกฎของฮุก จากการศึกษาพบว่าผู้วิจัยที่ได้นำเสนอวิธีการวัดความหนาแน่นของของเหลว และการสร้างเครื่องวัดความหนาแน่นของของเหลว ดังนี้

Hughes ได้เสนอวิธีการหาค่าความหนาแน่นของของเหลวโดยอาศัยหลักการของอาร์คิมิดีส ดำเนินการทดลองโดยนำของเหลวที่ต้องการหาค่าความหนาแน่นใส่ลงในภาชนะแก้วหินอ่อนซึ่งวางอยู่บนเครื่องชั่งไฟฟ้า จากนั้นใช้เส้นเอ็นตกลาเป็นโพรบแล้วนำไปวางที่ผิวของของเหลว หากทราบปริมาตรของโพรบ ความหนาแน่นของของเหลวจะหาได้จากผลต่างของค่าได้อ่านได้จากเครื่องชั่งก่อนและหลังการแช่โพรบหารด้วยปริมาตรของโพรบ ผลการทดลองพบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความผิดพลาดสัมพัทธ์ 0.10 % สำหรับน้ำที่อุณหภูมิห้อง (Hughes, 2006)

Halit และคณะ ได้นำเสนอวิธีการวัดความหนาแน่นของของแข็งและของเหลวโดยไม่ต้องทำการวัดค่ามวลและปริมาตรของสาร (solidensimeter) วิธีการทดลองสามารถทำได้โดยใช้ปิกเกอร์สองใบ ใบแรกใส่ของเหลวซึ่งเป็นน้ำ ส่วนปิกเกอร์อีกใบใส่วัตถุหรือของเหลวที่ต้องการหาค่าความหนาแน่น วัดระดับน้ำที่เปลี่ยนไปของปิกเกอร์ใบนอก จากนั้นอาศัยหลักของอาร์คิมิดีสในการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของของเหลว โดยงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดคือ ขนาดและมาตราส่วนของภาชนะภายนอกอาจทำให้เกิดความแตกต่างในความแม่นยำในการวัด (Halit et al., 2018)

นอกจากนี้จากการศึกษาอย่างงานวิจัยในประเทศไทย นีรนนท์ และคณะ ได้เสนอการวัดความหนาแน่นของของเหลวด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้วัดความหนาแน่นของของเหลวที่ผสมกัน หลักการวัดอาศัยสมบัติการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเมื่อเคลื่อนที่ไปชนรอยต่อของตัวกลางที่มีค่าอิมพีแดนซ์เสียงแตกต่างกัน ซึ่งจุดเด่นของงานวิจัยนี้เป็นวิธีการวัดความหนาแน่นของของเหลวและสามารถหาอัตราเร็วเสียงได้ โดยมีความผิดพลาดสัมพัทธ์ (% error) ต่ำกว่า ± 0.4 % สำหรับน้ำผสมเอทานอล แต่งานวิจัยนี้มีความยุ่งยากในการติดตั้งอุปกรณ์และส่วนประกอบของชุดทดลองมีราคาสูง (Neeranun et al., 2003)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวิธีการหาความหนาแน่นของของเหลวหรือชุดทดลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยมีขั้นตอนการใช้งานที่ซับซ้อน รวมไปถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาสูงและหาได้ยากโดยทั่วไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลว โดยบูรณาการหลักการทางฟิสิกส์ได้แก่ แรงดันของของเหลว ตามสมการที่ (1) (Himawan et al., 2020)

$$F = \rho ghA \quad (1)$$

เมื่อ	F	คือ	แรงดันของของเหลว
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของของเหลว
	h	คือ	ระดับความสูงของของเหลว
และ	A	คือ	พื้นที่

และกฎของฮุค ตามสมการที่ (2) (Halliday et al., 2013)

$$F = k\Delta x \quad (2)$$

เมื่อ	F	คือ	แรงคืนตัวของสปริง
	k	คือ	ค่าคงที่ของสปริง
และ	Δx	คือ	ระยะจากแนวสมดุลของสปริง

เมื่อแรงดันของของเหลวส่งผลต่อการหดตัวของสปริง แทน F จากสมการที่ (1) ลงในสมการที่ (2) จะได้

$$\rho ghA = k\Delta x$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้เป็น

$$\rho = \frac{k\Delta x}{ghA} \quad (3)$$

ดังนั้น สมการที่ (3) จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อหาค่าความหนาแน่นของของเหลว จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อหาความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%error) โดยใช้สมการที่ (4)

$$\%error = \frac{\left| \text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่าอ้างอิงมาตรฐาน} \right|}{\text{ค่าอ้างอิงมาตรฐาน}} \times 100\% \quad (4)$$

กรอบแนวคิดการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับวัดความหนาแน่นของของเหลวโดยใช้หลักการเรื่องแรงดันของของเหลวและกฎของฮุค ดำเนินการวิจัยโดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริง เพื่อหาค่าคงที่ของสปริงที่เหมาะสมสำหรับสร้างชุดทดลอง และศึกษาค่าความถูกต้องของเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกในการวัดระยะทาง สำหรับนำไปประยุกต์ใช้วัดระดับความสูงของของเหลว จากนั้นนำชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลวที่สร้างขึ้นไปทดสอบประสิทธิภาพ

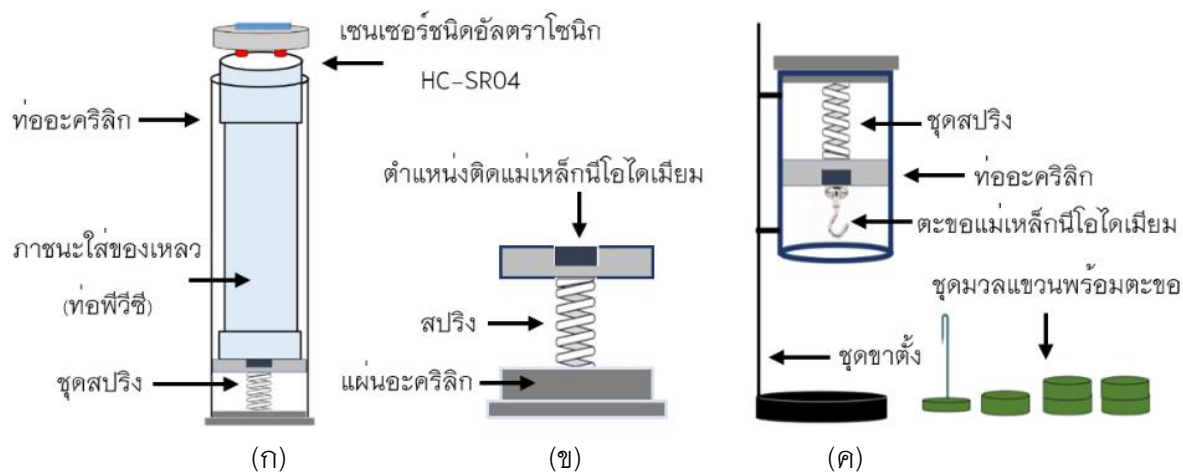
โดยทดลองหาค่าความหนาแน่นของของเหลวมาตรฐานชนิดต่างๆ รวมไปถึงทดสอบหาค่าความหนาแน่นของน้ำมันพืชใหม่และน้ำมันพืชทอดซ้ำ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินคุณภาพของน้ำมันพืช

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับวัดความหนาแน่นของของเหลวโดยใช้หลักการเรื่องแรงดันของของเหลวและกฎของสจูค ผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็นห้าส่วนสำคัญ ได้แก่

1) การออกแบบและสร้างชุดทดลองหาความหนาแน่นของของเหลว

ผู้วิจัยดำเนินการออกแบบชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลวโดยอาศัยแรงดันของของเหลวและกฎของสจูค โดยมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกสองอันวางซ้อนกันดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) โดยส่วนของภาชนะใส่ของเหลวทำมาจากท่อพีวีซีขนาดมาตรฐาน (nominal size) ขนาด 2 นิ้ว ปลายท่อด้านล่างถูกประกอบอยู่กับฝาครอบท่อพีวีซี ปลายท่อด้านบนถูกประกอบอยู่กับข้อต่อเกลียวในพีวีซีที่ติดตั้งเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04 ไว้ที่บริเวณด้านบนของข้อต่อเกลียวใน เนื่องจากผู้วิจัยเลือกใช้ท่อพีวีซีที่มีลักษณะที่บ่งแสงเป็นภาชนะใส่ของเหลว ดังนั้น เซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04 จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดระดับความสูงของของเหลวในภาชนะ โดยระดับความสูงของของเหลวจะถูกแสดงผลผ่านจอ LCD ซึ่งโมดูลทั้งสองถูกใช้งานร่วมกับบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เพื่อนำข้อมูลความสูงนี้ไปใช้วิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของของเหลว



ภาพที่ 1 การออกแบบ (ก) ชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลวโดยอาศัยแรงดันของของเหลวและกฎของสจูค (ข) ชุดสปริง (ค) ชุดทดลองสำหรับศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริง

จากนั้นภาชนะใส่ของเหลวนี้จะถูกวางซ้อนอยู่ภายในท่ออะคริลิกใสปลาเปิด โดยภาชนะดังกล่าวจะถูกวางอยู่บนชุดสปริงที่ประกอบไปด้วยสปริง ซึ่งทั้งสองด้านของสปริงจะถูกประกอบติดกับแผ่น

อะคริลิกใสรูปวงกลม โดยแผ่นอะคริลิกใสที่ประกอบอยู่กับปลายบนของสปริงจะเป็นบริเวณที่วางภาชนะใส่ของเหลว นอกจากนี้ที่ผิวด้านบนของแผ่นอะคริลิกใสนี้จะถูกเจาะทำให้เป็นร่องวงกลมตรงกลาง ดังแสดงในภาพที่ 1 (ข) สำหรับติดแม่เหล็กแรงสูงชนิดนีโอไดเมียม (neodymium) รูปวงกลม ซึ่งสามารถนำตะขอแม่เหล็กชนิดนีโอไดเมียมอีกอันหนึ่งมาติดสำหรับแขวนมวลถ่วง เพื่อประกอบเป็นชุดทดลองสำหรับหาค่าคงที่ของสปริงในขั้นตอนต่อไป

2) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริงเพื่อหาค่าคงที่ของสปริงสำหรับชุดทดลอง

นำชุดสปริงที่สร้างขึ้นมาทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริงเพื่อหาค่าคงที่ของสปริงสำหรับชุดทดลอง โดยนำตะขอแม่เหล็กชนิดนีโอไดเมียมติดเข้ากับแม่เหล็กอีกอันหนึ่งที่อยู่บริเวณด้านบนของชุดสปริง จากนั้นนำมาประกอบเข้ากับท่ออะคริลิกใส ในลักษณะคว่ำลงและติดตั้งเข้ากับชุดขาตั้งดังแสดงในภาพที่ 1 (ค) เมื่อประกอบอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริงโดยพิจารณาตำแหน่งที่สปริงวางตัวอยู่โดยสมดุล (equilibrium position) และทำการขีดเส้นที่ท่ออะคริลิกเพื่อเป็นการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นสปริง จากนั้นทำการแขวนตะขอและมวลถ่วงโดยเพิ่มมวลครั้งละ 200 กรัมจนถึง 1000 กรัม หลังจากทำการเพิ่มมวลในแต่ละครั้งทำการวัดระยะยืดของสปริงผ่านแอปพลิเคชัน prime ruler ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่สามารถดาวน์โหลดและติดตั้งในสมาร์ทโฟนได้ทั้งระบบปฏิบัติการ iOS และ Android โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และสามารถวัดความยาวในหน่วยเซนติเมตรได้ละเอียด 0.01 cm หลังจากบันทึกผลและการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำผลการทดลองที่ได้ไปวาดกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นขนาดของแรงดึงที่กระทำต่อสปริงและแกนนอนเป็นค่าเฉลี่ยระยะยืดของสปริงผ่านโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและหาค่าคงที่ของสปริง

3) การศึกษาค่าความถูกต้องของเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกในการวัดระยะทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้วัดระดับความสูงของของเหลว

วงจรเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04 และจอ LCD สำหรับแสดงผล ซึ่งถูกเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 ดังแสดงในภาพที่ 2 (ก)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 (ก) ส่วนประกอบของวงจรเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04

(ข) การศึกษาค่าความถูกต้องของเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04

โดยผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมคำสั่งการทำงานโดยใช้โปรแกรม Arduino เวอร์ชัน 1.8.13 จากนั้นนำเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04 มาดำเนินการศึกษาค่าความถูกต้อง เพื่อตรวจสอบการทำงานของวงจรเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04 ว่าสามารถวัดระยะทางได้อย่างถูกต้องหรือไม่ โดยทำการวัดระยะห่างจากเซนเซอร์ถึงฉากเรียบดังแสดงในภาพที่ 2 (ข) เริ่มต้นเก็บข้อมูลโดยวางฉากห่างจากเซนเซอร์เป็นระยะ 5 cm จากนั้นเลื่อนฉากออกจากเซนเซอร์ครั้งละ 5 cm ไปจนถึงระยะ 60 cm ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปเปรียบเทียบกับระยะจริง เพื่อวิเคราะห์ความผิดพลาดสัมพัทธ์ของระยะทางที่วัดโดยเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04 ก่อนที่จะนำอุปกรณ์ไปใช้ในการวัดระดับความสูงของของเหลวในชุดทดลองต่อไป

4) การทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลวโดยอาศัยแรงดันของเหลวและกฎของสจวร์ต

หลังจากทำการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและระยะยัดของสปริงเพื่อหาค่าคงที่ของสปริงสำหรับชุดทดลองและการศึกษาค่าความถูกต้องของเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกในการวัดระยะทางเรียบร้อยแล้ว นำชุดการทดลองที่สร้างขึ้นไปทดสอบประสิทธิภาพโดยนำไปใช้หาค่าความหนาแน่นของของเหลว 4 ชนิด ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน (ACL labscan) เอทานอล 99.9% (ACL labscan) กลีเซอริน (วิทยาศาสตร์) และน้ำเชื่อม (ตรา มิตรผล) ดำเนินการทดลองหาความหนาแน่นของของเหลวโดยทำการขีดเส้นที่ท่ออะคริลิกเพื่อเป็นการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นสปริง จากนั้นใส่ท่อพีวีซีลงในท่ออะคริลิก ทำการขีดระยะที่สปริงหดตัวโดยผลจากน้ำหนักท่อพีวีซี จากนั้นเติมของเหลวลงไปในท่อพีวีซี ครั้งละ 50 มิลลิลิตร จนถึง 250 มิลลิลิตร หลังจากที่ทำการเติมของเหลวในแต่ละครั้ง ใช้แอปพลิเคชัน prime ruler วัดระยะหดของสปริงที่เพิ่มขึ้น และอ่านค่าระดับความสูงของของเหลวจากการวัดโดยเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกผ่านจอ LCD บันทึกผล ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำผลการทดลองไปวาดกราฟผ่านโปรแกรม Microsoft Excel โดยให้แกนตั้งเป็นค่าเฉลี่ยระยะหดของสปริง และแกนนอนเป็นระดับความ

สูงของของเหลว จากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลองโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของของเหลวและกฎของสจูค

5) การนำชุดทดลองไปใช้ทดสอบหาความหนาแน่นของน้ำมันพืชใหม่และน้ำมันพืชทอดซ้ำเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินคุณภาพของน้ำมันพืช

เนื่องจากความหนาแน่นเป็นคุณลักษณะทางฟิสิกส์และเคมีของน้ำมันพืชสำหรับบริโภคตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thai Industrial Standards Institute, 2018) ดังนั้นเพื่อแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินคุณภาพของน้ำมันพืชได้ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจึงได้นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปใช้ในการตรวจสอบคุณลักษณะดังกล่าวของน้ำมันพืช โดยดำเนินการหาความหนาแน่นของน้ำมันพืช 3 ประเภท ได้แก่ น้ำมันปาล์มโอเลอินผ่านกรรมวิธี (ตรา หยก) น้ำมันถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธี (ตรา อุ่น) และน้ำมันรำข้าวผ่านกรรมวิธี (ตรา หยก) จากนั้นนำค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปใช้ทดลองความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มโอเลอินผ่านกรรมวิธีตามท้องตลาดที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและผ่านการใช้งานแล้วเพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบคุณภาพตามที่กำหนดโดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของน้ำมันพืชทั้งสองประเภท และพิจารณาผลของการทอดซ้ำที่มีต่อค่าความหนาแน่น

ผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ที่ 1. ผลการออกแบบและสร้างชุดการทดลองสำหรับวัดความหนาแน่นของของเหลว โดยใช้หลักการเรื่องแรงดันของของเหลวและกฎของสจูค พบว่า ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วยชุดสปริงสำหรับชุดทดลอง ภาชนะสำหรับใส่ของเหลว และวงจรเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04 ดังแสดงในภาพที่ 3 (ก) โดยชุดสปริงสำหรับชุดทดลองสามารถนำไปใช้เป็นชุดทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริงเพื่อหาค่าคงที่ของสปริงได้ โดยนำชุดสปริงสำหรับชุดทดลองซึ่งติดตะขอแม่เหล็กนีโอไดเมียม มาประกอบเข้ากับท่ออะคริลิก และติดตั้งเข้ากับชุดขาตั้งดังแสดงในภาพที่ 4 (ข)



(ก)



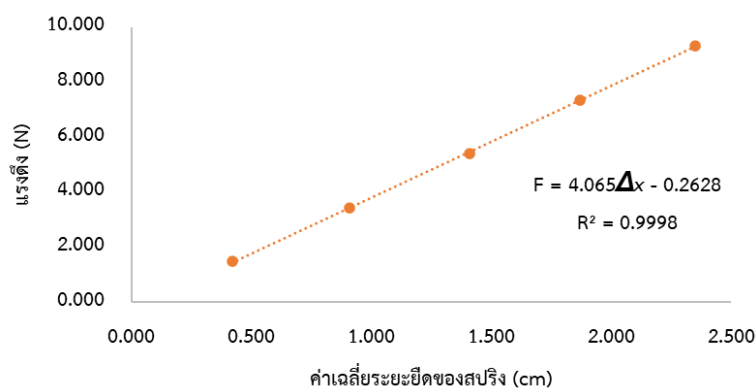
(ข)



(ค)

ภาพที่ 3 (ก) แสดงชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลวโดยอาศัยแรงดันของของเหลวและกฎของฮุค (ข) แสดงชุดทดลองสำหรับศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริง (ค) แสดงการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริง

เมื่อนำชุดสปริงที่สร้างขึ้นไปใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริงเพื่อหาค่าคงที่ของสปริงสำหรับชุดทดลอง โดยทำการเพิ่มมวลแขวนและวัดระยะยืดของสปริงดังแสดงในภาพที่ 2 (ค) พบว่าระยะยืดของสปริงจะเพิ่มขึ้นตามแรงดึงเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์โดยให้แรงดึงอยู่ในแกนตั้งและค่าเฉลี่ยระยะยืดของสปริงอยู่ในแกนนอน จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 3



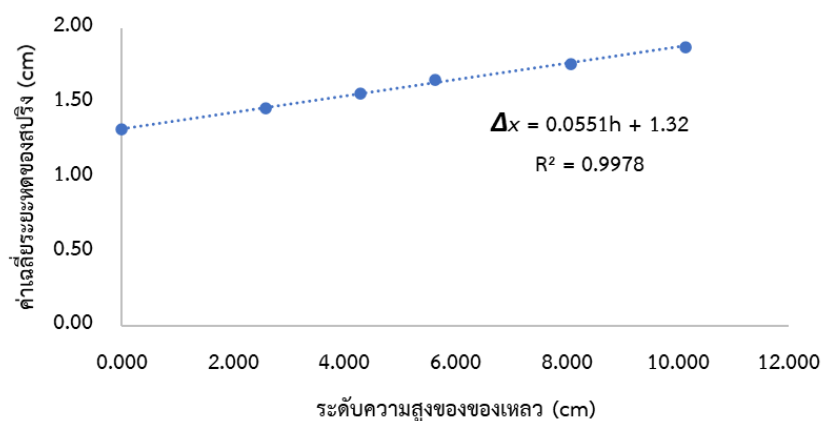
ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและค่าเฉลี่ยระยะยืดของสปริง

จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและค่าเฉลี่ยระยะยืดของสปริง มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความยาวของวัตถุที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรง

จากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค่าความถูกต้องของเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกในการวัดระยะทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้วัดระดับความสูงของของเหลวพบว่า เซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04 มีความผิดพลาดสัมพัทธ์ในการวัดระยะทางอยู่ที่ 1.70 %

วัตถุประสงค์ที่ 2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดการทดลองหาค่าความหนาแน่นของของเหลวที่สร้างขึ้น

หลังจากศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริงเพื่อหาค่าคงที่ของสปริงสำหรับชุดทดลองและศึกษาความถูกต้องของเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกในการวัดระยะทางเรียบร้อยแล้ว จึงนำชุดทดลองที่สร้างไปทดสอบประสิทธิภาพโดยนำไปใช้หาค่าความหนาแน่นของน้ำปราศจากไอออน เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของของเหลวและระยะหดของสปริงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์โดยให้ค่าเฉลี่ยระยะหดของสปริงอยู่ในแกนตั้ง และความสูงของของเหลวอยู่ในแกนนอน จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยระยะหดของสปริง

และระดับความสูงของน้ำปราศจากไอออน

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยระยะหดของสปริงและระดับความสูงของน้ำปราศจากไอออนมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง นำความชันของกราฟเส้นตรงซึ่งมีค่า 0.0551 ไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นโดยทำการจัดรูปสมการที่ (3) ให้อยู่ในเทอมของสมการกราฟเส้นตรง ดังนั้น จะสามารถหาความหนาแน่นได้จาก

$$\rho = \frac{(\text{slope})k}{gA} \quad (4)$$

เมื่อแทนค่าความชันของกราฟเส้นตรงที่ได้จากการทดลอง ค่าคงที่สปริง ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกและพื้นที่หน้าตัดลงในสมการที่ (4) จะได้ค่าความหนาแน่นของน้ำปราศจากไอออนเท่ากับ 1.001 g/cm^3

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปใช้หาความหนาแน่นของ เอทานอล 99.9% กลีเซอริน และน้ำเชื่อม ผลการทดลองพบว่าชุดการทดลองหาค่าความหนาแน่นของของเหลวที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่าความหนาแน่นของของเหลวได้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของของเหลวชนิดต่าง ๆ

ของเหลว ที่ใช้ทดสอบ	ค่าอ้างอิง (g/cm ³)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (g/cm ³)	ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%error)
น้ำปราศจากไอออน	1.000	1.001 ± 0.036	0.10
เอทานอล 99.9%	0.790	0.795 ± 0.041	0.63
กลีเซอริน	1.261	1.257 ± 0.042	0.31
น้ำเชื่อม	1.418	1.495 ± 0.037	5.43

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองแล้ว ผู้วิจัยได้นำชุดทดลองไปใช้หาค่าความหนาแน่นของน้ำมันพืชใหม่และน้ำมันพืชทอดซ้ำเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินคุณภาพของน้ำมันพืช ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของน้ำมันพืชใหม่และน้ำมันพืชทอดซ้ำ

ของเหลว ที่ใช้ทดสอบ	ค่าความหนาแน่น ตาม มอก. (g/cm ³)	ค่าความหนาแน่น ที่ได้จากการทดลอง (g/cm ³)
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	0.899 – 0.920	0.910 ± 0.047
น้ำมันถั่วเหลือง	0.919 – 0.925	0.919 ± 0.041
น้ำมันรำข้าว	0.910 – 0.929	0.924 ± 0.038
น้ำมันปาล์มโอเลอิน (ทอดซ้ำ)	0.919 – 0.925	0.936 ± 0.030

อภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 1 จากการออกแบบและสร้างชุดการทดลองสำหรับวัดความหนาแน่นของของเหลวโดยใช้หลักการเรื่องแรงดันของของเหลวและกฎของสจูค เมื่อนำชุดสปริงที่สร้างขึ้นไปใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริงเพื่อหาค่าคงที่ของสปริงสำหรับชุดทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มมวลแขวนจะทำให้สปริงมีระยะยืดที่เพิ่มขึ้น โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริงมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความยาวของวัตถุที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดังแสดงในสมการที่ (2) ดังนั้นความชันของกราฟเส้นตรงคือค่าคงที่ของสปริงที่ได้จากการทดลองซึ่งมีค่า 4.065 N/cm หรือ 406.5 N/m อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากราฟที่ได้จากการ

ทดลองนี้พบว่า เป็นกราฟเส้นตรงที่ไม่ผ่านจุดกำเนิด เนื่องจากในการทดลองมีแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของแป้นอะคริลิกและท่ออะคริลิก

จากผลการศึกษาค่าความถูกต้องของเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกในการวัดระยะทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้วัดระดับความสูงของของเหลว พบว่า เซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก HC-SR04 มีความผิดพลาดสัมพัทธ์ในการวัดระยะทางอยู่ที่ 1.70 % โดยสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งได้มีกลุ่มผู้วิจัยได้ศึกษาประสิทธิภาพของเซนเซอร์อัลตราโซนิกในการวัดระยะทาง (Thunyarat et al., 2017; Panatsada et al., 2017) จากการศึกษาพบว่าเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก มีความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะทางในช่วง 2 – 200 เซนติเมตรอยู่ที่ 0.6 – 1.0 % และมีความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะทางในช่วง 2 – 70 เซนติเมตรอยู่ที่ 2.0 % ตามลำดับ

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 2 หลังจากศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดของสปริงเพื่อหาค่าคงที่ของสปริงสำหรับชุดทดลอง และศึกษาความถูกต้องของเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกในการวัดระยะทางเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงนำชุดทดลองที่สร้างไปทดสอบประสิทธิภาพโดยนำไปใช้หาค่าความหนาแน่นของน้ำปราศจากไอออน พบว่า เมื่อทำการใส่ของเหลวลงไปในภาชนะ แรงดันของของเหลวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากระดับความสูงของของเหลวในภาชนะจะส่งผลให้สปริงมีระยะหดยืดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยระยะหดยืดของสปริงและระดับความสูงของน้ำปราศจากไอออนมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง

เมื่อนำค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อหาความผิดพลาดสัมพัทธ์โดยใช้สมการที่ (4) พบว่าความผิดพลาดสัมพัทธ์มีค่า 0.10 % แสดงให้เห็นว่า ค่าความหนาแน่นของน้ำปราศจากไอออนที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยระยะหดยืดของสปริงและระดับความสูงของน้ำปราศจากไอออนที่ได้จากการทดลองนี้ พบว่าเป็นกราฟเส้นตรงที่ไม่ผ่านจุดกำเนิด เนื่องจากในการทดลองมีแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของแป้นอะคริลิกและท่ออะคริลิกเช่นกัน

เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นของของเหลวอื่น ๆ ที่ได้จากการทดลองได้แก่ เอทานอล 99.9% กลีเซอริน และน้ำเชื่อม เทียบกับค่าอ้างอิง พบว่ามีความผิดพลาดสัมพัทธ์ ในการวัดความหนาแน่นของของเหลวดังกล่าวร้อยละ 0.63, 0.31 และ 5.43 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่าความหนาแน่นของของเหลวได้ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงโดยมีความผิดพลาดสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 5.43 ทั้งนี้ความผิดพลาดสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสแป้นอะคริลิกและท่ออะคริลิกใส และความคลาดเคลื่อนในการวัดระดับความสูงของน้ำจากเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก รวมไปถึงความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะหดยืดของสปริงโดยใช้แอปพลิเคชัน prime ruler

จากการผลทดสอบประสิทธิภาพของชุดการทดลองเมื่อนำไปใช้กับน้ำมันพืชใหม่ทั้งสามชนิด พบว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมันพืชใหม่ที่ได้จากการทดลองมีค่าตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ในขณะที่น้ำมันพืชซึ่งผ่านการใช้งานแล้วมีความหนาแน่นสูงขึ้นและไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แสดงให้เห็นว่า

สามารถนำชุดการทดลองไปใช้เป็นเครื่องมือสำหรับทดสอบคุณภาพของน้ำมันพืชจากโรงงาน ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้น ค่าความหนาแน่นของน้ำมันพืชต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ในขณะที่น้ำมันทอดซ้ำ เป็นน้ำมันซึ่งผ่านการใช้งานแล้ว ทำให้เกิดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และเกิดสารเคมีบางชนิด ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นสะสมอยู่ในน้ำมันและไม่ระเหย ซึ่งเป็นอันตรายและมีพิษต่อร่างกาย (Nittaya, 2008) ดังนั้น ค่าความหนาแน่นของน้ำมันพืชทอดซ้ำที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น จึงสามารถนำมาใช้เพื่อตัดสินคุณภาพของน้ำมันพืชดังกล่าวว่าควรนำมาใช้ประกอบอาหารหรือไม่ และเป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับร่างกายของผู้บริโภค

องค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

จากการวิจัยพบว่าสามารถสร้างชุดทดลองสำหรับหาความหนาแน่นของของเหลวชนิดต่าง ๆ ซึ่งทำมาจากวัสดุที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายตามท้องตลาด โดยอาศัยการบูรณาการความรู้ทางฟิสิกส์ เรื่อง แรงดันของของเหลวและกฎของสจูด นอกจากนี้ชุดการทดลองที่สร้างขึ้นยังสามารถนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ การนำชุดการทดลองไปใช้ทดสอบหาความหนาแน่นของของเหลว ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติทางเคมีสำหรับควบคุมคุณภาพการผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังสามารถนำชุดการทดลองดังกล่าวไปใช้ในการทดสอบภาคสนามเพื่อหาความหนาแน่นของของเหลวโดยทั่วไปได้อีกด้วย

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดทดลองหาความหนาแน่นของของเหลวโดยอาศัยแรงดันของเหลวและกฎของสจูด ซึ่งเป็นการอาศัยความรู้ทางฟิสิกส์มาบูรณาการเพื่อสร้างเป็นชุดการทดลองที่ทำมาจากวัสดุซึ่งหาได้ง่ายตามท้องตลาดและมีราคาถูก รวมไปถึงมีการทำงานร่วมกับเซนเซอร์และแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน ทำให้มีขั้นตอนในการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน ผู้วิจัยได้นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปทดสอบประสิทธิภาพกับของเหลวสี่ชนิด ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน เอทานอล 99.9% กลีเซอริน และน้ำเชื่อม พบว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่าความหนาแน่นของของเหลวได้ โดยมีความผิดพลาดสัมพัทธ์ในการวัดความหนาแน่นของของเหลวดังกล่าวร้อยละ 0.10, 0.63, 0.31 และ 5.43 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 5.43 สามารถนำไปใช้หาความหนาแน่นของของเหลวในการทดลองภาคสนามหรือพื้นที่ใช้งานจริงได้ เนื่องจากอุปกรณ์มีขนาดกะทัดรัดสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก อีกทั้งยังสามารถนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ในการประเมินคุณภาพและควบคุมการผลิตของผลิตภัณฑ์ของเหลวบางชนิดได้ ดังที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำชุดทดลองไปตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของน้ำมันพืช พบว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมันพืชที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับค่าอ้างอิงที่กำหนดโดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1) สามารถนำชุดการทดลองที่สร้างขึ้นไปใช้หาความหนาแน่นของของเหลวชนิดต่าง ๆ ได้ โดยผลการทดลองจะมีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ต่ำเมื่อนำไปใช้วัดความหนาแน่นของของเหลวที่มีค่าเข้าใกล้ 1.000 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2) ในการทดลองควรให้ภาชนะที่ใส่ของเหลวและสปริงวางตัวสมดุลในแนวตั้งมากที่สุด เนื่องจากการเอียงตัวของปัจจัยทั้งสองมีผลต่อลักษณะการหดตัวของสปริง

3) ควรลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างแป้นอะคริลิกและท่ออะคริลิก ซึ่งสามารถทำได้โดยการทาน้ำมันหรือสารหล่อลื่นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแป้นอะคริลิกและท่ออะคริลิก

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการนำชุดทดลองไปใช้กับของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าหรือน้อยกว่าของเหลวในงานวิจัยนี้ สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนสปริงเพื่อให้ค่าคงที่ของสปริงเหมาะสมกับช่วงความหนาแน่นของของเหลว

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2564 สำหรับการสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Andrew, T., Debabrata, B., & David, W. (2004). Liquid density analysis of sucrose and alcoholic beverages using polyimide guided Love-mode acoustic wave sensors. *Measurement Science and Technology*, 17(2), 257–263.
- Atul, K., Youngjin, K., & Taesung, K. (2009). A novel approach to the sensing of liquid density using a plastic optical fibre cantilever beam. *Physics Education*, 44(1), 65–69.
- Ertan, A., & Mustafa, C. (2008). Determination of the density and the viscosities of biodiesel–diesel fuel blends. *Renewable Energy*, 33(12), 2623–2630.
- Halit, K., Mehmet, S., Sinan, E. & Irem, K. (2018). New Approach to Determine the Density of Liquids and Solids without Measuring Mass and Volume: Introducing the Solidensimeter. *Physics Education*, 53(3), 199–205.

- Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. (2013) *Fundamental of Physics*. 10th Edition, Wiley and Sons, New York.
- Himawan, P., Yusman, W., Supahar, X. and Wipsar, S.B. (2020). A Simple Liquid Density Measuring Instrument Based on Hooke's Law and Hydrostatic Pressure. *Physics Education*, 40(5), 199–205.
- Hughes, S.W. (2005). Archimedes revisited: a faster, better, cheaper method of accurately measuring the volume of small objects. *Physics Education*, 40(5), 468–474.
- Hughes, S.W. (2006). Measuring liquid density using Archimedes' principle. *Physics Education*, 41(5), 445–447.
- Hundayani, F., Wahyono, U., & Saehana S. (2021). Development of a microcontroller-based instrument for measuring liquid density. *Journal of Physics Conference Series*, 2421(1), 1–6
- Neeranun, P., Preecha, T., & Wichit, S. (2003). *Measuring the liquid density by ultrasonic wave*. 41th Kasetsart University Annual Conference: Science, Natural Resources and Environmental Economics (203–209). Bangkok: Kasetsart University Press.
- Nittaya, N. (2008). *Changes in physical and chemical qualities of used frying oils for banana slices*. (Degree of master theses). Mahidol University, Salaya, Nakhon Pathom.
- Panatsada, A., Onuma, W., Thunyarat, W., Theerayut, C., Petcharakorn, H., & Chayanon, A. (2017). Performance of infrared sensor and ultrasonic sensor for medical applications. *Srinakharinwirot Science Journal*, 33(1), 31–41.
- Thai Industrial Standards Institute. (2018). *Thai industrial standards of edible soybean oil*. Bangkok, Thailand: Ministry of industry (Thailand).
- Thunyarat, W., Panatsada, A., & Chayanon, A. (2017). Digital height meter using ultrasonic sensor. *Journal of Associated Medical Sciences*, 50(3), 435–441.