

การพัฒนาชุดการทดลองสำหรับศึกษากฎการเย็นตัวของนิวตัน
และสมมูลไฟฟ้าความร้อนเพื่อหาความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช
Development of Experiment Set for Study Newton's Law
of Cooling and Electrical Equivalent of Heat to Determine
the Specific Heat Capacity of Vegetable Oil

รัชนิวรรณ สิริ กัมปนาท พรรณราย และ วิชชุดา สุขนัย*

Ratchaneewan Siri Khampanart Phannarai and Vitchuda Suknui*

สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา ประเทศไทย

Division of Physical Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand

วันที่ส่งบทความ : 31 ตุลาคม 2567 วันที่แก้ไขบทความ : 16 พฤษภาคม 2568 วันที่ตอบรับบทความ : 19 พฤษภาคม 2568

Received: 31 October 2024, Revised: 16 May 2025, Accepted: 19 May 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดการทดลองสำหรับการศึกษากฎการเย็นตัวของนิวตันและสมมูลไฟฟ้าความร้อนในการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช โดยคำนึงถึงการประหยัดเวลาและงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วัสดุที่หาง่ายมีราคาประหยัดแทนการสั่งซื้ออุปกรณ์สำเร็จรูปและใช้น้ำมัน เนื่องจากมีคุณสมบัติไม่ทำปฏิกิริยากับอุปกรณ์ มีความเสถียรและปลอดภัย อีกทั้งยังเอื้อต่อการควบคุมสภาพแวดล้อมในกระบวนการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดลองนี้ดำเนินการด้วยการศึกษาการเย็นตัวของน้ำและน้ำมันพืชที่มีปริมาตรเท่ากันในบีกเกอร์ขนาดเดียวกัน พร้อมใช้ค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐานของน้ำและบีกเกอร์ที่ทราบค่าในการคำนวณ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังใช้วิธีสมมูลไฟฟ้าความร้อนโดยการให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชผ่านตัวต้านทานที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากทั้งสองวิธี ผู้วิจัยได้นำชุดการทดลองมาใช้ในการศึกษาปฏิบัติการฟิสิกส์ชั้นสูงหลักสูตรฟิสิกส์ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า ชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้นสามารถหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชได้อย่างแม่นยำ ค่าที่ได้จากกฎการเย็นตัวของนิวตันมีค่าเท่ากับ $3.156 \text{ J/g}^\circ\text{K}$ และจากวิธีสมมูลไฟฟ้าความร้อนมีค่าเท่ากับ $3.119 \text{ J/g}^\circ\text{K}$ โดยค่าที่ได้จากทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันเพียง 1.2% ซึ่งสอดคล้องกับกฎการเย็นตัวของนิวตันและสมมูลไฟฟ้าความร้อน อีกทั้งผลของการนำชุดการทดลองใช้ในรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ชั้นสูงพบว่า ประสิทธิภาพของวิธีทั้งสองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ : กฎการเย็นตัวของนิวตัน สมมูลไฟฟ้าความร้อน ความจุความร้อนจำเพาะ

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: vitchuda.s@psu.ac.th

<https://doi.org/10.55003/scikmitl.2025.265190>

Abstract

This research aims to develop an experimental setup for studying Newton's law of cooling and the electrical equivalent of heat in determining the specific heat capacity of vegetable oil. To save time and reduce equipment procurement costs, the researcher used easily accessible and low-cost materials instead of purchasing a preassembled experimental kit. Vegetable oil was selected due to its non-reactivity with equipment, high stability and safety, and suitability for maintaining controlled experimental conditions effectively. The experiment was conducted by studying the cooling of equal volumes of water and vegetable oil in beakers of the same size, using known specific heat capacities of water and the beaker as references for calculation. In addition, the researcher employed the electrical equivalent of heat method by heating the vegetable oil using a resistor connected to a power supply and compared the results obtained from both methods. The developed experimental setup was applied in the Advanced Physics Laboratory course within the Physics program, Division of Physical Science, Faculty of Science. The research findings indicate that the developed setup can accurately determine the specific heat capacity of vegetable oil. The value obtained using Newton's law of cooling was $3.156 \text{ J/g}\cdot\text{K}$, while that obtained using the electrical equivalent of heat method was $3.119 \text{ J/g}\cdot\text{K}$. The difference between the two values was only 1.2% , which aligns with the principles of Newton's law of cooling and the electrical equivalent of heat. Moreover, the results from implementing the experimental setup in the advanced laboratory course showed that the effectiveness of the two methods differed significantly at the 0.05 statistical level.

Keywords: Newton's law of cooling, Electrical equivalent of heat, Specific heat capacity

1. บทนำ

การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของสสารมีหลายวิธี วิธีที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ คือ การหาความจุความร้อนจำเพาะโดยใช้แคลอรีมิเตอร์ ในงานวิจัยของ Atat et al. (2024) ศึกษาความจุความร้อนจำเพาะของของเหลวบางชนิดจากสินค้าอุปโภคบริโภคด้วยแคลอรีมิเตอร์ การหาความจุความร้อนจำเพาะโดยใช้กฎการเย็นตัวของนิวตัน ในงานวิจัยของ Nuangnun et al. (2017) ศึกษาการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะอย่างง่ายของเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม ซึ่งใช้วัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกแทนการใช้แคลอรีมิเตอร์ โดยการใส่ตัวอย่างที่ต้องการศึกษาลงในอุปกรณ์ที่ออกแบบ เพื่อหาค่าความจุความร้อนจำเพาะจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำและตัวอย่างที่ทดลองมีค่าเท่ากัน ตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) ผลการวิจัยพบว่า ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ได้จากการทดลองมีความ

ใกล้เคียงกับค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐาน จึงกล่าวได้ว่าสามารถใช้กฎการเย็นตัวของนิวตันหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็งแทนการใช้แคลอรีมิเตอร์ได้

กฎการเย็นตัวของนิวตันและสมมูลไฟฟ้าความร้อน (Electrical equivalent of heat) หัวข้อนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับนักศึกษาที่เรียนฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับความร้อน การถ่ายเทความร้อน และความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนกับงาน กฎการเย็นตัวของนิวตันมีประโยชน์ในหลายด้าน ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เช่น การกำหนดเวลาที่ใช้ในการคายประจุของตัวเก็บประจุ การวัดความจุความร้อนของระบบแคลอรีมิเตอร์ในการกำหนดการสูญเสียความร้อนของสิ่งแวดล้อมในระหว่างการทำทดลอง การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (Sakore et al., 2019) การใช้กฎนี้ในการประมาณเวลาที่กาแฟร้อนจะเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิที่ปลอดภัยสำหรับการดื่ม เพื่อหลีกเลี่ยงการทำให้ลวกลิ้น นอกจากนี้ กฎการเย็นตัวของนิวตันยังถูกนำมาใช้ในการคำนวณอุณหภูมิของกระป๋องหรือขวดโซดาที่เก็บไว้ในตู้เย็นเป็นระยะเวลาหนึ่ง อีกทั้งมีการนำไปใช้ในด้านการศึกษาอาชญากรรม กฎนี้สามารถช่วยประเมินเวลาที่ผู้เสียชีวิตได้จากการพิจารณาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของร่างกายในเวลาเสียชีวิตและอุณหภูมิในปัจจุบัน เพื่อให้ทราบเวลาที่เกิดการเสียชีวิตอย่างแม่นยำ (Unacademy, 2024) กฎนี้ช่วยให้สามารถทำนายและควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ ทำให้มีความสำคัญอย่างมากในงานวิจัย การออกแบบ และการปฏิบัติงานในหลายสาขา

สมมูลไฟฟ้าความร้อนหรือความร้อนแบบจูลตั้งชื่อตามนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษชื่อเจมส์ จูล (James P. Joule มีชีวิตอยู่ระหว่างปี ค.ศ. 1818-1889) มีผลงานการวิจัยด้านความร้อนและความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนกับงานซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญมากในวิชาอุณหพลศาสตร์ ความร้อนแบบจูลนั้นหมายถึงกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าสร้างให้เกิดความร้อนและแสงสว่าง (Chotisrisuparat, 2020) สมมูลไฟฟ้าความร้อนมีประโยชน์ในหลายด้าน ได้แก่ 1) การคำนวณพลังงาน 2) การควบคุมอุณหภูมิ 3) การอนุรักษ์พลังงาน และ 4) การวิจัยและพัฒนา เป็นต้น ในงานวิจัยของ Hemsuree et al. (2013) ได้สร้างชุดการทดลองแคลอรีมิเตอร์จากวัสดุเหลือใช้ เพื่อทดลองหาค่าสมมูลไฟฟ้าความร้อน โดยใช้หลักการป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แก่หลอดไฟฟ้าที่จุ่มในน้ำ ผลการทดลองพบว่า ค่าสมมูลไฟฟ้าความร้อนมีค่า 4.14 จูลต่อแคลอรี ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน โดยกฎการเย็นตัวของนิวตันเน้นที่อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในขณะที่สมมูลไฟฟ้าความร้อนนำเสนอกระบวนการที่มีการถ่ายโอนพลังงาน

การดำเนินการเกี่ยวกับกระบวนการจัดการเรียนการสอน เพื่อบรรลุเป้าหมายให้ผู้เรียนได้เกิดความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีและหลักการรวมถึงทักษะการปฏิบัติการทางฟิสิกส์ในหัวข้อเรื่อง กฎการเย็นตัวของนิวตันและสมมูลไฟฟ้าความร้อน กิจกรรมการทดลองนับว่าเป็นวิธีการที่สำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องจัดให้มีการปฏิบัติการทดลองควบคู่ไปกับการเรียนทฤษฎีและหลักการ เพื่อให้ผู้เรียนได้เกิดความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีและหลักการรวมถึงทักษะการปฏิบัติการทางฟิสิกส์ การใช้ชุดการทดลองถือเป็นตัวเลือกหนึ่งในการเพิ่มผลการเรียนรู้ในการเรียนฟิสิกส์ (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2009)

หลักสูตรฟิสิกส์ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีการจัดการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ขั้นสูง สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 2 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา

2567 ทางรายวิชาฯ ได้เพิ่มหัวข้อปฏิบัติการเรื่องกฎการเย็นตัวของนิวตัน ตามผลการเรียนรู้ที่คาดหวังของหัวข้อฟิสิกส์ความร้อน โดยมีวัตถุประสงค์ให้นักศึกษา ศึกษาและทดสอบกฎการเย็นตัวของนิวตันและการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะด้วยกฎการเย็นตัวของนิวตันและสมมูลทางไฟฟ้าความร้อน ในการที่จะศึกษาการเย็นตัวของวัตถุอันเป็นผลมาจากการส่งผ่านความร้อนออกจากวัตถุ เมื่อวัตถุมีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อมรอบตัว ในชีวิตประจำวันมักจะเห็นการเย็นตัวของของเหลวกันบ่อย เช่น การเย็นตัวของอาหารประเภทแกงและเครื่องดื่มประเภทร้อนชนิดต่าง ๆ การที่ให้นักศึกษามีความเข้าใจการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะด้วยกฎการเย็นตัวของนิวตันและสมมูลไฟฟ้าความร้อน และทำให้การจัดการเรียนการสอนบรรลุวัตถุประสงค์นั้น จำเป็นต้องมีสื่อการเรียนการสอนที่ให้นักศึกษาได้เรียนรู้ เข้าใจทฤษฎี หลักการ และมีทักษะกระบวนการปฏิบัติการฟิสิกส์ที่ดีขึ้น การใช้ชุดการทดลองถือเป็นตัวเลือกหนึ่งในการเพิ่มผลการเรียนรู้ในการเรียนฟิสิกส์

ทางหลักสูตรฯ ไม่มีชุดการทดลองในหัวข้อฟิสิกส์ความร้อนและแคลอริมิเตอร์ จึงจำเป็นต้องออกแบบและสร้างชุดการทดลอง ซึ่งปัจจัยสำคัญในการสร้างชุดการทดลอง ได้แก่ ระยะเวลาการจัดหาจัดซื้อและงบประมาณ ผู้วิจัยคำนึงถึงการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย การนำอุปกรณ์ที่ไม่ได้ใช้งานมาใช้ให้เกิดประโยชน์และประหยัดระยะเวลาการจัดหาจัดซื้อ จึงมีความคิดในการสร้างชุดการทดลองสำหรับใช้ในการเรียนการสอน เพื่อให้นักศึกษาใช้ในการเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ชุดการทดลองยังมีบทบาทและประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนาการเรียนรู้และใช้เป็นสื่อกลางให้ผู้สอนสามารถส่งเสริมหรือถ่ายทอดไปยังผู้เรียนอย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้นำเสนอชุดการทดลองสำหรับศึกษาและทดสอบกฎการเย็นตัวของนิวตันในน้ำและน้ำมันพืช การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช ผู้วิจัยเลือกใช้น้ำและน้ำมันพืชในการทดลองเนื่องจากไม่ทำปฏิกิริยากับอุปกรณ์ ความเสถียรและความปลอดภัย สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ง่ายในการทดลอง หาได้ง่ายและมีราคาถูก ในการทดลองผู้วิจัยมีแนวคิดสร้างชุดการทดลองเพื่อหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช 2 วิธี คือ ใช้กฎการเย็นตัวของนิวตันและสมมูลไฟฟ้าความร้อนเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากทั้งสองวิธี เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้ในการทดลองไม่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ ชุดการทดลองที่จัดเตรียมในการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชด้วยสมมูลไฟฟ้าความร้อน ในการให้พลังงานความร้อนแก่ของเหลวอาจทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ผู้วิจัยใช้ในการทดลอง คือ การให้ความร้อนด้วยตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้า พลังงานที่สูญเสียไปจะอยู่ในรูปความร้อนที่แผ่ออกมาจากตัวต้านทาน หากเรานำตัวต้านทานจุ่มในของเหลว พลังงานความร้อนที่ตัวต้านทานถ่ายเทให้กับของเหลวมีค่าเท่ากับพลังงานความร้อนที่ทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งอาศัยกระบวนการให้ความร้อนและสมการความสัมพันธ์ สามารถหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชได้ ชุดการทดลองที่จัดเตรียมขึ้นและมีการทดลองว่ามีความสอดคล้องกับทฤษฎี จากนั้นนำไปใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ขั้นสูง เพื่อทดสอบความถูกต้องแม่นยำของระบบ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 กฎการเย็นตัวของนิวตัน

การส่งผ่านความร้อน (Heat transfer) ระหว่างวัตถุทั้งหลายกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยการส่งผ่านความร้อนสามารถจำแนกได้ 3 แบบ คือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) การส่งผ่านความร้อนทั้งสามแบบมักจะเกิดควบคู่กันด้วยบทบาทที่ต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะของวัตถุกับสิ่งแวดล้อม สำหรับระบบที่สูญเสียความร้อนด้วยการนำหรือการพา การเย็นตัวของวัตถุจะเป็นไปตามกฎการเย็นตัวของนิวตันกล่าวว่า “อัตราการสูญเสียความร้อนของวัตถุ จะแปรผันตรงกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิของวัตถุกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม” แต่นอกจากผลต่างระหว่างอุณหภูมิ อัตราการสูญเสียความร้อนยังแปรตามพื้นที่ผิวของวัตถุ (Sarunyanith, 2002) และสามารถเขียนสมการกฎการเย็นตัวได้ตามสมการที่ (1)

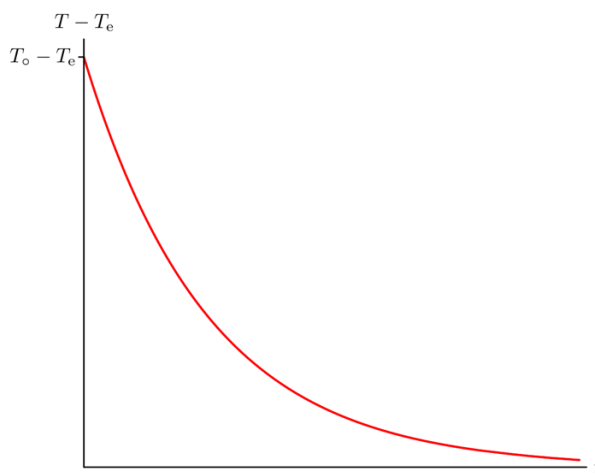
$$\frac{dQ}{dt} = hA(T - T_e) \quad (1)$$

เมื่อ $\frac{dQ}{dt}$	คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอน
$\frac{dQ}{dt}$	คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
$\frac{dQ}{dt}$	คือ อัตราการสูญเสียความร้อน
h	คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน
A	คือ พื้นที่ผิวของวัตถุ
$T - T_e$	คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของวัตถุกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

กฎการเย็นตัวของนิวตันใช้ได้กับกรณีที่ผลต่างระหว่างอุณหภูมิมีค่าน้อย และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนมีค่าประมาณคงตัวหรือไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ และในกรณีที่ไม่มีงานเกิดขึ้น อัตราการสูญเสียความร้อนจะมีค่าเท่ากับค่าลบของอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (dU/dt) ของวัตถุ dU คือ การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของพลังงานภายในของระบบ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับมวลของวัตถุ (m) และ c เป็นค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) เมื่อจัดรูปใหม่ให้มีค่าคงตัวในหน่วยของเวลา ($\tau = mc/hA$) สามารถหาความสัมพันธ์ตามกฎการเย็นตัวได้ดังสมการที่ (2) แสดงดังรูปที่ 1

$$T - T_e = (T_0 - T_e)e^{-t/\tau} \quad (2)$$

เมื่อ t	คือ เวลา
T, T_e และ T_0	คือ อุณหภูมิวัตถุ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิที่เวลาเริ่มต้น



รูปที่ 1. กราฟการเย็นตัวของวัตถุตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน

2.2 การหาความจุความร้อนจำเพาะด้วยกฎการเย็นตัวของนิวตัน

ความจุความร้อนจำเพาะ หมายถึง ปริมาณของพลังงานที่จำเป็นในการทำให้หนึ่งหน่วยของมวลสารเพิ่มขึ้นหนึ่งองศาเซลเซียส ซึ่งหมายถึงความจุของสารโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บความร้อน ความจุความร้อนของวัสดุมากจะมีความสามารถในการเก็บความร้อนได้ดี (Sa-thai, 2020) และกฎการเย็นตัวของนิวตันสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมเดียวกันและมีปริมาตรเท่ากันได้ ซึ่งในช่วงการลดลงของอุณหภูมิ $T - T_e$ ที่เท่ากัน วัตถุสองชนิดที่มีปริมาตรเท่ากันและอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ T_e ค่าเดียวกัน จะมีอัตราการสูญเสียความร้อนที่เท่ากัน โดยความสัมพันธ์ของอัตราการสูญเสียความร้อนของระบบทั้งสองมีค่าเท่ากันที่อุณหภูมิเดียวกันดังสมการที่ (3) ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการเย็นตัวของน้ำและน้ำมันพืชที่มีปริมาตรเท่ากันและใส่ในบีกเกอร์ขนาดเดียวกัน

$$\frac{(m_w c_w + m_b c_b)}{\tau_w} = \frac{(m_o c_o + m_b c_b)}{\tau_o} \quad (3)$$

เมื่อ m_w m_b และ m_o คือ มวลของน้ำ บีกเกอร์และน้ำมันพืช

c_w c_b และ c_o คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ บีกเกอร์และน้ำมันพืช

τ_w และ τ_o คือ ค่าคงตัวในหน่วยเวลาของน้ำและน้ำมันพืช

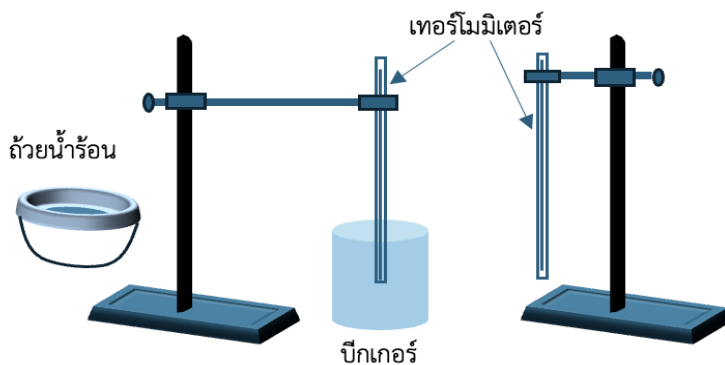
2.3 การหาความจุความร้อนจำเพาะด้วยสมมูลไฟฟ้าความร้อน

การหาความจุความร้อนจำเพาะสามารถหาได้หลายวิธี ทางผู้วิจัยจึงใช้วิธีการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะด้วยสมมูลไฟฟ้าความร้อนเพื่อมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีของกฎการเย็นตัวของนิวตัน โดยวิธีสมมูลไฟฟ้าความร้อน เริ่มจากการให้ความร้อนแก่ของเหลวด้วยแหล่งกำเนิดความร้อนที่สามารถวัดค่า

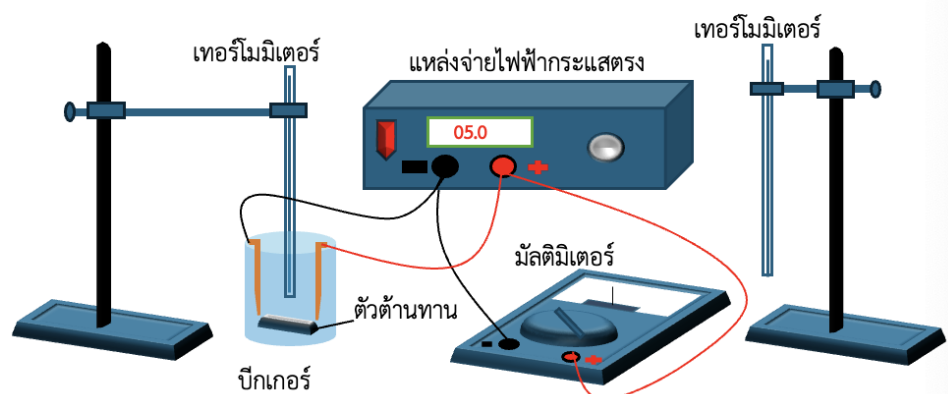
พลังงานความร้อน Q อุณหภูมิ ΔT ที่เพิ่มขึ้นของของเหลว มีความสัมพันธ์กับพลังงานความร้อน Q ที่ของเหลวได้รับ ซึ่งการให้ความร้อนด้วยตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟที่มีศักย์ไฟฟ้าตกคร่อม มีอัตราการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า (กำลังไฟฟ้า) ($P = V^2/R$) พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปจะอยู่ในรูปความร้อนที่แผ่ออกมาจากตัวต้านทาน และตัวต้านทานที่จุ่มลงในของเหลวเป็นเวลา Δt พลังงานความร้อน E ที่ตัวต้านทานถ่ายเทให้กับของเหลว หากสมมติว่าไม่คิดการสูญเสียพลังงาน พลังงานความร้อน E มีค่าเท่ากับพลังงานความร้อน Q ที่ทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ΔT) กระบวนการให้ความร้อนนี้เรียกว่า กระบวนการให้ความร้อนจูล (Joule heating) หรือสมมูลไฟฟ้าความร้อน และความจุความร้อนจำเพาะ (Serway & Jewett, 2015) สามารถหาได้จากสมการที่ (4)

$$c = \frac{P}{m \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)} \quad (4)$$

ในการทดลองผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตเนื้อหาในการเรียนการสอนเรื่องกฎการเย็นตัวของนิวตัน เพื่อหาความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช โดยใช้น้ำมันพืชตราโบ๊ส เป็นน้ำมันพืชที่สกัดจากผลปาล์มน้ำมันซึ่งทนความร้อนสูงและมีความเสถียรสูงไม่เหม็นหืนง่ายเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่น โดยมีการทดลอง 2 ตอน คือ กฎการเย็นตัวของนิวตันและการหาความจุความร้อนจำเพาะด้วยสมมูลไฟฟ้าความร้อน ผู้วิจัยออกแบบชุดการทดลองดังรูปที่ 2 และ 3



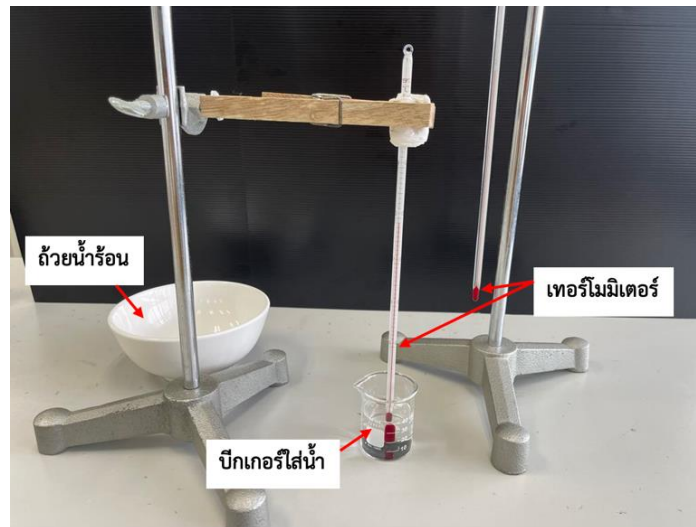
รูปที่ 2. แบบการจัดวางชุดการทดลองกฎการเย็นตัวของนิวตัน



รูปที่ 3. แบบการจัดวางชุดการทดลองสมมูลไฟฟ้าความร้อน

การทดลองตอนที่ 1 กฎการเย็นตัวของนิวตัน ศึกษาการเย็นตัวของน้ำและน้ำมันพืชที่มีปริมาตรเท่ากัน มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

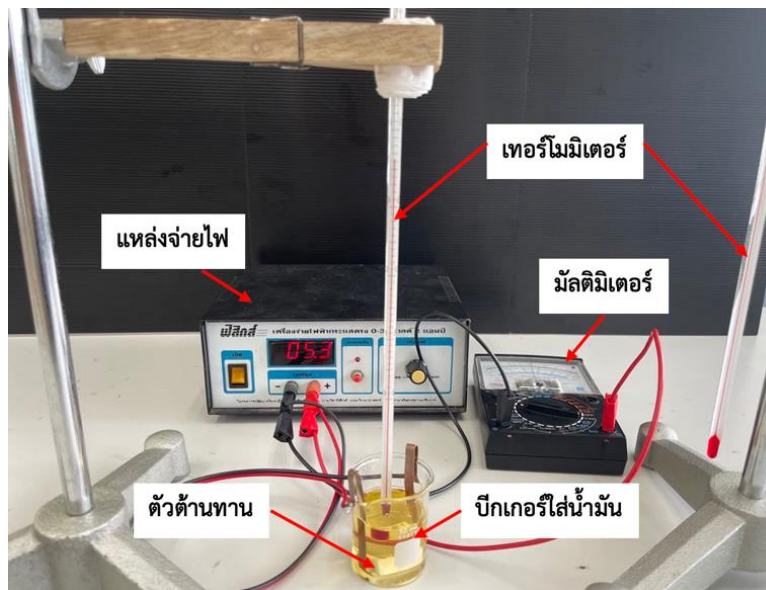
- 1) ชั่งหามวลปิกเกอร์ (m_b)
- 2) ตวงน้ำ 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในปิกเกอร์ แล้วนำไปชั่งเพื่อหามวลของน้ำ (m_w)
- 3) นำปิกเกอร์จุ่มลงในถ้ำยน้ำร้อน พร้อมกับคนน้ำในปิกเกอร์ตลอดเวลา จนน้ำในปิกเกอร์มีอุณหภูมิประมาณ 47 องศาเซลเซียส
- 4) นำปิกเกอร์ออกจากน้ำร้อนและจัดชุดการทดลอง ดังรูปที่ 4
- 5) เริ่มบันทึกเวลาเมื่ออุณหภูมิของน้ำมีค่าเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส และบันทึกเวลาต่อเนื่องทุก 1 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิของน้ำมีค่าเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งบันทึกอุณหภูมิห้องควบคู่ไปด้วย
- 6) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนของเหลวเป็นน้ำมันพืช
- 7) วิเคราะห์ผลการทดลองและเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลา เพื่อหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช ด้วยสมการที่ (3)



รูปที่ 4. ชุดการทดลองสำหรับศึกษาการเย็นตัวของน้ำและน้ำมันพืช

การทดลองตอนที่ 2 การหาความจุความร้อนจำเพาะด้วยสมมูลไฟฟ้าความร้อน ในการทดลองตอนที่ 2 หาความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากตอนที่ 1 โดยใช้สมมูลไฟฟ้าความร้อน มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) ตวงน้ำมันพืช 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในบีกเกอร์ แล้วชั่งหามวลเหมือนตอนที่ 1
- 2) ต่อตัวต้านทานขนาด 5.2 โอห์ม เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ แล้วนำมัลติมิเตอร์ย่าน 10 DCV มาต่อคร่อมเพื่อวัดความต่างศักย์
- 3) นำตัวต้านทานที่ต่อสายเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ มาจุ่มลงในน้ำมันพืช โดยเว้นระยะห่างระหว่างตัวต้านทานและเทอร์โมมิเตอร์ราว 1 เซนติเมตร และให้เทอร์โมมิเตอร์อยู่เยื้องจากตัวต้านทาน จัดชุดการทดลอง ดังรูปที่ 5
- 4) เปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วปรับแรงดันไฟฟ้าให้ได้ประมาณ 5 โวลต์ โดยอ่านจากหน้าปัดของมัลติมิเตอร์พร้อมกับเริ่มจับเวลา
- 5) บันทึกเวลาทุก ๆ ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 0.5 องศาเซลเซียส จนน้ำมันมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในระหว่างการทดลองคนน้ำมันพืชตลอดเวลา
- 6) เมื่อทำการทดลองเสร็จ ปิดแหล่งจ่ายไฟ
- 7) วิเคราะห์ผลการทดลองและเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันพืชกับเวลา เพื่อหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช ด้วยสมการที่ (4)



รูปที่ 5. ชุดทดลองสำหรับหาความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาและทดสอบกฎการเย็นตัวของนิวตันในน้ำและน้ำมันพืช

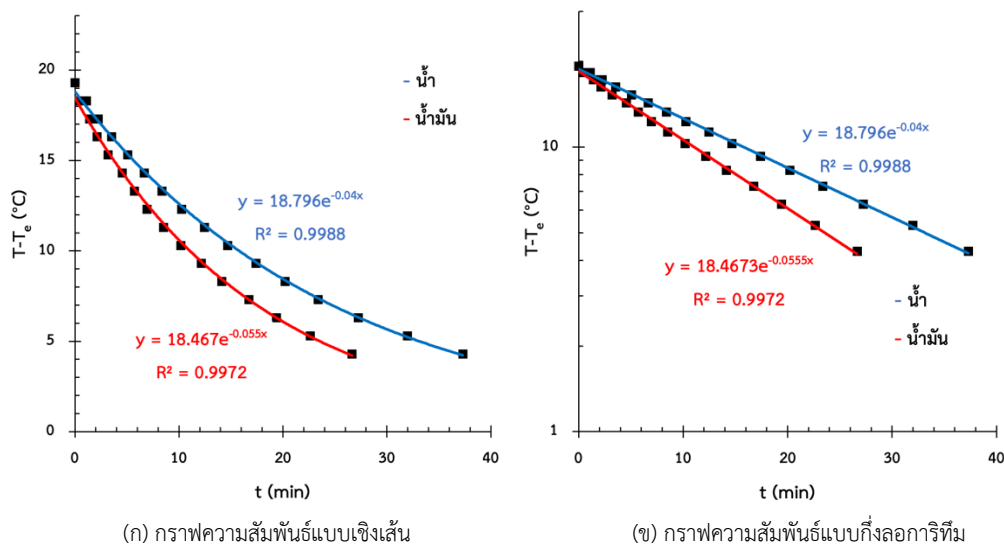
ในการทดสอบว่าชุดการทดลองที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้เพื่อหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำและน้ำมันพืช โดยผู้วิจัยใช้ค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐานของน้ำเท่ากับ $4.180 \text{ J/g}\cdot\text{K}$ (Phetcharat et al., 2023) และบีกเกอร์เท่ากับ $0.830 \text{ J/g}\cdot\text{K}$ (MatWeb, n.d.) มาคำนวณหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช ผู้วิจัยศึกษาการเย็นตัวของน้ำและน้ำมันพืชที่มีปริมาตรเท่ากันและใช้บีกเกอร์ขนาดเดียวกัน ซึ่งอัตราสูญเสียความร้อนของระบบทั้งสองมีค่าเท่ากันในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน แสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3) ได้มีการทดลองหาความสัมพันธ์ผลต่างอุณหภูมิของวัตถุกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับเวลาเขียนกราฟเพื่อนำความสัมพันธ์จากกราฟไปวิเคราะห์หาความจุความร้อนจำเพาะของน้ำและน้ำมันพืชได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ผลการทดลองแสดงเวลาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของน้ำและน้ำมันพืช

T±0.5 (°C)	การเย็นตัวของน้ำ					การเย็นตัวของน้ำมันพืช					T-T _{eav} (°C)	ln(T-T _{eav})
	เวลาบนนาฬิกา			t (min)	T _e (°C)	เวลาบนนาฬิกา			t (min)	T _e (°C)		
	ชั่วโมง	นาที	วินาที			ชั่วโมง	นาที	วินาที				
45.0	9	0	26	0.00	26.5	9	51	21	0.00	25.5	19.3	3.0
44.0	9	1	32	1.10	26.5	9	51	50	0.48	25.5	18.3	2.9
43.0	9	2	40	2.23	26.5	9	52	44	1.38	25.5	17.3	2.9
42.0	9	3	58	3.53	26.5	9	53	29	2.13	25.5	16.3	2.8
41.0	9	5	29	5.05	26.5	9	54	32	3.18	25.5	15.3	2.7
40.0	9	7	05	6.65	26.5	9	55	54	4.55	25.5	14.3	2.7
39.0	9	8	48	8.37	26.5	9	57	03	5.70	25.5	13.3	2.6
38.0	9	10	41	10.25	26.5	9	58	17	6.93	25.5	12.3	2.5
37.0	9	12	53	12.45	26.0	9	59	51	8.50	25.0	11.3	2.4
36.0	9	15	06	14.67	26.0	10	1	32	10.18	25.0	10.3	2.3
35.0	9	17	49	17.38	26.0	10	3	30	12.15	25.0	9.3	2.2
34.0	9	20	38	20.20	26.0	10	5	28	14.12	25.0	8.3	2.1
33.0	9	23	48	23.37	25.5	10	8	05	16.73	25.0	7.3	2.0
32.0	9	27	40	27.23	25.5	10	10	44	19.38	25.0	6.3	1.8
31.0	9	32	24	31.97	25.5	10	13	58	22.62	25.0	5.3	1.7
30.0	9	37	43	37.28	25.5	10	18	00	26.65	25.0	4.3	1.5

จากตารางที่ 1 ในการทดลองทดสอบกฎการเย็นตัวของนิวตันในน้ำและน้ำมันพืช มีการวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเมื่อน้ำและน้ำมันพืชมีอุณหภูมิลดลงทุก ๆ 1 องศา และหาค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย ($T_{eav} = 25.7^{\circ}\text{C}$) มาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง เนื่องจากการใช้กฎการเย็นตัวของนิวตันเพื่อหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช น้ำและน้ำมันพืชต้องอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่อุณหภูมิค่าเดียวกัน

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิของวัตถุกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับเวลา ดังรูปที่ 6(ก) จะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งเป็นตามกฎการเย็นตัวของนิวตันดังสมการที่ (2) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้กราฟความสัมพันธ์แบบกึ่งลอการิทึม (Semi-logarithm) ดังรูปที่ 6(ข) จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้น จากนั้น ใช้ฟังก์ชัน linest เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องของเส้นแนวโน้ม พิจารณา Standard Error Y Estimate มีค่าน้อยบ่งบอกว่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลต่ำ เส้นแนวโน้มเหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล พิจารณา Standard Error Slope มีค่าความผิดพลาดต่ำแสดงให้เห็นว่าค่าความชันที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และข้อมูลกระจายตัวต่ำ นำค่าความชัน (Slope) จากสมการเส้นตรง ซึ่งเท่ากับส่วนกลับค่าคงตัวในหน่วย



LINEST (Water)		
Slope	-0.0400	2.9337
Standard Error Slope	0.0003	0.0054
R ²	0.9992	0.0134
LINEST (Oil)		
Slope	-0.0555	2.9160
Standard Error Slope	0.0006	0.0073
R ²	0.9985	0.0186

รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ผลต่างอุณหภูมิของวัตถุกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับเวลา

ของเวลา ($slope = -\frac{1}{\tau}$) สามารถคำนวณหาค่าคงตัวในหน่วยของเวลาของน้ำ (τ_w) มีค่าเท่ากับ 25.00 นาที และค่าคงตัวในหน่วยของเวลาของน้ำมัน (τ_o) มีค่าเท่ากับ 18.02 นาที นำค่า τ_w τ_o และ $m_w = 39.96 \pm 0.01$ g $m_b = 30.63 \pm 0.01$ g และ $m_o = 35.89 \pm 0.01$ g แทนค่าในสมการที่ (3) สามารถหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชได้เท่ากับ 3.156 J/g·K ดังนั้นผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้กฎการเย็นตัวของนิวตันในน้ำและน้ำมันพืชที่มีปริมาตรเท่ากัน บีกเกอร์ขนาดเดียวกัน โดยใช้ค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐานของน้ำที่ทราบค่า ($c_w = 4.180$ J/g·K) และค่าคงตัวในหน่วยของเวลาของน้ำและน้ำมันพืช สามารถใช้ทดลองหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชได้ ปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง ได้แก่ การอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ ผู้ทดลองควรอ่านค่าอุณหภูมิในระดับสายตาเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากที่สุด นอกจากนี้ในระหว่างการทดลอง ผู้ทดลองควรคนน้ำและน้ำมันพืชอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ความร้อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

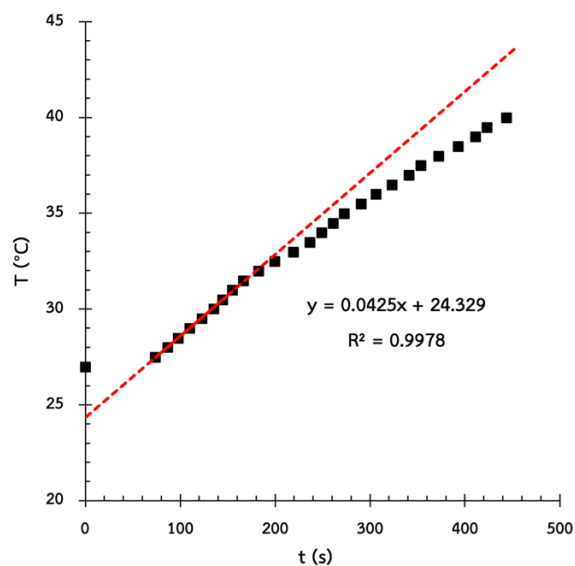
3.2 ผลการทดลองการหาความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชด้วยสมมูลไฟฟ้าความร้อน

เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้ในการทดลอง ไม่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ จึงต้องทำการทดลองวัดค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชด้วยวิธีอื่น และนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีของกฎการเย็นตัวของนิวตัน ผู้วิจัยเลือกใช้สมมูลไฟฟ้าความร้อน ในการทดลองนี้ให้ความร้อนด้วยตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟ พลังงานที่สูญเสียไปจะอยู่ในรูปของความร้อนที่แผ่ออกมาจากตัวต้านทาน เขียนกราฟเพื่อนำความสัมพันธ์ไปวิเคราะห์หาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชโดยใช้สมการที่ (4) พิจารณาข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่เพิ่มขึ้นกับเวลาในช่วงแรกที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นของการให้ความร้อน น้ำมันจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยสามารถอธิบายได้ว่า พลังงานความร้อน E ที่ตัวต้านทานถ่ายเทให้ของเหลว ($E = P\Delta t$) มีค่าเท่ากับพลังงานความร้อน ($Q = mc\Delta T$) ที่ทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิและเวลา ตามกระบวนการให้ความร้อนจุลหรือสมมูลไฟฟ้าความร้อน อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันเพิ่มขึ้นถึงจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ความสัมพันธ์นี้อาจไม่เป็นเชิงเส้นอีกต่อไป เนื่องจากจะมีการใช้พลังงานในการเปลี่ยนสถานะเป็นพลังงานแฝงแทนการเพิ่มอุณหภูมิ ทำให้กราฟในช่วงหลังแสดงลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นและมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่เพิ่มขึ้นกับเวลา นำมาหาสมการเส้นตรงโดยใช้ฟังก์ชัน linest เมื่อได้ค่าความชันจากสมการเส้นตรงมีค่าเท่ากับ $0.0425\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ค่ากำลังไฟฟ้า (P) มีค่าเท่ากับ 4.81 W และ $m_o = 36.23 \pm 0.01\text{ g}$ นำไปแทนค่าในสมการที่ (4) สามารถคำนวณความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชได้เท่ากับ $3.119\text{ J/g}\cdot\text{K}$ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากวิธีกฎการเย็นตัวของนิวตัน 1.2% ดังนั้นผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้สมมูลไฟฟ้าความร้อนโดยให้ความร้อนด้วยตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟ พลังงานที่สูญเสียไปจะอยู่ในรูปของความร้อนที่แผ่ออกมาจากตัวต้านทาน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่เพิ่มขึ้นกับเวลา สามารถใช้ทดลองหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชได้ ปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง ได้แก่ การอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์มิสเตอร์ ระยะห่างระหว่างเทอร์มิเตอร์และตัวต้านทาน ในระหว่างการทดลองควรคนน้ำมันพืชอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ความร้อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และการเลือกพิตข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่เพิ่มขึ้นกับเวลาในช่วงแรกที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น

ตารางที่ 2. ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่เพิ่มขึ้นกับเวลา

T ± 0.5 ($^{\circ}\text{C}$)	เวลา		t (s)
	นาที	วินาที	
27.0	0	00.00	0.00
27.5	1	13.63	73.63
28.0	1	26.62	86.62
28.5	1	37.57	97.57
29.0	1	49.79	109.79
29.5	2	02.82	122.82
30.0	2	15.58	135.58
30.5	2	24.73	144.73
31.0	2	34.70	154.70
31.5	2	46.59	166.59
32.0	3	02.51	182.51
32.5	3	19.42	199.42
33.0	3	38.97	218.97
33.5	3	56.75	236.75
34.0	4	09.26	249.26
34.5	4	21.08	261.08
35.0	4	32.81	272.81
35.5	4	50.51	290.51
36.0	5	06.11	306.11
36.5	5	22.98	322.98
37.0	5	40.89	340.89
37.5	5	53.33	353.33
38.0	6	12.10	372.10
38.5	6	32.96	392.96
39.0	6	51.16	411.16
39.5	7	03.25	423.25
40.0	7	23.75	443.75



LINEST		
Slope	0.0425	24.3386
Standard Error Slope	0.0008	0.0959
R^2	0.9978	0.0614

รูปที่ 7. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่เพิ่มขึ้นกับเวลา

3.3 ผลการนำชุดการทดลองใช้ในรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ขั้นสูง

ผู้วิจัยนำชุดการทดลองไปใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ขั้นสูง แสดงผลการทดลองจำนวน 7 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 3 และ 4 เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพชุดการทดลองและความถูกต้อง

ผลการศึกษาและทดสอบกฎการเย็นตัวของนิวตันในน้ำและน้ำมันพืช ดังผลการทดลองในตารางที่ 3 เมื่อหาความสัมพันธ์ผลต่างอุณหภูมิของวัตถุกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับเวลา นำมาหาสมการเส้นตรงโดยใช้ฟังก์ชัน linest นำค่าความชัน จากสมการเส้นตรงซึ่งเท่ากับส่วนกลับค่าคงตัวในหน่วยของเวลา สามารถคำนวณหาค่าคงตัวในหน่วยของเวลาของน้ำ กลุ่มที่ 1 ถึง 7 มีค่าเท่ากับ 20.94, 21.53, 23.41, 17.20, 16.85, 17.50 และ 23.07 นาที ตามลำดับ และค่าคงตัวในหน่วยเวลาของน้ำมันพืช กลุ่มที่ 1 ถึง 7 มีค่าเท่ากับ 14.80, 17.29, 17.97, 14.80, 14.63, 12.00 และ 15.34 นาที และคำนวณค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชได้ กลุ่มที่ 1 ถึง 7 มีค่าเท่ากับ 2.980, 3.183, 3.241, 3.767, 3.705, 2.968 และ 2.634 $\text{J/g}\cdot\text{K}$ ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชแต่ละกลุ่มมีค่าต่างกันทั้งที่ใช้ น้ำมันพืชชนิดเดียวกัน เนื่องจากความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์และผู้ทดลองไม่คนน้ำและน้ำมันพืชอย่างต่อเนื่องในการทดลอง ซึ่งค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชทั้ง 7

กลุ่มสอดคล้องกับค่าจากการทดลองตอนที่ 1 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ชุดการทดลองที่ทำขึ้นนี้มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 3. ผลการศึกษาและทดสอบกฎการเย็นตัวของนิวตันในน้ำและน้ำมันพืช

กลุ่มที่	สมการเส้นตรงจากฟังก์ชัน linest				ค่าคงตัวในหน่วย ของเวลา (min)		ความจุความร้อนจำเพาะ น้ำมันพืช (J/g•K)
	Slope		Intercept				
	Standard Error Slope		Standard Error intercept				
	R ²		Standard Error Y Estimate				
	น้ำ	น้ำมันพืช			น้ำ	น้ำมันพืช	
1	-0.0478	3.0166	-0.0676	2.9912	20.94	14.80	2.980
	0.0004	0.0047	0.0011	0.0097			
	0.9992	0.0115	0.9964	0.0244			
2	-0.0464	2.9142	-0.0580	2.9240	21.53	17.29	3.183
	0.0009	0.0118	0.0001	0.0120			
	0.9956	0.0305	0.9960	0.0300			
3	-0.0427	2.9821	-0.0556	2.9635	23.41	17.97	3.241
	0.0003	0.0046	0.0008	0.0095			
	0.9993	0.0115	0.9969	0.0239			
4	-0.0581	2.9657	-0.0676	2.9544	17.20	14.80	3.767
	0.0006	0.0066	0.0050	0.0054			
	0.9987	0.0162	0.9910	0.0135			
5	-0.0593	2.9806	-0.0684	2.9880	16.85	14.63	3.705
	0.0002	0.0023	0.0009	0.0089			
	0.9998	0.0056	0.9978	0.0212			
6	-0.0573	3.0701	-0.0830	3.0254	17.50	12.00	2.968
	0.0012	0.0152	0.0007	0.0058			
	0.9938	0.0336	0.9989	0.0137			
7	-0.0433	2.9773	-0.0652	2.9604	23.07	15.34	2.634
	0.0003	0.0055	0.0009	0.0086			
	0.9991	0.0135	0.9977	0.0213			

ตารางที่ 4. ผลการทดลองการหาความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชด้วยสมมูลไฟฟ้าความร้อน

กลุ่มที่	สมการเส้นตรงจากฟังก์ชัน linest		ความจุความร้อน จำเพาะน้ำมันพืช (J/g·K)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง จากวิธีการเยนตัวของ นิวตัน
	Slope	Intercept		
	Standard Error Slope	Standard Error Intercept		
	R ²	Standard Error Y Estimate		
1	0.0393	24.6969	2.961	0.64
	0.0013	0.1414		
	0.9968	0.0512		
2	0.0377	27.2708	3.375	5.86
	0.0008	0.1090		
	0.9975	0.0596		
3	0.0355	24.8807	3.246	0.15
	0.0007	0.0878		
	0.9971	0.0704		
4	0.0392	26.4117	3.573	5.29
	0.0015	0.1262		
	0.9924	0.1025		
5	0.0339	25.3988	3.953	6.48
	0.0006	0.1540		
	0.9919	0.3638		
6	0.0489	25.5166	2.730	8.35
	0.0019	0.0811		
	0.9952	0.0630		
7	0.0518	22.6343	2.823	6.93
	0.0049	0.4716		
	0.9731	0.1496		

ผลการทดลองการหาความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชด้วยสมมูลไฟฟ้าความร้อน หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่เพิ่มขึ้นกับเวลา ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4 นำมาหาสมการเส้นตรงโดยใช้ฟังก์ชัน linest เมื่อได้ค่าความชันจากสมการเส้นตรง กลุ่มที่ 1 ถึง 7 มีค่าเท่ากับ 0.0393, 0.0377, 0.0355, 0.0392, 0.0339, 0.0489 และ 0.0518 °C/s ตามลำดับ นำไปแทนค่าในสมการที่ (4) สามารถคำนวณความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช กลุ่มที่ 1 ถึง 7 มีค่าเท่ากับ 2.961, 3.375, 3.246, 3.573, 3.953, 2.730 และ 2.823 J/g·K ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช แต่ละกลุ่มมีค่าต่างกันทั้งที่ใช้ น้ำมันพืชชนิดเดียวกัน เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการเลือกข้อมูลช่วงแรกที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่เพิ่มขึ้นกับเวลา ค่าที่คำนวณได้ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากวิธีการเยนตัวของนิวตัน กลุ่มที่ 1 ถึง 7 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากวิธีการเยนตัวของนิวตัน เท่ากับ 0.64, 5.86, 0.15, 5.29, 6.48, 8.35 และ 6.93 ตามลำดับ

ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า ชุดการทดลองที่ทำขึ้นมีประสิทธิภาพ มีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ศึกษาการหาความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชด้วยสมมูลไฟฟ้าความร้อนได้ เมื่อนำค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชที่หาด้วยวิธีการเยนตัวของนิวตันและด้วยวิธีสมมูลไฟฟ้าความร้อน หาประสิทธิภาพของวิธีการทดลองมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองจากวิธีการทดลองที่สัมพันธ์กัน ใช้สถิติทดสอบที่แบบ Paired Sample t-test พบว่า ค่าสถิติทดสอบที่มีค่าเท่ากับ 4.08 มากกว่าค่าวิกฤตซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.94 หมายความว่า ประสิทธิภาพของวิธีการทดลองทั้งสองวิธีแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถนำไปใช้ศึกษาการหาความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชได้

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองและข้อมูลที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ การคำนวณและวิเคราะห์กราฟ คำนวณค่าคงตัวในหน่วยของเวลา ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำและน้ำมันพืช งานวิจัยนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ชุดการทดลองที่ทำขึ้นสามารถใช้ในการศึกษาและทดสอบกฎการเยนตัวของนิวตันในน้ำและน้ำมันพืชได้ พิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ผลต่างอุณหภูมิของวัตถุกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับเวลาที่ได้จากการทดลอง มีความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งเป็นตามกฎการเยนตัวของนิวตัน และสามารถหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชด้วยวิธีการเยนตัวของนิวตันและสมมูลไฟฟ้าความร้อนได้ โดยใช้วัสดุที่หาง่าย ราคาประหยัด และนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ นำมาประยุกต์ใช้แทนการจัดหาจัดซื้อชุดอุปกรณ์ทดลองสำเร็จรูป

2) ผลการเปรียบเทียบค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืช ซึ่งใช้วิธีการเยนตัวของนิวตันและสมมูลไฟฟ้าความร้อนจากการทดลอง และนำชุดการทดลองที่ทำขึ้นไปใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ชั้นสูงพบว่า แต่ละกลุ่มมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างไม่เกิน 10% ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชในแต่ละกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน และประสิทธิภาพของวิธีการทดลองทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่ทำขึ้นมีความถูกต้องและสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา รวิวิธพัฒนา ที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และคอยสนับสนุนในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง (References)

Atat, J. G., Umoren, E. B., Ekpo, S. S., & Umoette, U. A. (2024). Determination of specific heat capacities of liquids from some consumable items. *Journal of Advance Research in Medical and Health Science*, 10(4), 47-56. <https://doi.org/10.61841/e1sv7p88>

- Chotisrisuparat, N. (2020). *The use of a thermal imaging camera for learning and studying electrical circuits*. Thai Physics Society. <http://www.thaiphysoc.org/article/215> (in Thai)
- Hemsuree, H., Kopoonpat, S., & Phansuke, P. (2013). *Electrical equivalent of heat apparatus* [Research report]. Prince of Songkla University. (in Thai)
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2009). *Guide for learning in science for grade 10*. Ministry of Education. (in Thai)
- MatWeb. (n.d.). *Schott BOROFLOAT® borosilicate float glass*. <https://shorturl.asia/TBOIPh>
- Nuangnun, C., Thassana, C., Keaw Nai Hin, S., & Khumphuangdee, S. (2017). A low-cost method for measuring the specific heat of iron nail, copper, and aluminium by using Newton's law of cooling and its comparison. *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, 11(2), 42-50. (in Thai)
- Phetcharat, S., Buntan, R., & Budcha, P. (2023). Development of water circulating wall system to reduce heat accumulation inside the building. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 14(1), 120-130. (in Thai)
- Sakore, A., Mathur, A., Zanjurne, D., & Aland, P. (2019). A study of Newton's law of cooling and its application. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(5), 188-192.
- Sarunyanith, S. (2002). *Heat transfer* (1st ed.). Technology Promotion Association (Thailand-Japan). (in Thai)
- Sa-thai. (2020). *What is specific heat?*. Sa-thai. <https://shorturl.at/bJCHN>. (in Thai)
- Serway, R. A., & Jewett, J. W., Jr. (2015). *Physics for scientists and engineers I* [Physics for scientists and engineers with modern physics (9th ed.)] (P. Buranasiri et al., Trans.). Cengage Learning Indo-China. (Original work published 2014). (in Thai)
- Unacademy. (2024). *Newton's law of cooling*. <https://shorturl.asia/b5Mgm>