



การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะอย่างง่ายของเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม
โดยใช้กฎการเย็นตัวของนิวตันและการศึกษาเปรียบเทียบ
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

โชติ เนืองนนท์, ชีวะ ทศนา, สหรัฐ แก้วในหิน, สิริภพ คุ่มพ่วงดี
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบการทดลองในการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็งคือ เหล็ก ตะปู ทองแดงและอลูมิเนียม โดยใช้วัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกแทนการใช้แคลอรีมิเตอร์ โดยการใส่ตัวอย่างที่ต้องการศึกษาลงในอุปกรณ์ที่ออกแบบเพื่อหาค่าความจุความร้อนจำเพาะจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำและตัวอย่างที่ทดลองมีค่าเท่ากัน ตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน ผลการวิจัยประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้ 1) สามารถออกแบบการทดลองในการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของตัวอย่างที่มีสถานะเป็นของแข็งคือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียมได้ อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของระบบเป็นไปตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน โดยค่าอุณหภูมิที่ลดลงเมื่อเทียบกับเวลาจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล 2) หาค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็งโดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานพบว่าค่าความจุความร้อนจำเพาะของเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียมมีค่า $446.20 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ $447.32 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ $388.57 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ และ $895.93 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ ตามลำดับ ที่สำคัญพบว่า ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ได้จากการทดลองมีความใกล้เคียงกับค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐานสำหรับทุกตัวอย่างและมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.402, 0.152, 0.406 และ 0.452 ตามลำดับ 3) ผลการวิจัยครั้งนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความจุความร้อนมาตรฐานและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ว่าเป็นผลการทดลองวิจัยที่หาค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็งแทนการใช้แคลอรีมิเตอร์ได้

คำสำคัญ : ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, กฎการเย็นตัวของนิวตัน, กฎการอนุรักษ์พลังงาน



Abstract

The purpose of the research was to design the experiment of a low - cost method for measuring the specific heat capacity of solids iron, nail, copper, and aluminium by using the Newton's Law of cooling. The advance of this research results was the measurement of the specific heat capacity of iron, nail, copper, and aluminium without the use of a calorimeter. The cooling curves of the systems container/water and container/water/sample were analyzed. We discussed an application of this method simplifying Newton's Law of cooling. In spite of the use of only low-cost instruments, this application yields consistent results in determining the specific heat of iron, nail, copper, and aluminium. The research achieved its aims and the findings were as follows: 1) the experiment results found that, the rate of heat transfer proportional to the ambient temperature difference leading to an exponential decrease of temperature with time. This was Newton's law of proportional cooling. 2) The results of the specific heat capacity by using law of energy conservation found that the specific heat capacity of the iron, nail, copper, and aluminium were about $446.20 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$, $447.32 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$, $388.57 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ and $895.93 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ respectively. The results were in good agreement with the standard specific heat capacity value for all solid samples 0.402%, 0.152%, 0.406% and 0.452% respectively. 3) The excellent comparison results with the standard specific heat capacity value and the previous research paper were also given. The results of the research said that the method could be used to determine the specific heat capacity of solids instead of using a calorimeter.

Keywords : specific heat capacity, Newton's law of cooling, law of energy conservation



บทนำ

ในทางอุณหพลศาสตร์นั้น เมื่อวัตถุ 1 กิโลกรัม ได้รับความร้อนจะทำให้มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงและปริมาณพลังงานความร้อนที่ทำให้วัตถุ 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1 องศาเซลเซียส เรียกว่า ความจุความร้อนจำเพาะ (ไฟคัคต์ ธัมมวิจารย์, 2550 : 122) และในการเรียนการสอนเพื่อหาค่าความจุความร้อนจำเพาะมีหลายวิธีด้วยกัน วิธีหนึ่งที่ยินยอมใช้ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ คือการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็งโดยใช้แคลอริมิเตอร์ (Cutnell & Johnson, 2005 : 350)

กฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) คือกฎที่แสดงถึงปรากฏการณ์ธรรมชาติที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัตถุ เนื่องด้วยคุณสมบัติในการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุนั้นๆ กระบวนการต่างๆ ที่กล่าวมานั้นส่งผลให้อุณหภูมิของวัตถุนั้นๆ แตกต่างจากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมรอบวัตถุ โดยอัตราการส่งถ่ายความร้อนของวัตถุจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม การลดลงของอุณหภูมิอยู่ในลักษณะเอกซ์โปเนนเชียลเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (O'Connell, 1999 : 551) แต่ในรายละเอียดของหนังสือโดยทั่วไป มักจะลืมหรือไม่ใส่ใจในรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเอกซ์โปเนนเชียล แต่จะแสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเส้นตรงของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อเวลาเปลี่ยนไป เมื่อให้ความร้อนแก่ภาชนะบรรจุน้ำจากอุณหภูมิ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียสตามจากผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่ได้เป็นเส้นตรง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถอธิบายปรากฏการณ์โดยการประยุกต์กฎการเย็นตัวของนิวตัน โดยสามารถหาค่าคงที่ของการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's cooling constant) โดยการวัดจากแนวการเย็นตัว ซึ่งแสดงโดยอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปต่อเวลาหลังจากจุดเดือดโดยปราศจากตัวให้ความร้อน (O'Sullivan, 1990 : 956) ค่าคงที่ที่ได้นี้จะทำให้เราทราบลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่แท้จริงของสมการความร้อน (Heating equation) เพื่อนำไปสู่การคำนวณหาแนวการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Heating curve) ที่แท้จริงได้

จากรายละเอียดของกฎการเย็นตัวของนิวตันข้างต้นต่อมาพบว่า Silva และคนอื่นๆ (Silva and other, 2004 : 514-517) ได้ศึกษาวิธีการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของอลูมิเนียมโดยไม่ใช้แคลอริมิเตอร์ภายใต้กฎการเย็นตัวของนิวตัน การศึกษาครั้งนี้พบว่า ได้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอลูมิเนียมเท่ากับ 877 จูลต่อกิโลกรัม.องศาเซลเซียส โดยคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐาน (ประมาณร้อยละ 2.56)

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงต้องการออกแบบการทดลองการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็ง คือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม โดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก

แทนการใช้แคลอริมิเตอร์ภายใต้การประยุกต์กฎการเย็นตัวของนิวตันและสามารถนำไปประยุกต์ในการศึกษาการเย็นตัวของนิวตันให้เข้าใจลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น ตลอดจนถึงใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในโรงเรียนและมหาวิทยาลัยที่ขาดแคลนอุปกรณ์ในการจัดการเรียนการสอนได้ นอกจากนี้แล้วยังได้นำผลที่ได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาและนำมาเปรียบเทียบกับค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐานของตัวอย่างแต่ละชนิด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบการทดลองการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็งคือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม โดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก แทนการใช้แคลอริมิเตอร์
2. เพื่อหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็ง คือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม โดยภายใต้การประยุกต์ใช้กฎการเย็นตัวของนิวตัน
3. เพื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยที่ได้กับค่ามาตรฐานและศึกษาเปรียบเทียบกับผลการวิจัยที่ผ่านมา

ออกแบบการทดลองและวิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดลองครั้งนี้กระป๋องน้ำอัดลมที่ทำด้วยอลูมิเนียมซึ่งต่อไปจะเรียกว่า กระป๋องอลูมิเนียม คืออุปกรณ์ที่ถูกเลือกสำหรับใช้บรรจุน้ำ และในการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะครั้งนี้ของแข็งที่นำมาหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ คือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม ซึ่งของแข็งแต่ละชนิดมีขนาดประมาณ 1 หุน นำมาใช้ในการทดลอง และมีมวลเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม ยกเว้นอลูมิเนียมมีมวลเท่ากับ 0.1 กิโลกรัม การออกแบบการทดลองและแผนภาพการดำเนินการดำเนินการทดลองแสดงดังภาพที่ 1 ตัวอย่างของแข็งที่นำมาหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ คือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม แสดงดังภาพที่ 2

กระบวนการทดลองคือ ให้ความร้อนกับน้ำในกระป๋องอลูมิเนียมด้วยการต้มจนเดือด ดังภาพที่ 1 (ก) จากนั้นจึงหยดให้ความร้อนและปล่อยให้ระบบเย็นตัวลง พร้อมกับวัดอุณหภูมิของน้ำโดยวัดค่าอุณหภูมิของน้ำทุกๆ 1.5 นาทีเริ่มจากนาฬิกาที่ 0 ถึงนาฬิกาที่ 9 บันทึกค่าลงในตาราง (ดูตารางที่ 1) ขั้นตอนต่อไปคือใส่แท่งเหล็กลงในกระป๋องอลูมิเนียม ณ ช่วงเวลานาฬิกาที่ 9 ถึงนาฬิกาที่ 12 ดังภาพที่ 1 (ข) วัดค่าอุณหภูมิของน้ำทุกๆ 3 นาที โดยเริ่มจากนาฬิกาที่ 12 ถึงนาฬิกาที่ 60 บันทึกค่าลงในตาราง (ดูตารางที่ 2) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนของแข็งเป็นตะปู ทองแดงและอลูมิเนียมตามลำดับ ในการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของเหล็ก (C_{Fe}) ตะปู (C_{Nail}) ทองแดง (C_{Cu}) และอลูมิเนียม (C_{Al}) กำหนดให้ค่าคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองและการคำนวณดังนี้



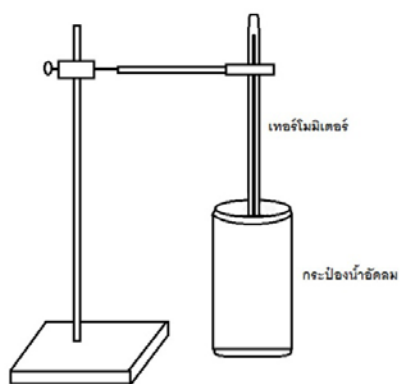
มวลของน้ำ	$m_w = 0.100\text{kg}$
มวลกระป๋องอลูมิเนียม	$m_C = 0.0123\text{ kg}$
มวลของเหล็ก	$m_{Fe} = 0.20\text{kg}$
มวลของเหล็ก	$m_{Nail} = 0.200\text{kg}$
มวลของทองแดง	$m_{Cu} = 0.200\text{ kg}$
มวลของอลูมิเนียม	$m_{Al} = 0.100\text{ kg}$
อุณหภูมิห้อง	$T_{RT} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการทดลอง (ก) ให้ความร้อนกับน้ำในกระป๋องอลูมิเนียม (ข) ใส่ตัวอย่าง (เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม) ลงในกระป๋องอลูมิเนียม (ค) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง



(ก) เหล็ก



(ข) ตะปู



(ค) ทองแดง



(ง) อลูมิเนียม

ภาพที่ 2 ของแข็งที่นำมาทดลองหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ (ก) เหล็ก (ข) ตะปู (ค) ทองแดง และ (ง) อลูมิเนียม

ผลการวิจัย

จากการทดลองทำให้ได้ผลการทดลองโดยแยกออกเป็นส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังนี้

1. ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก่อนใส่และหลังใส่วัตถุ

ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก่อนใส่และหลังใส่วัตถุที่ต้องการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะในที่นี้ คือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 โดยที่ ตารางที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำก่อนใส่ของแข็งที่ต้องการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ (เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม) ลงในน้ำ และ ตารางที่ 2 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำหลังใส่เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียมลงในน้ำ



ตารางที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำก่อนใส่เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียมลงในน้ำ

เวลา (นาทึ)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
	เหล็ก (Fe)	ตะปู (Nail)	ทองแดง(Cu)	อลูมิเนียม (Al)
0.0	91.9	89.7	91.3	93.0
1.5	84.5	82.2	82.5	85.0
3.0	78.3	75.7	75.5	78.5
4.5	73.5	69.4	70.3	73.1
6.0	69.0	66.5	66.5	69.2
7.5	65.4	63.7	63.3	66.0
9.0	62.2	60.9	60.1	62.6

ตารางที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำหลังใส่เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียมลงในน้ำ

เวลา (นาทึ)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
	เหล็ก (Fe)	ตะปู (Nail)	ทองแดง(Cu)	อลูมิเนียม (Al)
12.0	52.2	52.5	52.1	53.1
15.0	49.3	50.3	49.5	50.5
18.0	46.1	48.4	47.1	48.0
21.0	43.3	46.5	45.1	45.3
24.0	41.8	44.9	43.4	44.1
27.0	40.4	43.3	41.9	42.6
30.0	39.3	42.0	40.3	41.4
33.0	38.1	40.8	39.1	40.1
36.0	37.2	39.7	38.1	39.0
39.0	36.3	38.5	37.0	38.0
42.0	35.6	37.7	36.1	37.2
45.0	34.8	38.8	35.1	36.3
48.0	34.1	36.0	34.4	35.7
51.0	33.5	35.3	33.9	35.0
54.0	33.0	34.7	33.2	34.4
57.0	32.3	34.0	32.7	33.9
60.0	31.9	33.5	32.1	33.4

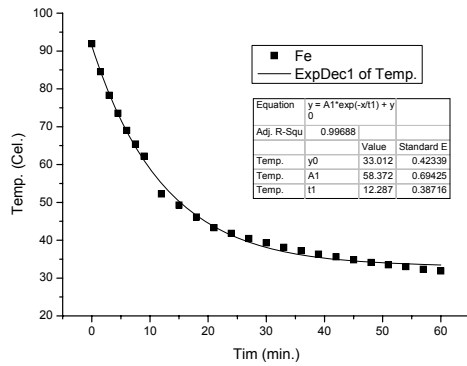
จากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อเวลามากขึ้นอุณหภูมิของระบบจะลดลง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบเป็นไปในลักษณะเดียวกันทุกตัวอย่าง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเช่นนี้เป็นการแสดงถึงการเย็นตัวของระบบโดยตารางที่ 1 แสดงการเย็นตัวของระบบของกระป๋องอลูมิเนียม/น้ำ และตารางที่ 2 แสดงการเย็นตัวของระบบของกระป๋องอลูมิเนียม/น้ำ/ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาค่าความจุความร้อนจำเพาะ ที่สำคัญพบว่า อุณหภูมิของระบบจะ

ลดลงมากที่สุดคือในช่วงนาทึที่ 9 ถึงนาทึที่ 12 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ใส่ของแข็งที่ต้องการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะคือเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียมลงไปในกระป๋องอลูมิเนียมโดยอุณหภูมิของระบบลดลงในลักษณะทันทีทันใดในระดับ 8 - 10 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบเช่นนี้ เนื่องด้วยคุณสมบัติในการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนของระบบซึ่งเป็นไปตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน

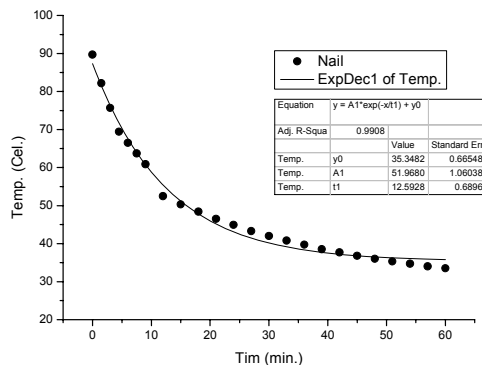


2. ผลการเฝ้าตัวของระบบก่อนและหลังใส่วัตถุ (เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม)

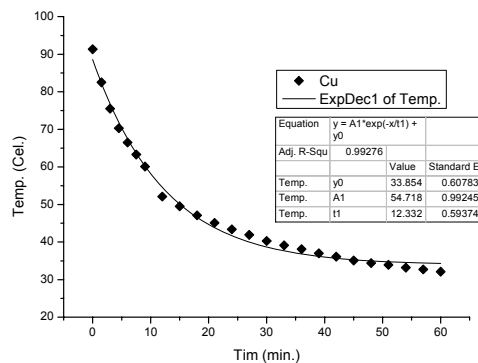
เมื่อนำเอาผลการเฝ้าตัวของระบบก่อนและหลังใส่วัตถุคือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียมมาเขียนกราฟโดยให้อุณหภูมิ หน่วยเป็นองศาเซลเซียสเป็นแกนตั้ง (Temp. (Cel.)) และเวลาที่เปลี่ยนไปหน่วยเป็นนาที (Time (min.)) อยู่ในแนวแกนนอน ผลที่ได้แสดงได้ดังภาพที่ 3



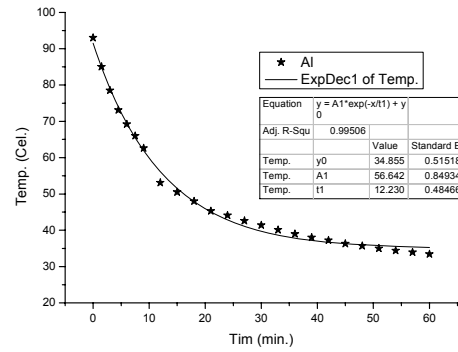
(ก)



(ข)



(ค)



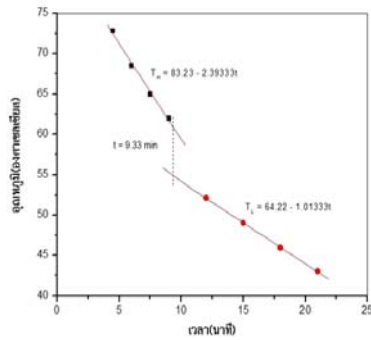
(ง)

ภาพที่ 3 กราฟแสดงการเฝ้าตัวของระบบก่อนและหลังใส่ตัวอย่าง (ก) เหล็ก (ข) ตะปู (ค) ทองแดง และ (ง) อลูมิเนียม

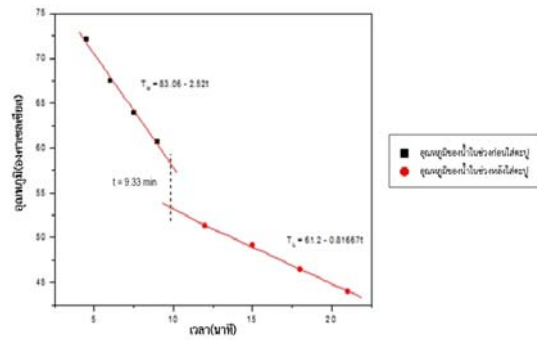
จากกราฟแสดงการเฝ้าตัวของระบบก่อนและหลังใส่ตัวอย่างคือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม ผลการทดลองที่ได้พบว่ามีค่าของอุณหภูมิที่ลดลงเทียบกับเวลาจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ทุกตัวอย่างที่ศึกษา ผลการเปลี่ยนแปลงของระบบเป็นไปตามสมการทั่วไปคือ $y = A_1 \cdot \exp(-x/t_1) + y_0$ โดยค่าคงที่ A_1 , t_1 และ y_0 มีค่าที่แตกต่างกันตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลของแต่ละตัวอย่างที่ศึกษา การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบเช่นนี้เนื่องด้วยคุณสมบัติในการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนของระบบ ส่งผลให้อุณหภูมิของระบบที่ศึกษาแตกต่างจากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม การส่งถ่ายความร้อนของวัตถุจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม การลดลงของอุณหภูมิจึงอยู่ในลักษณะเอกซ์โพเนนเชียลเมื่อเวลาเปลี่ยนไป เป็นไปตามหลักการกฎการเฝ้าตัวของนิวตัน

3. ผลการเปลี่ยนแปลงของระบบในช่วง 4 จุดสุดท้าย ก่อนใส่ของแข็งและ 4 จุดแรกหลังใส่ของแข็ง

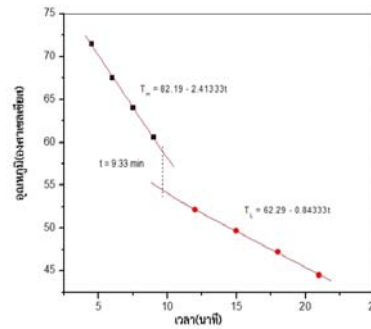
การเฝ้าตัวของระบบทั้งก่อนและหลังการใส่ของแข็งคือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม ตามผลการทดลองที่นำเสนอแล้วในหัวข้อที่ผ่านมาหากนำเอาอุณหภูมิที่แสดงถึงการเฝ้าตัวของระบบมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบของกราฟโดยให้แกนตั้งแทนอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และแกนนอนแทนเวลา (นาที) โดยเลือกข้อมูลที่จะนำมาสร้างกราฟเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 คืออุณหภูมิของระบบในช่วงเวลาที่ 4.5-9.0 (4 จุดสุดท้ายของช่วงก่อนใส่ของแข็ง) และช่วงที่ 2 คือ อุณหภูมิของระบบในช่วงเวลาที่ 12.0-21.0 (4 จุดแรกของช่วงหลังใส่ของแข็ง) สามารถแสดงผลการเปลี่ยนแปลงทั้งสองช่วงของแต่ละตัวอย่างดังภาพที่ 4



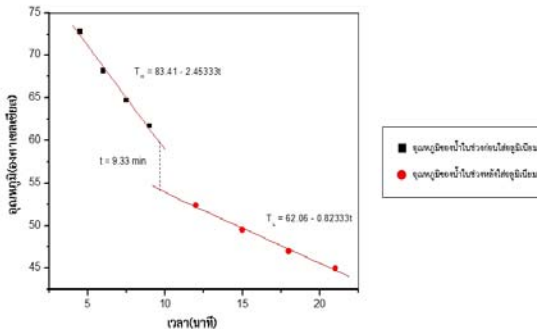
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4 กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำในช่วงก่อน-หลังใส่ของแข็ง (ก) เหล็ก (ข) ตะปู (ค) ทองแดง และ (ง) อลูมิเนียม

จากภาพที่ 4 พบว่า ได้รายละเอียดของกราฟแสดงการเย็นตัวของระบบ 2 เส้น (ก่อนและหลังใส่ตัวอย่าง) ในแต่ละช่วงให้กราฟเป็นแบบเส้นตรงที่แสดงสมการกำกับของเส้นตรงในแต่ละช่วง ในช่วงที่ 1 คือในขณะที่กระป๋องอลูมิเนียม (มวล m_{can}) และน้ำ (มวล m_w) มีอุณหภูมิที่เท่ากันซึ่งเท่ากับ T_H ที่เวลาที่ 9.33 นาที ($T = 9.33 \text{ min}$) ของแข็งที่ต้องการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะคือเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม (มวล m_x) ที่อุณหภูมิห้อง T_{RT} ถูกใส่เข้าไปในระบบ ในการทดลองนี้ถือว่าความร้อนภายในมีการถ่ายเททันทีโดยอุณหภูมิของระบบมีค่า T_L ซึ่งพบว่าลดลงจาก T_H อย่างรวดเร็วมาก ความร้อนที่ระบบที่ประกอบไปด้วยกระป๋องอลูมิเนียมและน้ำปล่อยออกมาเท่ากับ ความร้อนที่ขึ้นตัวอย่างเล็กๆ (เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม) ที่ใส่ลงไป

โดยภาพรวมพบว่า ความชันของกราฟในช่วงที่ 1 T_H มีค่ามากกว่าความชันของกราฟในช่วงที่ 2 T_L ข้อมูลของสมการเส้นตรงในแต่ละช่วงของแต่ละตัวอย่างสามารถนำมาหาค่าความชันและจุดตัดแกนตั้งของกราฟได้ เพื่อที่จะนำมาคำนวณหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็งชนิดนั้นๆ ในขั้นตอนต่อไป

4. ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็ง (เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม)

ในการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม จากการทดลองโดยการแทนค่าตัวแปรต่างๆ ในหัวข้อที่ผ่านมาลงในสมการ (1)

$$C_x = \frac{m_w c_w (T_H - T_L) + m_{can} c_{can} (T_H - T_L)}{m_x (T_L - T_{RT})} \quad (1)$$

โดยกำหนดสัญลักษณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ดังนี้

C_x	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของตัวอย่างที่ต้องการหา
c_w	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ
m_x	คือ มวลของตัวอย่างที่ต้องการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ
m_{can}	คือ มวลกระป๋องอลูมิเนียม
T_{RT}	คือ อุณหภูมิห้อง
T_H	คือ อุณหภูมิของระบบก่อนใส่โลหะ
T_L	คือ อุณหภูมิของระบบหลังใส่โลหะ
$T_L - T_{RT}$	คือ อุณหภูมิของระบบหลังจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนเมื่อใส่โลหะ
$T_H - T_L$	คือ อุณหภูมิของระบบที่ลดลงโดยพิจารณาเฉพาะพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้โลหะ

สามารถทำให้ได้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 3



ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม

ชนิดของ ของแข็ง	T_H ($^{\circ}C$)	T_L ($^{\circ}C$)	$T_H - T_L$ ($^{\circ}C$)	$T_L - T_{RT}$ ($^{\circ}C$)	ค่าความจุความร้อน จำเพาะ ($J/kg.^{\circ}C$)	ค่าความคลาด เคลื่อน (%)*
เหล็ก	61.075	54.871	6.204	29.871	446.20	0.402
ตะปู	60.257	54.181	6.076	29.181	447.32	0.152
ทองแดง	59.236	54.043	5.193	29.043	388.57	0.406
อลูมิเนียม	61.757	55.415	6.342	30.415	895.93	0.452

หมายเหตุ * ค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าความจุความร้อนมาตรฐานของของแข็งแต่ละชนิด

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่าความจุความร้อนจำเพาะของ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม ที่นำมาศึกษา มีค่าเท่ากับ 446.20 447.32 388.57 และ 895.93 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐานของเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าความจุความร้อนมาตรฐานในอัตรา 0.402 % 0.152 % 0.406 % และ 0.452 % ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองและข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ วิเคราะห์กราฟ วิเคราะห์หาคำนวณค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ได้ พบว่า การวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยสามารถสรุปผลการวิจัยตามรายละเอียดได้ดังนี้

1. สามารถออกแบบการทดลองในการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของตัวอย่างที่มีสถานะเป็นของแข็งคือ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม ด้วยวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก แทนการใช้แคลอรีมิเตอร์ได้โดยนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ในโรงเรียนและมหาวิทยาลัยที่ขาดแคลนอุปกรณ์การทดลองได้

2. จากการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เหล็ก ตะปู ทองแดงและอลูมิเนียมโดยการประยุกต์ใช้กฎการเย็นตัวของนิวตัน พบว่า ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ 446.20 $J/Kg.^{\circ}C$ 447.32 $J/Kg.^{\circ}C$ 388.57 $J/Kg.^{\circ}C$ และ 895.93 $J/Kg.^{\circ}C$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐานของเหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม มีค่าความคลาดเคลื่อนในอัตรา 0.402% 0.152% 0.406% และ 0.452 % ตามลำดับ

3. จากผลเปรียบเทียบค่าความจุความร้อนจำเพาะของ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียม ที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้กับค่าความจุความร้อนจำเพาะของ เหล็ก ตะปู ทองแดง และอลูมิเนียมที่เป็นค่ามาตรฐาน (Halliday, Resnick and Walker, 1997 : 462) พบว่า มีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก (< 1%) สำหรับทุกตัวอย่างที่ศึกษา จึงกล่าวได้ว่าเป็นผลการทดลองวิจัยที่หาค่าความจุความร้อนจำเพาะของของแข็งแทนการใช้แคลอรีมิเตอร์ได้

จากกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) กล่าวว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัตถุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิของวัตถุกับสิ่งแวดล้อม ถ้าผลต่างของอุณหภูมิมิค่าไม่มากนักจะเป็นไปตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Incropera & DeWitt, 2007 : 493) โดยค่าของอุณหภูมิที่ลดลงเทียบกับเวลาจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (O'Connell, 1999 : 551) ดังนั้นผลการทดลองครั้งนี้เป็นไปตามหลักการของกฎการเย็นตัวของนิวตันคืออุณหภูมิที่ลดลงเทียบกับเวลาจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียลทุกตัวอย่างที่ศึกษา

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของการวิจัยครั้งนี้กับผลการวิจัยของ Silva และคนอื่นๆ (Silva and other, 2004 : 514-517) พบว่า ในการวิจัยครั้งนี้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอลูมิเนียมมีค่าเท่ากับ 895.93 $J/Kg.^{\circ}C$ โดยคลาดเคลื่อนจากค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐาน 0.452% ส่วนการทดลองของ Silva และคนอื่นๆ (Silva and other, 2004 : 514-517) ได้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอลูมิเนียมเท่ากับ 877 $J/Kg.^{\circ}C$ มีค่าความแตกต่างจากค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐาน 2.256% สามารถสรุปผลการศึกษาดังตารางที่ 4



ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการวิจัยกับค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สสาร	ค่าความจุความร้อนจำเพาะมาตรฐาน (Halliday, Resnick and Walker, 1997: 462) $J / Kg.^{\circ}C$	Silva และคนอื่น ๆ (Silva and other, 2004: 517) $J / Kg.^{\circ}C$	ผลการวิจัย ปัจจุบัน $J / Kg.^{\circ}C$
อลูมิเนียม	900	877 [2.256%]*	895.93 [0.452%]*
ทองแดง	387	-	388.57 [0.406%]*
เหล็ก	448	-	446.20 [0.402%]*
ตะปู	448	-	447.32 [0.152%]*

หมายเหตุ * ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน

จากตารางเปรียบเทียบผลการทดลองจึงสามารถกล่าวได้ว่าการออกแบบการหาค่าความจุความร้อนจะเพาะอย่างง่ายโดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก แทนการใช้แคลอรีมิเตอร์ และประยุกต์ใช้กฎการเย็นตัวของนิวตัน ให้ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแล้วได้ผลอย่างยอดเยี่ยมทุกตัวอย่างที่ศึกษามีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานน้อยมาก (น้อยกว่าร้อยละ 1) และให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับผลการทดลองของ Silva และคนอื่นๆ (Silva and other, 2004 : 514-517)

ข้อเสนอแนะ

จุดที่มีความสำคัญของการทดลองคือ สภาพสมดุลความร้อน จำเป็นที่จะต้องทันที่ทันใด ซึ่งการจะเป็นเช่นนี้ได้ ตัวอย่างที่นำมาศึกษาต้องมีสภาพนำไฟฟ้าได้ดี และต้องระมัดระวังในเรื่องเวลาในการทดลอง ทักษะของผู้ทำการทดลองในการใส่ตัวอย่างที่ศึกษาลงไปในน้ำก็มีความสำคัญอย่างยิ่ง หากเกิดค่าความคลาดเคลื่อนไปเพียง 2-3 วินาทีในการใส่ตัวอย่างลงไปในน้ำแล้วอาจส่งผลต่อผลการทดลองอย่างเป็นนัยสำคัญ นอกจากนี้แล้วการแยกชิ้นส่วนของตัวอย่างที่ทำการศึกษาเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอต่อการถ่ายเท ส่องผ่านความร้อนได้ง่ายก็มีความจำเป็นเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- ไพศักดิ์ ธรรมวิริยะ. (2550). **ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1** (เอกสารประกอบการสอน). มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- Cutnell, J.D. and Johnson, K.W. (2005). **Physics**. 6th ed.. USA : John Wiley & Sons, Inc.
- Halliday D., Resnick R. and Walker J. (1997). **Fundamentals of Physics**. 5th ed..New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Incropera, F.P, DeWitt, D.P, Bergman, T.L and Lavine, A.S. (2007). **Fundamental of heat and mass transfer**. 6th ed..USA : John Wiley & Sons, Inc.
- O'Connell, J. (1999). **Heating water : rate correction due to Newtonian cooling**. The Physics Teacher, vol. 37, p.551-552.
- O'Sullivan, C.T. (1990). **Newton's law of cooling : A critical assessment**. Am. J. Phys. 58, 956.
- Silva, W. P., Precker, J. W., Silva, D.D P S e. & Silva, C. D P S e. (2004). **A low-cost method for measuring the specific heat of aluminum**. Phys. Education, vol.39, No.6, p.514-517.