การประดิษฐ์อุปกรณ์ทดลองเพื่อพิสูจน์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

INVENTION OF APPARATUS TO PROVE THE FIRST LAW OF THERMODYNAMICS

จัดทำโดย

นายวีรเชษฐ์ จิตตาณิชย์

นางสาวสุชาดา แย้มพินิจ

วัน เดือน ปี 29 ก.ค. 2541

เลขทะเบียน 038096

เลขเรียกหนังสือ T 84116 1825ก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

038096

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประดิษฐ์อุปกรณ์ทดลองเพื่อพิสูจน์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

ผู้จัดทำ

1.นายวีรเชษฐ์ จิตตาณิชย์

2.นางสาวสุชาดา แย้มพินิจ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์อัครเดช สินธุภัค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประดิษฐ์อุปกรณ์ทดลองเพื่อพิสูจน์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

วีรเชษฐ์ จิตตาณิชย์
สุชาดา แย้มพินิจ
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อัครเดช สินธุภัค

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการดำเนินการประดิษฐ์อุปกรณ์ทดลองเพื่อพิสูจน์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ โดยจำลองการทดลองของจูล ให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานทางด้านวิชาเทอร์โมไดนามิกส์เกี่ยวกับกฎข้อที่หนึ่ง เนื่องจากวิชาเทอร์โมไดนามิกส์เป็นวิชาหนึ่งที่สร้างความสับสนกับผู้เรียนค่อนข้างมากอีกทั้งกฎข้อที่หนึ่งก็ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเพื่อนำเทอร์โมไดนามิกส์ไปประยุกต์ใช้งาน โดยในการสร้างอุปกรณ์ทดลองนี้ผู้จัดทำได้ใช้ Heater และ Moter เป็นอุปกรณ์ที่ป้อนงานให้แก่ของเหลว แล้วใช้ Thermocouple ในวัดค่า ΔT เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ของเหลวได้รับ ซึ่งในการสร้างอุปกรณ์ผู้จัดทำได้พยายามสร้างให้บริเวณภาชนะที่ใส่ของเหลวมีการถ่ายเทพลังงานให้แก่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยการหุ้มฉนวนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Invention of Apparatus To Prove The First Law of Thermodynamics.

WEERACHET JITTANIT

SUCHADA YAEMPINIT

Associate Professor AUKKARADET SINTUPUK

Abstract

This Thesis is about operation and invention of apparatus to prove the first law of thermodynamics,by modelling from Joule's experiment. This experiment is invented to be useful for education basic theory of thermodynamics about the first law. Due to thermodynamics is a subject which make moderate confusion for students and the first law of thermodynamics is important starting-point to develop taking thermodynamics to apply working. By invention of apparatus,doers took heater and moter to be equipments which supply work to liquid and use thermocouple to measure temperature difference for calculation to find heat energy that transfered to liquid. And invention of this apparatus , doers tried to make vicinity of liquid utensils have the little of energy transmission to environment by enveloping fiber glass around it.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทนำ	1
นิยามและมโนทัศน์เบื้องต้น	2
กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์	9
หลักการหาขนาดฉนวนความร้อน	20
รูปแบบการทดลองและอุปกรณ์การทดลอง	25
รูปถ่ายอุปกรณ์ต่างๆ	26
ผลการทดลอง	33
สรุปและวิจารณ์	51
Drawing	52
กิตติกรรมประกาศ	56
หนังสืออ้างอิง	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เทอร์โมไดนามิกส์เป็นวิชาพื้นฐาน ทางวิศวกรรมที่สำคัญอย่างยิ่งวิชาหนึ่ง ทั้งในแง่ที่ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจความเป็นไป หรือข้อจำกัดของกระบวนการ หรือปรากฏการณ์ธรรมชาติดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับพลังงาน และในแง่ที่เป็นรากฐานในการเรียนวิชาขั้นสูงหรือวิชาประยุกต์อื่น ๆ เช่น กลศาสตร์ของไหล การถ่ายเทความร้อน การผลิตกำลัง การทำความเย็น เป็นต้น

1.1 ปัญหาและความสำคัญของปัญหา

เทอร์โมไดนามิกส์เป็นวิชาหนึ่งที่สร้างความสับสน และก่อความวิตกกังวลแก่ผู้เรียนค่อนข้างมาก เนื่องจากวิชานี้มีลักษณะเนื้อหาครอบคลุมกว้างขวาง โดยมีกฎข้อที่หนึ่ง และกฎข้อที่สองเป็นแกนกลาง และเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเพื่อนำเทอร์โมไดนามิกส์ไปประยุกต์ใช้งาน การพัฒนาซึ่งต้องผ่านหลายขั้นตอนมักทำให้ผู้เรียนไม่สามารถเกาะกุมความสัมพันธ์ระหว่างจุดเริ่มต้นกับผลลัพธ์ของการพัฒนาได้มั่นคงและขาดความเข้าใจในเนื้อหาอย่างแท้จริง จึงไม่สามารถนำหลักการทางทฤษฎีไปประยุกต์แก้ปัญหาได้

ดังนั้นต้องมีการศึกษาที่มาของกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์อย่างแท้จริง เพื่อให้ทราบถึงวิธีการที่ได้มาซึ่งสมการในกฎข้อที่หนึ่ง ว่าเป็นจริงตามที่ได้ตั้งเป็นทฤษฎีไว้หรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์

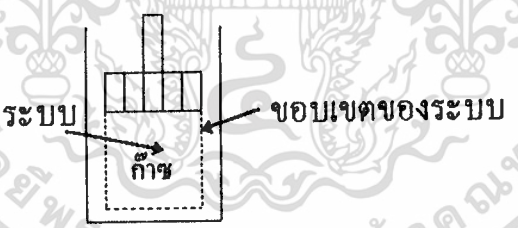
1. เพื่อศึกษาทฤษฎีกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์
2. เพื่อพิสูจน์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์โดยจัดทำชุดอุปกรณ์การทดลองขึ้นมา
3. เพื่อประโยชน์ในการศึกษาพื้นฐานทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์เกี่ยวกับกฎข้อที่หนึ่งของนักศึกษารุ่นต่อ ๆ ไป
4. เพื่อจำลองการทดลองของจูล ให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น และสามารถหาความสัมพันธ์ของกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
นิยามและมโนทัศน์เบื้องต้น

2.1 ระบบและปริมาตรควบคุม

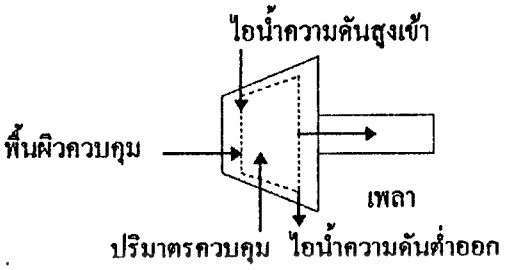
ระบบ หมายถึง มวลสารที่แน่นอนจำนวนหนึ่งซึ่งเรากำลังสนใจศึกษาอยู่ โดยมีผนังหรือขอบเขตของระบบห่อหุ้ม เพื่อแสดงมวลสารดังกล่าว ทุกสิ่งทุกอย่างที่อยู่ภายนอกขอบเขตของระบบเรียกว่า สิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเรากำลังสนใจศึกษาการเปลี่ยนแปลงของก๊าซภายในกระบอกสูบ จึงให้ก๊าซดังกล่าวเป็นระบบโดยมีเส้นประแสดงขอบเขตของระบบ ส่วนลูกสูบ กระบอกสูบ และอากาศโดยรอบ ถือเป็นสิ่งแวดล้อมไป ขอบเขตของระบบจะครอบคลุมมวลจำนวนเดิมตลอดเวลา กล่าวคือ ไม่ยอมให้มีมวลไหลผ่านขอบเขตหรือผนังของระบบ แต่ยอมให้งานกับความร้อนถ่ายเทผ่านเข้าออกระบบได้ ในบางแห่งจึงเรียกว่า ระบบปิด หรือมวลควบคุม (control mass) แทนคำว่า ระบบ



รูปที่ 2.1 ขอบเขตของระบบและสิ่งแวดล้อม

ปริมาตรควบคุม (control volume) หรือระบบเปิด อาจให้ความหมายอย่างง่าย ๆ ว่าก็คือ ระบบที่ยอมให้มีมวลไหลผ่านขอบเขตของระบบนั่นเอง หรืออีกนัยหนึ่ง ปริมาตรควบคุม คืออาณาบริเวณที่เรากำลังสนใจศึกษาโดยมีพื้นผิวควบคุม (control surface) กั้นแสดงอาณาบริเวณดังกล่าว สิ่งที่อยู่นอกพื้นผิวควบคุมจัดเป็นสิ่งแวดล้อม ทั้งมวล งาน และความร้อนล้วนสามารถถ่ายเทผ่านพื้นผิวควบคุมได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2 ปริมาตรควบคุม

2.2 กระบวนการและวัฏจักร

กระบวนการ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของระบบจากสภาวะหนึ่งไปสู่สภาวะหนึ่ง โดยทั่วไปเราจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และระบบเข้าใกล้สมดุลเทอร์โมไดนามิกส์ในขณะเกิดการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะดังกล่าวเรียกว่า กระบวนการอุปสมดุล (Quasiequilibrium process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เราสามารถหาคุณสมบัติของระบบในขณะกำลังเปลี่ยนแปลงได้ จึงสามารถระบุเส้นทางการเปลี่ยนแปลงที่แน่นอนได้

สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เรียกว่า กระบวนการสมดุล (nonequilibrium process) ซึ่งไม่สามารถหาเส้นทางการเปลี่ยนแปลงที่แน่นอนได้ กำหนดได้แต่เพียงสภาวะเริ่มต้นกับสภาวะสุดท้ายของกระบวนการและผลลัพธ์ของกระบวนการเท่านั้น

เมื่อระบบผ่านการเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการต่าง ๆ จนในที่สุดมีสภาวะเหมือนกับสภาวะเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่งเรียกระบบผ่านการเปลี่ยนแปลงครบวัฏจักร

2.3 กฎข้อศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์ และอุณหภูมิ

กฎข้อศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์มีสาระสำคัญคือ วัตถุ (ระบบ) สองชิ้นซึ่งต่างก็มีความสมดุลทางความร้อนกับวัตถุ(ระบบ) ชิ้นที่สาม วัตถุ (ระบบ) ทั้งสองจะมีความสมดุลทางความร้อนต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของระบบซึ่งใช้วินิจฉัยเกี่ยวกับความสมดุลทางความร้อน ระบบที่มีความสมดุลทางความร้อนต่อกันจะมีอุณหภูมิเท่ากัน หรือกล่าวในทางกลับกัน บรรดาระบบที่มีอุณหภูมิเท่ากันจะมีความสมดุลทางความร้อนต่อกัน และระบบที่มีความสมดุลทางความร้อนภายในตัวเองจะมีอุณหภูมิเท่ากันตลอดทุกจุดภายในระบบนั้น

2.4 มาตราวัดอุณหภูมิ

มาตราเคลวิน ใช้ตัวย่อ K (ไม่มีเครื่องหมายองศา) เป็นมาตราวัดอุณหภูมิสัมบูรณ์หรืออุณหภูมิเทอร์โมไดนามิกส์มาตรานี้ใช้จุดคงที่มาตราฐานเพียงจุดเดียวคือ จุดไตรภาคของน้ำบริสุทธิ์ทั้งสามสถานะ(ของแข็ง ของเหลวและไอ) อยู่ด้วยกันอย่างสมดุล โดยกำหนดให้จุดไตรภาคของน้ำมีอุณหภูมิเท่ากับ 273.16 K เมื่อใช้จุดคงที่ดังกล่าวเป็นจุดอ้างอิงแล้วทำการทดลองเพื่อวัดค่าอุณหภูมิที่จุดอื่น ปรากฏว่าได้อุณหภูมิของจุดเยือกแข็งของน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศเท่ากับ 273.15 K และได้อุณหภูมิเดือดของน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศเท่ากับ 373.15 K

มาตราเซลเซียส ใช้ตัวย่อ $^{\circ}C$ แต่เดิมมาตราเซลเซียสใช้จุดคงที่สองจุด คือจุดเยือกแข็งของน้ำที่ความดันหนึ่งบรรยากาศให้มีค่า $0^{\circ}C$ และจุดเดือดของน้ำที่ความดันบรรยากาศให้มีค่า $100^{\circ}C$ ปัจจุบันมาตราเซลเซียสนิยามโดยผูกพันกับมาตราเคลวินด้วยสมการ

$$^{\circ}C = K - 273.15 \qquad (2.1)$$

นั่นคือ มาตราเซลเซียสมีค่าน้อยกว่ามาตราเคลวินด้วยตัวคงที่คือ 273.15 แต่มีช่วงอุณหภูมิเท่ากัน ดังนั้นตามข้อกำหนดใหม่นี้ ค่านิยามของมาตราเซลเซียส ก็คือที่จุดไตรภาคของน้ำซึ่งเท่ากับ $0.01^{\circ}C$ และจากค่าที่ได้จากการทดลอง ของมาตราเคลวินณ จุดเยือกแข็งและจุดเดือดที่ให้ไว้ข้างบน เราจึงได้ค่าที่จุดเยือกแข็งและจุดเดือดตามมาตราเซลเซียสเท่ากับ $0.00^{\circ}C$ และ $100.00^{\circ}C$ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ขอบเขตหรือผนังส่งผ่านความร้อนและผนังกันความร้อน

(Diather Boundary and Adiabatic Boundary)

ผนังส่งผ่านความร้อน เป็นผนังที่ยอมให้ความร้อนถ่ายเทผ่านได้สะดวก ดังนั้นระบบที่ถูกห่อหุ้มด้วยผนังส่งผ่านความร้อนจะเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สภาพสมดุลทางความร้อนกับสิ่งแวดล้อมเสมอ ในทางตรงกันข้ามผนังกันความร้อนเป็นผนังที่กีดขวางการถ่ายเทความร้อนและในทางอุดมคติเราถือว่าเป็นผนังที่ไม่ยอมให้ความร้อนถ่ายเทผ่านเลย ดังนั้นระบบที่ไม่มีความร้อนกับสิ่งแวดล้อมเมื่อถูกห่อหุ้มด้วยผนังชนิดนี้ จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เกิดความสมดุลทางความร้อนกับสิ่งแวดล้อม

ระบบที่ถูกห่อหุ้มด้วยผนังกันความร้อนและไม่มีการทำงานผ่านขอบเขตของระบบ เราเรียกว่า ระบบเอกเทศ (Isolated system)

2.6 แหล่งความร้อน

แหล่งความร้อน เป็นระบบที่มีมวลใหญ่มากจนกระทั่งการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หรือออกจากแหล่งความร้อนมีผลทำให้อุณหภูมิของมันเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก จึงถือได้ว่าแหล่งความร้อนมีอุณหภูมิคงที่ในขณะมีการถ่ายเทความร้อน ตัวอย่างของแหล่งความร้อนได้แก่ บรรยากาศ ทะเล มหาสมุทร แม่น้ำ เป็นต้น

แหล่งความร้อนแบ่งออกเป็นสองชนิดคือ แหล่งจ่ายความร้อน ซึ่งหมายถึง แหล่งความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนออกจากตัวเอง เพื่อจ่ายให้ระบบอื่น และแหล่งรับความร้อน ซึ่งหมายถึง แหล่งความร้อนที่รับความร้อนที่ถ่ายเทออกจากระบบอื่น

2.7 ความร้อนจำเพาะ (Specific heat)

สารต่างชนิดกัน ปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลจำนวนหนึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่ง จะมีค่าต่างกัน อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ให้แก่วัตถุกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า ความจุความร้อน (Heat capacity) ของวัตถุนั้น ๆ

ถ้าให้ C เป็นความจุความร้อน

ดังนั้น C = ความจุความร้อน $= Q / \Delta t$ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำว่า ความจุ อาจทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นปริมาณความร้อนที่วัตถุจุได้ แต่ความจริงความจุความร้อนหมายถึง ปริมาณความร้อนที่เข้าไปต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ความจุความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของวัตถุเรียกว่า ความร้อนจำเพาะ ถ้าให้ c เป็นความร้อนจำเพาะ ดังนั้น

$$c = \text{ความจุความร้อน / มวล} = C / m$$

$$c = Q / (m)\,(\Delta t) \qquad (2.3)$$

นั่นคือความร้อนจำเพาะของสารใด ๆ คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารหนึ่งหน่วยของมวล มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงหนึ่งองศา ความร้อนจำเพาะมีหน่วยเป็นจูล / กิโลกรัม - อาศาเคลวิน (J / kg.K) หรือ กิโลจูล / กิโลกรัม . องศาเคลวิน (kJ / kg.K) จากสมการ (2.3) เขียนได้เป็น

$$\Delta Q \text{ หรือ } Q_{12} = (m)\,(c)\,(\Delta t)$$

$$= (m)\,(c)\,(T_2 - T_1) \qquad (2.4)$$

เมื่อ ΔQ หรือ Q_{12} คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท

c คือ ความร้อนจำเพาะ

m คือ มวล

$\Delta t = T_2 - T_1$ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลง

ความร้อนจำเพาะของวัตถุใดมีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิที่ใช้ เช่น ความร้อนจำเพาะ ของน้ำที่ความดันบรรยากาศจะค่อย ๆ ลดลงในช่วง 0 ถึง 35 องศาเซลเซียส และมีค่าต่ำสุดประมาณ 35 องศาเซลเซียส แล้วจะค่อย ๆ สูงขึ้นอีก ดังนั้นค่าความร้อนจำเพาะในสมการที่ (2.3) จึงเป็นค่าประมาณในช่วงอุณหภูมิ Δt ความร้อนจำเพาะของวัตถุที่อุณหภูมิใด ๆ กำหนดจาก

$$c = dQ / (m)\,(dT) \qquad (2.5)$$

ดังนั้นความร้อนที่ต้องให้แก่วัตถุมวล (m) ,ความร้อนจำเพาะ (c) เพื่อจะเพิ่มอุณหภูมิจาก T_1 เป็น T_2 คือ

$$\Delta Q \text{ หรือ } Q_{12} = m \int_1 (c)\,(dT) \qquad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เป็นการเปลี่ยนแปลงสภาวะของของแข็งหรือของเหลวเช่นการรับหรือการคายความร้อนที่ความดันคงที่ ค่าความร้อนจำเพาะที่ใช้ในกรณีนี้เรียกว่า ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (specific heat at constant pressure) ใช้สัญลักษณ์ c_p ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเมื่อความดันคงที่หาได้จาก

$$Q_{12} = (m)\,(c_p)\,(T_2 - T_1)$$

หรือ
$$dQ = (m)\,(c_p)\,(dT) \qquad (2.7)$$

ความจุความร้อนของเหลว มักมีค่ามากกว่าของของแข็งหรือไอ ความจุความร้อนของเหลวเพิ่มกับการเพิ่มอุณหภูมิ ความดันมีผลปานกลาง ตาราง แสดงค่าความจุความร้อนของเหลว สำหรับความจุความร้อน ของของผสมคำนวณได้จากการเฉลี่ยโดยน้ำหนักของความจุความร้อนของเหลวองค์ประกอบบริสุทธิ์ ความจุความร้อนของสารละลายมีค่าลดลงกับการเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (solute) อย่างไรก็ตาม เรานิยามใช้ข้อมูลการทดลองมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ความจุความร้อนของเหลว c_p ,(กิโลจูล / (กิโลโมล.เคลวิน) , T = เคลวิน

Liquid	c_p	T	c_p	T
Dichlorodifluoromethane	97.68	160	148.6	370
Carbon tetrachloride	124.2	233	260.3	450
Chloroform	107.8	210	134.2	450
Methyl Chloride	74.55	177	93.34	360
Methanol	70.45	175	127.9	425
Acetic acid	123.0	293		
Acetone	116.7	193	129.8	320
Isopropyl alcohol	109.9	185	277.9	400
1,2 - Propylene glycol	153.0	213	298.5	540
Glycerol	215.4	291	341.0	540
n-Butane	112.9	134	184.9	380
Diethyl ether	145.5	157	180.4	330
n-Pentane	140.8	149	169.2	303
Cyclohexane	148.1	279	203.2	400
Benzene	132.1	279	176.4	440
n- Hexane	169.4	178	226.2	366
n- Octane	232.5	216	297.8	390
Biphenyl	229.0	303	410.1	623
n- Hexadecane	498.4	291	527.1	335
Nitric acid	111.9	238	109.7	320
Water	76.14	273	78.41	400
Sulfuric acid	139.1	298	177.5	1500
Ammonia	75.96	195	116.9	373
Phosphoric acid	168.2	375	371.5	1050
Sulfur dioxide	84.29	253	152.6	413
Sulfur trioxide	258.1	303		

* ความจุความร้อนของเหลวให้ไว้ที่ความดัน 1 บรรยากาศ และต่ำกว่าจุดเดือด และที่ความดันอิ่มตัวเมื่อสูงกว่าจุดเดือดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

การทำปฏิกิริยาร่วมกันของความร้อน มีประโยชน์ระหว่างระบบที่เป็นกระบวนการสำคัญ ในต้นกำลังในลักษณะหลายรูปแบบ อย่างเช่น เครื่องจักรพลังไอน้ำ ถ้าไม่มีหม้อต้มน้ำ ที่นำน้ำไปให้ความร้อนโดยสสารที่ร้อนกว่าก็จะไม่มีไอน้ำ และทำให้เครื่องจักรไม่ทำงาน ฉะนั้นงานที่ผลิตได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขการถ่ายเทความร้อนไปสู่ไอน้ำ ตัวอย่างนี้มีความสำคัญมากในทางเศรษฐกิจ เพราะเชื้อเพลิงมีราคาแพง และแหล่งจ่ายพลังงานมีจำกัด แต่ความต้องการพลังงานยังมีเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นเราจำเป็นต้องทำให้มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ "วัตถุดิบ" และ "ผลผลิต" ที่ได้ ของเครื่องจักร เช่น ระหว่างความร้อน(Heat) และงาน(Work) ความสัมพันธ์กันอย่างหนึ่ง ถูกแนะนำโดยการทดลอง cannon-boring ของ Rumford ซึ่งความร้อนถูกนำกลับงานถูกทำอย่างต่อเนื่องบน boring-tool และ cannon ขณะที่ความร้อนถูกถ่ายเทอย่างต่อเนื่องไปสู่น้ำเย็น ในระหว่างนั้น cannon และ boring-tool ยังไม่เปลี่ยนแปลงนี้คือกรณีหนึ่งของงานที่ถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นความร้อน

อัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างความร้อนและงาน แสดงในรูปค่าคงที่ และสัญลักษณ์ความจริงจะแสดงโดยกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ในรูปสูตรสำเร็จและอธิบายกฎนี้ โดยใช้หลักกระบวนการที่เกิดขึ้น(วัฏจักร) และ พลังงาน เป็นอันดับแรก และจะครอบคลุมถึงความหมายโดยใช้คุณสมบัติ

<u>สัญลักษณ์</u>

E	พลังงานของระบบ
c	ความร้อนจำเพาะของระบบ
J	ความร้อนสมดุลเชิงกล
Q	ความร้อนที่ถ่ายเทให้ระบบ
W	งานที่ทำโดยระบบ
Δ	การเพิ่มขึ้น (ค่าสุดท้าย-ค่าเริ่มต้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\sum_{cycle}$ ผลรวมเชิงพีชคณิต 1 รอบ (วัฏจักร)

$\int$ การอินทิเกรต(รวม) 1 วัฏจักร

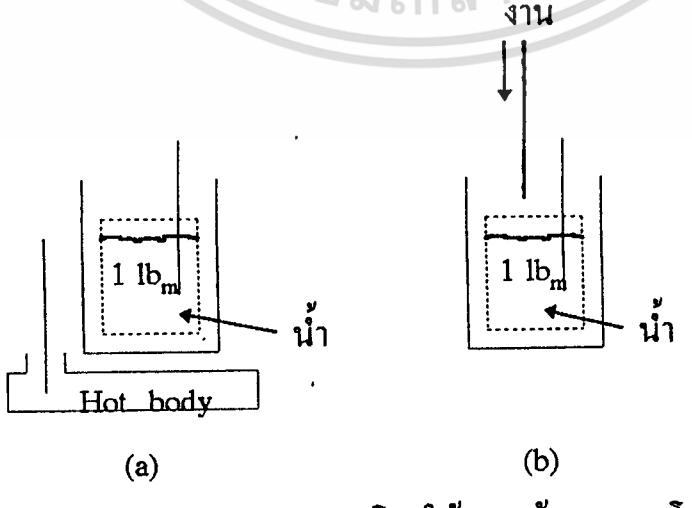
1,2 สภาวะเริ่มต้นและสภาวะสุดท้ายของระบบ

อัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างความร้อนและงาน

ช่วงระหว่างปี 1840 และ 1849 ได้มีการค้นพบความสัมพันธ์ทางตรรกวิทยาระหว่างความร้อนและงาน จากการทดลองของ J.P. Joule ซึ่งเรียกสิ่งที่ค้นพบว่า "กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์" การทดลองของเขามี 2 รูปแบบดังที่จะอธิบายต่อไปนี้

เครื่องแสดงการทดลองสำหรับการสมมูลกันของความร้อนและงาน

การทดลองนี้ใช้ปริมาณความร้อนและงานที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเท่ากัน เราได้เห็นแล้วว่า การทำปฏิกิริยาทางความร้อนสามารถนำมาซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นในระบบหนึ่ง ๆ ตัวอย่างเช่น การถ่ายเทความร้อน 1 Btu จะทำให้น้ำ 1 ปอนด์อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 60 °F เป็น 61°F (ดังรูป 3.1 a) และแน่นอนการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่คล้ายคลึงกัน สามารถเกิดขึ้นโดยปราศจากการถ่ายเทความร้อน ตัวอย่างเช่น เพลาอันหนึ่งติดใบพัดอยู่ซึ่งใบพัดยื่นอยู่ในน้ำการหมุนอย่างต่อเนื่องของมันจะมีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทั้ง ๆ ที่ภาชนะถูกหุ้มด้วยฉนวนทางความร้อนเป็นอย่างดี



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงการทดลอง (a) โดยให้ความร้อน (b) โดยให้พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.1 b แสดงถึงกรณีนี้ซึ่ง สามารถเข้าใจว่าถึงแม้ไม่มีการถ่ายทำปฏิกิริยาความร้อนเกิดขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบ(ของน้ำ) เกิดขึ้นโดยงานจากการกวนของใบพัด

ดังนั้นจะพบว่าทั้งความร้อนและงานสามารถนำมาซึ่งผลลัพธ์ซึ่งเท่ากันได้ การวัดค่าต่าง ๆ ที่ได้มาจากกรณีทั้งสองเป็นข้อมูลที่น่าสนใจ จูลได้ทำการทดลองหลายครั้งกับหลายระบบและแหล่งจ่ายพลังงานรูปแบบต่างๆ เขาพบว่า "ภายใต้ข้อจำกัดความถูกต้องของการทดลอง ปริมาณงานที่ต้องการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์หนึ่งหารด้วยปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เดียวกันนั้น มีค่าเท่ากับค่าคงที่ค่าหนึ่ง "

เราเขียนผลจากการทดลองนี้ในรูปสัญลักษณ์ได้ดังนี้

$$\frac{W}{Q} = \text{a constant} \qquad (3.1)$$

ซึ่ง W และ Q คือ ปริมาณงาน และ ปริมาณความร้อนซึ่งมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบเหมือนกัน

ค่าคงที่ในสมการนี้ เรียกว่า "ค่าคงที่ของจูล" หรือ " The Mechanical Equivalent of Heat " แต่ในระบบอังกฤษความร้อนมีหน่วยเป็น (Btu) และ งานมีหน่วยเป็น ฟุต-ปอนด์ (ft . lbf) ซึ่งเปลี่ยนหน่วยได้เหมือนกันโดยใช้ค่าคงที่ของจูลดังนี้

$$J = 778.170 \text{ ft.lbf / Btu}$$

<u>การทดลองโดยรวมกระบวนการทั้งวัฏจักรวงปิด</u>

ในการทดลองที่เพิ่งกล่าวผ่านมาสภาวะเริ่มต้นและสภาวะสุดท้ายของระบบจะแตกต่างกัน การทดลองเหล่านี้เราจะรู้เกี่ยวกับความร้อนและงาน ซึ่งเพียงพอที่จะเป็นพื้นฐานสำหรับกฎข้อที่หนึ่ง สำหรับสมการของกฎข้อที่หนึ่ง ซึ่งทำการพัฒนาสมการเป็นรูปแบบต่อ ๆ มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามจากการพิจารณาการทดลองชนิดที่สอง ซึ่งทดลองโดยจูลเช่นเดียวกัน ซึ่งความร้อนและงานสามารถนำมาจำลองอีก เพื่อทำความคิดนี้ให้ถูกต้องแน่นอน คำจำกัดความใหม่ที่ต้องการคือ

เมื่อระบบผ่านการเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการต่าง ๆ จนในที่สุดมีสภาวะเหมือนกับสภาวะเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง เรียกว่า ระบบผ่านการเปลี่ยนแปลงครบวัฏจักร

พิจารณารูป 3.1 อีกครั้ง ซึ่งเป็นตัวอย่างของวัฏจักร และ การทดลองรูปแบบที่สองของจูล พิจารณารูป 3.1 b ก่อนจะพบว่ากระบวนการจากการหมุนของเพลามีผลให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น แล้วเมื่อเราหยุดการหมุน และนำภาชนะที่บรรจุน้ำไปสัมผัสกับวัตถุอีกอันหนึ่ง ดังแสดงในรูป 3.1 a เวลานั้นวัตถุที่ถูกเลือกใช้จะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าน้ำ ดังนั้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากน้ำซึ่งมีผลทำให้น้ำมีอุณหภูมิลดลง ในไม่ช้าอุณหภูมิของน้ำก็จะลดลงไปถึงค่าก่อนที่เพลาจะหมุนแล้วน้ำก็จะอยู่ในสภาวะเหมือนกันกับสภาวะเริ่มต้นของกระบวนการ สิ่งนี้อาจจะถูกทดสอบโดยการวัดค่าคุณสมบัติทั้งหมดของน้ำที่สามารถวัดได้ใน สองกรณีนี้ การใส่งานเข้าไปและการทำให้เย็นน้ำเย็นลงถูกรวมเป็นรูปแบบของ วัฏจักร

การทดลองที่เป็นวัฏจักรได้ถูกทำขึ้นโดยจูลแตกต่างกันไปทั้งประเภทของระบบและของกระบวนการนั้น

ระบบอาจจะบรรจุของไหลที่แตกต่างกัน ; ปฏิกิริยาเคมีอาจเกิดขึ้น ; กลไกอาจถูกนำมารวมเข้าด้วยกัน ; การทำปฏิกิริยาของความร้อนและงานเกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบและต่างทิศทาง ; งานจากแรงเฉือน ; งานจากการเคลื่อนที่ ; และงานจากไฟฟ้า

ในการทดลองระบบที่เปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักรแต่ละอัน จะได้ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถเขียนในรูปสัญลักษณ์ได้

$$\sum_{\text{cycle}} W = J \sum_{\text{cycle}} Q \qquad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย J เรียกว่า "ค่าคงที่ของจูล" หรือ " The Mechanical Equivalent of Heat " มีค่าเท่ากับ 778.17 ft.lbf / Btu

$\sum_{cycle} W$ = คือผลรวมทางพีชคณิตของงานในวัฏจักร

$\sum_{cycle} Q$ = คือผลรวมทางพีชคณิตของความร้อนที่ส่งถ่าย

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

ถึงแม้ว่าจำนวนของระบบและกระบวนการซึ่งนำมาทดลองเพื่อเป็นหนทางที่จะอธิบายทฤษฎีนั้นไม่เป็นไปอย่างเด่นชัดทั้งหมด แต่จากการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าผลที่ออกมาจะมีรูปแบบซึ่งบ่งบอกว่าสมการ $\sum_{cycle} W = J \sum_{cycle} Q$

เป็นจริง ซึ่งเราเรียกสมการนี้ว่า กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ กล่าวว่า "เมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักร ผลรวมสุทธิของการทำงาน จะเป็นสัดส่วนกับผลรวมสุทธิของการถ่ายเทความร้อนในวัฏจักร"

จากสมการเดิมซึ่งแสดงกฎข้อที่หนึ่งในรูปสัญลักษณ์ เราสามารถประยุกต์ใช้กับกระบวนการซึ่งความร้อนและงานเกิดขึ้นในขั้นตอนที่จำกัด เมื่อการทำปฏิกิริยาเกิดขึ้น สืบต่อโดยขั้นตอนที่ไม่จำกัด สัญลักษณ์ผลรวมจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นอินทิกรัลจะได้ กฎข้อที่หนึ่งในรูปสัญลักษณ์แบบที่สองคือ

$$\int dW = J \int dQ$$

หรือ $$\int dW - J \int dQ = 0 \qquad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย dQ และ dW แสดงส่วนประกอบของความร้อนและงานที่เล็กนิดเดียวตามลำดับวง กลมที่ซ้อนทับกลับเครื่องหมายอินทิเกรต ($\oint$) เป็นเครื่องแสดงว่า เป็นการอินทิเกรตครบรอบวัฏจักร

หมายเหตุ ค่าที่ถูกต้องและมีค่าตรงกันกับ 778.17 ft.lbf / Btu คือ 1400.707 ft.lbf / Chu ; และ 4.1868 J / cal

การพิจารณาของกฎข้อที่หนึ่ง

ผลที่ตามมาจากกฎข้อที่หนึ่งซึ่งเกิดขึ้นทันที คือ โรงจักรกำลัง เชื่อมั่นได้ว่าการถ่ายเทความร้อนจาก ตัวอย่างปฏิกิริยาจากผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงไม่สามารถผลิตงานได้มากกว่า 778.17 ft.lbf สำหรับทุก ๆ 1 Btu ของความร้อนที่ส่งถ่ายขณะที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่จ่ายให้ภายใต้สภาวะจำเพาะ ซึ่งกำหนดให้มีความร้อนที่ส่งถ่ายให้กับสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนที่แน่นอนด้วยปริมาณที่สามารถรู้ค่าได้ ทำให้เราสามารถคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงต่ำสุดต่อหน่วยงานได้

อัตราของการแลกเปลี่ยนระหว่างความร้อน และงานสามารถแสดงด้วยหน่วยอื่น ๆ ได้ โดยความร้อนสามารถวัดในหน่วย ft.lbf หรือ จูล ขณะที่งานสามารถแสดงในหน่วย Btu หรือ Chu ในที่นี้ไม่ได้หมายความว่า ความร้อนและงาน เป็นสิ่งเดียวกัน

เมื่อปริมาณทั้งคู่ คือ ความร้อนและงานเกิดขึ้นจากการคำนวณเหมือนกัน มันจึงเป็นการสะดวกที่จะใช้หน่วยให้ตรงกัน ซึ่งหมายความว่า J สามารถถูกตัดทิ้งจากสมการกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์จะกลายเป็น

$$\oint dW = \oint dQ$$

หรือ $$\oint dW - \oint dQ = 0 \qquad (3.4)$$

ซึ่งหน่วยของ Q และ W จะอยู่ในรูป ft.lbf หรือไม่ก็ Btu หรือหน่วยอื่นที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดของ J มีการทำการทดลองเพื่อที่จะหาค่าที่ถูกต้องของ J และในปัจจุบันนี้ค่าของ J ที่ถูกต้อง และเป็นค่าคงที่ที่นำมาใช้ในการคำนวณถูกนิยามไว้ว่า

1 Btu ของความร้อน เท่ากับ 778.17 ft.lbf ของงาน

หน่วยของความร้อนและงาน ดังตาราง 3.1 และ 3.2 บรรจุแฟคเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงของหน่วยสามัญต่าง ๆ ของความร้อนและงานที่ถูกวัด

ตารางที่ 3.1 แฟคเตอร์สำหรับหน่วยของ ความร้อน ,งาน และพลังงาน

foot pound-force (ft lbf)	British thermal unit (Btu)	joule (J)	kilowatt hour (kWh)	horsepower hour (hph)
1 foot pound-force = 1 (ft lbf)	1.28507×10^{-3}	1.35582	3.76616×10^{-7}	5.05051×10^{-7}
1 British thermal unit = 778.170 (Btu)	1	1055.06	2.93071×10^{-4}	3.93015×10^{-4}
1 joule = 0.737562 (J)	9.47817×10^{-4}	1	2.77778×10^{-7}	3.72506×10^{-7}
1 kilowatt hour = 2.65522×10^{6} (kWh)	3412.14	3.6×10^{6}	1	1.34102
1 horsepower hour = 1.98×10^{6} (hph)	2544.43	2.68452×10^{6}	0.745700	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แฟคเตอร์สำหรับหน่วยของ ความร้อน , งาน และ พลังงาน

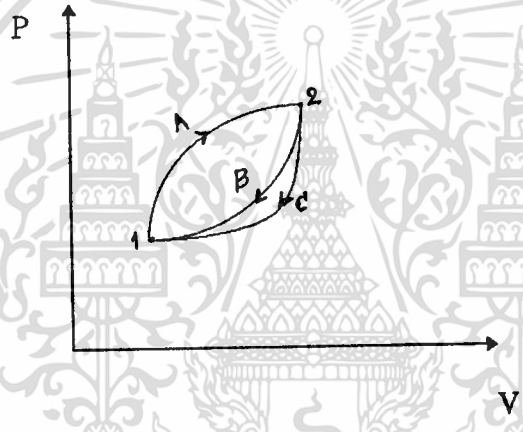
1 Joule	=	0.101972 metre kilogramme-force,m kgf
	=	9.86896×10^{-3} litre atmosphere
	=	2.388×10^{-4} kilocalorie,kcal
	=	23.7304 foot poundal, ft pdl
	=	1 newton metre, N m
	=	2.38920×10^{-7} thermie, th

ข้อสรุปสุดท้ายจากการสังเกตสมการ 3.2 และ 3.3 จะเกี่ยวข้องกับขอบเขตของการทำกับปฏิกิริยาซึ่งเกิดขึ้นเมื่อระบบดำเนินวัฏจักรหนึ่งๆ มันจะใช้ได้เมื่อ การทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมของมันนอกเหนือจากสิ่งต้องห้าม คือกระบวนการจะต้องเป็นวัฏจักร กระบวนการส่วนใหญ่ซึ่งเกี่ยวข้องกับเทอร์โมไดนามิกส์โดยมาจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ไม่เป็นวัฏจักร หนทางหนึ่งที่ต้องการใช้คือ การปรับปรุงสูตรของกฎข้อที่หนึ่ง เพื่อใช้กับกระบวนการที่ไม่เป็นวัฏจักร การปรับปรุงสูตรมีผลใช้ได้ที่ขอบเขตซึ่งเปลี่ยนแปลงภายในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับการเปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบ</u>

ปัญหาเป็นจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเป็นกระบวนการมากกว่าเป็นวัฏจักร ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการพัฒนาสมการ 3.2 ให้เป็นสมการของกฎข้อที่หนึ่งอีกรูปหนึ่งสำหรับใช้กับการเปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบ



รูปที่ 3.2 กระบวนการใด ๆ A,B และ C ระหว่างสภาวะ (1) กับสภาวะ (2)

ตามรูปที่ 3.2 A, B , และ C เป็นกระบวนการใด ๆ สามกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างสภาวะ (1) กับ (2) ของระบบ โดยมีทิศทางของกระบวนการตามลูกศรที่แสดงในรูป จะเห็นว่ากระบวนการ A และ C ประกอบกันขึ้นเป็นวัฏจักร AC ส่วนกระบวนการ B และ C ประกอบกันขึ้นเป็นวัฏจักร BC เมื่อนำสมการ

มาใช้กับ วัฏจักร AC และ วัฏจักร BC เราจะได้สมการดังต่อไปนี้

วัฏจักร AC :

$$\oint_{AC} dQ = \oint_{AC} dW$$

$$\int_{1A}^{2} dQ + \int_{2C}^{1} dQ = \int_{1A}^{2} dW + \int_{2C}^{1} dW \qquad (3.5)$$

วัฏจักร BC :

$$\oint_{BC} dQ = \oint_{BC} dW$$

$$\int_{1B}^{2} dQ + \int_{2C}^{1} dQ = \int_{1B}^{2} dW + \int_{2C}^{1} dW \qquad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลบสมการ (3.5) ด้วยสมการ (3.6) จะได้

$$\int_{1A}^{2} dQ - \int_{1B}^{2} dQ = \int_{1A}^{2} dW - \int_{1B}^{2} dW$$

หรือจัดรูปใหม่เป็น $$\int_{1A}^{2} (dQ - dW) = \int_{1B}^{2} (dQ - dW) \qquad (3.7)$$

เนื่องจากกระบวนการ A และ B เป็นกระบวนการใด ๆ ที่เชื่อมต่อระหว่างสภาวะ (1) และ (2) ดังกล่าวแล้ว ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปจากสมการ 3.7 ได้ว่า นิพจน์หรืออินทิกรัล $\int_{1}^{2} (dQ - dW)$ ระหว่างสภาวะคู่ใดคู่หนึ่งจะมีค่าเท่ากันสำหรับทุกกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างสภาวะคู่นั้น นั่นคือ $\int_{1}^{2} (dQ - dW)$ มีค่าขึ้นอยู่กับสภาวะเริ่มต้นกับสภาวะสุดท้ายเท่านั้น โดยไม่ขึ้นกับเส้นทางการเปลี่ยนแปลงระหว่างสภาวะทั้งสองแต่ประการใด

เมื่อไรก็ตามที่เรามีนิพจน์หรืออินทิกรัลซึ่งมีค่าขึ้นกับสภาวะเริ่มต้น กับสภาวะสุดท้ายเท่านั้น โดยไม่ขึ้นกับกระบวนการระหว่างสภาวะคู่นั้น เราสามารถใช้นิพจน์หรืออินทิกรัลดังกล่าวในการนิยาม (การเปลี่ยนแปลงของ) คุณสมบัติตัวใหม่ของระบบได้เลย ดังนั้นเราจึงสามารถใช้ $\int_{1}^{2} (dQ - dW)$ สำหรับนิยามคุณสมบัติตัวใหม่ของระบบได้ คุณสมบัตินี้ได้แก่ พลังงาน E ของระบบ ซึ่งเราเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\int_{1}^{2} (dQ - dW) = E_2 - E_1$$

$$_1Q_2 = E_2 - E_1 + {}_1W_2 \qquad (3.8)$$

หรือในรูปผลต่างอนุพันธ์ $$dQ = dE + dW \qquad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $_1Q_2$ เป็นการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการ 12 E_1 และ E_2 เป็นพลังงานของระบบที่ สภาวะ (1) และ (2) ตามลำดับ และ $_1W_2$ เป็นการทำงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการ 12

พลังงาน E ของระบบประกอบด้วยพลังงานจลน์ E_K พลังงานศักย์ E_p และ พลังงานภายใน U ซึ่งแสดงในรูปสมการได้ดังนี้

$$E = U + E_K + E_p \tag{3.10}$$

แทนค่าสมการ 3.10 ลงในสมการ 3.9 จะได้

$$dQ = dW + dU + dE_K + dE_p \tag{3.11}$$

ปัญหาที่พบโดยทั่วไปพลังงานจลน์พบพลังงานศักย์ของระบบมักจะไม่เปลี่ยนแปลง ในกรณีนี้สมการ จะเป็น

$$dQ = dU + dW \tag{3.12}$$

สมการ 3.11 และ 3.12 เป็นสมการของกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับการเปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038096

บทที่4
หลักการหาขนาดฉนวนความร้อน

4.1 บทนำ

ในวิชาเทอร์โมไดนามิกส์เราได้ให้นิยามของความร้อนว่า คือพลังงานซึ่งส่งถ่ายผ่านขอบเขต(boundaries) ระหว่างระบบ(system)และสิ่งแวดล้อม(surrounding) โดยเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ อย่างไรก็ดีเทอร์โมไดนามิกส์เกี่ยวพันเฉพาะสภาวะที่สมดุลย์ตอนเริ่มต้น และสุดท้ายของกระบวนการหนึ่งๆเท่านั้น เทอร์โมไดนามิกส์ไม่ได้พิจารณาธรรมชาติหรืออัตราการส่งถ่ายพลังงานความร้อน และจุดมุ่งหมายของวิชาการถ่ายเทความร้อนนั้นก็คือ เป็นการศึกษาเพิ่มเติมจากวิชาเทอร์โมไดนามิกส์โดยการศึกษารูปแบบ(modes)ต่างๆของการถ่ายเทความร้อน และโดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณอัตรา(rates)การถ่ายเทความร้อน

4.2 คำจำกัดความพื้นฐาน

คำจำกัดความอย่างง่ายๆแต่ก็ครอบคลุมสำหรับการถ่ายเทความร้อนได้กล่าวไว้ในตอนต้นคือ “การถ่ายเทความร้อน(heat transfer) คือการส่งถ่ายพลังงานซึ่งมีผลเองมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ” ดังนั้นเห็นได้ว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นเสมอเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลางใดๆ

การถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็นสามรูปแบบตามรูป 1.1 โดยคำว่า “การนำความร้อน(conduction)” ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อน(คือเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ) ในตัวกลางที่อยู่กับที่ซึ่งอาจจะเป็นของเหลวหรือของไหล ในขณะเดียวกันคำว่า “การพาความร้อน(convection)” นั้นใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวและของไหลที่เคลื่อนที่เมื่อทั้งสองมีอุณหภูมิแตกต่างกัน รูปแบบที่สามของการถ่ายเทความร้อนได้แก่ “การแผ่รังสีความร้อน(thermal radiation)” ซึ่งวัตถุทุกชนิด ณ.อุณหภูมิหนึ่งๆจะส่งพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(electromagnetic waves) ดังนั้นจะมีการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุสองชิ้นที่มีอุณหภูมิต่างกันเสมอแม้ว่าจะไม่มีตัวกลางก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับเทอร์โมไดนามิกส์

ถึงจุดนี้เราควรกล่าวถึงความแตกต่างขั้นพื้นฐานระหว่างการถ่ายเทความร้อน และเทอร์โมไดนามิกส์ คือในวิชาเทอร์โมไดนามิกส์แม้ว่าเราได้พิจารณาผลกระทบจากพลังงานความร้อน ตลอดจนบทบาทของมันในกฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิกส์ แต่กลไกในการถ่ายเทความร้อนหรือวิธีคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนนั้นไม่ได้รับการพิจารณาเทอร์โมไดนามิกส์นั้นเกี่ยวพันเฉพาะสภาวะสมดุลย์(equilibrium state)ของสาร ซึ่งที่จริงแล้วสภาวะสมดุลย์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ แม้ว่าเราสามารถใช้เทอร์โมไดนามิกส์ในการหาปริมาณพลังงานที่ถูกส่งถ่ายในรูปของพลังงานความร้อนระหว่างสภาวะสมดุลย์สองสภาวะ แต่เทอร์โมไดนามิกส์ไม่ได้บอกว่ากระบวนการถ่ายเทความร้อนที่จริงแล้วเป็นกระบวนการที่ไม่อยู่ในสภาวะสมดุลย์ ทั้งนี้เพราะการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่สมดุลย์ ดังนั้นวิชาการถ่ายเทความร้อนจึงสามารถวิเคราะห์สิ่งที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้วิชาเทอร์โมไดนามิกส์ นั่นคือเราสามารถใช้มันในการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อน ได้โดยใช้สมการอัตรา(rate equation) สำหรับการถ่ายเทความร้อนแต่ละรูปแบบ

4.4 การไม่สูญหายของพลังงาน(Conservation of Energy)

เห็นได้ว่าวิชาเทอร์โมไดนามิกส์ และวิชาการถ่ายเทความร้อน(heat transfer) นั้นมีความสัมพันธ์กันอยู่มาก ตัวอย่างเช่นวิชาการถ่ายเทความร้อนนั้นเป็นการศึกษาต่อเนื่องจากวิชาเทอร์โมไดนามิกส์ โดยที่เราพิจารณาอัตราการส่งถ่ายพลังงานความร้อน ยิ่งไปกว่านั้นกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์(ซึ่งก็คือกฎการไม่สูญหายของพลังงาน) ก็มีบทบาทสำคัญมากต่อการวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อน

4.5 ความสำคัญของการถ่ายเทความร้อน

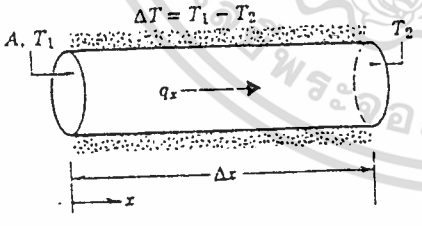
การถ่ายเทความร้อนมีบทบาทสำคัญต่อปัญหาทางอุตสาหกรรมและสภาวะแวดล้อมหลายประการ ตัวอย่างเช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นโดยวิธีนิวเคลียร์ วิธีใช้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรือการใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ(geothermal energy) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวพันกับการถ่ายเทความร้อนทั้งสิ้น กระบวนการเหล่านี้ส่วนใหญ่เกี่ยวพันกับทั้ง

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน การออกแบบส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หม้อน้ำ เครื่องควบแน่น เครื่องกังหัน ฯลฯ ต่างก้จำเป็นต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน ปัญหาที่เรามักต้องเผชิญก็คือความต้องการที่จะให้ได้อัตราการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด โดยต้องคำนึงถึงความทนทานของวัสดุต่ออุณหภูมิสูงๆ นอกจากนั้นยังมีปัญหาสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับมลภาวะ ซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนจำนวนมากสู่สิ่งแวดล้อม ปัญหานี้จะเบาบางลงโดยการออกแบบหอระบายความร้อน(cooling tower) เพื่อทำให้สารเย็นตัวลงก่อนจะถ่ายออกสู่สิ่งแวดล้อม ปัญหาอื่นๆได้แก่การแปลงพลังงานแสงอาทิตย์นำมาใช้ในการทำความเย็น ทำความร้อน รวมทั้งเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้กระบวนการถ่ายเทความร้อนยังเป็นตัวการสำคัญในการทำให้เกิดสภาพอากาศเสียและน้ำเสีย และยิ่งกว่านั้นมันยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อสภาพอากาศของท้องถิ่นและของโลก

4.6 สมการอัตราการนำความร้อน(Conduction Rate Equation)

สมการอัตราการนำความร้อนหรือที่เรียกว่ากฎของฟูเรียนั้นมิใช่ได้มาจากกฎพื้นฐานต่างๆแต่มาจากการสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติ กฎของฟูเรียมีพื้นฐานมาจากการทดลอง พิจารณาการทดลองเกี่ยวกับการนำความร้อนแบบคงตัว(steady state)ในรูป



ตัวกลางเป็นแท่งโลหะรูปทรงกระบอกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนอย่างสมบูรณ์โดยรอบ ยกเว้นที่ปลายทั้งสองที่เปิดไว้และมีอุณหภูมิต่างกัน การแตกต่างของอุณหภูมิทำให้เกิดการนำความร้อนในทิศทางบวกตามแกน x เมื่อทำการทดลองหลายๆครั้งจะพบว่าค่า Qx ที่ได้สำหรับวัสดุต่างชนิดจะไม่เท่ากัน ซึ่งแสดงว่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผันจะต้องมีค่าขึ้นกับชนิดของวัตถุ ดังนั้นความสัมพันธ์ข้างบนจึงเขียนเป็นสมการได้คือ

$$Qx = -kA(\Delta T/\Delta X) = kA(Ts1-Ts2)/L$$

โดยที่ k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(thermal conductivity)หน่วยเป็น W/m.K

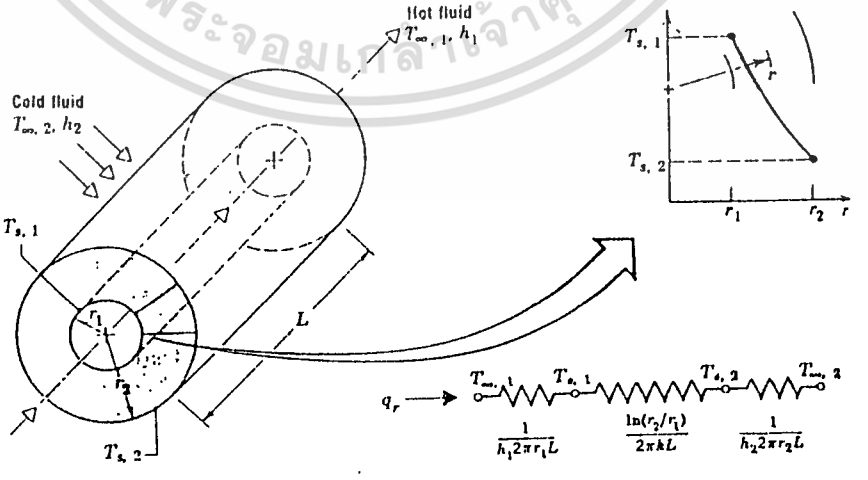
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตามรัศมี(Radial System)

ในระบบทรงกระบอกและทรงกลม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ(temperature gradient) มักจะเกิดขึ้นในทิศทางตามรัศมีเท่านั้น ดังนั้นจึงคิดได้ว่าเป็นการนำความร้อนแบบมิติเดียว นอกจากนั้นแล้วภายใต้สภาวะคงตัวและไม่มีการกำเนิดความร้อนภายในตัวกลาง เราอาจทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้วิธีมาตรฐาน(standard method) ซึ่งเริ่มต้นจากสมการความร้อน หรือใช้ alternative method ซึ่งเริ่มต้นจากกฎของฟูเรีย

ตัวอย่างระบบทรงกระบอกที่พบบ่อยได้แก่การนำความร้อนผ่านผนังท่อรูปทรงกระบอกกลวงซึ่งผิวในและนอกของทรงกระบอกสัมผัสกับของไหลที่มีอุณหภูมิต่างกัน ถ้าทรงกระบอกมีความยาวมากเมื่อเทียบกับความยาวของผนัง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในแนวรัศมีและประมาณได้ว่าเป็นการนำความร้อนมิติเดียวตามรัศมี ในกรณีนี้เมื่อเป็นสภาวะคงตัว และไม่มีการกำเนิดพลังงานภายในทรงกระบอก จะเห็นได้ว่าการกระจายอุณหภูมิของการนำความร้อนตามรัศมีของทรงกระบอกกลวงนั้นเป็นลักษณะ "logarithmic" ไม่ใช่เส้นตรงดังในกรณีผนังราบ ดังนั้นจะได้สมการอัตราการนำความร้อนที่ผิวของทรงกระบอกดังนี้

$$Qr = 2\P Lk[Ts1-Ts2]/ln(r2/r1)$$



รูปทรงกระบอกกลวงซึ่งมีการพาความร้อนที่ผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดความหนาของฉนวนความร้อน

สมมุติ ชนิดของฉนวนความร้อนคือ Glass Fiber

ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกกับภายในภาชนะ = $40^{\circ}C$

ภาชนะเป็นรูปทรงกระบอกรัศมี = 3 ซม.

ภาชนะสูง = 10 ซม.

Solve

จากตารางค่า k ของ Glass Fiber = 0.038 W/m.K

ต้องการให้ความร้อนถ่ายเทออกจากภาชนะไม่เกิน 1 Watt

จากสมการ Qr = อัตราการนำความร้อนที่ผิวทรงกระบอก + อัตราการนำความร้อนที่ฐานและฝา

$= 2\P kL(Ts1-Ts2)/\ln(r2/r1) + 2kA(Ts1-Ts2)/L$

จะได้ $1 > \{2*3.141*0.038*0.1(40)/\ln(r2/3)\} + \{2*0.038*3.141*0.09*40/r2\}$

ใช้วิธี Trial and Error โดยใช้ค่าความหนาฉนวน 5 นิ้ว

เปลี่ยนหน่วยนิ้วเป็น ซม. ได้เท่ากับ 5*2.54 = 12.7 ซม.

แทนค่า r2 ได้

$1 > 0.6617 + 0.0676 = 0.7293$ Watt

แสดงว่าถ้าหุ้มฉนวนหนา 5 นิ้ว อัตราการนำความร้อนจะน้อยกว่า 1 Watt ถือว่าใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
รูปแบบการทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

วิธีการทดลอง

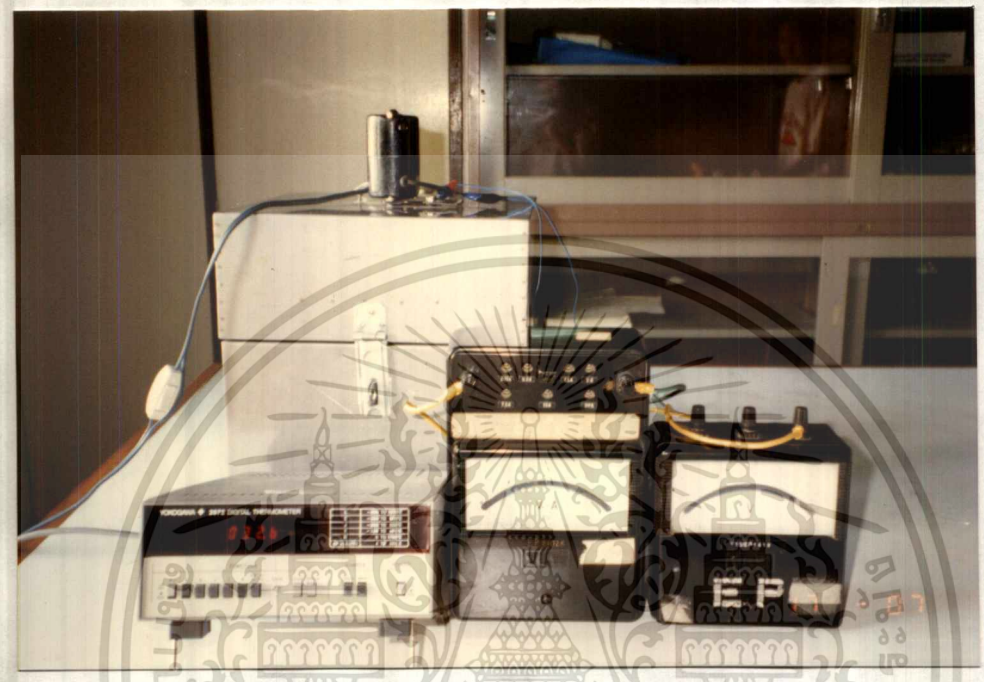
1. ใส่ของเหลวที่ต้องการทำการทดลองลงในอุปกรณ์ทดลอง(ประมาณ 200 ลบ.ซม.)
2. วัดอุณหภูมิของเหลวที่สภาวะเริ่มต้นพร้อมทั้งวัดสภาวะของอากาศขณะทำการทดลอง
3. เปิดสวิทซ์ให้ Heater และ Moter เริ่มทำงาน
4. บันทึกค่าอุณหภูมิของของเหลวที่วัดได้ลงในตารางทุกๆ 1 นาที
5. ทำการทดลองไปเรื่อยจนครบ 10 ครั้ง
6. เอาผลมาคำนวณหา Q และ W แต่ละช่วง
7. พล็อตกราฟ Q/W

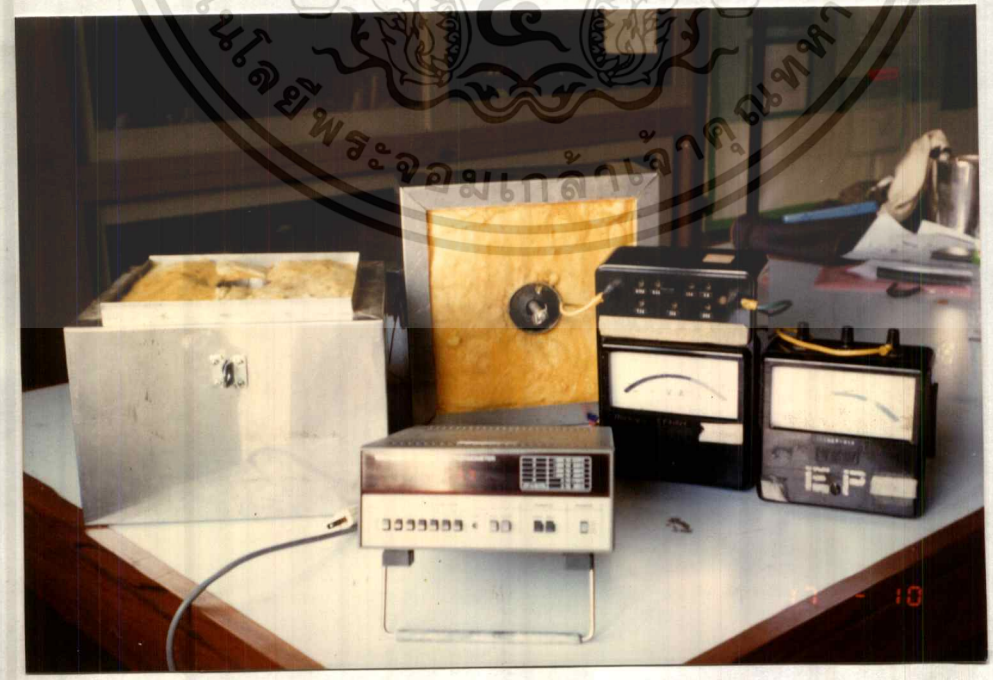
   ซึ่ง Q คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิเปลี่ยนไป

   W คือ ปริมาณพลังงานที่วัดได้จาก Wattmeter
8. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ว่าตรงกับกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (Q/W = constant) หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

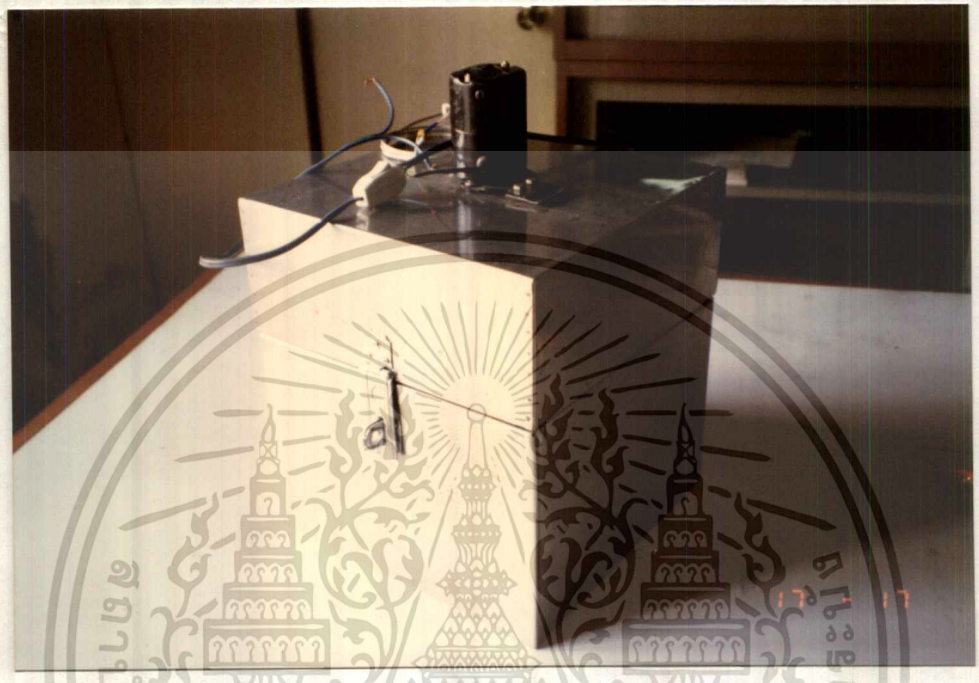
รูปอุปกรณ์การทดลองทั้งหมด

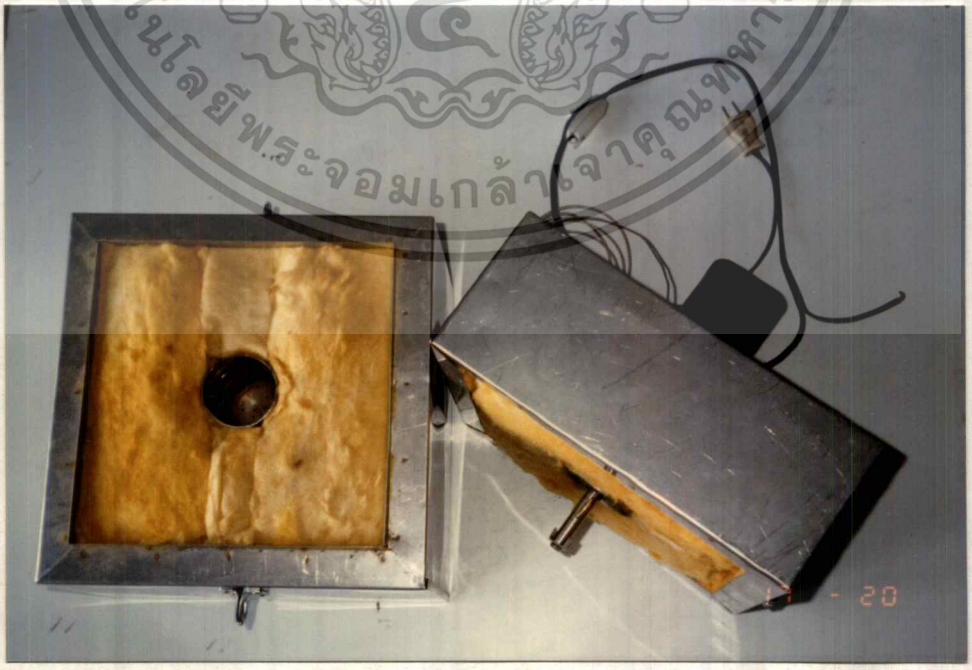




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

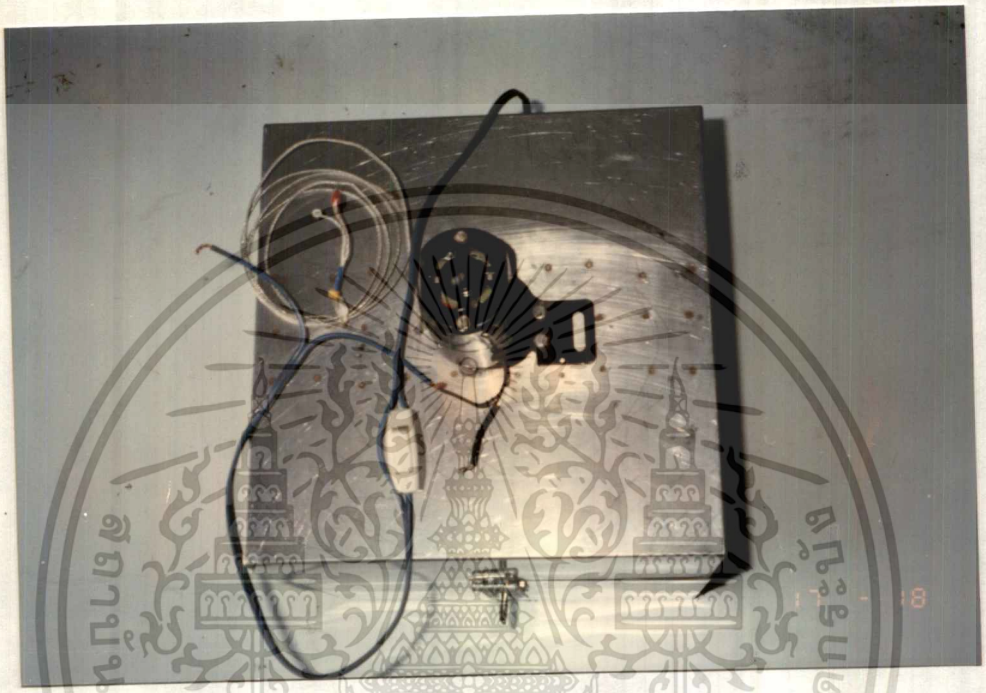
รูปอุปกรณ์ทดลองตัวที่ติดตั้งมอเตอร์

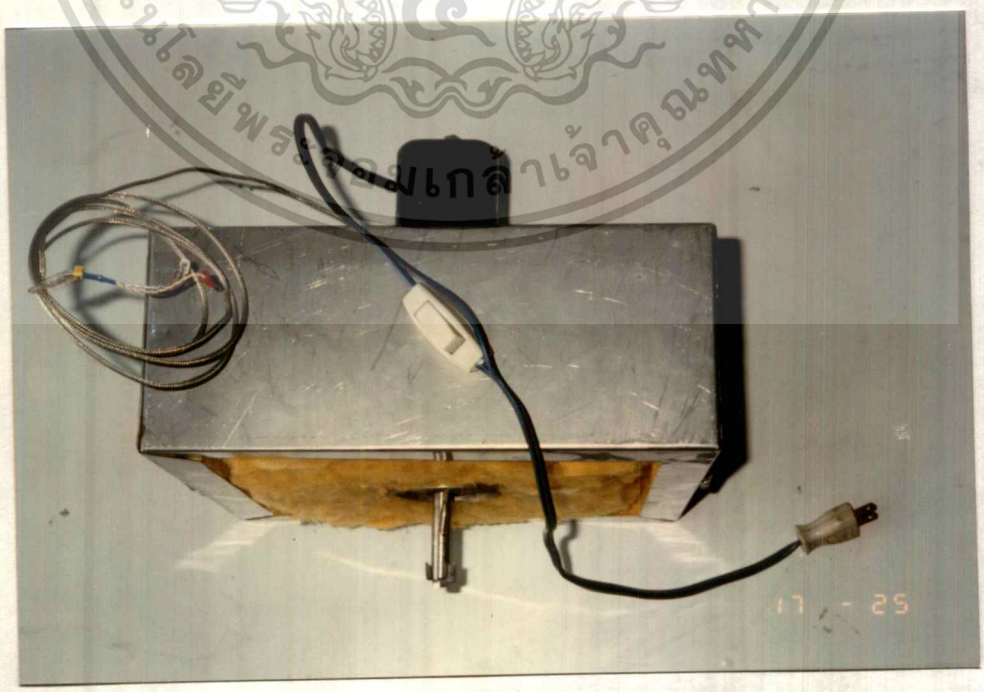




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

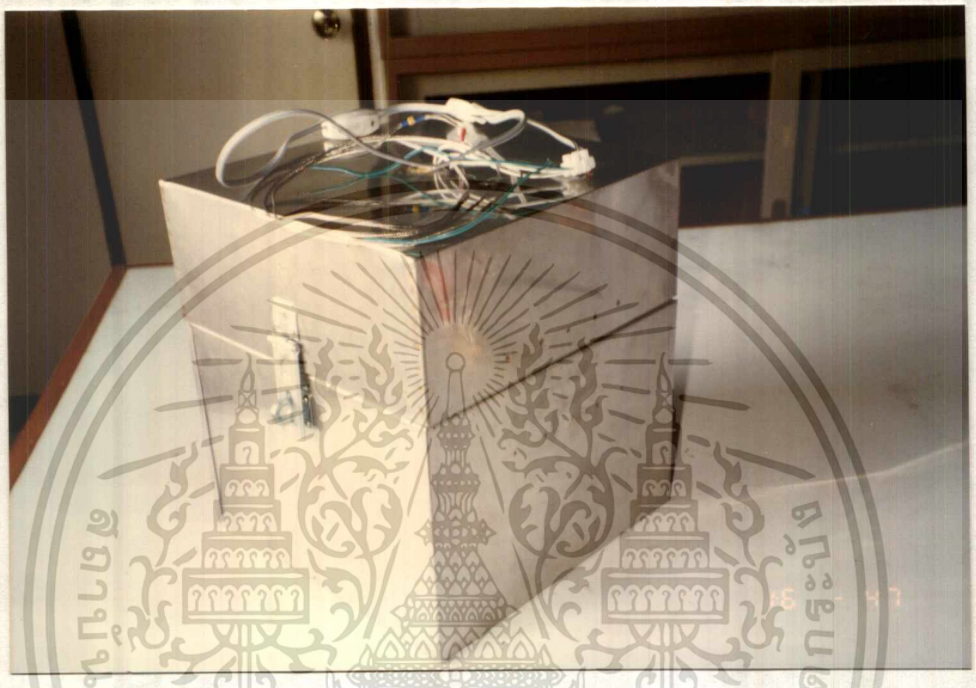
รูปถ่ายมุมต่างๆของอุปกรณ์ทดลองที่ติดตั้งมอเตอร์





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่ายอุปกรณ์ทดลองตัวที่ติดตั้งฮีทเตอร์

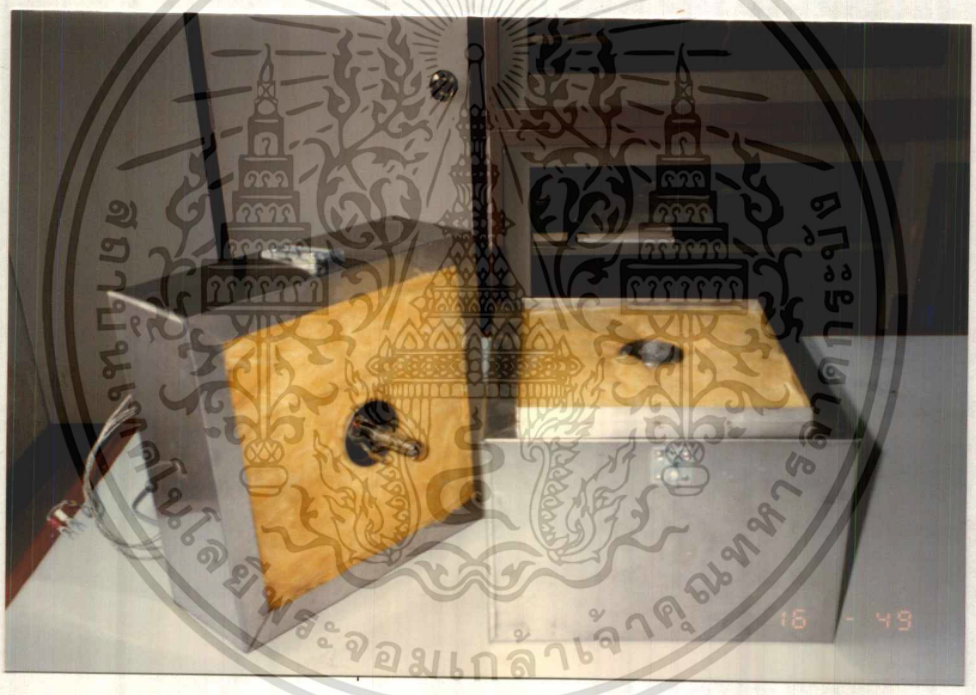


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่ายมุมต่างๆของอุปกรณ์ที่ติดตั้งฮีทเตอร์

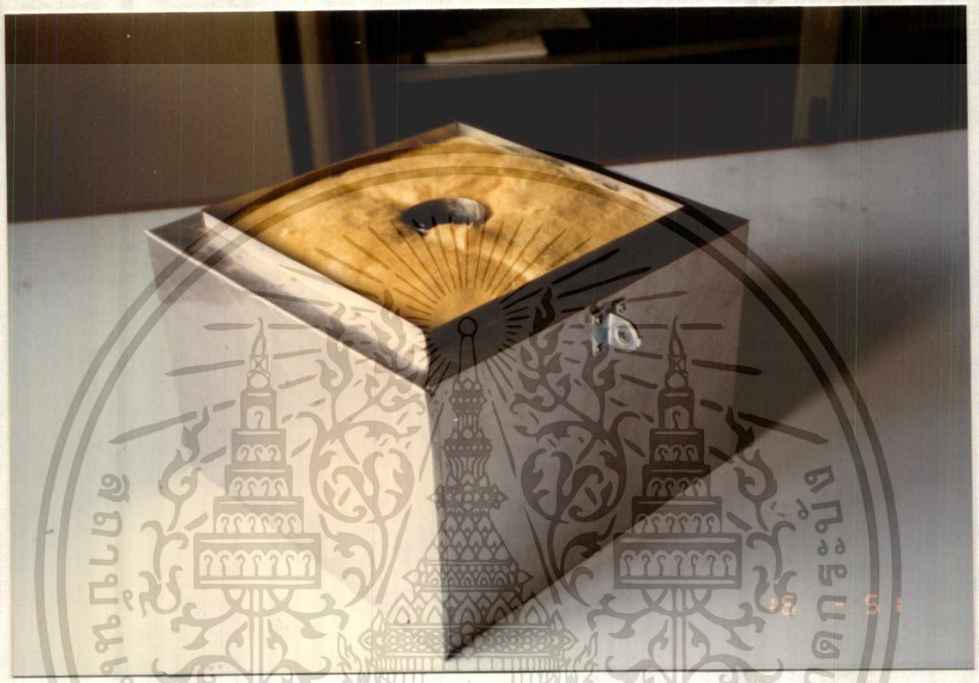
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

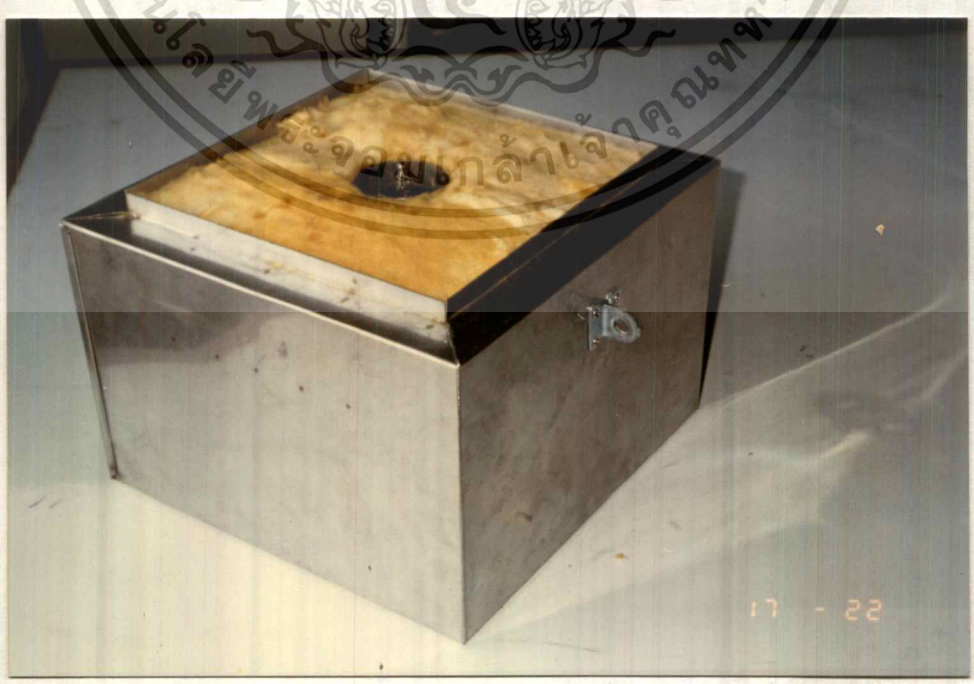
รูปถ่ายมุมต่างๆของอุปกรณ์ที่ติดตั้งฮีทเตอร์(ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่ายอุปกรณ์ส่วนที่เป็นภาชนะใส่ของเหลว





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮีทเตอร์

สารที่ใช้ทำการทดลองคือ **น้ำ**

ความสูงของน้ำ (h) **7** เซนติเมตร (cm)

เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกที่ใส่น้ำ (d) **6** เซนติเมตร(cm)

กระแสไฟฟ้าที่ฮีทเตอร์ได้รับมีค่า **53** แอมแปร์ (A)

ความต่างศักย์ของฮีทเตอร์ **228** โวลต์ (V)

จำนวนวัตต์ของฮีทเตอร์ (P) **0.353 x 228 = 80.484** วัตต์ (watt)

อุณหภูมิห้องขณะที่ทำการทดลอง (T_0) **26** องศาเซลเซียส (^0C)

ความดันห้องขณะที่ทำการทดลอง (P_0) 10^5 นิวตัน/ตารางเมตร (Pa)

เวลา (t) (นาที)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ. เวลาต่างๆ (T) (^0C)	ΔT (^0C)
0	12.9	-
1	19.4	6.5
2	26.9	7.5
3	33.2	6.3
4	39.6	6.4
5	45.6	6.0
6	51.2	5.6
7	56.6	5.4
8	61.8	5.2
9	66.8	5.0
10	71.6	4.8
11	76.2	4.6
12	81.6	5.4
13	87.3	5.7
14	92.9	5.6
15	100	7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\overline{\Delta T}$ = 5.807 ^{0}C

ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับจากฮีทเตอร์มีปริมาณเท่ากับ (c = 4.18 kJ/kg . ^{0}K)

$$Q = m c \overline{\Delta T}$$

$$= (\pi / 4) d^2 \rho h c \overline{\Delta T}$$

$$= (\pi / 4) \times 6^2 \times 7 \times 4.18 \times 5.807$$

$$= \mathbf{4804.172\ J}$$

$$= \mathbf{4.80417\ kJ}$$

$$= \underline{\mathbf{1.147}}\ \mathbf{kcal}\ (1\ J = 2.388 \times 10^{-4}\ kcal)$$

ปริมาณงานที่ฮีทเตอร์ให้กับน้ำทำให้เกิดความร้อน 1.147 kcal มีค่าเท่ากับ

$$W = P\Delta t$$

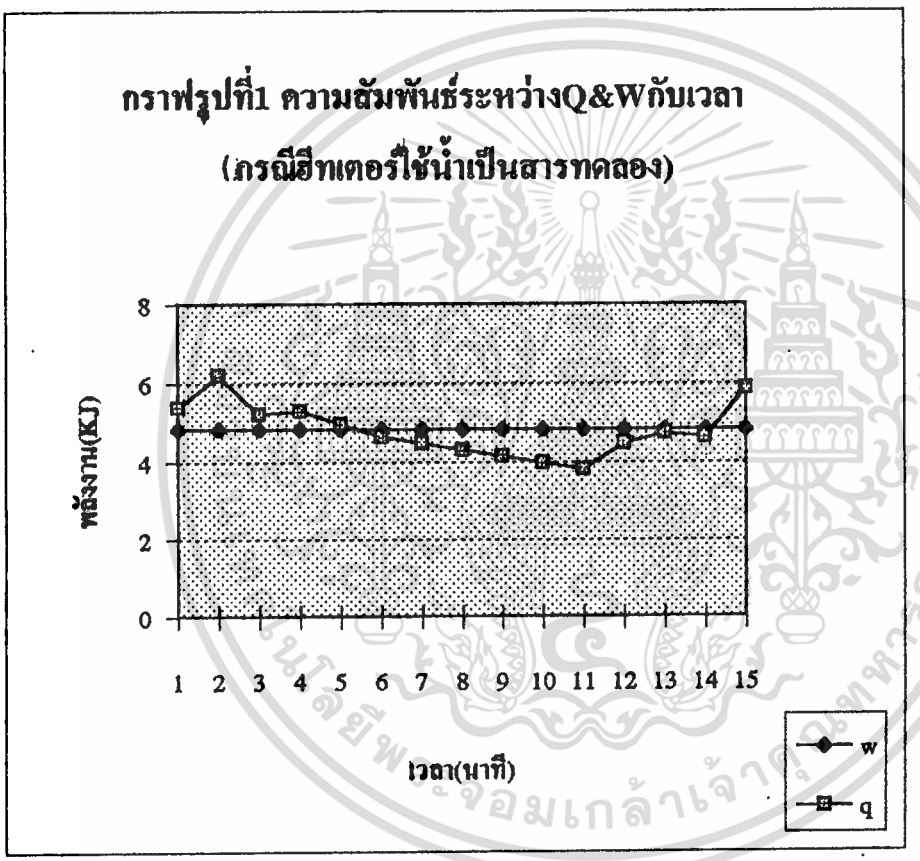
$$= 80.484 \times 60$$

$$= \mathbf{4829.04\ J}$$

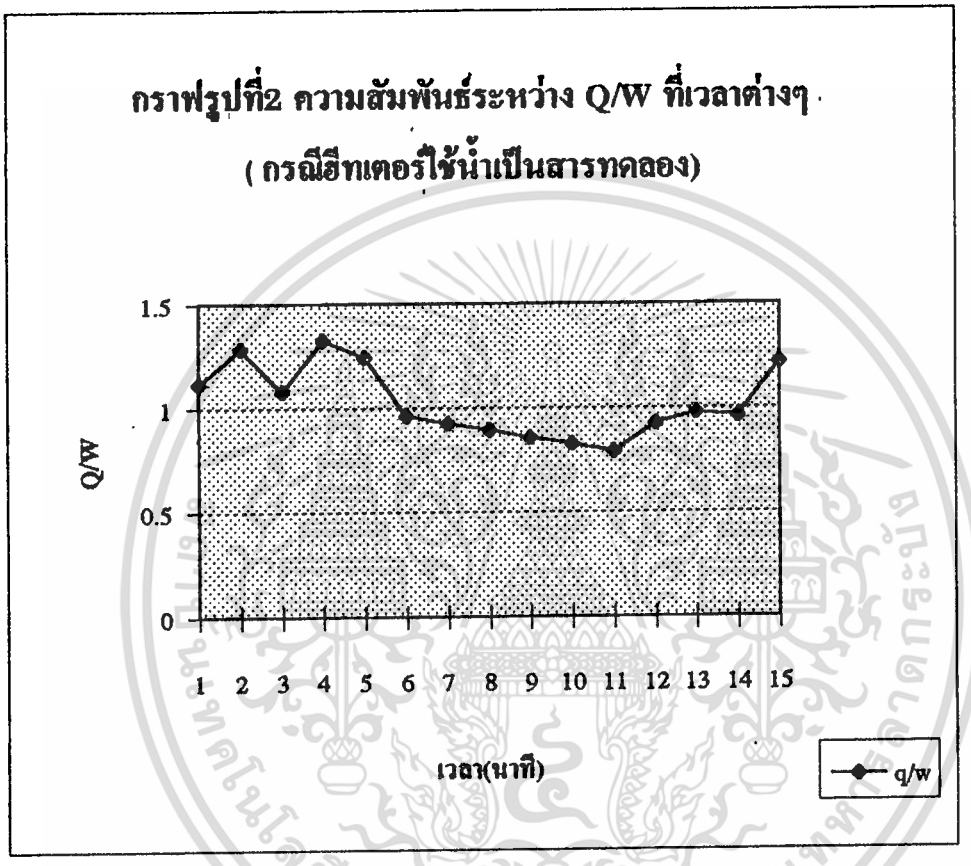
$$= \mathbf{4.82904\ kJ}$$

$$= \underline{\mathbf{1.153}}\ \mathbf{kcal}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์

สารที่ใช้ทำการทดลอง คือ **น้ำมัน NO.10** (ISO 32)

ความสูงของน้ำ (h) **7** เซนติเมตร (cm)

เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกที่ใส่น้ำ (d) **6** เซนติเมตร(cm)

กรณีที่มอเตอร์หมุนอิสระ

กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับมีค่า **0.265** แอมแปร์ (A)

ความต่างศักย์ของมอเตอร์ **224** โวลต์ (V)

จำนวนวัตต์ของมอเตอร์ (P_0) **0.265 x 224 = 59.36** วัตต์ (watt)

กรณีที่มอเตอร์หมุนให้งานกับน้ำมัน

กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับมีค่า **0.30** แอมแปร์ (A)

ความต่างศักย์ของมอเตอร์ มีค่า **225** โวลต์ (V)

จำนวนวัตต์ของมอเตอร์ (P_1) **0.30 x 225 = 67.5** วัตต์ (watt)

$$\Delta P = P_1 - P_0$$

$$= 67.5 - 59.36$$

$$= \underline{8.14} \text{ วัตต์}$$

อุณหภูมิห้องขณะที่ทำการทดลอง (T_0) **26** องศาเซลเซียส (^0C)

ความดันห้องขณะที่ทำการทดลอง (P_0) 10^5 นิวตัน/ตารางเมตร (Pa)

เวลา (t) (นาที)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ. เวลาต่างๆ (T) (^0C)	ΔT (^0C)
0	25.7	-
1	28.4	2.7
2	30.4	2.0
3	32.4	2.0
4	34.2	1.8
5	35.8	1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (t) (นาที)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ. เวลาต่างๆ (T) (^{0}C)	ΔT (^{0}C)
6	37.3	1.5
7	38.8	1.5
8	40.3	1.5
9	41.6	1.3
10	42.9	1.3
11	44.2	1.3
12	45.4	1.2
13	46.5	1.1
14	47.6	1.1
15	48.7	1.1
16	49.7	1.0
17	50.8	1.1
18	51.8	1.0
19	52.7	0.9
20	53.6	0.9
21	54.4	0.8
22	55.3	0.9
23	56.0	0.7
24	56.9	0.9
25	57.6	0.7
26	58.3	0.7
27	59.0	0.7
28	59.7	0.7
29	60.4	0.7
30	61.0	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\overline{\Delta T}$ = 1.177 ^{0}C

ปริมาณความร้อนที่น้ำมัน NO.10ได้รับจากมอเตอร์มีปริมาณเท่ากับ (c = 2 kJ/kg . ^{0}K)

$$Q = m c \overline{\Delta T}$$

$$= (\pi / 4)\rho d^{2} h c \overline{\Delta T}$$

$$= (\pi / 4) \times 0.884 \times 6^{2} \times 7 \times 2 \times 1.177$$

$$= 438.38 \text{ J}$$

$$= 0.43838 \text{ kJ} \quad (1 \text{ J} = 2.388 \times 10^{-4} \text{ kcal})$$

$$= 0.104 \text{ kcal}$$

ปริมาณงานที่มอเตอร์ให้กับน้ำมัน NO10. มีค่าเท่ากับ

$$W = \Delta P \Delta t$$

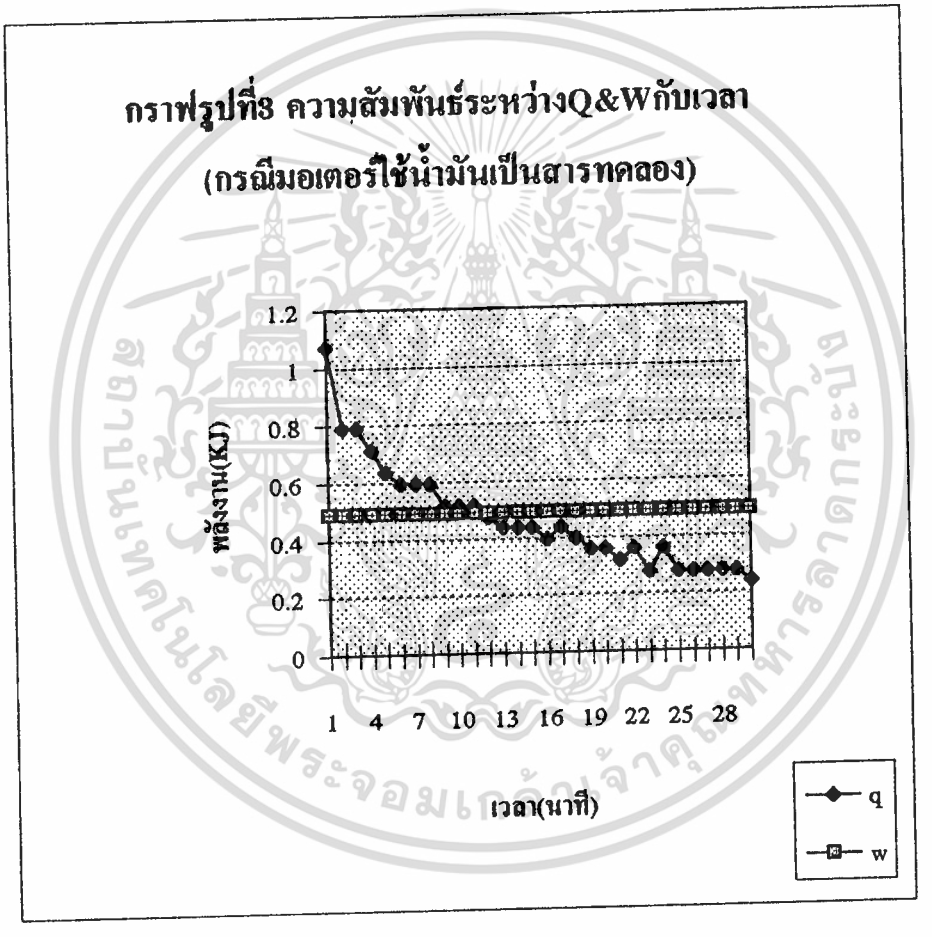
$$= 8.14 \times 60$$

$$= 488.4 \text{ J}$$

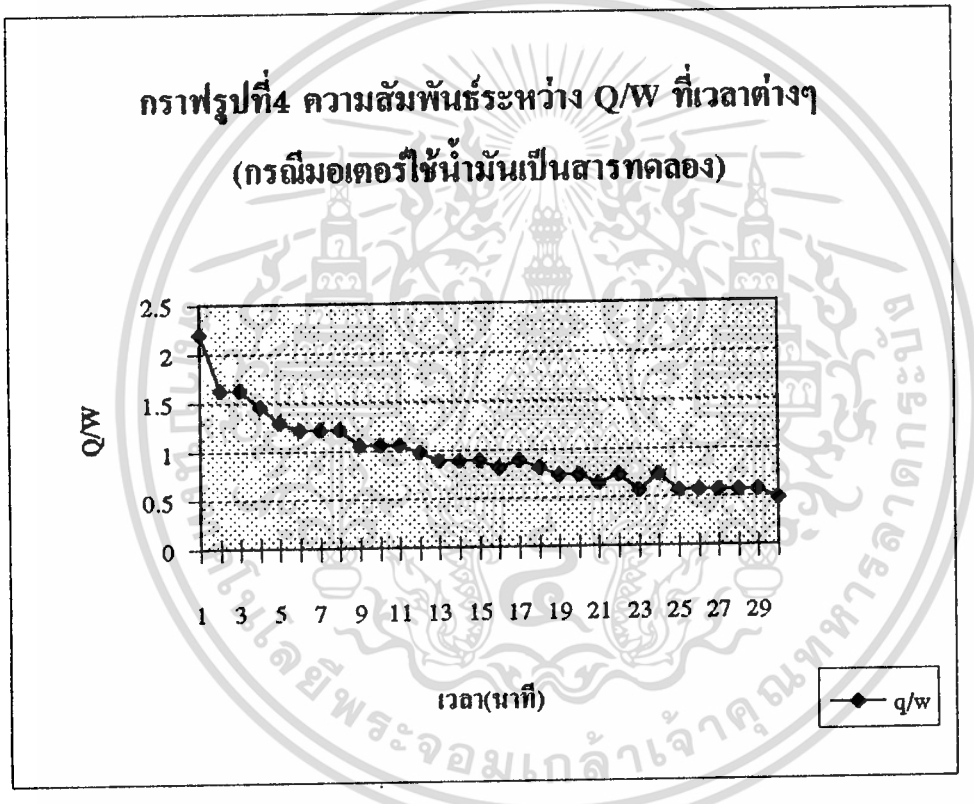
$$= 0.4884 \text{ kJ}$$

$$= 0.117 \text{ kcal}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์

สารที่ใช้ทำการทดลอง คือ **น้ำ**

ความสูงของน้ำ (h) **7** เซนติเมตร (cm)

เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกที่ใส่น้ำ (d) **6** เซนติเมตร(cm)

กรณีที่มอเตอร์หมุนอิสระ

กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับมีค่า **0.245** แอมแปร์ (A)

ความต่างศักย์ของมอเตอร์ **224** โวลต์ (V)

จำนวนวัตต์ของมอเตอร์ (P_0) **0.245 x 224 = 54.88** วัตต์ (watt)

กรณีที่มอเตอร์หมุนให้งานกับน้ำ

กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับมีค่า **0.265** แอมแปร์ (A)

ความต่างศักย์ของมอเตอร์ มีค่า **230** โวลต์ (V)

จำนวนวัตต์ของมอเตอร์ (P_1) **0.265 x 230 = 60.95** วัตต์ (watt)

$$\Delta P = P_1 - P_0$$

$$= 60.95 - 54.88$$

$$= \underline{6.07} \text{ วัตต์}$$

อุณหภูมิห้องขณะที่ทำการทดลอง (T_0) **26** องศาเซลเซียส (^0C)

ความดันห้องขณะที่ทำการทดลอง (P_0) 10^5 นิวตัน/ตารางเมตร (Pa)

เวลา (t) (นาที)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ. เวลาต่างๆ (T) (^0C)	ΔT (^0C)
0	**27.7**	-
1	**27.7**	**0**
2	**28.4**	**0.7**
3	**29.1**	**0.7**
4	**29.7**	**0.6**
5	**30.3**	**0.6**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (t) (นาที)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ. เวลาต่างๆ (T) (^{0}C)	ΔT (^{0}C)
6	30.8	0.5
7	31.3	0.5
8	31.8	0.5
9	32.3	0.5
10	32.8	0.5
11	33.3	0.5
12	33.7	0.4
13	34.2	0.5
14	34.6	0.4
15	35.0	0.4
16	35.5	0.5
17	35.9	0.4
18	36.3	0.4
19	36.8	0.5
20	37.3	0.5
21	37.7	0.4
22	38.1	0.4
23	38.5	0.4
24	38.8	0.3
25	39.3	0.5
26	39.7	0.4
27	40.0	0.3
28	40.4	0.4
29	40.8	0.4
30	41.2	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\overline{\Delta T}$ = 0.45 ^{0}C

ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับจากมอเตอร์มีปริมาณเท่ากับ (c = 4.18 kJ/kg . ^{0}K)

$$Q = m c \overline{\Delta T}$$

$$= (\pi / 4) d^2 \rho h c \overline{\Delta T}$$

$$= (\pi / 4) \times 6^2 \times 7 \times 4.18 \times 0.45$$

$$= 372.288 \text{ J}$$

$$= 0.372288 \text{ kJ} \quad (1 \text{ J} = 2.388 \times 10^{-4} \text{ kcal})$$

$$= 0.0889 \text{ kcal}$$

ปริมาณงานที่มอเตอร์ให้กับน้ำมีค่าเท่ากับ

$$W = \Delta P \Delta t$$

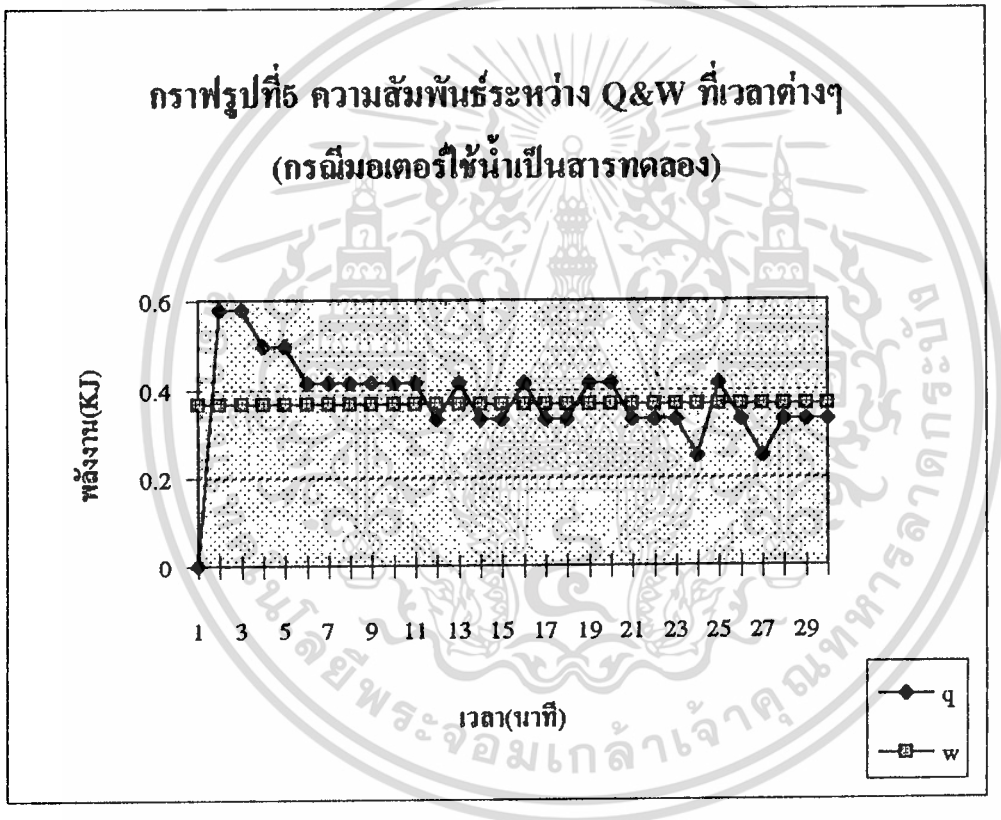
$$= 6.07 \times 60$$

$$= 364.2 \text{ J}$$

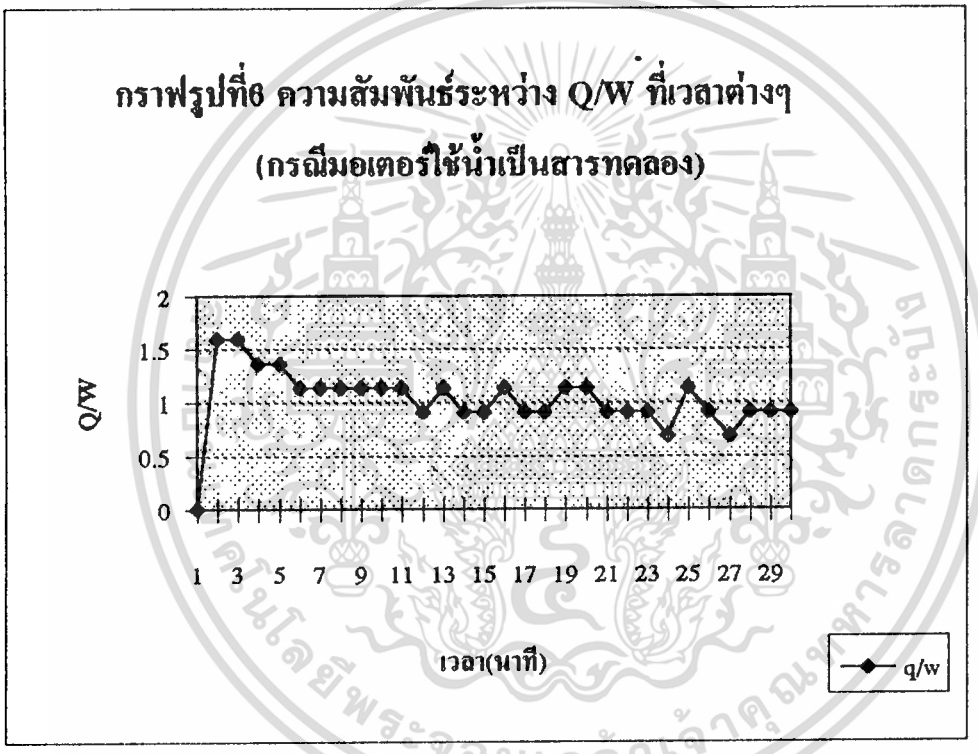
$$= 0.3642 \text{ kJ}$$

$$= 0.0869 \text{ kcal}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์

สารที่ใช้ทำการทดลอง คือ **Isopropyl Alcohol (70%)**

ความสูงของน้ำ (h) **7** เซนติเมตร (cm)

เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกที่ใส่น้ำ (d) **6** เซนติเมตร(cm)

กรณีที่มอเตอร์หมุนอิสระ

กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับมีค่า **0.245** แอมแปร์ (A)

ความต่างศักย์ของมอเตอร์ **224** โวลต์ (V)

จำนวนวัตต์ของมอเตอร์ (P_0) **0.245 x 224 = 54.88** วัตต์ (watt)

กรณีที่มอเตอร์หมุนให้งานกับแอลกอฮอล์

กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับมีค่า **0.285** แอมแปร์ (A)

ความต่างศักย์ของมอเตอร์ มีค่า **231** โวลต์ (V)

จำนวนวัตต์ของมอเตอร์ (P_1) **0.285 x 231 = 65.835** วัตต์ (watt)

$$\Delta P = P_1 - P_0$$

$$= 65.835 - 54.88$$

$$= \underline{10.955} \text{ วัตต์}$$

อุณหภูมิห้องขณะที่ทำการทดลอง (T_0) **26** องศาเซลเซียส (^0C)

ความดันห้องขณะที่ทำการทดลอง (P_0) 10^5 นิวตัน/ตารางเมตร (Pa)

เวลา (t) (นาที)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ. เวลาต่างๆ (T) (^0C)	ΔT (^0C)
0	27.1	-
1	27.9	0.8
2	28.8	0.8
3	29.6	0.9
4	30.3	0.8
5	31.0	0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (t) (นาที)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ. เวลาต่างๆ (T) (^{0}C)	ΔT (^{0}C)
6	31.7	0.7
7	32.4	0.7
8	32.4	0.7
9	33.1	0.7
10	33.8	0.7
11	34.4	0.6
12	35.1	0.7
13	35.7	0.6
14	36.3	0.6
15	36.9	0.6
16	37.5	0.6
17	38.1	0.6
18	38.6	0.5
19	39.2	0.6
20	39.8	0.6
21	40.4	0.6
22	41.0	0.6
23	41.5	0.5
24	42.0	0.5
25	42.6	0.6
26	43.1	0.5
27	43.6	0.5
28	44.0	0.4
29	44.5	0.5
30	44.9	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\overline{\Delta T}$ = 0.62 ^{0}C

ปริมาณความร้อนที่แอลกอฮอล์ได้รับจากมอเตอร์มีปริมาณเท่ากับ (c = 1.83 kJ/kg . ^{0}K)

$$Q = m c \overline{\Delta T}$$

$$= (\pi / 4) d^{2} \rho h c \overline{\Delta T}$$

$$= (\pi / 4) \times 6^{2} \times 0.79 \times 7 \times 1.83 \times 0.62$$

$$= 177.276 \quad \mathbf{J}$$

$$= \mathbf{0.1772} \quad \mathbf{kJ} \quad (1 \text{ J} = 2.388 \times 10^{-4} \text{ kcal})$$

ปริมาณงานที่มอเตอร์ให้กับแอลกอฮอล์ค่าเท่ากับ

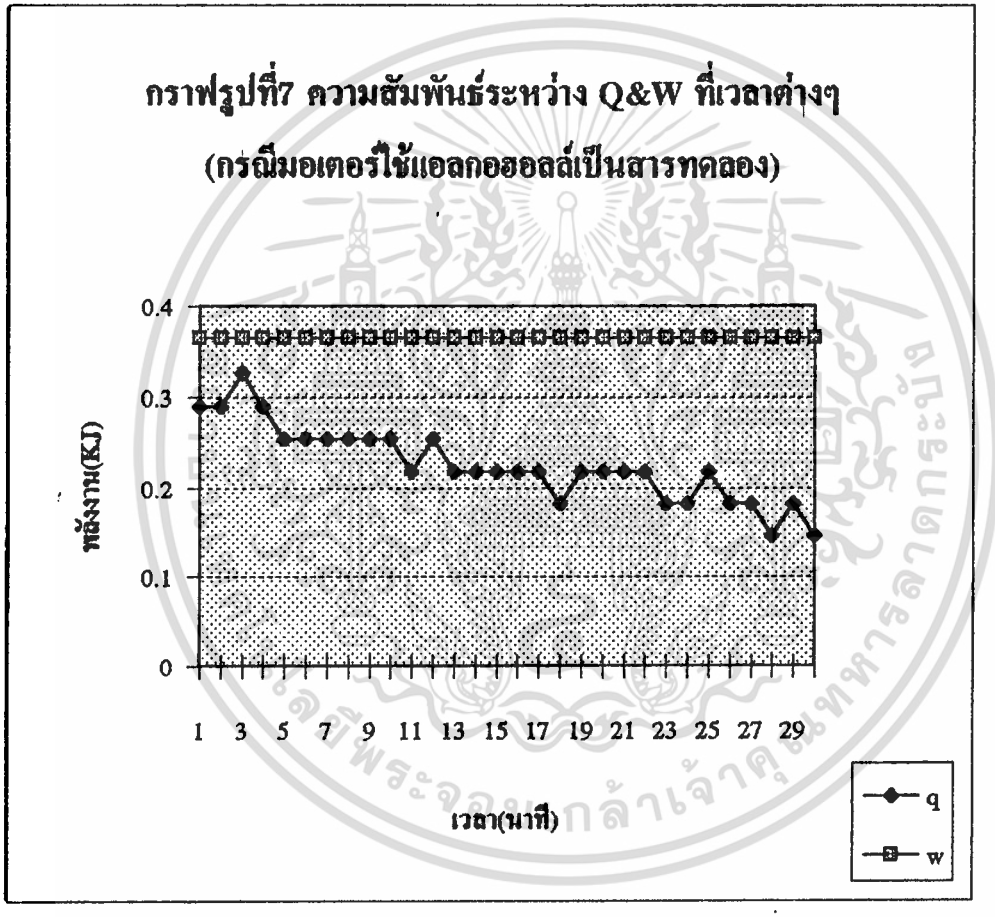
$$W = \Delta P \Delta t$$

$$= 6.07 \times 60$$

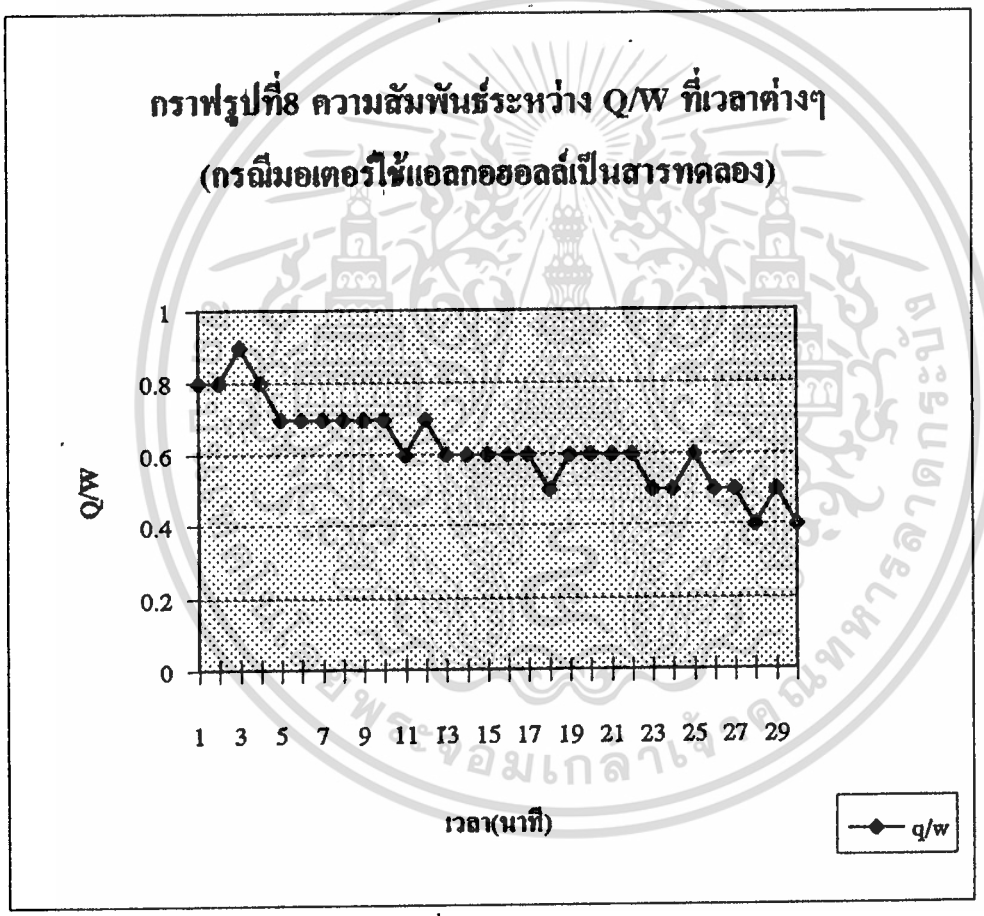
$$= \mathbf{364.2} \quad \mathbf{J}$$

$$= \mathbf{0.3642} \quad \mathbf{kJ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์

โครงงานนี้เป็นการประดิษฐ์อุปกรณ์ทดลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ จากผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ว่า อุปกรณ์ทดลองที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นนี้มีความเชื่อถือได้พอสมควร เนื่องจากผลการทดลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีไม่มาก โดยสาเหตุของความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1.กรณีของฮีทเตอร์ ใช้ **น้ำ** เป็นสารทดลอง

- ΔT มีแนวโน้มลดลงด้วยอัตราคงที่ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมก็ยิ่งสูงขึ้น

- ΔT ช่วงนาทีที่ 12-15 มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากมีน้ำบางส่วนเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ทำให้ปริมาณของเหลวในภาชนะลดลง โดยความร้อนที่ฮีทเตอร์จ่ายให้แก่ของเหลวคงที่ จึงทำให้ ΔT สูงขึ้น

2.กรณีของมอเตอร์ ใช้ **น้ำมัน,น้ำ และแอลกอฮอลล์** เป็นสารทดลอง

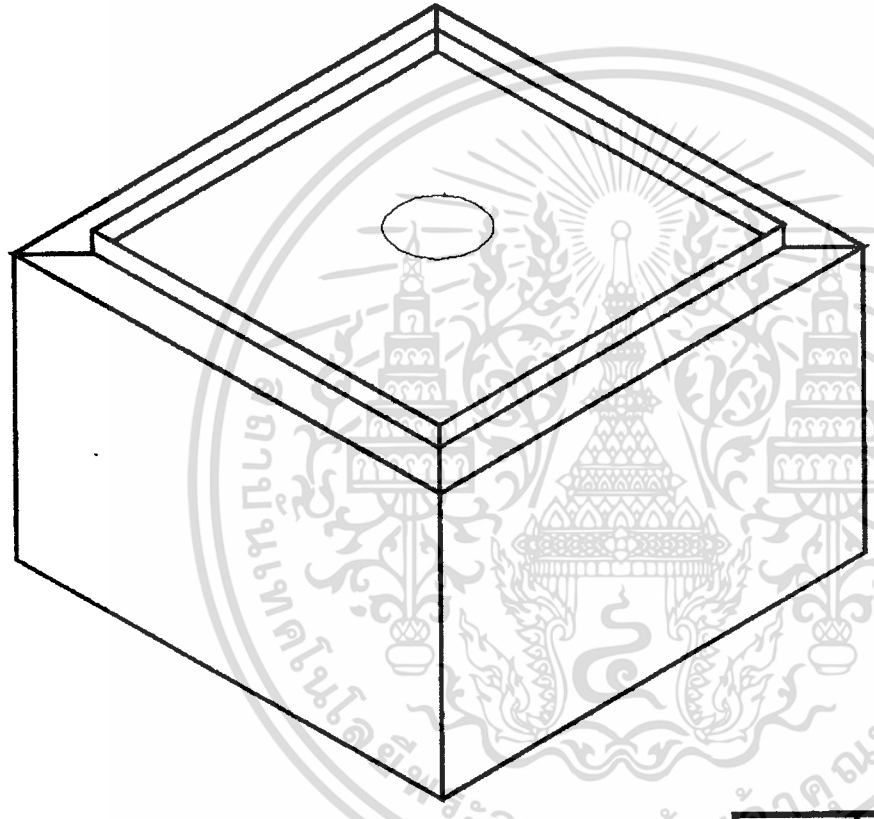
- ΔT มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของสารทดลองสูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมก็ยิ่งสูงขึ้น

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ เช่น Ampmeter,Voltmeter และ Digital Thermometer มีความละเอียดแม่นยำไม่มาก

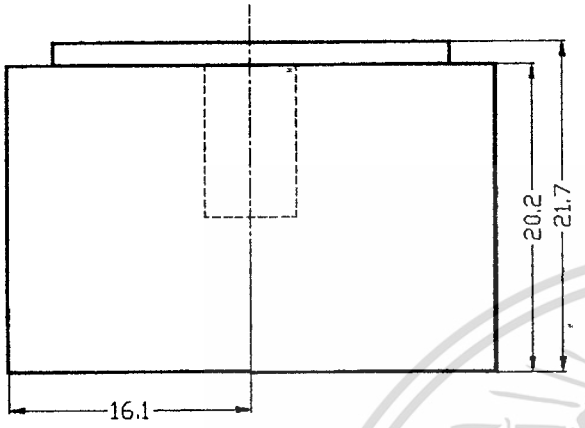
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

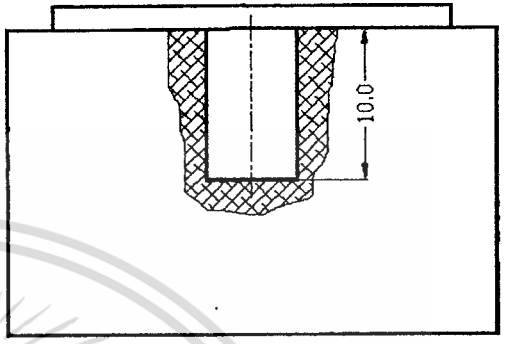
DRAWING

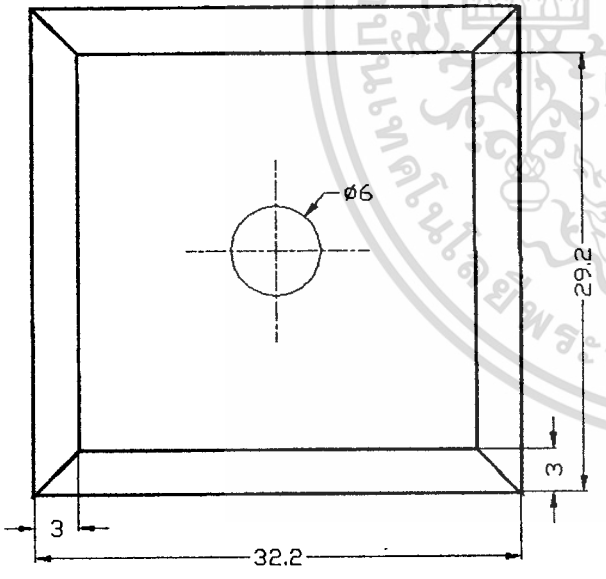
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



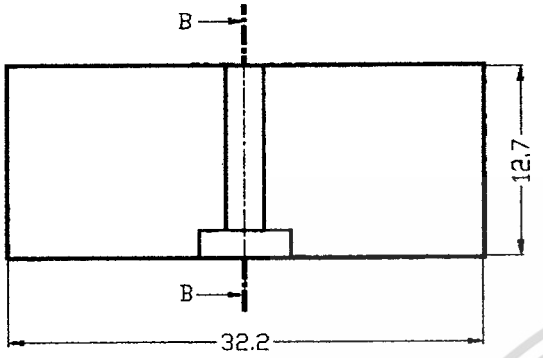
DRAWN	—	TITLE: APPARATUS FOR HEAT	SCALE: 1:5
CON	—		
FACULTY	MECHANICAL OF ENGINEERING	DRAWING NO: —	MATERIAL: ALUMINIUM
KMITL		DIMENSION: —	

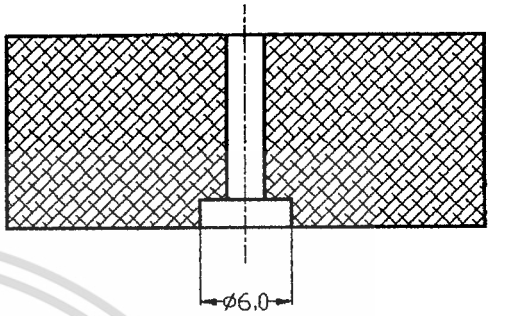


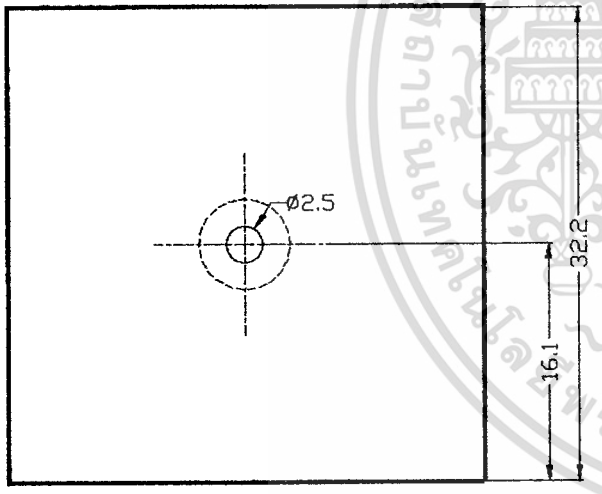




DRAWN	—	TITLE: APPARATUS FOR HEAT	SCALE: 1:5
CON	—		
FACULTY	MECHANICAL OF ENGINEERING	DRAWING NO. —	MATERIAL: ALUMINIUM
KMITL		DIMENSION: cm.	







DRAWN	—	TITLE: APPARATUS FOR HEAT	SCALE: 1 : 5
CONT	—		
FACULTY	MECHANICAL OF ENGINEERING	DRAWING NO. : —	MATERIAL: ALUMINIUM
KMITL		DIMENSION: cm.	

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

อาจารย์ อัครเดช สินธุภัค ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานจนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณพ่อ,คุณแม่ ที่คอยช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์นี้

น้องสุขนิษฐา ที่คอยช่วยเหลือและส่งเสบียงในระหว่างการทำงาน

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆและทุกคนที่เกี่ยวข้อง ที่คอยช่วยให้ความสะดวกและให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ มา ณ.ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. Spalding & Cole, "The First Law of Thermodynamics.",page 95-103

2. พงษ์ธร จรัญญากรณ์ " เทอร์โมไดนามิกส์ " หน้า 9-13 ,60-64 .

3. มนต์ชัย กาทอง " การถ่ายเทความร้อน " หน้า 1-39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้