สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบเทอร์โมไซฟอนเพื่อใช้ในอาคารปิดขนาดเล็ก

DESIGN THERMOSYPHON FOR SMALL BUILDING

T119469

นางสาวณภัทร์ วรารัชต์กุล
นายชยพล พงศ์กิจสกุล
นายณฐาภพ พงษ์ตุ้ย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119469
วัน,เดือน,ปี - 8 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN THERMOSYPHON FOR SMALL BUILDING

NAPAT WARARATKUL

CHAYAPOL PONGKITSAKUL

NATHAPHOP PHONGTUY

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบเทอร์โมไซฟอนเพื่อใช้ในอาคารปิดขนาดเล็ก

DESIGN THERMOSYPHON FOR SMALL BUILDING

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวณภัทร์ วรารัชต์กุล รหัสนักศึกษา 50010210

นายชยพล พงศ์กิจสกุล รหัสนักศึกษา 50010311

นายณฐาภพ พงษ์ตุ้ย รหัสนักศึกษา 50010455

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ประภาษ อุคคกิมาพันธุ์	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิทยา ปานนิล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบเทอร์โมไซฟอนเพื่อใช้ในอาคารปิดขนาดเล็ก		
	DESIGN THERMOSYPHON FOR SMALL BUILDING		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวณภัทร์	วรารัชต์กุล	รหัสนักศึกษา 50010210
	นายชยพล	พงศ์กิจสกุล	รหัสนักศึกษา 50010311
	นายณฐาภพ	พงษ์ตุ้ย	รหัสนักศึกษา 50010455
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ประภาษ อุคคกิมาพันธุ์		
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิทยา ปานนิล		
ปีการศึกษา	2553		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซ-ฟอน และคำนวณสัดส่วนของของเหลวที่ใช้ในการพาความร้อน ให้เหมาะสมสำหรับสถานที่ซึ่งเป็นห้องปิดขนาดเล็ก โดยผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดจะนำไปคำนวณในโปรแกรมซึ่งจะออกแบบเป็นโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณ สิ่งที่ดำเนินการนั้นได้ศึกษาถึงคุณลักษณะเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งดัดแปลงจากหม้อน้ำรถยนต์ โดยจะใช้อุปกรณ์ดังกล่าวเพื่อลดการสูญเสียอากาศเย็นของระบบหมุนเวียนอากาศภายในอาคาร พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ อัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ชนิดทองเหลือง อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศหม้อน้ำรถยนต์จำนวน 2 ชุด นอกจากนี้ในงานวิจัยได้นำสมการคำนวณประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมาสร้างโปรแกรมขึ้นเพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเบื้องต้น ก่อนออกแบบใช้งานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design Thermosyphon For Small Building
Authors	Miss Napat Wararatkul
	Mr. Chayapol Pongkitsakul
	Mr. Nathaphop Phongtuy
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Phapart Ukkakimapan
	Asst. Prof. Pittaya Pannin
Year	2010

ABSTRACT

In this thesis, we have investigated the experimentally design of thermosyphon heat exchanger, an determine the heat convection of liquid for small room. The testing results will be used to calculate by designed. Finally, the thermal characteristics of heat exchanger, modified from Automobile Radiator, are investigated in this research work .This apparatus is used for air exchanging in order to reduce the cooling loss of the room. The considered parameters in this investigation are the heat transfer rate of Automobile Radiator copper pipe two sets, and mass flow rate of air stream moreover, this thesis presents the efficiency heat transfer equation for evaluating the performance of heat exchanger before constructing it.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ โดยได้รับความเมตตาและอนุเคราะห์อย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ประภาษ อุคคกิมาพันธุ์ และอาจารย์พิทยา ปานนิล ซึ่งให้ความรู้ คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือต่างๆ คอยเอาใจใส่เป็นอย่างดีกลุ่มของเรารู้สึกทราบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในห้องสโตร์ทุกท่าน ที่คอยสนับสนุน และให้ยืมอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ

ขอบคุณรุ่นพี่ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คุณธัชชัย เกษมวราพัชร ที่คอยแนะนำในด้านของการเขียนโปรแกรม

ขอบคุณเพื่อนๆ ที่ศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ทุกท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นแรงบันดาลใจในการศึกษา ให้กำลังสนับสนุน และอยู่เคียงข้างเสมอมาในทุกๆเรื่อง ทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ความรู้ คุณค่า และประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....1

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎี.....3

2.1 แนวคิดเบื้องต้น.....3

2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน.....3

2.2.1 การประยุกต์ใช้เป็นหม้อน้ำรถยนต์.....4

2.3 การถ่ายเทความร้อน.....5

2.3.1 การนำความร้อน.....5

2.3.2 การพาความร้อน.....7

2.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....15

2.4.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตัดกันหรือตั้งฉากกัน.....16

2.4.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อซ้อนกัน.....16

2.4.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม.....16

2.4.4 ครีบระบายความร้อน.....18

2.4.5 การวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 หม้อน้ำรถยนต์.....33

2.5.1 การถ่ายเทความร้อนด้านน้ำหล่อเย็นในหม้อน้ำรถยนต์.....34

2.5.2 การถ่ายเทความร้อนด้านอากาศในหม้อน้ำรถยนต์.....34

2.6 ระบบบัส 1 สาย.....35

2.6.1 การเริ่มต้นติดต่อกับบัส 1 สาย.....36

2.6.2 การเขียนข้อมูลบนบัส 1 สาย.....36

2.6.3 การอ่านข้อมูลบนบัส 1 สาย.....37

2.6.4 การใช้งานไอซี DS18B20 กับระบบบัส 1 สาย.....38

2.7 Triac.....39

2.8 การควบคุมแบบ PID.....43

2.8.1 ความหมายของการควบคุมอัตโนมัติ.....43

2.8.2 การควบคุมแบบ Proportional Control.....44

2.8.3 การควบคุมแบบ Integral Control.....45

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....47

3.1 คุณสมบัติของสารทำความเย็นและสารดูดซึม.....47

3.2 Heater เพื่อใช้ในส่วนของ Generator.....49

3.3 การทดสอบรอยรั่ว.....50

3.4 การเติมสารละลายในระบบ.....51

3.5 การทำสุญญากาศระบบ.....51

3.6 ฉนวน.....52

3.7 การเชื่อมด้วยก๊าซ.....53

3.8 วงจรเครื่องวัดอุณหภูมิ.....55

3.9 การคำนวณสารละลายในระบบ.....57

3.9.1 กำหนดสภาวะต่างๆในการออกแบบ.....57

3.9.2 การคำนวณหาความดัน.....57

3.9.3 คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย.....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.9.4 คำนวณเอนทรัลปี.....58

3.9.5 อัตราการไหล.....58

3.9.6 ปริมาณความร้อน.....59

3.10 การเลือกวิธีที่ใช้วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน.....59

3.11 การคำนวณสมรรถนะของหม้อน้ำรถยนต์.....60

3.11.1 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำหล่อเย็น.....60

3.11.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ.....60

3.11.3 ประสิทธิผลของพื้นผิวด้านอากาศ.....60

3.11.4 ค่าการถ่ายถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์.....61

3.11.5 ค่าประสิทธิผลของหม้อน้ำ.....61

3.11.6 ค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท และอุณหภูมิที่ทางออก.....62

บทที่ 4 การทดลอง.....63

4.1 Heater.....63

4.2 เครื่องวัดความเร็วลม.....63

4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ.....63

4.4 การทดลองการพาความร้อน.....64

4.5 ประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์.....77

4.6 การทดลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....78

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....80

5.1 สรุปผลการวิจัย.....80

5.2 ข้อเสนอแนะ.....80

5.3 ปัญหาสำหรับการวิจัย.....80

บรรณานุกรม.....81

ภาคผนวก.....82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก.....83
ภาคผนวก ข.....97
ภาคผนวก ค.....154
ภาคผนวก ง.....162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน.....6

2.2 ค่า b และ n จาก Reynolds No.....12

2.3 ค่า a และ m จาก Rayleigh No.สำหรับของไหลไหลผ่านพื้นผิวที่วางในแนวตั้ง.....13

2.4 ค่า a และ m จาก Rayleigh No.สำหรับของไหลไหลผ่านผิวทรงกระบอกแนวตั้ง.....14

2.5 ค่า a และ m จาก Rayleigh No.สำหรับของไหลไหลผ่านผิวหน้าแผ่นเรียบในแนวนอน.....14

2.6 ค่าของเฟาวลิ่ง แฟคเตอร์.....20

2.7 ค่าโดยประมาณของ U.....20

2.8 ความสัมพันธ์ของ effectiveness สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
โดยที่ NTU = UA / C_{min} และ $C_r = C_{min} / C_{max}$.....25

2.9 ความสัมพันธ์ของ NTU สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
โดยที่ NTU = UA / C_{min} และ Cr = C_{min} / C_{max}.....26

2.10 แสดงคุณสมบัติที่สำคัญของไตรแอกที่นิยมใช้.....40

3.1 ตารางระบบสุญญากาศ.....52

3.2 การเปรียบเทียบขั้นตอนการหาปริมาณความร้อนด้วยวิธี LMTD และวิธี –NTU.....59

4.1 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 15 °C.....65

4.2 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 18 °C.....67

4.3 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 21 °C.....69

4.4 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 24 °C.....71

4.5 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 27 °C.....73

4.6 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 30 °C.....75

4.7 ผลการทดลองประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์.....77

4.8 ผลการทดลองก่อนติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....78

4.9 ผลการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 เทอร์โมไซฟอน.....4
2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น.....5
2.3 การส่งผ่านความร้อนผ่านผนังเรียบ.....15
2.4 ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดที่ของไหลทางเดียวกัน.....28
2.5 ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดที่ของไหลสวนทางกัน.....29
2.6 ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกับเชลล์ที่ของไหล
ในเชลล์ไหลผ่านเครื่องเที่ยวเดียวและในท่อไหลผ่านเครื่อง.....30
2.7 ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉากที่ของไหล
ทั้งสองไม่มีการคลุกเคล้าปนกัน.....31
2.8 ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉากที่ของไหล
ชนิดหนึ่งมีการคลุกเคล้าปนกันอีกชนิดหนึ่งไม่การคลุกเคล้าปนกัน.....32
2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์กับการติดต่อไอซี DS18B20.....36
2.10 กระบวนการเขียนข้อมูลบนบัส.....37
2.11 กระบวนการอ่านข้อมูลบนบัส 1 สาย.....37
2.12 การจัดสรรพื้นที่ของ SCRATCHPAD.....38
2.13 แสดงการใช้ เอส.ซี.อาร์ 2 ตัวต่อเป็นไตรแอค.....39
2.14 สัญญลักษณ์ของไตรแอก ข. การใช้งานพื้นฐาน.....39
2.15 วงจรแบบพื้นฐานที่สุดในการใช้งานไตรแอก.....41
2.16 แสดงวงจรการควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับวงจรหรี่ความสว่างของหลอดไฟ
โดยการปรับมุมของสัญญาณทริกเกอร์.....42
2.17 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลดโดยกำหนดได้จาก
ตำแหน่งเวลาของการทริกที่ให้แก่ไตรแอค.....42
2.18 คุณสมบัติไตรแอค.....43
2.19 การควบคุมแบบลูปปิดหรือแบบอัตโนมัติ.....44
3.1 Heater แท่ง.....50
3.2 วงจรเครื่องวัดอุณหภูมิ โดย IC DS18b20.....55
3.3 ส่วนของการเขียนโปรแกรมเครื่องวัดอุณหภูมิ.....56
3.4 ส่วนของผลการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.1 การทดลองการพาความร้อน.....64
4.2 การทางานของ Heater.....64
4.3 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุIหภูมิ 15 °C.....66
4.4 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 18 °C.....68
4.5 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 21 °C.....70
4.6 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 24°C.....72
4.7 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 27 °C.....74
4.8 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 30 °C.....76
4.9 กระบวนการทางานของหม้อน้ำ.....77
4.10 กราฟแสดงอุณหภูมิก่อนติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....78
4.11 กราฟแสดงอุณหภูมิเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Cmin	ค่าความจุความร้อนต่ำสุด (kJ/°C)
Cp	ค่าความจุความร้อน (kJ/°C)
Cpw	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/(Kg. °C))
COP	สัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ
E	พลังงานของระบบ (kJ)
EF	ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
h	เอนธัลปี ต่อหน่วยมวล, (เอนธัลปีจำเพาะ) (kJ/kg)
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/(m. °C))
m	มวล (kg)
$\dot{m}$	อัตรามวลไหล (kg/s)
Q	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท (kJ)
s	เอนโทรปี (kJ/(kg. °C))
T	อุณหภูมิ (°C)
A	พื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อน (m^2)
C_P	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.K)
Cr	อัตราความจุ (capacity ratio)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
g	specific gravity (9.81 m/s^2)
k	ค่าการนำความร้อน ($W/m^2.K$)
L	ความยาวของท่อ (m)
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
NTU	จำนวนหน่วยของการถ่ายเทความร้อน
ΔP	ความดันตกคร่อม (N/m^2)
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
T	อุณหภูมิ (K)
ΔT_m	อุณหภูมิเฉลี่ย (K)
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2.K$)
v	ความเร็วของการไหล (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρ	ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
ε	Effectiveness

สัญลักษณ์กำกับล่าง

AB	เครื่องดูดซึม (Absorber)
f	สภาวะของเหลวอิ่มตัว
g	สภาวะไออิ่มตัว
st	สารละลายเข้มข้น (สารละลายที่มีส่วนผสมของลิเธียมโบรไมด์สูง)
w	สารละลายเจือจาง (สารละลายที่มีส่วนผสมของลิเธียมโบรไมด์ต่ำ)
wa	น้ำ (Water)
c	Cold fluid
h	Hot fluid
i	Inlet
o	Outlet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

เมื่อประชากรในโลกเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการคิดค้นสิ่งอำนวยความสะดวกและวิทยาการต่างๆ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความร้อนก็ถูกพัฒนามาจากอุตสาหกรรมมากขึ้น ในแง่ของความจำเป็นของกระบวนการ หรือในแง่ของการใช้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการเหล่านี้ต้องใช้อุปกรณ์ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อให้ความร้อน ระบายความร้อน หรือเก็บความร้อนทิ้งมาใช้ เช่น การควบแน่นไอที่ออกจากหอกลั่น และระบายความร้อนออกจากน้ำมันหรือก๊าซ สิ่งหนึ่งที่คิดค้นเพื่ออำนวยความสะดวกในอาคารคือเครื่องปรับอากาศซึ่งเป็นการนำหลักการทางความร้อนมาใช้ มีการใช้เครื่องเป็นจำนวนมากขึ้นตามการเติบโตของอาคารที่เพิ่มขึ้น และภายในอาคารที่มีเครื่องปรับอากาศนั้น เพื่อให้อากาศหมุนเวียนต้องใช้พัดลมระบายอากาศ ซึ่งเมื่อใช้พัดลมระบายอากาศแล้ว อากาศร้อนภายนอกจะถูกนำเข้ามา และอากาศที่เย็นแล้วภายในจะถูกนำออกไป ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระในการทำความเย็นให้เครื่องปรับอากาศ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับระบบระบายอากาศในอาคาร โดยให้ติดอยู่กับพัดลมระบายอากาศ เพื่อเป็นการนำความร้อนที่เข้ามาในอาคาร วนกลับออกไป สามารถช่วยลดภาระการทำงานของระบบการทำความเย็นได้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาเชิงทดลอง ถึงประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ทำการสร้างขึ้น
2. เพื่อให้ผู้ที่สนใจ สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนตามสัดส่วนของหม้อน้ำรถยนต์จากทฤษฎี ก่อนนำมาประยุกต์ใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาเชิงทดลอง ออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนใช้สารคู่ผสมเป็นสารทำงานคือ ลิเธียมโบร์ไมด์-น้ำ
2. ใช้หม้อน้ำรถยนต์ชนิดที่เป็นทองเหลืองในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้ทฤษฎีการคำนวณประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนสร้างโปรแกรม

4. ใช้ท่อทองแดงขนาด 5/8นิ้ว โดยท่อมีการหุ้มฉนวนกันความร้อน และไม่คิดการสูญเสียความร้อนตามความยาวท่อ

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงงานวิจัยปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีขั้นตอนการศึกษาโดยเริ่มจากการศึกษาการทำงานของระบบท่อเทอร์โมไซฟอน สารเคมีที่ใช้ในการพาความร้อนโดยในที่นี้ได้ศึกษาสารคู่ผสมสำหรับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม การถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนโดยใช้หม้อน้ำรถยนต์ และการเขียนโปรแกรมเพื่อรองรับการออกแบบใช้งาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อช่วยลดภาระของเครื่องปรับอากาศในอาคารปิดขนาดเล็ก เนื่องจากการสูญเสียอากาศเย็นจากระบบหมุนเวียนอากาศ

2. เพื่อให้มีการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างง่ายใช้ในอาคารขนาดเล็ก โดยใช้โปรแกรมที่ออกแบบคำนวณประสิทธิภาพก่อนจะนำมาประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 แนวคิดเบื้องต้น

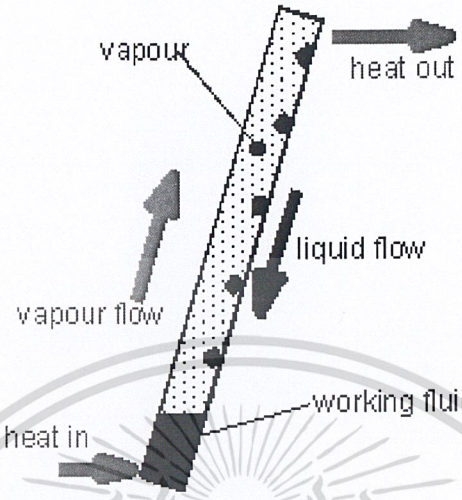
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเป็นระบบที่ของเหลวสามารถหมุนเวียนได้โดยใช้ความร้อนเป็นตัวพลักดันของกระบวนการ ซึ่งในการหมุนเวียนความร้อนของสารสามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นภายในระบบโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมาแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของเหลวในระบบซึ่งสามารถประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์มาเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งสามารถหาได้ง่ายและราคาถูก

2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ประกอบด้วยกลุ่มท่อเทอร์โมไซฟอนซึ่งการทำงาน จะอาศัยการเปลี่ยนสถานะและความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นภายในของท่อความร้อนเป็นตัวส่งถ่ายความร้อน

เทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายความร้อนชนิดหนึ่งที่มีความสามารถส่งถ่ายความร้อนได้สูงมากประมาณ 200 เท่าเมื่อเทียบกับค่าการนำความร้อนของทองแดงที่มีมิติเท่ากัน ท่อที่ใช้ทำจากท่อปลายปิดทั้งสองด้านภายในเป็นสูญญากาศบรรจุด้วยสารทำงานไว้จำนวนหนึ่ง ซึ่งชนิดของสารทำงานขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่จะนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้งานเช่น การใช้งานที่มีอุณหภูมิของแหล่งความร้อนประมาณ 100-250 องศาเซลเซียส และแหล่งระบายความร้อนอยู่ที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติคือ 25-35 องศาเซลเซียส ควรจะใช้วัสดุที่ใช้ทำท่อบรรจุคือท่อทองแดง และมีน้ำเป็นสารทำงานภายในเนื่องจากน้ำมีราคาต่ำ และสามารถส่งถ่ายความร้อนได้เป็นอย่างดีที่อุณหภูมิการทำงานดังกล่าว นอกจากนั้นการเลือกสารทำงานจำเป็นต้องพิจารณาความเข้ากันของวัสดุที่ใช้ทำท่อด้วย เนื่องจากถ้าสารทำงานไม่สามารถจะอยู่ร่วมกับท่อที่ใช้ทำเป็นท่อบรรจุได้ อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลทำให้ท่อมีอายุการใช้งานสั้นลง โดยทั่วไปเทอร์โมไซฟอนมีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ ส่วนทำระเหย Evaporator ส่วนกันความร้อน Adiabatic และส่วนควบแน่น Condenser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



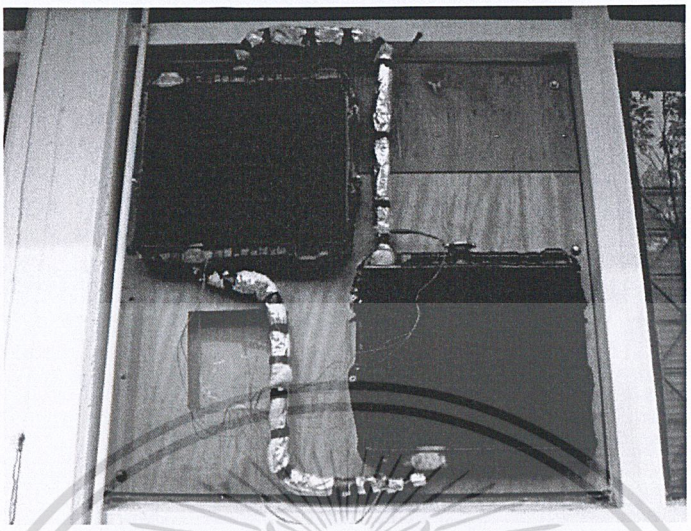
รูปที่ 2.1 เทอร์โมไซฟอน

2.2.1 การประยุกต์ใช้เป็นหม้อน้ำรถยนต์

จากข้อดีของการนำความร้อนได้สูง จึงมีการนำมาทำเป็นอุปกรณ์รับความร้อน มีลักษณะดังรูปที่ 2.2 โดยด้านหน้าส่วนที่ใช้รับความร้อนจะเป็นครีบของหม้อน้ำรถยนต์ และท่อทองแดงจะมีการหุ้มฉนวนกันความร้อน

เมื่อความร้อนจากนอกห้องผ่านเข้ามาในห้องโดยพัดลมดูดอากาศ ครีบหม้อน้ำรถยนต์จะดูดซับความร้อนไว้เพื่อที่ให้สารทำงานที่บรรจุอยู่ภายในเปลี่ยนสถานะเป็นไอไหลขึ้นไปในระบบ ส่งผลให้ความร้อนบางส่วนไม่สามารถเข้ามาให้ห้องได้ สารทำงานที่อยู่ด้านในหม้อน้ำรถยนต์มีอุณหภูมิสูงขึ้นและกลายเป็นไอที่ความดันต่ำ ไหลไปยังหม้อน้ำส่วนบนและถูกพัดลมระบายอากาศที่ระบายอากาศเย็นออกจากห้องเป่าพาความร้อนที่มีออกจากระบบ ส่งผลให้อุณหภูมิต่ำลงสารควบแน่นกลายเป็นสองสถานะตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก ไอน้ำสองสถานะถูกดูดซับโดยสารละลายลิเทียมโบร์ไมด์และไหลเป็นวัฏจักรเพื่อไปรับความร้อนอีกครั้ง ซึ่งจะทำให้การทำงานเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อภายนอกอาคารมีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้ระบบสามารถดำเนินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น

2.3 การถ่ายเทความร้อน

ความร้อนสามารถถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าได้ ในการถ่ายเทความร้อนที่อาศัยตัวกลางในการถ่ายเทคือ การนำความร้อนและการพาความร้อน และที่ไม่ได้อาศัยตัวกลางในการถ่ายเทคือการแผ่รังสีความร้อน

2.3.1 การนำความร้อน

การนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อนในโลหะการนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้า)ในของเหลว และของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k)

วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k)(W/mK)
อากาศ(ที่ความดันบรรยากาศ)	0.026
อะลูมิเนียม	237
คอนกรีต	1.82
ทองแดง	401
เพชร	2300
น้ำแข็ง	2.2
กระดาษ	0.05
ไม้	0.1-0.35
เงิน	429

สูตรการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ

การนำความร้อนผ่านท่อทรงกระบอกหนา x และทราบอุณหภูมิผนังท่อทั้งสองด้านเนื่องจากพื้นที่หน้าตัด (A) เปลี่ยนแปลงกับรัศมี หนา x เพราะฉะนั้น $d_2 = (d_1+2x)$

ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อ 1 หน่วยความยาวของท่อ (W/m) คือ

$$\dot{q} = \frac{(t1-t2)}{R} \tag{2.1}$$

โดยที่

$$R = \frac{\ln(d2/d1)}{2\pi k} \tag{2.2}$$

(d_1, d_2 คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกตามลำดับ)

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนในตัวกลางที่อยู่กับที่ อาจเป็นของแข็งหรือของไหลก็ได้ สำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มีการกระจายของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอในสภาวะคงตัว หาได้จาก Fourier's Law นั่นคือ

$$q = -kA(dT / dx) \tag{2.3}$$

เมื่อ q = อัตราการถ่ายเทความร้อน, W

k = ค่าการนำความร้อน, W/m.°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A = พื้นที่หน้าตัดของการส่งผ่านความร้อน, m^2

dT/dx = การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในทิศทาง x, °C/m มักจะมีเป็นค่าลบ

เนื่องจากความร้อนจะถ่ายเทไปในทิศทางที่อุณหภูมิต่ำกว่า

ในกรณีที่เป็นผนังราบพื้นที่หน้าตัด A มีความหนา L และ T_1-T_2 คือค่าผลต่างอุณหภูมิที่ผิวของผนัง จะมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนดังนี้

$$q = kA / L (T_1 - T_2) \quad (2.4)$$

2.3.2 การพาความร้อน

กระบวนการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อนเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของพลังงาน จากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่โมเลกุลตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปด้วย ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของลมที่ผ่านหน้าขดลวดความร้อน ลมดังกล่าวก็จะมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย นอกจากนี้การถ่ายโอนความร้อนแบบพายังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิตอาหารหลายชนิด ไม่ว่าจะโดยตรง หรือ ในด้านการใช้ลมหรือน้ำเป็นสารตัวกลางในกระบวนการ การพาความร้อนสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 แบบดังนี้

2.3.2.1 การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงจากภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ พร้อมๆกับทำหน้าที่ถ่ายโอนความร้อน มักจะอาศัยอุปกรณ์ช่วย ตัวอย่างเช่น ปั๊มพ์ พัดลม การพาความร้อนแบบบังคับนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบธรรมชาติ

2.3.2.2 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection)

กลไกการเกิดการถ่ายโอนความร้อนมักเกิดเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นในระบบ ตัวอย่างเช่น การถ่ายโอนความร้อนของอาหารภายในกระป๋องที่ผ่านการทำเย็นหลังจากการฆ่าเชื้อ ภายในกระป๋องจะมีการเคลื่อนที่ความร้อนเนื่องจากความหนาแน่น การถ่ายโอนในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นค่อนข้างช้าไม่ว่าจะเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบพาในลักกษณะใดก็ตามแต่มีสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อนเหมือนกันคือ

$$Q = h A \Delta T \quad (2.5)$$

ในสมการที่ 2.3 เรียกว่า กฎการเย็นตัวของนิวตัน "Newton's cooling law"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

q	= ปริมาณความร้อนที่เกิดการถ่ายโอนเนื่องจากการพา	W
h	= สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	$W/m^2 K$
A	= พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	m^2
ΔT	= ผลต่างของอุณหภูมิ	^oC หรือ K

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของของแข็งกับของไหลที่เคลื่อนที่ อัตราการถ่ายเทความร้อนหาได้จาก Newton's Law of Cooling นั่นคือ

$$q = hA(T_s - T\alpha) \tag{2.6}$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) มีความสำคัญอย่างมากต่อการหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน การหาค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความหนืด สัมประสิทธิ์การนำความร้อนจำเพาะ ฯลฯ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของพื้นที่ผิว และสภาพการไหล ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิด boundary Layer ถ้าพิจารณาลักษณะการไหลจะแบ่งการไหลได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) โดยจะใช้ค่า Raynolds Number (Re) เป็นเกณฑ์ ส่วนถ้าพิจารณารูปแบบของการไหล จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การไหลภายใน (Internal Flow) และการไหลภายนอก (External Flow) ดังนี้

1. การไหลภายใน (Internal Flow) เป็นการไหลที่กำหนดให้ถูกเคลื่อนที่ในบริเวณที่จำกัด เช่น ภายในท่อ ผนังท่อจะมีผลต่ออิทธิพลของลักษณะของการไหล เกณฑ์ที่ใช้แบ่งลักษณะของการไหล คือ Raynolds Number (Re_D) ที่เทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ มีค่าดังนี้

$$Re_D = \rho \bar{V} D / \mu \tag{2.7}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3

$\bar{V}$ = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล, m/s

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ, m

μ = ค่าความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล, m/s.kg

ค่าการพาความร้อนภายในท่อนิยมแสดงในรูปของ Nusselt Number ที่เทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (Nu_D) โดยมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดังนี้

$$Nu_D = hD / k \tag{2.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ไม่ใช่ท่อกลม(Non-circular Duct) สามารถใช้หาค่า Hydraulic Diameter (D_h) แทนได้ มีนิยามคือ

$$Dh \equiv 4A_c / P \tag{2.9}$$

เมื่อ Ac = พื้นที่หน้าตัดของท่อที่สัมผัสกับของไหล, m^2

P = เส้นรอบรูป หรือขอบของท่อที่สัมผัสกับของไหล, m

2. การไหลภายนอก (External Flow) เป็นการไหลของไหลที่มิได้ถูกจำกัดในบริเวณที่กำหนด แต่ต้องไหลผ่านผิวของของแข็ง โดยความเสียดทานที่ผนังจะมีผลต่อลักษณะของการไหล ค่า Raynolds Number ที่ใช้จึงขึ้นอยู่กับรูปแบบของพื้นผิวของของแข็งโดยเฉพาะ ค่าการพาความร้อนภายนอกของพื้นผิวที่มีความซับซ้อน นิยมแสดงในรูปตัวแปรไร้มิติ เช่น Nusselt Number หรือ Colburn j factor

บ่อยครั้งที่การพาความร้อนจะสร้างความต้านทานให้กับการถ่ายโอนความร้อนเมื่อเกิดการไหลของความร้อนในลักษณะลามินาร์ โดยที่เกิดชั้นของของไหลร้อนเสมือนว่าเป็นชั้นที่ผิวหน้า ทำหน้าที่เป็นฉนวนในการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งการจะขจัดทำได้ยาก จนกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลเป็นแบบเทอร์บิวเลนต์โดยทั่วไปพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ในสมการที่ 2.3 ของการพาความร้อนแบบบังคับ จะมีค่าสูงกว่าการพาแบบธรรมชาติ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน(h)ขึ้นอยู่กับ

- ลักษณะการไหล (ลามินาร์ หรือ เทอร์บิวเลนต์)
- ลักษณะของสภาวะการไหล (ไหลผ่านวัสดุใด หรือว่า ไหลในท่อ เป็นต้น)

มีการศึกษาทดลองเพื่อหาค่า h ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันไปโดยอาศัย การวิเคราะห์มิติ (Dimension analysis) หาความสัมพันธ์ทางตัวเลขต่างๆ ที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในการทดลอง และตรวจสอบอัตราการถ่ายโอนความร้อนย้อนกลับเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของค่า h ที่ได้

กลุ่มเลขไร้หน่วยที่มักนำมาวิเคราะห์ ได้แก่

Reynold Numbers

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu} = \frac{D v}{\nu} = \frac{4 \dot{m}}{\mu \pi D} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Prandtl Numbers

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (2.11)$$

Nusselt Numbers

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (2.12)$$

Grashof Numbers

$$Gr = \frac{D^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta T}{\mu^2} \quad (2.13)$$

Stanton Numbers

$$St = \frac{Nu}{Re \cdot Pr} \quad (2.14)$$

Rayleigh Numbers

$$Ra = (Gr)(Pr) \quad (2.15)$$

ส่วนวิธีการสร้างสมการความสัมพันธ์ของการพาความร้อนโดยละเอียดจะยกไปกล่าวในโอกาสต่อไป

2.3.2.3 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบบังคับ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนแบบบังคับนั้นมีสมการที่ได้จากการทดลองหลายสมการ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับสภาวะการไหลของตัวกลาง โดยหาค่า h ได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$Nu = f(Re,Pr) \quad (2.16)$$

หมายความว่าค่า Nusselt No. เป็นฟังก์ชันของ Reynolds No. และ Prandtl No. ในโอกาสต่อไปนี้จะนำเสนอสมการที่ใช้ในการหาค่า h ตามสภาวะต่างดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.4 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบบังคับของของไหลในท่อ

ของไหลที่ไหลแบบลามินาร์(Re < 2100)ภายในท่อตามแนวนอน สมการที่ใช้คือ

ในกรณี $(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L}) < 100$ จะได้ว่า

$$Nu = \frac{hD}{k} = 3.66 + \frac{0.085(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L})}{1+0.045(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L})^{0.66}} (\frac{\mu_b}{\mu_w})^{0.14} \quad (2.17)$$

ในกรณี $(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L}) > 100$ จะได้ว่า

$$Nu = \frac{hD}{k} = 1.86(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L}) (\frac{\mu_b}{\mu_w})^{0.14} \quad (2.18)$$

คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิขาเข้ากับขาออก ยกเว้น μ_w ให้ใช้อุณหภูมิของผนังท่อของไหลที่ไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Re > 2100)ภายในท่อตามแนวนอน Sieder และTate ได้เสนอสมการดังนี้

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0.023\, Re^{0.8}\, Pr^{\frac{1}{3}} (\frac{\mu_b}{\mu_w})^{0.14} \quad (2.19)$$

นอกจากสมการที่12 แล้ว Dittus และ Boelter ยังได้สร้างสมการที่ใช้หาค่า h โดยไม่คิดอิทธิพลของค่าความหนืดของไหล ดังสมการที่13

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0.023\, Re^{0.8}\, Pr^{n} \quad (2.20)$$

ค่า n มีค่า 0.4 ในกรณีเพิ่มอุณหภูมิของไหล และ0.3 ในกรณีลดอุณหภูมิของไหลตามลำดับ โดยสมการของ Dittus และ Boelterนี้ ต้องมี Reynold Numbers มากกว่า 10,000 ขึ้นไป และสมบัติทางกายภาพต้องคิดจากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิขาเข้าและขาออก ยังมีสมการที่คิดค้นโดย Colburn คือ

$$St = 0.023\, Re^{-0.2}\, Pr^{-\frac{2}{3}} \quad (2.21)$$

สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0.023\,Re^{0.8}\,Pr^{1/3} \quad (2.22)$$

2.3.2.5 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบบังคับของของไหลภายในพื้นที่วงแหวน

ในการหาค่า h ของสภาวะนี้จำเป็นต้องใช้ D_H (Hydraulic radius) ตามแต่รูปทรงทางเรขาคณิตของท่อ ซึ่งก็คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ตั้งฉากการไหลต่อเส้นรอบรูปที่เปียกของการไหล สมการที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาของชั้นของไหลที่ติดกับผนังด้านในของท่อชั้นนอก (h_o) คือ

$$Nu = \frac{h_o D_H}{k} = 0.023\,Re^{0.8}\,Pr^{\frac{1}{3}}\left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (2.23)$$

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การพาของชั้นของไหลที่ติดกับผนังท่อชั้นใน(h_i) คือ

$$Nu = \frac{h_i D_H}{k} = 0.023\,Re^{0.8}\,Pr^{0.4}\left(\frac{D_o}{D_i}\right)^{0.45} \quad (2.24)$$

2.3.2.6 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบบังคับของไหลที่ไหลตั้งฉากกับวัตถุทรงกระบอก

ในกรณีของไหลเป็นแก๊ส สมการที่ใช้ทั่วไปอยู่ในรูป

$$Nu = b\,Re^{n} \quad (2.25)$$

สำหรับ b และ n เป็นค่าคงตัวที่ขึ้นกับ Reynolds No.

ตารางที่ 2.2 ค่า b และ n จาก Reynolds No.

Re	A	b
1-4	0.891	0.330
4 – 40	0.821	0.385
40 - 4,000	0.615	0.466
4,000 - 40,000	0.714	0.618
40,000 - 250,000	0.0239	0.805

ส่วนในกรณีที่ของไหลเป็นของเหลวต้องดัดแปลงที่ 18 เสียก่อน จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nu = b\,Re^{n} \tag{2.26}$$

ค่า b และ n เป็นค่าคงตัวที่ขึ้นกับ Reynolds No. ซึ่งใช้ค่าจากตารางที่ 1 ได้เหมือนเดิมสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบบังคับของไหลผ่านวัตถุทรงกลม สมการที่ใช้คือ

$$Nu = \frac{hD}{k} = 2.0 + 0.60Re^{0.5} \cdot Pr^{1/3} \tag{2.27}$$

โดยที่ค่า Reynolds No. มีค่าอยู่ระหว่าง 1 แต่ไม่เกิน 70,000 และค่า Prandtl No. มีค่าระหว่าง 0.6 แต่ไม่เกิน 400 โดยใช้สมบัติทางกายภาพจากอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างผนังกับตัวกลาง

2.3.2.7 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ รูปแบบทั่วไปของสมการคือ

$$Nu = a\,(Ra)^{m} \tag{2.28}$$

โดย Rayleigh No. คือ ผลคูณของ Grashof No. กับ Prandtl No. ส่วน a และ m เป็นค่าคงตัวใดๆ

กรณีของไหลไหลผ่านพื้นผิวที่วางในแนวตั้ง และค่า D คือ vertical dimension มีค่าไม่เกิน 1 m หาค่า a และ m ไปแทนในสมการที่ 2.23 ได้จากตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่า a และ m จาก Rayleigh No.สำหรับของไหลไหลผ่านพื้นผิวที่วางในแนวตั้ง

Ra = Gr* Pr	**a**	**m**
$< 10^{4}$	1.36	0.2
$10^{4} - 10^{9}$	0.59	0.25
$>10^{9}$	0.13	0.3

ส่วนกรณีที่ของไหลไหลผ่านผิวทรงกระบอกแนวตั้ง สามารถหาค่า a และ m ได้จากตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ค่า a และ m จาก Rayleigh No.สำหรับของไหลไหลผ่านผิวทรงกระบอกแนวตั้ง

Ra = Gr* Pr	a	m
10^{-5} - 10^{-3}	0.71	1/25
10^{-3} – 1	1.09	0.1
1 - 10^{4}	1.09	0.2
10^{4} - 10^{9}	0.53	0.25
>10^{9}	0.13	0.33

และในกรณีของไหลไหลผ่านผิวหน้าแผ่นเรียบในแนวนอน หาค่า a และ m ได้จากตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่า a และ m จาก Rayleigh No.สำหรับของไหลไหลผ่านผิวหน้าแผ่นเรียบในแนวนอน

Ra = Gr* Pr	a	m
10^{5} - 2 x10^{7} (Flow upward)	0.71	1/25
2 x10^{7} - 3 x10^{10} (Flow upward)	1.09	0.1
3 x10^{5} - 3 x10^{10}(Flow downward)	1.09	0.2

และ ΔT ในการคำนวณ Gr เป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังและของไหล

2.3.2.7 ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)

เมื่อเปรียบเทียบการส่งผ่านความร้อนกับการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรจะพบว่ามีความคล้ายคลึงกัน โดยจาก Ohm's Law

$$I = \Delta V / R_{elc} \tag{2.29}$$

โดยให้อัตราการถ่ายเทประจุหรือกระแสไฟฟ้า (I) สัมพันธ์กับ อัตราการถ่ายเทความร้อน (q) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (ΔV) สัมพันธ์กับผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) จะได้ว่า

$$q = \Delta T / R_{th} \tag{2.30}$$

เราเรียก R_{th} ว่า ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) และจากนิยามข้างต้น สามารถหาค่าความต้านทานความร้อนเนื่องจากการนำความร้อน และการพาความร้อน

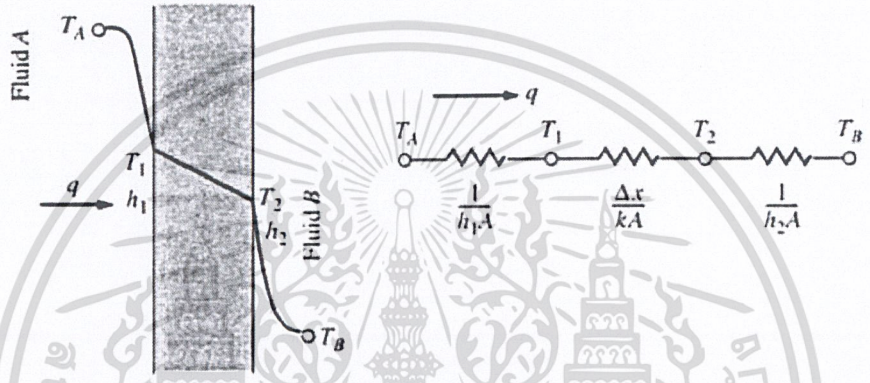
ความต้านทานการนำความร้อน $R_{cond} = L / kA$ (2.31)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานการพาความร้อน $R_{conv} = L / kA$ (2.32)

โดยทั่วไปความร้อนมักจะถูกส่งผ่านตัวกลางที่แตกต่างกันมากกว่า 1 ชนิด ซึ่งจะ มีค่าความต้านทานความร้อนที่ต่างกัน เราสามารถหาความต้านทานรวม (Overall Thermal Resistance : R_o) ได้เสมือนผลรวมของความต้านทานไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ต่อแบบอนุกรม

$$R_o = \Sigma R_{th} = Rcond + Rconv + \ldots \quad (2.33)$$



รูปที่ 2.3 การส่งผ่านความร้อนผ่านผนังเรียบ

2.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกระแสของการไหลแตกต่างกัน 2 ชนิด เป็นสิ่งที่สำคัญมากและขบวนการดังกล่าวพบได้บ่อยๆ ในทางวิศวกรรม หม้อน้ำรถยนต์ คอนเดนเซอร์ อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ หม้อน้ำรถยนต์ คอยล์เย็น ฯลฯ ต่างเป็นตัวอย่างของกระบวนการที่ความร้อนเกิดการแลกเปลี่ยนกันระหว่างของไหลร้อนและของไหลเย็น อุตสาหกรรมปิโตรเคมีสมัยใหม่ โรงผลิตพลังงาน ฯลฯ ต่างมีขบวนการมากมายจนไม่สามารถนับได้ ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกระแสของของไหล 2 ชนิด โดยไม่มีการผสมกันทางกายภาพเลย

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนธรรมดาอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ โดยขึ้นอยู่กับการจัดวางทิศทางสัมพันธ์ของทิศทางการไหลของกระแสของไหล 2 ชนิด

ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตัดกันหรือตั้งฉากกัน (cross-flow heat exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ cross-flow เป็นเครื่องที่กระแสของไหล 2 ชนิดมีทิศทางทำมุมซึ่งกันและกัน เครื่องแบบนี้ใช้บ่อยมากในเครื่องบิน หรือยานอวกาศ รูปที่ 2.3 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ cross-flow ซึ่งอาจติดครีบก็ได้การวิเคราะห์เครื่องนี้ยุ่งยากมาก เพราะว่าอุณหภูมิของไหลแปรเปลี่ยนทั้งสองทิศทางการไหล และทิศทางตั้งฉากกับการไหลถ้าของไหลไม่มีการผสมกันในทิศทางตั้งฉาก เครื่องแลกนี้ยังแยกได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ของไหลแต่ละชนิดมีช่องทางที่แน่นอนไม่มีการผสมกันระหว่างช่องเรียกว่า unmixed และกรณีที่ชองไหลชนิดในชนิดหนึ่ง ไม่มีช่องว่างการไหลที่แน่นอนสามารถผสมกันได้เรียกของไหลแบบนี้ว่า mixed

2.4.2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (shell and tube) ท่อซ้อนกัน (concentric pipe)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ประกอบด้วยเครื่องที่ซึ่งกระแสการไหล 2 ชนิด เคลื่อนที่ผ่านทางผนังท่อชั้นในในถ้าของไหลสองชนิดไหลไปในทางเดียวกันเรียกว่า Parallel flow แล้วถ้าไหลสวนทางกันเรียกว่า Counter flow เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้จำกัดปริมาณเนื้อที่ หรือพื้นที่ผิวสำหรับถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลสองชนิด พื้นที่ถ่ายเทความร้อนออกทำให้มากขึ้นได้โดยการเพิ่มจำนวนท่อภายใน (tubes) เท่าที่ทำได้ในเปลือกท่อใหญ่ (shell)

รูปแบบที่นิยมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ shell and tube ประกอบด้วยจำนวนชั้นของท่อเล็กๆ (tubes) ซึ่งตรึงไว้อย่างแน่นที่ปลายทั้งสองข้างในแผ่นท่อซึ่งเป็นแผ่นเจาะรูขนาดใหญ่เพื่อยึดท่อไว้โดยเชื่อม ชิ้นท่อเล็กๆ ทั้งหมดได้วางไว้ภายในเปลือกท่อที่ปิดมิดชิด เพื่อขึ้นรูปเป็น 2 ช่องใหญ่สำหรับของไหลร้อน และของไหลเย็น

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน shell and tube อาจมีรูปแบบที่สลับซับซ้อนขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของช่องว่างภายในสำหรับการจัดรูปทรงต่างๆนอกเหนือจากที่กล่าวมาเช่นเป็นแบบ one shell pass และ two tube pass และแบบ two shell pass, four tube pass ก็ได้ ซึ่งใช้กันมากในคอนเดนเซอร์ของไอน้ำเพื่อเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นเอง

2.4.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมนิยามอยู่ในเทอมของความต้านทานความร้อนรวมต่อการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหล 2 ชนิด สัมประสิทธิ์นี้หาได้โดยรวมความต้านทานการนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

และการพาความร้อนระหว่างของไหลที่ถูกแยก โดยระนาบหลายชั้น และผนังทรงกระบอกต่างๆ เข้าด้วยกันและผลลัพธ์เหล่านี้ใช้ได้เฉพาะกรณีผิวสะอาดไม่มีครีบเท่านั้น

ระหว่างการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติพื้น ที่ผิวของมันย่อมต้องสกปรก เนื่องจากสิ่งที่เจือปนอยู่ในของไหล สนิม หรือปฏิกิริยาต่างๆ ระหว่างของไหลและวัสดุผนัง เป็นผลให้มีตระกรันหรือคราบสกปรกบางๆ บนผิว ซึ่งสามารถเพิ่มความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลทั้งสอง ผลนี้สามารถแก้ไขได้โดยใส่ค่าความต้านทานเพิ่มเติมเรียกว่า เฟาว์ลิงแฟคเตอร์ (Fouling factor, R_f) ค่านี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการทำงาน ความเร็วของไหล และระยะการบำรุงรักษาเครื่อง นอกจากนี้ยังทราบว่าครีบถูกติดตั้งกับผิวบ่อยๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวซึ่งเป็นการลดความต้านทานการพาความร้อน ดังนั้นโดยรวมผลของครีบและความสกปรก(fouling)ของผิว และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมแสดงได้เป็น

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{UcAc} = \frac{1}{UhAh}$$

$$= \frac{1}{(n_o hA)c} + \frac{R''f,c}{(n_o A)c} + Rw + \frac{R''f,c}{(n_o A)h} + \frac{1}{(n_o hA)h} \qquad (2.34)$$

โดยที่ตัวห้อย c และ h หมายถึงของไหลเย็นและของไหลร้อนตามลำดับ สังเกตว่าการหาของ UA ไม่สนใจว่าเป็นด้านของไหลร้อนหรือเย็นเนื่องจาก ($U_cA_c=U_hA_h$) อย่างไรก็ตามการหาค่า U จะขึ้นอยู่กับว่าเป็นผิวด้านของไหลร้อนหรือเย็นเนื่องจาก $U_c \neq U_h$ ถ้า $A_c \neq A_h$ "ประสิทธิภาพของผิวรวม หรือ temperature effectiveness" ของผิวที่มีครีบ ได้มาจากสมการ

$$q = n_0 hA(T_b - T\infty) \qquad (2.35)$$

ซึ่ง T_b คืออุณหภูมิที่ฐานของครีบ และ A คือพื้นที่ผิวทั้งหมด

ดังนั้น ปริมาณนี้สามารถแสดงได้ว่า

สมการการถ่ายเทความร้อนที่ส่งผ่านตัวกลางใดๆ เราสามารถจัดรูปแบบอย่างง่ายให้คล้ายกับ Newton's Law of Cooling ดังนี้

$$q = UA\Delta T \qquad (2.36)$$

เราเรียกค่า U ว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าผลคูณ UA ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Thermal Conductance) ซึ่งมีค่าเป็นส่วนกับของค่าความต้านทานความร้อนรวม ดังนี้

$$UA = 1 / R_o = 1 / R_{th} \qquad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

119469

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะมีค่าขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่พิจารณา แต่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมจะมีค่าคงที่ ไม่ว่าจะพิจารณาตำแหน่งใดก็ตาม

$$UA = U_iA_i = U_oA_o \tag{2.38}$$

ตัวห้อย i และ o หมายถึง พื้นที่ผิวภายใน และพื้นที่ผิวภายนอกตามลำดับ

2.4.4 ครีบระบายความร้อน (Fins)

ครีบระบายความร้อน คือ วัสดุที่ติดเพิ่มเข้ากับพื้นที่ผิวระบายความร้อนเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากพื้นที่ในการพาความร้อนเพิ่มขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตาม การติดครีบระบายความร้อนก็เป็นการทำให้เกิดความต้านทานการนำความร้อนที่ฐานของครีบ จึงเป็นการไม่แน่นอนว่าอัตราระบายความร้อนจะเพิ่มขึ้นเสมอไป เมื่อทำการติดครีบแผ่นครีบจะมีการกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ อุณหภูมิที่ปลายของครีบจะต่ำกว่าอุณหภูมิที่ฐานของครีบ เพราะต้องสูญเสียความร้อนให้กับของไหลรอบๆ ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจึงขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของครีบ (n_f) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนจริง ($q_{fin,actual}$) กับอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของครีบ ($q_{fin,max}$) มีค่าดังนี้

$$n_f = q_{fin,actual} / q_{fin,max} \tag{2.39}$$

อัตราการการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของครีบ (qfin,max) คือ การสมมติให้อุณหภูมิทุกจุดของครีบมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของพื้นผิวเดิมที่ฐาน (Ts) เมื่อให้พื้นที่ถ่ายเทความร้อนเท่ากับ Af จะมีอัตราถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ

$$q_{fin,max} = hA_f(T_s - T\alpha) \tag{2.40}$$

เมื่อพิจารณาจากกฎการไม่สูญหายของพลังงาน และสมการอนุพันธ์ จะได้ว่า ในกรณีประสิทธิภาพของครีบตรง ที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ และไม่มีการถ่ายเทความร้อนที่ปลายครีบ มีค่าดังนี้

$$n_f = \tanh\left(\sqrt{\frac{hP}{kAc}}\ x\ l\right) / \sqrt{\frac{hP}{kAc}}\ x\ l \tag{2.41}$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของครีบ, m^2

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหล, W/m.°C

l คือ ค่าความยาวของครีบ, m

P คือ เส้นรอบรูปพื้นที่หน้าตัดของครีบ, m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการติดครีบให้กับพื้นที่ระบายผิวความร้อนเดิมแล้ว ความร้อนที่ระบายออกจะไม่ได้ระบายออกเฉพาะในส่วนที่มีครีบเท่านั้น แต่ความร้อนจะระบายออกในส่วนที่ไม่ได้ติดครีบด้วย (q_{unfin}) ดังนั้นจะต้องพิจารณาประสิทธิภาพรวมทั้งหมดโดยสมมติให้พื้นที่ถ่ายเทความร้อนทั้งหมดของระบบเท่ากับ A_o เราสามารถจัดรูปแบบของสมการเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ เราเรียกค่า n_o ว่าประสิทธิผลของพื้นผิว (Surface Effectiveness)

$$\begin{aligned} q_{con} &= q_{fin} + q_{unfin} \\ &= n_f h A_f (T_s - T\alpha) + h(A_o - A_f)(T_s - T\alpha) \\ &= [1 - A_f/A_o(1-n_f)]hA_o(T_s - T\alpha) \\ &= n_o h A_o (T_s - T\alpha) \end{aligned}$$

$$n_o = 1 - \frac{Af}{A}(1 - nf) \tag{2.42}$$

โดยที่ A_f เป็นพื้นที่ผิวครีบทั้งหมด และ n_f เป็นประสิทธิภาพของครีบเดี่ยว ถ้าเป็นครีบตรง หรือกลมตรง ยาว L และปลายหุ้มฉนวน จะได้ว่า

$$n_f = \frac{\tanh(mL)}{mL} \tag{2.43}$$

โดยที่ $m = (2h/kt)1/2$ และ t เป็นความหนาของครีบ

เทอมการนำความร้อนของผนัง อาจจะตัดทิ้งได้เนื่องจากผนังบาง และตามปกติมีค่า k สูง ทำนองเดียวกันค่า h อันหนึ่งจะมีค่าน้อยกว่าอีกอันหนึ่งมาก ดังนั้นจึงเป็นหลักสำหรับหาค่า U ได้ง่ายขึ้น ค่าของ U บางค่าได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.7

สำหรับกรณีเป็นผิวที่ไม่มีครีบ

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{UiAi} = \frac{1}{UoAo}$$

$$= \frac{1}{hiAi} + \frac{R"f,i}{Ai} + \frac{\ln(Do/Di)}{2\pi kL} + \frac{R"f,o}{Ao} + \frac{1}{hoAo} \tag{2.44}$$

โดยที่ตัวห้อย i และ o หมายถึงผิวท่อภายในและผิวท่อภายนอก ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ค่าของเฟาวลิ่ง แฟคเตอร์

ของไหล	R_f"(m^2.K/W)
น้ำทะเลและน้ำป้อนหม้อน้ำที่กรองแล้ว (<50°C)	0.0001
น้ำทะเลและน้ำป้อนหม้อน้ำที่กรองแล้ว (>50°C)	0.0002
น้ำตามแม่น้ำ (<50°C)	0.0002-0.0001
น้ำมันเชื้อเพลิง	0.0009
น้ำยาทำความเย็น	0.0002
ไอน้ำ (ไม่มีไอน้ำมัน)	0.0001

ตารางที่ 2.7 ค่าโดยประมาณของ U

ชนิดของไหล	U(W/m^2.K)
น้ำ กับ น้ำ	850-1700
น้ำ กับ น้ำมัน	110-350
คอนเดนเซอร์ไอน้ำ (น้ำในท่อ)	1000-6000
คอนเดนเซอร์แอมโมเนีย (น้ำในท่อ)	800-1400
คอนเดนเซอร์แอลกอฮอล์ (น้ำในท่อ)	250-700
เครื่องแบบท่อมีครีบ (น้ำในท่อและอากาศไหลตัด)	25-50

2.4.5 การวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.4.5.1. วิธีความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิทึม (Log Mean Temperature Difference)

กรณีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบซ้อนกัน โดยเป็นแบบ Parallel flow หรือ Counter flow ก็ได้

$$Q = UA\Delta T_m \qquad (2.45)$$

โดยที่ Q = ความร้อนที่ถ่ายเทความร้อน

A = พื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อนตามนิยาม

U = สัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนรวม

ΔT_m = ความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ย ที่เหมาะสมผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับแบบไหลตามกัน Parallel flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta T_m = \frac{(\Delta T2 - \Delta T1)}{\ln(\Delta T2/\Delta T1)} = \frac{(Th2 - Tc2) - (Th1 - Tc1)}{\ln[(Th2 - Tc2)/(Th1 - Tc1)]} \quad (2.46)$$

สำหรับแบบไหลสวนทางกัน Counter flowสามารถหาค่า ΔT_m เหมือนกับการไหลตามกันทุกประการเพียงแต่กรณีนี้ถ้า $\Delta T_1 = T_{hi} - T_{co}$ และ $\Delta T_2 = T_{ho} - T_{ci}$ เท่านั้นโดยวัดตัวห้อย i และ o หมายถึงทางเข้าและทางออกตามลำดับ

กรณี เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหลายกลับและไหลตัดกัน (Multipass and cross-flow heat exchanger) เงื่อนไขต่างๆของการไหลแบบนี้มีความซับซ้อนมาก สมการที่กล่าวมาแล้วไม่อาจสามารถใช้ได้โดยตรง จำเป็นต้องมีการปรับปรุงใหม่เสียก่อน โดยปรับปรุงค่า LMTD ให้

$$\Delta T_{lm} = F\Delta T_{lm,CF} \quad (2.47)$$

นั่นคือรูปที่เหมาะสมของ ΔTlm โดยคูณด้วยตัวประกอบแก้ไข (correction factor) ใช้สัญลักษณ์ F ภายใต้สมมติฐานของเงื่อนไขการไหลแบบสวนทางกัน เทอมทางพีชคณิตของ F ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับรูปร่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ shell and tube และ cross-flow ต่างๆ โดย F นี้จะเป็นฟังก์ชันของ P และ R นั่นคือ ΔTlm = $F(P,R)\Delta T$lm,CF โดยที่ค่า R เรียกว่า อัตราส่วนความจุ (capacity ratio) และ P เรียกว่า effectiveness ซึ่งทั้งสองเป็นอัตราส่วนไร้มิติ ดังนี้

$$R = \frac{\dot{m}cCcp}{\dot{m}hCph} = \frac{Thi - Tho}{Tco - Tci} = \frac{Ti - To}{to - ti} \quad (2.48)$$

และ

$$P = \frac{\dot{m}cCcp(Tco - Tci)}{\dot{m}cCpc(Thi - Tci)} = \frac{Tco - Tci}{Thi - Tci} = \frac{to - ti}{Ti - ti} \quad (2.49)$$

โดยทั่วไปผลต่างของอุณหภูมิระหว่างของไหลสองชนิด ที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีค่าไม่คงที่ อุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ยที่เหมาะสมในการหาปริมาณความร้อนจะต้องใช้ตัวปรับแก้ มีค่าดังนี้

$$\overline{\Delta T} = F \times LMTD \quad (2.50)$$

โดย

$$LMTD = \Delta T_1 - \Delta T_2 / \ln(\Delta T_1 - \Delta T_2) \quad (2.51)$$

$$\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,i} \quad (2.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ F คือ ตัวประกอบแก้ไข (Correction Factor)

LMTD คือ อุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ยแบบ Logarithm

Th,i ,Th,o คือ อุณหภูมิของของไหลร้อนที่ปากทางเข้าและทางออกตามลำดับ

Tc,i ,Tc,o คือ อุณหภูมิของของไหลเย็นที่ปากทางเข้าและทางออกตามลำดับ

2.4.5.2. วิธี Effectiveness – NTU (Effectiveness and Number of Transfer Units)

เป็นวิธีการแก้ปัญหาวิเคราะห์เชิงอัตราที่สะดวกรวดเร็ว และมีความแม่นยำกว่าวิธีแรก เพราะไม่จำเป็นต้องทราบ ค่าอุณหภูมิที่ปากทางออกของของไหลทั้งสองชนิด Kays และ London (1984) ได้กำหนดค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness : ε) เพื่อใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนจริง (Q_{actual}) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้ (Q_{max}) ดังนี้

$$Q_{actual} = \varepsilon Q_{max} \tag{2.53}$$

อัตราถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้นั้น(Maximum Possible Heat Rate) คือ อัตราถ่ายเทความร้อนสมมติให้เกิดในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการไหลแบบสวนทา(Counter Flow) มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนเป็นอนันต์ การถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างช้าๆ จนทำให้ผลต่างอุณหภูมิมีค่าคงที่ตลอดตัวเครื่อง ถ้าให้ผลต่างอุณหภูมิมีค่าคงที่ตลอดตัวเครื่อง ถ้าให้ C_h และ C_c เป็นค่าผลคูณระหว่างอัตราไหลเชิงมวล ($\dot{m}$) กับค่าความจุความร้อนที่ความดันคงที่ (C_p) ของของไหลที่มีอุณหภูมิสูงและต่ำตามลำดับ ความสามารถในการส่งผ่านความร้อนที่เป็นไปได้แยกเป็น 2 กรณี ดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u> อัตราความจุความร้อนของของไหลร้อนมากกว่าของของไหลเย็น ($C_h > C_c$)

ปริมาณความร้อนจากของไหลร้อน จะไม่สามารถถ่ายเทให้กับของไหลเย็นได้ทั้งหมด จะมีบางส่วนสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม เพราะมิเช่นนั้นแล้วจะทำให้อุณหภูมิที่ทางออกของของไหลเย็นมีค่าสูงกว่าของไหลร้อน ซึ่งผิดหลักทางเทอร์โมไดนามิก อัตราถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้จะมีค่าเท่ากับ

$$Q_{max} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i}) \tag{2.54}$$

<u>กรณีที่ 2</u> อัตราความจุความร้อนของของไหลร้อนน้อยกว่าของไหลเย็น ($C_h < C_c$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความร้อนจากของไหลร้อนสามารถถ่ายเทให้กับของไหลเย็นได้ทั้งหมดอัตราถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้จะมีค่าเท่ากับ

$$Q_{max} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (2.55)$$

เมื่อ $T_{h,i}$ และ $T_{c,i}$ คือ อุณหภูมิที่ทางเข้าของของไหลร้อนและของไหลเย็นตามลำดับ

จากทั้งสองกรณีสรุปได้ว่า อัตราถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้ คำนวณจากอัตราความจุความร้อนที่น้อยที่สุดระหว่างของไหลทั้งสองชนิด (C_{min}) จะมีค่าดังนี้

$$Q_{max} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (2.56)$$

ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ε) เป็นฟังก์ชันของค่าอัตราความจุความร้อนที่มากที่สุด และน้อยที่สุด (C_{max},C_{min}) ส่วนค่า NTU (Number of Transfer Unit) มีนิยามคือเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Thermal Conductance : UA) กับอัตราความจุความร้อนที่น้อยที่สุดของของไหล (C_{min}) ดังนี้

$$NTU = UA / C_{min} \quad (2.57)$$

สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการไหลแบบตั้งฉาก โดยของไหลทั้งสองไม่ผสมกัน จะมีค่าประสิทธิผลทางความร้อนเท่ากับ

$$\varepsilon = 1 - \exp\{ \frac{Cmax}{Cmin} NTU^{0.22} [\exp(-\frac{Cmin}{Cmax} NTU^{0.78}) - 1] \} \quad (2.58)$$

และในกรณีที่ $C_h >> C_c$ จะมีค่าเท่ากับ

$$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU) \quad (2.59)$$

ความยุ่งยากอันหนึ่งในการใช้วิธี LMTD หาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือว่าค่า LMTD ไม่สามารถหาได้ถ้าไม่ทราบค่าอุณหภูมิทางเข้า-ออกของของไหลทั้งหมด (T_{ci}, T_{co}, T_{hi}, T_{ho}) ในการออกแบบจริงค่าอุณหภูมิเหล่านี้ต่างรู้ จึงสามารถใช้วิธี LMTDได้ อย่างไรก็ตามถ้าเราประสงค์จะประเมินสมรรถนะ(เช่น q) ของเครื่องที่กำหนดเงื่อนไขทางเข้ามาให้แล้ว และอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางออกจะไม่ทราบค่าจนกว่าจะหา q ได้เสียก่อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้การคำนวนแบบย้ำ (iteration) โดยสมมติอุณหภูมิทางออกก่อนเพื่อมาหา q ที่ต้องการ ถ้าค่า q ที่หาได้สอดคล้องกับ q ที่ต้องการแสดงว่าค่าอุณหภูมิทางออกที่สมมติใช้ได้ จะเห็นว่าเป็นวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยากไม่สะดวก

ถ้าสมรรถนะต่างๆ นี้ได้นำมาเปลี่ยนรูปใหม่ในเทอมของพารามิเตอร์ effectiveness แล้วจะใช้ได้สะดวก แนวความคิดของการแลกเปลี่ยนความร้อน "effectiveness" ซึ่งเกี่ยวข้องกันกับ "NTU" (number of transfer unit) นำมาใช้ครั้งแรกโดยนัสเซิสท์ (Nusslt) และปรับปรุงโดย Kays และ London

ค่า effectiveness (∈) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน นิยามเป็นอัตราส่วนของความร้อนที่ถูกถ่ายเทจริงโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ควรจะถูกถ่ายเทเป็นไปได้สูงสุด

หรือ $$\text{effectiveness} = \in \equiv \frac{q}{qmax} \tag{2.60}$$

โดยที่การถ่ายเทความร้อนจริง (q) หาได้จากการสมดุลย์พลังงานกระแสของไหลร้อนหรือกระแสของไหลเย็นก็ได้ : $q = \dot{m}$cCcp(Tco-Tci)=$\dot{m}$hCph(Thi-Tho) ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ควรจะเป็น (q_{max}) ซึ่งถูกจำกัดโดยกระแสของไหลที่มีอัตราความจุความร้อนน้อยที่สุด นั้นคือ

$q_{max} = \dot{m}$cCpc(Thi-Tci) เมื่อ $\dot{m}$cCpc < $\dot{m}$hCph (2.61)

หรือ $q_{max} = \dot{m}$hCph(Thi-Tci) เมื่อ $\dot{m}$cCpc > $\dot{m}$hCph (2.62)

ดังนั้น ∈=(Tco-Tci)/(Thi-Tci) ถ้า $\dot{m}$cCpc < $\dot{m}$hCph (2.63)

หรือ ∈=(Thi-Tho)/(Thi-Tci) ถ้า $\dot{m}$cCpc > $\dot{m}$hCph (2.64)

ขนาดความร้อนสัมพัทธ์ของกระแสของไหลทั้งสองเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมาก และเพื่อที่จะทำให้เป็นปริมาณที่น้อยกว่าหนึ่งเสมอ ดังนั้น อัตราความจุ (Capacity ratio) นิยามเป็น

$$Cr=(\dot{m}cp)_{min}/(\dot{m}cp)_{max} \tag{2.65}$$

ผลคูณ UA แทนการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องมือแลกเปลี่ยนความร้อนต่อองศาของความแตกต่างอุณหภูมิ ขนาดของความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้สามารถทำให้เป็นรูปไร้มิติโดยอ้างอิงความจุของการเก็บสะสมของกระแสของไหลอันหนึ่ง เนื่องจากกระแสซึ่งมีอัตราความจุความร้อนน้อยกว่าอีกอันจะจำกัดการถ่ายเทความร้อนสูงสุด จึงต้องใช้ในรูปไร้มิติได้ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนหน่วยของหน่วยถ่ายเทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (number of transfer unit, NTU) นิยามเป็น

$$NTU=\frac{UA}{(\dot{m}cp)min} \tag{2.66}$$

ค่า effectiveness สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันของ Cr และ NTU ได้สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใดๆค่า Cr และ NTU ทั้งสองนี้เกี่ยวข้องเพียงเฉพาะ อัตราการไหลของของไหลความจุความร้อน ขนาดของเครื่อง และค่า U เท่านั้น effectiveness จึงหาได้โดยไม่ต้องรู้อุณหภูมิใดๆ เนื่องจาก effectiveness เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิทางออกของของไหลหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นอุณหภูมิอีกอันจึงหาได้เมื่ออุณหภูมิทางเข้าทั้งสองกำหนดให้ความสัมพันธ์เฉพาะของ effectiveness และ NTU

เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์เฉพาะของ effectiveness และ NTU เราพิจารณาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามกันที่ซึ่ง $C_{min} = C_h$ ดังนั้น $C_{max} = C_c$ และจากสมการที่ผ่านมาได้ $\in=(T_{hi}-T_{ho})/(T_{hi}-T_{ci})$ และ $q=C_c(T_{co}-T_{ci})=C_h(T_{hi}-T_{ho})$

ดังนั้น
$$C_{min}/C_{max} = (T_{co}-T_{ci})/(T_{hi}-T_{ho}) \tag{2.67}$$

Kays และ London ได้แสดงความสัมพันธ์ของ effectiveness, NTU และ C_{min}/C_{max} สำหรับแจกแจงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่างๆ และในบางส่วนของผลลัพธ์ จากการวิเคราะห์ของเขาได้แสดงเป็นแผนภูมิหรือกราฟตามรูปที่ 2.4 – 2.8 ถ้าต้องการค่าที่ละเอียดกว่าค่าที่อ่านจากกราฟก็อาจจะหาค่าได้โดยใช้คอมพิวเตอร์หาค่าจากสมการสำหรับแต่ละเงื่อนไขเพื่อหาค่า $\in$ และ NTU ซึ่งได้สรุปรวมไว้ในตารางที่ 2.8 และตารางที่ 2.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของ effectiveness สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยที่ $NTU = UA/C_{min}$ และ $C_r = C_{min} / C_{max}$

เงื่อนไขการไหล	**ความสัมพันธ์**
ไหลในท่อซ้อนกันหรือสองชั้น -ไหลตามกัน	$\varepsilon = \frac{1-\mathrm{Exp}[-\mathrm{NTU}(1+\mathrm{Cr})]}{(1+\mathrm{Cr})}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ไหลสวนทางกัน	$\varepsilon = \frac{1 - \mathrm{Exp}[-\mathrm{NTU}(1-\mathrm{Cr})]}{1 - \mathrm{CrExp}[-\mathrm{NTU}(1-\mathrm{Cr})])}$
-ไหลสวนทางกัน, Cr=1	$\varepsilon = \frac{\mathrm{NTU}}{\mathrm{NTU}+1}$
ไหลตั้งฉากกัน	
-ของไหลทั้งสองเป็น unmixed	$\varepsilon = 1 - \mathrm{Exp}[(\frac{1}{\mathrm{Cr}})(\mathrm{NTU})^{0.22}\{\mathrm{Exp}[-\mathrm{Cr}(\mathrm{NTU})^{0.78}] - 1\}]$
-ของไหลทั้งสองเป็น mixed	$\varepsilon = \left[\frac{1}{1-\mathrm{Exp}(-\mathrm{NTU})} + \frac{\mathrm{Cr}}{1-\mathrm{Exp}(-\mathrm{NTUCr})} - \frac{1}{\mathrm{NTU}}\right]^{-1}$
C_{max}mixed, C_{min}mixed	$\varepsilon = \left(\frac{1}{\mathrm{Cr}}\right)\{1 - \mathrm{Exp}[-\mathrm{Cr}(1 - e^{-\mathrm{NTU}})]\}$
C_{max}unmixed, C_{min}mixed Shell-and-tube	$\varepsilon = 1 - \mathrm{Exp}\{-(\frac{1}{\mathrm{Cr}})[1 - \mathrm{Exp}(-\mathrm{NTUCr})]\}$
ผ่านท่อใหญ่ (Shell) ครั้งเดียว และผ่านท่อเล็ก 2, 4, 6 กลับ	$\varepsilon = 2[1 + \mathrm{Cr} + (1+\mathrm{Cr}^2)^{\frac{1}{2}}\frac{1 + \mathrm{Exp}[-\mathrm{NTU}(1+\mathrm{Cr}^2)^{\frac{1}{2}}]}{1 - \mathrm{Exp}[-\mathrm{NTU}(1+\mathrm{Cr}^2)^{\frac{1}{2}}]}]^{-1}$
เครื่องทั้งหมดมีค่า C=0	$\varepsilon = 1 - e^{-\mathrm{NTU}}$

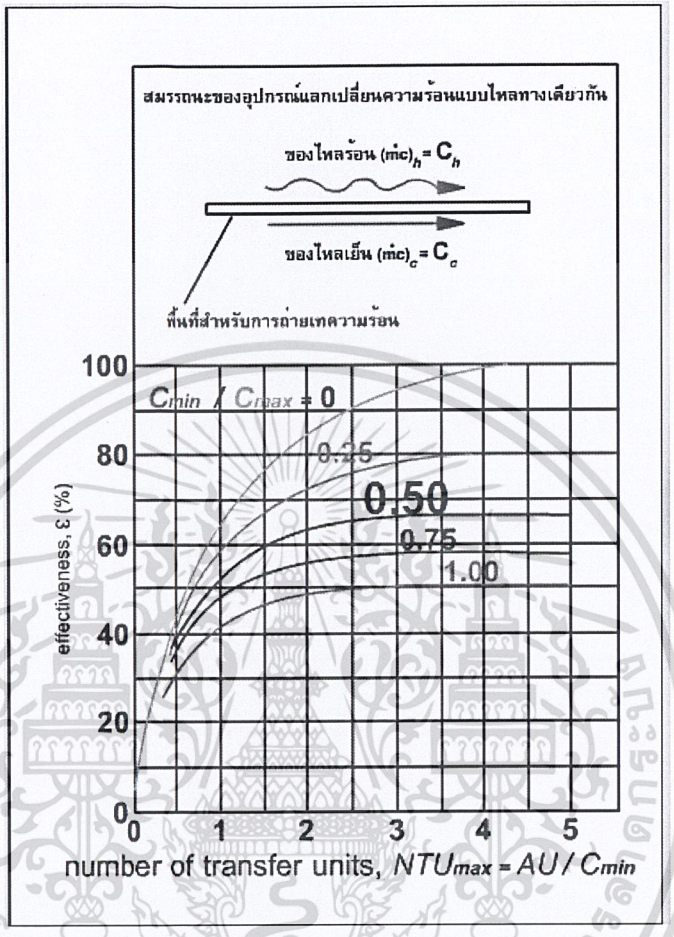
ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของ NTU สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่ NTU=UA/Cmin และ $Cr = C_{min} / C_{max}$

เงื่อนไขการไหล	ความสัมพันธ์
ไหลในท่อซ้อนกันหรือสองชั้น -ไหลตามกัน	$\mathrm{NTU} = \frac{-\ln[1 - \varepsilon(1+\mathrm{Cr})]}{(1+\mathrm{Cr})}$
-ไหลสวนทางกัน	$\mathrm{NTU} = \frac{1}{\mathrm{Cr}-1}\ln\frac{(1-\varepsilon)}{(1-\varepsilon\mathrm{Cr})}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

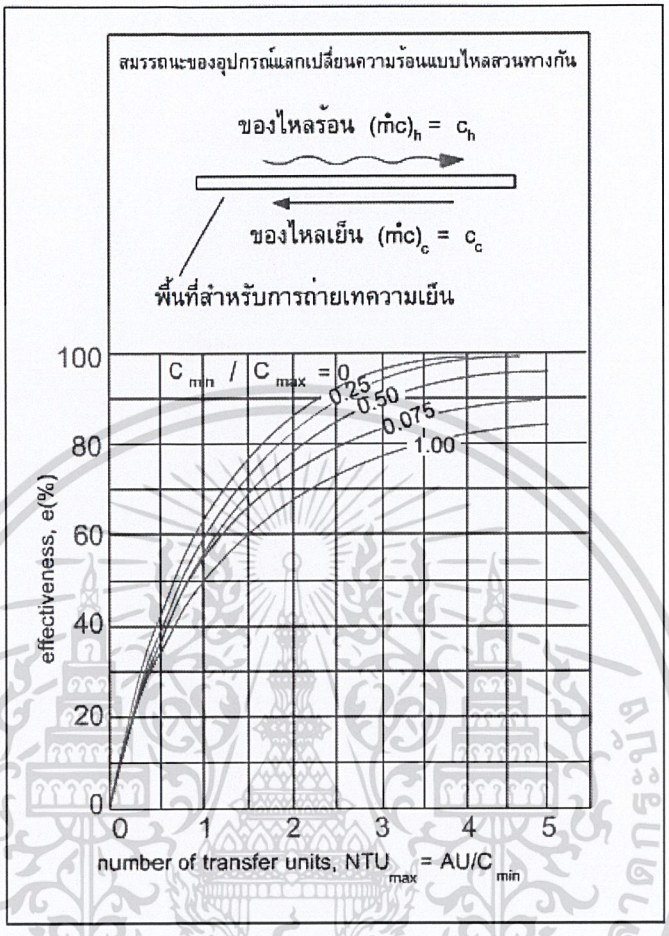
-ไหลสวนทางกัน, Cr=1	$NTU = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}$
ไหลตั้งฉากกัน -C_{max}mixed, C_{min}unmixed	$NTU = -\ln[1 + (\frac{1}{Cr})\ln(1 - \varepsilon Cr)]$ $NTU = (-\frac{1}{Cr})\ln[1 + Cr\ln(1-\varepsilon)]$
-Cmaxunmixed, Cminmixed	$NTU = -(1+Cr^2)^{\frac{1}{2}}\ln[\frac{\frac{2}{\varepsilon}-1-Cr-(1+Cr^2)^{\frac{1}{2}}}{\frac{2}{\varepsilon}-1-Cr+(1+Cr^2)^{\frac{1}{2}}}]$
Shell-and-tube ผ่านท่อ Shell หนึ่งครั้งและ ผ่านท่อเล็ก 2, 4, 6 กลับ	$NTU = -\ln(1-\varepsilon)$
เครื่องทั้งหมดซึ่ง Cr=0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



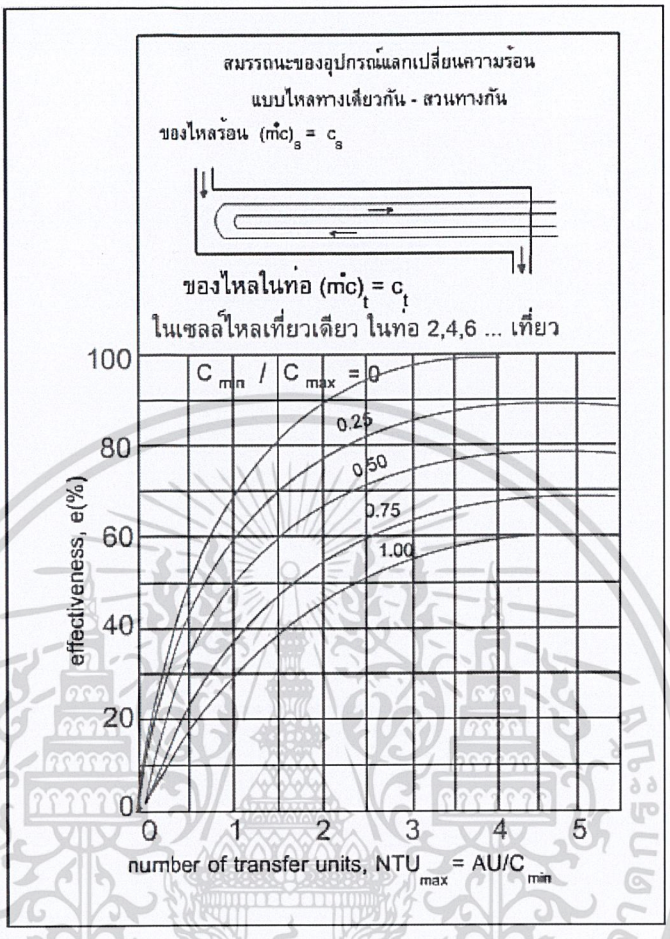
รูปที่ 2.4 ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดที่ของไหลทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



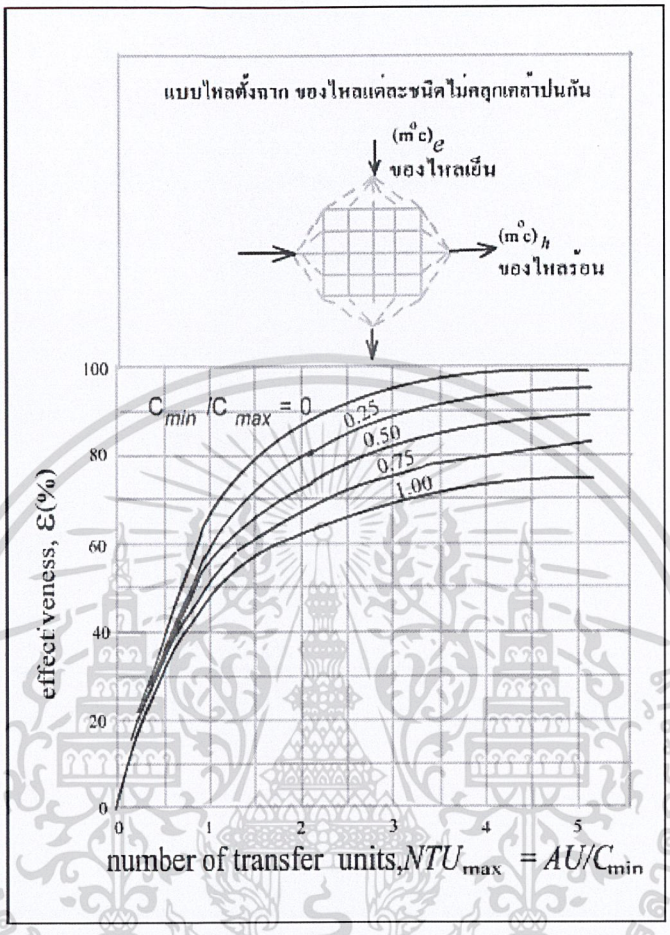
รูปที่ 2.5 ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดที่ของไหลสวนทางกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



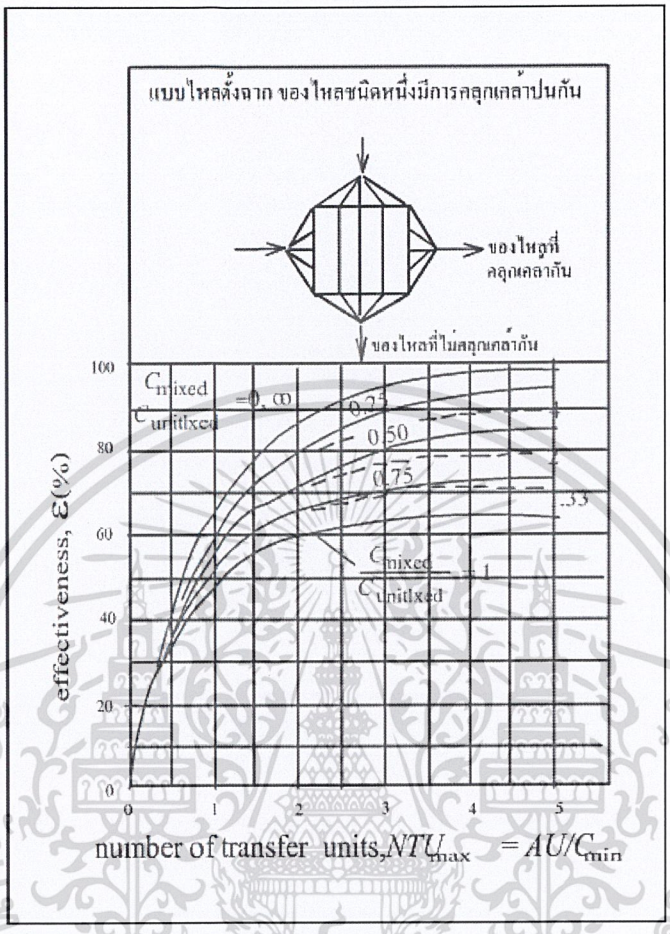
รูปที่ 2.6 ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกับเชลล์ที่ของไหลในเชลล์ไหลผ่านเครื่องเที่ยวเดียวและในท่อไหลผ่านเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉากที่ของไหลทั้งสองไม่มีการคลุกเคล้าปนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉากที่ของไหลชนิดหนึ่งมีการคลุกเคล้าปนกันอีกชนิดหนึ่งไม่การคลุกเคล้าปนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หม้อน้ำรถยนต์ (Automotive Radiator)

ระบบระบายความร้อนที่ใช้ในรถยนต์ปัจจุบัน คือ ระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว (Liquid Cooling System) ซึ่งของเหลวที่ใช้ก็คือ น้ำเพราะหาได้ง่ายระบบระบายความร้อน จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่เรียกว่า หม้อน้ำรถยนต์ (Radiator) เมื่อน้ำไหลเข้าไปตามช่องทางในเสื้อสูบ และฝาสูบ ความร้อนจากชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ก็จะถ่ายเทให้กับน้ำ ซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า และเมื่อน้ำไหลออกจากเครื่อง ก็จะต้องระบายความร้อนที่ได้รับออกไปเพื่อให้อุณหภูมิลดลง พร้อมที่จะเข้าไปรับความร้อนจากภายในเครื่องยนต์อีก

หม้อน้ำรถยนต์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งอาศัยกฎที่ว่า สิ่งที่มีอุณหภูมิสูงจะถ่ายเทให้สิ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ โดยมีส่วนประกอบคือ หลอดน้ำ ครีบ ฝาครอบทางเข้าและทางออก สังเกตได้ว่าหลอดน้ำจะมีลักษณะเป็นท่อแบน นั่นเพราะว่าท่อน้ำแบบแบนมีข้อดีกว่าท่อกลมดังนี้

1. อากาศจะไหลผ่านช่องระหว่างครีบ ทำให้ความยาวของการสลายตัวของ Wake สั้งลง
2. Wake ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังท่อแบบแบน จะมีขนาดที่ต่ำกว่าท่อแบบกลม
3. ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของครีบเพิ่มขึ้น
4. พื้นที่ฉายระหว่างอากาศ กับหลอดน้ำมีอากาศลดลง ทำให้แรงต้างของอากาศลดลงไปด้วย

นอกจากนี้หม้อน้ำรถยนต์ยังจัดเป็นอุปกรณ์การถ่ายเทความร้อน แบบกะทัดรัด (Compact Heat Exchanger) เพราะเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเล็ก แต่มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนสูง การไหลของของไหลทั้งสอง ได้แก่น้ำหล่อเย็น และอากาศ เป็นการไหลแบบตั้งฉาก โดยของไหลไม่ผสมกัน เราสามารถแบ่งประเภทของหม้อน้ำ ตามลักษณะของรังผึ้งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. ชนิดหลอดมีครีบเป็นแผ่นตรง (Tube and Plate Fin Type)
2. ชนิดหลอดมีครีบเป็นแผ่นลูกฟูก (Tube and Corrugated Fin Type)

หม้อน้ำที่นิยมใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบัน เป็นหม้อน้ำชนิดหลอดมีครีบเป็นแผ่นลูกฟูก และยังถูกออกแบบให้มีการไหลวนของน้ำอยู่ 2 แบบคือ แบบน้ำไหลลง (Down Stream) หรือเรียกว่าหม้อน้ำหลอดตั้ง และแบบไหลตามขวาง (Cross Stream) หรือเรียกว่าหม้อน้ำหลอดนอน ทั้งสองแบบแตกต่างกันที่รูปทรงของตัวหม้อน้ำ ถ้าเป็นแบบหลอดตั้ง หม้อน้ำก็จะมีทรงสูงและแคบ เพราะถ้าหม้อน้ำหลอดตั้งกว้างมากๆ ส่วนที่ทางไกลจะไม่ค่อยมีน้ำไหลไป เนื่องจากน้ำจะไหลลงไปข้างล่างก่อน การระบายความร้อนก็จะลดลง แต่ถ้าหม้อน้ำเป็นแบบหลอดนอน จะมีรูปทรงที่เตี้ยและยาวกว่า อย่างไรก็ตามสิ่งที่สำคัญในการเลือกใช้ประเภทของหม้อน้ำ คือ รูปทรงและประเภทของรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การถ่ายเทความร้อนด้านน้ำหล่อเย็นในหม้อน้ำรถยนต์

ในสภาวะทั่วๆไป การถ่ายเทความร้อนด้านอากาศ จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนโดยรวมของหม้อน้ำรถยนต์มากกว่า การถ่ายเทความร้อนด้านน้ำหล่อเย็น แต่อย่างไรก็ตาม ในบางสภาวะและในการออกแบบที่เหมาะสม การถ่ายเทความร้อนด้านหล่อเย็นจะต้องพิจารณาเป็นพิเศษ

Olsson และ Sunden (1996) ได้ทำการทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในหลอดน้ำรถยนต์ประเภทต่างๆ จำนวน 10 ท่อ พบว่าหลอดน้ำรถยนต์ชนิดผิวเรียบ ในช่วงที่การไหลของน้ำหล่อเย็นเป็นแบบราบเรียบ รูปร่างและความยาวของหลอดน้ำมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนมาก แต่ถ้าเป็นการไหลแบบปั่นป่วนจะมีผลที่น้อย

$$Nu_{Dh} = 6.0647 - (4.3356x10^{-4})Re_{Dh} + (1.0359x10^{-6})Re_{Dh}^{2} - (8.7500x10^{-11})Re_{Dh}^{3} \qquad (3.29)$$

เมื่อ $500<Re_w<6000$

ในส่วนที่มีการไหลแบบราบเรียบนั้น ค่า Nu จะมีค่าคงที่ประมาณ 6.5 โดยมีค่าสูงกว่าในทางทฤษฎีซึ่งมีค่าเพียง 5.65 หลอดน้ำที่ใช้ในการทดลองนั้น มีค่า Goodness Ratio หรืออัตราส่วนระหว่างความลึก (T_d) ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางหลัก (D_m) ของหลอดน้ำเท่ากับ 8.3

2.5.2 การถ่ายเทความร้อนด้านอากาศในหม้อน้ำรถยนต์

ในการเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อน้ำรถยนต์ เรานิยมใช้วิธีการปรับปรุงพื้นที่ผิวสัมผัสด้านอากาศ ซึ่งได้แก่การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส และวิธีการทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน เพื่อให้อากาศผสมและถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น วิธีการทำให้เกิดการไหลของอากาศเป็นแบบปั่นป่วนจำเป็นจะต้องทำให้พื้นที่ผิวมีลักษณะพิเศษ วิธีที่นิยมมากที่สุดได้แก่การเพิ่มเกล็ด (Louver) บนครีบ เพราะเป็นวิธีการผลิตได้ง่าย ผลิตได้จำนวนมาก และเสียค่าใช้จ่ายน้อย

การถ่ายเทความร้อนของอากาศภายนอกหม้อน้ำรถยนต์มักจะแสดงในรูปตัวแปรไร้มิติ Colburn j factor (j) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศดังนี้

$$j = St.Pr^{2/3} = hPr^{2/3} / \rho Vc_p \qquad (2.68)$$

เมื่อ St = Stanton Number, ไร้มิติ

Pr = Prandtl Number, ไร้มิติ

Cp = ค่าความจุความร้อนของของไหลที่ความดันคงที่, W/kg.°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มีผู้ทำการวิจัยและเสนอความสัมพันธ์หรือ สมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรภายนอกต่างๆของหม้อน้ำรถยนต์ดังนี้

Chang และ Wang (1997) ได้เสนอสมการการถ่ายเทความร้อนด้านอากาศของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดที่ครีบมีเกล็ด (Louver Fin) และเปรียบเทียบข้อมูล ที่ได้จากการทดลองของบทความในอดีตที่ผ่านมาทั้งหมด 91 ตัวอย่าง สำหรับสมการการถ่ายเทความร้อนเฉพาะครีบที่เป็นลูกฟูก (Corrugated Fin) มีดังนี้

$$j = Re_{Lp}^{-0.49}\left(\frac{La}{90}\right)^{0.27}\left(\frac{Fp}{Lp}\right)^{-0.14}\left(\frac{Fl}{Lp}\right)^{-0.29}\left(\frac{Td}{Lp}\right)^{-0.23}\left(\frac{Ll}{Lp}\right)^{0.68}\left(\frac{Tp}{Lp}\right)^{-0.28}\left(\frac{Ft}{Lp}\right)^{-0.05} \quad (2.69)$$

เมื่อ $100<Re_{Lp}<3000$

โดย ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ, km/m3

V_a = ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ, m/s

$C_{p,a}$ = ค่าความจุความร้อนของอากาศ, W/kg.°C

Pr_a = Prandtl Number ของอากาศ, ไร้มิติ

$Re_{Dh,t}$ = Raynolds Number ที่เทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางแบบ Hydraulic ของครีบ, ไร้มิติ

Re_{Lp} = Raynolds Number ที่เทียบกับระยะของเกล็ด, ไร้มิติ

2.6 ระบบบัส 1 สาย

ไมโครคอนโทรเลอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตที่จำกัด ในปัจจุบันจึงมีอุปกรณ์ IC ต่อพ่วงที่ใช้จำนวนขาพอร์ตในการติดต่อกับไมโครคอนโทรเลอร์ที่ลดลง ได้แก่การติดต่อกันแบบบัส 1 สาย (1-Wire Bus) พัฒนาโดย ดัลลัซเซมิคอนดัคเตอร์ ที่ใช้สายสัญญาณเพียง 1 เส้นเท่านั้นในการติดต่อใช้งาน โดยอาศัยหลักการที่เรียกว่า ไทม์สล็อต (time-slot) คือการทำงานที่สายสัญญาณเป็นทั้งสายสัญญาณนาฬิกาและสายข้อมูล แล้วพิจารณาจากรูปสัญญาณที่ปรากฏบนสายสัญญาณในแต่ละช่วงของเวลา แสดงดังรูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นสัญญาณของไอซี DS18B20 (1-Wire Digital Thermometer)

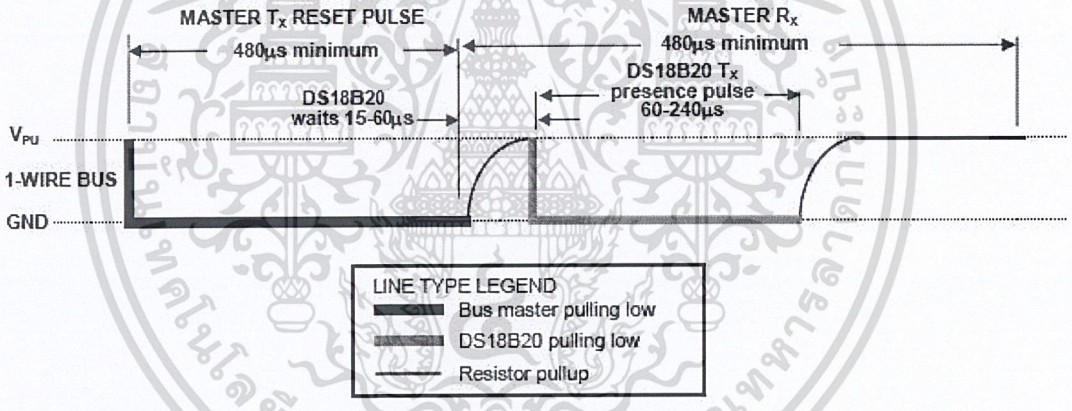
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรเลอร์กับบัส 1 สาย

กระบวนการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรเลอร์หรือเรียกว่ามาสเตอร์ (Master) กับอุปกรณ์บนระบบบัส 1 สายหรือเรียกว่าสเลฟ (Slave) นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 ถึง 2.11 โดยใช้ตัวอย่างอุปกรณ์ไอซี DS18B20

2.6.1 การเริ่มต้นติดต่อกับบัส 1 สาย (Reset and Presence Pulses)

การเริ่มต้นติดต่อกับบัส 1 สายนั้นหรือเรียกว่ากระบวนการ Reset and Presence Pulses ไมโครคอนโทรเลอร์จะเริ่มต้นสร้างสัญญาณลอจิกต่ำ (เขียนค่า 0) ออกไปที่บัส 1 สายเป็นเวลาอย่างน้อย 480 ไมโครวินาที จากนั้นจะส่งสัญญาณลอจิกสูง (เขียนค่า 1) ระหว่าง 15 ถึง 60 ไมโครวินาที หากอุปกรณ์บัส 1 สาย (DS18B20) พร้อมทำงานหรือตอบรับได้ จะทำให้สัญญาณกลับเป็นลอจิกต่ำ โดยสัญญาณจะยังคงอยู่เป็นระยะเวลาระหว่าง 60 ถึง 240 ไมโครวินาที แสดงดังรูปที่ 2.9 และโค้ดโปรแกรมสร้างกระบวนการติดต่อแสดงโค้ดโปรแกรม

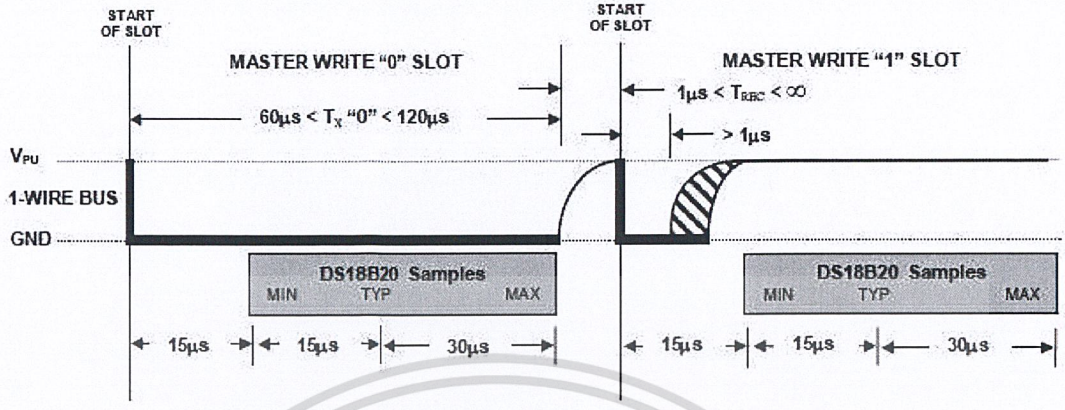


รูปที่ 2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์กับการติดต่อไอซี DS18B20

2.6.2 การเขียนข้อมูลบนบัส 1 สาย (Write 1-Wire bus)

เมื่อเริ่มติดต่อกับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่กับบัส 1 สายได้แล้ว ในขั้นตอนการเขียนข้อมูลนั้น จะเริ่มต้นเขียนข้อมูล 0 ไปที่บัส 1 สายก่อน หากต้องการเขียนข้อมูล 0 ให้คงสถานะสัญญาณ 0 ไว้เป็นเวลามากกว่า 60 ไมโครวินาทีและไม่เกิน 120 ไมโครวินาที แต่ถ้าต้องการเขียนค่า 1 หลังจากเริ่มต้นส่งค่า 0 แล้วให้เวลาผ่านไป 1 ไมโครวินาทีก่อนจึงเขียนค่า 1 ตามไป แสดงดังรูปที่ 2.10 และโค้ดโปรแกรมสร้างกระบวนการเขียนข้อมูลแสดงดังโค้ดโปรแกรม

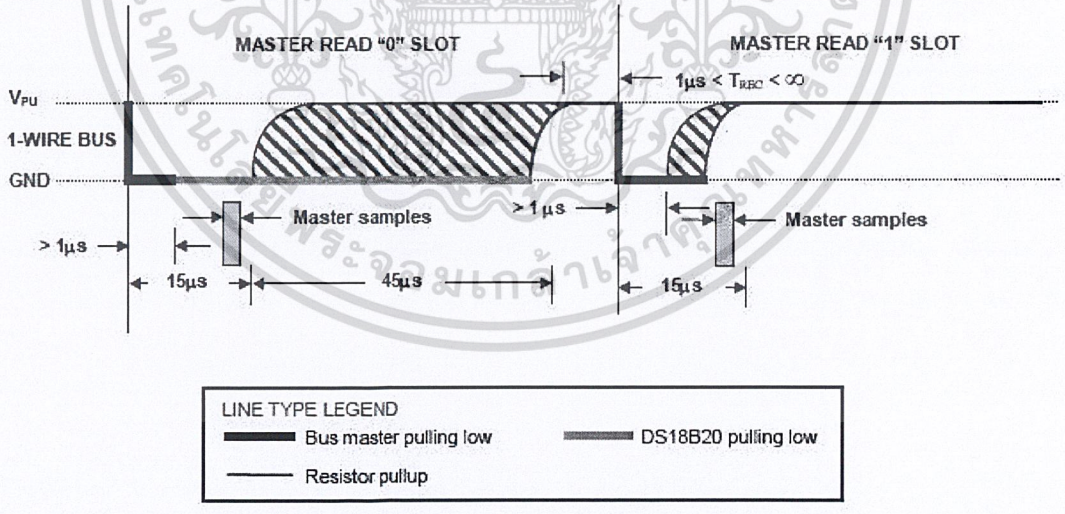
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กระบวนการเขียนข้อมูลบนบัส

2.6.3 การอ่านข้อมูลบนบัส 1 สาย (Read 1-Wire bus)

เมื่อเริ่มติดต่อกับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่กับบัส 1 สายได้แล้ว ในขั้นตอนการอ่านข้อมูลนั้น จะเริ่มต้นส่งข้อมูล 0 ไปที่บัส 1 สายก่อน ในช่วงเวลา 1 ไมโครวินาทีให้เขียนค่า 1 ตามไป ให้อ่านสัญญาณที่ส่งมาจากอุปกรณ์สเลฟหลังจากเวลาผ่านไปแล้ว 15 ไมโครวินาที แสดงดังรูปที่ 2.11 และโค้ดโปรแกรมสร้างกระบวนการอ่านข้อมูลแสดงดังโค้ดโปรแกรม เป็นการอ่านข้อมูลจำนวน 1 ไบต์



รูป 2.11 กระบวนการอ่านข้อมูลบนบัส 1 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

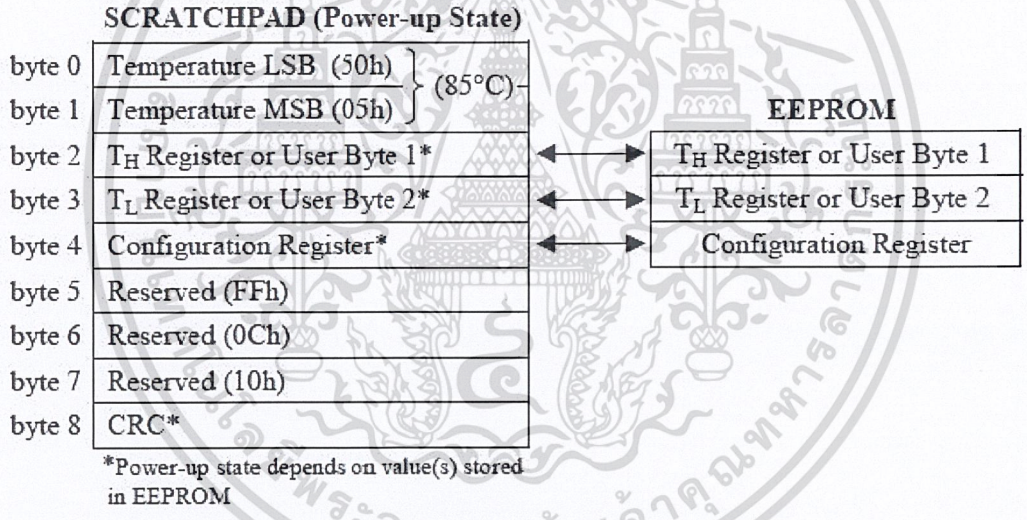
2.6.4. การใช้งานไอซี DS18B20 กับระบบบัส 1 สาย

ไอซี DS18B20 เป็นไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล ที่ใช้การติดต่อสื่อสารแบบระบบบัส 1 สาย การติดต่อกับไอซี DS18B20 จะมีคำสั่งอยู่ 3 คำสั่งที่ต้องใช้งานคือ

1. คำสั่งสคิปรอม (Skip ROM) คำสั่งที่ใช้ในการข้ามการติดต่อกับหน่วยความจำรอมของไอซี ในการต่อ DS18B20 เพียงตัวเดียว ไม่จำเป็นต้องกำหนดแอดเดรสให้กับไอซี โดยการส่งค่า 0xCC ให้กับบัส

2. คำสั่งแปลงอุณหภูมิ (Convert T) ต้องรอการแปลงอุณหภูมิอย่างน้อย 220 มิลลิวินาที เพื่อนำค่าที่แปลงมาเก็บไว้ในสแครตซ์แพด ก่อนที่จะอ่านอุณหภูมิมาใช้งานได้ โดยการส่งค่า 0x44 ให้กับบัส

3. คำสั่งอ่านข้อมูลจากสแครตซ์แพด (Read Scratchpad) เมื่อส่งคำสั่งอ่านค่าแล้ว DS18B20 จะส่งข้อมูลค่าอุณหภูมิกลับมาให้ทั้งหมด 9 ไบต์ ดังรูปที่ 2.14 โดยการส่งค่า 0xBE ให้กับบัส

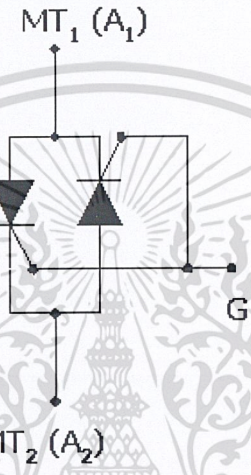


รูปที่ 2.12 การจัดสรรพื้นที่ของ SCRATCHPAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

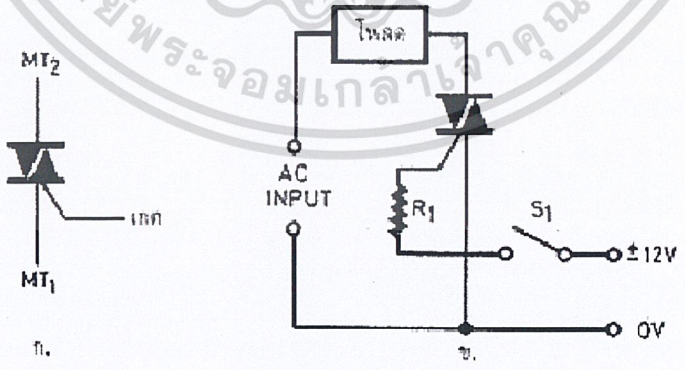
2.7 Triac

ลักษณะโครงสร้างของไตรแอกนี้ เหมือนกับการนำเอาเอสซีอาร์ 2 ตัวมาต่อขนานกันในลักษณะกลับขั้วส่วนขาเกตต่อร่วมเข้าด้วยกัน ดังนั้นไตรแอกจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม ระบบไฟได้ทั้งแบบไฟตรง และไฟสลับ นั้นคือความสามารถในการนำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง โดยการทริกที่เกตนั้นก็สามารถกระทำได้ทั้งสองทิศทางเช่นกัน



รูป 2.13 แสดงการใช้ เอส.ซี.อาร์ 2 ตัวต่อเป็นไตรแอค

การทำงานของไตรแอค



รูป 2.14 สัญลักษณ์ของไตรแอก ข. การใช้งานพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติพื้นฐานเป็นข้อของไตรแอกซึ่งมีดังนี้

1. โดยปกติ ถ้าไม่มีสัญญาณทริกที่เกต ไตรแอกจะไม่ทำงานโดย จะมีลักษณะเหมือนกับสวิตช์ที่ถูกเปิดวงจร

2. ถ้าในกรณีที่ MT2 และ MT1 ถูกป้อนด้วยแรงดันบวกและลบตามลำดับไตรแอกจะถูกกระตุ้นให้ทำงานได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เพียงสั้น ๆ ที่เกตของมัน โดยจะมีแรงดันตกคร่อมตัวมันมีค่าประมาณ 1 หรือ 2 โวลต์ เท่านั้น และก็เช่นกันคือเมื่อไตรแอกเริ่มทำงานแล้ว ก็จะสามารถคงสภาพการทำงานอยู่เช่นนั้นต่อไปเรื่อย ๆ ตราบเท่าที่ยังมีกระแสไหลผ่านตัวมันอย่างต่อเนื่อง

3. หลังจากที่ไตรแอกคงสภาพการทำงานอยู่นั้น ทางเดียวที่จะหยุดการทำงานลงได้ ก็โดยการลดปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวมันลง ให้มีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้งของมัน ในกรณีที่ใช้ไตรแอกในการจ่ายกระแส AC การหยุดทำงานจะเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติ เมื่อแรงดันของไฟสลับเข้าใกล้จุดตัดศูนย์ที่เกิดขึ้น ทุก ๆ ครึ่งคลื่น นั่นคือกระแสจะลดลงเป็นศูนย์

4. ไตรแอกถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ ทั้งสัญญาณแบบบวกและลบที่ป้อนให้แก่ขาเกต โดยไม่คำนึงถึงขั้วที่ต่ออยู่ที่ MT1 และ MT2

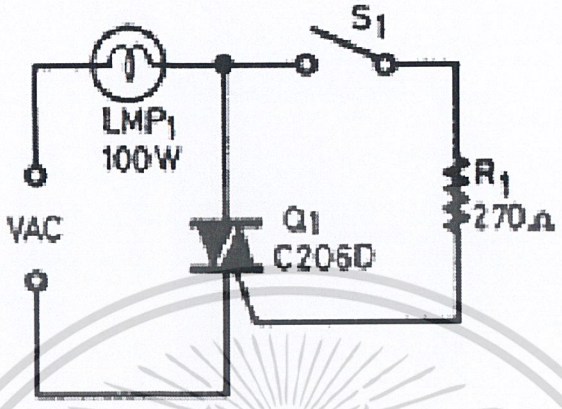
5. ไตรแอกสามารถทนการกระชากของกระแสได้สูง เช่นโดยปกติสำหรับไตรแอกที่ทนกระแสปกติได้ 10 แอมแปร์ (rms) สามารถทนการกระชากของกระแสในช่วงหนึ่ง คาบเวลาของไฟ 60 เฮิรตซ์ได้สูงถึง 100 แอมแปร์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.10 แสดงคุณสมบัติที่สำคัญของไตรแอกที่นิยมใช้

เบอร์	PIV	กระแสอาร์เอ็มเอส	V_{GT} (สูงสุด)	I_{GT} (สูงสุด)	I_H (สูงสุด)
C206D	400 V	3 A	2 V	5 mA	30 mA
2N6073	400 V	4 A	2.5 V	30 mA	70 mA
C226D	400 V	8 A	2.5 V	50 mA	60 mA
SC146D	400 V	10 A	2.5 V	50 mA	75 mA
TIC246D	400 V	15 A	2.5 V	50 mA	50 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการใช้งานพื้นฐานของไตรแอก



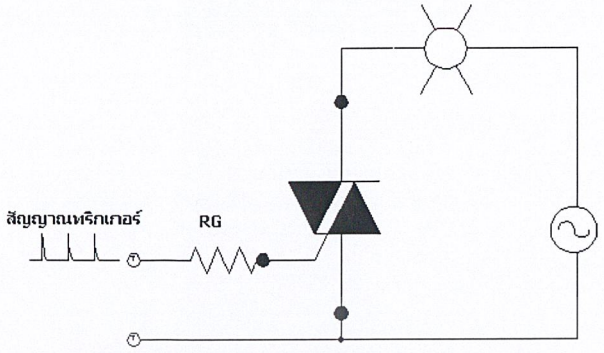
รูปที่ 2.15 วงจรแบบพื้นฐานที่สุดในการใช้งานไตรแอก

ในรูปแสดงถึงการที่ไตรแอกสามารถทำงานเป็นสวิตซ์ ที่ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสโหลดแบบที่ง่ายที่สุดโดยเมื่อสวิตซ์ S1 เปิดวงจรอยู่ ไตรแอกและโหลดจะไม่ทำงาน แต่เมื่อ S1 ถูกปิดวงจรลง ที่จุดเริ่มต้นของทุก ๆ ครึ่งตามของสัญญาณไฟสลับที่ให้นั้นไตรแอกจะยังไม่นำกระแส แต่หลังจากนั้นเพียงเล็กน้อยแรงดันที่ขาเกต ก็มีค่าสูงพอที่จะทำให้ไตรแอกเริ่มนำกระแสได้ ดั้งนั้น หลอดไฟจะติดสว่าง และไตรแอกจะหยุดทำงานลงอีก เมื่อแรงดันของสัญญาณไฟสลับเข้าใกล้จุดตัดศูนย์อีกครั้ง แล้วก็จะเริ่มทำงานใหม่เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

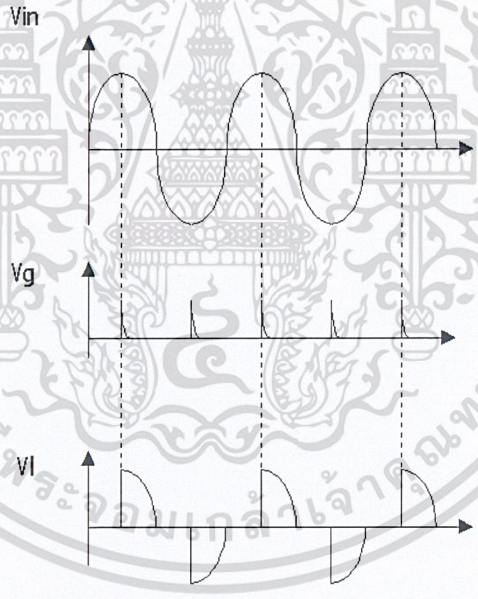
การควบคุมกำลังไฟแบบเฟสทริกเกอร์

จากตัวอย่างของการใช้งาน ไตรแอค ที่กล่าวมาตั้งแต่ต้นนี้เป็นการใช้งานในลักษณะเป็นสวิตช์เปิด / ปิด การจ่ายไฟให้แก่โหลดต่าง ๆ แต่ความจริงแล้วการใช้งานสามารถขยายออกไปได้อีกมาก เช่น ใช้เป็นวงจรหรี่ความสว่างของหลอดไฟ หรือเป็นวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เป็นต้นซึ่งก็ล้วนแล้วแต่เป็นการใช้งานควบคุมกำลังไฟ ที่จะจ่ายให้แก่โหลดในระบบที่เรียกว่าเฟส - ทริกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



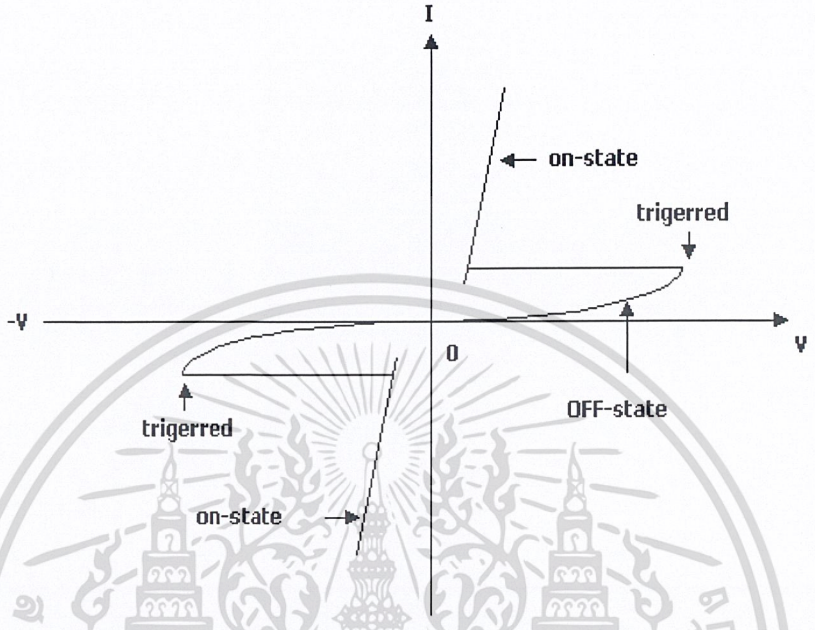
รูปที่ 2.16 แสดงวงจรการควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับวงจรหรี่ความสว่างของหลอดไฟโดยการปรับมุมของสัญญาณทริกเกอร์



รูปที่ 2.17 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลดโดยกำหนดได้จากตำแหน่งเวลาของการทริกที่ให้แก่ไตรแอค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟลักษณะสมบัติของไตรแอค



รูปที่ 2.18 คุณสมบัติไตรแอค

2.8 การควบคุมแบบ PID

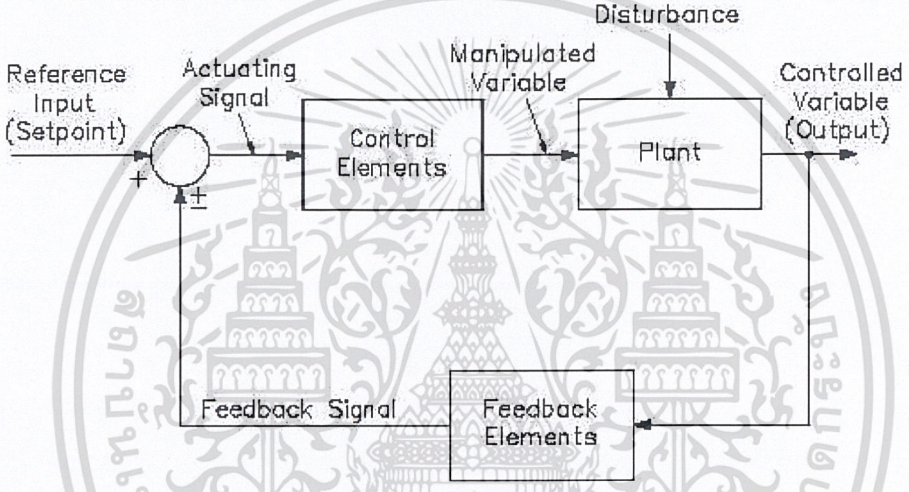
การควบคุมแบบ PID ที่ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติ จะทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าแตกต่าง (ความคลาดเคลื่อน) ระหว่างค่าเอาต์พุตจริงของระบบกับค่าของอินพุตอ้างอิง จากนั้นจะสร้างสัญญาณควบคุมขึ้นเพื่อที่จะไปทำให้ค่าคาดเคลื่อนลดลงจนเป็นศูนย์ หรือมีค่าน้อยที่สุด ลักษณะของการสร้างสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมนี้จะเรียกว่า " กิริยาควบคุม (Control Action) "

2.8.1 ความหมายของการควบคุมอัตโนมัติ

ในระบบการควบคุมอัตโนมัติ ตัวควบคุมจะทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งส่วนมากจะเป็นสัญญาณระดับต่ำ ดังนั้น จึงต้องมี Amplifier เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนให้มีระดับสูงเพียงพอและเอาต์พุตจะถูกส่งไปยังตัวกระทำ (Actuator) เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า วาล์ว นิวแมติคส์ และอื่นๆ เป็นต้น รูปที่ 2.21 นั้นแสดงให้เห็นตัวบล็อคไดอะแกรมของตัวควบคุม ซึ่งต่อร่วมกับอุปกรณ์วัดสัญญาณ (Sensing Element) ตัวควบคุมในที่นี้จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความคลาดเคลื่อน (Error Detector) และ Amplifier สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณนั้น เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณเอาต์พุตไปเป็นสัญญาณที่เหมาะสม เช่น ระยะที่แรงดัน หรือสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะสำหรับเปรียบเทียบค่าของสัญญาณเอาต์พุตกับสัญญาณอ้างอิงได้ อุปกรณ์วัดสัญญาณนี้จะอยู่ในส่วนป้อนกลับ (Feedback Path) ของระบบลูปปิด (Close Loop) ส่วนค่าที่กำหนดไว้ (Set Point) ของตัวควบคุมนั้น จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณอินพุตอ้างอิง ที่มีหน่วยเดียวกับสัญญาณป้อนกลับที่ด้านจากอุปกรณ์วัดสัญญาณ เมื่อ อุปกรณ์วัดค่าความคลาดเคลื่อน ตรวจวัดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณอินพุต และสัญญาณป้อนกลับได้แล้ว ก็จะส่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้ไปยัง Amplifier เพื่อขยายค่าความคลาดเคลื่อนให้มีระดับที่สูงพอที่จะทำให้ตัวกระทำในระบบงานได้



รูปที่ 2.19 การควบคุมแบบลูปปิดหรือแบบอัตโนมัติ

2.8.2 การควบคุมแบบ Proportional Control

ในการควบคุมแบบ on-off จะมีข้อเสียอยู่ที่ว่า เมื่อค่าเข้าใกล้เป้าหมาย (Set Point) จะเกิดการแกว่งของค่าตัวแปรกระบวนการ เพราะว่าสัญญาณควบคุมจะมีค่ามากหรือน้อยเกินไป ไม่สมดุลย์กับกับค่าความผิดพลาด เพื่อที่จะกำจัดการแกว่ง เราจึงควรกำหนดให้สัญญาณควบคุมมีสัดส่วนเหมาะสมกับขนาดความคลาดเคลื่อน ขณะสัญญาณวัดมีค่าเข้าใกล้เป้าหมาย การควบคุมในหลักการนี้เรียกว่า Proportional Control ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออก $m_p(t)$ กับสัญญาณขาเข้าที่ค่าเป้าหมายใดๆ แสดงได้ดังนี้

$$m_p(t)=K_p e(t)+b$$

เมื่อ

$m_p(t)$ = สัญญาณขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e(t) = ค่าความคลาดเคลื่อน ($S_{output}(t) - S_{input}(t)$)

Kp = Proportional Gain (%)

b = สัญญาณควบคุมขณะไม่มีความผิดพลาด

$S_{output}(t) = S_{input}(t)$ อัตราการตอบสนองต่อการคลาดเคลื่อนของ Proportional ถูกกำหนดด้วยค่า Proportional Gain (K_p) เราให้คำจำกัดความของ Proportional Gain ว่าเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้า (กรณีเป้าหมายคงที่) ทำให้สัญญาณของออกเปลี่ยนไป 100%

ในการควบคุมแบบ Proportional Control โดยทั่วไปแล้ว สัญญาณของกระบวนการจะมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายที่สภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากค่านี้ คือมีรบกวนเกิดขึ้น สัญญาณวัดจะมีค่าต่างจากเป้าหมายที่สภาวะสมดุลย์ ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณวัดกับค่าเป้าหมายที่สภาวะสมดุลย์ เรียกว่า Offset ขนาดของ offset ขึ้นอยู่กับขนาดของสิ่งรบกวน (Disturbance) และค่า K_p ยิ่ง K_p ยิ่งมีค่าน้อย offset ยิ่งมีค่ามาก ในทางกลับกันถ้า K_p มีค่ามาก offset จะมีค่าลดลง อย่างไรก็ดีถ้าค่า K_p = infinity สัญญาณวัดก็จะเกิดการแกว่ง เนื่องจากกรณีนี้ Proportional Control จะทำงานเหมือนเป็น On-Off

ข้อดีของ Proportional Control เมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบสองตำแหน่งตัวแปรกระบวนการจะมีเสถียรภาพดีกว่า จะไม่แกว่ง ถ้าเราปรับ Kp ได้เหมาะสม แต่มีข้อเสีย คือ เกิด offset การควบคุมแบบนี้จะเหมาะกับกระบวนการที่สิ่งรบกวนขนาดไม่มากนัก

2.8.3 การควบคุมแบบ Integral Control

ในการควบคุมแบบ Integral นั้นค่าเอาท์พุตของตัวควบคุม m(t) จะมีความสัมพันธ์กับค่าความคลาดเคลื่อน e(t) ดังนี้

$$m_i(t)=K_i\int e(t)dt$$

เมื่อ K_i = Integral Gain ที่สามารถปรับค่าได้

การควบคุมแบบ Integral เป็นกิริยาหนึ่งที่ใช้งานกันบ่อยๆ ในระบบควบคุมโดยมีพื้นฐานเกี่ยวเนื่องกับเหตุการณ์ในอดีตของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งเกิดขึ้นในการแปรผันทางการควบคุมของการควบคุมนี้ สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “โหมดรีเซท (Reset)” ถ้าการควบคุมแบบ Proportional กำหนดการป้อนกลับบนพื้นฐานค่าของความคลาดเคลื่อนในอดีต เราสามารถคำนวณจากพื้นที่สุทธิ (net area) ภายใต้เส้นกราฟค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา การกระทำเอาท์พุตถูกพบว่าการคูณด้วยค่าคงที่ซึ่งเรียกว่า “Integral gain” ดังนั้น

$$m_i(t)=K_iAe(t)+B1(0)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

Ae(t) = พื้นที่สุทธิของค่าคลาดเคลื่อนต่อเวลาคำนวณจากเวลา t=0

B1(0) = สัญญาณควบคุมขณะไม่มีความคลาดเคลื่อน ที่เวลา t=0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1 คุณสมบัติของสารทำความเย็นและสารดูดซึม

1. สารทั้งสองสามารถรวมตัวกันได้ดี คือสารดูดซึมสามารถที่จะดูดซึมไอของสารทำความเย็นได้อย่างดี ซึ่งเป็นผลจากการเกิดพันธะทางเคมี (Chemical Bonding) โดยทั่วๆไปจะเป็นพันธะไฮโดรเจน(Hydrogen Bonding) แต่สารทั้งสองสามารถแยกออกจากกันได้เมื่อให้ความร้อนเข้าไป

2. อยู่ในสถานะสารละลายคือ สารดูดซึมและสารทำความเย็นจะต้องอยู่ในสถานะละลายตลอดสภาพการทำงานในระบบ

3. สารดูดซึมจะต้องไม่ระเหยกลายเป็นไอในเครื่องผลิต เพื่อให้สารทำความเย็นที่บริสุทธิ์แยกออกมา

4. มีคุณสมบัติที่ไม่เสื่อมสภาพตลอดอายุการใช้งาน เพราะสารทั้งสองจะต้องแยกและผสมกันตลอดเวลาในการทำงาน

5. ไม่มีการกัดกร่อนต่อภาชนะที่ใช้งาน เพื่อการใช้งานที่ยาวนาน

6. ความดันในการใช้งานเหมาะสม ซึ่งในทางอุดมคติแล้วควรให้มีความดันต่ำหรือสูงใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ เพื่อป้องกันการรั่วซึม

7. มีความปลอดภัยในการใช้งาน ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟง่ายเพื่อนำระบบนี้ไปใช้งานอย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น

8. มีความหนืดต่ำเพื่อการใช้งานในการไหลเวียนในระดับน้อยลงและการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น

9. มีความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอสูง ทั้งนี้เพื่อให้สารที่ใช้ไหลเวียนในระบบน้อยลง

10. มีแรงตึงผิวต่ำ ทำให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น

สารคู่ผสมที่นิยมใช้เป็นสารละลายในการทำความเย็น

1. **แอมโมเนีย – น้ำ** โดยแอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นส่วนน้ำเป็นตัวดูดซึม สำหรับระบบที่ใช้แอมโมเนีย – น้ำ นี้มีชุดกลั่นสารทำความเย็นคอยดักน้ำ หรือเรียกว่าหน่วยแยกน้ำ (Rectifying or Distillation Column) ความดันในระบบสูงกว่าบรรยากาศ สามารถตรวจหารอยรั่วได้ง่าย อุณหภูมิการทำความเย็นได้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ใช้อุณหภูมิในการแยกสารละลายไม่สูงนัก สามารถนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มาใช้งานได้ สารละลายมีราคาถูกหาซื้อได้ง่าย แต่เป็นพิษต่อมนุษย์ ถ้ามีการรั่วซึมขึ้น จึงต้องใช้ระบบทำความเย็นด้วยน้ำ (Water Chiller) มีค่าความร้อนแฝงในการระเหยสูงต้องใช้แหล่งความร้อนในการแยกสารละลายมาก มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนใหญ่ขึ้น ค่าจะต่ำลง ต้องสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีพื้นที่สมรรถนะในการทำความเย็น (COP) ต่ำเมื่อเทียบกับระบบที่ใช้สารละลายอื่น

คุณสมบัติแอมโมเนีย

- ทำปฏิกิริยากับทองแดงทองเหลือง
- ติดไฟที่ความเข้มข้น 16-25% ในอากาศโดยปริมาตร
- สามารถลุกติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ650องศาเซลเซียส
- ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนรุนแรง
- มีทั้งสถานะก๊าซ ของเหลว เบากว่าอากาศที่สถานะก๊าซ
- เป็นสารอันตรายเมื่อสัมผัสถูก หรือสูดดมโดยตรงแต่ไม่เป็นสารพิษสะสม
- เป็นตัวทำละลายที่ดี
- มีสภาพเป็นด่าง
- เริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส

2. **ลิเธียมโบรไมด์ – น้ำ** โดยน้ำเป็นสารทำความเย็น ส่วนลิเธียมโบรไมด์เป็นสารดูดซึม มีข้อดีและข้อเสีย คือสารละลายต้องทำงานที่ความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศมาก จึงต้องระวังการรั่วซึมของอากาศภายนอกไหลเข้าสู่ระบบ มีค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอต่ำ จึงไม่ใช้พลังงานความร้อนมากนักในการแยกน้ำออกจากสารละลาย สามารถนำพลังงานจากดวงอาทิตย์มาใช้ได้เป็นอย่างดี มีค่าการนำความร้อนสูงจึงใช้พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนน้อย แต่ลิเธียมโบรไมด์สามารถตกผลึกได้ง่าย ถ้าหากอุณหภูมิของสารละลายในเครื่องแยกสูงเกินไปไม่สัมพันธ์กับอัตราการไหลเวียน และความเข้มข้นของสารละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซึมในเครื่องดูดซึมประสิทธิภาพ การดูดซึมของสารละลายจะต่ำลง ถ้าการระบายความร้อนภายในเครื่องดูดซึมไม่ดีพอ ราคาลิเธียมโบรไมด์ค่อนข้างสูงและหาซื้อได้ยาก ลิเธียมโบรไมด์ทำปฏิกิริยากับเหล็กจึงควรใช้วัสดุอื่นแทน ไม่ระเหยกลายเป็นไอ จึงมีอายุการใช้งานยาวนาน

3. **น้ำ – สารละลายเกลือไฮโกร์ซคอฟิค** (Hygroscopic Salt Solution) โดยน้ำเป็นสารทำความเย็น ส่วนสารละลายเกลือไฮโกร์ซคอฟิคเป็นสารดูดซึม โดยสารละลายที่มีหลายชนิด เช่น คลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Chlorides) โบรไมด์ (Bromides)และไอโอไดซ์ (Iodies) ของสารลิเธียม (Lithium) แมกนีเซียม (Magnesium) แคลเซียม (Calcium) และสังกะสี (Zinc) ซึ่งสารทั้งหมดนี้ลิเธียมโบรไมด์ใช้งานได้ดีที่สุด เนื่องจากในสภาวะสารละลายมีค่าความเป็นกรด – ด่าง (Ph) มากกว่า 7 เล็กน้อยซึ่งสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ง่ายกว่าเกลือแมกนีเซียม, แคลเซียม และสังกะสี อีกทั้งโบรไมด์ของลิเธียมให้ค่าความดันไอของสารละลาย (Solubility – Vapor Pressure) ต่ำกว่าพวกคลอไรด์หรือไอโอไลด์ ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงคือ ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ไม่ติดไฟแต่ต้องทำงานในระบบที่ต่ำกว่าบรรยากาศและอุณหภูมิของชุดทำความเย็นจะต่ำไม่เกิน 40 °F (4.44°C) เนื่องจากจะถึงจุดเยือกแข็งของน้ำ

3.2 Heater เพื่อใช้ในส่วนของ Generator

ชนิดของ Heater

1. ฮีตเตอร์อินฟาเรด (Infrared Heater)
2. ฮีตเตอร์รัดท่อ ,Band Heater
3. ฮีตเตอร์จุ่ม ,Immersion Heater
4. ฮีตเตอร์แท่ง ,Cartridge Heater
5. ฮีตเตอร์ครีบ ,Coil Finned Heater
6. ฮีตเตอร์แผ่น , Strip Heater
7. ฮีตเตอร์บ้อบบิน

ฮีตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันดังนี้

- ฮีตเตอร์ครีบ หรือ Finned Heater และ ฮีตเตอร์ท่อกลม ใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ใช้ในห้องอบแห้ง ในเตาอบ

- ฮีตเตอร์จุ่ม หรือ Immersion Heater หรือบางทีเรียกว่า ฮีตเตอร์ต้มน้ำ ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งานเช่น งานต้มน้ำ - ต้มน้ำมัน งานผสมสาร

- บอบบิ้นฮีตเตอร์ (Bobbin Heater) ใช้ให้ความร้อนของเหลวเหมือนฮีตเตอร์จุ่ม

- ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater)ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาวเนื่องจากวัตถุมันวาวจะมี คุณสมบัติสะท้อนแสง ทำให้ไม่สามารถดูดซับแสงอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่ ใช้ติดตั้งในเตาอบ หรือ เหนือคอนเวย์เยอร์ได้

- ฮีตเตอร์แผ่น หรือ Strip Heater ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรงสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฮีตเตอร์รัดท่อ หรือ Band Heater ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อ หรือถังรูปทรงกระบอกโดยรัดจากด้านนอก

- ฮีตเตอร์แท่ง หรือ Cartridge Heater ใช้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะต่างๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก



รูปที่ 3.1 Heater แท่ง

3.3 การทดสอบรอยรั่ว

เนื่องจากระบบต้องทำงานที่ความดันสูง ฉะนั้นการรั่วของระบบจะต้องไม่เกิดขึ้น เพราะถ้าหากเกิดรอยรั่วในระบบแล้ว ระบบจะไม่สามารถดำเนินได้ รอยรั่วในระบบที่มักเกิดขึ้นคือบริเวณข้อต่อและรอยเชื่อม ในส่วนของการทดสอบรอยรั่วนั้นจะต้องทำการทุกชิ้นส่วนของระบบ ก่อนการประกอบเข้าด้วยกันเพื่อที่จะได้ง่ายต่อการแก้ไข หลังจากที่แน่ใจว่าชิ้นส่วนต่างๆปราศจากรอยรั่ว ก็ทำการต่อชิ้นส่วนของระบบเข้าด้วยกันและทดสอบรอยรั่วอีกครั้งหนึ่ง โดยการทดสอบนั้นจำเป็นจะต้องทดสอบความแข็งแรงของระบบก่อนโดยการอัดน้ำเข้าไป เพื่อให้แน่ใจว่าระบบสามารถทนความดันได้ สาเหตุที่ต้องอัดน้ำเข้าไปก่อนเนื่องจากถ้าหากระบบไม่สามารถทนความดันได้ จะเกิดการระเบิดหรือฉีกขาดของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบ น้ำในระบบจะมีอันตรายน้อยกว่าแก๊สเนื่องจากน้ำสามารถขยายตัวได้น้อย เมื่อทดสอบด้วยน้ำจนแน่ใจว่าระบบสามารถทนความดันได้แล้ว จากนั้นจำทำการอัดแก๊สเข้าไปโดยใช้แก๊สไนโตรเจนเพื่อทดสอบรอยรั่วอีกครั้งหนึ่งที่ต้องใช้แก๊สทดสอบรอยรั่วอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากแก๊สมีโมเลกุลเล็กกว่าน้ำการทดสอบรอยรั่วจึงมีความแน่นอนกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเติมสารละลายในระบบ

การเติมสารละลายในระบบนั้นเริ่มจากการทำให้เป็นสุญญากาศ โดยใช้ปั๊มสุญญากาศจากนั้นเติมน้ำเย็นที่สะอาดโดยการต่อสายยางเข้าระบบและถังใส่น้ำสะอาด ระบบที่เป็นสุญญากาศก็จะดูดน้ำเข้าไปในระบบ จนได้ปริมาณที่กำหนด จากนั้นทำการเติมลิเทียมโบรไมด์ใช้ท่อ stainless ชนิดท่ออ่อนต่อเข้ากับระบบ และภาชนะบรรจุลิเทียมโบรไมด์เจือจาง ในช่วงนี้ลิเทียมไบรไมด์สามารถเข้าสู่ระบบได้โดยอาศัยน้ำในระบบที่เป็นตัวดูดซึมเข้าไป แต่ปริมาณลิเทียมไบรไมด์เจือจางที่เข้าไปจะมีปริมาณน้อยต้องใช้เวลาในการเติมนาน

3.5 การทำสุญญากาศระบบ (Evacuating The system)

เป็นการทำระบบให้เป็นสุญญากาศ หรือที่เรียกว่าการทำแวคคั่มจะทำหลังการตรวจสอบรวยรั่วของระบบแล้ว เพื่อจะเติมสารละลายเข้าระบบ การทำสุญญากาศจะใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศจะใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ดูดเอาอากาศและความชื้นภายในระบบออกให้หมดในขณะที่กำลังทำสุญญากาศระบบนั้น ค่าความดันเกจจะต่ำ อ่านค่าได้ต่ำกว่า 0 ปอนด์/ตารางนิ้ว เกจจะแสดงให้เห็นว่าในระบบสุญญากาศเมื่อเกจมีค่าอ่านได้ที่ -29.92 นิ้วปรอท หรือประมาณ 30 นิ้วปรอท ซึ่งหมายถึงความดันในระบบมีค่าน้อยกว่าความดันบรรยากาศ สิ่งสำคัญที่ต้องการทำสุญญากาศระบบคือ ต้องการดูดความชื้นออกจากระบบให้หมด จากหลักการที่ว่าเมื่อลดความดันที่ผิวหน้าของเหลว จะทำให้จุดเดือดของเหลวนั้นต่ำลงด้วย ฉะนั้นเมื่อระบบเป็นสุญญากาศที่ความสูงปรอทประมาณ 29.9 นิ้วปรอท น้ำจะมีจุดเดือดที่ 0 ฟาเรนไฮต์ ความชื้นที่เหลืออยู่จะถูกเปลี่ยนสถานะ และถูกดูดออกมาถ้าเครื่องปั๊มสุญญากาศมีขีดความสามารถดีพอจะทำให้เป็นสุญญากาศได้ 29 นิ้วปรอทแล้วการทำสุญญากาศของระบบสามารถใช้เวลาน้อยลงได้ แต่ถ้าเครื่องปั๊มสุญญากาศมีขีดความสามารถน้อยก็จำเป็นจะต้องใช้เวลานานในการทำสุญญากาศ เครื่องปั๊มสุญญากาศจะต้องทำระบบให้เป็นสุญญากาศอย่างน้อยได้ถึง 29 นิ้วปรอทเป็นอย่างน้อยจึงจะสามารถทำให้ระบบไม่มีความชื้นเหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางระบบสุญญากาศ

ระบบสุญญากาศ (นิ้วปรอท)	อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ (°F)
27.99	100
28.50	90
28.98	80
29.18	70
29.40	60
29.66	50
29.71	40
29.76	30
29.82	20
29.86	10
29.87	5
29.88	0
29.90	-10

3.6 ฉนวน

ฉนวนเป็นตัวนำความร้อนที่เลว และมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ ฉนวนทำหน้าที่ในการป้องกันหรือหน่วงการถ่ายเทความร้อนจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่ที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า วัสดุที่เป็นฉนวนมักจะเป็นวัสดุที่พรุนมีเซลล์อากาศอยู่มาก ความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับเซลล์จำนวนมากที่มีอากาศอยู่นิ่งหรือค่อนข้างนิ่ง เซลล์อากาศนี้ต้องมีขนาดเล็ก เพราะถ้าใหญ่ไปอากาศจะไม่อยู่นิ่งจะทำให้เกิดการพาความร้อนได้ ฉนวนที่ใช้หุ้มในระบบต่างๆควรเลือกใช้ให้เหมาะสม โดยฉนวนที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูง ได้แก่ ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน เป็นต้น ฉนวนที่กล่าวนี้ทำหน้าที่ลดการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีและการพาความร้อนได้มาก ในการหุ้มฉนวนนั้นควรพิจารณาใช้ความหนาให้เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมาจากแนวคิดที่ว่าไม่มีฉนวนใดสามารถป้องกันการสูญเสียความร้อนได้สมบูรณ์ 100 เปอร์เซนต์ ดังนั้นความหนาของฉนวนและชนิดของฉนวนที่จะใช้ถูกกำหนดจากต้นทุนการผลิตความร้อนและต้นทุนในการใช้ฉนวน ความสามารถในการป้องกันการสูญเสียความร้อนของฉนวนเป็นไปตามกฎที่ชื่อว่า กฎแห่งการได้ผลตอบแทนถดถอย กล่าวคือถ้าใช้ความหนาฉนวนต่ำกว่าค่าๆหนึ่งและจะเกิดการสูญเสียความร้อนมาก นั่นคือ หนาไม่พอ แต่ถ้าใช้ความหนาสูงกว่าค่าๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งแล้วต้นทุนฉนวนที่สูงขึ้นจะไม่คุ้มกับพลังงานที่ประหยัดเพิ่มขึ้นได้ดังนั้นความหนาของฉนวนจะมีอยู่ค่าหนึ่งที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ให้ผลรวมของราคาฉนวนกับราคาพลังงานที่สูญเสียต่ำสุด

3.7 การเชื่อมด้วยก๊าซ

การเชื่อมก๊าซเป็นวิธีการเชื่อมแพร่หลาย เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อโลหะที่เป็นแผ่นบาง เพราะการเชื่อมด้วยไฟฟ้าทำไม่ได้เนื่องจากมีอุณหภูมิสูง แผ่นโลหะหลอมตัวมากไฟ พบมากใช้ในโรงงานหล่อหลอมโลหะ โรงงานตัดเรือเหล็ก อู่เคาะพ่นสี ร้านทำท่อไอเสียรถยนต์ และงานซ่อมบำรุงประจำโรงงาน อันตรายของเครื่องเชื่อมก๊าซได้แก่ ท่อบรรจุก๊าซระเบิด แสงจ้าจากการเชื่อม เปลวไฟจากหัวเชื่อมและฟูมหรือก๊าซพิษ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมก๊าซ

1. ท่อบรรจุก๊าซ ออกซิเจน อะซิติลีน หรือถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว
2. ชุดควบคุมความดันก๊าซ ทำหน้าที่ลดความดันให้เหมาะสมที่จะจ่ายไปใช้งาน
3. มาตรวัดความดันก๊าซ มี 2 ชุด มาตรวัดความดันสูงใช้วัดความดันในท่อบรรจุก๊าซ มาตรวัดความดันต่ำวัดความดันที่จ่ายไปใช้งาน
4. สายส่งก๊าซ มี 2 เส้น สำหรับก๊าซออกซิเจนและก๊าซอะเซทิลีน ส่วนก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะใช้สายเดียว
5. หัวเชื่อมหรือหัวตัด ทำหน้าที่ผสมก๊าซทั้ง 2 ชนิดและทำหน้าที่ปรับเปลวไฟ
6. อุปกรณ์จุดประกายไฟ ทำหน้าที่ก่อให้เกิดประกายไฟสำหรับหัวเชื่อมหรือหัวตัด
7. ลวดเชื่อม ทำหน้าที่ประสานชิ้นงานเข้าด้วยกัน
8. อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น แว่นตากรองแสง ถุงมือ และรองเท้านิรภัย

การเชื่อมโลหะด้วยก๊าซอย่างปลอดภัย

1. อุปกรณ์การเชื่อมหรือตัด

1.1 ท่อบรรจุก๊าซ ออกซิเจน อะเซติลีนหรือปิโตรเลียมเหลว จะต้องได้มาตรฐานและมีการตรวจสอบตามระยะเวลาที่กำหนด

1.2 ชุดควบคุมความดันก๊าซ สามารถควบคุมก๊าซที่จ่ายออกมาคงที่สม่ำเสมอ และได้มาตรฐานหรือมีสถาบันรับรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 มาตรวัดความดัน จะต้องตกศูนย์เมื่อไม่มีความดัน ถ้ามีความดันเข็มจะเคลื่อนที่อย่างไม่ติดขัดหรือค้างเป็นช่วงๆ

1.4 ปลายสายส่งก๊าซออกซิเจนจะใช้ข้อต่อแบบเกลียวขวา ส่วนปลายท่อส่งก๊าซเชื้อเพลิงจะใช้เกลียวซ้าย ป้องกันการต่อสายสลับกัน

2. ช่างเชื่อม เพื่อความปลอดภัยควรมีคุณสมบัติหรือต้องปฏิบัติเช่นเดียวกับช่างเชื่อมไฟฟ้า

2.1 ต้องมีความรู้เกี่ยวกับเครื่องเชื่อมและวิธีการเชื่อมแก๊สมาอย่างดี

2.2 ควรได้รับการฝึกให้ใช้อุปกรณ์ดับเพลิง

2.3 ต้องแต่งกายให้เหมาะสม เช่น สวมเสื้อแขนยาว และกางเกงขายาวทำด้วยผ้าเนื้อหนา

2.4 รู้จักใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น หน้ากากกรองแสงสำหรับเชื่อมแก๊ส รองเท้านิรภัยชนิดหุ้มข้อแบบไม่ใช้เชื่อกผูก ถุงมือหนัง เสื้อหนังสำหรับงานเชื่อม และผ้าคลุมหน้าอกและลำตัวหรือเอี๊ยม เป็นต้น

3. บริเวณที่ปฏิบัติงาน เพื่อความปลอดภัยควรมีลักษณะเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น

4. การเชื่อมหรือตัดด้วยก๊าซเพื่อความปลอดภัย

4.1 ท่อก๊าซที่นำไปใช้งานต้องวางห่างจากแหล่งความร้อน และยึดแน่นไม่ล้มง่าย

4.2 ตรวจสอบรอยรั่วของก๊าซที่บริเวณชุดควบคุมความดันด้วยฟองสบู่โดยเน้นบริเวณรอยต่อของวาล์วกับท่อก๊าซ และควรทำทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนท่อก๊าซใหม่

4.3 ตรวจสอบรอยรั่วของสายส่งก๊าซ โดยการเปิดก๊าซผ่านเข้าท่อส่งก๊าซทั้งสอง แล้วปิดวาล์วที่หัวเชื่อมไว้ นำสายส่งก๊าซจุ่มลงในน้ำ ถ้ามีการรั่วจะเกิดฟองน้ำผุดขึ้นมา

4.4 ตรวจสอบรอยรั่วที่วาล์วของหัวเชื่อม และรอยต่อสายส่งก๊าซด้วยฟองสบู่

4.5 ปรับตั้งแรงดันก๊าซออกซิเจนและก๊าซอะเซทิลีนหรือก๊าซอื่นให้เหมาะสมก่อนใช้งาน

4.6 การจุดไฟที่หัวเชื่อมควรใช้อุปกรณ์จุดไฟโดยเฉพาะไม่ควรใช้ไม้ขีด

4.7 การจุดไฟที่หัวเชื่อมเริ่มจากการเปิดวาล์วก๊าซอะเซทิลีนก่อนโดยให้ก๊าซออกมาเล็กน้อย แล้วจุดประกายไฟ เมื่อไฟติดจึงเปิดวาล์วก๊าซออกซิเจน จากนั้นปรับเปลวไฟให้ได้ตามต้องการ ส่วนการปิดก็ให้ปิดวาล์วก๊าซอะเซทิลีนก่อนแล้วจึงปิดวาล์วออกซิเจนตาม

4.8 ท่อก๊าซที่ยังไม่ได้ใช้งานควรมีฝาครอบวาล์วปิดไว้ ท่อที่ใช้แล้วควรมีป้ายบอกและแยกเก็บเป็นสัดส่วน

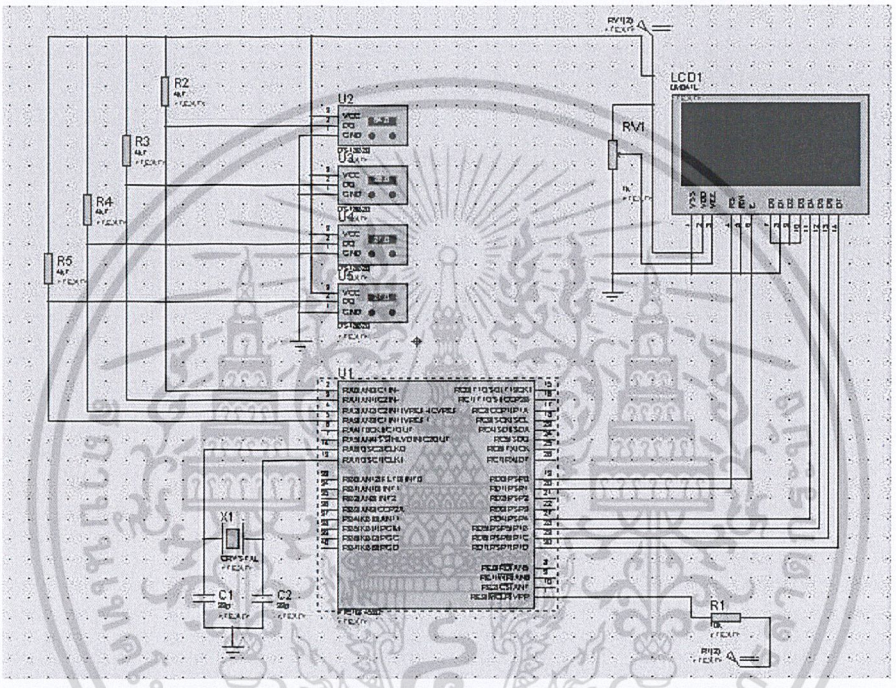
4.9 ห้ามใช้น้ำมันหรือจารบีในการหล่อลื่นข้อต่อก๊าซทุกจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 การเปิดวาล์วจากท่อออกซิเจน ควรเปิดช้าๆ เพราะความดันภายในท่อออกซิเจนสูงมาก การเปิดอย่างรวดเร็วอาจเกิดอันตรายได้

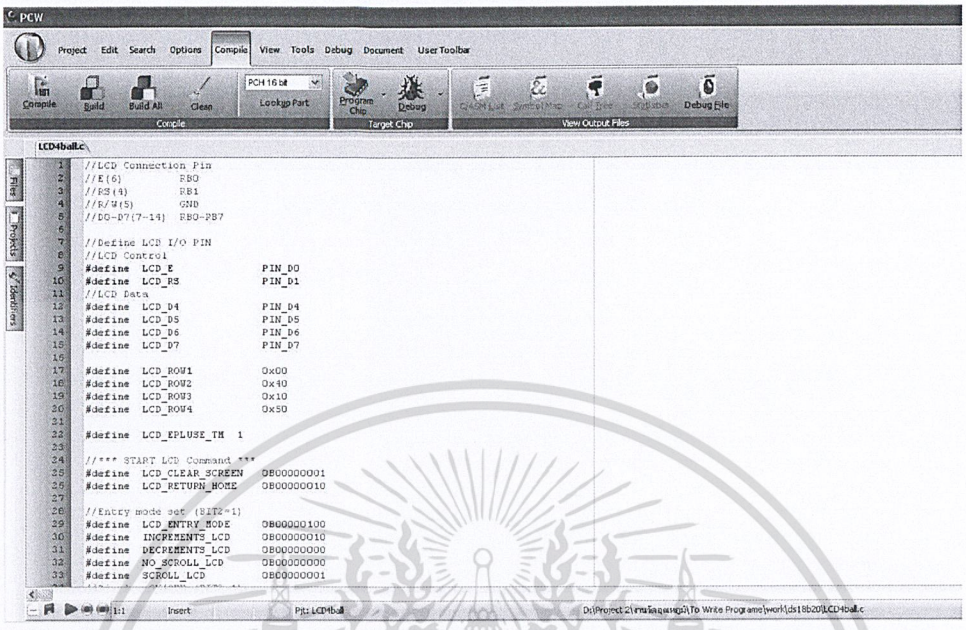
4.11 ห้ามเชื่อมหรือใช้หัวตัดด้วยก๊าซโดยไม่สวมแว่นตากรองแสงที่เหมาะสม

3.8 วงจรเครื่องวัดอุณหภูมิ

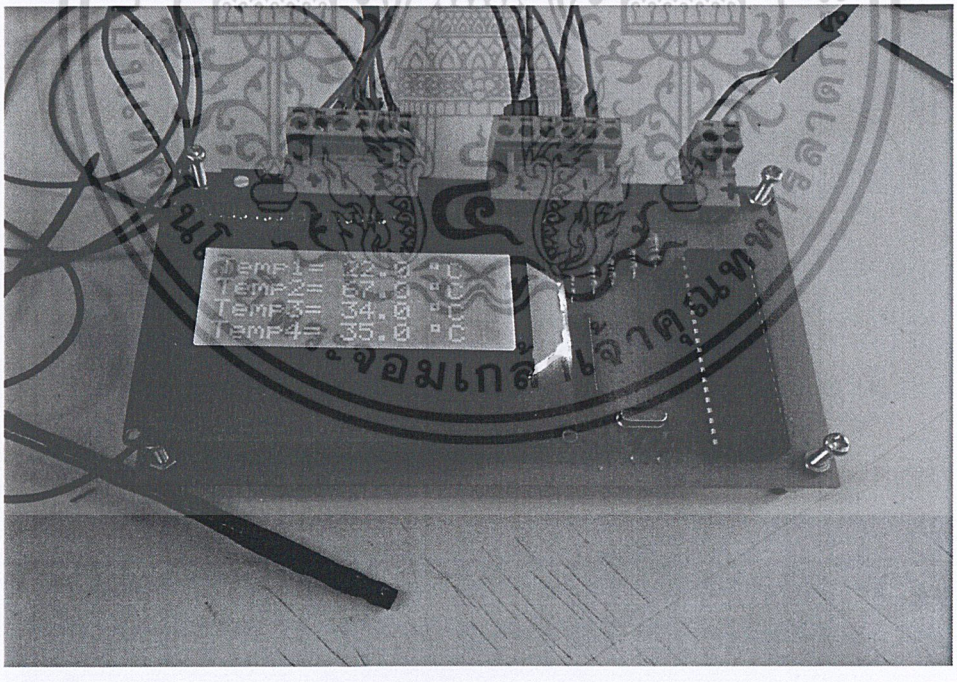


รูปที่ 3.2 วงจรเครื่องวัดอุณหภูมิ โดย IC DS18b20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ส่วนของการเขียนโปรแกรม



รูปที่ 3.4 ส่วนของผลการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การคำนวณสารละลายในระบบ

3.9.1 กำหนดสภาวะต่างๆในการออกแบบ

จุดที่ 1 อุณหภูมิสารละลายหลังจากพัดลมดูดอากาศภายนอกเข้า

$T_1 = 35°C$

จุดที่ 2 ไอของสารทำงานออกจากส่วนของ Evaporatorไปยังส่วนของ Condenser

$T_2 = 30°C$ P2 = 4.246 kPa = 42.21 mmHg จากภาคผนวก ค.1

จุดที่ 3 ไอของสารทำงานถูกระบายความร้อนโดยพัดลมออกจากส่วนของ Condenser

$T_3 = 29°C$

จุดที่ 4 สารทำงานเมื่อออกจากส่วน Condenser เข้าดูดซึมในส่วนของ Evaporator

$T_4 = 28°C$

ขนาดของการระเหย 5.021 kW

ค่าความจุความร้อนของน้ำ $Cp_w = 4.18$ kJ/kg.°C

ค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน $\varepsilon = 0.5$

3.9.2 การคำนวณหาความดัน

ความดันของระบบด้านความดันต่ำ, P_L (ภาคผนวก ค.3)

$P_L = P_L(T_3) = P_L(28°C) = 4.0521$ kPa

ความดันของระบบด้านความดันสูง, P_H (ภาคผนวก ค.3)

$P_H = P_H(T_1) = P_H(35°C) = 4.246$ kPa

ดังนั้น $P_L = P_3 = P_4 = 4.0521$ kPa

$P_H = P_1 = P_2 = 4.246$ kPa

3.9.3 คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย

1. ความเข้มข้นของสารละลายเข้มข้น, X_{st} (ภาคผนวก ค.1)

$X_{st} = X(T_1, P_H) = X(35°C, 4.246 \text{ kPa}) = 30\%$

2. ความเข้มข้นของสารละลายเจือจาง, X_w (ภาคผนวก ค.1)

$X_w = X(T_4, P_L) = X(30°C, 4.052 \text{ kPa}) = 10\%$

ดังนั้น $X_w = X_5 = 10\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$X_{st} = X_1 = 30\%$

$X_2 = X_3 = X_4 = 0\%$

3.9.4 คำนวณเอนทรัลปี

1. เอนทรัลปีที่สภาวะที่ 1, h_1 (ภาคผนวก ค.2)

$h_1 = h(T_1 , X_1) = h(35℃ , 30\%) = 82.71$ kJ/kg

2. เอนทรัลปีที่สภาวะที่ 2, h_2 (ภาคผนก ค.3)

$h_2 = h(T_2) = h(35℃) = 2565.3$ kJ/kg

3. เอนทรัลปีที่สภาวะที่ 3, h_3 (ภาคผนวก ค.3)

$h_3 = h(T_3) = h(28℃) = 121.46$ kJ/kg

4. เอนทรัลปีที่สภาวะที่ 4, h_4 (ภาคผนวก ค.2)

$h_4 = h(T_4,X_4) = h(30℃ , 28\%) = 72.855$ kJ/kg

3.9.5 อัตราการไหล

1. อัตราการไหลที่สภาวะ 3, $\dot{m}_3$ หาได้จาก

$\dot{m}_3 = Q_{EV} / (h_3 - h_2)$

$= (-5.021) / (121.46 - 2565.3)$

$= 2.05 \times 10^{-3}$ kg/s

2. อัตราการไหลที่สภาวะ 1, $\dot{m}_2$ หาได้จาก

$\dot{m}_2 = Q_{EV} / (h_2 - h_1)$

$= 2.02 \times 10^{-3}$ kg/s

3. อัตราการไหลที่สภาวะ 4, $\dot{m}_4$ หาได้จาก

$\dot{m}_4(X_4) = \dot{m}_2 (X_2) + \dot{m}_{-4} (X_{-4})$

$\dot{m}_4 (0.30) = (2.02 \times 10^{-3})(1) + m_{-4}(0.10)$

$\dot{m}_4 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{-4}$

จะได้ $\dot{m}_2 = 2.02 \times 10^{-3}$ kg/s

$\dot{m}_4 = 9.09 \times 10^{-3}$ kg/s

$\dot{m}_{-4} = 7.07 \times 10^{-3}$ kg/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.6 ปริมาณความร้อน

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจาก Condenser

$q_c = \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_3 h_2$

$= 0.2489 - 5.1810$

$= -4.93$ kJ/s (ระบายความร้อนออก)

3.10 การเลือกวิธีที่ใช้วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

การหาสมรรถนะของหม้อน้ำรถยนต์ เป็นการวิเคราะห์ปัญหาเชิงอัตรา (Rating Problem) ซึ่งจะต้องคำนวณหาปริมาณความร้อน โดยที่ไม่ทราบค่าอุณหภูมิทางออก ถ้าเราใช้วิธี Log Mean Temperature จะต้องทำการคำนวณซ้ำ (Iteration) โดยการสมมติอุณหภูมิของไหลทางออก เพื่อนำไปคำนวณหาอุณหภูมิเฉลี่ยแบบ Logarithm และเนื่องจากหม้อน้ำรถยนต์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีการไหลแบบตั้งฉาก จึงต้องใช้ตัวประกอบแก้ไข ซึ่งตัวประกอบแก้ไขก็ต้องใช้ค่าอุณหภูมิทางออกมาทำการคำนวณเช่นกัน ค่าที่ได้จากการคำนวณซ้ำในแต่ละครั้งอาจจะเกิดการแกว่ง และลู่ออกจากคำตอบที่แท้จริงได้ เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณความร้อน ด้วยวิธีทั้งสองแบบ (แสดงในตารางที่ 3.1) จึงสรุปเลือกใช้วิธี ε-NTU ในการหาปริมาณความร้อน

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบขั้นตอนการหาปริมาณความร้อนด้วยวิธี LMTD และวิธี ε-NTU

LMTD	ε-NTU
1. คำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยแบบ Logarithm 2. คำนวณค่าตัวประกอบแก้ไข 3. คำนวณค่าปริมาณความร้อน 4. คำนวณอุณหภูมิที่ทางออก 5. เปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนที่ได้เพื่อทำการคำนวณซ้ำ	1. คำนวณค่า NTU 2. คำนวณค่า ε 3. คำนวณค่าปริมาณความร้อน 4. คำนวณอุณหภูมิที่ทางออก

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าวิธี NTU จะมีขั้นตอนที่น้อยกว่า เพราะไม่ต้องการคำนวณซ้ำ และนอกจากนี้ในแต่ละขั้นตอนของวิธี NTU ยังต้องใช้การคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม เพราะว่าอุณหภูมิมีผลต่อคุณสมบัติของของไหล จึงได้ทำการสมมติอุณหภูมิที่ทางออก เพื่อหาคุณสมบัติของของไหลที่อุณหภูมิเฉลี่ย นั่นเพราะจะทำให้การคำนวณมีความรวดเร็วและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3.11 การคำนวณสมรรถนะของหม้อน้ำรถยนต์

3.11.1 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำหล่อเย็น (h_w)

สมการของ Olsson เป็นสมการที่ได้ทำการทดลองกับหลอดน้ำโดยตรง เราสามารถหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำหล่อเย็นได้ดังนี้

$$h_w = (\frac{kw}{Dh})[6.0647 - (4.3356x10^{-4})Re_{Dh} + (1.0359x10^{-6})Re_{Dh}^{2} - (8.7500x10^{-11})Re_{Dh}^{3}] \quad (3.1)$$

โดย $500 < Re_{Dh} < 6000$

3.11.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ

สมการของ Chang และ Wang เนื่องจากเป็นสมการที่ได้พิจารณาเปรียบเทียบกับ สมการและความสัมพันธ์ ที่ผ่านมาในอดีตพบว่ามีความแม่นยำเราสามารถหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศได้ดังนี้

$$h_a = (G_a C_{p,a}/Pra^{2/3})Re_{Lp}^{-0.49}(\frac{La}{90})^{0.27}(\frac{Fp}{Lp})^{-0.14}(\frac{Fl}{Lp})^{-0.29}(\frac{Td}{Lp})^{-0.23}(\frac{Ll}{Lp})^{0.68}(\frac{Tp}{Lp})^{-0.28}(\frac{Ft}{Lp})^{-0.05} \quad (3.2)$$

โดย $100 < Re_{Lp} < 3000$

3.11.3 ประสิทธิผลของพื้นผิวด้านอากาศ

เมื่อพิจารณาครีบในหม้อน้ำรถยนต์แล้ว พบว่าเป็นครีบตรงที่ตั้งฉาก ความหนาของแผ่นครีบบาง และไม่มีการถ่ายเทความร้อนที่ปลายของครีบกับอากาศ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$n_f = \tanh(\sqrt{\frac{2ha}{kfFt}} \cdot \frac{Fl}{2}) / (\sqrt{\frac{2ha}{kfFt}} \cdot \frac{Fl}{2}) \quad (3.3)$$

$$n_o = 1 - \frac{Af}{Ao}(1 - n_f) \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.4 ค่าการถ่ายถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ (Overall Thermal Conductance of Automotive Radiator : UA)

สมมติให้เป็นหม้อน้ำรถยนต์ที่ใหม่ มีผิวเรียบไม่มีตะกรัน และไม่คำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี สามารถหาสมการความต้านทานความร้อนรวมของหม้อน้ำรถยนต์ดังนี้

Overall Thermal Resistance = Thermal Resistance of Water + Thermal Resistance of Tube + Thermal Resistance of Air

$$R_o = 1 / h_w A_w + T_t / k_t A_t + 1 / h_a n_o A_o \tag{3.5}$$

เมื่อ A_w = พื้นที่ถ่ายเทความร้อนด้านน้ำหล่อเย็น มีค่าเท่ากับพื้นที่ผิวภายท่อน้ำทั้งหมด, m^2

A_t = พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของท่อน้ำทั้งหมด มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยระหว่างพื้นที่ผิวภายในกับภายนอกของท่อน้ำ, m^2

A_o = พื้นที่ถ่ายเทความร้อนด้านอากาศ มีค่าเท่ากับพื้นที่ผิวของแผ่นครีบและพื้นที่ผิวภายนอกของท่อน้ำ, m^2

k_t = ค่าการนำความร้อนของท่อน้ำ, W/m.°C

T_t = ความหนาของผนังท่อน้ำ, m

n_o = ค่าประสิทธิผลทางความร้อนของพื้นผิวรวม, ไร้มิติ

และพิจารณาจากค่าการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำจะได้ว่า

$$UA = \frac{1}{1 / hwAw + Tt / ktAt + 1 / hanoAo} \tag{3.6}$$

3.11.5 ค่าประสิทธิผลของหม้อน้ำ (Effectiveness of Radiator)

หม้อน้ำรถยนต์จัดเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการไหลของของไหลแบบตั้งฉาก โดยของไหลทั้งสองไม่ผสมกัน สามารถคำนวณค่าประสิทธิผลของหม้อน้ำได้ดังนี้

$$NTU = UA / C_{min} \tag{3.7}$$

$$\varepsilon = 1 - \exp\{ \frac{Cmax}{Cmin} NTU^{0.22} [\exp(-\frac{Cmin}{Cmax} NTU^{0.78}) - 1] \} \tag{3.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในกรณีที่ C_{max} มากกว่า C_{min} มากๆ

$$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU) \tag{3.9}$$

3.11.6 ค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท และอุณหภูมิที่ทางออก

เมื่อทราบค่าประสิทธิผลของหม้อน้ำแล้วสามารถหาค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทได้ของหม้อน้ำรถยนต์

$$Q_{actual} = \varepsilon C_{min}(T_{w,i} - T_{a,i}) \tag{3.10}$$

ค่าอุณหภูมิทางออกของน้ำหล่อเย็น และอากาศ จากกฎทรงพลังงานจะได้ว่า

$$T_{w,o} = T_{w,i} - (Q_{actual} / C_w) \tag{3.11}$$

$$T_{a,o} = T_{a,i} + (Q_{actual} / C_a) \tag{3.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบของระบบของเครื่องเปลี่ยนความร้อนแบบ เทอร์โมไซฟอน การทดลองและเปรียบเทียบค่าได้จากการคำนวณ และค่าจริงที่ได้จากการทดลอง โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

4.1 Heater

ในโครงงานนี้ Heater ที่ใช้ทดสอบคือ Heater แท่ง ขนาด 1600 วัตต์ สูง 40 เซนติเมตร เพื่อนำมาใช้ในส่วนของ Generator โดยควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้

4.2 เครื่องวัดความเร็วลม

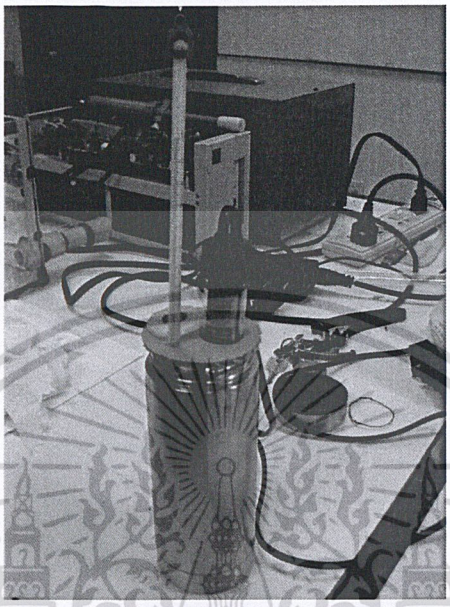
ในโครงงานนี้ วัดความเร็วลมที่ผ่านเข้าและออกในระบบ คือ Electronic Anemometer Model AR816

4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ

ในโครงงานนี้ ใช้ IC DS18b20 เพื่อวัดอุณหภูมิของจุดต่างๆ แล้วนำมาคำนวณประสิทธิภาพของระบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

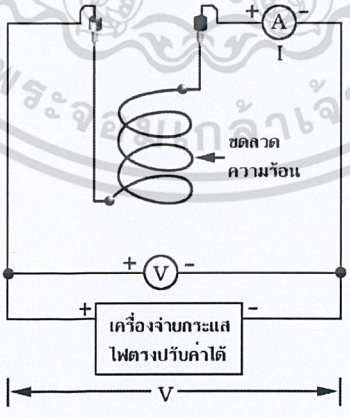
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองการพาความร้อน



รูปที่ 4.1 การทดลองการพาความร้อน

เหตุผลที่ใช้ Heater สำหรับตู้ปลามาใช้ในการทดลอง เพราะมีส่วนประกอบคล้ายคลึงกับเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงปรับค่าได้ คือ



รูปที่ 4.2 การทำงานของ Heater

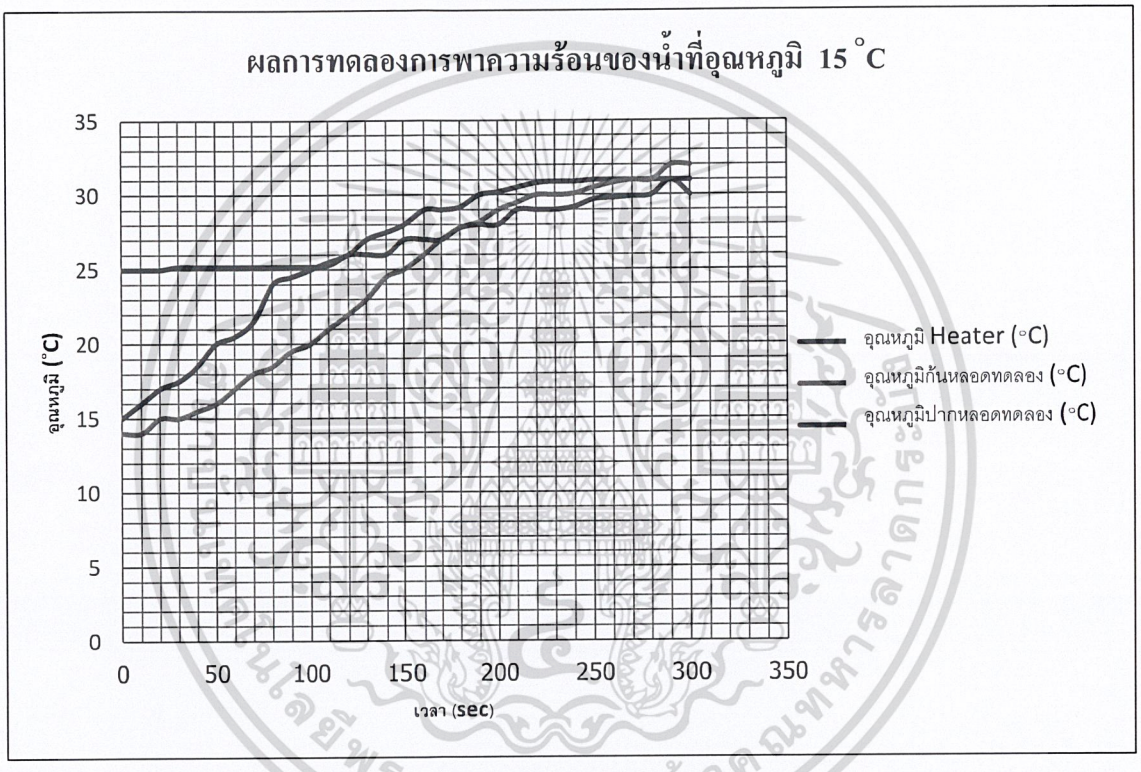
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 15 °C

เวลา (sec)	อุณหภูมิ heater (°C)	อุณหภูมิก้นหลอดทดลอง (°C)	อุณหภูมิปากหลอดทดลอง (°C)
0	15	14	25
10	16	14	25
20	17	15	25
30	17.5	15	25.2
40	18.5	15.5	25.2
50	20	16	25.2
60	20.5	17	25.2
70	21.5	18	25.2
80	24	18.5	25.2
90	24.5	19.5	25.2
100	25	20	25.2
110	25.5	21	25.3
120	26	22	26
130	27	23	26
140	27.5	24.5	26
150	28	25	27
160	29	26	27
170	29	27	27
180	29.2	27.8	27.8
190	30	28.2	28
200	30.2	29	28
210	30.5	29.5	29
220	30.8	30	29
230	30.9	30	29
240	30.9	30.1	29.2
250	31	30.5	29.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

260	31	30.8	29.8
270	31	31	29.9
280	31	31	30
290	31	32	31
300	31	32	30



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 15 °C

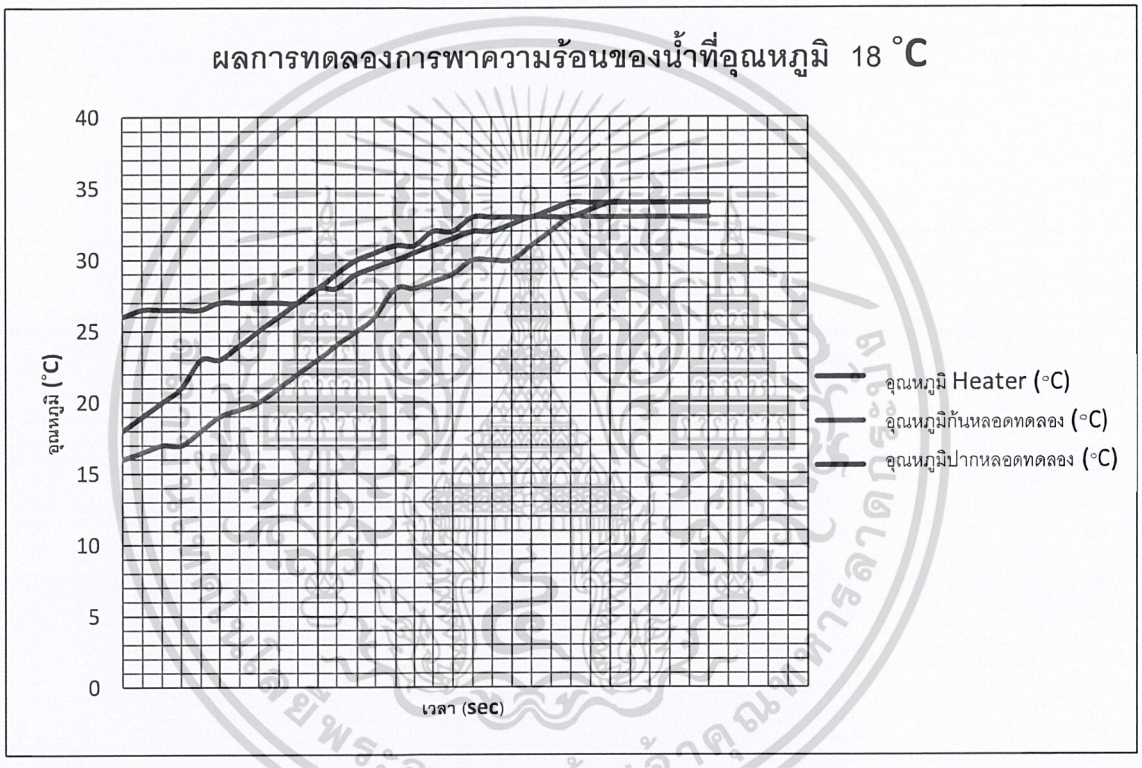
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 18 °C

เวลา(sec)	อุณหภูมิ heater(°C)	อุณหภูมิก้นหลอดทดลอง (°C)	อุณหภูมิปากหลอดทดลอง (°C)
0	18	16	26
10	19	16.5	26.5
20	20	17	26.5
30	21	17	26.5
40	23	18	26.5
50	23	19	27
60	24	19.5	27
70	25	20	27
80	26	21	27
90	27	22	27
100	28	23	28
110	29	24	28
120	30	25	29
130	30.5	26	29.5
140	31	28	30
150	31	28	30.5
160	32	28.5	31
170	32	29	31.5
180	33	30	32
190	33	30	32
200	33	30	32.5
210	33	31	33
220	33.5	32	33
230	34	33	33
240	34	33	33.5
250	34	33	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

260	34	33	34
270	34	33	34
280	34	33	34
290	34	33	34
300	34	33	34



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 18 °C

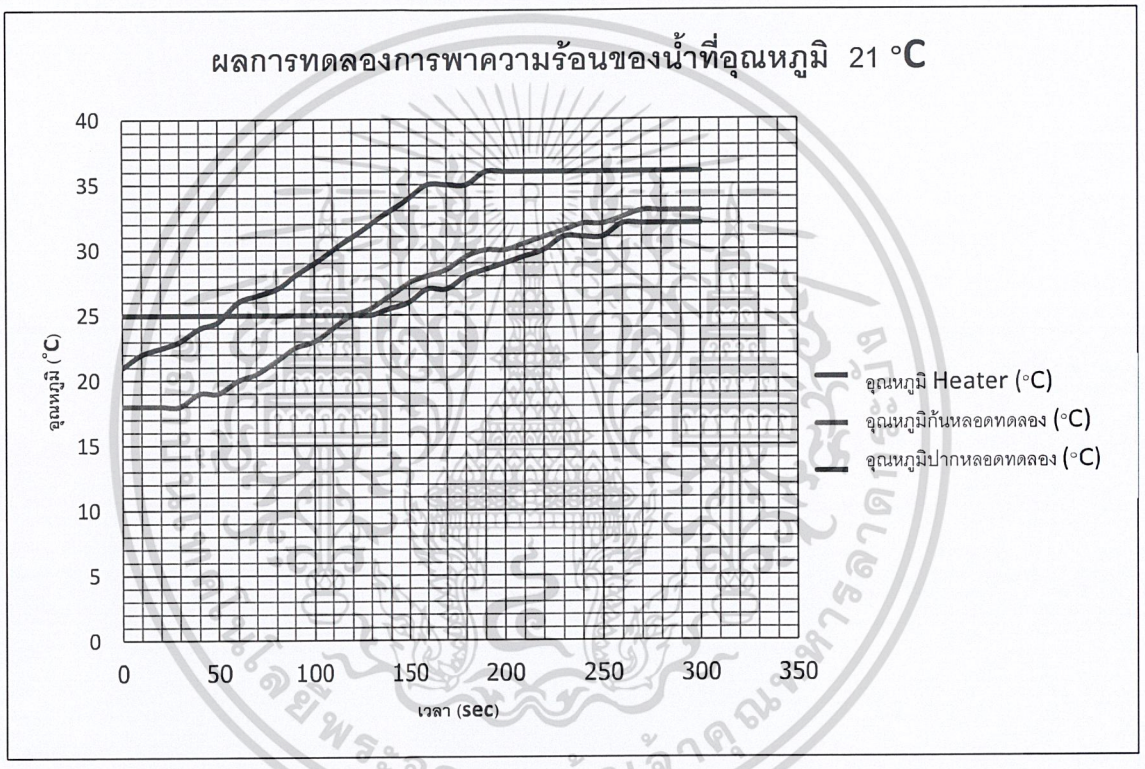
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 21 °C

เวลา(sec)	อุณหภูมิ heater(°C)	อุณหภูมิก้นหลอดทดลอง (°C)	อุณหภูมิปากหลอดทดลอง (°C)
0	21	18	25
10	22	18	25
20	22.5	18	25
30	23	18	25
40	24	19	25
50	24.5	19	25
60	26	20	25
70	26.5	20.5	25
80	27	21.5	25
90	28	22.5	25
100	29	23	25
110	30	24	25
120	31	25	25
130	32	25.5	25
140	33	26.5	25.5
150	34	27.5	26
160	35	28	27
170	35	28.5	27
180	35	29.5	28
190	36	30	28.5
200	36	30	29
210	36	30.5	29.5
220	36	31	30
230	36	31.5	31
240	36	32	31
250	36	32	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

260	36	32.5	32
270	36	33	32
280	36	33	32
290	36	33	32
300	36	33	32



รูปที่ 4.5 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 21 °C

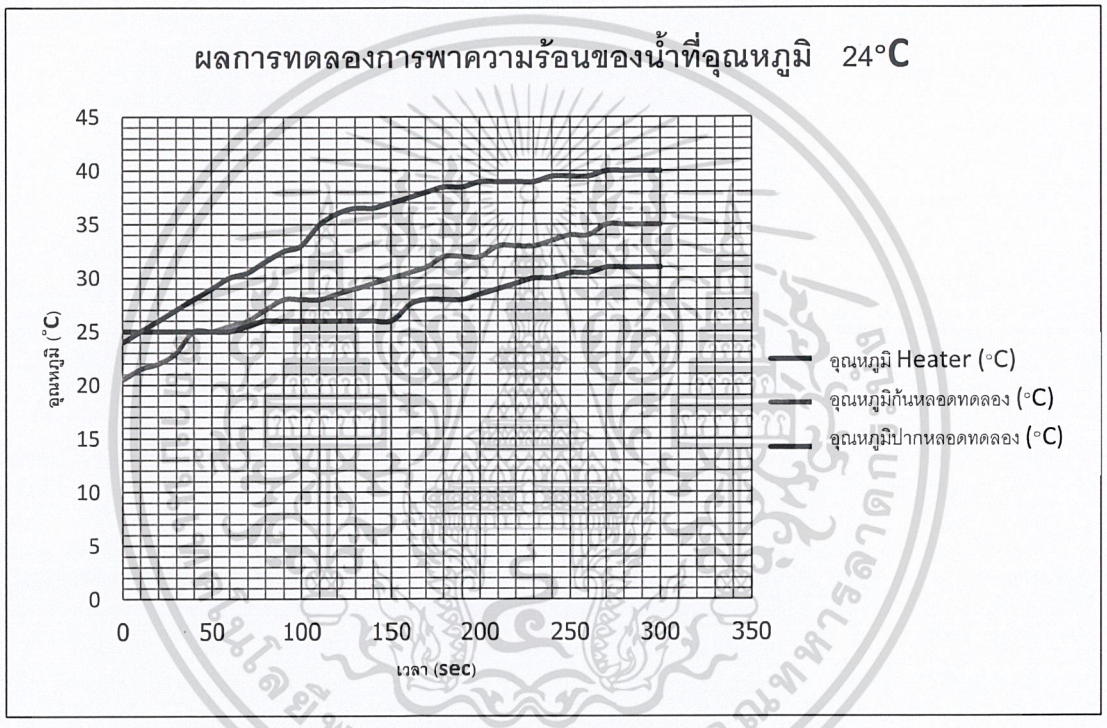
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 24°C

เวลา(sec)	อุณหภูมิ heater(°C)	อุณหภูมิก้นหลอดทดลอง (°C)	อุณหภูมิปากหลอดทดลอง (°C)
0	24	20.5	25
10	25	21.5	25
20	26	22	25
30	27	23	25
40	28	25	25
50	29	25	25
60	30	25.5	25
70	30.5	26	25.5
80	31.5	27	26
90	32.5	28	26
100	33	28	26
110	35	28	26
120	36	28.5	26
130	36.5	29	26
140	36.5	29.5	26
150	37	30	26
160	37.5	30.5	27.5
170	38	31	28
180	38.5	32	28
190	38.5	32	28
200	39	32	28.5
210	39	33	29
220	39	33	29.5
230	39	33	30
240	39.5	33.5	30
250	39.5	34	30.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

260	39.5	34	30.5
270	40	35	31
280	40	35	31
290	40	35	31
300	40	35	31



รูปที่ 4.6 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 24°C

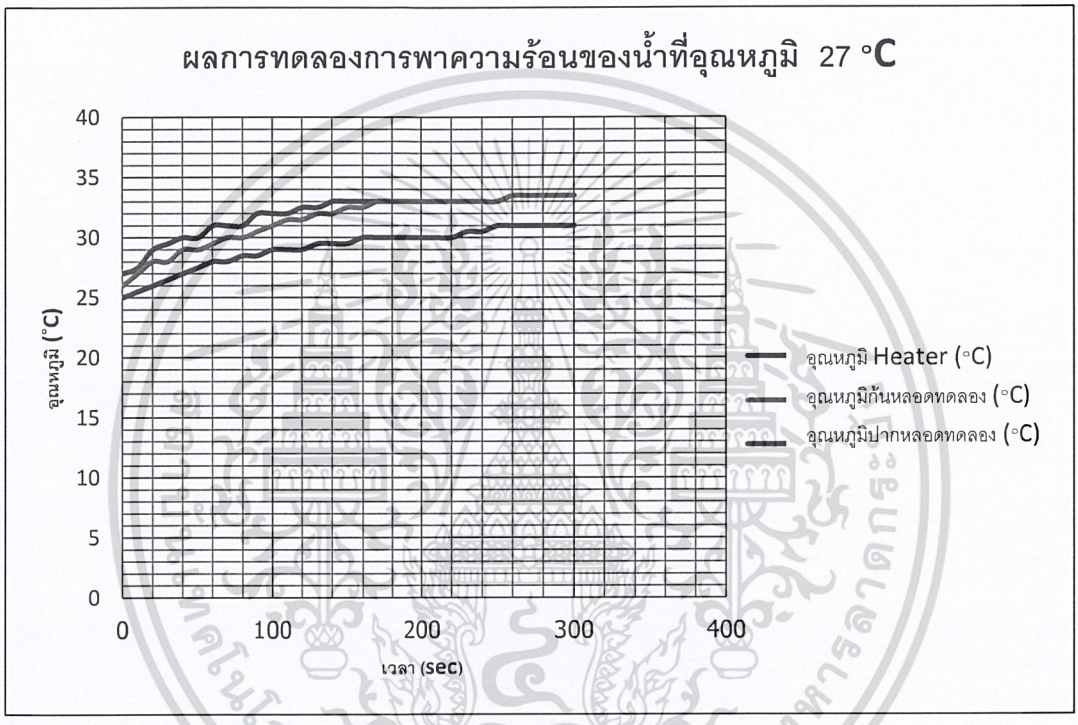
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 27 °C

เวลา(sec)	อุณหภูมิ heater (°C)	อุณหภูมิก้นหลอดทดลอง (°C)	อุณหภูมิปากหลอดทดลอง (°C)
0	27	26	25
10	27.5	27	25.5
20	29	28	26
30	29.5	28	26.5
40	30	29	27
50	30	29	27.5
60	31	29.5	28
70	31	30	28
80	31	30	28.5
90	32	30.5	28.5
100	32	31	29
110	32	31.5	29
120	32.5	31.5	29
130	32.5	32	29.5
140	33	32	29.5
150	33	32.5	29.5
160	33	32.5	30
170	33	33	30
180	33	33	30
190	33	33	30
200	33	33	30
210	33	33	30
220	33	33	30
230	33	33	30.5
240	33	33	30.5
250	33	33	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

260	33.5	33.5	31
270	33.5	33.5	31
280	33.5	33.5	31
290	33.5	33.5	31
300	33.5	33.5	31



รูปที่ 4.7 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 27 °C

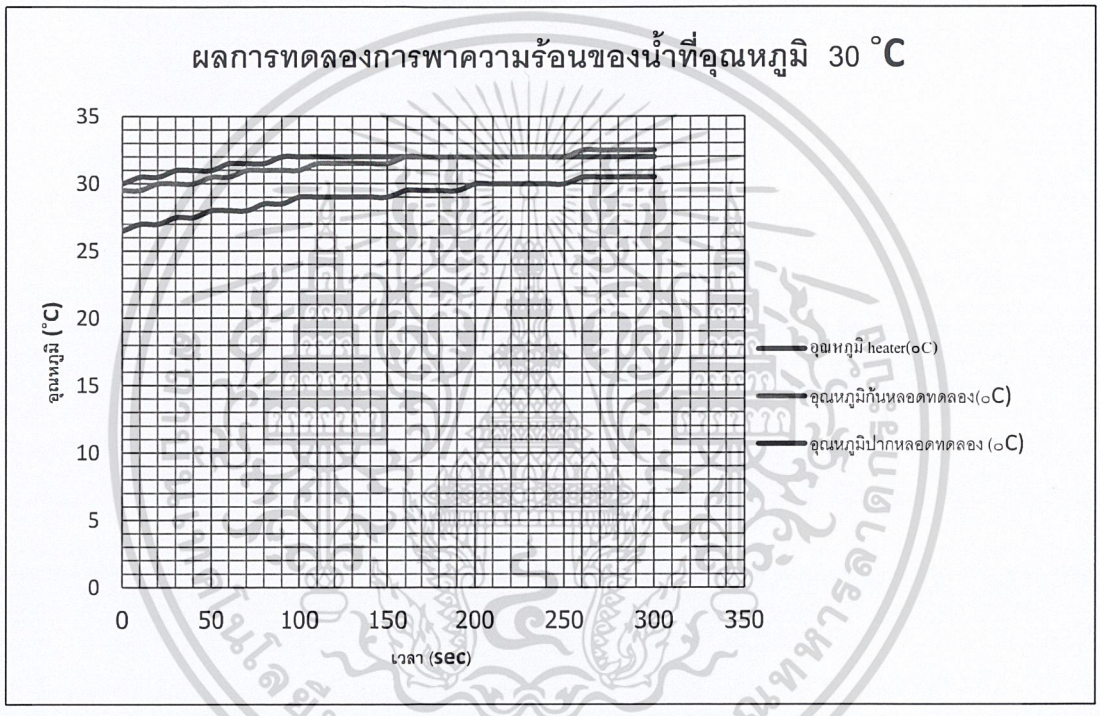
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 30 °C

เวลา(sec)	อุณหภูมิ heater(°C)	อุณหภูมิก้นหลอดทดลอง (°C)	อุณหภูมิปากหลอดทดลอง (°C)
0	30	29.5	26.5
10	30.5	29.5	27
20	30.5	30	27
30	31	30	27.5
40	31	30	27.5
50	31	30.5	28
60	31.5	30.5	28
70	31.5	31	28
80	31.5	31	28.5
90	32	31	28.5
100	32	31	29
110	32	31.5	29
120	32	31.5	29
130	32	31.5	29
140	32	31.5	29
150	32	31.5	29
160	32	32	29.5
170	32	32	29.5
180	32	32	29.5
190	32	32	29.5
200	32	32	30
210	32	32	30
220	32	32	30
230	32	32	30
240	32	32	30
250	32	32	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

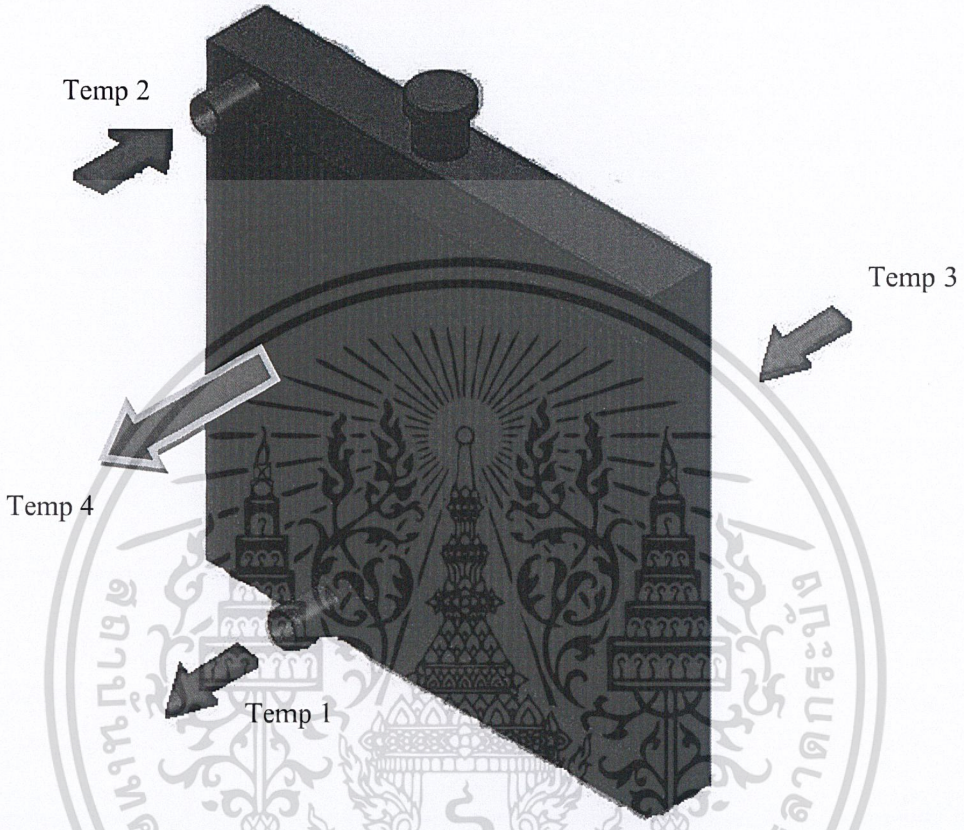
260	32	32.5	30.5
270	32	32.5	30.5
280	32	32.5	30.5
290	32	32.5	30.5
300	32	32.5	30.5



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองการพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 30 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์



รูปที่ 4.9 กระบวนการทำงานของหม้อน้ำ

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์

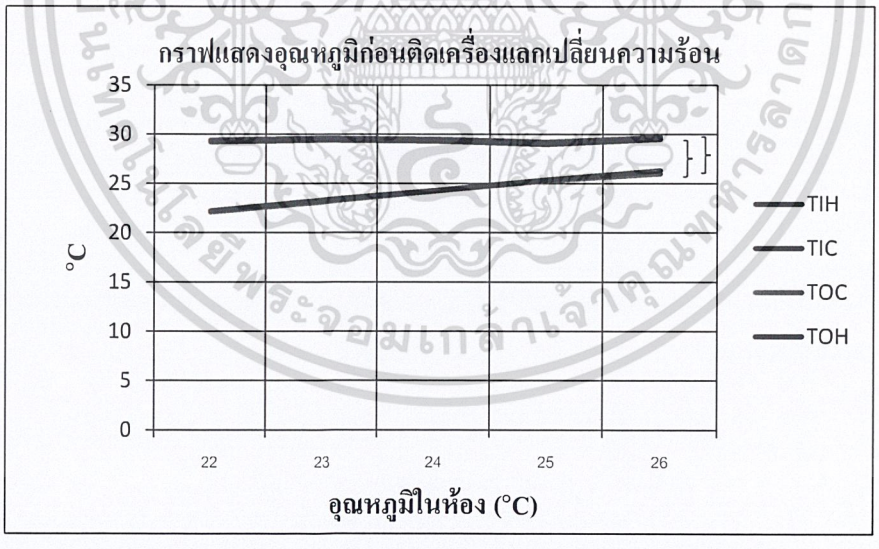
Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4	Two	Tao	Q	ประสิทธิ์ภาพ
30	38	25	25	36.3606	31.7287	13055.8	0.523247
31	40	25	28	38.0965	32.8169	15064.4	0.526815
31	42	26	27	39.8269	33.9292	17072.9	0.530985
31	44	26	28	41.5532	35.0593	19081.5	0.535219
							0.529066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองก่อนติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

T_A (°C)	T_{IO} (°C)	T_{II} (°C)	T_{OI} (°C)	T_{OO} (°C)
22	29.4	29.2	22.1	22.2
23	29.6	29.4	23.1	23.3
24	29.5	29.3	24.2	24.3
25	29.2	29	25.3	25.4
26	29.7	29.5	26	26.3
average	29.48	29.28	24.14	24.3

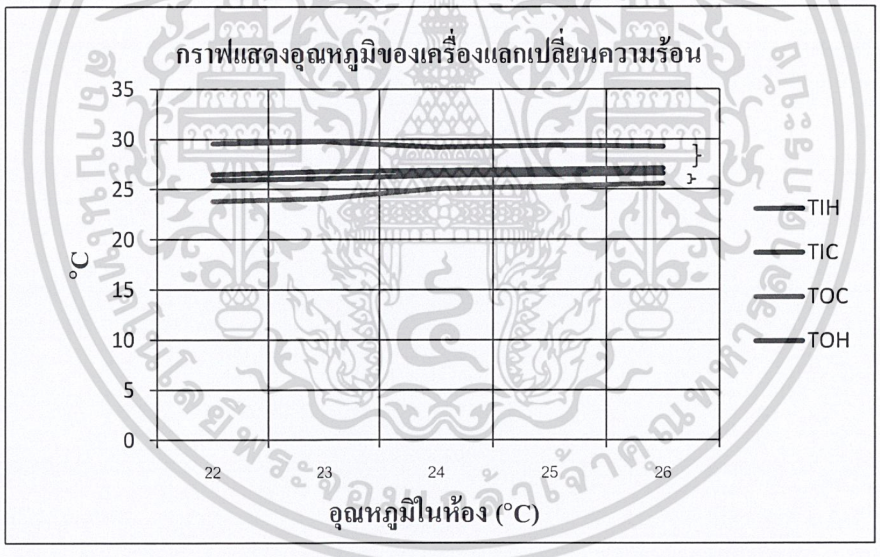


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอุณหภูมิก่อนติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

T_A (°C)	T_{IO} (°C)	T_{II} (°C)	T_{OI} (°C)	T_{OO} (°C)
22	29.6	26.5	23.8	25.9
23	29.8	26.8	24.1	26.1
24	29.2	26.9	25.1	26.4
25	29.4	27	25.3	26.5
26	29.3	27.1	25.6	26.6
average	29.46	26.86	24.78	26.3



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงอุณหภูมิเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในโครงงานนี้เป็นการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ซึ่งใช้หม้อน้ำรถยนต์ 2 ชุดเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีสารละลายลิเทียมโบรไมด์เป็นสารทำงานของระบบ โดยที่ติดตั้งร่วมกับพัดลมดูดอากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในโครงงานนี้แหล่งความร้อนอาจจะหามาจากแหล่งอื่นได้ เช่น คอยล์ร้อนของแอร์ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

5.3 ปัญหาสำหรับงานวิจัย

1. ต้องศึกษาระบบทำความเย็นแบบดูดซึม และระบบการแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นเวลานาน เนื่องจากผู้ทำงานวิจัยยังไม่มีความรู้มากพอที่จะประยุกต์ใช้งานในระดับสูง จึงต้องศึกษาเป็นเวลานาน
2. สารละลายที่ใช้ในการทดลองเป็นสารเฉพาะด้าน ซึ่งหายากและมีราคาสูง
3. ต้องศึกษาชุดเครื่องวัดอุณหภูมิ ซึ่งมีความซับซ้อน ยุ่งยากทำให้ต้องศึกษาหัวข้อนี้เป็นระยะเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ผศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์. **การถ่ายเทความร้อน**. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วีเจ พริ้นติ้ง, 2542

[2] รศ.ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. **อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : บริษัท ส.เอเชียเพลส (1989) จำกัด, 2536

[3] มนตรี พิรุณเกษตร. **เทอร์โม-ความร้อนประยุกต์.** กรุงเทพฯ : บริษัท เอช.เอ็น. กรุ๊ป จำกัด, 2539

[4] อติพงศ์ นันทพันธ์, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. **การประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอรโมไซฟอนในกระบวนการดึงความเย็นทิ้งของระบบปรับอากาศกลับมาใช้ประโยชน์.** บทความวิชาการนำเสนอการประชุมวิชาการการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 3 เชียงใหม่,สิงหาคม 2547

[5] อติพงศ์ นันทพันธ์ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. **สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน**. บทความวิชาการนำเสนอการประชุมวิชาการการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 3 เชียงใหม่, ตุลาคม 2547

[6] ฉัททวุฒิ พืชผล ,พิชิต สันติกุลานนท์ และพร้อมเลิศ หล่อวิจิตร. **คู่มือเรียน Visual Basic 6.** กรุงเทพฯ : บริษัท โปรวิชั่น จำกัด, 2547

[7] สิทธิ สิทธิธรรมชารี. **สร้างโปรแกรมบน Windows ด้วย Visual Basic 6**. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : บริษัท ซัคเซส มีเดีย จำกัด, 2548

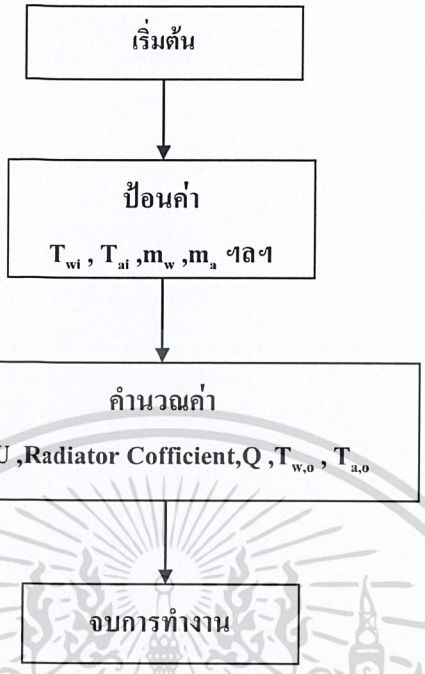
[8] Robert L. Mott. **Applied Fluid Mechanics.** Jurong : Pearson Education, Inc. 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

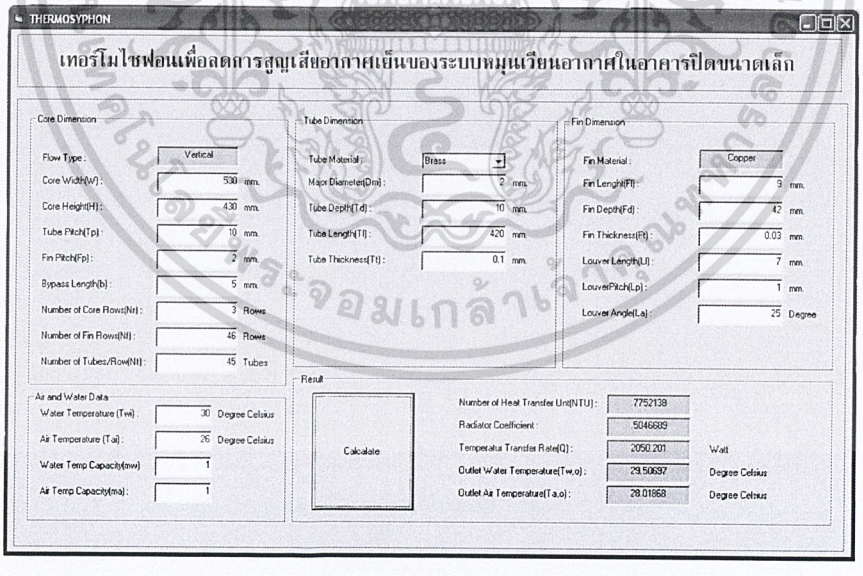
ภาคผนวก ก

รายละเอียดโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

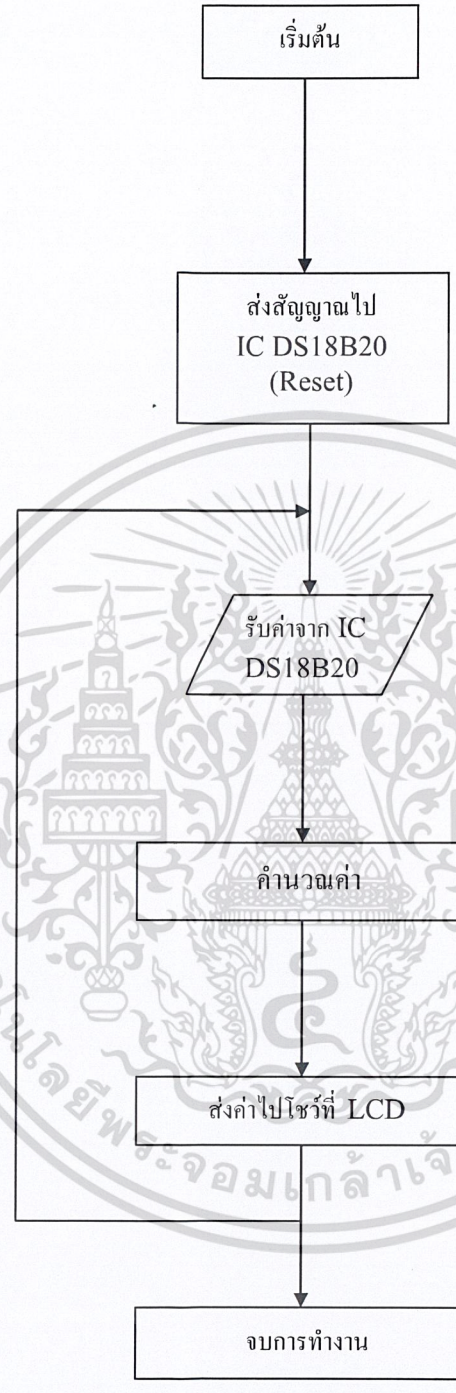


รูปผนวกที่ ก1 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพ



รูปผนวกที่ ก2 โปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ ก3 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของโค้ดโปรแกรมหลัก

```
#include <18F4520.h>
#fuses NOWDT,HS,NOPROTECT,NOLVP
#use delay (clock=20000000)
#include <TOUCH_1.c>
#include <TOUCH_2.c>
#include <TOUCH_3.c>
#include <TOUCH_4.c>
#include <LCD4ball.c>
float temperature1 ;
float temperature2 ;
float temperature3 ;
float temperature4 ;
void ReadTemp_DS18b20_1(void)
{
 byte i, buffer[9];
 if (touch_present()) {
                touch_write_byte(0xCC);
                touch_write_byte(0x44);
                delay_ms(200);
                touch_present();
                touch_write_byte(0xCC);
                touch_write_byte(0xBE);
                for (i=0; i<9;i++)
                     buffer[i] = touch_read_byte();
              }
              temperature1 =(buffer[1]<<4) | (buffer[0]>>4);     //  Temperature
               if(buffer[1]&0xF0)
              temperature1  =(-1)*temperature1 ;  // Sign bit
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            LCDGotoXY(1,1);
            printf(WriteLCDData,"Temp1= %1.1f %cC",temperature1,0xDF);
        }
void ReadTemp_DS18b20_2(void)
{
 byte a, buffer2[9];
 if (touch_present2()) {
                touch_write_byte2(0xCC);
                touch_write_byte2(0x44);
                delay_ms(200);
                touch_present2();
                touch_write_byte2(0xCC);
                touch_write_byte2(0xBE);
                for (a=0; a<9;a++)
                    buffer2[a] = touch_read_byte2();
            }
            temperature2 =(buffer2[1]<<4) | (buffer2[0]>>4);     //   Temperature
             if(buffer2[1]&0xF0)
              temperature2  =(-1)*temperature2 ;  // Sign bit
             LCDGotoXY(1,2);
             printf(WriteLCDData,"Temp2= %1.1f %cC",temperature2,0xDF);
}
void ReadTemp_DS18b20_3(void)
{
 byte b, buffer3[9];
 if (touch_present3()) {
                touch_write_byte3(0xCC);
                touch_write_byte3(0x44);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            delay_ms(200);
            touch_present3();
            touch_write_byte3(0xCC);
            touch_write_byte3(0xBE);
            for (b=0; b<9;b++)
                buffer3[b] = touch_read_byte3();
        }
        temperature3 =(buffer3[1]<<4) | (buffer3[0]>>4);     //  Temperature
         if(buffer3[1]&0xF0)
          temperature3  =(-1)*temperature3 ;                  // Sign bit

        LCDGotoXY(1,3);
        printf(WriteLCDData,"Temp3= %1.1f %cC",temperature3,0xDF);
}
void ReadTemp_DS18b20_4(void)
{
 byte c, buffer4[9];
 if (touch_present4()) {
            touch_write_byte4(0xCC);
            touch_write_byte4(0x44);
            delay_ms(200);
            touch_present4();
            touch_write_byte4(0xCC);
            touch_write_byte4(0xBE);
            for (c=0; c<9;c++)
                buffer4[c] = touch_read_byte4();
        }
        temperature4 =(buffer4[1]<<4) | (buffer4[0]>>4);                    //  Temperature
         if(buffer4[1]&0xF0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            temperature4  =(-1)*temperature4 ;                    // Sign bit
            LCDGotoXY(1,4);
            printf(WriteLCDData,"Temp4= %1.1f %cC",temperature4,0xDF);
}
void main(void) {
      LCDset();
      while(TRUE) {
           ReadTemp_DS18b20_1();
           ReadTemp_DS18b20_2();
           ReadTemp_DS18b20_3();
           ReadTemp_DS18b20_4();
           delay_ms(1000);
         }
}
```

ส่วนโค้ดโปรแกรมของ LCD

```
//LCD Connection Pin
//E(6)       RB0
//RS(4)      RB1
//R/W(5)     GND
//D0-D7(7-14)
//Define LCD I/O PIN
#define  LCD_E          PIN_D0
#define  LCD_RS         PIN_D1
//LCD Data
#define  LCD_D4         PIN_D4
#define  LCD_D5         PIN_D5
#define  LCD_D6         PIN_D6
#define  LCD_D7         PIN_D7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define LCD_ROW1        0x00
#define LCD_ROW2        0x40
#define LCD_ROW3        0x10
#define LCD_ROW4        0x50

#define LCD_EPLUSE_TM  1
//*** START LCD Command ***
#define LCD_CLEAR_SCREEN  0B00000001
#define LCD_RETURN_HOME   0B00000010
//Entry mode set (BIT2=1)
#define LCD_ENTRY_MODE    0B00000100
#define INCREMENTS_LCD    0B00000010
#define DECREMENTS_LCD    0B00000000
#define NO_SCROLL_LCD     0B00000000
#define SCROLL_LCD        0B00000001
//Display ON/OFF (BIT3=1)
#define DISPLAY_LCD       0B00001000
#define LCD_ON            0B00000100
#define LCD_OFF           0B00000000
#define LCD_CURSOR_ON     0B00000010
#define LCD_CURSOR_OFF    0B00000000
#define LCD_BLINK_ON      0B00000001
#define LCD_BLINK_OFF     0B00000000
//Scroll Display/Shift Cursor (BIT4=1)
#define LCD_SCROLL_SHIFT  0B00010000
#define LCD_SHIFT_CURSOR  0B00000000
#define LCD_SHIFT_DISPLAY 0B00001000
#define LCD_SHIFT_LEFT    0B00000000
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define  LCD_SHIFT_RIGHT    0B00000100
//Function set (BIT5=1)
#define  LCD_FUNCTION_SET   0B00100000
#define  LCD4BIT_MODE       0B00000000
#define  LCD8BIT_MODE       0B00010000
#define  LCD_LINE1          0B00000000
#define  LCD_LINE2          0B00001000
#define  LCD_FONT_5X7       0B00000000
#define  LCD_FONT_5X10      0B00000100
//Move To CGRAM Address (BIT6=1)
#define  LCD_CGRAM_ADDRESS  0B01000000
//Move To DDRAM Address (BIT7=1)
#define  LCD_DDRAM_ADDRESS  0B10000000
//*** END LCD Command ***
void InitialChip(void)
{
 setup_comparator(NC_NC_NC_NC);       //Input Digital
set_tris_b(0B00000000);
    output_a(0);
 output_b(0);
}
void LCD_Epluse()
{
 output_bit(LCD_E,1);
 delay_ms(LCD_EPLUSE_TM);
 output_bit(LCD_E,0);
 delay_ms(5);
}
void WriteLCD4Bit(BYTE DAT)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
 output_bit(LCD_D4,bit_test(DAT,4));
 output_bit(LCD_D5,bit_test(DAT,5));
 output_bit(LCD_D6,bit_test(DAT,6));
 output_bit(LCD_D7,bit_test(DAT,7));
  LCD_Epluse();
}
//Write 4 bit Data twice
void WriteLCDData(BYTE DAT)
{
 output_bit(LCD_RS,1);          //Data Mode
 WriteLCD4Bit(DAT);
 swap(DAT);
 WriteLCD4Bit(DAT);
}
//Write 4 bit Command twice
void WriteLCDCmd(BYTE CMD)
{
 output_bit(LCD_RS,0);          //Command Mode
 WriteLCD4Bit(CMD);
 swap(CMD);
 WriteLCD4Bit(CMD);
}
void InitialLCD(void)
{
BYTE BITS();
//Prepare LCD Control Logic
 output_bit(LCD_E,0);
 output_bit(LCD_RS,0);          //Command Mode
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//Initial LCD send Initial Code 0B00110000 3 time
  WriteLCD4Bit(0B00110000);
  LCD_Epluse();
  WriteLCD4Bit(0B00110000);
  LCD_Epluse();
  WriteLCD4Bit(0B00110000);
  LCD_Epluse();
 //Set as 4 bit
  WriteLCD4Bit(LCD_FUNCTION_SET|LCD4BIT_MODE);
}
//DD-RAM command
void LCDGotoXY(BYTE X,BYTE Y)
{
   X--;                    //Adjust to Count number 1...n
   switch(Y)
   {
    case 1:
        WriteLCDCmd(LCD_ROW1|LCD_DDRAM_ADDRESS|+X);       //0x00|0x80
        break;
    case 2:
        WriteLCDCmd(LCD_ROW2|LCD_DDRAM_ADDRESS|+X);    //64|0x80
        break;
    case 3:
        WriteLCDCmd(LCD_ROW3|LCD_DDRAM_ADDRESS|+X);    //64|0x80
        break;
    case 4:
        WriteLCDCmd(LCD_ROW4|LCD_DDRAM_ADDRESS|+X);    //64|0x80
        break;
   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
void LCDset(void)
{
 InitialChip();
   delay_ms(200);
   InitialLCD();
 //Set LCD
   WriteLCDCmd(LCD_FUNCTION_SET|LCD4BIT_MODE|LCD_LINE2|LCD_FONT_5X7);
   WriteLCDCmd(DISPLAY_LCD|LCD_ON|LCD_CURSOR_OFF);
   WriteLCDCmd(LCD_ENTRY_MODE|INCREMENTS_LCD|NO_SCROLL_LCD);
   WriteLCDCmd(LCD_CLEAR_SCREEN);
}
```

ส่วนโค้ดโปรแกรมของ Touch.c

```
#ifndef TOUCH_PIN
#define TOUCH_PIN  PIN_A0
#endif
BYTE touch_read_byte() {
  BYTE i,data;
  for(i=1;i<=8;++i) {
          output_low(TOUCH_PIN);
          delay_us(14);
          output_float(TOUCH_PIN);
          delay_us(5);
   shift_right(&data,1,input(TOUCH_PIN));
            delay_us(100);
                  }
  return(data);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BYTE touch_write_byte(BYTE data) {
  BYTE i;
  for(i=1;i<=8;++i) {
        output_low(TOUCH_PIN);
        delay_us(10);
         if(shift_right(&data,1,0)) {
                output_high(TOUCH_PIN);
               delay_us(10);
                 if(!input_state(TOUCH_PIN))
                return(0);
               }
        else {
                output_low(TOUCH_PIN);
                delay_us(10);
                 if(input_state(TOUCH_PIN))
                 return(0);
                }
         delay_us(50);
        output_high(TOUCH_PIN);
        delay_us(50);
         }
  return(TRUE);
}
BYTE touch_present() {
   BOOLEAN present;
    output_low(TOUCH_PIN);
   delay_us(500);
   output_float(TOUCH_PIN);
   delay_us(5);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  if(!input(TOUCH_PIN))
    return(FALSE);
  delay_us(65);
  present=!input(TOUCH_PIN);
  delay_us(240);
  if(present)
    return(TRUE);
  else
    return(FALSE);
}
```



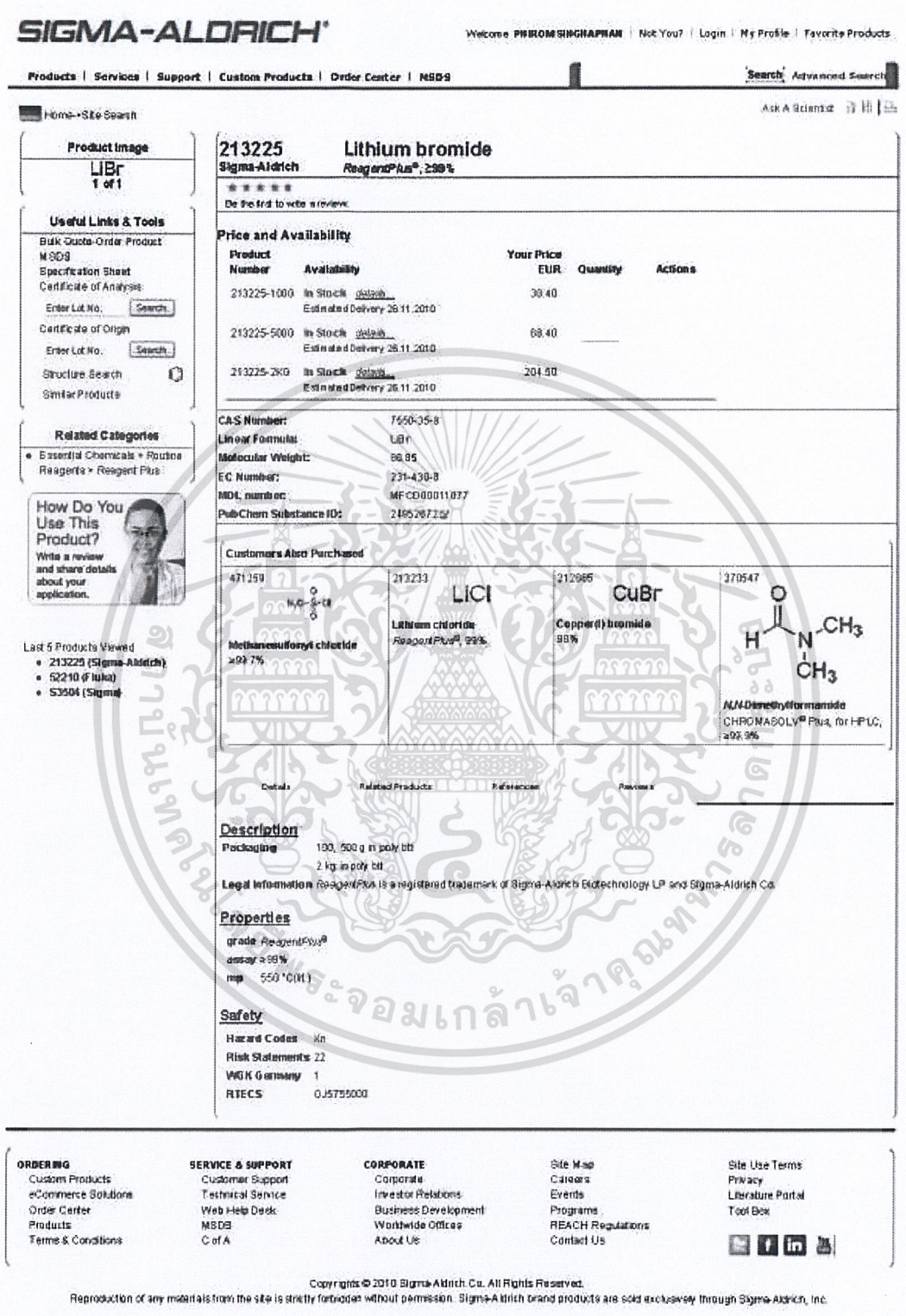
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

DATA SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SIGMA-ALDRICH

Welcome PHROMSINGHAPHAN | Not You? | Login | My Profile | Favorite Products

Products | Services | Support | Custom Products | Order Center | MSDS

Search | Advanced Search

Home > Site Search

Ask A Scientist

Product Image

LiBr
1 of 1

Useful Links & Tools

Bulk Quote-Order Product
MSDS
Specification Sheet
Certificate of Analysis:
Enter Lot No. Search
Certificate of Origin
Enter Lot No. Search
Structure Search
Similar Products

Related Categories

- Essential Chemicals > Routine Reagents > Reagent Plus

How Do You Use This Product?
Write a review and share details about your application.

Last 5 Products Viewed
- 213225 (Sigma-Aldrich)
- 52210 (Fluka)
- S3504 (Sigma)

213225 Lithium bromide

Sigma-Aldrich *ReagentPlus®*; ≥99%

Be the first to write a review.

Price and Availability

Product Number	Availability	Your Price EUR	Quantity	Actions
213225-100G	In Stock details Estimated Delivery 26.11.2010	39.40		
213225-500G	In Stock details Estimated Delivery 26.11.2010	68.40		
213225-2KG	In Stock details Estimated Delivery 26.11.2010	204.60		

CAS Number:	7550-35-8
Linear Formula:	LiBr
Molecular Weight:	86.85
EC Number:	231-439-8
MDL number:	MFCD00011077
PubChem Substance ID:	24852773

Customers Also Purchased

471259 — Methanesulfonyl chloride ≥99.7%

213233 — LiCl — Lithium chloride *ReagentPlus®*, 99%

212865 — CuBr — Copper(I) bromide 98%

270547 — *N,N*-Dimethylformamide CHROMASOLV® Plus, for HPLC, ≥99.9%

Details | Related Products | References | Reviews

Description

Packaging 100, 500 g in poly btl
2 kg in poly btl

Legal Information *ReagentPlus* is a registered trademark of Sigma-Aldrich Biotechnology LP and Sigma-Aldrich Co.

Properties

grade *ReagentPlus®*
assay ≥99%
mp 550 °C (lit.)

Safety

Hazard Codes	Xn
Risk Statements	22
WGK Germany	1
RTECS	OJ5755000

ORDERING
Custom Products
eCommerce Solutions
Order Center
Products
Terms & Conditions

SERVICE & SUPPORT
Customer Support
Technical Service
Web Help Desk
MSDS
C of A

CORPORATE
Corporate
Investor Relations
Business Development
Worldwide Offices
About Us

Site Map
Careers
Events
Programs
REACH Regulations
Contact Us

Site Use Terms
Privacy
Literature Portal
Tool Box

Copyright © 2010 Sigma-Aldrich Co. All Rights Reserved.
Reproduction of any materials from the site is strictly forbidden without permission. Sigma-Aldrich brand products are sold exclusively through Sigma-Aldrich, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIGMA-ALDRICH sigma-aldrich.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006
Version 4.1 Revision Date 29.06.2010
Print Date 26.11.2010
GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

Product name : Lithium bromide

Product Number : 213225
Brand : Sigma-Aldrich

Company : Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Riedstrasse 2
D-89555 STEINHEIM
Telephone : +4989651301444
Fax : +497329972319
Emergency Phone # : +49 7329-97-2323
E-mail address : eurtechserv@sial.com

2. HAZARDS IDENTIFICATION

Classification of the substance or mixture

According to Regulation (EC) No1272/2008
Acute toxicity, Oral (Category 4)

According to European Directive 67/548/EEC as amended.
Harmful if swallowed.

Label elements

Pictogram



Signal word Warning

Hazard statement(s)
H302 Harmful if swallowed.

Precautionary statement(s) none

Hazard symbol(s)
Xn Harmful

R-phrase(s)
R22 Harmful if swallowed.

S-phrase(s) none

Other hazards - none

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Synonyms : Lithium monobromide

Formula : BrLi
Molecular Weight : 86,85 g/mol

CAS-No.	EC-No.	Index-No.	Classification	Concentration
Lithium bromide				
7550-35-8	231-439-8	-	Acute Tox. 4; H302	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		Xn; R22	

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

4. FIRST AID MEASURES

General advice
Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance.

If inhaled
If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician.

In case of skin contact
Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

In case of eye contact
Flush eyes with water as a precaution.

If swallowed
Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Suitable extinguishing media
Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

Special protective equipment for fire-fighters
Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal precautions
Use personal protective equipment. Avoid dust formation. Avoid breathing vapors, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Avoid breathing dust.

Environmental precautions
Do not let product enter drains.

Methods and materials for containment and cleaning up
Pick up and arrange disposal without creating dust. Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

7. HANDLING AND STORAGE

Precautions for safe handling
Avoid contact with skin and eyes. Avoid formation of dust and aerosols.
Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed. Normal measures for preventive fire protection.

Conditions for safe storage
Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place. Store in cool place.

Hygroscopic.

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Personal protective equipment

Respiratory protection
For nuisance exposures use type P95 (US) or type P1 (EU EN 143) particle respirator. For higher level protection use type OV/AG/P99 (US) or type ABEK-P2 (EU EN 143) respirator cartridges. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hand protection
Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

The selected protective gloves have to satisfy the specifications of EU Directive 89/686/EEC and the standard EN 374 derived from it.

Eye protection
Safety glasses with side-shields conforming to EN166 Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin and body protection
Complete suit protecting against chemicals, The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Hygiene measures
Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance

Form	powder
Colour	beige

Safety data

pH	no data available
Melting point	550 °C - lit.
Boiling point	no data available
Flash point	no data available
Ignition temperature	no data available
Lower explosion limit	no data available
Upper explosion limit	no data available
Density	3.460 g/cm3
Water solubility	no data available

10. STABILITY AND REACTIVITY

Chemical stability
Stable under recommended storage conditions.

Conditions to avoid
Avoid moisture.

Materials to avoid
Strong acids, Strong oxidizing agents

Hazardous decomposition products
Hazardous decomposition products formed under fire conditions. - Hydrogen bromide gas, Lithium oxides

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute toxicity
LD50 Oral - rat - 1.800 mg/kg

LD50 Intraperitoneal - guinea pig - 580 mg/kg

LD50 Intraperitoneal - mouse - 1.160 mg/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LD50 Subcutaneous - mouse - 1,680 mg/kg

Skin corrosion/irritation
no data available

Serious eye damage/eye irritation
no data available

Respiratory or skin sensitization
no data available

Germ cell mutagenicity
no data available

Carcinogenicity

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Reproductive toxicity

no data available

Specific target organ toxicity - single exposure
no data available

Specific target organ toxicity - repeated exposure
no data available

Aspiration hazard
no data available

Potential health effects

Inhalation	May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Ingestion	Harmful if swallowed.
Skin	May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes	May cause eye irritation.

Signs and Symptoms of Exposure
Large doses of lithium ion have caused dizziness and prostration, and can cause kidney damage if sodium intake is limited. Dehydration, weight loss, dermatological effects, and thyroid disturbances have been reported. Central nervous system effects that include slurred speech, blurred vision, sensory loss, ataxia, and convulsions may occur. Diarrhea, vomiting, and neuromuscular effects such as tremor, clonus, and hyperactive reflexes may occur as a result of repeated exposure to lithium ion., Bromide rashes, especially of the face, and resembling acne and furunculosis, often occur when bromide inhalation or administration is prolonged., Acute symptoms of overexposure include., depression, psychosis. To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

Additional Information
RTECS: OJ5755000

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Toxicity

no data available

Persistence and degradability
no data available

Bioaccumulative potential
no data available

Mobility in soil
no data available

PBT and vPvB assessment
no data available

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Other adverse effects
no data available

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Product
Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material. Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber.

Contaminated packaging
Dispose of as unused product.

14. TRANSPORT INFORMATION

ADR/RID
Not dangerous goods

IMDG
Not dangerous goods

IATA
Not dangerous goods

15. REGULATORY INFORMATION

This safety datasheet complies with the requirements of Regulation (EC) No. 1907/2006.

16. OTHER INFORMATION

Text of H-code(s) and R-phrase(s) mentioned in Section 3

Acute Tox.	Acute toxicity
H302	Harmful if swallowed.
Xn	Harmful
R22	Harmful if swallowed.

Further information
Copyright 2010 Sigma-Aldrich Co. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.
The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Co., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIGMA-ALDRICH®

sigma-aldrich.com

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA
Website: www.sigmaaldrich.com
Email USA: techserv@sial.com
Outside USA: eurtechserv@sial.com

Product Specification

Product Name:
Lithium bromide ReagentPlus®, ≥99%

LiBr

Product Number:	**213225**
CAS Number:	7550-35-8
MDL:	MFCD00011077
Formula:	BrLi
Formula Weight:	86.85 g/mol

TEST	Specification
Appearance (Color)	White
Appearance (Form)	Powder
X-Ray Diffraction	Conforms to Structure
Titration by AgNO3 (% Br)	91.1 - 92.9 %
Solubility (Turbidity)	Clear
Solubility (Color)	Colorless

Remarks:
Specification Date : 06/21/2010

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSTRUCTION MANUAL

Micro-computer based digital indicating controller JCS-33A

No.JCS31E7 2004.07

To prevent accidents arising from the misuse of this controller, please ensure the operator receives this manual.

⚠ SAFETY PRECAUTIONS

- To ensure safe and correct use, thoroughly read and understand this manual before using this instrument.
- This instrument is intended to be used for industrial machinery, machine tools and measuring equipment. Verify correct usage after consulting purpose of use with our agency or main office. (Never use this instrument for medical purposes with which human lives are involved.)
- External protection devices such as protection equipment against excessive temperature rise, etc. must be installed, as malfunction of this product could result in serious damage to the system or injury to personnel. Also proper periodic maintenance is required.
- This instrument must be used under the conditions and environment described in this manual. Shinko Technos Co., Ltd. does not accept liability for any injury, loss of life or damage occurring due to the instrument being used under conditions not otherwise stated in this manual.

Caution with respect to Export Trade Control Ordinance

To avoid this instrument from being used as a component in, or as being utilized in the manufacture of weapons of mass destruction (i.e. military applications, military equipment, etc.), please investigate the end users and the final use of this instrument. In the case of resale, ensure that this instrument is not illegally exported.

⚠ Caution

- This instrument should be used according to the specifications described in the manual. If it is not used according to the specifications, it may malfunction or cause fire.
- Be sure to follow the warnings, cautions and notices. Not doing so could cause serious injury or malfunction.
- Specifications of the JCS-33A and the contents of this instruction manual are subject to change without notice.
- This instrument is designed to be installed in a control panel. If it is not, measures must be taken to ensure that the operator cannot touch power terminals or other high voltage sections.
- Be sure to turn the power supplied to the instrument OFF before cleaning this instrument.
- Use a soft, dry cloth when cleaning the instrument. (Alcohol based substances may cause tarnishing or defacement of the unit.)
- As the display section is vulnerable, do not strike or scratch it with a hard object.
- Any unauthorized transfer or copying of this document, in part or in whole, is prohibited.
- Shinko Technos CO., LTD. is not liable for any damages or secondary damages incurred as a result of using this product, including any indirect damages.

1. Model name

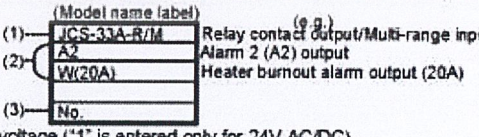
1.1 Model name

JCS-3 3 □-□/□ □. □□□				Series name: JCS-33A (W48 x H48 x D95mm)
Control action	3			PID
A1	A			Alarm action can be selected by keypad. *1
OUT1 (Control output 1)	R			Relay contact: 1a
	S			Non-contact voltage (for SSR drive): 12 +2 −1 V DC
	A			DC current: 4 to 20mA DC
Input		M		Multi-range *2
Supply voltage		1		24V AC/DC *3
Option			A2	Alarm 2 (A2) *1
			W(5A)	Heater burnout alarm — CT rated current: 5A
			W(10A)	Heater burnout alarm — CT rated current: 10A
			W(20A)	Heater burnout alarm — CT rated current: 20A
			W(50A)	Heater burnout alarm — CT rated current: 50A
			DT	OUT2 (Heating/Cooling control output) — Non-contact relay
			C5	Serial communication (RS-485)
			SM	SV1/SV2 external selection
			LA	Loop break alarm
			BK	Color Black
			TC	Terminal cover

*1: Alarm actions (9 types and No alarm action) and Energized/Deenergized can be selected by keypad.
*2: Thermocouple, RTD, DC current, and DC voltage can be selected by key operation.
*3: Supply voltage 100 to 240V AC is standard. When ordering 24V AC/DC, enter "1" after the input code.

1.2 How to read the model name label

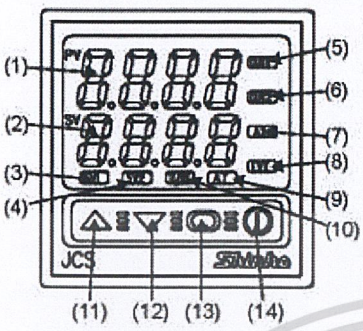
Model name labels are attached to the case and the inner assembly. For Heater burnout alarm output, CT rated current is written in the bracket.



(1): Model name (2): Option, supply voltage ("1" is entered only for 24V AC/DC)
(3): Serial number (Only on inner assembly)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Name and functions of the sections



(Fig. 2-1)

(1) **PV display**: Indicates the input value with a red LED.
(2) **SV display**: Indicates the setting value with a green LED.
(3) **SV1 indicator**: A green LED lights up when SV1 is indicated on the SV display.
(4) **SV2 indicator**: A yellow LED lights up when SV2 is indicated on the SV display.
(5) **OUT1 indicator**: When OUT1 or heating output is ON, a green LED lights up. (For A/□ type, it flashes corresponding to the manipulated variable in a 0.25 second cycle)
(6) **OUT2 indicator**: When OUT2 (option DT) is ON, a yellow LED lights up.
(7) **A1 indicator** : When A1 output is ON, a red LED lights up.
(8) **EVT indicator**: When Event output (option: A2, LA or W) is ON, a red LED lights up.
(9) **AT indicator** : When auto-tuning or auto-reset is being performed, a yellow LED flashes.

(10) **TX/RX indicator** : A yellow LED flashes during serial communication output (transmitting).
(11) **Increase key (△)** : Increases the numeric value.
(12) **Decrease key (▽)**: Decreases the numeric value.
(13) **Mode key (⏎)** : Selects the setting mode or registers the setting value. (By pressing the Mode key, the setting value or selected value can be registered)
(14) **OUT/OFF key (⏻)** : The control output ON/OFF function or Auto/Manual control function can be switched. (To cancel the control output ON/OFF function, press the OUT/OFF key again for approx. 1 second.)

> ⚠ **Notice**
> When setting the specifications and functions of this controller, connect terminals 1 and 2 for power source first, then set them referring to Chapter "5. Setup" before performing "3. Mounting to control panel" and "4. Wiring connection"

3. Mounting to control panel

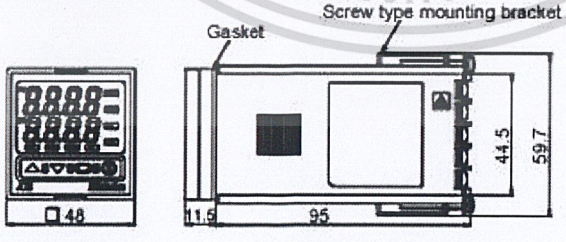
3.1 Site selection

This instrument is intended to be used under the following environmental conditions (IEC61010-1): Overvoltage category Ⅱ, Pollution degree 2

Ensure the mounting location corresponds to the following conditions:

- A minimum of dust, and an absence of corrosive gases
- No flammable, explosive gases
- Few mechanical vibrations or shocks
- No exposure to direct sunlight, an ambient temperature of 0 to 50℃ (32 to 122℉) that does not change rapidly
- An ambient non-condensing humidity of 35 to 85%RH
- No large capacity electromagnetic switches or cables through which large current is flowing
- No water, oil or chemicals or where the vapors of these substances can come into direct contact with the controller

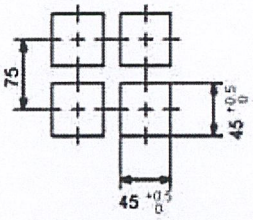
3.2 External dimensions

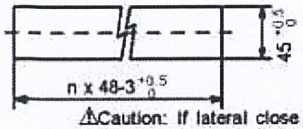


(Fig. 3.2-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Panel cutout



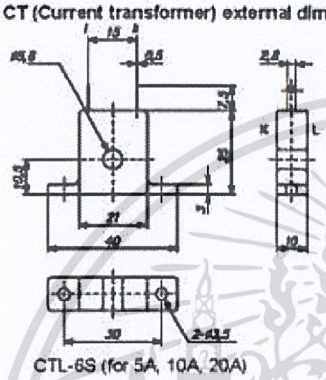


Lateral close mounting
n: Number of units mounted

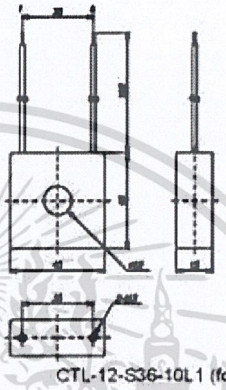
⚠Caution: If lateral close mounting is used for the controller, IP66 specification will not be fulfilled.

(Fig. 3.3-1)

3.4 CT (Current transformer) external dimension



CTL-6S (for 5A, 10A, 20A)

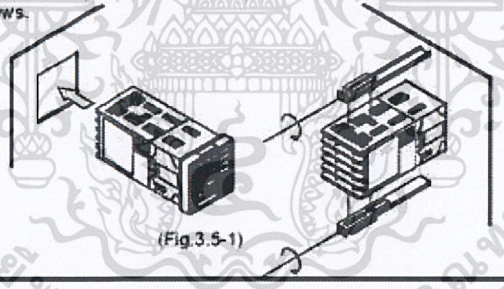


CTL-12-S36-10L1 (for 50A)

(Fig. 3.4-1)

3.5 Mounting

Mount the controller vertically to ensure it adheres to the Dust-proof/Drip-proof specification (IP66).
Mountable panel thickness: Within 1 to 15mm
Insert the controller from the front side of the panel.
Attach the mounting brackets by the holes at the top and bottom of the case and secure the controller in place with the screws.



(Fig.3.5-1)

⚠ Warning

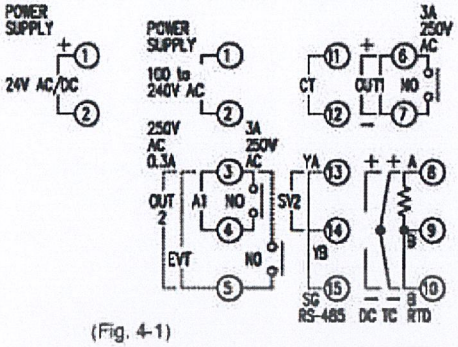
As the case is made of resin, do not use excessive force while screwing in the mounting bracket, or the case or screw type mounting bracket could be damaged. The torque is approximately 0.12N•m.

4. Wiring connection

⚠ Warning

Turn the power supply to the instrument off before wiring or checking. Working or touching the terminal with the power switched on may result in severe injury or death due to Electric Shock.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(Fig. 4-1)

- OUT1 : Control output 1 (Heating output)
- OUT2 : Control output 2 (Cooling output)
- A1 : Alarm 1 output
- EVT : Event output (A2 output, Heater burnout alarm output, Loop break alarm output)
- CT : CT input
- SV2 : Main setting 2 (SV2)
- RS-485: Serial communication (RS-485)
- TC : Thermocouple
- RTD : Resistance temperature detector
- DC : DC current, DC voltage

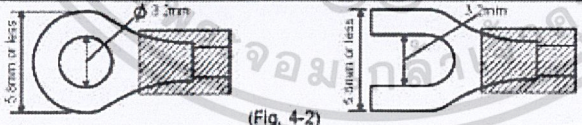
⚠ Notice

- The terminal block of the JCS-33A is designed to be wired from the left side. The lead wire must be inserted from the left side of the terminal, and fastened by the terminal screw.
- Dotted lines show options.
- Use a thermocouple and compensating lead wire that correspond to the sensor input specification of this controller.
- Use the 3-wire RTD which corresponds to the input specification of this controller.
- This controller does not have built-in power switch, circuit breaker or fuse. Therefore, it is necessary to install them in the circuit near the external controller. (Recommended fuse: Time-lag fuse, rated voltage 250V AC, rated current 2A)
- **When using a 24V AC/DC for the power source, do not confuse the polarity when it is DC.**
- When using a relay contact output type, externally use a relay according to the capacity of the load to protect the built-in relay contact.
- When wiring, keep input wires (thermocouple, RTD, etc.) away from AC sources or load wires to avoid external interference.
- Do not apply a commercial power source to the sensor connected to the input terminal nor allow the power source to come into contact with the sensor.

Lead wire solderless terminal

Use a solderless terminal with an isolation sleeve in which an M3 screw fits as shown below. The torque is approximately 0.6N•m to 1.0N•m.

Solderless terminal	Manufacturer	Model name	Tightening torque
Y type	Nichifu Terminal Industries CO.,LTD.	1.25Y-3	0.6N•m Max. 1.0N•m
	Japan Solderless Terminal MFG CO.,LTD.	VD1.25-B3A	
Round type	Nichifu Terminal Industries CO.,LTD.	1.25-3	
	Japan Solderless Terminal MFG CO.,LTD.	V1.25-3	



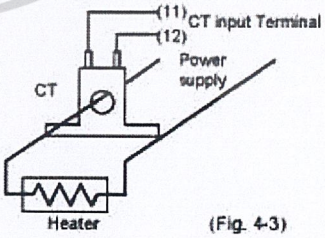
(Fig. 4-2)

Option: Heater burnout alarm

(1) **This alarm is not available for detecting heater current under phase control.**

(2) Use the current transformer (CT) provided, and pass one lead wire of the heater circuit into the hole of the CT.

(3) When wiring, keep the CT wire away from AC sources or load wires to avoid the external interference.



(Fig. 4-3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Setup

Wire the power terminals only. After the power is turned on, the sensor input characters and temperature unit are indicated on the PV display and the input range high limit value is indicated on the SV display for approximately 3 seconds. (Table 5-1)
(If any other value is set during the scaling high limit setting, the set value is indicated on the SV display)
During this time, all outputs and the LED indicators are in OFF status.
Control will then start and the input value will be indicated on the PV display and main setting value (SV) will be indicated on the SV display. (While control output OFF function is working, oFF is indicated on the PV display.)

(Table 5-1)

Sensor input	℃		℉	
	PV display	SV display	PV display	SV display
K	K °C	1370	K °F	2500
	K °C	400.0	K °F	750.0
J	J °C	1000	J °F	1800
R	r °C	1760	r °F	3200
S	S °C	1760	S °F	3200
B	b °C	1820	b °F	3300
E	E °C	800	E °F	1500
T	T °C	400.0	T °F	750.0
N	n °C	1300	n °F	2300
PL-II	PL2C	1390	PL2F	2500
C (W/Re5-26)	c °C	2315	c °F	4200
Pt100	Pt °C	850.0	Pt °F	999.9
	Pt °C	850	Pt °F	1500
JPt100	JPt°C	500.0	JPt°F	900.0
	JPt°C	500	JPt°F	900
4 to 20mA DC *	420A	Scaling high limit value	420A	Scaling high limit value
0 to 20mA DC *	020A		020A	
0 to 1V DC	0 1V		0 1V	
0 to 5V DC	0 5V		0 5V	
1 to 5V DC	1 5V		1 5V	
0 to 10V DC	0 10V		0 10V	

* 50Ω shunt resistor (sold separately) must be installed between input terminals.

5.2 Main setting mode

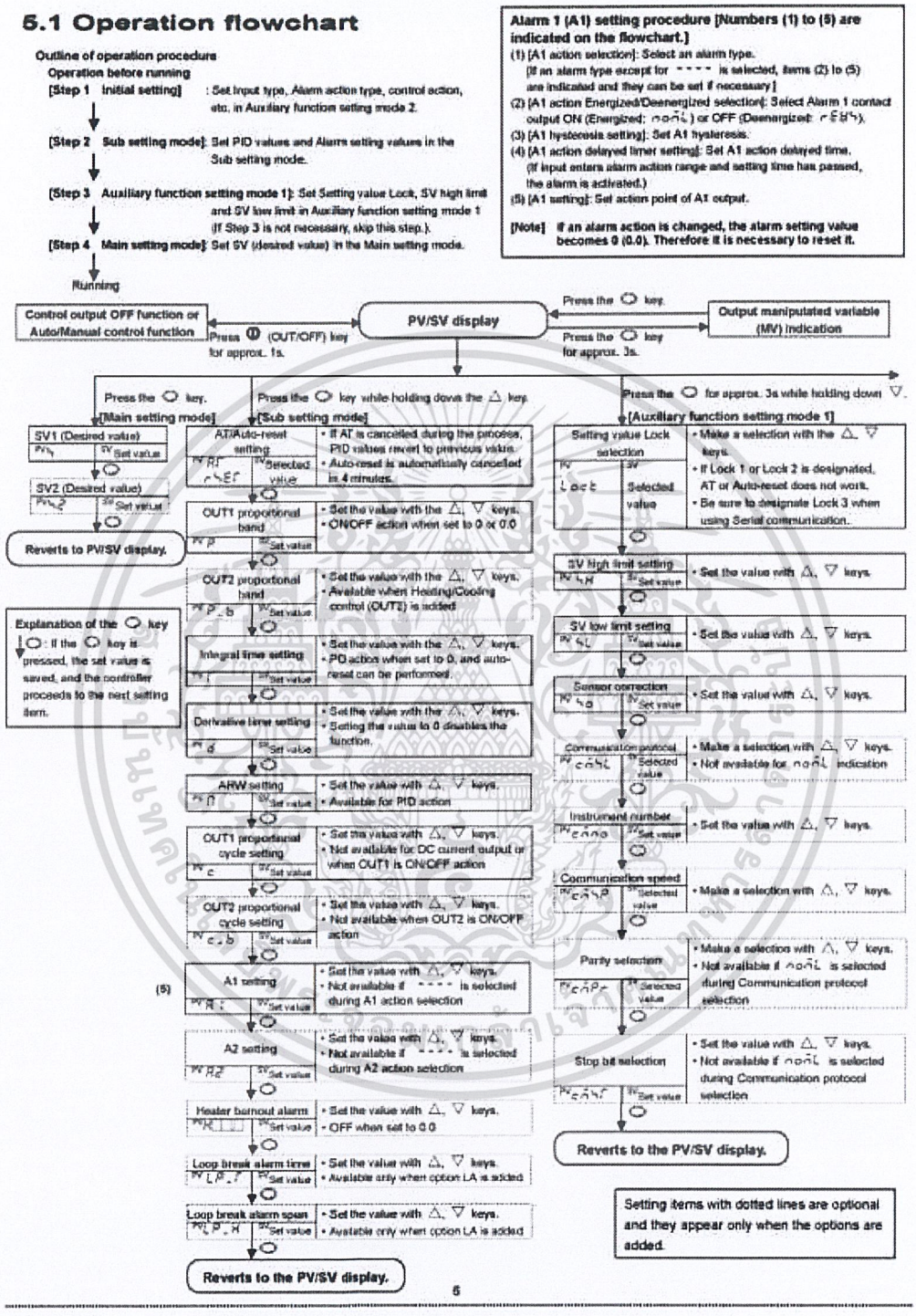
Character	Name, Function, Setting range	Default value
SV1	SV1 • Sets SV1. • Setting range: SV low limit to SV high limit	0℃
SV2	SV2 • Sets SV2. • Available only when the option SM is applied. • Setting range: SV low limit to SV high limit	0℃

5.3 Sub setting mode

Character	Name, Function, Setting range	Default value
AT	AT setting/Auto-reset setting • Designates auto-tuning Performance or auto-reset Performance. • If the auto-tuning is cancelled during the process, P, I and D values revert to the former value at which AT is performed. • When auto-tuning has not finished after 4 hours, it is cancelled automatically. • Auto-reset is cancelled in approximately 4 minutes.	- - - -
P	OUT1 proportional band setting • Sets the proportional band for OUT1. • OUT1 becomes ON/OFF action when set to 0 or 0.0 • 0 to 1000℃(2000℉), 0.0 to 999.9℃(℉) or 0.0 to 100.0%	10℃
P_b	OUT2 proportional band setting • Sets the proportional band for OUT2. • OUT2 becomes ON/OFF action when OUT1 proportional band is set to 0 or 0.0. • Not available if option DT is not added or if OUT1 is ON/OFF action. • 0.0 to 10.0 times (multiplying factor to OUT1 proportional band)	1.0 times

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 Operation flowchart



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

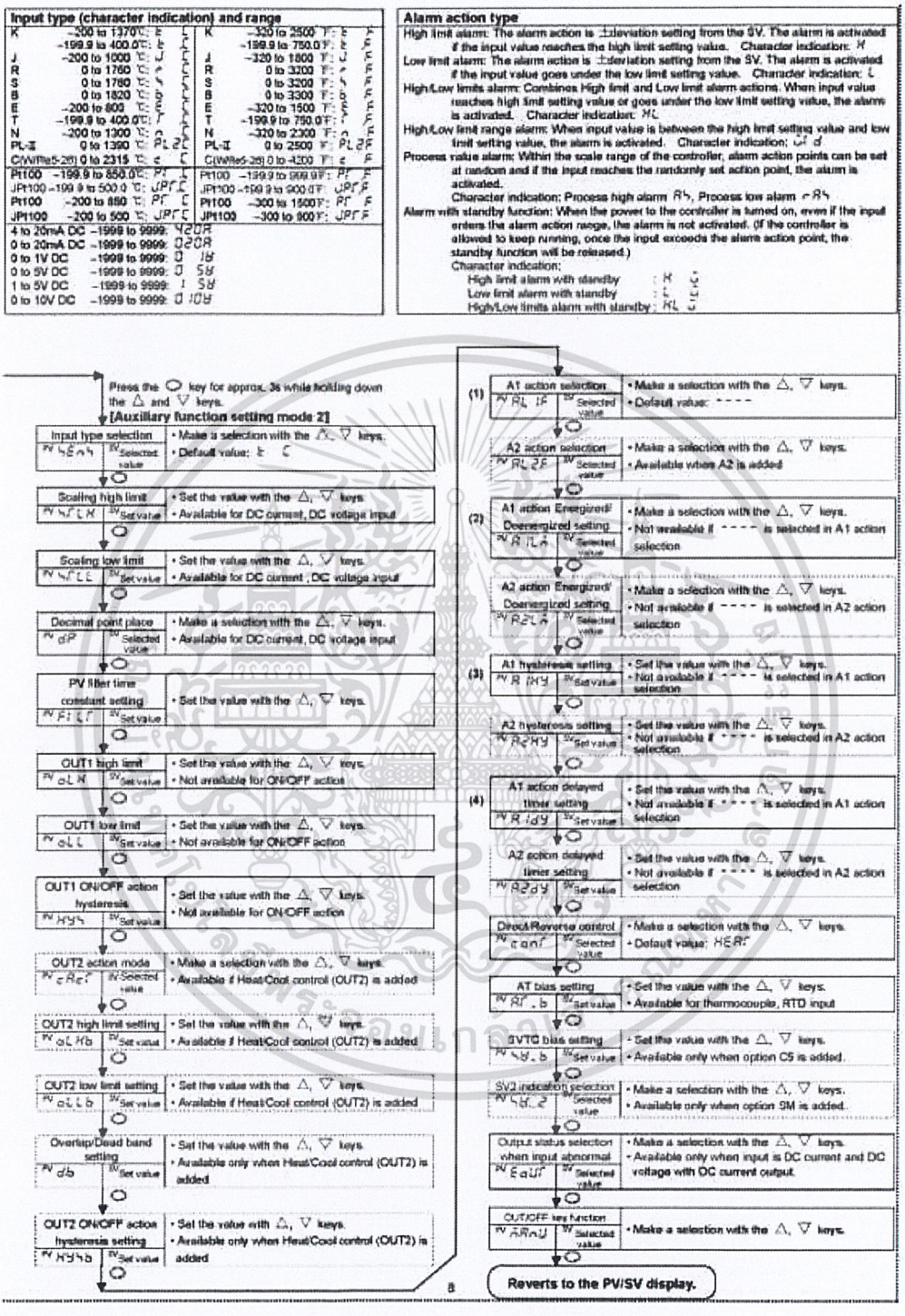
I	**Integral time setting** • Sets integral time for OUT1. • Setting the value to 0 disables the function. • Not available when OUT1 is ON/OFF action. • Auto-reset can be performed when PD is control action (I=0). • Setting range: 0 to 1000 seconds	200 seconds
d	**Derivative time setting** • Sets derivative time for OUT1. • Setting the value to 0 disables the function. • Not available when OUT1 is ON/OFF action. • Setting range: 0 to 300 seconds	50 seconds
n	**ARW setting** • Sets ARW for OUT1. • Available only when PID is the control action. • Setting range: 0 to 100%	50%
c	**OUT1 proportional cycle setting** • Sets proportional cycle for OUT1. • Not available when OUT1 is DC current output type or ON/OFF action. • Setting range: 1 to 120 seconds	30 seconds or 3 seconds
c_b	**OUT2 proportional cycle setting** • Sets proportional cycle for OUT2. • Not available if the option DT is not applied or when OUT2 is ON/OFF action. • Setting range: 1 to 120 seconds	3 seconds
A1	**A1 setting** • Sets action point for A1 output. • Not available if No alarm action is selected during A1 action selection • Refer to (Table 5.3-1).	0℃
A2	**A2 setting** • Sets action point for A2 output. • Not available if option A2 is not applied or if No alarm action is selected during A2 action selection. • Refer to (Table 5.3-1).	0℃
H□□□. □XX.X Indicated in turn	**Heater burnout alarm setting** • Sets the heater current value for Heater burnout alarm. • Self-holding is not available for the alarm output. • Available only when the option W is added. • Rating 5A : 0.0 to 5.0A Rating 10A: 0.0 to 10.0A Rating 20A: 0.0 to 20.0A Rating 50A: 0.0 to 50.0A	0.0A
LP_T	**Loop break alarm action time setting** • Sets the time to assess the Loop break alarm. • Available only when the option LA is applied. • Setting range: 0 to 200 minutes	0 minutes
LP_H	**Loop break alarm action span setting** • Sets the temperature to assess the Loop break alarm. • Available only when the option LA is applied. • Setting range: 0 to 150℃ (F), 0.0 to 150.0℃ (F) or 0 to 1500	0℃

(Table 5.3-1)

Alarm action	Setting range	
High limit alarm	– (Input span) to input span℃(F)	*1
Low limit alarm	– (Input span) to input span℃(F)	*1
High/Low limits alarm	0 to input span℃(F)	*1
High/Low limit range alarm	0 to input span℃(F)	*1
Process high alarm	Input range low limit value to input range high limit value	*2
Process low alarm	Input range low limit value to input range high limit value	*2
High limit alarm with standby	– (Input span) to input span℃(F)	*1
Low limit alarm with standby	– (Input span) to input span℃(F)	*1
High/Low limits alarm with standby	0 to input span℃(F)	*1

• When input has a decimal point, the negative lower limit value is –199.9, and the positive upper limit value is 999.9.
• All alarm actions except process value alarms are ±deviation setting from the main setting.
*1: For DC input, the input span is the same as the scaling span.
*2: For DC input, input range low (or high) limit value is the same as scaling low (or high) limit value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 Auxiliary function setting mode 1

Character	Name, Function, Setting range	Default value
Lock	**Setting value lock selection** • Locks the setting values to prevent setting errors. The setting item to be locked depends on the designation. • When Lock 1 or Lock 2 is designated, PID Auto- tuning and Auto-reset cannot be carried out. • Be sure to select Lock 3 when changing the setting value frequently via communication function considering the life of non-volatile memory. • ---- (Unlock): All setting values can be changed. Loc1 (Lock 1): None of the setting values can be changed. Loc2 (Lock 2): Only main setting value can be changed. Loc3 (Lock 3): All setting values except for Input type selection can be changed. However, changed values revert to their former value after power is turned off because they are not saved in the non-volatile memory. **Do not change any setting item in Auxiliary function setting mode 2. If any item in Auxiliary function setting mode 2 is changed, it will affect other setting items such as the SV and Alarm setting.**	Unlock
SH	**SV high limit setting** • Sets the SV high limit. • Setting range: SV low limit to input range high limit value or SV low limit to scaling high limit value	Input range high limit value
SL	**SV low limit setting** • Sets the SV low limit. • Setting range: Input range low limit value to SV high limit or scaling low limit value to SV high limit	Input range low limit value
So	**Sensor correction setting** • Sets the correction value for the sensor. • Setting range: −100.0 to 100.0℃ (F), or −1000 to 1000	0.0℃
cōSL	**Communication protocol selection** • Selects communication protocol. • Available only when the option C5 is applied. • Shinko protocol : noōL, Modbus ASCII mode : ōodA, Modbus RTU mode : ōodr	Shinko protocol
cōno	**Instrument number setting** • Sets the instrument number individually to each instrument when communicating by connecting plural instruments in serial communication. • Available only when option C5 is added. • Setting range: 0 to 95	0
cōSP	**Communication speed selection** • Selects a communication speed equal to that of the host computer. • Available only when option [C5] is added. • 2400bps: 24, 4800bps: 48, 9600bps: 96, 19200bps: 192	9600bps
cōPr	**Parity selection** • Selects the parity. • Not available when the option C5 is not added or when Shinko protocol is selected in the Communication protocol selection. • No parity: nonE, Even parity: EvEn, Odd parity: odd	Even parity
cōSr	**Stop bit selection** • Selects the stop bit. • Not available when option C5 is not added or when Shinko protocol is selected in the Communication protocol selection. • Setting range: 1, 2	1

5.5 Auxiliary function setting mode 2

Character	Name, Function, Setting range	Default value
SEnS	**Input type selection** • The input type can be selected from thermocouple (10 types), RTD (2 types), DC current (2 types) and DC voltage (4 types), and the unit ℃/℉ can be selected as well. • When changing the input from DC voltage to other inputs, remove the sensor connected to this controller first, then change for the input. If the input is changed with the sensor connected, the input circuit may be broken.	K (−200 to 1370℃)

K	−200 to 1370℃: k C		K	−320 to 2500 ℉: k F	
	−199.9 to 400.0℃: k C			−199.9 to 750.0℉: k F	
J	−200 to 1000 ℃: J C		J	−320 to 1800 ℉: J F	
R	0 to 1760 ℃: r C		R	0 to 3200 ℉: r F	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	S 0 to 1760 ℃: S C B 0 to 1820 ℃: b C E −200 to 800 ℃: E C T −199.9 to 400.0℃: T C N −200 to 1300 ℃: n C PL-Ⅱ 0 to 1390 ℃: PL2C C (W/Re5-26) 0 to 2315 ℃: c C Pt100 −199.9 to 850.0℃: Pt C JPt100 −199.9 to 500.0℃: JPtC Pt100 −200 to 850 ℃: Pt C JPt100 −200 to 500 ℃: JPtC 4 to 20mA −1999 to 9999: 420A 0 to 20mA −1999 to 9999: 020A 0 to 1V −1999 to 9999: 0 1V 0 to 5V −1999 to 9999: 0 5V 1 to 5V −1999 to 9999: 1 5V 0 to 10V −1999 to 9999: 0 10V	S 0 to 3200 ℉: S F B 0 to 3300 ℉: b F E −320 to 1500 ℉: E F T −199.9 to 750.0℉: T F N −320 to 2300 ℉: n F PL-Ⅱ 0 to 2500 ℉: PL2F C (W/Re5-26) 0 to 4200 ℉: c F Pt100 −199.9 to 999.9℉: Pt F JPt100 −199.9 to 900.0℉: JPtF Pt100 −300 to 1500℉: Pt F JPt100 −300 to 900 ℉: JPtF
SCLH	**Scaling high limit setting** — 9999 • Sets scaling high limit value. • Available only for DC inputs • Setting range: Scaling low limit value to input range high limit value	
SCLL	**Scaling low limit setting** — −1999 • Sets scaling low limit value. • Available only for DC inputs • Setting range: Input range low limit value to scaling high limit value	
dP	**Decimal point place selection** — No decimal point • Selects decimal point place. • Available only for DC inputs • No decimal point: 0000 1 digit after decimal point: 000.0 2 digits after decimal point: 00.00 3 digits after decimal point: 0.000	
FILT	**PV filter time constant setting** — 0.0 seconds • Sets PV filter time constant. (If the value is set too large, it affects control result due to the delay of response) • Setting range: 0.0 to 10.0 seconds	
oLH	**OUT1 high limit setting** — 100% • Sets the high limit value of OUT1. • Not available when OUT1 is ON/OFF action • Setting range: OUT1 low limit value to 105% (Setting greater than 100% is effective to DC current output type)	
oLL	**OUT1 low limit setting** — 0% • Sets the low limit value of OUT1. Not available when OUT1 is ON/OFF action. • Setting range: −5% to OUT1 high limit value (Setting less than 0% is effective to DC current output type)	
HYS	**OUT1 ON/OFF action hysteresis setting** — 1.0℃ • Sets ON/OFF action hysteresis for OUT1. • Available only when OUT1 is ON/OFF action • Setting range: 0.1 to 100.0℃ (℉), or 1 to 1000	
cRcT	**OUT2 action mode selection** — Air cooling • Selects OUT2 action from air, oil and water coolings. • Not available when the option DT is not added or when OUT2 is ON/OFF action • Air cooling: AIr, oil cooling: oIL, water cooling: WAT	
oLHb	**OUT2 high limit setting** — 100% • Sets the high limit value of OUT2. • Not available when the option DT is not added or when OUT2 is ON/OFF action • Setting range: OUT2 low limit value to 105% (Setting greater than 100% is effective to DC current output type)	
oLLb	**OUT2 low limit setting** — 0% • Sets the low limit value of OUT2. • Not available when the option DT is not added or when OUT2 is ON/OFF action • Setting range: −5% to OUT2 high limit value (Setting less than 0% is effective to DC current output type)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

db	**Overlap band/Dead band setting** • Sets the overlap band or dead band for OUT1 and OUT2. + setting value: Dead band, – setting value: Overlap band • Available only when the option DT is added • Setting range: –100.0 to 100.0℃ (℉), or 1 to 1000	0℃
HYSb	**OUT2 ON/OFF action hysteresis setting** • Sets ON/OFF action hysteresis for OUT2. • Available only when the option DT is added • Setting range: 0.1 to 100.0℃ (℉), or 1 to 1000	1.0℃
AL 1F	**A1 action selection** • Selects an action for A1. No alarm action : ---- High limit alarm : H Low limit alarm : L H/L limits alarm : HL H/L limit range alarm: dI d Process high alarm : RH Process low alarm : rRH High limit alarm with standby: H Low limit alarm with standby : L H/L limits alarm with standby: HL	No alarm action
AL2F	**A2 action selection** • Selects an action for A2. • Available only when alarm A2 is added • Action selection and default value are the same as those of A1 action selection.	No alarm action
A 1LA	**A1 action Energized/Deenergized selection** • Selects Energized/Deenergized for A1. • Not available if No alarm action is selected in A1 action selection • Energized: noAL Deenergized: rEVS	Energized
A2LA	**A2 action Energized/Deenergized selection** • Selects Energized/Deenergized for A2. • Not available if alarm A2 is not added or if No alarm action is selected during A2 action selection • Action selection and default value are the same as those of A1 action Energized/Deenergized selection.	Energized
A 1HY	**A1 hysteresis setting** • Sets hysteresis for A1. • Not available if No alarm action is selected in A1 action selection • Setting range: 0.1 to 100.0℃(℉), or 1 to 1000	1.0℃
A2HY	**A2 hysteresis setting** • Sets hysteresis for A2. • Not available if alarm A2 is not added or if No alarm action is selected during A2 action selection • Setting range: 0.1 to 100.0℃(℉), or 1 to 1000	1.0℃
A 1dY	**A1 action delayed timer setting** • Sets action delayed timer for A1. When setting time has passed after the input enters the alarm output range, the alarm is activated. • Not available if No alarm action is selected in A1 action selection • Setting range: 0 to 9999 seconds	0 seconds
A2dY	**A2 action delayed timer setting** • Sets action delayed timer for A2. When setting time has passed after the input enters the alarm output range, the alarm is activated. • Not available if alarm A2 is not added or if No alarm action is selected during A2 action selection • Setting range: 0 to 9999 seconds	0 seconds
conF	**Direct/ Reverse action selection** • Selects Reverse (Heating) or Direct (Cooling) action. • Reverse (Heating): HEAT Direct (Cooling): cooL	Reverse (Heating) action
AT_b	**AT bias setting** • Sets bias value during PID auto-tuning. • Not available for DC inputs • Setting range: 0 to 50℃(0 to 100℉) or 0.0 to 50.0℃(0.0 to100.0℉)	20℃
SV_b	**SVTC bias setting** • Control desired value adds SVTC bias value to the value received by the SVTC command. • Available only when option C5 is added • Converted value of ±20% of the rated value or ±20% of the scaling range	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sv2	**SV2 indication selection**	No indication
	• Selects whether SV2 setting item is indicated or not. • Available only when the option SM is added. • oFF (No indication), on (Indication)	
Eout	**Output status selection when input abnormal**	Output OFF
	• Selects whether OUT1 is turned OFF or not when DC input is in overscale or underscale. • Available only for DC current output type with DC input • oFF (Output OFF), on (Output ON)	
mAnU	**OUT/OFF key function selection**	OUT/OFF function
	• Selects whether OUT/OFF key is used for control output OUT/OFF function or for Auto/Manual control function. • oFF (OUT/OFF function), mAnU (Auto/Manual control function)	

Sensor correction function

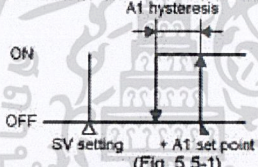
This corrects the input value from the sensor. When a sensor cannot be set at a location where control is desired, the sensor measuring temperature may deviate from the temperature in the controlled location. When controlling with plural controllers, sometimes the temperatures measured (input value) do not concur with the same setting value due to difference in sensor accuracy or dispersion of load capacities. In such a case, the control can be set at the desired temperature by adjusting the input value of sensors.

Energized/Deenergized

When [alarm action energized] is selected, the alarm output (between terminals 3-4, or 3-5) is conducted (ON) while the alarm output indicator is lit.
The alarm output is not conducted (OFF) while the alarm output indicator is not lit.

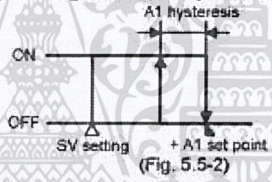
When [alarm action deenergized] is selected, the alarm output (between terminals 3-4, or 3-5) is not conducted (OFF) while the alarm output indicator is lit.
The alarm output is conducted (ON) while the alarm output indicator is not lit.

High limit alarm (when Energized is set)



(Fig. 5.5-1)

High limit alarm (when Deenergized is set)



(Fig. 5.5-2)

5.6 Auto/Manual control function

Name, Functions
Auto/Manual control function • If Auto/Manual control function is selected in the OUT/OFF key function selection, Automatic or Manual control function can be switched by pressing the ⓘ key in the PV/SV display mode. If control action is switched from automatic to manual or vice versa, balanceless-bumpless function works to prevent sudden change of manipulated variable. When automatic control is switched to manual control, the 1st dot from the right on the SV display flashes, and the output manipulated variable (MV) can be increased or decreased by pressing △ or ▽ key to perform the control. By pressing the ⓘ key again, the mode reverts to the PV/SV display mode (automatic control). (Whenever the power to the controller is turned on, automatic control starts.)

5.7 Control output OFF function

Character	Name, Functions
oFF	**Control output OFF function** • A function to pause the control action or turn the control output of the unused instrument of the plural units OFF even if the power to the instrument is supplied. [oFF] is indicated on the PV display while the function is working. • Once the control output OFF function is enabled, the function cannot be released even if the power to the instrument is turned OFF and ON again. To cancel the function, press the ⓘ key again for approx. 1 second.

5.8 Output manipulated variable (MV) indication

Name, functions
Output manipulated variable indication • **In the PV/SV display mode, press the ⓒ key for approx. 3 seconds.** Keep pressing the ⓒ key until the output manipulated variable appears, though the main setting mode appears temporarily during the process. (The SV display indicates output manipulated variable and the decimal point flashes at a cycle of every 0.5 second). If the ⓒ key is pressed again, the mode reverts to the PV/SV display.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Running

After the controller has been mounted to the control panel and wiring is completed, it can be started in the following manner.

(1) Switch power supply to the JCS-33A ON.

Switch power supply to the JCS-33A ON.

- For approx. 3s after the power is switched ON, the sensor input character and the temperature unit are indicated on the PV display and input range high limit value is indicated on the SV display. See (Table 5-1). (If any other value has been set in the scaling high limit setting, the set value is indicated on the SV display.) During this time, all outputs and LED indicators are in OFF status.
- After that, control starts indicating input value on the PV display, and main setting value on the SV display.
- While the Control output OFF function is working, oFF is indicated on the PV display.

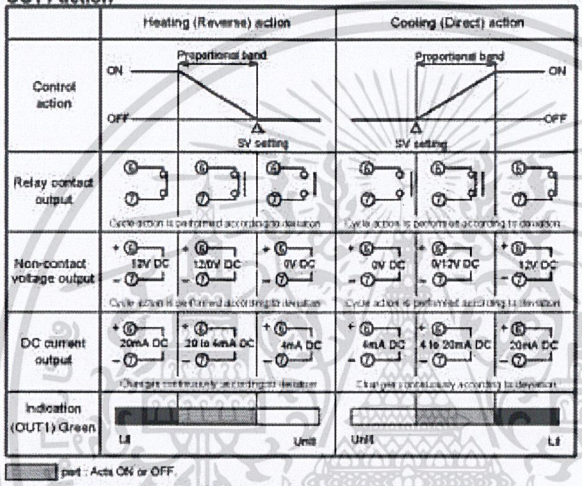
(2) Input each setting value. Input each setting value, referring to "5. Setup".

(3) Turn the load circuit power ON.

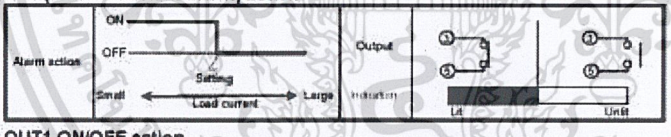
Starts the control action so as to keep the controlled object at the main setting value.

7. Action explanation

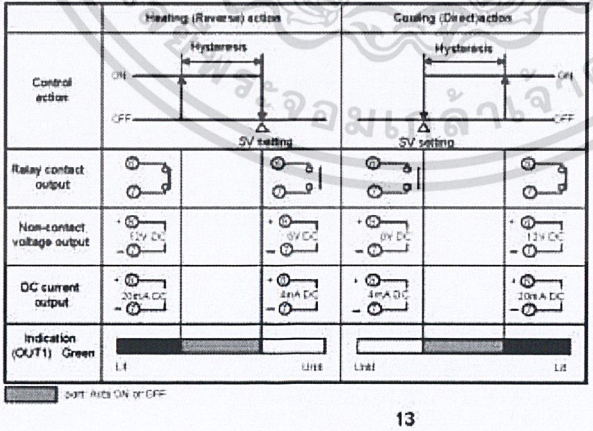
7.1 OUT1 action



7.2 EVT (Heater burnout alarm) action

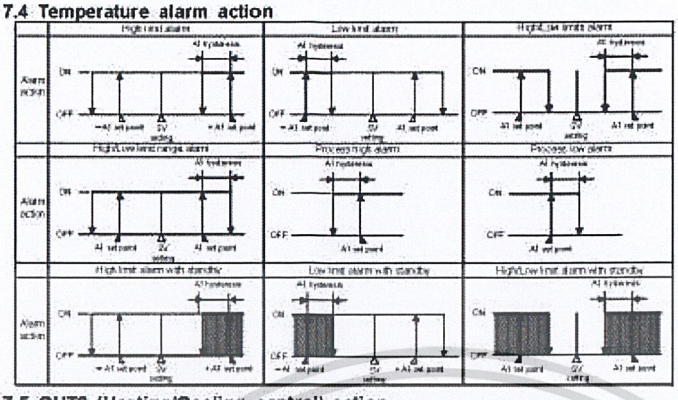


7.3 OUT1 ON/OFF action



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

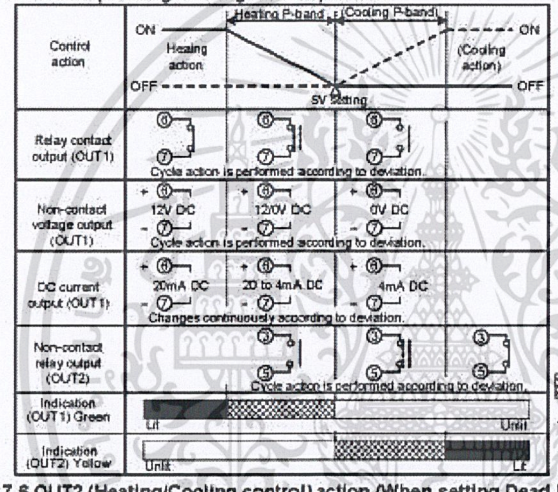
7.4 Temperature alarm action



: Standby functions in this section

A1 indicator lights up when A1output terminals 3 and 4 are connected,and goes out when they are disconnected

7.5 OUT2 (Heating/Cooling control) action

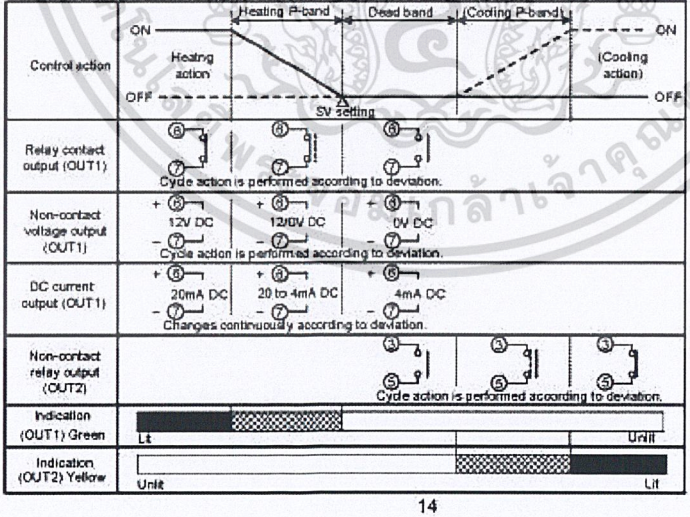


: Acts ON (lit) or OFF (unlit)

: Represents Heating control action

: Represents Cooling control action

7.6 OUT2 (Heating/Cooling control) action (When setting Dead band)



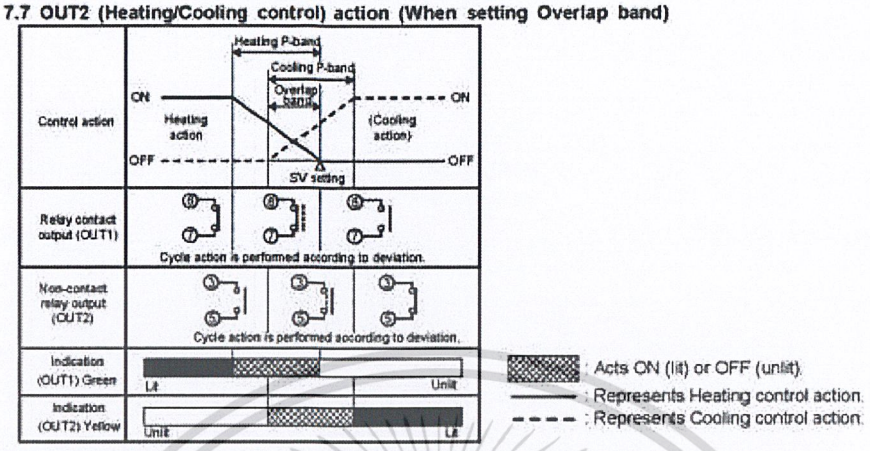
: Acts ON (lit) or OFF (unlit).

: Represents Heating control action.

: Represents Cooling control action

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 OUT2 (Heating/Cooling control) action (When setting Overlap band)

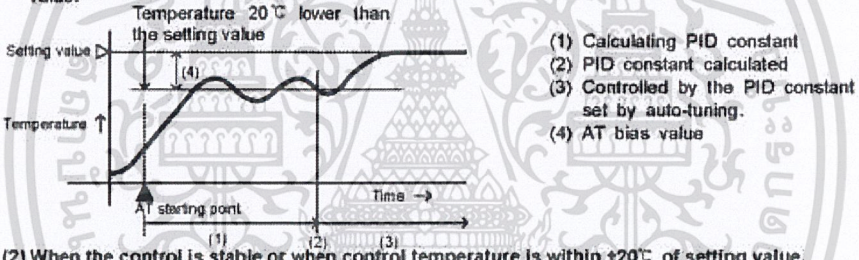


8. PID auto-tuning of this controller

In order to set each value of P, I, D and ARW automatically, the auto-tuning process should be made to fluctuate to obtain an optimal value. One of 3 types of fluctuation below is automatically selected.

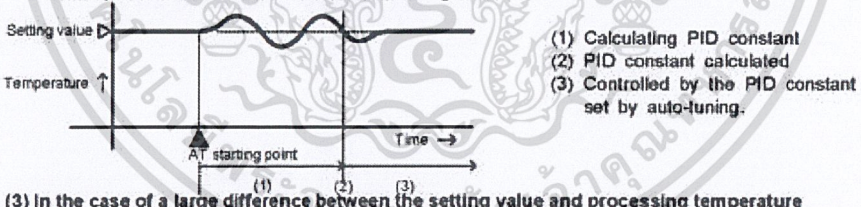
(1) In the case of a large difference between the setting value and processing temperature as the temperature is rising

When AT bias is set to 20℃, the AT process will fluctuate at the temperature 20℃ lower than the setting value.



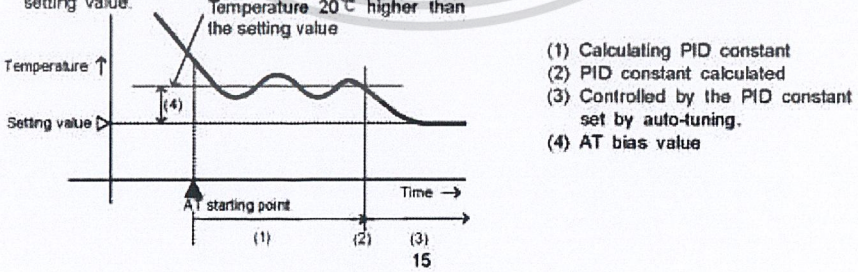
(2) When the control is stable or when control temperature is within ±20℃ of setting value.

The AT process will fluctuate around the setting value.



(3) In the case of a large difference between the setting value and processing temperature as the temperature is falling

When AT bias is set to 20℃, the AT process will fluctuate at the temperature 20℃ higher than the setting value.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Specifications

9.1 Standard specifications

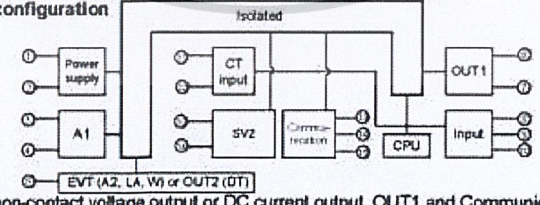
Mounting method : Flush
Setting method : Input system using membrane sheet key
Display PV display : Red LED 4 digits, character size 10.2 x 4.9 mm (H x W)
SV display : Green LED 4 digits, character size 8.8 x 4.9 mm (H x W)
Accuracy (Setting and Indication):
Thermocouple : Within ±0.2% of each input span ±1digit, or within ±2℃ (4℉), whichever is greater
However R, S inputs, 0 to 200℃ (400℉): Within ±6℃ (12℉)
B input, 0 to 300℃ (600℉): Accuracy is not guaranteed
K, J, E, T, N inputs, less than 0℃ (32℉): Within ±0.4% of input span±1digit
RTD : Within ±0.1% of each input span ±1digit, or within ±1℃ (2℉), whichever is greater
DC current : Within ±0.2% of each input span ±1digit
DC voltage : Within ±0.2% of each input span ±1digit
Input sampling period : 0.25 seconds
Input Thermocouple : K, J, R, S, B, E, T, N, PL-II, C(W/Re5-26) External resistance, 100Ω or less (However, B input: External resistance, 40Ω or less)
RTD : Pt100, JPt100, 3-wire system
Allowable input lead wire resistance (10Ω or less per wire)
DC current : 0 to 20mA DC, 4 to 20mA DC
Input impedance: 50Ω [50Ω shunt resistor (sold separately) must be installed between input terminals.] Allowable input current, 50mA or less
DC voltage : 0 to 1V DC Input impedance (1MΩ or greater)
Allowable input voltage (5V or less)
Allowable signal source resistance (2kΩ or less)
: 0 to 5V DC, 1 to 5V DC, 0 to 10V DC Input impedance (100kΩ or greater)
Allowable input voltage (15V or less)
Allowable signal source resistance (100Ω or less)

OUT1 output
Relay contact : 1a, Control capacity 3A 250V AC (resistive load)
1A 250V AC (inductive load cosø=0.4)
Electrical life, 100,000 times
Non-contact voltage (For SSR drive): 12 V DC maximum 40mA (short-circuit protected)
DC current : 4 to 20mA DC, Load resistance, maximum 550Ω

A1 output
Action : ON/OFF action
Hysteresis : 0.1 to 100.0℃ (℉), or 1 to 1000
Output : Relay contact 1a
Control capacity, 3A 250V AC (resistive load)
Electrical life, 100,000 times

Control action
PID action (with auto-tuning function)
PI action: When derivative time is set to 0
PD action (with auto reset function): When integral time is set to 0
P action (with auto reset function): When derivative and integral times are set to 0.
ON/OFF action: When proportional band is set to 0 or 0.0
OUT1 proportional band : 0 to 1000℃ (2000℉), 0.0 to 999.9℃ (℉) or 0.0 to 100.0% (ON/OFF action when set to 0 or 0.0)
Integral time : 0 to 1000s (OFF when set to 0)
Derivative time : 0 to 300s (OFF when set to 0)
OUT1 proportional cycle : 1 to 120s (Not available for DC current output type)
ARW : 0 to 100%
OUT1 ON/OFF action hysteresis: 0.1 to 100.0℃ (℉), or 1 to 1000
OUT1 high limit setting : 0 to 100% (DC current output type: -5 to 105%)
OUT1 low limit setting : 0 to 100% (DC current output type: -5 to 105%)

Circuit isolation configuration



When OUT1 is non-contact voltage output or DC current output, OUT1 and Communication are not isolated, and OUT1 and SV2 are not isolated, and isolation test must not be carried out between them.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Isolation resistance : 10MΩ or greater at 500V DC
Dielectric strength : 1.5kV AC for 1minute between input terminal and power terminal
1.5kV AC for 1minute between output terminal and power terminal
Supply voltage : 100 to 240V AC 50/60Hz, 24V AC/DC 50/60Hz
Allowable voltage fluctuation: 100 to 240V AC: 85 to 264V AC, 24V AC/DC: 20 to 28V AC/DC
Power consumption : Approx. 8VA
Ambient temperature : 0 to 50℃ (32 to 122℉)
Ambient humidity : 35 to 85%RH (no condensation)
Weight : Approx. 200g
External dimension : 48 x 48 x 95mm (W x H x D)
Material : Flame resistant resin (Case)
Color : Light gray (Case)
Attached functions : [Setting value lock], [Sensor correction], [Auto/manual control selection], [Input abnormality indication]

Output status selection when input abnormal	Contents and Indication	Output status			
		OUT1		OUT2	
		Direct action	Reverse action	Direct action	Reverse action
on	Overscale Measured value has exceeded Indication range high limit value. "- - - -" flashes.	ON (20mA) or OUT1 high limit value	OFF (4mA) or OUT1 low limit value	OFF or OUT2 low limit value	ON or OUT2 high limit value
oFF		OFF (4mA) or OUT1 low limit value			OFF or OUT2 low limit value
on	Underscale Measured value has dropped below Indication range low limit value. "- - - -" flashes.	OFF (4mA) or OUT1 low limit value	ON (20mA) or OUT1 high limit value	ON or OUT2 high limit value	OFF or OUT2 low limit value
oFF			OFF (4mA) or OUT1 low limit value	OFF or OUT2 low limit value	

Only for DC input and DC current output type, [Output status selection when input abnormal] is available. For other inputs and outputs except for DC input and DC current output, the output status will be the same one as when OFF is selected during [Output status selection when input abnormal]. For manual control, the preset manipulated variable (MV) is outputted.

Thermocouple and RTD input

Input	Input range	Indication range	Control range
K, T	–199.9 to 400.0℃	–199.9 to 450.0℃	–205.0 to 450.0℃
	–199.9 to 750.0℉	–199.9 to 850.0℉	–209.0 to 850.0℉
Pt100	–199.9 to 850.0℃	–199.9 to 900.0℃	–210.0 to 900.0℃
	–200 to 850℃	–210 to 900℃	–210 to 900℃
	–199.9 to 999.9℉	–199.9 to 999.9℉	–211.0 to 1099.9℉
	–300 to 1500℉	–318 to 1600℉	–318 to 1600℉
JPt100	–199.9 to 500.0℃	–199.9 to 550.0℃	–206.0 to 550.0℃
	–200 to 500℃	–207 to 550℃	–207 to 550℃
	–199.9 to 900.0℉	–199.9 to 999.9℉	–211.0 to 999.9℉
	–300 to 900℉	–312 to 1000℉	–312 to 1000℉

Indication range and Control range for thermocouple inputs other than the above:
Input range low limit value –50℃ (100℉) to Input range high limit value +50℃ (100℉)

DC input
Indication range: [Scaling low limit value–Scaling span x 1%] to [Scaling high limit value +Scaling span x 10%]
However, "- - - -" or "- - - -" flashes when a range of –1999 to 9999 is exceeded.
Control range: [Scaling low limit value–Scaling span x 1%] to [Scaling high limit value +Scaling span x 10%]

DC input disconnection: When DC input is disconnected, PV display flashes "- - - -" for 4 to 20mA DC and 1 to 5V DC inputs, and "- - - -" for 0 to 1V DC input. For 0 to 20mA DC, 0 to 5V DC and 0 to 10V DC inputs, the PV display indicates the corresponding value with which 0mA or 0V is inputted.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[Burnout]
When the thermocouple or RTD input is burnt out, OUT1 and OUT2 are turned off (for DC current output type, OUT1 low limit value, OUT2 low limit value) and PV display flashes "- - - -".
[Self-diagnosis]
The CPU is monitored by a watchdog timer, and when any abnormal status is found on the CPU, the controller is switched to warm-up status.
[Automatic cold junction temperature compensation] (Only thermocouple input type)
This detects the temperature at the connecting terminal between the thermocouple and the instrument, and always maintains at the same status as when the reference junction is located at 0℃ (32℉).
[Power failure countermeasure]
The setting data is backed up in the non-volatile IC memory.
[Warm-up indication]
After the power supply to the instrument is turned on, the sensor input character and temperature unit are indicated on the PV display and rated scale high limit value is indicated on the SV display for 3 seconds.
For DC current and voltage input, the scaling high limit value is indicated.

Accessories: Screw type mounting bracket 1 set,
Instruction manual 1 copy
CT (Current transformer) CTL-6S 1 piece(for rating 5A, 10A, 20A)
CTL-12-S36-10L1 1 piece (for rating 50A)

9.2 Optional specifications

Alarm 2 (A2) (Option code: A2)
The output terminals are common for options [W], [LA] and [A2].
Action : ON/OFF action
Hysteresis: 0.1 to 100.0℃ (℉), or 1 to 1000
Output : Relay contact 1a
Control capacity, 3A 250V AC (Resistive load)
Electrical life, 100,000 times

Loop break alarm (Option code: LA)
When MV (manipulated variable) is maximum or minimum and when the PV does not change as much as the preset span within the Loop break alarm assessment time, the alarm is activated.
This also detects the breaking status on the loop such as heater burnout, sensor burnout or actuator trouble.
The output terminals are common for options [W], [A2] and [LA].
Setting range: Loop break alarm action time, 0 to 200minutes
Loop break alarm action span, 0 to 150℃(℉), 0.0 to 150.0℃(℉), 0 to 1500
Output : Relay contact 1a
Control capacity, 3A 250V AC (Resistive load)
Electrical life, 100,000 times

Heater burnout alarm (including sensor burnout alarm) (Option code: W)
Monitors heater current with CT (current transformer), and detects burnout.
The output terminals are common for options [LA], [A2] and [W].
This option cannot be applied to DC current output type.
Rating : 5A [W(5A)], 10A [W(10A)], 20A [W(20A)], 50A [W(50A)] (Must be specified)
Setting range : 5A [W(5A)], 0.0 to 5.0A (Off when set to 0.0)
10A [W(10A)], 0.0 to 10.0A (Off when set to 0.0)
20A [W(20A)], 0.0 to 20.0A (Off when set to 0.0)
50A [W(50A)], 0.0 to 50.0A (Off when set to 0.0)
Setting accuracy: Within ±5% of the rated value
Action : ON/OFF action
Output : Relay contact, 1a
Control capacity, 3A 250V AC (resistive load)
Electrical life, 100,000 times

Heating/Cooling control (Option code: DT)
The specification of Heating side is the same as that of OUT1.
OUT2 proportional band: 0.0 to 10.0 times OUT1 proportional band (ON/OFF action when set to 0.0)
OUT2 integral time : The same as that of OUT1.
OUT2 derivative time : The same as that of OUT1.
OUT2 proportional cycle: 1 to 120 seconds
Overlap band/Dead band setting range:
Thermocouple, RTD input: −100.0 to 100.0℃ (℉)
DC current, DC voltage input: −1000 to 1000 (The placement of the decimal point follows the selection)
Output: Non-contact relay output, 0.3A 250V AC
Cooling action mode selection function:
One cooling action can be selected from Air cooling (linear characteristic), Oil cooling (1.5th power of the linear characteristic) and Water cooling (2nd power of the linear characteristic) by keypad operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serial communication (Option code: C5)
When this option is added, the option [SM] cannot be added with it.
The following operations can be carried out from the external computer.
(1) Reading and setting of the main setting value, PID values and each setting value
(2) Reading of the input value and action status (3) Change of the functions

Cable length	: Maximum communication distance 1.2km Cable resistance: Within 50Ω (Terminator is not necessary or 120Ω or greater on one side.)
Communication interface	: Based on EIA RS-485
Communication method	: Half-duplex communication start-stop synchronous
Communication speed	: 2400, 4800, 9600, 19200bps (Selectable by keypad)
Parity	: Even, Odd and No (Selectable by keypad)
Stop bit	: 1 and 2 (Selectable by key)
Communication protocol	: Shinko protocol, Modbus RTU, Modbus ASCII (Selectable by keypad)
Number of units connectable	: Maximum 31 units to 1 host computer
Communication error detection	: Double detection by parity and checksum
Digital external setting	: The SV from the programmable controller (with the option SVTC) can be digitally transmitted to the JCS-33A (with the option C5). (The Setting value lock of the JCS-33A must be set to Lock 3) When the data from the programmable controller is out of the SV high limit or low limit value, the JCS-33A ignores the value, and performs the control with the former value. The control desired value adds SVTC bias value to the value received by the SVTC command.

Shinko communication converter IF-300-C5 is not available for Modbus protocol.

SV1/SV2 external selection (Option code: SM)
SV1 or SV2 can be selected by the external contact.
When this option is added, the option [C5] cannot be added with it.
Contact Open between 13-14: SV1, Contact Closed between 13-14: SV2
Contact current: 6mA

Color Black (Option code: BK) Front panel frame and case: Black
Terminal cover (Option code: TC): Electrical shock protection terminal cover

10. Troubleshooting

If any malfunctions occur, refer to the following items after checking the power supply to the controller.

10.1 Indication

Problem	Presumed cause and solution
PV display is indicating [oFF].	• Control output OFF function is working. Press the ⏻ key for approx. 1 second to release the function.
[‾‾‾‾] is flashing on the PV display.	• Thermocouple, RTD or DC voltage (0 to 1V DC) is burnt out. Change each sensor. **How to check whether the sensor is burnt out** [Thermocouple] If the input terminal of the instrument is shorted, and if a value around room temperature is indicated, the instrument is likely to be operating normally, however, the sensor may be burnt out. [RTD] If approx. 100Ω of resistance is connected to the input terminals between A-B of the instrument and between B-B is shorted, and if approximate 0℃ (32℉) is indicated, the instrument is likely to be operating normally, however, the sensor may be burnt out. [DC voltage (0 to 1V DC)] If the input terminal of the instrument is shorted, and if scaling low limit value is indicated, the instrument is likely to be operating normally, however, the signal wire may be burnt out. • Check whether the input terminals of thermocouple, RTD or DC voltage (0 to 1V DC) are securely mounted to the instrument input terminal. Connect the sensor terminals to the instrument input terminals securely.
[_ _ _ _] is flashing on the PV display.	• Check whether input signal source for DC voltage (1 to 5V DC) or DC current (4 to 20mA DC) is disconnected. **How to check whether the input signal wire is disconnected** [DC voltage (1 to 5V DC)] If the input to the input terminals of the instrument is 1V DC and if scaling low limit value is indicated, the instrument is likely to be operating normally, however, the signal wire may be disconnected. [DC current (4 to 20mA DC)] If the input to the input terminals of the instrument is 4mA DC and if scaling low limit value is indicated, the instrument is likely to be operating normally, however, the signal wire may be disconnected. • Check whether input signal wire for DC voltage (1 to 5V DC) or DC current (4 to 20mA DC) is securely connected to the instrument input terminals. • Check if polarity of thermocouple or compensating lead wire is correct. • Check whether codes (A, B, B) of RTD agree with the instrument terminals.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The PV display keeps indicating the value which was set during Scaling low limit setting.	• Check whether the input signal source for DC voltage (0 to 5V DC, 0 to 10V DC) and DC current (0 to 20mA DC) is disconnected. **How to check whether the input signal wire is disconnected** [DC voltage (0 to 5V DC, 0 to 10V DC)] If the input to the input terminals of the instrument is 1V DC and if the value corresponding to 1V DC is indicated, the instrument is likely to be operating normally, however, the signal wire may be disconnected. [DC current (0 to 20mA DC)] If the input to the input terminals of the instrument is 1mA DC and if the value corresponding to 1mA DC is indicated, the instrument is likely to be operating normally, however, the signal wire may be disconnected. • Check whether the input lead wire terminals for DC voltage (0 to 5V DC, 0 to 10V DC) or DC current (0 to 20mA DC) are securely mounted to the instrument input terminals.
The indication of PV display is abnormal or unstable.	• Check whether sensor input or temperature unit (℃ or ℉) is correct. Select the sensor input and temperature unit (℃ or ℉) properly. • Sensor correcting value is unsuitable. Set it to a suitable value. • Check whether the specification of the sensor is correct. • AC leaks into the sensor circuit. Use an ungrounded type sensor. • There may be equipment that interferes with or makes noise near the controller. Keep equipment that interferes with or makes noise away from the controller.
The PV display is indicating [Err h].	• Internal memory is defective. Contact our agency or us.

10.2 Key operation

Problem	Presumed cause and solution
• Unable to set the SV, P, I, D, proportional cycle or alarm setting • The values do not change by △, ▽ keys.	• Setting value lock (Lock 1 or Lock 2) is designated. Release the lock designation. • During PID auto-tuning or auto-reset. In the case of PID auto-tuning, cancel auto-tuning. It takes approximately 4 minutes until auto-reset is finished.
The setting indication does not change in the input range even if the △, ▽ keys are pressed, and unable to set the value.	• SV high or low limit value in Auxiliary function setting mode 1 may be set at the point where the value does not change. Set it to a suitable value while in the Auxiliary function setting mode 1.

10.3 Control

Problem	Presumed cause and solution
Temperature does not rise.	• Sensor is out of order. Replace the sensor. • Check whether the Sensor or control output terminals are securely mounted to the instrument input terminals. Ensure that the sensor or control output terminals are mounted to the instrument input terminals securely. • Check whether the wiring of sensor or control output terminals is correct.
The control output remains in an ON status.	• OUT1 or OUT2 low limit value is set to 100% or greater in Auxiliary function setting mode 2. Set it to a suitable value.
The control output remains in an OFF status.	• OUT1 or OUT2 high limit value is set to 0% or less in Auxiliary function setting mode 2. Set it to a suitable value.

• If you have any inquiries, please consult our agency or the shop where you purchased the unit.

SHINKO TECHNOS CO.,LTD.
OVERSEAS DIVISION

Reg. Office : 1-2-48, Ina, Minoo, Osaka, Japan
Mail Address : P.O.Box 17, Minoo, Osaka, Japan
URL : http://www.shinko-technos.co.jp
E-mail : overseas@shinko-technos.co.jp
Tel : 81-72-721-2781
Fax: 81-72-724-1760

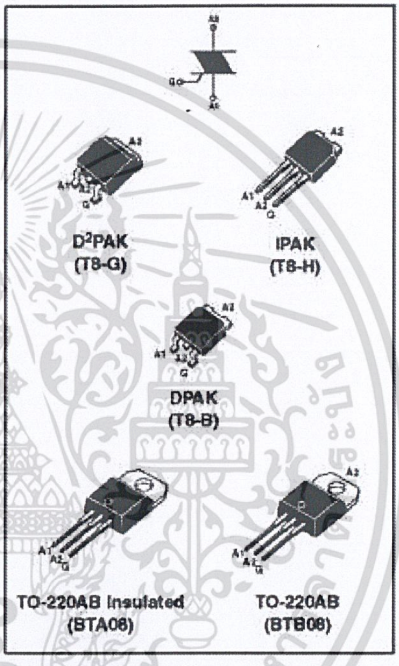
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BTA08, BTB08 and T8 Series

SNUBBERLESS™, LOGIC LEVEL & STANDARD — **8A TRIACs**

Table 1: Main Features

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	8	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT\ (Q_I)}$	5 to 50	mA



DESCRIPTION

Available either in through-hole or surface-mount packages, the **BTA08, BTB08** and **T8** triac series is suitable for general purpose AC switching. They can be used as an ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, induction motor starting circuits... or for phase control operation in light dimmers, motor speed controllers....

The snubberless versions (BTA/BTB...W and T8 series) are specially recommended for use on inductive loads, thanks to their high commutation performances.

Logic level versions are designed to interface directly with low power drivers such as microcontrollers.

By using an internal ceramic pad, the BTA series provides voltage insulated tab (rated at 2500V_{RMS}) complying with UL standards (file ref.: E81734).

Table 2: Order Codes

Part Number	Marking
BTA08-xxxxxRG	See page table 8 on page 10
BTB08-xxxxxRG	
T8xx-xxxG	
T8xx-xxxH	
T8xx-xxxB	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter			Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	IPAK/D²PAK/ DPAK/TO-220AB	T_c = 110°C	8	A
		TO-220AB Ins.	T_c = 100°C		
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, T_j initial = 25°C)	F = 50 Hz	t = 20 ms	80	A
		F = 60 Hz	t = 16.7 ms	84	
I^2t	I^2t Value for fusing	t_p = 10 ms		36	A^2s
dI/dt	Critical rate of rise of on-state current I_G = 2 x I_{GT} , $t_r \leq$ 100 ns	F = 120 Hz	T_j = 125°C	50	A/µs
I_{GM}	Peak gate current	t_p = 20 µs	T_j = 125°C	4	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation		T_j = 125°C	1	W
T_{stg} T_j	Storage junction temperature range Operating junction temperature range			- 40 to + 150 - 40 to + 125	°C

Tables 4: Electrical Characteristics (T_j = 25°C, unless otherwise specified)

■ **SNUBBERLESS and Logic Level (3 quadrants)**

Symbol	Test Conditions	Quadrant		T8		BTA08 / BTB08				Unit
				T810	T835	TW	SW	CW	BW	
I_{GT} (1)	V_D = 12 V R_L = 30 Ω	I - II - III	MAX.	10	35	5	10	35	50	mA
V_{GT}		I - II - III	MAX.	1.3						V
V_{GD}	V_D = V_{DRM} R_L = 3.3 kΩ T_j = 125°C	I - II - III	MIN.	0.2						V
I_H (2)	I_T = 100 mA		MAX.	15	35	10	15	35	50	mA
I_L	I_G = 1.2 I_{GT}	I - III	MAX.	25	50	10	25	50	70	mA
		II		30	60	15	30	60	80	
dV/dt (2)	V_D = 67 %V_{DRM} gate open T_j = 125°C		MIN.	40	400	20	40	400	1000	V/µs
(dV/dt)c (2)	(dV/dt)c = 0.1 V/µs T_j = 125°C		MIN.	5.4	-	3.5	5.4	-	-	A/ms
	(dV/dt)c = 10 V/µs T_j = 125°C			2.8	-	1.5	2.98	-	-	
	Without snubber T_j = 125°C			-	4.5	-	-	4.5	7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ **Standard (4 quadrants)**

Symbol	Test Conditions	Quadrant		BTA08 / BTB08		Unit
				C	B	
I_{GT} (1)	V_D = 12 V R_L = 30 Ω	I - II - III IV	MAX.	25 50	50 100	mA
V_{GT}		ALL	MAX.	1.3		V
V_{GD}	$V_D = V_{DRM}$ R_L = 3.3 kΩ T_j = 125°C	ALL	MIN.	0.2		V
I_H (2)	I_T = 500 mA		MAX.	25	50	mA
I_L	$I_G = 1.2\ I_{GT}$	I - III - IV	MAX.	40	50	mA
		II		80	100	
dV/dt (2)	V_D = 67 %V_{DRM} gate open T_j = 125°C		MIN.	200	400	V/µs
(dV/dt)c (2)	(dI/dt)c = 5.3 A/ms T_j = 125°C		MIN.	5	10	V/µs

Table 5: Static Characteristics

Symbol	Test Conditions			Value	Unit
V_T (2)	I_{TM} = 11 A t_p = 380 µs	T_j = 25°C	MAX.	1.55	V
V_{to} (2)	Threshold voltage	T_j = 125°C	MAX.	0.85	V
R_d (2)	Dynamic resistance	T_j = 125°C	MAX.	50	mΩ
I_{DRM} I_{RRM}	$V_{DRM} = V_{RRM}$	T_j = 25°C	MAX.	5	µA
		T_j = 125°C		1	mA

Note 1: minimum I_{GT} is guaranted at 5% of I_{GT} max.
Note 2: for both polarities of A2 referenced to A1.

Table 6: Thermal resistance

Symbol	Parameter			Value	Unit
$R_{th(j-c)}$	Junction to case (AC)		IPAK / D^2PAK / DPAK / TO-220AB	1.6	°C/W
			TO-220AB Insulated	2.5	
$R_{th(j-a)}$	Junction to ambient	S = 1 cm²	D^2PAK	45	°C/W
		S = 0.5 cm²	DPAK	70	
			TO-220AB / TO-220AB Insulated	60	
			IPAK	100	

S = Copper surface under tab.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1: Maximum power dissipation versus RMS on-state current (full cycle)

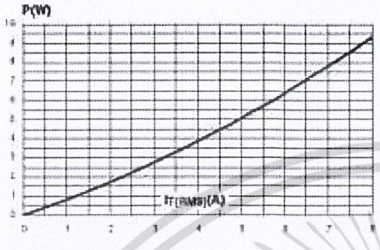


Figure 2: RMS on-state current versus case temperature (full cycle)

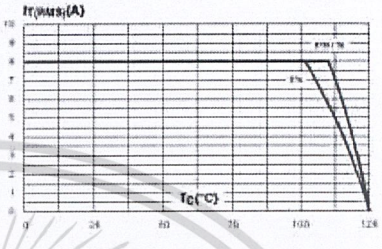


Figure 3: RMS on-state current versus ambient temperature (printed circuit board FR4, copper thickness: 35µm) (full cycle)

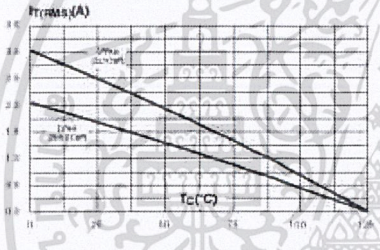


Figure 4: Relative variation of thermal impedance versus pulse duration

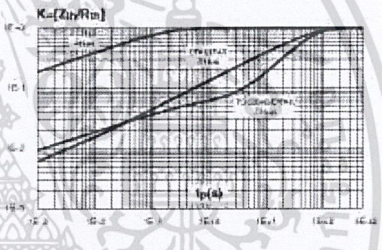


Figure 5: On-state characteristics (maximum values)

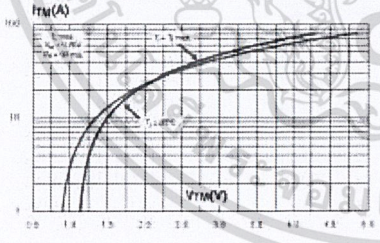
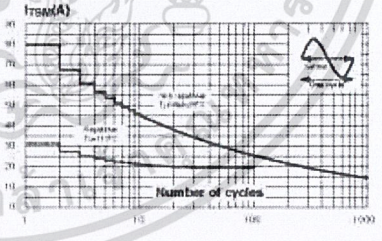


Figure 6: Surge peak on-state current versus number of cycles



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 7: Non-repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse with width $t_p < 10$ ms and corresponding value of I^2t

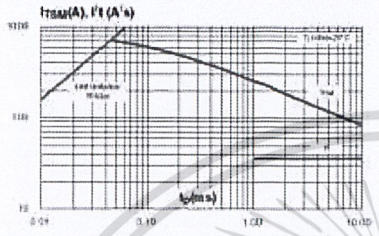


Figure 8: Relative variation of gate trigger current, holding current and latching current versus junction temperature (typical values)

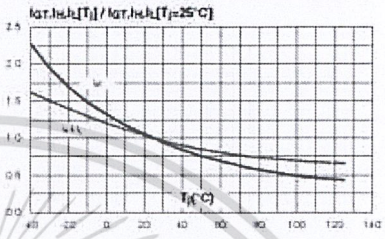


Figure 9: Relative variation of critical rate of decrease of main current versus (dV/dt)c (typical values) (Snubberless & Logic level types)

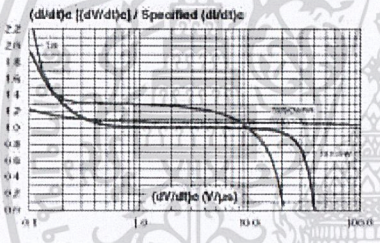


Figure 10: Relative variation of critical rate of decrease of main current versus (dV/dt)c (typical values) (Standard types)

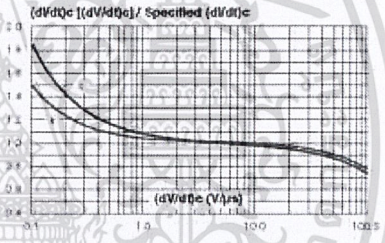


Figure 11: Relative variation of critical rate of decrease of main current versus junction temperature

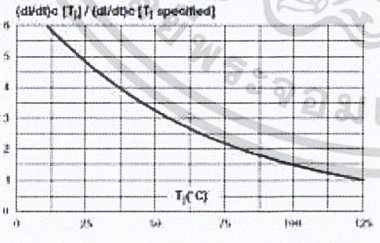
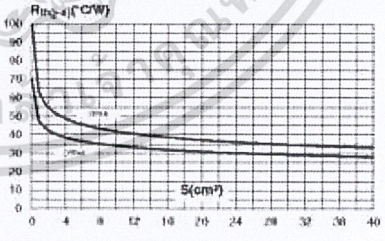


Figure 12: DPAK and D^2PAK Thermal resistance junction to ambient versus copper surface under tab (printed circuit board FR4, copper thickness: 35 µm)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 13: Ordering Information Scheme (BTA08 and BTB08 series)

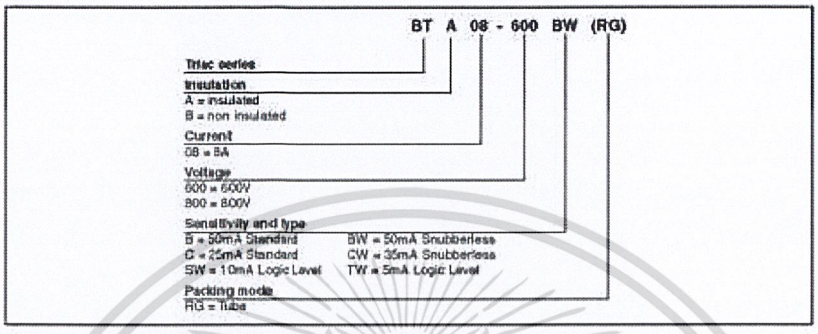


Figure 14: Ordering Information Scheme (T8 series)

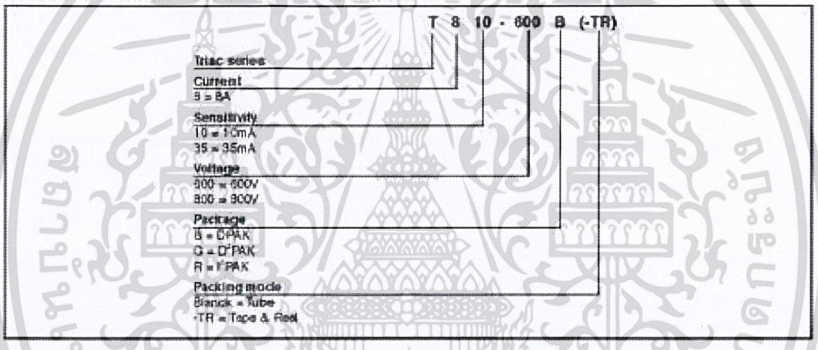


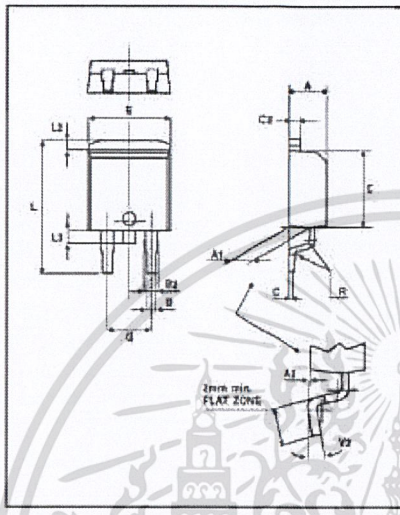
Table 7: Product Selector

Part Number	Voltage (xxx)		Sensitivity	Type	Package
	600 V	800 V			
BTA/BTB08-xxxB	X	X	50 mA	Standard	TO-220AB
BTA/BTB08-xxxBW	X	X	50 mA	Snubberless	TO-220AB
BTA/BTB08-xxxC	X	X	25 mA	Standard	TO-220AB
BTA/BTB08-xxxCW	X	X	35 mA	Snubberless	TO-220AB
BTA/BTB08-xxxSW	X	X	10 mA	Logic level	TO-220AB
BTA/BTB08-xxxTW	X	X	5 mA	Logic Level	TO-220AB
T810-xxxG	X	X	10 mA	Logic Level	D^2PAK
T810-xxxH	X	X	10 mA	Logic Level	IPAK
T835-xxxB	X	X	35 mA	Snubberless	DPAK
T835-xxxG	X	X	35 mA	Snubberless	D^2PAK
T835-xxxH	X	X	35 mA	Snubberless	IPAK

BTB: non insulated TO-220AB package

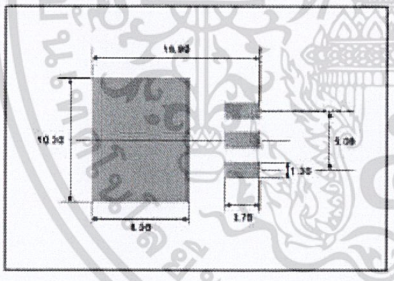
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 15: D²PAK Package Mechanical Data



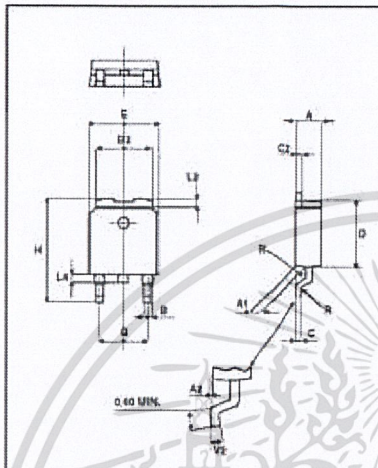
REF.	DIMENSIONS					
	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	4.30		4.60	0.169		0.181
A1	2.49		2.69	0.098		0.106
A2	0.03		0.23	0.001		0.009
B	0.70		0.93	0.027		0.037
B2	1.25	1.40		0.048	0.055	
C	0.45		0.60	0.017		0.024
C2	1.21		1.36	0.047		0.054
D	8.95		9.35	0.352		0.368
E	10.00		10.28	0.393		0.405
G	4.88		5.28	0.192		0.208
L	15.00		15.85	0.590		0.624
L2	1.27		1.40	0.050		0.055
L3	1.40		1.75	0.055		0.069
R		0.40			0.016	
V2	0°		8°	0°		8°

Figure 16: D²PAK Foot Print Dimensions
(in millimeters)



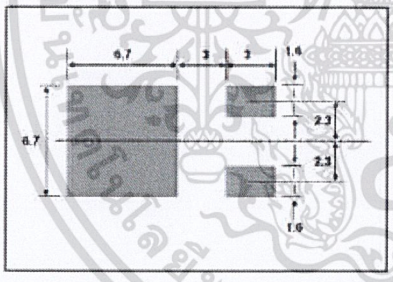
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 17: DPAK Package Mechanical Data



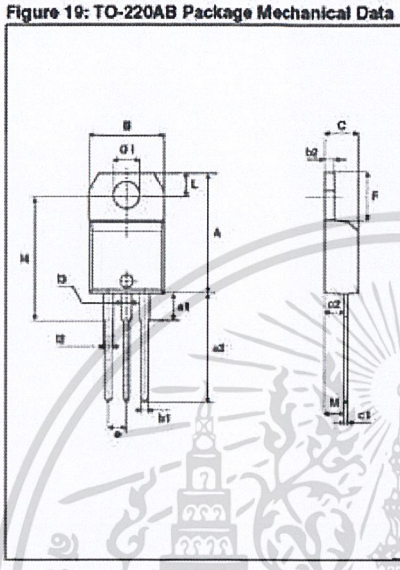
REF.	DIMENSIONS			
	Millimeters		Inches	
	Min.	Max	Min.	Max.
A	2.20	2.40	0.086	0.094
A1	0.90	1.10	0.035	0.043
A2	0.03	0.23	0.001	0.009
B	0.64	0.90	0.025	0.035
B2	5.20	5.40	0.204	0.212
C	0.45	0.60	0.017	0.023
C2	0.48	0.60	0.018	0.023
D	6.00	6.20	0.236	0.244
E	6.40	6.60	0.251	0.259
G	4.40	4.60	0.173	0.181
H	9.35	10.10	0.368	0.397
L2	0.80 typ.		0.031 typ.	
L4	0.60	1.00	0.023	0.039
V2	0°	8°	0°	8°

Figure 18: DPAK Foot Print Dimensions
(in millimeters)



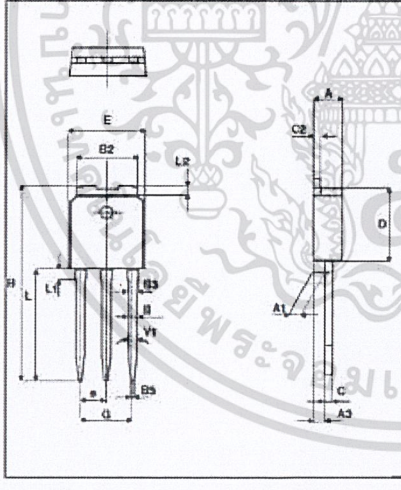
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 19: TO-220AB Package Mechanical Data



REF.	DIMENSIONS					
	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	15.20		15.90	0.598		0.625
a1		3.75			0.147	
a2	13.00		14.00	0.511		0.551
B	10.00		10.40	0.393		0.409
b1	0.61		0.88	0.024		0.034
b2	1.23		1.32	0.048		0.051
C	4.40		4.60	0.173		0.181
c1	0.49		0.70	0.019		0.027
c2	2.40		2.72	0.094		0.107
e	2.40		2.70	0.094		0.106
F	6.20		6.60	0.244		0.259
ØI	3.75		3.85	0.147		0.151
I4	15.80	16.40	16.80	0.622	0.646	0.661
L	2.65		2.95	0.104		0.116
I2	1.14		1.70	0.044		0.066
I3	1.14		1.70	0.044		0.066
M		2.60			0.102	

Figure 20: IPAK Package Mechanical Data



REF.	DIMENSIONS					
	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	2.20		2.40	0.086		0.094
A1	0.90		1.10	0.035		0.043
A3	0.70		1.30	0.027		0.051
B	0.64		0.90	0.025		0.035
B2	5.20		5.40	0.204		0.212
B3			0.95			0.037
B5		0.30			0.035	
C	0.45		0.60	0.017		0.023
C2	0.48		0.60	0.019		0.023
D	6		6.20	0.236		0.244
E	6.40		6.60	0.252		0.260
e		2.28			0.090	
G	4.40		4.60	0.173		0.181
H		16.10			0.634	
L	9		9.40	0.354		0.370
L1	0.8		1.20	0.031		0.047
L2		0.80	1		0.031	0.039
V1		10°			10°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in ECOPACK® packages. These packages have a Lead-free second level interconnect . The category of second level interconnect is marked on the package and on the inner box label, in compliance with JEDEC Standard JESD97. The maximum ratings related to soldering conditions are also marked on the inner box label. ECOPACK is an ST trademark. ECOPACK specifications are available at: www.st.com.

Table 8: Ordering Information

Ordering type	Marking	Package	Weight	Base qty	Delivery mode
BTA/BTB08-xxxyzRG	BTA/BTB08-xxxyz	TO-220AB	2.3 g	50	Tube
T8yy-xxxG	T8yyxx	D^2PAK	1.5 g	50	Tube
T8yy-xxxG-TR	T8yyxx			1000	Tape & reel
T8yy-xxxB	T8yyxx	DPAK	0.3 g	75	Tube
T8yy-xxxB-TR	T8yyxx			2500	Tape & reel
T8yy-xxxH	T8yyxx	IPAK	0.4 g	75	Tube

Note: xxx = voltage, yy = sensitivity, z = type

Table 9: Revision History

Date	Revision	Description of Changes
Apr-2002	5A	Last update.
13-Feb-2006	6	TO-220AB delivery mode changed from bulk to tube. ECOPACK statement added.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DALLAS SEMICONDUCTOR MAXIM

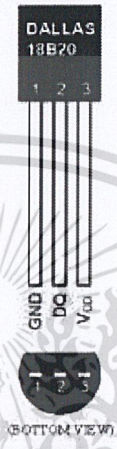
www.maxim-ic.com

DS18B20
Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

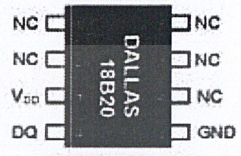
FEATURES

- Unique 1-Wire® interface requires only one port pin for communication
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an onboard ROM
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Measures temperatures from –55°C to +125°C (–67°F to +257°F)
- ±0.5°C accuracy from –10°C to +85°C
- Thermometer resolution is user-selectable from 9 to 12 bits
- Converts temperature to 12-bit digital word in 750ms (max.)
- User-definable nonvolatile (NV) alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Available in 8-pin SO (150mil), 8-pin µSOP, and 3-pin TO-92 packages
- Software compatible with the DS1822
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

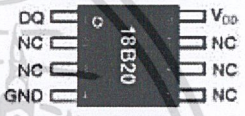
PIN ASSIGNMENT



TO-92
(DS18B20)



8-Pin 150mil SO
(DS18B20Z)



8-Pin µSOP
(DS18B20U)

PIN DESCRIPTION

GND - Ground
DQ - Data In/Out
V_{DD} - Power Supply Voltage
NC - No Connect

DESCRIPTION

The DS18B20 Digital Thermometer provides 9 to 12-bit centigrade temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of –55°C to +125°C and is accurate to ±0.5°C over the range of –10°C to +85°C. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-wire bus; thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control systems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETAILED PIN DESCRIPTIONS Table 1

SO*	µSOP*	TO-92	SYMBOL	DESCRIPTION
5	4	1	GND	**Ground.**
4	1	2	DQ	**Data Input/Output pin.** Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see "Parasite Power" section.)
3	8	3	V_{DD}	**Optional V_{DD} pin.** V_{DD} must be grounded for operation in parasite power mode.

*All pins not specified in this table are "No Connect" pins.

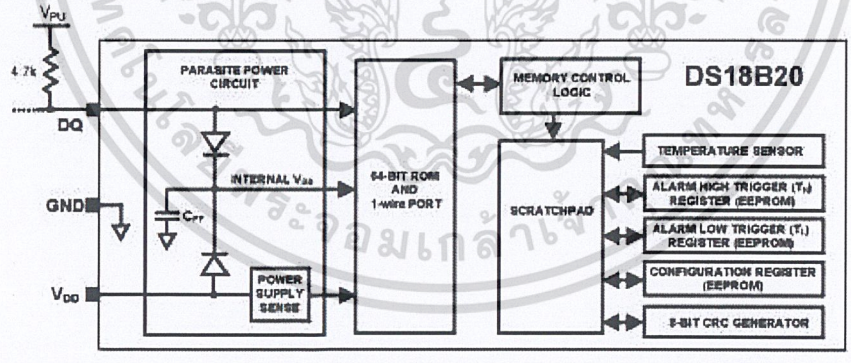
OVERVIEW

Figure 1 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in Table 1. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T_H and T_L), and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The T_H, T_L and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Dallas' exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "time slots," is covered in the *1-WIRE BUS SYSTEM* section of this datasheet.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor via the DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor (C_{PP}), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power." As an alternative, the DS18B20 may also be powered by an external supply on V_{DD}.

DS18B20 BLOCK DIAGRAM Figure 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION — MEASURING TEMPERATURE

The core functionality of the DS18B20 is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers-up in a low-power idle state; to initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue "read time slots" (see the *1-WIRE BUS SYSTEM* section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the *POWERING THE DS18B20* section of this datasheet.

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees centigrade; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1 and 0 are undefined. Table 2 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

TEMPERATURE REGISTER FORMAT Figure 2

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
	bit 15	**bit 14**	**bit 13**	**bit 12**	**bit 11**	**bit 10**	**bit 9**	**bit 8**
MS Byte	S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIP Table 2

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

*The power-on reset value of the temperature register is +85°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION — ALARM SIGNALING

After the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T_H and T_L registers (see Figure 3). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. The T_H and T_L registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T_H and T_L can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the *MEMORY* section of this datasheet.

T_H AND T_L REGISTER FORMAT Figure 3

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
S	2^6	2^5	2^5	2^5	2^2	2^1	2^0

Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the T_H and T_L comparison since T_H and T_L are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than or equal to T_L or higher than T_H, an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18B20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18B20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18B20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18B20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the T_H or T_L settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

POWERING THE DS18B20

The DS18B20 can be powered by an external supply on the V_{DD} pin, or it can operate in "parasite power" mode, which allows the DS18B20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 1 shows the DS18B20's parasite-power control circuitry, which "steals" power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18B20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor (C_{PP}) to provide power when the bus is low. When the DS18B20 is used in parasite power mode, the V_{DD} pin must be connected to ground.

In parasite power mode, the 1-Wire bus and C_{PP} can provide sufficient current to the DS18B20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (refer to *the DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS* and the *AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS* sections of this data sheet). However, when the DS18B20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied by C_{PP}. To assure that the DS18B20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 4. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10μs (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion (t_{CONV}) or data transfer (t_{WR} = 10ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

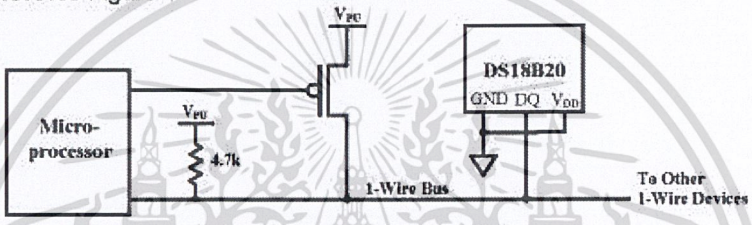
The DS18B20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the V_{DD} pin, as shown in Figure 5. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

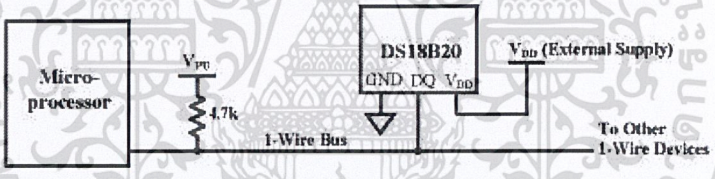
The use of parasite power is not recommended for temperatures above +100°C since the DS18B20 may not be able to sustain communications due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18B20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18B20s on the bus are parasite powered or powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Skip ROM [CCh] command followed by a Read Power Supply [B4h] command followed by a "read time slot". During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions.

SUPPLYING THE PARASITE-POWERED DS18B20 DURING TEMPERATURE CONVERSIONS Figure 4



POWERING THE DS18B20 WITH AN EXTERNAL SUPPLY Figure 5



64-BIT LASERED ROM CODE

Each DS18B20 contains a unique 64–bit code (see Figure 6) stored in ROM. The least significant 8 bits of the ROM code contain the DS18B20's 1-Wire family code: 28h. The next 48 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 56 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC bits is provided in the *CRC GENERATION* section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18B20 to operate as a 1-Wire device using the protocol detailed in the *1-WIRE BUS SYSTEM* section of this datasheet.

64-BIT LASERED ROM CODE Figure 6

8-BIT CRC		48-BIT SERIAL NUMBER		8-BIT FAMILY CODE (28h)	
MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEMORY

The DS18B20's memory is organized as shown in Figure 7. The memory consists of an SRAM scratchpad with nonvolatile EEPROM storage for the high and low alarm trigger registers (T_H and T_L) and configuration register. Note that if the DS18B20 alarm function is not used, the T_H and T_L registers can serve as general-purpose memory. All memory commands are described in detail in the *DS18B20 FUNCTION COMMANDS* section.

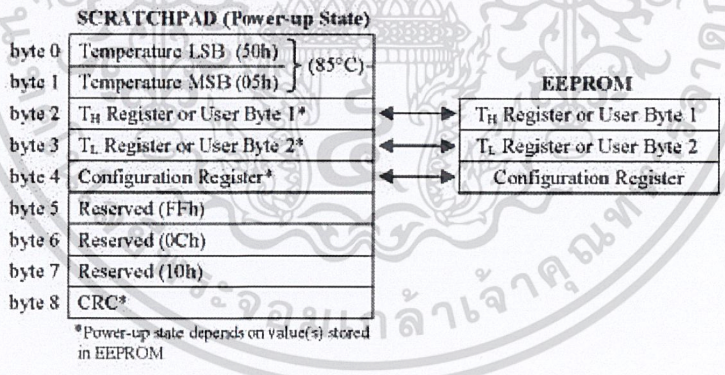
Byte 0 and byte 1 of the scratchpad contain the LSB and the MSB of the temperature register, respectively. These bytes are read-only. Bytes 2 and 3 provide access to T_H and T_L registers. Byte 4 contains the configuration register data, which is explained in detail in the CONFIGURATION REGISTER section of this datasheet. Bytes 5, 6, and 7 are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten; these bytes will return all 1s when read.

Byte 8 of the scratchpad is read-only and contains the cyclic redundancy check (CRC) code for bytes 0 through 7 of the scratchpad. The DS18B20 generates this CRC using the method described in *the CRC GENERATION* section.

Data is written to bytes 2, 3, and 4 of the scratchpad using the Write Scratchpad [4Eh] command; the data must be transmitted to the DS18B20 starting with the least significant bit of byte 2. To verify data integrity, the scratchpad can be read (using the Read Scratchpad [BEh] command) after the data is written. When reading the scratchpad, data is transferred over the 1-Wire bus starting with the least significant bit of byte 0. To transfer the T_H, T_L and configuration data from the scratchpad to EEPROM, the master must issue the Copy Scratchpad [48h] command.

Data in the EEPROM registers is retained when the device is powered down; at power-up the EEPROM data is reloaded into the corresponding scratchpad locations. Data can also be reloaded from EEPROM to the scratchpad at any time using the Recall E^2 [B8h] command. The master can issue read time slots following the Recall E^2 command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done.

DS18B20 MEMORY MAP Figure 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONFIGURATION REGISTER

Byte 4 of the scratchpad memory contains the configuration register, which is organized as illustrated in Figure 8. The user can set the conversion resolution of the DS18B20 using the R0 and R1 bits in this register as shown in Table 3. The power-up default of these bits is R0 = 1 and R1 = 1 (12-bit resolution). Note that there is a direct tradeoff between resolution and conversion time. Bit 7 and bits 0 to 4 in the configuration register are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten; these bits will return 1s when read.

CONFIGURATION REGISTER Figure 8

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
0	R1	R0	1	1	1	1	1

THERMOMETER RESOLUTION CONFIGURATION Table 3

R1	R0	Resolution	Max Conversion Time	
0	0	9-bit	93.75 ms	(t_{CONV}/8)
0	1	10-bit	187.5 ms	(t_{CONV}/4)
1	0	11-bit	375 ms	(t_{CONV}/2)
1	1	12-bit	750 ms	(t_{CONV})

CRC GENERATION

CRC bytes are provided as part of the DS18B20's 64-bit ROM code and in the 9th byte of the scratchpad memory. The ROM code CRC is calculated from the first 56 bits of the ROM code and is contained in the most significant byte of the ROM. The scratchpad CRC is calculated from the data stored in the scratchpad, and therefore it changes when the data in the scratchpad changes. The CRCs provide the bus master with a method of data validation when data is read from the DS18B20. To verify that data has been read correctly, the bus master must re-calculate the CRC from the received data and then compare this value to either the ROM code CRC (for ROM reads) or to the scratchpad CRC (for scratchpad reads). If the calculated CRC matches the read CRC, the data has been received error free. The comparison of CRC values and the decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS18B20 that prevents a command sequence from proceeding if the DS18B20 CRC (ROM or scratchpad) does not match the value generated by the bus master.

The equivalent polynomial function of the CRC (ROM or scratchpad) is:

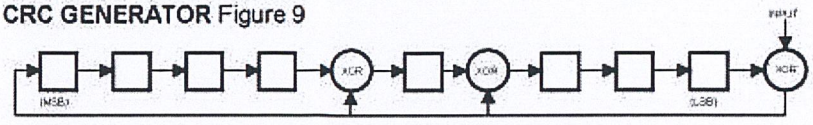
$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

The bus master can re-calculate the CRC and compare it to the CRC values from the DS18B20 using the polynomial generator shown in Figure 9. This circuit consists of a shift register and XOR gates, and the shift register bits are initialized to 0. Starting with the least significant bit of the ROM code or the least significant bit of byte 0 in the scratchpad, one bit at a time should shifted into the shift register. After shifting in the 56th bit from the ROM or the most significant bit of byte 7 from the scratchpad, the polynomial generator will contain the re-calculated CRC. Next, the 8-bit ROM code or scratchpad CRC from the DS18B20 must be shifted into the circuit. At this point, if the re-calculated CRC was correct, the shift register will contain all 0s. Additional information about the Dallas 1-Wire cyclic redundancy check

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

is available in *Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Dallas Semiconductor Touch Memory Products.*

CRC GENERATOR Figure 9



1-WIRE BUS SYSTEM

The 1-Wire bus system uses a single bus master to control one or more slave devices. The DS18B20 is always a slave. When there is only one slave on the bus, the system is referred to as a "single-drop" system; the system is "multidrop" if there are multiple slaves on the bus.

All data and commands are transmitted least significant bit first over the 1-Wire bus.

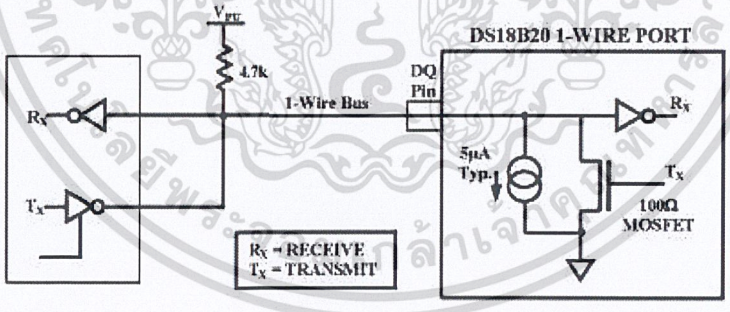
The following discussion of the 1-Wire bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

HARDWARE CONFIGURATION

The 1-Wire bus has by definition only a single data line. Each device (master or slave) interfaces to the data line via an open-drain or 3-state port. This allows each device to "release" the data line when the device is not transmitting data so the bus is available for use by another device. The 1-Wire port of the DS18B20 (the DQ pin) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in Figure 10.

The 1-Wire bus requires an external pullup resistor of approximately 5kΩ; thus, the idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the idle state if the transaction is to resume. Infinite recovery time can occur between bits so long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If the bus is held low for more than 480µs, all components on the bus will be reset.

HARDWARE CONFIGURATION Figure 10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSACTION SEQUENCE

The transaction sequence for accessing the DS18B20 is as follows:

Step 1. Initialization

Step 2. ROM Command (followed by any required data exchange)

Step 3. DS18B20 Function Command (followed by any required data exchange)

It is very important to follow this sequence every time the DS18B20 is accessed, as the DS18B20 will not respond if any steps in the sequence are missing or out of order. Exceptions to this rule are the Search ROM [F0h] and Alarm Search [ECh] commands. After issuing either of these ROM commands, the master must return to Step 1 in the sequence.

INITIALIZATION

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s). The presence pulse lets the bus master know that slave devices (such as the DS18B20) are on the bus and are ready to operate. Timing for the reset and presence pulses is detailed in the *1-WIRE SIGNALING* section.

ROM COMMANDS

After the bus master has detected a presence pulse, it can issue a ROM command. These commands operate on the unique 64-bit ROM codes of each slave device and allow the master to single out a specific device if many are present on the 1-Wire bus. These commands also allow the master to determine how many and what types of devices are present on the bus or if any device has experienced an alarm condition. There are five ROM commands, and each command is 8 bits long. The master device must issue an appropriate ROM command before issuing a DS18B20 function command. A flowchart for operation of the ROM commands is shown in Figure 11.

SEARCH ROM [F0h]

When a system is initially powered up, the master must identify the ROM codes of all slave devices on the bus, which allows the master to determine the number of slaves and their device types. The master learns the ROM codes through a process of elimination that requires the master to perform a Search ROM cycle (i.e., Search ROM command followed by data exchange) as many times as necessary to identify all of the slave devices. If there is only one slave on the bus, the simpler Read ROM command (see below) can be used in place of the Search ROM process. For a detailed explanation of the Search ROM procedure, refer to the *iButton® Book of Standards* at www.ibutton.com/ibuttons/standard.pdf. After every Search ROM cycle, the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence.

READ ROM [33h]

This command can only be used when there is one slave on the bus. It allows the bus master to read the slave's 64-bit ROM code without using the Search ROM procedure. If this command is used when there is more than one slave present on the bus, a data collision will occur when all the slaves attempt to respond at the same time.

MATCH ROM [55h]

The match ROM command followed by a 64-bit ROM code sequence allows the bus master to address a specific slave device on a multidrop or single-drop bus. Only the slave that exactly matches the 64-bit ROM code sequence will respond to the function command issued by the master; all other slaves on the bus will wait for a reset pulse.

iButton is a registered trademark of Dallas Semiconductor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SKIP ROM [CCh]

The master can use this command to address all devices on the bus simultaneously without sending out any ROM code information. For example, the master can make all DS18B20s on the bus perform simultaneous temperature conversions by issuing a Skip ROM command followed by a Convert T [44h] command.

Note that the Read Scratchpad [BEh] command can follow the Skip ROM command only if there is a single slave device on the bus. In this case time is saved by allowing the master to read from the slave without sending the device's 64-bit ROM code. A Skip ROM command followed by a Read Scratchpad command will cause a data collision on the bus if there is more than one slave since multiple devices will attempt to transmit data simultaneously.

ALARM SEARCH [ECh]

The operation of this command is identical to the operation of the Search ROM command except that only slaves with a set alarm flag will respond. This command allows the master device to determine if any DS18B20s experienced an alarm condition during the most recent temperature conversion. After every Alarm Search cycle (i.e., Alarm Search command followed by data exchange), the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence. Refer to the *OPERATION — ALARM SIGNALING* section for an explanation of alarm flag operation.

DS18B20 FUNCTION COMMANDS

After the bus master has used a ROM command to address the DS18B20 with which it wishes to communicate, the master can issue one of the DS18B20 function commands. These commands allow the master to write to and read from the DS18B20's scratchpad memory, initiate temperature conversions and determine the power supply mode. The DS18B20 function commands, which are described below, are summarized in Table 4 and illustrated by the flowchart in Figure 12.

CONVERT T [44h]

This command initiates a single temperature conversion. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its low-power idle state. If the device is being used in parasite power mode, within 10μs (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for the duration of the conversion (t_{conv}) as described in the *POWERING THE DS18B20* section. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue read time slots after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting a 0 while the temperature conversion is in progress and a 1 when the conversion is done. In parasite power mode this notification technique cannot be used since the bus is pulled high by the strong pullup during the conversion.

WRITE SCRATCHPAD [4Eh]

This command allows the master to write 3 bytes of data to the DS18B20's scratchpad. The first data byte is written into the T_H register (byte 2 of the scratchpad), the second byte is written into the T_L register (byte 3), and the third byte is written into the configuration register (byte 4). Data must be transmitted least significant bit first. All three bytes MUST be written before the master issues a reset, or the data may be corrupted.

READ SCRATCHPAD [BEh]

This command allows the master to read the contents of the scratchpad. The data transfer starts with the least significant bit of byte 0 and continues through the scratchpad until the 9th byte (byte 8 – CRC) is read. The master may issue a reset to terminate reading at any time if only part of the scratchpad data is needed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPY SCRATCHPAD [48h]

This command copies the contents of the scratchpad T_H, T_L and configuration registers (bytes 2, 3 and 4) to EEPROM. If the device is being used in parasite power mode, within 10µs (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for at least 10ms as described in the *POWERING THE DS18B20* section.

RECALL E^2 [B8h]

This command recalls the alarm trigger values (T_H and T_L) and configuration data from EEPROM and places the data in bytes 2, 3, and 4, respectively, in the scratchpad memory. The master device can issue read time slots following the Recall E^2 command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done. The recall operation happens automatically at power-up, so valid data is available in the scratchpad as soon as power is applied to the device.

READ POWER SUPPLY [B4h]

The master device issues this command followed by a read time slot to determine if any DS18B20s on the bus are using parasite power. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. Refer to the *POWERING THE DS18B20* section for usage information for this command.

DS18B20 FUNCTION COMMAND SET Table 4

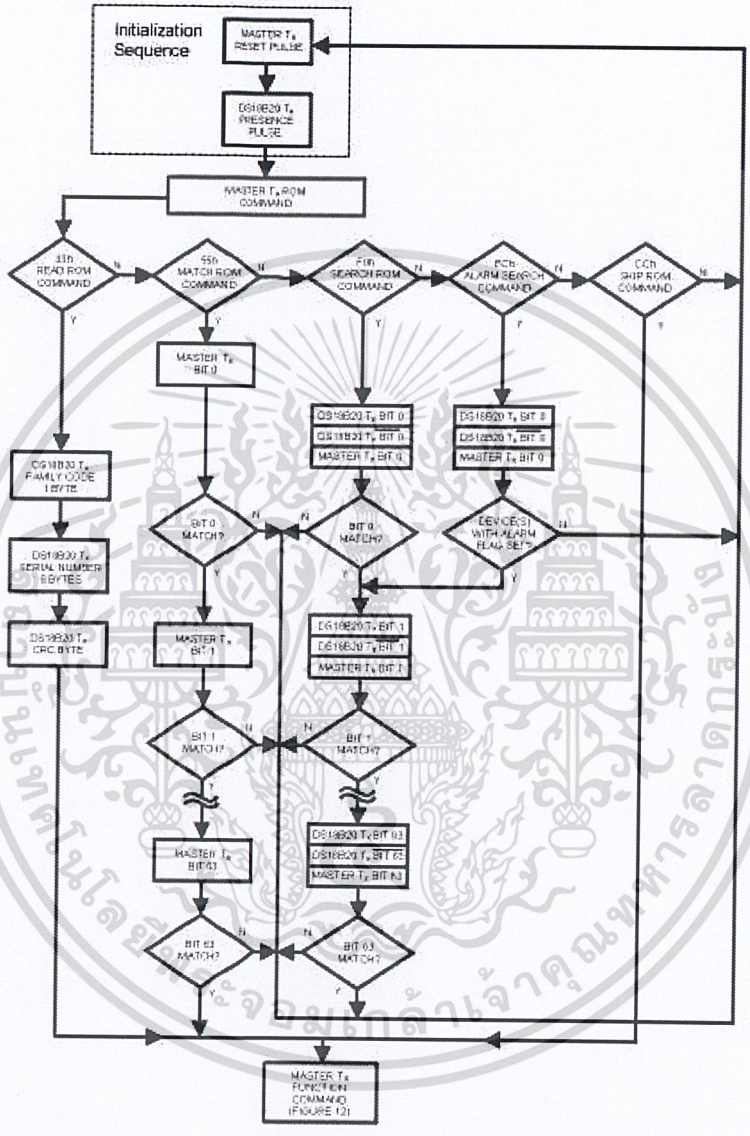
Command	Description	Protocol	1-Wire Bus Activity After Command is Issued	Notes
TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	DS18B20 transmits conversion status to master (not applicable for parasite-powered DS18B20s).	1
MEMORY COMMANDS				
Read Scratchpad	Reads the entire scratchpad including the CRC byte.	BEh	DS18B20 transmits up to 9 data bytes to master.	2
Write Scratchpad	Writes data into scratchpad bytes 2, 3, and 4 (T_H, T_L, and configuration registers).	4Eh	Master transmits 3 data bytes to DS18B20.	3
Copy Scratchpad	Copies T_H, T_L, and configuration register data from the scratchpad to EEPROM.	48h	None	1
Recall E^2	Recalls T_H, T_L, and configuration register data from EEPROM to the scratchpad.	B8h	DS18B20 transmits recall status to master.	
Read Power Supply	Signals DS18B20 power supply mode to the master.	B4h	DS18B20 transmits supply status to master.	

NOTES:

1) For parasite-powered DS18B20s, the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions and copies from the scratchpad to EEPROM. No other bus activity may take place during this time.
2) The master can interrupt the transmission of data at any time by issuing a reset.
3) All three bytes must be written before a reset is issued.

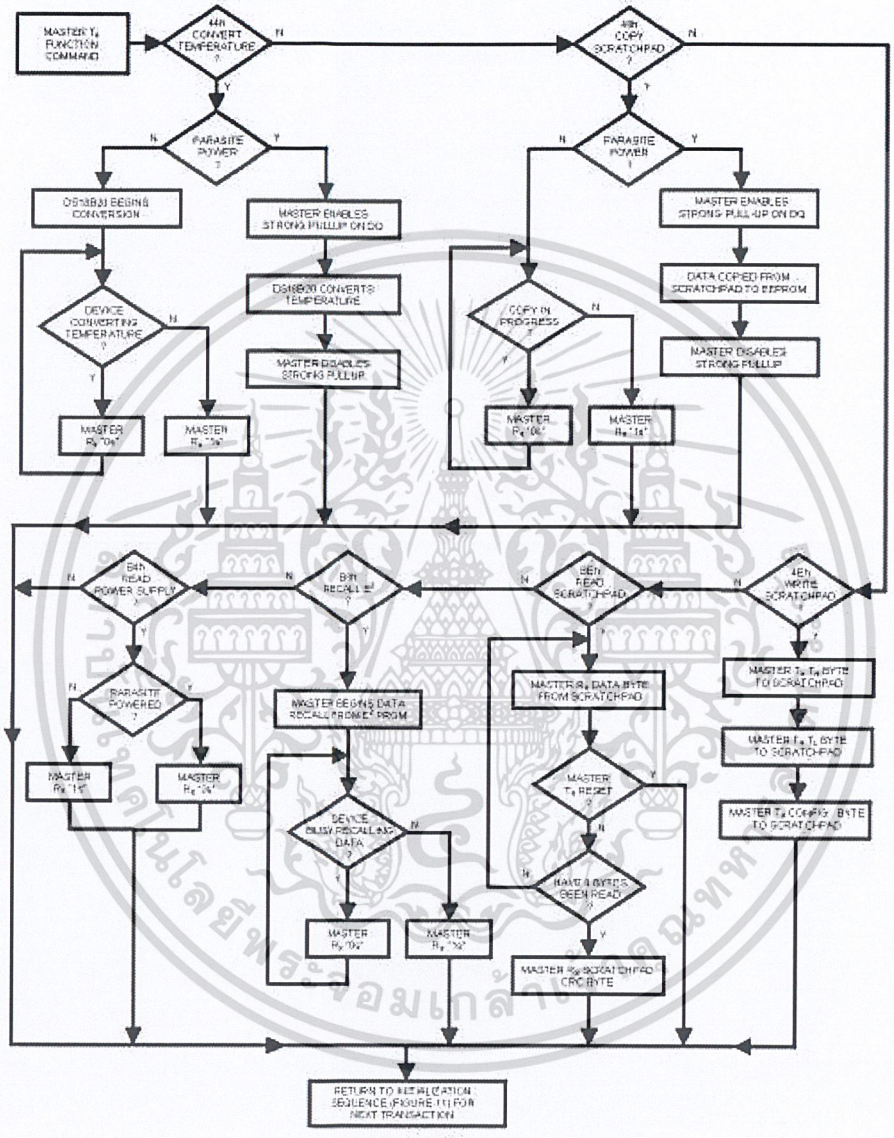
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROM COMMANDS FLOW CHART Figure 11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DS18B20 FUNCTION COMMANDS FLOW CHART Figure 12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1-WIRE SIGNALING

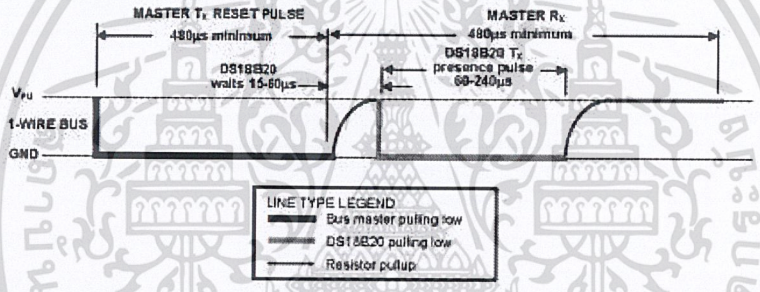
The DS18B20 uses a strict 1-Wire communication protocol to insure data integrity. Several signal types are defined by this protocol: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. The bus master initiates all of these signals, with the exception of the presence pulse.

INITIALIZATION PROCEDURE: RESET AND PRESENCE PULSES

All communication with the DS18B20 begins with an initialization sequence that consists of a reset pulse from the master followed by a presence pulse from the DS18B20. This is illustrated in Figure 13. When the DS18B20 sends the presence pulse in response to the reset, it is indicating to the master that it is on the bus and ready to operate.

During the initialization sequence the bus master transmits (T_X) the reset pulse by pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 480µs. The bus master then releases the bus and goes into receive mode (R_X). When the bus is released, the 5k pullup resistor pulls the 1-Wire bus high. When the DS18B20 detects this rising edge, it waits 15µs to 60µs and then transmits a presence pulse by pulling the 1-Wire bus low for 60µs to 240µs.

INITIALIZATION TIMING Figure 13



READ/WRITE TIME SLOTS

The bus master writes data to the DS18B20 during write time slots and reads data from the DS18B20 during read time slots. One bit of data is transmitted over the 1-Wire bus per time slot.

WRITE TIME SLOTS

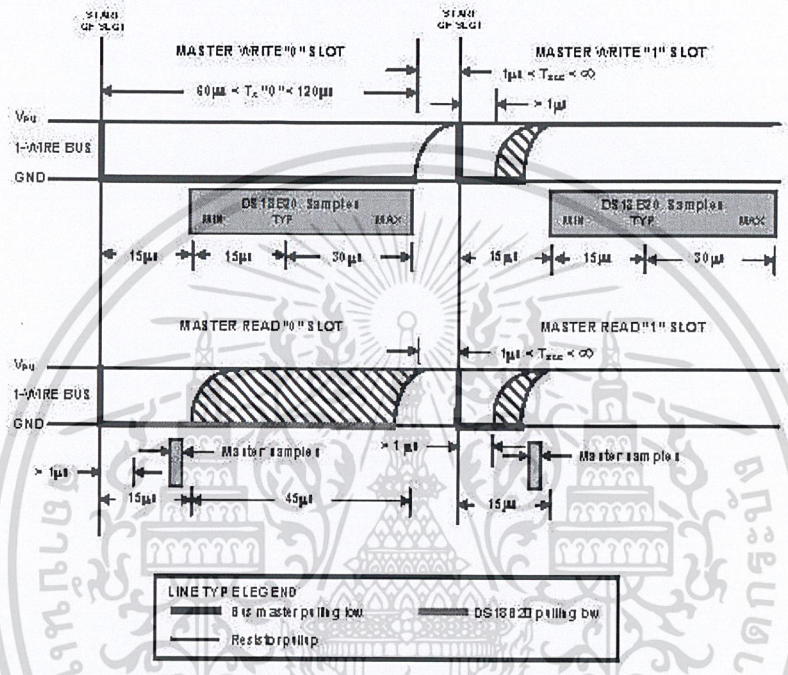
There are two types of write time slots: "Write 1" time slots and "Write 0" time slots. The bus master uses a Write 1 time slot to write a logic 1 to the DS18B20 and a Write 0 time slot to write a logic 0 to the DS18B20. All write time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between individual write slots. Both types of write time slots are initiated by the master pulling the 1-Wire bus low (see Figure 14).

To generate a Write 1 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must release the 1-Wire bus within 15µs. When the bus is released, the 5k pullup resistor will pull the bus high. To generate a Write 0 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must continue to hold the bus low for the duration of the time slot (at least 60µs).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The DS18B20 samples the 1-Wire bus during a window that lasts from 15µs to 60µs after the master initiates the write time slot. If the bus is high during the sampling window, a 1 is written to the DS18B20. If the line is low, a 0 is written to the DS18B20.

READ/WRITE TIME SLOT TIMING DIAGRAM Figure 14



READ TIME SLOTS

The DS18B20 can only transmit data to the master when the master issues read time slots. Therefore, the master must generate read time slots immediately after issuing a Read Scratchpad [BEh] or Read Power Supply [B4h] command, so that the DS18B20 can provide the requested data. In addition, the master can generate read time slots after issuing Convert T [44h] or Recall E^2 [B8h] commands to find out the status of the operation as explained in the *DS18B20 FUNCTION COMMAND* section.

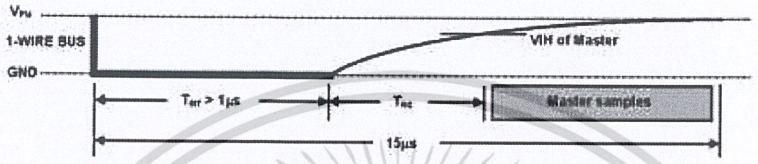
All read time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between slots. A read time slot is initiated by the master device pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 1µs and then releasing the bus (see Figure 14). After the master initiates the read time slot, the DS18B20 will begin transmitting a 1 or 0 on bus. The DS18B20 transmits a 1 by leaving the bus high and transmits a 0 by pulling the bus low. When transmitting a 0, the DS18B20 will release the bus by the end of the time slot, and the bus will be pulled back to its high idle state by the pullup resister. Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

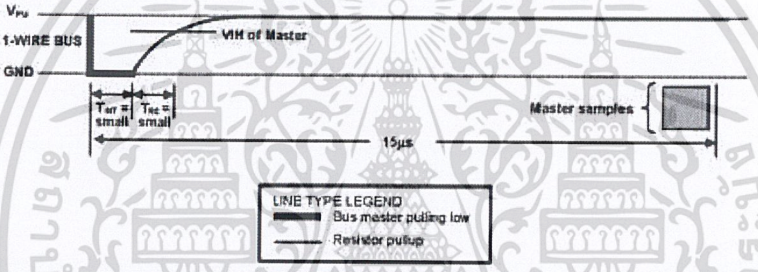
data from the DS18B20 is valid for 15µs after the falling edge that initiated the read time slot. Therefore, the master must release the bus and then sample the bus state within 15µs from the start of the slot.

Figure 15 illustrates that the sum of T_{INIT}, T_{RC}, and T_{SAMPLE} must be less than 15µs for a read time slot. Figure 16 shows that system timing margin is maximized by keeping T_{INIT} and T_{RC} as short as possible and by locating the master sample time during read time slots towards the end of the 15µs period.

DETAILED MASTER READ 1 TIMING Figure 15



RECOMMENDED MASTER READ 1 TIMING Figure 16



RELATED APPLICATION NOTES

The following Application Notes can be applied to the DS18B20. These notes can be obtained from the Dallas Semiconductor "Application Note Book," via the Dallas website at http://www.dalsemi.com/, or through our faxback service at (214) 450-0441.

Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Dallas Semiconductor Touch Memory Product
Application Note 55: Extending the Contact Range of Touch Memories
Application Note 74: Reading and Writing Touch Memories via Serial Interfaces
Application Note 104: Minimalist Temperature Control Demo
Application Note 106: Complex MicroLANs
Application Note 108: MicroLAN — In the Long Run
Application Note 162: Interfacing the DS18X20/DS1822 1-Wire Temperature Sensor in a Microcontroller Environment

Sample 1-Wire subroutines that can be used in conjunction with AN74 can be downloaded from the Dallas website or anonymous FTP Site.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DS18B20 OPERATION EXAMPLE 1

In this example there are multiple DS18B20s on the bus and they are using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS18B20 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
TX	55h	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
TX	44h	Master issues Convert T command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion (t_{CONV}).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
TX	55h	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

DS18B20 OPERATION EXAMPLE 2

In this example there is only one DS18B20 on the bus and it is using parasite power. The master writes to the T_H, T_L, and configuration registers in the DS18B20 scratchpad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	4Eh	Master issues Write Scratchpad command.
TX	3 data bytes	Master sends three data bytes to scratchpad (T_H, T_L, and config).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	48h	Master issues Copy Scratchpad command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for at least 10ms while copy operation is in progress.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +6.0V
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-55°C to +125°C
Solder Temperature	See IPC/JEDEC J-STD-020A
Reflow Oven Temperature	+220°C

**These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.*

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C; V_{DD}=3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V_{DD}	Local Power	+3.0		+5.5	V	1
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite Power	+3.0		+5.5	V	1,2
		Local Power	+3.0		V_{DD}		
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C	3
		-55°C to +125°C			±2		
Input Logic Low	V_{IL}		-0.3		+0.8	V	1,4,5
Input Logic High	V_{IH}	Local Power	+2.2		The lower of 5.5 or V_{DD} + 0.3	V	1, 6
		Parasite Power	+3.0				
Sink Current	I_L	$V_{I/O}$=0.4V	4.0			mA	1
Standby Current	I_{DDS}			750	1000	nA	7,8
Active Current	I_{DD}	V_{DD}=5V		1	1.5	mA	9
DQ Input Current	I_{DQ}			5		µA	10
Drift				±0.2		°C	11

NOTES:

1) All voltages are referenced to ground.
2) The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU}. In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.
3) See typical performance curve in Figure 17.
4) Logic low voltages are specified at a sink current of 4mA.
5) To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.
6) Logic high voltages are specified at a source current of 1mA.
7) Standby current specified up to 70°C. Standby current typically is 3µA at 125°C.
8) To minimize I_{DDS}, DQ should be within the following ranges: GND ≤ DQ ≤ GND + 0.3V or V_{DD} – 0.3V ≤ DQ ≤ V_{DD}.
9) Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.
10) DQ line is high ("hi-Z" state).
11) Drift data is based on a 1000 hour stress test at 125°C with V_{DD} = 5.5V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: NV MEMORY

(-55°C to +100°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t_{WR}			2	10	ms
EEPROM Writes	N_{EEWR}	-55°C to +55°C	50k			writes
EEPROM Data Retention	t_{EEDR}	-55°C to +55°C	10			years

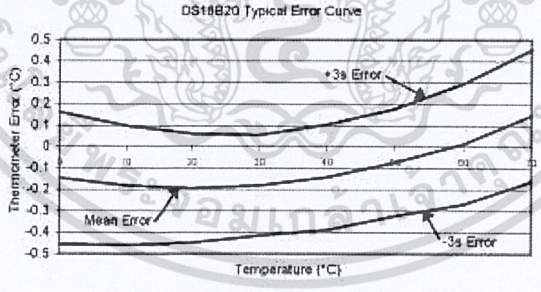
AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion Time	t_{CONV}	9-bit resolution			93.75	ms	1
		10-bit resolution			187.5	ms	1
		11-bit resolution			375	ms	1
		12-bit resolution			750	ms	1
Time to Strong Pullup On	t_{SPON}	Start Convert T Command Issued			10	µs	
Time Slot	t_{SLOT}		60		120	µs	1
Recovery Time	t_{REC}		1			µs	1
Write 0 Low Time	t_{LOW0}		60		120	µs	1
Write 1 Low Time	t_{LOW1}		1		15	µs	1
Read Data Valid	t_{RDV}				15	µs	1
Reset Time High	t_{RSTH}		480			µs	1
Reset Time Low	t_{RSTL}		480			µs	1,2
Presence Detect High	t_{PDHIGH}		15		60	µs	1
Presence Detect Low	t_{PDLOW}		60		240	µs	1
Capacitance	$C_{IN/OUT}$				25	pF	

NOTES:

1) Refer to timing diagrams in Figure 18.
2) Under parasite power, if t_{RSTL} > 960µs, a power on reset may occur.

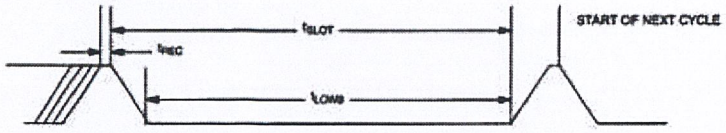
TYPICAL PERFORMANCE CURVE Figure 17



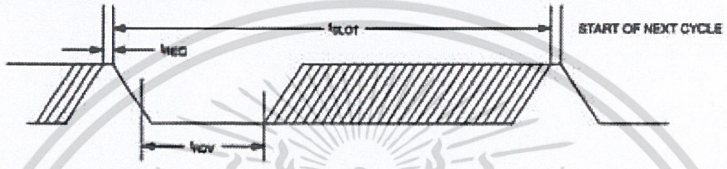
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIMING DIAGRAMS Figure 18

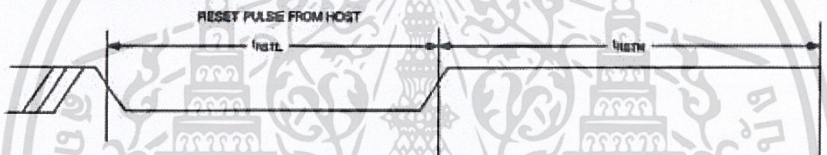
1-WIRE WRITE ZERO TIME SLOT



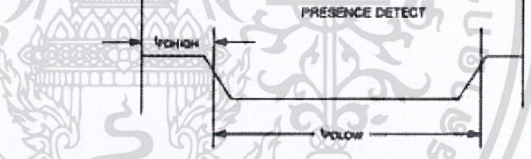
1-WIRE READ ZERO TIME SLOT



1-WIRE RESET PULSE



1-WIRE PRESENCE DETECT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ตารางแสดงคุณสมบัติของน้ำและสารละลายลิเธียมโบรไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค1 คุณสมบัติของสารละลาย น้ำ-ลิเธียมโบรไมด์ (ตาราง อุณหภูมิ-ความดัน-ความเข้มข้น: T-P-X)

X	ความดันของสารละลายลิเธียมโบรไมด์-น้ำ: (kPa)							
(%)	T=30°C	T=40°C	T=50°C	T=60°C	T=70°C	T=80°C	T=90°C	T=100°C
0	4.2460	7.3840	12.3490	19.940	31.1900	47.1900	70.1400	101.3703
5	4.1295	7.2448	12.1000	19.4846	30.4310	46.3238	68.4420	98.868
10	4.0521	7.0144	11.7160	48.8622	29.4544	44.7478	66.2507	95.726
15	3.8905	6.7168	11.2287	18.0870	28.2559	42.9482	63.6252	91.9964
20	3.6246	6.3598	10.6500	17.15682	26.8609	40.8697	60.6129	87.7439
25	3.4343	5.8866	9.8687	15.9230	24.9625	38.0712	56.5963	82.124
30	2.9975	5.2917	8.9252	14.4666	22.7133	34.6920	51.6579	75.0956
35	2.5824	4.5601	7.7450	12.6198	19.8940	30.4971	45.5780	66.5054
40	2.1552	3.7344	6.3847	10.4902	16.6182	25.5821	38.3917	56.2626
45	1.6974	2.8465	4.9285	8.1874	13.0646	20.2175	30.5633	45.1152
50	1.1285	2.0211	3.4758	5.8539	9.4719	14.8195	22.6107	33.6717
55	0.7005	1.2849	2.2208	3.7567	6.2043	9.8687	15.2528	22.9716
60	*	0.7153	1.2705	2.1686	3.6246	5.9194	9.3026	14.1894
65	*	*	*	1.1636	1.9750	3.2333	5.2174	8.14434
70	*	*	*	*	*	*	*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

X	ความดันของสารละลายลิเธียมโบรไมด์-น้ำ: (kPa)							
(%)	T=110°C	T=120°C	T=130°C	T=140°C	T=150°C	T=160°C	T=170°C	T=180°C
0	143.2700	198.554	270.140	361.300	475.825	617.823	791.671	1,002.1
5	139.5813	193.575	263.299	351.562	463.829	602.266	770.845	974.759
10	135.1880	187.495	255.098	341.980	449.025	582.509	746.795	945.797
15	130.0205	180.405	245.606	329.422	432.826	561.814	720.674	913.225
20	123.9470	171.851	234.239	318.966	413.668	537.480	690.120	875.313
25	116.2767	161.492	220.549	296.698	390.822	508.822	653.99	830.673
30	106.7180	149.637	203.316	273.532	361.784	472.011	607.675	772.720
35	94.8674	132.472	181.863	245.780	325.487	425.779	550.255	702.216
40	80.7664	113.477	156.506	212.629	282.849	371.611	480.950	614.687
45	65.2400	92.331	127.819	174.365	233.521	308.478	401.279	515.350
50	49.0310	69.8911	97.6361	134.290	180.696	240.052	314.370	406.311
55	33.7438	48.538	68.5724	95.3020	129.138	172.972	228.189	296.962
60	21.1183	30.7626	46.9302	61.5636	84.5839	114.272	152.406	200.448
65	12.3121	18.1717	26.2731	37.7692	51.9686	71.2308	96.2436	128.040
70	7.3840	11.7744	17.1767	24.6228	34.6920	48.1473	66.1237	89.3599

T: อุณหภูมิของสารละลาย (OC), P: ความดันของสารละลาย (kPa) X: ความเข้มข้นของลิเธียมโบรไมด์ (%) * จุดวิกฤต

ที่มา: Herold and Morand (1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค2 คุณสมบัติของสารละลาย น้ำ-ลิเธียมโบรไมด์ (ตาราง เอนธัลปี-ความเข้มข้น- อุณหภูมิ: h-X-T)

T (C)	เอนธัลปีของสารละลาย น้ำ-ลิเธียมโบรไมด์ h (kJ/kg)													
	X= 0%	X= 5%	X= 10%	X= 15%	X= 20%	X= 25%	X= 30%	X= 35%	X= 40%	X= 45%	X= 50%	X= 55%	X= 60%	X= 65%
0	1.13	-1.3	-3.74	-6.19	-8.63	-10.97	-12.96	-14.1	-13.54	-10.01	-1.75	13.62	^	^
10	42.44	36.74	31.73	27.05	22.53	18.16	14.22	11.28	10.26	12.45	19.6	33.934	^	^
20	83.86	74.92	67.34	60.43	53.8	47.4	41.53	36.79	34.17	35.01	41.02	54.28	^	^
30	125.4	113.25	103.09	93.92	85.18	76.76	68.95	62.41	58.2	57.67	62.51	74.67	96.37	^
40	167.05	151.72	138.98	127.54	116.69	106.23	96.48	88.16	82.34	80.43	84.06	95.09	115.49	^
50	208.81	190.33	175.01	161.29	148.3	135.82	124.14	114.02	106.6	103.28	105.69	115.55	134.64	164.66
60	250.7	229.09	211.18	195.16	180.03	165.52	151.91	140.01	130.97	126.24	127.38	136.05	153.8	182.04
70	292.69	267.99	247.49	229.16	211.88	195.33	179.8	166.11	155.46	149.29	149.15	156.58	172.99	199.48
80	334.8	307.04	283.94	263.28	243.84	225.25	207.81	192.34	180.06	172.44	170.98	177.16	192.2	216.98
90	377.03	346.23	320.52	297.52	275.92	255.29	235.93	218.68	204.78	195.68	192.88	197.77	211.44	234.54
100	419.37	385.57	357.25	331.89	308.11	285.44	264.17	245.14	229.61	219.03	214.85	218.42	230.7	252.16

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

T (°C)	เอนธัลปีของสารละลาย น้ำ-ลิเธียมโบรไมด์; h (kJ/kg)														
	X =0%	X =5%	X =10	X =15	X =20	X =25	X =30	X =35	X =40	X =45	X =50	X =55	X =60	X =65	X =70
11	461.	425.	394.	366.	340.	315.	292.	271.	254.	242.	242.	239.	249.	269.	*
12	504.	464.	431.	401.	372.	346.	321	298.	279.	266.	266.	259.	269.	287.	314.
13	547.	504.	468.	435.	405.	376.	349.	325.	304.	289.	289.	280.	288.	305.	330.
14	589.	544.	505.	470.	438.	407.	378.	352.	330.	313.	313.	301.	307.	323.	346.
15	632.	584.	542.	505.	470.	437.	407.	379.	355.	337.	337.	322.	327.	341.	362.
16	675.	624.	580.	540.	503.	468.	436.	406.	381.	361.	361.	343.	346.	359.	379.
17	718.	664.	618.	575.	536.	499.	465.	433.	406.	385.	385.	364.	366.	377.	396.
18	762.	705.	656.	611.	569.	530.	494.	461.	432.	409.	409.	384.	385.	395.	413.

T : อุณหภูมิของสารละลาย (OC), h : เอนทาลปีของสารละลาย (kJ/kg) X : ความเข้มข้นของลิเธียมโบรไมด์ (%) * จุดวิกฤติ

ที่มา: Herold and Morand (1987)

ตารางผนวกที่ ค3 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของไอน้ำ (ไอน้ำอิ่มตัว: ตารางอุณหภูมิ)

		ปริมาตรจำเพาะ (m³/kg)		พลังงานภายใน (kJ/kg)			เอนธัลปี (kJ/kg)			เอนโทรปี (kJ/kg K)		
Temp °C T	Press kPa P	Sat Liquid v_f	Sat Vapor v_g	Sat Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat Vapor u_g	Sat Liquid h_f	Evap. H_{fg}	Sat Vapor h_g	Sat Liquid s_f	Evap. S_{fg}	Sat Vapor S_g
0.01	0.6113	0.001	206.14	0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001	106.38	42	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.151	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	233.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2319	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.558
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.257
45	9.593	0.00101	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.94	0.00107	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.00102	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.831
70	31.19	0.001023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	233.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001026	4.131	313.9	2162	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

		ปริมาตรจำเพาะ (m^3/kg)		พลังงานภายใน (kJ/kg)			เอนธัลปี (kJ/kg)			เอนโทรปี (kJ/kg K)		
Temp °C T	Press kPa P	Sat Liquid v_f	Sat Vapor v_g	Sat Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat Vapor u_g	Sat Liquid h_f	Evap. H_{fg}	Sat Vapor h_g	Sat Liquid s_f	Evap. S_{fg}	Sat Vapor S_g
80	47.39	0.001209	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.9	2296	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2566	7.4791
95	84.55	0.00104	1.982	397.88	2101.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.25	6.1659	7.4159
100	101.35	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257	2676.1	1.3069	6.048	7.3549
105	120.82	0.001048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.363	5.9528	7.2958
110	143.27	0.001052	1.2102	461.14	2057	2518.1	461.3	2230.2	2691.5	1.4185	5.8502	7.2387
115	169.06	0.001056	1.0366	482.3	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699	1.4734	5.71	7.1833
120	198.53	0.00106	0.8919	503.5	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.602	7.1296
125	232.1	0.001065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	270.1	0.00107	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	313	0.001075	0.5822	567.35	1977.7	2545	567.69	2159.6	2727.3	1.687	5.2907	6.9777
140	361.3	0.00108	0.5089	588.74	1961.3	2550	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	415.4	0.001085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	475.8	0.001091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.2	2114.3	2746.5	1.8418	4.996	6.8379
155	543.1	0.001096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.901	6.7935

ที่มา: Cengel and Boles (1984)

ตารางผนวกที่ ค4 คุณสมบัติของสารละลาย น้ำ-ลิเธียมโบรไมด์ (ตาราง เอนโทรปี-อุณหภูมิ-ความเข้มข้น: s-T-X)

T (K)	เอนโทรปีของสารละลาย น้ำ-ลิเธียมโบรไมด์: s(kJ/kg.K)						
	X=40%	X=45%	X=50%	X=55%	X=60%	X=65%	X=70%
273.15	0.0916	0.0732	0.0574	0.0444	-	-	-
278.15	0.1326	0.1107	0.0917	0.0757	-	-	-
283.15	0.1740	0.1488	0.1267	0.1078	0.0982	-	-
288.15	0.2156	0.1872	0.1622	0.1406	0.1285	-	-
293.15	0.2570	0.2257	0.1979	0.1737	0.1592	-	-
298.15	0.2983	0.2641	0.2337	0.2070	0.1901	-	-
303.15	0.3393	0.3023	0.2693	0.2402	0.2212	0.2054	-
308.15	0.3798	0.3402	0.3046	0.2732	0.2521	0.2343	-
313.15	0.4199	0.3777	0.3397	0.3061	0.2828	0.2632	-
318.15	0.4596	0.4148	0.3744	0.3386	0.3133	0.2919	-
323.15	0.4987	0.4514	0.4087	0.3707	0.3435	0.3203	-
328.15	0.5374	0.4876	0.4426	0.4025	0.3734	0.3484	-
333.15	0.5755	0.5233	0.4761	0.4339	0.4029	0.3762	-
338.15	0.6131	0.5586	0.5092	0.4650	0.4321	0.4036	-
343.15	0.6503	0.5934	0.5418	0.4956	0.4609	0.4308	-
348.15	0.6870	0.6278	0.5741	0.5259	0.4894	0.4577	0.3982
353.15	0.7232	0.6618	0.6060	0.5559	0.5176	0.4842	0.4234
358.15	0.7590	0.6953	0.6375	0.5855	0.5454	0.5105	0.4482
363.15	0.7943	0.7285	0.6686	0.6147	0.5729	0.5365	0.4728
368.15	0.8292	0.7612	0.6992	0.6435	0.6001	0.5621	0.4971
373.15	0.8636	0.7934	0.7295	0.6720	0.6269	0.5874	0.5210

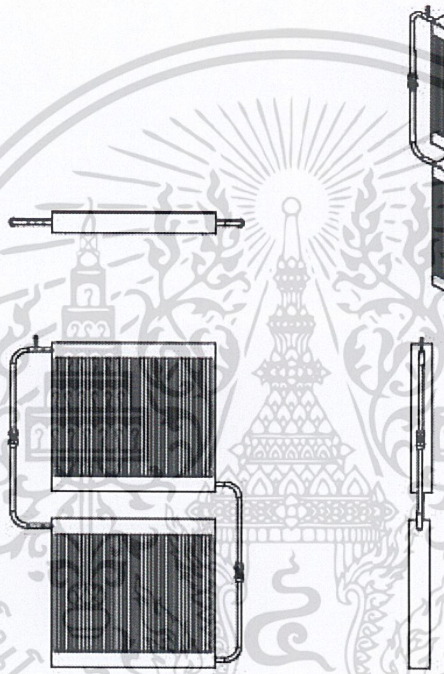
T: อุณหภูมิของสารละลาย (K), X: ความเข้มข้นของลิเธียมโบรไมด์ (%), s: เอนโทรปีของสารละลายลิเธียมโบรไมด์ (kJ/kg.K)

ที่มา: Jeter et al. (1992)



ภาคผนวก ง
การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:
DRAWN			**Design Thermosyphon For Small Building**
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A.	MATERIAL		DWG NO. Producl A4
	WEIGHT:		SCALE: 1:20 SHEET 1 OF 1