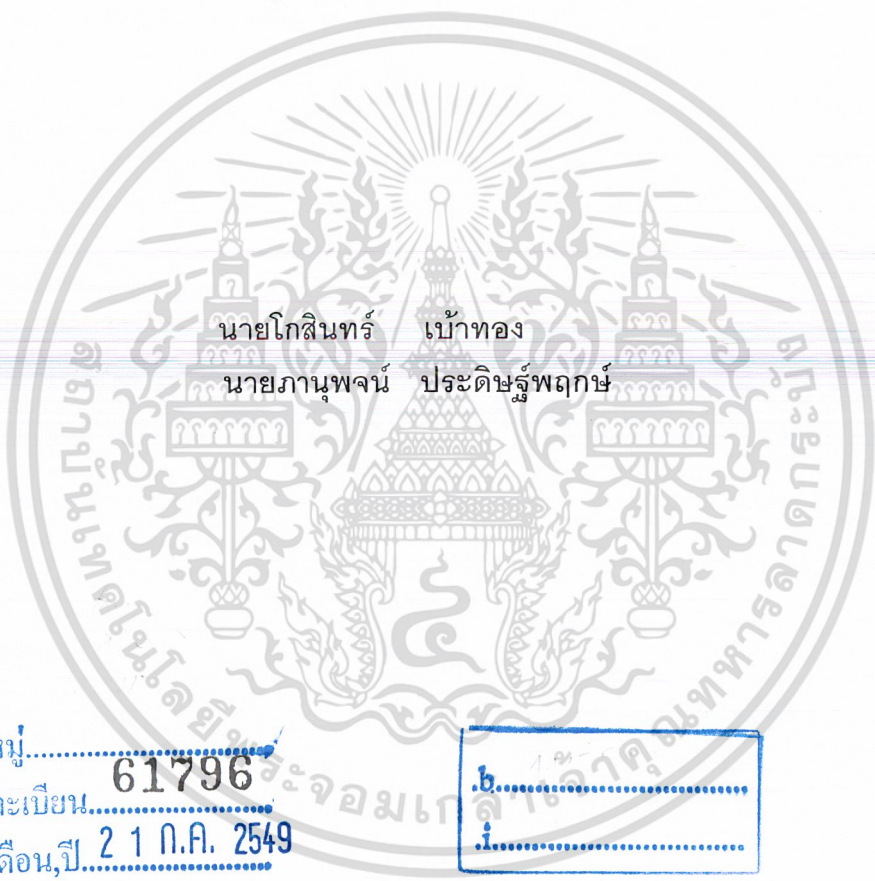


เครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการการดูดซับ

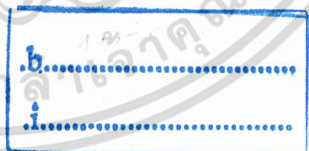


นายโกสินทร์ เบ้าทอง  
นายภาณุพนธ์ ประดิษฐ์พฤษัช

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

61796

21 ก.ค. 2549



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION SOLAR REFRIGERATOR



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง เครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการการดูดซับ  
โดย นายโกสินทร์ เป้าทอง  
นายภาณุพจน์ ประดิษฐ์พุกฤษ์  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์บุญชัย ไชติวิริยวาณิชย์

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ  
(อาจารย์บุญชัย ไชติวิริยวาณิชย์)

.....กรรมการ  
(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ  
(ดร.อภิรักษ์ นัมคณิสสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการการดูดซับ  
โดย นายโกสินทร์ เบ้าทอง รหัสประจำตัว 45015696  
นายภาณุพนธ์ ประดิษฐ์พิฤกษ์ รหัสประจำตัว 45015707  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์  
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการดูดซับ ตัวเครื่องประกอบด้วย แผงรับแสงอาทิตย์ชนิดลอนเหลี่ยม มีพื้นที่ในการรับแสง 1.41 ตารางเมตร เครื่องควบแน่นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำนิ่ง และ ห้องทำความเย็นขนาดความจุ 4 ลิตร ใช้ถ่านกำมันต์และเมธานอลเป็นคู่สารทำงานจากการทดสอบและเก็บข้อมูลเบื้องต้นเป็นเวลา 3 วัน พบว่าอุณหภูมิของแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ระหว่าง 83 ถึง 110 องศาเซลเซียส สามารถทำให้น้ำปริมาณ 4 ลิตร มีอุณหภูมิลดลงระหว่าง 6 ถึง 10 องศาเซลเซียส โดยที่เมื่ออุณหภูมิของแผงรับแสงอาทิตย์มีค่าสูง อุณหภูมิของน้ำก็จะลดลงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title    Adsorption Solar Refrigerator  
By                Mr. Kosin    Baothong    ID. 45015695  
                      Mr. Panupoj Praditpunk    ID.45015707  
Advisor        Mr. Boonchai Choitviriyavanit  
Report for     Bachelor Degree of Chemical Engineering  
                      Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering  
                      King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

This project aims to design and construct an adsorption solar refrigeration which has the following specification a folded plate solar collector of 1.41 m<sup>2</sup> surface area , a static water cooling condenser and a 4.5 liter capacity evaporator . Activation carbon acted as adsorbent where methanol was used as a refrigerant. Experimental data was collected during a 3 day test run period. It was found that the temperature of a solar collector varied from 83 – 110 degree Celcius during daytime. The refrigerator provided a cooling duty to reduce the temperature of a 4.5 liter water from 6 – 10 degree. Grater reduction of water temperature could be achived when the temperature of the solar collector increased.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงจะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์จาก ผู้มีอุปการะคุณหลายฝ่ายด้วยกัน ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้ให้เงิน สนับสนุนสำหรับโครงการบางส่วน

อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้แนวคิดและ ข้อเสนอแนะ ตลอดจนให้การเอาใจใส่ดูแลในการทำงานตลอดมา

ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับระบบทำความเย็น และแนวทางในการ แก้ไขปัญหาของโครงการ

คุณภัครโสภณ เกษราพงศ์ คุณอภิวัฒน์ ชินไย และทีมช่างเทคนิค บริษัท ศรวิศาล เกษรา จำกัด ที่ช่วยดำเนินการสร้างเครื่องทำน้ำแข็งพลังงานแสงอาทิตย์

บรรพคณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ตลอดมา ตั้งแต่ต้นจนถึง ปัจจุบัน

คณะผู้จัดทำ

นายโกสินทร์ เบ้าทอง

นายภาณุพงษ์ ประดิษฐ์พฤษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สัญลักษณ์.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 ระบบทำความเย็น.....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.3 การเลือกคู่สารทำงาน.....	9
บทที่ 3 หลักการทำงานและทฤษฎีการคำนวณทฤษฎีการคำนวณ.....	10
3.1 หลักการทำงานและเงื่อนไขของระบบทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	10
3.2 พลังงานความร้อนที่ต้องให้แผงรับแสงอาทิตย์.....	12
3.3 การคำนวณค่าภาระการทำความเย็น.....	14
3.4 ปริมาณเมธานอล และ ถ่านกัมมันต์.....	15
3.5 สมรรถนะของระบบ.....	16
บทที่ 4 ส่วนประกอบของระบบ.....	20
4.1 แผงรับแสงอาทิตย์.....	19
4.2 เครื่องควบแน่น.....	20
4.3 อีแวปโปเรเตอร์.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 วิธีดำเนินการทดสอบและผลการทดสอบ.....	24
5.1 วิธีเตรียมเครื่องทำความเย็นให้พร้อมที่จะทำงาน.....	24
5.2 การทดสอบเครื่องทำความเย็นที่สร้างขึ้น.....	24
5.3 ผลการทดสอบ.....	24
5.4 ผลการคำนวณ.....	31
บทที่ 6 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของระบบและข้อเสนอแนะ.....	32
6.1 สรุปผลการทดสอบ.....	32
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	32
เอกสารอ้างอิง.....	33
ภาคผนวก.....	36
ภาคผนวก ก. ผลการคำนวณ และการออกแบบ.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ระบบทำความเย็นแบบวัฏจักรอัดไอ..... 3
2.2	ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม..... 4
2.3	กระบวนการแยกสารทำความเย็น..... 6
2.4	กระบวนการดูดซับ..... 6
3.1	แผนภาพ P-T-x สำหรับคู่สารทำงานถ่านกัมมันต์-เมธานอล ..... 11
4.1	โครงสร้างเครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการดูดซับ.....18
4.2	โครงสร้างแผงรับแสงอาทิตย์..... 20
4.3	โครงสร้างของเครื่องควบแน่น..... 21
4.4	ส่วนประกอบของเครื่องควบแน่น..... 22
4.5	โครงสร้างคอยล์บรรจุน้ำทำความเย็น..... 23
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ( °ซ ) กับ เวลา (นาฬิกา) [วันอาทิตย์ที่ 17 เมษายน 2548]..... 26
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ( °ซ ) กับ เวลา (นาฬิกา) [วันจันทร์ที่ 18 เมษายน 2548] ..... 28
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ( °ซ ) กับ เวลา (นาฬิกา) [วันอังคารที่ 19 เมษายน 2548]..... 30
ก.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไอเมธานอลที่ออกมาจากแผงรับแสงอาทิตย์ ไปยังท่อ คอนเดนเซอร์..... 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5.1	ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบทำความเย็น[วันที่ 17 เมษายน 2548]	25
ตารางที่ 5.2	ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบทำความเย็น[วันที่ 18 เมษายน 2548]	27
ตารางที่ 5.3	ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบทำความเย็น[วันที่ 19 เมษายน 2548]	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สัญลักษณ์

COP	=	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น
$C_p$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ( kJ / kg . K )
$h_{ig}$	=	ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ
$H_1$	=	ค่าความร้อนที่ใช้แยกเมธานอลออกจากถ่านกัมมันต์ที่ $X_{max}$
$H_2$	=	ค่าความร้อนที่ใช้แยกเมธานอลออกจากถ่านกัมมันต์ที่ $X_{min}$
$k$	=	ค่าการนำความร้อนของวัสดุ ( kW / m.K )
$L_w$	=	ค่าความร้อนแฝงของน้ำ ( kJ / Kg )
$M$	=	มวลของสาร ( kg )
$P$	=	ความดัน ( bar )
$Q_1$	=	พลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นจาก $T_1$ เป็น $T_3$
$Q_2$	=	พลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของเมธานอลเพิ่มขึ้นจาก $T_1$ เป็น $T_2$
$Q_3$	=	พลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของเมธานอลเพิ่มขึ้นจาก $T_1$ เป็น $T_3$
$Q_4$	=	พลังงานความร้อนที่ใช้แยกเมธานอลออกจากถ่านกัมมันต์
$Q_5$	=	พลังงานความร้อนที่ทำให้แอสตนเลสมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก $T_1$ เป็น $T_4$
$Q_h$	=	พลังงานความร้อนทั้งหมดที่แผงรับแสงอาทิตย์ได้รับ
$Q_w$	=	พลังงานความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกเพื่อทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง
$Q_E$	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านผนังฉนวนห้องเย็นเข้ามา
$Q_{CU}$	=	อัตราความร้อนที่ดึงออกจากคอยล์ทองแดง
$Q_{Air}$	=	อัตราความร้อนที่ดึงออกจากอากาศที่อยู่ภายในห้องเย็น
$Q_{REF.L}$	=	ภาระการทำความเย็น
$R$	=	ค่าคงที่ของแก๊ส ( kJ / kg mol . K )
$T$	=	อุณหภูมิ ( k )
$t$	=	เวลา ( sec )
$V$	=	ปริมาตร ( $m^3$ )
$v$	=	ปริมาตรจำเพาะ ( $m^3 / kg$ )
$X$	=	ค่าความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สัญลักษณ์(ต่อ)

AC	=	ถ่านกัมมันต์
Air	=	อากาศ
C	=	คอนเดนเซอร์
Cu	=	ทองแดง
e	=	อีแวปอเรเตอร์
E	=	ฉนวน
I.B.	=	ห้องทำน้ำแข็ง
MAX	=	ค่าสูงสุด
MIN	=	ค่าต่ำสุด
ST	=	สแตนด์เลส
METH	=	เมธานอล
W	=	น้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันปัญหาเรื่องพลังงานนับว่าเป็นปัญหาสำคัญที่หลายประเทศต้องเผชิญ แหล่งพลังงานหลักที่มนุษย์ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้แก่ พลังงานจากฟอสซิล (น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน) พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานชีวมวล และ พลังงานธรรมชาติ (ลม น้ำ แสงอาทิตย์) นับจากอดีตพลังงานจากฟอสซิล เป็นพลังงานที่มนุษย์ได้นำขึ้นมาใช้งานเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ส่งผลให้ในปัจจุบันพลังงานจำพวกนี้มีปริมาณลดลงอย่างมากและมีราคาสูงขึ้น การรับมือกับสถานการณ์พลังงานที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ได้หลายแนวทาง เช่น การพัฒนาระบบการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้ง เพื่อการประหยัดพลังงาน อันจะนำมาสู่การใช้ประโยชน์จากพลังงานได้อย่างสูงสุด โดยเฉพาะปัจจุบันที่สภาวะแวดล้อมโลกถูกคุกคามอย่างมาก ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก การรณรงค์เพื่อป้องกันและลดภาวะที่สิ่งแวดล้อมจะถูกทำลายตลอดจนการรักษาสิ่งแวดล้อมที่ดีไว้ จึงเป็นเรื่องที่ควรได้รับการใส่ใจและปฏิบัติให้ได้ผลอย่างจริงจัง

พลังงานธรรมชาติ เป็นพลังงานจำพวกหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสำคัญเพราะเป็นแหล่งพลังงานทดแทนราคาถูก ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการจัดหา เป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และมีอยู่มากมายบนโลก พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานธรรมชาติประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ดี สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ โครงการนี้เป็นการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะทำการสร้างเครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอาศัยหลักการการดูดซับ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในสถานที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานและออกแบบสร้างเครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการการดูดซับ
2. เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องทำความเย็นที่สร้างขึ้น

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็นโดยใช้หลักการการดูดซับ
2. ออกแบบและสร้างเครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการการดูด

ซับซึ่งใช้ คู่สารทำงานคือ ถ่านกำมันต์ และเมธานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็น

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบทฤษฎี หลักการทำงานพื้นฐาน และการออกแบบสร้างเครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการการดูดซับ
2. สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับระบบทำความเย็น ทำให้ประหยัดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง และสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
3. สามารถนำไปใช้งานในสถานที่ ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

## ทฤษฎี

### 2.1 ระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันเพื่อประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมและเพื่อความสะอาดสบายสำหรับผู้อยู่อาศัย สามารถจำแนกเป็นประเภทได้ดังนี้

#### 2.1.1 ระบบทำความเย็นแบบวัฏจักรอัดไอ (Vapor compression refrigeration-system)

วัฏจักรการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบทำความเย็นแบบวัฏจักรอัดไอ

จากวัฏจักรการทำงานในรูปที่ 2.1

1-2 ไอเป็ยกที่สภาวะ 1 เข้าคอมเพรสเซอร์ และ ถูกอัดตัวแบบไอเซนโทรปิก ที่สภาวะ 2 งานที่ให้แก่ระบบมีค่า  ${}_1W_2$

2-3 ไอที่สภาวะ 2 เข้าคอนเดนเซอร์ จ่ายความร้อน  ${}_2Q_3$  สู่แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ และ ควบนั่นเป็นของเหลวที่สภาวะ 3 โดยอุณหภูมิและความดันคงที่

3-4 ของเหลวขยายตัวผ่าน เอ็กแพนชันวาล์ว (Expansion valve) มาที่สภาวะ 4 และ สร้างงานมีค่า  ${}_3W_4$

4-1 ของไหลเข้าอีแวปอเรเตอร์ รับความร้อน  ${}_4Q_1$  จากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของระบบทำความเย็นแบบวัฏจักรอัดไอ ไอสารทำความเย็นออกจากอีแวปอเรเตอร์ ถูกอัดด้วยคอมเพรสเซอร์ แล้วควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ ผ่านเอ็กแพนชันวาล์ว ความดันของสารทำความเย็นลดลง สามารถระเหยตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อไหลผ่านอีแวปอเรเตอร์ ก็จะดึงความร้อนออกจากห้องเย็นไปด้วย สมรรถนะของระบบ สามารถหาได้จากสมการ

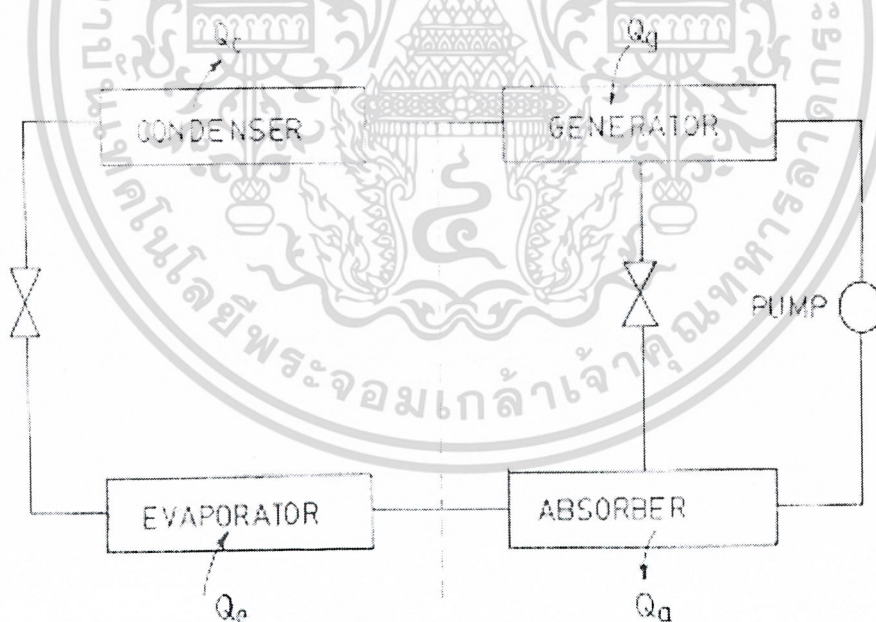
$$\text{COP} = T_1 / (T_2 - T_1) \quad (2.1)$$

ข้อดี คือ มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูง เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและได้รับความนิยมนำใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

ข้อเสีย คือ ต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็น มีสารทำความเย็นจำพวกคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFC) ซึ่งเป็นสารที่มีผลในการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศของโลก

### 2.1.2 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption refrigeration system)

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะใช้กระบวนการดูด และ คายสารทำความเย็น (Absorption and Desorption) แทนกระบวนการอัดตัวในคอมเพรสเซอร์ของระบบแบบวัฏจักรอัดไอ วัฏจักรการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

หลักการทำงาน สารทำความเย็นจากอีแวปอเรเตอร์ จะถูกดูดซึมโดยสารตัวกลางซึ่งเป็นของเหลว ที่อยู่ภายในชุดดูดซึม (adsorber) โดยปกติเมื่อมีการผสมตัวจะเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนเกิดขึ้นและสูญเสียให้แก่สิ่งแวดล้อม  $Q_u$  ของผลสมจะถูกบีบไปที่เจนเนอเรเตอร์เพื่อรับความร้อน  $Q_g$  หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะแยกตัวและผ่านการควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ โดยความร้อน  $Q_c$  จะออกสู่สิ่งแวดล้อม ขณะเดียวกัน ความดันของของผลสมที่เจนเนอเรเตอร์จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อลดความดันมาที่ชุดดูดซึม ของเหลวที่ออกจากคอนเดนเซอร์ ก็จะถูกลดความดันมาที่อีแวปอเรเตอร์ และรับความร้อน  $Q_e$  จากนั้นสารทำความเย็นจะถูกดูดซึมและผสมกับของผลสมที่ความเข้มข้นสูงอีกครั้ง สมรรถนะของระบบสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{COP} = Q_e / Q_g \quad (2.2)$$

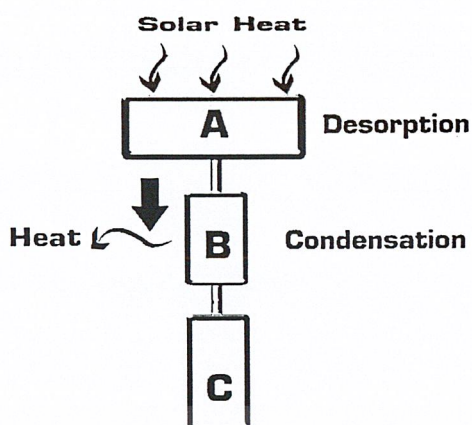
ข้อดี คือ สามารถนำพลังงานที่ทิ้งแล้วมาใช้ได้ หรือ ใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์ก็ได้

ข้อเสีย คือ มีอุปกรณ์มาก สมรรถนะที่ต่ำกว่าสารดูดกลืนบางส่วนระเหยไปกับสารทำความเย็น และ ไม่สามารถแยกสารทำความเย็นออกจากสารดูดกลืนได้หมด

### 2.1.3 ระบบทำความเย็นแบบดูดซับ (Adsorption Refrigeration System)

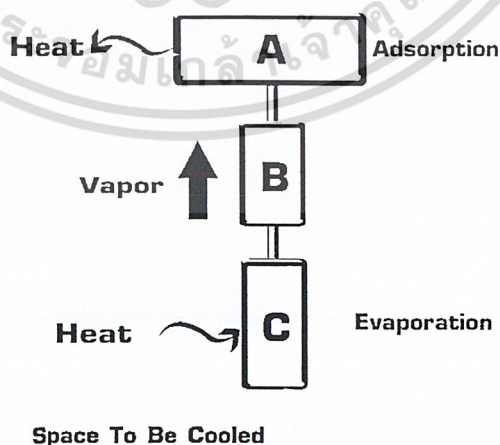
ระบบทำความเย็นแบบดูดซับ เป็นระบบทำความเย็นที่มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration) แตกต่างกันที่สารตัวกลางที่จะทำให้สารทำความเย็นมาดูดซับเป็นของแข็งที่มีรูพรุนสูง ซึ่งจะสามารถดูดซับสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะก๊าซได้ ของแข็งที่มีรูพรุนสูงนี้เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) สารดูดซับที่นิยมใช้งานกันมากคือ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซิลิกาเจล (Silica gel) และซีโอไลต์ (Zeolite) ส่วนสารทำความเย็น (Refrigerant) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารถูกดูดซับ (Adsorbate) จะเป็นของเหลว เช่น เมทานอล เอทานอล น้ำ เป็นต้น โดยเรียกสารดูดซับและสารทำความเย็น ในระบบทำความเย็นแบบดูดซับ ว่า “คู่สารทำงาน” การทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการดูดซับ เป็นลักษณะหนึ่งของระบบทำความเย็นแบบดูดซับ หลักการอย่างง่ายแสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4 ระบบจะประกอบไปด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) ซึ่งภายในมีสารคู่สารทำงานบรรจุอยู่ (สารดูดซับ + สารทำความเย็น) เมื่อแผงรับรังสีได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ความร้อนส่วนนี้จะไปทำให้สารทำความเย็นแยกตัวออกมาจากสารดูดซับ ซึ่งไอของสารทำความเย็นที่แยกตัวออกมาจะถูกควบแน่น แล้วไหลลงสู่อีแวปอเรเตอร์ (Evaporator) กระบวนการที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เรียกว่า กระบวนการแยกสารทำความเย็น (Desorption-process) ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในเวลากลางวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กระบวนการแยกสารทำความเย็น

เมื่อกระบวนการแยกสารทำความเย็นออกจากสารดูดซับสิ้นสุดลง จากนั้นทำการระบายความร้อนออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ เพื่อให้อุณหภูมิของสารดูดซับเย็นตัวลง ส่งผลให้สารทำความเย็นที่อยู่ภายในอีแวปอเรเตอร์ (Evaporator) ระเหยกลายเป็นไอไปยังสารดูดซับที่บรรจุอยู่ภายในแผงรับแสงอาทิตย์อีกครั้งซึ่งในขณะที่สารทำความเย็นระเหยตัวนั้น มันจะดูดเอาความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบๆ อีแวปอเรเตอร์ออกไปด้วย ซึ่งก็คือห้องทำความเย็นนั่นเอง ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องทำความเย็นลดต่ำลง เรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ว่า กระบวนการดูดซับ (Adsorption process) หรือกระบวนการทำความเย็น (Refrigeration process) กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในเวลากลางวัน



รูปที่ 2.4 กระบวนการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำสารดูดซับและสารถูกดูดซับมาใช้เป็นคู่สารทำงานในระบบทำความเย็นแบบดูดซับ ได้มีการศึกษาวิจัยโดยใช้คู่สารทำงานหลายชนิดด้วยกันดังนี้

- Tehernev, D. J. [1] ได้ทำการศึกษาระบบทำความเย็นโดยใช้ ซีโอไลต์ กับน้ำ เป็นคู่สารทำงานโดยมีแผงรับแสงอาทิตย์เป็นแบบแผ่นเรียบ (Flat – plate collector) จากการทดสอบระบบทำความเย็นนี้ ไอของสารทำความเย็น (น้ำ) จะถูกดูดซับโดยซีโอไลต์มากที่สุดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ตารางเมตร พลังงานที่รับจากแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 6 กิโลวัตต์ ใน 1 วันสามารถผลิตน้ำแข็งได้ 9 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ตารางเมตร

- Chang and Roux [2] ได้ศึกษาระบบทำความเย็น โดยใช้คู่สารทำงานเป็น ซีโอไลต์ กับน้ำ เป็นการศึกษาในเชิงเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งได้กราฟที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน อุณหภูมิ และ ความเข้มข้น (P -T- x) ของคู่สารทำงาน ซีโอไลต์-น้ำ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งจากการทดลองพบว่าระบบนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการทำความเย็นสูงถึง 0.4 เมื่ออุณหภูมิในการแยกสารทำความเย็นออกจากตัวดูดซับมีอุณหภูมิสูงถึง 120 องศาเซลเซียส

- Pons and Guillem [3] ได้ศึกษาและทดลองระบบทำน้ำแข็งจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้กระบวนการดูดซับซึ่งมีถ่านกัมมันต์กับเมธานอลเป็นคู่สารทำงาน ตัวเครื่องประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์แบบราบเรียบที่มีพื้นที่รับแสง 6 ตารางเมตร สามารถทำอุณหภูมิได้ -3 องศาเซลเซียส และทำน้ำแข็งได้มากถึง 35 กิโลกรัมต่อวัน

- Critoph and Vogel [4] ได้ศึกษาวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซับ โดยทดสอบคู่สารทำงานหลายชนิดในระบบทำความเย็นเช่น ใช้สารดูดซับเป็นซีโอไลต์ และถ่านกัมมันต์ และใช้สารทำความเย็นเป็น R-11 , R-22 , R-114 เป็นต้น เพื่อหาคู่สารทำงานที่เหมาะสม จากผลการทดสอบพบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์กับ R-22 เป็นคู่สารทำงานที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการทำความเย็นดีที่สุดเท่ากับ 0.2 ต่อมา Critoph ได้ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับเพียงอย่างเดียวและเลือกใช้สารทำความเย็นหลายชนิดมาทำการทดสอบและพบว่าคู่สารทำงานที่ดีที่สุดคือ ถ่านกัมมันต์กับเมธานอล โดยให้ค่า สัมประสิทธิ์ของการทำความเย็นสูงมากถึง 0.5

- A. Boubakri [13] ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องทำน้ำแข็งจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้กระบวนการดูดซับมี ถ่านกัมมันต์ กับ เมธานอลเป็นคู่สารทำงาน ซึ่งใช้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 ตารางเมตร บรรจุถ่านกัมมันต์จำนวน 20 กิโลกรัม จากการทดสอบเครื่องทำน้ำแข็งพบว่าเครื่องสามารถผลิตน้ำแข็งได้ 6 กิโลกรัมต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- L.W. Wang, R.Z. Wang , J.Y. Wu , K. Wang and S.G. Wang [11] ทำการทดลองระบบทำน้ำแข็งที่ใช้ความร้อนจากไอเสียของเครื่องยนต์ในเรือประมงเพื่อใช้ทำน้ำแข็งในการแช่สัตว์น้ำที่จับมาได้ โดยใช้กระบวนการดูดซับ ซึ่งได้ทำการเลือกคู่สารทำงาน หลาย ๆ ชนิดมาทำการทดสอบดูว่าคู่สารทำงานคู่ไหนเหมาะสมกับระบบมากที่สุด พบว่า ถ่านกัมมันต์กับเมธานอล เป็นคู่สารทำงานที่เหมาะสมกับระบบมากที่สุด โดยการใช้ไอเสียของเครื่องยนต์ไปต้มน้ำให้ร้อนเพื่อเป็นแหล่งความร้อนให้กับระบบ

- E. E. Anyanwu and C.I. Ezekwe [12] ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้กระบวนการดูดซับมีถ่านกัมมันต์ กับ เมธานอล เป็นคู่สารทำงานซึ่งใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบราบเรียบขนาด 1.2 ตารางเมตร จากการทดสอบพบว่าสามารถทำความเย็นได้ 3 องศาเซลเซียส เขาได้นำเครื่องนี้ไปใช้ในการเก็บเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ ในหมู่บ้านที่อยู่ห่างไกลความเจริญ

- Grenire and Pons [5] ได้ทำการศึกษาระบบทำความเย็นแบบดูดซับ ในการทำน้ำแข็งจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการทำความเย็น ของระบบเท่านั้น ไม่ได้มีการสร้างตัวเครื่องขึ้นมาเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการทำความเย็นระหว่างคู่สารทำงาน 2 ชนิด คือ ซีโอไลต์กับน้ำ และ ถ่านกัมมันต์กับเมธานอล ซึ่งปรากฏว่าถ่านกัมมันต์กับเมธานอลให้ค่า COP ที่ดีกว่า

- Brandon [7] ได้ศึกษาระบบทำความเย็น ซึ่งได้มีการออกแบบระบบให้มีการทำงานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดการทำทำความเย็นอย่างต่อเนื่อง มี ซีโอไลต์กับ น้ำ เป็นคู่สารทำงาน แต่ระบบนี้ต้องมีแหล่งให้พลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส

- Ariyadasa [6] ได้ศึกษาระบบทำน้ำแข็งแบบดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่มีแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 ตารางเมตร ใช้ถ่านกัมมันต์ กับ R-114 เป็นคู่สารทำงาน ซึ่งสามารถผลิตน้ำแข็งได้ประมาณ 1 กิโลกรัมต่อวัน

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเราพบว่าข้อดีของระบบทำความเย็นแบบดูดซับเมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม คือ

1. พลังงานที่จะนำมาใช้ในระบบเป็นพลังงานคุณภาพต่ำซึ่งอาจจะใช้พลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งอยู่แล้วในอุตสาหกรรมนอกเหนือจากพลังงานแสงอาทิตย์
2. มีการใช้กำลังงานในการทำให้คู่สารทำงานในระบบหมุนเวียนไม่มากเกินไป
3. มีอุปกรณ์ในระบบน้อยชิ้น ไม่สลับซับซ้อนมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม
4. สามารถแยกสารทำความเย็นออกจากสารดูดซับได้มากกว่าระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

ซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การเลือกคู่สารทำงาน

จากการศึกษางานวิจัยเปรียบเทียบระบบทำความเย็นแบบดูดซับโดยใช้คู่สารทำงานชนิดต่างๆ เช่น ถ่านกัมมันต์-เมธานอล ถ่านกัมมันต์-เอทานอล ซีโอไลต์-น้ำ และซิลิกาเจล-น้ำ เป็นต้น พบว่าคู่สารทำงานที่มีลักษณะเหมาะสมกับเครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะดำเนินการสร้างขึ้น คือ ถ่านกัมมันต์-เมธานอล เพราะว่า

1. ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติการดูดซับที่ดีคือ มีรูพรุนสูง
2. ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่ราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับสารดูดซับชนิดอื่น เช่น ซีโอไลต์ ซิลิกาเจล เป็นต้น
3. ถ่านกัมมันต์ สามารถผลิตขึ้นเองได้ภายในประเทศไทย
4. เมธานอลสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส (จุดเยือกแข็งของเมธานอลเท่ากับ -94 องศาเซลเซียส)
5. เมธานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอค่อนข้างสูง (ประมาณ 1200 กิโลจูล ต่อ กิโลกรัมที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส)
6. เมธานอลมีขนาดโมเลกุลค่อนข้างเล็ก (4 อังสตรอม) ทำให้สามารถถูกดูดซับภายในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ดี (เมธานอลสามารถถูกดูดซับได้ภายในรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 20 อังสตรอม)
7. เมธานอลมีจุดเดือดประมาณ 65 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศซึ่งเป็นจุดเดือดที่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง

นอกเหนือจากคุณสมบัติที่ดีดังกล่าวของคู่สารทำงาน ผู้ออกแบบยังพิจารณาถึงคุณสมบัติด้านอื่นๆอีกด้วย เช่น การกัดกร่อนต่อโลหะ ความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสภาพบรรยากาศของโลก ผู้ออกแบบให้ความสำคัญกับคุณสมบัติความเป็นพิษของสารทำความเย็นเป็นอย่างมาก เพราะว่าสารทำความเย็นที่ได้รับความนิยมใช้งานกันมากในปัจจุบันสำหรับระบบทำความเย็น คือ สารทำความเย็นจำพวกคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFC<sub>s</sub>) ซึ่งเป็นสารที่มีผลในการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### หลักการทางานและทฤษฎีการคำนวณ

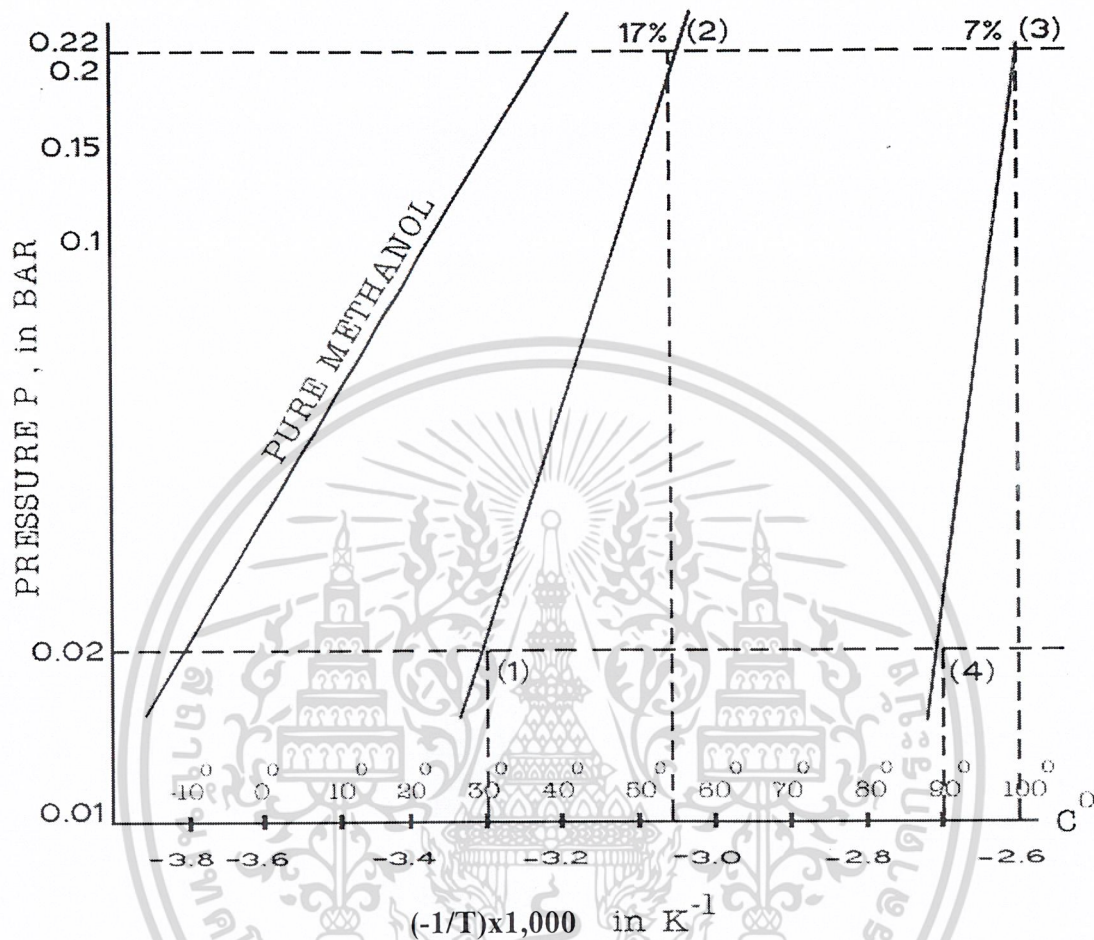
#### 3.1 หลักการทางานและเงื่อนไขของระบบทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

หลักการทางานของระบบทำความเย็นโดยใช้หลักการการดูดซับ สำหรับคู่สารทางาน ถ่านกัมมันต์ – เมธานอล สามารถอธิบายโดยใช้แผนภาพ P-T-x ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ระบบจะเริ่มต้นที่ตำแหน่ง (1) อยู่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 0.02 บาร์ คู่สารทางานในระบบ คือ ถ่านกัมมันต์ – เมธานอล ซึ่งจะมีความเข้มข้นสูงสุด ( $X_{max}$ ) เท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์ โดยที่หน่วยของความเข้มข้นของคู่สารทางานในระบบ คือ น้ำหนักของเมธานอล หารด้วย น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (kg Methanol/kg Activated carbon) ดังจุดที่ 1 ในรูปที่ 3.1

เมื่อแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งภายในมีตัวดูดซับบรรจุอยู่ เริ่มรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน ซึ่งแผงรับแสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิที่ด้านข้างทุกด้าน และด้านล่าง เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ ส่วนที่ด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์จะติดตั้งกระจก 2 ชั้น ทำหน้าที่รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ เมื่อเวลาผ่านไปจะทำให้แผงรับแสงอาทิตย์ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้ความดันภายในแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นด้วย เมื่ออุณหภูมิภายในแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นถึง 54 องศาเซลเซียส ความดันของระบบจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.22 บาร์ ดังตำแหน่งที่ (2) ที่จุดนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการแยกสารทำความเย็น (Desorption process) เมธานอลจะเริ่มแยกตัวออกจากถ่านกัมมันต์ ที่ความดันคงที่ที่ 0.22 บาร์ เมื่อแผงรับแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมธานอลจะแยกตัวออกจากถ่านกัมมันต์มากขึ้น ในตอนนี้ความเข้มข้นของคู่สารทางาน ถ่านกัมมันต์ – เมธานอล จะเริ่มลดลงตามลำดับ จนกระทั่งอุณหภูมิของแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียสที่จุดนี้ความเข้มข้นของคู่สารทางาน ถ่านกัมมันต์ – เมธานอล จะลดลงเหลือ 7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นต่ำสุดของคู่สารทางานในระบบ ( $X_{min}$ ) คือจุดที่ 3 จากแผนภูมิ P-T-x เมธานอลที่แยกตัวออกจากถ่านกัมมันต์ จะถูกควบแน่นที่เครื่องควบแน่นกลายเป็นของเหลวและไหลลงสู่คอยล์บรรจุสารทำความเย็น ซึ่งอยู่ภายในห้องทำน้ำเย็น

เมื่อแสงแดดเริ่มอ่อนลงในตอนบ่าย จะทำการเปิดฉนวนกันความร้อนและกระจกที่ติดตั้งอยู่กับแผงรับแสงอาทิตย์ออก เป็นการระบายความร้อนออกจากแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อให้อุณหภูมิของถ่านกัมมันต์ลดลง ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไปนี้จะทำให้อุณหภูมิของถ่านกัมมันต์ซึ่งอยู่ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ลดลงจาก 100 องศาเซลเซียส เป็น 89 องศาเซลเซียส คือจุด 4 ใน

ระหว่างที่อุณหภูมิภายในแผงรับแสงอาทิตย์ลดลงนี้ ความดันของระบบก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว จาก 0.22 บาร์ เหลือความดัน 0.02 บาร์



รูปที่ 3.1 แผนภาพ P-T-X สำหรับคูสารทำงานถ่านกัมมันต์-เมทานอล [15]

เมื่อถึงกระบวนการทำความเย็น ความดันภายในระบบจะลดลงเหลือ 0.02 บาร์ที่ความดันนี้ เมทานอลจะอยู่ในสถานะของเหลวอิ่มตัวที่อุณหภูมิ  $-10$  องศาเซลเซียสเมื่อเมทานอลที่ถูกเก็บภายในคอยล์ ได้รับความร้อนจากห้องทำน้ำแข็ง มันจะสามารถระเหยตัวเป็นไอภายใต้ อุณหภูมิต่ำและถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่อยู่ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ตามเดิม เรียกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ก็คืออย่างหนึ่งว่า กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process) กระบวนการดูดซับจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆโดยที่ความดันจะคงที่และอุณหภูมิของถ่านกัมมันต์ที่อยู่ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ในขณะที่เกิดกระบวนการดูดซับจะเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศคือประมาณ  $30$  องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการดูดซับ หรือ กระบวนการทำความเย็นนี้ จะใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ซึ่งจะเป็นการทำงานในตอนกลางคืน เมื่อกระบวนการทำความเย็นสิ้นสุดลงเราก็จะได้น้ำเย็นปริมาณหนึ่ง การทำงานของระบบจะสามารถเริ่มต้นทำงานได้ใหม่อีกครั้งในตอนเช้าของวันต่อไป

### 3.2 พลังงานความร้อนที่ต้องให้กับแผงรับแสงอาทิตย์

พลังงานที่ต้องให้กับแผงรับแสงอาทิตย์ [7] คือ พลังงานที่ใช้ในขบวนการผลิตสารทำความเย็นในระบบ (เมธานอล) เพื่อที่จะทำให้สารทำความเย็นแยกตัวออกจากสารดูดซับ (ถ่านกัมมันต์) ให้ได้ตามปริมาณที่ต้องใช้ในการทำความเย็นพิจารณารูปที่ 3.1 พลังงานส่วนนี้จะประกอบไปด้วย

3.2.1 พลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นจาก  $T_1$  (ตำแหน่ง 1) เป็น  $T_3$  (ตำแหน่ง 3)

$$Q_1 = M_{AC} C_{P_{AC}} (T_3 - T_1) \quad (3.1)$$

เมื่อ  $M_{AC}$  = มวลของถ่านกัมมันต์ที่อยู่ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ (kg)

$C_{P_{AC}}$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของถ่านกัมมันต์ (kJ/kg.K) เท่ากับ 0.7 kJ/kg.K

3.2.2 พลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของเมธานอลเพิ่มขึ้นจาก  $T_1$  เป็น  $T_2$

$$Q_2 = M_{AC} C_{P_{METH}} X_{max} (T_2 - T_1) \quad (3.2)$$

เมื่อ  $C_{P_{METH}}$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเมธานอลที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $T_1$  กับ  $T_2$  (kJ/kg.K)

$X_{MAX}$  = ค่าความเข้มข้นสูงสุดของคู่สารทำงาน (kg<sub>METH</sub>/kg<sub>AC</sub>)

3.2.3 พลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของเมธานอลเพิ่มขึ้นจาก  $T_2$  เป็น  $T_3$

$$Q_3 = M_{AC} C_{P_{METH}} \left( \frac{X_{max} + X_{min}}{2} \right) (T_3 - T_2) \quad (3.3)$$

เมื่อ  $C_{P_{METH}}$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเมธานอล ที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่  $T_2$  กับ  $T_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 ความร้อนที่ใช้แยกเมธานอลออกจากถ่านกัมมันต์

จากสมการของคลอเซียส แคลปรีลอน (Clausius – clapeyron equation) ที่ความเข้มข้นคงที่  $X_{\max}$  ความร้อนที่ใช้แยกเมธานอลออกจากถ่านกัมมันต์ เท่ากับ  $H_1$  และที่เส้นความดันคงที่  $X_{\min}$  ความร้อนที่ใช้แยกเมธานอลออกจากถ่านกัมมันต์ เท่ากับ  $H_2$

$$H_1 = M_{AC} (X_{\max} - X_{\min}) \left( \frac{R}{M} \right) \left[ \frac{T_1 T_2}{(T_2 - T_1)} \right] \ln \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \quad (3.4)$$

$$H_2 = M_{AC} (X_{\max} - X_{\min}) \left( \frac{R}{M} \right) \left[ \frac{T_3 T_4}{(T_4 - T_3)} \right] \ln \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \quad (3.5)$$

$$Q_4 = \left( \frac{H_1 + H_2}{2} \right) \quad (3.6)$$

ดังนั้น

$$Q_4 = \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R M_{AC}}{M} \right) (X_{\max} - X_{\min}) \left[ \frac{T_1 T_2}{(T_2 - T_1)} + \frac{T_3 T_4}{(T_3 - T_4)} \right] \ln \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \quad (3.7)$$

เมื่อ  $M$  = มวลโมเลกุลของเมธานอล = 32.04 kg/kg.mol

$R$  = ค่าคงที่ของแก๊ส = 8.314 kJ/kg.mol.K

### 3.2.5 ความร้อนที่ทำให้แอสเทนเลสมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก $T_1$ เป็น $T_3$

$$Q_5 = M_{ST} C_{p_{ST}} (T_3 - T_1) \quad (3.8)$$

เมื่อ  $M_{ST}$  = มวลของแอสเทนเลส (kg)

$C_{p_{ST}}$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของแอสเทนเลส (kJ/kg.K)

จะได้ว่า พลังงานความร้อนที่ให้กับแผงรับแสงอาทิตย์ทั้งหมดมีค่าเป็น

$$Q_n = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การคำนวณค่าภาระการทำความเย็น (Refrigeration Load; $Q_{REF,L}$ )

ภาระการทำความเย็นจะเป็นการคำนวณค่าพลังงานความร้อนจากส่วนต่างๆที่ต้องนำออกจากห้องทำความเย็นซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. ความร้อนที่มาจากน้ำ หรือ วัสดุสินค้า ต่าง ๆ ที่ต้องการแช่เย็น (Product Loads)
2. การนำความร้อนจากอากาศภายนอกผ่านผนังฉนวนเข้ามายังห้องทำความเย็น (Envelope Load)
3. ความร้อนที่มาจากอากาศภายนอกผ่านตามรอยแยก หรือ เมื่อมีการเปิด-ปิดประตูห้องเย็น (Air Change Load)
4. ความร้อนจากส่วนอื่น ๆ ที่อยู่ภายในห้องทำความเย็น เช่น หลอดไฟ (Miscellaneous Load) เป็นต้น

ในการออกแบบห้องเย็นนั้น ผู้ออกแบบจะต้องคิดค่าความร้อนดังกล่าวทั้งหมด แต่ในบางกรณีความร้อนจากบางแหล่งอาจมีค่าน้อยมากหรือไม่มีเลย เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอื่น ๆ ก็ไม่ต้องนำมาคิด ในการออกแบบครั้งนี้ผู้ออกแบบจะคิดค่าภาระการทำความเย็นจากส่วนต่าง ๆ ประกอบไปด้วย

#### 3.3.1 อัตราความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกเพื่อทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเย็น

$$Q_w = \left( \frac{M_w}{t} \right) (C_{p_w} \Delta T + L_w) \quad (3.10)$$

เมื่อ  $M_w$  = มวลของน้ำ (kg)

$t$  = เวลาที่ใช้ในการทำน้ำแข็ง (Sec)

$C_{p_w}$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.19 kJ/kg.K

$\Delta T$  = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น และ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (K)

$L_w$  = ค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำ = 335 kJ/kg

#### 3.3.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านผนังฉนวนห้องเย็นเข้ามา

$$Q_E = \left( \frac{K_E A_E}{L_E} \right) \Delta T \quad (3.11)$$

เมื่อ  $K_E$  = ค่าการนำความร้อนของฉนวนโพลียูรีเทน =  $2.5 \times 10^{-5}$  Kw/m.K

$A_E$  = พื้นที่ผิวภายนอกของห้องเย็น ( $m^2$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$L_E$  = ความหนาของผนังฉนวนของห้องเย็น (m)

$\Delta T$  = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอก กับ ภายในห้องเย็น K หรือ °C

### 3.3.3 อัตราความร้อนที่ต้องดึงออกจากอีแวปอเรเตอร์

$$Q_{CU} = \left( \frac{M_{cu}}{t} \right) C p_{cu} \Delta T \quad (3.12)$$

เมื่อ  $M_{cu}$  = มวลของอีแวปอเรเตอร์ (kg)

$t$  = เวลาที่ใช้ในการทำน้ำแข็ง (Sec)

$C p_{cu}$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของทองแดง = 0.3834 kJ/kg.K

$\Delta T$  = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิต่ำสุดท้ายของทองแดง (K)

ดังนั้นจะได้ว่าภาระการทำความเย็นภายในระบบมีค่าเท่ากับ

$$Q_{REFL} = Q_W + Q_E + Q_{CU} \quad (3.13)$$

เมื่อได้ผลรวมค่าภาระการทำความเย็นจากส่วนต่างๆ แล้ว ( $Q_{REFL}$ ) ผู้ออกแบบจะต้องเพิ่มค่าความปลอดภัย (Safety Factor) อีกประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ประกอบในการคำนวณ โดยทั่วไปจะใช้ค่าความปลอดภัยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะได้ว่า

$$Q_{REFL} \text{ (ใช้งานจริง)} = 1.1 \times Q_{REFL} \quad (3.14)$$

### 3.4 ปริมาณเมธานอล และ ถ่านกัมมันต์

เมธานอลที่ถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในแผงรับแสงอาทิตย์ เมื่อแผงรับแสงอาทิตย์ได้รับพลังงานความร้อน เมธานอลส่วนหนึ่งจะแยกตัวออกจากถ่านกัมมันต์ ผ่านการควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ ไหลลงสู่อีแวปอเรเตอร์ ขณะเดียวกันเมธานอลอีกส่วนหนึ่งจะยังคงดูดซับอยู่กับถ่านกัมมันต์ ปริมาณเมธานอลที่อยู่ภายในอีแวปอเรเตอร์ซึ่งถูกใช้ในการทำความเย็นสามารถหาได้จาก

$$M_{\text{METH}} = \frac{Q_{\text{REF.L}}}{(h_{fg} \cdot T_e)} \quad (3.15)$$

เมื่อ  $M_{\text{METH}}$  = ปริมาณเมธานอลที่อยู่ภายในอีแวปอเรเตอร์ (Kg)

$Q_{\text{REF.L}}$  = ค่าภาระการทำความเย็น (KJ)

$h_{fg} \cdot T_e$  = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของเมธานอลที่อุณหภูมิอิ่มตัว  
 $T_e$  (kJ/kg)

3.4.1 ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ต้องบรรจุลงในแผงรับแสงอาทิตย์สามารถหาได้จาก

$$M_{\text{AC}} = \frac{M_{\text{meth}}}{(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})} \quad (3.16)$$

เมื่อ  $M_{\text{AC}}$  = ปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ต้องบรรจุลงในแผงรับแสงอาทิตย์ (kg)

$X_{\text{MAX}}$  = ค่าความเข้มข้นสูงสุดของคู่สารทำงาน ( $\text{kg}_{\text{METH}}/\text{kg}_{\text{AC}}$ )

$X_{\text{MIN}}$  = ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของคู่สารทำงาน ( $\text{kg}_{\text{METH}}/\text{kg}_{\text{AC}}$ )

ปริมาณเมธานอลทั้งหมดที่ต้องบรรจุเข้าไปในระบบสามารถหาได้จาก

$$M_T = M_{\text{AC}} \cdot X_{\text{max}} \quad (3.17)$$

เมื่อ  $M_T$  = ปริมาณเมธานอลทั้งหมดที่ต้องบรรจุเข้าไปในระบบ (kg)

### 3.5 สมรรถนะของระบบ (Coefficient of Performance , COP)

เป็นค่าแสดงอัตราส่วนระหว่าง ค่าภาระการทำความเย็น กับ ค่าพลังงานความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ผู้ออกแบบได้แบ่งการคำนวณค่าสมรรถนะของระบบออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.5.1 ค่าสมรรถนะของระบบทางอุณหพลศาสตร์

$$\text{COP} = \frac{T_c(T_3 - T_c)}{T_3(T_c - T_c)} \quad (3.18)$$

เมื่อ  $T_c$  = อุณหภูมิของเมธานอลที่ควบแน่นออกจากคอนเดนเซอร์ (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_e$  = อุณหภูมิอิ่มตัวของไอเมธานอลที่ระเหยออกจากอีแวปอเรเตอร์ (K)

$T_s$  = อุณหภูมิสูงสุดของคู่สารทำงานที่อยู่ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ (K)

### 3.5.2 ค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากการคำนวณ

$$\text{COP} = \frac{\text{ค่าภาระการทำความร้อน}}{\text{ปริมาณความร้อนที่แผงรับรังสีได้รับ}}$$

หรือ

$$\text{COP} = \frac{\text{ค่าภาระการทำความร้อน}}{\text{ปริมาณการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์}}$$



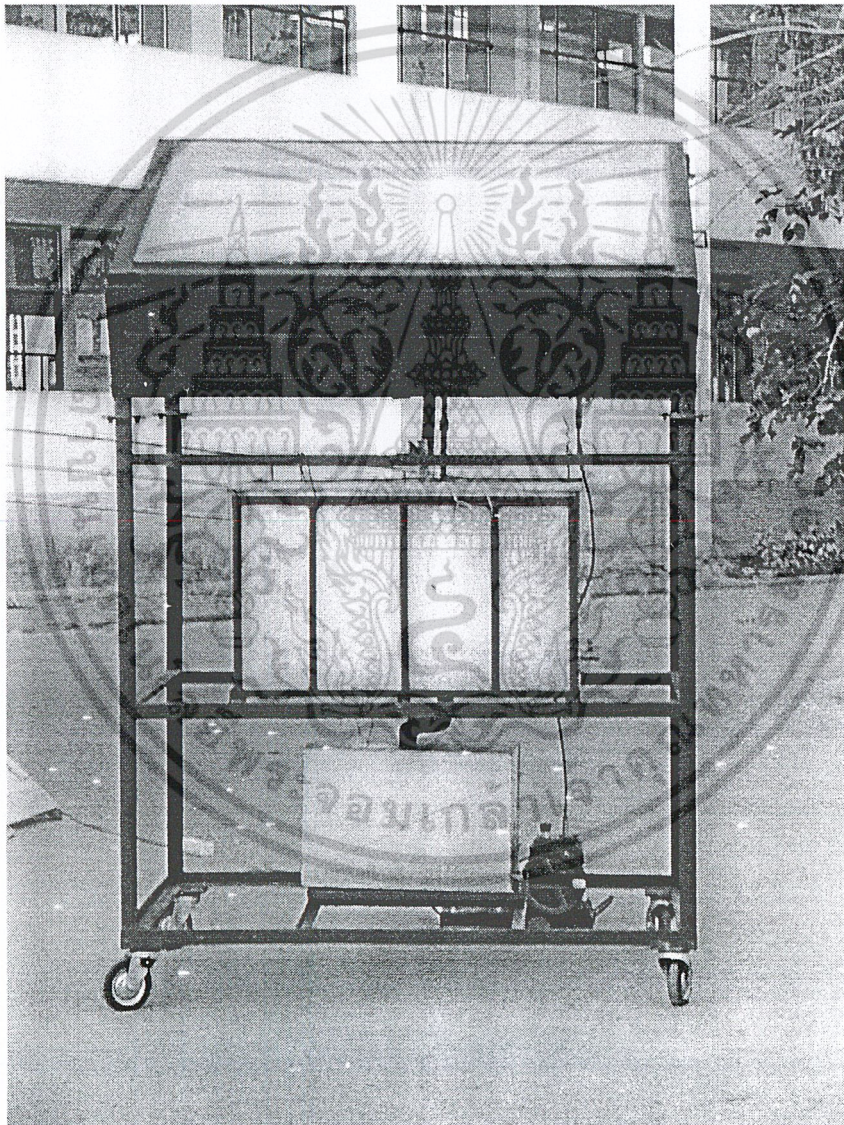
61796

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ส่วนประกอบของระบบ

เครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการดูดซับ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ แผงรับแสงอาทิตย์ เครื่องควบแน่น และ อีแวปอเรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



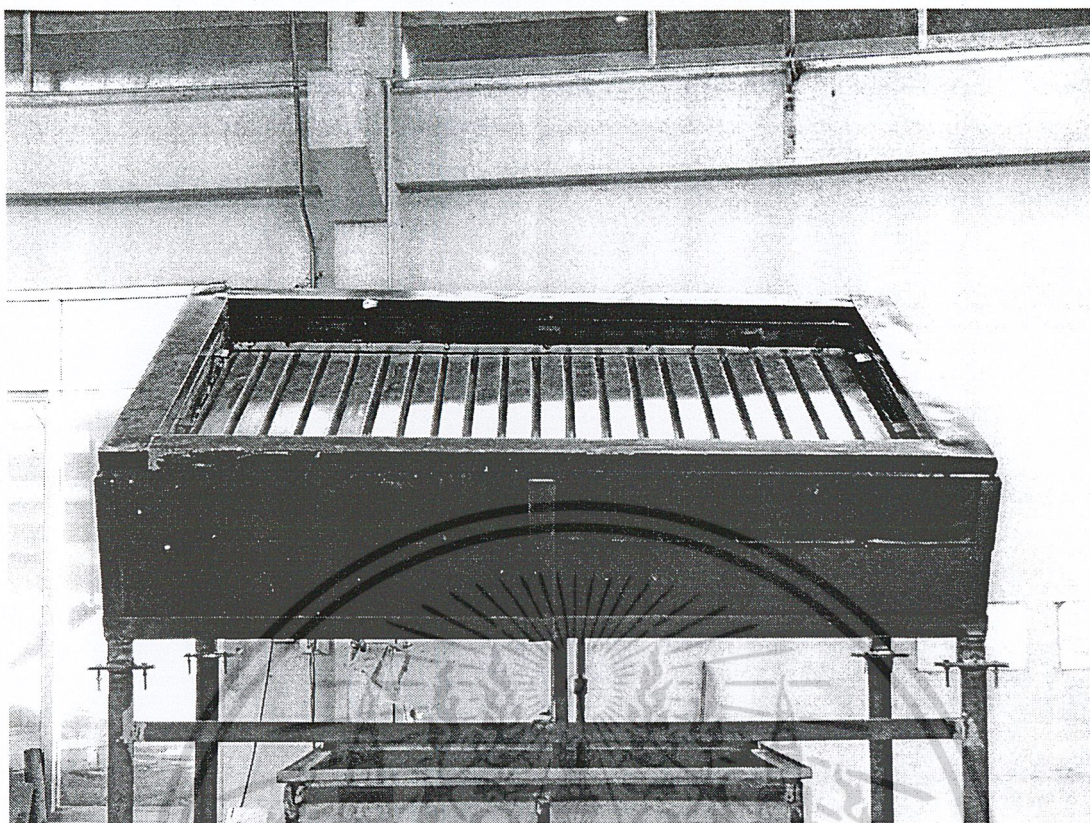
รูปที่ 4.1 โครงสร้างเครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collectors)

แผงรับแสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ถูกออกแบบให้เป็นแผงรับแสงชนิดลอนเหลี่ยมทำจากสแตนเลสชนิด 304 มีความหนา 0.001 เมตร กว้าง 1 เมตร ยาว 1.4 เมตร มีจำนวน 20 ลอน ติดกันภายในแผงเดียว ขนาดของลอนมีความกว้าง 0.05 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 0.04 เมตร โดยที่ในแต่ละลอนจะมีฝาเปิดและปิดได้เพื่อใช้สำหรับบรรจุถ่านกัมมันต์ ส่วนด้านล่างของแผงลอนจะถูกเชื่อมติดด้วยสแตนเลส มีขนาดความกว้าง 1.4 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 0.11 เมตร โดยมีตาข่ายสแตนเลสเชื่อมติดอยู่ตรงรอยต่อระหว่างส่วนล่างของแผงลอนกับถาด ตาข่ายสแตนเลสจะมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้เม็ดถ่านกัมมันต์ร่วงตกลงมายังถาด ส่วนพื้นที่ช่องว่างภายในถาดจะช่วยทำให้ไอของเมธานอลสามารถเคลื่อนที่ได้โดยสะดวกทั้งในช่วงกระบวนการแยกตัวออกจากถ่านกัมมันต์และช่วงกระบวนการดูดซับถ่านกัมมันต์ แผงลอนจะมีขนาดความจรรวม 40,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งจะสามารถบรรจุถ่านกัมมันต์ได้ 22 กิโลกรัม ที่ผิวด้านบนของแผงลอนจะถูกพันทับด้วยสียึดซึ่งเป็นสีเฉพาะที่สามารถทนความร้อนได้สูงและจะช่วยดูดพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดียิ่งขึ้น ชุดแผงบรรจุถ่านกัมมันต์ (แผงลอนและถาด) จะถูกติดตั้งอยู่ภายในกรอบสี่เหลี่ยมซึ่งทำมาจากแผ่นเหล็กหนา 0.015 เมตร นำมาพับเป็นโครงสี่ด้านจำนวนสองโครงซึ่งประกอบไปด้วยโครงส่วนบนและโครงส่วนล่าง โดยที่ทุก ๆ ด้านของโครงทั้งสองส่วนจะติดขนวนใยแก้วหนา 0.15 เมตร ที่โครงส่วนบนเหนือชุดแผงบรรจุถ่านกัมมันต์จะถูกปิดด้วยกระจกหนา 0.006 เมตร จำนวนสองแผ่นโดยที่ผิวของกระจกทั้งสองแผ่นจะอยู่ห่างกัน 0.05 เมตร ชุดแผงรับแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นนี้จะถูกวางบนโครงเหล็กโดยมีแนวเอียงทำมุมกับแนวนอน 20 องศาหันหน้าไปทางทิศใต้จะทำให้ชุดแผงรับแสงอาทิตย์นี้มีประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 โครงสร้างแผงรับแสงอาทิตย์

#### 4.2 เครื่องควบแน่น

เครื่องควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ถูกออกแบบให้เป็นระบบที่ใช้น้ำในการหล่อเย็น (Water – cooled Condenser) ในการออกแบบระบบหล่อเย็นผู้ออกแบบจำเป็นต้องทราบถึงปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เครื่องควบแน่นจะต้องระบายออกให้ทันภายในระยะเวลาที่กำหนด เพื่อให้สารทำความเย็น (เมธานอล) สามารถควบแน่นได้ตามปริมาณที่ต้องการ โดยที่ชุดควบแน่นจะประกอบไปด้วย

1. ท่อนำไอ
2. ท่อควบแน่น
3. ถังน้ำหล่อเย็น

ในการคำนวณจะอาศัยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็น กับท่อควบแน่น พิจารณาระบบหล่อเย็น

**ท่อนำไอ** ส่วนนี้จะถูกใช้ในการปรับสภาวะไอของเมธานอล ที่แยกตัวออกมาจากถ่านกัมมันต์ซึ่งอยู่ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ จากไอเมธานอลที่มีอุณหภูมิสูง (ประมาณ 64 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส) ให้กลายเป็นไอเมธานอลที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสโดยอาศัยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็นที่อยู่รอบ ๆ ท่อน้ำไอจากผลการคำนวณ ได้พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อน้ำไอเท่ากับ 0.057 ตารางเมตร โดยเลือกใช้ท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.02 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.022 เมตร ยาว 0.82 เมตรในการสร้างท่อน้ำไอ

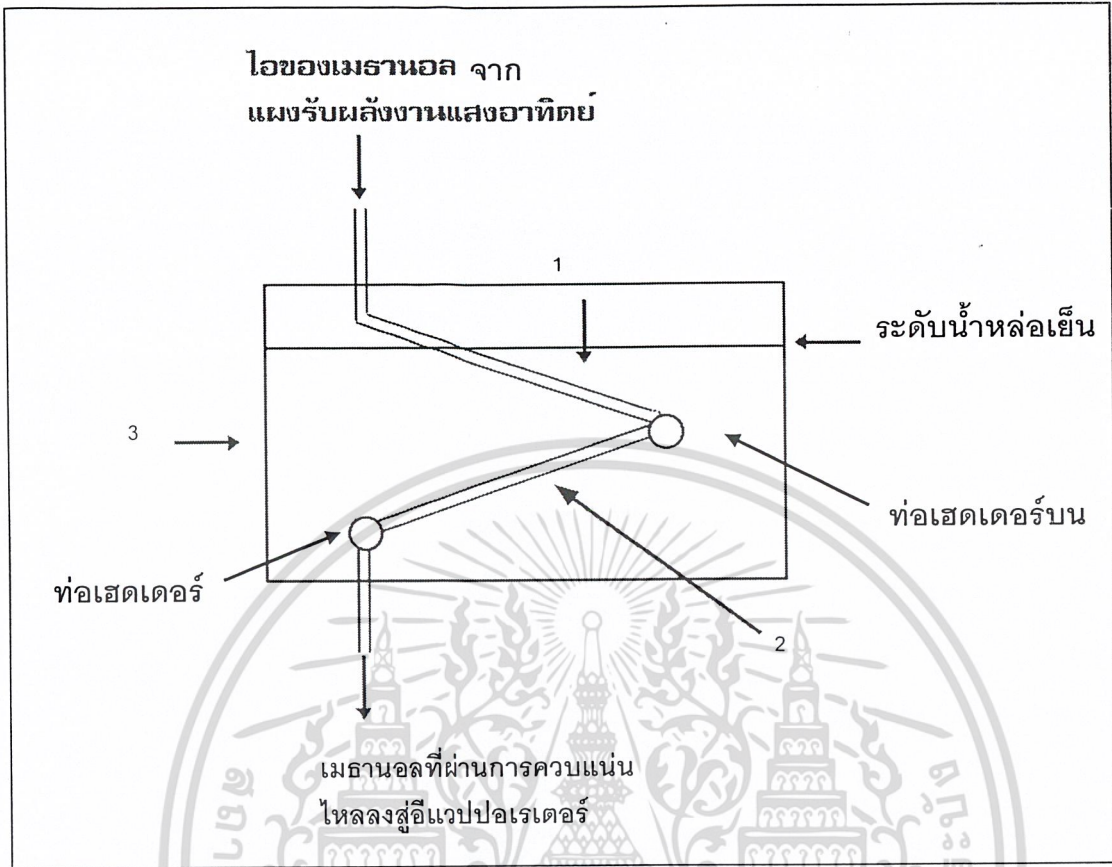
ท่อควบแน่น ถูกออกแบบให้เป็นลักษณะท่อตรงต่อขนานกันหลาย ๆ ท่อ โดยที่แต่ละท่อจะถูกเชื่อมต่อหัวและท้ายเข้ากับท่อเฮดเดอร์บนและล่าง ในการคำนวณจะอาศัยทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิและความดันคงที่จากนั้นจึงคำนวณหาพื้นที่ ที่ต้องใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนออกมา จากผลการคำนวณได้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน 0.5 ตารางเมตรโดยเลือกใช้ท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.02 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.022 เมตร ยาว 0.7 เมตรจำนวน 13 ท่อโดยเชื่อมต่อนหัวและส่วนท้ายของท่อควบแน่นกับท่อเฮดเดอร์บนและล่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.0508 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.0512 เมตรยาวท่อละ 0.8 เมตร

ถังน้ำหล่อเย็น ถูกออกแบบให้เป็นถังน้ำนิ่ง (Static water) โดยที่ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการหล่อเย็นในถัง จะสามารถรับเอาความร้อนของการเปลี่ยนสถานะของไอเมธานอลที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มาเป็นเมธานอลเหลวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จากการคำนวณได้ขนาดความจุของถังน้ำหล่อเย็น 540 ลิตร โดยเลือกใช้ถังกะสีนำมาพับเป็นถังแล้วบัดกรีแข็งติดกัน ถังน้ำหล่อเย็นมีขนาด 0.9 เมตร x 1 เมตร x 0.6 เมตร



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของเครื่องควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

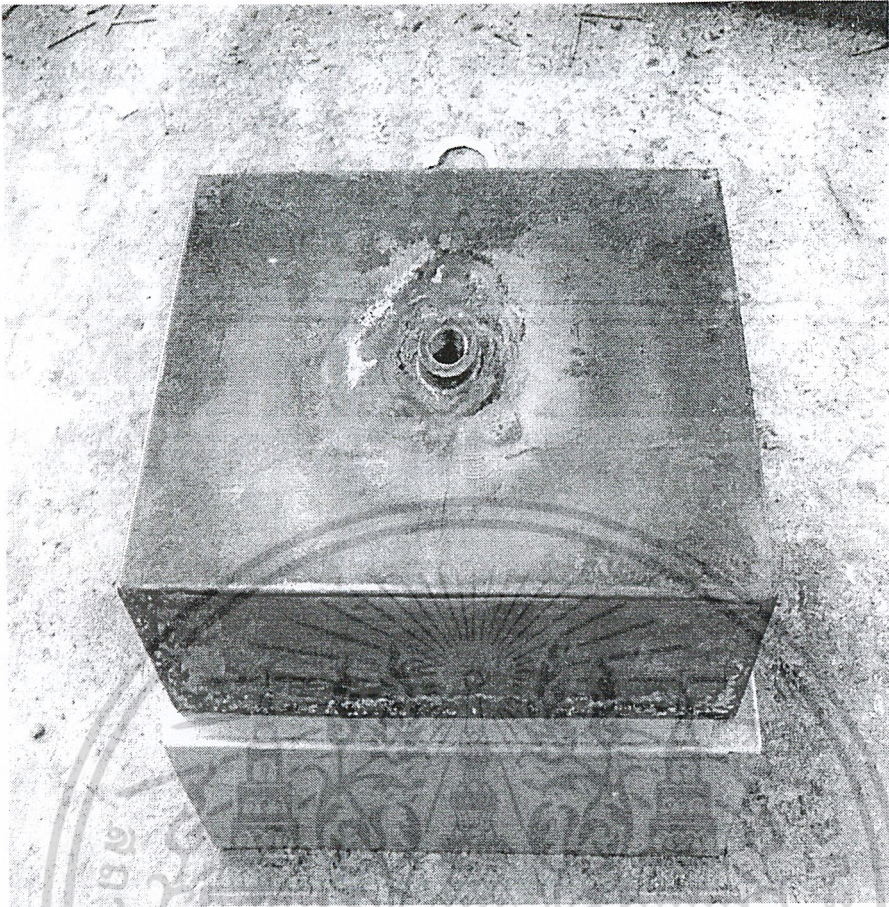


รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบของเครื่องควบแน่น

(1) ท่อน้ำไอ (2) ท่อควบแน่น (3) ถังน้ำหล่อเย็น

### 4.3 อีแวปอเรเตอร์

ในการคำนวณเพื่อออกแบบอีแวปอเรเตอร์นั้นจะคำนวณจากภาระทางความร้อนที่หาได้ เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์บรรจุสารทำความเย็น ซึ่งอยู่ภายในห้องทำน้ำเย็น จากนั้นจึงนำค่าพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์บรรจุสารทำความเย็นที่หาได้ไปกำหนดขนาด ความยาว และจำนวนของคอยล์ โดยเลือกใช้แผ่นทองแดงที่มีความหนา 0.002 เมตร นำมาพับเพื่อทำเป็นคอยล์บรรจุสารทำความเย็นซึ่งมีขนาดความจุ 4.8 ลิตร



รูปที่ 4.5 โครงสร้างคอปัลบรจุสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### วิธีดำเนินการทดสอบและผลการทดสอบ

#### 5.1 วิธีเตรียมเครื่องทำความเย็นให้พร้อมที่จะทำงาน

เมื่อทำการสร้างและประกอบอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ของระบบเรียบร้อยแล้วความดันภายในระบบทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศและถ่านกัมมันต์ ที่อยู่ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ จะดูดความชื้นจากอากาศเอาไว้ ดังนั้นจึงต้องทำการไล่ความชื้นออกจากถ่านกัมมันต์และระบบให้หมดจากนั้นจะเป็นการทำให้ความดันภายในระบบอยู่ในสภาวะสุญญากาศ โดยใช้เครื่องสูบลสุญญากาศดูดเอาความชื้นออกมา จากนั้นจะทำการบรรจุสารทำความเย็น(เมธานอล)เข้าสู่ระบบตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้

#### 5.2 การทดสอบเครื่องทำความเย็นที่สร้างขึ้น

การทดสอบระบบทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการดูดซับ ดำเนินการทดสอบใช้ระยะเวลา 3 วัน คือ วันที่ 17,18 และ 19 เมษายน 2548 ในการทดสอบจะทำการวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ และ คำนวณค่าภาระการทำความเย็น ดังนี้

##### 1. อุณหภูมิที่ทำการวัดมีดังนี้

- 1.1 อุณหภูมิของคอยล์บรรจุสารทำความเย็น
- 1.2 อุณหภูมิของน้ำที่นำมาทดสอบเพื่อทำน้ำเย็น
- 1.3 อุณหภูมิของเครื่องควบแน่น
- 1.4 อุณหภูมิของแผงรับแสงอาทิตย์
- 1.5 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น
- 1.6 อุณหภูมิของบรรยากาศ

##### 2. การหาคำนวณค่าภาระการทำความเย็น

จากสมการ

$$Q = mC_p \Delta T$$

#### 5.3 ผลการทดสอบ

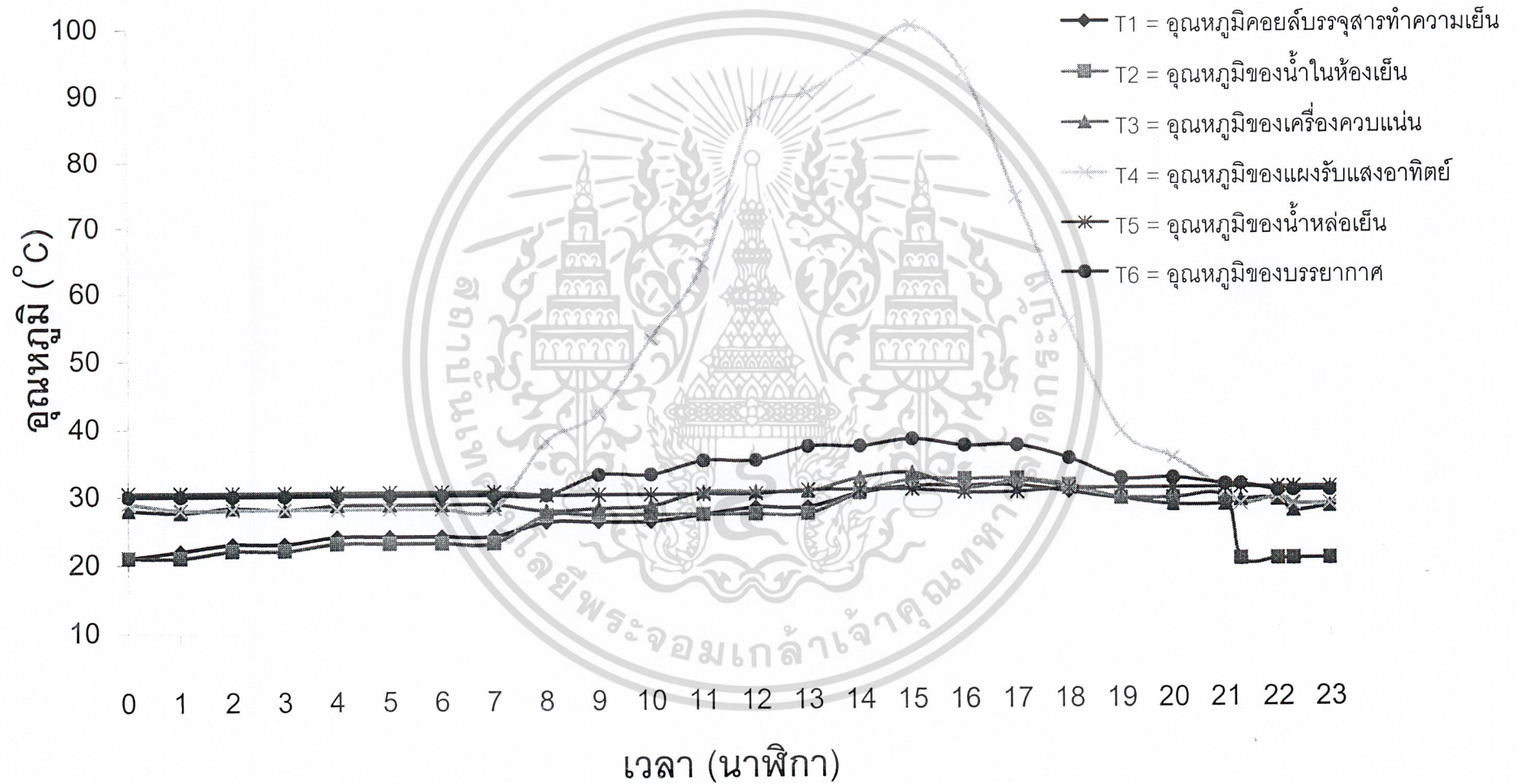
ผลการทดสอบ แสดงในตารางที่ 5.1 – 5.3 และรูปที่ 5.1 – 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบทำความเย็น วันที่ 17 เมษายน 2548

เวลา (น.)	อุณหภูมิ ของคอยล์ บรรจุสาร ทำความ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ของน้ำที่ นำมา ทดสอบเพื่อ ทำน้ำแข็ง (°C)	อุณหภูมิ ของเครื่อง ควบแน่น (°C)	อุณหภูมิ ของแผงรับ แสงอาทิตย์ (°C)	อุณหภูมิ ของน้ำหล่อ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ของ บรรยากาศ (°C)
0.00	21	21	28.00	29	30.50	30
1.00	22	21	27.67	28	30.50	30
2.00	23	22	28.33	28	30.50	30
3.00	23	22	28.00	28	30.50	30
4.00	24	23	28.67	28	30.50	30
5.00	24	23	28.67	28	30.50	30
6.00	24	23	28.67	28	30.50	30
7.00	24	23	28.67	28	30.50	30
8.00	26	27	27.67	38	30.00	30
9.00	26	27	28.00	42	30.00	33
10.00	26	27	28.33	53	30.00	33
11.00	27	27	30.33	64	30.00	35
12.00	28	27	30.33	87	30.00	35
13.00	28	27	30.33	90	30.50	37
14.00	30	30	32.33	95	30.50	37
15.00	31	32	33.00	100	30.50	38
16.00	31	32	30.67	93	30.00	37
17.00	31	32	31.67	74	30.00	37
18.00	30	31	30.67	55	30.50	35
19.00	29	29	29.00	39	30.50	32
20.00	29	29	28.00	35	30.50	32
21.00	29	29	28.00	30	30.50	31
21.30	20	20	28.67	28	30.50	31
22.00	20	20	28.67	29	30.50	30
22.30	20	20	27.00	28	30.50	30
23.00	20	20	27.67	28	30.50	30
23.30	20	20	28.00	29	30.50	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 หมายเหตุ ระยะเวลาในการทำความเย็น 21.00-07.00 น.  
 ไม่วากกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

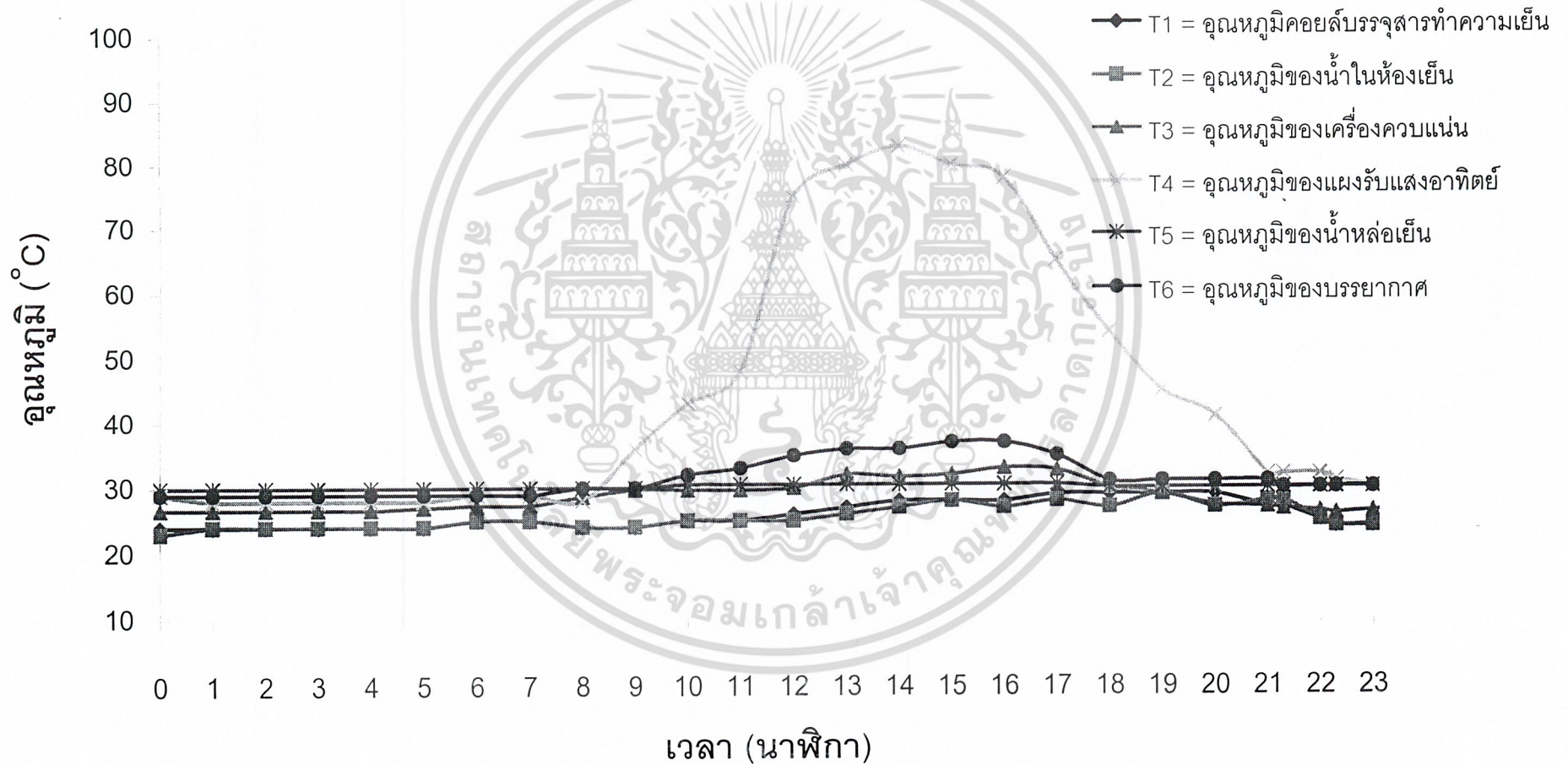


รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ (°ซ) กับ เวลา (นาฬิกา) [วันอาทิตย์ที่ 17 เมษายน 2548]

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบทำความเย็น วันที่ 18 เมษายน 2548

เวลา (น.)	อุณหภูมิ ของคอย บรรจุงาส ทำความ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ของน้ำที่ นำมา ทดสอบเพื่อ ทำน้ำแข็ง (°C)	อุณหภูมิ ของเครื่อง ควบแน่น (°C)	อุณหภูมิ ของแผงรับ แสงอาทิตย์ (°C)	อุณหภูมิ ของน้ำหล่อ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ของ บรรยากาศ (°C)
0.00	24	23	26.67	29	30	29
1.00	24	24	26.67	28	30	29
2.00	24	24	26.67	28	30	29
3.00	24	24	26.67	28	30	29
4.00	24	24	26.67	28	30	29
5.00	24	24	27.00	28	30	29
6.00	25	25	27.33	29	30	29
7.00	25	25	27.33	29	30	29
8.00	24	24	28.67	28	30	30
9.00	24	24	29.67	36	30	30
10.00	25	25	29.67	43	30.5	32
11.00	25	25	29.67	48	30.5	33
12.00	26	25	30.00	75	30.5	35
13.00	27	26	32.00	80	30.5	36
14.00	28	27	31.67	83	30.5	36
15.00	28	28	32.00	80	30.5	37
16.00	28	27	33.00	78	30.5	37
17.00	29	28	32.67	65	30.5	35
18.00	29	27	30.00	54	30	31
19.00	29	29	29.00	45	30	31
20.00	29	27	27.33	41	30	31
21.00	27	28	27.00	32	30	31
21.30	27	28	26.67	32	30	30
22.00	25	25	26.33	32	30	30
22.30	24	24	26.00	31	30	30
23.00	24	24	26.33	30	30	30
23.30	24	23	26.33	29	30	30

หมายเหตุ: ระยะเวลาในการทำความเย็น 21:00-07:00 น. ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



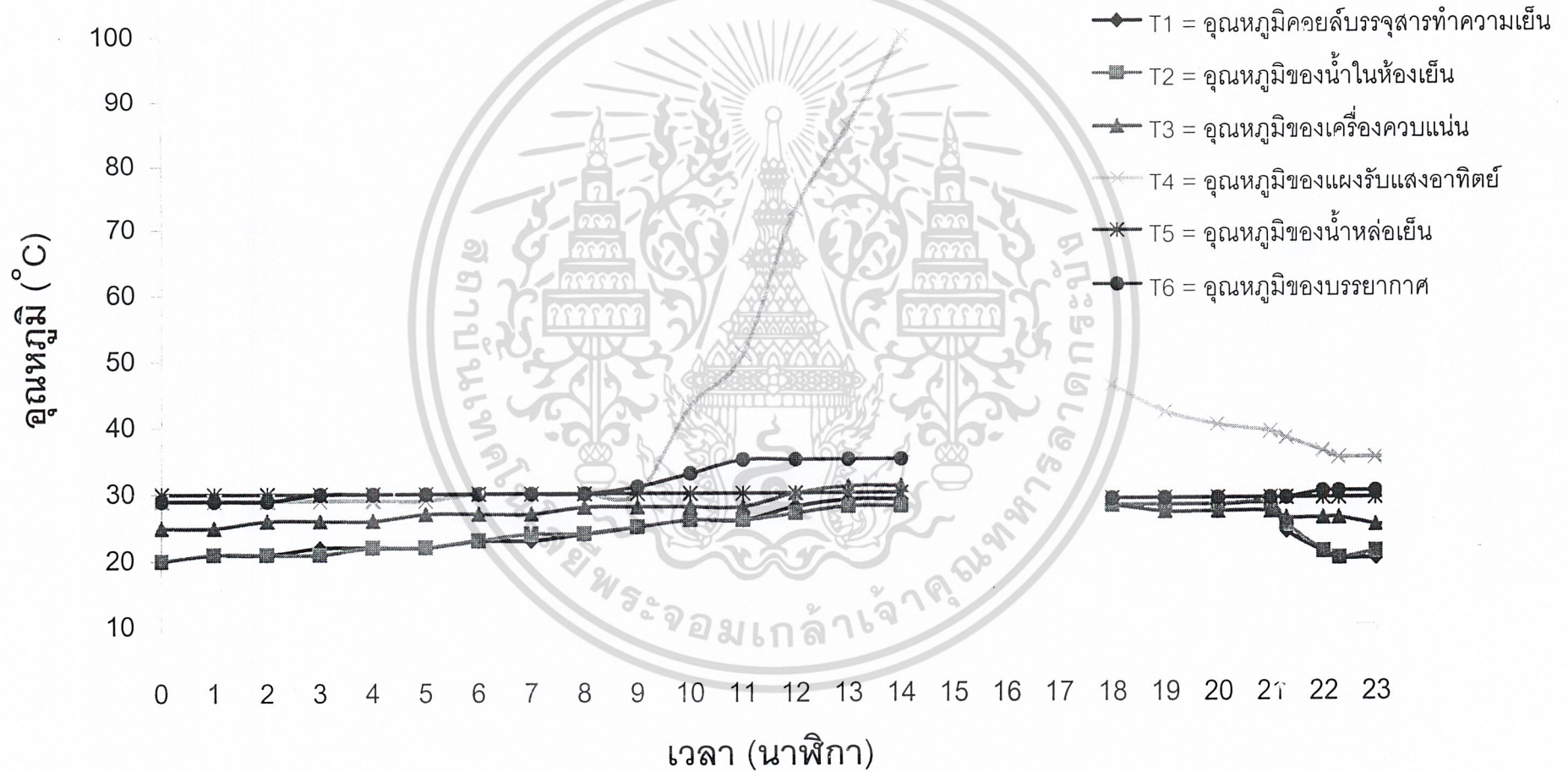
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ( °ซ ) กับ เวลา (นาฬิกา) [วันจันทร์ที่ 18 เมษายน 2548]

ร่างที่ 5.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบทำความเย็น วันที่ 19 เมษายน 2548

เวลา (น.)	อุณหภูมิ ของคอย บรรจุก๊าซ ทำความ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ของน้ำที่ นำมา ทดสอบเพื่อ ทำน้ำแข็ง (°C)	อุณหภูมิ ของเครื่อง ควบแน่น (°C)	อุณหภูมิ ของแผงรับ แสงอาทิตย์ (°C)	อุณหภูมิ ของน้ำหล่อ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ของ บรรยากาศ (°C)
0.00	20	20	25	29	30	29
1.00	21	21	25	29	30	29
2.00	21	21	26	29	30	29
3.00	22	21	26	29	30	30
4.00	22	22	26	29	30	30
5.00	22	22	27	29	30	30
6.00	23	23	27	30	30	30
7.00	23	24	27	30	30	30
8.00	24	24	28.00	30	30	30
9.00	25	25	28.00	30	30	31
10.00	26	26	28.00	43	30	33
11.00	26	26	28.00	51	30	35
12.00	28	27	30.00	73	30	35
13.00	29	28	31.00	86	30	35
14.00	29	28	31.00	100	30	35
15.00	-----	-----	ฝนตก	-----	-----	-----
16.00	-----	-----	ฝนตก	-----	-----	-----
17.00	-----	-----	ฝนตก	-----	-----	-----
18.00	28	28	28.00	46	29	29
19.00	28	28	27.00	42	29	29
20.00	28	28	27.00	40	29	29
*21.00	28	28	27.00	39	29	29
21.30	24	25	26.00	38	29	29
22.00	21	21	26.00	36	29	30
22.30	20	20	26	35	29	30
23.00	20	21	25	35	29	30
23.30	20	21	25	35	29	30

หมายเหตุ ระยะเวลาในการทำความเย็น 21.00-07.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ( °ซ ) กับ เวลา (นาฬิกา) [วันอังคารที่ 19 เมษายน 2548]

### 5.3 ผลการคำนวณ

จากผลการทดสอบที่ได้ ถูกลำมาคำนวณค่าภาระการทำความเย็น โดยใช้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำในห้องทำความเย็น ตั้งแต่ช่วงเวลาเริ่มทำความเย็น จนถึง อุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องทำความเย็นสามารถทำได้ มาใช้ในการคำนวณ โดยใช้สูตร

$$Q = mC_p\Delta T$$

เมื่อ

$Q$  = ค่าภาระการทำความเย็น (kJ)

$M$  = น้ำหนักของน้ำที่บรรจุอยู่ในห้องทำความเย็น = 4.5 kg

$C_p$  = ค่าความจุความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ย = 4.2 kJ / kg K

$\Delta T$  = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ช่วงเวลาเริ่มทำความเย็น จนถึง อุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องทำความเย็นสามารถทำได้ (K)

ผลการคำนวณในวันที่ทำการทดสอบมีดังนี้

1. วันที่ 17 เมษายน 2548

$$\begin{aligned}\Delta T &= (29 - 20) \\ &= 9 \text{ K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= (4.5 \text{ kg}) \left( 4.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (9 \text{ K}) \\ &= 170.1 \text{ kJ}\end{aligned}$$

2. วันที่ 18 เมษายน 2548

$$\begin{aligned}\Delta T &= (28 - 23) \\ &= 5 \text{ K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= (4.5 \text{ kg}) \left( 4.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (5 \text{ K}) \\ &= 94.5 \text{ kJ}\end{aligned}$$

3. วันที่ 19 เมษายน 2548

$$\begin{aligned}\Delta T &= (28 - 21) \\ &= 7 \text{ K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= (4.5 \text{ kg}) \left( 4.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (7 \text{ K}) \\ &= 132.3 \text{ kJ}\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของระบบและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการทดสอบ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 วัน คือ ตั้งแต่วันที่ 17-19 เมษายน 2548 พบว่า อุณหภูมิของแผงรับแสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวันดังนี้ 110 , 83 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำในห้องทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับ 9 , 5 และ 7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อนำค่าอุณหภูมิที่ลดลงที่ห้องทำความเย็นมาทำการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็น โดยใช้สูตร  $Q = mC_p\Delta T$  จะได้ค่าภาระการทำความเย็นเท่ากับ 170.1 , 94.5 และ 132.3 กิโลจูลน์ ตามลำดับ จากผลการทดสอบ พบว่า เมื่อแผงรับแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงมากเท่าไร ก็จะสามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำในห้องทำความเย็นลดลงมากด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจาก แผงรับแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงก็จะทำให้สารทำความเย็นที่ถูกดูดซับอยู่ในตัวดูดซับระเหยกลายเป็นไอออกมาได้มาก และทำให้ได้ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลลงสู่ฮีวเปปอเรเตอร์มีปริมาณมาก เมื่อถึงเวลาของการทำความเย็น สารทำความเย็นก็จะสามารถดึงเอาความร้อนจากน้ำในห้องทำความเย็นออกไปได้มาก จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำในห้องทำความเย็นลดลงมากด้วย ทั้งนี้สังเกตได้จากผลการทดสอบในวันที่ 17 เมษายน 2548 ซึ่งอุณหภูมิที่แผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 110 องศาเซลเซียส และสามารถลดอุณหภูมิของน้ำในห้องทำความเย็นได้เท่ากับ 9 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในแต่ละวัน

#### 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบเครื่องทำความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการดูดซับที่สร้างขึ้นพบว่าสามารถที่จะพัฒนาสมรรถนะของเครื่องให้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิมโดยทำการแก้ไขและปรับปรุงอุปกรณ์ส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

##### 6.2.1 แผงรับแสงอาทิตย์

- 1) การระบายความร้อนออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ควรเปลี่ยนจากการปิดปิดฝาครอบกระจกทางด้านบนมาเป็นการเปิดปิดฉนวนกันความร้อนทางด้านข้างของแผง เพื่อป้องกันอันตรายจากกระจก เพราะกระจกอาจแตกได้
- 2) ควรทำให้อ่างกัมมันต์มีอุณหภูมิสูงสุดเท่าที่จะทำได้เพราะจะทำให้เมธานอลสามารถแยกตัวออกจากอ่างกัมมันต์ได้ง่าย
- 3) ควรมีการวัดอุณหภูมิของชั้นอ่างกัมมันต์ที่อยู่ในแผงรับแสงอาทิตย์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ควรทำความสะอาดกระจกที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์ เมื่อกระจกมีคราบสกปรกเกิดขึ้น เพื่อให้แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านลงมายังพื้นที่ภายในของแผงรับแสงอาทิตย์ได้ดี
- 5) ควรเสริมคานที่บริเวณด้านล่างของแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อป้องกันการยุบตัวของแผงรับแสงอาทิตย์ ภายใต้การทำงานที่สภาวะ สุญญากาศ

#### 6.2.2 เครื่องควบแน่น

- 1) ควรทำความสะอาดบริเวณพื้นผิวภายนอกของชุดท่อควบแน่น เมื่อมีคราบสกปรกเกิดขึ้น เพื่อป้องกันความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของชุดท่อควบแน่นลดลง

#### 6.2.3 ห้องทำความเย็น

- 1) ควรสร้างอุปกรณ์วัดระดับปริมาณของเมธานอลที่ควบแน่นลงมาจากเครื่องควบแน่นเพื่อที่จะได้ทราบถึงปริมาณของเมธานอลภายในคอยล์บรรจุสารทำความเย็นที่แท้จริง
- 2) ควรมีการวัดอุณหภูมิของเมธานอลที่อยู่ในคอยล์บรรจุสารทำความเย็น
- 3) ควรออกแบบให้สามารถนำน้ำเย็นที่ผลิตได้ออกมาใช้ประโยชน์ได้โดยสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

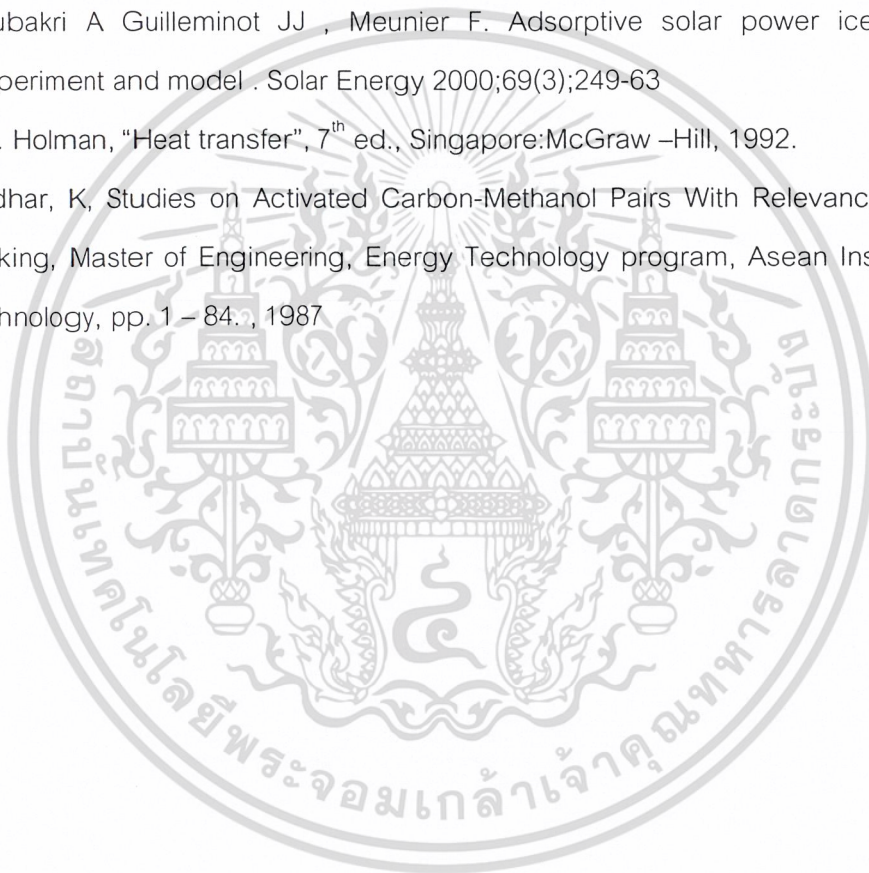
## เอกสารอ้างอิง

1. Tchernev, D.I., " Solar Energy Appilication of Natural Zeolite, " in Natural Zeolite , Edited by Sand, L.B. and Mumblon, F.A., New York, Pergamon Press, pp. 479 – 485. , 1978
2. Chang, S.C. and Roux, J.A., " Thermodynamic Analysis of a Solar Zeolite Refrigeration System," ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 107, pp. 189 – 195. , 1985
3. Pons, M. and Guitleminot, J.J., " Design of an Experimental Solar Powered Ice Maker, " Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 108, pp. 332 – 337. , 1986
4. Critoph, R.E. and Vogel, R., " Possible Adsorption Pairs for Use in Solar Cooling , " International Journal of Ambient Energy, Vol. 7, No. 4, pp. 183 – 190. , 1986
5. Grenier, Ph. And Pons, M., " Experimental and Theoretical Resulte on the Use of an Activated Carbon ( CH<sub>3</sub>OH ) Intermittent Cycle for Appilication to A Solar Power Ice Maker," In : Szokolay, S.V. ( Ed ) Solar World Congress, Vol. 1, Pergamon Press., pp. 500 – 506. , 1984
6. Ariyadasa, L., Charcoal – R114 Solar Adsorption Refrigeration, Master of Engineering, Special Study, Energy Technology program, Asean Institute of Technology, pp. 1 – 35, 1986
7. พิทยา กิ่งชูบ , คมกฤษ พนมอุปถัมภ์ , และสมเกียรติ เลหาหรรณัฐชัย, ระบบทำความเย็นแบบดูดเกาะชนิดไม่ต่อเนื่อง , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , หน้า 1 – 80, 2531
8. ทวีศักดิ์ ศรีภูษิตโต , บุญฤทธิ์ รักเกตุกิจ , และวรศักดิ์ เลขะกุล , 2532 , เครื่องทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบดูดเกาะ , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , หน้า 1 – 78
9. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ , ชนะ ฉัตรชนพรโยธิน , และ สุทัต วงศ์สิโรจน์กุล , 2535 , " การศึกษาสมรรถนะของระบบทำความเย็นแสงอาทิตย์ที่ใช้ถ่านกัมมันต์ - เมธานอลเป็นสารคู่งาน , " วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, หน้า 102 – 111.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- 10 บรรเจิด จิมี่ติก และประสาน ลี้มประสงค์ , ปรินูฎยานิพนธ์เครื่องทำความเย็นพลังงานแสงอาทิตย์ , โครงการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2524
- 11 Wang RZ, Wu JY, et al . Adsorption refrigeration . China Machine Press ; 2002
- 12 Anyanwu EE. Review of Solid Adsorption Solar Refrigeration II : an overview of the principle and theory. Energy convers manage, submitted for publication
- 13 Boubakri A Guilleminot JJ , Meunier F. Adsorptive solar power ice maker :Experiment and model . Solar Energy 2000;69(3);249-63
- 14 J.P. Holman, "Heat transfer", 7<sup>th</sup> ed., Singapore:McGraw –Hill, 1992.
- 15 Sridhar, K, Studies on Activated Carbon-Methanol Pairs With Relevance to Ice Making, Master of Engineering, Energy Technology program, Asean Institute of technology, pp. 1 – 84., 1987



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### ผลการคำนวณ และ การออกแบบ

#### 1. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็น (Refrigeration Load; $Q_{REF.L}$ )

1.1 อัตราความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกเพื่อทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง

$$Q_w = \left( \frac{M_w}{t} \right) \left( C_{p_w} \Delta T + L_w \right)$$

$$Q_w = \left( \frac{4 \text{ Kg}}{12 \times 3600 \text{ s}} \right) \left[ 4.19 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (30 - 0) \text{K} + 335 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right] \left( 1000 \frac{\text{Watt}}{\text{KJ/s}} \right)$$
$$= 44.58 \text{ Watt}$$

1.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านผนังฉนวนห้องเย็นเข้ามา

$$Q_E = \left( \frac{K_c A_c}{L_c} \right) \Delta T$$

$$Q_E = \left[ \frac{\left( 2.5 \times 10^{-5} \frac{\text{KW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right) \left( 1.728 \text{ m}^2 \right)}{\left( 0.15 \text{ m} \right)} \right] (30 - 0) \text{K} \left( 1000 \frac{\text{Watt}}{\text{KW}} \right)$$
$$= 10.08 \text{ Watt}$$

1.3 อัตราความร้อนที่ต้องดึงออกจากคอยล์ทองแดง

$$Q_{cu} = \left( \frac{M_{cu}}{t} \right) C_{cu} \Delta T$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{CU} = \left( \frac{2.5 \text{ Kg}}{12 \times 3600 \text{ s}} \right) \left( 0.383 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \right) (30 - (-10)) \text{K} \left( 1000 \frac{\text{Watt}}{\text{KJ} / \text{K}} \right)$$

$$= 0.7757 \text{ Watt}$$

ดังนั้นจะได้ว่าภาระการทำความร้อนภายในระบบมีค่าเท่ากับ

$$Q_{REF.L} = Q_W + Q_E + Q_{CU}$$

$$Q_{REF.L} = 44.58 + 10.08 + 0.7757$$

$$= 55.4357 \text{ Watt}$$

เพิ่มค่าความปลอดภัย (Selfety factor) อีก 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น

$$Q_{REF.L} \text{ ที่ใช้งาน} = 55.435 \times 1.1$$

$$= 60.98 \text{ Watt}$$

$$= 2634.30 \text{ KJ}$$

## 2. การคำนวณปริมาณเมธานอล และ ถ่านกัมมันต์

$$M_{METH} = \frac{Q_{REF.L}}{(h_{fg} - 10^\circ\text{C})}$$

$$M_{METH} = \frac{2634.30 \text{ kJ}}{1220 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 2.16 \text{ Kg}$$

ปริมาตรจำเพาะของเมธานอล เท่ากับ  $0.00129 \text{ m}^3 / \text{kg}$

$$V_{METH} = 2.786 \text{ liters}$$

ดังนั้นปริมาณเมธานอลที่ต้องใช้ในการทำน้ำแข็งเท่ากับ 2.786 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ต้องบรรจุลงในแผงรับรังสี

$$M_{AC} = \frac{M_{meth}}{(X_{max} - X_{min})}$$

$$M_{AC} = \frac{2.16 \text{ kg}}{(0.17 - 0.07)}$$

$$= 21.6 \text{ kg}$$

ดังนั้นจะใช้ถ่านกัมมันต์ทั้งหมดเป็นปริมาณเท่ากับ 22 Kg

ความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.55 g / cc

$$\text{ปริมาตรถ่านกัมมันต์ } V_{AC} = (22 \text{ kg}) \left( \frac{\text{cc}}{0.55 \text{ g}} \right) \left( \frac{1000 \text{ g}}{\text{kg}} \right) \left( \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ cc}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \right)$$

$$= 0.04 \text{ m}^3$$

ปริมาณเมธานอลทั้งหมดที่ต้องบรรจุเข้าไปในระบบ

$$M_T = M_{AC} \times X_{max}$$

$$M_T = 22 \text{ kg} \times 0.17$$

$$M_T = 3.74 \text{ kg}$$

$$M_T = 4.82 \text{ liters}$$

ดังนั้นปริมาณเมธานอลทั้งหมดที่ต้องบรรจุเข้าไปในระบบมีปริมาณเท่ากับ 4.82 ลิตร

### 3. การคำนวณค่าพลังงานที่แผงรับแสงอาทิตย์ได้รับ

3.1 พลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นจาก  $T_1$  เป็น  $T_3$

$$Q_1 = M_{AC} C_{p,AC} (T_3 - T_1)$$

$$Q_1 = \left( 22 \text{ kg} \right) \left( 0.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right) (100 - 30) \text{ K}$$

$$Q_1 = 1078 \text{ kJ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 พลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของเมธานอลเพิ่มขึ้นจาก  $T_1$  เป็น  $T_2$

$$Q_2 = M_{AC} \cdot C_{p_{METH}} \cdot X_{\max} (T_2 - T_1)$$

$$Q_2 = \left( 22 \text{ kg} \right) \left( 2.55 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (0.17)(54 - 30) \text{ K}$$

$$Q_2 = 228.88 \text{ kJ}$$

3.3 พลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของเมธานอลเพิ่มขึ้นจาก  $T_2$  เป็น  $T_3$

$$Q_3 = \left( \frac{1}{2} \right) M_{AC} \cdot C_{p_{METH}} (X_{\max} + X_{\min}) (T_3 - T_2)$$

$$Q_3 = \left( \frac{1}{2} \right) \left( 22 \text{ kg} \right) \left( 2.67 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (0.17 + 0.07)(100 - 54) \text{ K}$$

$$Q_3 = 324.24 \text{ kJ}$$

3.4 ความร้อนที่ใช้แยกเมธานอลออกจากถ่านกัมมันต์

$$Q_4 = \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{RM_{AC}}{M} \right) (X_{\max} - X_{\min}) \left[ \frac{T_1 T_2}{(T_2 - T_1)} + \frac{T_3 T_4}{(T_4 - T_3)} \right] \ln \left( \frac{P_2}{P_1} \right)$$

$$Q_4 = \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{\left( 8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kgmol} \cdot \text{K}} \right) (22 \text{ kg})}{\left( 32 \frac{\text{kg}}{\text{kgmol}} \right)} \right) (0.17 - 0.07) \left[ \frac{(303.15)(327.15)}{(54 - 30)} + \frac{(373.15)(362.15)}{(100 - 89)} \right] \ln \left( \frac{0.22}{0.02} \right)$$

$$Q_4 = 11182.72 \text{ kJ}$$

3.5 ความร้อนที่ทำให้แสดนเลสมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก  $T_1$  เป็น  $T_4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_5 = M_{ST} C_{p,ST} (T_3 - T_1)$$

$$Q_5 = (11.85 \text{ kg}) \left( 0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (100 - 30) \text{ K}$$

$$Q_5 = 395.67 \text{ kJ}$$

ดังนั้นถ้าไม่มีการสูญเสียความร้อน แผงรับแสงอาทิตย์จะต้องได้รับพลังงาน

$$Q_h = (663.52 + 214.32 + 303.60 + 10245.95 + 244.41) \text{ KJ}$$

$$Q_h = 12272.74 \text{ kJ}$$

#### 4. การออกแบบแผงรับแสงอาทิตย์

เลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) ชนิด 304 แบบแผ่นเรียบมีพื้นที่ 1.41 ตารางเมตร และมีความหนา 0.001 เมตร นำมาพับเป็นลอนเหลี่ยมภายในแผงเดียวกันโดยมีขนาดลอนละ  $0.05 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0.04 \text{ m}$  จำนวน 20 ลอน จะให้ความจุของแผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 0.04 ลูกบาศก์เมตร

$$\text{พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์} = 1 \text{ m} \times 1.41 \text{ m} = 1.41 \text{ m}^2$$

$$\text{ถ้าแสงแดดมีพลังงานเฉลี่ย} = 17 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ day}$$

$$\text{คิดประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์} = 35 \%$$

$$\text{แผงรับแสงอาทิตย์จะได้รับพลังงาน} = \left( \frac{17 \text{ MJ}}{\text{m}^2 \text{ day}} \right) \left( 1.41 \text{ m}^2 \right) (0.35)$$

$$= 8.39 \text{ MJ} / \text{day}$$

แผงรับแสงอาทิตย์ต้องการพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการแยกสารทำความเย็น

(เมธานอล)

$$Q_h = \left[ \left( \frac{12272.47 \text{ kJ}}{\text{day}} \right) \left( \frac{1 \text{ MJ}}{1000 \text{ kJ}} \right) \left( \frac{1}{1.41 \text{ m}^2} \right) \right]$$

$$Q_h = 8.28 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ day}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแผงรับแสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบขึ้นมา จะสามารถรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในกระบวนการแยกสารทำความเย็น (เมธานอล) ได้ตรงตามที่ต้องการไว้

## 5. การออกแบบระบบหล่อเย็น

### การออกแบบท่อนำไอ

อัตราการผลิตไอเมธานอล 2.16 กิโลกรัมใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{หรือ } \dot{M} &= \left( \frac{2.16 \text{ kg}}{6 \text{ h}} \right) \times \left( \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \\ &= 1 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

สถานะของไอเมธานอลที่ทางเข้า (จุด A)

$$T_A = 64^\circ \text{C} \text{ (เป็นอุณหภูมิเฉื่อย)}$$

$$h_{g,A} = 1805 \text{ kJ/kg}$$

สถานะของไอเมธานอลที่ทางออก (จุด B)

$$T_B = 35^\circ \text{C}$$

$$h_{g,B} = 1782 \text{ kJ/kg}$$

ดังนั้นความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากไอของเมธานอล คือ  $Q_A$  ไป  $Q_B$  จะมีค่าเท่ากับ

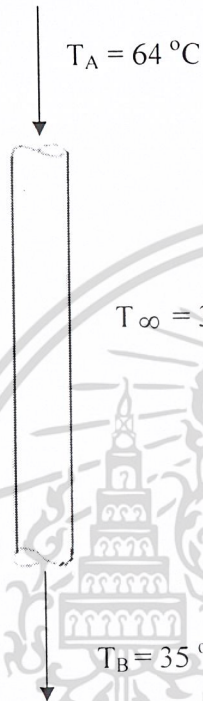
$$Q_A \rightarrow Q_B = \dot{M} (h_{g,A} - h_{g,B})$$

$$= \left( 1 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times (1805 - 1782) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \left( \frac{1000 \text{ W}}{\text{kJ/s}} \right)$$

$$Q_A \rightarrow Q_B = 2.30 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอของเมธานอลจาก  
แผงรับแสงอาทิตย์



รูปที่ ก.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไอ  
เมธานอลที่ออกมาจากแผงรับแสงอาทิตย์ไปยัง  
ท่อ คอนเดนเซอร์

ไอของเมธานอลที่ไหล  
เข้าสู่ท่อคอนเดนเซอร์

การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ (h)

อุณหภูมิภายในท่อ เท่ากับ  $\frac{(64 + 35)}{2} = 49.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

คุณสมบัติของไอของเมธานอลที่อุณหภูมิ  $49.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$k = 0.02 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$C_p = 1381.73 \text{ J / Kg} \cdot \text{K}$$

$$\rho = 13 \times 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$$

$$\text{Pr} = C_p \mu / k$$

ตรวจสอบการไหลภายในท่อ

$$\text{Re} = \left( \frac{4M^\circ}{\pi D_i \mu} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \left( \frac{4 \times 10^{-4} \text{ kg/s}}{\pi \times 0.02 \text{ m} \times 13 \times 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2} \right) \left( \frac{\text{N} \cdot \text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}} \right)$$

$$= 489.70$$

เป็นการไหลแบบลามินาร์ ( $Re < 2000$ )

จากสมการ [8]

$$Nu_{Di} = 0.022 Pr^{0.6} Re^{0.8}$$

$$Pr = Cp \mu / k$$

$$= \left[ \frac{\left( 1381.73 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times \left( 13 \times 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)}{\left( 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right)} \right] \left( \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{N} \cdot \text{s}^2} \right)$$

$$= 0.898$$

$$Nu_{Di} = 0.022 (0.898)^{0.6} (489.70)^{0.8}$$

$$= 2.9264$$

จาก

$$h_i = (Nu_{Di} k) / D_i$$

$$h_i = \left[ \frac{(2.9264) \times (0.02 \text{ W/m} \cdot \text{K})}{(0.02 \text{ m})} \right]$$

$$h_i = 2.9264 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกท่อ ( $h_o$ )

ค่า  $h_o$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบอิสระโดยมีน้ำหล่อเย็นล้อมรอบท่อ  
คอนเดนเซอร์ กำหนดให้น้ำหล่อเย็นในถังมีอุณหภูมิ  $30^\circ\text{C}$

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ผิวท่อ} = \frac{49.5 + 30}{2} \text{ } ^\circ\text{C} = 39.75^\circ\text{C}$$

คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิ  $39.75^\circ\text{C}$

$$\rho = 992 \text{ Kg / m}^3$$

$$k = 0.635 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$C_p = 4177 \text{ J / Kg} \cdot \text{K}$$

$$\mu = 659 \times 10^{-6} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$$

$$\nu = 0.658 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = 3.92 \times 10^{-4}$$

$$\text{Pr} = C_p \rho / k = 4.33$$

$$\text{Nu}_D = c (\text{Gr Pr})^n$$

$$\text{Gr} = g\beta \left[ \frac{(T_m - T_{out})}{\nu^2} \right] \cdot L^3$$

$$\text{Gr} = \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (3.92 \times 10^{-4}) \left[ \frac{(49.5 - 30)^\circ\text{C}}{(0.658 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2} \right] \times L^3$$

$$\text{Gr} = 1.73 \times 10^{11} \times L^3$$

$$\text{Gr Pr} = 7.5 \times 10^{11} \times L^3$$

จากเงื่อนไข

$$10^3 < \text{Gr Pr} < 10^9 \quad \text{จะได้} \quad c = 0.53 \quad , \quad n = 0.25$$

$$10^9 < \text{Gr Pr} < 10^{12} \quad \text{จะได้} \quad c = 0.13 \quad , \quad n = 1/3$$

ดังนั้นเลือกใช้ค่า  $c = 0.13$  ,  $n = 1/3$

แทนค่าใน  $\text{Nu}_D = c (\text{Gr Pr})^n$

$$= 0.13 (7.5 \times 10^{11} L^3)^{1/3}$$

$$\text{จะได้} \quad \text{Nu}_D = 1181.128 \times L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น  $h_o = (1181.128L \times 0.635) / L$   
 $h_o = 750 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (The Overall Heat-Transfer Coefficient, U)

$$U = \frac{1}{\left[ \frac{D_o}{D_i h_i} + \frac{D_o \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2k} + \frac{1}{h_o} \right]}$$

$$= \frac{1}{\left[ \left( \frac{0.022}{0.02 \times 2.9264} \right) \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \left( \frac{0.022 \ln\left(\frac{0.022}{0.02}\right)}{2 \times 0.635} \right) \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \left( \frac{1}{750} \right) \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]}$$

$$U = 2.64 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

จาก

$$Q = UAF \Delta T_m$$

เมื่อ  $\Delta T_m$  คือ ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อก (Logarithmic-Mean Temperature Difference)

โดยที่

$$\Delta T_m = (\Delta T_A - \Delta T_B) / \ln(\Delta T_A / \Delta T_B)$$

$$\Delta T_m = [(64-30)-(35-30)] / [\ln(34/5)]$$

$$\Delta T_m = 15.128$$

$$F = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$A = Q / UF\Delta T_m$$

$$A = 2.3 / (2.64 \times 15.128)$$

$$A = 0.057 \text{ ตารางเมตร}$$

จะได้ความยาวของท่อนำไอมะธานอลจาก

$$L = A / (\pi D)$$

$$= 0.057 / (\pi \times 0.022)$$

$$= 0.82 \text{ m}$$

จะได้ความยาวของท่อนำไอมะธานอลเท่ากับ 82 เซนติเมตร ก่อนเข้าสู่ท่อคอนเดนเซอร์ โดยเลือกใช้ท่อทองแดงขนาดระบุ (3/4)" มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ( $D_o$ ) 22.00 มิลลิเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ( $D_i$ ) 20.00 มิลลิเมตร

## 6 การออกแบบถังน้ำสำหรับการหล่อเย็นที่ควบคุมแน่น

ถังน้ำสำหรับการหล่อเย็นที่ควบคุมแน่นถูกออกแบบให้เป็นถังน้ำนิ่ง โดยมีข้อมูลในการออกแบบเบื้องต้นดังนี้

1. อัตราการผลิตไอมะธานอลในแต่ละวันประมาณ 2.16 กิโลกรัม
2. ไอมะธานอลที่ออกจากท่อนำไอมะธานอลที่มีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
3. ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นของเหลวของเมธานอลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 1150 กิโลจูล / กิโลกรัม

ไอมะธานอลทั้งหมดที่ผ่านการควบคุมแน่นโดยท่อคอนเดนเซอร์จะเปลี่ยนสถานะเป็นเมธานอลเหลวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณความร้อนทั้งหมดของไอมะธานอลที่ถ่ายเทไปยังน้ำหล่อเย็น หาได้จาก

$$Q_{\text{METH}} = M_{\text{METH}} \times L_{\text{METH}}$$

$$= 2.16 \times 1150$$

$$Q_{\text{METH}} = 2484 \text{ kJ/Day}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นน้ำหล่อเย็นในถังน้ำนิ่งจะต้องรับปริมาณความร้อน 2484 กิโลจูล / วัน ที่ไอเมธานอลถ่ายเทออกมาโดยมีเงื่อนไขว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นภายในถังจะเพิ่มขึ้นได้ไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส ผู้ออกแบบสามารถหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการหล่อเย็น (ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด) ได้โดย

ความร้อนที่น้ำหล่อเย็นได้รับ = ความร้อนที่ไอเมธานอลถ่ายเทออกมาสู่น้ำหล่อเย็น

$$Q_{\text{METH}} = M_w \times C_{p_w} \times \Delta T$$

$$M_w = Q_{\text{METH}} / (C_{p_w} \times \Delta T)$$

ดังนั้น

$$M_w = \frac{2484}{(4.18 \times 2)} = 297.13 \text{ kg}$$

เพิ่มค่าความปลอดภัยอีก 10 เปอร์เซ็นต์ จะได้ปริมาณของน้ำหล่อเย็นใช้งานจริง

$$\begin{aligned} M_w &= 297.13 \times 1.1 \\ &= 330 \text{ kg} \end{aligned}$$

ได้ออกแบบถังน้ำหล่อเย็นขนาด 0.9 m x 1.0 m x 0.6 m ซึ่งจะสามารถบรรจุน้ำหล่อเย็นได้ประมาณ 400 ลิตร

## 7. การออกแบบท่อควบแน่น (Condenser)

เป็นการคำนวณหาขนาดพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อควบแน่น โดยมีข้อมูลประกอบการคำนวณดังนี้

- 1 ไอเมธานอลควบแน่นเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
- 2 กำหนดช่วงระยะเวลาการเกิดไอเมธานอลประมาณ 6 ชั่วโมง
- 3 พลังงานความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากท่อควบแน่นเท่ากับ 2484 กิโลจูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก

$$Q_{\text{METH}} = UA \Delta T$$

เมื่อ

$U$  = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนรวมตามธรรมชาติ

$A$  = พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อควบแน่น

$\Delta T$  = ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างไอเมธานอลที่อยู่ภายในท่อ กับ น้ำหล่อเย็นที่อยู่รอบ ๆ ท่อ

การคำนวณสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ( $U$ ) มีข้อมูลประกอบการคำนวณดังนี้

1 ท่อทองแดงที่นำมาทำท่อควบแน่นมีขนาดระบุ (1/2)" มีเส้นผ่านศูนย์กลางนอก ( $D_o$ ) 21 มิลลิเมตรและมีเส้นผ่านศูนย์กลางใน ( $D_i$ ) 20 มิลลิเมตรยาว 75 เซนติเมตร

2 มีอัตราการไหลโดยมวล ( $M^\circ$ )  $1 \times 10^{-4}$  กิโลกรัม / วินาที; (Kg / Sec)

3 ค่าความหนืด ( $\mu$ ) ของไอเมธานอลที่อุณหภูมิ  $30^\circ\text{C}$  มีค่าเท่ากับ  $10 \times 10^{-6}$  N.s /  $\text{m}^2$

ตรวจสอบการไหลภายในท่อ

$$Re = (4 M^\circ) / \pi D_i \mu$$

$$Re = \left( \frac{4 \times 1 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\pi \times 0.02 \text{m} \times 10 \times 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}} \right) \left( \frac{\text{N} \cdot \text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}} \right)$$

$$Re = 636.62$$

$Re < 2000$  เป็นการไหลแบบลามินาร์

การควบแน่นของไอเมธานอลจะควบแน่นเป็นแบบฟิล์มของของเหลวโดยออกแบบให้ท่อควบแน่นวางเฉียงทำมุมกับแนวระนาบ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยภายในท่อสามารถคำนวณได้โดยสมการ [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_{c,i} = 0.555 \left[ \frac{\rho(\rho - \rho_v) g k^3 h'_{fg}}{\mu D (T_g - T_w)} \right]^{1/4}$$

คิดที่อุณหภูมิ 30 °C

คุณสมบัติของเมธานอลที่ 30 °C

$C_{p_l}$  = ค่าความร้อนจำเพาะของของเหลว; 2.554 kJ/Kg · K

$T_{sv}$  = อุณหภูมิของไออิ่มตัว; 35 °C

$T_s$  = อุณหภูมิของผิวสัมผัสท่อ;  $(35 + 30)^\circ\text{C} / 2 = 32.5^\circ\text{C}$

$h_{ig}$  = ค่าความร้อนแฝงของการควบแน่น; 1150 kJ / Kg

$N$  = จำนวนท่อทั้งหมด

$g$  = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก; 9.81 m / s<sup>2</sup>

$\rho_l$  = ค่าความหนาแน่นของของเหลว; 790 Kg/m<sup>3</sup>

$\rho_v$  = ค่าความหนาแน่นของไอ; 33 Kg/m<sup>3</sup>

$k_l$  = ค่าการนำความร้อนของของเหลว; 0.2 W/m · K

$h'_{fg} = h_{ig} + (3/8) C_{p_l} (T_{sv} - T_s)$

$$= \left( 1150 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + \left[ \left( \frac{3}{8} \right) \left( 2.55 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (35 - 32.5) \text{K} \right]$$

$$= 1152.40 \text{ kJ / kg}$$

$D$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ; m

$\mu_l$  = ค่าความหนืดของของเหลว ;  $5 \times 10^{-4}$  N.s/m<sup>2</sup>

เมื่อแทนค่าตัวแปรในสมการจะได้

$$h_{c,i} = 1212.8 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบอิสระ โดยมีน้ำหล่อเย็นอยู่รอบ ๆ ท่อความหนาแน่นในลักษณะของน้ำนิ่ง (Static Water)

อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นที่ผิวท่อ ( $T_s$ ) คือ  $\frac{32.5 + 30}{2} = 31.25 \text{ }^\circ\text{C}$

คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิ  $31.25 \text{ }^\circ\text{C}$

$$k = 0.62 \text{ W/m.K}$$

$$C_p = 4178 \text{ J/Kg.K}$$

$$Pr = 5.38$$

$$\nu = 0.797 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = 3.23 \times 10^{-4}$$

$$\mu = 792 \times 10^{-6} \text{ N.s / m}^2$$

$$\rho = 994 \text{ Kg/m}^3$$

$$Gr_r = g \beta (T_{sv} - T_s) L^3 / \nu^2$$

$$Gr_r = (9.81 \times 3.23 \times 10^{-4} \times 1.25 \text{ L}^3) / (0.797 \times 10^{-6})^2$$

$$Gr_r = 6.24 \times 10^9 \text{ L}^3$$

ดังนั้นจะได้ค่า

$$Gr_r Pr = 3.87 \times 10^{10} \text{ L}^3$$

จากเงื่อนไข

$$10^3 < Gr Pr < 10^9 \text{ จะได้ } c = 0.53, \quad n = 0.25$$

$$10^9 < Gr Pr < 10^{12} \text{ จะได้ } c = 0.13, \quad n = 1/3$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $c = 0.13$  ,  $n = 1/3$

แทนค่าใน

$$Nu_p = c (Gr Pr)^n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$Nu_D = 0.13 (3.87 \times 10^{10} L^3)^{1/3}$$

$$= 439.36 L$$

จาก  $h_{c,o} = (Nu_D \times k) / L$

$$h_{c,o} = (439.36 L \times 0.62) / L$$

จะได้ค่า

$$h_{c,o} = 272.40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเมื่อคิดรวมกับค่าฟอสซิลิ่งแฟคเตอร์ (Fouling Factors)

จะได้

$$U = \frac{1}{\left[ \frac{1}{hc_o} + (R_{f,o}) + (R_k) + \left( \frac{R_{f,i} A_o}{A_i} \right) + \left( \frac{A_o}{hc_i A_i} \right) \right]}$$

เมื่อ

$U$  = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ใช้ในการออกแบบโดยคิดจากพื้นที่ผิวด้านนอกของท่อ  
ควบแน่น;  $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

$h_{c,o}$  = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยที่พื้นที่ผิวด้านนอกของท่อควบแน่น ;  $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

$h_{c,i}$  = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยที่พื้นที่ผิวด้านในของท่อควบแน่น ;  $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

$R_{f,o}$  = ค่าความต้านทานฟอสซิลิ่ง (Fouling Resistance) บนพื้นที่ผิวด้านนอกของท่อควบแน่น ;  
=  $0.0002 \text{ m}^2 \cdot \text{KW}$

$R_{f,i}$  = ค่าความต้านทานฟอสซิลิ่งบนพื้นที่ผิวด้านในของท่อควบแน่น ; =  $0.00009 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

$R_k$  = ค่าความต้านทานของท่อควบแน่นโดยคิดจากพื้นที่ผิวด้านนอกของท่อควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.0002 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$A_o$  = พื้นผิวด้านนอกของท่อควบแน่น;  $\text{m}^2$

$A_i$  = พื้นผิวด้านในของท่อควบแน่น;  $\text{m}^2$

แทนค่า

$$U = \left[ \frac{1}{\left( \frac{1}{27240} \right) + (0.0002) + (0.00009) + \left( \frac{0.0002 \times 3.4636 \times 10^{-4}}{3.14159 \times 10^{-1}} \right) + \left( \frac{3.4636 \times 10^{-4}}{12128 \times 3.14159 \times 10^{-4}} \right)} \right]$$

$$U = 196.48 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

ค่าฟลักซ์พลังงานที่นำเข้ามาใช้งานกับสมการเป็นค่าฟลักซ์พลังงานของสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซึ่งจะใช้ในการออกแบบท่อในกรณีที่ไม่มีการระบายความร้อน ดังนั้นพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อควบแน่นจะเท่ากับ

$$A = Q_M / U \Delta T$$

$$A = \left[ \frac{\left( 2484 \frac{\text{kJ}}{\text{day}} \right)}{\left( 196.48 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right) (35 - 32.5) \text{K}} \right] \left( \frac{1}{6 \times 3600 \text{s}} \right) \left( \frac{1000 \text{J}}{1 \text{kJ}} \right)$$

$$A = 0.234 \text{ ตารางเมตร ; ( m}^2 \text{)}$$

เพิ่มค่าความปลอดภัยอีก 50 เปอร์เซ็นต์ ( Safety Factor ) จะได้พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อควบแน่นที่ใช้งานจริงคือ

$$A = 0.234 \times 1.9$$

$$A = 0.44 \text{ ตารางเมตร ; ( m}^2 \text{)}$$

เลือกใช้ท่อทองแดงขนาดระบุ (1/2)" มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ( $D_o$ ) 22 มิลลิเมตรและมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ( $D_i$ ) 20 มิลลิเมตร ยาว 70 เซนติเมตร จำนวน 13 ท่อ ทำเป็นท่อควบแน่นโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อกับเชื่อมท่อเสดเดอร์หัวท้ายขนาด  $1\frac{3}{8}$ " ยาว 80 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อจะได้พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อควบแน่นเท่ากับ 0.5 ตารางเมตร ; ( $m^2$ ) ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งานในระบบหล่อเย็น

## 8. การคำนวณเพื่อออกแบบอีแวปโปเรเตอร์

เงื่อนไข : ค่าภาระการทำความร้อน 55.4357 Watt

อุณหภูมิเมธานอล - 10 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิห้องเย็น 0 องศาเซลเซียส

กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน  $U_0 = 210 \text{ Watt} / m^2 \text{ K}$

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน ( $A_0$ ) ของคอยล์ทองแดง หาได้จาก

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{Q_c}{U_0 \Delta T} \\ &= \left[ \frac{55.4357}{210(0 - (-10))} \right] \\ &= 0.028 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้