การศึกษาการใช้เครื่องควบแน่นในโรงงานผลิตน้ำแข็งซองเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

นางสาวกัณฐกา บุณยวัฒน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1538-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I22208069

A STUDY OF CONDENSERS IN THE BLOCK-ICE MANUFACTURING FOR ENERGY CONSERVATION

Miss Kantaka Boonyawat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-53-1538-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการใช้เครื่องควบแน่นในโรงงานผลิตน้ำแข็งซอง เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
โดย	นางสาว กัณฐกา บุณยวัฒน
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. จิตติน แตงเที่ยง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กัณฐกา บุณยวัฒน : การศึกษาการใช้เครื่องควบแน่นในโรงงานผลิตน้ำแข็งซองเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (A STUDY OF CONDENSERS IN THE BLOCK-ICE MANUFACTURING FOR ENERGY CONSERVATION) : อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล : 120 หน้า ISBN 974-53-1538-9.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการใช้เครื่องควบแน่นในโรงงานผลิตน้ำแข็งซองเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ทำการศึกษาโดยวิธีตรวจวัดข้อมูลจากโรงงานผลิตน้ำแข็ง นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-Cooled Condenser,WCC) กับเครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ (Natural-Draft Evaporative Condenser,NDEC) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการเลือกใช้ รวมทั้งเพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตควบคู่กันไปด้วย

เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องควบแน่นด้วยการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COPr) และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการใช้ไฟฟ้ารวมในการทำความเย็น(COPt) กำหนดให้อุณหภูมิเครื่องระเหยและอุณหภูมิกระเปาะเปียกเป็นตัวแปรควบคุม แต่ในระบบการทำความเย็นที่ทำการศึกษาไม่มีอุปกรณ์ควบคุมตัวแปรที่กำหนด จึงทำการตรวจวัดข้อมูลจำนวนหนึ่งแล้วคัดเลือกชุดข้อมูลของวัฏจักรทั้งสองที่มีตัวแปรควบคุมใกล้เคียงกันมาวิเคราะห์

เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ มีค่าเฉลี่ยCOPr และ COPt มากกว่าเครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ ร้อยละ16 และ ร้อยละ14 ตามลำดับ แม้ว่าเครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมที่หอทำความเย็นมากกว่า แต่พัดลมและพื้นที่ปริมาณมากของแผ่นกรุที่หอทำความเย็นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นกับอากาศ

ปัญหาเฟาลิ่งพบว่า เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำเครื่องเก่าที่ไม่ได้ทำความสะอาด มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(U)น้อยกว่าเครื่องที่ติดตั้งใหม่ ร้อยละ10 แม้มองไม่เห็นความสกปรกที่เกิดด้านในเครื่องควบแน่นแบบเปลือกและท่อ แต่ที่หอทำความเย็นมีความสกปรกที่เกิดขึ้นจากตะไคร่น้ำและโคลนอย่างชัดเจน

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2547

4570213421 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD : BLOCK-ICE / COMPARE / COP / NATURAL-DRAFT EVAPORATIVE CONDENSER / WATER-COOLED CONDENSER / RECIPROCATING COMPRESSOR

KANTAKA BOONYAWAT : A STUDY OF CONDENSERS IN THE BLOCK-ICE MANUFACTURING FOR ENERGY CONSERVATION. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.MINGSAK TANGTRAKUL,120 pp. ISBN 974-53-1538-9.

The thesis aims to comparative study of Water-Cooled Condenser (WCC) and Natural-Draft Evaporative Condenser (NDEC) in the block-ice manufacturing in order to be the selective use for energy conservation . Additionary,provide both way to maintenance and improve the manufacturing process .

To compare the Coefficient of Performance of Refrigeration (COPr) and total Coefficient of Performance of Refrigeration (COPt), set evaporating temperature and wet bulb temperature as the controlled variable. How ever in the field could not control them, so selected nearly condition from number of collective data.

Finding preview, Water-Cooled Condenser obtains higher both COPr and COPt than Natural-Draft Evaporative Condenser : 16% and 14% respectively. Even Water-Cooled Condenser consumes more electric power of the cooling-tower fan ,but the fan and the fill area of the cooling tower increase much heat transfer efficiency between coolant water and air.

Fouling effect;the foul condenser has less overall heat transfer coefficient (U) 10 % than the clean one. Even shell & tube condenser can not be defined the inner fouling but there are algea,mud in the cooling tower which take effect.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Mechanical Engineering Student's signature.....
Field of study Mechanical Engineering Advisor's signature.....
Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ รศ.ดร.พงษ์ธรณ์ จรัญญากรณ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ ซึ่งทั้ง 3 ท่านได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น รวมทั้งอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการวิจัย

เนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับจากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ คุณพงศ์ธร ลีลามณีพงศ์ ช่างสนั่น ถมยา ช่างบุญมี นอกไธสง ที่โรงน้ำแข็งสาครทิพย์ สินทิพย์ ที่กรุณาให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในขณะที่ทำการวิจัยที่โรงงาน คุณเกษม โลหะศิริวัฒน์ ห้างหุ้นส่วนไท้เฮงหลงจำกัด ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องคอมเพรสเซอร์ เครื่องควบแน่น

ขอขอบคุณในน้ำใจของนายดำรงวิทย์ ทองดีนอก ที่ทำวิทยานิพนธ์ในเรื่องที่สัมพันธ์กันและได้ให้ความช่วยเหลือให้ข้อมูลด้วยดีตลอดการทำงาน รวมทั้งขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆที่ห้องป.โท ห้องพลังงาน ห้องBuilding Tech Lab. ที่เรียนและทำกิจกรรมร่วมกันมาหลายปี ทุกเกร็ดความรู้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้

ท้ายที่สุดสำคัญที่สุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณพ่อไพศาล คุณแม่ฉวีวรรณ และน้องชายทั้งสองคน ซึ่งให้กำลังใจในทุกๆด้าน ทุกๆ รูปแบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูปภาพ ..... ฏ
รายการสัญลักษณ์ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 งานวิจัยที่ผ่านมา 3
2.1 งานวิจัยที่ผ่านมา 3

บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐาน 6
3.1 ประเภทของความร้อน 6
3.1.1 ความร้อนสัมผัส 6
3.1.2 ความร้อนแฝง 6
3.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)
3.2.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) 6
3.2.2 การพาความร้อน (Convection Heat Transfer) 6
3.2.3 อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นระนาบ 7
3.2.4 อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านท่อทรงกระบอก 7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรื่อง **หน้า**

3.3 การถ่ายเทมวลและความร้อน....7
3.4 การไหลในท่อ....9
3.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น....9
3.5.1 วัฏจักรคาร์โนต์.... 9
3.5.2 ระบบทำความเย็นทางทฤษฎี.... 10
3.5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น
ทางการปฏิบัติงานจริง....12
3.6 เครื่องคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ....14
3.7 เครื่องระเหยแบบแช่สารทำความเย็น....16
3.8 เครื่องควบแน่น....17
3.9 อัตราการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการควบแน่น....21
3.10 ประสิทธิภาพของเครื่องควบแน่น....23
3.11 ศักย์เอนทัลปี....26

บทที่ 4 วิธีการศึกษา....29
4.1 แนวทางการศึกษา 29
4.1.1 ข้อพิจารณาในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องควบแน่น.....29
4.1.2 การตรวจสอบเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงระบบทำความเย็น.... 29
4.2 กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง 30
4.3 ข้อมูลเบื้องต้นของระบบทำความเย็นในโรงงานน้ำแข็ง....32
4.3.1 ข้อมูลของระบบทำความเย็นในโรงงานน้ำแข็ง 32
4.3.2 ข้อควรระวังเกี่ยวกับแอมโมเนีย (Ammonia)....32
4.4 การตรวจวัด 34
4.4.1 แผนผังโรงงาน WCC (Water-Cooled Condenser) 35
4.4.2 แผนผังโรงงาน NDEC (Natural-Draft Evaporative Condenser)..... .36
4.4.3 เครื่องมือวัด.... 37
4.4.4 ข้อมูลที่ตรวจวัดในระบบทำความเย็น....41
4.4.5 อุณหภูมิของสารทำความเย็น.... 43

4.5 ตัวแปรควบคุมเพื่อการเปรียบเทียบ.....46
4.5.1 อุณหภูมิเครื่องระเหย..... 47
4.5.2 สภาพอากาศแวดล้อม 48

บทที่ 5 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....50
5.1 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COPr).....50
5.2 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการใช้ไฟฟ้ารวมในการทำความเย็น(COPt)..... 52
5.3 ความสกปรกของเครื่องควบแน่น (Fouling).....53
บทที่ 6 สรุปผลวิจัย.....57
6.1 สรุปผลการวิจัย 57
6.2 ข้อเสนอแนะ.....57
6.3 แนวทางการศึกษา..... 57
รายการอ้างอิง 58
ภาคผนวก..... 60
ภาคผนวก ก.การแปลงหน่วยและแผนภูมิแสดงคุณสมบัติ..... 61
ภาคผนวก ข.ตัวอย่างการคำนวณ..... .65
ภาคผนวก ค.ข้อมูลและผลการคำนวณเครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ.... 75
ภาคผนวก ง.ข้อมูลและผลการคำนวณเครื่องควบแน่นแบบระเหย.....91
ภาคผนวก จ.การกำหนดปริมาตรควบคุม..... 108
ภาคผนวก ฉ. การบำรุงรักษาเครื่องควบแน่น.....114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....120

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

4.1 ข้อพิจารณาในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องควบแน่น....29

4.2 ข้อมูลของระบบทำความเย็นในโรงงานน้ำแข็ง.... 32

4.3 รายละเอียดของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ.... 33

4.4 รายละเอียดอุปกรณ์ประกอบในการทำความเย็น.... 34

4.5 ข้อมูลที่ตรวจวัดในระบบการทำความเย็น.... 41

4.6 คุณสมบัติทางความร้อนของท่อเหล็กและฉนวน.... 44

4.7 ค่าการวัดและการคำนวณคุณสมบัติของสารทำความเย็นในวัฏจักร.... 45

4.8 ตัวอย่างของสภาวะในระบบทำความเย็นเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรควบคุม..... 46

5.1 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของระบบที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (WCC) กับที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ (NDEC)..... 50

ข.1 ตัวอย่างข้อมูลการคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรของลมในหอทำความเย็น....74

ค.1 ตารางบันทึกข้อมูลของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ.... 76

ค. 2 ตารางบันทึกข้อมูลไฟฟ้าของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ....77

ค.3 คุณสมบัติของสารทำความเย็นในวัฏจักรตามข้อสมมติฐานที่กำหนดของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ....78

ค.4 ค่าคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ....79

ค.5 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (WCC) กับเครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ (NDEC)....80

ค.6 ประสิทธิภาพการอัดของคอมเพรสเซอร์และอัตราการไหลของมวลสารทำความเย็นในระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ.... 81

ค.7 ค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่หอทำความเย็น..... 82

ค.8 ค่าการถ่ายเทความร้อนจากน้ำหล่อเย็นสู่อากาศแวดล้อมที่หอทำความเย็น..... 83
ค.9 คุณสมบัติของอากาศแวดล้อมของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ..... 84
ค.10 คุณสมบัติของอากาศที่ทางออกหอทำความเย็น..... 85
ค.11 ศักย์ขับความร้อนเฉลี่ยระหว่างน้ำหล่อเย็นกับอากาศในหอทำความเย็น..... 86
ค.12 ตารางบันทึกข้อมูลอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น..... 87
ค.13 การคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรของลมที่หอทำความเย็น..... 89
ค.14 ตารางบันทึกข้อมูลของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งติดตั้งใหม่ (WCC-Clean) 88
ค.15 ค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่หอทำความเย็นซึ่งติดตั้งใหม่ (CT-Clean)..... 90
ง.1 ข้อมูลของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ ซึ่งมีตัวแปรควบคุมใกล้เคียงกับระบบที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ..... 75
ง.2 คุณสมบัติของสารทำความเย็นในวัฏจักรตามข้อสมมติฐานที่กำหนดของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ..... 76
ง.3 ค่าการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ..... 77
ง. 4 ประสิทธิภาพการอัดของคอมเพรสเซอร์และอัตราการไหลของมวลสารทำความเย็นในระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ..... 78
ง. 5 ค่าความร้อนที่น้ำหล่อเย็นรับจากเครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ..... 79
ง.6 คุณสมบัติของอากาศแวดล้อมคุณสมบัติของอากาศแวดล้อมเครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ..... 80
ง.7 ศักย์เอนทัลปีระหว่างน้ำหล่อเย็นกับอากาศในเครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ..... 81
ง.8 ตารางบันทึกข้อมูลของระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยลมธรรมชาติ (NDEC)..... 80
จ.1 เปรียบเทียบการคำนวณคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์เมื่อกำหนดปริมาตรควบคุมต่างกัน..... 110
จ.2 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเมื่อกำหนดปริมาตรควบคุมต่างกัน..... 111

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

3.1 (ก) การถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นระนาบ..... 7
3.1 (ข) การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อทรงกระบอก..... 7
3.2 กระบวนการทางความร้อนตามกฎเส้นตรง..... ... 8
3.3 วัฏจักรคาร์โนต์..... 9
3.4 แผนผังเครื่องจักรกลและอุปกรณ์หลักในระบบการทำความเย็น..... 10
3.5 P-h diagram แสดงคุณสมบัติของสารทำความเย็นในวัฏจักรอัดไอ.....11
3.6 P-h diagram ของระบบการทำความเย็นจริง 13
3.7 เครื่องระเหยแบบ Flooded-Type Evaporative Condenser..... 16
3.8 เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ 17
3.9 เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ..... 18
3.10 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนควบแน่นแบบเปลือกและท่อ.....19
3.11 เครื่องควบแน่นแบบระเหยที่ใช้ลมธรรมชาติ..... 20
3.12 เครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยพัดลม..... 20
3.13 เครื่องควบแน่นแบบระเหยใช้ลมธรรมชาติในโรงงานจริง..... 21
3.14 อุณหภูมิการทำงานจริงของสารทำความเย็นและสารหล่อเย็นในเครื่องควบแน่น 21
3.15 อุณหภูมิเพื่อคำนวณของสารทำความเย็นและสารหล่อเย็นในเครื่องควบแน่น..... 22
3.16 การถ่ายเทความร้อนที่ผิวเปียก..... 26
3.17 การถ่ายเทความร้อนผ่านผิวร่วม เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ..... 27
3.18 การถ่ายเทความร้อนผ่านผิวร่วม เมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ..... 27
4.1 บ่อน้ำเกลือ.....30
4.2 ซองน้ำแข็ง..... 31
4.3 การลำเลียงน้ำแข็งออกจากโรงงาน..... 31
4.4 แผนผังโรงงานผลิตน้ำแข็ง WCC (Water-Cooled Condenser) 35
4.5 แผนผังโรงงานผลิตน้ำแข็ง NDEC (Natural-Draft Evaporative Condenser)..... 36
4.6 เทอร์โมมิเตอร์และเทอร์โมคัปเปิล..... 37
4.7 โพรบวัดอุณหภูมิในของเหลว..... 38

รูปที่ หน้า

4.8 เครื่องมือวัดความชื้นของอากาศ..... .38
4.9 มาตรวัดความดัน..... 39
4.10 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใบพัด..... 39
4.11 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ..... 40
4.12 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า..... 40
4.13 ตำแหน่งการวัดข้อมูลในโรงงาน..... 42
4.14 การวัดกำลังไฟฟ้าที่แผงควบคุมไฟฟ้า..... 42
4.15 หอทำความเย็น CT1,CT2..... 43
4.16 ภาพตัดขวางท่อสารทำความเย็นหุ้มฉนวน..... 43
4.17 p-h diagram ตามตำแหน่งที่ตรวจวัด..... 44
4.18 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเครื่องระเหย อุณหภูมิน้ำเกลือ
และอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน..... 47
4.19 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเครื่องระเหย อุณหภูมิน้ำเกลือ
และกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ช่วงเวลากลางวันและกลาง.....48
4.20 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำดิบ กับสภาพอากาศแวดล้อม.....49
5.1 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COPr)ของวัฏจักร.....51
แผนภูมิเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะใช้ไฟฟ้ารวมในการรทำความเย็น.....52
5.3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า U ของ WCC-Foul กับ WCC-Clean.....53
5.4 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Approach ของ CT-Foul กับ CT-clean.....54
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิควบแน่นกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก..... 55
5.6 แผนภูมิเปรียบเทียบความร้อนของสารทำความเย็นกับความร้อนของน้ำ.....56
ฉ.1 โคลนที่อยู่ในหอทำความเย็น..... 114
ฉ.2 โคลนในอ่างน้ำและตะไคร่น้ำที่เกาะที่ผนังหอทำความเย็นและที่แผ่นรู..... 115
ฉ.3 เศษกิ่งไม้ใบไม้ในอ่างหอทำความเย็น..... 115
ฉ.4 การทำความสะอาดหอทำความเย็นที่มีตะไคร่น้ำเกาะเป็นชั้นหนา..... 116
ฉ.5 แผ่นกรู eliminator สามารถ ถอดออกมาล้าง..... 116
ฉ.6 เครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยพัดลม.....117

รูปที่ หน้า

ฉ.7 พัดลมด้านบนของเครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยพัดลม..... 117
ฉ.8 ความชื้นที่มีมากทำให้แผ่นดักไอน้ำชำรุดได้..... 118
ฉ.9 การทำความสะอาดท่อของเครื่องควบแน่นแบบระเหยด้วยพัดลม..... 118
ฉ.10 ตะกรันที่เคาะออกมาจากเครื่อง EVC..... 119

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์		หน่วย
A	พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน	m^2
C	ความร้อนจำเพาะ	kJ/(kg.^oC)
COP_r	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น	
COP_t	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการใช้ไฟฟ้ารวมในการทำความเย็น	
h	ค่าเอนทาลปีจำเพาะ	kJ/kg
h_i	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวด้านใน	kW/($m^2.^oC$)
h_o	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวด้านนอก	kW/($m^2.^oC$)
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	kW/(m.^oC)
$LMTD$	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอก	^oC
m	อัตราการไหลเชิงมวล	kW
P	ความดัน	kPa
q	ความร้อนถ่ายต่อหนึ่งหน่วยมวล	kJ/kg
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kJ/s
R	ค่าความต้านทานความร้อน	^oC/kW
RH	ความชื้นสัมพัทธ์	%
S	เอนโทรปี	kJ/(kg.^oC)
T	อุณหภูมิ	^oC
Ta	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ	^oC
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	kW/($m^2.^oC$)
V	ความเร็ว	m/s
v	ปริมาตรจำเพาะ	m^3/kg
v_p	อัตราการไหลเชิงปริมาตร	m^3/s
w	พลังงานต่อหน่วยมวล	kJ/kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์		หน่วย
A	พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน	m^2
C	ความร้อนจำเพาะ	kJ/(kg.^oC)
COP_r	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น	
COP_t	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการใช้ไฟฟ้ารวมในการทำความเย็น	
h	ค่าเอนทาลปีจำเพาะ	kJ/kg
h_i	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวด้านใน	kW/($m^2.^oC$)
h_o	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวด้านนอก	kW/($m^2.^oC$)
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	kW/(m.^oC)
$LMTD$	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอก	^oC
m	อัตราการไหลเชิงมวล	kW
P	ความดัน	kPa
q	ความร้อนถ่ายต่อหนึ่งหน่วยมวล	kJ/kg
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kJ/s
R	ค่าความต้านทานความร้อน	^oC/kW
RH	ความชื้นสัมพัทธ์	%
S	เอนโทรปี	kJ/(kg.^oC)
T	อุณหภูมิ	^oC
Ta	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ	^oC
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	kW/($m^2.^oC$)
V	ความเร็ว	m/s
v	ปริมาตรจำเพาะ	m^3/kg
v_p	อัตราการไหลเชิงปริมาตร	m^3/s
w	พลังงานต่อหน่วยมวล	kJ/kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย