อุณหภูมิน้ำเย็นจ่ายและแตกต่างที่เหมาะสม
สำหรับระบบปรับอากาศ

นายศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-1516-1
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21044545

OPTIMUM CHILLED WATER SUPPLY TEMPERATURE AND TEMPERATURE DIFFERENCE FOR AIR CONDITIONING SYSTEM

Mr. Sitphan Kanla

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
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2002

ISBN 974-17-1516-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อุณหภูมิน้ำเย็นจ่ายและแตกต่างที่เหมาะสมสำหรับระบบปรับอากาศ
โดย	นายศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา : อุณหภูมิน้ำเย็นจ่ายและแตกต่างที่เหมาะสมสำหรับระบบปรับอากาศ. (OPTIMUM CHILLED WATER SUPPLY TEMPERATURE AND TEMPERATURE DIFFERENCE FOR AIR CONDITIONING SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา , 251 หน้า. ISBN 974-17-1516-1.

การออกแบบระบบวงจรด้านน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลาง วิศวกรส่วนใหญ่นิยมออกแบบให้อุณหภูมิน้ำเย็นจ่าย (CWST) มีค่าเท่ากับ 45 °F และอุณหภูมิแตกต่าง (TD) มีค่าเท่ากับ 10 °F แต่หากเปลี่ยนแปลงค่าการออกแบบนี้ให้สูงขึ้นหรือลดต่ำลงก็จะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบ (LCC) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทั้งสองที่ส่งผลทำให้ค่า LCC มีค่าต่ำที่สุด

แบบจำลองระบบวงจรด้านน้ำเย็นที่ใช้ศึกษานี้เป็นชนิดท่อกลับตรง ประกอบด้วย เครื่องทำน้ำเย็นแบบหอยโข่งชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 450 ตัน จำนวน 4 เครื่อง เครื่องสูบน้ำเย็นแบบหอยโข่ง จำนวน 4 เครื่อง เครื่องส่งลมเย็นขนาด 66 ตัน และขนาด 80 ตัน จำนวน 20 และ 6 เครื่อง ตามลำดับ ผลจากการศึกษาพบว่าค่าที่เหมาะสมของ CWST และ TD ที่ทำให้ LCC มีค่าต่ำที่สุด สำหรับแบบจำลองดังกล่าว คือ 46 °F และ 16 °F ตามลำดับ การศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงของค่า CWST และ TD ต่อแนวโน้มโดยทั่วไปของ LCC พบว่าค่าการออกแบบสำหรับ CWST และ TD ควรอยู่ในช่วงระหว่าง 45 - 47 °F และ 10 -16 °F ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2545

4370522121 : MAJOR MACHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: CHILLED WATER SUPPLY TEMPERATURE / TEMPERATURE DIFFERENCE / CHILLED WATER SIDE

SITPHAN KANLA : OPTIMUM CHILLED WATER SUPPLY TEMPERATURE AND TEMPERATURE DIFFERENCE FOR AIR CONDITIONING SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.TUL MANEEWATTANA, Ph.D., 251 pp. ISBN 974-17-1516-1.

In the design of chilled water supply system for central air conditioning system, most engineer usually designs the chilled water supply temperature (CWST) at 45 °F and temperature difference (TD) at 10 °F. Alteration of these design values have an impact on the life cycle cost of the system (LCC). The objective of this research is to find the optimum value of these variables to accheive a minimum value of LCC.

In this study, a model of direct return chilled water supply system was used in the simulation. It consists of 4 units of 450 tons water - cooled centrifugal liquid chillers, 4 units of centrifugal chilled water pumps, 20 and 6 units of 66 Ton and 80 Ton air handling units respectively. Results of the study show that the optimum value of CWST and TD that give the minimum LCC is 46 °F and 16 °F, respectively. The effect of changing CWST and TD on LCC in general was also studied, it was found that the design values of CWST and TD should be in the range of 45 to 47 °F and 10 to 16 °F, respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Mechanical Engineering Student's signature .....

Field of study Mechanical Engineering Advisor's signature .....

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ทวี เวชพฤติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน และ อาจารย์ ดร. เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผลทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก และ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานงานแห่งชาติ (สพช.) ที่ช่วยสนับสนุนในด้านการเงินแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท เทรน (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท ตะวันออก อิมปอร์ต-เอ็กซ์ปอร์ต (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท สหพีร์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด บริษัท เอ็กมี่ จำกัด และ บริษัท โรจน์ไพบูลย์อีควิ๊ปเม้นท์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของข้อมูลที่ต้องการเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี พร้อมด้วยคณาจารย์และบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโททุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา รวมไปถึงพี่ชายของผู้วิจัยที่ช่วยอบรมสั่งสอน คอยให้กำลังใจและเป็นแรงผลักดันสำคัญให้สามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญภาพ.....ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....ฏ

บทที่

1. บทนำ.....1
    1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
    1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....4
    1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....4
    1.4 ขั้นตอนการทำงาน.....4
    1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....5
    1.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5
2. ทฤษฎี.....8
    2.1 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลาง.....8
    2.2 ระบบวงจรด้านน้ำเย็น.....12
    2.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบวงจรด้านน้ำเย็น.....34
3. แนวทางการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับระบบวงจรด้านน้ำเย็น.....42
    3.1 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ.....44
    3.2 เครื่องทำน้ำเย็น.....46
    3.3 เครื่องส่งลมเย็นแบบใช้น้ำเย็น.....52
    3.4 ระบบการกระจายน้ำเย็น.....62
    3.5 เฮดสูญเสียของระบบการกระจายน้ำเย็น.....89
    3.6 วิธีการค้นหา.....100

หน้า

4. แบบจำลองของระบบวงจรด้านน้ำเย็นและข้อสมมติฐาน....101
4.1 แบบจำลองของระบบวงจรด้านน้ำเย็น....101
4.2 ข้อสมมติฐาน....110
5. ผลลัพธ์ การเปรียบเทียบและการวิเคราะห์....116
5.1 ผลลัพธ์และการเปรียบเทียบ....116
5.2 การวิเคราะห์ผล....179
6. บทสรุป การอภิปรายและข้อเสนอแนะ....183
6.1 บทสรุป....183
6.2 การอภิปราย....185
6.3 ข้อเสนอแนะ....188

รายการอ้างอิง....190
ภาคผนวก....192
ภาคผนวก ก.กราฟแสดงความสัมพันธ์ของราคาท่อน้ำเย็น และอุปกรณ์ประกอบระบบท่อกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)....193
ภาคผนวก ข.กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความยาวสมมูล (L_E) ของอุปกรณ์ของวายสเตรนเนอร์ (Y – Type Strainer), Sudden Enlargement Sudden Contraction กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 198
ภาคผนวก ค.ผลการเลือก Control Valve ที่ใช้กับ AHU ในแต่ละ Loop ของแบบจำลองระบบวงจรด้านน้ำเย็น....203
ภาคผนวก ง.ตารางแสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ของแบบจำลองระบบวงจรด้านน้ำเย็น....237
ภาคผนวก จ.ตารางแสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในกรณีCWST45TD10....244
ประวัติของผู้เขียนวิทยานิพนธ์....251

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงข้อกำหนดของค่าความเร็วของน้ำตามลักษณะของงาน.....25

2.2 แสดงค่าความเร็วสูงสุดของน้ำที่ทำให้ท่อสึกกร่อนน้อยที่สุด.....25

2.3 แสดงค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำเย็นสำหรับใช้ในการออกแบบ.....27

2.4 แสดงค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Header สำหรับใช้ในการออกแบบ.....28

2.5 แสดงความยาวสมมูล (ft) ของวาล์วชนิดต่างๆ.....29

2.6 แสดงความยาวสมมูล (ft) ของข้องอชนิดต่างๆ.....30

2.7 แสดงความยาวสมมูล (ft) ของข้อลด—ข้อเพิ่ม ชนิดต่างๆ.....31

2.8 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้งาน (Time of Use Tariff : TOU) สำหรับกิจการขนาดใหญ่ กฟน. 36

3.1 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 40 °F..... 47

3.2 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 41 °F..... 47

3.3 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 42 °F..... 47

3.4 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 43 °F..... 48

3.5 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 44 °F..... 48

3.6 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 45 °F..... 48

3.7 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 46 °F..... 48

3.8 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 47 °F..... 49

3.9 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 48 °F..... 49

3.10 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 49 °F..... 49

3.11 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 50 °F..... 49

3.12 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 40 °F..... 53

3.13 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 41 °F..... 54

3.14 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 42 °F..... 54

3.15 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 43 °F..... 54

3.16 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 44 °F..... 54

3.17 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 45 °F..... 55

3.18 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 46 °F..... 55

3.19 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 47 °F..... 55

ตารางที่ หน้า

3.20 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 48 °F..... 55
3.21 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 49 °F..... 56
3.22 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 50 °F..... 56
3.23 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 40 °F..... 56
3.24 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 41 °F..... 56
3.25 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 42 °F..... 57
3.26 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 43 °F..... 57
3.27 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 44 °F..... 57
3.28 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 45 °F..... 57
3.29 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 46 °F..... 58
3.30 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 47 °F..... 58
3.31 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 48 °F..... 58
3.32 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 49 °F..... 58
3.33 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ CWST = 50 °F..... 59
3.34 แสดงราคาท่อเหล็กกล้าต่อความยาว 1 เมตร..... 63
3.35 แสดงราคาของ Valve และ Fitting ที่ใช้ในงานวิจัย.....66
3.36 แสดงข้อมูลพื้นฐานของวาล์วควบคุม 2 ทิศทางและ Actuator.....69
3.37 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 40 °F.....72
3.38 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 41 °F.....73
3.39 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 42 °F.....73
3.40 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 43 °F.....74
3.41 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 44 °F.....74
3.42 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 45 °F.....75
3.43 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 46 °F.....75
3.44 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 47 °F.....76
3.45 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 48 °F.....76
3.46 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 49 °F.....77
3.47 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 50 °F.....77

ตารางที่ หน้า

3.48 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 51 °F.....78
3.49 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 52 °F.....78
3.50 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 53 °F.....79
3.51 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 54 °F.....79
3.52 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 55 °F.....80
3.53 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 56 °F.....80
3.54 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 57 °F.....81
3.55 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 58 °F.....81
3.56 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 59 °F.....82
3.57 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 60 °F.....82
3.58 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 61 °F.....83
3.59 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 62 °F.....83
3.60 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 63 °F.....84
3.61 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 64 °F.....84
3.62 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 65 °F.....85
3.63 ตารางแสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 66 °F.....85
3.64 ตารางแสดงผลการเลือก Horizontal Split Case Centrifugal Pump 87
4.1 ตารางแสดงความยาวท่อ อุปกรณ์ประกอบระบบท่อและวาล์วพร้อมด้วยจำนวนที่ใช้..103
5.1 ตารางแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ในแต่ละ Section 117
ค.1 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST40TD06.....204
ค.2 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST40TD08.....204
ค.3 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST40TD10.....205
ค.4 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST40TD12.....205
ค.5 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST40TD14.....206
ค.6 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST40TD16.....206
ค.7 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST41TD06.....207
ค.8 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST41TD08.....207
ค.9 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST41TD10.....208

ตารางที่ หน้า

ค.10 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST41TD12.....208
ค.11 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST41TD14.....209
ค.12 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST41TD16.....209
ค.13 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST42TD06.....210
ค.14 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST42TD08.....210
ค.15 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST42TD10.....211
ค.16 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST42TD12.....211
ค.17 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST42TD14.....212
ค.18 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST42TD16.....212
ค.19 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST43TD06.....213
ค.20 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST43TD08.....213
ค.21 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST43TD10.....214
ค.22 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST43TD12.....214
ค.23 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST43TD14.....215
ค.24 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST43TD16.....215
ค.25 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST44TD06.....216
ค.26 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST44TD08.....216
ค.27 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST44TD10.....217
ค.28 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST44TD12.....217
ค.29 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST44TD14.....218
ค.30 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST44TD16.....218
ค.31 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST45TD06.....219
ค.32 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST45TD08.....219
ค.33 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST45TD10.....220
ค.34 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST45TD12.....220
ค.35 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST45TD14.....221
ค.36 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST45TD16.....221
ค.37 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST46TD06.....222

ตารางที่ หน้า

ค.38 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST46TD08.....222
ค.39 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST46TD10.....223
ค.40 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST46TD12.....223
ค.41 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST46TD14.....224
ค.42 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST46TD16.....224
ค.43 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST47TD06.....225
ค.44 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST47TD08.....225
ค.45 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST47TD10.....225
ค.46 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST47TD12.....226
ค.47 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST47TD14.....226
ค.48 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST47TD16.....227
ค.49 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST48TD06.....227
ค.50 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST48TD08.....228
ค.51 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST48TD10.....228
ค.52 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST48TD12.....229
ค.53 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST48TD14.....229
ค.54 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST48TD16.....230
ค.55 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST49TD06.....230
ค.56 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST49TD08.....231
ค.57 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST49TD10.....231
ค.58 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST49TD12.....232
ค.59 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST49TD14.....232
ค.60 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST49TD16.....233
ค.61 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST50TD06.....233
ค.62 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST50TD08.....234
ค.63 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST50TD10.....235
ค.64 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST50TD12.....235
ค.65 ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST50TD14.....236

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค.66	ตารางแสดงผลการเลือก Control Valve : CWST50TD16	236
ง.1	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 40 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	238
ง.2	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 41 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	238
ง.3	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 42 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	239
ง.4	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 43 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	239
ง.5	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 44 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	240
ง.6	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 45 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	240
ง.7	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 46 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	241
ง.8	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 47 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	241
ง.9	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 48 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	242
ง.10	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 49 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	242
ง.11	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 50 ^{0}F : 6 ^{0}F $\leq$ TD $\leq$ 16 ^{0}F	243
จ.1	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 40 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	245
จ.2	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 41 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	245
จ.3	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 42 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	246
จ.4	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 43 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	246
จ.5	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 44 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	247
จ.6	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 45 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	247
จ.7	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 46 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	248
จ.8	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 47 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	248
จ.9	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 48 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	249
จ.10	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 49 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	249
จ.11	แสดงค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เมื่อ CWST = 50 ^{0}F เทียบกับ CWST45TD10	250

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงวงจรพื้นฐานอย่างง่ายของระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลาง.....9

2.2 แสดงระบบวงจรด้านน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลาง.....12

2.3 แสดงอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบการทำน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ.....13

2.4 แสดงแผนภาพความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ.....13

2.5 แสดงทิศทางการเปลี่ยนแปลงของ T_E เมื่อกำหนดให้ค่า CWST เปลี่ยนไป.....15

2.6 กราฟแสดงเฮดสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานสำหรับการไหลของน้ำในท่อเหล็กกล้า (ระบบปิด).....26

2.7 แสดงมูลค่าของเงินในปัจจุบันสำหรับยอดเงินที่มีค่าใช้จ่ายเป็นงวดๆ ละเท่าๆ กัน.....40

3.1 แสดงบริเวณที่เป็นไปได้ (Feasible Region : $\overline{abcd}$) ของการออกแบบที่เหมาะสม....43

3.2 แสดงจุดที่เหมาะสมที่สุดของค่า CWST และ TD ที่ทำให้ LCC ของระบบมีค่าต่ำที่สุด..43

3.3 แสดงระบบวงจรด้านน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลาง.....41

3.4 แสดงตัวอย่างระบบวงจรกระจายน้ำเย็นสำหรับหาค่าเฮดสูญเสียของข้อตัวที.....95

4.1 แสดงตัวอย่างแบบจำลองระบบวงจรน้ำเย็นของระบบปรับอากาศที่ใช้ในการวิจัย..... 102

4.2 แสดง Flow Chart การทำงานอย่างง่ายๆ ของโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น.....109

5.1 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 40 °F.....124

5.2 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 41 °F..... 124

5.3 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 42 °F..... 125

5.4 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 43 °F..... 125

5.5 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 44 °F.....126

5.6 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 45 °F.....126

5.7 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 46 °F..... 127

5.8 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 47 °F.....127

5.9 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 48 °F..... 128

5.10 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 49 °F..... 128

5.11 แสดงค่าเฮดสูญเสียในแต่ละ Loop ของ AHU (ไม่รวม H_{CV}) : CWST = 50 °F..... 129

5.12 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 40 °F 130

5.13 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 41 °F 131

5.14 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 42 °F 131

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.15 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 43 °F 132

5.16 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 44 °F 132

5.17 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 45 °F 133

5.18 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 46 °F 133

5.19 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 47 °F 134

5.20 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 48 °F 134

5.21 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 49 °F 135

5.22 แสดงค่า H_{CV} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 50 °F 135

5.23 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 40 °F 136

5.24 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 41 °F 137

5.25 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 42 °F 137

5.26 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 43 °F 138

5.27 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 44 °F 138

5.28 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 45 °F 139

5.29 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 46 °F 139

5.30 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 47 °F 140

5.31 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 48 °F 140

5.32 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 49 °F 141

5.33 แสดงค่า Valve Authority ของ Control Valveในแต่ละ Loop : CWST = 50 °F 141

5.34 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 40 °F 143

5.35 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 41 °F 143

5.36 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 42 °F 144

5.37 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 43 °F 144

5.38 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 44 °F 145

5.39 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 45 °F 145

5.40 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 46 °F 146

5.41 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 47 °F 146

5.42 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 48 °F 147

รูปที่ หน้า

5.43 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 49 °F 147

5.44 แสดงค่า H_{TOTAL} ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Loop ของ AHU : CWST = 50 °F 148

5.45 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า IC_{CH} ในกรณีต่างๆ 150

5.46 แสดงค่า IC_{CH} ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $IC_{CH@CWST45TD10}$.....150

5.47 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า IC_{AHU} ในกรณีต่างๆ 152

5.48 แสดงค่า IC_{AHU} ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $IC_{AHU@CWST45TD10}$.....152

5.49 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า IC_{PUMP} ในกรณีต่างๆ 154

5.50 แสดงค่า IC_{PUMP} ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $IC_{PUMP@CWST45TD10}$.....154

5.51 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า $IC_{PIPING\&FITTING}$ ในกรณีต่างๆ 156

5.52 แสดงค่า $IC_{PIPING\&FITTING}$ ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $IC_{PIPING\&FITTING@CWST45TD10}$.....156

5.53 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า $IC_{INSULATION}$ ในกรณีต่างๆ 158

5.54 แสดงค่า $IC_{INSULATION}$ ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $IC_{INSULATION@CWST45TD10}$.....158

5.55 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า IC_{TOTAL} ในกรณีต่างๆ 160

5.56 แสดงค่า IC_{TOTAL} ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $IC_{TOTAL@CWST45TD10}$.....160

5.57 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า OC_{CH} ในกรณีต่างๆ 163

5.58 แสดงค่า OC_{CH} ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $OC_{CH@CWST45TD10}$.....163

5.59 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า OC_{AHU} ในกรณีต่างๆ 165

5.60 แสดงค่า OC_{AHU} ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $OC_{AHU@CWST45TD10}$.....165

5.61 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า OC_{PUMP} ในกรณีต่างๆ 167

5.62 แสดงค่า OC_{PUMP} ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $OC_{PUMP@CWST45TD10}$.....167

5.63 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า OC_{TOTAL} ในกรณีต่างๆ 169

5.64 แสดงค่า OC_{TOTAL} ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $OC_{TOTAL@CWST45TD10}$.....169

5.65 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า MC_{TOTAL} ในกรณีต่างๆ 173

5.66 แสดงค่า MC_{TOTAL}ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $MC_{TOTAL@CWST45TD10}$.....173

5.67 แสดงผลกระทบของ CWST และ TD ที่มีต่อค่า LCC ในกรณีต่างๆ 176

5.68 แสดงค่า LCC ในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับค่า $LCC_{@CWST45TD10}$.....176

รูปที่		หน้า
ก.1	แสดงเส้นแนวโน้มและสมการของราคาท่อน้ำต่อความยาว 1 เมตรพร้อมด้วยค่า R^2	194
ก.2	แสดงเส้นแนวโน้มและสมการของราคา Flexible Joint พร้อมด้วยค่า R^2	194
ก.3	แสดงเส้นแนวโน้มและสมการของราคา 90STD พร้อมด้วยค่า R^2	195
ก.4	แสดงเส้นแนวโน้มและสมการของราคา No Reduction Tee พร้อมด้วยค่า R^2	195
ก.5	แสดงเส้นแนวโน้มและสมการของราคา Glove Valve & Butterfly Valve พร้อมด้วยค่า R^2	196
ก.6	แสดงเส้นแนวโน้มและสมการของราคา Gate Valve พร้อมด้วยค่า R^2	196
ก.7	แสดงเส้นแนวโน้มและสมการของราคา Check Valve พร้อมด้วยค่า R^2	197
ก.8	แสดงเส้นแนวโน้มและสมการของราคา Strainer พร้อมด้วยค่า R^2	197
ข.1	แสดงเส้นแนวโน้มและค่าความยาวสมมูลของ Y-Type Strainer พร้อมด้วยค่า R^2	199
ข.2	แสดงเส้นแนวโน้มและค่า L_E ของ Sudden Enlargement (d/D = ¼) พร้อมด้วยค่า R^2	199
ข.3	แสดงเส้นแนวโน้มและค่า L_E ของ Sudden Enlargement (d/D = ½) พร้อมด้วยค่า R^2	200
ข.4	แสดงเส้นแนวโน้มและค่า L_E ของ Sudden Enlargement (d/D = ¾) พร้อมด้วยค่า R^2	200
ข.5	แสดงเส้นแนวโน้มและค่า L_E ของ Sudden Contraction (d/D = ¼) พร้อมด้วยค่า R^2	201
ข.6	แสดงเส้นแนวโน้มและค่า L_E ของ Sudden Contraction (d/D = ½) พร้อมด้วยค่า R^2	201
ข.7	แสดงเส้นแนวโน้มและค่า L_E ของ Sudden Contraction (d/D = ¾) พร้อมด้วยค่า R^2	202

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

ตัวแปร		หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำ	m^2
Bhp	กำลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องสูบน้ำ	Bhp
c_P	ความร้อนจำเพาะของน้ำ	Btu / lb ^oF
C	ตัวประกอบความหยาบท่อ	-
C_V	สัมประสิทธิตัวกำหนด	GPM / $Psi^{0.5}$
CWST	อุณหภูมิน้ำเย็นจ่าย	^oF
CWRT	อุณหภูมิน้ำเย็นกลับ	^oF
CDWST	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจ่าย	^oF
CDWRT	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นกลับ	^oF
DOFP	จำนวนวันทำงานของอุปกรณ์ต่อเดือน ในช่วง Off Peak	hr
DNOP	จำนวนวันทำงานของอุปกรณ์ต่อเดือน ในช่วง On Peak	วัน
EC	อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน	บาท
E_B	ค่าไฟฟ้าฐาน	บาท
E_{FT}	ค่าไฟฟ้าผันแปร	บาท
E_{VAT}	ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม	บาท
E_{CH}	ค่าไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น	บาท
E_{AHU}	ค่าไฟฟ้าของเครื่องส่งสมเย็น	บาท
E_{PUMP}	ค่าไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำเย็น	บาท
g	ความเร่งของแรงโน้มถ่วง	ft / s^2
GPM	อัตราการไหลโดยปริมาตรของน้ำเย็น	gallons / min.
H	เฮดสูญเสีย	ft. of WG.
HOFP	จำนวนชั่วโมงทำงานของอุปกรณ์ต่อวัน ในช่วง Off Peak	hr
HNOP	จำนวนชั่วโมงทำงานของอุปกรณ์ต่อวัน ในช่วง On Peak	hr
H_{AHU}	เฮดสูญเสียของเครื่องส่งลมเย็น	ft. of WG.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

ตัวแปร		หน่วย
H_{BUT}	เฮดสูญเสียของ Butterfly Valve	ft. of WG.
H_{CH}	เฮดสูญเสียของเครื่องทำน้ำเย็น	ft. of WG.
H_{CHECK}	เฮดสูญเสียของ Lift Check Valve	ft. of WG.
H_{CV}	เฮดสูญเสียของวาล์วควบคุม	ft. of WG.
$H_{CON1/4}$	เฮดสูญเสียของ Sudden Contraction (d/D=¼)	ft. of WG.
$H_{CON1/2}$	เฮดสูญเสียของ Sudden Contraction (d/D=½)	ft. of WG.
$H_{CON3/4}$	เฮดสูญเสียของ Sudden Contraction (d/D=¾)	ft. of WG.
$H_{ENL1/4}$	เฮดสูญเสียของ Sudden Enlargement (d/D=¼)	ft. of WG.
$H_{ENL1/2}$	เฮดสูญเสียของ Sudden Enlargement (d/D=½)	ft. of WG.
$H_{ENL3/4}$	เฮดสูญเสียของ Sudden Enlargement (d/D=¾)	ft. of WG.
H_{GATE}	เฮดสูญเสียของ Gate Valve	ft. of WG.
H_{GLOBE}	เฮดสูญเสียของ Globe Valve	ft. of WG.
$H_{FITTING\&VALVE}$	เฮดสูญเสียของอุปกรณ์ประกอบท่อ	ft. of WG.
H_{FLEX}	เฮดสูญเสียของ Flexible Joint	ft. of WG.
H_{LOOP}	เฮดสูญเสียในแต่ละ Loop	ft. of WG.
H_{PIPE}	เฮดสูญเสียของท่อน้ำเย็น	ft. of WG.
H_{PUMP}	เฮดสูญเสียของเครื่องสูบน้ำ	ft. of WG.
H_{STRAIN}	เฮดสูญเสียของ Y-Type Strainer	ft. of WG.
H_{TEE}	เฮดสูญเสียของข้อต่อตัวที	ft. of WG.
H_{TOTAL}	เฮดสูญเสียรวม	ft. of WG.
H_{90STD}	เฮดสูญเสียของข้องอ 90°	ft. of WG.
i	อัตราดอกเบี้ย	บาท / ปี
IC	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้น	บาท
IC_{AHU}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องส่งลมเย็น	บาท
IC_{BUT}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้น Butterfly Valve	บาท
IC_{CH}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องทำน้ำเย็น	บาท
IC_{CV}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของวาล์วควบคุม	บาท
IC_{CHECK}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของ Lift Check Valve	บาท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

ตัวแปร		หน่วย
IC_{DIS}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของระบบการกระจายน้ำเย็น	บาท
$IC_{FITTING}$	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นอุปกรณ์ประกอบระบบท่อ	บาท
IC_{FLEX}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของ Flexible Joint	บาท
IC_{GLOBE}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของ Globe Valve	บาท
IC_{GATE}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของ Gate Valve	บาท
IC_{PIPE}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของท่อน้ำเย็น	บาท
IC_{VALVE}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของวาล์ว	บาท
IC_{STRAIN}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของ Y-Type Strainer	บาท
IC_{TEE}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของข้อต่อตัวที	บาท
IC_{90STD}	ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของข้องอ 90°	บาท
LCC	ค่าใช้จ่ายตลอดทั้งหมดอายุการใช้งาน	บาท
LCC_{CH}	ค่าใช้จ่ายตลอดทั้งหมดอายุการใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็น	บาท
LCC_{AHU}	ค่าใช้จ่ายตลอดทั้งหมดอายุการใช้งานของเครื่องส่งลมเย็น	บาท
LCC_{DIS}	ค่าใช้จ่ายตลอดทั้งหมดอายุการใช้งานของระบบการกระจายน้ำเย็น	บาท
L	ความยาวท่อ	m , ft
LAT	อุณหภูมิอากาศกลับ	$^{\circ}F$
L_{GATE}	ความยาวสมมูลของ Gate Valve	ft
L_{BUT}	ความยาวสมมูลของ Butterfly Valve	ft
L_{CHECK}	ความยาวสมมูลของ Lift Check Valve	ft
$L_{CON1/4}$	ความยาวสมมูลของSudden Contraction (d/D=¼)	ft
$L_{CON1/2}$	ความยาวสมมูลของSudden Contraction (d/D=½)	ft
$L_{CON3/4}$	ความยาวสมมูลของSudden Contraction (d/D=¾)	ft
$L_{ENL1/4}$	ความยาวสมมูลของSudden Enlargement (d/D=¼)	ft
$L_{ENL1/2}$	ความยาวสมมูลของSudden Enlargement (d/D=½)	ft
$L_{ENL3/4}$	ความยาวสมมูลของSudden Enlargement (d/D=¾)	ft

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

ตัวแปร		หน่วย
L_E	ความยาวสมมูล	ft
L_{FLEX}	ความยาวสมมูลของ Flexible Joint	ft
L_{GATE}	ความยาวสมมูลของ Gate Valve	ft
L_{GLOBE}	ความยาวสมมูลของ Globe Valve	ft
L_{PIPE}	ความยาวสมมูลของท่อน้ำ	ft
L_{STRAIN}	ความยาวสมมูลของ Y-Type Strainer	ft
L_{TEE}	ความยาวสมมูลของต่อตัวที	ft
L_{90STD}	ความยาวสมมูลของข้องอ 90°	ft
kW	ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์	kW
kW_{CH}	กิโลวัตต์คอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็น	kW
kW_{AHU}	กิโลวัตต์มอเตอร์ของเครื่องส่งลมเย็น	kW
kW_{PUMP}	กิโลวัตต์มอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำเย็น	kW
$\dot{m}_w$	อัตราการไหลของน้ำโดยมวล	lb / hr
MC	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	บาท
MC_{AHU}	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องส่งลมเย็น	บาท
MC_{CH}	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็น	บาท
MC_{DIS}	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบกระจายน้ำเย็น	บาท
n	อายุของโครงการ	ปี
NOP	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าช่วง On Peak	kW
OC	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	บาท
OC_{AHU}	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเครื่องส่งลมเย็น	บาท
OC_{CH}	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเครื่องทำน้ำเย็น	บาท
OC_{PUMP}	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเครื่องสูบน้ำเย็น	บาท
PD	ความดันสูญเสีย	lb_f / ft^2
q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	Btu / hr
R	สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด	
TD	อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเย็น	$^\circ F$
T_C	อุณหภูมิคอนเดนเซอร์	$^\circ F$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

ตัวแปร		หน่วย
T_E	อุณหภูมิอิวาพอเรเตอร์	^{o}F
UNOP	จำนวนหน่วยของพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak	kW-hr
UOFP	จำนวนหน่วยของพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak	kW-hr
V	ความเร็วของน้ำ	ft / s
Wph	กำลังงานที่น้ำได้รับจากเครื่องสูบน้ำ	hp
SAT	อุณหภูมิอากาศจ่าย	^{o}F
ε	ความหยาบของท่อ	-
f	ตัวประกอบแรงเสียดทาน	-
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	lb_m / ft^2
η_P	ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ	-
η_m	ประสิทธิภาพมอเตอร์	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย