การใช้ระบบทำความเย็นและหม้อน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อการประหยัดพลังงาน

นายสุรชัย ระตะนะอาพร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2529

ISBN 974-567-167-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012059

1020731C

OPTIMIZATION OF CHILLER AND BOILER PLANTS FOR ENERGY CONSERVATION

Mr. Surachai Ratana-aphorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1986

ISBN 974-567-167-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ระบบทำความเย็นและหม้อน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อการประหยัดพลังงาน
โดย	นายสุรชัย ระตะนะอาพร
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี เลิศปัญญาวิทย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.อาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี เลิศปัญญาวิทย์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ระบบทำความเย็นและหม้อน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อการประหยัดพลังงาน
ชื่อนิสิต	นายสุรชัย ระตะนะอาพร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี เลิศปัญญาวิทย์
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2529

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อที่จะศึกษาการนำความรู้ในการประหยัดพลังงานมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในระบบทำความเย็นและระบบผลิตไอน้ำ ซึ่งใช้ไอน้ำเป็นแหล่งพลังงานปฐมภูมิ ในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกโรงแรมแห่งหนึ่งในกรุงเทพฯ เป็นแบบในการศึกษาและเก็บข้อมูล และได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาถึงอุปกรณ์เครื่องจักรหลัก และการจำลองระบบในรูปของทางคณิตศาสตร์ ส่วนหลังเป็นการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อคำนวณแบบภาระภายใน 24 ชั่วโมง ความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับประสิทธิภาพหรือสมรรถภาพของเครื่องจักร และการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยเตรียมข้อมูลว่าจะเดินเครื่องอย่างไรจึงจะเสียค่าใช้จ่ายต่ำสุด

การวิจัยครั้งนี้พอสรุปได้ดังนี้ ภาระการทำความเย็นนั้นมีลักษณะที่สม่ำเสมอ และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2200 กิโลวัตต์ ในช่วงที่ต้องการภาระสูงสุด และ 900 กิโลวัตต์ ในช่วงต้องการภาระต่ำสุด ส่วนภาระการทำความร้อนนั้นมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ ค่าเฉลี่ยความต้องการภาระความร้อนเท่ากับ 100 กิโลวัตต์ เมื่อพิจารณาทั้งระบบจะพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้เฉลี่ยวันละเท่ากับ 231.58 บาท หรือคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 1.4 % โดยคิดค่าใช้จ่ายน้ำมันเตาราคาเท่ากับ 4.125 บาท/ลิตร

Thesis Title	Optimization of Chiller and Boiler Plants for Energy Conservation
Name	Mr. Surachai Ratana-aphorn
Thesis Advisor	Assistance Professor Tavee Lertpanyavit, Dr.-Ing.
Department	Mechanical Engineering
Academic Year	1986

ABSTRACT

The aim of this thesis is to study the application of energy conservation technology to obtain optimal operation for the Chiller and Boiler plants which use steam as the primary energy source. A hotel in Bangkok is used as the model for this research and the research is divided into two parts. In the first part, the major plant equipments and the systems simulation in mathematical form were studied. In the last part, the observed data was analysed to determine the load pattern within 24 hours, the relation between load and efficiency or performance of machine, and using computer to provide the data on how to operate the plant at least cost. The important results of the study are as follows.

The cooling load pattern has uniform character and the average value is 2200 KW during peak load demand, and 900 KW during lowest load demend. The heating load pattern has random character, the average heating value is 100 KW. The total plants could be considered in energy saving average per day as 231.58 Bahts or equal to 1.4 % By using the cost of bunker oil as 4.125 Bahts per litre.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้เขียนได้รับความอนุเคราะห์จากหลายท่าน ดังจะกล่าวต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี เลิศปัญญาวิทย์ ได้กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้ พร้อมทั้งได้เอาใจใส่ตรวจแก้ไข และเพิ่มเติมข้อมูล ความคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ได้กรุณาแนะนำสถานที่ศึกษาและเก็บตัวอย่างข้อมูล พร้อมทั้งให้คำแนะนำและข้อมูลบางอย่างอันทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จเร็วขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรูปเล่มขึ้นมาได้ โดยความช่วยเหลือของคุณสิริเพ็ญ กิตติวิโรจน์ ช่วยในการพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้เขียนขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนผู้เขียนมาตลอด และพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ผู้ประสิทธิประศาสน์วิชาแก่ผู้เขียน

นายสุรชัย ระตะนะอาพร

17 มิถุนายน 2529

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ฆ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

รายการตารางประกอบ ..... ช

รายการรูปประกอบ ..... ญ

สัญญลักษณ์และคำย่อ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 คำนำ 1

1.2 จุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์ 3

1.3 ขอบเขตการศึกษา 3

1.4 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์ 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการศึกษาครั้งนี้ 4

2. ทฤษฎี 5

2.1 การ optimization 5

2.2 Langrange Multiplier 6

2.3 Least Square Fitting Approximation 12

3. ลักษณะระบบอุปกรณ์เครื่องจักรส่วนกลาง 16

3.1 ระบบเครื่องจักรของโรงแรม 16

3.2 ระบบอุปกรณ์เครื่องจักรกลางที่สมนัยกับระบบเดิม 19

4. การจำลองระบบเพื่อการ optimization 21

4.1 ระบบผลิตไอน้ำ 21

4.2 ระบบทำความเย็นด้วยน้ำเย็นหมุนเวียน 24

4.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ขั้นตอนในการทดสอบ 30

5. การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์ 36

5.1 การวิเคราห์หาแบบภาระตลอด 24 ชั่วโมง 36

5.2 การวิเคราห์หาความสัมพันธ์ของภาระกับประสิทธิภาพของเครื่องจักร 38

5.3 การวิเคราะห์โดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ 42

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 61

6.1 สรุปผลการวิจัย 61

6.2 ข้อเสนอแนะ 62

เอกสารอ้างอิง 63

ภาคผนวก .....

ก. ข้อมูลการวิจัยและตัวอย่างการคำนวณ 65

ข. คุณสมบัติของน้ำในหน่วย SI 102

ค. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 103

ง. Patterned Search 110

จ. การใช้พลังงาน 113

ประวัติการศึกษา 128

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่		
5.1	ตัวอย่างแสดงภาระความเย็น และภาระความร้อน 24 ชั่วโมง	43
5.2	ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอน้ำ.....	39
5.3	ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสมรรถภาพของเครื่องทำความเย็น.....	40
5.4	ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสมรรถภาพของเครื่องทำความเย็นแบบดูดซับ.	41
5.5	ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพของเครื่องทำความร้อน.....	41
5.6	แสดงตัวอย่างผลของการวิจัยในส่วนของเครื่องทำความเย็น เครื่องที่ 1	44
5.7	แสดงตัวอย่างผลของการวิจัยในส่วนของเครื่อทำความเย็น เครื่องที่ 2	46
5.8	แสดงตัวอย่างผลของการวิจัยในส่วนของเครื่องทำความเย็น เครื่องที่ 3	47
5.9	แสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์	48
5.10	แสดงการทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำ ตามภาระที่เปลี่ยนไป ตลอดวันของวันที่ 3 มิถุนายน 2529	49
5.11	แสดงการทำงานของเครื่องทำความเย็น ตามภาระที่เปลี่ยนไป ตลอดวันของวันที่ 3 มิถุนายน 2529	50
5.12	แสดงการทำงานของเครื่องทำความร้อน ตามภาระที่เปลี่ยนไป ตลอดวันของวันที่ 3 มิถุนายน 2529	51
5.13	แสดงการทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำ เมื่อภาระมีค่าตั้งแต่ 1,500-15,000 ก.ก./ช.ม.	52
5.14	แสดงการทำงานของเครื่องทำความเย็น เมื่อภาระความเย็น มีค่าตั้งแต่ 1,000-3,000 กิโลวัตต์	53
5.15	แสดงการทำงานของเครื่องทำความร้อน เมื่อภาระความร้อน มีค่าตั้งแต่ 25-225 กิโลวัตต์	54

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

หน้า

ตารางที่		
ก-1-ก-5	เป็นข้อมูลบันทึกการทำงานของเครื่องทำความเย็นเครื่องที่ 1	66-75
ก-6-ก-10	เป็นข้อมูลบันทึกการทำงานของเครื่องทำความเย็นเครื่องที่ 2และ3..	76-85
ก-11-ก-15	เป็นข้อมูลบันทึกการทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำและเครื่องทำ ความร้อน	85-95
จ.1	แสดงการใช้พลังงานแต่ละประเภทในปี 2527	114
จ.2	แสดงการใช้พลังงานแต่ละประเภทในปี 2528	115
จ.3	แสดงการใช้พลังงานแต่ละประเภทในปี 2529	116
จ.4	ค่าใช้จ่ายพลังงานต่อหน่วยปี 2527	117
จ.5	ค่าใช้จ่ายพลังงานต่อหน่วยปี 2528	118
จ.6	ค่าใช้จ่ายพลังงานต่อหน่วยปี 2529	119
จ.7	ค่าใช้จ่ายรวมในการใช้พลังงานในปี 2527-2528	120
จ.8	ระดับความต้องการการใช้ไฟฟ้าแต่ละเดือน (กิโลวัตต์) ปี 2527-2529	121

สัญญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่, m^2
ABS	=	Absorber
B	=	Bias
C_j	=	ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ให้กับ chiller j, ฿/KJ
COP	=	สมรรถภาพการทำงานของเครื่องทำความเย็น
C_p	=	ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ , KJ/Kg-^oC
CD	=	condensor
CH	=	chiller
CHP1	=	primary chilled water pump
CHP2	=	secondary chilled water pump
CT	=	cooling tower
CWP	=	cooling water pump
^oC	=	องศาเซลเซียส
e	=	ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า , ฿/KWh
ECW	=	Entering Condensing Water
ECWT	=	Entering Condensing Water Temperature
E_i	=	พลังงานที่ให้กับ Boiler i, Kw
E_I	=	พลังงานที่ใช้
E_o	=	พลังงานที่ได้รับ
E_R	=	Energy Removed
FW	=	Feedwater
FWP	=	Feedwater Pump
h	=	Enthalpy, KJ/Kg
h_{fw}	=	Feedwater Enthalpy
h_{in}	=	Steam Enthalpy, ขาออกจาก Boiler

สัญญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

HWH	=	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
$\hat{K}$	=	ค่าใช้จ่ายของการผลิตไอน้ำ ฿/S
KW	=	กิโลวัตต์
KWh	=	กิโลวัตต์ชั่วโมง
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลของมวล, Kg/s
$\dot{m}_c$	=	อัตราการไหลของน้ำเย็น, Kg/s
$\dot{m}_H$	=	อัตราการไหลของน้ำร้อน, Kg/s
MW	=	มาตรวัดปริมาณการใช้น้ำ, m^3
M_i	=	ความสามารถในการผลิตไอน้ำของหม้อน้ำ i, Kg/s
N_i	=	ประสิทธิภาพของหม้อน้ำ i
N_j	=	ความสามารถสูงสุดของ Chiller j, KW
P	=	ความดัน
P_H	=	Supply Header Pressure
P_K	=	ความสามารถของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน K
P_s	=	Supply steam Pressure
P_1	=	ความดันของน้ำก่อนเข้าปั๊มน้ำเย็นปฐมภูมิ
P_2	=	ความดันของน้ำออกจากปั๊มน้ำเย็นปฐมภูมิ
ΔP	=	ผลต่างความดันของน้ำเมื่อผ่านปั๊มน้ำเย็นปฐมภูมิ
$\hat{Q}$	=	ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องทำความเย็น , ฿/S
Q_j	=	ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องทำความเย็น j
q_i	=	พลังงานสะสมในน้ำมันเชื้อเพลิง Unit i, KJ/Unit
R	=	ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง , ฿/Unit
R_i	=	ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง Unit i, ฿/Unit
R*	=	ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง , ฿/KJ

สัญญลักขณ์และคำย่อ (ต่อ)

s	=	Entropy
$\hat{S}$	=	ค่าใช้จ่ายไอน้ำต่อการผลิตพลังงานความร้อน , ฿/KJ
S.T.	=	Subject To
T_F	=	อุณหภูมิของน้ำใน Deaerator , ^oC
T_H	=	อุณหภูมิของน้ำร้อน , ^oC
T_K	=	อุณหภูมิของน้ำที่เข้าคอนเดนเซอร์ , ^oC
T_W	=	อุณหภูมิของน้ำประปา , ^oC
T_1	=	อุณหภูมิของน้ำขาเข้าคอนเดนเซอร์ , ^oC
T_2	=	อุณหภูมิของน้ำขาออกจากคอนเดนเซอร์ , ^oC
T_3	=	อุณหภูมิของน้ำขาเข้าเครื่องทำความเย็น , ^oC
T_4	=	อุณหภูมิของน้ำขาออกจากเครื่องทำความเย็น , ^oC
ΔT_c	=	อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเมื่อผ่านเครื่องทำความเย็น , ^oC
ΔT_H	=	อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเมื่อผ่านอุปกรณ์ทำความร้อน , ^oC
$\hat{U}$	=	ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน , ฿/S
X	=	ปริมาณความต้องการไอน้ำทั้งหมด, Kg/s
x_i	=	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตจากหม้อน้ำ i , Kg/s
Y	=	ภาระทำความเย็นทั้งหมด , KW
y_j	=	ภาระทำความเย็นที่เครื่องทำความเย็น j , KW
Z	=	ภาระทำความร้อนทั้งหมด , KW
z_k	=	ภาระทำความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน , KW
β_j	=	สมรรถภาพการทำงานของเครื่องทำความเย็น j
η_k	=	ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
θ	=	ตำแหน่งสไลด์วาล์ว , เปอร์เซนต์ (%)

สัญญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ρ = ความหนาแน่น , Kg/m^3

γ = น้ำหนักจำเพาะ , N/m^3