การศึกษาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตสายไฟฟ้า

นายชัยพร วงศ์พิศาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-346-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014380

i17419471

A STUDY OF THE EFFICIENT UTILIZATION OF ENERGY FOR ELECTRICAL WIRE AND CABLE INDUSTRY

Mr. Chaiporn Vongpisal

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Industrial Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1988

ISBN 974-569-346-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตสายไฟฟ้า
โดย	นายชัยพร วงศ์พิศาล
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน
	รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ทีมทรัพย์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ทีมทรัพย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร ตัณฑสุทธิ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชัยพร วงศ์พิศาล : การศึกษาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตสายไฟฟ้า (A STUDY OF THE EFFICIENT UTILIZATION OF ENERGY FOR ELECTRICAL WIRE AND CABLE INDUSTRY. อ.ที่ปรึกษา : ผศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน, รศ.ดร.สมบัติ ทีฆทรัพย์, 245 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและการวิเคราะห์การใช้พลังงาน เพื่อหามาตรการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์ ในส่วนที่เกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน จากการศึกษาพบว่า โรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้ส่วนใหญ่แล้วไม่ได้มีมาตรการประหยัดพลังงานแต่อย่างใด ทำให้โรงงานต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานเป็นจำนวนมากต่อหน่วยผลผลิต (1,250 บาท/ตัน) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอและวิเคราะห์ข้อมูลของปริมาณการใช้และปริมาณการสูญเสียของพลังงานและทดลองดำเนินการประหยัดพลังงาน โดยดำเนินการดังนี้

- การเพิ่มประสิทธิภาพของเตาหลอมและเตาเผา ด้วยการปรับอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทำการปรับปรุงระบบควบคุมอากาศของเตา
- การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการจัดเวลาทำงาน
- การลดการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าโดยนำภาระจากระบบที่ใช้ไฟฟ้าน้อยไปรวมกัน
- การเปลี่ยน Tap หม้อแปลงไฟฟ้า

นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษารายละเอียดของการประหยัดพลังงานด้วยการหุ้มฉนวน และการแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ด้วยการติดตั้งคะแปซิเตอร์

จากการทดลองพบว่าสามารถประหยัดพลังงานในระบบต่าง ๆ ประมาณ 17% ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ได้แสดงให้เห็นว่าแนวทางการประหยัดพลังงานเหล่านี้มีระยะคืนทุนในภาคไฟฟ้าภายใน 8 เดือน และภาคความร้อนอยู่ในช่วง 5 เดือน ถึง 24 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHAIPORN VONGPISAL : A STUDY OF THE EFFICIENT UTILIZATION OF ENERGY FOR ELECTRICAL WIRE AND CABLE INDUSTRY. THESIS ADVISORS : ASSI.PROF. SUTHAS RATANAKUAKANGWAN, ASSO. PROF. SOMBAT TEEKASAP, DR.-ING. 245 PP.

A systematic study and analyse on the utilization of energy in electrical wire and cable industries was found that the industries do not have any energy conservation strategy at the moment which resulted to a high percentage of energy expences in the total production cost (1,250 Bath of energy cost per ton of product).

Some experimental activities has been done to manage energy utilization are as follows.

- Improve efficiency of the furnace by mean of regurating the air-fuel ratio.

- Reduce the electrical bill by mean of regurating the maximum electrical demand.

- Study on the reduction of electrical energy loss by mean of preventing unnecessary use of transformers.

- Study on the reduction of the voltage of transformer by changing the transformer tap.

- Study on the utilization of thermal insulator at the furnace and study on the improvement of electrical power efficiency by mean of automatic correction of installed electrical power system.

From the experimental tests total energy utilization reduced by 17% compared to previous records. Economic study showed that the pay back period for these activities are quite short: 8 months for the electrical energy sectors and 5 to 24 months for the thermal energy sectors.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในการให้คำแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่อง และให้กำลังใจจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ทีมทรัพย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และควบคุมการทำวิจัยนี้ รวมทั้งได้รับการตรวจสอบแก้ไขเพื่อความสมบูรณ์และถูกต้อง จากคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช และรองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร ตัณฑสุทธ์ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอถือโอกาสนี้ขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้ง 4 ท่านนี้ เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของโรงงานตัวอย่าง คุณสุวิทย์ วีรพงษ์ คุณสมชัย ศรีธัญญรัฒน์ และคุณสายันต์ ฤทธิโสม ซึ่งได้ให้ความร่วมมืออนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดีตลอดเวลาที่เข้าไปศึกษาในโรงงานตัวอย่างจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณท่านผู้บังคับบัญชา และเพื่อน ๆ ที่ได้ให้กำลังใจ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลืองานด้านต่าง ๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นลยชัยพร วงศ์พิศาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ..... 1
   - คำนำ..... 1
   - การสำรวจงานวิจัย..... 2
   - ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 4
   - ขอบเขตของการวิจัย..... 5
   - ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 5
2. โครงสร้างของอุตสาหกรรมผลิตสายไฟฟ้า..... 6
   - ความเป็นมาของอุตสาหกรรมผลิตสายไฟฟ้า..... 6
   - ลักษณะประกอบการ..... 14
3. กรรมวิธีการผลิตของโรงงานตัวอย่าง..... 18
   - ประเภทของผลิตภัณฑ์..... 18
   - กรรมวิธีการผลิตสายไฟฟ้า..... 19
   - รายละเอียดกรรมวิธีการผลิตสายไฟฟ้าอลูมิเนียม..... 21
   - กรรมวิธีการผลิตสายไฟฟ้าทองแดง..... 45
   - กรรมวิธีการผลิตสายโทรศัพท์..... 48
4. การศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานตัวอย่าง..... 51
   - พลังงานที่ใช้ทั้งหมด..... 51
5. การจัดการพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรม..... 81
   - แนวทางในการพิจารณาจัดการพลังงาน..... 81
   - แนวทางในการจัดการพลังงาน..... 82

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	- การสันดาปอย่างมีประสิทธิภาพ	84
	- เคมีพื้นฐานของการสันดาป	94
	- การปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์	110
	- การลดค่าไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม	130
	6. แนวทางการจัดการพลังงานของอุตสาหกรรมผลิตสายไฟฟ้า	146
	- การจัดการพลังงานทางด้านพลังงานความร้อน	146
	- การวิเคราะห์เตาหลอมทองแดง	152
	- การวิเคราะห์เตาเผาทองแดง	159
	- การจัดการพลังงานทางด้านพลังงานไฟฟ้า	165
	7. สรุปและเสนอแนะผลการวิจัย	204
	- ข้อเสนอแนะ	206
เอกสารอ้างอิง		207
ภาคผนวก		209
ประวัติผู้เขียน		245

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชนิดของผลิตภัณฑ์และกำลังการผลิต.....	10
2	บริษัทผู้ผลิตสายไฟฟ้าที่สำคัญของโรงงาน.....	13
3	กำลังการผลิต ปริมาณการผลิตและจำหน่ายสายไฟฟ้าอลูมิเนียม ปี 2518 - 2527.....	15
4	กำลังการผลิต ปริมาณการผลิตและจำหน่ายสายไฟฟ้าทองแดง ปี 2518-2527.....	15
5	ปริมาณการผลิตและการจำหน่ายสายโทรศัพท์ ปี 2518-2527.....	16
6	ปริมาณการใช้สายไฟฟ้าทองแดงและอลูมิเนียม ปี 2525-2534.....	16
7	ความต้องการใช้สายโทรศัพท์ขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย โครงการ 5 (พ.ศ. 2527-2531).....	17
8	ปริมาณและมูลค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในปี พ.ศ. 2529.....	52
9	ปริมาณและมูลค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในปี พ.ศ. 2530.....	53
10	ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าจากข้อมูลในใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า ปี 2529.....	54
11	ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าจากข้อมูลในใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า ปี 2530.....	55
12	รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิตที่ 1....	57
13	รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิตที่ 2....	58
14	รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิตที่ 3....	59
15	รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิตที่ 4....	60
16	รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิตที่ 5....	62
17	รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิต (ห้องซ่อม)	63
18	รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิต (แพคกิ้ง)	63
19	รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง.....	64
20	การใช้พลังงานเฉลี่ยในแต่ละวันสำหรับเดือนต่าง ๆ ในปี 2529 และ 2530.....	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	วิเคราะห์การใช้พลังงานในปี 2530.....	70
22	รายละเอียดการใช้พลังงาน (น้ำมันเตา) สำหรับผลิตทองแดงเส้น....	71
23	รายละเอียดการใช้พลังงาน (น้ำมันเตา) สำหรับผลิตอลูมิเนียมเส้น ปี 2529 และ 2530.....	73
24	รายละเอียดการใช้พลังงาน (น้ำมันดีเซล) สำหรับผลิตทองแดง ปี 2529 และ 2530.....	75
25	รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2529 และ 2530.....	77
26	ตัวอย่างเป้าหมายการจัดการพลังงาน.....	83
27	ประเภทและคุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	85
28	การเปรียบเทียบคุณสมบัติและการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ.....	86
29	การวิเคราะห์อากาศส่วนเกิน ออกซิเจน และคาร์บอนไดอ็อกไซด์....	91
30	การสูญเสียความร้อนแบบสัมผัสเทียบเป็นเปอร์เซนต์ของค่าความร้อนค่าสูงของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้า.....	92
31	ตัวอย่างค่า P.F. ของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ยังไม่มีการแก้ P.F.	113
32	ตัวอย่างค่า P.F. ของลักษณะงานบางอย่าง.....	114
33	ความต้านทานของสายไฟฟ้าทองแดง (มอก.11-2518) และค่าแก้ไขเนื่องจากอุณหภูมิ.....	118
34	มาตรฐานกำลังสูญเสียของหม้อแปลงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	121
35	ขนาดของคะแปซิเตอร์สำหรับใช้ต่อตรงกับมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อปรับปรุง P.F. ถึง 0.95 หรือมากกว่าที่ทุก ๆ โหลด.....	123
36	ขนาดของคะแปซิเตอร์ที่ต่อตรงกับหม้อแปลง.....	127
37	ขนาดของคะแปซิเตอร์ที่ใช้กับเครื่องเชื่อมอาร์ค.....	128
38	ขนาดของคะแปซิเตอร์ที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	129
39	การสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ	134
40	ข้อมูลจากเครื่องตรวจวัด.....	167

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
41	ราคา Capacitor ชุดควบคุมอัตโนมัติ และค่าติดตั้ง.....	168
42	ข้อมูลทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส.....	169
43	การทำงานของเครื่องจักรของโรงงานผลิตที่ 1.....	186
44	การทำงานของเครื่องจักรของโรงงานผลิตที่ 2.....	187
45	การทำงานของเครื่องจักรของโรงงานผลิตที่ 3.....	188
46	การทำงานของเครื่องจักรของโรงงานผลิตที่ 4.....	189
47	การทำงานของเครื่องจักรของโรงงานผลิตที่ 5.....	190
48	กำหนดการควบคุม Peak Demand ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง...	191
49	การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ของโรงงานก่อนการปรับปรุง และหลังปรับปรุง.....	192
50	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง....	198
51	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าไฟฟ้ากับโหลดแฟคเตอร์.....	211
52	ผลของการวัดค่า O_2 CO_2และอุณหภูมิในไอเสียสำหรับเตาหลอมอลูมิเนียม	238
53	ผลของการวัดค่า O_2 CO_2 และอุณหภูมิในไอเสียสำหรับเตาหลอมทองแดง	239
54	ผลของการวัดค่า O_2 CO_2 และอุณหภูมิในไอเสียสำหรับเตาเผาทองแดง	240

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่		หน้า
1	แสดงกรรมวิธีผลิตรวม	23
2	แสดงขั้นตอนการหลอมและรีดเส้น	24
3	แสดงขั้นตอนการรีดลวด	25
4	แสดงขั้นตอนการเกลียวสาย	26
5	แสดงขั้นตอนการบรรจุและจำหน่าย	27
6	ลักษณะของการเทหล่ออลูมิเนียมหลอมละลาย	28
7	ลักษณะของแท่งอลูมิเนียมลดขนาด	29
8	ลักษณะขั้นตอนการหลอม หล่อ รีด ม้วน	30
9	เครื่องทำม้วน	31
10	ม้วนอลูมิเนียมสำเร็จ	32
11	การบรรจุม้วนอลูมิเนียม	32
12	ลักษณะเครื่องหล่อต่อเนื่อง	33
13	ลักษณะการเทหล่อต่อเนื่อง	34
14	วิธีลดขนาดอลูมิเนียมเส้น	35
15	เครื่องรีด	36
16	เครื่องเกลียวสาย	38
17	ล้อเหล็กที่บรรจุลวดและล้อที่ไม่ได้บรรจุ	39
18	ลักษณะของหัวรีด	43
19	โหลดแฟคเตอร์ (เปอร์เซนต์)	56
20	การใช้พลังงานของน้ำมันเตาเฉลี่ยในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)	67
21	การใช้พลังงานของน้ำมันดีเซลเฉลี่ยในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)	68
22	การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละวัน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อวัน)	69
23	รายละเอียดการใช้พลังงานของน้ำมันเตาเพื่อผลิตทองแดงเส้น (กิโลกรัมต่อวัน)	72
24	รายละเอียดการใช้พลังงานของน้ำมันเตาเพื่อผลิตอลูมิเนียมเส้น ปี 2529 และ 2530	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	รายละเอียดการใช้พลังงานของน้ำมันดีเซลเพื่อผลิตทองแดงแท่ง (กิโลกรัมต่อวัน).....	76
26	รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผลิตสายไฟฟ้าทองแดงและอลูมิเนียม (กิโลกรัมต่อวัน).....	78
27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศ m กับ % ของ O_2 หรือ CO_2 ที่วิเคราะห์พบในก๊าซทิ้งแห้ง.....	99
28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนสัมผัสที่สูญเสียไปกับก๊าซ กับอัตราส่วนอากาศ m	100
29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO_2 และ % O_2 ที่ควรพบในก๊าซทิ้งแห้ง	101
30	แสดงความร้อนสัมพันธ์ระหว่างอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เพิ่มขึ้น.....	102
31	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามอุณหภูมิ.....	103
32	แสดงการอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมของน้ำมันชนิดต่าง ๆ	106
33	แสดงผลการประหยัดเชื้อเพลิงที่จะได้รับเมื่อลดอัตราส่วนอากาศ ให้ได้ค่าที่เหมาะสม.....	107
34	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในเตากับปริมาณความร้อนสูญเสีย.....	108
35	อัตราส่วนการประหยัดพลังงานเนื่องจากการทำฉนวนความร้อนให้ดี.....	109
36	แสดงกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ.....	110
37	แสดงภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	112
38	การปรับปรุงค่า P.F. ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เมื่อมีการเพิ่มภาระโหลด	115
39	การหาขนาดของคะแปซิเตอร์ในการปรับปรุง P.F.	116
40	ตำแหน่งติดตั้งของคะแปซิเตอร์สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ในการปรับปรุง P.F.	125
41	แสดงการต่อคะแปซิเตอร์เข้ากับ Line ของ Contactors.....	126
42	การวัดความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละคาบเวลา 15 นาที.....	132
43	เส้นโค้งของภาระของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง.....	132

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
44	การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม.....	135
45	ผลของอัตราส่วน P.F. ที่มีต่อค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลง.....	135
46	แสดงสัดส่วนการใช้งานของมอเตอร์.....	144
47	แผนภูมิแสดงการจัดระบบจ่ายไฟของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	166
48	แผนภูมิเวคเตอร์ของการปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์.....	170
49	เส้นกราฟของภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง....	193
50	ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายกับเปอร์เซนต์ของอากาศส่วนเกิน ของเตาหลอมอลูมิเนียม.....	199
51	ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายกับเปอร์เซนต์ของอากาศส่วนเกิน ของเตาหลอมทองแดง.....	200
52	ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายกับเปอร์เซนต์ของอากาศส่วนเกิน ของเตาเผาทองแดง.....	201
53	การหาจำนวนชั้นของอิฐทนไฟที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดสำหรับเตาหลอมทองแดง	202
54	การหาจำนวนชั้นของอิฐฉนวนที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดสำหรับเตาเผาทองแดง..	203
55	คะแปซิเตอร์ที่ใช้ระดับแรงดันต่ำ.....	213
56	คะแปซิเตอร์ที่ใช้ระดับแรงดันสูง.....	214
57	คะแปซิเตอร์ที่ใช้ระดับแรงดันสูงและมีการจ่ายไฟระดับแรงดันสูง.....	215
58	คะแปซิเตอร์ที่ใช้ระดับแรงดันสูงและมีภาระแรงดันสูง.....	216
59	รูปร่างของ P.F. Controller แบบหนึ่ง.....	219
60	Connection diagram ของทั้งระบบ.....	219
61	เครื่องวัด O_2 และ CO_2	241
62	แสดงตำแหน่งการวัด O_2 และ CO_2	242
63	แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ.....	242
64	แสดงการเทหล่อ.....	243
65	เตาหลอมอลูมิเนียม.....	244
66	ถังเก็บน้ำมันเตา.....	244