การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็งในอาคารพาณิชย์

นายวัฒนา ศรีวาจนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-938-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17434580

A FEASIBILITY STUDY ON USING THE ICE STORAGE SYSTEM FOR COMMERCIAL BUILDINGS

Mr. Wattana Srivajana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduated School
Chulalongkorn University
1996

ISBN 974-634-938-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็งในอาคารพาณิชย์
โดย	นายวัฒนา ศรีวาจนะ
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ คุณวุฒิ ดำรงค์พลาสิทธิ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วัฒนา ศรีวาจนะ : การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบ เก็บโดยน้ำแข็งในอาคารเชิงพาณิชย์ (A FEASIBILITY STUDY ON USING THE ICE STORAGE SYSTEM FOR COMMERCIAL BUILDINGS) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.ศุลย์ มณีวัฒนา,241 หน้า. ISBN 974-634-938-4

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบ เก็บโดยน้ำแข็งในอาคารพาณิชย์ในประเทศไทย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเก็บน้ำแข็งแบบ เก็บ เต็มช่วง เวลา เฉพาะในช่วงที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นกลยุทธ์การออกแบบที่ดีที่สุด กลยุทธ์การออกแบบแบบอื่น ๆ ไม่เหมาะสมสำหรับอาคารในประเทศไทยถ้าไม่มีการเปลี่ยนอัตราค่าไฟฟ้า ระยะเวลาคืนทุนของอาคารสำนักงานตัวอย่างที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง 4.4 ถึง 6.5 ปี ขึ้นอยู่กับแบบของระบบที่ใช้ การเพิ่มราคาลงทุนเริ่มต้นของระบบจะส่งผลกระทบอย่างมากต่อระยะเวลาคืนทุน จากการศึกษาพบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของระบบทั้ง 4 แบบ ที่ทำการศึกษามีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้น แบบของระบบที่เลือกใช้จึงไม่มีผลกระทบต่อการคำนวณระยะเวลาคืนทุนมากนัก

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของระบบแต่ละแบบจะได้มาจากการประมาณค่าการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม BLAST ทั้งแบบที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบ เก็บโดยน้ำแข็ง ข้อมูลอากาศรายชั่วโมงจริงของกรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2534 ถูกใช้ในการคำนวณ และได้มีการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานตัวอย่าง เพื่อนำผลการวัดมาทำการปรับแก้ผลจาก BLAST ก่อนที่จะประมาณค่าการใช้พลังงานในระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบ เก็บโดยน้ำแข็งในอาคาร

ผลการศึกษาสำหรับอาคารสำนักงานตัวอย่างถูกขยายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบ เก็บโดยน้ำแข็งกับอาคาร ศูนย์การค้า โรงพยาบาล และโรงแรม ผลการศึกษาแสดงว่า อาคารทั้งสามแบบมีระยะเวลาคืนทุนยาวกว่า เพราะอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้กราฟของภาระความร้อน หารด้วยกิโลวัตต์สูงสุด สำหรับอาคารเหล่านี้มีสัดส่วนที่สูงกว่าสัดส่วนของอาคารสำนักงาน

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต วัฒนา ศรีวาจนะ

สาขาวิชา เครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [signature]

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C616066 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: ICE STORAGE

WATTANA SRIVAJANA : A FEASIBILITY STUDY ON USING THE ICE STORAGE SYSTEM FOR COMMERCIAL BUILDINGS. THESIS ADVISOR : TUL MANEWATTANA, Ph.D. 241 pp. ISBN 974-634-938-4

The feasibility of using the Ice Storage System in commercial buildings in Thailand has been studied. The results show that the full storage for an on peak period only is the best design strategy. Other types of design strategy are not suitable for Thailand if the rate structure (TOD rate) does not change. The calculated pay-back periods for the model office building are between 4.4 to 6.5 years depending on the type of the system used. The calculated pay-back period depends greatly on the incremental initial cost of the system . From the study,the incremental operating cost is about the same for all 4 types of system studied;therefore the calculated pay-back period will not be affected very much by the type of the system used.

The incremental operating costs various systems were obtained using BLAST runs with and without ice storage. The actual hourly weather data for Bangkok in 1991 is used in the simulation, and the energy audit for a model office building has been done to calibrate the computer model before the ice storage runs.

The results obtained for the model office building were extended to investigate the feasibility on using the Ice Storage System in department stores, hospitals and hotels. The results show that these three types of buildings always have a longer pay-back period because the ratio of the area under cooling load curve to the peak kW for these building is always higher than the same ratio for an office building.

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต วัฒนา ศรีวชนะ

สาขาวิชา เครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [illegible]

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของท่านอาจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำ ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ในด้านต่าง ๆ จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

กราบขอบพระคุณ ท่านอาจารย์วิทยา รุ่งแสง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการติดต่ออาคารสำนักงานใหญ่ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (อาคารที่ใช้กรณีศึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้) รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ และรองศาสตราจารย์ คุณวุฒิ ดำรงพลาสิทธิ์ ที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ และให้คำแนะนำสั่งสอนในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการศึกษา รวมทั้งบุคคลที่ปรากฏตามเอกสารอ้างที่ผู้วิจัยใช้อ้างอิงทางวิชาการ

ขอบพระคุณ คุณสมศักดิ์ ประสงค์ผล ผู้จัดการใหญ่ธุรกิจบริการกลาง คุณเศกสรร เศรษฐสกล หัวหน้าแผนกไฟฟ้าและเครื่องกล และเจ้าหน้าที่ส่วนอาคารสถานที่ทุกท่านของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ที่อำนวยความสะดวกในการเข้าตรวจการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย คุณวันชัย สมิทธิฤทธา เจ้าหน้าที่กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ที่อำนวยความสะดวกในการจัดหาข้อมูลอากาศ คุณไกรวัลย์ ครุฑกูล เจ้าหน้าที่ฝ่ายสำรวจพลังงานทดแทน กรมส่งเสริมและพัฒนาพลังงาน ที่อำนวยความสะดวกในการจัดหาข้อมูลแสงอาทิตย์ คุณพงษ์พุธ มหาโชคเลิศวัฒนา บริษัท เพมพ์เทค เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด คุณบัลลังค์ สาธร บริษัท ยอร์คไทยแลนด์ จำกัด คุณศารทูล เวียงชัย บริษัท แคร์เรียร์ (ประเทศไทย) จำกัด และคุณอภิชิต ล้ำเลิศพงศ์พนา บริษัท ไอ. ที. ซี. จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดหาข้อมูล และให้คำปรึกษา ในเรื่องของระบบ Ice Storage และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลืองานวิจัยครั้งนี้ทุกท่าน

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความสนับสนุนผู้วิจัยในทุก ๆ ด้าน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฒ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตวิทยานิพนธ์	7
1.2 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป	7
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	8
2.ทฤษฎี	10
2.1 ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็ง (ice storage)	10
2.2 โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงาน (energy simulation)	33
2.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	44
3. การทดลอง	48
3.1 รายละเอียดเกี่ยวกับอาคารที่ทำการศึกษา	48
3.2 การประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบเดิม ด้วยโปรแกรม BLAST	68
3.3 การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคาร ปตท. (energy audit)	72
3.4 การประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage ด้วยโปรแกรม BLAST	85
4. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์ผล	95
4.1 ผลลัพธ์	95
4.2 การประยุกต์ใช้ระบบ Ice Storage กับอาคาร ศูนย์การค้า โรงแรม และโรงพยาบาล	123
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	125
5.1 สรุปผล	125

หน้า

5.2 ข้อเสนอแนะ ---- 126
รายการอ้างอิง ---- 127
ภาคผนวก ก ข้อมูลอาคาร (input file) ของอาคาร ปตท. ที่ใช้ในการประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบเดิม ด้วยโปรแกรม BLAST ---- 130
ภาคผนวก ข ตัวอย่างข้อมูลอากาศของสถานีตรวจอากาศบางนา วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2534 ในรูปแบบ BLAST ASCII FORMAT ---- 149
ภาคผนวก ค การออกแบบระบบ Ice Storage แบบต่าง ๆ สำหรับอาคาร ปตท. ---- 150
ภาคผนวก ง การหาความคุ้มทุน ---- 192
ประวัติผู้เขียน ---- 241

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย	1
2.1	ตารางแสดงช่วงความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแบบต่าง ๆ	30
2.2	ตารางแสดงค่า COP และ ค่า kW/TR ของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละแบบ	30
3.1	ตารางแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของอาคาร ปตท.	49
3.2	ตารางแสดงความสูงจากพื้น-ฝ้าเพดาน ของอาคาร A และ อาคาร B	50
3.3	ตารางแสดงความสูงจากพื้น-พื้น ของอาคาร A และ อาคาร B	50
3.4	ตารางแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับพื้นที่ใช้สอยของอาคาร A และอาคาร B	53
3.5	ตารางแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับความหนาและลักษณะเปลือกอาคารของอาคาร A และอาคาร B	53
3.6	ตารางแสดงรายละเอียดของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในอาคาร ปตท.	59
3.7	ตารางแสดงรายละเอียดของเครื่องจ่ายลมเย็นที่ใช้ในอาคาร ปตท.	59
3.8	ตารางแสดงรายละเอียดของเครื่องสูบน้ำเย็น (chilled water pumps)	62
3.9	ตารางแสดงรายละเอียดของเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น (condenser water pumps)	63
3.10	ตารางแสดงรายละเอียดของหอผึ่งลม	64
3.11	ตารางแสดงรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type air conditioners)	65
3.12	ตารางแสดงจำนวนหลอดไฟแต่ละแบบในแต่ละชั้นของอาคาร B	65
3.13	ตารางแสดงจำนวนหลอดไฟแต่ละแบบในแต่ละชั้นของอาคาร A	66
3.14	ตารางแสดงรายละเอียดของระบบลิฟท์	67
3.15	ตารางแสดงค่าที่ทำการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคาร ปตท.	73
3.16	ตารางแสดงขีดความสามารถของเครื่อง CLAMP-ON METER	74
3.17	ตารางแสดงขีดความสามารถของเครื่อง ENERGY ANALYZER	76
3.18	ตารางแสดงขีดความสามารถของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic Flow	78
3.19	แสดงรายละเอียดการวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ	80

ตารางที่ หน้า

4.1 ตารางแสดงภาระความร้อนรายชั่วโมงของอาคาร ปตท. ในวันพฤหัสบดีที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2538 ที่ได้จากการประมาณค่าด้วยโปรแกรม BLAST ... 96

4.2 ตารางแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบเดิมที่ได้จากการประมาณค่าด้วยโปรแกรม BLAST ... 97

4.3 ตารางแสดงอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ปตท. ในเวลา 1 ปี ที่ได้จากการประมาณค่าด้วยโปรแกรม BLAST ... 98

4.4 ตารางแสดงภาระความร้อนรายชั่วโมงของอาคาร ปตท. ในวันพฤหัสบดีที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2538 ที่ได้จากการตรวจสอบการใช้พลังงาน ... 100

4.5 ตารางแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคาร ปตท. ใน พ.ศ. 2537 ... 101

4.6 ตารางแสดงอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ปตท. ในเวลา 1 สัปดาห์ ที่ได้จากการตรวจสอบการใช้พลังงาน ... 102

4.7 ตารางแสดงอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคาร ปตท. ในเวลา 1 สัปดาห์ ที่ได้จากการตรวจสอบการใช้พลังงาน ... 103

4.8 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Harvester ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage ... 106

4.9 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Harvester ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage On Peak ... 107

4.10 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Harvester ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Load Leveling และ Full Storage On Peak ... 108

4.11 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice-on-coil ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage ... 110

4.12 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice-on-coil ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage On Peak ... 111

ตารางที่ หน้า

4.13 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice-on-coil ที่ใช้กลยุทธ์การทำงาน แบบ Load Leveling และ Full Storage On Peak 112
4.14 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Container ที่ใช้กลยุทธ์การทำงาน แบบ Full Storage 114
4.15 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Container ที่ใช้กลยุทธ์การทำงาน แบบ Full Storage On Peak 115
4.16 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Container ที่ใช้กลยุทธ์การทำงาน แบบ Load Leveling และ Full Storage On Peak 116
4.17 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Tank ที่ใช้กลยุทธ์การทำงาน แบบ Full Storage 118
4.18 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Tank ที่ใช้กลยุทธ์การทำงาน แบบ Full Storage On Peak 119
4.19 ตารางแสดงปริมาณการใช้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ปตท. ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Tank ที่ใช้กลยุทธ์การทำงาน แบบ Load Leveling และ Full Storage On Peak 120
4.20 แสดงค่าความคุ้มทุนของระบบ Ice Storage ทั้ง 4 ระบบ ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบต่าง ๆ 122

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	กราฟแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายชั่วโมงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ในวันที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของปี พ.ศ. 2537	4
1.2	แสดงอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ ของอาคารแต่ละประเภท	5
1.3	กราฟแสดงการใช้พลังงานรายชั่วโมงของเครื่องทำน้ำเย็น ขนาด 100 ตันความเย็น ของอาคารสมมุติหลังหนึ่ง	6
1.4	กราฟแสดงการใช้พลังงานรายชั่วโมงของเครื่องทำน้ำเย็น ของระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบ Ice Storage	7
2.1	รูปแสดงวงจรการทำงานของระบบ Ice-on-coil	12
2.2	รูปแสดงถังเก็บน้ำแข็งแบบ Ice-on-coil	12
2.3	รูปแสดงถังเก็บน้ำแข็งแบบ Ice Tank	12
2.4	รูปแสดงระบบ Ice Container แบบ Ice in Rectangular Container	15
2.5	รูปแสดงระบบ Ice Container แบบ Ice Ball	15
2.6	รูปแสดงวงจรการทำงานของระบบ Ice Container	16
2.7	รูปแสดงระบบ Ice Harvester	17
2.8	รูปแสดงวงจรการทำงานของระบบ Ice Harvester	18
2.9	รูปแสดงการเก็บน้ำแข็งแบบ Full Storage	20
2.10	รูปแสดงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Load-leveling System	21
2.11	รูปแสดงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Demand-limiting System	22
2.12	รูปแสดงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Chiller Priority	23
2.13	รูปแสดงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Ice Priority	23
2.14	รูปแสดงการวางตำแหน่งของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Chiller Down Stream	25
2.15	รูปแสดงการวางตำแหน่งของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Chiller Up Stream	25
2.16	รูปแสดงการวางตำแหน่งของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Parallel	26
2.17	รูปแสดงการทำน้ำแข็งแบบทำน้ำแข็งทุกสัปดาห์	27
3.1	รูปอาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย	51
3.2	รูปแสดงรูปร่างและทิศทางของอาคาร ปตท.	52

รูปที่ หน้า

3.21 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice Harvester ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage 89

3.22 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice Harvester ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage On Peak 89

3.23 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice Harvester ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Load Leveling และ Full Storage On Peak .. 90

3.24 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice-on-coil ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage 90

3.25 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice-on-coil ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage On Peak 91

3.26 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice-on-coil ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Load Leveling และ Full Storage On Peak .. 91

3.27 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice Container ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage 92

3.28 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice Container ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage On Peak 92

3.29 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice Container ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Load Leveling และ Full Storage On Peak .. 93

3.30 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice Tank ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage 94

3.31 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice Tank ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage On Peak 94

3.32 รูปแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice Tank ที่ใช้กลยุทธ์การทำงานแบบ Load Leveling และ Full Storage On Peak .. 94

4.1 รูปแสดงภาระความร้อนรายชั่วโมงของอาคาร ปตท. ในวันพฤหัสบดีที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2538 ที่ได้จากการประมาณค่าด้วยโปรแกรม BLAST .. 97

4.2 รูปแสดงอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ปตท. ในเวลา 1 ปี ที่ได้จากการประมาณค่าด้วยโปรแกรม BLAST 98

4.3 รูปแสดงภาระความร้อนรายชั่วโมงของอาคาร ปตท. ในวันพฤหัสบดีที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2538 ที่ได้จากการตรวจสอบการใช้พลังงาน 100

รูปที่ หน้า

4.4 รูปแสดงการเปรียบเทียบภาระความร้อนรายชั่วโมงของอาคาร ปตท. ในวันพฤหัสบดีที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2538 ที่ได้จากการตรวจสอบการใช้พลังงาน และได้จากการประมาณค่าด้วยโปรแกรม BLAST 102

4.5 รูปแสดงอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ปตท. ในเวลา 1 สัปดาห์ ที่ได้จากการตรวจสอบการใช้พลังงาน 103

4.6 รูปแสดงอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคาร ปตท. ในเวลา 1 สัปดาห์ ที่ได้จากการตรวจสอบการใช้พลังงาน 104

4.7 กราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายชั่วโมงของอาคารประเภทต่าง ๆ 124