การจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในลานน้ำแข็งเพื่อการประหยัดพลังงาน

CHILLER OPERATION MANAGEMENT IN ICE RINK FOR ENERGY SAVING

ธนาธิษณ์ ห้าวหาญ

TANATIT HOWHAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารทรัพยากรอาคาร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
พ.ศ.2554

ลิขสิทธิ์ของ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

CHILLER OPERATION MANAGEMENT IN ICE RINK FOR ENERGY SAVING

TANATIT HOWHAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF SCIENCE
PROGRAM IN FACILITY MANAGEMENT
SRIPATUM UNIVERSITY
2011

COPYRIGHT SRIPATUM UNIVERSITY

ชื่อหัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในลานน้ำแข็งเพื่อการประหยัดพลังงาน CHILLER OPERATION MANAGEMENT IN ICE RINK FOR ENERGY SAVING
นักศึกษา	นายธนาธิษณ์ ห้าวหาญ รหัสประจำตัว 49800897
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารทรัพยากรอาคาร
คณะ	สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.กีรติ ชยะกุลคีรี

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารทรัพยากรอาคาร

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(พลเอกเสรี พุกกะมาน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ดร.นิจสิรี แวงชาญ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กีรติ ชยะกุลคีรี)

..... กรรมการ

(อาจารย์เรกซ์ ธนศักดิ์ เรืองเทพรัชต์)

วิทยานิพนธ์เรื่อง	การจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในลานน้ำแข็งเพื่อการประหยัดพลังงาน
คำสำคัญ	ลานน้ำแข็ง / การประหยัดพลังงาน/เครื่องทำน้ำเย็น
นักศึกษา	นายธนาธิษณ์ ห้าวหาญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.กีรติ ชยะกุลคีรี
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารทรัพยากรอาคาร
คณะวิชา	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาระบบการทำงานของลานน้ำแข็ง ศูนย์การค้า อิมพีเรียลเวิลด์ ลาดพร้าว เพื่อนำผลการศึกษามาใช้ในการลดพลังงานไฟฟ้า โดยกระบวนการศึกษา จัดแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการทำงานของลานน้ำแข็ง ด้วยการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดค่าตัวแปรพลังงานไฟฟ้า และแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูล พบว่า เครื่องทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากที่สุด และเปิดทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดวัน สัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องทำน้ำเย็น 60 % แสงสว่าง 15 % อื่นๆ 25 % จากค่าพลังงานไฟฟ้ารวม ที่ 937,464 กิโลวัตต์-ชม./ปี ส่วนที่สองนำข้อมูลมาจัดหาวิธีการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นให้เกิดการประหยัดได้ คือ วิธีที่ 1 เปิดใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1 เท่านั้น ทุกวันจันทร์ รวม 8 วัน และ เปิดเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1 และ 2 ทุกวันอังคาร รวม 8 วัน รวมเวลาการศึกษา 16 วัน ผลการศึกษาพบว่า การเปิดใช้งานเครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่อง เทียบกับ 2 เครื่อง ใน 21.00-07.00 น. มีค่าอุณหภูมิน้ำเย็นที่เฉลี่ยเท่ากับ -6.6 องศา จะสามารถประหยัดพลังงานได้ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 106,920 กิโลวัตต์-ชม. /ปี โดยที่สภาพผิวน้ำแข็งอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้

THESIS TITLE	CHILLER OPERATION MANAGEMENT IN ICE RINK FOR ENERGY SAVING
KEYWORD	AIR CONDITIONING / ENERGY SAVING/Chiller
STUDENT	MR.TANATIT HOWHAN
THESIS ADVISOR	ASSOC.PROF.DR. KEERATI CHAYAKULKHEEREE
LEVEL OF STUDY	MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN FACILITY MANAGEMENT
FACULTY	FACULTY OF ARCHITECTURE SRIPATUM UNIVERSITY
YEAR	2011

ABSTRACT

This thesis is the study of system using in the ice rink at the Imperial World Ladprao Mall, for providing educational information in reduction of electricity usage of the ice rink. The procedure of the study divides into 2 parts; First, The assessment of the energy usage of all equipment in the ice-skating rink, by using the measuring equipment to record the variation of the energy usage for each equipment are carried out. The record data shows that the chiller is the equipment that consumes the most energy, as it is continuously operated throughout the day, to maintain the proper ice field. the energy usage in one day shows 60% for the chiller, 15% for the lighting, and 25% for the others, of the total energy consumption of 937,464 kWh per year. Second, the record data is used to develop the scheme for energy reduction of the chiller including, setting a schedule to turn on only number 1 chiller on every Monday for 8 days, and turn on both number 1 and 2 chillers on every Tuesday for 8 days in a total of 16 days. The study shows that, turning on only one chiller between 21:00 to 7:00 to maintain the average temperature of -6.6 degree can save the energy by 106,920 kWh per year, with the acceptable ice surface.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร.กีรติ ชยะกุลศีรี อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เรกซ์ ธนศักดิ์ เรืองเทพรัชต์ และ ดร.นิจสิรี แววชาญ ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณ คุณณัฐกานต์ ทองประดับ ผู้บริหารบริษัท อิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว จำกัด, บริษัท สปอร์ตพลาซ่า จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสนับสนุนการทดลองวิจัย

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ แผนกวิศวกรรมอิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว ตลอดจนช่างทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลและติดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ธนาธิษณ์ ห้าวหาญ

มีนาคม 2554

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง..... VI
สารบัญภาพ..... VII

บทที่

1 บทนำ..... 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2
ความสำคัญของการศึกษา..... 2
กรอบแนวคิดในการวิจัย..... 2
สมมติฐานการวิจัย..... 3
ขอบเขตของการวิจัย..... 3
ข้อจำกัดการวิจัย..... 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4
นิยามศัพท์..... 4
2 แนวคิดทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5
ข้อมูลทั่วไปของอาคาร..... 5
หลักการทำงาน ของระบบลานน้ำแข็ง..... 7
ลักษณะการใช้งาน ลานน้ำแข็ง..... 10
เครื่องจักร/อุปกรณ์ลานน้ำแข็ง..... 11
แนวทางการประหยัดพลังงาน..... 16
สถิติอ้างอิง..... 19
ข้อมูลการใช้พลังงาน..... 20

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 21

3 ระเบียบวิธีวิจัย..... 23

การตรวจสอบและปรับปรุงเครื่องทำน้ำเย็น..... 23

การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิน้ำเย็น..... 24

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 26

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 26

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล..... 29

ระยะเวลาในการวิจัย..... 29

สถิติที่ใช้ในการวิจัย..... 29

4 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 30

ผลการปรับปรุง..... 34

การวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสมมติฐาน..... 37

5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 49

สรุปผลการวิจัย..... 50

อภิปรายผล..... 52

ข้อเสนอแนะ..... 53

บรรณานุกรม..... 55

ภาคผนวก..... 58

ประวัติผู้วิจัย..... 85

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงข้อมูลใช้พลังงานไฟฟ้าและจำนวนผู้ใช้บริการ	20
2	แบบบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานเครื่องทำนำเย็น	27
3	แบบบันทึกข้อมูลของระบบทำน้ำเย็น	28
4	แสดง เปรียบเทียบค่าพลังงานกับค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ก่อนปรับปรุง	31
5	แสดง เปรียบเทียบค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ก่อน และหลังเปลี่ยนท่อควบแน่น (Condenser tube)	34
6	แสดง เปรียบเทียบ หน่วยไฟฟ้า (kWh) ก่อน และหลังเปลี่ยนท่อควบแน่น (Condenser tube)	35
7	แสดงบันทึกผลของค่าอุณหภูมิ เครื่องทำน้ำเย็นหลังการเปลี่ยน ท่อคอนเดนเซอร์ (Condenser tube)	36
8	แสดง Group Statistics การทดสอบค่าโดยใช้สถิติ (Independent Samples t-test เมื่อเปลี่ยนท่อ Condenser tube	41
9	แสดงการทดสอบค่าความแตกต่างของการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube	42
10	แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าการเปิดเครื่องทำน้ำเย็น	43
11	แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำเย็นที่สามารถผลิตได้ของเครื่องทำน้ำเย็น	44
12	แสดง Group Statistics การทดสอบค่าโดยใช้สถิติ (Independent Samples t-test) ค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิน้ำเย็น	47
13	แสดงการทดสอบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 เครื่อง เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้า 2 เครื่อง และ ความสามารถในการทำอุณหภูมิน้ำเย็น ของเครื่องทำเย็น 1 เครื่อง เทียบกับการทำอุณหภูมิน้ำเย็น 2 เครื่อง	48

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่		หน้า
1	แสดง Lay out ที่ตั้งลานน้ำแข็ง ภายในอาคารอิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว ชั้น 4	6
2	แสดง Lay Out ภายในลานน้ำแข็ง	6
3	ภาพ 3 มิติ แสดง Lay Out ภายในลานน้ำแข็ง	7
4	แสดงภาพรวมของระบบลานน้ำแข็ง	8
5	แสดงการต่อระบบHeat pump ของระบบลานน้ำแข็ง	9
6	ภาพขยายการวางอุปกรณ์ใต้ลานน้ำแข็งศูนย์การค้า อิมพีเรียล เวิลด์	9
7	แสดงตัวอย่างความหนาของชั้นน้ำแข็ง	10
8	แสดงการจัดวางท่อและวัสดุอุปกรณ์ใต้พื้นน้ำแข็งของ RBC Center	10
9	เครื่องทำน้ำเย็น ของ Mitsubishi	11
10	เครื่องสูบน้ำเย็นและเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น	11
11	คูลลิ่ง ทาวเวอร์	12
12	แสดงรถปรับสภาพผิวหน้าน้ำแข็งด้วย รถ zamboni	12
13	ท่อ ice mat	14
14	การประกอบท่อ ice matใช้งาน	14
15	รถ zamboni	16
16	บ่อเก็บเกร็ดน้ำแข็ง	16
17	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า	21
18	กราฟแสดงอุณหภูมิ และกำลังไฟฟ้า	24
19	ลักษณะน้ำแข็ง แข็ง แห้ง เป็นเกร็ด	25
20	ลักษณะน้ำแข็ง แข็ง เปียกเล็กน้อย	25
21	ลักษณะน้ำแข็ง ละลายเป็นน้ำ	26
22	แสดงการแช่น้ำยา SABINON –P และการหมุนเวียนของน้ำยา	32
23	แสดง เมื่อเปิดฝาท่อ Condenser	32
24	แสดง ก่อนการเปลี่ยน ท่อ Condenser ของเครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1	33
25	แสดง หลังการเปลี่ยน ท่อ Condenser ของเครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1	33

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
26	กราฟแสดงเปรียบค่า ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ก่อนและหลังเปลี่ยนท่อควบแน่น (Condenser tube)	34
27	กราฟแสดงเปรียบค่าพลังงานก่อน และหลังเปลี่ยน ท่อควบแน่น (Condenser tube)	35
28	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิน้ำเย็นก่อนและหลังเปลี่ยนท่อคอนเดนเซอร์ (Condenser tube)	36
29	กราฟแสดงความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้า	44
30	กราฟแสดงความแตกต่างของค่าอุณหภูมิน้ำเย็น	45
ก.1	อาคารอิมพีเรียลเวิลด์ ลาดพร้าว	60
ก.2	อาคาร อิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว จาก Google	60
ก.3	แปลนอาคาร แสดงลานน้ำแข็งชั้น 4 ศูนย์การค้าอิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว	61
ก.4	ภาพ 3 มิติแสดงลานน้ำแข็ง อาคาร ศูนย์การค้าอิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว	61

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพลังงานเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อเศรษฐกิจของประเทศ จึงมีการส่งเสริมทั้งภาครัฐและเอกชนในการช่วยกันประหยัดพลังงาน และการประหยัดพลังงานที่ดีนั้น ต้องไม่กระทบต่อการดำรงอยู่ของธุรกิจ ความสุขสบายของผู้ใช้ หรือทำให้คุณภาพสินค้าลดต่ำลง การประหยัดพลังงานจะช่วยลดต้นทุนการผลิต หรือการให้บริการ

ลานน้ำแข็ง จัดได้ว่าเป็นธุรกิจประเภทให้บริการ ดังนั้นการประหยัดพลังงานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะช่วยลดค่าใช้จ่าย การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการประหยัดพลังงานในกิจการประเภทลานน้ำแข็ง การวิจัยหรือวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวกับลานน้ำแข็งในประเทศไทยมีจำนวนน้อยมากซึ่งแทบจะไม่มีการเผยแพร่ความรู้ด้านนี้ จึงอาศัยประสบการณ์จากช่างที่ได้เรียนรู้มาจากการซ่อมบำรุงในลานน้ำแข็งสืบต่อๆ กันมา แต่ปัจจุบันได้ปิดลานน้ำแข็งเกือบหมดแล้ว ดังนั้น ทฤษฎีอ้างอิงจึงมาจากบทความออนไลน์เป็นหลัก เช่น การประหยัดพลังงานในลานน้ำแข็ง จะมีการประหยัดพลังงานได้ 10 วิธี (Lenko, 2007) เป็นต้น

สำหรับลานน้ำแข็งของศูนย์การค้าอิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว หรือชื่อนิติบุคคล บริษัท ลาดพร้าวสปอร์ตพลาซ่า จำกัด นั้น ได้เปิดกิจการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 จนถึงปัจจุบัน ประสบกับปัญหาค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของการทำวิจัย โดยเน้นการศึกษาการทำงานของระบบลานน้ำแข็งและหามาตรการ วิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยไม่มีการลงทุนหรือการลงทุนต่ำ

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาระบบการทำงานของลานน้ำแข็ง
2. เพื่อทราบถึงแนวทางในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพระบบทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง
3. เพื่อทราบถึงผลการเดินเครื่องทำน้ำเย็นที่มีผลต่อการใช้พลังงานและสภาพของน้ำแข็งในลานน้ำแข็ง
4. เพื่อนำผลการศึกษามาใช้ในการลดพลังงานไฟฟ้าในลานน้ำแข็ง

ความสำคัญของการศึกษา

เนื่องจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า เครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง ในอาคารศูนย์การค้าอิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว มีการทำงานตลอด 24 ชม.และต้องใช้พลังงานไฟฟ้าถึง 60 % ของค่าพลังงานทั้งหมด ดังนั้น การประหยัดพลังงานในลานน้ำแข็งจึงมุ่งเน้นในการศึกษาเครื่องทำน้ำเย็นที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง จะสามารถลดพลังงานได้อย่างไร และปัจจัยต่างๆที่จะกระทบต่อระบบโดยรวมของลานน้ำแข็ง

องค์ความรู้ด้านลานน้ำแข็งมีไม่แพร่หลาย จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาลานน้ำแข็งจริงเพื่อนำผลไปใช้ในกระบวนการจัดการ และหาแนวทางการลดพลังงานไฟฟ้าของลานน้ำแข็ง

กรอบแนวความคิดในการวิจัย

การประหยัดพลังงานในอาคารควบคุม มีหลายรูปแบบและมีผู้วิจัยจำนวนมาก ซึ่งมีความแตกต่างกันที่ประเภทอาคาร การศึกษาครั้งนี้ จะดำเนินการในส่วนของลานน้ำแข็ง ในอาคารอิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว และใช้วิธีการลดพลังงานในเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งจะเลือกวิธี การจัดตารางเดินเครื่องให้เหมาะสมกับภาระโหลด โดยทดลองหาแนวทางการจัดการ การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นระหว่าง 2 เครื่อง

สมมติฐานการวิจัย

1. การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) ต่ำกว่าก่อนการเปลี่ยนท่อ Condenser tube

2. การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ต่ำกว่าก่อนการเปลี่ยนท่อ Condenser tube

3. การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้อุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น ต่ำกว่าก่อนการเปลี่ยนท่อ Condenser tube

4. การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง แตกต่างจากการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

5. การเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง สามารถทำอุณหภูมิน้ำเย็นได้ไม่แตกต่างจากการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการทดลองการควบคุมการทำงานเครื่องทำน้ำเย็นให้เหมาะสม โดยวิธีการทดสอบการเปิดใช้เครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่อง จำนวน 8 วัน และเปิดใช้งาน 2 เครื่องพร้อมกัน จำนวน 8 วัน และบันทึกผลการทดสอบ ตั้งแต่เวลา 21.00 -07.00 น. ในลานน้ำแข็งอาคารอิมพีเรียล เวิลด์ลาดพร้าว

2. เสนอแนะแนวปฏิบัติในการปรับปรุงและบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็น

3. เสนอแนะแนวปฏิบัติในการจัดการเดินเครื่องทำน้ำเย็นที่ช่วยให้ประหยัดพลังงานโดยยังคงได้สภาพน้ำแข็งตามมาตรฐาน

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. เป็นการศึกษาโดยการทดลองเปรียบเทียบ ก่อนและหลังของการเปลี่ยนแปลง จึงไม่สามารถเปรียบเทียบกับกรณีอื่นได้

2. การตรวจวัดไม่สามารถทำได้ตลอดปี เนื่องจากต้องเปรียบเทียบสองกรณีจึงใช้วิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ในวันที่อุณหภูมิความชื้นเท่ากันมาเปรียบเทียบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ เข้าใจและรู้จักระบบการทำงานของลานน้ำแข็ง
2. รู้วิธีการเดินเครื่องทำน้ำเย็นที่ให้เกิดการประหยัดพลังงาน และคุณภาพน้ำแข็งไม่เปลี่ยนแปลง
3. ทราบแนวทางในการปรับปรุงเครื่องทำน้ำเย็น ให้เกิดประสิทธิภาพ
4. ได้วิธีการลดพลังงานไฟฟ้าในลานน้ำแข็ง

นิยามศัพท์

เครื่องทำทำเย็น หมายถึง เครื่องที่ประกอบด้วยเครื่องอัด แบบลูกสูบหรือแบบหอยโข่ง (Centrifugal Compressor) เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ อุปกรณ์ลดความดัน และอุปกรณ์ทำน้ำเย็น สามารถผลิตน้ำเย็นให้ติดลบ และเป็นอุปกรณ์หลักในการทำน้ำแข็ง(การพัฒนาบุคลากรด้านการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานของอาคาร, 2550, หน้า12-24)

การประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ หมายถึง วิธีการประหยัดพลังงานมากว่าการงดใช้หรือใช้น้อยลง จนทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงดังนั้น การประหยัดพลังงานต้องดำเนินการตามกิจกรรม 4 ประเด็น ดังนี้ (คู่มือการพัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยี การอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง, 2551, หน้า 33)

1. การออกแบบและแนวคิดที่ดี
2. การใช้งานและการดูแลรักษา
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต
4. การเปลี่ยนเครื่องจักร

บทที่ 2

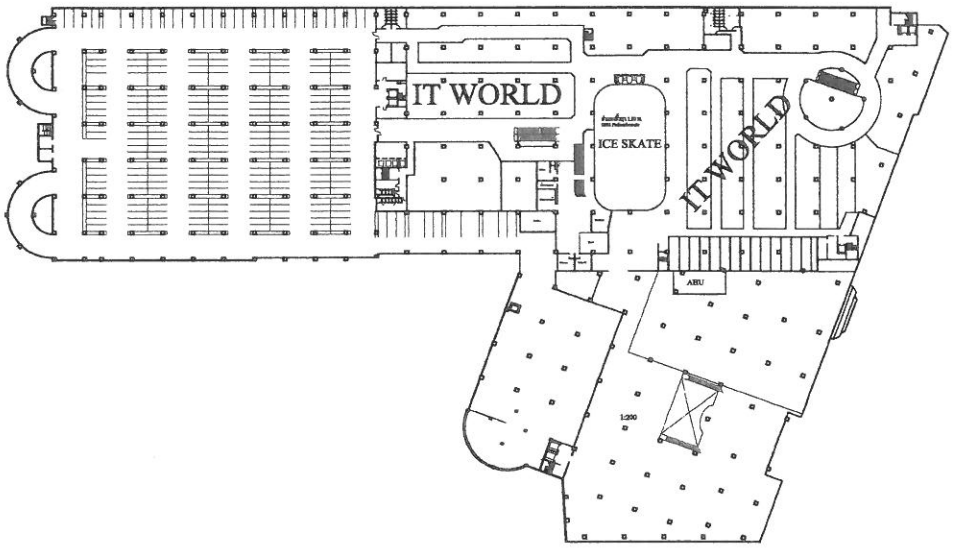
แนวคิดทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาการทำงานของระบบลานน้ำแข็ง และนำผลการศึกษามาใช้ในการลดพลังงานไฟฟ้า ของอาคารศูนย์การค้า อิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานและแนวทางในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

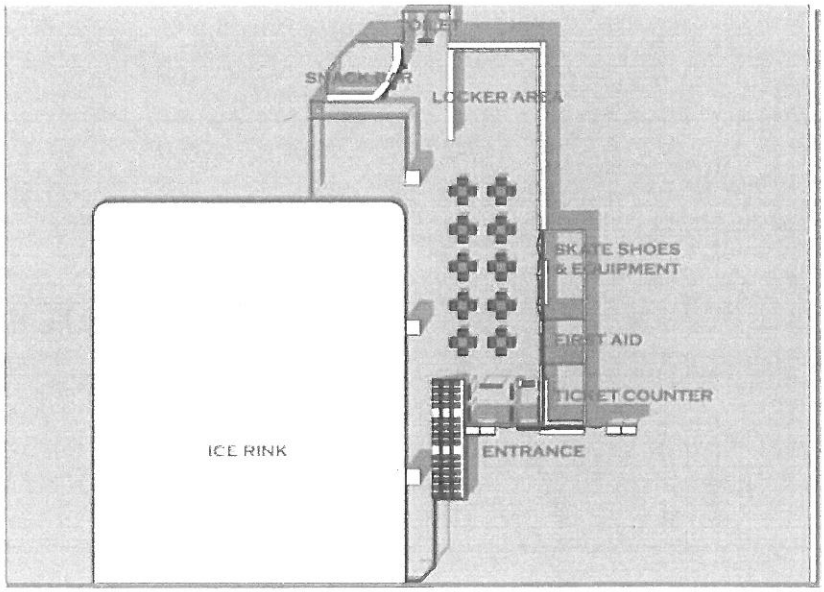
1. ข้อมูลทั่วไปของอาคาร
2. หลักการทำงาน ของระบบลานน้ำแข็ง
3. ลักษณะการใช้งาน ลานน้ำแข็ง
4. เครื่องจักร/อุปกรณ์ลานน้ำแข็ง
5. แนวทางการประหยัดพลังงาน
6. ข้อมูลการใช้พลังงาน
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

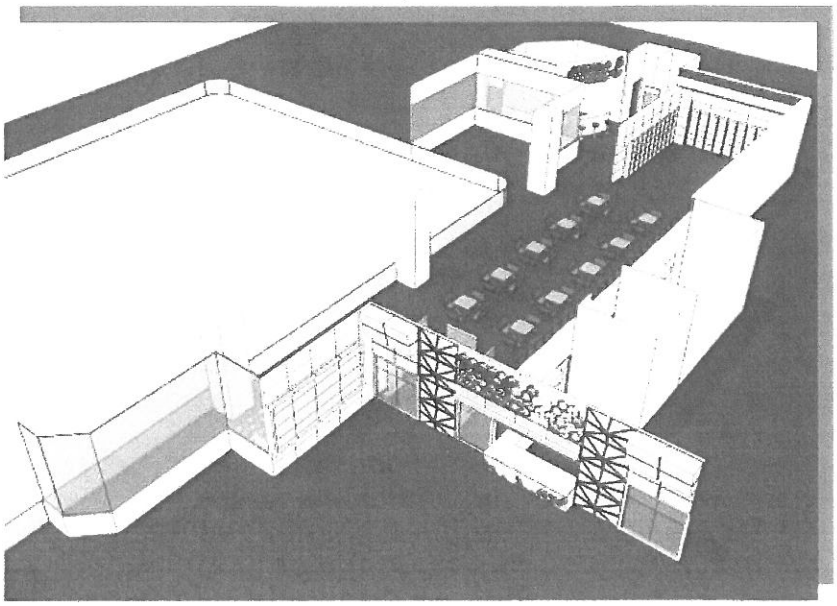
ลานน้ำแข็ง ตั้งอยู่ในอาคารศูนย์การค้า อิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว ชั้นที่ 4 บริเวณโซนกลางของศูนย์การค้าฯ เริ่มเปิดกิจการเมื่อปี พ.ศ. 2539 มีพนักงานประจำประมาณ 10 คน และครูฝึกประมาณ 15 คน โดยมีพื้นที่ใช้สอยทั่วไป 321 ตารางเมตร และ พื้นที่ เฉพาะลานน้ำแข็ง 798 ตารางเมตร จำนวนผู้เข้าใช้บริการเฉลี่ยในวัน จันทร์ – ศุกร์ 50 คน สำหรับวันเสาร์ – อาทิตย์และวันหยุดนักขัตฤกษ์เฉลี่ย จำนวน 130 คน รูปแบบของลานน้ำแข็ง เป็นลักษณะ เปิด คือ ไม่มีหลังคาสำหรับลานโดยเฉพาะ ลูกค้าทั่วไปที่ไม่ได้เข้าเล่นสเก็ต สามารถมองเห็นจากชั้น 5 และชั้น 6 ได้ ดังนั้นลานน้ำแข็งจึงได้ชื่อว่า " Open Ice skate "



ภาพประกอบที่ 1 แสดง Lay out ที่ตั้งลานน้ำแข็งภายในอาคารอิมพีเรียลเวิลด์ ลาดพร้าว ชั้น 4



ภาพประกอบที่ 2 แสดง Lay Out ภายในลานน้ำแข็ง

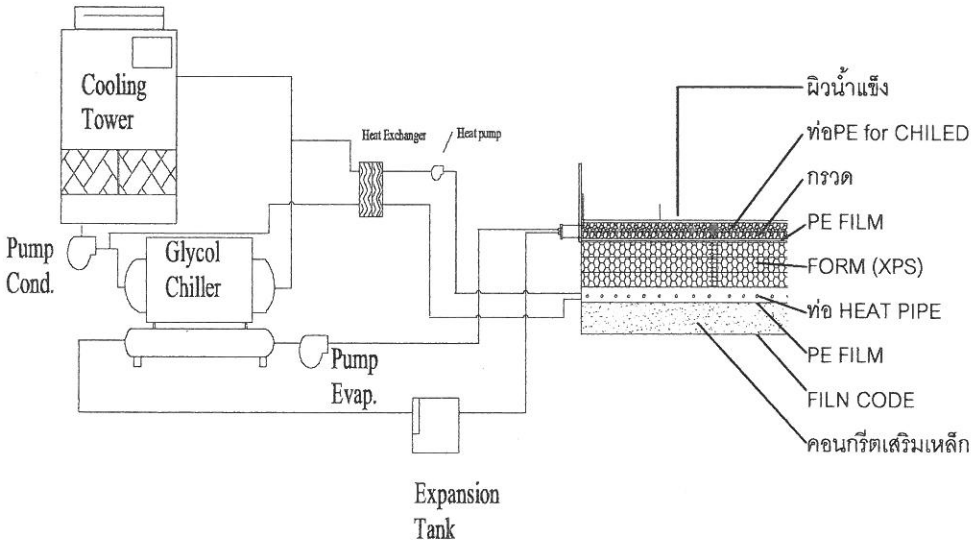


ภาพประกอบที่ 3 ภาพ 3 มิติ แสดง Lay Out ภายในลานน้ำแข็ง

หลักการทำงาน ของระบบลานน้ำแข็ง

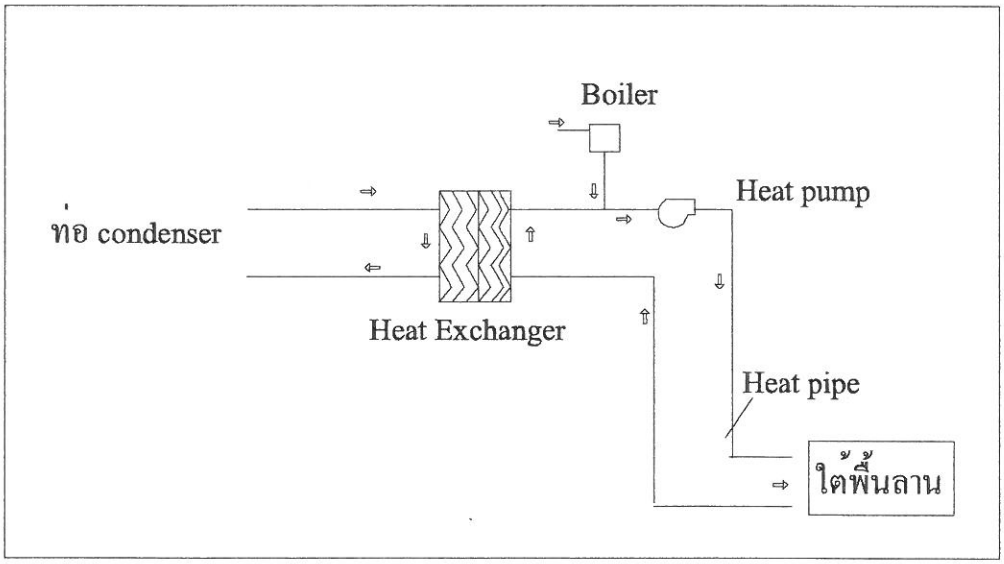
ลานน้ำแข็งในอาคาร (Indoor ice) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ พื้นลานน้ำแข็ง (Rink Floor) และงานระบบทำน้ำเย็น ภาพประกอบที่ 4 แสดงภาพรวมของระบบลานน้ำแข็ง สำหรับพื้นลานน้ำแข็ง การออกแบบ จะมีการจัดวางวัสดุเป็นหลายชั้น ตามภาพประกอบที่ 6 ภาพขยายการวางอุปกรณ์ใต้ลานน้ำแข็ง ชั้นล่างสุดจะเป็นคอนกรีตซึ่งพื้นของอาคารได้รับการออกแบบโดยเฉพาะ ในการทำเป็นลานน้ำแข็งโดยเฉพาะ ชั้นที่ 2 มีวัสดุกันซึม (Film cote) ชั้นที่ 3 เป็นฟิล์มพลาสติก (Pe film) ชั้นที่4 เป็นท่อความร้อน (Heat pipe) ทำหน้าที่ในการควบคุมการแพร่กระจายความเย็นส่งสู่พื้นคอนกรีตในใต้ลาน ซึ่งช่วยลดการเกิดการควบแน่น (Condensed) ที่พื้น หลักการทำงานจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 อย่าง คือ ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger), ปั๊มน้ำร้อน (Heat pump) และหม้อต้มน้ำ (Boiler) (ภาพประกอบที่ 5) ระบบท่อเป็นลูปปิด มีปั๊มน้ำร้อน (Heat pump) เป็นตัวส่งน้ำที่ได้รับการแลกเปลี่ยน จากชุดแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) เข้าสู่ระบบท่อน้ำใต้ลานน้ำแข็ง และเมื่อระดับน้ำในท่อลดลงจะมีการเติมน้ำจากหม้อต้มน้ำ (Boiler) ที่

อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ชั้นที่ 5 เป็นโฟมชนิดโพลีสไตรีน (Expandable Polystyrene, XPS) ทำหน้าที่เป็นช่วยรับน้ำหนักและสร้างความยืดหยุ่นในขณะเล่น ชั้นที่ 6 จะเป็นฟิล์มพลาสติก (Pe film) อีกครั้ง

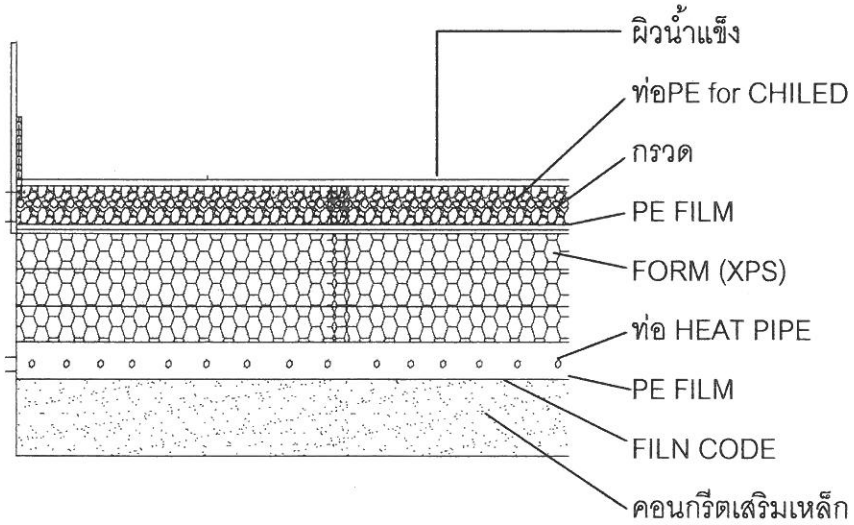


ภาพประกอบที่ 4 แสดงภาพรวมของระบบลานน้ำแข็ง

ชั้นที่ 7 จะมีกรวดรอบๆ ท่อพลาสติกแรงดันสูง(Polyethylene ,PE) Φ ¼ ″ สำหรับท่อช่วยในการนำน้ำเย็นเข้าลาน เมื่อเดินเครื่องทำน้ำเย็น จะปล่อยน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส โดยส่วนผสมในน้ำเย็นนั้น จะมี สารเคมีที่ชื่อว่า เอทิลีนไกลโคล (Ethylene Glycol) หรือ น้ำเกลือ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ออนไลน์, 2550) เป็นสารป้องกันการแช่แข็ง หรือป้องกันน้ำเย็นแข็งตัว ไหลเข้าสู่ท่อ พลาสติกแรงดันสูง (Polyethylene ,PE) Φ ¼ ″ และไหลกลับเข้าเครื่องทำน้ำเย็นโดยมีปั๊มเป็นตัวช่วยในการดูดและอัดน้ำเย็น หากใต้ลานน้ำแข็งมีปริมาณความเย็นสะสมมาก ก็จะมีท่อ พลาสติกแรงดันสูง(Polyethylene ,PE) Φ ½″ ช่วยดึงความเย็นออกมา ซึ่งการสะสมความเย็นปริมาณมากมีผลให้พื้นคอนกรีต เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำไหลลงสู่ด้านล่าง



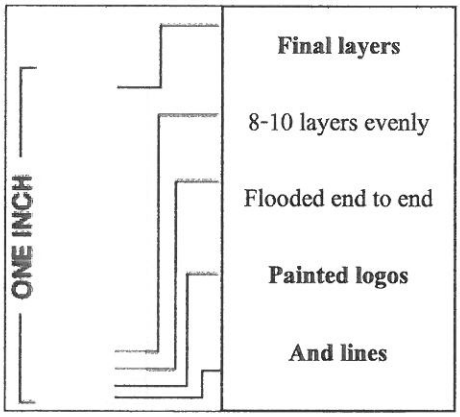
ภาพประกอบที่ 5 แสดงการต่อระบบ ปั๊มน้ำร้อน(Heat pump) ของระบบลานน้ำแข็ง



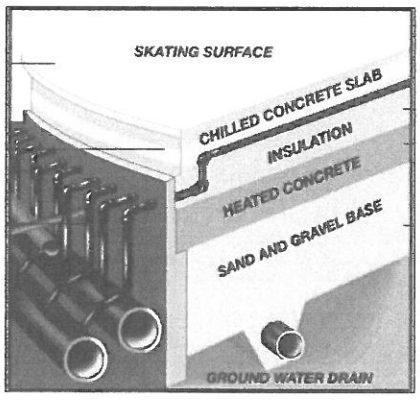
ภาพประกอบที่ 6 ภาพขยายการวางอุปกรณ์ใต้ลานน้ำแข็ง

ลักษณะการใช้งาน ลานน้ำแข็ง

ลานน้ำแข็งภายในอาคารนั้น ถูกใช้สำหรับการเล่นกีฬาหลายชนิดและการสันทนาการต่างๆ เช่น กีฬาฮอกกี้ หรือการเล่นสเก็ตทั้งฟิกเกอร์ สเก็ต (Figure Skating) และสปีด สเก็ต (Speed Skating) สำหรับกิจกรรมประเภทนี้ทุกชนิดคุณภาพของลานน้ำแข็งมีผลอย่างมาก ต่อผู้เข้าแข่งขัน รูปแบบที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นพื้นผิวสำหรับเล่นสเก็ตไม่ง่ายเหมือนการสร้างน้ำแข็งบนถาดทั่วๆ ไปคือ จะต้องทำให้น้ำเย็นลงถึงจุดเยือกแข็งอย่างถูกต้องเป็นชั้นบางๆ ไม่น้อยกว่า 12 ชั้น รูปประกอบที่ 7 แสดงตัวอย่างความหนาของชั้นน้ำแข็ง ซึ่งชั้นน้ำแข็งบางชั้นอาจมีความหนาเพียง 1/32 นิ้ว(8 มิลลิเมตร) เท่านั้น และในชั้นน้ำแข็งบางชั้นจะถูกเคลือบสีเพื่อความสวยงาม และ ในกีฬาฮอกกี้จะต้องมีเส้นแบ่งขอบสนาม ตามลักษณะเฉพาะของสนามกีฬาและลานน้ำแข็งที่ดีที่สุดสำหรับกีฬาประเภทหนึ่ง อาจไม่สามารถยอมรับได้สำหรับกีฬาประเภทอื่น



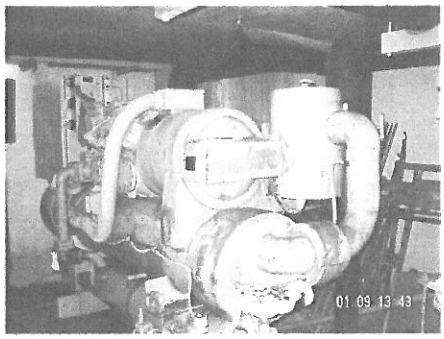
รูปประกอบที่ 7 แสดงตัวอย่างความหนาของชั้นน้ำแข็งอาคารRBC Center



รูปประกอบที่ 8 แสดงตัวอย่างการจัดวางท่อและวัสดุอุปกรณ์ใต้พื้นน้ำแข็งของอาคาร RBC Center

เครื่องจักร/อุปกรณ์ลานน้ำแข็ง

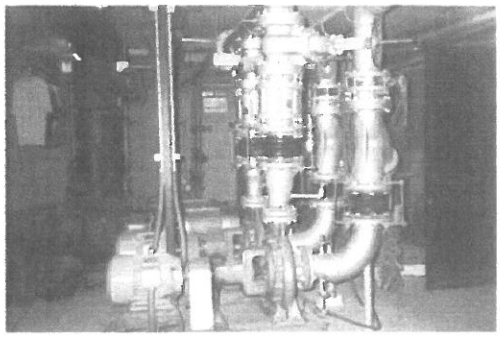
1. เครื่องทำน้ำเย็น ในระบบของลานน้ำแข็ง ใช้เครื่องทำน้ำเย็นชนิด ระบายความร้อนด้วยน้ำ และเป็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Compressor) กระจายน้ำเย็นสู่ท่อ Ice mat ซึ่งทำหน้าที่ ในการสร้างชั้นผิวน้ำแข็ง



ภาพประกอบที่ 9 เครื่องทำน้ำเย็น ยี่ห้อ Mitsubishi Model : BCL – 120F

2. เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump) ใช้ในการหมุนเวียนน้ำเย็นภายในระบบ โดยการจ่ายน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นไปยังท่อ ice mat เพื่อสร้างชั้นผิวน้ำแข็ง น้ำเย็นที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะถูกส่งกลับเข้าไปในเครื่องทำน้ำเย็นใหม่ และหมุนเวียนเช่นนี้ต่อไป

3. เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump) ใช้ในการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นในระบบ โดยการส่งน้ำหล่อเย็นที่รับความร้อนจากเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อไประบายความร้อนทิ้งที่หอผึ่งน้ำ น้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำลงพอเหมาะที่จะนำกลับมาใช้งานได้อีก จะถูกส่งผ่านเข้าไปในเครื่องทำน้ำเย็นใหม่ และหมุนเวียนเช่นนี้ต่อไปน้ำในระบบหล่อเย็น



ภาพประกอบที่ 10 เครื่องสูบน้ำเย็นและเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น

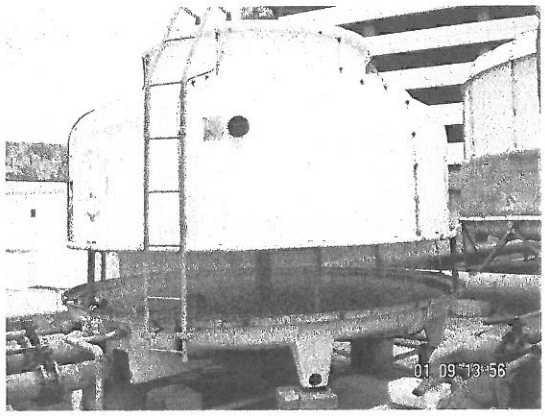
4. หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) อากาศจะถูกเป่า ผ่านน้ำหล่อเย็นที่ร้อน เพื่อถ่ายเทความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอก หลักการทำงานดังนี้

4.1 หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) ทำงานโดยใช้พัดลมบังคับให้อากาศไหลสวนทางกับกระแสน้ำเพื่อให้เกิดการระเหยขึ้น

4.2 โดยทั่วไปกระแสน้ำจะถูกบังคับให้ไหลอย่างช้าผ่านตาข่ายพลาสติก

4.3 อากาศจะต้องมีมุมที่เหมาะสมในการไหลสวนทางกับกระแสน้ำ

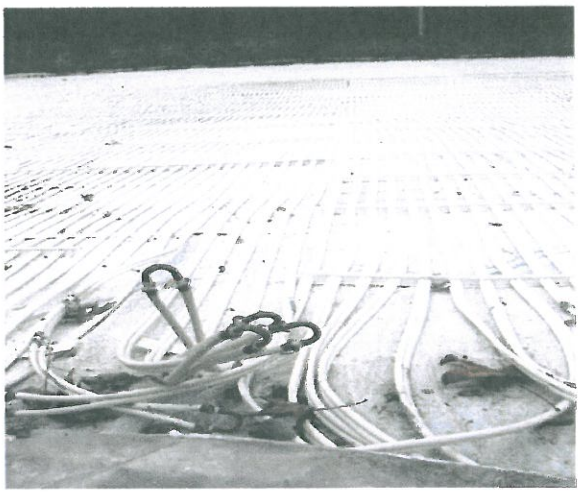
4.4 การระเหยจะทำให้น้ำมีอุณหภูมิลดต่ำลง



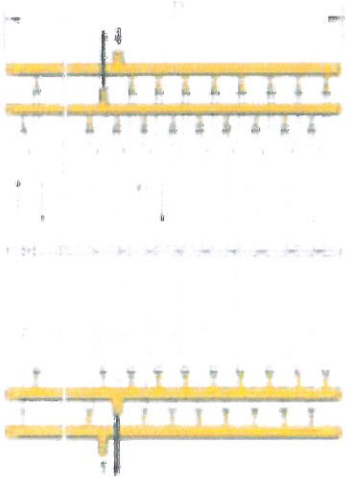
ภาพประกอบที่ 11 หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

ภาพประกอบที่ 12 แสดงการปรับสภาพผิวหน้าน้ำแข็งด้วยรถปรับผิวลานน้ำแข็ง (Zamboni)

5. ท่อไอซ์แม็ซ (Ice mat) ทำหน้าที่เหมือนกับคอล์ยเย็นของระบบปรับอากาศทำด้วยทองแดงหรืออลุมิเนียม แต่ท่อไอซ์แม็ซ (Ice mat) เป็นพลาสติกซึ่งวางพื้นเรียงกันบนพื้นที่จัดเตรียมไว้สามารถทนความเย็นได้อย่างมาก



ภาพประกอบที่ 13 ท่อไอซ์แม็ซ (Ice mat) จากhttp://www.patine-jp.com



ภาพประกอบที่ 14 การประกอบท่อไอซ์แม็ซ (Ice mat) ใช้งาน จากhttp://www.patine-jp.com

6. น้ำเกลือ (Ethylene Glycol) จัดได้ว่าเป็นสารความเย็นขั้นที่สอง (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ออนไลน์, 2550) เป็นน้ำยาที่ป้องกันการแข็งตัวของน้ำในระบบทำความเย็นมากที่สุด น้ำยาเหล่านี้มีคุณสมบัติแตกต่างจากน้ำเกลือคือไม่กัดกร่อนโลหะ และไม่เกิดปฏิกิริยาแยกด้วยไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถใช้กับระบบที่ประกอบด้วยโลหะต่างชนิดกัน นอกจากนี้น้ำยาป้องกันน้ำแข็งตัวนี้ ยังมีการคงตัวอยู่ในสภาพเดิมได้และไม่เกิดการระเหยในภาวะของการทำงานปกติเนื่องจากข้อดีดังกล่าวข้างต้น จึงมีการนำเอาระบบการใช้น้ำป้องกันน้ำแข็งตัวนี้ใช้งานแทนระบบที่ใช้น้ำเกลือมากขึ้นเรื่อยๆ

6.1 คุณสมบัติ Brine ที่เหมาะสมสำหรับเป็นสารความเย็นขั้นที่ สอง

6.1.1 คงตัวเป็นของเหลวอยู่ได้ในอุณหภูมิที่ต้องการใช้

6.1.2 ไม่ทำให้โลหะเป็นสนิมหรือผุกร่อนง่าย (non-corrosive)

6.1.3 ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) สูงเพื่อจะได้ลดจำนวนที่จะต้องใช้ลง

6.1.4 ความหนืดต่ำ เพื่อให้ Brine ที่ถูกปั๊มไหลวนเวียนได้ดี และทำให้การถ่ายเทความร้อนดี

6.1.5 มี Conductivity สูง เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนเร็ว

6.1.6 คงตัวและไม่ทำปฏิกิริยากับสาความเย็นที่อาจรั่วออกมา

6.2 ข้อดีของการใช้สารความเย็นขั้นที่สอง

6.2.1 ทำให้สามารถจำกัด Primary connection อยู่ในที่เดียวกัน

6.2.2 ลดภัยพิษที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากสารความเย็นที่ใช้เป็นพิษ

6.2.3 ลดโอกาสที่สารความเย็นจะรั่ว และทำให้ Pressure drop ลดน้อยลง

6.2.4 ง่ายสำหรับการควบคุม

6.2.5 ง่ายสำหรับการ Defrost.

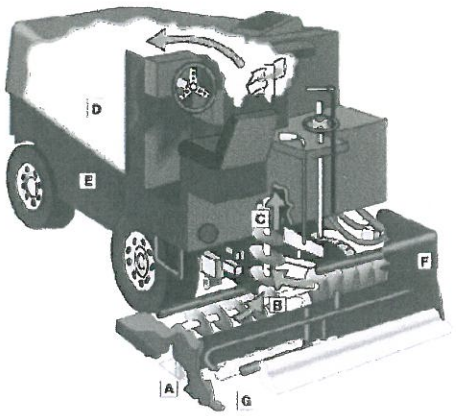
6.2.6 หารอยรั่วง่าย

6.3 ข้อเสียการใช้สารความเย็นขั้นที่สอง

6.3.1 ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักร (Coefficient Of Performance) น้อยลง

6.3.2 ทำให้ต้องการเครื่องมือเพิ่มขึ้น เป็นต้นว่า ปั๊มสำหรับการวนน้ำในท่อ (Circulate) น้ำเกลือ ถังน้ำเกลือ

7. รถปรับผิวลานน้ำแข็ง (Zamboni) เป็นรถที่ช่วยปรับผิวลานสเก็ตให้เรียบ และบำรุงรักษาลานน้ำแข็ง มีความสามารถในการปรับผิวหน้าลานอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ ตามรูปประกอบที่ 15



(A) ใบมีดซึ่งสามารถขูดน้ำแข็ง
(B) สว่านแนวขวาง
(C) สว่านแนวดิ่ง ช่วยขนย้ายเกล็ดน้ำแข็ง
(D) ถังเก็บ เก็บเศษน้ำแข็งจากการขูด
(E) ถังน้ำล้าง สำหรับล้างผิวน้ำแข็ง
(G) ลูกกลิ้งยาง ช่วยกวาดน้ำให้พื้นแห้ง

ภาพประกอบที่ 15 รถปรับผิวลานน้ำแข็ง (Zamboni)

http://entertainment.howstuffworks.com/ice-rink.htm

และเศษน้ำแข็งที่ขูดออกมาจะถูกเทลงบ่อเก็บเกล็ดน้ำแข็งปล่อยให้ละลายทิ้งลงในท่อระบายน้ำ

ภาพประกอบที่ 16 บ่อเก็บเกร็ดน้ำแข็ง

http://entertainment.howstuffworks.com/ice-rink.htm

แนวทางการประหยัดพลังงาน

1. การประหยัดพลังงานในลานน้ำแข็ง สามารถกำหนดมาตรการในการประหยัดพลังงานได้ 10 วิธี (Brendan Lenko, P.E. ออนไลน์, 2007)

1.1 การใช้ฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนป้องกันการแพร่ผ่านของภาระความร้อน เป็นสิ่งแรกที่ถูกเลือกโดยอัตโนมัติ สำหรับมาตรการประหยัดพลังงานลานน้ำแข็งแทบทุกลานโดยเฉพาะอย่างยิ่งลานเล่นน้ำแข็งที่กำลังใช้งานอยู่ในช่วงฤดูร้อน การใช้ฝ้าเพดานที่ปิดผิวหน้าทับด้วยฟอล์ยจะทำให้ฝ้าเพดานสามารถป้องกันภาระความร้อนจากการแผ่รังสีซึ่งโดยทั่วไปจะมีปริมาณ 25-40% ของภาระความร้อนทั้งหมด ปริมาณภาระความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากผิวหน้าลานน้ำแข็งขนาดใหญ่วางอยู่ในระนาบเดียวกับฝ้าเพดานที่มีอุณหภูมิสูงกว่าถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ลานน้ำแข็งและการใช้ฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน จะช่วยลดภาระความร้อนส่วนนี้ลงได้โดยประมาณถึง 95%. ซึ่งจะทำให้ สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานให้ลดลงในแต่ละปีประมาณ 20-35% ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศของแต่ละท้องถิ่น ฤดูการใช้งานและอัตราค่ากระแสไฟฟ้า

1.2 การควบคุมอุณหภูมิลานน้ำแข็ง ทุกๆ 1 °F ที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลานน้ำแข็งสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 6% ต่อปี โดยคิดจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการทำความเย็นให้ลานน้ำแข็งระบบควบคุมอุณหภูมิของลานน้ำแข็งส่วนใหญ่จะควบคุมอุณหภูมิของแผ่นน้ำแข็งหรืออุณหภูมิของน้ำเย็น (Brine/Glycol) ใต้ลานน้ำแข็ง โดยใช้รูปแบบการปรับอุณหภูมิให้มีค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ตลอดทั้งวันโดยไม่มีการคำนึงถึงว่ามีความจำเป็นของอุณหภูมิที่จำเป็นต้องใช้งาน และผลของการใช้พลังงานมากเกินความจำเป็นการติดตั้งระบบควบคุมซึ่งสามารถใช้ในการควบคุมอุณหภูมิจริงของลานน้ำแข็ง ซึ่งมีความจำเป็นในการใช้งานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะเย็นจัดเกินไป ระบบการจำกัดอุณหภูมิลานน้ำแข็งเช่นนี้สามารถใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิลานน้ำแข็งได้ในตอนกลางคืน และเป็นช่วงเวลาที่สามารถประหยัดพลังงานได้จากการใช้ระบบควบคุมดังกล่าวโดยจะทำให้ประหยัดพลังงานได้ ตั้งแต่ 5-15%

1.3 ปั๊ม (Pump) ขนาด 30 แรงม้า ที่มีอัตราการทำงานคงที่อย่างต่อเนื่องจะมีค่าใช้จ่าย 296,000 - 370,000 บาท สำหรับค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินเครื่อง การติดตั้งระบบควบคุมปั๊มซึ่งทำให้สามารถลดหรือหยุดการทำงานของปั๊มให้ทำงานตามสภาวะของภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจริงจะสามารถทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 37,000 - 222,000 บาท ต่อปี ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการลดการใช้งานขอปั๊มและการลดภาระความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจาก แรงเสียดทานของการสูบน้ำค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์อยู่ในช่วงประมาณ 92,500– 740,000 บาท ขึ้นอยู่กับ

คุณภาพของอุปกรณ์ซึ่งอาจจะลดราคาของระบบให้ต่ำลงได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์รวม อยู่ในระบบควบคุมอุณหภูมิของลานน้ำแข็ง

1.4 การบำรุงรักษาลานน้ำแข็ง (Ice Maintenance) การบำรุงรักษาสภาพลานน้ำแข็งที่เหมาะสมจะมีค่าใช้จ่ายต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการบำรุงรักษาสภาพลานน้ำแข็งที่ไม่เหมาะสมตัวอย่างเช่นการทำความเย็นให้ลานน้ำแข็งหนา 2 นิ้ว จะทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น10-15% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายของลานน้ำแข็งหนา 1 นิ้วโปรแกรมการรักษาสภาพลานน้ำแข็งที่ถูกปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอจะช่วยไม่ให้ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเพิ่มสูงขึ้น

1.5 การลดความชื้นในอากาศ การลดความชื้นในอากาศให้เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับลานสเก็ตน้ำแข็งในการป้องกันการเกิดหมอกและหยดน้ำจากการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการใช้งานผิวหน้าลานน้ำแข็งในช่วงฤดูร้อนการใช้อากาศแห้งสำหรับลานเล่นน้ำแข็งทำให้ให้สามารถลดภาระความร้อนปริมาณจากการพาของอากาศลงได้ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ระบบการทำความเย็น ของลานน้ำแข็งน้อยทำงานลงถ้าอากาศที่หมุนเวียนอยู่เหนือในลานน้ำแข็งเป็นอากาศแห้งและแน่นอน การใช้อุปกรณ์สำหรับการลดความชื้นในอากาศจะมีผลให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดการใช้งานลานน้ำแข็งลดลงและวิธีการง่ายที่สุดสำหรับการลดความชื้น ในอากาศสามารถทำได้โดยการใช้อุปกรณ์ลดความชื้นแบบ Desiccant type dehumidifier ซึ่งมีระบบการทำงานโดยใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการลดความชื้นจากอากาศเราจึงควรพิจารณาเรื่องการวางแผนในการเลือกใช้ Desiccant type dehumidifier เมื่อต้องการใช้งานอุปกรณ์สำหรับการลดความชื้นในอากาศสำหรับลานน้ำแข็งเสมอ

1.6 การใช้ระบบกรองน้ำ การใช้น้ำบริสุทธิ์ในการสร้างลานน้ำแข็ง จะทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 10% ของค่าใช้จ่ายในการใช้การทำความเย็นทั้งหมดในแต่ละปี ถึงแม้ว่าระบบกรองน้ำเช่นนี้ไม่ใช่รูปแบบโดยทั่วไปที่ใช้เพื่อการประหยัดพลังงานของลานน้ำแข็งแต่การใช้ติดตั้งระบบที่สามารถกำจัดวัตถุที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำจะทำให้ได้รับผลประโยชน์ถึงสองประการคือ

1.6.1 ทำให้สามารถผลิตน้ำแข็งได้เร็วขึ้น มีความแข็งและความใสของน้ำแข็งมากขึ้น

1.6.2 ทำให้แผ่นน้ำแข็งแต่ละชั้นสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าการน้ำแข็งที่ผลิตจากน้ำที่มีวัตถุปนเปื้อน การติดตั้งระบบกรองน้ำดังกล่าวจึงส่งผลให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิการทำงานของระบบได้อีกเล็กน้อยซึ่งจะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานได้

1.7 การควบคุม กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak demand) ถ้าการคิดอัตราค่าไฟฟ้าของแต่ละท้องถิ่นมีค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (kW demand charge) ถูกคิดรวมอยู่ด้วย จะได้รับประโยชน์จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการจำกัดจำนวนการใช้งาน Compressors ในช่วงเวลาเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ในช่วงฤดูหนาวมีความเป็นไปได้ในการใช้งาน Compressors เพียงชุดเดียว ซึ่งจะทำให้สามารถลด กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak demand) สำหรับช่วงเดือนนั้นลงได้ รูปแบบของการควบคุมที่นำมาใช้คือการควบคุมที่สามารถปรับให้เครื่องอัดแรงดัน (Compressor) หลายๆ ชุดให้ทำงานตามความต้องการความเย็นที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเพียงเล็กน้อยในลงทุน

2. การประหยัดพลังงานที่ใช้ในเครื่องทำน้ำเย็น

เครื่องทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในระบบทำความเย็น วิธีการมาตรฐานที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นมี 4 วิธี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550, หน้า 3-29, 3-30) ดังนี้

2.1 การปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นให้สูงขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเย็นขึ้น 1 °F จะทำให้พลังงานที่ใช้ในเครื่องทำน้ำเย็นลดลง 1.5-2%

2.2 การลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ออกจากหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) สามารถประหยัดพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้ 1.5-2% สำหรับทุกๆ 1°F ของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ลดต่ำลง

2.3. การควบคุมความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

ควบคุมค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Electric Demand) ของเครื่องทำน้ำเย็นมิให้สูงเกินไปทำได้ 2 วิธี

2.3.1 ทำการหยุดเครื่องเป่าลมที่ใช้ทำความเย็นแก่บริเวณที่มีความสำคัญน้อยชั่วขณะในช่วงเวลาที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มจะสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ พลังงานที่ประหยัดได้น้อย แต่ไม่กระทบต่อการควบคุมอุณหภูมิ

2.3.2 ควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น โดยการบังคับมิให้ Inlet Vanes ของเครื่องหอยโข่ง (Centrifugal) ทำน้ำเย็นเปิดกว้างเกินไป วิธีนี้ประหยัดพลังงานได้มาก แต่ควบคุมอุณหภูมิยาก

2.4 การจัดตารางเดินเครื่องให้เหมาะสมกับภาระโหลด การเดินเครื่องให้สอดคล้องกับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร จะช่วยประหยัดพลังงานได้มาก เมื่อเครื่องสามารถทำงานได้เต็มตามสมรรถนะ

3. การเกิดตะกรัน จะเป็นสารละลายพวกหินปูน เมื่ออุณหภูมิสูง จะก่อตัวเป็นตะกรัน โดยเฉพาะระบบเปิด ที่ต้องสัมผัสกับอากาศภายนอก ทำให้ฝุ่นและสิ่งสกปรกเข้าสู่น้ำ ตะกรันและสิ่งสกปรกที่เกาะผิวท่อทองแดงทำให้ต้านทานการถ่ายเทความร้อน เรียกว่า Fouling factor (เอกสารบรรยาย บ.อินโนเวชั่นเทคโนโลยี, 2551) ค่ามาตรฐานของ Fouling factor (0.000044 m2.K/W(0.00025 h.ft2.oF/Btu) หรือเทียบเท่าตะกรันหนา 0.075 mm จากทดลองพบว่า เกิดตระกันหนา 0.5 mm คอมเพรสเซอร์ต้องใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ประมาณ 15%-20%

สถิติอ้างอิง(Inference Statics)

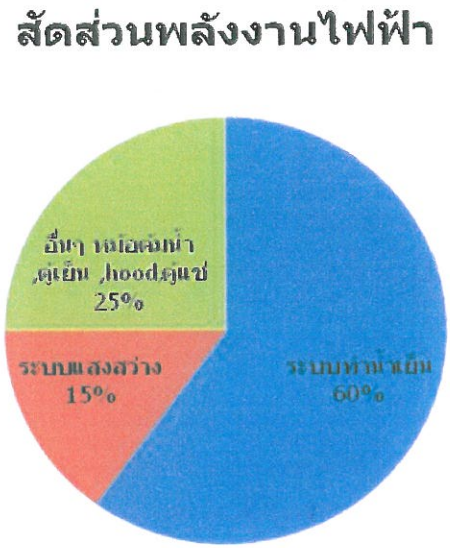
เป็นการนำข้อมูลที่เก็บได้จากกลุ่มตัวอย่าง (Sample) มาใช้อ้างอิง และอธิบายถึงประชากรทั้งหมด (ธานินทร์ ศิลป์จารุ , 2544, หน้า 173) สถิติอ้างอิงแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สถิติอ้างอิงแบบมีพารามิเตอร์ (Parametric Inference) และสถิติอ้างอิงแบบไม่มีพารามิเตอร์ (Non-Parametric Inference)

สถิติอ้างอิงแบบมีพารามิเตอร์ (Parametric Inference) การแจกแจงแบบ t ประเภทประชากร 2 กลุ่มอิสระต่อกัน (Independence Sample test) คือ การทดสอบเพื่อต้องการทราบค่าเฉลี่ย ของ 2 กลุ่ม มีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยที่กลุ่มทั้งสอง เป็นอิสระต่อกัน ก่อนที่จะทำการทดสอบนั้นต้อง มีการพิจารณาค่าความแปรปรวน ของข้อมูลแตกต่างกันหรือไม่ แตกต่างกันค่า Equal Variances Assumed เท่ากับ $u_1 = u_2$ และ Equal Variances not Assumed เท่ากับ $u_1 = u_2$

โปรแกรม SPSS (Statistical package Of Social Science for windows) เป็น โปรแกรมใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และการจัดการข้อมูลต่างๆ และแสดงผลออกมาในรูป ของตารางสรุปผลข้อมูล

ข้อมูลการใช้พลังงาน

การใช้พลังงานของลานน้ำแข็งเป็นการจ่ายค่าไฟฟ้าในอัตราคงที่ และเช่าซื้อไฟฟ้าจาก บ.ลาดพร้าวพลาซ่า ซึ่งเป็นผู้ให้เช่า สถานที่ โดยจ่ายค่าไฟฟ้าในอัตรา หน่วยละ 3.75 บาท สัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องทำน้ำเย็น 60 % แสงสว่าง 15 % อื่นๆ 25 % จากค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวม ที่ 937,452 กิโลวัตต์-ชม. /ปี



ภาพประกอบที่ 17 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

การวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลใช้พลังงานไฟฟ้าและจำนวนผู้ใช้บริการ

เดือน-ปี	พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	จำนวนผู้ใช้บริการ (คน)	EEI หน่วย/คน	ต้นทุนค่าไฟฟ้า (บาท/คน)
ม.ค.-50	68,906.67	258,400.00	4492	15.34	57.52
ก.พ.-50	74,240.00	278,400.00	3391	21.89	82.10
มี.ค. 50	74,090.00	277,837.50	6788	10.91	40.93
เม.ย.-50	85,460.00	320,475.00	7644	11.18	41.93

ตารางที่ 1 (ต่อ)

เดือน-ปี	พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	จำนวนผู้ใช้บริการ (คน)	EEI หน่วย/คน	ต้นทุนค่าไฟฟ้า (บาท/คน)
พ.ค.-50	80,060.00	300,225.00	5964	13.42	50.34
มิ.ย.-50	75,120.00	281,700.00	4714	15.94	59.76
ก.ค.-50	83,543.20	313,287.00	4749	17.59	65.97
ส.ค.-50	86,250.00	323,437.50	4629	18.63	69.87
ก.ย.-50	71,170.00	266,887.50	4267	16.68	62.55
ต.ค.-50	93,750.00	351,562.50	6347	14.77	55.39
พ.ย.-50	70,010.00	262,537.50	3129	22.37	83.90
ธ.ค.-50	74,860.00	280,725.00	4071	18.39	68.96
รวม/เฉลี่ย	78,121.66	292,956.21	5,015.42	16.43	61.60

จากตารางที่ 1 แสดงข้อมูลใช้พลังงานไฟฟ้าและจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อเทียบกับการเข้าใช้บริการโดยการใช้ EEI (หน่วย/คน) จะเห็นว่า เฉลี่ยอยู่ที่ 16.43 หน่วย/คน หรือ 61.60 บาท/คน หากสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ ลานน้ำแข็งจะทำกำไรมากขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การอ้างอิงถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาโดยตรงนั้นยังไม่สามารถหาได้ จึงใช้ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำน้ำแข็งหรือใกล้เคียงมาประยุกต์ใช้

Patine Corporation (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.patine-jp.com ได้ทำการประหยัดพลังงานในลานน้ำแข็ง ด้วยวิธีการ ติดตั้งหลังคาเพดานต่ำ ใน พื้นที่ลานน้ำแข็งในประเทศญี่ปุ่นขนาด 1,800 m^2 สามารถประหยัดพลังงานได้ 18.8 % ของค่าไฟฟ้าในลานน้ำแข็งตลอดทั้งปี

Brendan Lenko, P.E. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จากhttp://www.customicerink.com/Energyce/press3.htm) ได้กล่าวถึงการประหยัดพลังงานในลานน้ำแข็ง ด้วยวิธีการต่าง ๆ และที่ได้ผลดี คือ การติดตั้ง เพดานต่ำ การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุม ปั๊ม และการบำรุงรักษา ระบบ

Melissa Russell-Ausley ,ลานสเก็ตน้ำแข็งทำงานอย่างไร (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://entertainment.howstuffworks.com/ice-rink.htm เป็นบทความที่กล่าวถึงการทำงานของลานน้ำแข็ง ส่วนประกอบต่างๆ และให้รู้จักในการบำรุงรักษาระบบ

ภาควิชาครุศาสตร์ ม.บางมดธนบุรี, บทเรียนออนไลน์วิชาการปรับอากาศ (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Air%20Conditioning/les8.htm เป็นการกล่าวถึงประเภทของสารทำความเย็น ได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารความเย็นขั้นแรก หมายถึง สารความเย็นที่รับความร้อนจากโภคภัณฑ์ที่ต้องการทำความเย็นในอีแวปโพเรเตอร์และถ่ายเทความร้อนออกให้แก่สารหล่อเย็นโดยตรงในเครื่องควบแน่น สารความเย็นขั้นที่สองหมายถึง สารความเย็นที่ไม่ได้ผ่านเข้าสู่ระบบการทำความเย็นโดยตรงแต่จะรับความร้อนและถ่ายเทให้กับสารความเย็นขั้นแรก ซึ่งเป็นสารความเย็นของระบบโดยตรง ระบบการใช้สารความเย็นขั้นที่สองเป็นระบบที่มักใช้เมื่อสารความเย็นขั้นแรกของระบบทำความเย็นเป็นสารที่เป็นพิษ ดังนั้นเพื่อป้องกันอันตรายจึงใช้สารความเย็นขั้นที่สองนี้รับช่วงการทำงาน เพื่อถ่ายเทความร้อนจากบริเวณทำความเย็นมาให้แก่สารความเย็นขั้นแรก สารความเย็นขั้นที่สองรวมความถึงน้ำ น้ำเกลือ และน้ำยาป้องกันการแข็งตัว น้ำเกลือที่ใช้กัน คือ แคลเซียมคลอไรด์และดซเดียมคลอไรด์ (น้ำเกลือทะเล) ส่วนน้ำยาป้องกันการแข็งตัว เช่น ไกลโคเอทซิลีน ไอเอทซิลีน ไทรเอทซิลีนและโปรพิลีน ความเข้มข้นของน้ำเกลือและน้ำยามีผลต่ออุณหภูมิของการทำงาน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยเรื่อง "การจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในลานน้ำแข็งเพื่อการประหยัดพลังงาน" ในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ผู้วิจัยกำหนดรายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับระเบียบวิธีวิจัย ดังนี้

1. การตรวจสอบและปรับปรุงเครื่องทำน้ำเย็น
2. การตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิน้ำเย็น
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูล
6. ระยะเวลาในการวิจัย
7. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

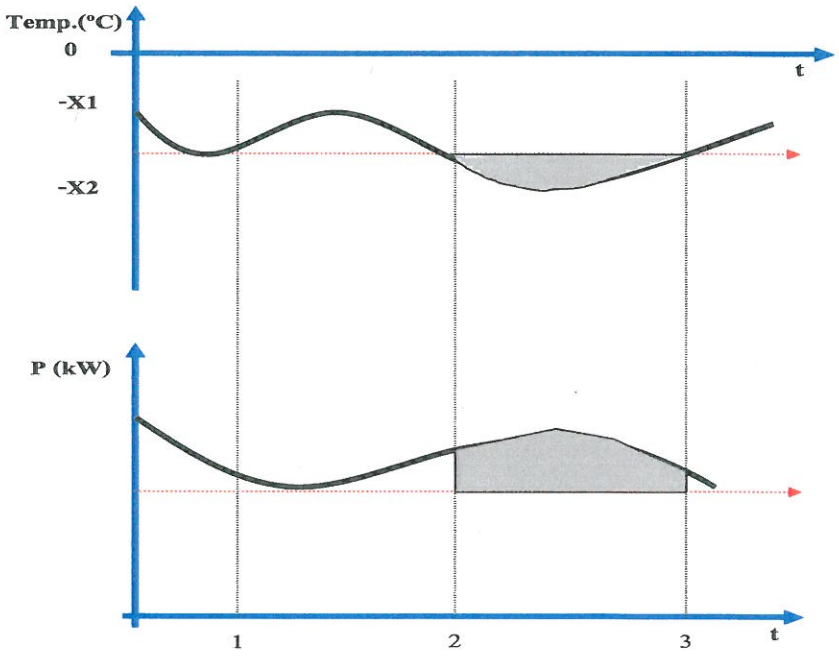
การตรวจสอบและปรับปรุงเครื่องทำน้ำเย็น

การตรวจสอบ จะทำการตรวจสอบ ด้วยการจดบันทึกค่าการใช้พลังงาน ที่วัดผลได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดของเครื่องทำน้ำเย็น และทำการเปรียบระหว่างเครื่องทำน้ำเย็นเครื่องที่ 1 กับ เครื่องที่ 2

ปรับปรุงเครื่องทำน้ำเย็น นำผลการตรวจสอบมาวิเคราะห์เครื่องทำน้ำเย็นเพื่อหาปัญหาของเครื่องที่จะส่งผลให้เครื่องทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ และดำเนินการปรับปรุงให้เครื่องทำน้ำเย็นมีประสิทธิภาพเท่ากันทั้ง 2 เครื่อง

การตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิน้ำเย็น

การใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นนั้น ส่วนหนึ่งมาจากการปรับตั้งอุณหภูมิ เพื่อรักษาระดับความเย็นหรือสภาพของน้ำแข็ง เช่น การตั้งอุณหภูมิให้เย็นมาก จะยิ่งทำให้การใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นด้วย



ภาพประกอบที่ 18 กราฟแสดง อุณหภูมิ และ กำลังไฟฟ้า

จากกราฟ แสดงผลหลักการทั่วไปในการใช้กำลังไฟฟ้า ของระบบทำน้ำเย็น เมื่อมีการปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นให้ต่ำลง กำลังไฟฟ้ายิ่งมีการใช้มากขึ้น

เกณฑ์การพิจารณา สภาพของผิวน้ำแข็งที่เหมาะสมต่อการเปิดใช้ลานน้ำแข็ง คือ การเก็บภาพ และจัดแบ่ง เป็น 3 เกณฑ์ ดังภาพแสดงดังนี้

ภาพประกอบที่ 19 ลานน้ำแข็งมี ลักษณะ แข็ง แห้ง เป็นเกร็ด

ภาพประกอบที่ 20 ลานน้ำแข็งมี ลักษณะแข็ง เปียกเล็กน้อย

ภาพประกอบที่ 21 ลานน้ำแข็งมี ลักษณะ ละลายเป็นน้ำ

เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ประกอบด้วย

1. อุปกรณ์ตรวจวัดค่าตัวแปรพลังงานไฟฟ้า Kilowatthour meter ของMitsubishi, Power meter ยี่ห้อ Power Logic รุ่น PM850

2. อุปกรณ์ตรวจวัดค่าตัวอุณหภูมิ Thermometer Digital ยี่ห้อ Dixell รุ่น XT -121 ในถังน้ำยา Glycol, Thermo/Hygrometer ยี่ห้อ KI &MNT temperature

3. กล้องวิดีโอ/บันทึกภาพ

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. แบบบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็น ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลต่างๆ เช่น วันที่ทำการทดลอง เวลาที่เก็บข้อมูล อุณหภูมิภายในห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ค่าพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น รายละเอียดดังตารางที่ 2

2. แบบบันทึกข้อมูลของระบบทำน้ำเย็น เป็นตารางสำรับบันทึกข้อมูลของระบบทำน้ำเย็น ซึ่งมีอุปกรณ์หลายอย่าง เช่น ข้อมูลของเครื่องทำน้ำเย็น ข้อมูลของปั๊ม ต่างๆ เป็นต้น รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แบบบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็น

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า CT 100	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch. 1.	Ch. 2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump			อุณหภูมิ °C	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ °C	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
Total															
Average															

จากตารางที่ 2 เป็นตารางที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในการทดลอง ทดสอบการใช้เครื่องทำน้ำเย็น ระหว่าง 1 เครื่อง และ 2 เครื่อง

ตารางที่ 3 แบบบันทึกข้อมูลของระบบทำน้ำเย็น

ลำดับ	อุปกรณ์	ผลิตภัณฑ์/รุ่น	สารทำความเย็น	การตรวจวัด ก่อน- หลัง (kW)	การใช้งาน แรงดัน(v)	กระแส(A)	Cos Ø	rpm	ชม./วัน	วัน/ปี

จากตารางที่ 3 เป็นตารางที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในการทดลอง ทดสอบการใช้เครื่องทำน้ำเย็น ระหว่าง 1 เครื่อง และ 2 เครื่อง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ คือ นำผลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่เดินเครื่องทำน้ำเย็นในระยะเวลา 21.00 -07.00 น.มาบันทึกลงในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติStatistical package Of Social Science (SPSS) for Windows Version 17.0 เพื่อประมวลผลข้อมูลที่ได้จัดเก็บและคำนวณหาค่าทางสถิติแล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อตอบคำถามวิจัยและวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และนำผลการศึกษาที่วิเคราะห์ได้มาสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและเขียนข้อเสนอแนะ

ระยะเวลาในการวิจัย

ข้อมูลการตรวจวัด จะทำการตรวจวัดอุณหภูมิภายใน ความชื้นสัมพัทธ์ภายในพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น จำนวน 2 เครื่อง โดยจัดแบ่งวันที่ จะทดสอบ ในวันธรรมดา (วันจันทร์ – ศุกร์) ซึ่งเป็นวันที่ จำนวน ผู้มาใช้บริการที่น้อย การทดสอบจะไม่กระทบต่อการให้บริการ การทดสอบจะเริ่ม ตั้งแต่ เวลา 21.00 น. – 07.00 น. ของทุกวันจันทร์และวันอังคาร รวม 16 วัน รายละเอียดการแบ่งวันทดสอบ ดังนี้

1. วันจันทร์ ที่ 4, 11, 18 และ 25 สิงหาคม 2551 และ วันจันทร์ ที่ 1, 8, 15, 22 กันยายน 2551 จะทดสอบการเดินเครื่องทำน้ำเย็น จำนวน 1 เครื่อง

2. วันอังคาร ที่ 5, 12, 19 และ 26 สิงหาคม 2551 และ วันจันทร์ ที่ 2, 9, 16, 23 กันยายน 2551 จะทดสอบการเดินเครื่องทำน้ำเย็น จำนวน 2 เครื่อง

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูล โดยใช้สถิติที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่ออธิบายข้อค้นพบจากการวิจัย และทดสอบสมมติฐานการวิจัยคือ ใช้สถิติอ้างอิง (Inferential statistics) ประเภท t-test เพื่อเปรียบเทียบแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิน้ำเย็นก่อนและหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น และเปรียบเทียบเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นในขณะใช้งาน1 เครื่องและใช้งาน 2 เครื่อง ผู้วิจัยใช้สถิติ t-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษา การจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในลานน้ำแข็งเพื่อการประหยัดพลังงาน รวมทั้งการปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายความร้อนทางด้านท่อควบแน่น (Condenser tube) การวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผลความหมายของการวิเคราะห์ ผู้วิจัย ได้กำหนดสัญลักษณ์ ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

H_0	แทน	สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis)
H_1	แทน	สมมติรอง (Null Hypothesis)
$\bar{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ย (Mean)
S.D.	แทน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
t	แทน	ค่าที่ใช้พิจารณา t-Distribution
df	แทน	ชั้นของความเป็นอิสระ (Degree of Freedom)
SS	แทน	ผลบวกกำลังสองของคะแนน (Sum of Squares)
MS	แทน	ค่าเฉลยผลบวกกำลังสองของคะแนน (Mean of Squares)
LSD	แทน	Least Significant Difference
F-Ratio	แทน	ค่าที่ใช้พิจารณา F-Distribution
F-Prop.,p	แทน	ความน่าจะเป็นสำหรับบอกนัยสำคัญทางสถิติ
Sig.2-tailed	แทน	ระดับนัยสำคัญทางสถิติจากการทดสอบ ที่โปรแกรม SPSS คำนวณได้ใช้ในการสรุปผลการทดสอบสมมติฐาน
95% Confidence Interval of the Difference	แทน	ขอบเขตช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ของผลต่างค่าเฉลี่ย
Equal variances assumed	หมายถึง	ความแปรปรวนของกลุ่มเท่ากัน
Equal variances not assumed	หมายถึง	ความแปรปรวนของกลุ่มไม่เท่ากัน

การตรวจสอบและปรับปรุงเครื่องทำน้ำเย็น

การตรวจสอบเครื่องทำน้ำเย็น ด้วยวิธีการ ตรวจแรงดันน้ำยาด้านสูง แล้วนำผลมาเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้า เป็นลักษณะการสุ่มเก็บข้อมูล โดยพิจารณาจากค่า แรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ของเครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1 จำนวน 6 ครั้ง

ตารางที่ 4 แสดง เปรียบเทียบค่าพลังงานกับค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ก่อนปรับปรุง

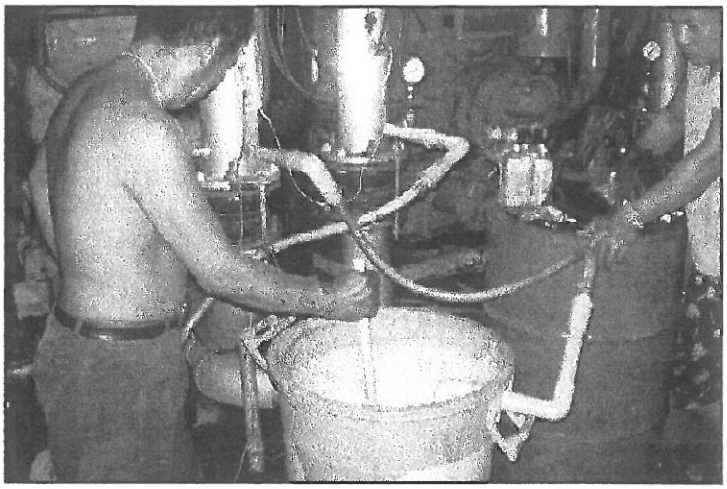
ครั้งที่	Hi Pressure (PSIA)	kWh
1	20.0	2720
2	20.5	2680
3	21.0	2850
4	21.0	2740
5	21.0	2720
6	21.0	2710

จาก ตารางที่ 4 เมื่อ มีค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) สูงขึ้น ค่าพลังงานไฟฟ้าจะมีมากขึ้นด้วย ทั้งนี้ เกิดจากการที่เครื่องทำน้ำเย็นพยายามที่จะทำงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำน้ำเย็น

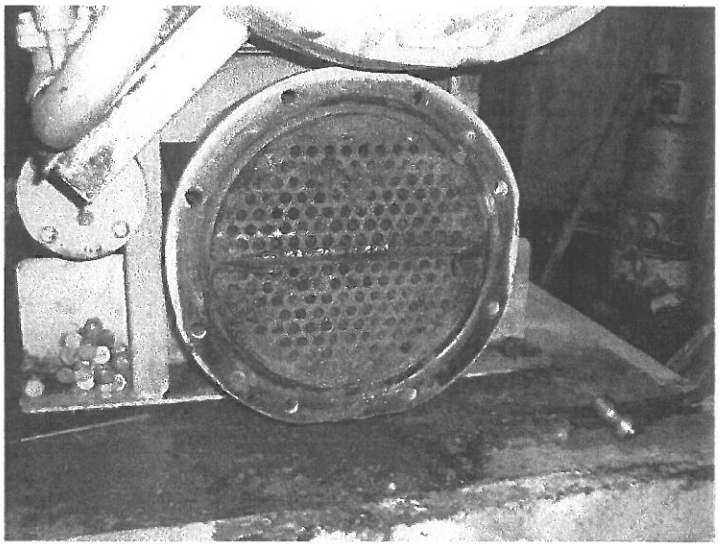
จากการอ่านค่าบันทึกของ เครื่องทำน้ำเย็น ต้องทำการลดค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) การที่ ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ของเครื่องทำน้ำเย็นสูงนั้น แสดงว่า เกิดการอุดตันขึ้นในระบบทำให้น้ำระบายความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ได้ยาก ซึ่งตะกรันที่ อุดตัน จะเป็นสารละลายพวกหินปูน เมื่ออุณหภูมิสูง จะก่อตัวเป็นตะกรัน โดยเฉพาะระบบเปิด ที่ต้องสัมผัสกับอากาศภายนอก ทำให้ฝุ่นและสิ่งสกปรกเข้าสู่น้ำ ตะกรันและสิ่งสกปรกที่เกาะผิวท่อทองแดงทำให้ต้านทานการถ่ายเทความร้อน เรียกว่า Fouling factor (เอกสารบรรยาย บ.อินโนเวชั่นเทคโนโลยี, 2551) ค่ามาตรฐานของ Fouling factor (0.000044 m2.K/W(0.00025 h.ft2.oF/Btu) หรือเทียบเท่าตะกรันหนา 0.075 mm จากทดลองพบว่า เกิดตระกันหนา 0.5 mm คอมเพรสเซอร์ต้องใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ประมาณ 15%-20% และการอุดตันที่เกิดขึ้นในระบบทำให้เกิดแรงเสียดทานในการไหลและสิ้นเปลืองพลังงาน

การปรับปรุงระบบท่อนั้น จะมี 2 ขั้นตอน คือ การล้างเมื่อเปิดฝาท่อออกมาแล้ว หากมีการอุดตันมาก และ/หรือ ไม่สามารถล้างตะกรันออกได้ จะใช้วิธี การติดตั้งท่อควบแน่น(Condenser tube) ใหม่

ขั้นตอนแรก ทำการล้าง ท่อควบแน่น (Condenser tube) โดยการใช้น้ำยา SABINON –P แช่ และหมุนเวียนในท่อของ ท่อควบแน่น (Condenser tube) แล้วเปิดฝาท่อเพื่อ ใช้แปลงพลาสติกแข็ง ล้างท่อทองแดงในแต่ละเส้น

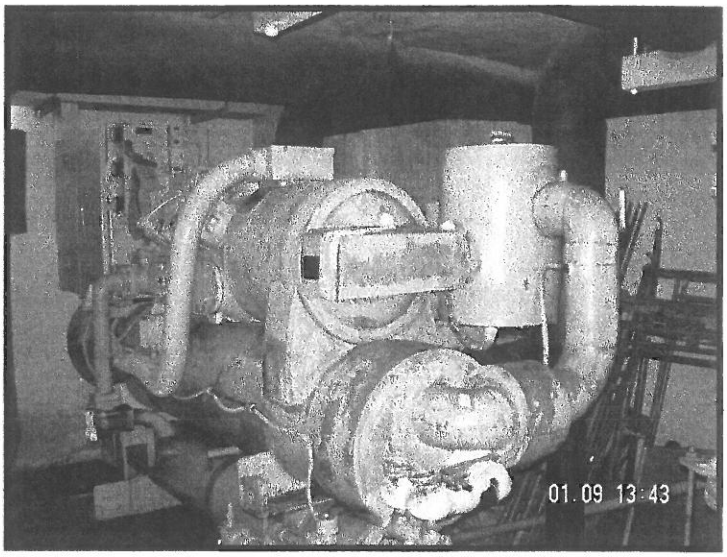


ภาพประกอบที่ 22 แสดงการแช่น้ำยา SABINON –P และการหมุนเวียนของน้ำยา

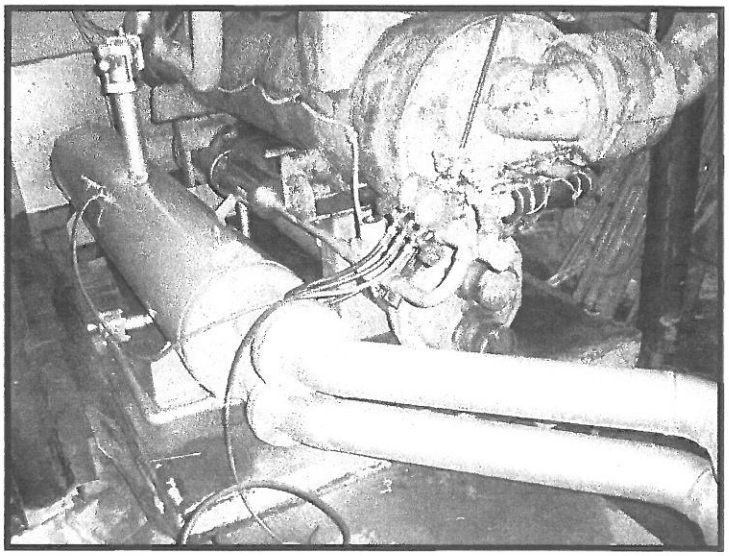


ภาพประกอบที่ 23 แสดง เมื่อเปิดฝาท่อควบแน่น(Condenser tube)

เมื่อดำเนินการล้าง ท่อควบแน่น (Condenser) ได้ทำการทดสอบเดินเครื่อง แล้วพบว่า ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ลดลงต่ำในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถที่จะทำให้ลดต่ำกว่านี้ เพราะท่อทองแดงบางช่องตันมาก แต่ ไม่สามารถที่ล้างต่อได้ ซึ่งเป็นการเสี่ยงมากที่จะทำให้ท่อทองแดงทะลุรั่วไหล หากมีการล้างหรือแช่น้ำยาที่มีความเข้มข้นมาก ดังนั้น จึงเลือกใช้วิธีการต่อไป นั่น คือ ขั้นตอนที่สอง ทำการเปลี่ยน ท่อควบแน่น (Condenser) ใหม่



ภาพประกอบที่ 24 แสดง ก่อนการเปลี่ยน ท่อควบแน่น (Condenser tube) ของเครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1



ภาพประกอบที่ 25 แสดง หลังการเปลี่ยน ท่อควบแน่น (Condenser tube) ของเครื่อง ทำน้ำเย็น หมายเลข 1

ผลการปรับปรุง

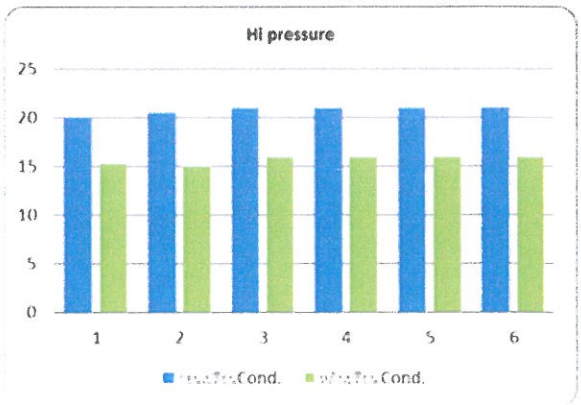
ปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube ใหม่ เปรียบเทียบข้อมูลได้ดังนี้

1. **ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง** (Hi Pressure)

ตารางที่ 5 แสดง เปรียบเทียบค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ก่อน และหลังเปลี่ยนท่อควบแน่น (Condenser tube)

ครั้งที่	ก่อนเปลี่ยน Cond.	หลังเปลี่ยน Cond.
	Hi Pressure (PSIA)	Hi Pressure (PSIA)
1	20.0	15.3
2	20.5	15
3	21.0	16
4	21.0	16
5	21.0	16
6	21.0	16

จากตารางที่ 5 เห็นว่า ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง จะลดต่ำลงทันที เมื่อเปลี่ยนท่อควบแน่น (Condenser tube)



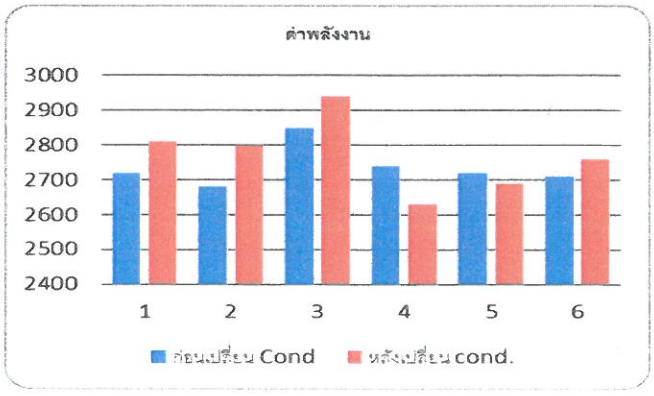
ภาพประกอบที่ 26 กราฟแสดงเปรียบค่า ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ก่อนและหลังเปลี่ยนท่อ ท่อควบแน่น (Condenser tube)

2. ค่าพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 6 แสดง เปรียบเทียบ หน่วยไฟฟ้า (kWh) ก่อน และหลังเปลี่ยน ท่อควบแน่น (Condenser tube)

ครั้งที่	ก่อนเปลี่ยน Cond.	หลังเปลี่ยน Cond.
	kWh	kWh
1	2720	2810
2	2680	2800
3	2850	2940
4	2740	2630
5	2720	2690
6	2710	2760

จากตารางที่ 6 เห็นว่า ค่าพลังงานไฟฟ้า จะมีค่าใกล้เคียง เมื่อก่อนและหลังการเปลี่ยนท่อควบแน่น (Condenser tube)



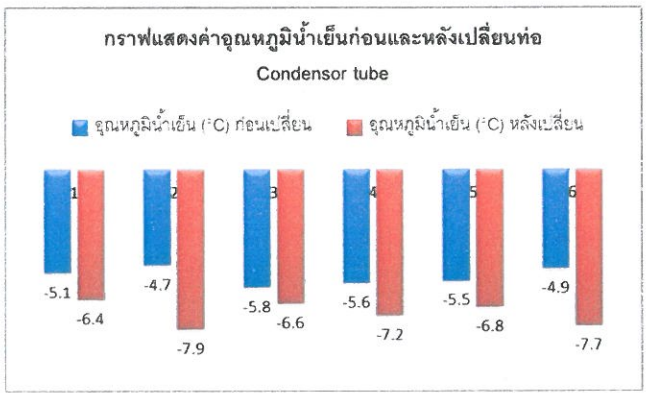
ภาพประกอบที่ 27 กราฟแสดงเปรียบค่าพลังงานก่อน และหลังเปลี่ยน ท่อควบแน่น (Condenser tube)

3. อุณหภูมิน้ำเย็น

ตารางที่ 7 บันทึกผลของค่าอุณหภูมิ เครื่องทำน้ำเย็นหลังการเปลี่ยน ท่อคอนเดนเซอร์ (Condenser tube)

ครั้งที่	อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	
	ก่อนเปลี่ยน	หลังเปลี่ยน
1	-5.1	-6.4
2	-4.7	-7.9
3	-5.8	-6.6
4	-5.6	-7.2
5	-5.5	-6.8
6	-4.9	-7.7
เฉลี่ย	***-5.3***	***-7.1***

จากตารางที่ 7 เห็นว่า ค่าอุณหภูมิ จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อก่อนและหลังการเปลี่ยนท่อควบแน่น (Condenser tube)



ภาพประกอบที่ 28 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิน้ำเย็นก่อนและหลังเปลี่ยนท่อคอนเดนเซอร์ (Condenser tube)

การวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสมมติฐาน สมมติฐาน ข้อที่ 1

การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง(Hi pressure) ,ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง และจะทำให้อุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นดีขึ้น

สมมติฐานย่อยที่ 1.1

การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง(Hi pressure) ลดลง เขียนเป็นสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

H_0: ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะไม่แตกต่างกับ ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

H_1: ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะแตกต่างกับ ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

สมมติฐานย่อยที่ 1.2

การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง เขียนเป็นสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

H_0: ค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะไม่แตกต่างกับ ค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

H_1: ค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะแตกต่างกับ ค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

สมมติฐานย่อยที่ 1.3

การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้อุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นดีขึ้น เขียนเป็นสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

H_0: ค่าอุณหภูมิน้ำเย็น ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะไม่แตกต่างกับ ค่าอุณหภูมิน้ำเย็น หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

H_1: ค่าอุณหภูมิน้ำเย็น ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะแตกต่างกับ ค่าอุณหภูมิน้ำเย็น หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

สำหรับสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์สมมติฐาน จะใช้การทดสอบค่าโดยใช้สถิติ (Independent Samples t-test) ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ก็ต่อเมื่อ 2 –tailedProb.(p) มีค่าน้อยกว่า 0.05

โดยจะทำการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มก่อนโดย Levene's Test ซึ่งตั้งสมมติฐานดังนี้

H_0: ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1: ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าว หากค่าแปรปรวนของของข้อมูลเท่ากันทุกกลุ่มให้ทดสอบค่า t ด้วย Equal variances assumed และถ้าค่าแปรปรวนของข้อมูลไม่เท่ากันทุกกลุ่มให้ทดสอบค่า t ด้วย Equal variances not assumed

จากตาราง 7 ผลการทดสอบความแปรปรวน โดยใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ก็ต่อเมื่อ ค่า t. มีค่าน้อยกว่า 0.05 ผลการทดสอบแสดงตาราง โดยทำการทดสอบค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่ม โดยใช้ Levene's Test พบว่ามีค่าความน่าจะเป็นดังนี้

สมมติฐานย่อยที่ 1.1

H_0: ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะไม่แตกต่างกับ ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

H_1: ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะแตกต่างกับ ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

ในเรื่องแนวโน้มแรงดันน้ำยาด้านสูง เมื่อทำการเปลี่ยนท่อ Condenser tube มีค่าวิกฤติ(t) เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง (H1) แสดงว่า แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

สมมติฐานย่อยที่ 1.2

H_0: ค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะไม่แตกต่างกับ ค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

H_1: ค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะแตกต่างกับ ค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

ในเรื่องแนวโน้มค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) เมื่อทำการเปลี่ยนท่อ Condenser tube มีค่าวิกฤติ (t) เท่ากับ 0.499 ซึ่งมากกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) และปฏิเสธสมมติฐานรอง (H_1) แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

สมมติฐานย่อยที่ 1.3

H_0: ค่าอุณหภูมิน้ำเย็น ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะไม่แตกต่างกับ ค่าอุณหภูมิน้ำเย็น หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

H_1: ค่าอุณหภูมิน้ำเย็น ก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็นจะแตกต่างกับ ค่าอุณหภูมิน้ำเย็น หลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube ของเครื่องทำน้ำเย็น

ในเรื่องแนวโน้มค่าอุณหภูมิน้ำเย็น เมื่อทำการเปลี่ยนท่อ Condenser tube มีค่าวิกฤติ(t) เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง (H_1) แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของแนวโน้มการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) ,ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง และจะทำให้อุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นดีขึ้น โดยใช้สถิติทดสอบค่าที (t-test) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ในเรื่องแนวโน้มแรงดันน้ำยาด้านสูง เมื่อทำการเปลี่ยนท่อ Condenser tube มีค่า วิกฤติ (t) เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง (H_1) แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

แรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) ของเครื่องทำน้ำเย็นมีความแตกต่างกัน ระหว่างก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube และหลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube การที่ ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ของเครื่องทำน้ำเย็นสูงนั้น แสดงว่า เกิดการอุดตันขึ้นในระบบทำให้น้ำระบายความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ได้ยาก และเมื่อได้เปลี่ยนท่อ Condenser จึงทำให้แรงดันน้ำยาลดลง สอดคล้องกับการตั้งสมมติฐาน

2. ในเรื่องแนวโน้มค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) เมื่อทำการเปลี่ยนท่อ Condenser tube มีค่าวิกฤติ (t) เท่ากับ 0.499 ซึ่งมากกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) และปฏิเสธสมมติฐานรอง (H_1) แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ค่าพลังงานไฟฟ้า ในขณะที่ได้เปลี่ยนท่อ Condenser tube มีแนวโน้มที่ ไม่แตกต่างจากก่อนเปลี่ยน และไม่ได้ตามที่ตั้งสมมติฐาน ที่คาดว่าจะมีค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง ซึ่งมีปัจจัยอีกตัว คือ ค่าของอุณหภูมิน้ำเย็น ที่จะบอกได้ว่า หลังจากการเปลี่ยนท่อแล้ว ดีขึ้น หรือลดลง หากค่าอุณหภูมิน้ำเย็นดีขึ้น นั่น แสดงว่า ค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ไม่แตกต่างจากก่อนเปลี่ยนท่อ คือ นำไปใช้ในการทำอุณหภูมิน้ำเย็น

3. ในเรื่องแนวโน้มค่าอุณหภูมิน้ำเย็น เมื่อทำการเปลี่ยนท่อ Condenser tube มีค่า วิกฤติ(t) เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง (H_1) แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

จากผลวิกฤติ (t) ของค่าอุณหภูมิน้ำเย็น แสดงว่า การเปลี่ยน ท่อ Condenser tube มีผลให้ประสิทธิภาพการทำอุณหภูมิดีขึ้น คุณภาพของผิวน้ำแข็งจะดีขึ้นด้วย แต่การใช้พลังงาน จะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงดำเนินการศึกษาต่อ

ตารางที่ 8 แสดง **Group Statistics** การทดสอบค่าโดยใช้สถิติ (Independent Samples t-test เมื่อเปลี่ยนท่อ Condenser tube

ตัวแปร	change	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hi pressure	1.0	6	20.750	.4183	.1708
	2.0	6	15.717	.4491	.1833
Electric watt	1.0	6	2736.667	58.8784	24.037
	2.0	6	2771.667	107.223	43.773
Thermo	1.0	6	-5.267	.4320	.1764
	2.0	6	-7.100	.6066	.2477

ตารางที่ 9 แสดงการทดสอบค่าความแตกต่างของการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube

Independent Samples Test										
ตัวแปรที่ศึกษา	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. 2-tailed	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Hi pressure	Equal variances assumed	.164	.694	20.089	10	.000	5.033	.251	4.475	5.592
	Equal variances not assumed			20.089	9.950	.000	5.033	.251	4.475	5.592
Electric watt	Equal variances assumed	1.614	.233	-.701	10	.499	-35.000	49.939	-146.271	76.271
	Equal variances not assumed			-.701	7.764	.504	-35.000	49.939	-150.771	80.771
Thermo	Equal variances assumed	1.143	.310	6.030	10	.000	1.833	.304	1.156	2.511
	Equal variances not assumed			6.030	9.034	.000	1.833	.304	1.146	2.521

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และ ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

การวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสมมติฐาน สมมติฐาน ข้อที่ 2

1. การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง แตกต่างจากการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

2. การเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง สามารถทำอุณหภูมิน้ำเย็นได้ไม่แตกต่างจากการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

ผลตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิน้ำเย็น

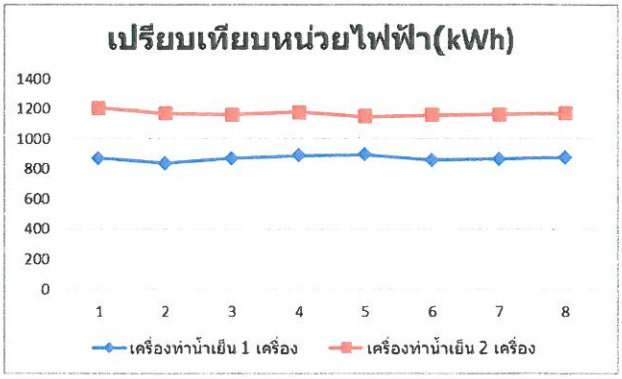
เมื่อได้เปลี่ยน ท่อ Condenser tube เสร็จ จึงดำเนินการทดสอบการเปิดใช้เครื่องทำน้ำเย็นในสภาวะที่โหลดน้อย ซึ่งจะอยู่ในช่วงลานน้ำแข็ง ปิด คือ เวลา 21.00 – 07.00 น. จะจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และอุณหภูมิน้ำเย็น ทุก 1 ชั่วโมง วันละ 10 ครั้ง รวม 160 ชั่วโมง แต่จะแสดงตารางข้อมูลเป็นรายวัน รวม 16 วัน ดังตารางที่ 10 และตารางที่ 11

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าการเปิดเครื่องทำน้ำเย็น

วันเก็บข้อมูล	เครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่อง หน่วยไฟฟ้า(kWh))	วันเก็บข้อมูล	เครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่อง หน่วยไฟฟ้า(kWh)
4 ส.ค. 51	870	5 ส.ค. 51	1205
11 ส.ค. 51	838	12 ส.ค. 51	1168
18 ส.ค. 51	870	19 ส.ค. 51	1161
25 ส.ค. 51	890	26 ส.ค. 51	1178
1 ก.ย. 51	895	2 ก.ย. 51	1146
8 ก.ย. 51	859	9 ก.ย. 51	1157
15 ก.ย. 51	866	16 ก.ย. 51	1160
22 ก.ย. 51	877	23 ก.ย. 51	1168
เฉลี่ย	871		1168

จากตารางที่ 10 การเปรียบการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ระหว่างเครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่องและเครื่องทำน้ำเย็น 2 เครื่อง การทดสอบที่มี พารามิเตอร์ ต่างๆ ใกล้เคียงกัน พบว่า การใช้พลังงานของเครื่อง ทำน้ำเย็น 1 เครื่อง เฉลี่ย 871 kWh และ ค่าพลังงานไฟฟ้าเมื่อใช้เครื่องทำ

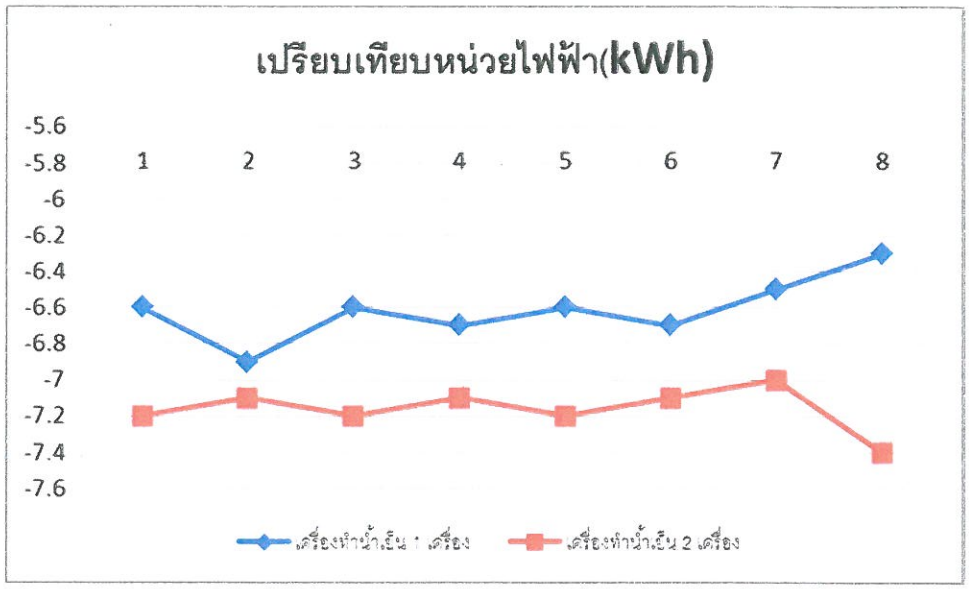
น้ำเย็น 2 เครื่อง เฉลี่ย ค่าพลังงานไฟฟ้า 1,168 kWh โดยการทดสอบการเดินเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 2 วิธี ไม่กระทบต่อการบริการลูกค้า



ภาพประกอบที่ 29 กราฟแสดงความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำเย็นที่สามารถผลิตได้ ของเครื่องทำน้ำเย็น

วันเก็บข้อมูล	อุณหภูมิน้ำเย็น เฉลี่ย/วัน (°C)	วันเก็บข้อมูล	อุณหภูมิน้ำเย็น เฉลี่ย/วัน (°C)
4 ส.ค. 51	-6.6	5 ส.ค. 51	-7.2
11 ส.ค. 51	-6.9	12 ส.ค. 51	-7.1
18 ส.ค. 51	-6.6	19 ส.ค. 51	-7.2
25 ส.ค. 51	-6.7	26 ส.ค. 51	-7.1
1 ก.ย. 51	-6.6	2 ก.ย. 51	-7.2
8 ก.ย. 51	-6.7	9 ก.ย. 51	-7.1
15 ก.ย. 51	-6.5	16 ก.ย. 51	-7.0
22 ก.ย. 51	-6.3	23 ก.ย. 51	-7.4
เฉลี่ย	-6.6		-7.2



ภาพประกอบที่ 30 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าอุณหภูมิน้ำเย็น

จากตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบ น้ำเย็นที่ผลิตได้ จากการทดสอบ เดินเครื่อง 2 วิธี ซึ่งนอกจากการใช้พลังงานที่แตกต่างกันแล้ว ในส่วนของอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ ก็จะเป็นปัจจัยสำคัญ ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น หรือ เป็นเครื่องชี้วัดว่า การทดสอบมีผลกระทบต่อการใช้งานลานน้ำแข็งหรือไม่

นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์สมมติฐาน จะใช้การทดสอบค่าโดยใช้สถิติ (Independent Samples t-test) ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ก็ต่อเมื่อ 2 – tailed มีค่าน้อยกว่า 0.05

โดยจะทำการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มก่อนโดย Levene's Test ซึ่งตั้งสมมติฐานดังนี้

H_0: ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1: ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าว หากค่าแปรปรวนของของข้อมูลเท่ากันทุกกลุ่มให้ทดสอบค่า t ด้วย Equal variances assumed และถ้าค่าแปรปรวนของข้อมูลไม่เท่ากันทุกกลุ่มให้ทดสอบค่า t ด้วย Equal variances not assumed

สมมติฐานย่อยที่ 2.1

การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง แตกต่างจากการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

H_0: การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง ไม่แตกต่างจากการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

H_1: การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง แตกต่างจากการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

ในเรื่องแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง มีค่า วิกฤติ (t) เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง(H_1) แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

สมมติฐานย่อยที่ 2.2

การเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง สามารถทำอุณหภูมิน้ำเย็นได้ไม่แตกต่างจากการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

H_0: การเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง สามารถทำอุณหภูมิน้ำเย็นได้ไม่แตกต่างจากการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

H_1: การเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง สามารถทำอุณหภูมิน้ำเย็นได้แตกต่างจากการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

ในเรื่องแนวโน้มการทำอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น มีค่า วิกฤติ (t) เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง(H_1) แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของแนวโน้ม การใช้พลังงานไฟฟ้า 1 เครื่อง เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้า 2 เครื่อง และ ความสามารถในการทำอุณหภูมิน้ำเย็น ของเครื่องทำเย็น 1 เครื่อง เทียบกับการทำอุณหภูมิน้ำเย็น 2 เครื่อง โดยใช้สถิติทดสอบค่าที (t-test) สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในเรื่องแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง มีค่าวิกฤติ (t) เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง (H_1) แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 หมายความว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง แตกต่างจากการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

ในเรื่องแนวโน้มการทำอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น มีค่า วิกฤติ (t) เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง (H_1) แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 หมายความว่า การเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง มีความสามารถในการทำอุณหภูมิน้ำเย็นได้แตกต่างจากการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

ตารางที่ 12 แสดง **Group Statistics** การทดสอบค่าโดยใช้สถิติ (Independent Samples t-test) ค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิน้ำเย็น

Group Statistics

	Machine Number	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Electric Watt	MNO1	80	87.300	2.9742	.3325
	MNO2	80	116.788	8.3349	.9319
Thermo	MNO1	80	-6.607	.4759	.0532
	MNO2	80	-7.166	.6388	.0714

ตารางที่ 13 แสดงการทดสอบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 เครื่อง เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้า 2 เครื่อง และ ความสามารถในการทำอุณหภูมิน้ำเย็น ของเครื่องทำเย็น 1 เครื่อง เทียบกับการทำอุณหภูมิน้ำเย็น 2 เครื่อง

Independent Samples Test										
ตัวแปรที่ศึกษา	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. 2-tailed	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Electric watt	Equal variances assumed	60.136	.000	-29.803	158	.000	-29.487	.989	-31.442	-27.533
	Equal variances not assumed			-29.803	98.797	.000	-29.487	.989	-31.451	-27.524
Thermo	Equal variances assumed	10.559	.001	6.273	158	.000	.559	.089	.383	.735
	Equal variances not assumed			6.273	146.046	.000	.559	.089	.383	.735

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และ ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ระบบลานน้ำแข็ง

จากผลการศึกษาการระบบลานน้ำแข็ง มีองค์ประกอบ 4 ส่วนที่สำคัญ คือ

1. **ระบบที่อยู่ใต้ผิวน้ำแข็ง** ประกอบอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ท่อไอซ์เม็ซ (Ice mat), ท่อน้ำร้อน (Heat pipe) และฉนวนกันซึม ทางอาคารพบปัญหาบ่อย คือ การเกิดการควบแน่น (condensate) ซึ่งส่งผลกระทบต่อร้านค้า ที่อยู่ชั้นถัดไปอย่างมาก สาเหตุหลักมาจาก ฉนวนกันซึมหมดประสิทธิภาพ และ Heat pipe อุดตัน ทำให้ความเย็นสะสมบริเวณคอนกรีตอย่างมาก และเมื่อศูนย์การค้าฯ ปิดระบบเครื่องปรับอากาศ ความร้อนที่อยู่ในพื้นที่ปะทะกับความเย็นพื้นคอนกรีต เกิดเป็นหยดน้ำ

2. **ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน** มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือชุดแลกเปลี่ยนความร้อน (Exchanger), ปั๊มน้ำร้อน (Heat pump), และหม้อไอน้ำ (Boiler) การทำงานสัมพันธ์กันของระบบ คือ ปั๊มน้ำร้อน (Heat pump) อุปกรณ์ต้นกำลังในการให้น้ำเกิดการไหลเวียนเป็นลักษณะลูปปิด และทำการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำเย็นใต้ลานกับน้ำร้อน ที่มาจากท่อควบแน่น (Condenser tube) โดย ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน (Exchanger), หากระบบเกิดการระเหยแห้ง จะถูกเติมด้วยน้ำร้อนจาก หม้อไอน้ำ (Boiler) ซึ่งใช้ลูกบอลวาล์วควบคุมการเติมของน้ำ

3. **ระบบทำน้ำเย็น** เป็นระบบสำคัญที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ คือ เครื่องทำน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น และชุดระบายความร้อน หลักการทำงานที่เหมือนกับระบบปรับอากาศทั่วไป แต่พิเศษกว่าในส่วนของผลผลิตที่ได้ นั่น คือ จะได้น้ำเย็น ออกมาเป็น ลบ (-) และการทำให้น้ำเป็นน้ำแข็ง การทำงานตลอด 24 ชม. เพื่อรักษาความเป็นน้ำแข็ง การหยุดทำงานของระบบทั้งหมด จะสามารถหยุดได้ 2-3 ชม. จากนั้น น้ำแข็งจะเริ่มละลาย และใช้เวลาในการเป็นน้ำแข็งอีกครั้ง 4-5 ชม.

4. **น้ำเกลือ** (Glycol) เป็นสารที่ช่วยป้องกันการแข็งตัวของน้ำในระบบท่อน้ำเย็น ซึ่งตามมาตรฐานของระบบลานที่ได้รับการออกแบบ จะมีอัตราส่วน 36 % โดยช่วงแรก การตรวจวัดอัตราส่วนพบว่า อยู่ที่ 27 % ซึ่งทำให้การเกิดแข็งตัวของผิวน้ำแข็งช้ามาก จนกระทั่ง ได้เติมปริมาณน้ำเหลือ (Glycol) อยู่ที่ 42 % สังเกตเห็น การจับตัวเป็นน้ำแข็งที่เร็วมาก

การปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพระบบทำน้ำเย็น

ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น ก่อนที่จะทำการทดสอบตามสมมติฐานนั้น ต้องมีการตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อให้การทดสอบอยู่ในหลักเกณฑ์ ที่ใกล้เคียง กับค่าความเป็นจริง หลังการตรวจสอบเครื่องทำน้ำเย็น พบว่า การถ่ายเทความร้อนในท่อควบแน่น (Condenser tube) ได้ไม่ดีนัก โดยพิจารณาจาก แรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ที่สูงขึ้นจะแสดงให้เห็นว่า น้ำยา (R-22) ได้เปลี่ยนสถานะอย่างยากลำบาก ซึ่งจะยิ่งทำให้เครื่องทำน้ำเย็นต้องทำงานหนักขึ้นเพื่อ ทำอุณหภูมิให้ได้ตามค่าตั้งไว้ (Set point) ดังนั้น ด้วยปัญหาการมีแรงดันด้านน้ำยาที่สูง จึงได้ดำเนินการเปลี่ยน Condenser tube ใหม่ และผลการเปลี่ยน นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐาน

ข้อที่ 1 การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) ต่ำกว่าก่อนการเปลี่ยนท่อ Condenser tube

ในเรื่องแนวโน้มแรงดันน้ำยาด้านสูง เมื่อทำการเปลี่ยนท่อ Condenser tube มีค่าวิกฤติ (t) เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง (H_1) แสดงว่า แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

แรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) ของเครื่องทำน้ำเย็นมีความแตกต่างกัน ระหว่างก่อนเปลี่ยนท่อ Condenser tube และหลังเปลี่ยนท่อ Condenser tube การที่ ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ของเครื่องทำน้ำเย็นสูงนั้น แสดงว่า เกิดการอุดตันขึ้นในระบบทำให้น้ำระบายความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ได้ยาก และเมื่อได้เปลี่ยนท่อ Condenser จึงทำให้แรงดันน้ำยาลดลง สอดคล้องกับการตั้งสมมติฐาน

ข้อที่ 2 การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ต่ำกว่าก่อนการเปลี่ยนท่อ Condenser tube

ในเรื่องแนวโน้มค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) เมื่อทำการเปลี่ยนท่อ Condenser tube มีค่าวิกฤติ (t) เท่ากับ 0.499 ซึ่งมากกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) และปฏิเสธสมมติฐานรอง (H_1) แสดงว่า ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ค่าพลังงานไฟฟ้า ในขณะที่ได้เปลี่ยนท่อ Condenser tube มีแนวโน้มที่ ไม่แตกต่างจากก่อนเปลี่ยน และไม่สอดคล้องตามสมมติฐาน ที่คาดว่าจะมีค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง ซึ่งมีปัจจัยอีกตัว คือ ค่าของอุณหภูมิน้ำเย็น ที่จะบอกได้ว่า หลังจากการเปลี่ยนท่อแล้ว ดีขึ้น หรือลดลง หากค่าอุณหภูมิน้ำเย็นดีขึ้น นั่น แสดงว่า ค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ไม่แตกต่างจากก่อนเปลี่ยนท่อ คือ นำไปใช้ในการทำอุณหภูมิน้ำเย็น

ข้อที่ 3 การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้อุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น ต่ำกว่าก่อนการเปลี่ยนท่อ Condenser tube แสดงผลการทดสอบ 3 ข้อ ดังนี้

ในเรื่องแนวโน้มค่าอุณหภูมิน้ำเย็น เมื่อทำการเปลี่ยนท่อ Condenser tube มีค่า วิกฤติ (t) เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่นคือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง (H1) แสดงว่า ค่าแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

จากผลความน่าจะเป็น ของค่าอุณหภูมิน้ำเย็น แสดงว่า การเปลี่ยน ท่อ Condenser tube มีผลให้ประสิทธิภาพการทำอุณหภูมิดีขึ้น สอดคล้องตามสมมติฐาน คุณภาพของผิวน้ำแข็งจะดีขึ้นด้วย แต่การใช้พลังงาน จะมีค่าเพิ่มขึ้น

ข้อที่ 4. การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่องแตกต่างจากการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

ในเรื่องแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง มีค่าวิกฤติ (t) เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง (H1) แสดงว่า ค่าแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 หมายความว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง แตกต่างจากการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง สอดคล้องตามสมมติฐาน

ข้อที่ 5. การเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง สามารถทำอุณหภูมิน้ำเย็นได้ไม่แตกต่างจากการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง

ในเรื่องแนวโน้มการทำอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น มีค่า วิกฤติ (t) เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่า 0.05 นั่น คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับค่าสมมติฐานรอง (H_1) แสดงว่า ค่าแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 หมายความว่า การเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง มีความสามารถในการทำอุณหภูมิน้ำเย็นได้แตกต่างจากการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง ไม่สอดคล้องตามสมมติฐาน

การอภิปรายผล

จากการวิจัยในเรื่องการจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในลานน้ำแข็งเพื่อการประหยัดพลังงาน สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ผลวิเคราะห์การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีการเปลี่ยนท่อ Condenser tube จะทำให้ค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) และอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นดีขึ้น แต่ค่าพลังงานไฟฟ้าไม่ลดลงตามสมมติฐาน

แรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi pressure) ในระบบเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้น้ำยา R-22 ต้องการพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมาก เพื่อลดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นให้น้อยลง หากท่อควบแน่นสกปรกหรือเกิดการอุดตัน จับเกาะผิวส่งความร้อน ซึ่งจะขัดขวางการแลกเปลี่ยนความร้อน จะทำให้แรงดันน้ำยาด้านสูง สูงขึ้นจากปกติ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจะลดต่ำลง เวลาเดินเครื่องจึงนานขึ้นตามส่วนของการลดต่ำลงของขีดความสามารถในการทำน้ำเย็น จึงสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น (โมโตกิ มัตสุโอะ, 2524, หน้า 319) ดังนั้น ต้องมีการทำความสะอาด ตะกรันที่ อุดตัน ซึ่งจะเป็นสารละลายพวกหินปูน เมื่ออุณหภูมิสูง จะก่อตัวเป็นตะกรัน โดยเฉพาะระบบเปิด ที่ต้องสัมผัสกับอากาศภายนอก ทำให้ฝุ่นและสิ่งสกปรกเข้าสู่น้ำ ตะกรันและสิ่งสกปรกที่เกาะผิวท่อทองแดงทำให้ต้านทานการถ่ายเทความร้อน เรียกว่า Fouling factor (เอกสารบรรยาย บ.อินโนเวชั่น เทคโนโลยี, 2551) เมื่อได้เปลี่ยนท่อ Condenser tube ผลการตรวจวัดค่าแรงดันน้ำยาด้านสูงลดต่ำลงมาก

ค่าพลังงานไฟฟ้า (Kwh) เกิดจากการขับเครื่องอัดอากาศในเครื่องทำน้ำเย็น ให้สามารถผลิตหรือทำน้ำอุณหภูมิน้ำเย็น ได้ตามค่าควบคุม (Set point) ซึ่งลานน้ำแข็ง ต้องการค่าที่ -10 °C ดังนั้น หลังการเปลี่ยน ท่อCondenser tube เครื่องทำน้ำเย็นสามารถทำน้ำเย็นให้ได้อุณหภูมิดีที่สุด คือ – 7.1 °C ในขณะที่ก่อนการเปลี่ยนท่อ เครื่องทำน้ำเย็น ทำอุณหภูมิได้ เพียง -4.0 °C ค่าพลังงานไฟฟ้า จึงไม่สามารถลดลงได้

อุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น หลังการเปลี่ยนท่อ Condenser tube เครื่องทำน้ำเย็นสามารถทำอุณหภูมิได้ดีขึ้น ค่าเฉลี่ยที่ – 7.1 °C ซึ่งเป็นเหตุให้เครื่องทำน้ำเย็นมีค่าพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นด้วย ดังนั้น จึงเข้าสู่กระบวนการทดสอบสมมติฐาน ข้อที่ 2 ต่อไป

2. การทดสอบสมมติฐานการทดลองเปิดเครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่อง และ 2 เครื่อง

การควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำได้จัดแบ่งเป็น 2 วัน/สัปดาห์ คือวันจันทร์ จทดลองให้เครื่องทำงานเพียง 1 เครื่อง และวันอังคาร ทดลองเปิดใช้งาน 2 เครื่อง ในช่วง เวลา 21.00 - 07.00 น. รวม 16 วัน นอกจากนี้ได้ทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิรอบลานน้ำแข็ง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีผลต่อการทดลอง โดยกำหนดจุดการตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด คือ พื้นที่บริเวณ ชั้น 5 ขั้นแรกจะทดลอง

ใช้งานเครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่อง ได้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ เท่ากับ 26.40 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 65 % และ การทดลองใช้งานเครื่องทำน้ำเย็น 2 เครื่อง ได้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ พื้นที่มีค่าเท่ากับ 26.50 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 66 % จะเห็นว่าค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ได้เก็บข้อมูลนั้น มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

จากสมมติฐาน คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง แตกต่างจากการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง ผลจากการทดลองการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่อง พบว่า สอดคล้องตามสมมติฐาน คือ ตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าขณะเปิดเครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่องเฉลี่ยได้ มีค่าเท่ากับ 871 หน่วย (kWh) และการทดลองใช้งานเครื่องทำน้ำเย็น 2 เครื่อง ตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 1,168 หน่วย (kWh) ซึ่งมีค่าความแตกต่าง เท่ากับ 297 หน่วย/วัน ดังนั้น เมื่อนำผลการทดสอบไปทำมาตรการพลังงาน จะสามารถประหยัดพลังงานได้ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 106,920 กิโลวัตต์-ชม. /ปี

ในขณะเดียวกัน การเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 1 เครื่อง มีความสามารถในการทำอุณหภูมิน้ำเย็นได้ไม่แตกต่างจากการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นของลานน้ำแข็ง 2 เครื่อง ซึ่งไม่สอดคล้องตามสมมติฐาน คือ การทดลองใช้งานเครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่อง ผลิตอุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ –6.6 องศาเซลเซียสและการทดลองใช้งานเครื่องทำน้ำเย็น 2 เครื่อง ผลิตอุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ –7.2 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่าง เท่ากับ –0.6 องศาเซลเซียส แต่เมื่อพิจารณาตามลักษณะสภาพผิวน้ำแข็งพบว่า อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้ ดังนั้น อุณหภูมิน้ำเย็นที่ต่างกัน -0.6 องศาเซลเซียส จึงยอมรับได้ เมื่อเทียบกับพลังงานที่ลดลง จึงเป็นแนวทางการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิผล และควรศึกษาเพิ่มเติมปัจจัยอื่น ๆ ประกอบ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการวิจัยเรื่องการจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในลานน้ำแข็งเพื่อการประหยัดพลังงาน ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. จากผลวิจัยทำให้ทราบว่า ระบบลานน้ำแข็งขาดการบำรุงรักษา ซึ่ง มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนที่สำคัญ และแต่ละส่วนควรมีกระบวนการการบำรุงรักษาที่ดีและสม่ำเสมอ

การบำรุงรักษา ถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ที่จะช่วยมิให้เครื่องใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง เช่น การจดบันทึก ค่าของเครื่องทำน้ำเย็น จะช่วยให้ทราบถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าแรงดันน้ำยาด้านสูง (Hi Pressure) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกว่า เครื่องทำน้ำเย็นกำลังสูญเสียพลังงานหรือประสิทธิภาพการผลิตน้ำเย็นลดต่ำลง

2. ควรศึกษาและวิจัย ในมาตรการประหยัดพลังงาน อื่น ๆ เช่น การติดตั้งระบบควบคุมความเร็วปั๊ม (Pump) เพื่อลดอัตราการไหลของน้ำในระบบทำน้ำเย็นและระบบระบายความร้อน, การใช้ระบบกรองน้ำก่อนเข้าระบบท่อ Condenser เพื่อลดการเกิดตะกรัน หรือ การใช้ผ้าคลุมน้ำแข็งในช่วงเวลากลางคืน เพื่อลดการสูญเสียความเย็น เป็นต้น

3. ควรศึกษาค่าใช้จ่ายในการดำเนินการดูแลเครื่องจักร ตลอดจนค่าสาธารณูปโภคต่างๆ ในลานน้ำแข็ง เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้บริการของลูกค้า

4. ควรศึกษาเพื่อปรับปรุง (Overhaul) หรือเปลี่ยนเครื่องจักรต่างๆ เช่น ชุดปั๊ม ให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน

5. ควรจัดตารางเวรให้ช่าง เข้ามาดูแลระบบเครื่อง ในช่วงเวลา 21.00 – 07.00 น.เพื่อการจัดการเครื่องทำน้ำเย็นให้ประหยัดพลังงานได้

6. หากพิจารณาตามประเภทลูกค้าส่วนใหญ่ที่มาใช้บริการ พบว่าเป็นประเภท นักเรียนนักศึกษา ดังนั้นการจัดการเครื่องทำน้ำเย็นต้องให้สอดคล้องกับ การเปิด-ปิด ภาคเรียนของนักเรียนนักศึกษาด้วย

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการแสดงให้เห็นแล้วว่า การรู้จักการจัดการเครื่องทำน้ำเย็น โดยไม่ต้องลงทุน จะสามารถประหยัดพลังงานได้ และเป็นวิธีการอย่างง่าย แต่ได้ผลสำเร็จที่ดี

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2550). ***การพัฒนาบุคลากรด้านการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานของอาคาร***. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551). ***คู่มือพัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง***. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551). ***คู่มือพัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ***. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.กรม. กองฝึกอบรม, ***การพัฒนาบุคลากรด้านการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานของอาคาร***. กรุงเทพฯ: กองฝึกอบรม กรุงเทพฯ หน้า 3-25,3-29, [2550 , มกราคม 1] http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Air%20Conditioning/les8.4.htm

ภาควิชาครุศาสตร์ ม.บางมดธนบุรี, (2007). ***บทเรียนออนไลน์วิชา การปรับอากาศ*** . (ออนไลน์).เข้าถึงได้จาก http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Air%20Conditioning/les8.4.htm [2007,September,30]

มัตสุโอ๊ะ,โมโตกิ.(2424).การประหยัดพลัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม.(บัณฑิต โรจน์อารยานนท์,ประยูร เชี่ยววัฒนา,สายกมล กมลยะบุตร,ระนอง พยัคฆพันธ์และสุธี ฉัตรชัยเวช ,แปล) (พิมพ์ครั้งที่ 1).กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

สมาคมกีฬาฮอกกี้น้ำแข็งแห่งประเทศไทย.(2007). ***ประวัติสมาคมกีฬาฮอกกี้น้ำแข็งแห่งประเทศไทย***. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.geocities.ws/ihatthailand/ihatthai23.htm [2007, August 11]

Amherst College. (2003). ***Energy Conservation Projects – Orr rink***. (Online). Available: https://cms.amherst.edu/campuslife/greenamherst/energy_conservation#Orr%20Rink [2006, July 1].

Brendan Lenko, P.E.(2007). ***Ice Rink Energy Conservation***. (Online). Available: http://www.customicerinks.com/energyice/press3.htm. [2007, August 3].

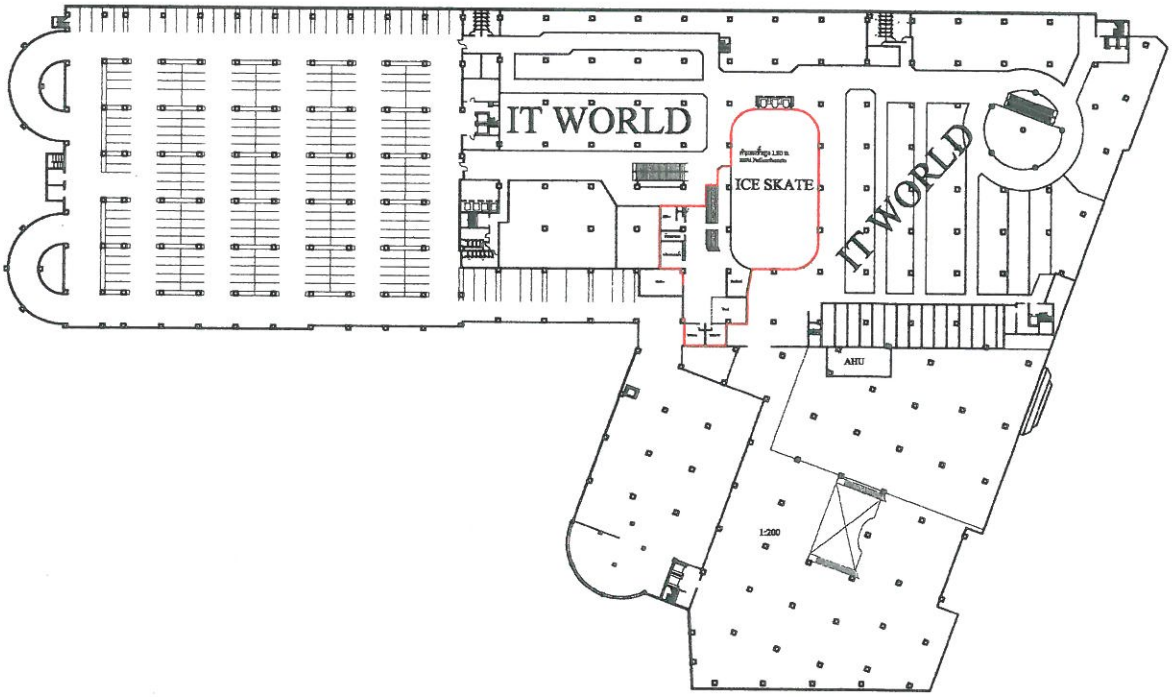
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

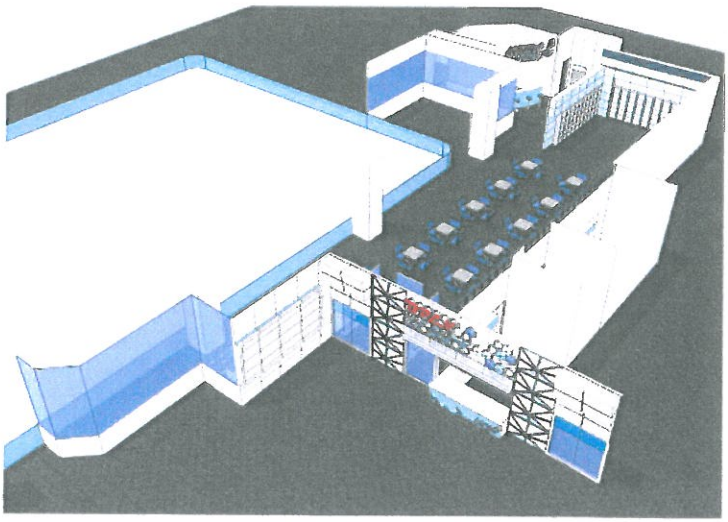
ตำแหน่งและแบบแปลนของอาคาร

ภาพประกอบที่ ก.1 อาคาร อิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว

ภาพประกอบที่ ก.2 อาคาร อิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว จาก Google



ภาพประกอบที่ ก.3 แปลนอาคาร แสดงลานน้ำแข็งชั้น 4 ศูนย์การค้าอิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว



ภาพประกอบที่ ก.4 ภาพ 3 มิติแสดงลานน้ำแข็ง อาคาร ศูนย์การค้าอิมพีเรียล เวิลด์ ลาดพร้าว

ภาคผนวก ข

ข้อมูลค่าไฟฟ้าของลานน้ำแข็ง
(ปี พ.ศ. 2550 -2553)

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลหน่วยไฟฟ้ารวมของลานน้ำแข็ง ประจำปี 2550-2553

ปี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
50	74,170.00	74,240.00	74,090.00	85,460.00	80,060.00	75,120.00	76,875.00	86,250.00	71,170.00	93,750.00	70,010.00	74,860.00	936,105.00
51	87,630.00	65,850.00	77,220.00	96,290.00	70,030.00	70,680.00	70,290.00	84,300.00	82,140.00	80,110.00	87,560.00	66,260.00	938,411.00
52	77,720.00	78,820.00	81,100.00	89,210.00	81,780.00	83,270.00	84,930.00	82,240.00	74,620.00	69,360.00	72,470.00	67,380.00	942,952.00
53	73,340.00	70,630.00	65,860.00	81,630.00	75,510.00	79,780.00	78,280.00	66,490.00	76,410.00	68,830.00	66,400.00	69,600.00	872,813.00

ภาคผนวก ค

ตารางเก็บข้อมูลการตรวจวัด

ตารางที่ ค.1 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 4 เดือนสิงหาคม พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็น เฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	off	0	off	0	0	0	0	1980.4	0	0	0	0	0	0
22.00	60	off	7	off	9	9	5	2	1981.3	91.1	26.3	62	28.6	67	-6.3
23.00	58	off	7	off	9	9	5	2	1982.2	89.1	26.1	63	28.5	67	-6.7
24.00	59	off	7	off	9	9	5	2	1983.1	90.1	26.3	61	28.7	67	-6.7
1.00	58	off	7	off	9	9	5	2	1984.0	89.1	26.4	64	28.6	67	-6.7
2.00	57	off	7	off	9	9	5	2	1984.9	88.1	26.4	64	28.6	67	-6.9
3.00	56	off	7	off	9	9	5	2	1985.7	87.1	26.5	64	28.6	67	-6.5
4.00	54	off	7	off	9	9	5	2	1986.6	85.1	26.4	63	29.0	68	-6.6
5.00	53	off	7	off	9	9	5	2	1987.4	84.1	26.2	63	29.0	67	-6.6
6.00	52	off	7	off	9	9	5	2	1988.3	83.1	26.4	65	29.0	67	-6.6
7.00	52	off	7	off	9	9	5	2	1989.1	83.1	26.2	65	29.0	69	-6.6
Total	559		70	off	85	90	50	16	870.0	870.0	263.2	634.0	287.6	673.0	-66.1
Average	56								870.0	870.0	26.3	63	28.8	67	-6.6

ตารางที่ ค.2 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 11 เดือนสิงหาคม พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็น เฉลี่ย/วัน
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100	(kWh)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	(°C)
21.00	0	off	0	Off	0	0	0	0	2172.6	0					
22.00	59	off	7	Off	9	9	5	2	2173.5	90.6	25.8	64	27.8	66	-6.0
23.00	58	off	7	Off	9	9	5	2	2174.4	89.6	25.9	65	27.8	67	-6.2
24.00	56	off	7	Off	9	9	5	2	2175.3	87.6	26.0	64	27.8	68	-6.5
1.00	56	off	7	Off	9	9	5	2	2176.2	87.6	26.0	65	28.0	68	-6.9
2.00	56	off	7	Off	9	9	5	2	2177.0	87.6	26.0	64	28.0	67	-7.0
3.00	48	off	7	Off	9	9	5	2	2177.8	79.6	26.5	64	27.8	65	-7.1
4.00	48	off	7	Off	9	9	5	2	2178.6	79.6	26.5	64	27.0	66	-7.3
5.00	47	off	7	Off	9	9	5	2	2179.4	78.6	26.5	64	27.0	67	-7.4
6.00	47	off	7	Off	9	9	5	2	2180.2	78.6	26.9	65	27.0	67	-7.4
7.00	47	off	7	Off	9	9	5	2	2181.0	78.6	26.9	64	27.0	69	-7.4
Total	522		70	Off	90	90	50	16	838.0	838.0	263.0	643.0	275.2	670.0	-69.2
Average	52								838.0	838.0	26.3	64	27.5	67	-6.9

ตารางที่ ค.3 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 18 เดือนสิงหาคม พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็น เฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	off	0	off	0	0	0	0	2350.7	0					
22.00	59	off	7	off	9	9	5	2	2351.6	91.6	25.7	63	28.5	67	-6.2
23.00	59	off	7	off	9	9	5	2	2352.5	90.6	25.9	63	28.5	69	-6.3
24.00	56	off	7	off	9	9	5	2	2353.4	87.6	26.7	65	28.6	68	-6.5
1.00	56	off	7	off	9	9	5	2	2354.3	87.6	26.7	65	28.6	67	-6.6
2.00	56	off	7	off	9	9	5	2	2355.2	87.6	26.7	67	27.5	68	-6.8
3.00	54	off	7	off	9	9	5	2	2356.0	85.6	26.7	65	27.6	68	-6.6
4.00	54	off	7	off	9	9	5	2	2356.9	85.6	26.7	64	27.6	69	-6.7
5.00	53	off	7	off	9	9	5	2	2357.7	84.6	26.7	63	27.6	69	-6.7
6.00	53	off	7	off	9	9	5	2	2358.6	84.6	27.0	68	27.6	70	-6.7
7.00	53	off	7	off	9	9	5	2	2359.4	84.6	27.0	65	27.8	70	-6.7
Total	553		70	0	90	90	50	16	870.0	870.0	265.8	648.0	279.9	685.0	-65.8
Average	55								870.0	870.0	26.6	65	28.0	69	-6.6

ตารางที่ ค.4 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 25 เดือนสิงหาคม พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็น เฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	off	0	off	0	0	0	0	2538.8	0					
22.00	61	off	7	off	9	9	5	2	2539.7	92.6	26.0	62	28.0	68	-6.3
23.00	60	off	7	off	9	9	5	2	2540.6	91.6	26.0	65	28.0	67	-6.5
24.00	58	off	7	off	9	9	5	2	2541.5	90.6	26.0	66	28.0	66	-6.6
1.00	58	off	7	off	9	9	5	2	2542.4	89.6	26.0	63	28.0	65	-6.6
2.00	58	off	7	off	9	9	5	2	2543.3	89.6	26.0	63	28.0	68	-6.7
3.00	57	off	7	off	9	9	5	2	2544.2	88.6	26.0	68	28.0	69	-6.7
4.00	57	off	7	off	9	9	5	2	2545.1	88.6	26.5	63	27.8	75	-6.9
5.00	56	off	7	off	9	9	5	2	2546.0	87.6	26.5	70	27.6	75	-6.9
6.00	54	off	7	off	9	9	5	2	2546.8	85.6	26.7	71	27.6	75	-7.0
7.00	54	off	7	off	9	9	5	2	2547.7	85.6	26.7	73	27.8	76	-7.0
Total	573		70	off	90	90	50	16	890.0	890.0	262.4	664.0	278.8	704.0	-67.2
Average	52								890.0	890.0	26.2	66	27.9	70	-6.7

ตารางที่ ค.5 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 1 เดือนกันยายน พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็น เฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	off	0	off	0	0	0	0	2725.9	0					
22.00	62	off	7	off	9	9	5	2	2726.8	92.6	26.0	68	28.5	72	-5.3
23.00	60	off	7	off	9	9	5	2	2727.7	91.6	26.0	63	28.4	73	-5.7
24.00	60	off	7	off	9	9	5	2	2728.7	91.6	26.0	66	28.6	71	-5.9
1.00	59	off	7	off	9	9	5	2	2729.6	90.6	26.0	65	28.5	74	-6.4
2.00	59	off	7	off	9	9	5	2	2730.5	90.6	26.0	65	28.5	75	-6.7
3.00	59	off	7	off	9	9	5	2	2731.4	89.6	26.0	66	28.5	75	-6.8
4.00	57	off	7	off	9	9	5	2	2732.3	88.6	26.5	65	28.2	78	-6.8
5.00	56	off	7	off	9	9	5	2	2733.1	87.6	26.5	63	28.3	74	-7.3
6.00	56	off	7	off	9	9	5	2	2734.0	87.6	26.7	67	28.3	71	-7.4
7.00	55	off	7	off	9	9	5	2	2734.9	84.6	26.7	68	28.5	70	-7.4
Total	583		70	0	90	90	50	16	895.0	895.0	262.4	656.0	284.3	733.0	-65.7
Average	53								895.0	895.0	26.2	66	28.4	73	-6.6

ตารางที่ ค.6 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 8 เดือนกันยายน พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100	(kWh)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	off	0	off	0	0	0	0	2916.3	0					
22.00	59	off	7	off	9	9	5	2	2917.2	90.6	26.2	63	28.0	76	-5.8
23.00	57	off	7	off	9	9	5	2	2918.1	88.6	26.2	65	28.0	75	-6.2
24.00	56	off	7	off	9	9	5	2	2919.0	87.6	26.3	61	28.2	77	-6.3
1.00	56	off	7	off	9	9	5	2	2919.8	87.6	26.4	64	28.6	75	-6.3
2.00	55	off	7	off	9	9	5	2	2920.7	86.6	26.5	65	28.6	73	-6.5
3.00	53	off	7	off	9	9	5	2	2921.6	84.6	26.6	64	28.7	76	-6.7
4.00	53	off	7	off	9	9	5	2	2922.4	84.6	26.6	69	27.7	75	-6.8
5.00	52	off	7	off	9	9	5	2	2923.2	83.6	26.7	70	27.8	73	-7.1
6.00	51	off	7	off	9	9	5	2	2924.1	82.6	26.2	67	28.1	76	-7.3
7.00	51	off	7	off	9	9	5	2	2924.9	82.6	26.4	69	28.3	74	-7.5
Total	543		70	0	90	90	50	16	859.0	859.0	264.1	657.0	282.0	750.0	-66.5
Average	49								859.0	859.0	26.4	66	28.2	75	-6.7

ตารางที่ ค.7 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 15 เดือนกันยายน พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็น เฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	off	0	off	0	0	0	0	3103.9	0					
22.00	60	off	7	off	9	9	5	2	3104.8	90.6	26.0	58	29.0	64	-5.7
23.00	59	off	7	off	9	9	5	2	3105.7	90.6	26.5	67	29.3	68	-6.2
24.00	58	off	7	off	9	9	5	2	3106.6	88.6	26.5	68	29.3	70	-6.3
1.00	57	off	7	off	9	9	5	2	3107.5	88.6	26.2	66	29.1	72	-6.4
2.00	56	off	7	off	9	9	5	2	3108.4	87.6	26.3	67	28.7	69	-6.5
3.00	54	off	7	off	9	9	5	2	3109.2	85.6	26.5	68	28.8	71	-6.6
4.00	54	off	7	off	9	9	5	2	3110.1	85.6	26.5	72	28.9	75	-6.6
5.00	52	off	7	off	9	9	5	2	3110.9	83.6	26.6	64	29.0	76	-6.7
6.00	52	off	7	off	9	9	5	2	3111.7	83.6	26,6	70	28.7	74	-7.1
7.00	51	off	7	off	9	9	5	2	3112.6	81.6	26.8	74	28.8	75	-7.3
Total	553		70	0	90	90	50	16	866.0	866.0	237.9	674.0	289.6	714.0	-65.4
Average	50								866.0	866.0	26.4	67	29.0	71	-6.5

ตารางที่ ค.8 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 22 เดือนกันยายน พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็น
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100	(kWh)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	เฉลี่ย/วัน (°C)
21.00	0	off	0	off	0	0	0	0	3292.5	0					
22.00	60	off	7	off	9	9	5	2	3293.4	89.6	26.5	64	27.0	69	-5.6
23.00	58	off	7	off	9	9	5	2	3294.3	89.6	26.6	65	27.0	68	-5.7
24.00	58	off	7	off	9	9	5	2	3295.2	89.6	26.5	65	27.3	69	-5.8
1.00	57	off	7	off	9	9	5	2	3296.1	88.6	26.6	67	27.4	69	-5.9
2.00	56	off	7	off	9	9	5	2	3297.0	87.6	26.4	64	27.4	67	-6.2
3.00	56	off	7	off	9	9	5	2	3297.8	87.6	26.7	64	27.3	68	-6.3
4.00	55	off	7	off	9	9	5	2	3298.7	86.6	26.5	65	27.8	70	-6.5
5.00	55	off	7	off	9	9	5	2	3299.6	86.6	26.5	67	27.9	71	-6.7
6.00	54	off	7	off	9	9	5	2	3300.4	85.6	26.8	68	27.8	70	-6.8
7.00	54	off	7	off	9	9	5	2	3301.3	85.6	26.5	69	27.9	72	-7.3
Total	563		70	0	90	90	50	16	877.0	877.0	265.6	658.0	274.8	693.0	-62.8
Average	51								877.0	877.0	26.6	66	27.5	69	-6.3

ตารางที่ ค.9 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 และ Ch.# 2 วันที่ 5 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็น เฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	0	0	off	0	0	0	0	2005.7	0	0	0	0	0	0.0
22.00	54	50	7	off	9	9	5	2	2007.1	135.6	26.0	65	28.5	67	-6.0
23.00	52	46	7	off	9	9	5	2	2008.4	129.6	26.5	62	28.5	67	-6.8
24.00	50	45	7	off	9	9	5	2	2009.6	126.6	26.8	61	28.1	67	-6.9
1.00	48	44	7	off	9	9	5	2	2010.9	123.6	26.8	67	28.5	67	-7.1
2.00	47	42	7	off	9	9	5	2	2012.1	120.6	26.9	65	28.3	67	-7.2
3.00	46	41	7	off	9	9	5	2	2013.2	118.6	26.8	64	28.2	67	-7.2
4.00	45	38	7	off	9	9	5	2	2014.4	114.6	27.0	68	28.0	67	-7.4
5.00	43	38	7	off	9	9	5	2	2015.5	112.6	27.0	67	27.8	67	-7.5
6.00	42	38	7	off	9	9	5	2	2016.6	111.6	27.0	65	27.8	67	-7.7
7.00	42	38	7	off	9	9	5	2	2017.8	111.6	27.0	66	27.8	77	-7.7
Total	469	420	70	0	90	90	50	16	1205.0	1205.0	267.8	650.0	281.5	680.0	-71.5
Average	47								1205.0	1205.0	26.8	65	28.2	68	-7.2

ตารางที่ ค.10 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 และ Ch.# 2 วันที่ 12 เดือนสิงหาคม พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็น เฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0		0	off	0	0	0	0	2197.8	0					
22.00	52	50	7	off	9	9	5	2	2199.1	132.6	26.1	64	27.5	71	-6.2
23.00	49	48	7	off	9	9	5	2	2200.4	128.6	26.3	65	27.5	69	-6.6
24.00	48	44	7	off	9	9	5	2	2201.6	123.6	26.3	64	27.5	65	-6.8
1.00	46	41	7	off	9	9	5	2	2202.8	118.6	26.3	65	27.6	67	-6.9
2.00	45	40	7	off	9	9	5	2	2204.0	116.6	26.5	65	27.6	67	-7.0
3.00	43	39	7	off	9	9	5	2	2205.1	113.6	26.5	66	27.6	68	-7.2
4.00	42	39	7	off	9	9	5	2	2206.3	112.6	26.5	66	27.6	67	-7.3
5.00	42	38	7	off	9	9	5	2	2207.4	111.6	26.5	67	27.6	69	-7.5
6.00	38	37	7	off	9	9	5	2	2208.4	106.6	26.7	66	27.6	68	-7.5
7.00	36	36	7	off	9	9	5	2	2209.5	103.6	26.7	67	27.8	73	-7.8
Total	441	412	70	0	90	90	50	16	1168.0	1168.0	264.4	655.0	275.9	684.0	-70.8
Average	44								1168.0	1168.0	26.4	66	27.6	68	-7.1

ตารางที่ ค.11 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 19 เดือนสิงหาคม พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็น
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100	(kWh)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	เฉลี่ย/วัน (°C)
21.00	0	0	0	off	0	0	0	0	2376.6	0					
22.00	51	45	7	off	9	9	5	2	2377.9	129.6	26.2	67	28.5	80	-5.8
23.00	49	43	7	off	9	9	5	2	2379.1	123.6	26.2	65	28.5	81	-6.3
24.00	48	42	7	off	9	9	5	2	2380.3	121.6	26.4	64	28.6	73	-6.6
1.00	46	40	7	off	9	9	5	2	2381.5	117.6	26.5	64	28.6	71	-6.9
2.00	45	39	7	off	9	9	5	2	2382.7	115.6	26.5	63	27.5	75	-7.2
3.00	45	38	7	off	9	9	5	2	2383.8	114.6	26.5	66	27.6	73	-7.4
4.00	44	37	7	off	9	9	5	2	2385.0	112.6	26.6	64	27.6	75	-7.7
5.00	43	36	7	off	9	9	5	2	2386.1	110.6	26.7	63	27.6	77	-7.9
6.00	41	35	7	off	9	9	5	2	2387.1	107.6	26.6	63	27.6	70	-7.9
7.00	41	35	7	off	9	9	5	2	2388.2	107.6	26.9	68	27.8	70	-8.1
Total	453	390	70	0	90	90	50	16	1161.0	1161.0	265.1	647.0	279.9	745.0	-71.8
Average	45								1161.0	1161.0	26.5	65	28.0	75	-7.2

ตารางที่ ค.12 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 26 เดือนสิงหาคม พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	0	0	off	0	0	0	0	2563.9	0					
22.00	54	49	7	off	9	9	5	2	2565.2	133.6	25.5	61	29.0	70	-5.8
23.00	50	47	7	off	9	9	5	2	2566.5	128.6	25.5	67	29.0	71	-6.1
24.00	49	45	7	off	9	9	5	2	2567.8	125.6	26.0	63	28.9	71	-6.3
1.00	47	43	7	off	9	9	5	2	2569.0	121.6	25.8	65	28.9	70	-6.6
2.00	47	38	7	off	9	9	5	2	2570.2	116.6	26.0	65	28.5	73	-6.8
3.00	46	37	7	off	9	9	5	2	2571.3	114.6	26.0	66	28.6	74	-7.3
4.00	45	37	7	off	9	9	5	2	2572.4	113.6	25.7	65	27.9	69	-7.6
5.00	42	36	7	off	9	9	5	2	2573.5	109.6	26.0	65	27.9	70	-7.9
6.00	41	35	7	off	9	9	5	2	2574.6	107.6	26.5	67	27.0	71	-8.0
7.00	40	35	7	off	9	9	5	2	2575.7	106.6	26.5	68	27.0	73	-8.1
Total	461	402	70	0	90	90	50	16	1178.0	1178.0	259.5	652.0	282.7	712.0	-70.5
Average	42								1178.0	1178.0	26.0	65	28.3	71	-7.1

ตารางที่ ค.13 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 2 เดือนกันยายน พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	0	0	off	0	0	0	0	2752.5	0					
22.00	52	48	7	off	9	9	5	2	2753.8	129.6	26.0	67	28.0	68	-6.0
23.00	49	45	7	off	9	9	5	2	2755.0	124.6	26.5	68	28.1	67	-6.4
24.00	45	43	7	off	9	9	5	2	2756.2	119.6	26.5	69	28.2	79	-6.7
1.00	45	42	7	off	9	9	5	2	2757.4	118.6	26.2	65	28.5	68	-6.9
2.00	44	42	7	off	9	9	5	2	2758.6	117.6	26.3	65	28.5	67	-7.2
3.00	42	39	7	off	9	9	5	2	2759.7	112.6	26.5	66	28.6	68	-7.5
4.00	41	39	7	off	9	9	5	2	2760.8	111.6	26.5	73	28.5	74	-7.8
5.00	40	38	7	off	9	9	5	2	2761.9	109.6	26.6	65	27.7	75	-7.8
6.00	37	35	7	off	9	9	5	2	2763.0	103.6	26,6	71	27.6	75	-7.9
7.00	34	33	7	off	9	9	5	2	2764.0	98.6	26.8	70	27.7	77	-7.9
Total	429	404	70	0	90	90	50	16	1146.0	1146.0	237.9	679.0	281.4	718.0	-72.1
Average	39								1146.0	1146.0	26.4	68	28.1	72	-7.2

ตารางที่ ค.14 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 9 เดือนกันยายน พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	0	0	off	0	0	0	0	2942	0					
22.00	51	46	7	off	9	9	5	2	2943.3	127.6	26.1	63	27.3	84	-6.0
23.00	48	43	7	off	9	9	5	2	2944.5	122.6	26.2	63	27.4	83	-6.5
24.00	48	42	7	off	9	9	5	2	2945.7	121.6	26.4	68	27.5	85	-6.7
1.00	47	40	7	off	9	9	5	2	2946.9	118.6	26.0	64	27.5	83	-6.9
2.00	47	40	7	off	9	9	5	2	2948.1	117.6	26.2	65	27.7	86	-7.2
3.00	46	39	7	off	9	9	5	2	2949.2	116.6	26.0	68	27.8	82	-7.5
4.00	44	38	7	off	9	9	5	2	2950.4	113.6	26.5	63	27.5	82	-7.6
5.00	43	37	7	off	9	9	5	2	2951.5	111.6	26.5	70	27.5	79	-7.5
6.00	41	32	7	off	9	9	5	2	2952.5	104.6	26.5	76	27.3	80	-7.5
7.00	40	31	7	off	9	9	5	2	2953.6	102.6	26.8	73	27.8	78	-7.5
Total	455	388	70	0	90	90	50	16	1157.0	1157.0	263.2	673.0	275.3	822.0	-70.9
Average	41								1157.0	1157.0	26.3	67	27.5	82	-7.1

ตารางที่ ค.15 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 16 เดือนกันยายน พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ °C	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ °C	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	0	0	off	0	0	0	0	3129.7	0					
22.00	53	47	7	off	9	9	5	2	3131.0	132.6	26.2	61	28.0	75	-5.9
23.00	51	42	7	off	9	9	5	2	3132.3	124.6	26.4	65	27.9	76	-6.4
24.00	51	42	7	off	9	9	5	2	3133.5	124.6	26.7	66	27.4	70	-6.6
1.00	49	40	7	off	9	9	5	2	3134.7	120.6	26.8	67	27.1	69	-6.8
2.00	47	38	7	off	9	9	5	2	3135.9	116.6	26.5	68	27.5	70	-6.9
3.00	45	37	7	off	9	9	5	2	3137.0	113.6	26.6	68	27.6	71	-7.2
4.00	44	36	7	off	9	9	5	2	3138.1	111.6	26.7	65	27.7	75	-7.5
5.00	43	35	7	off	9	9	5	2	3139.2	109.6	26.8	69	27.4	73	-7.6
6.00	39	33	7	off	9	9	5	2	3140.3	103.6	26.8	69	27.2	74	-7.7
7.00	38	33	7	off	9	9	5	2	3141.3	102.6	27.0	67	27.0	78	-7.7
Total	460	383	70	0	90	90	50	16	1160.0	1160.0	266.5	665.0	274.8	731.0	-70.3
Average	42								1160.0	1160.0	26.7	67	27.5	73	-7.0

ตารางที่ ค.16 ตารางบันทึกเฉพาะ การทำงานของ Chiller # 1 วันที่ 23 เดือนกันยายน พ.ศ 2551

Time	ค่ากำลังไฟฟ้า(kW)								เลขมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วย (kWh)	อุณหภูมิภายในอาคาร		อุณหภูมิภายนอกอาคาร		อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ย/วัน (°C)
	Ch.1	Ch.2	CDP 1	CDP 2	CHP 1	CHP 2	CT #1	Heat mat pump	CT 100		อุณหภูมิ °C	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ °C	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	
21.00	0	0	0	off	0	0	0	0	3318.3	0					
22.00	50	48	7	off	9	9	5	2	3319.6	128.6	26.5	63	28.0	76	-6.0
23.00	48	44	7	off	9	9	5	2	3320.8	123.6	26.6	64	28.3	74	-6.4
24.00	48	42	7	off	9	9	5	2	3322.0	121.6	26.5	64	28.3	76	-6.8
1.00	47	41	7	off	9	9	5	2	3323.2	119.6	26.6	65	28.5	75	-7.1
2.00	46	41	7	off	9	9	5	2	3324.4	118.6	26.6	63	28.4	75	-7.3
3.00	46	40	7	off	9	9	5	2	3325.6	117.6	26.7	66	28.5	77	-7.6
4.00	43	39	7	off	9	9	5	2	3326.7	113.6	26.5	67	28.5	78	-7.9
5.00	42	38	7	off	9	9	5	2	3327.8	111.6	26.5	68	27.8	78	-8.1
6.00	40	35	7	off	9	9	5	2	3328.9	106.6	26.5	67	27.9	79	-8.4
7.00	40	35	7	off	9	9	5	2	3330.0	106.6	26.7	68	27.9	74	-8.4
Total	450	403	70	0	90	90	50	16	1168.0	1168.0	265.7	655.0	282.1	762.0	-74.0
Average	41								1168.0	1168.0	26.6	66	28.2	76	-7.4

ตารางที่ ค.18 แสดงพิกัดของระบบทำน้ำเย็น

ลำดับ	อุปกรณ์	การตรวจวัด ก่อน- หลัง					การใช้งาน	
		(kW)	แรงดัน (v)	กระแส(A)	Cos Ø	rpm	ชม./วัน	วัน/ปี
1	Chiller #1	84	380	150	0.85	-	24	365
		59	381	112	0.80			
2	Chiller #2	84	380	150	0.85	-	24	365
		57	381	104	0.83			
3	Chilled Water Pump #1	11	380	22.2	0.85	1440	12	365
		9	374	16.7	0.86			
4	Chilled Water Pump #2	11	380	22.2	0.85	1440	12	365
		9	374	16.6	0.86			
5	Condenser Water Pump #1	7.5	380	16	0.85	1450	12	365
		7	374	12	0.86			
6	Condenser Water Pump #2	7.5	380	16	0.85	1450	12	365
		7	374	12	0.86			
7	Cooling Tower #1(liang chi)	5	380	12	0.85	580	12	365
		5	374	9	0.86			
8	Cooling Tower # 2(liang chi)	5	380	12	0.85	580	12	365
		5	374	9	0.86			
9	Het mat pump	1.5	380	3.6	0.85	1420	12	365
		2	374	2.8	0.86			
10	Het mat pump	1.5	380	3.6	0.85	1420	12	365
		2	374	2.8	0.86			

ตารางที่ ค.19 แสดงข้อมูลของมาตรฐานของระบบลานน้ำแข็ง

SPECIFICATION OF MODEL BCL - 120 F BRINE COOLER			
Power supply 3 Ø 400 V. 50 Hz			
Starting system Star - delta			
ENGINEERING SPECS.			
Capacity		kcal/h	142000
Cooling tower	Entering temp.	°C	32
	Leaving temp.	°C	37
	Flow rate	m^3/h	59.2(MIN.32~MAX.86)
	Head loss	mAq	2.1
Chilled brine	Entering temp.	°C	-5
	Leaving temp.	°C	-10
	Flow rate	m^3/h	32.8 (MIN.23 ~MAX. 95)
	Head loss	mAq	2.3
Brine compo sition	Kind : Ethylean glycol Consistensy : 36 wt % Freezing temp. : - 20 °C		
	Specific gravity : 1.056 Specific heat : 0.82 kcal/kg °C		

ตารางที่ ค.19 แสดงค่าการตรวจสอบน้ำ ก่อนเติมน้ำเกลือ Glycol

Parameter	Unit	Method	6891/00 Brine Chiller
pH		Electrometric	8.5
Density at 25 °C(g/cm_3)	-	-	1.0328
Conductivity	Us/cm	Laboratory	-
Total Hardness	Mg/L as $CaCo_3$	EDTA Titrimetric	-
Chloride	Mg/L as C1	Argentometric	-
Silica	Mg /L as SiO_2	Molybdosilicate	-
Total Iron	Mg/L as Fe	Phenanthrolins	-
% Glycol by volume	-	-	24.52
Appearance	-	Observation	สีม่วงขุ่นเล็กน้อย

ตารางที่ ค.20 แสดงผลการตรวจวัด น้ำยาเกลือ Glycol เมื่อเติม จำนวน 400 kg

Parameter	Unit	Method	6891/00 Brine Chiller
pH		Electrometric	8.2
Density at 25 °C(g/cm_3)	-	-	1.0059
Conductivity	Us/cm	Laboratory	-
Total Hardness	Mg/L as $CaCo_3$	EDTA Titrimetric	-
Chloride	Mg/L as C1	Argentometric	-
Silica	Mg /L as SiO_2	Molybdosilicate	-
Total Iron	Mg/L as Fe	Phenanthrolins	-
% Glycol by volume	-	-	43.5
Appearance	-	Observation	สีม่วงขุ่นเล็กน้อย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายธนาธิษณ์ ห้าวหาญ
วัน เดือน ปีเกิด	27 เมษายน 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดสงขลา
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2546 อุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	การจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในลานน้ำแข็งเพื่อการประหยัด พลังงาน, RSU Research Conforrence 2010
ประสบการณ์ในการทำงาน	วิศวกรโครงการ บริษัท อินโนเวชั่น เทคโนโลยี จำกัด
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้จัดการโครงการ บริษัท อินโนเวชั่น เทคโนโลยี จำกัด ประจำโครงการโรงพยาบาลนนทเวช พ.ศ. 2553 – ปัจจุบัน
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	11/30 หมู่บ้านสัมมากร ถนนนครอินทร์ ตำบล บางขุนกอง อำเภอ บางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11000