อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

การจัดทำแผนผังและประเมินแนวทางอนุรักษ์พลังงานในโรงงานผลิตน้ำแข็ง

LAYOUT AND ENERGY CONSERVATION ESTIMATION IN MENUFACTURING ICE PLANT

กรณีศึกษา : บริษัท อมตะ ไอซ์ อินดัสตรี จำกัด

นางสาวนฤมล	สอนสวัสดิ์	56362096
นางสาวสุปรียา	เงินทอง	56362348
นางสาวอารีรัตน์	จรอนรัมย์	56362492

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 14 ก.ย. 2560
เลขทะเบียน 1 9181996
เลขเรียกหนังสือ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2559

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน : การจัดทำแผนผังและประเมินแนวทางอนุรักษ์พลังงานในโรงงานผลิตน้ำแข็ง กรณีศึกษา : บริษัท อมตะ ไอซ์ อินดัสตรี จำกัด
LAYOUT AND ENERGY CONSERVATION ESTIMATION IN MENUFACTURING ICE PLANT

ผู้ดำเนินโครงงาน : นางสาวนฤมล สอนสวัสดิ์ รหัส 56362096
นางสาวสุปรียา เงินทอง รหัส 56362348
นางสาวอารีรัตน์ จรอนรัมย์ รหัส 56362492

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิทธิโชค ผูกพันธุ์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.สิทธิโชค ผูกพันธุ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์)

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศร้อน น้ำแข็งจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน ทำให้มีโรงงานน้ำแข็งตั้งอยู่เกือบทุกอำเภอในจังหวัดต่างๆทั่วประเทศ และส่วนใหญ่ประสบปัญหาต้นทุนพลังงานสูงควรมีแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานที่ดีจึงจัดทำโครงงานนี้ขึ้นมา โดยทำการสำรวจและเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตในแต่ละส่วนของโรงงาน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนแผนผังโรงงานแสดงถึงกระบวนการผลิตและอุปกรณ์ ประเมินสัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษา บริษัท อมตะ ไอซ์ อินดัสตรี จำกัด จากการประเมินพบว่ากระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด โดยมีคอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในกระบวนการ จากการประเมินจะเห็นว่าพลังงานที่ใช้ในโรงงานผลิตน้ำแข็งจะขึ้นอยู่กับ 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ กำลังไฟฟ้า (P) เวลาการทำงานของอุปกรณ์ (t) จำนวนของอุปกรณ์ (n) เปอร์เซ็นต์การทำงานของอุปกรณ์ (LF_1) และภาระโหลดของอุปกรณ์ (LF_2) จึงเสนอแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ไว้เบื้องต้น ได้แก่ แนวทางลดกำลังไฟฟ้า แนวทางลดเวลาการทำงาน แนวทางลดจำนวนอุปกรณ์ แนวทางลดเปอร์เซ็นต์เวลาการทำงานของอุปกรณ์ และแนวทางลดเปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์

Abstract

Thailand is a hot country. The ice took an important role in everyday life. The ice factory is located in almost every district. Most of ice factory confront a problem energy costs, There should be a good guideline to energy conservation, thus making this project. By surveying and collect production data in each part of the plant. Use the information that collected to write the plant layout. Shows the manufacturing process and equipment. Estimate the energy consumption of the plant. Case study Amata Ice Industries Limited from the evaluation found that ice pack production process with electric power has been used the most. The compressor is a device that uses most of electrical energy in the process. Estimates are that the energy used in the ice factory is based on the 5 main factor. Including electric power (P) running time of (t) the number of (n) The percentage of working devices (LF_1) and load device (LF_2) Proposes energy conservation of compressor in the introduction. Including power reduction guidelines, Working time reduction guidelines, Reduce the number of devices, The percentage reduction approach at the device and the percentage reduction approach of load devices.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเรื่อง จัดทำแผนปรับปรุงประสิทธิภาพโรงงานและเสนอแผนประหยัดพลังงานให้กับโรงงานน้ำแข็ง ซึ่งจะสำเร็จไม่ได้ ถ้าปราศจากบุคคลที่มีความสำคัญดังต่อไปนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.สิทธิโชค ผูกพันธุ์ และอ.ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ซึ่งให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และให้แนวทางการแก้ปัญหาตลอดจนจนให้ความไว้วางใจในการทำงานเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณสรวิศ ติยะพิษณุไพศาล ผู้บริหารบริษัท อมตะ ไอซ์ อินดัสตรี จำกัด ขอขอบคุณที่ให้พวกเราเข้าไปศึกษาการทำงานของกระบวนการผลิตน้ำแข็ง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ เอาใจใส่ดูแลและสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดี โดยเฉพาะการให้การศึกษาที่ดีแก่ผู้จัดทำตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงงานนี้ แด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงงานนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงงานนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
Abstract ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน 2
1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.4 แผนการดำเนินดำเนินงาน 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 5
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 กระบวนการทำความเย็น 5
2.2 ส่วนประกอบหลักของวัฏจักรอัดไอ 7
2.2.1 อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) 7
2.2.2 คอมเพรสเซอร์ (Compressor) 9
2.2.3 คอนเดนเซอร์ (Condenser) 10
2.2.4 อุปกรณ์ขยายตัว (Expansion Valve) 11
2.2.5 หอทำความเย็น (Coolling Tower) 12
2.2.6 การหาสมรรถนะของระบบทำความเย็น 13

2.3 สารทำความเย็น 13
2.4 กระบวนการกรองน้ำในโรงงานผลิตน้ำแข็ง 13
2.4.1 ระบบการกรองน้ำแบบ 3 ชั้น 14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
บทที่ 3 17
วิธีการดำเนินงาน 17
3.1 ข้อมูลเบื้องต้น 17
3.1.1 ข้อมูลทั่วไป 17
3.1.2 แผนที่แสดงที่ตั้งสถานประกอบการ 18
3.1.3 แผนผังภายในสถานประกอบการ 19
3.2 Plan layout (แผนผังโรงงาน) 19
3.2.1 แผนผังรวมของสถานประกอบการ 20
3.2.2 แผนผังกระบวนการกรองน้ำ 21
3.2.3 แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งซอง 22
3.2.4 แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งหลอด 23
3.3 กระบวนการผลิตของแต่ละส่วน 24
3.3.1 กระบวนการกรองน้ำ 24
3.3.2 กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง 25
3.3.3 กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด 26
3.4 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการ 27
3.4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงานผลิตน้ำแข็ง 27
3.4.2 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการกรองน้ำ 28
3.4.3 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำแข็งซอง 29
3.4.4 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำแข็งหลอด 30

3.4.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าอื่นๆ 31
บทที่ 4 32
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 32
4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการ 33
4.2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน 35
4.2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการกรองน้ำ 37
4.2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิตน้ำแข็งซอง 39
4.2.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิตน้ำแข็งหลอด 41
4.2.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ 43
4.3 ตัวอย่างการตรวจวัดค่าพลังงาน 44
4.4 การคำนวณสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance: COP) ... 46
4.5 แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานด้านพลังงานไฟฟ้า 49
4.5.1 แนวทางลดกำลังไฟฟ้า 49
4.5.2 แนวทางลดเวลาการทำงาน 51
4.5.3 แนวทางลดจำนวนอุปกรณ์ 52
4.5.4 แนวทางลดเปอร์เซ็นต์การทำงานของอุปกรณ์ 52
4.5.5 แนวทางลดเปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ 53
บทที่ 5 55
สรุปผลการดำเนินโครงงาน และข้อเสนอแนะ 55
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 55
5.2 ปัญหาและอุปสรรค 55
5.3 ข้อเสนอแนะ 55
เอกสารอ้างอิง 56
ภาคผนวก ก 57

การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน 58
นิยามคำศัพท์ 62
ภาคผนวก ข 64
ภาคผนวก ค 66
เอกสารที่ส่งให้กับทางโรงงาน 66
ตารางอุปกรณ์ในโรงงานผลิตน้ำแข็ง 67
แผนผังรวมของสถานประกอบการ 71
แผนผังกระบวนการกรองน้ำ 72
แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งซอง 73
แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งหลอด 74
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 75

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน 4
ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์ในกระบวนการกรองน้ำ 28
ตารางที่ 3.2 รายการอุปกรณ์ในโรงผลิตน้ำแข็งซอง 29
ตารางที่ 3.3 รายการอุปกรณ์ในโรงผลิตน้ำแข็งหลอด 30
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการในปี 2559 34
ตารางที่ 4.2 สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานในเดือนพฤษภาคม ปี 2559 36
ตารางที่ 4.3 ตารางคำนวณการใช้พลังงานของกระบวนการกรองน้ำในเดือนพฤษภาคม ปี 2559 ... 37
ตารางที่ 4.4 ตารางคำนวณการใช้พลังงานของโรงผลิตน้ำแข็งซองในเดือนพฤษภาคม ปี 2559 39
ตารางที่ 4.5 ตารางคำนวณการใช้พลังงานของโรงผลิตน้ำแข็งหลอดในเดือนพฤษภาคม ปี 2559 41
ตารางที่ 4.6 ตารางคำนวณการใช้พลังงานของระบบอื่นๆในเดือนพฤษภาคม ปี 2559 43
ตารางที่ 4.7 ตารางคำนวณการใช้พลังงานของกระบวนการกรองน้ำเทียบกับค่าที่วัดได้จริงโดย
แบบจำลอง 45
ตารางที่ 4.8 กำลังไฟฟ้าหลังจากเปลี่ยนเครื่องคอมเพรสเซอร์ในโรงผลิตน้ำแข็งซอง 50
ตารางที่ 4.10 กำลังไฟฟ้าหลังจากลดจำนวนของมอเตอร์ระบายความร้อนในโรงผลิตน้ำแข็งซอง .. 52
ตารางที่ 4.11 กำลังไฟฟ้าหลังจากลดเปอร์เซ็นต์เวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลง20% 53
ตารางที่ 4.12 กำลังไฟฟ้าหลังจากทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 54
ตารางที่ ก.1 ค่า Xi และ Yi ที่ได้จากการคำนวณ 61
ตารางที่ ก.2 อัตราปกติ 62
ตารางที่ ก.3 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) 63
ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ในกระบวนการกรองน้ำ 67
ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์.โรงงานน้ำแข็งซอง 68
ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์.โรงงานน้ำแข็งหลอด 70

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 (ก) วัฏจักรทางทฤษฎีและ (ข) แผนภาพ P-h ของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ 6
รูปที่ 2.2 (ก) Diagram Evaporator (ข) บ่อน้ำแข็งซอง 8
รูปที่ 2.3 (ก) Diagram Compression (ข) คอมเพรสเซอร์ (Compression) 9
รูปที่ 2.4 (ก) Diagram Condenser (ข) คอนเดนเซอร์ (Condenser) 10
รูปที่ 2.5 (ก) Diagram Expansion Valve (ข) อุปกรณ์ขยายตัว (Expansion Valve) 11
รูปที่ 2.6 (ก) Diagram Cooling Tower (ข) หอทำความเย็น ชนิด evaporative condenser 12
รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงที่ตั้งสถานประกอบการ 18
รูปที่ 3.2 แผนผังภายในสถานประกอบการ 19
รูปที่ 3.3 แผนผังรวมของสถานประกอบการ 20
รูปที่ 3.4 แผนผังกระบวนการกรองน้ำ 21
รูปที่ 3.5 แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งซอง 22
รูปที่ 3.6 แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งหลอด 23
รูปที่ 3.7 กระบวนการกรองน้ำ 24
รูปที่ 3.8 กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง 25
รูปที่ 3.9 กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด 26
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้ารวมปี 2559 35
รูปที่ 4.2 สัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานในเดือนพฤษภาคม ปี 2559 36
รูปที่ 4.3 สัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการกรองน้ำ 38
รูปที่ 4.4 สัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำแข็งซองในเดือนพฤษภาคม ปี 2559 . 40
รูปที่ 4.5 สัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงผลิตน้ำแข็งหลอด 42
รูปที่ 4.6 สัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ 44
รูปที่ 4.7 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากกระบวนการกรองน้ำ 45
รูปที่ 4.8 ค่าความดันที่อ่านได้จริงจากคอมเพลสเซอร์ในสภาวะที่ (1) และ (2) 46
รูปที่ 4.9 ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จริงจากท่อน้ำยาขาเข้าหอทำความเย็น สภาวะที่ 2 47
รูปที่ 4.10 ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จริงจากท่อน้ำยาขาออกหอทำความเย็น สภาวะที่ 3 47
รูปที่ 4.11 แผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็นแอมโมเนีย 48
รูปที่ ข.1 หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าในเดือนพฤษภาคม ปี 2559 65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศร้อนและนับวันจะร้อนมากขึ้นทุกที สภาพอากาศร้อนเช่นนี้ น้ำแข็งจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของทุกคน เราบริโภคน้ำแข็งเพื่อดับกระหายและคลายร้อน เราใช้น้ำแข็งเพื่อการเก็บรักษาอาหารให้คงความสดไว้ให้นานขึ้น น้ำแข็งที่เราใช้กันทุกวันนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามกรรมวิธีการผลิตคือน้ำแข็งชนิดก้อนเล็กหรือน้ำแข็งชนิดหลอด ผลิตขึ้นจากเครื่องจักรขนาดอัตโนมัติในระบบปิด โดยใช้เวลาการผลิตต่อประมาณ 20-30 นาที ส่วนมากนิยมใช้เพื่อการบริโภค ส่วนน้ำแข็งชนิดซอง ผลิตขึ้นจากเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่กว่ามาก ในอุตสาหกรรมประมงและแช่แข็งอาหารประเภทเนื้อสัตว์นิยมใช้น้ำแข็งซองในการถนอมรักษาสภาพของอาหาร

โดยทั่วไปโรงงานจะผลิตน้ำแข็งซองเป็นก้อนขนาดใหญ่มีน้ำหนักประมาณ 150-170 กิโลกรัม การขึ้นรูปน้ำแข็งแต่ละครั้งจึงต้องใช้เวลานานมาก เฉลี่ยประมาณ 2 วัน ความต้องการน้ำแข็งซอง จะขึ้นอยู่กับฤดูกาล และจำนวนของสัตว์น้ำที่จับได้เป็นหลักโรงงานผลิตน้ำแข็งซองจึงไม่สามารถคาดเดาได้ว่า เมื่อใดจึงจะมีผู้ซื้อน้ำแข็ง และซื้อในปริมาณมากน้อยเท่าไร ทำให้ต้องเดินเครื่องจักรเพื่อรักษาอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำแข็งคงสภาพอยู่ได้ เป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ผู้ประกอบการต้องมีต้นทุนเป็นค่าไฟฟ้าเดือนละมากมาก เฉพาะเพียงเพื่อการผลิตน้ำแข็งเพียงอย่างเดียวก็มากเกิน 80% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน

ปัจจุบันมีโรงงานน้ำแข็งตั้งอยู่เกือบทุกอำเภอในจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศ เป็นจำนวนถึง 1434 แห่งและในจำนวนนี้เป็นโรงงานผลิตน้ำแข็งซองถึงกว่า 600 แห่ง และจากประมาณการคาดว่าเฉพาะโรงงาน ผลิตน้ำแข็งซองทั่วประเทศ ใช้ไฟฟ้าคิดเป็น 1.5-2 % ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศ หรือโรงงานน้ำแข็งขนาดใหญ่หนึ่งแห่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 12-24 ล้านบาทต่อปี (ที่มา: รศ.ดร.เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย)

ปัจจุบันพบว่าอุตสาหกรรมผู้ผลิตน้ำแข็งประสบปัญหาต้นทุนพลังงานสูง ความสูญเสียพลังงานในโรงงานนั้นมีมาก จำเป็นต้องปรับปรุงโดยเร็ว ซึ่งมีทั้งในส่วนของระบบการทำความเย็นเพื่อการผลิตน้ำแข็ง ระบบนั้นที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็ง และระบบคอมเพรสเซอร์ เป็นต้น โดยที่สถานประกอบการที่ผลิตน้ำแข็งซองจะมีความสูญเสียมากกว่าสถานประกอบการที่ผลิตน้ำแข็งก้อนเล็ก สาเหตุที่การผลิตน้ำแข็งซองต้องใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมหาศาลนั้น มาจากการขาดการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ดี โดยมีสาเหตุหลักๆอยู่ 3ปัจจัย คือเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตไม่มีคุณภาพดีพอส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตต่อ การเดินเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสมกับปริมาณการ

จำหน่ายออกของน้ำแข็งที่มีมากจนเกินไป และเกี่ยวข้องกับอัตราค่าไฟฟ้าที่ทางการใช้เรียกเก็บจากโรงงานน้ำแข็ง

การประหยัดพลังงานหรือการใช้พลังงานเท่าที่จำเป็น มันจะส่งผลถึงการลดผลกระทบในเรื่องของภาวะโลกร้อน ลดผลกระทบในเรื่องของการที่ต้องไปหาพลังงานทดแทนมาเพิ่มเติม เพราะประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพลังงานค่อยข้างจำกัดอยู่แล้วในเรื่องของทรัพยากรทางธรรมชาติ ดังนั้นเราควรคำนึงถึงการใช้พลังงานให้เต็มประสิทธิภาพ หากเราสามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตลงได้ ผลที่ได้ไม่ใช่เพียงแค่ผู้ประกอบการจะสามารถลดต้นทุนค่าไฟฟ้าลงได้ แต่หมายถึงการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศ ซึ่งจะนำไปสู่การลดอัตราการเพิ่มการผลิตกระแสไฟฟ้า และชะลอการสร้างโรงงานไฟฟ้าแห่งใหม่

โรงงานที่มีการวางผังที่ดีย่อมจะได้เปรียบหลาย ๆ ด้าน เพราะยังผลถึงความประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ใช้พื้นที่ได้คุ้มค่าเกิดความปลอดภัย กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การวางแผนผังโรงงาน หมายถึง งานหรือแผนการในการติดตั้งเครื่องจักร เครื่องมือและวัตถุต่าง ๆ ที่จำเป็นในกระบวนการผลิต ภายใต้ข้อจำกัดของโครงสร้างและการออกแบบของอาคารที่อยู่ เพื่อทำให้การผลิตมีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสูงสุด

ดังนั้นโครงงานนี้ จึงทำการจัดทำแผนผังของโรงงานผลิตน้ำแข็ง ประเมินสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการผลิต และเสนอแนวทางอนุรักษ์พลังงานเบื้องต้นให้กับโรงงานแห่งนี้ เพื่อให้โรงงานได้มีการวางผังการจัดการที่ดี และลดการใช้พลังงานได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน

1. เพื่อจัดทำแผนผังของโรงงานผลิตน้ำแข็ง
2. เพื่อทำการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตน้ำแข็ง
3. เพื่อเสนอแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานเบื้องต้น

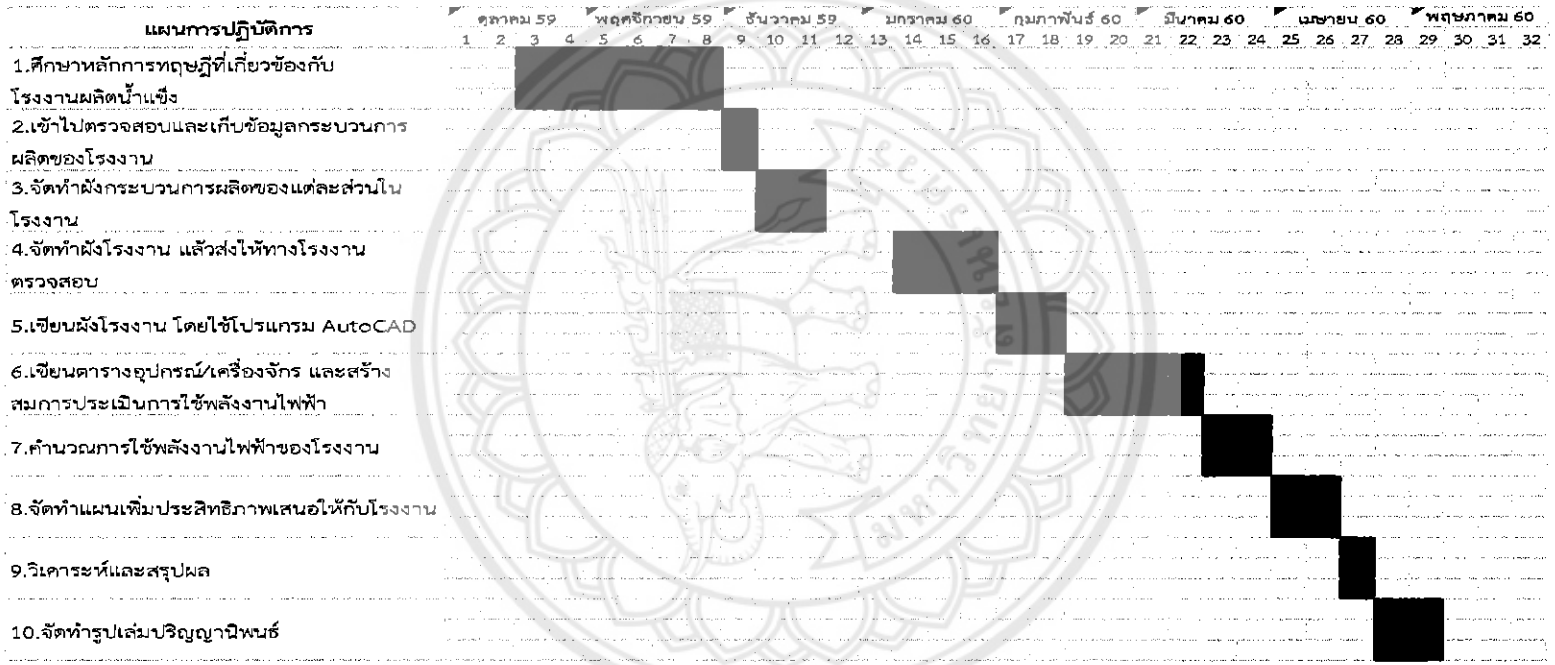
1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการจัดทำแผนผังโรงงานตามกระบวนการผลิต 3 กระบวนการ คือ กระบวนการกรองน้ำ กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด โดยได้ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตและอุปกรณ์ภายในโรงงาน กรณีศึกษา บริษัท อมตะไอซ์ อินดัสตรี จำกัด ประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานโดยคำนวณสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับหนังสือแจ้งค่าไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รวมไปถึงเสนอแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานเบื้องต้นของโรงงานผลิตน้ำแข็งดังกล่าว

MISSING

1.4 แผนการดำเนินดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน



1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แผนผังโรงงานที่ได้จัดทำขึ้น สามารถใช้เป็นแนวทางในการผลิตสินค้า การวางแผนควบคุมการผลิต และลดเวลาในการขนย้ายวัตถุ
2. ทราบถึงสัดส่วนในการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตน้ำแข็ง
3. โรงงานนำแนวทางไปใช้ในการอนุรักษ์พลังงาน สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โรงงานที่มีการใช้ระบบทำความเย็น ไม่ว่าเพื่อการแช่แข็งหรือผลิตน้ำแข็ง จำเป็นต้องใช้พลังงานในปริมาณมหาศาล แต่หากโรงงานสามารถควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพได้แล้ว การใช้พลังงานก็จะเป็นไปอย่างคุ้มค่าและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับสถานประกอบการลงได้เป็นอันมาก การทำความเย็นเป็นกระบวนการดึงความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศเพื่อรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแวดล้อมภายนอก เช่น การแช่เย็นอาหารในตู้เย็น การแช่แข็งอาหารสดในตู้แช่แข็ง หรือการผลิตน้ำแข็งในโรงน้ำแข็ง

ทำความเย็นมีหลากหลายประเภท อย่างไรก็ตามในที่นี้เราจะเน้นที่การทำความเย็นโดยระบบทำความเย็นแบบอัดไอ เนื่องจากมีการใช้งานในโรงงานน้ำแข็งอย่างแพร่หลาย และในเครื่องทำความเย็นจะมีสารตัวกลางที่ทำหน้าที่ขนถ่ายความร้อน เรียกว่า สารทำความเย็น (Refrigerant) โดยมากเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอจะใช้แอมโมเนียและสารในกลุ่มฟรีออนเป็นสารทำความเย็น

2.1 กระบวนการทำความเย็น

การทำความเย็น (Refrigeration) คือกระบวนการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่หรือ วัตถุที่ต้องการทำความเย็น หรือเป็นกระบวนการลดอุณหภูมิ และรักษาอุณหภูมิของพื้นที่หรือวัตถุ ที่ต้องการทำความเย็นให้ต่ำกว่าอุณหภูมิรอบๆ ซึ่งเป็นกระบวนการของ วัฏจักรอัดไอ (vapor-compression cycle) โดยที่วัฏจักรอัดไอเป็นการนำกระบวนการต่าง ๆ มาเรียงต่อกันเป็นระบบปิดเพื่อควบคุมปริมาตรให้คงที่ สารทำความเย็นที่ไหลในระบบเป็นไปแบบต่อเนื่อง จึงอาศัยสมการการไหลแบบต่อเนื่องเพื่อมาวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น โดยธรรมชาติของกระบวนการทำความเย็นความร้อนจะต้องถ่ายเทจากที่อุณหภูมิสูง ไปสู่ที่อุณหภูมิต่ำในระบบทำความเย็นนั้น จะต้องทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในทางตรงกันข้ามการจะทำให้บรรลุความต้องการจะต้องใช้ตัวกลางที่เรียกว่าสารทำความเย็นซึ่งจะทำการดูดกลืนความร้อนแล้วเกิดการเดือดหรือระเหยที่ความดันต่ำ ทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอขึ้น ต่อจากนั้นไอดังกล่าวจะถูกอัดให้มี ความดันสูงขึ้นซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และจะถ่ายเทความร้อนที่ได้รับมาให้แก่ อากาศรอบ

ข้างพร้อมกับการควบแน่นกลับคืนไปเป็นของเหลว เป็นผลให้เกิดการดูดกลืนหรือดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำและถ่ายเทความร้อนไปสู่แหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า

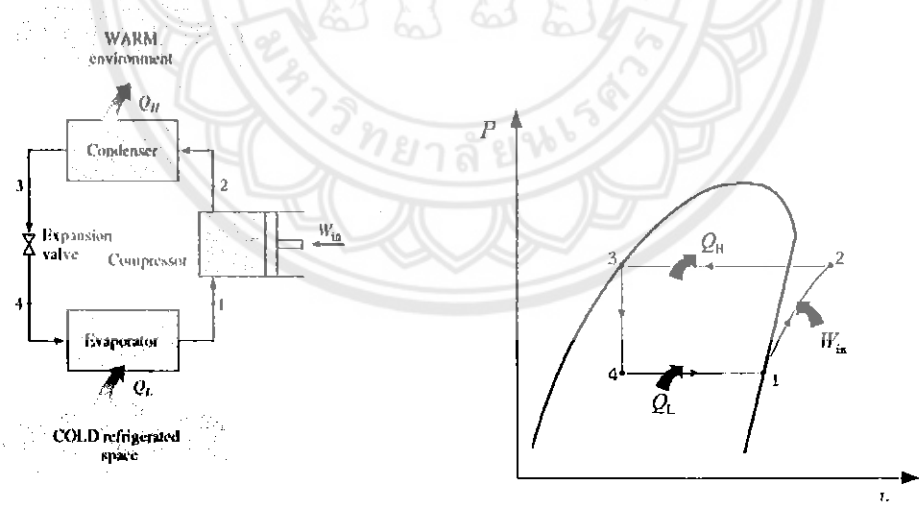
มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้การทำงานของวัฏจักรอัดไอเป็นไปได้ กล่าวคือ

I. อุณหภูมิซึ่งสารทำความเย็นเกิดการเดือดจะแปรผันตามความดัน กล่าวคือความดันยิ่งสูงจุดเดือดจะสูงตามไปด้วย

II. เมื่อสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวเกิดการระเหยกลายเป็นไอ มันจะดูด ความร้อนจากบริเวณโดยรอบ

III. สารทำความเย็นสามารถเปลี่ยนจากไอกลับคืนไปเป็นของเหลว โดยการ ทำให้มันเย็นลง ซึ่งตามปกติจะใช้อากาศหรือน้ำเป็นตัวระบายความร้อน

เพื่อช่วยให้ไอสารทำความเย็นสามารถควบแน่นได้ สารทำความเย็นจะต้องถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้น ซึ่งเป็นส่วนที่จะต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลเพื่อทำงานนี้ เครื่องจักรกลนี้เรียกว่า “คอมเพรสเซอร์” และโดยทั่วไป จะถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งในวัฏจักรอัดไอจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ตัว



(ก) (ข)

รูปที่ 2.1 (ก) วัฏจักรทางทฤษฎีและ (ข) แผนภาพ P-h ของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ

(ที่มา : Yunus A. Cengel, M. A. (2005). In Thermodynamics: An Engineering Approach. McGraw-Hill Science/Engineering/Math)

การทำงานของระบบทำความเย็นอย่างง่ายถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 (ก) และ 2.1 (ข) ซึ่งวัฏจักรทำความเย็นสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

I. การอัด (Compression) ช่วง 1 - 2 สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวที่มีความดันต่ำในอีวาพอเรเตอร์จะดูดซับความร้อนจากบริเวณโดยรอบซึ่งตามปกติคืออากาศ น้ำ หรือของเหลว ในกระบวนการผลิตอื่นๆ ในระหว่างกระบวนการดังกล่าว สารทำความเย็น จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอ และที่ทางออกของอีวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นจะมีสภาพเป็นไอร้อนยวดยิ่งเล็กน้อย

II. การควบแน่น (Condensing) ช่วง 2 - 3 ไอยวดยิ่งจะเข้าสู่คอมเพรสเซอร์เพื่ออัดเพิ่มความดันให้สูงขึ้น ในขณะเดียวกันอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากพลังงานที่ป้อนเข้าไปในกระบวนการอัดจะถูกเก็บสะสมอยู่ในสารทำความเย็น

III. การขยายตัว (Expansion) ช่วง 3 - 4 ไอร้อนยวดยิ่งของสารทำความเย็นจะถูกส่งต่อจากทางออกของคอมเพรสเซอร์ไปสู่คอนเดนเซอร์ ในช่วงแรกของกระบวนการระบายความร้อนเป็นการลดสภาพไอร้อนยวดยิ่ง จากนั้นในช่วงถัดไปจะเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอไปเป็นของเหลว การระบายความร้อนในกระบวนการนี้ มักจะใช้น้ำหรืออากาศ การลดลงของอุณหภูมิต่อจากนี้ จะเกิดขึ้นในท่อ และถังพักสารทำความเย็นเหลวทำให้สารทำความเย็นมีสภาพเป็นของเหลว เย็นยิ่งในขณะที่เข้าสู่อุปกรณ์ขยายตัว

IV. การระเหย (Evaporation) ช่วง 4 - 1 ของเหลวเย็นยิ่งความดันสูงจะไหลผ่านอุปกรณ์ขยายตัวซึ่งทำหน้าที่ทั้งลดความดันและควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเข้าสู่อีวาพอเรเตอร์

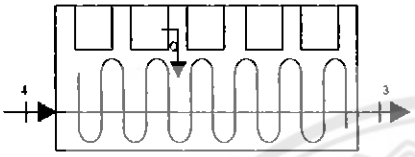
2.2 ส่วนประกอบหลักของวัฏจักรอัดไอ

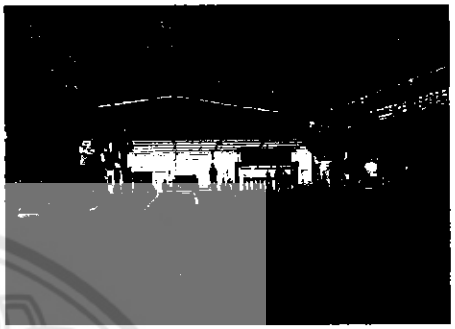
ส่วนประกอบหลักของวัฏจักรอัดไอประกอบด้วย อีวาพอเรเตอร์ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ และอุปกรณ์ขยายตัว ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator)

อีวาพอเรเตอร์ คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งได้รับการออกแบบให้ทำการดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ หรือพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น การดึง ความร้อนออกโดยตรงระหว่างผลิตภัณฑ์

กับอีวาพอเรเตอร์โดยปกติไม่สามารถจะกระทำได้จึงมักจะต้องมีของไหลอื่นที่เหมาะสม เช่น อากาศ หรือสาร ทำความเย็นทุติยภูมิเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน





(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 (ก) Diagram Evaporator (ข) บ่อน้ำแข็งซอง

รูปที่ 2.2 (ก) แสดงหลักการทำงานของอีวาพอเรเตอร์ เมื่อสารทำความเย็นเข้ามาในอีวาพอเรเตอร์จะเกิดการระเหยทันทีโดยจะใช้ความร้อนจากขดท่ออีวาพอเรเตอร์ไปใช้ในการระเหย เมื่อความร้อนถูกดึงไปหมดจะทำให้อีวาพอเรเตอร์เย็น โดยจะมีหิมะน้ำแข็งจับทั่วอีวาพอเรเตอร์ สภาพสารทำความเย็นจะกลายเป็นแก๊สหรือไอทั้งหมดและมีแรงดันและอุณหภูมิที่ต่ำ จากนั้นแก๊สจะถูกดูดเข้าคอมเพรสเซอร์ต่อไป ในรูปที่ 2.2 (ข) บ่อน้ำแข็งซองซึ่งจะมีอีวาพอเรเตอร์ทำงานอยู่ด้านล่าง

น้ำยาทำความเย็นในชุดอีวาพอเรเตอร์มีหน้าที่ในการดูดความร้อนออกจากโหลด ซึ่งในที่นี้โหลดคือน้ำที่นำมาทำน้ำแข็ง ความร้อนที่ออกมาจากน้ำจะไปทำให้น้ำยาทำความเย็นที่เป็นของเหลวเดือดและระเหยกลายเป็นไอ ฉะนั้นสถานะน้ำยาทำความเย็นที่ออกจากชุดอีวาพอเรเตอร์จะเป็นไอที่มีแรงดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ และโหลดหรือน้ำเมื่อถูกดูดความร้อนออก น้ำก็จะกลายเป็นน้ำแข็งในที่สุด

ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่วัฏจักร หรือความสามารถในการทำความเย็น (Refrigerating effect :RE) ที่ อีวาพอเรเตอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลพลังงานดังนี้

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}(h_1 - h_4) \tag{2.1}$$

$\dot{Q}_{in}$ =ความสามารถในการทำความเย็น (kW)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลของสารทำความเย็น(kg/s)

h_1 = เอลทาลปีที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์(kJ/kg)

h_4 = เอนทาลปีก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์(kJ/kg)

2.2.2 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

คอมเพรสเซอร์ คืออุปกรณ์หลักในระบบทำความเย็นทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนสารทำความเย็นภายในระบบ โดยด้านดูดจะดูดสารทำความเย็นที่เป็นไอความดันต่ำมาจากคอยล์เย็น แล้วทำการอัดเพิ่มความดันออกทางด้านจ่ายไปยังคอยล์ร้อนเพื่อจะควบแน่นต่อไป

รูปที่ 2.3 (ก) Diagram Compression (ข) คอมเพรสเซอร์ (Compression)

รูปที่ 2.3 (ก) และ (ข) คอมเพรสเซอร์ขับเคลื่อนสารทำความเย็นภายในระบบ โดยจะดูดสารทำความเย็นที่เป็นไอความดันต่ำมาจากคอยล์เย็น (1) แล้วทำการอัดเพิ่มความดันออกทางด้านจ่ายไปยังคอยล์ร้อน (2) เพื่อจะควบแน่นต่อไป

เครื่องอัดไอ (Compressor)ที่ใช้งานในระบบทำความเย็นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ซึ่งจะแบ่งชนิดตามโครงสร้างและลักษณะการทำงานในการอัดไอ คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ(reciprocating type) นั้นจะเป็นแบบทีมีความนิยมและมีการใช้งานแพร่หลายและเลือกใช้กับงานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ(reciprocating type) อาศัยการทำงานของเพลาข้อเหวี่ยง (crank shaft) ขับลูกสูบให้เกิดการดูดอัด เป็นแบบที่นิยมใช้งานมากที่สุด

งานที่เข้าสู่วัฏจักรที่คอมเพรสเซอร์สามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลพลังงานดังนี้

$$\dot{W}_c = \dot{m}(h_2 - h_1) \qquad (2.2)$$

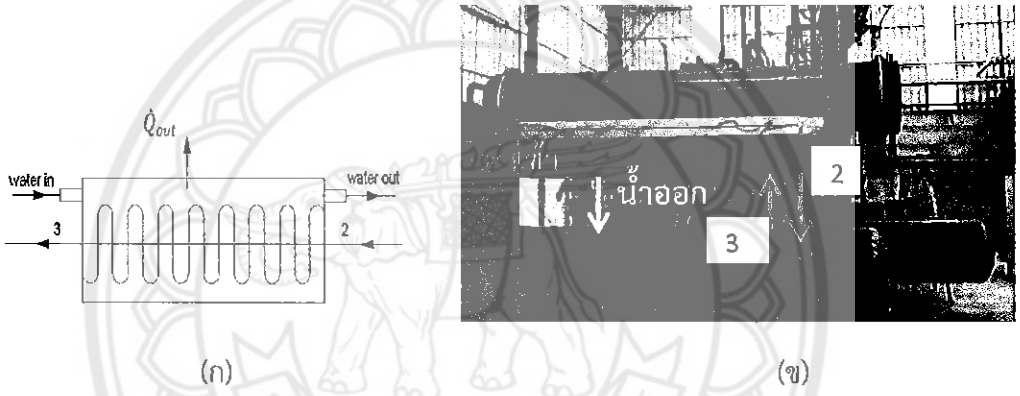
$\dot{W}_c$ = กำลังที่คอมเพรสเซอร์ (kW)

h_1 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัด (kJ/kg)

h_2 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากเครื่องอัด(kJ/kg)

2.2.3 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

คอนเดนเซอร์ก็คืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง ซึ่งมักจะมีโครงสร้างคล้ายกับอีวาพอเรเตอร์ การระบายความร้อนจากสารทำความเย็นจะใช้อากาศ หรือน้ำก็ได้ คอนเดนเซอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากระบบทำความเย็น



รูปที่ 2.4 (ก) Diagram Condenser (ข) คอนเดนเซอร์ (Condenser)

รูปที่ 2.4 (ก) และ (ข) เป็นการทำงานของคอนเดนเซอร์ (Condenser) เมื่อสารทำความเย็นที่เป็นแก๊สแรงดันสูงถูกอัดเข้ามา อากาศที่อยู่รอบๆและพื้นผิวครีบของเครื่องควบแน่นจะระบายความร้อนของสารทำความเย็นออกไป ส่งผลให้สารทำความเย็นแก๊สถูกอัดเป็นของเหลว จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังถังพักสารทำความเย็นต่อไป

การถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ หาได้จากสมการพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนดังนี้

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}(h_2 - h_3) \tag{2.3}$$

$\dot{Q}_{out}$ = ความร้อนที่ออกจากคอนเดนเซอร์ (kW)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลของสารทำความเย็น(kg/s)

h_2 = เอนทาลปีก่อนเข้าคอนเดนเซอร์(kJ/kg)

h_3 = เอนทาลปีที่ออกจากคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)

2.2.4 อุปกรณ์ขยายตัว (Expansion Valve)

อุปกรณ์ขยายตัว (Expansion Valve) คือ อุปกรณ์ควบคุมปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลเข้าไปในคอยล์เย็นและช่วยลดความดันของสารทำความเย็นลง เช่น Thermal Expansion Valve และ Capillary Tube เป็นต้น ผลที่ได้คือสารทำความเย็นที่มีสภาพเป็นก๊าซ

หน้าที่ของอุปกรณ์ขยายตัวคือ

I. ลดความดันของสารทำความเย็นยิ่งไปเป็นความดันของอีวาพอเรเตอร์

II. ควบคุมการไหลของสารทำความเย็น เพื่อรักษาระดับสารทำความเย็นในเครื่องระเหยให้เพียงพอ เพื่อให้สามารถทำความเย็นได้สูงสุดโดยให้มีเฉพาะไอร้อนยวดยิ่งเท่านั้นที่เข้าสู่คอมเพรสเซอร์

(ก) (ข)

รูปที่ 2.5 (ก) Diagram Expansion Valve (ข) อุปกรณ์ขยายตัว (Expansion Valve)

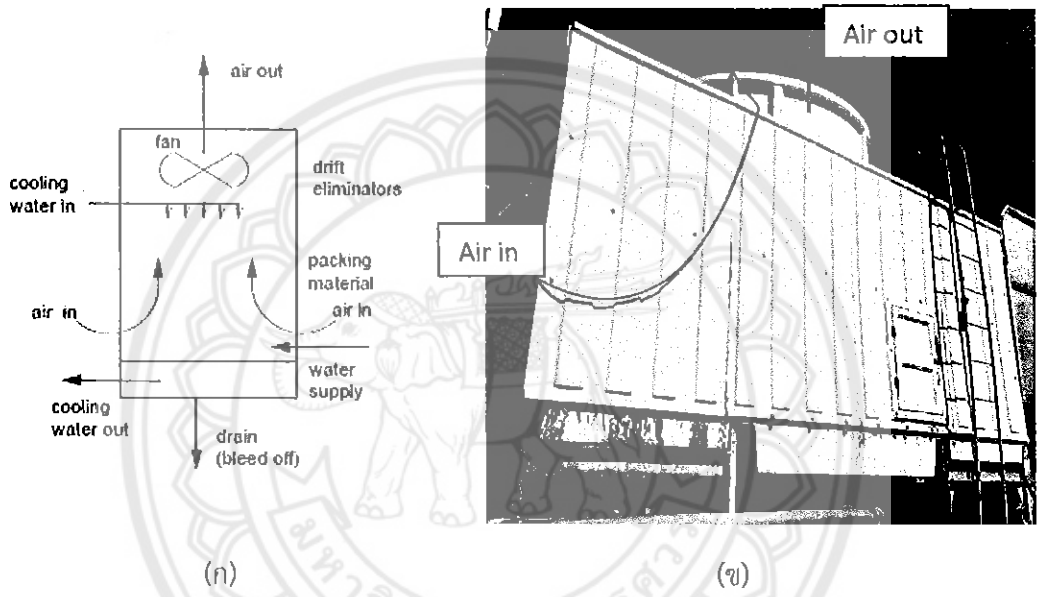
รูปที่ 2.5 (ก) และ (ข) สารทำความเย็นไหลผ่าน (3) ผ่าน expansion valve เพื่อควบคุมการไหลของสารทำความเย็นและเข้าไป (4) ยังบ่อน้ำแข็งซอง

อุปกรณ์ขยายตัว (Expansion Valve) กระบวนการไหลแบบสม่ำเสมอที่ผ่านวาล์วขยายเป็นกระบวนการเอนทาลปีคงที่ไม่มีงานหรือการถ่ายเทความร้อนดังนี้

$$h_3 = h_4 \tag{2.4}$$

2.2.5 หอทำความเย็น (Coolling Tower)

Coolling Tower (หอทำเย็น) คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ เพื่อทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิที่ลดลงจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ ซึ่ง Cooling Tower (หอทำเย็น) เป็นอุปกรณ์ใช้กับระบบทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ



รูปที่ 2.6 (ก) Diagram Cooling Tower (ข) หอทำความเย็น ชนิด evaporative condenser

ที่มารูป : http://www.engineeringtoolbox.com/cooling-tower-efficiency-d_699.html

รูปที่ 2.6 (ก) การทำงานของหอทำความเย็น คือระบายความร้อนออกจากน้ำที่ผ่านการใช้งานจากคอนเดนเซอร์ โดยน้ำที่อุณหภูมิสูงจากคอนเดนเซอร์จะถูกปั๊มขึ้นไปยังด้านบนของหอทำความเย็น และปล่อยให้ตกลงด้านล่าง สัมผัสกับอากาศ ทำให้น้ำมีอุณภูมิต่ำลงก่อนนำกลับมาใช้งานใหม่ ซึ่งในหอทำความเย็นมีปั๊มเป็นส่วนหนึ่งในการทำงานคือ ใช้ปั๊มในการดึงน้ำเข้าไปหมุนเวียนด้านในหอทำความเย็นและทำการกระจายมันออกไปอย่างสม่ำเสมอ กลายเป็นละอองเล็กตกลงมากระทบและสัมผัสกับอากาศที่ดูดหรือเป่าเข้ามา ซึ่งในระบบเป่าอากาศเข้าและระบบดูดอากาศออก ประกอบด้วยตัวพัดลม และตัวมอเตอร์ขับพัดลม ทำให้เกิดความเคลื่อนไหวของอากาศเข้ามาสัมผัสกับน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น

$$W_{cooling\ tower} = W_{pump} + W_{fan} \tag{2.5}$$

2.2.6 การหาสมรรถนะของระบบทำความเย็น

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance: COP) หมายถึง ปริมาณความเย็นที่ทำได้ (Q) เทียบกับพลังงานที่ใช้ขับคอมเพรสเซอร์ (W) โดยที่ค่า COP สามารถแสดงด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$COP = \frac{Q_{in}/\dot{m}}{W_c/\dot{m}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.6)$$

2.3 สารทำความเย็น

สารทำความเย็น (Refrigeration) คือ สารเคมีที่รับความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Heat sink) และนำพลังงานความร้อนดังกล่าวไปถ่ายเทให้กับแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง (Heat Source)ซึ่งในระหว่างเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนนั้น สารทำความเย็นอาจมีการเปลี่ยนสถานะ (Phase change) หรือไม่เปลี่ยนสถานะก็ได้ ซึ่งสารทำความเย็นที่ใช้กันทั่วไปในระบบทำความเย็น ได้แก่ แอมโมเนียและสารในกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน ในระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นที่ได้รับความนิยมใช้กัน

แอมโมเนียมีความสามารถในการทำความเย็นสูงสุด เมื่อเทียบกับสารความเย็นชนิดอื่น มีการนำเอาแอมโมเนียไปใช้เป็นสารทำความเย็นกันอย่างกว้างขวางในระบบโดยเฉพาะอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ทั้งนี้เพราะเป็นสารทำความเย็นที่เชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพ แต่ด้วยความเป็นสารมีพิษและความสามารถติดไฟได้ของสารทำความเย็นตัวนี้ทำให้การใช้งานของมันถูกจำกัดเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเข้าถึงเท่านั้น

โรงงานทำน้ำแข็งและห้องเย็นมักนิยมใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นในระบบทำความเย็น เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับสารทำความเย็นประเภทคลอโรฟลูออโรคาร์บอน(CFC) และประการสำคัญคือไม่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศแต่แอมโมเนียมีสมบัติความเป็นพิษในตัวเองดังนั้นการนำมาใช้ประโยชน์จะต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษเพราะหากเกิดการรั่วไหลอาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณที่มีการใช้แอมโมเนียและบริเวณใกล้เคียงได้รับอันตรายจนถึงขั้นเสียชีวิตได้

2.4 กระบวนการกรองน้ำในโรงงานผลิตน้ำแข็ง

น้ำดิบจากโรงงานหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนจะถูกกรองสิ่งสกปรกหรือ อนุภาคสารแขวนลอยที่มากับน้ำ โดยการผ่านน้ำเข้าไปยังชั้นกรองซึ่งมี สารกรองที่ใช้ในโรงงานได้แก่ กรอง

ตะกอนหยาบขั้นต้น โดยตะกอนหยาบสิ่งสกปรกที่ปะปนมากับน้ำทุกชนิด สารกรองถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งจะลดปริมาณคลอรีนในขณะที่น้ำไหลผ่าน สารกรองแมงกานีส กำจัดกำจัดสารโลหะ ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 ระบบการกรองน้ำแบบ 3 ขั้น

ระบบกรองน้ำแบบ 3 ขั้น เป็นระบบการกรองโดยที่ในการกรองซึ่งทำให้สารละลาย สิ่งปนเปื้อน รวมทั้งเชื้อโรคต่างๆ ไม่สามารถแทรกตัวเล็ดลอดผ่านไปได้ มีเพียงโมเลกุลของน้ำบริสุทธิ์เท่านั้นที่สามารถไหลผ่าน โดยสารละลายและจะถูกแยกออกจากน้ำดี และกำจัดออกจากระบบ เพื่อป้องกันการตกค้าง

ผ่านกระบวนการกรอง 3 ขั้นตอน ดังนี้

I. Sediment Filter เป็นการกรองตะกอนหยาบขั้นต้น โดยตะกอนหยาบสิ่งสกปรกที่ปะปนมากับน้ำทุกชนิด เช่น ทรายละเอียด สนิทเหล็ก เศษผง จุลินทรีย์ โดยเยื่อกรองเป็น Polypropelyn Filter ขนาด 5 ไมครอน เป็นการปรับสภาพน้ำระดับหนึ่ง เพื่อยืดอายุการใช้งานของเยื่อกรองหลัก

II. Pre – Carbon Filter สารกรองจะเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งจะลดปริมาณคลอรีนในขณะที่น้ำไหลผ่าน จะช่วยเพิ่มคุณภาพน้ำและป้องกันความเสียหายให้กับเยื่อกรองหลัก นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุง สี กลิ่น และรสของอน้ำ ซึ่งอาจเกิดจากสารอินทรีย์ คลอรีนในน้ำ และยาฆ่าแมลง

III. สารกรองแมงกานีส (Manganese Sand) หรือ สารกรองสนิมเหล็ก ส่วนใหญ่จะพบเหล็กมากในน้ำใต้ดิน สนิมเหล็กเป็นปัญหากับผู้ใช้น้ำ เช่น น้ำมีสีแดง และมีกลิ่น ทำให้เกิดคราบสนิมเหล็ก นอกจากนี้สนิมเหล็กทำให้น้ำมีรสที่ไม่เป็นที่ต้องการ สารกรองแมงกานีส มีคุณสมบัติสามารถกำจัดกำจัดสารโลหะ เช่น สนิมเหล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารละลายเหล็กที่ปะปนมากับน้ำ และยังเติมออกซิเจนให้กับน้ำ เหมาะกับน้ำบาดาล น้ำคลอง และแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยด้านการเพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficiet Performance : COP ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย ได้มุ่งเน้นศึกษาประเด็นต่างๆที่สำคัญ

ณัฐดนย์ พรรณุเจริญวงษ์ [1] การเพิ่มสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอดโดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอดโดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นการออกแบบชุดแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำน้ำที่ทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำแข็งมาใช้ประโยชน์ โดยได้ทำการออกแบบชุดแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยวัสดุที่ทำจากสแตนเลส ซึ่งมีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน 4.023 ตารางเมตร จากนั้นได้ทำการสร้างและนำไปใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในบ่อน้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดสอบพบว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้สามารถลดอุณหภูมิน้ำขาเข้าจากเดิม 27 องศาเซลเซียส เป็น 25 องศาเซลเซียสและทำให้ค่า COP ของระบบเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 13,635 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปีคิดเป็นค่าใช้จ่าย 16,245 บาทต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.9 ปี

ธรรมศักดิ์ แสงน้อย [2] เลือกใช้อัตราค่าไฟแบบ TOU แทน TOD ในโรงงานน้ำแข็งหลอด เป็นการศึกษาการใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU แทน TOD โดยวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยน TOD เป็น TOU เช่น เงินลงทุนและค่าดอกเบี้ยสำหรับเครื่องทำน้ำแข็งหลอดและห้องเย็นที่เพิ่มขึ้น ค่าไฟฟ้าสำหรับห้องเย็นที่เพิ่มขึ้น พบว่าจุดคุ้มทุนของเงินลงทุนกับค่าไฟฟ้าที่ TOU ประหยัดกว่า จะใช้ระยะเวลาประมาณ 3-4 ปี ทั้งนี้ยังไม่พิจารณาถึงโอกาสขายน้ำแข็งในหน้าร้อนหรือช่วงเวลาที่ต้องซ่อมบำรุงเครื่องจักร

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [3] ได้จัดทำโครงการสนับสนุนการให้คำปรึกษาเพื่อลดต้นทุนพลังงาน ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก เช่น โรงงานผลิตน้ำแข็ง โดยการตรวจสอบวิเคราะห์การใช้พลังงาน และให้คำแนะนำปรึกษาเรื่องการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ ในกรณีศึกษา โรงน้ำแข็งนำทวี ปรากฏผลการดำเนินการการจัดการพลังงานในโรงงานผลิตน้ำแข็งได้ผลประหยัดจากมาตรการประหยัด พลังงานด้านไฟฟ้า 20,662.15 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ 97,731.97 บาท/ปี คิดเป็นผลประหยัดรวม 1.761 toe/ปี โดยใช้เงินลงทุน รวม 75,000.00 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 1.53 ปี โดยสามารถสรุปผลการดำเนินการตามมาตรการดังนี้ ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำความเย็น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง 11,673.09 kWh/y และการหุ้มฉนวนด้านล่างของเครื่องผลิตน้ำแข็ง

พลังงานที่ใช้ลดลง 8,989.06 kWh/y ในการตรวจวัด วิเคราะห์ ก็จะทำให้ทราบถึงโอกาส และมาตรการที่จะช่วยลดการใช้พลังงานได้ซึ่งผู้ประกอบการสามารถนำไปพิจารณาลงทุนต่อไป

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า โรงงานผลิตน้ำแข็งในภูมิภาค เข้าถึงข้อมูลทางด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ยาก ประกอบกับการขาดบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถในการดำเนินงานตั้งแต่ การวางแผนผังโรงงานและกระบวนการผลิต การประเมินสัดส่วนการใช้พลังงานในโรงงาน หรือสร้างแนวทางและแผนงานในการเพิ่มประสิทธิภาพทำการทำงานของระบบการผลิตและการอนุรักษ์พลังงาน จึงทำให้โรงงานมีการจัดการระบบงานการผลิตได้ไม่ค่อยดีเท่าที่ควร

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลการผลิตในแต่ละส่วนของโรงงาน เช่น สำรวจดูอุปกรณ์ว่ามีจำนวน ขนาด ชั่วโมงทำงาน หน้าที่ของอุปกรณ์นั้นๆว่าเป็นอย่างไร เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการ และเขียนแผนผังโรงงานต่อไป ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

3.1 ข้อมูลเบื้องต้น

3.1.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อนิติบุคคล : บริษัท อมตะ ไอซ์ อินดัสตรี จำกัด

ชื่อโรงงาน : อมตะ ไอซ์ อินดัสตรี

ที่ตั้งโรงงาน : 44/7 ม. 4 ต.ตาลเตี้ย อ.เมือง จ.สุโขทัย 64220

โรงงานเริ่มดำเนินการ : ปี 2555

ประเภทโรงงาน : ขนาดกลาง

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิต : น้ำแข็งซอง น้ำแข็งบดและน้ำแข็งหลอด

กำลังการผลิตติดตั้ง : 900 แรงม้า

กำลังการผลิต : 177 ซอง/วัน (หรือ 885 ก้อน/วัน)

วัตถุดิบหลักในการผลิต : น้ำบาดาล (มีบ่อพักน้ำ)

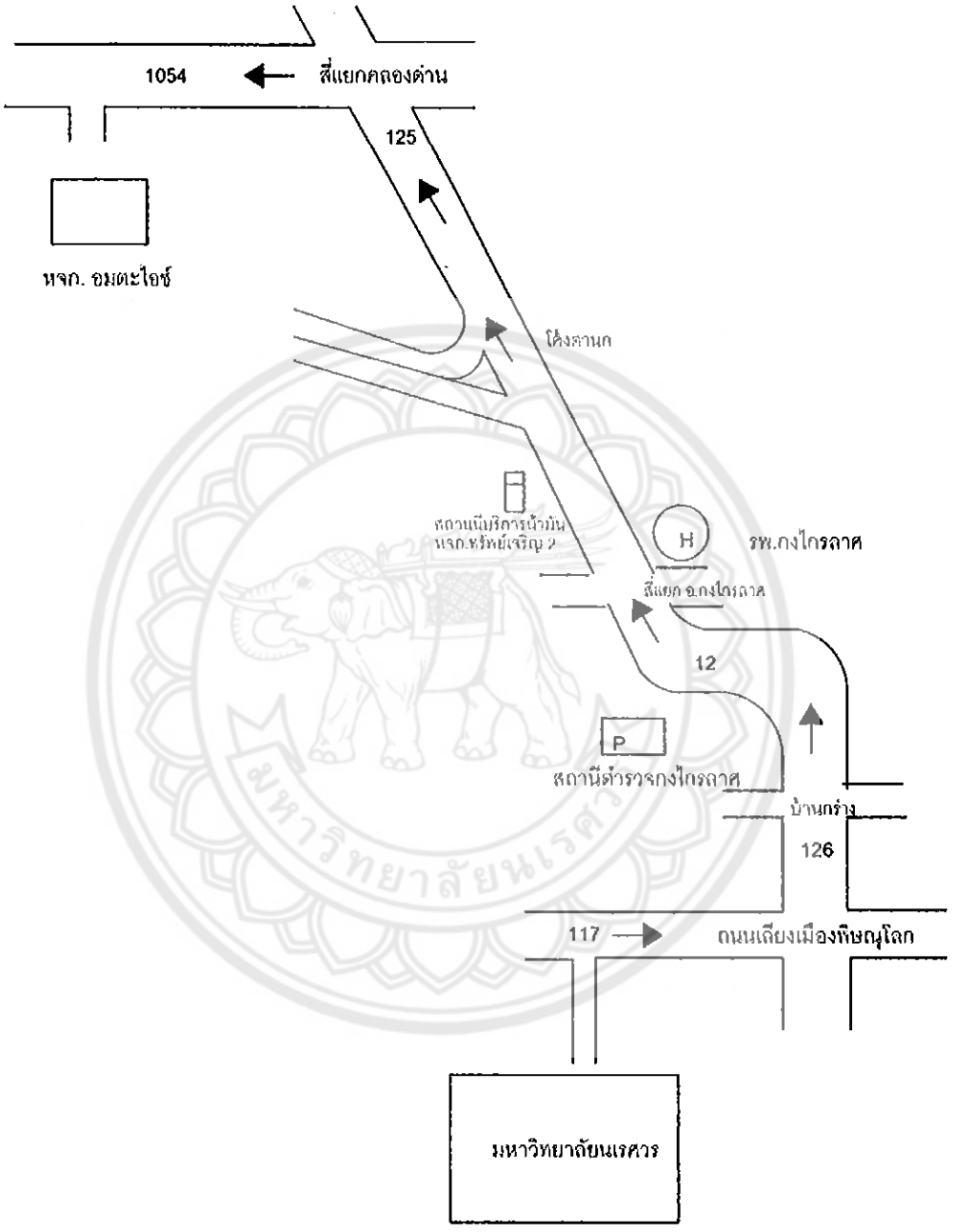
จำนวนพนักงาน : 80 คน

เวลาการผลิต : 2 - 3 กะ 05.00น.

สัดส่วนการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในประเทศ : สุโขทัย ตาก กำแพงเพชร

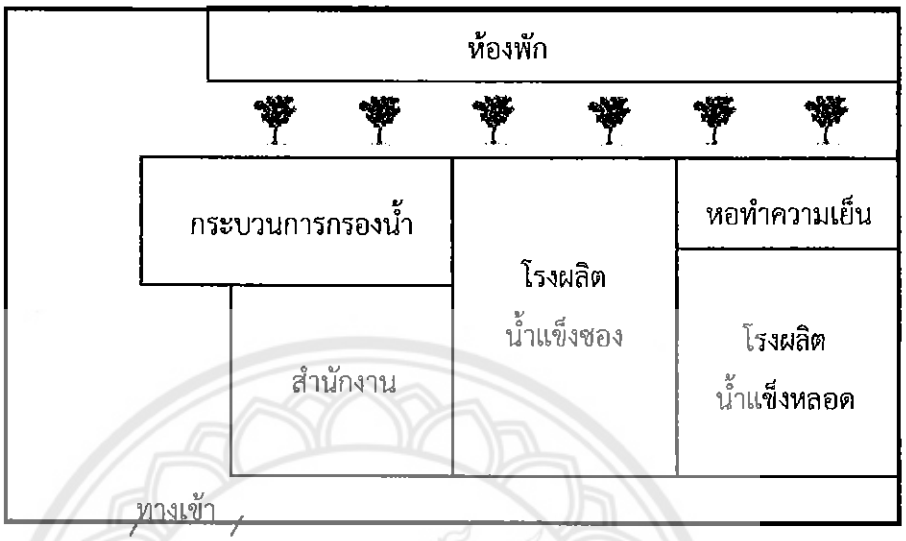
ผู้ประสานงาน : คุณสรวิศ ติยะพิษณุไพศาล

3.1.2 แผนที่แสดงที่ตั้งสถานประกอบการ



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงที่ตั้งสถานประกอบการ

3.1.3 แผนผังภายในสถานประกอบการ



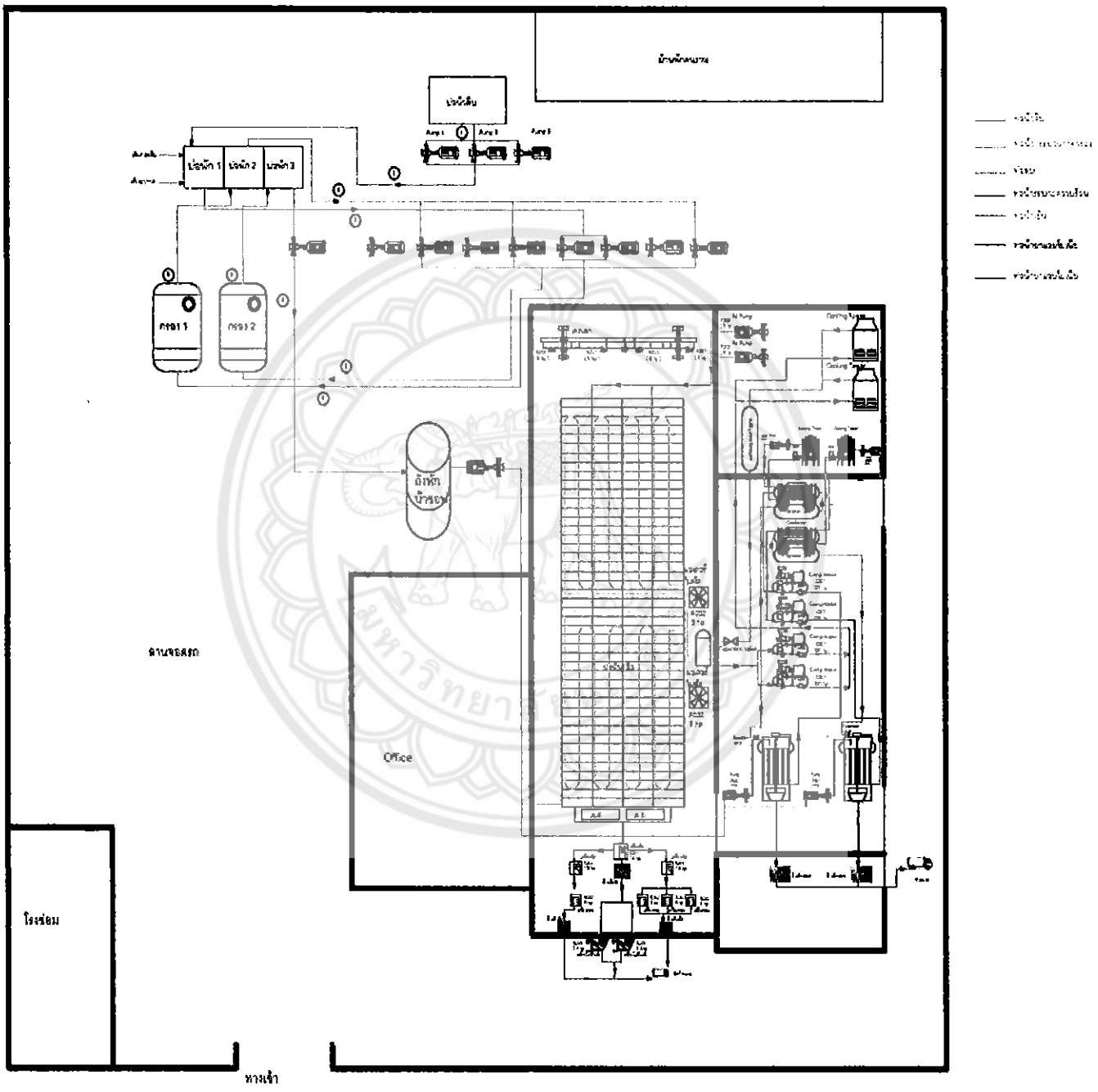
รูปที่ 3.2 แผนผังภายในสถานประกอบการ

ภายในสถานประกอบการจะแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ประกอบด้วยสำนักงาน ห้องพักคนงาน กระบวนการกรองน้ำ โรงผลิตน้ำแข็งซอง โรงผลิตน้ำแข็งหลอด และหอทำความเย็น (Cooling tower)

3.2 Plan layout (แผนผังโรงงาน)

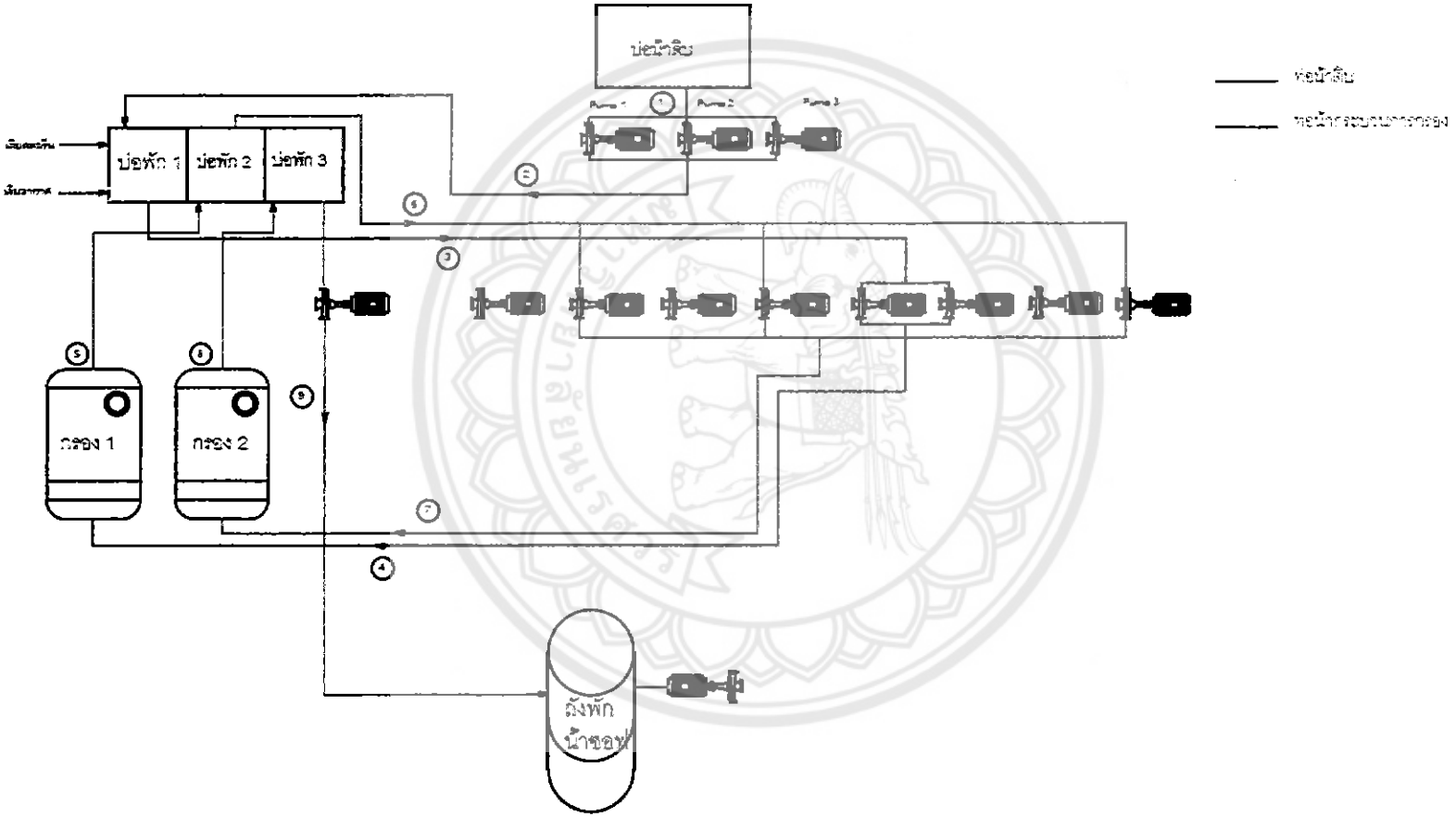
จากข้อมูลที่ได้จากการไปสำรวจในส่วนต่างๆ ของสถานประกอบการ ทำให้นำมาเขียนแผนผังภายในสถานประกอบการได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 แผนผังรวมของสถานประกอบการ



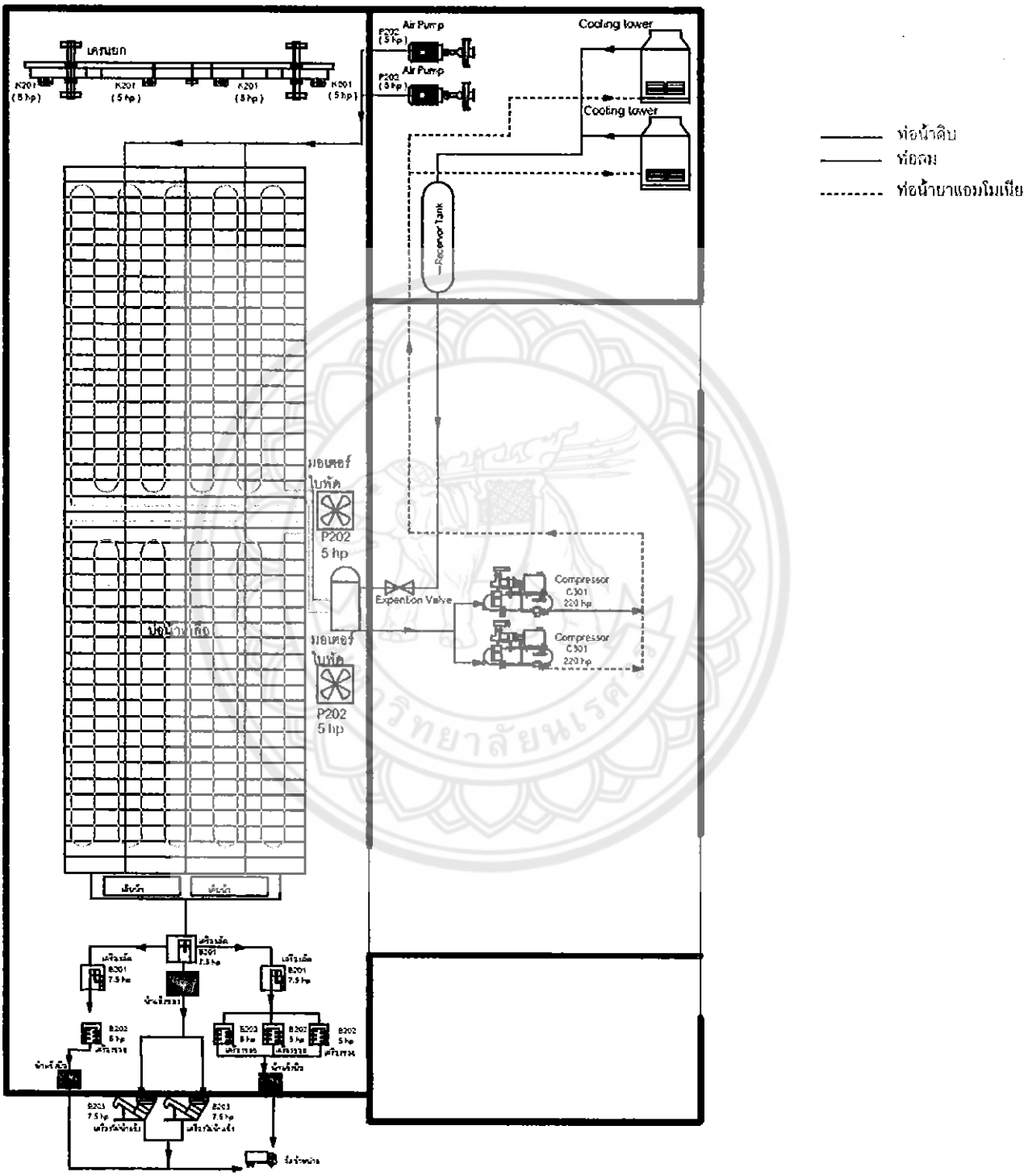
รูปที่ 3.3 แผนผังรวมของสถานประกอบการ

3.2.2 แผนผังกระบวนการกรองน้ำ



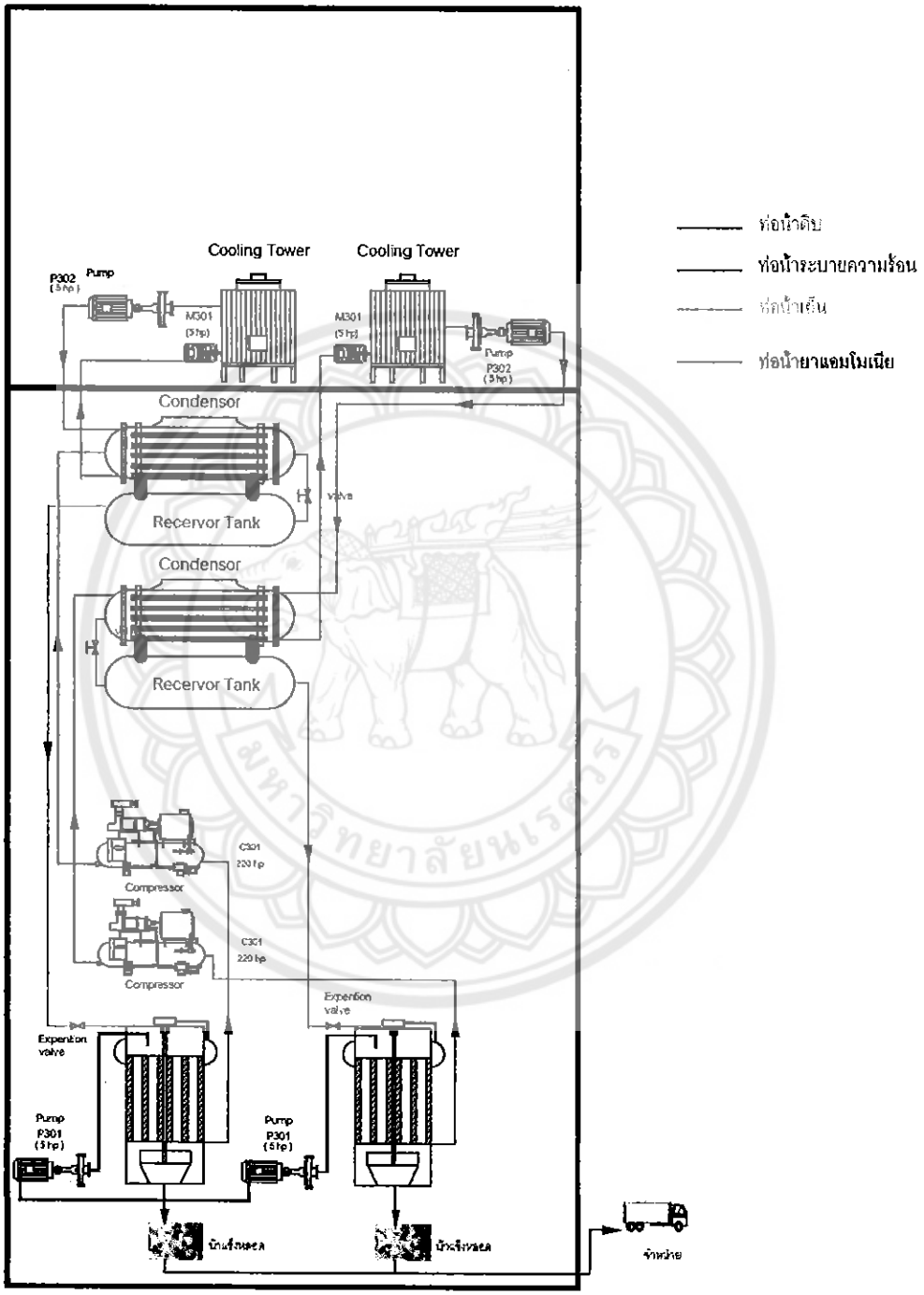
รูปที่ 3.4 แผนผังกระบวนการกรองน้ำ

3.2.3 แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งซอง



รูปที่ 3.5 แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งซอง

3.2.4 แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งหลอด



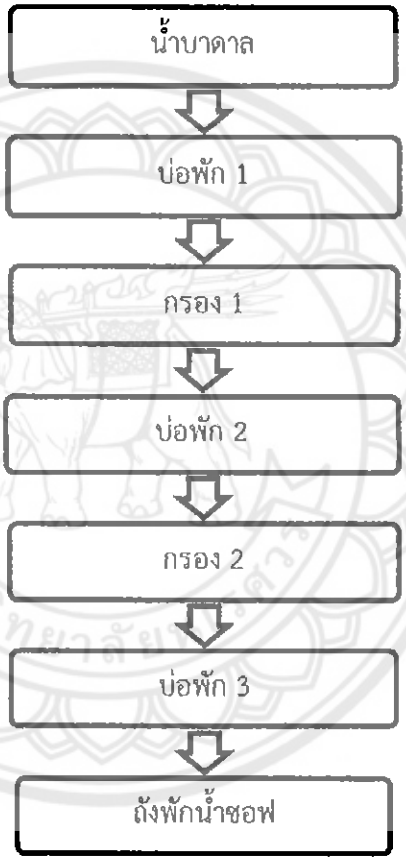
รูปที่ 3.6 แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งหลอด

3.3 กระบวนการผลิตของแต่ละส่วน

โรงงานได้แบ่งกระบวนการผลิตออกเป็นสัดส่วนย่อย ได้แก่ กระบวนการกรองน้ำ กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง และกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด ซึ่งมีรายละเอียดการผลิตดังต่อไปนี้

3.3.1 กระบวนการกรองน้ำ

กระบวนการกรองน้ำของโรงงานมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กระบวนการกรองน้ำ

กระบวนการกรองน้ำของโรงงานมีขั้นตอนดังนี้

I. โรงงานใช้น้ำบาดาลในการผลิตน้ำแข็ง โดยจะปั๊มน้ำจากบ่อน้ำดิบโดยใช้ปั๊มซับเมอร์ส เข้าสู่บ่อพักน้ำบ่อที่ 1 ซึ่งภายในบ่อพัก จะมีคลอรีนและอากาศช่วยในการฆ่าเชื้อโรค

II. น้ำบาดาลจากบ่อที่ 1 จะถูกส่งไปปรับคุณภาพน้ำโดยผ่านแท้งก์กรองน้ำ 1 ซึ่งภายในการกรองนั้นจะประกอบไปด้วยคาร์บอน แมงกานีซและหินทราย จากนั้นจะส่งไปยังบ่อพักน้ำบ่อที่ 2

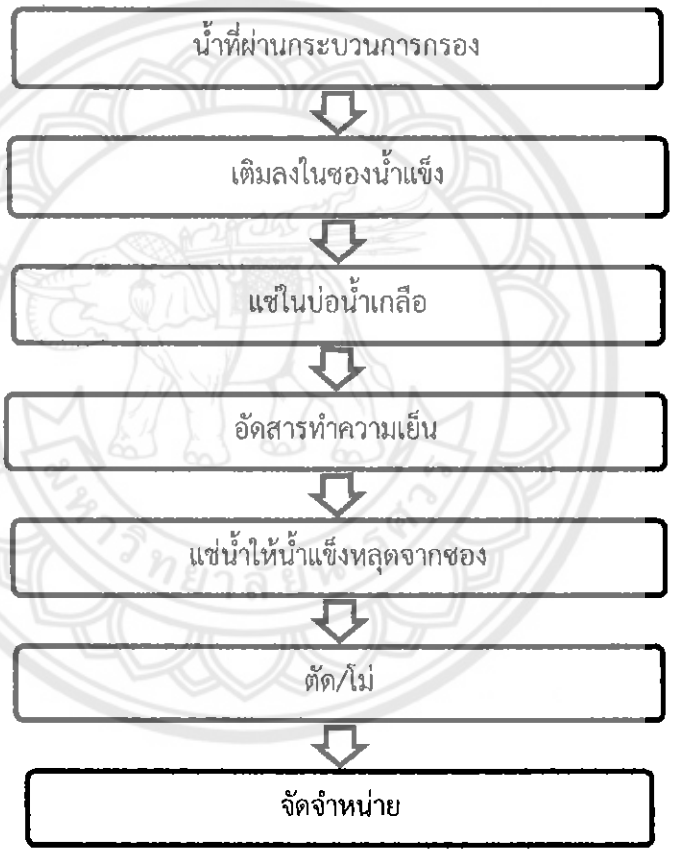
1918796
14 ก.ย. 2560
สำนักหอสมุด

III. น้ำจากบ่อที่ 2 จะถูกส่งไปปรับคุณภาพน้ำอีกครั้งโดยผ่านแท้งก์กรองน้ำ 2 เพื่อ ให้ได้น้ำที่สะอาดตามมาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด จากนั้นจะส่งไปยังบ่อพักน้ำบ่อที่ 3

IV. เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการกรอง ก็จะถูกส่งไปยังถังพักน้ำซอฟเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดและซองต่อไป

3.3.2 กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง

กระบวนการผลิตน้ำแข็งซองของโรงงานมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง

กระบวนการผลิตน้ำแข็งซองของโรงงานมีขั้นตอนดังนี้

I. นำน้ำจากถังพักน้ำซอฟเติมลงไปยังซอง ซึ่งจะนำซองไปแช่ในบ่อ

II. โรงงานใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น โดยปล่อยสารทำความเย็น ไปตามท่อที่อยู่รอบๆ ซองน้ำแข็ง แอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นของเหลวโดยเครื่องคอมเพรสเซอร์ แอมโมเนียจะทำหน้าที่ดูดความร้อนจากซองน้ำแข็งและบ่อน้ำเกลือ ทำให้น้ำในซองเย็นลงเรื่อยๆ

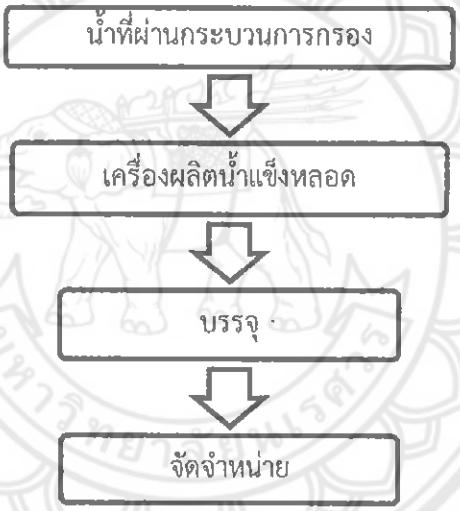
III. ในขณะที่น้ำในซองเย็นลงจะมีการเป่าอากาศลงในน้ำเพื่อไล่เศษผงต่าง ๆ เช่น เศษไม้ ฝุ่น ละออง ให้รวมกันอยู่ตรงกลางและใช้เครื่องดูดออก พร้อมกับเติมน้ำเข้าไปใหม่จนอุณหภูมิเย็นลงที่ -10 ถึง –15 องศาเซลเซียส น้ำแข็งซองที่เย็นจัดจนกลายเป็นไอ ใช้เวลาประมาณ 30 – 40 ชั่วโมง

IV. น้ำแข็งที่ได้ไปแช่ในน้ำอุณหภูมิปกติเพื่อให้น้ำแข็งหลุดออกจากซอง

V. นำเข้าเครื่องตัด จนกลายเป็นน้ำแข็งที่เราเรียกว่าน้ำแข็งก้อน จึงนำไปส่งจำหน่ายต่อไป

3.3.3 กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด

กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดของโรงงานมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด

กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดของโรงงานมีขั้นตอนดังนี้

I. นำน้ำจากถังพักน้ำซอฟ ส่งเข้าเครื่องผลิตน้ำแข็ง โดยกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดเริ่มจากการที่คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่อัดส่งน้ำยาทำความเย็น ไปยังชุดคอนเดนเซอร์ (Condenser)

II. คอนเดนเซอร์ลดอุณหภูมิลง โดยใช้มอเตอร์พัดลม/น้ำ ดึงความร้อนออกจากน้ำยาทำความเย็น น้ำยาทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์จะมีสถานะเป็นของเหลวที่มีแรงดันสูงแต่อุณหภูมิลดลง น้ำยาทำความเย็นถูกส่งไปยัง ไดเออร์(Filter drier) ซึ่งมีหน้าที่กรองสิ่งสกปรกในระบบทำความเย็น

III. หลังจากนั้นน้ำยาทำความเย็นถูกส่งไปยังตัวลดแรงดัน ก่อนเข้าชุดอีแวปปอเรเตอร์หรือชุดบล็อกทำน้ำแข็ง จะเป็นลักษณะคล้ายๆรังผึ้ง หลักการคือ น้ำจะถูกปั๊มดูดขึ้นมา จ่ายเข้าในรูแต่ละรู จากบนลงล่าง หมุนเวียนเช่นนี้เรื่อยๆ ซึ่งรอบๆ รูจะมีน้ำยาทำความเย็นหมุนเวียนเพื่อทำความเย็นให้น้ำที่ไหลอยู่ในรูเป็นน้ำแข็ง โดยขนาดความหนาของก้อนหรือความเล็กโตของรูตรงกลางนั้น ระบบสามารถปรับได้ตามต้องการ

IV. เมื่อถึงเวลาที่ได้กำหนด ระบบของเครื่องจะเข้าสู่การทำให้น้ำแข็งหล่นลงถังเก็บ โดยระบบจะใช้ก๊าซร้อนจากระบบทำความเย็น ก๊าซร้อนดังกล่าวจะไปละลายผิวของน้ำแข็งกับผิวของพิมพ์น้ำแข็ง

V. จากนั้นน้ำแข็งจะหล่นลงมาโดยน้ำหนักของมันเอง ด้านล่างจะมีใบมีด เพื่อตัดน้ำแข็งให้เป็นก้อนๆและหล่นของถังเก็บต่อไป ระบบจะทำงานเป็นวัฏจักรเช่นต่อไปเรื่อย

3.4 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการ

การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการ จะทำให้เราทราบการใช้พลังงานในแต่ละส่วนของโรงงานน้ำแข็ง โดยการใช้สูตรคำนวณการทำงานของแต่ละเครื่องจักรโดยกำหนดให้สัญลักษณ์และสูตร ดังต่อไปนี้

3.4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงานผลิตน้ำแข็ง

$$E_{TOTAL} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (3.1)$$

โดยที่ E_1 = พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการกรองน้ำ (kWh)

E_2 = พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในโรงผลิตน้ำแข็งซอง (kWh)

E_3 = พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในโรงผลิตน้ำแข็งหลอด (kWh)

E_4 = พลังงานไฟฟ้าอื่นๆ (kWh)

เมื่อ $$E = n_i \times P_i \times t_i \times LF_{1i} \times LF_{2i} \quad (3.2)$$

n_i = จำนวนของอุปกรณ์ P_i = กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (kW)

t_i = เวลาการทำงานของอุปกรณ์ (ชั่วโมง) LF_1 = เปอร์เซ็นต์เวลาทำงานของอุปกรณ์

LF_2 = เปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์

***** หมายเหตุ**

LF_1 หรือ เปอร์เซ็นต์เวลาทำงานของอุปกรณ์ คือ สัดส่วนของเวลาที่อุปกรณ์ทำงานจริงกับเวลาที่เปิดปิดอุปกรณ์

LF_2 หรือ เปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์คือ สัดส่วนของภาระกำลังไฟฟ้าขณะทำงานกับพิกัดของอุปกรณ์

3.4.2 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการกรองน้ำ

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์ในกระบวนการกรองน้ำ

รายการอุปกรณ์ในกระบวนการกรองน้ำ						
ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์	ขนาด (hp)	จำนวน	เวลาทำงาน (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง/หน้าที่	รหัส
1	ปั๊มซับเมอร์ส	5	3	24	เติมน้ำให้บ่อที่ 1	P101
2	ปั๊มน้ำ	5	1	24	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 2	P102
3	ปั๊มน้ำ	3	2	24	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 2	P103
4	ปั๊มน้ำ	3	3	24	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 3	P104
5	ปั๊มน้ำ	3	1	24	ปั๊มเติมน้ำให้ระบบระบายความร้อนของน้ำแข็งหลอด	P105

หมายเหตุ : P = ปั๊ม

สมการคำนวณการใช้พลังงาน

$$E_1 = E_{11} + E_{12} + E_{13} \quad (3.3)$$

$$E_{11} = E_{P101} \quad (3.3.1)$$

$$E_{12} = E_{P102} + E_{P103} + E_{P104} \quad (3.3.2)$$

$$E_{13} = E_{P105} \quad (3.3.3)$$

จากสมการที่ 3.3 E_1 คือพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการกรองน้ำ (kWh) หาได้จากผลรวมของพลังงานไฟฟ้าจากปั๊มทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการกรองน้ำ

3.4.3 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำแข็งซอง

ตารางที่ 3.2 รายการอุปกรณ์ในโรงผลิตน้ำแข็งซอง

รายการอุปกรณ์ในโรงผลิตน้ำแข็งซอง						
ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์	ขนาด (hp)	จำนวน	เวลาทำงาน (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง/หน้าที่	รหัส
1	ปั๊มเติมน้ำ	3	1	11	ปั๊มเติมน้ำลงซอง	P201
2	ปั๊มที่ใช้ในหอทำความเย็น	3	2	11	ปั๊มที่ใช้ในหอทำความเย็น	P202
3	ปั๊มลม	7.5	2	24	ปั๊มลม	P203
4	มอเตอร์ระบายความร้อน	5	10	11	มอเตอร์ระบายความร้อน	M201
5	มอเตอร์พัดน้ำเกลือ	5	2	11	มอเตอร์พัดน้ำเกลือ	M202
6	คอมเพรสเซอร์	220	2	11	อัดสารทำความเย็น	C201
7	เครนยก	3	2	5	มอเตอร์ขับเดินหน้า – ถอยหลัง	K201
8	เครนยก	3	2	5	มอเตอร์ขับเดินซ้าย – เดินขวา	K202
9	เครนยก	5	2	5	มอเตอร์ขับขึ้น – ลง	K203
10	เครื่องตัดน้ำแข็ง	7.5	2	5	ตัดน้ำแข็ง	B201
11	เครื่องซอยน้ำแข็ง	5	5	5	ซอยน้ำแข็ง	B202
12	เครื่องโม่น้ำแข็ง	7.5	2	5	โม่น้ำแข็ง	B203

หมายเหตุ : P = ปั๊ม, C = คอมเพรสเซอร์, M = มอเตอร์, K = เครน, B = เครื่องตัดน้ำแข็ง

สมการคำนวนการใช้พลังงาน

$$E_2 = E_{21} + E_{22} + E_{23} + E_{24} + E_{25} \quad (3.4)$$

$$E_{21} = E_{P201} + E_{P202} + E_{P203} \quad (3.4.1)$$

$$E_{22} = E_{M201} + E_{M202} \quad (3.4.2)$$

$$E_{23} = E_{C201} \quad (3.4.3)$$

$$E_{24} = E_{K201} + E_{K202} + E_{K203} \quad (3.4.4)$$

$$E_{25} = E_{B201} + E_{B202} + E_{B203} \quad (3.4.5)$$

จากสมการที่ 3.4 E_2 คือ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในโรงผลิตน้ำแข็งซอง (kWh) หาได้จากผลรวมของพลังงานไฟฟ้าของปั๊มทั้งหมดที่ใช้ในโรงผลิตน้ำแข็งซองบวกกับผลรวมของพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ระบายความร้อนและมอเตอร์พัดน้ำเกลือในโรงผลิตน้ำแข็งซองบวกกับผลรวมของพลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ในโรงผลิตน้ำแข็งซองบวกกับผลรวมของพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ที่เครนยกในโรงผลิตน้ำแข็งซองบวกกับผลรวมของพลังงานไฟฟ้าของเครื่องตัดน้ำแข็ง เครื่องซอยน้ำแข็งและเครื่องโม่น้ำแข็งในโรงผลิตน้ำแข็งซอง

3.4.4 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำแข็งหลอด

ตารางที่ 3.3 รายการอุปกรณ์ในโรงผลิตน้ำแข็งหลอด

รายการอุปกรณ์ในโรงผลิตน้ำแข็งหลอด						
ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์	ขนาด (hp)	จำนวน	เวลาทำงาน (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง/หน้าที่	รหัส
1	ปั๊มเติมน้ำ	5	1	11	ปั๊มเติมน้ำผลิตน้ำแข็งหลอด	P301
2	ปั๊มที่ใช้ในหอทำความเย็น	5	1	11	ปั๊มที่ใช้ในหอทำความเย็น	P302
3	คอมเพรสเซอร์	220	1	11	อัดสารทำความเย็น	C301
4	มอเตอร์ในหอทำความเย็น	5	1	11	มอเตอร์ในหอทำความเย็น	M301
5	มอเตอร์สกรูน้ำแข็ง	1.5	2	11	มอเตอร์สกรูน้ำแข็ง	M302

หมายเหตุ : P = ปั๊ม, C = คอมเพรสเซอร์, M = มอเตอร์

สมการคำนวนการใช้พลังงาน

$$E_3 = E_{31} + E_{32} + E_{33} \quad (3.5)$$

$$E_{31} = E_{C301} \quad (3.5.1)$$

$$E_{32} = E_{P301} + E_{P302} \quad (3.5.2)$$

$$E_{33} = E_{M301} + E_{M302} \quad (3.5.3)$$

จากสมการที่ 3.5 E_3 คือ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในโรงผลิตน้ำแข็งหลอด (kWh) หาได้จากผลรวมของพลังงานไฟฟ้าของเครื่องคอมเพรสเซอร์ในโรงผลิตน้ำแข็งหลอดบวกกับผลรวมของพลังงานไฟฟ้าของปั๊มในโรงผลิตน้ำแข็งหลอดบวกกับผลรวมของพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ในโรงผลิตน้ำแข็งหลอด

3.4.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าอื่นๆ

$$E_{4T} = E_{LIGHT} + E_{OFFICE} + E_{ROOM} \quad (3.6)$$

โดยที่ E_{LIGHT} คือ พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง

E_{OFFICE} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในสำนักงาน

E_{ROOM} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในห้องพัก

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลการใช้พลังงานโรงงานน้ำแข็งโดยรวม (ค่าไฟฟ้าที่ถูกเรียกเก็บในแต่ละเดือน) มาทำการวิเคราะห์โดยอ้างอิงถึงส่วนประกอบการใช้พลังงานไฟฟ้าตามสมการที่ (3.1) โดยพลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงานเป็นผลรวมของ (1) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการกรองน้ำ (2) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง (3) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด และ (4) พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ จากการสำรวจการใช้งานของรายอุปกรณ์ในแต่ละส่วนของการผลิต ทั้งเวลาในการใช้งานเครื่องจักร กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของแต่ละอุปกรณ์ จะใช้เป็นตัวแปลของเครื่องมือทางคณิตศาสตร์(Excel Solver Function) ที่ใช้ในการหาค่าองค์ประกอบการใช้พลังงานในรายอุปกรณ์ของแต่ละส่วนผลิตได้ โดยอ้างอิงตามสมการที่ (3.2) อันได้แก่ เปอร์เซ็นต์เวลาการทำงานของอุปกรณ์ (LF1) และเปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ (LF2) โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้จะนำเสนอในรูปแบบของตารางการคำนวณและกราฟในแต่ละส่วนการผลิต ซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการตระหนักถึงปริมาณของค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น เครื่องคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าสูงการอุปกรณ์อื่นๆถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ ซึ่งคณะผู้จัดทำจะได้นำเสนอแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในท้ายรายงานฉบับนี้

โดยแสดงการคำนวณจากข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ที่ได้จากการสำรวจและคำนวณหาค่าตัวแปรที่จะทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละส่วนรวมกันได้เท่ากับพลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงาน โดยที่พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการกรองน้ำ ก็จะเท่ากับการใช้พลังงานของปั๊มทั้งหมดในกระบวนการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง เท่ากับการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ ทั้งหมด เช่น ปั๊มน้ำต่างๆ มอเตอร์ คอมเพรสเซอร์ เครนยก และเครื่องตัดน้ำแข็ง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด เท่ากับการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั้งหมดเช่นเดียวกับน้ำแข็งซอง และพลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ เช่น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบแสงสว่าง สำนักงานและห้องพัก จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลที่คำนวณเพื่อที่จะเสนอแนวทางการอนุรักษ์พลังงานให้กับโรงงานต่อไป

4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการ

โรงงานน้ำแข็งใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักในการผลิต ซึ่งอัตราการใช้ไฟฟ้าเป็นแบบ TOU (Time of use) ประเภท 3224 หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า 9812020020458475 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.)

ค่าไฟฟ้าปัจจุบัน ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังแสดงในตารางที่4.1

ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร + ภาษีมูลค่าเพิ่ม + ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

I. **ค่าไฟฟ้าฐาน** คือ ค่าใช้จ่ายในช่วงความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (บาท) รวมกับ พลังงานไฟฟ้ารวม (kWh)

II. **ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)** คือ ค่าไฟฟ้าที่ปรับเปลี่ยนตามต้นทุนการผลิตของโรงไฟฟ้า เนื่องจากปัจจัยที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของการไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน ทั้งนี้ค่าไฟฟ้าผันแปรจะแสดงในช่อง Ft ส่วนเพิ่ม/ส่วนลด ในใบเสร็จค่าไฟฟ้าหรือใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

III. **ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์** (PF.) หรือค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า คือ ค่าตัวเลขอัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (P) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt:W) หารด้วยค่ากำลังงานที่ปรากฏ(S) ซึ่งมีหน่วยเป็นโวลท์-แอมป์ (VA) โดยมีหน่วยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์หรือร้อย โดยทางการไฟฟ้าเองก็มีนโยบายหรือต้องการให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีค่าตัวประกอบกำลัง เพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF.) > 0.85 เพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพของการใช้งานระบบส่งจ่ายอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ หากโรงงานมีค่าตัวประกอบกำลังน้อยกว่า 0.85 ก็จะเสียค่าปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF.) นี้

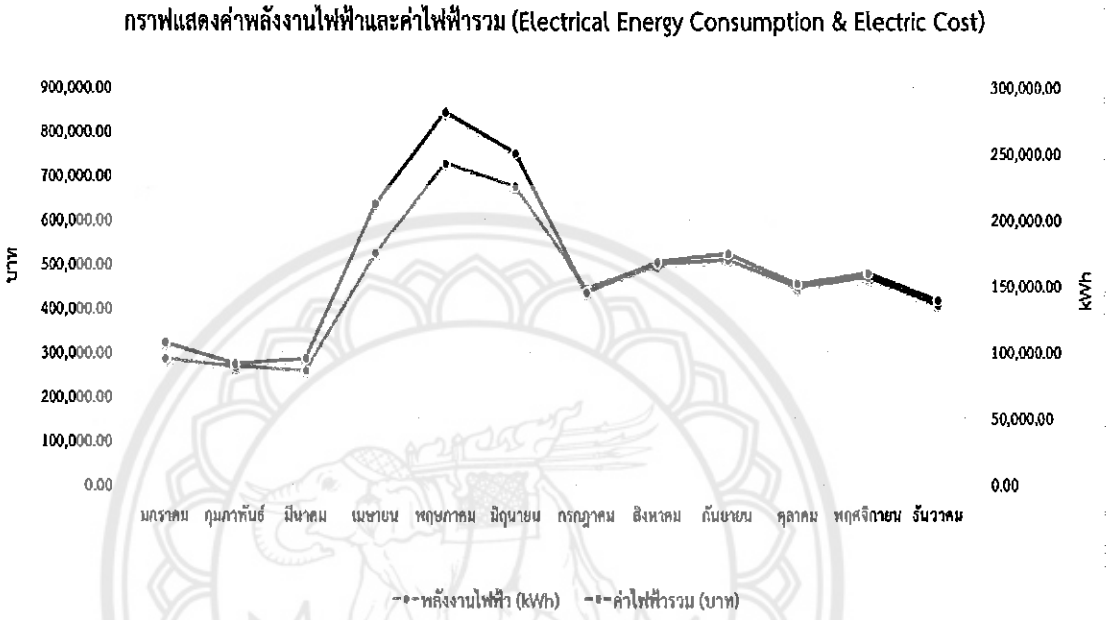
IV. **ภาษีมูลค่าเพิ่ม** คิดเป็นร้อยละ 7 ของค่าไฟฟ้าฐานรวมกับค่าไฟฟ้าผันแปร

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการในปี 2559

มกราคม	278.40	366.00	368.40	37,007.71	7,764	49,248	38,088	95,100.00	299,654.07	4,429.53	-3,071.73	21,070.83	322,082.70
กุมภาพันธ์	207.60	369.60	369.60	17,227.73	2,880	43,788	42,348	89,016.00	256,158.52	4,373.46	-4,272.77	17,938.14	274,197.35
มีนาคม	230.40	360.00	360.00	30,627.07	5,268	47,112	33,792	86,172.00	265,853.08	4,709.88	-4,136.26	18,649.87	285,076.57
เมษายน	456.00	432.00	470.40	60,616.08	51,948	69,480	53,436	174,864.00	602,821.43	-	-8,393.47	41,609.96	636,037.92
พฤษภาคม	456.00	470.40	585.60	60,616.08	63,480	65,448	113,676	242,604.00	799,166.64	-	-11,644.99	55,126.52	842,648.17
มิถุนายน	561.60	609.60	465.60	74,653.49	68,880	69,624	86,244	224,748.00	774,704.78	1,401.75	-74,818.61	49,095.75	750,383.67
กรกฎาคม	283.20	451.20	460.80	37,645.78	16,308	78,672	53,172	148,152.00	453,293.60	3,364.20	-49,319.80	28,513.66	435,851.66
สิงหาคม	384.00	465.60	465.60	51,045.12	21,648	66,756	78,456	166,860.00	524,323.89	2,411.01	-55,547.69	32,983.10	504,170.31
กันยายน	369.60	379.20	571.20	49,130.93	31,716	75,432	62,412	169,560.00	545,418.82	-	-56,446.52	34,228.06	523,200.36
ตุลาคม	340.80	465.60	456.00	45,302.54	20,100	75,036	54,180	149,316.00	470,003.22	4,541.67	-49,707.30	29,738.63	454,576.22
พฤศจิกายน	355.20	369.60	504.00	45,693.36	26,232	67,908	62,376	156,516.00	499,016.23	-	-52,104.18	31,283.84	478,195.89
ธันวาคม	321.60	364.80	369.60	42,750.29	20,676	69,708	45,012	135,396.00	431,758.53	3,027.78	-45,073.33	27,279.91	416,992.89
เฉลี่ย	**360.55**	**430.69**	**461.67**	**46,846.22**	**29,921.45**	**66,269.45**	**62,282.18**	**158,473.09**	**511,138.07**	**3,404.25**	**-37,405.90**	**33,313.40**	**509,211.91**
รวม	**-**	**-**	**-**	**498,080.74**	**329,136**	**728,964**	**685,104**	**1,743,204**	**5,622,518.74**	**23,829.75**	**-411,464.92**	**366,447.44**	**5,601,331.01**

จากตาราง 4.1 จะเห็นว่าโรงงานผลิตน้ำแข็งใช้ค่าไฟฟ้ารวม 5,601,331.01 บาท/ปี ค่าพลังงานรวม 1,743,204 kWh คิดเป็นค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.21 บาท/kWh ค่าใช้จ่ายในช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด 498,080.74 บาท/ปี คิดเป็นร้อยละ 8.89 ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้ารวม 5,622,518.74 บาท/ปี คิดเป็นร้อยละ 100.38 ค่าไฟฟ้าแปรผัน (FT) -411,464.92 บาท/ปี คิดเป็นร้อยละ -7.35 ซึ่ง ค่า Ft มีทั้งค่าเป็น + และ – เปลี่ยนแปลงตามต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง ในแต่ละช่วงเวลาจากปัจจัยค่าเชื้อเพลิงและค่าซื้อไฟฟ้าที่ปรับตัวลดลงตามราคาน้ำมันในตลาดโลก ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 366,447.44 บาท/ปี คิดเป็นร้อยละ 6.54 จากค่าดังกล่าวจะเห็นว่าพลังงานเป็นค่าใช้จ่ายหลัก ดังนั้นโรงงานน้ำแข็งจึงควรวางแผนงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

นำค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) และค่าไฟฟ้ารวม (บาท) จากตารางที่ 4.1 มาสร้างกราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เห็นค่าความแตกต่างในแต่ละเดือนชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้ารวมปี 2559

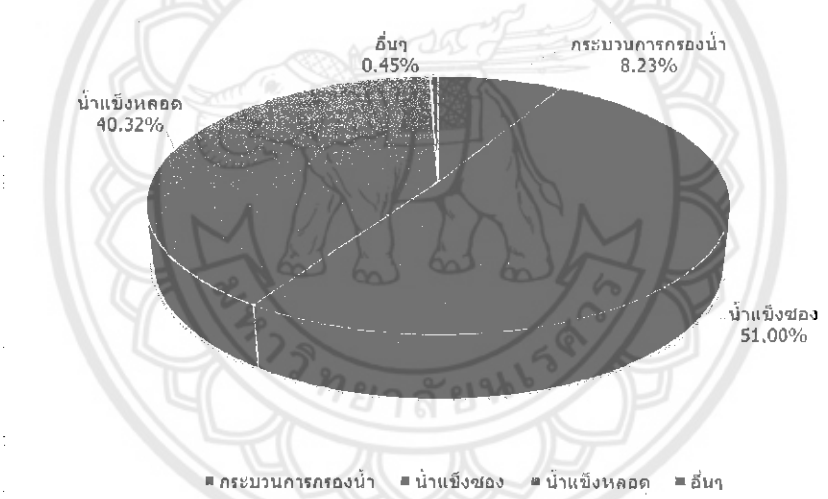
จากกราฟจะเห็นว่า ในปี 2559 ช่วงเวลาที่โรงงานที่โรงงานใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือช่วงฤดูร้อนหรือช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน ที่ช่วงนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงเป็นเพราะการผลิตสูงขึ้นตามฤดูกาลและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเดือนพฤษภาคมจะใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดถึง 242,604 kWh คิดเป็นจำนวนเงิน 799,166.64 บาท

4.2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน

การวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน ได้จากการคำนวณในแต่ละกระบวนการผลิต ซึ่งได้จากการประเมินการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เป็นตัวอย่างการคำนวณโดยเลือกเดือนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากรูป 4.1 คือ เดือนพฤษภาคม เนื่องจากสามารถกำหนดค่าโหลดแฟกเตอร์ LF_1 ใกล้เคียงกับ 1 ได้ เพราะมีการทำงานตลอดเวลาการเปิด-ปิดเครื่อง และ LF_2 ใกล้เคียงกับ 1 เช่นกัน เพราะมีกำลังการผลิตสูง ดังแสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานในเดือนพฤษภาคม ปี 2559

ลำดับ	ระบบ	พลังงานไฟฟ้า		หมายเหตุ
		(kWh/เดือน)	สัดส่วน (ร้อยละ)	
1	กระบวนการกรองน้ำ	19,971.03	8.23	ตาราง 4.3
2	การผลิตน้ำแข็งซอง	123,722.07	51.00	ตาราง 4.4
3	การผลิตน้ำแข็งหลอด	97,807.93	40.32	ตาราง 4.5
4	อื่นๆ	1,102.96	0.45	ตาราง 4.6
	รวม	242,604	100	



รูปที่ 4.2 สัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานในเดือนพฤษภาคม ปี 2559

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 เป็นตัวอย่างการคำนวณและสัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้า จะเห็นว่ากระบวนการผลิตน้ำแข็งซองใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดถึง 123,722.07 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 51.00 รองลงมากระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดใช้พลังงานไฟฟ้า 97,807.93 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 40.32 กระบวนการกรองน้ำใช้พลังงานไฟฟ้า 19,971.03 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 8.23 และสุดท้ายอื่นๆ ใช้พลังงานไฟฟ้า 1,102.96 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 0.45 จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานน้ำแข็งว่าในส่วนใดมีการใช้พลังงานสูงสุดและดำเนินการคิดมาตรการการประหยัดพลังงานในส่วนนั้น

4.2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการกรองน้ำ

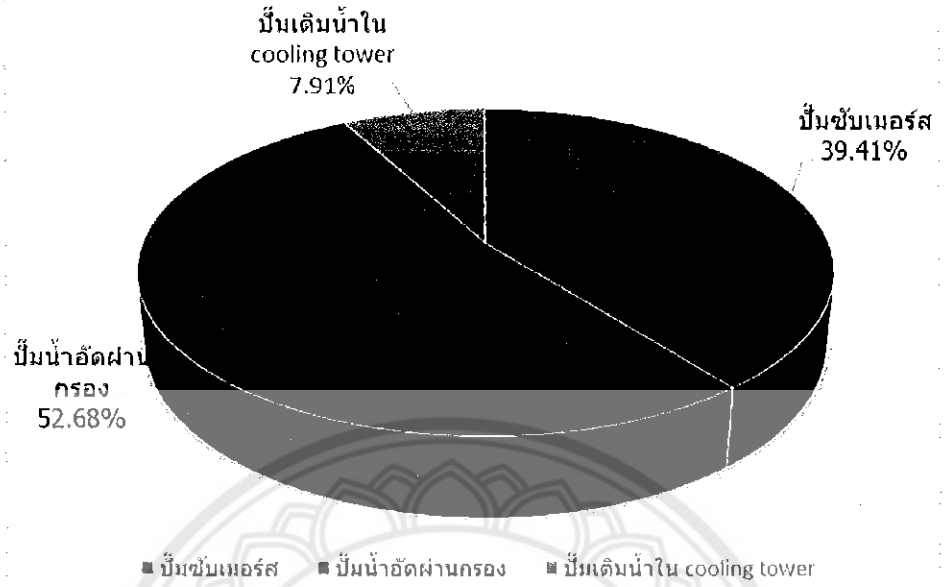
ในกระบวนการกรองน้ำ ประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละอุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานดังตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางคำนวณการใช้พลังงานของกระบวนการกรองน้ำในเดือนพฤษภาคม ปี 2559

1	ปั๊มซับเมอร์ส	5	3	24.00	เติมน้ำให้บ่อที่ 1	P101	0.99999	0.94532	253.87	7,869.99
2	ปั๊ม	5	1	24.00	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 2	P102	1.00000	0.94844	84.90	2,632.02
3	ปั๊ม	3	2	24.00	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 2	P103	0.99999	0.94813	101.85	3,157.38
4	ปั๊ม	3	3	24.00	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 3	P104	0.99999	0.94719	152.63	4,731.38
5	ปั๊ม	3	1	24.00	ปั๊มเติมน้ำให้ระบบระบายความร้อนของน้ำแข็งหลอด	P105	1.00000	0.94906	50.98	1,580.25
					E1					19,971.03

ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/วัน) = ขนาดกำลังไฟฟ้า(kW) × จำนวนอุปกรณ์ × ชั่วโมงทำงาน × Load Factor1 × Load Factor2

ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/เดือน) = ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW/วัน) × (วัน/เดือน)



รูปที่ 4.3 สัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการกรองน้ำ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ากระบวนการกรองน้ำใช้พลังงานทั้งหมด 19,971.03 kWh/เดือน ส่วนที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในกระบวนการกรองน้ำคือปั๊มน้ำอัดผ่านกรอง ใช้พลังงานไฟฟ้า 10,520.78 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ52.68 รองลงมาคือปั๊มซับเมอร์สใช้พลังงานไฟฟ้า 7869.99 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 39.41 และสุดท้ายปั๊มเติมน้ำใน cooling tower ใช้พลังงานไฟฟ้า 1580.25 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 7.91 จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปวิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการการกรองน้ำว่าในส่วนใดมีการใช้พลังงานสูงสุด และดำเนินการคิดมาตรการการประหยัดพลังงานในส่วนนั้น

4.2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิตน้ำแข็งซอง

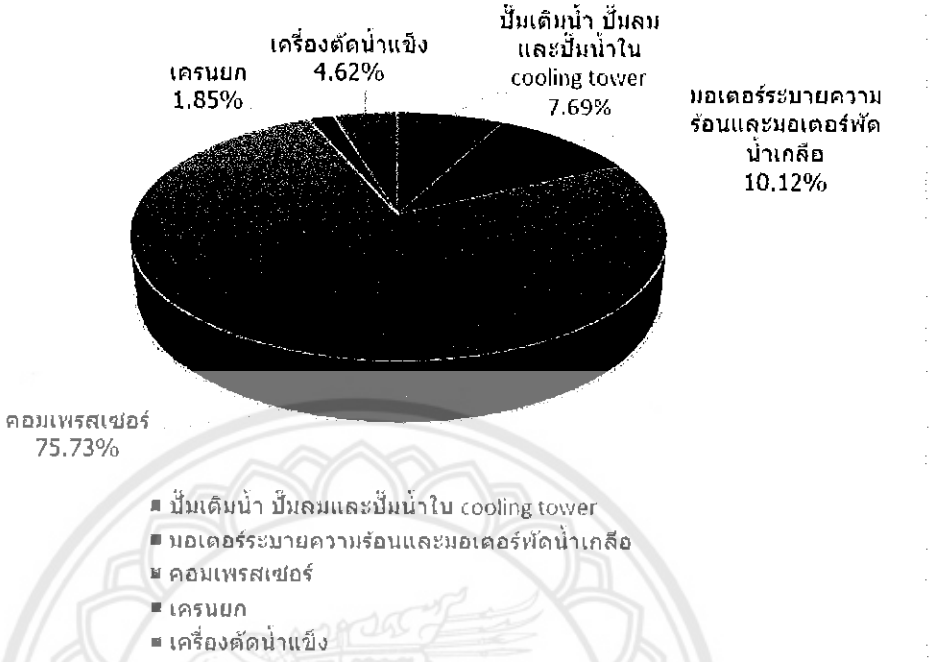
ในกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง ประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละอุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานดังตาราง 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางคำนวณการใช้พลังงานของโรงผลิตน้ำแข็งซองในเดือนพฤษภาคม ปี 2559

1	ปั๊ม	3	1	11.00	ปั๊มเติมน้ำลงซอง	P201	1.00000	0.89957	22.15	686.51
2	ปั๊ม	3	2	11.00	ปั๊มที่ใช้ใน Cooling Tower	P202	1.00000	0.89914	44.27	1,372.37
3	ปั๊ม	7.5	2	24.00	ปั๊มลม	P203	1.00000	0.89532	240.45	7,453.82
4	มอเตอร์	5	9	11.00	มอเตอร์ระบายความร้อน	M201	1.00000	0.89356	329.96	10,228.89
5	มอเตอร์	5	2	11.00	มอเตอร์พัดน้ำเกลือ	M202	1.00000	0.89857	73.74	2,285.83
6	คอมเพรสเซอร์	220	2	11.00	อัดสารทำความเย็น	C201	1.00000	0.83705	3,022.29	93,690.89
7	เครนยก	3	2	5.00	มอเตอร์ขับเดินหน้า – ถอยหลัง	K201	1.00000	0.89961	20.13	624.13
8	เครนยก	3	2	5.00	มอเตอร์ขับเดินซ้าย – เดินขวา	K202	1.00000	0.89961	20.13	624.13
9	เครนยก	5	2	5.00	มอเตอร์ขับขึ้น – ลง	K203	1.00000	0.89935	33.55	1,039.92
10	เครื่องตัดน้ำแข็ง	7.5	2	5.00	ตัดน้ำแข็ง	B201	1.00000	0.89902	50.30	1,559.31
11	เครื่องซอยน้ำแข็ง	5	5	5.00	ซอยน้ำแข็ง	B202	1.00000	0.89837	83.77	2,596.96
12	เครื่องโม่น้ำแข็ง	7.5	2	5.00	โม่น้ำแข็ง	B203	1.00000	0.89902	50.30	1,559.31
						E2				123,722.07

ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/วัน) = ขนาดกำลังไฟฟ้า(kW) × จำนวนอุปกรณ์ × ชั่วโมงทำงาน × Load Factor1 × Load Factor2

ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/เดือน) = ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW/วัน) × (วัน/เดือน)



รูปที่ 4.4 สัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำแข็งซองในเดือนพฤษภาคม ปี 2559

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าในโรงผลิตน้ำแข็งซองใช้ไฟฟ้ารวม 123,722.07 kWh/เดือน อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองคือคอมเพรสเซอร์ ใช้พลังงานไฟฟ้า 93,690.89 kWh/เดือน หรือร้อยละ 75.73 รองลงมาคือมอเตอร์ระบายความร้อนและมอเตอร์พัดน้ำเกลือ ใช้พลังงานไฟฟ้า 12,514.72 kWh/เดือน หรือร้อยละ 10.12 ปั๊มเติมน้ำ ปั๊มลมและปั๊มน้ำใน cooling tower ใช้พลังงานไฟฟ้า 9,512.70 kWh/เดือน หรือร้อยละ 7.69 เครื่องตัดน้ำแข็ง ใช้พลังงานไฟฟ้า 5,715.58 kWh/เดือน หรือร้อยละ 4.62 และสุดท้ายเครนยก ใช้พลังงานไฟฟ้า 2,288.18 kWh/เดือน หรือร้อยละ 1.85 จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปวิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองว่าในส่วนใดมีการใช้พลังงานสูงสุด และดำเนินการคิดมาตรการการประหยัดพลังงานในส่วนนั้น

4.2.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิตน้ำแข็งหลอด

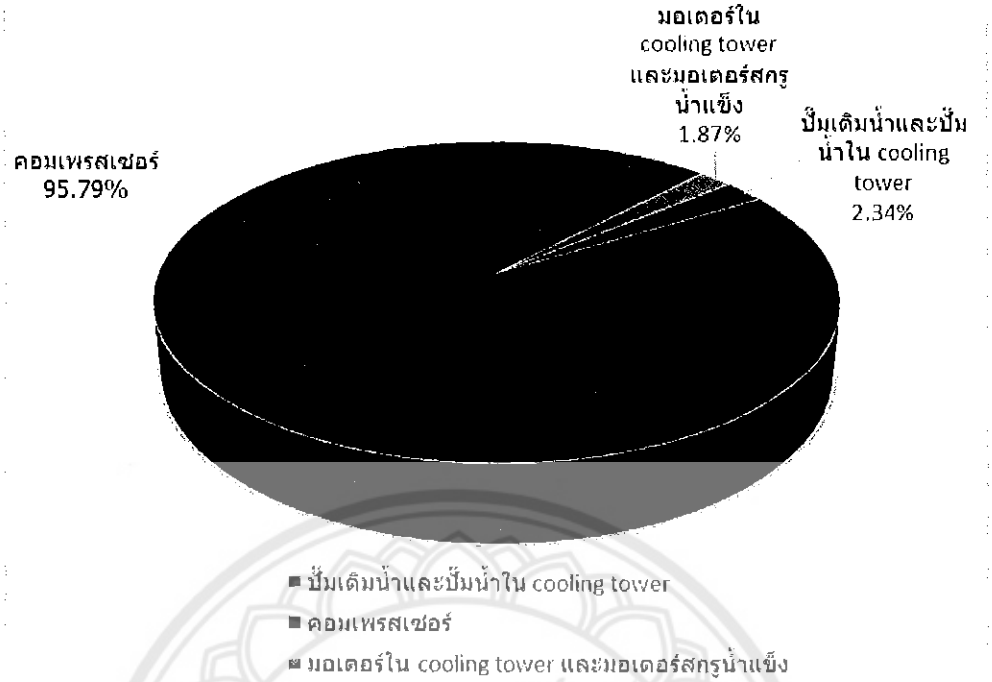
ในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด ประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละอุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานดังตาราง 4.5

ตารางที่ 4.5 ตารางคำนวณการใช้พลังงานของโรงผลิตน้ำแข็งหลอดในเดือนพฤษภาคม ปี 2559

ลำดับ	ประเภท	ขนาด	จำนวน	ชั่วโมง	รายการ	รหัส	Load Factor	Load Factor	ค่าพลังงาน	ค่าพลังงาน
1	ปั๊ม	5	1	11	ปั๊มเติมน้ำผลิตน้ำแข็งหลอด	P301	1.00000	0.89928	36.90	1,143.82
2	ปั๊ม	5	1	11	ปั๊มที่ใช้ใน Cooling Tower	P302	1.00000	0.89928	36.90	1,143.82
3	คอมเพรสเซอร์	220	2	11	อัดสารทำความเย็น	C301	1.00000	0.83704	3,022.26	93,689.95
4	มอเตอร์	5	1	11	มอเตอร์ใน Cooling Tower	M301	1.00000	0.89928	36.90	1,143.82
5	มอเตอร์	1.5	2	11	มอเตอร์สกรูน้ำแข็ง	M302	1.00000	0.89957	22.15	686.51
					E3					97,807.93

ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/วัน) = ขนาดกำลังไฟฟ้า(kW) × จำนวนอุปกรณ์ × ชั่วโมงทำงาน × Load Factor1 × Load Factor2

ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/เดือน) = ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW/วัน) × (วัน/เดือน)



รูปที่ 4.5 สัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงผลิตน้ำแข็งหลอด

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าในโรงผลิตน้ำแข็งหลอดใช้ไฟฟ้า 97,807.93 kWh/เดือน อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองคือคอมเพรสเซอร์ ใช้พลังงานไฟฟ้าถึง 93,689.95 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 95.79 รองลงมาคือปั๊มเติมน้ำและปั๊มน้ำใน cooling tower ใช้พลังงานไฟฟ้า 2,287.64 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 2.34 และสุดท้ายมอเตอร์ใน cooling tower และมอเตอร์สกรูน้ำแข็ง ใช้พลังงานไฟฟ้า 1,830.33 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ1.87 จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปวิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดว่าในส่วนใดมีการใช้พลังงานสูงสุด และดำเนินการคิดมาตรการการประหยัดพลังงานในส่วนนั้น

4.2.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ

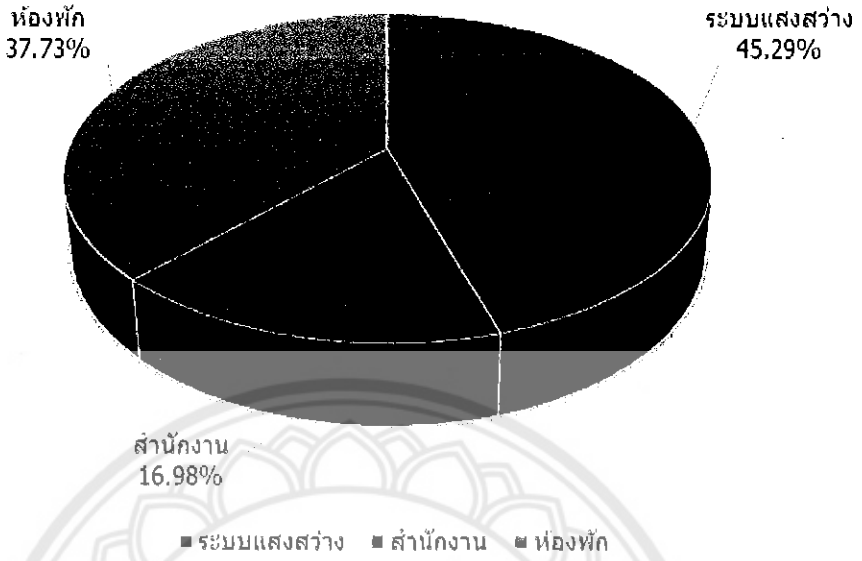
ในระบบอื่นๆ ประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละส่วนเพื่อวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานดังตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางคำนวณการใช้พลังงานของระบบอื่นๆในเดือนพฤษภาคม ปี 2559

1	ระบบแสงสว่าง	0.018	50	24	ให้แสงสว่างแก่โรงงาน	P301	1.00000	1.00000	16.114	499.52
2	สำนักงาน	1	1	10	สำนักงาน	C301	0.90000	0.89988	6.042	187.30
3	ห้องพัก	1	1	24	ห้องพักสำหรับคนงาน	M301	0.83333	0.89974	13.424	416.15
					E4					1,102.96

ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/วัน) = ขนาดกำลังไฟฟ้า(kW) × จำนวนอุปกรณ์ × ชั่วโมงทำงาน × Load Factor1 × Load Factor2

ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/เดือน) = ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW/วัน) × (วัน/เดือน)

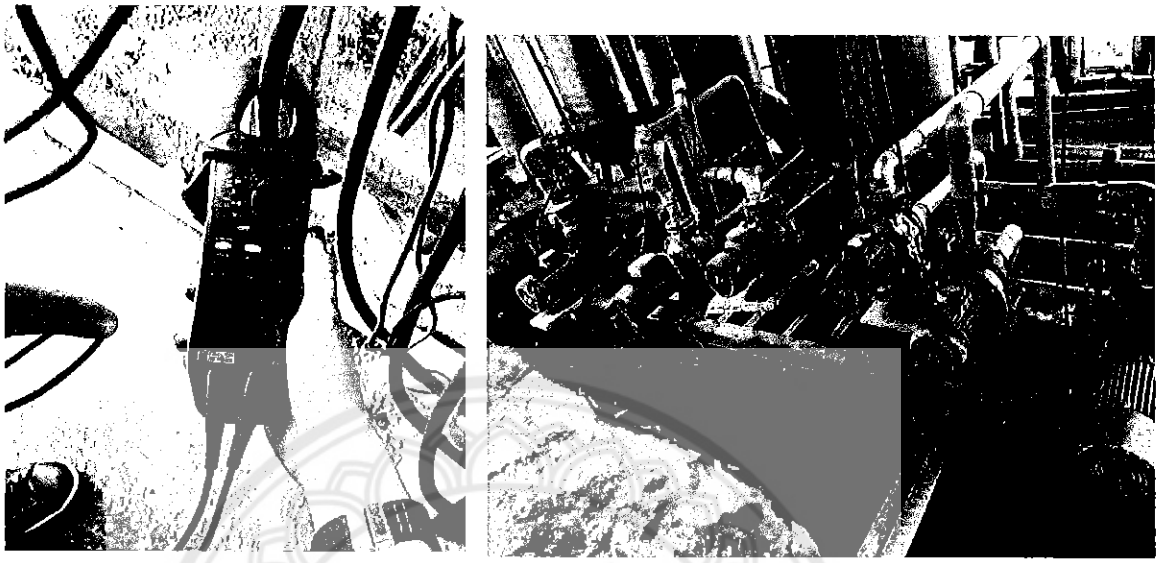


รูปที่ 4.6 สัดส่วนร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าในระบบอื่นๆใช้ไฟฟ้า 1,102.97 kWh/เดือน ส่วนที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือระบบแสงสว่าง ใช้พลังงานไฟฟ้าถึง 499.52 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 45.29 รองลงมาคือห้องพัก ใช้พลังงานไฟฟ้า 416.15 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 37.73 และสุดท้าย สำนักงาน ใช้พลังงานไฟฟ้า 187.30 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ16.98 จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบอื่นๆว่าในส่วนใดมีการใช้พลังงานสูงสุด และดำเนินการคิดมาตรการการประหยัดพลังงานในส่วนนั้น

4.3 ตัวอย่างการตรวจวัดค่าพลังงาน

ในการตรวจวัดค่าพลังงานโดยใช้เครื่องวัดค่ากำลังไฟฟ้า (Power meter) ของระบบปั๊มในกระบวนการการกรองน้ำ และนำค่าที่วัดได้จริงมาเทียบกับตารางที่ 4.6 คำนวณได้ เพื่อพิสูจน์สมการในการประเมินและแสดงให้เห็นว่าข้อมูลในตารางมีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 4.7 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากกระบวนการกรองน้ำ

ตารางที่ 4.7 ตารางคำนวณการใช้พลังงานของกระบวนการกรองน้ำเทียบกับค่าที่วัดได้จริงโดยแบบจำลอง

ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์	ขนาด (hp)	จำนวน	เวลาทำงาน (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง/หน้าที่	รหัส	LF1	LF2	E(kw)
1	ปั๊มซับเมอร์ส	5	3	24	เติมน้ำให้บ่อที่ 1	P101	0.796	0.190	1.69
2	ปั๊ม	5	1	24	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 2	P102	0.000	0.950	0.00
3	ปั๊ม	3	2	24	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 2	P103	0.847	0.567	2.15
4	ปั๊ม	3	3	24	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 3	P104	0.793	0.475	2.53
5	ปั๊ม	3	1	24	ปั๊มเติมน้ำให้ระบบระบายความร้อนของน้ำแข็งหลอด	P105	0.916	0.669	1.37
					E1T (พลังงานไฟฟ้ารวม)				**7.74**

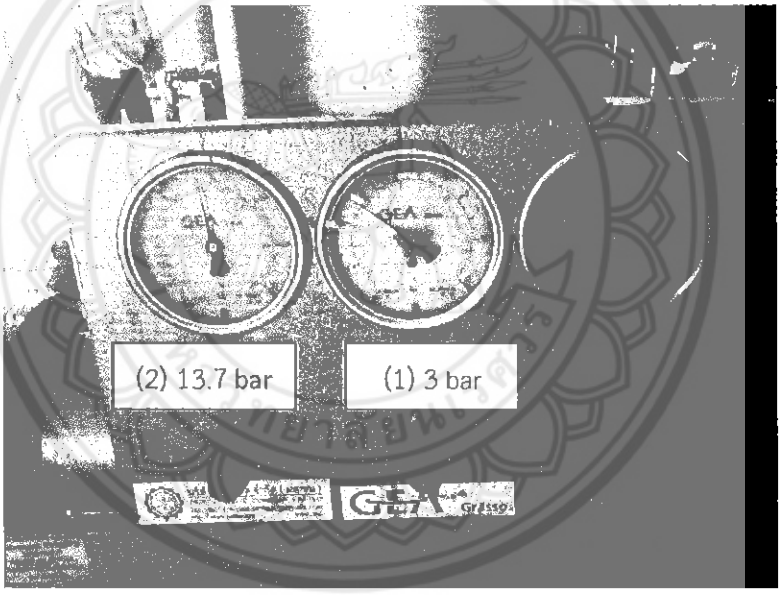
พลังงานในกระบวนการกรองน้ำจึงสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E = 7.74*24 = 185.76 \text{ kWh/วัน}$$

อย่างไรก็ตามการตรวจวัดในช่วงเวลาอื่นจะมีค่าที่เปลี่ยนไป สภาวะการทำงานในแต่ละช่วงเวลาจะมีความแตกต่างกันตามการผลิต สภาพแวดล้อม หรือปัจจัยอื่นๆ

4.4 การคำนวณสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance: COP)

COP หรือสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น เป็นสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นที่สำคัญ ตัวหนึ่ง หมายถึงปริมาณความเย็นที่ทำได้ เทียบกับพลังงานที่ใช้ ขับคอมเพรสเซอร์ (W) เครื่องทำ ความเย็นที่ประหยัดพลังงานจะมีค่า COP สูงค่า COP แปรเปลี่ยนตามสภาวะการออกแบบ ภาวะการทำงาน และสภาวะการใช้งานของเครื่อง ทำการบำรุงรักษาและการใช้เครื่องจึงเกี่ยวข้องกับค่า COP อย่างไรก็ตามในการตรวจวัด COP ของระบบทำความเย็นเป็นไปได้ยากเนื่องจากไม่สามารถตรวจวัดอัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบท่อได้ ดังนั้นจึงประเมิน COP ได้จากสถานะของสารทำความเย็นขณะนั้น ดังแสดงค่าตรวจวัดดังรูป 4.9 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.8 ค่าความดันที่อ่านได้จริงจากคอมเพรสเซอร์ในสภาวะที่ (1) และ (2)

รูปที่ 4.9 ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จริงจากท่อน้ำยาขาเข้าหอทำความเย็น สภาวะที่ 2

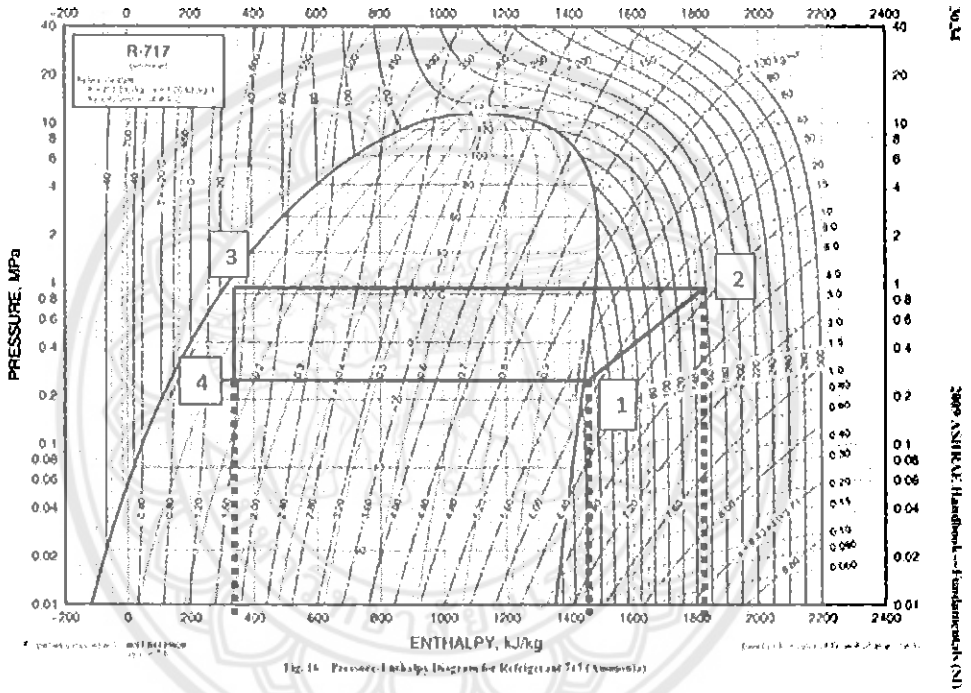
รูปที่ 4.10 ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จริงจากท่อน้ำยาขาออกหอทำความเย็น สภาวะที่ 3

โดย สภาวะที่ 1 ได้จากการอ่านค่าเกจวัดความดันด้าน suction ของคอมเพรสเซอร์

สภาวะที่ 2 ได้จากการอ่านค่าเกจวัดความดันด้าน discharge ของคอมเพรสเซอร์

สภาวะที่ 3 ได้จากการอ่านค่าเครื่องวัดอุณหภูมิที่บริเวณท่อน้ำยาขาเข้าหอทำความเย็น

สภาวะที่ 4 ได้จากการอ่านค่าเครื่องวัดอุณหภูมิที่บริเวณท่อน้ำยาขาออกหอทำความเย็น



รูปที่ 4.11 แผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็นแอมโมเนีย

จากรูป 4.8 4.9 และ4.10 จะได้ค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นดังนี้ ที่สภาวะที่ 1 Pressure (P1) 3 bar ที่สภาวะที่ 2 Pressure (P2) 13.7 bar, อุณหภูมิ (T2) 146.7 องศาเซลเซียส และที่สภาวะที่ 3 อุณหภูมิ(T3) 37.5 องศาเซลเซียส เปิดตาราง P-h diagram R717 (รูป 4.12) เพื่อคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น จากสมการที่ 2.6 จะได้

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

จากรูป 4.11 ที่สภาวะ 1 ดูค่าที่ Sat.vapor จะได้ $h_1 = 1450\ kJ/kg$, ที่สภาวะที่ 2 จะได้ $h_2 = 1800\ kJ/kg$ และที่สภาวะที่ 3 ดูค่าที่ Sat.liquid และที่สภาวะที่ 4 เอนทาลปีคงที่ จะได้ $h_3 = h_4 = 355\ kJ/kg$

$$COP = \frac{1450 - 355}{1800 - 1450} = 3.13$$

4.5 แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานด้านพลังงานไฟฟ้า

ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปีของโรงงานผลิตน้ำแข็งแห่งนี้ พลังงานไฟฟ้า 1,743,204 kWh/ปี ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 75% ของโรงงานผลิตน้ำแข็งนี้สิ้นเปลืองไปกับเครื่องคอมเพรสเซอร์ การเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ในโรงงานนั้นจะเป็นแบบระบบ Manual คือมีการเปิด-ปิดเครื่องเป็นช่วงเวลา จึงนำไปคิดมาตรการการลดการใช้พลังงาน ซึ่งพลังงานที่ใช้ในโรงงานผลิตน้ำแข็งจะขึ้นอยู่กับ 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ กำลังไฟฟ้า (P) เวลาการทำงานของอุปกรณ์ (t) จำนวนของอุปกรณ์ (n) เปอร์เซ็นต์การทำงานของอุปกรณ์ (LF_1) และภาระโหลดของอุปกรณ์ (LF_2)หากต้องการลดการใช้พลังงานลงควรลดปัจจัยที่กล่าวไปข้างต้น ซึ่งได้มาตรการอนุรักษ์พลังงานดังต่อไปนี้

4.5.1 แนวทางลดกำลังไฟฟ้า

ในการลดกำลังไฟฟ้า ทำได้โดยการเปลี่ยนเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องคอมเพรสเซอร์จะเป็นตัวแปรที่สำคัญมากต่อการใช้พลังงานในระบบทำความเย็น เนื่องจากสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ ประสิทธิภาพของตัวเครื่องที่ต่ำลง เป็นเพราะเครื่องคอมเพรสเซอร์มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวทำให้เกิดการสึกหรอตลอดเวลา และเมื่อมีอายุการใช้งานนานอาจส่งผลให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพที่ต่ำลง เมื่อเทียบกับส่วนที่สองคือ เครื่องคอมเพรสเซอร์ชุดใหม่ที่มีการการพัฒนาเทคโนโลยีที่ขึ้น เช่น ระบบอินเวอร์เตอร์(inverter) เป็นระบบที่ควบคุมการทำงานด้วยคำสั่งจากไมโครคอมพิวเตอร์ที่สั่งงานโดยตรงจากรีโมทคอนโทรนและนำคำสั่งดังกล่าวมาใช้ ควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นให้ทำงาน ปรับอุณหภูมิ ควบคุมความชื้น ควบคุมความเย็น ทำงานได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งต่างจากระบบเดิม โดยที่ระบบเดิมใช้การควบคุมการทำงานโดยการควบคุมแบบเทอร์โมสตัด ควบคุมการทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์และทำงานด้วยความถี่ไฟฟ้าเดียวตลอด ทำให้การกินกระแสไฟฟ้ามาก ซึ่งแตกต่างจากระบบอินเวอร์เตอร์ที่มีการกินของกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตาม ความถี่ของไฟฟ้า โดยการควบคุมการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมความถี่ไฟฟ้า และสามารถทำให้ประหยัดไฟฟ้าได้

ดังนั้น จึงควรตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องคอมเพรสเซอร์อยู่สม่ำเสมอ เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการเปลี่ยนไปใช้เครื่องคอมเพรสเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถประเมินผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปี สำหรับการเปลี่ยนเครื่องคอมเพรสเซอร์ประสิทธิภาพสูงได้

<u>วิธีการปรับปรุง</u>

I. เปลี่ยนจากคอมเพรสเซอร์ ชนิดลูกสูบ เป็นคอมเพรสเซอร์ชนิดโรตารี่ ซึ่งมีหลักการทำงานโดยใช้มอเตอร์หมุนใบพัด ทำหน้าที่ดูด และอัดน้ำยาเข้าสู่ระบบแทนการเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบ จึงสามารถให้ส่งปริมาณความเย็นได้มากกว่าด้วยกำลังไฟฟ้าที่เท่ากัน

II. การควบคุมคอมเพรสเซอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์ เป็นระบบที่ควบคุมการทำงานได้โดยอัตโนมัติ ระบบอินเวอร์เตอร์สามารถลดรอบความเร็วของมอเตอร์ตามการผลิต ทำให้กระแสไฟฟ้าลดลงตามความเร็วรอบ และลดการใช้พลังงานลงได้

III. มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ทำงานที่ประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ทั่วไปที่ภาระโหลดทางไฟฟ้าเท่ากัน

<u>ผลที่ได้หลังจากปรับปรุง</u>

จากตารางที่ 4.4 หากกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองเปลี่ยนคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในปัจจุบันเป็นคอมเพรสเซอร์ประสิทธิภาพสูง ขนาด 200 แรงม้า จะทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงผลิตน้ำแข็งซองได้ 8509.68 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 6.88 ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ลำดับ	ชื่อ	ขนาด	จำนวน	กำลัง	หน้าที่การทำงาน	รหัส				
1	ปั๊ม	3	1	11.00	ปั๊มเติมน้ำลงซอง	P201	1.00000	0.89957	22.15	686.51
2	ปั๊ม	3	2	11.00	ปั๊มที่ใช้ใน Cooling Tower	P202	1.00000	0.89913	44.27	1,372.35
3	ปั๊ม	7.5	2	24.00	ปั๊มลม	P203	1.00000	0.89526	240.43	7,453.35
4	มอเตอร์	5	9	11.00	มอเตอร์ระบายความร้อน	M201	1.00000	0.89348	329.94	10,228.01
5	มอเตอร์	5	2	11.00	มอเตอร์พัดน้ำเกลือ	M202	1.00000	0.89855	73.73	2,285.78
6	คอมเพรสเซอร์	200	2	11.00	อัดสารทำความเย็น	C201	1.00000	0.83630	2,745.07	85,097.06
7	เครนยก	3	2	5.00	มอเตอร์ขับเดินหน้า – ถอยหลัง	K201	1.00000	0.89961	20.13	624.13
8	เครนยก	3	2	5.00	มอเตอร์ขับเดินซ้าย – เดินขวา	K202	1.00000	0.89961	20.13	624.13
9	เครนยก	5	2	5.00	มอเตอร์ขับขึ้น – ลง	K203	1.00000	0.89934	33.55	1,039.91
10	เครื่องตัดน้ำแข็ง	7.5	2	5.00	ตัดน้ำแข็ง	B201	1.00000	0.89901	50.30	1,559.29
11	เครื่องซอยน้ำแข็ง	5	5	5.00	ซอยน้ำแข็ง	B202	1.00000	0.89835	83.77	2,596.91
12	เครื่องโม่น้ำแข็ง	7.5	2	5.00	โม่น้ำแข็ง	B203	1.00000	0.89901	50.30	1,559.29
					E2					115,126.72

ตารางที่ 4.8 กำลังไฟฟ้าหลังจากเปลี่ยนเครื่องคอมเพรสเซอร์ในโรงผลิตน้ำแข็งซอง

4.5.2 แนวทางลดเวลาการทำงาน

โดยแนวทางลดเวลาการทำงาน คือ การลดชั่วโมงการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ เพื่อที่จะทำให้เครื่องคอมเพรสเซอร์มีการใช้พลังงานที่ลดลง

<u>วิธีการปรับปรุง</u>

I. ติดตั้งไทม์เมอร์ควบคุมเวลาการทำงาน เพื่อให้ เปิด-ปิด เครื่องได้ตามเวลาที่ต้องการ

II. ติดตั้งระบบควบคุมแบบรีโมทจากส่วนกลางการสั่งงาน (SCADA) เป็นระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Real-time ใช้ในการตรวจสอบสถานะตลอดจนถึงควบคุมการทำงานของระบบควบคุมในอุตสาหกรรม

<u>ผลที่ได้หลังจากปรับปรุง</u>

จากตารางที่ 4.4 หากกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองลดชั่วโมงการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงจากเดิมทำงานอยู่ 11 ชั่วโมง/วัน เหลือ 10.5 ชั่วโมง/วัน จะทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงผลิตน้ำแข็งซองได้ 4,254.84 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 3.44 ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ลำดับ	ชื่อเครื่อง	พิกัด	จำนวน	ชั่วโมง	หน้าที่	รหัส				
1	ปั๊ม	3	1	11.00	ปั๊มเติมน้ำลงซอง	P201	1.00000	0.89957	22.15	686.51
2	ปั๊ม	3	2	11.00	ปั๊มที่ใช้ใน Cooling Tower	P202	1.00000	0.89913	44.27	1,372.35
3	ปั๊ม	7.5	2	24.00	ปั๊มลม	P203	1.00000	0.89526	240.43	7,453.35
4	มอเตอร์	5	9	11.00	มอเตอร์ระบายความร้อน	M201	1.00000	0.89348	329.94	10,228.01
5	มอเตอร์	5	2	11.00	มอเตอร์หัดน้ำเกลือ	M202	1.00000	0.89855	73.73	2,285.78
6	คอมเพรสเซอร์	220	2	10.50	อัดสารทำความเย็น	C201	1.00000	0.83630	2,882.32	89,351.91
7	เครนยก	3	2	5.00	มอเตอร์ขับเดินหน้า – ถอยหลัง	K201	1.00000	0.89961	20.13	624.13
8	เครนยก	3	2	5.00	มอเตอร์ขับเดินซ้าย – เดินขวา	K202	1.00000	0.89961	20.13	624.13
9	เครนยก	5	2	5.00	มอเตอร์ขับขึ้น – ลง	K203	1.00000	0.89934	33.55	1,039.91
10	เครื่องตัดน้ำแข็ง	7.5	2	5.00	ตัดน้ำแข็ง	B201	1.00000	0.89901	50.30	1,559.29
11	เครื่องซอยน้ำแข็ง	5	5	5.00	ซอยน้ำแข็ง	B202	1.00000	0.89835	83.77	2,596.91
12	เครื่องโม่น้ำแข็ง	7.5	2	5.00	โม่น้ำแข็ง	B203	1.00000	0.89901	50.30	1,559.29
					E2					119,381.57

ตารางที่ 4.9 กำลังไฟฟ้าหลังจากลดชั่วโมงการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ในโรงผลิตน้ำแข็งซอง

4.5.3 แนวทางลดจำนวนอุปกรณ์

ในการลดจำนวนการเปิดใช้งานอุปกรณ์ ในระบบทำความเย็นให้เหมาะสมกับภาระความร้อน ทำให้มีการใช้พลังงานที่ลดลงด้วย เช่น ลดการเปิดปั๊มน้ำหรือพัดลมในระบบหอทำความเย็นให้เมื่อภาระความร้อนลดลง โดยไม่ส่งผลต่อปริมาณการผลิต

<u>ผลที่ได้หลังจากปรับปรุง</u>

จากตารางที่ 4.4 หากกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองลดจำนวนของมอเตอร์ระบายความร้อนลงจากเดิมมีการใช้งานอยู่ 9 ตัว ลดเหลือ 7 ตัว จะทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงผลิตน้ำแข็งซองได้ 2,272.89 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 1.84 ดังแสดงในตารางที่ 4.10

1	ปั๊ม	3	1	11.00	ปั๊มเติมน้ำลงซอง	P201	1.00000	0.89957	22.15	686.51
2	ปั๊ม	3	2	11.00	ปั๊มที่ใช้ใน Cooling Tower	P202	1.00000	0.89913	44.27	1,372.35
3	ปั๊ม	7.5	2	24.00	ปั๊มลม	P203	1.00000	0.89526	240.43	7,453.35
4	มอเตอร์	5	(7)	11.00	มอเตอร์ระบายความร้อน	M201	1.00000	0.89348	256.62	7,955.12
5	มอเตอร์	5	2	11.00	มอเตอร์พัดน้ำเกลือ	M202	1.00000	0.89855	73.73	2,285.78
6	คอมเพรสเซอร์	220	2	11.00	อัดสารทำความเย็น	C201	1.00000	0.83630	3,019.57	93,606.76
7	เครนยก	3	2	5.00	มอเตอร์ขับเดินหน้า – ถอยหลัง	K201	1.00000	0.89961	20.13	624.13
8	เครนยก	3	2	5.00	มอเตอร์ขับเดินซ้าย – เดินขวา	K202	1.00000	0.89961	20.13	624.13
9	เครนยก	5	2	5.00	มอเตอร์ขับขึ้น – ลง	K203	1.00000	0.89934	33.55	1,039.91
10	เครื่องตัดน้ำแข็ง	7.5	2	5.00	ตัดน้ำแข็ง	B201	1.00000	0.89901	50.30	1,559.29
11	เครื่องซอยน้ำแข็ง	5	5	5.00	ซอยน้ำแข็ง	B202	1.00000	0.89835	83.77	2,596.91
12	เครื่องไม่น้ำแข็ง	7.5	2	5.00	ไม่น้ำแข็ง	B203	1.00000	0.89901	50.30	1,559.29
					E2					121,363.53

ตารางที่ 4.9 กำลังไฟฟ้าหลังจากลดจำนวนของมอเตอร์ระบายความร้อนในโรงผลิตน้ำแข็งซอง

4.5.4 แนวทางลดเปอร์เซ็นต์การทำงานของอุปกรณ์

โดยการลดเปอร์เซ็นต์เวลาการทำงานของอุปกรณ์ จะทำให้ลดเวลาการทำงานของเครื่องเพื่อให้มีการลดลงของการใช้พลังงาน

<u>วิธีการปรับปรุง</u>

แต่เนื่องจากโรงงานมีการตั้งระบบควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์อัตโนมัติ ดังนั้นหากเราต้องการลดเปอร์เซ็นต์เวลาการทำงานของอุปกรณ์ ทำได้โดยลดชั่วโมงการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ลง ในกรณีที่ไม่มีการผลิต โดยตั้งระบบควบคุมใหม่

1	ปั๊ม	3	1	11.00	ปั๊มเติมน้ำลงซอง	P201	1.00000	0.89957	22.15	686.51
2	ปั๊ม	3	2	11.00	ปั๊มที่ใช้ใน Cooling Tower	P202	1.00000	0.89913	44.27	1,372.35
3	ปั๊ม	7.5	2	24.00	ปั๊มลม	P203	1.00000	0.89526	240.43	7,453.35
4	มอเตอร์	5	9	11.00	มอเตอร์ระบายความร้อน	M201	1.00000	0.89348	329.94	10,228.01
5	มอเตอร์	5	2	11.00	มอเตอร์พัดน้ำเกลือ	M202	1.00000	0.89855	73.73	2,285.78
6	คอมเพรสเซอร์	220	2	11.00	อัดสารทำความเย็น	C201	0.80000	0.83630	2,415.66	74,885.41
7	เครนยก	3	2	5.00	มอเตอร์ขับเดินหน้า – ถอยหลัง	K201	1.00000	0.89961	20.13	624.13
8	เครนยก	3	2	5.00	มอเตอร์ขับเดินซ้าย – เดินขวา	K202	1.00000	0.89961	20.13	624.13
9	เครนยก	5	2	5.00	มอเตอร์ขับขึ้น – ลง	K203	1.00000	0.89934	33.55	1,039.91
10	เครื่องตัดน้ำแข็ง	7.5	2	5.00	ตัดน้ำแข็ง	B201	1.00000	0.89901	50.30	1,559.29
11	เครื่องซอยน้ำแข็ง	5	5	5.00	ซอยน้ำแข็ง	B202	1.00000	0.89835	83.77	2,596.91
12	เครื่องโม่น้ำแข็ง	7.5	2	5.00	โม่น้ำแข็ง	B203	1.00000	0.89901	50.30	1,559.29
					E2					104,915.07

ตารางที่ 4.10 กำลังไฟฟ้าหลังจากลดเปอร์เซ็นต์เวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลง20%

ผลที่ได้หลังจากปรับปรุง

จากตารางที่ 4.4 หากกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองลดเปอร์เซ็นต์เวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลง20 % จากเดิมมีการใช้งานอยู่ตลอดเวลา จะทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงผลิตน้ำแข็งซองได้ 18,721.13 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 15.14 ดังแสดงในตารางที่ 4.11

4.5.5 แนวทางลดเปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์

โดยมาตรการการลดเปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ คือการการลดกำลังทางไฟฟ้าให้ต่ำลงเพื่อให้คอมเพรสเซอร์ทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วิธีการปรับปรุง

โดยการลดเปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้า จะทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยนำน้ำที่ต้องการทำความร้อนผ่านเข้าไประบายและแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำ น้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็จะมีอุณหภูมิต่ำ การนำความร้อนเหลือทิ้งนั้นกลับมาใช้ (Waste Heat Recovery) จากเครื่องทำความเย็นจะลดอุณหภูมิน้ำก่อนเข้ากระบวนการผลิตได้โดยไม่ต้องสิ้นเปลืองพลังงานแต่อย่างใด ในขณะเดียวกันการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ที่มีการระบายความร้อนด้วย

น้ำจะทำให้ระบบมีการระบายความร้อนได้ดี และประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นดีขึ้น ทำให้ลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลง

ดังนั้น การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เท่ากับเราสามารถทำให้น้ำแข็งเย็นเร็วขึ้นในเวลาที่สั้นลง ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นดีขึ้น ลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงและประหยัดพลังงานไฟฟ้า

<u>ผลที่ได้หลังจากปรับปรุง</u>

จากตารางที่ 4.5 หากกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะทำให้ลดเปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าลงประมาณ 5 % จะทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงผลิตน้ำแข็งหลอดได้ 5,596.46 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 5.73 ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า	จำนวน	ชั่วโมงการทำงาน	หน้าที่การทำงาน	รหัส				
1	ปั๊ม	5	1	11	ปั๊มเติมน้ำผลิตน้ำแข็งหลอด	P301	1.00000	0.89928	36.90	1,143.81
2	ปั๊ม	5	1	11	ปั๊มที่ใช้ใน Cooling Tower	P302	1.00000	0.89928	36.90	1,143.81
3	คอมเพรสเซอร์	220	2	11	อัดสารทำความเย็น	C301	1.00000	0.78629	2,839.00	88,009.14
4	มอเตอร์	5	1	11	มอเตอร์ใน Cooling Tower	M301	1.00000	0.89928	36.90	1,143.81
5	มอเตอร์	1.5	2	11	มอเตอร์สกรูน้ำแข็ง	M302	1.00000	0.89957	22.15	686.51
					E3					92,127.09

ตารางที่ 4.11 กำลังไฟฟ้าหลังจากทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จากการนำเสนอแนวทางอนุรักษ์พลังงาน พบว่าการดำเนินการตามแนวทางทั้งหมดจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตน้ำแข็งได้ 370,143.84 kWh/ปี คิดเป็น 21.23% หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายสามารถประหยัดได้ 1,188,161.73 บาท/ปี

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินโครงงาน และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

โครงงานนี้ได้ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตในแต่ละส่วนของโรงงาน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนแผนผังโรงงาน แสดงถึงกระบวนการผลิตและอุปกรณ์ ประเมินสัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษา บริษัท อมตะ ไอซ์ อินดัสตรี จำกัด จากการประเมินโรงงานผลิตน้ำแข็งใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 1,743,204 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายไฟฟ้า 5,601,331.01 บาท/ปี และจากการใช้แบบจำลองเพื่อคำนวณสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในเดือนพฤษภาคมที่มีการใช้พลังงานสูงสุดในปี 2559 พบว่ากระบวนการผลิตน้ำแข็งซองเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดถึง 123,722.07 kWh/เดือน คิดเป็นร้อยละ 51.00 โดยมีคอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในกระบวนการ ใช้พลังงานไฟฟ้า ใช้พลังงานไฟฟ้า 93,690.89 kWh/เดือน หรือร้อยละ 75.73 จากการประเมินจะเห็นว่าพลังงานที่ใช้ในโรงงานผลิตน้ำแข็งจะขึ้นอยู่กับ 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ กำลังไฟฟ้า (P) เวลาการทำงานของอุปกรณ์ (t) จำนวนของอุปกรณ์ (n) เปอร์เซ็นต์การทำงานของอุปกรณ์ (LF_1)และภาระโหลดของอุปกรณ์ (LF_2) จึงเสนอแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ไว้เบื้องต้น ได้แก่ แนวทางลดกำลังไฟฟ้า แนวทางลดเวลาการทำงาน แนวทางลดจำนวนอุปกรณ์ แนวทางลดเปอร์เซ็นต์เวลาการทำงานของอุปกรณ์ และแนวทางลดเปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

I. มาตรการการลดกำลังไฟฟ้า ทำได้โดยการเปลี่ยนเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง
II. มาตรการการลดเวลาการทำงาน ทำได้โดยการเปิดเครื่องช้าลง และปิดเครื่องให้เร็วขึ้น
III. มาตรการการลดจำนวนอุปกรณ์ ทำให้มีการใช้พลังงานที่ลดลงด้วย แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลงไปด้วยเช่นกัน
IV. มาตรการการลดเปอร์เซ็นต์การทำงานของอุปกรณ์ ทำได้โดยลดชั่วโมงการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ลง
V. มาตรการการลดเปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ โดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ระบบการบริหารการจัดการ เนื่องโรงงานยังขาดการจัดเก็บเอกสารที่ดี ในการขอข้อมูลจึงล่าช้า

5.3 ข้อเสนอแนะ

I. ควรมีการจัดตารางเวลาในการทำงาน
II. ควรศึกษาหาความรู้ต่างๆอย่างสม่ำเสมอก่อนและหลังปฏิบัติงาน

เอกสารอ้างอิง

1. Yunus A. Cengel, M. A. (2005). In Thermodynamics: An Engineering Approach. McGraw-Hill Science/Engineering/Math

2. วิธีคิดค่าไฟฟ้าอัตรา TOU และ TOD. สืบค้นวันที่ 23 พฤษภาคม 2560, จาก http://guru.sanook.com/7279/

3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา. (2558). บทที่ 3 การอ่านแผนภูมิไซโครเมตริก วิศวกรรมการทำความเย็น. (พิมพ์ครั้งที่ 1)

4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา. (2558). บทที่ 4 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ วิศวกรรมการทำความเย็น. (พิมพ์ครั้งที่ 1)

5. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ TF-TD-TRC-440010 , เอกสารนี้แปลและเรียบเรียงมาจากหนังสือ Fuel Efficency Booklet เรื่อง The Economic Use of Refrigeration Plant ภายใต้โครงการ UK Governments Energy Efficiency Best Practice Programme ของ Department of The Environment Transport and Regions,London UK.

6. อัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. สืบค้นวันที่ 23 พฤษภาคม 2560, จาก http://www2.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html#3

ภาคผนวก ก

การคำนวนการใช้พลังงานของโรงงานและนิยามคำศัพท์

การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน

1.การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานในเดือนพฤษภาคม ปี 2559

- จากสมการ 3.1 $E_{TOTAL} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$

- จากสมการ 3.2 $E_i = n_i \times P_i \times t_i \times LF_1 \times LF_2$

เมื่อ n_i = จำนวนอุปกรณ์

$P_i = P \times 0.746$

t_i = เวลาทำงาน

$LF_{1i} = X_i$ คือ เปอร์เซ็นต์เวลาทำงานของอุปกรณ์

$LF_{2i} = Y_i$ คือ เปอร์เซ็นต์ภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์

ข้อมูลที่ได้จากหนังสือแจ้งค่าไฟของโรงงาน คือ E_{TOTAL} = 242,604 kWh/เดือน

จะได้ $E_1 + E_2 + E_3 + E_4$ = 242,604 kWh/เดือน

2.การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการกรองน้ำ (E_1)

$$E_1 = E_{11} + E_{12} + E_{13}$$

- ปั๊มซับเมอร์ส (E_{11})

$E_{11} = 5 \times 0.746 \times 3 \times 24 \times X_1 \times Y_1 = 268.56X_1Y_1$ kWh/วัน

- ปั๊มเติมน้ำอัดผ่านกรอง (E_{12})

$E_{12} = (5 \times 0.746 \times 1 \times 24 \times X_2 \times Y_2) + (3 \times 0.746 \times 2 \times 24 \times X_3 \times Y_3) +$

$(3 \times 0.746 \times 3 \times 24 \times X_4 \times Y_4)$

$= (89.52X_2Y_2 + 107.42X_3Y_3 + 161.14X_4Y_4)$ kWh/วัน

- ปั๊มเติมน้ำระบายความร้อนของน้ำแข็งหลอด (E_{13})

$E_{13} = 3 \times 0.746 \times 1 \times 24 \times X_5 \times Y_5 = 53.71X_5Y_5$ kWh/วัน

ดังนั้น $E_1 = (268.56X_1Y_1 + 89.52X_2Y_2 + 107.42X_3Y_3 + 161.14X_4Y_4 + 53.71X_5Y_5)$

$\times$ 31 kWh/เดือน ----------(1)

3.การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำแข็งซอง (E_2)

$$E_2 = E_{21} + E_{22} + E_{23} + E_{24} + E_{25}$$

- ปั๊มเติมน้ำ ปั๊มที่ใช้ในหอทำความเย็น และปั๊มลม (E_{21})

$E_{21} = (3 \times 0.746 \times 1 \times 11 \times X_6 \times Y_6) + (3 \times 0.746 \times 2 \times 11 \times X_7 \times Y_7) +$

$(7.5 \times 0.746 \times 2 \times 24 \times X_8 \times Y_8)$

$= 24.62X_6Y_6 + 49.24X_7Y_7 + 268.56X_8Y_8$ kWh/วัน

- มอเตอร์ระบายความร้อนและมอเตอร์ใบพัดน้ำเกลือ (E_{22})

$E_{22} = (5 \times 0.746 \times 9 \times 11 \times X_9 \times Y_9) + (5 \times 0.746 \times 2 \times 11 \times X_{10} \times Y_{10})$

$= 369.27X_9Y_9 + 82.06\ X_{10}Y_{10}$ kWh/วัน

- คอมเพรสเซอร์ (E_{23})

$E_{23} = 220 \times 0.746 \times 2 \times 11 \times X_{11} \times Y_{11} = 3610.64X_{11}Y_{11}$ kWh/วัน

- เครนยก (E_{24})

$E_{24} = (3 \times 0.746 \times 2 \times 5 \times X_{12} \times Y_{12}) + (3 \times 0.746 \times 2 \times 5 \times X_{13} \times Y_{13})$

$+ (5 \times 0.746 \times 2 \times 5 \times X_{14} \times Y_{14})$

$= 22.38X_{12}Y_{12} + 22.38X_{13}Y_{13} + 37.3X_{14}Y_{14}$ kWh/วัน

- เครื่องตัดน้ำแข็ง (E_{25})

$E_{25} = (7.5 \times 0.746 \times 2 \times 5 \times X_{15} \times Y_{15}) + (5 \times 0.746 \times 5 \times 5 \times X_{16} \times Y_{16})$

$+ (7.5 \times 0.746 \times 2 \times 5 \times X_{17} \times Y_{17})$

$= 55.95X_{15}Y_{15} + 93.25X_{16}Y_{16} + 55.95X_{17}Y_{17}$ kWh/วัน

ดังนั้น $E_2 = (24.62X_6Y_6 + 49.24X_7Y_7 + 268.56X_8Y_8 + 369.27X9Y9 + 82.06X_{10}Y_{10}$

$+ \quad 3610.64X_{11}Y_{11} + 22.38X_{12}Y_{12} + 22.38X_{13}Y_{13} + 37.3X_{14}Y_{14} +$

$55.95X_{15}Y_{15} + 93.25X_{16}Y_{16} + 55.95X_{17}Y_{17}) \times 31$ kWh/เดือน----------(2)

4.การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำแข็งหลอด (E_3)

$$E_3 = E_{31} + E_{32} + E_{33}$$

- คอมเพรสเซอร์ (E_{31})

$E_{31} = (220 \times 0.746 \times 2 \times 11 \times X_{18} \times Y_{18}) = 3610.64X_{18}Y_{18}$ kWh/วัน

- ปั๊มเติมน้ำและปั๊มที่ใช้ในหอทำความเย็น (E_{32})

$E_{32} = (5 \times 0.746 \times 1 \times 11 \times X_{19} \times Y_{19}) + (5 \times 0.746 \times 1 \times 11 \times X_{20} \times Y_{20})$

$= 41.03X_{19}Y_{19} + 41.03X_{20}Y_{20}$ kWh/วัน

- มอเตอร์ในหอทำความเย็นและมอเตอร์สกรูน้ำแข็ง (E_{33})

$E_{33} = (5 \times 0.746 \times 1 \times 11 \times X_{21} \times Y_{21}) + (1.5 \times 0.746 \times 2 \times 11 \times X_{22} \times Y_{22})$

$= 41.03X_{21}Y_{21} + 24.62X_{22}Y_{22}$ kWh/วัน

ดังนั้น $E3 = (3610.64X_{18}Y_{18} + 41.03X_{19}Y_{19} + 41.03X_{20}Y_{20} + 41.03X_{21}Y_{21} + 24.62X_{22}Y_{22})$

x31 kWh/เดือน----------(3)

5.การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำแข็งหลอด (E_4)

$$E_4 = E_{LIGHT} + E_{OFFICE} + E_{ROOM}$$

- ระบบแสงสว่าง (E_{LIGHT})

E_{LIGHT}= 0.018x50x24x1x1 = 21.6 kWh/วัน

- สำนักงาน (E_{OFFICE})

$E_{OFFICE} = 1 \times 0.746 \times 1 \times 10 \times X_{23} \times Y_{23} = 7.46X_{23}Y_{23}$ kWh/วัน

- ห้องพัก (E_{ROOM})

$E_{ROOM} = 1 \times 0.746 \times 1 \times 24 \times X_{24} \times Y_{24}$ kWh/วัน

ดังนั้น $E_4 = (21.6 + 7.46X_{23}Y_{23} + 17.90X_{24}Y_{24}) \times 31$ kWh/เดือน----------(4)

ประมาณค่า Xi และ Yi

โดย Xi = 1 เนื่องจากในเดือนพฤษภาคมกำลังการผลิตสูงอุปกรณ์จึงมีการทำงานตลอดเวลา ยกเว้นสำนักงานและห้องพัก

Yi ประมาณค่าโดยใช้โปรแกรม Excel คำสั่ง Solver ช่วยในการประมาณค่าตัวแปร

คำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงาน

จะได้ $(268.56X_1Y_1 + 89.52X_2Y_2 + 107.42X_3Y_3 + 161.14X_4Y_4 + 53.71X_5Y_5 + 24.62X_6Y_6 + 49.24X_7Y_7 + 268.56X_8Y_8 + 369.27X_9Y_9 + 82.06X_{10}Y_{10} + 3610.64X_{11}Y_{11} + 22.38X_{12}Y_{12} + 22.38X_{13}Y_{13} + 37.3X_{14}Y_{14} + 55.95X_{15}Y_{15} + 93.25X_{16}Y_{16} + 55.95X_{17}Y_{17} + 3610.64X_{18}Y_{18} + 41.03X_{19}Y_{19} + 41.03X_{20}Y_{20} + 41.03X_{21}Y_{21} + 24.62X_{22}Y_{22} + 21.6 + 7.46X_{23}Y_{23} + 17.90X_{24}Y_{24}) \times 31$ = 242,604 kWh/เดือน

จากการคำนวณจะได้ค่า Xi และ Yi ดังตาราง ก.1

ตาราง ก.1 ค่า Xi และ Yi ที่ได้จากการคำนวณ

ลำดับตัวแปร	Xi	Yi	ลำดับตัวแปร	Xi	Yi
1	1.00000	0.94532	13	1.00000	0.89961
2	1.00000	0.94844	14	1.00000	0.89934
3	1.00000	0.94813	15	1.00000	0.89901
4	1.00000	0.94719	16	1.00000	0.89835
5	1.00000	0.94906	17	1.00000	0.89901
6	1.00000	0.89957	18	1.00000	0.89928
7	1.00000	0.89913	19	1.00000	0.89928
8	1.00000	0.89526	20	1.00000	0.83629
9	1.00000	0.89348	21	1.00000	0.89928
10	1.00000	0.89855	22	1.00000	0.89957
11	1.00000	0.83630	23	0.90000	0.89988
12	1.00000	0.89961	24	0.83333	0.89974

นิยามคำศัพท์

1.อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 09.00 - 22.00 น

Off Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 22.00 - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดซดเชย) ทั้งวัน

Holiday : วันเสาร์-อาทิตย์ 00.00-24.00 น. วันแรงงานแห่งชาติ วันพืชมงคลที่ตรงกับ วันเสาร์-อาทิตย์และวันหยุดราชการตามปกติ(ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

2. อัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรม รัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตาราง ก.2 อัตราปกติ

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	175.70	1.6660
แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	196.26	1.7034
แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	221.50	1.7314

ตาราง ก.3 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
1.แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17
2. แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
3. แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	2.8408	1.2246	228.17
Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น. Off Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน				

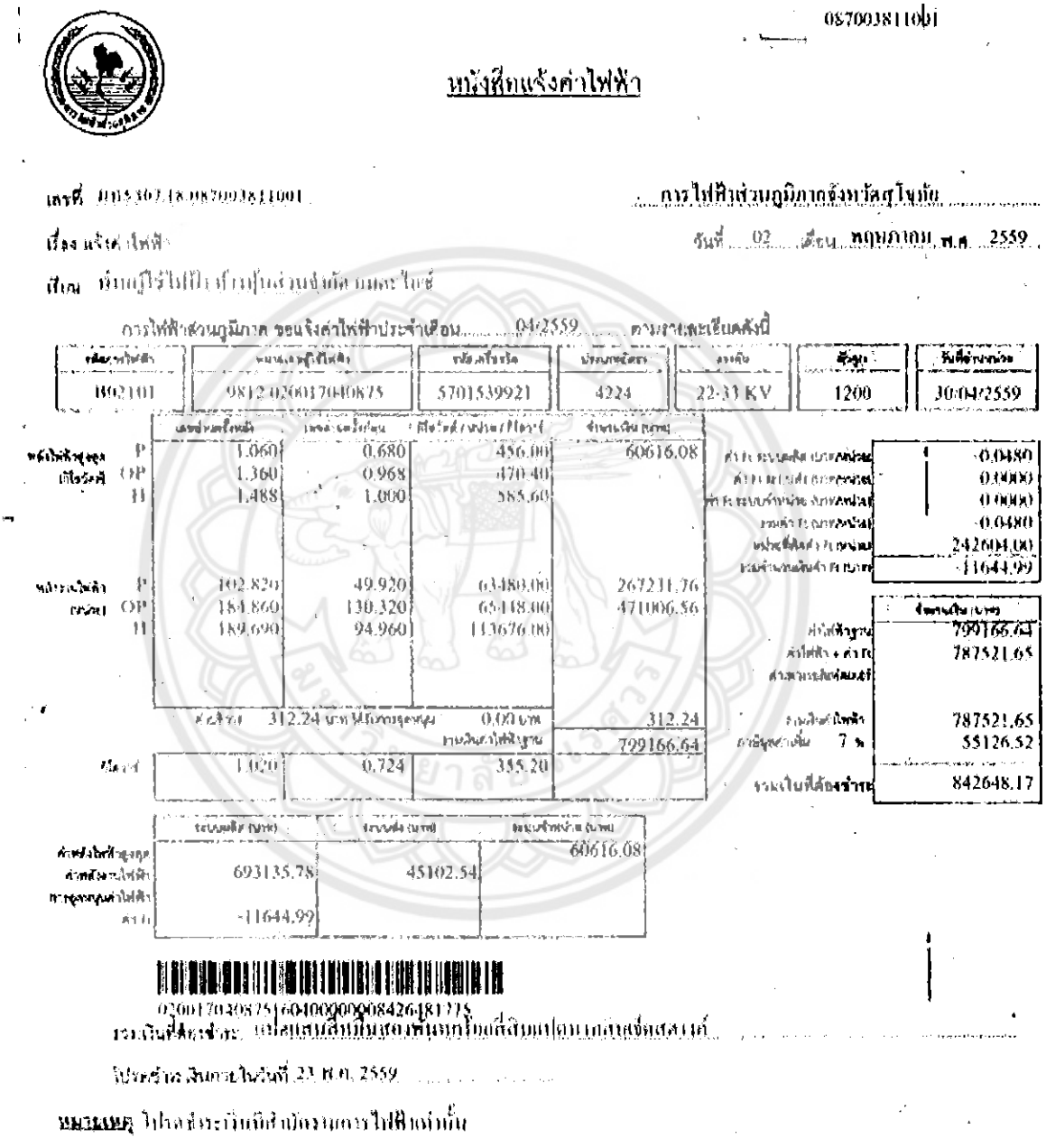
อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ

1. กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณกิโลวัตต์ และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย
2. ประเภทที่ 3.2 เป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 เป็นครั้งแรก ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าเดือน ตุลาคม 2543
3. ประเภทที่ 3.2 เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิม เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 3.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด
4. เดือนใดความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปก็ยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นประเภทที่ 2.1

ภาคผนวก ข

หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างในการประเมินการใช้พลังงานของโรงงาน



08700381100l

หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า

เลขที่ 010302180870038110001 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสุโขทัย

เรื่อง แจ้งค่าไฟฟ้า วันที่ 02 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2559

เรียน [illegible]

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขอแจ้งค่าไฟฟ้าประจำเดือน 04/2559 ตามรายละเอียดดังนี้

ประเภทการใช้ไฟฟ้า	หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า	รหัสเครื่องวัด	ประเภทเครื่องวัด	แรงดัน	ขนาดหม้อแปลง	วันที่อ่านหน่วย
100101	981240260170400875	5701539921	4224	22-33 KV	1200	30/04/2559

		เลขอ่านครั้งก่อน	เลขอ่านครั้งนี้	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)	จำนวนเงิน (บาท)
พลังไฟฟ้าสูงสุดเรียกเก็บ	P	1.060	0.680	456.00	60616.08
	OP	1.360	0.968	470.40	
	H	1.488	1.000	585.60	
หน่วยไฟฟ้าตามเวลา	P	102.820	49.920	63480.00	267231.76
	OP	184.860	130.320	66448.80	471006.56
	H	189.690	94.960	113676.00	
ค่าตัว		1.020	0.724	355.20	

ค่าตัว 312.24 บาท/หน่วยสูงสุด 0.00 บาท 312.24

รวมเงินค่าไฟฟ้าฐาน 729166.64

	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าไฟฟ้าฐาน	729166.64
ค่าไฟฟ้า + ค่าต	787521.65
ค่าลดระบบไฟฟ้าแรงสูง	
รวมค่าไฟฟ้า	787521.65
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	55126.52
รวมเงินที่ต้องชำระ	842648.17

	ระบบหลัก (บาท)	ระบบต่อ (บาท)	ระบบรักษ์ (บาท)
ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด			60616.08
ค่าพลังงานไฟฟ้า	693135.78	45102.54	
ค่าลดพลังงานไฟฟ้าตามเวลา			
ค่าต	-11644.99		

0260170308751604000000084264181775

รวมเงินที่ต้องชำระ [illegible]

โปรดชำระเงินภายในวันที่ 23 พ.ค. 2559

หมายเหตุ โปรดชำระเงินที่สำนักงานการไฟฟ้าเท่านั้น

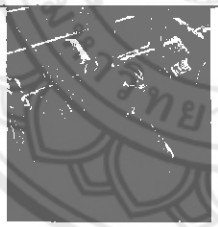
รูปที่ ข.1 หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าในเดือนพฤษภาคม ปี 2559

ภาคผนวก ค

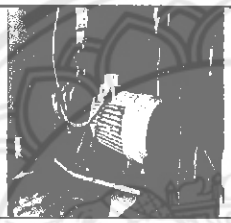
เอกสารที่ส่งให้กับทางโรงงาน

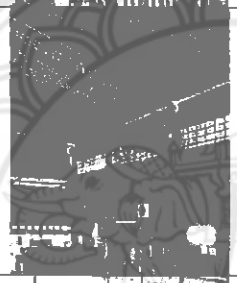
ตารางอุปกรณ์ในโรงงานผลิตน้ำแข็ง

ตาราง ค.1 รายการอุปกรณ์ในกระบวนการกรองน้ำ

ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์	รูป	ขนาด (hp)	จำนวน	เวลาทำงาน (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง/หน้าที่	รหัส
1	ปั๊มซับเมอร์ส		5	3	24	เติมน้ำให้บ่อที่ 1	P101
2	ปั๊มน้ำ		5	1	24	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 2	P102
3	ปั๊มน้ำ		3	2	24	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 2	P103
4	ปั๊มน้ำ		3	3	24	ปั๊มน้ำอัดผ่านกรองเติมบ่อที่ 3	P104
5	ปั๊มน้ำ		3	1	24	ปั๊มเติมน้ำให้ระบบระบายความร้อนของน้ำแข็งหลอด	P105

ตาราง ค.2 รายการอุปกรณ์.โรงงานน้ำแข็งซอง

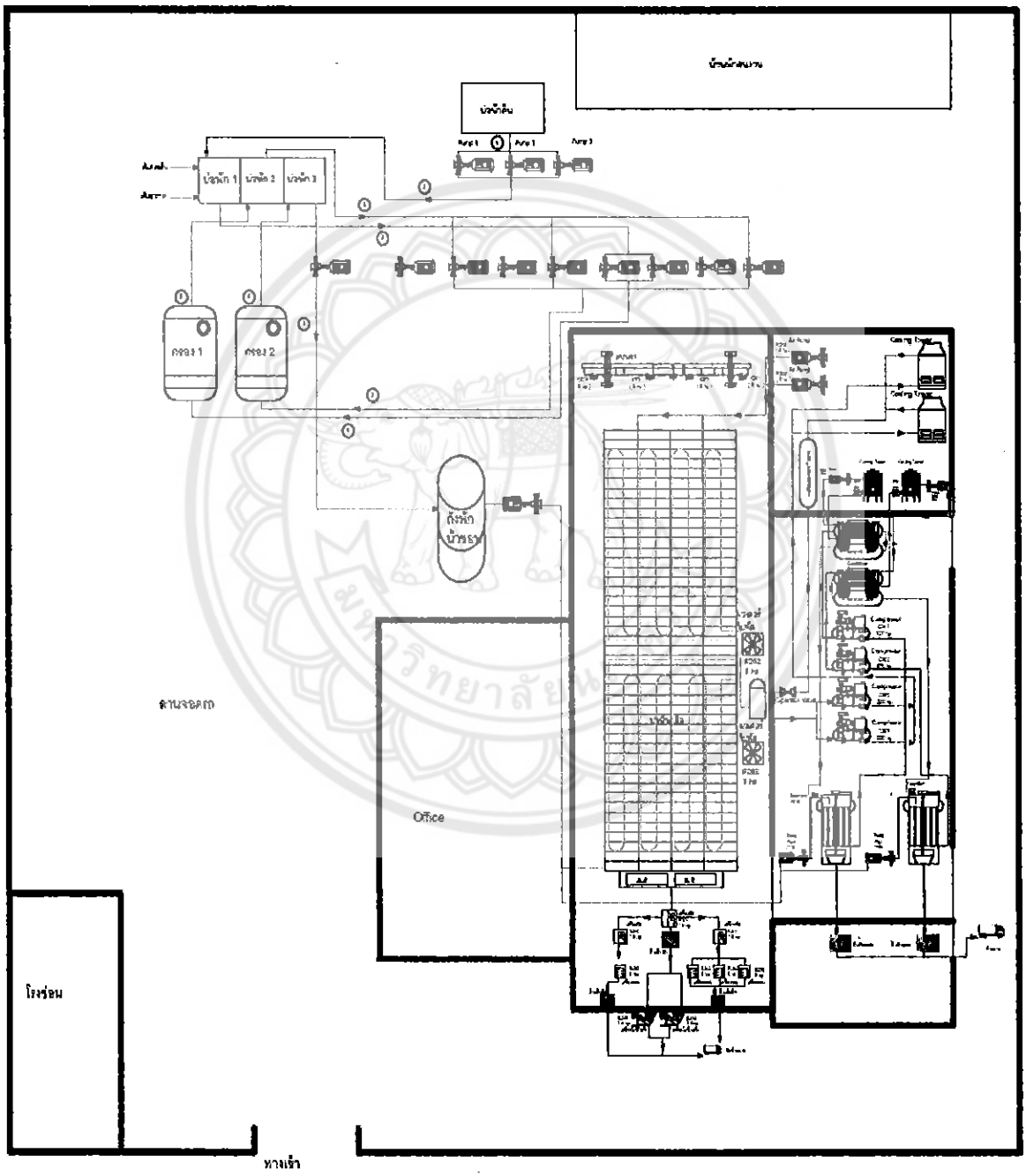
รายการอุปกรณ์ในโรงผลิตน้ำแข็งซอง							
ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์	รูป	ขนาด (hp)	จำนวน	เวลาทำงาน (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง/หน้าที่	รหัส
1	ปั๊มน้ำซอง		3	1	11	ปั๊มเติมน้ำลงซอง	P201
2	ปั๊ม cooling tower		3	2	11	ปั๊มที่ใช้ใน Cooling Tower	P202
3	ปั๊มลม		7.5	2	24	ปั๊มลม	P203
4	มอเตอร์ระบายความร้อน		5	10	11	มอเตอร์ระบายความร้อน	M201
5	มอเตอร์พัดน้ำเกลือ		5	2	11	มอเตอร์พัดน้ำเกลือ	M202
6	คอมเพรสเซอร์		220	2	11	อัดสารทำความเย็น	C201

7	เครนยก		3	2	5	มอเตอร์ขับเดินหน้า – ถอยหลัง	K201
8	เครนยก		3	2	5	มอเตอร์ขับเดินซ้าย – เดินขวา	K202
9	เครนยก		5	2	5	มอเตอร์ขับขึ้น – ลง	K203
10	เครื่องตัดน้ำแข็ง		7.5	2	5	ตัดน้ำแข็ง	B201
11	เครื่องซอยน้ำแข็ง		5	5	5	ซอยน้ำแข็ง	B202
12	เครื่องโม่น้ำแข็ง		7.5	2	5	โม่น้ำแข็ง	B203

ตาราง ค.3 รายการอุปกรณ์.โรงงานน้ำแข็งหลอด

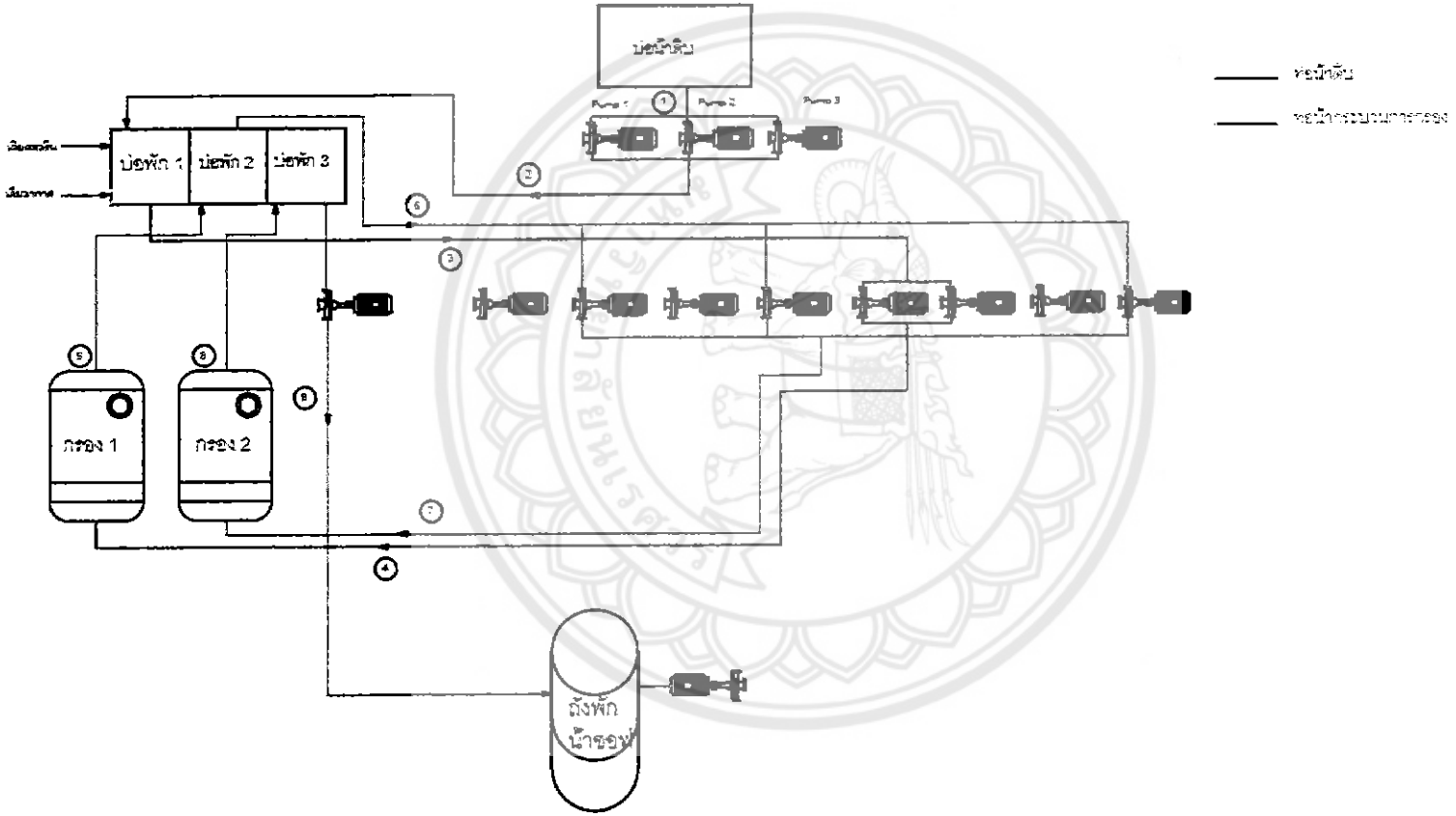
รายการอุปกรณ์ในโรงผลิตน้ำแข็งหลอด							
ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์	รูป	ขนาด (hp)	จำนวน	เวลาทำงาน (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง/หน้าที่	รหัส
1	ปั๊มเติมน้ำผลิตน้ำแข็งหลอด		5	1	11	ปั๊มเติมน้ำผลิตน้ำแข็งหลอด	P301
2	ปั๊ม cooling tower		5	1	11	ปั๊มที่ใช้ใน Cooling Tower	P302
3	คอมเพรสเซอร์		220	1	11	อัดสารทำความเย็น	C301
4	มอเตอร์ cooling tower		5	1	11	มอเตอร์ใน Cooling Tower	M301
5	มอเตอร์สกรูน้ำแข็ง		1.5	2	11	มอเตอร์สกรูน้ำแข็ง	M302

<u>แผนผังรวมของสถานประกอบการ</u>



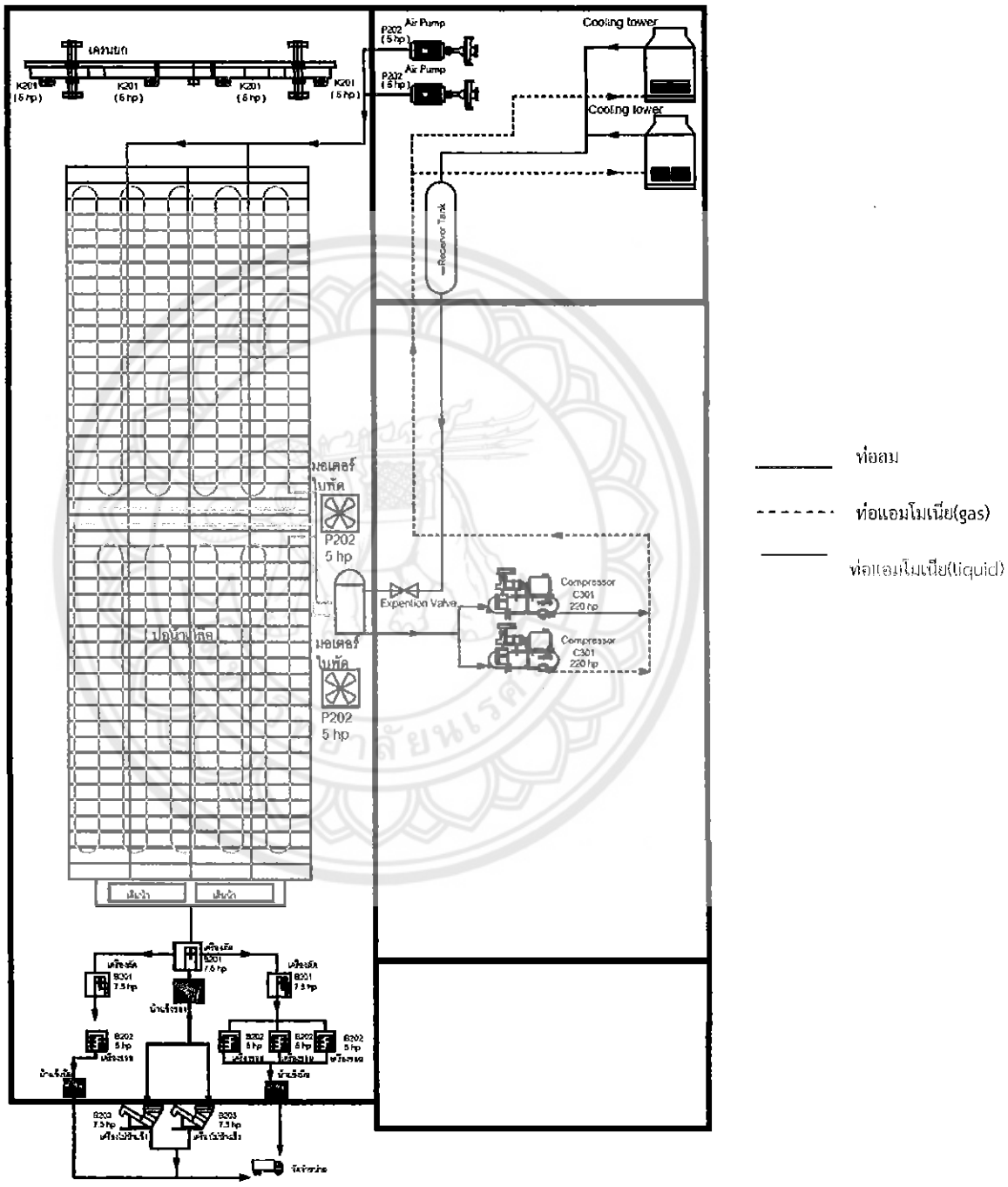
รูป ค.1 แผนผังรวมของสถานประกอบการ

แผนผังกระบวนการกรองน้ำ



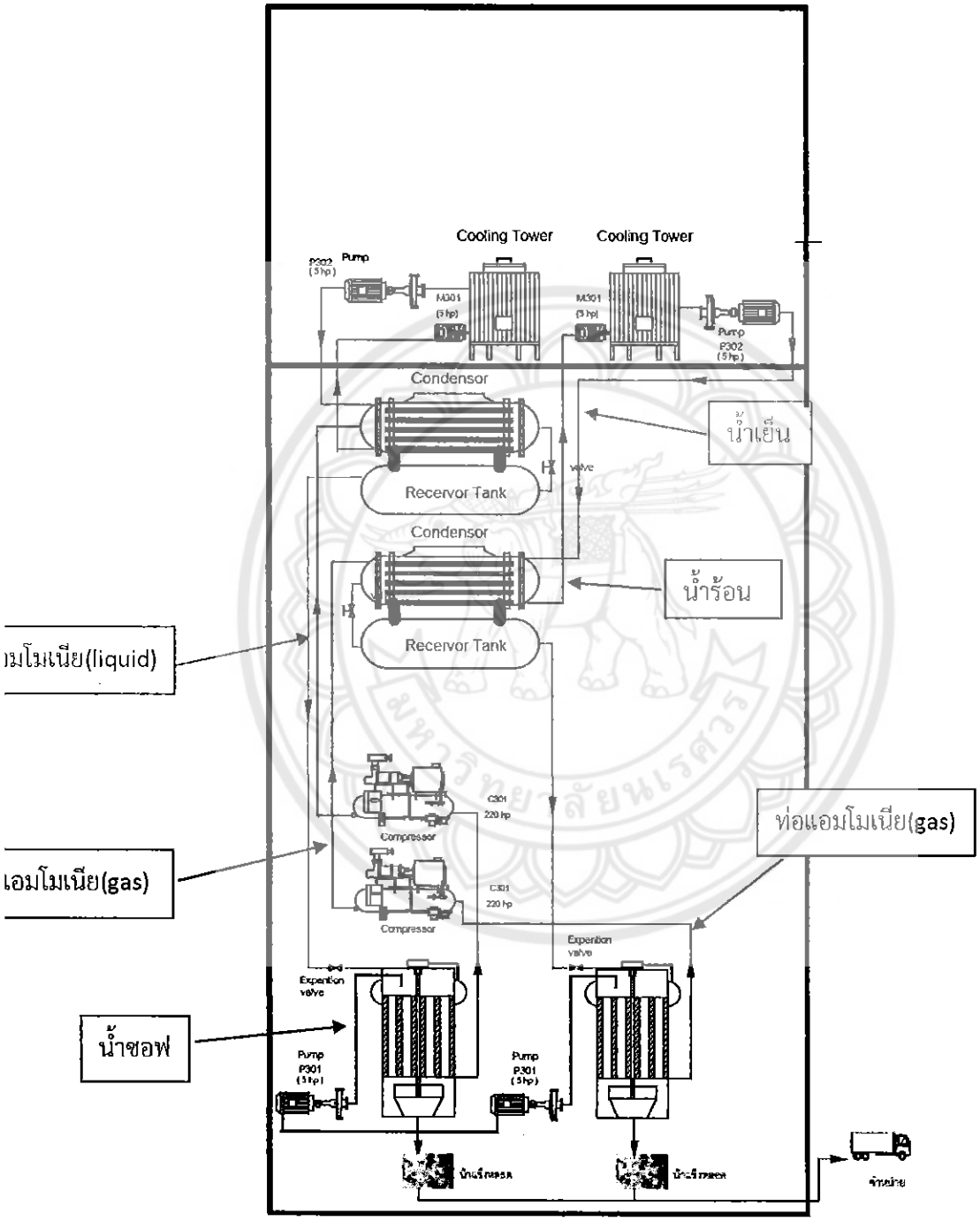
รูป ค.2 แผนผังกระบวนการกรองน้ำ

แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งซอง



รูป ค.3 แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งซอง

แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งหลอด



รูป ค.4 แผนผังโรงผลิตน้ำแข็งหลอด

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

1.นางสาวนฤมล สอนสวัสดิ์

เกิดวันที่ 26 เดือนธันวาคม พ.ศ.2537

ภูมิลำเนา 141 ม.10 ต.หนองทอง อ.ไทรงาม จ.กำแพงเพชร 62150

ประวัติการศึกษา จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนองค์การบริหารส่วนจังหวัดกำแพงเพชร

จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail nsonsawat@hotmail.com

2.นางสาวสุปรียา เงินทอง

เกิดวันที่ 11 เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2538

ภูมิลำเนา 134/21 ถ.ธรรมวิถี ซ.ปาริชาต ต.ปากน้ำโพ อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000

ประวัติการศึกษา จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนลาซาลโชติรวีนครสวรรค์

จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail lek_oops@hotmail.com

3.นางสาวอารีรัตน์ จรอนรัมย์

เกิดวันที่ 2 เดือนมกราคม พ.ศ.2537

ภูมิลำเนา 34 ม.3 ต.จีกแดก อ.พนมดงรัก จ.สุรินทร์ 32140

ประวัติการศึกษา จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพนมดงรักวิทยา

จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail mekonan@hotmail.com