

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็นใน
กระบวนการผลิตหมากฝรั่ง

IMPROVEMENT OF CHILLING WATER SYSTEM EFFICIENCY IN
THE CHEWING GUM PRODUCTION PROCESS



T132992



ชวิน เอ็มมานโญ
CHAWIN AIMMANOJ

25 29 51

เลขหมู่..... 2657
เลขทะเบียน..... 132992
วัน,เดือน,ปี..... 15 ก.ย. 2557

b. 12620691
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2014-EN-M-220-020

IMPROVEMENT OF CHILLING WATER SYSTEM EFFICIENCY IN
THE CHEWING GUM PRODUCTION PROCESS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2014-EN-M-220-020



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่ง
Thesis Title Improvement of Chilling Water System Efficiency in the Chewing GUM
Production Process
นักศึกษา นายชิน เอ็มมาโนชญ์
รหัสประจำตัว 55614803
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2014-EN-M-220-020

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.นริศรา ทองบุญชู	
ดร.สันติ วัฒนานุกรณ์	
ศ.ดร.ธราพงษ์ วิฑิตสานต์	
ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์	
รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2556 เวลา 10.00-11.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร CCA ชั้น 4 ห้องประชุมสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุขขีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่ง
นักศึกษา	นายชวิน เอมมาโนชญ์
รหัสประจำตัว	55614803
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ

บทคัดย่อ

โครงการนี้ปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่งที่ประกอบด้วยหอทำความเย็น 11 เครื่อง และเครื่องทำน้ำเย็น 4 เครื่อง เนื่องจากมีการใช้ไฟฟ้าสูง การปรับปรุงที่ทำ 2 วิธี ได้แก่ 1) เปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ออกจากหอทำความเย็นลดลง และ 2) หาอัตราส่วนการทำงาน (Part Load Ratio, PLR) ของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่องที่เหมาะสมโดยการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิง (Simulated annealing, SA) และนำค่าที่ได้ไปทดสอบในกระบวนการผลิต พบว่าการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นทุกเครื่องสามารถลดการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศที่หอทำความเย็นได้ 16.9 กิโลวัตต์ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ลดลงประมาณ 0.8 องศาเซลเซียส และภาระการทำความเย็นสูงสุด (Cooling Load Capacity) ของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง เพิ่มขึ้นจาก 508, 785, 445 และ 457 ตันความเย็น (Ton of Refrigeration, TR) เป็น 513, 803, 450 และ 470 ตันความเย็น ตามลำดับ สำหรับการทดสอบปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในกระบวนการผลิตตามค่าที่ได้จากการจำลอง พบว่าการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่องมีอัตราส่วนการทำงานตามการจำลองแตกต่างจากค่าจากการตรวจวัด $\pm 1\%$ แสดงว่าผลการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิงมีความน่าเชื่อถือ ได้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง เพิ่มขึ้นจาก 4.68 เป็น 4.86 และการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง 48.9 กิโลวัตต์ ดังนั้นจากงานดำเนินการนี้สรุปได้ว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่งและลดการใช้ไฟฟ้าได้ 65.8 กิโลวัตต์ คิดเป็นมูลค่า 1,734,000 บาทต่อปี

Thesis	Improvement of Chilling Water System Efficiency in the Chewing Gum Production Process
Student	Mr. Chawin Aimmanoj
Student ID.	55614803
Degree	Master of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum

ABSTRACT

This project improved the efficiency of chilling water system in a chewing gum production process due to high electrical power consumption. The chilling water system consists of 11 cooling towers and 4 chillers. Two methods to improve the efficiency of chilling water system were 1) changing fills of each cooling tower to reduce the outlet temperature of cooling water from the cooling towers and 2) finding the optimal part load ratios (PLR) of each chiller by using the simulated annealing method, and subsequently applying the simulated chiller part load ratios in the process. It was found that by changing the fills of the cooling towers could reduce the electrical power consumption of the cooling tower fans of about 16.9 kW. The average inlet temperature of the cooling water to the chillers of approximately 0.8 °C was decreased. Thereafter, the cooling load capacities of the chillers were increased from 508, 785, 445, and 457 to 513, 803, 450, and 470 ton of refrigeration, respectively. By applying the simulated chiller part load ratios in the process, we found that the simulated results of the electrical power consumption of each chiller compared with the measured values were $\pm 1\%$ difference. It was indicated that the simulation results by the simulated annealing method is verified. Correspondingly, the average coefficient of performance of 4 chillers increased from 4.68 to 4.86, and the electrical power consumption of 48.9 kW was decreased. In conclusion, this project can improve the efficiency of chilling water system in a chewing gum production process. The overall electrical power consumption of the chilling water system of 65.8 kW can be achieved, which is equivalent to 1,734,000 Baht/year

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการทำงาน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ รศ. ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารบริษัท มอนเดเลซ อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด คุณอรณพ เสนาสนะ Utility Engineer และคุณสมเกียรติ คนชาญ ผู้จัดการฝ่ายทรัพยากรบุคคล ที่สนับสนุนการเข้าร่วมโครงการ “การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่ง” และให้การฝึกอบรมการใช้อุปกรณ์และเครื่องทำน้ำเย็นในระบบผลิตน้ำเย็น ทำให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ในการทำงานมากขึ้น และขอขอบคุณพี่ๆ ในกระบวนการผลิตทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ ดร. นริศรา ทองบุญชู ดร. สันติ วัฒนานุสรณ์ ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์ และ ศ.ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม ระดับปริญญาโท และพระครูวินัยธร พชร ฐานกโร เจ้าอาวาสวัดประยงค์กิตติวาราม ที่สนับสนุนทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท

กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ครู อาจารย์ รวมทั้งผู้มีพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนามขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้องที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา หากวิทยานิพนธ์นี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

ชวิน เอมมาโนชญ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการผลิตหมากฝรั่ง.....	4
2.2 ระบบปรับอากาศและระบบผลิตน้ำเย็น.....	6
2.3 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น.....	11
2.4 หลักการทำงานของหอทำความเย็น.....	19
2.5 วิธีการหาค่าตอบที่เหมาะสม.....	25
2.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นถดถอย.....	32
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....	39
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานที่หอทำความเย็น.....	42
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานที่เครื่องทำน้ำเย็น.....	42
3.3 การจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีซิมูเลชัน.....	43
3.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการอภิปรายผล	48
4.1 ผลการดำเนินงานที่ห่อทำความเย็น	48
4.2 ผลการดำเนินงานที่เครื่องทำน้ำเย็น	54
4.3 ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์จากการปรับปรุงประสิทธิภาพ ของระบบผลิตน้ำเย็น	63
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผลการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของห่อทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3.....	64
5.2 สรุปผลการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น 4 เครื่อง ที่เหมาะสมด้วยวิธีซิมูเลชันนิตลิ่ง	64
5.3 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง.....	72
ภาคผนวก ข การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงาน ก่อนการดำเนินงาน	88
ภาคผนวก ค อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นและภาระการทำความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต.....	98
ภาคผนวก ง การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต.....	105
ภาคผนวก จ ขั้นตอนการคำนวณสมการถดถอยของผลต่างสูงสุดระหว่างน้ำเย็นขาเข้า และน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นด้วยโปรแกรม Minitab R. 15	109
ภาคผนวก ฉ อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 และกำลังไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศในระบบไฟฟ้า 3 เฟส.....	112
ภาคผนวก ช การจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นด้วย วิธีซิมูเลชันนิตลิ่งโดยโปรแกรม MATLAB 2006	114
ภาคผนวก ซ การคำนวณค่าไฟฟ้ารายปีและระยะเวลาคืนทุน.....	118
ประวัติผู้เขียน	119

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาเข้าหอทำความเย็นชุดที่ 2 ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ 48
4.2	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาเข้าหอทำความเย็นชุดที่ 3 ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ 49
4.3	การใช้กระแสไฟฟ้าของพัดลมที่หอทำความเย็นชุดที่ 2 ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ 49
4.4	การใช้กระแสไฟฟ้าของพัดลมที่หอทำความเย็นชุดที่ 3 ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ 50
4.5	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง 53
4.6	ผลการคำนวณภาระการทำความเย็นสูงสุดและผลต่างสูงสุดระหว่าง อุณหภูมิของน้ำเย็นวนกลับกับอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง หลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ 54
4.7	สัมประสิทธิ์ของสมการการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงาน ก่อนการดำเนินงาน 57
4.8	อัตราส่วนการทำงานและการใช้ไฟฟารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่ภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต 58
4.9	การใช้ไฟฟารวมและค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น ทั้ง 4 เครื่อง ก่อนการดำเนินงานและหลังการปรับอัตราส่วนการทำงาน ตามค่าที่ได้จากการจำลอง 63
5.1	อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง จากการจำลองด้วย วิธีซีมูเลทแอนนิลลิ่งที่ภาระการทำความเย็นต่างๆ และการใช้ไฟฟ้าต่ำสุด 65
ก.1	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็น ที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ 72
ก.2	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็น ที่ใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ 81
ข.1	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงาน ก่อนการดำเนินงาน 88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.1	อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น และภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต..... 98
ง.1	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต..... 105



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	อุณหภูมิจากน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง (วันที่ 22 ถึง 26 เมษายน พ.ศ. 2556)..... 2
2.1	กระบวนการผลิตหมากฝรั่ง 4
2.2	ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่ระบายความร้อนโดยใช้ระบบผลิตน้ำเย็น 7
2.3	เครื่องส่งลมเย็น 9
2.4	หอทําความเย็นแบบอากาศไหลสวนทางกับน้ำหล่อเย็น..... 9
2.5	หอทําความเย็นแบบอากาศไหลตามขวางกับน้ำหล่อเย็น 10
2.6	เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น 11
2.7	เครื่องระเหยสารทำความเย็น 12
2.8	หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดก้านหอย 13
2.9	คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบ 13
2.10	หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดสกรู 14
2.11	คอมเพรสเซอร์ชนิดหอยโข่ง 14
2.12	แผนภูมิความดัน – เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ 15
2.13	การไหลของพลังงานในเครื่องทำน้ำเย็น 18
2.14	การเคลื่อนที่ของหยดน้ำหล่อเย็นอย่างอิสระภายในหอทําความเย็นสูง 5 เมตร 20
2.15	แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบกระเซ็น 21
2.16	แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส 21
2.17	แผนภูมิความดัน – ปริมาตรของการอัดอากาศทั่วไป 24
2.18	สรุปขั้นตอนของการจำลองคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีซิมูเลชัน 29
2.19	การเคลื่อนที่ของคำตอบที่ได้จากการสุ่มด้วยวิธีซิมูเลชัน 31
2.20	ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามที่มีค่า $R^2 = 0.00$ 34
2.21	ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามที่มีค่า $R^2 = 1.00$ 34
3.1	ระบบผลิตน้ำเย็นที่เป็นกรณีศึกษา 40
3.2	ตะแกรงบนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทําความเย็นชุดที่ 2 และ 3 41
3.3	แผงกระจายฟิล์มน้ำพอลิไวนิลคลอไรด์แบบเพิ่มพื้นที่ผิว 42
3.4	ขั้นตอนการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่เหมาะสม ด้วยวิธีซิมูเลชัน 45

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1 ต่อภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต.....51
4.2	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 2 ต่อภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต.....51
4.3	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 3 ต่อภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต.....52
4.4	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 ต่อภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต.....52
4.5	ภาระการทำความเย็นรวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ตรวจวัดวันที่ 22 ถึง 26 เมษายน พ.ศ. 2556.....55
4.6	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1 ต่ออัตราส่วนการทำงาน ก่อนการดำเนินงาน.....56
4.7	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 2 ต่ออัตราส่วนการทำงาน ก่อนการดำเนินงาน.....56
4.8	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 3 ต่ออัตราส่วนการทำงาน ก่อนการดำเนินงาน.....57
4.9	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 ต่ออัตราส่วนการทำงาน ก่อนการดำเนินงาน.....57
4.10	การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่ลดลงต่อภาระการทำความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตหลังการปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จาก การจำลองด้วยวิธีซีมีอุเลทแอนนิลลิ่ง.....60
4.11	การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่ได้จากการจำลอง ต่อจำนวนครั้งการลดอุณหภูมิของการจำลองด้วยวิธีซีมีอุเลทแอนนิลลิ่ง.....60
4.12	การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นต่อภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีซีมีอุเลทแอนนิลลิ่ง.....60
4.13	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นที่ส่งเข้าเครื่องส่งลมเย็นในระบบปรับอากาศ หลังปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีซีมีอุเลทแอนนิลลิ่ง.....62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.1	อุณหภูมิก่อนน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1 ที่ภาวะการทำ ความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ..... 79
ก.2	อุณหภูมิก่อนน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 2 ที่ภาวะการทำ ความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ..... 79
ก.3	อุณหภูมิก่อนน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 3 ที่ภาวะการทำ ความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ..... 80
ก.4	อุณหภูมิก่อนน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 ที่ภาวะการทำ ความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ..... 80
ก.5	อุณหภูมิก่อนน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1 ที่ภาวะการทำ ความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ..... 85
ก.6	อุณหภูมิก่อนน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 2 ที่ภาวะการทำ ความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ..... 86
ก.7	อุณหภูมิก่อนน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 3 ที่ภาวะการทำ ความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ..... 86
ก.8	อุณหภูมิก่อนน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 ที่ภาวะการทำ ความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ..... 87
จ.1	ตัวอย่างการป้อนปัจจัยที่มีผลต่างสูงสุดระหว่างน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจาก เครื่องทำน้ำเย็นในโปรแกรม Minitab R. 15..... 109
จ.2	การเลือกเมนู Regression ในการคำนวณสมการถดถอยใน โปรแกรม Minitab R. 15..... 110
จ.3	การกำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามสำหรับการคำนวณสมการถดถอย..... 110
จ.4	ผลการคำนวณสมการถดถอยด้วยโปรแกรม Minitab R. 15..... 111
ข.1	การป้อนคำสั่งลงในหน้าต่าง Editor ของโปรแกรม MATLAB 2006 117
ข.2	ผลการจำลองจากโปรแกรม MATLAB 2006 117

บทที่ 1

บทนำ

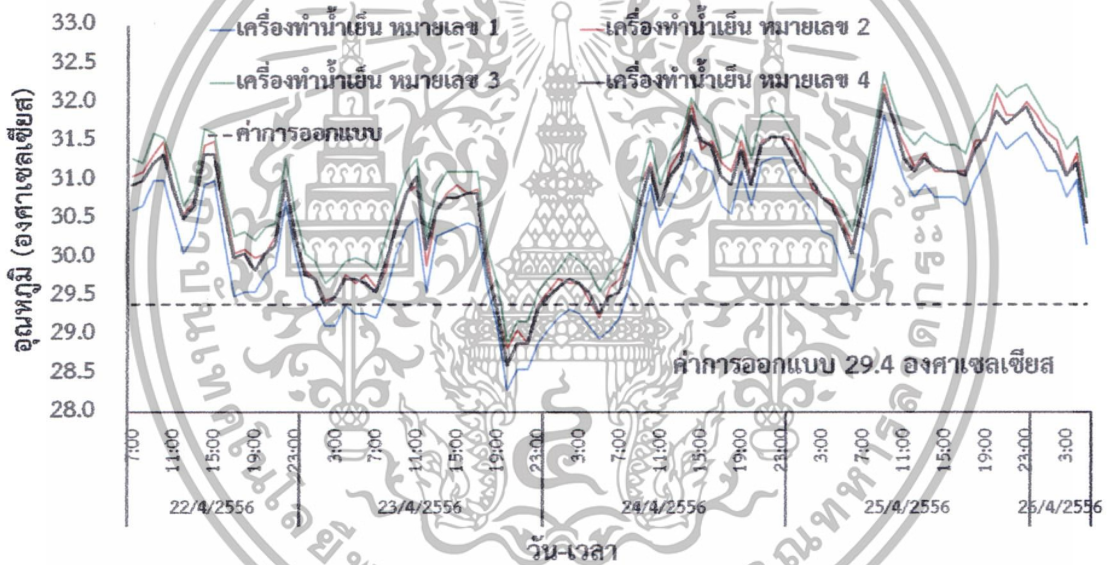
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

บริษัท มอนเดเลซ อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด ดำเนินธุรกิจผลิตหมากฝรั่ง ลูกอม และผงชงน้ำผลไม้ มีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่เมืองชิคาโก รัฐอิลลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ในประเทศไทยมีโรงงาน 2 แห่ง โรงงานแห่งแรกตั้งอยู่ที่จังหวัดขอนแก่น ดำเนินการผลิตผงชงน้ำผลไม้รสต่างๆ ภายใต้เครื่องหมายการค้า Tang® และแห่งที่สองตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ดำเนินการผลิตหมากฝรั่งชนิดมีน้ำตาลและไม่มีน้ำตาล เช่น หมากฝรั่งเดินพื้น หมากฝรั่งคลอเร็ท หมากฝรั่งไทรเด็นท์ ฯลฯ และดำเนินการผลิตลูกอม เช่น ลูกอมฮอลล์ ลูกอมคลอเร็ท ฯลฯ เพื่อจำหน่ายทั้งภายในและต่างประเทศ ตลาดส่งออกหมากฝรั่งที่สำคัญ คือ สาธารณรัฐประชาชนจีน ประเทศญี่ปุ่น สาธารณรัฐอินโดนีเซีย สาธารณรัฐอินเดีย และสาธารณรัฐฟิลิปปินส์ สำหรับในประเทศไทยตลาดหมากฝรั่งของบริษัทมีมูลค่าประมาณ 2,600 ล้านบาท คิดส่วนแบ่งการตลาดของผลิตภัณฑ์ทั้งสองกลุ่มประมาณร้อยละ 60 ของผลิตภัณฑ์หมากฝรั่งของประเทศ แยกเป็นตลาดหมากฝรั่งมีน้ำตาล 2,000 ล้านบาท และตลาดหมากฝรั่งไม่มีน้ำตาล 600 ล้านบาท (สวรรณภูมิ ทองวิเศษ และคณะ. 2553)

การผลิตหมากฝรั่งต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, R.H.) ภายในห้องกระบวนการผลิต (Production Process Room) หากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าค่าที่กำหนด จะส่งผลให้ความเหนียวและความอ่อนตัวของหมากฝรั่งเพิ่มขึ้น และเนื้อสัมผัสของหมากฝรั่งไม่ได้ตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังทำให้หมากฝรั่งติดตามเครื่องจักรต่างๆ ในกระบวนการผลิตและเกิดรีเวิร์ค (Rework) ที่ต้องนำกลับเข้ากระบวนการ บางส่วนอาจกลายเป็นของเสีย (Waste) การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทำโดยระบายความร้อนออกจากห้องกระบวนการผลิตด้วยน้ำเย็น (Chilled Water) จากระบบผลิตน้ำเย็น (Chilling Water System) ที่ป้อนเข้าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central Air Condition System) อุปกรณ์สำคัญของระบบผลิตน้ำเย็นประกอบด้วยหอทำความเย็น 16 เครื่อง (มีหน้าที่ผลิตน้ำหล่อเย็น (Cooling Water)) และเครื่องทำน้ำเย็น 4 เครื่องในการลดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากภายนอก (Fresh Air) ที่ป้อนเข้าห้องกระบวนการผลิตอาศัยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส ซึ่งมาจากเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง (Mondelez International (Thailand) Co., Ltd. 2012) เนื่องจากระบบผลิตน้ำเย็นใช้ไฟฟ้าสูง โดยเฉลี่ยประมาณ 1,300 กิโลวัตต์ หรือประมาณ 34 ล้านบาทต่อปี ดังนั้นโครงการนี้ต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็นเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าลง เพราะไฟฟ้าเป็นต้นทุนที่สำคัญของการผลิตหมากฝรั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสำรวจเบื้องต้นพบตะกรันบนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ซึ่งมีจำนวนหอทำความเย็น 5 และ 6 เครื่อง จาก 16 เครื่อง แสดงว่าพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของหอทำความเย็น และการถ่ายเทความร้อนจากน้ำหล่อเย็นให้กับอากาศขาเข้าหอทำความเย็นจะต้องลดลง ดังนั้นจากรูปที่ 1.1 จึงพบว่าส่วนใหญ่อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ออกจากหอทำความเย็นไปเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง มีค่าระหว่าง 28.5-32.5 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าค่าการออกแบบที่ 29.4 องศาเซลเซียส ดังนั้นเนื่องจากน้ำหล่อเย็นมีหน้าที่ลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็น เมื่อน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูง การใช้ไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ที่เครื่องทำน้ำเย็นจึงสูงขึ้น เพราะคอมเพรสเซอร์ต้องทำงานเพิ่มขึ้นเพื่อลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นให้ได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้ตะกรันยังขัดขวางการไหลของอากาศที่เข้าหอทำความเย็น ทำให้การใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศสูงขึ้นด้วย เพราะพัดลมดูดอากาศจะต้องทำงานเพิ่มขึ้นเพื่อดูดอากาศเข้าหอทำความเย็นให้ได้ตามค่าที่ออกแบบ



รูปที่ 1.1 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง (วันที่ 22-26 เมษายน พ.ศ. 2556)

กรณีของเครื่องทำน้ำเย็นพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง จากการคำนวณไม่เท่ากัน แต่การใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่องถูกกำหนดให้มีอัตราส่วนการทำงาน (Part Load Ratio, PLR) เท่ากัน ซึ่งจากงานวิจัยของ Yu, F.W. และ Chan, K.T. (2007) ที่ศึกษาการแบ่งอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น 2 เครื่อง พบว่าหากต้องการค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นสูงสุด และได้ภาระการทำทำความเย็น (Cooling Load) ของเครื่องทำน้ำเย็นตามที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตโดยที่มีการใช้ไฟฟ้าต่ำ จะต้องแบ่งอัตราส่วนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานให้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่าทำงานเต็มสมรรถนะก่อน และให้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะต่ำกว่าทำงานด้วยภาระการทำน้ำเย็นที่เหลือ จากรายงานผลการวิจัยดังกล่าว ดังนั้นโครงการนี้จะหาอัตราส่วนการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่อง เพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นและลดการใช้ไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็นในที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ปรับปรุงประสิทธิภาพของหอทำความเย็นและเครื่องทำน้ำเย็นของระบบผลิตน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่งเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็นของกระบวนการผลิตหมากฝรั่งที่ประกอบด้วยหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 รวม 11 เครื่อง และเครื่องทำน้ำเย็น 4 เครื่อง

1.3.2 เสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของหอทำความเย็นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบผลิตน้ำเย็นและคุณภาพของหมากฝรั่ง

1.3.3 หาอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง โดยวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมจากการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่ง (Simulated annealing, SA) เพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะและลดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง

1.3.4 ทดสอบและตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าของหอทำความเย็นหลังการดำเนินงาน

1.3.5 ทดสอบและตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น หลังจากปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ในกระบวนการผลิตตามค่าที่ได้จากการจำลอง

1.3.6 วิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของหอทำความเย็นและเครื่องทำน้ำเย็นของระบบผลิตน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่ง

1.4.2 สามารถลดการใช้ไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น

1.4.3 บริษัทสามารถประยุกต์ผลที่ได้จากโครงการต้นแบบนี้กับระบบผลิตน้ำเย็นของโรงงานในเครือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

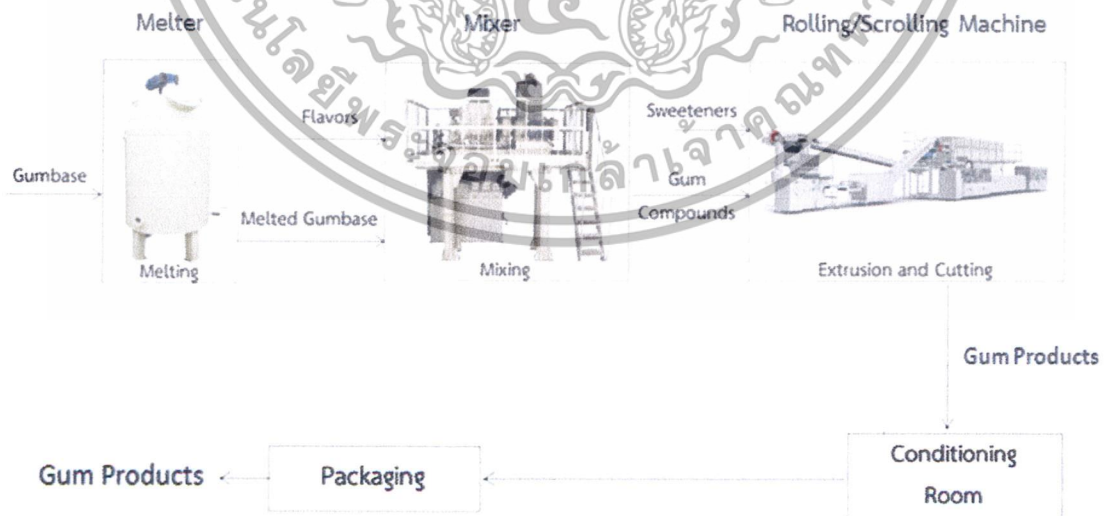
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตหมากฝรั่ง (Mondelez International (Thailand) Co., Ltd. 2012; ชนกนาค บุ๋สาลี. 2556)

หมากฝรั่ง คือ ผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวที่ผลิตจากยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ผสมกับสารเติมแต่งที่มีความหลากหลาย เช่น กลิ่น สี น้ำตาล และสารให้ความหวานแทนน้ำตาลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ประเภทพอลิโออล (Polyols) เช่น ซิลิทอล (Xylitol) หมากฝรั่งแบ่งออกเป็นหมากฝรั่งสำหรับเป่า (Bubble Gum) ที่มีน้ำตาล หมากฝรั่งสำหรับเคี้ยว (Chewing Gum) ที่มีและไม่มีน้ำตาล และหมากฝรั่งสำหรับเด็กบุหรี

ผู้ริเริ่มธุรกิจหมากฝรั่ง คือ โทมัส อดัมส์ นักประดิษฐ์จากประเทศสหรัฐอเมริกา และเริ่มวางจำหน่ายหมากฝรั่งที่ร้านขายยาในเมืองโฮโบเคินในปี ค.ศ. 1871 หมากฝรั่งที่ผลิตในยุคแรกเป็นเม็ดกลม ขนาดเล็ก ไม่มีรสชาติ ทำจากยางธรรมชาติชนิดชิลิ (Chicle) ต่อมาในปี ค.ศ. 1875 เกล็ดกรรชือจอห์น คอลแกน คิดค้นการเติมรสชาติลงในหมากฝรั่งด้วยซีฟิ่งหอมทุโลซึ่งเป็นตัวยาทางการแพทย์ หมากฝรั่งชนิดนี้ถูกเรียกว่า แพพพี-ทุโล ต่อมา โทมัส อดัมส์ เติมรสชะเอมลงในหมากฝรั่ง และเรียกชื่อหมากฝรั่งชนิดนี้ว่า แบลคแจค ซึ่งยังมีจำหน่ายในปัจจุบันและเป็นหมากฝรั่งที่มีรสเก่าแก่ที่สุด

กระบวนการผลิตหมากฝรั่งที่เป็นกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 2.1 ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central Air-conditioning System) ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตหมากฝรั่ง (Mondelez International (Thailand) Co., Ltd. 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การหลอมหมากพื้นฐาน

หมากพื้นฐาน (Gumbase) จะถูกป้อนเข้าเครื่องหลอมหมาก (Melter) ที่ใช้ไอน้ำอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นหมากพื้นฐานที่หลอมแล้ว (Melted Gum) จะถูกป้อนเข้าขั้นตอนการผสมหมากฝรั่งต่อไป กลไกการหลอมหมากพื้นฐานภายในเครื่องหลอมหมาก มีดังนี้

- 1) โมเลกุลหมากพื้นฐานเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้นตามทิศทางของแรงกวน ทำให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลลดลง ส่วนน้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างโมเลกุลจะถูกปล่อยออกมาภายนอกจึงช่วยให้การไหลดีขึ้น
- 2) เมื่อแรงยึดระหว่างโมเลกุลลดลง ความหนืดของหมากพื้นฐานจะลดลง

2. การผสมหมากฝรั่ง

หมากพื้นฐานที่หลอมแล้วจะถูกป้อนเข้าเครื่องผสมหมากฝรั่ง (Mixer) เพื่อผสมกับสารเติมแต่ง เช่น กลิ่น สี น้ำตาล สารให้ความหวาน ตามสูตรการผสมหมากพื้นฐานกับสารเติมแต่งในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 31 และ 69% ตามลำดับ (Mondetez International (Thailand) Co., Ltd. 2012)

3. การรีดและตัดหมากฝรั่ง

หมากฝรั่งที่ผ่านการผสมสารเติมแต่งแล้ว (Gum Compounds) จะถูกส่งเข้าเครื่องรีดและตัดหมากฝรั่ง (Rolling/Scrolling Machine) ให้เป็นแผ่นใหญ่ ขั้นตอนนี้ต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ 20 ± 2 องศาเซลเซียส และ $50 \pm 5\%$ R.H. หากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องกระบวนการผลิตสูงเกินค่าที่กำหนด หมากฝรั่งจะมีความเหนียวและความอ่อนตัวเพิ่มขึ้นจึงเกาะตามเครื่องรีดและตัดหมากฝรั่งทำให้เกิดของเสีย

4. การบ่ม

หมากฝรั่งที่ถูกตัดเป็นแผ่นใหญ่จากขั้นตอนการรีดและตัดหมากฝรั่งจะถูกส่งเข้ากระบวนการบ่ม (Conditioning) ซึ่งอยู่ภายในห้องกระบวนการผลิตที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ 15 ± 2 องศาเซลเซียส และ $45 \pm 5\%$ R.H. เพราะมีผลต่อลักษณะผิวสัมผัสของหมากฝรั่งตามข้อกำหนดของบริษัท

5. การบรรจุหีบห่อ

หมากฝรั่งที่ผ่านการบ่มแล้วจะถูกห่อด้วยกระดาษแล้วบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ หรือบรรจุลงขวดด้วยเครื่องบรรจุ ขั้นตอนนี้ต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ 20 ± 2 องศาเซลเซียส และ $50 \pm 5\%$ R.H. หากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องกระบวนการบรรจุหีบห่อสูงเกินค่าที่กำหนด หมากฝรั่งจะมีความเหนียวและความอ่อนตัวเพิ่มขึ้นจึงเกาะตามเครื่องบรรจุหมากฝรั่งทำให้เกิดของเสีย

2.2 ระบบปรับอากาศและระบบผลิตน้ำเย็น (เวชยันต์ วรกิจจ่างค์ชัย. 2552; กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556)

ระบบปรับอากาศภายในอาคารหรือโรงงานมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการปรับและควบคุม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การหมุนเวียนของอากาศ การระบายอากาศเสีย การกำจัดฝุ่นละออง ควัน กลิ่น และเสียง โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เพื่อการปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพของบุคลากรหรือเครื่องจักร ระบบปรับอากาศมีหน้าที่ดังนี้

1. ปรับและควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อลักษณะการทำงานในห้องนั้นๆ
2. ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมต่อลักษณะการทำงาน เช่น ในฤดูหนาวที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อุณหภูมิสูงประมาณ 29 องศาเซลเซียส น้ำจะระเหยได้ง่ายกว่าในฤดูร้อน แต่วันที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 24 องศาเซลเซียส ผิวหนังจะแห้งหรือริมฝีปากแตกจากการสูญเสียน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับมนุษย์มีค่าประมาณ 50% R.H.
3. การระบายอากาศเสีย ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ และสิ่งสกปรกจากกิจกรรมต่างๆ
4. การหมุนเวียนของอากาศบริสุทธิ์ การปรับอากาศต้องคำนึงถึงความเร็วในการหมุนเวียนของอากาศภายในห้อง หากการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องปรับอากาศเร็วเกินไป จะทำให้ความสามารถในแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศที่ป้อนเข้ากับอากาศภายในห้องปรับอากาศลดลง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศ
5. การกำจัดฝุ่นละออง ควัน กลิ่น และเสียง

ระบบปรับอากาศแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการใช้งาน ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central System)

2.2.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)

ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่นอกห้องปรับอากาศ เรียกว่า คอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing Unit) และส่วนที่อยู่ภายในห้องปรับอากาศเรียกว่า แฟนคอยล์ยูนิต (Fan Coil Unit: FCU) การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็น (Refrigerant) ที่อยู่ในแฟนคอยล์ยูนิตกับอากาศภายในห้องปรับอากาศ และระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นด้วยอากาศจากภายนอกที่คอนเดนซิ่งยูนิต ระบบปรับอากาศชนิดนี้มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง มีภาระการทำความเย็นสูงสุด (Cooling Load Capacity) ระหว่าง 0.75 – 30 ตันทำความเย็น (Ton of Refrigeration: TR) โดยทั่วไปจะใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนกับบ้านและอาคารขนาดเล็ก

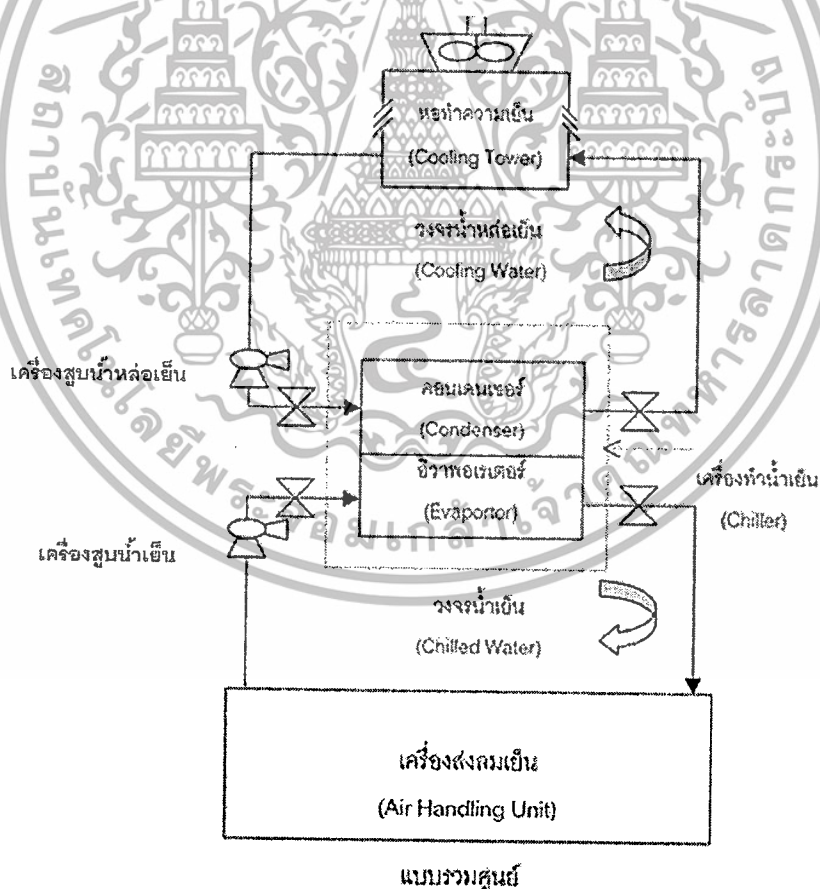
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาระการทำความเย็นสูงสุดของระบบปรับอากาศ คือ ปริมาณความร้อนสูงสุดที่ระบบปรับอากาศสามารถนำออกจากสารทำความเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ต้นความเย็น คือ ความร้อนที่ใช้ละลายน้ำแข็งอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ปริมาณ 1 ตัน ภายใน 1 วัน

2.2.2 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central Air-conditioning System) ที่ระบายความร้อนด้วยระบบผลิตน้ำเย็น (Chilling Water System)

ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่ระบายความร้อนด้วยระบบผลิตน้ำเย็นแสดงดังรูปที่ 2.2 เป็นระบบที่ใช้อยู่ในกระบวนการผลิตหมากฝรั่งที่เป็นกรณีศึกษา มีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศ วิศวกรการทำงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีขั้นตอนดังนี้ น้ำเย็นที่ผลิตจากระบบผลิตน้ำเย็นส่วนกลางจะถูกส่งไปยังเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit: AHU) ที่ติดตั้งในห้องปรับอากาศต่างๆ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในห้องปรับอากาศ จากนั้นน้ำเย็นที่รับความร้อนจากอากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะไหลวนกลับไปยังระบบผลิตน้ำเย็นด้วยเครื่องสูบน้ำเย็น เพื่อระบายความร้อนที่รับมาออกและส่งน้ำเย็นกลับไปยังเครื่องส่งลมเย็นเป็นวัฏจักรเช่นนี้



รูปที่ 2.2 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่ระบายความร้อนโดยใช้ระบบผลิตน้ำเย็น

(เวชยันต์ วรกิจอำรงค์ชัย, 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบผลิตน้ำเย็นมีหน้าที่ผลิตน้ำเย็นป้อนสู่ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์สำคัญ ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น หอทำความเย็น (Cooling Tower) และเครื่องสูบน้ำ ขั้นตอนการทำงานมีดังนี้ น้ำเย็นจากระบบปรับอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกส่งไปยังเครื่องทำน้ำเย็น ในขณะที่เดียวกันน้ำหล่อเย็น (Cooling Water) จากหอทำความเย็นจะถูกส่งมายังเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อรับความร้อนจากน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิสูง น้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะถูกส่งไปยังหอทำความเย็นด้วยเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น เพื่อระบายความร้อนที่รับมาออกสู่บรรยากาศ หลังจากนั้นจึงถูกส่งกลับไปยังเครื่องทำน้ำเย็นอีกเป็นวัฏจักรเช่นนี้

ข้อดีของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ คือ มีประสิทธิภาพการทำความเย็นและภาระการทำความเย็นสูงสุดซึ่งสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบอื่น แต่ระบบปรับอากาศแบบนี้มีค่าบำรุงรักษาสูงกว่าเนื่องจากระบบมีความซับซ้อน

อุปกรณ์สำคัญภายในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่ระบายความร้อนโดยใช้ระบบผลิตน้ำเย็นประกอบด้วย

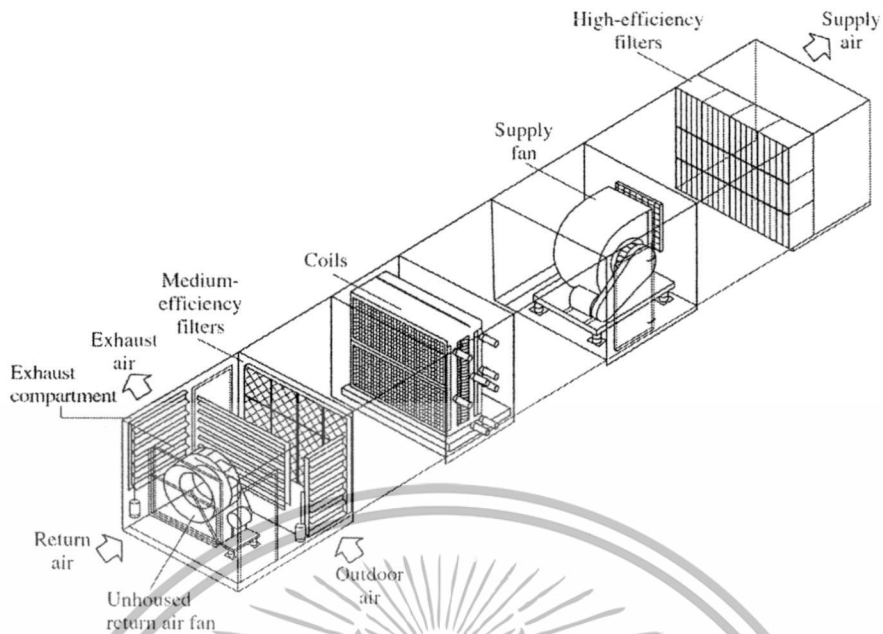
1. เครื่องส่งลมเย็น ใช้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ป้อนเข้าสู่ห้องปรับอากาศ โดยใช้ใช้น้ำเย็นที่ผลิตจากระบบผลิตน้ำเย็นเป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศจากภายนอก ส่วนประกอบของเครื่องส่งลมเย็นแสดงดังรูปที่ 2.3 ได้แก่

- แผ่นกรองอากาศ (Filter) มีหน้าที่กำจัดฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกที่อยู่ในอากาศ ที่ป้อนเข้าชุดลวดเย็นและห้องปรับอากาศ แผ่นกรองอากาศอาจทำจากฟองน้ำซึ่งมีส่วนผสมของพลาสติก หรือทำจากใยโลหะอะลูมิเนียม หรืออาจเป็นแบบใช้หลักการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถดูดฝุ่นละอองเข้ามาเก็บไว้ได้

- ชุดลวดเย็น (Cooling Coil) เป็นอุปกรณ์หลักของเครื่องส่งลมเย็น ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นกับอากาศจากภายนอก น้ำเย็นจะไหลอยู่ภายในชุดลวดเย็นและนำความร้อนออกจากอากาศที่ไหลผ่านชุดลวดเย็น ทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง และไอน้ำในอากาศจะกลั่นตัวแยกออกจากอากาศ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำลง หยดน้ำที่กลั่นตัวบริเวณผิวและครีบบของชุดลวดเย็นจะถูกระบายออกทางท่อน้ำทิ้ง

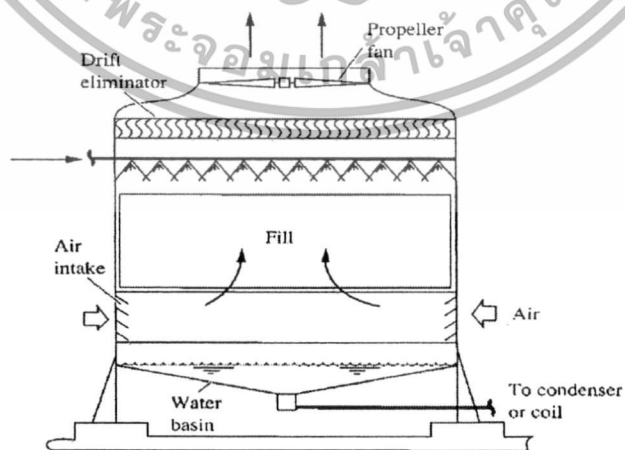
- พัดลม (Fan) ทำหน้าที่ป้อนและควบคุมอัตราการไหลของอากาศภายในห้องปรับอากาศ ถ้าอัตราการไหลของอากาศภายในห้องปรับอากาศสูงเกินไป การถ่ายเทความร้อนจากร่างกายของคนหรือเครื่องจักรภายในห้องปรับอากาศจะเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ จึงต้องปรับอัตราการไหลของอากาศให้พอเหมาะ ซึ่งทำได้โดยปรับความเร็วรอบของพัดลมให้ช้าลงหรือเร็วขึ้น

2. เครื่องทำน้ำเย็น เป็นเครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้ามก มีหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำเย็นที่รับความร้อนมาจากอากาศที่ห้องปรับอากาศ ก่อนป้อนกลับเข้าเครื่องส่งลมเย็น ขนาดภาระการทำความเย็นสูงสุดหรือปริมาณความร้อนสูงสุดที่เครื่องทำน้ำเย็นสามารถนำออกจากน้ำเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าตั้งแต่ 3 ถึง 8,000 ตันทำความเย็น



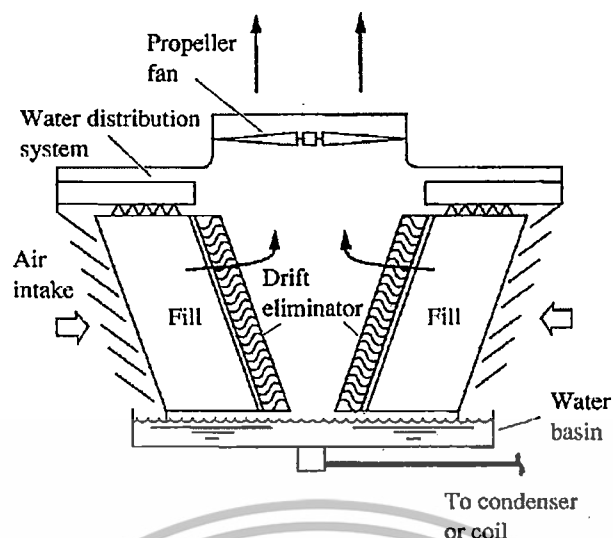
รูปที่ 2.3 เครื่องส่งลมเย็น (Wang, S.K. 2001)

3. หอทำความเย็น เป็นอุปกรณ์ส่วนปลายทางของกระบวนการผลิตต่างๆ รวมทั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ มีหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยระบายออกสู่บรรยากาศ ด้วยการฉีดน้ำหล่อเย็นผ่านหัวจ่ายน้ำทางด้านบนของหอทำความเย็นลงมาผ่านแผงกระจายฟิล์มน้ำ (Fill) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศจากภายนอกที่ไหลสวนทาง (Counter Flow) ดังรูปที่ 2.4 หรือไหลตามขวางกับน้ำหล่อเย็น (Cross Flow) ดังรูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตหมากฝรั่งที่เป็นกรณีศึกษาใช้หอทำความเย็นแบบที่อากาศจากภายนอกไหลตามขวางกับน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 2.4 หอทำความเย็นแบบอากาศไหลสวนทางกับน้ำหล่อเย็น (Wang, S.K. 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



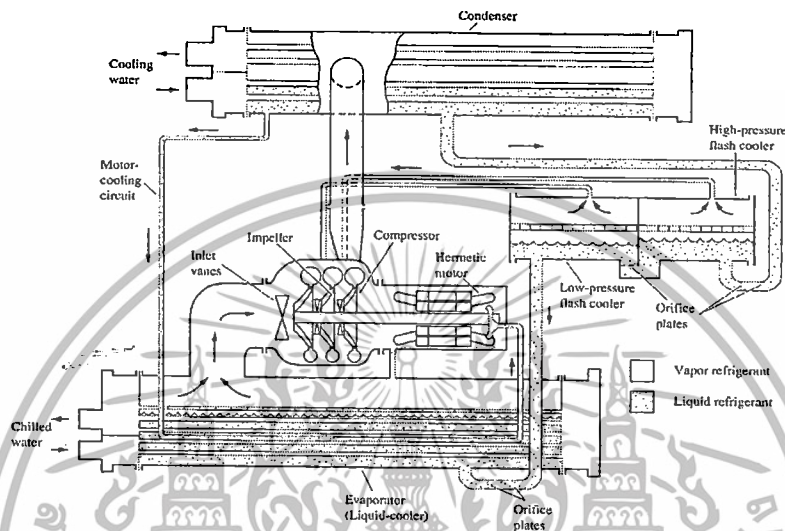
รูปที่ 2.5 หอทำความเย็นแบบอากาศไหลตามขวางกับน้ำหล่อเย็น (Wang, S.K. 2001)

4. เครื่องสูบน้ำ (Water Pump) มีหน้าที่ปั๊มน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็นไปยังเครื่องส่งลมเย็น เครื่องทำน้ำเย็น และหอทำความเย็น โดยอาศัยพลังงานกลจากมอเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มความดันให้กับน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น ทำให้น้ำมีแรงที่สามารถเอาชนะแรงเสียดทานของท่อ ข้อต่อ วาล์ว และอุปกรณ์ต่างๆ และควบคุมให้น้ำมีอัตราการไหลตามที่ต้องการ สามารถแบ่งเครื่องสูบน้ำได้ 2 กลุ่ม คือ
- เครื่องสูบน้ำชนิดเปลี่ยนปริมาตร (Positive Displacement Pump)
เครื่องสูบน้ำชนิดนี้อาศัยการกักน้ำในบริเวณที่มีปริมาตรจำกัด แล้วอาศัยแรงดันลดปริมาตรนั้นลง เพื่อให้เกิดการไหลขึ้น เครื่องสูบน้ำประเภทนี้จะให้ความดันสูง แต่อัตราการไหลต่ำ ตัวอย่างเครื่องสูบน้ำชนิดเปลี่ยนปริมาตร เช่น เครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบ (Piston Pump) เครื่องสูบน้ำชนิดโรตารีเวน (Rotary Vane Pump) เครื่องสูบน้ำชนิดไดอะแฟรม (Diaphragm Pump)
 - เครื่องสูบน้ำชนิดอาศัยแรงเหวี่ยง (Rotodynamic Pump)
เครื่องสูบน้ำชนิดนี้อาศัยแรงเหวี่ยงของใบพัด เป็นชนิดที่ใช้ในกระบวนการผลิตหมักฝรั่งที่เป็นกรณีศึกษา หลักการทำงานคือทำให้พลังงานจลน์ของน้ำสูงขึ้น พลังงานจลน์ที่ได้รับจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปความดันของน้ำ และทำให้เกิดการไหลของน้ำ ตัวอย่างเครื่องสูบน้ำชนิดอาศัยหลักการเหวี่ยง เช่น เครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง (Centrifugal Pump) ซึ่งใช้แพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ให้ความดันต่ำถึงปานกลาง และอัตราการไหลสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (Wang, S.K. 2001)

เครื่องทำน้ำเย็น (รูปที่ 2.6) เป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่ใช้ไฟฟ้าสูง มีหน้าที่ดึงความร้อนออกจากน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิก่อนนำน้ำเย็นไปใช้งาน โดยใช้หลักการระเหยและการควบแน่นของสารทำความเย็น (Refrigerant) ความร้อนที่สารทำความเย็นรับมาจะถูกระบายออกไปกับน้ำหล่อเย็น ส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำเย็นมีดังนี้



รูปที่ 2.6 เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น (Wang, S.K. 2001)

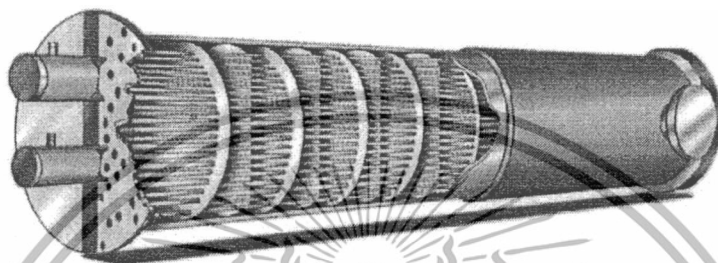
1. วาล์วจ่ายสารทำความเย็น

อาศัยหลักการลดความดันของสารทำความเย็นทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลง และทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้เหมาะสม ก่อนป้อนเข้าเครื่องระเหยหรือ อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) อัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบเครื่องทำน้ำเย็นจะเปลี่ยนแปลงตามภาระการทำความเย็น (Cooling Load) หรือปริมาณความร้อนที่เครื่องทำน้ำเย็นดึงออกจากน้ำเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและมีอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อปรับภาระการทำความเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นผลิตให้สมดุลกับภาระการทำความเย็นที่อุปกรณ์ส่วนปลายทางต้องการ วาล์วจ่ายสารทำความเย็นมีหลายชนิด เช่น วาล์วระเหยสารทำความเย็น (Expansion Valve) ซึ่งจะติดตั้งในเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดไม่เกิน 200 ตันความเย็น ในกรณีที่ต้องการการปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้แน่นอนอาจใช้ลิ้นขยายอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Expansion Valve) ที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครโพรเซสเซอร์ สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดสูงกว่า 200 ตันความเย็น จะใช้วาล์วลูกกลอย (Float Valve) หรือแผ่นช่อง (Orifice Plate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องระเหยสารทำความเย็น

เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and Tube Heat Exchanger) แสดงดังรูปที่ 2.7 ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นในสถานะของผสมระหว่างของเหลวและไอที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าน้ำเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและมีอุณหภูมิสูงขึ้น สารทำความเย็นที่เป็นของผสมระหว่างของเหลวและไอจะไหลเข้าเครื่องระเหย แล้วระเหยกลายเป็นไอทั้งหมดที่ความดันคงที่ พลังงานที่ใช้ในการระเหยสารทำความเย็นได้รับจากน้ำเย็นอุณหภูมิสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว ทำให้น้ำเย็นนั้นมีอุณหภูมิต่ำลง



รูปที่ 2.7 เครื่องระเหยสารทำความเย็น (เวซยันต์ วรกิจอารังค์ชัย, 2552)

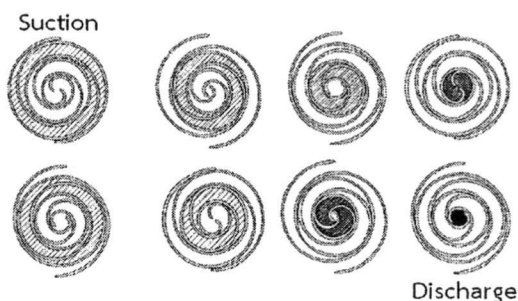
3. คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

เป็นอุปกรณ์เพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอ โดยดูดสารทำความเย็นในสถานะไอที่มีอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจากเครื่องระเหยสารทำความเย็นเข้ามา แล้วอัดเพิ่มความดันไอ และส่งต่อไปยังเครื่องควบแน่น (Condenser) คอมเพรสเซอร์มีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้

- คอมเพรสเซอร์ชนิดก้นหอย (Scroll Compressor)

หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มีดังนี้ ชิ้นส่วนก้นหอยชิ้นที่หนึ่งจะอยู่นิ่ง (Fixed Scroll) ในขณะที่ชิ้นส่วนก้นหอยชิ้นที่สอง (Orbiting Scroll) จะเคลื่อนที่เบียดกับชิ้นส่วนก้นหอยชิ้นแรก เมื่อชิ้นส่วนสองชิ้นนี้ประกบกันจะเกิดช่องว่างสำหรับกักเก็บไอของสารทำความเย็น และอัดให้ไอของสารทำความเย็นเข้าสู่จุดศูนย์กลาง จึงเป็นการลดปริมาตรและเพิ่มความดันให้แก่ไอของสารทำความเย็นที่จ่ายออกไปทางช่องที่อยู่ตรงจุดศูนย์กลาง ดังรูปที่ 2.8 คอมเพรสเซอร์ชนิดก้นหอยมักใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นขนาดเล็กที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดระหว่าง 15 ถึง 60 ตันทำความเย็น

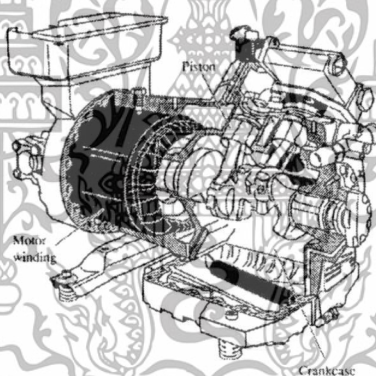
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดก้านหอย (Wang, S. K. 2001)

- คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบ (Reciprocating Compressor)

รูปที่ 2.9 แสดงคอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบ หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มีดังนี้ ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงเพื่อดูดไอของสารทำความเย็นเข้ามาอยู่ในกระบอกสูบ และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นด้วยแรงดันจากมอเตอร์ ไอของสารทำความเย็นจะถูกอัดให้มีความดันเพิ่มขึ้นและไหลออกจากกระบอกสูบ คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มักใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดไม่เกิน 200 ตันความเย็น

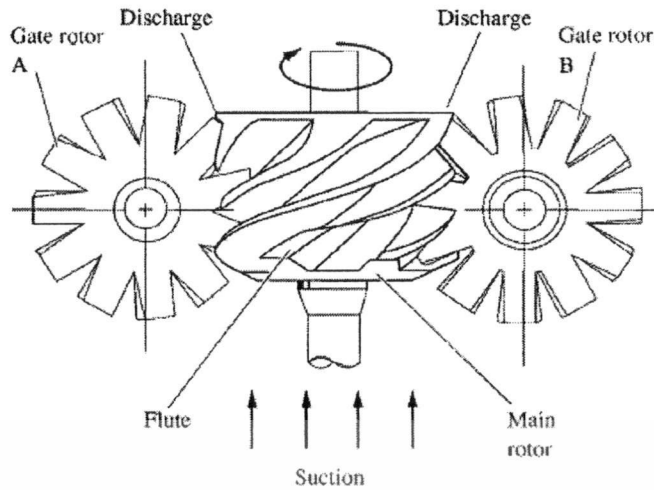


รูปที่ 2.9 คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบ (Wang, S. K. 2001)

- คอมเพรสเซอร์ชนิดสกรู (Screw Compressor)

รูปที่ 2.10 แสดงหลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดสกรู เมื่อเพลลาของสกรูหมุน ไอของสารทำความเย็นจะถูกดูดผ่านท่อเข้ามา และถูกอัดตามฟันเฟืองที่ขบกันและหมุนด้วยความเร็วสูงทำให้ไอของสารทำความเย็นที่ถูกอัดมีความดันสูงขึ้นและไหลออกที่ฝั่งตรงข้ามของทางเข้า คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มักใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดระหว่าง 50 ถึง 1,300 ตันความเย็น

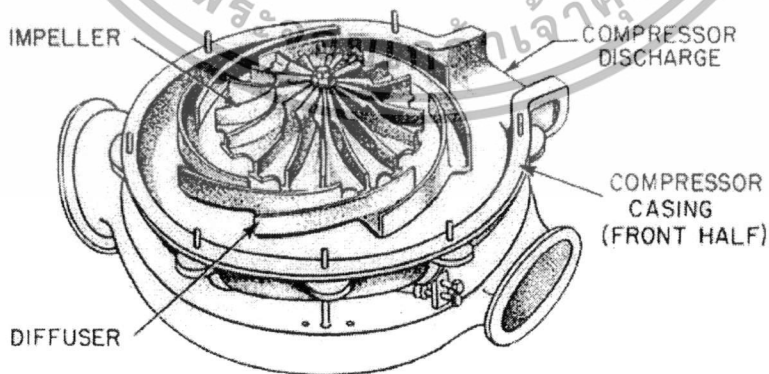
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดสกรู (Wang, S. K. 2001)

- คอมเพรสเซอร์ชนิดหอยโข่ง (Centrifugal Compressor)

รูปที่ 2.11 แสดงคอมเพรสเซอร์ชนิดหอยโข่ง หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้อาศัยการหมุนของใบพัด (Impeller) ที่ได้รับการถ่ายทอดกำลังจากเครื่องยนต์ต้นกำลังหรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใบพัดหมุนพลังงานจะถูกถ่ายเทโดยการผลัดดันของครีบบใบพัด (Diffuser) ทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง (Tangential Flow) การไหลในลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เป็นผลให้เกิดการไหลจากศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวง (Radial Flow) เมื่อไอของสารทำความเย็นถูกหมุนให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะมีความดันมากขึ้น คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มีมักใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดระหว่าง 150 ถึง 8,000 ตันความเย็น



รูปที่ 2.11 คอมเพรสเซอร์ชนิดหอยโข่ง (Wang, S. K. 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

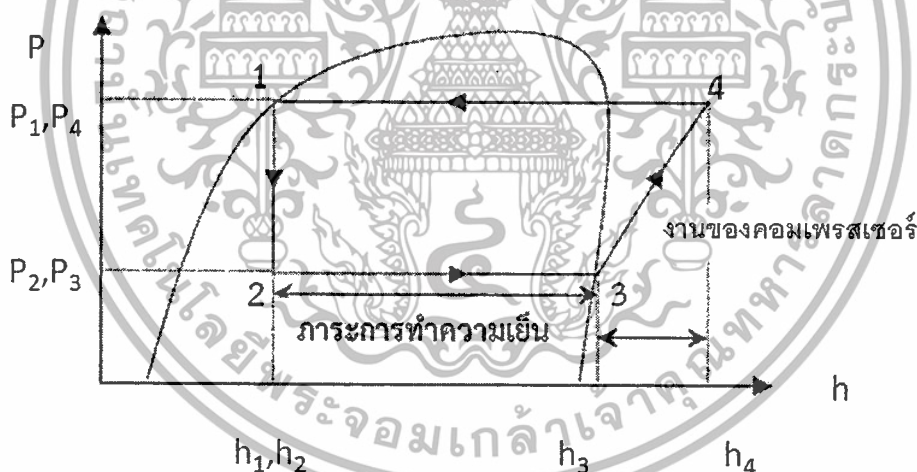
4. เครื่องควบแน่นสารทำความเย็น (Condenser)

เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อเช่นเดียวกับเครื่องระเหย ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นสถานะไอจากคอมเพรสเซอร์ที่มีอุณหภูมิและความดันสูงกับน้ำหล่อเย็นจากหอทำความเย็น เพื่อระบายความร้อนจากสารทำความเย็น และควบแน่นสารทำความเย็นให้กลายเป็นของเหลวทั้งหมด

เครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่เป็นกรณีศึกษาในโครงการนี้ มีภาระการทำความเย็นสูงสุดระหว่าง 450 ถึง 1,000 ตันความเย็น อุปกรณ์ภายในของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง นี้ประกอบด้วย อุปกรณ์จ่ายสารทำความเย็นชนิดแผ่นช่อง เครื่องระเหยสารทำความเย็น คอมเพรสเซอร์ชนิดหอยโข่ง และเครื่องควบแน่นสารทำความเย็น สารทำความเย็นที่ใช้ คือ R-134A (1,1,1,2-Tetrafluoroethane)

2.3.1 วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอและการวัดการใช้พลังงาน (ASHRAE. 1999; Wang, S.K. 2001; พิสุทธิ ชัยอมฤต. 2545; Chang, Y.C. 2004; กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2556)

วัฏจักรการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น อาศัยหลักการระเหยและการควบแน่นสารทำความเย็นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น ประกอบด้วย 4 กระบวนการย่อย สามารถแสดงด้วยแผนภูมิความดัน - เอนทัลปี ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แผนภูมิความดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ (พิสุทธิ ชัยอมฤต. 2545)

- กระบวนการที่ 1 - 2 คือ กระบวนการลดความดันแบบไอเซนโทรปิก (Isentropic) และควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นด้วยวาล์วจ่ายสารทำความเย็น การลดความดันของสารทำความเย็นจะทำให้สารทำความเย็นสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ ในระหว่างกระบวนการลดความดัน สารทำความเย็นบางส่วนจะระเหยกลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิจากสารทำความเย็นลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลของสารทำความเย็นจะถูกควบคุมด้วยวาล์วจ่ายสารทำความเย็น เพื่อให้สารทำความเย็นมีอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อภาระการทำความเย็นขณะนั้น การปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นจะทำให้เครื่องทำน้ำเย็นทำงานที่อัตราส่วนการทำงาน (Part Load Ratio, PLR) ต่างๆ ดังสมการที่ (2.1) (Chang, Y.C. 2004)

$$PLR = Q_{evap} / TR \quad (2.1)$$

เมื่อ PLR = อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
 Q_{evap} = ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น, ตันความเย็น
 TR = ภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็น, ตันความเย็น

ตามข้อกำหนดการใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นของกรมโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องทำน้ำเย็นควรมีอัตราส่วนการทำงานสูงกว่า 0.60 เพื่อป้องกันการทำงานผิดปกติหรือการเกิดเสิร์จ (Surge) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่คอมเพรสเซอร์ไม่สามารถเพิ่มความดันให้ไอของสารทำความเย็นได้เพียงพอ ทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของไอของสารทำความเย็นจากภายนอกที่มีความดันสูงกว่าเข้าคอมเพรสเซอร์ ซึ่งอาจสร้างความเสียหายให้แก่ชิ้นส่วนของคอมเพรสเซอร์ได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556)

- กระบวนการที่ 2 – 3 คือ กระบวนการระเหยสารทำความเย็นแบบความดันคงที่ (Isobaric) ด้วยเครื่องระเหย สารทำความเย็นที่ออกจากวาล์วจ่ายสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะของผสมระหว่างไอและของเหลว จะถูกนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นอุณหภูมิสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว ทำให้น้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นมีอุณหภูมิต่ำลง กระบวนการระเหยจะสิ้นสุดเมื่อสารทำความเย็นในสถานะของเหลวถูกระเหยกลายเป็นไอทั้งหมด

ภาระการทำความเย็นคำนวณได้จากสมการที่ (2.2) และเมื่อพิจารณาจากแผนภูมิความดัน - เอนทัลปี จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) เช่นกัน ภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นคำนวณได้จากสมการที่ (2.4) หมายถึง ภาระการทำความเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นทำงานเต็มพิกัด (Full Load) หรือมีอัตราส่วนการทำงานเท่ากับ 1.00 ซึ่งจะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นมีค่าสูงสุด (Chang, Y.C. 2004)

$$Q_{evap} = m_{chw} C_p (T_{chw,in} - T_{chw,out}) / 3.517 \quad (2.2)$$

$$Q_{evap} = m_{wf} (h_3 - h_2) / 3.517 \quad (2.3)$$

$$TR = m_{chw} C_p \Delta T_{max} / 3.517 \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ m_{chw} = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็น, กิโลกรัมต่อวินาที
 m_{wf} = อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย, กิโลกรัมต่อวินาที
 C_p = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำที่ความดันคงที่, กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส
 $T_{chw,in}$ = อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าเครื่องระเหย, องศาเซลเซียส
 $T_{chw,out}$ = อุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องระเหย, องศาเซลเซียส
 h_2 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นขาเข้าเครื่องระเหย, กิโลจูลต่อกิโลกรัม
 h_3 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นขาออกจากเครื่องระเหย, กิโลจูลต่อกิโลกรัม
 ΔT_{max} = ผลต่างสูงสุดระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, องศาเซลเซียส

- กระบวนการที่ 3 - 4 คือ กระบวนการอัดแบบไอเซนทรอปิกด้วยคอมเพรสเซอร์ไอของสารทำความเย็นจากเครื่องระเหยจะถูกเพิ่มความดันจนเป็นไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated Vapor) เพื่อให้สารทำความเย็นสามารถควบแน่นได้ที่อุณหภูมิสูง ก่อนส่งไปยังเครื่องควบแน่น งาน (Work) ที่คอมเพรสเซอร์ป้อนให้แก่ไอของสารทำความเย็นเพื่อเพิ่มความดันจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นกับภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นขณะนั้น เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิความดัน - เอนทัลปี งานที่คอมเพรสเซอร์ ณ ช่วงเวลาหนึ่งๆ คำนวณได้จากสมการที่ (2.5) (Wang, S.K. 2001)

$$W = m_{wf}(h_4 - h_3) \quad (2.5)$$

- เมื่อ W = งานจากคอมเพรสเซอร์ที่ต้องป้อนให้แก่ไอของสารทำความเย็น, กิโลวัตต์
 h_3 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นขาเข้าคอมเพรสเซอร์, กิโลจูลต่อกิโลกรัม (เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นขาออกจากเครื่องระเหย)
 h_4 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นขาออกจากคอมเพรสเซอร์, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

การใช้ไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จะเปลี่ยนแปลงตามงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องป้อนให้แก่ไอของสารทำความเย็น สมการที่ (2.6) ใช้คำนวณการใช้ไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ต่ออัตราส่วนการทำงานงานของเครื่องทำน้ำเย็น (Part Load Ratio, PLR) (ASHRAE. 1999)

$$P = aPLR^2 + bPLR + c \quad (2.6)$$

- เมื่อ P = การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่คอมเพรสเซอร์, กิโลวัตต์
 PLR = อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
 a, b, c = สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันการใช้ไฟฟ้าต่ออัตราส่วนการทำงานงานของเครื่องทำน้ำเย็น

- กระบวนการที่ 4 - 1 คือ กระบวนการควบแน่นไอของสารทำความเย็นแบบความดันคงที่ เพื่อระบายความร้อนจากสารทำความเย็นในสถานะไอที่เครื่องควบแน่นไปยังน้ำหล่อเย็น กระบวนการควบแน่นจะเสร็จสิ้นเมื่อสารทำความเย็นระบายความร้อนออกและควบแน่นเป็นของเหลวอิ่มตัว (Saturated Liquid) ทั้งหมด

ปริมาณความร้อนจากไอของสารทำความเย็นที่ถูกระบายออกไปยังน้ำหล่อเย็น คำนวณได้จากสมการที่ (2.7) และเมื่อพิจารณาจากแผนภูมิความดัน - เอนทัลปี จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8) เช่นกัน (Chang, Y.C. 2004)

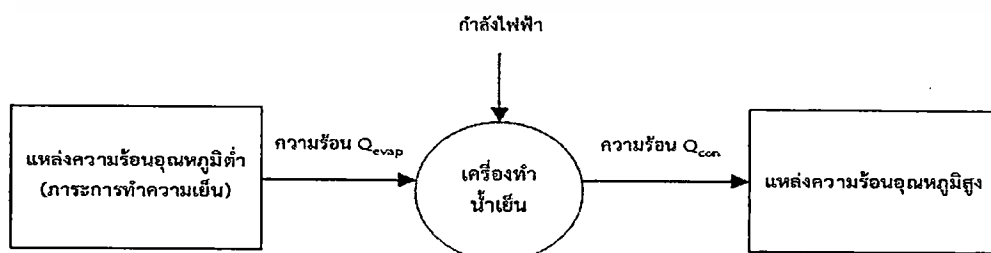
$$Q_{con} = m_{cw} C_p (T_{cw,out} - T_{cw,in}) / 3.517 \quad (2.7)$$

$$Q_{con} = m_{wf} (h_4 - h_1) / 3.517 \quad (2.8)$$

เมื่อ Q_{con} = ปริมาณความร้อนที่ไอของสารทำความเย็นระบายสู่น้ำหล่อเย็น, ต้นความเย็น
 m_{cw} = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่น, กิโลกรัมต่อวินาที
 $T_{cw,in}$ = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องควบแน่น, องศาเซลเซียส
 $T_{cw,out}$ = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาออกจากเครื่องควบแน่น, องศาเซลเซียส
 h_4 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นขาเข้าเครื่องควบแน่น, กิโลจูลต่อกิโลกรัม (เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นขาออกจากคอมเพรสเซอร์)
 h_1 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นขาออกจากเครื่องควบแน่น, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

สามารถสรุปวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอได้ดังรูปที่ 2.13 เครื่องทำน้ำเย็นใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ เพื่อให้เครื่องทำน้ำเย็นสามารถรับความร้อนจากน้ำเย็นซึ่งเป็นแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ แล้วระบายความร้อนนี้ไปยังน้ำหล่อเย็นซึ่งเป็นแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง สมการดุลพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแสดงดังสมการที่ (2.9) (พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545)

$$Q_{evap} + P = Q_{con} \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.13 การไหลของพลังงานในเครื่องทำน้ำเย็น (พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น (Wang, S.K. 2001)

ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น (Coefficient of Performance, COP) ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนของภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นต่อการใช้ไฟฟ้า สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นคำนวณได้จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) (Wang, S.K. 2001)

$$COP = Q_{evap} / P \quad (2.10)$$

$$= \frac{m_{chw} C_p (T_{chw,in} - T_{chw,out})}{aPLR^2 + bPLR + c} \quad (2.11)$$

2.4 หลักการทำงานของหอทำความเย็น (สุระเดช ฉั่วสุวรรณ. 2540; อนันต์ พงษ์มุล. 2549)

หอทำความเย็นมีหน้าที่ระบายความร้อนออกจากน้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิสูงสู่บรรยากาศ โดยฉีดน้ำหล่อเย็นผ่านหัวจ่ายน้ำทางด้านบนของหอทำความเย็นลงมาผ่านแผงกระจายฟิล์มน้ำ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจากภายนอกที่ถูกป้อนเข้าหอทำความเย็นทางด้านล่างด้วยพัดลม น้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำจะไหลมารวมกันที่ด้านล่างของหอทำความเย็น และถูกส่งกลับไปปรับความร้อนจากสารทำความเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นต่อไป การแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้นที่หอทำความเย็นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การพาความร้อน (Convection Heat) จากน้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิสูงด้วยอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ และการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากความร้อนแฝงของการระเหย (Latent Heat of Vaporization หรือ Latent Heat of Evaporation) ของน้ำหล่อเย็นไปสู่อากาศที่ไม่อิ่มตัว

ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอทำความเย็นมีดังนี้

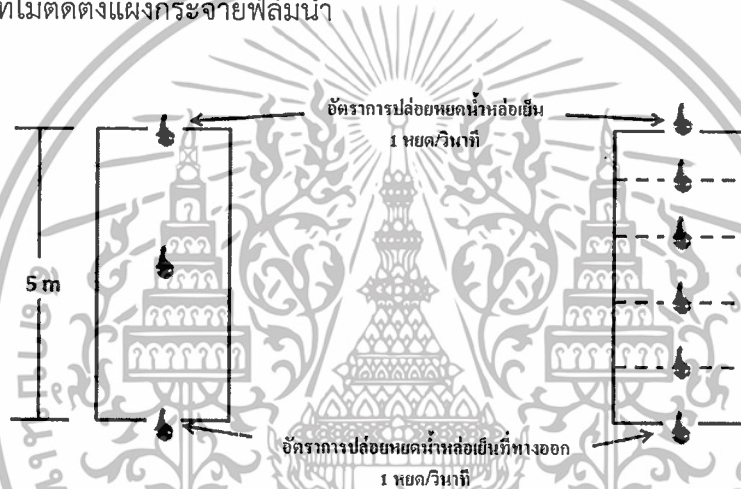
1. พื้นที่ของแผงกระจายฟิล์มน้ำ การเพิ่มพื้นที่ของแผงกระจายฟิล์มน้ำจะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำหล่อเย็นและอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อหอทำความเย็นถูกใช้งานไประยะหนึ่ง มีโอกาสที่จะเกิดตะกรันบนแผงกระจายฟิล์มน้ำ แม้ว่าจะทำการโบลดาวน์ (Blow Down) ที่หอทำความเย็นตามระยะเวลาที่กำหนดก็ตาม ตะกรันที่เกิดขึ้นจะลดพื้นที่ผิวของการแลกเปลี่ยนความร้อนและทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอทำความเย็นลดลง วิธีปฏิบัติการแก้ไขเพื่อลดและป้องกันการเกิดตะกรัน เช่น การเลือกคุณภาพของน้ำที่ใช้หล่อเย็น การปรับสภาพน้ำหล่อเย็นด้วยสารเคมี หรือการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ
2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) ของอากาศที่ไหลเข้าหอทำความเย็น ถ้าอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำ น้ำหล่อเย็นจะระเหย จึงช่วยนำความร้อนออกจากหอทำความเย็น ดังนั้นประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอทำความเย็นจะสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปริมาณอากาศที่ไหลเข้าหอทำความเย็น การเพิ่มปริมาณอากาศที่มารับความร้อนที่หอทำความเย็นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอทำความเย็นได้

2.4.1 แผงกระจายฟิล์มน้ำ

แผงกระจายฟิล์มน้ำในหอทำความเย็นช่วยเพิ่มผิวฟิล์มบางของน้ำหล่อเย็น (Film Surface) ที่เป็นพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำหล่อเย็นกับอากาศจากภายนอก และหน่วงเวลาให้น้ำหล่อเย็นกระจายอยู่ในหอทำความเย็นได้นานขึ้น การหน่วงเวลาของแผงกระจายฟิล์มน้ำในรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าน้ำหล่อเย็น 1 หยด ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านหอทำความเย็นที่มีความสูง 5 เมตร ภายใน 1 วินาที แต่ถ้าติดตั้งแผงกระจายฟิล์มน้ำ 5 แผ่น ที่หอทำความเย็นสูง 5 เมตร ดังรูป จะเห็นว่าในเวลา 1 วินาที จะมีน้ำหล่อเย็น 5 หยด อยู่ในหอทำความเย็นที่แผงกระจายฟิล์มน้ำแต่ละแผ่น แสดงว่าพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำหล่อเย็นและอากาศเพิ่มขึ้น 5 เท่า เมื่อเทียบกับหอทำความเย็นที่ไม่ติดตั้งแผงกระจายฟิล์มน้ำ

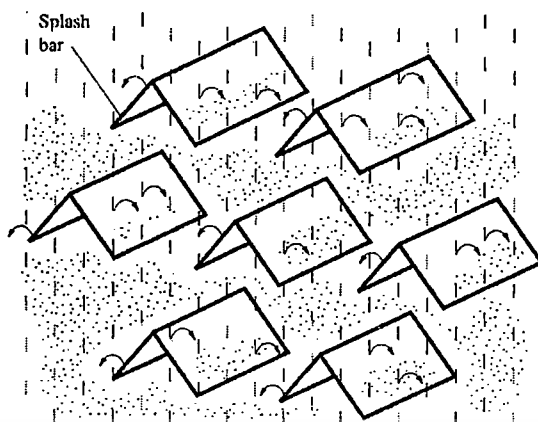


รูปที่ 2.14 การเคลื่อนที่ของหยดน้ำหล่อเย็นอย่างอิสระภายในหอทำความเย็นสูง 5 เมตร (สุระเดช ฉั่วสุวรรณ, 2540)

โดยทั่วไปแผงกระจายฟิล์มน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบกระเซ็น (Splash-type Fill) และแผงกระจายฟิล์มน้ำแบบเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส (Film-type Fill)

1. แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบกระเซ็น

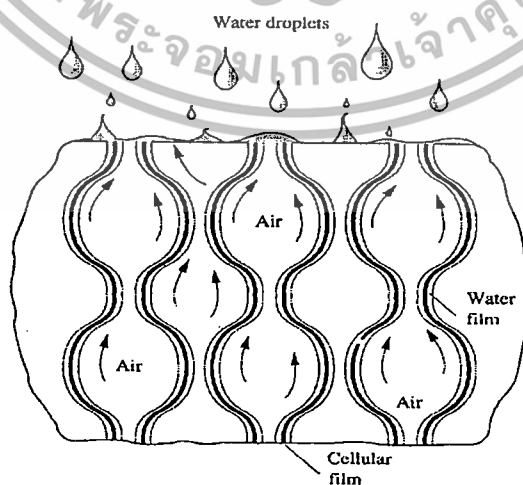
แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบกระเซ็นที่แสดงดังรูปที่ 2.15 นิยมใช้มากก่อนปี ค.ศ.1970 ทำจากไม้ที่ตัดเป็นรูสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมตามแต่จะออกแบบ แล้วนำมาวางเรียงสลับกันเป็นชั้นในหอทำความเย็น เมื่อน้ำหล่อเย็นไหลมากระทบกับแผงกระจายฟิล์มน้ำจะเกิดหยดน้ำขนาดเล็ก ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นกับอากาศเพิ่มขึ้น และหน่วงเวลาให้น้ำหล่อเย็นอยู่ในหอทำความเย็นได้นานขึ้น ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำหล่อเย็นกับอากาศจึงเพิ่มขึ้น ปัจจุบันไม่นิยมใช้แผงกระจายฟิล์มน้ำชนิดนี้เนื่องจากหอทำความเย็นต้องมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับหอทำความเย็นที่ใช้แผงขยายฟิล์มน้ำแบบเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบกระเซ็น (Wang, S. K. 2001)

2. แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส

แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสดังรูปที่ 2.16 นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ทำจากพลาสติกหลายชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน พอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีน ส่วนมากเป็นแผ่นพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ฉุดขึ้นรูปเป็นลอนลูกฟูก สามารถทนอุณหภูมิได้ประมาณ 55 องศาเซลเซียส แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบนี้จะทำให้น้ำหล่อเย็นกระจายตัวและไหลเป็นฟิล์มบางบนลอนลูกฟูก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นกับอากาศ มีพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นกับอากาศมากกว่าแผงกระจายฟิล์มน้ำแบบกระเซ็น แม้ว่าแผงกระจายฟิล์มน้ำแบบนี้จะมีขนาดในเชิงปริมาตรน้อยกว่า แต่อาจมีปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของน้ำหล่อเย็น เพราะสิ่งสกปรกหรือตะไคร่น้ำสามารถเกาะติดบนผิวของแผงกระจายฟิล์มน้ำแบบนี้ได้ง่าย



รูปที่ 2.16 แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส (Wang, S. K. 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การถ่ายเทความร้อนภายในหอทำความเย็น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556ก)

การถ่ายเทความร้อนภายในหอทำน้ำเย็นประกอบด้วยการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยความร้อนแฝงจากการระเหยของน้ำหล่อเย็นไปกับอากาศที่ไม่อิ่มตัว (เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลพร้อมกัน) และการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการพาความร้อนออกจากน้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ความร้อนที่ถ่ายเทจากน้ำหล่อเย็นไปยังอากาศที่เข้าหอทำความเย็น คำนวณได้ 2 วิธี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556ก) คือ คำนวณจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่หอทำความเย็นดังสมการที่ (2.12) และจากการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของอากาศดังสมการที่ (2.13) เนื่องจากปริมาณการระเหยของน้ำหล่อเย็นน้อยมากเมื่อเทียบกับอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็นที่หอทำความเย็น จึงถือได้ว่าอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นและความหนาแน่นของอากาศที่ออกจากหอทำความเย็นคงที่

$$Q_{CT} = m_{cw} C_p (T_{cw,in} - T_{cw,out}) \quad (2.12)$$

หรือ
$$Q_{CT} = \rho_{air} Q_{air} (h_{air,in} - h_{air,out}) \quad (2.13)$$

เมื่อ	Q_{CT}	=	ปริมาณความร้อนที่น้ำหล่อเย็นระบายออกสู่บรรยากาศ, กิโลจูลต่อวินาที
	m_{cw}	=	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็น, กิโลกรัมต่อวินาที
	$T_{cw,in}$	=	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าหอทำความเย็น, องศาเซลเซียส
	$T_{cw,out}$	=	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาออกจากหอทำความเย็น, องศาเซลเซียส
	ρ_{air}	=	ความหนาแน่นของอากาศที่ออกจากหอทำความเย็น, กิโลกรัมต่อเมตร ³
	Q_{air}	=	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ออกจากหอทำความเย็น, เมตร ³ ต่อวินาที
	$h_{air,in}$	=	เอนทัลปีจำเพาะของอากาศที่เข้าหอทำความเย็น, กิโลจูลต่อกิโลกรัม
	$h_{air,out}$	=	เอนทัลปีจำเพาะของอากาศที่ออกจากหอทำความเย็น, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

2.4.3 การสูญเสียน้ำหล่อเย็นจากหอทำความเย็น (Hensley, J. C. 2009; กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556ก)

การสูญเสียน้ำหล่อเย็นออกจากหอทำความเย็น แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ จากการกระเซ็น จากการระเหย และจากการปล่อยออกด้วยการไหลดาวน์ การสูญเสียทั้ง 3 นี้เป็นปัจจัยกำหนดปริมาณของน้ำชดเชยที่เติมเข้าหอทำความเย็น (Make Up Water) โดยทั่วไปอัตราการเติมน้ำชดเชยควรอยู่ระหว่าง 2 – 3 % ของอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็น

1. การสูญเสียน้ำหล่อเย็นจากการกระเซ็น (Drift Loss หรือ Windage Loss)

ปริมาณการสูญเสียน้ำหล่อเย็นที่กระเซ็นเป็นละอองไปกับอากาศ การสูญเสียนี้ขึ้นกับลักษณะของหัวพ่นน้ำหล่อเย็น อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ลักษณะการกระเซ็นของน้ำหล่อเย็นบนแผงกระจายฟิล์มน้ำ และอัตราการไหลของอากาศ โดยปกติจะไม่เกิน 0.2% ของอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็น การใช้แผงดักน้ำที่กระเซ็นให้ไหลตกลงมาบนแผงกระจายฟิล์มน้ำอีกครั้งสามารถลดการสูญเสียน้ำหล่อเย็นได้

2. การสูญเสียน้ำหล่อเย็นจากการระเหย (Evaporation Loss)

อัตราการระเหยเชิงมวลของน้ำหล่อเย็น คำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงความชื้นของอากาศขาเข้าและออกจากหอทำความเย็น ดังสมการที่ (2.14) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556ก)

$$L_E = G \times (W_2 - W_1) \quad (2.14)$$

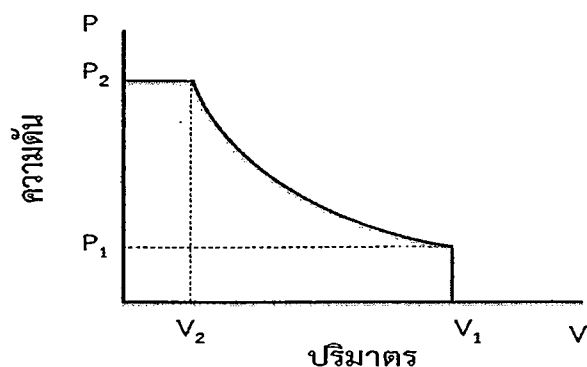
เมื่อ L_E = อัตราการระเหยเชิงมวลของน้ำหล่อเย็น, กิโลกรัมต่อวินาที
 G = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง, กิโลกรัมต่อวินาที
 W_1 = อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่เข้าหอทำความเย็นต่ออากาศแห้ง, กิโลกรัมของไอน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง
 W_2 = อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากหอทำความเย็นต่ออากาศแห้ง, กิโลกรัมของไอน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง

3. การสูญเสียน้ำหล่อเย็นจากการโบลวดาวน

การสูญเสียน้ำหล่อเย็นจากการโบลวดาวนประมาณ 1.0 – 1.5% ของอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็น วัตถุประสงค์ของการโบลวดาวนคือเพื่อควบคุมระดับความเข้มข้นของไอออนแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดตะกรันของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตบนแผงกระจายฟิล์มน้ำ (วุฒิพล เล้าอรุณ. 2556) การใช้ น้ำหล่อเย็นที่ทำการปรับสภาพให้น้ำที่มีคุณภาพเหมาะสมตามข้อกำหนดโดยมีปริมาณไอออนแคลเซียมและแมกนีเซียมน้อย หรือการใช้สารเคมีปรับสภาพสามารถลดการเกิดตะกรันและความถี่ของการโบลวดาวนได้

2.4.4 การคำนวณงานของพัดลมที่หอทำความเย็น (Pinches, J.M. และ Callear, J.B. 1997)

พัดลมเป็นอุปกรณ์ชนิดเดียวในหอทำความเย็นที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นงานสำหรับดูดอากาศเข้าหอทำความเย็น รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของอากาศที่ถูกอัด เมื่อความดันสูงขึ้นจาก P_1 เป็น P_2 ปริมาตรลดลงจาก V_1 เป็น V_2



รูปที่ 2.17 แผนภูมิความดัน - ปริมาตรของการอัดอากาศทั่วไป (Pinches, J.M. และ Callear, J.B. 1997)

จากแผนภูมิความดัน - ปริมาตรของการอัดอากาศทั่วไปในรูปที่ 2.17 งานที่พัดลมป้อนให้แก่อากาศ คำนวณได้จากสมการที่ (2.15) และ (2.16) (Pinches, J.M. และ Callear, J.B. 1997)

$$W = \int_{V_2}^{V_1} PdV + P_2V_2 - P_1V_1 \quad (2.15)$$

$$PV^n = C \text{ or } P = CV^{-n} \quad (2.16)$$

เมื่อ	W	=	งานที่พัดลมป้อนให้แก่อากาศ, กิโลจูลต่อวินาที
	P ₁	=	ความดันของอากาศเข้าพัดลม, กิโลปาสคาล
	V ₁	=	ปริมาตรของอากาศเข้าพัดลม, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
	P ₂	=	ความดันของอากาศขาออกจากพัดลม, กิโลปาสคาล
	V ₂	=	ปริมาตรของอากาศขาออกจากพัดลม, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
	n	=	Polytropic Index ขึ้นกับลักษณะการทำงานของพัดลม
	C	=	ค่าคงที่ขึ้นกับลักษณะการทำงานของพัดลม

แทนสมการที่ (2.16) ลงในสมการที่ (2.15) และจัดรูปใหม่จะได้สมการที่ (2.17)

$$\begin{aligned} W &= \int_{V_2}^{V_1} CV^{-n} dV + P_2V_2 - P_1V_1 \\ &= \frac{CV_1^{1-n} - CV_2^{1-n}}{1-n} + P_2V_2 - P_1V_1 \\ &= \frac{(P_2V_2 - P_1V_1) + (n-1)(P_2V_2 - P_1V_1)}{n-1} \\ &= \frac{n}{n-1} (P_2V_2 - P_1V_1) \end{aligned} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพัดลมที่หอทำความเย็นดูดอากาศออกจากหอทำความเย็น ความดันของอากาศภายในจะต่ำกว่าบรรยากาศ ในขณะที่ความดันของอากาศขาออกจากหอทำความเย็นจะเท่ากับ ความดันบรรยากาศ (101.325 กิโลปาสกาล) (สุธรรม สุขมณี. 2554) ดังนั้นเมื่อจัดรูปสมการที่ (2.17) ใหม่ จะได้สมการที่ (2.18) และคำนวณการใช้ไฟฟ้าของพัดลมที่หอทำความเย็นได้จากสมการที่ (2.19)

$$W = \frac{n}{n-1} \times V \times (101.325 - P_1) \quad (2.18)$$

$$P_{fan} = \frac{W}{\eta_{fan}} \quad (2.19)$$

เมื่อ P_{fan} = การใช้ไฟฟ้าของพัดลมที่หอทำความเย็น, กิโลวัตต์

η_{fan} = ประสิทธิภาพของพัดลมที่หอทำความเย็น

2.5 วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสม

การแก้ปัญหาทางวิศวกรรมเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมจากการจำลองแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ

- การหาคำตอบที่เหมาะสมจากการคำนวณด้วยวิธีการหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First-order Derivative) เช่น วิธีตัวคูณลากรานจ์
- การหาคำตอบที่เหมาะสมโดยใช้หลักการสุ่มคำตอบและความน่าจะเป็น เช่น วิธีทางเจเนติกส์ (Genetic Algorithms) และวิธีซิมูเลทแอนนิลลิ่ง (Simulated Annealing, SA)

2.5.1 วิธีตัวคูณลากรานจ์ (Lagrange Multipliers) (Chinyere, O. 1999)

เป็นวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมโดยการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ขั้นตอนการหาคำตอบที่เหมาะสมมีดังนี้ กำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย

$$F = f(x_1, x_2) \quad (2.20)$$

กำหนดฟังก์ชันเงื่อนไขของฟังก์ชันเป้าหมาย ดังสมการที่ (2.21)

$$g(x_1, x_2) = 0 \quad (2.21)$$

เมื่อ x_1 เป็น ฟังก์ชันของ x_2 ดังสมการที่ (2.22)

$$x_1 = \phi(x_2) \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.20) สามารถเขียนฟังก์ชันเป้าหมายให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน x_2 ดังสมการที่ (2.23)

$$F(x_2) = f(\phi(x_2), x_2) \quad (2.23)$$

สมการที่ (2.21) สามารถเขียนฟังก์ชันเป้าหมายให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน x_2 ดังสมการที่ (2.24)

$$h(x_2) = g(\phi(x_2), x_2) = 0 \quad (2.24)$$

อนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันเป้าหมายแสดงดังสมการที่ (2.25)

$$dF = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} dx_2 \quad (2.25)$$

อนุพันธ์อันดับหนึ่งของสมการที่ (2.25) เมื่อเทียบกับ x_1 และ x_2 แสดงดังสมการที่ (2.26) และ (2.27)

$$\frac{dF}{dx_1} = \frac{\partial f}{\partial x_1} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{dx_2}{dx_1} \quad (2.26)$$

$$\frac{dF}{dx_2} = \frac{\partial f}{\partial x_1} \frac{dx_1}{dx_2} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \quad (2.27)$$

จากสมการที่ (2.24) และ (2.27) กำหนดให้อนุพันธ์ของฟังก์ชัน $F(x_2)$ และอนุพันธ์ของฟังก์ชันเงื่อนไข $h(x_2)$ เท่ากับศูนย์ แสดงดังสมการที่ (2.28) และ (2.29)

$$\frac{dF(x_2)}{dx_2} = \frac{\partial f}{\partial x_2} + \frac{\partial f}{\partial x_1} \frac{d\phi(x_2)}{dx_2} = 0 \quad (2.28)$$

$$\frac{dh(x_2)}{dx_2} = \frac{\partial g}{\partial x_2} + \frac{\partial g}{\partial x_1} \frac{d\phi(x_2)}{dx_2} = 0 \quad (2.29)$$

สามารถจัดรูปสมการที่ (2.28) ได้ดังสมการที่ (2.30) ถึง (2.32)

$$\frac{dF}{dx} - \left(\frac{dF/dx}{dh/dx} \right) \frac{dh}{dx} = 0 \quad (2.30)$$

$$\nabla F - \lambda \nabla h = 0 \quad (2.31)$$

$$\lambda = \frac{dF}{dh} \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ λ คือตัวคูณลากรางจ์ และฟังก์ชันลากรางจ์ (Lagrange Function) แสดงดังสมการที่ (2.33)

$$L(x, \lambda) = F(x) - \lambda h(x) \quad (2.33)$$

เกรเดียนต์ (Gradient) ของฟังก์ชันลากรางจ์เมื่อเทียบกับศูนย์แสดงดังสมการที่ (2.34) คือสมการที่ใช้หาคำตอบที่เหมาะสมของฟังก์ชันเป้าหมาย

$$\nabla L(x, \lambda) = 0 \quad (2.34)$$

2.5.2 วิธีทางเจเนติกส์ (Genetic Algorithms) (พิศลย์ มีแก้ว, 2546)

เป็นวิธีจำลองคำตอบที่อาศัยการสุ่มคำตอบและความน่าจะเป็นจากคำตอบที่เหมาะสม หลักการจำลองใช้การพัฒนาจากการส่งต่อพันธุกรรมจากพ่อ-แม่ ไปยังรุ่นลูกผ่านกระบวนการรวม (Mating) การผลิตซ้ำ (Reproduction) การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) พันธุกรรมที่ส่งต่อไปยังรุ่นลูกจะมีลักษณะที่แตกต่างออกไปจากพันธุกรรมของพ่อ-แม่ เพื่อให้รุ่นลูกสามารถอยู่รอดได้ในทุกสถานการณ์

ขั้นตอนการจำลองของวิธีทางเจเนติกส์ เริ่มจากการสร้างกลุ่มประชากรขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนของการแก้ปัญหา จากนั้นกลุ่มประชากรจะผ่านกระบวนการคัดเลือกพันธุกรรม (Genetic Operator) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใหม่ และคัดเลือกเฉพาะผลลัพธ์ที่ดีเพื่อใช้ในการจำลองครั้งต่อไป ขั้นตอนของวิธีทางเจเนติกส์มีดังนี้

1. กำหนดขอบเขต (Boundary) ของคำตอบที่ต้องการจำลองด้วยจำนวนจริง (ค่าลบจนถึงค่าบวก) จำนวนรุ่น (Generation) จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่น (Chromosome) จำนวนบิตต่อหนึ่งโครโมโซม ค่าความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์
2. สุ่มตัวเลขด้วยการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) เพื่อหาโครโมโซมรุ่นแรกในรูปของรหัสพันธุกรรม โดยส่วนใหญ่นิยมแปลงให้อยู่ในรูปของเลขฐานสองหรือบิต 0 และ 1 จากนั้นจึงแปลงรหัส (Decoding) เลขฐานสองจากบิตดังกล่าวให้เป็นจำนวนจริง
3. ผลิตโครโมโซมซ้ำ (Reproduction) เพื่อเลือกโครโมโซมชุดที่เหมาะสม
4. สลับสายพันธุ์ (Crossover) เพื่อสร้างประชากรใหม่ที่ดีกว่าเดิม
5. เข้ากระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) เพื่อให้เกิดความหลากหลายในประชากรกลุ่มใหม่
6. ทำซ้ำจนกระทั่งจำนวนรุ่นมีค่าเท่ากับที่กำหนดในขั้นตอนที่ 1 จึงหยุดการจำลอง

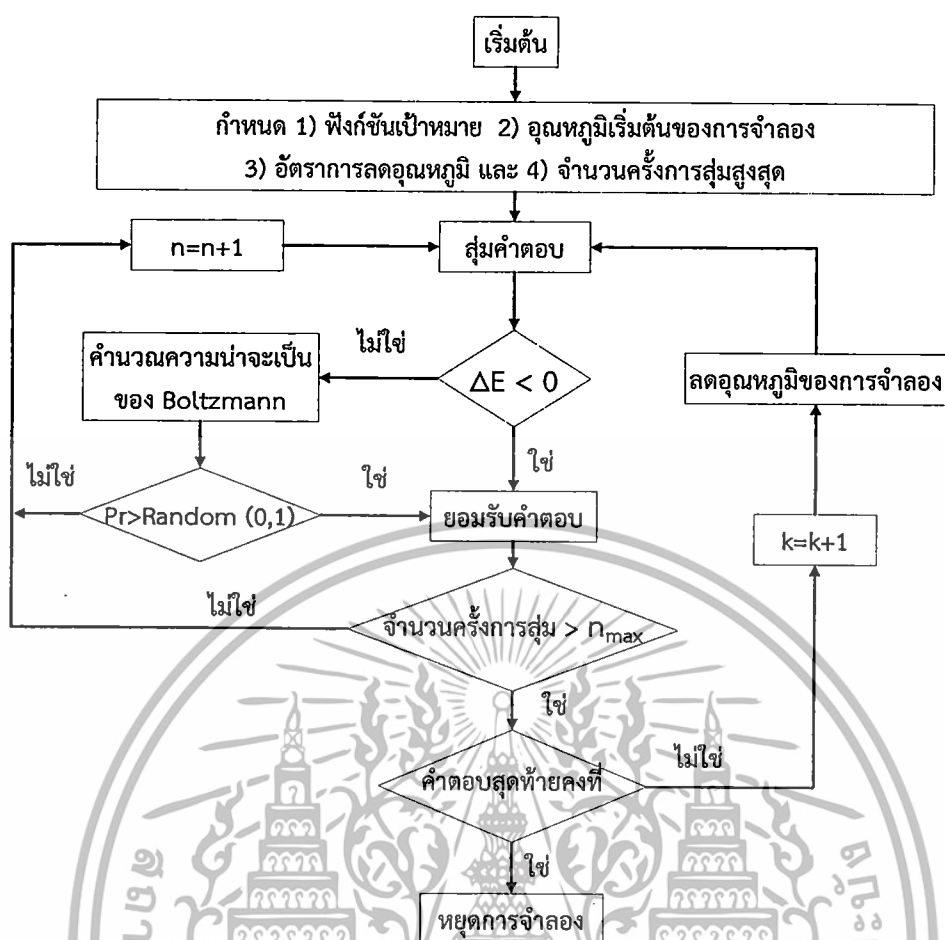
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแตกต่างของวิธีทางเจเนติกส์ เมื่อเทียบกับวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมวิธีอื่น (พิศลย์ มีแก้ว. 2546)

1. วิธีทางเจเนติกส์ทำงานและแก้ไขปัญหาด้วยการแปลงค่า (Coding) เป็นบิตโดยไม่ได้แก้ปัญหาจากค่าของตัวแปรโดยตรง ทำให้มีขั้นตอนการจำลองที่ซับซ้อน
2. คำตอบที่เหมาะสมไม่ได้เกิดจากการแก้สมการอนุพันธ์ ดังนั้นความแม่นยำของคำตอบที่ได้จึงขึ้นอยู่กับข้อกำหนดตัวแปรต่างๆ ในขั้นตอนที่ 1 ของการจำลอง

2.5.3 วิธีซิมูเลทแอนนิลลิ่ง (Simulated Annealing, SA) (Kirkpatrick และคณะ 1983; Aarts, E. และ Krost, J. 1989)

เป็นวิธีจำลองคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยการสุ่มคำตอบและความน่าจะเป็น เช่นเดียวกับวิธีทางเจเนติกส์ มีขั้นตอนการจำลองง่ายและรวดเร็ว พัฒนามาจากกระบวนการอบอ่อน (Annealing) ของโลหะ ซึ่งศึกษาโครงสร้างทางกายภาพและพฤติกรรมต่างๆ ของโลหะที่แสดงออกตามแรงกระตุ้นทางความร้อน อะตอมของโลหะที่อุณหภูมิสูงจะสามารถเคลื่อนที่และเปลี่ยนตำแหน่งแบบสุ่มแล้วจัดเรียงตัวใหม่ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะที่อุณหภูมิต่ำต้องนานพอให้โลหะเข้าสู่ภาวะเสถียร (Steady State) หรือมีพลังงานภายในต่ำลง จากนั้นจะค่อยๆ ลดอุณหภูมิของโลหะลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึงสถานะพื้น (Ground State) หรือจุดเยือกแข็งของโลหะ (Freezing Point) ซึ่งเป็นภาวะที่พลังงานภายในของโลหะมีค่าต่ำสุด รูปที่ 2.18 แสดงขั้นตอนของการจำลองคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีซิมูเลทแอนนิลลิ่ง



รูปที่ 2.18 สรุปขั้นตอนของการจำลองคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีซิมูเลทแอนนิลลิ่ง (Aarts, E. และ Krost, J. 1989)

1. กำหนดเงื่อนไขในการจำลอง

1.1 ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) หรือปัญหาที่ต้องการหาคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งเปรียบเสมือนกับโครงสร้างของโลหะที่เข้ากระบวนการอบอ่อน สำหรับโครงการการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่งที่ศึกษานี้ ฟังก์ชันเป้าหมาย คือ การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งคำตอบที่จะได้จากการจำลองคืออัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบผลิตน้ำเย็น

1.2 กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของการจำลองด้วยวิธีซิมูเลทแอนนิลลิ่ง ซึ่งเปรียบเสมือนกับอุณหภูมิที่ใช้หลอมโลหะของกระบวนการอบอ่อน โดยทั่วไปจะกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของการจำลองเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เพราะอุณหภูมินี้จะทำให้จำนวนครั้งของการคำนวณซ้ำเพื่อหาคำตอบไม่มากเกินไป เวลาในการจำลองหาคำตอบจึงไม่นานเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 กำหนดอัตราการลดอุณหภูมิของการจำลองด้วยสมการที่ (2.35) ρ คือ อัตราการลดอุณหภูมิของการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่ง มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งเป็นค่าที่ควบคุมความแม่นยำของผลลัพธ์หากกำหนดให้ ρ มีค่าเข้าใกล้ 1 เมื่อเวลาในการหาผลลัพธ์นานขึ้น ซึ่งคือจำนวนครั้งของการคำนวณซ้ำหลายรอบ ความถูกต้องของคำตอบที่ได้จะสูงขึ้น

$$T^{k+1} = \rho \times T^k \quad (2.35)$$

เมื่อ T = อุณหภูมิของการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่ง
 k = จำนวนครั้งที่ลดอุณหภูมิในการจำลอง

1.4 กำหนดจำนวนครั้งของการสุ่มคำตอบสูงสุด (n_{\max}) ซึ่งเป็นค่าที่ควบคุมความแม่นยำของผลลัพธ์ หากกำหนดให้ค่า n_{\max} สูง เมื่อเวลาในการหาผลลัพธ์นานขึ้น (จำนวนครั้งของการสุ่มคำตอบมาก) ความถูกต้องของคำตอบที่ได้จะสูงขึ้น

2. สุ่มคำตอบ (Random) โดยคิดว่าการสุ่มมีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) หรือการกระจายแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) ในโครงการนี้จะสุ่มอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น 3 เครื่อง เพื่อกำหนดให้เครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่องสามารถทำงานได้ตามภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

3. คำนวณค่าของฟังก์ชันเป้าหมายอีกครั้งจากคำตอบที่สุ่มได้ แล้วเปรียบเทียบกับค่าของฟังก์ชันเป้าหมายที่ได้จากการสุ่มครั้งก่อนหน้านี้ ด้วยสมการที่ (2.36) หาก $\Delta E < 0$ แสดงว่าการสุ่มคำตอบครั้งนั้นจะทำให้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายต่ำลง จึงยอมรับคำตอบที่สุ่มได้

$$\Delta E = (E_{\text{new}} - E_{\text{old}}) \quad (2.36)$$

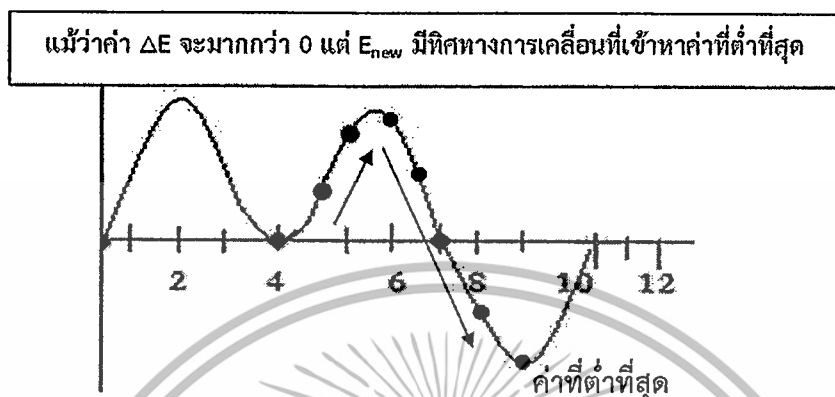
เมื่อ ΔE = การเปลี่ยนแปลงของค่าของฟังก์ชันเป้าหมายจากคำตอบที่สุ่ม
 E_{new} = ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายจากคำตอบที่สุ่มครั้งใหม่
 E_{old} = ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายจากคำตอบที่สุ่มก่อนหน้า

4. หาก $\Delta E > 0$ แสดงว่าการสุ่มคำตอบครั้งนั้นจะได้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายสูงขึ้น แต่มีความเป็นไปได้ที่คำตอบที่สุ่มครั้งนั้นจะทำให้คำตอบหรือค่าของฟังก์ชันเป้าหมายที่ได้เคลื่อนที่ออกจากค่าคล้ายจุดต่ำสุด (Local Minimum) และเคลื่อนที่เข้าหาค่าที่ต่ำสุด (Global Minimum) ในที่สุด ดังรูปที่ 2.19 ความเป็นไปได้ในการยอมรับคำตอบที่สุ่มจะพิจารณาจากสมการความน่าจะเป็นของ Boltzmann (Boltzmann Probability, P_r) ที่คำนวณด้วยสมการที่ (2.37) หาก $P_r > \text{random}(0,1)$ จะยอมรับคำตอบที่สุ่มครั้งนั้น หาก $P_r < \text{random}(0,1)$ จะปฏิเสธคำตอบที่สุ่มครั้งนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_r = \exp\left(-\frac{\Delta E}{T^k}\right) \quad (2.37)$$

เมื่อ P_r = ความน่าจะเป็นของ Boltzmann



รูปที่ 2.19 การเคลื่อนที่ของค่าตอบที่ได้จากการสุ่มด้วยวิธีซีมูลาแอนนิลลิ่ง

5. ทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 ซ้ำ จนกระทั่งจำนวนครั้งของการสุ่ม (n) มีค่าเท่ากับจำนวนครั้งของการสุ่มสูงสุด (n_{max})
6. ลดอุณหภูมิของการจำลอง (T) ตามสมการที่ (2.35) เมื่ออุณหภูมิของการจำลองต่ำ ค่าตอบที่ได้จากการสุ่มจะค่อนข้างคงที่เนื่องจากค่าความเป็นไปได้ในการยอมรับคำตอบที่สุ่มจากสมการที่ (2.37) ลดลง
7. ทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 5 ซ้ำ และเปรียบเทียบคำตอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ T^k กับคำตอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ T^{k+1}
8. หยุดการจำลองเมื่อคำตอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ T^k เท่ากับคำตอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ T^{k+1} และคำตอบที่ได้คือคำตอบที่เหมาะสม
9. หากคำตอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ T^k ไม่เท่ากับคำตอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ T^{k+1} จะทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 7 ซ้ำ

ข้อดีและข้อแตกต่างของวิธีซีมูลาแอนนิลลิ่งเมื่อเทียบกับวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมวิธีอื่น (พิศลย์ มีแก้ว, 2546)

1. สามารถประยุกต์วิธีซีมูลาแอนนิลลิ่งกับการแก้ปัญหาทั่วไป เช่น การหาขนาดท่อที่เหมาะสมสำหรับส่งน้ำประปา การวางผังโรงงานที่ใช้พื้นที่น้อยที่สุด เป็นต้น ซึ่งแตกต่างกับวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมแบบเฉพาะ (Problem Specific Algorithms) ที่ได้คำตอบเฉพาะเจาะจง และไม่สามารถปรับใช้แก้ปัญหาได้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีสีมูเลทแอนนิลลิ่งเป็นวิธีที่ง่ายกว่าและไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมวิธีอื่นๆ เช่น วิธีทางเจเนติกส์ (Genetic Algorithm) ซึ่งอาศัยหลักการวิวัฒนาการของชีววิทยาและการคัดเลือกตามธรรมชาติ

2.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นถดถอย (พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545; Brannick, M.T. 2013)

ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ตัวแปรต้น ตัวที่ 1) และอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (ตัวแปรต้น ตัวที่ 2) กับผลต่างระหว่างอุณหภูมิขาเข้าและขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (ตัวแปรตาม) สามารถวิเคราะห์ด้วยสมการเชิงเส้นถดถอย (Linear Regression Analysis) ซึ่งอาศัยหลักการลากเส้นตรงที่ทำให้ผลต่างกำลังสอง (Sum of Squares หรือ Least Squares) ระหว่างค่าจากการตรวจวัดทุกค่ากับค่าจากเส้นตรงที่ลากผ่านค่าจากการตรวจวัดทุกค่ามีค่าน้อยที่สุด ขั้นตอนการคำนวณสมการเชิงเส้นถดถอยมีดังนี้

สมการเชิงเส้นถดถอยที่มีตัวแปรต้น 1 ตัว (X_i) แสดงดังสมการที่ (2.38)

$$Y_i^* = mX_i + b \quad (2.38)$$

ค่า m และ b คำนวณจากสมการที่ (2.39) และ (2.40)

$$m = \frac{N \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (2.39)$$

$$b = \bar{Y} - m\bar{X} \quad (2.40)$$

เมื่อ	Y_i^*	=	ค่าของตัวแปรตามที่ได้จากสมการเชิงเส้นถดถอย
	Y_i	=	ค่าของตัวแปรตามจากกลุ่มของข้อมูล
	X_i	=	ค่าของตัวแปรต้นจากกลุ่มของข้อมูล
	m	=	ความชันของสมการเชิงเส้นถดถอย
	b	=	จุดตัดแกน Y จากสมการเชิงเส้นถดถอย
	N	=	จำนวนข้อมูลในกลุ่มของข้อมูล
	i	=	ลำดับของข้อมูลในกลุ่มของข้อมูล
	\bar{Y}	=	ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามในกลุ่มของข้อมูล
	\bar{X}	=	ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต้นในกลุ่มของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเชิงเส้นถดถอยที่มีตัวแปรต้น 2 ตัว ($X_{1,i}$ และ $X_{2,i}$) แสดงดังสมการที่ (2.41) (Brannick, M.T. 2013)

$$Y_i^* = m_1 X_{1,i} + m_2 X_{2,i} + b \quad (2.41)$$

ค่า m_1 , m_2 และ b ได้ดังสมการที่ (2.42), (2.43) และ (2.44)

$$m_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N X_{2,i}^2\right)\left(\sum_{i=1}^N X_{1,i}Y_i\right) - \left(\sum_{i=1}^N X_{1,i}X_{2,i}\right)\left(\sum_{i=1}^N X_{2,i}Y_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^N X_{1,i}^2\right)\left(\sum_{i=1}^N X_{2,i}^2\right) - \left(\sum_{i=1}^N X_{1,i}X_{2,i}\right)^2} \quad (2.42)$$

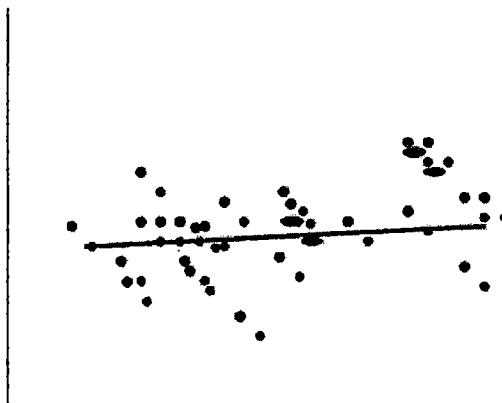
$$m_2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N X_{1,i}^2\right)\left(\sum_{i=1}^N X_{2,i}Y_i\right) - \left(\sum_{i=1}^N X_{1,i}X_{2,i}\right)\left(\sum_{i=1}^N X_{1,i}Y_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^N X_{1,i}^2\right)\left(\sum_{i=1}^N X_{2,i}^2\right) - \left(\sum_{i=1}^N X_{1,i}X_{2,i}\right)^2} \quad (2.43)$$

$$b = \bar{Y} - m_1 \bar{X}_1 - m_2 \bar{X}_2 \quad (2.44)$$

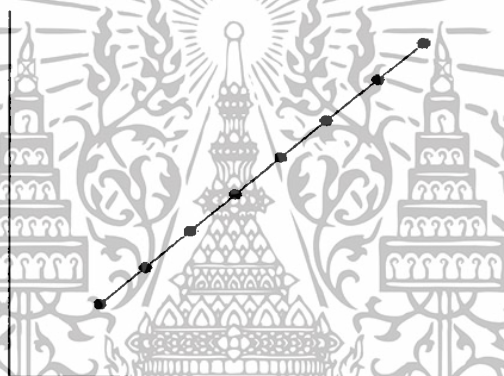
เมื่อ $X_{1,i}$ = ค่าของตัวแปรต้น ตัวที่ 1 จากกลุ่มของข้อมูล
 $X_{2,i}$ = ค่าของตัวแปรต้น ตัวที่ 2 จากกลุ่มของข้อมูล
 m_1 = ความชันที่ 1 ของสมการเชิงเส้นถดถอยที่มีตัวแปรต้น 2 ตัว
 m_2 = ความชันที่ 2 ของสมการเชิงเส้นถดถอยที่มีตัวแปรต้น 2 ตัว

การวัดความใกล้เคียงเชิงเส้นที่ดีที่สุด (Goodness of Fit) ของสมการเชิงเส้นถดถอยจะวัดจากค่า R^2 (Coefficient of Determination) ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 ซึ่งอาจแสดงในรูปร้อยละ หรือเรียกว่า % Goodness of Fit หากค่า R^2 เข้าใกล้ 0.00 แสดงว่าข้อมูลที่นำมาใช้สร้างสมการเชิงเส้นถดถอยมีการเรียงตัวอย่างกระจัดกระจายและไม่เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.20 แต่หาก R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1.00 แสดงว่าข้อมูลที่นำมาใช้สร้างสมการเชิงเส้นถดถอยมีการเรียงเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.21 ซึ่งจะทำได้คำตอบที่ได้สมการถดถอยมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามที่มีค่า $R^2 = 0.00$
(พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545)



รูปที่ 2.21 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามที่มีค่า $R^2 = 1.00$
(พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545)

การคำนวณความใกล้เคียงเชิงเส้นที่ดีที่สุดโดยการหาค่า R^2 มีขั้นตอนดังนี้ (พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545)

1. คำนวณค่า SSTO (Total Sum of Squares) ดังสมการที่ (2.45) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลทั้งหมดจากค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม \bar{Y} หากค่านี้เท่ากับศูนย์ แสดงว่าตัวแปรตามเป็นค่าคงที่

$$\text{SSTO (Total Sum of Squares)} = \sum_{i=0}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (2.45)$$

เมื่อ Y_i = ค่าตัวแปรตามที่ลำดับ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณค่า SSE (Error Sum of Squares) ดังสมการที่ (2.46) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความเบี่ยงเบนของข้อมูลทั้งหมดจากสมการเชิงเส้นถดถอย หากค่านี้เท่ากับศูนย์ แสดงว่าข้อมูลก็นำมาใช้สร้างสมการเชิงเส้นถดถอยเป็นเส้นตรง

$$SSE \text{ (Error Sum of Squares)} = \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_i^*)^2 \quad (2.46)$$

3. คำนวณค่า R^2 จากสมการที่ (2.47)

$$R^2 = \frac{SSTO - SSE}{SSTO} \quad (2.47)$$

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับห่อทำความเย็น

สุระเดช ฉั่วสุวรรณ (2540) ศึกษาประสิทธิภาพการทำความเย็นของห่อทำความเย็นชนิดลมดูดที่ใช้แผงกระจายฟิล์มน้ำชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์แบบฉีดขึ้นรูปเป็นลอนลูกฟูกเปรียบเทียบกับภาวะออกแบบ (Design Condition) แผงกระจายฟิล์มน้ำที่ศึกษามี 2 แบบ คือ แผงกระจายฟิล์มที่มีระยะห่างระหว่างลอนลูกฟูกประมาณ 2.0 และ 3.2 เซนติเมตร พบว่าแผงกระจายฟิล์มทั้ง 2 แบบมีประสิทธิภาพการทำความเย็นต่ำกว่าภาวะออกแบบ คือ แผงกระจายฟิล์มน้ำที่มีระยะห่างระหว่างลอนลูกฟูก 2.0 และ 3.2 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการทำความเย็น 81 และ 62% ของภาวะออกแบบตามลำดับ ดังนั้นจึงควรใช้แผงกระจายฟิล์มน้ำแบบเป็นลอนลูกฟูกที่มีระยะห่างระหว่างลอนลูกฟูก 2.0 เซนติเมตร ที่มีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูง

Asrael, J. และคณะ (2000) ศึกษาการติดตั้งถังพักน้ำหล่อเย็น (Cool Thermal Storage) เพื่อลดกำลังการผลิตน้ำหล่อเย็นของห่อทำความเย็นในตอนกลางวันช่วง On Peak Period คือช่วงเวลาที่ราคาค่าไฟฟ้าสูง น้ำหล่อเย็นจะถูกผลิตและเก็บไว้ในถังพักในตอนกลางคืนและนำไปใช้ในตอนกลางวัน ช่วยลดการใช้ไฟฟ้าของพัดลมที่ห่อทำความเย็นลงได้ 35%

อนันต์ ฟองลมุล (2549) ศึกษาและพัฒนาการออกแบบห่อทำความเย็นชนิดลมดูดแบบไหลสวนทางโดยอาศัยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร เพื่อหาขนาดของแผงกระจายฟิล์มน้ำ บานเกล็ดช่องลมทางเข้า แผงกันละอองน้ำ ตัวเรือนของห่อทำความเย็น ปล่องปล่อยลมใบพัดลม จำนวนใบพัดลม และกำลังม้าเบรก (Break Horse Power) สำหรับห่อทำความเย็นอุตสาหกรรม และเปรียบเทียบกับค่าการออกแบบ พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของห่อทำความเย็นที่ได้จากการออกแบบจากงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าการออกแบบจากบริษัทผู้ผลิต

Yu, F.W. และ Chan, K.T. (2008) หาความเร็วรอบของพัดลมที่ห่อทำความเย็นและเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสมจากแบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของห่อทำความเย็นและเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูบน้ำหล่อเย็น การทดสอบค่าที่ได้จากการจำลองกับหอทำความเย็นและเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นที่เป็นกรณีศึกษาสามารถลดการใช้ไฟฟ้ารวมได้ 5.3% ของการใช้ไฟฟ้าก่อนการดำเนินงาน

2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทำน้ำเย็น

พิสุทธิ ชัยอมฤต (2545) ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบการทำงานและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ARI 550-590-98 (Air-conditioning & Refrigeration Institute) และกฎกระทรวงซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างถูกต้องและทำงานได้อย่างต่อเนื่องในการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นที่ทำงานเต็มกำลังการผลิต และทำงานที่อัตราส่วนการทำงานต่างๆ (Part Load Ratios) หรือที่โหลดบางส่วน (Part Load) และสามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นจากการทดสอบในอาคารจริง นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยวิธีสมการเชิงเส้นถดถอย เก็บข้อมูลเพื่อสร้างรายงาน และแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ

Yu, F.W. และ Chan, K.T. (2007) ศึกษาการวางแผนการแบ่งอัตราส่วนการทำงาน ของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับอาคารที่มีเครื่องทำน้ำเย็นหลายหน่วย เพื่อให้ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น (Average Coefficient of Performance) มีค่าสูงสุด ซึ่งจากการทดลองพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นสองเครื่องที่มีขนาดภาระการทำความเย็นสูงสุดเท่ากัน เครื่องทำน้ำเย็นเครื่องหนึ่งจะต้องทำงานเต็มกำลังผลิต ส่วนอีกเครื่องต้องผลิตน้ำเย็นตามภาระการทำความเย็นส่วนที่เหลือเพื่อให้ได้ภาระการทำความเย็นรวมตามที่ต้องการ ในขณะที่เครื่องทำน้ำเย็นสองเครื่องที่มีขนาดภาระการทำความเย็นสูงสุดไม่เท่ากัน จะต้องให้เครื่องที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดที่สูงกว่าทำงานเต็มกำลังผลิต และเครื่องที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดที่ต่ำกว่าผลิตน้ำเย็นตามภาระการทำความเย็นที่เหลือเพื่อให้ได้ภาระการทำความเย็นรวมตามที่ต้องการ

เวชยันต์ วรกีจาร์รงค์ชัย (2552) ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ค่าไฟฟ้า ค่าซ่อมบำรุงของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำแทนเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่ใช้อยู่ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ โดยใช้ทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการวิเคราะห์เพื่อช่วยตัดสินใจในการลงทุนและดำเนินการวางแผนโครงการติดตั้งระบบใหม่ จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงต่ำกว่า ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ประมาณปีละ 7.6 ล้านบาท หรือ 53% ของมูลค่าของค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน

2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ

เวชยันต์ อมะวัลย์ (2551) เสนอแนวทางลดการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน 5 วิธี ดังนี้ 1) การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างถูกต้อง 2) การใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิหรือเทอร์โมสแตตชนิดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Thermostat) แทนตัวควบคุมอุณหภูมิชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมดา 3) การปรับตั้งอุณหภูมิของตัวควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม 4) การติดตั้งเครื่องปรับอากาศชนิดอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง (High EER) แทนเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดา และ 5) การติดม่านปรับแสงเพื่อลดความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาในอาคาร เมื่อทดสอบแนวทางที่นำเสนอกับอาคารอำนวยการของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา พบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าของอาคารอำนวยการได้ 41,825 บาทต่อปี

เรื่องฤทธิ์ ล้ำมยุศ และคณะ (2553) ศึกษาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุด 13,000 บีทียูต่อชั่วโมง ด้วยการติดตั้งท่อความร้อน (Heat Pipe) เพื่อช่วยระบายความร้อนจากสารทำความเย็นออกสู่บรรยากาศ ท่อความร้อนที่ใช้คือท่อความร้อนปลายปิดแบบสั้น และใช้สารทำความเย็นชนิด R-123 การติดตั้งท่อความร้อนสามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ 8.51% ของการใช้ไฟฟ้าก่อนการดำเนินงาน และสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น 14.79% เทียบกับสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศก่อนการดำเนินงาน

2.7.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหาค่าตอบที่ดีที่สุด

ปกรณ์ ดิษฐกิจ (2544) ศึกษาการหาขนาดท่อที่เหมาะสมโดยใช้วิธีซิมูเลทแอนนิลลิ่งสำหรับการส่งน้ำประปาเพื่อให้ได้ราคาลงทุนต่ำสุด และใช้หลักการของฮาร์ดดีคอสในการวางโครงข่ายของระบบท่อ สามารถหาขนาดท่อที่เหมาะสมและลดค่าลงทุนภายใต้ข้อกำหนดทางชลศาสตร์โดยใช้ผลที่ได้จากการศึกษากับโครงข่ายท่อจ่ายน้ำประปาของเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์

พิศลย์ มีแก้ว (2546) ศึกษาวิธีการหาค่าตอบที่ดีที่สุด 2 วิธี คือ วิธีทางเจเนติกส์ (Genetic Algorithms) และวิธีซิมูเลทแอนนิลลิ่ง โดยเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของวิธีการหาค่าตอบทั้ง 2 วิธี โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ 3 แบบ ได้แก่ สมการพาราโบลา (Parabolic Surface) ซึ่งมี 2 ตัวแปร สมการที่มีจุดยอดหลายจุด (Multi-peak Surface) ซึ่งมี 3 ตัวแปร และสมการที่มีจุดยอดตรงขอบ (Rosenbrock Surface) ซึ่งมี 4 ตัวแปร ผลการศึกษาพบว่าวิธีซิมูเลทแอนนิลลิ่งเหมาะสมกับสมการที่มีรูปแบบค่อนข้างง่าย ให้คำตอบที่แม่นยำในเวลากำลองเร็วกว่าวิธีทางเจเนติกส์ วิธีทางเจเนติกส์สามารถหาค่าตอบสำหรับสมการพาราโบลา สมการที่มีจุดยอดหลายจุด และสมการที่มีจุดยอดตรงขอบได้ดีกว่าวิธีซิมูเลทแอนนิลลิ่ง

Chang, Y.C. (2004) หาอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมโดยใช้วิธีตัวคุณลากรานจ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น พบว่าวิธีตัวคุณลากรานจ์มีความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับหาอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า

Chang, Y.C. Lin, J.K. และ Chuang, M.H. (2005) เปรียบเทียบวิธีการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม 2 วิธี คือ วิธีทางเจเนติกส์ และวิธีตัวคุณลากรานจ์ พบว่าผลการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีทางเจเนติกส์มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่นยำสูงกว่าวิธีตัวคุณลากรานจ์ วิธีทางเจเนติกส์สามารถจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมจากฟังก์ชันการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งนูนได้ ในขณะที่วิธีตัวคุณลากรานจ์ไม่สามารถจำลองได้

อริวัฒน์ บุญมี (2552) เสนอวิธีแก้ปัญหการวางผังโรงงานที่แบ่งการแก้ปัญหาออกเป็น 2 เฟส คือ เฟสสถิต (Static Phase) และเฟสพลวัต (Dynamic Phase) การแก้ปัญหาโดยเฟสสถิตจะใช้วิธีการจับคู่และการสร้างผังต้นไม้ (Slicing Tree) จำลองผังโรงงานให้เหลือพื้นที่สูญเปล่าที่ยอมรับได้ ส่วนการแก้ปัญหาโดยเฟสพลวัตจะใช้ผังโรงงานที่ได้จากเฟสสถิตเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการจำลองผังโรงงานแบบพลวัตด้วยวิธีซิมูเลทแอนนิลลิง วิธีการวางผังโรงงานที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ให้คำตอบที่แม่นยำสูงโดยเฉพาะกับผังโรงงานที่มีขนาดเล็ก

อาทิตย์ ใจช่วง (2552) ศึกษาการแก้ปัญหาแบบมีเงื่อนไขโดยใช้การแก้ปัญหาพร้อมกันระหว่างวิธีทางเจเนติกส์และวิธีซิมูเลทแอนนิลลิง เพื่อให้ได้ระเบียบวิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพโดยทดสอบกับปัญหามาตรฐาน พบว่าแม้ว่าวิธีการแก้ปัญหาโดยการจำลองร่วมกันระหว่างวิธีทางเจเนติกส์และวิธีซิมูเลทแอนนิลลิงจะซับซ้อน แต่ผลการจำลองมีความแม่นยำสูงกว่าการจำลองด้วยวิธีทางเจเนติกส์เพียงวิธีเดียว และใช้จำนวนครั้งการคำนวณซ้ำเพื่อหาคำตอบน้อยกว่าวิธีซิมูเลทแอนนิลลิง



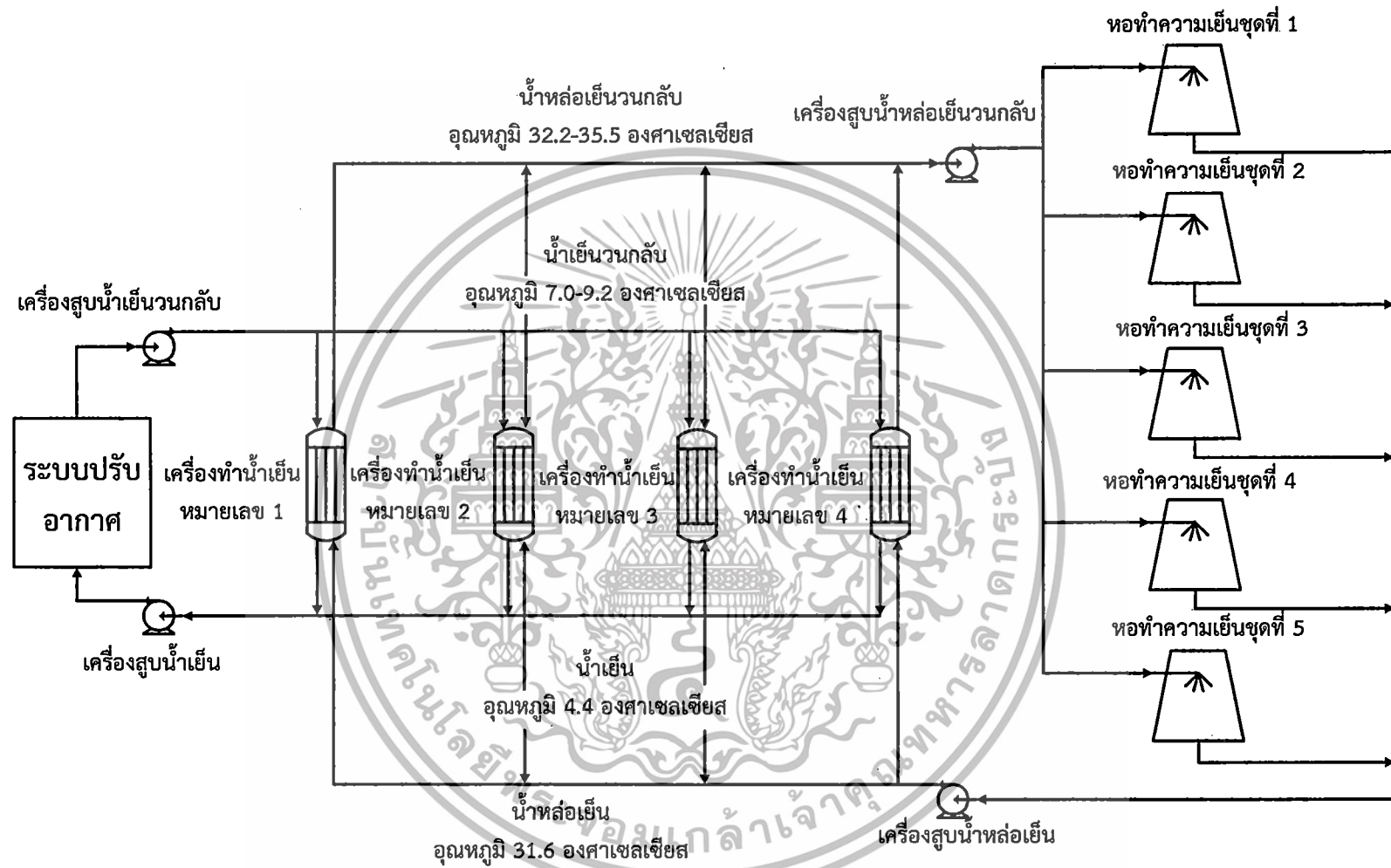
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้ต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพของหอทำความเย็นและเครื่องทำน้ำเย็นของระบบผลิตน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่งเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น ระบบผลิตน้ำเย็นของบริษัทในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยหอทำความเย็นแบบอากาศไหลตามขวาง 5 ชุด หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งมีจำนวนหอทำความเย็น 1, 5, 6, 2 และ 2 เครื่อง ตามลำดับ และเครื่องทำน้ำเย็น 4 เครื่อง (หมายเลข 1, 3 และ 4 ใช้ไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 316 กิโลวัตต์ หมายเลข 2 ใช้ไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 644 กิโลวัตต์) อัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็นในระบบผลิตน้ำเย็นคงที่ ขั้นตอนการทำงานของระบบผลิตน้ำเย็นมีดังนี้ น้ำเย็นอุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส ที่ผลิตจากเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง จะถูกสูบเข้าเครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump) แล้วป้อนเข้าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เพื่อนำไปใช้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในกระบวนการผลิตหมากฝรั่ง น้ำเย็นที่ผ่านการใช้งานจากระบบปรับอากาศแล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 7.0-9.2 องศาเซลเซียส เรียกว่าน้ำเย็นวนกลับ (Return Chilled Water) จะถูกสูบเข้าเครื่องสูบน้ำเย็นวนกลับ (Return Chilled Water Pump) แล้วป้อนกลับเข้าเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่องอีกครั้ง น้ำหล่อเย็นอุณหภูมิประมาณ 31.6 องศาเซลเซียส จากหอทำความเย็นทั้ง 5 ชุด จะถูกป้อนเข้าเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น (Cooling Water Pump) แล้วสูบไปที่เครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่องเพื่อรับความร้อนที่ระบายจากน้ำเย็นวนกลับ น้ำหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานจากเครื่องทำน้ำเย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 32.2-35.5 องศาเซลเซียส เรียกว่าน้ำหล่อเย็นวนกลับ (Return Cooling Water) ซึ่งจะถูสูบเข้าเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นวนกลับ (Return Cooling Water Pump) เพื่อป้อนกลับเข้าหอทำความเย็นแต่ละชุดอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



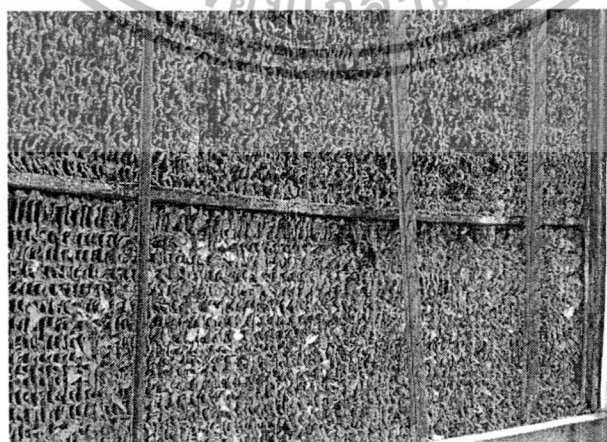
รูปที่ 3.1 ระบบผลิตน้ำเย็นที่เป็นกรณีศึกษา

การปฏิบัติการแก้ไข (Corrective Actions) เป้าหมายที่ต้องการดำเนินการ ได้แก่

1. ปรับปรุงประสิทธิภาพของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ซึ่งมีหอทำความเย็น 5 และ 6 เครื่อง เพราะสำรวจพบตะกรัน บนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นดังกล่าว (รูปที่ 3.2) สำหรับหอทำความเย็นชุดที่ 1, 4-5 เพิ่งติดตั้งใหม่ จึงไม่พบตะกรันบนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

วิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ในโครงการนี้ คือ จะเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นทั้ง 2 ชุด เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นวนกลับและอากาศขาเข้าหอทำความเย็น นอกจากนี้จะทำให้อากาศไหลเข้าหอทำความเย็นได้สะดวกขึ้นเนื่องจากไม่มีตะกรันขัดขวางการไหลของอากาศ

2. ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง เพราะพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่คำนวณ ได้ไม่เท่ากัน แต่การใช้งานที่ปฏิบัติอยู่ในปัจจุบัน เครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่องถูกกำหนดให้มีอัตราส่วนการทำงาน (Part Load Ratio, PLR) เท่ากัน ทำให้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นโดยรวมต่ำและใช้ไฟฟ้าสูง จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ หากต้องการภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของเครื่องทำน้ำเย็นตามที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต โดยมีค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงสุดและการใช้ไฟฟ้าต่ำ จะต้องแบ่งอัตราส่วนการทำงานให้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่าทำงานเต็มสมรรถนะด้วยภาระการทำความเย็นตามค่าการออกแบบ และให้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะต่ำกว่าทำงานด้วยภาระการทำความเย็นที่เหลือ ดังนั้นในโครงการนี้จะหาอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่องที่เหมาะสม โดยการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันเชิงคณิตศาสตร์ที่สามารถจำลองฟังก์ชันที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งนูน เช่น ฟังก์ชันกำลังไฟฟ้าต่ออัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมทั่วไปด้วยวิธีตัวคูณลากรางจ์ (Lagrange Multipliers) ไม่สามารถจำลองได้ นอกจากนั้นการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันเชิงคณิตศาสตร์มีวิธีการจำลองที่ง่ายกว่าวิธีทางเจเนติกส์ (Genetic Algorithms)

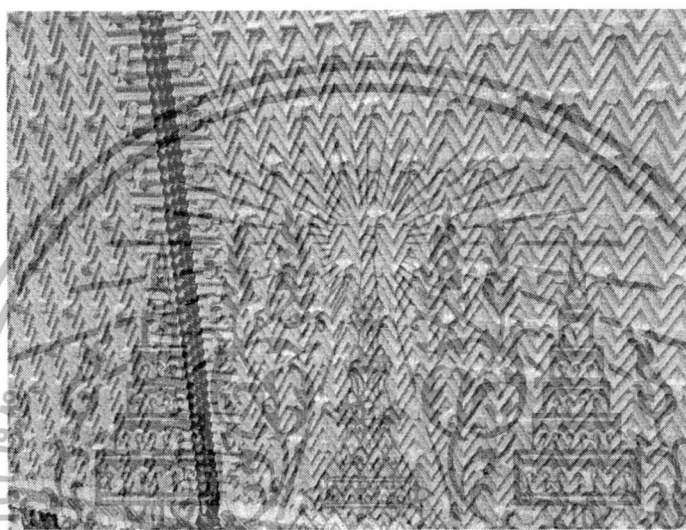


รูปที่ 3.2 ตะกรันบนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงานของแต่ละวิธีปฏิบัติการแก้ไขมีดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานที่หอทำความเย็น

1. ตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของพัดลมและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาเข้าหอทำความเย็น และอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ
2. เปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ด้วยแผงกระจายฟิล์มน้ำแบบเพิ่มพื้นที่ผิวที่ทำจากพอลิไวนิลคลอไรด์ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผงกระจายฟิล์มน้ำพอลิไวนิลคลอไรด์แบบเพิ่มพื้นที่ผิว

3. ตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาเข้าหอทำความเย็น และอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง หลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ
4. เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของพัดลมที่หอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 และอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็น
5. คำนวณภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง หลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานที่เครื่องทำน้ำเย็น

โครงการนี้ใช้โปรแกรม MATLAB 2006 ในการหาอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมทั้ง 4 เครื่อง โดยการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนาลิซิง ขั้นตอนการเก็บข้อมูลมีดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตรวจสอบการทำความเย็นรวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง
2. ตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าต่ออัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง
3. คำนวณสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันการใช้ไฟฟ้าต่ออัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง
4. คำนวณค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ก่อนปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ตามค่าที่ได้จากการจำลอง
5. จำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่เหมาะสมด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิง
6. ปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ตามค่าที่ได้จากการจำลอง
7. ตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง และอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น หลังปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จากการจำลอง
8. คำนวณค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง หลังการปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จากการจำลอง
9. เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ก่อนและหลังการปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จากการจำลอง
10. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ก่อนและหลังการปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จากการจำลอง

3.3 การจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิง

3.3.1 กำหนดฟังก์ชันและเงื่อนไขในการจำลอง

1. กำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย คือ การใช้ไฟฟารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่อง คำนวณจากสมการที่ (3.1)

$$J = \sum_{i=1}^4 P_i \quad (3.1)$$

- เมื่อ
- J = การใช้ไฟฟารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่อง, กิโลวัตต์
 - P = การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่อง, กิโลวัตต์ คำนวณจากสมการที่ (2.6)
 - $P_i = a_i P L R_i^2 + b_i P L R_i + c_i$
 - i = หมายเลขของเครื่องทำน้ำเย็น

2. กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของการจำลองเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อัตราการลดอุณหภูมิ (ρ) คงที่เท่ากับ 0.98
4. กำหนดจำนวนครั้งการสุ่มค่าตอบสูงสุด (n_{max}) เท่ากับ 1,000 ครั้ง
5. การสุ่มอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น แสดงดังสมการที่ (3.2)

$$PLR_i = (PLR_{i,max} - PLR_{i,min}) \times random(0,1) + PLR_{i,min} \quad (3.2)$$

เมื่อ $PLR_{i,max}$ = อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นสูงสุด
 = 1.00

$PLR_{i,min}$ = อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นต่ำสุด
 = 0.60 (ตามข้อกำหนดการใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นของ
 กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

$random(0,1)$ = ฟังก์ชันการสุ่มข้อมูลที่มีการกระจายข้อมูลแบบปกติ (Normal
 Distribution) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

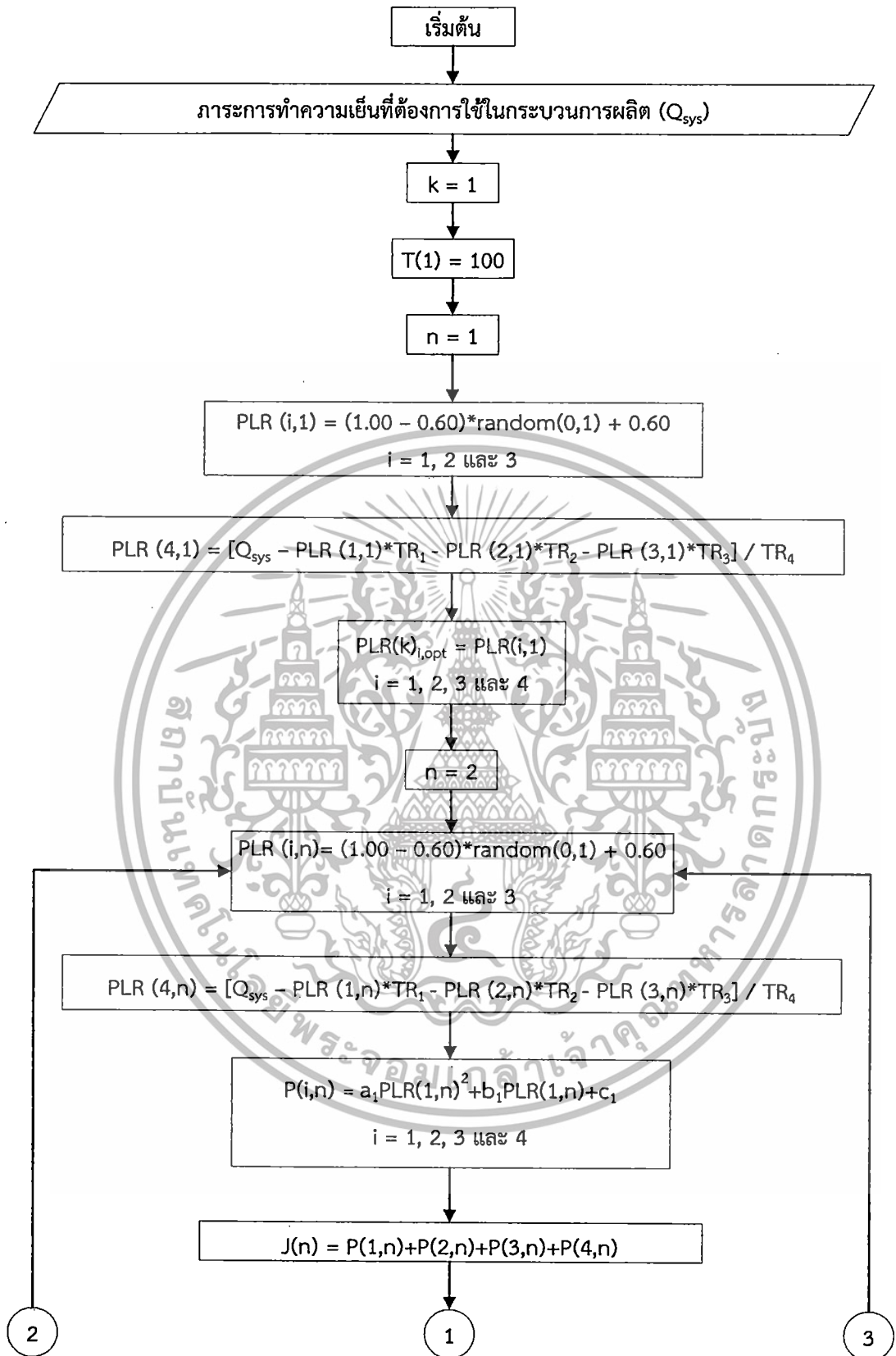
6. เลือกสุ่มอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเพียง 3 เครื่อง (หมายเลข 1, 2 และ 3) และคำนวณภาระการทำความเย็น ส่วนอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 จะคำนวณจากผลรวมของภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตด้วยภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น 3 เครื่อง ซึ่งเป็นฟังก์ชันเงื่อนไข ดังสมการที่ (3.3)

$$Q = \sum_{i=1}^4 (PLR_i \times TR_i) \quad (3.3)$$

เมื่อ Q = ภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต, ต้นความเย็น
 PLR_i = อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i
 TR_i = ภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i , ต้นความเย็น

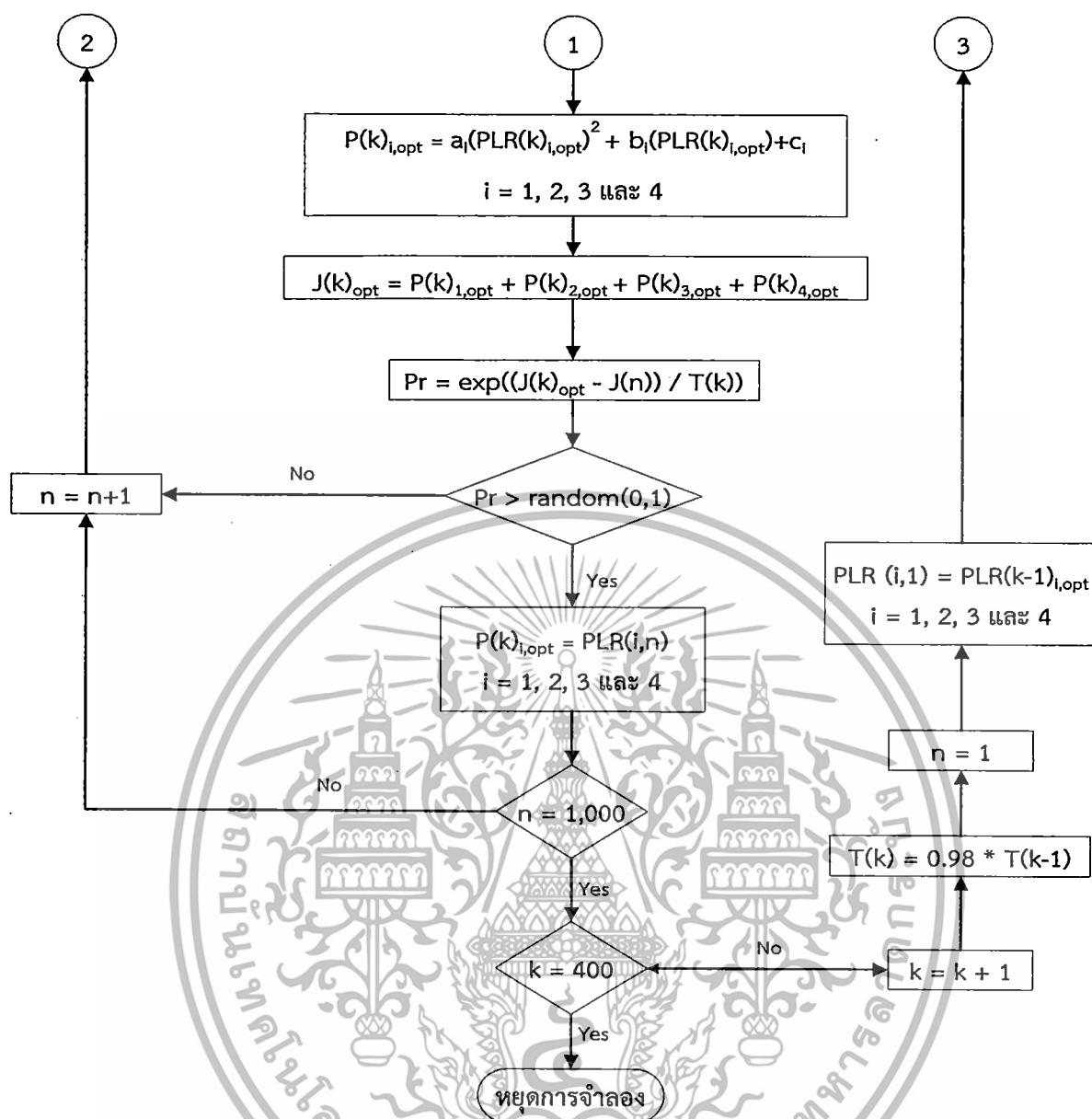
3.3.2 ขั้นตอนการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมด้วยวิธีซิมูเลชันมอนติคาร์โล

ออกแบบขั้นตอนการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 3.4 โดยใช้ฟังก์ชันเป้าหมายและเงื่อนไขที่กำหนดในขั้นตอนที่ 3.3.1



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่เหมาะสม ด้วยวิธีซีมูลาชันพันธุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่เหมาะสม ด้วยวิธีซิมูเลชันมอนติคาร์โล (ต่อ)

เมื่อ

- a_i, b_i, c_i = สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันการใช้ไฟฟ้าต่ออัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข i
- i = หมายเลขของเครื่องทำน้ำเย็น
- $J(n)$ = การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง จากการสุ่มคำตอบครั้งที่ n , กิโลวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$J(k)_{opt}$	=	การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่ อุณหภูมิของการจำลองครั้งที่ k , กิโลวัตต์
k	=	จำนวนครั้งของการลดอุณหภูมิของการจำลอง
n	=	จำนวนครั้งของการสุ่มคำตอบ
Pr	=	ความน่าจะเป็นของ Boltzmann
$P(i,n)$	=	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i จากการสุ่มคำตอบครั้งที่ n , กิโลวัตต์
$P(k)_{i,opt}$	=	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i ที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่ อุณหภูมิของการจำลองครั้งที่ k , กิโลวัตต์
$PLR(i,n)$	=	อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i จากการสุ่มคำตอบครั้งที่ n
$PLR(k)_{i,opt}$	=	อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i ที่เหมาะสมที่อุณหภูมิของ การจำลองครั้งที่ k
Q_{sys}	=	ภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต, ต้นความเย็น
random (0,1)	=	ฟังก์ชันการสุ่มข้อมูลที่มีการกระจายข้อมูลแบบปกติ (Normal Distribution) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1
TR_i	=	ภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i , ต้นความเย็น
$T(k)$	=	อุณหภูมิของการจำลองครั้งที่ k , องศาเซลเซียส

3.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

1. ประเมินค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลงหลังการดำเนินงานโดยคำนวณจากสมการที่ (3.4) เมื่อระบบผลิตน้ำเย็นที่เป็นกรณีศึกษามีชั่วโมงการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และทำงาน 340 วันต่อปี (8,160 ชั่วโมง) ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลง} &= \text{จำนวนหน่วยของการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง} \times \text{ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย} \\ &\quad \times \text{ระยะเวลาปฏิบัติงาน} \end{aligned} \quad (3.4)$$

(ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.23 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)

2. คำนวณระยะเวลาคืนทุนจากสมการที่ (3.5)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{เงินลงทุนในโครงการ} / \text{ค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลง} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการอภิปรายผล

4.1 ผลการดำเนินงานที่หอทำความเย็น

4.1.1 การใช้ไฟฟ้าของพัดลมที่หอทำความเย็นก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

การเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ทำให้ความดันของอากาศภายในหอทำความเย็นสูงขึ้น เนื่องจากไม่มีตะกรันขัดขวางการไหลของอากาศเข้าหอทำความเย็น การตรวจวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่หอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำแสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศมีเปลี่ยนแปลงน้อยมากจึงถือได้ว่าคงที่ ดังนั้นเมื่อความดันของอากาศภายในหอทำความเย็น (P_1) สูงขึ้น การทำงานและการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศที่หอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 จึงลดลง (พิจารณาจากสมการที่ (2.18) และ (2.19))

$$W = \frac{n}{n-1} \times V \times (101.325 - P_1) \quad (2.18)$$

$$P_{fan} = \frac{W}{\eta_{fan}} \quad (2.19)$$

ตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงผลการตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศที่หอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ ตามลำดับ พบว่าการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของหอทำความเย็นชุดที่ 2 ลดลง 7.9 กิโลวัตต์ (15.9 แอมป์) และการใช้ไฟฟ้าของหอทำความเย็นชุดที่ 3 ลดลง 9.0 กิโลวัตต์ (18.1 แอมป์) สรุปได้ว่าการใช้ไฟฟารวมของหอทำความเย็นทั้ง 2 ชุด (11 เครื่อง) ลดลง 16.9 กิโลวัตต์ (วิธีการคำนวณกำลังไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศในระบบไฟฟ้า 3 เฟส แสดงในภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 4.1 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศเข้าหอทำความเย็นชุดที่ 2 ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

หอทำความเย็นหมายเลข	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/s)	
	ก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ	หลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ
CT-2/1	18.05	18.40
CT-2/2	17.45	17.56
CT-2/3	16.93	17.60
CT-2/4	20.01	20.08
CT-2/5	18.65	18.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาเข้าหอทำความเย็นชุดที่ 3 ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

หอทำความเย็นหมายเลข	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m ³ /min)	
	ก่อนการเปลี่ยน แผงกระจายฟิล์มน้ำ	หลังการเปลี่ยน แผงกระจายฟิล์มน้ำ
CT-3/1	23.06	23.45
CT-3/2	24.75	24.91
CT-3/3	24.20	24.53
CT-3/4	23.68	23.80
CT-3/5	22.11	23.05
CT-3/6	23.51	23.63

ตารางที่ 4.3 การใช้กระแสไฟฟ้าของพัดลมที่หอทำความเย็นชุดที่ 2 ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

หอทำความเย็นหมายเลข	การใช้กระแสไฟฟ้า (A)	
	ก่อนการเปลี่ยน แผงกระจายฟิล์มน้ำ	หลังการเปลี่ยน แผงกระจายฟิล์มน้ำ
CT-2/1	9.7	6.4
CT-2/2	9.5	6.3
CT-2/3	9.7	6.5
CT-2/4	9.5	6.4
CT-2/5	9.5	6.4
รวม	47.9	32.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

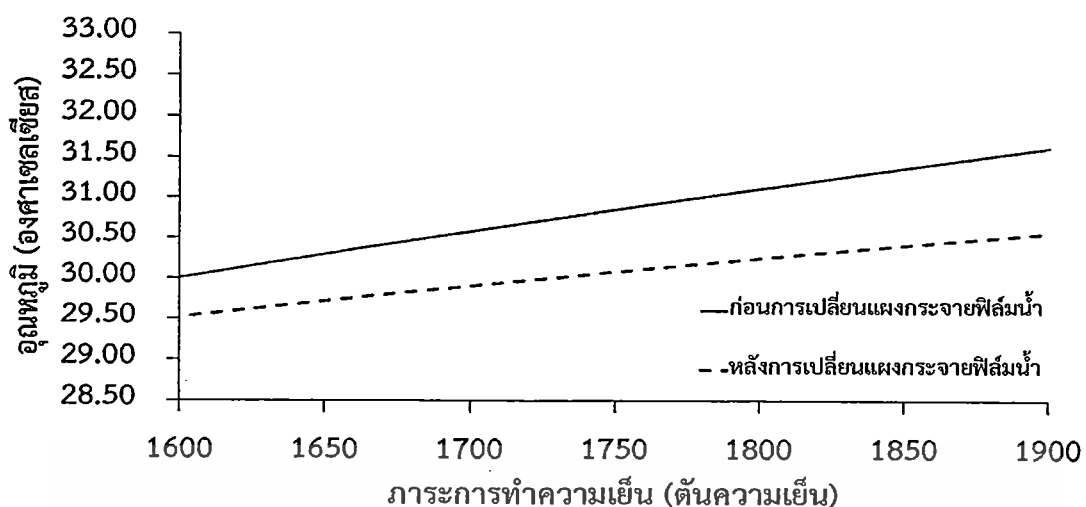
ตารางที่ 4.4 การใช้กระแสไฟฟ้าของพัดลมที่หอทำความเย็นชุดที่ 3 ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

หอทำความเย็นหมายเลข	การใช้กระแสไฟฟ้า (A)	
	ก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ	หลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ
CT-3/1	12.2	8.8
CT-3/2	11.3	9.0
CT-3/3	11.7	8.8
CT-3/4	11.6	8.6
CT-3/5	11.7	8.8
CT-3/6	11.9	8.8
รวม	70.9	52.8

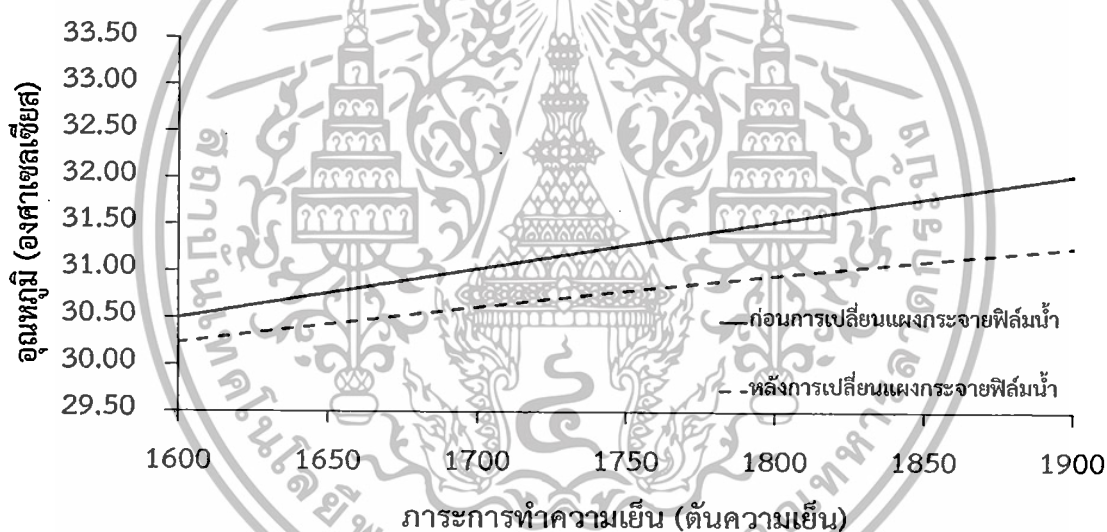
4.1.2 การตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น 4 เครื่อง ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

การเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นวนกลับ (Return Cooling Water) กับอากาศขาเข้าหอทำความเย็น ทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทจากน้ำหล่อเย็นวนกลับไปสู่อากาศสูงขึ้น และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาออกจากหอทำความเย็นลดลง รูปที่ 4.1 ถึง 4.4 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นที่ภาระการทำความเย็นต่างๆ ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่องที่ได้จากการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.5 สรุปได้ว่าหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ลดลง 1.0, 0.8, 0.8 และ 0.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นต่ำลง ความร้อนที่ถ่ายเทจากน้ำเย็นวนกลับ (Return Chilled Water) ไปยังน้ำหล่อเย็นจึงสูงขึ้น ทำให้ภาระการทำความเย็นสูงสุด (Cooling Load Capacity) ของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง เพิ่มขึ้น

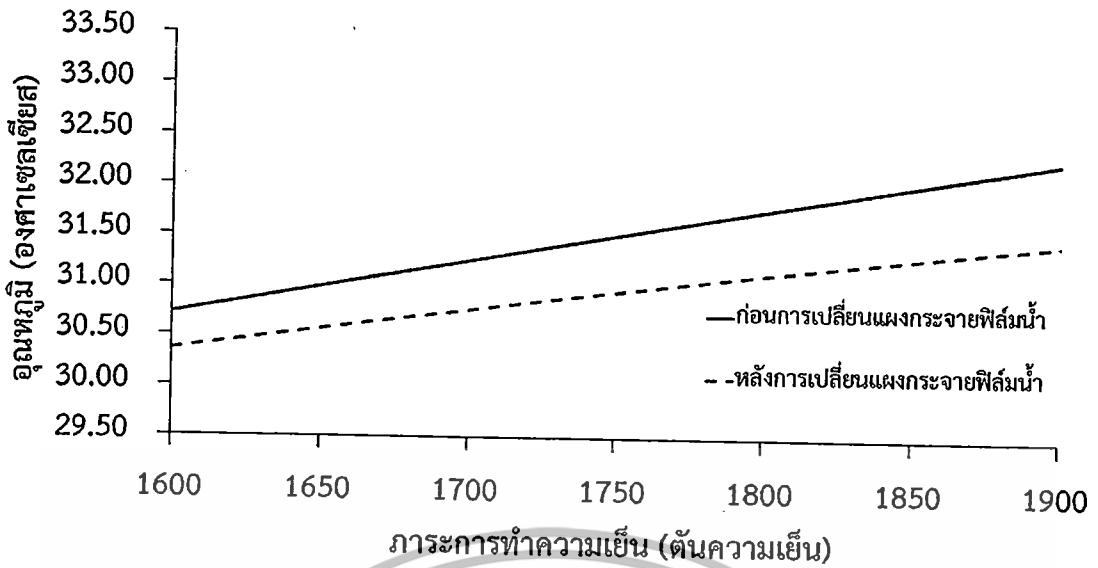


รูปที่ 4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1 ต่อภาระการทำงานที่ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

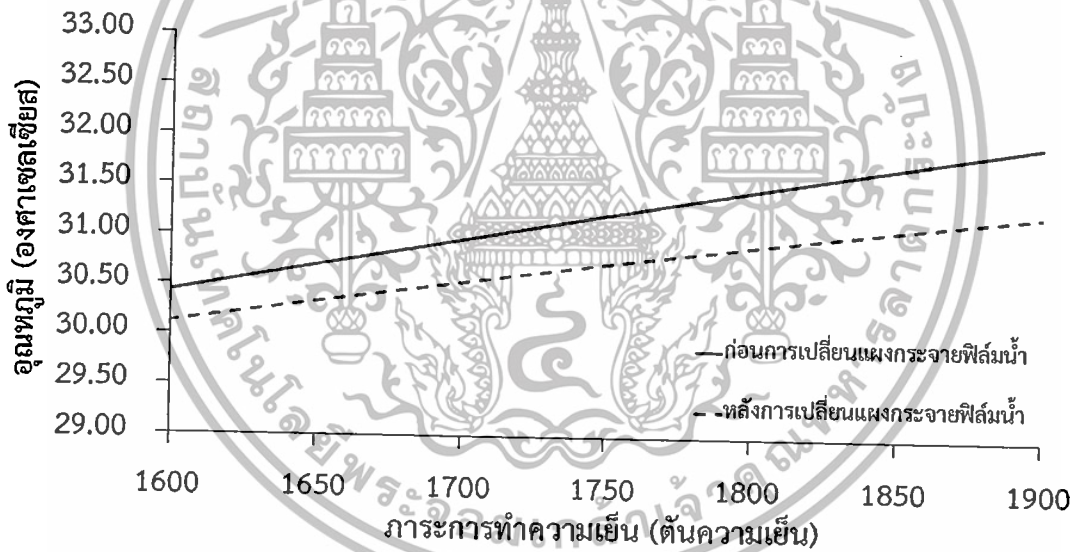


รูปที่ 4.2 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 2 ต่อภาระการทำงานที่ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 3 ต่อภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 ต่อภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง

หมายเลขเครื่องทำน้ำเย็น	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็น (°C)	
	ก่อนการดำเนินงาน	หลังการดำเนินงาน
1	31.1	30.1
2	31.6	30.8
3	31.8	31.0
4	31.5	30.7

4.1.3 ภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่เพิ่มขึ้นหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็น

คำนวณภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นได้จากสมการที่ (2.4)

$$TR_i = m_{chw,i} C_p \Delta T_{max,i} / 3.517 \quad (2.4)$$

ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นวนกลับกับอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นจะมีค่าสูงสุด (ΔT_{max}) เมื่อปรับเครื่องทำน้ำเย็นให้ทำงานเต็มพิกัดหรืออัตราส่วนการทำงาน of เครื่องทำน้ำเย็นเท่ากับ 1.00 แต่การปรับอัตราส่วนการทำงาน of เครื่องทำน้ำเย็นขณะปฏิบัติงาน จะทำให้อุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นมีค่าคลาดเคลื่อนไปจาก 4.4 องศาเซลเซียส ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตหมากฝรั่ง

ดังนั้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อกระบวนการผลิตหมากฝรั่งจากการปรับอัตราส่วนการทำงาน of เครื่องทำน้ำเย็น จึงคำนวณผลต่างสูงสุดระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นวนกลับกับอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นโดยสมการเชิงเส้นถดถอยจากโปรแกรม Minitab R. 15 ดังสมการที่ (4.1) ถึง (4.4) โดยแทนค่า PLR_i เท่ากับ 1 และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ตามตารางที่ 4.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์สมการเชิงเส้นถดถอยแสดงในภาคผนวก จ ผลต่างสูงสุดระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นวนกลับกับอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น และภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำแสดงดังตารางที่ 4.6 สรุปได้ว่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง เพิ่มขึ้นจาก 508, 785, 445 และ 457 เป็น 513, 803, 450 และ 470 ตันความเย็น ตามลำดับ

$$\Delta T_1 = 4.25PLR_1 - 0.0537T_{cw,1} + 1.87 \quad : R^2 = 0.91 \quad (4.1)$$

$$\Delta T_2 = 4.41PLR_2 - 0.1250T_{cw,2} + 3.78 \quad : R^2 = 0.91 \quad (4.2)$$

$$\Delta T_3 = 4.56PLR_3 - 0.0925T_{cw,3} + 2.56 \quad : R^2 = 0.93 \quad (4.3)$$

$$\Delta T_4 = 5.61PLR_4 - 0.1540T_{cw,4} + 3.87 \quad : R^2 = 0.95 \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ ΔT_i = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นวนกลับกับอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, องศาเซลเซียส
- PLR_i = อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
- $T_{cw,i}$ = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น, องศาเซลเซียส
- i = หมายเลขของเครื่องทำน้ำเย็น

ภาระการทำความเย็นสูงสุด (Ton of Refrigeration, TR) ของเครื่องทำน้ำเย็นเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้คำนวณอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 สำหรับการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมด้วยวิธีซิมูเลชันแอนาลิติก

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณภาระการทำความเย็นสูงสุดและผลต่างสูงสุดระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นวนกลับกับอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ก่อนและหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็น ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$)	ก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ			หลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ		
		$T_{cw,i}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$\Delta T_{max,i}$ ($^{\circ}\text{C}$)	ภาระการทำความเย็นสูงสุด (TR)	$T_{cw,i}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$\Delta T_{max,i}$ ($^{\circ}\text{C}$)	ภาระการทำความเย็นสูงสุด (TR)
1	94.20	31.1	4.6	508	30.1	4.6	513
2	155.93	31.6	4.2	785	30.8	4.3	803
3	89.00	31.8	4.2	445	31.0	4.3	450
4	83.44	31.5	4.6	457	30.7	4.7	470

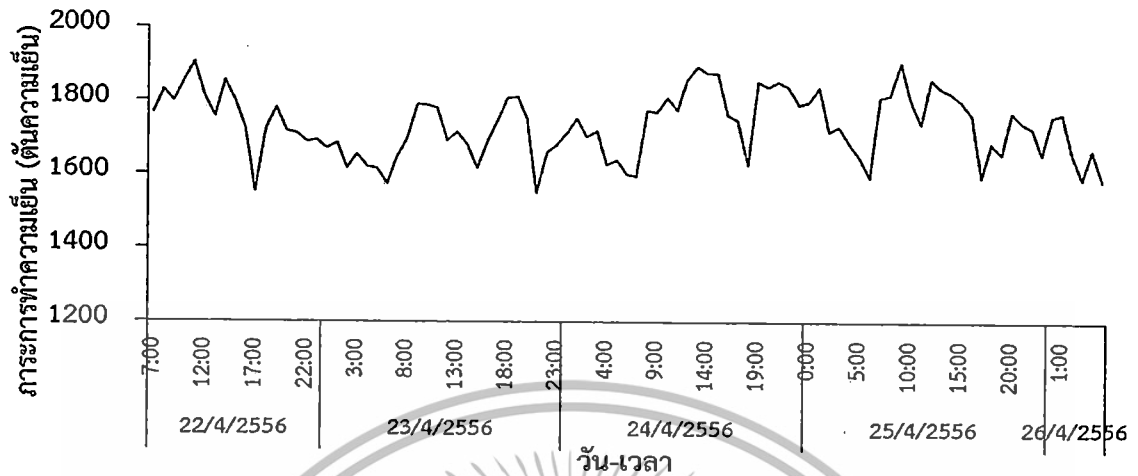
4.2 ผลการดำเนินงานที่เครื่องทำน้ำเย็น

4.2.1 ผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

ภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตคำนวณจากผลรวมของภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง โดยภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่องคำนวณจากสมการที่ (2.2) ซึ่งผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นวนกลับกับอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ($T_{chw,in} - T_{chw,out}$) ตรวจวัดได้ที่หน้าจอแสดงผลของเครื่องทำน้ำเย็นรูปที่ 4.5 แสดงภาระการทำความเย็นรวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่คำนวณระหว่างวันที่ 22 เมษายน 2556 เวลา 7.00 น. ถึงวันที่ 26 เมษายน 2556 เวลา 4.00 น. พบว่าภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตอยู่ระหว่าง 1,550 ถึง 1,950 ตันความเย็น และมีภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการเฉลี่ย 1,741 ตันความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{evap} = m_{chw} C_p (T_{chw,in} - T_{chw,out}) / 3.517 \quad (2.2)$$



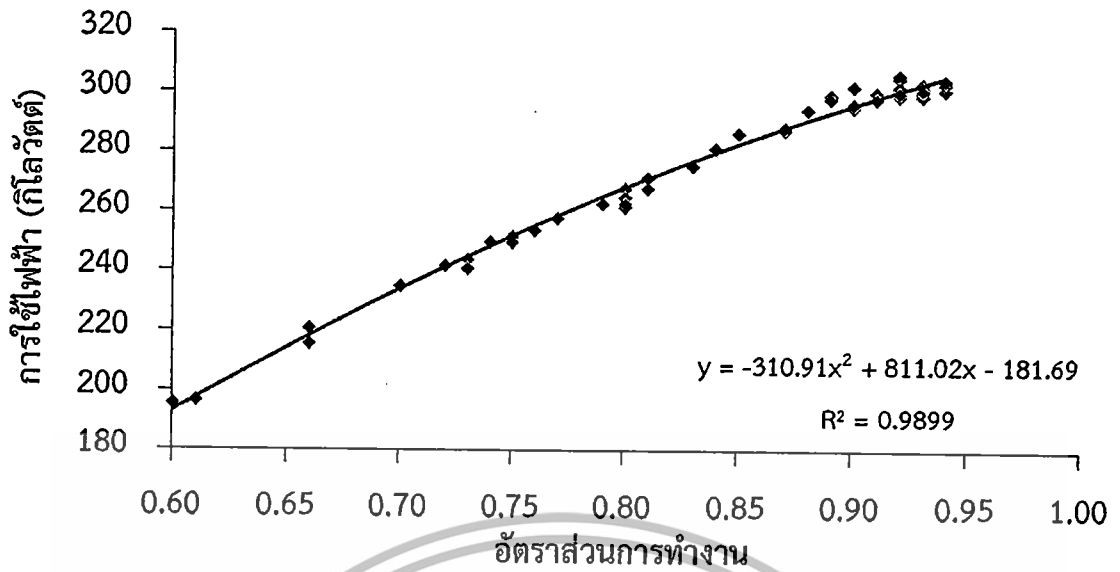
รูปที่ 4.5 ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ตรวจวัดวันที่ 22 ถึง 26 เมษายน พ.ศ. 2556

4.2.2 สัมประสิทธิ์ของการใช้ไฟฟ้าต่ออัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่อง ก่อนการปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตามค่าที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีซีมูลาแอนนิลลิ่ง

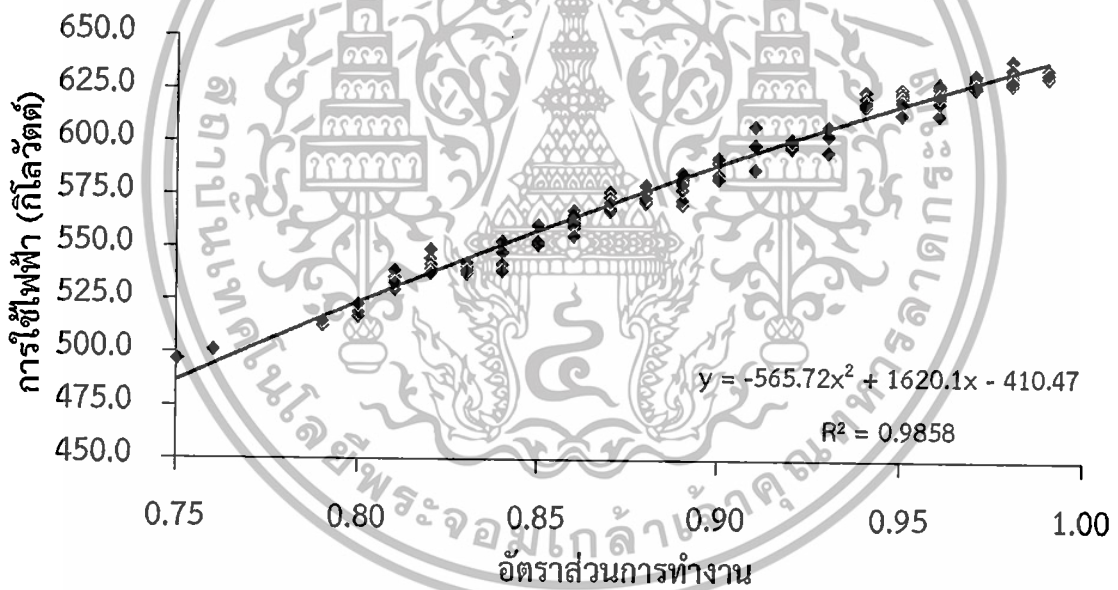
ตารางที่ 4.7 แสดงสัมประสิทธิ์ (a, b และ c) ของการใช้ไฟฟ้าต่ออัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้จากการเทียบสัมประสิทธิ์ในสมการที่ (2.6) กับกราฟความสัมพันธ์ของการใช้ไฟฟ้าต่ออัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่องที่ได้จากการตรวจวัดและพล็อตจากโปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.6 ถึง 4.9 สัมประสิทธิ์ดังกล่าวนำไปใช้คำนวณการใช้ไฟฟ้า (P) ของเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อหาอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่องที่เหมาะสมสำหรับการจำลองด้วยวิธีซีมูลาแอนนิลลิ่ง

$$P = aPLR^2 + bPLR + c \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

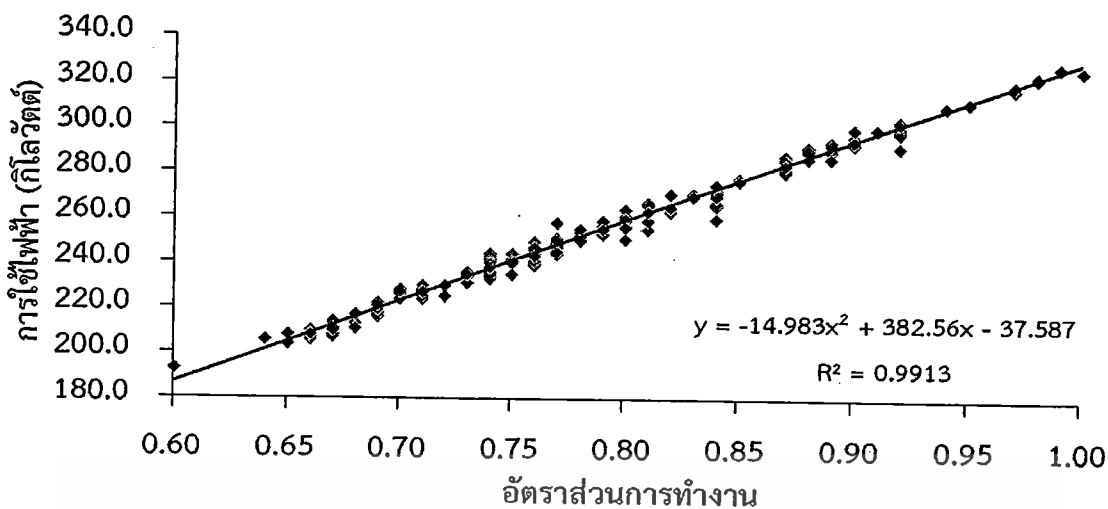


รูปที่ 4.6 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1 ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน

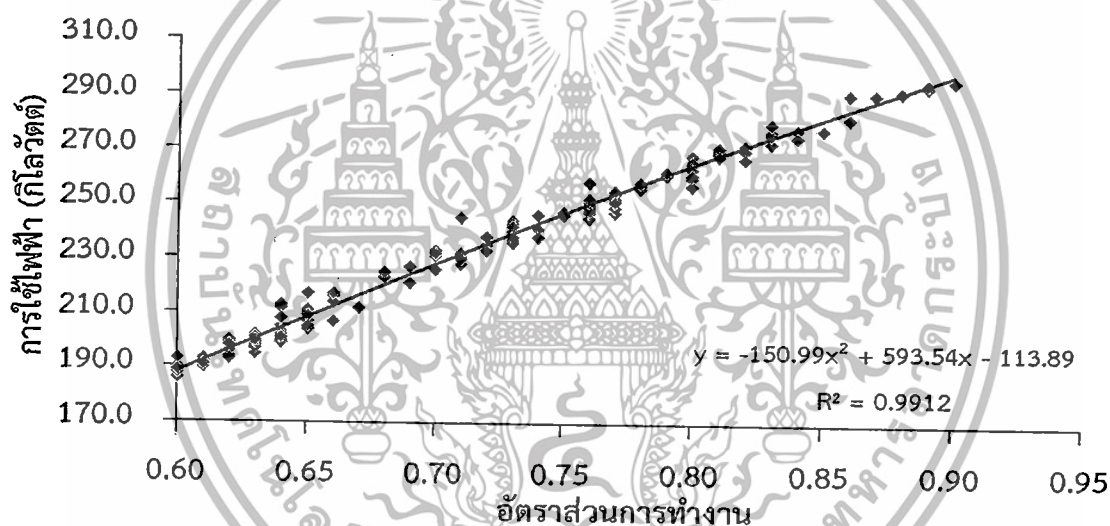


รูปที่ 4.7 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 2 ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 3 ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน



รูปที่ 4.9 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน

ตารางที่ 4.7 สัมประสิทธิ์ของสมการการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน

เครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข	a	b	c	R ²
1	-310.91	811.02	-181.69	0.990
2	-565.72	1,620.10	-410.47	0.986
3	-14.98	382.56	-37.59	0.991
4	-150.99	593.54	-113.89	0.991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การจำลองอัตราส่วนการทำงานที่เหมาะสมด้วยวิธีซีมูลิชั่นแอนนิลลิ่ง

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม และการใช้ไฟฟ้ารวมต่อภาระการทำงานความเย็นต่างๆ ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตของเครื่องทำน้ำเย็น ทั้ง 4 เครื่อง พบว่าอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้จากการจำลองสามารถลดการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นได้ 51.1, 52.9, 48.1 และ 44.5 กิโลวัตต์ ที่ภาระการทำงานความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต 1,600, 1,700, 1,800 และ 1,900 ตันความเย็น ตามลำดับ และสามารถลดการใช้ไฟฟ้ารวมได้ 48.9 กิโลวัตต์ ที่ภาระการทำงานความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตเฉลี่ย 1,741 ตันความเย็น หรือเท่ากับ 3.74 % ของการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการดำเนินงาน รูปที่ 4.10 แสดงการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงที่ภาระการทำงานความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต เมื่อปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตามค่าที่ได้จากการจำลอง นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีซีมูลิชั่นแอนนิลลิ่งเป็นวิธีการจำลองที่รวดเร็ว โดยการใช้การสุ่มหรือจำนวนการคำนวณซ้ำ (Iteration) ประมาณ 300 ครั้ง เพื่อจำลองอัตราส่วนการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องทำน้ำเย็น ดังรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.8 อัตราส่วนการทำงานและการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่ภาระการทำงานความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

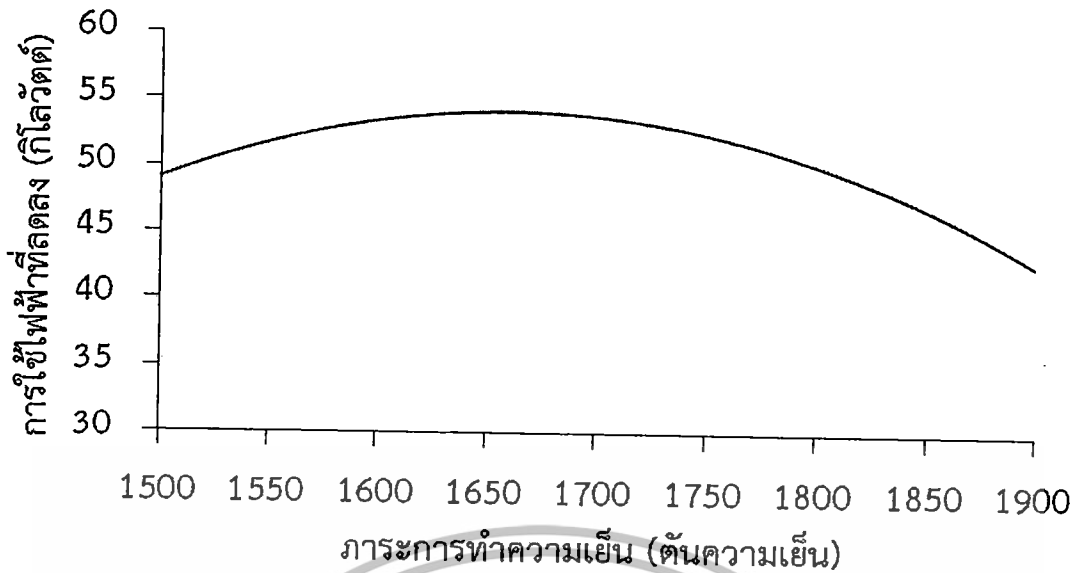
ภาระการทำงานความเย็น (TR)	เครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข	ค่าตรวจวัดจากกระบวนการก่อนการดำเนินงาน			การปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตามการจำลอง			ผลต่าง (kW) (A-B)
		PLR	kW	การใช้ไฟฟ้ารวม (kW) (A)	PLR	kW	การใช้ไฟฟ้ารวม (kW) (B)	
1,600	1	0.69	229.9	1194.5	0.87	288.5	1143.4	51.1
	2	0.78	509.0		0.70	446.4		
	3	0.71	227.6		0.66	208.4		
	4	0.70	228.0		0.63	200.1		
1,700	1	0.75	251.7	1,276.4	0.94	306.0	1223.5	52.9
	2	0.80	523.5		0.78	509.0		
	3	0.82	266.0		0.66	208.4		
	4	0.72	235.2		0.63	200.1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

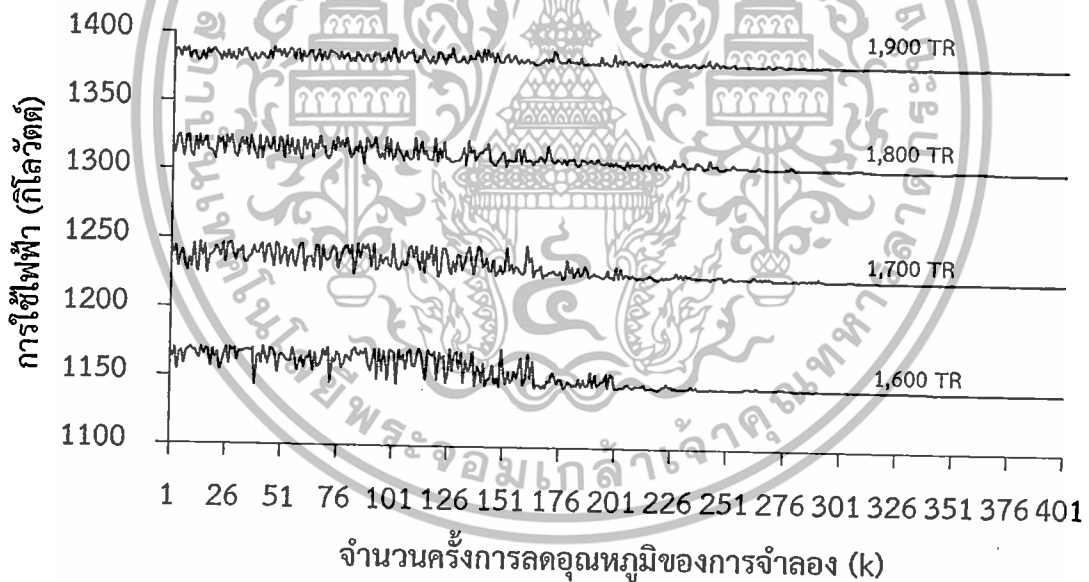
ตารางที่ 4.8 อัตราส่วนการทำงานและการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่ภาระการทำงานความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต (ต่อ)

ภาระการทำงานความเย็น (TR)	เครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข	ค่าตรวจวัดจากกระบวนการก่อนการดำเนินงาน			การปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตามการจำลอง			ผลต่าง (kW) (A-B)
		PLR	kW	การใช้ไฟฟ้ารวม (kW) (A)	PLR	kW	การใช้ไฟฟ้ารวม (kW) (B)	
1,800	1	0.82	274.2	1,352.0	0.94	306.0	1,303.9	48.1
	2	0.85	557.9		0.90	589.4		
	3	0.84	273.6		0.66	208.4		
	4	0.75	246.3		0.63	200.1		
1,900	1	0.82	274.2	1,423.2	0.94	306.0	1,378.7	44.5
	2	0.89	583.3		0.95	638.9		
	3	0.90	294.5		0.78	233.7		
	4	0.82	271.2		0.63	200.1		
1,741 (เฉลี่ย)	1	0.77	258.4	1,308.2	0.94	306.0	1,259.3	48.9
	2	0.82	537.6		0.83	544.4		
	3	0.83	269.6		0.66	208.8		
	4	0.74	242.6		0.63	200.1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่ลดลงต่อภาระการทำไอน้ำที่ ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตหลังการปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จากการ จำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนัลลิง



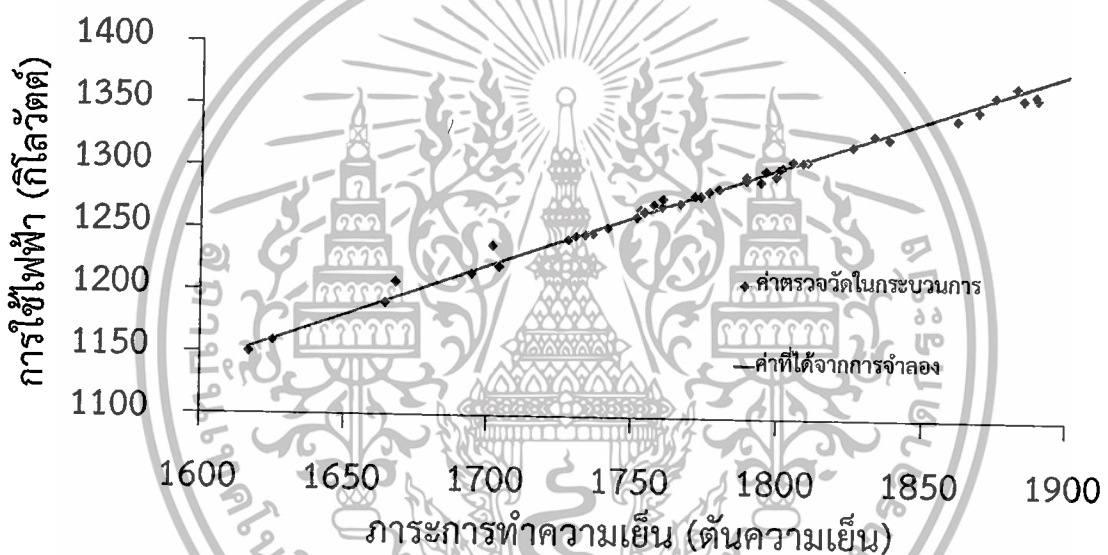
รูปที่ 4.11 การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่ได้จากการจำลองต่อจำนวนครั้ง การลดอุณหภูมิของการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนัลลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

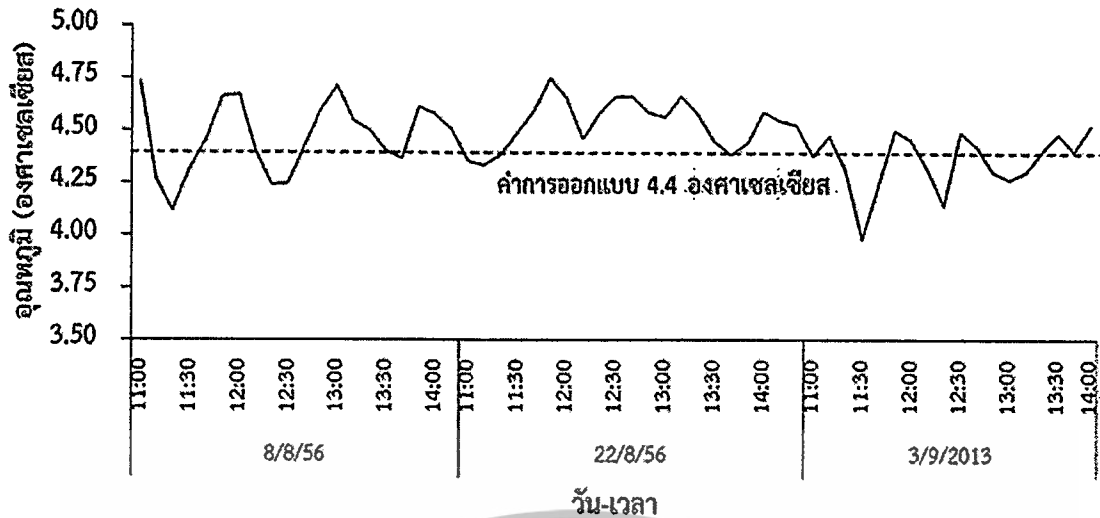
4.2.4 การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นที่ตรวจวัดจากกระบวนการผลิตกับค่าที่ได้จากการจำลองหลังปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น

การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็นที่ตรวจวัดจากกระบวนการผลิตเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองแสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่า การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นในกระบวนการผลิตที่ปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จากการจำลองแตกต่างจากค่าที่ได้จากการจำลองเพียง $\pm 1.0\%$ แสดงให้เห็นว่าวิธีซีมูลเลชันมีความถูกต้องและแม่นยำสูงสามารถคำนวณการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นที่ภาระการทำความเย็นต่างๆ ได้

นอกจากนี้เครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ยังสามารถผลิตน้ำเย็นอุณหภูมิเฉลี่ย 4.4 องศาเซลเซียส ส่งเข้าเครื่องส่งลมเย็นในระบบปรับอากาศ ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งตรงตามข้อกำหนดของบริษัทที่ต้องการอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 3.4-5.4 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นต่อภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีซีมูลเลชัน



รูปที่ 4.13 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นที่ส่งเข้าเครื่องส่งลมเย็นในระบบปรับอากาศหลังปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่ง

4.2.5 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนและหลังการปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตามค่าที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่ง

เมื่อปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตามค่าที่ได้จากการจำลอง พบว่าค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง สูงขึ้น ทำให้การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นที่ภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตลดลง ตารางที่ 4.9 แสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะรวมของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่องซึ่งคำนวณจากสมการที่ (2.10) พบว่าเมื่อปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จากการจำลอง ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง เพิ่มขึ้นจาก 4.68 เป็น 4.86 ที่ภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตเฉลี่ย 1,741 ตันความเย็น แสดงให้เห็นว่าการปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตามค่าที่ได้จากการจำลองสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้

$$COP = Q_{evap} / P \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 การใช้ไฟฟ้ารวมและค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ก่อนการดำเนินงานและหลังการปรับอัตราส่วนการทำงานตามค่าที่ได้จากการจำลอง

ภาระการทำความเย็น (TR)	ค่าตรวจวัดจากกระบวนการ ก่อนการดำเนินงาน		การปรับอัตราส่วนการทำงานของ เครื่องทำน้ำเย็นตามการจำลอง	
	การใช้ไฟฟ้ารวม (kW)	COP	การใช้ไฟฟ้ารวม (kW)	COP
1,600	1,194.5	4.71	1,143.4	4.92
1,700	1,276.4	4.68	1,223.5	4.89
1,800	1,352.0	4.68	1,303.9	4.86
1,900	1,423.2	4.68	1,378.7	4.84
1,741 (เฉลี่ย)	1,308.2	4.68	1,259.3	4.86

4.3 ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์จากการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็น

โครงการนี้แบ่งการประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) การเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 จำนวน 11 เครื่อง สามารถลดการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศที่หอทำความเย็นได้ 16.9 กิโลวัตต์ คิดเป็นต้นทุนด้านพลังงานที่ลดลงได้ประมาณ 445,000 บาทต่อปี ใช้เงินลงทุนประมาณ 1,500,000 บาท ประกอบด้วยค่าแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็น 11 เครื่อง และค่าการติดตั้ง ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3 ปี 5 เดือน

2) การปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ตามค่าที่ได้จากการจำลอง สามารถลดการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่อง 48.9 กิโลวัตต์ คิดเป็นต้นทุนด้านพลังงาน ที่ลดลงได้โดยยังไม่รวมต้นทุนค่าการดำเนินงาน 1,289,000 บาทต่อปี

ดังนั้นจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่ง สามารถลดการใช้ไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็นได้ทั้งหมด 65.8 กิโลวัตต์ หรือคิดเป็นต้นทุนด้านพลังงาน 1,734,000 บาทต่อปี (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.23 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานในโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพของหอทำความเย็นและเครื่องทำน้ำเย็นของระบบผลิตน้ำเย็น โดยเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็น และปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่องตามค่าที่ได้จากการจำลองโดยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่งซึ่งเป็นวิธีการจำลองที่รวดเร็ว สามารถลดการใช้ไฟฟ้ารวมของระบบผลิตน้ำเย็นได้ 65.8 กิโลวัตต์ เทียบเท่าต้นทุนด้านพลังงาน 1,734,000 บาทต่อปี (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.23 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)

5.1 สรุปผลการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3

ก่อนการดำเนินงานอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง มีค่าระหว่าง 28.5-32.5 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนใหญ่สูงกว่าค่าการออกแบบที่ 29.4 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นกับอากาศขาเข้าหอทำความเย็น ความร้อนสามารถถ่ายเทจากน้ำหล่อเย็นไปสู่อากาศได้มากขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ลดลงประมาณ 0.8 องศาเซลเซียส และภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง เพิ่มขึ้นจาก 508, 785, 445 และ 457 เป็น 513, 803, 450 และ 470 ตันความเย็น ตามลำดับ ช่วยลดการใช้ไฟฟ้ารวมของพัดลมดูดอากาศที่หอทำความเย็นทั้ง 11 เครื่อง ได้ 16.9 กิโลวัตต์ เท่ากับต้นทุนด้านพลังงานที่ลดลงได้ 445,000 บาทต่อปี

5.2 สรุปผลการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น 4 เครื่องที่เหมาะสมด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่ง

วิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่งเป็นวิธีที่ประยุกต์ใช้การสุ่มค่าตอบ (Steepest Downhill) และความน่าจะเป็นของ Boltzmann (boltzmann's probability) ในการหาภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสม วิธีนี้มีขั้นตอนการจำลองที่ง่ายและไม่ซับซ้อน ใช้การสุ่มจากเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด สามารถจำลองคำตอบที่เหมาะสมจากฟังก์ชันเป้าหมายที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งงู เช่น ฟังก์ชันการใช้ไฟฟ้าต่ออัตราส่วนการทำงาน of เครื่องทำน้ำเย็นได้ในขณะที่วิธีตัวคูณลากรางจ์ซึ่งเป็นวิธีทั่วไปในการจำลองคำตอบไม่สามารถจำลองได้

จากผลการดำเนินงานหลังจากปรับอัตราส่วนการทำงาน of เครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ตามค่าที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่ง เครื่องทำน้ำเย็นสามารถผลิตน้ำเย็นที่อุณหภูมิเฉลี่ย 4.4 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง เพิ่มขึ้นจาก 4.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น 4.86 และลดการใช้ไฟฟ้ารวมได้ 48.9 กิโลวัตต์ ที่ภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตเฉลี่ย 1,741 ตันความเย็น หรือเท่ากับ 3.74% ของการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่องก่อนการดำเนินงาน คิดเป็นต้นทุนด้านพลังงาน 1,289,000 บาทต่อปี ผลการจำลองมีความน่าเชื่อถือเพราะการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่ตรวจวัดจากกระบวนการผลิตกับค่าที่ได้จากการจำลองแตกต่างกันเพียง ± 1.0 % ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานจึงทำตารางที่ 5.1 สำหรับตั้งค่าอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ที่เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตโดยที่การใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ำสุด

ตารางที่ 5.1 อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง จากการจำลองด้วยวิธีซีมูลาแอนนิลลิงที่ภาระการทำความเย็นต่างๆ และการใช้ไฟฟ้าต่ำสุด

ภาระการทำ ความเย็น (TR)	อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น				การใช้ไฟฟ้า ต่ำสุด (kW)
	หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4	
1,550	0.77	0.70	0.66	0.63	1,113.3
1,575	0.82	0.70	0.66	0.63	1,129.2
1,600	0.87	0.70	0.66	0.63	1,143.4
1,625	0.92	0.70	0.66	0.63	1,156.2
1,650	0.94	0.71	0.66	0.63	1,169.1
1,675	0.94	0.74	0.66	0.63	1,193.1
1,700	0.94	0.78	0.66	0.63	1,223.5
1,725	0.94	0.81	0.66	0.63	1,245.1
1,750	0.94	0.84	0.66	0.63	1,265.7
1,775	0.94	0.87	0.66	0.63	1,285.3
1,800	0.94	0.90	0.66	0.63	1,303.9
1,825	0.94	0.93	0.66	0.63	1,321.4
1,850	0.94	0.95	0.66	0.63	1,337.9
1,875	0.94	0.95	0.67	0.63	1,357.0
1,900	0.94	0.95	0.78	0.63	1,378.7
1,925	0.94	0.99	0.78	0.63	1,396.7
1,950	0.94	0.99	0.83	0.63	1,414.6
1,975	0.94	0.99	0.89	0.63	1,436.1

หมายเหตุ อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นนี้เป็นค่าที่เหมาะสมกับอัตราการใช้ของน้ำเย็น 94.20, 155.93, 89.00 และ 83.44 กิโลกรัมต่อวินาที ที่ไหลเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ (ตรวจวัดอัตราการไหลโดยบริษัทภายนอก เนื่องจากบริษัทไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่อง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันบริษัทที่เป็นกรณีศึกษาใช้อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้จากการจำลองในโครงการนี้ (ตารางที่ 5.1) ในกระบวนการผลิต นอกจากนั้นเพื่อความสะดวกทางบริษัทจึงเริ่มโครงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาใช้ปรับอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นให้ถูกต้องตามค่าที่ได้จากการจำลองแทนการปรับด้วยผู้ปฏิบัติการ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำเย็น ดังนั้นในกรณีที่ต้องการปรับอัตราการไหลให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตและลดการใช้ไฟฟ้า ปัจจุบันทำไม่ได้เนื่องจากบริษัทไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่เครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่อง ดังนั้นควรติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ไหลเข้าเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่อง

5.3.2 สามารถประยุกต์วิธีการจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมด้วยวิธีซีมูลาชันนอลิ่งเข้ากับกระบวนการผลิตอื่นที่ต้องการลดการใช้ไฟฟ้า และมีภาระการทำความเย็นสูงกว่า 10,000 ตันความเย็น เช่น กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ กระบวนการผลิตสารกึ่งตัวนำ เป็นต้น



บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556ก. บทที่ 3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ. [Online].

Available : www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_E_B/Elec_B_3.pdf [10 เมษายน 2556]

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556ข. หมวดที่ 2 : ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning). [Online]

Available : [www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Commercial\(PDF\)/Bay39%20Air%20Conditioning_Rev1.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Commercial(PDF)/Bay39%20Air%20Conditioning_Rev1.pdf) [10 เมษายน 2556]

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2556ก. การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ. [Online].

Available : www.diw.go.th/km/power/pdf/06การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ.pdf [25 เมษายน 2556]

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2556ข. การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็นอุตสาหกรรม. [Online].

Available : www.diw.go.th/km/power/pdf/08การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็นอุตสาหกรรม.pdf [25 เมษายน 2556]

ชนกนาด บู่สาลี. 2556. “การแก้ปัญหาคอขวดและการเพิ่มผลผลิตของกระบวนการผลิตหมากฝรั่งโดยแนวคิดการผลิตแบบลีน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชัยภัทร์ เอื้อศิริพันธ์. 2545. “การจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ของหอทำความเย็นแบบไหลขวางกันเพื่อการใช้งานในอุตสาหกรรม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นภดล สายสวัสดิ์. 2547. “การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางสำหรับการปรับอากาศในอาคาร 52 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บริษัท เอ็นโนวาเทคโนโลยี ฟินิกซ์ เอ็นเนอร์ยี โซลูชั่น จำกัด. 2013. การตรวจวัดอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำเย็นจากระบบผลิตน้ำเย็น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปกรณ์ ดิษฐกิจ. 2544. “การหาขนาดท่อที่เหมาะสมสำหรับการแพร่กระจายน้ำแบบวงรอบโดยวิธีซีมูลทแอนนิลิ่ง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545. “โปรแกรมตรวจสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิศลย์ มีแก้ว. 2546. “การเปรียบเทียบวิธีการหาค่าตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีทางฮิวริสติก.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- เรืองฤทธิ์ ลำมะยศ ชาญณรงค์ พาประโยชน์ สมใจ เข้าวพานิช และประยुทธ ทะสุนทร. 2553. “การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยการติดตั้งท่อความร้อนช่วยระบายความร้อนที่แผง ระบายความร้อน.” โครงการวิจัยและพัฒนาอาชีวศึกษาเพื่อสร้างองค์ความรู้และนวัตกรรม, วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม.
- วุฒิพล เล้าอรุณ. 2556. ความกระด้างของน้ำ (Water Hardness). [Online]. Available : http://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=506
- เวชยันต์ วรกิจธำรงค์ชัย. 2552. “การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนระบบทำน้ำเย็นแบบระบาย ความร้อนด้วยน้ำเพื่อทดแทนระบบทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ กรณีศึกษา: โรงงานประกอบชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์.” สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- เวชยันต์ อมะวัลย์. 2551. “การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคาร อำนวยการ.” สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ อุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สวรรคตภูมิ ทองวิเศษ ชิสา สุภัทรากุล ณัชชา ศรีพนารัตนกุล ชุตินันท์ พิทักษ์บุญเขต สมบุญ เกียรติ รุ่งเรืองดี และทองน้ำทิพย์ ศังชะฤกษ์. 2553. “บทวิเคราะห์การตลาด : หมากฝรั่ง Trident.” CMMU Marketing Publication. วิทยาลัยการจัดการ, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สุธรรม สุขมณี. 2554. การออกแบบอุปกรณ์ทางวิศวกรรมเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 7 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุระเดช ฉั่วสุวรรณ. 2540. “การศึกษาประสิทธิภาพของพลาสติกฟิล์มที่ใช้ในหอทำความเย็น ชนิดตุกลม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สุวิจันชัย พันธุ์ศรี. 2552. “การหาตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลโดยวิธี Simulated Annealing.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อธิวัฒน์ บุญมี. 2552. “การวางแผนโรงงานแบบพลวัตโดยใช้ซิมมูเลเตดแอนนิลลิ่ง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อนันต์ ฟองลมุล. 2549. “การออกแบบหอทำน้ำเย็นชนิดลมดูดแบบไหลสวนทางสำหรับงานอุตสาหกรรม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อาทิตย์ ใจช่วง. 2552. “การแก้ปัญหาค่าเหมาะสมแบบมีเงื่อนไขโดยใช้วิธีร่วมกันระหว่างขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและการจำลองอันนิลลิ่ง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Aarts, E. and Krost, J. 1989. *Simulated Annealing and Boltzmann Machines: A Stochastic Approach to Combinatorial Optimization and Neural Computing.* New York : John Wiley & Sons.
- ASHRAE. 1999. *ASHRAE Handbook CH.40. Supervisory Control Strategies and Optimization.* Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- Asrael, J. Phelan, P.E. and Wood, B.D. 2000. “Feasibility of lowering the condenser's inlet water temperature of a chiller using thermal water storage.” *Applied Energy.* 66 : 339-356.
- Brannick, M.T. 2013. *Regression with Two Independent Variables.* [Online]. Available : <http://luna.cas.usf.edu/~mbrannic/files/regression/Reg2IV.html>
- Cengel, Y.A. 2005. *Heat and Mass Transfer: A Practical Approach.* 3rd Ed. New York : McGraw-Hill.
- Cengel, Y.A. and Boles, M.A. 2006. *Thermodynamics : An Engineering Approach.* 6th Ed. New York : McGraw-Hill.
- Chang, Y.C. 2004. “A novel energy conservation method optimal chiller loading.” *Electric Power Systems Research.* 69 : 221-226.
- Chang, Y.C. Lin, J.K. and Chuang, M.H. 2005. “Optimal chiller loading by genetic algorithm for reducing energy consumption.” *Energy and Buildings.* 37 : 147-155.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chinyere, O. 1999. *Introduction to Engineering Design Optimization*. New Jersey : Prentice Hall.
- Energy Efficiency Guide for Industry in Asia. 2556. เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้า: หอหล่อเย็น. [Online].
Available : [www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/thai/Chapter%20-%20Cooling%20towers%20\(Thai\).pdf](http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/thai/Chapter%20-%20Cooling%20towers%20(Thai).pdf) [10 มิถุนายน 2556]
- Geankoplis, C.J. 2003. *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations)*. 4th Ed. New Jersey : Prentice Hall.
- Hensley, J.C. 2009. *Cooling Tower Fundamentals*. 2nd Ed. Kansas : SPX Cooling Technologies.
- Kirkpatrick Jr. S, Gelatt CD, Vecchi MP. 1983. "Optimization by simulated annealing." *Science*. 220 : 671-680.
- Liang Chi Industry (Thailand) Co., Ltd. 2013. *Performance Test Report*.
- Mondelez International (Thailand) Co., Ltd. 2012. *Gum Manufacturing*. (unpublished)
- Pinches, J.M. and Callear, J.B. 1997. *Power Pneumatics*. New Jersey : Prentice Hall.
- Smith, J.M. Van Ness, H.C. and Abbott, M.M. 2005. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. New York : McGraw-Hill.
- Wang, S.K. 2001. *Handbook of Air Condition and Refrigeration*. New York : McGraw-Hill.
- Yu, F.W. and Chan, K.T. 2007. "Optimum load sharing strategy for multiple-chiller systems serving air-conditioned buildings." *Building and Environment*. 42 : 1581-1593.
- Yu, F.W. and Chan, K.T. 2008. "Optimization of water-cooled chiller system with load-based speed control." *Applied Energy*. 85 : 931-950.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง

ภาคผนวก ก.1

อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง

ก่อนการเปลี่ยนแปลงกระจายฟิล์มน้ำ

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำคามเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแปลงกระจายฟิล์มน้ำ

วันที่	เวลา	ภาระการทำคามเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
3 พ.ค. 56	12:20	1,788	31.6	31.9	32.2	31.8
	12:30	1,791	31.7	32.1	32.3	32.0
	12:40	1,789	31.4	31.8	32.1	31.8
	12:50	1,787	31.4	31.8	32.1	31.8
	13:00	1,795	31.7	32.2	32.4	32.1
	13:10	1,812	31.8	32.3	32.5	32.2
	13:20	1,860	32.1	32.6	32.8	32.5
	13:30	1,844	31.9	32.4	32.6	32.3
	13:40	1,821	31.6	32.1	32.3	31.9
	13:50	1,809	31.7	32.1	32.3	32.0
	14:00	1,777	31.4	31.8	32.1	31.8
7 พ.ค. 56	11:10	2,017	31.5	32.1	32.3	32.1
	11:20	1,906	31.8	32.2	32.6	32.2
	11:30	1,877	31.8	32.3	32.5	32.2
	11:40	1,884	31.8	32.3	32.6	32.2
	11:50	1,884	31.8	32.4	32.6	32.3
	12:00	1,901	31.9	32.5	32.6	32.4
	12:10	1,928	31.7	32.4	32.5	32.3
	12:20	1,929	32.1	32.5	32.7	32.4
	12:30	1,911	31.9	32.4	32.6	32.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ (ต่อ)

วันที่	เวลา	ภาระการทำความเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
7 พ.ค. 56	12:40	1,919	31.8	32.5	32.5	32.3
	12:50	1,918	31.9	32.3	32.6	32.2
	13:00	1,876	31.3	31.9	32.1	31.9
	13:10	1,828	31.3	31.8	32.1	31.9
	13:20	1,835	31.1	31.6	31.8	31.7
	13:30	1,830	31.3	31.9	32.1	31.8
	13:40	1,836	31.5	32.1	32.2	31.9
	13:50	1,892	31.6	32.1	32.3	32.0
	14:00	1,888	31.6	32.2	32.3	32.1
10 พ.ค. 56	11:10	1,740	31.7	32.2	32.4	32.2
	11:20	1,748	31.8	32.4	32.6	32.4
	11:30	1,736	31.8	32.4	32.6	32.3
	11:40	1,745	31.9	32.5	32.6	32.3
	11:50	1,731	31.8	32.4	32.6	32.3
	12:00	1,720	31.7	32.2	32.4	32.1
	12:10	1,703	31.1	31.7	31.8	31.6
	12:20	1,698	31.0	31.2	31.7	31.4
	12:30	1,630	30.9	31.4	31.7	31.3
	12:40	1,634	30.4	31.1	31.1	30.9
	12:50	1,623	30.3	30.9	31.0	30.8
	13:00	1,568	30.0	30.6	30.7	30.4
	13:10	1,577	29.9	30.6	30.7	30.4
	13:20	1,584	30.1	30.4	30.8	30.6
	13:30	1,603	30.8	31.4	31.6	31.3
	13:40	1,616	31.1	31.5	31.8	31.5
	13:50	1,641	31.1	31.8	31.8	31.6
14:00	1,697	31.6	32.2	32.3	32.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำคามเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ (ต่อ)

วันที่	เวลา	ภาระการทำคามเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
16 พ.ค. 56	11:10	1,813	31.0	31.4	31.7	31.4
	11:20	1,789	31.2	31.7	31.9	31.7
	11:30	1,761	31.3	31.8	32.0	31.7
	11:40	1,779	31.2	31.7	31.8	31.7
	11:50	1,786	31.2	31.8	31.9	31.8
	12:00	1,869	31.4	31.8	32.2	31.9
	12:10	1,897	31.7	32.3	32.4	32.1
	12:20	1,889	31.8	32.3	32.6	32.3
	12:30	1,966	32.1	32.7	32.9	32.5
	12:40	1,922	32.0	32.5	32.8	32.4
	12:50	1,923	31.9	32.6	32.7	32.4
	13:00	1,924	31.9	32.5	32.6	32.3
	13:10	1,908	31.8	32.3	32.5	32.2
	13:20	1,870	31.4	31.7	32.1	31.7
	13:30	1,844	31.2	31.9	31.8	31.7
	13:40	1,844	31.7	32.2	32.3	32.1
	13:50	1,819	31.7	31.6	31.7	31.4
14:00	1,810	30.8	31.4	31.6	31.2	
17 พ.ค. 56	11:10	1,726	30.9	31.2	31.5	31.2
	11:20	1,721	30.9	31.5	31.6	31.4
	11:30	1,794	31.3	31.8	32.0	31.7
	11:40	1,760	31.0	31.6	31.7	31.5
	11:50	1,813	31.0	31.6	31.7	31.5
	12:00	1,797	31.1	31.7	31.9	31.6
	12:10	1,808	31.2	31.8	32.1	31.8
	12:20	1,856	31.7	32.1	32.5	32.2
	12:30	1,897	31.9	32.5	32.7	32.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำคามเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ (ต่อ)

วันที่	เวลา	ภาระการทำคามเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
17 พ.ค. 56	12:40	1,881	32.1	32.5	32.8	32.4
	12:50	1,793	31.9	32.5	32.8	32.3
	13:00	1,845	31.9	32.3	32.5	32.2
	13:10	1,862	31.9	32.4	32.4	32.4
	13:20	1,844	31.8	32.3	32.6	32.3
	13:30	1,843	32.0	32.3	32.6	32.4
	13:40	1,959	32.1	32.5	32.8	32.5
	13:50	1,886	32.2	32.4	32.8	32.5
14:00	1,831	31.8	32.4	32.8	32.2	
21 พ.ค. 56	11:10	1,726	30.7	31.4	31.4	31.2
	11:20	1,719	30.6	31.2	31.3	31.0
	11:30	1,753	30.8	31.2	31.5	31.2
	11:40	1,799	30.8	31.3	31.5	31.2
	11:50	1,799	30.9	31.4	31.7	31.4
	12:00	1,839	31.1	31.7	31.8	31.6
	12:10	1,878	31.4	32.0	32.1	31.8
	12:20	1,829	31.3	31.8	31.9	31.7
	12:30	1,776	31.3	31.7	31.8	31.6
	12:40	1,771	31.2	31.7	31.8	31.6
	12:50	1,821	31.5	32.1	32.2	31.8
	13:00	1,838	31.4	32.1	32.0	31.8
	13:10	1,829	31.4	31.9	32.1	31.8
	13:20	1,811	31.4	32.0	32.1	31.8
	13:30	1,794	31.3	31.9	32.1	31.8
	13:40	1,826	31.5	32.0	32.2	31.8
13:50	1,834	31.6	31.9	32.3	31.9	
14:00	1,821	31.3	31.9	32.2	31.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำคามเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ (ต่อ)

วันที่	เวลา	ภาระการทำคามเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
29 พ.ค. 56	11:10	1,718	30.6	31.1	31.3	31.1
	11:20	1,860	30.4	30.9	31.2	30.9
	11:30	1,798	30.7	31.1	31.4	31.1
	11:40	1,814	30.7	31.1	31.4	31.1
	11:50	1,825	30.8	31.3	31.6	31.3
	12:00	1,793	30.9	31.2	31.6	31.3
	12:10	1,775	30.6	31.2	31.3	31.0
	12:20	1,889	31.1	31.6	31.7	31.4
	12:30	1,860	31.0	31.4	31.7	31.3
	12:40	1,873	31.6	32.1	31.7	31.9
	12:50	1,843	31.3	31.8	31.9	31.7
	13:00	1,813	31.1	31.4	31.7	31.5
	13:10	1,813	31.1	31.4	31.8	31.5
	13:20	1,803	30.8	31.3	31.5	31.1
	13:30	1,798	30.7	31.3	31.5	31.3
	13:40	1,803	30.9	31.3	31.6	31.3
13:50	1,900	31.0	31.5	31.7	31.5	
14:00	1,934	31.3	31.7	32.0	31.7	
19 มิ.ย. 56	11:10	1,801	31.4	31.9	31.9	31.7
	11:20	1,778	31.4	31.8	32.0	31.6
	11:30	1,811	31.4	31.8	32.1	31.7
	11:40	1,828	31.5	31.8	32.1	31.8
	11:50	1,828	31.5	31.8	32.2	31.8
	12:00	1,846	31.5	31.8	32.2	31.9
	12:10	1,872	31.6	31.9	32.3	31.9
	12:20	1,841	31.7	31.9	32.2	31.9
	12:30	1,823	31.5	32.0	32.1	31.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำคามเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ (ต่อ)

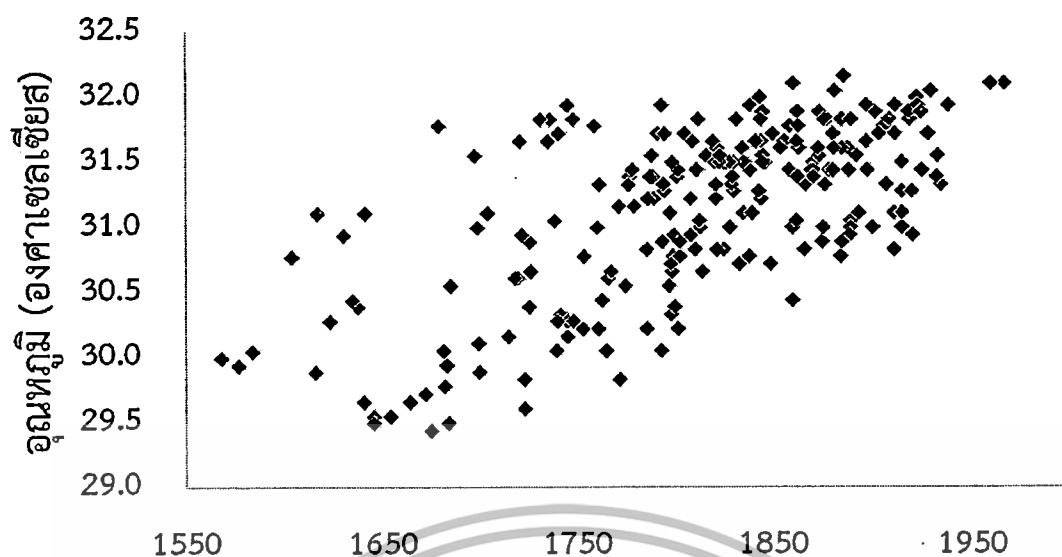
วันที่	เวลา	ภาระการทำคามเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
19 มิ.ย. 56	12:40	1,823	31.6	31.8	32.2	31.8
	12:50	1,862	31.6	32.0	32.2	31.9
	13:00	1,885	31.6	32.0	32.2	31.8
	13:10	1,880	31.7	31.9	32.3	31.9
	13:20	1,853	31.6	31.8	32.2	31.8
	13:30	1,880	31.6	31.9	32.3	31.9
	13:40	1,911	31.7	32.1	32.3	31.9
	13:50	1,858	31.8	32.1	32.3	31.9
14:00	1,801	31.4	31.7	32.0	31.7	
26 มิ.ย. 56	11:10	1,863	31.8	32.0	32.3	31.9
	11:20	1,838	31.9	32.2	32.5	31.8
	11:30	1,862	31.7	31.9	32.2	31.8
	11:40	1,880	31.4	31.7	32.1	31.7
	11:50	1,858	31.4	31.8	31.9	31.6
	12:00	1,903	31.7	32.0	32.3	31.9
	12:10	1,938	31.9	31.9	32.4	31.9
	12:20	1,897	31.4	31.5	31.8	31.4
	12:30	1,893	31.1	31.4	31.6	31.2
	12:40	1,849	30.7	31.0	31.2	30.8
	12:50	1,797	30.6	30.8	31.1	30.7
	13:00	1,772	29.8	30.0	30.3	29.9
	13:10	1,723	29.6	29.9	30.1	29.8
	13:20	1,683	29.5	29.7	30.1	29.6
	13:30	1,675	29.4	29.4	30.1	29.7
	13:40	1,654	29.6	29.8	30.2	29.8
	13:50	1,640	29.7	29.8	30.2	29.7
	14:00	1,645	29.6	29.7	30.1	29.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำควมเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแปลงกระจายฟิล์มน้ำ (ต่อ)

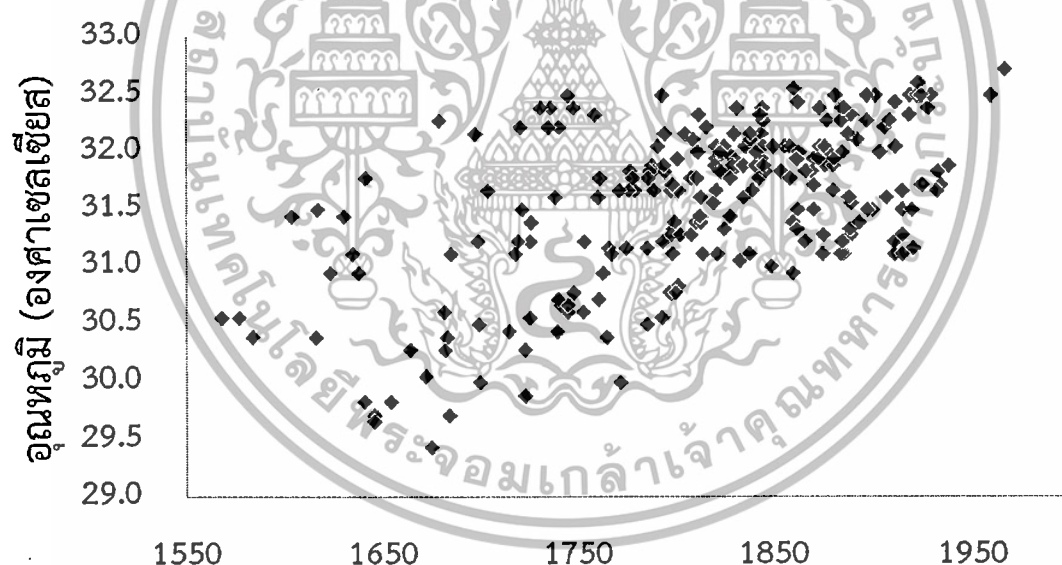
วันที่	เวลา	ภาระการทำควมเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
3 ก.ค. 56	11:10	1,699	30.1	30.5	30.7	30.3
	11:20	1,714	30.2	30.4	30.8	30.4
	11:30	1,725	30.4	30.6	30.9	30.6
	11:40	1,785	30.2	30.5	30.9	30.9
	11:50	1,801	30.2	30.8	31.1	30.8
	12:00	1,800	30.4	30.8	31.1	30.7
	12:10	1,745	30.3	30.7	30.9	30.6
	12:20	1,740	30.3	30.7	30.8	30.6
	12:30	1,748	30.3	30.8	31.0	30.7
	12:40	1,785	30.8	31.2	31.4	31.1
	12:50	1,821	30.8	31.1	31.4	31.1
	13:00	1,920	31.3	31.5	31.8	31.4
	13:10	1,866	31.3	31.8	31.9	31.5
	13:20	1,862	31.1	31.3	31.6	31.2
	13:30	1,866	30.8	31.2	31.4	31.0
	13:40	1,875	31.0	31.3	31.6	31.2
	13:50	1,870	31.4	31.5	31.9	31.6
14:00	1,862	31.4	31.5	31.9	31.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การระการทำความเย็น (ต้นความเย็น)

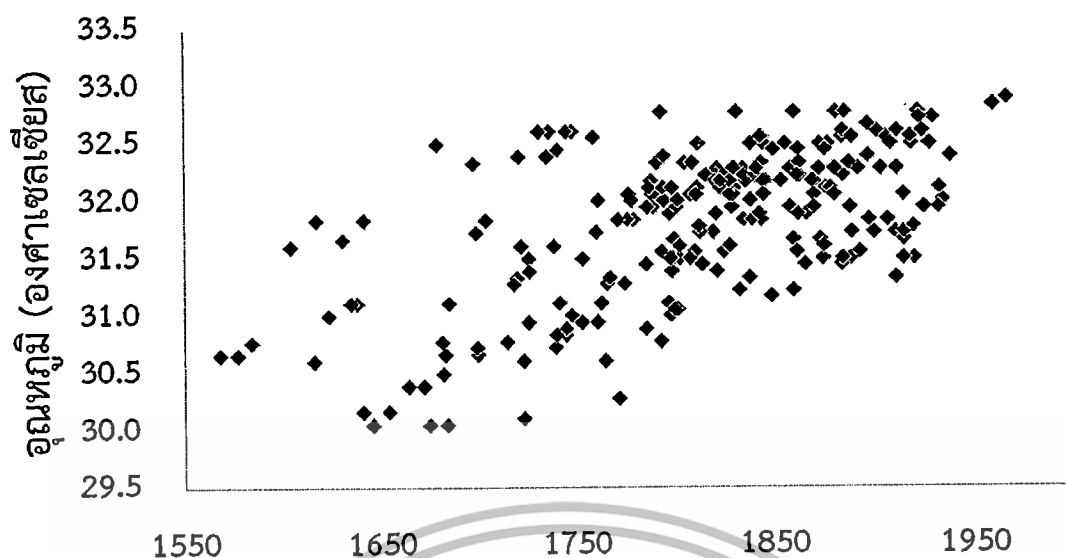
รูปที่ ก.1 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1 ที่การระการทำความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแฉงกระจายฟิล์มน้ำ



การระการทำความเย็น (ต้นความเย็น)

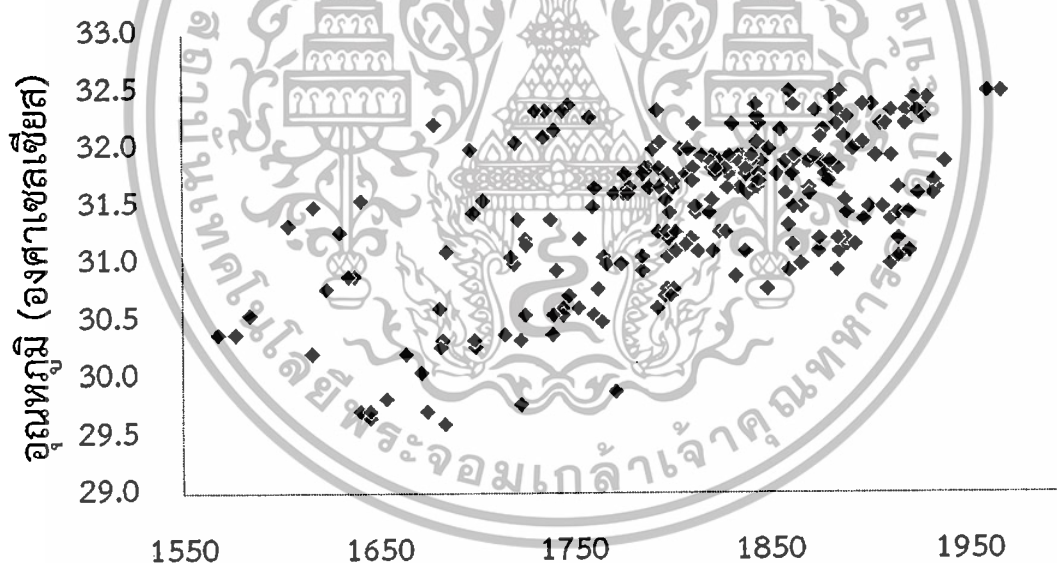
รูปที่ ก.2 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 2 ที่การระการทำความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแฉงกระจายฟิล์มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การกระทำให้ความเย็น (ต้นความเย็น)

รูปที่ ก.3 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 3 ที่การกระทำให้ความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ



การกระทำให้ความเย็น (ต้นความเย็น)

รูปที่ ก.4 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 ที่การกระทำให้ความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตก่อนการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.2

อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง หลังการเปลี่ยนแปลงกระจายฟิล์มน้ำ

ตารางที่ ก.2 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อการกระทำทำความเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแปลงกระจายฟิล์มน้ำ

วันที่	เวลา	ภาระการทำความเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
8 ส.ค. 56	11:10	1,780	30.2	30.9	31.0	30.7
	11:20	1,780	30.2	30.9	31.1	30.8
	11:30	1,782	30.2	31.1	31.1	30.9
	11:40	1,803	30.3	31.1	31.2	30.9
	11:50	1,830	30.4	31.2	31.3	31.1
	12:00	1,825	30.3	31.1	31.2	30.9
	12:10	1,812	30.3	31.0	31.1	30.9
	12:20	1,807	30.3	30.9	31.1	30.9
	12:30	1,820	30.3	31.0	31.2	30.9
	12:40	1,820	30.2	30.9	31.1	30.8
	12:50	1,812	30.1	30.9	31.1	30.8
	13:00	1,821	30.3	30.9	31.1	30.9
	13:10	1,833	30.3	31.1	31.2	31.0
	13:20	1,848	30.2	30.9	31.1	30.8
	13:30	1,847	30.3	31.0	31.2	30.9
	13:40	1,847	30.3	31.0	31.2	30.9
13:50	1,837	30.4	31.1	31.2	31.1	
14:00	1,838	30.3	31.1	31.3	31.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำคามเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ (ต่อ)

วันที่	เวลา	ภาระการทำคามเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
15 ส.ค. 56	11:10	1,784	30.1	30.8	31.0	30.8
	11:20	1,807	30.2	30.9	31.1	30.9
	11:30	1,787	30.3	31.1	31.2	30.9
	11:40	1,750	30.1	30.8	31.0	30.8
	11:50	1,753	30.0	30.7	30.8	30.7
	12:00	1,741	30.1	30.8	31.0	30.7
	12:10	1,759	30.1	30.9	31.1	30.8
	12:20	1,867	30.2	30.8	31.1	30.9
	12:30	1,890	30.3	30.9	31.3	31.1
	12:40	1,842	30.3	31.2	31.2	31.1
	12:50	1,792	30.1	30.9	31.0	30.8
	13:00	1,777	30.1	30.9	31.1	30.9
	13:10	1,701	30.1	30.9	30.9	30.8
	13:20	1,696	29.7	30.4	30.6	30.3
	13:30	1,696	29.6	30.3	30.5	30.3
	13:40	1,687	29.4	30.2	30.3	30.1
	13:50	1,708	29.7	30.4	30.5	30.3
	14:00	1,708	29.6	30.4	30.5	30.3
16 ส.ค. 56	11:10	1,704	29.7	30.3	30.5	30.3
	11:20	1,691	29.7	30.4	30.6	30.4
	11:30	1,694	29.7	30.4	30.6	30.4
	11:40	1,659	29.7	30.3	30.5	30.3
	11:50	1,654	29.6	30.2	30.3	30.1
	12:00	1,659	29.6	30.2	30.4	30.1
	12:10	1,664	29.5	30.1	30.3	30.0
	12:20	1,691	29.4	30.2	30.2	30.0
	12:30	1,726	29.8	30.6	30.7	30.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแปลงกระจายฟิล์มน้ำ (ต่อ)

วันที่	เวลา	ภาระการทำ ความเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
16 ส.ค. 56	12:40	1,755	29.9	30.6	30.8	30.7
	12:50	1,786	30.2	30.9	31.1	30.8
	13:00	1,791	30.3	30.9	31.1	30.8
	13:10	1,784	30.1	30.8	31.0	30.7
	13:20	1,784	30.1	30.8	30.8	30.7
	13:30	1,760	30.0	30.7	30.8	30.6
	13:40	1,760	29.9	30.6	30.8	30.5
	13:50	1,752	30.0	30.7	30.9	30.7
	14:00	1,800	30.2	30.8	31.1	30.8
21 ส.ค. 56	11:10	2,044	30.9	31.7	31.8	31.6
	11:20	1,906	30.9	31.3	31.7	31.4
	11:30	1,823	30.7	31.4	31.5	31.3
	11:40	1,781	30.5	31.2	31.3	31.1
	11:50	1,787	30.3	30.9	31.2	30.9
	12:00	1,832	30.4	31.1	31.3	31.1
	12:10	1,892	30.4	31.0	31.3	31.1
	12:20	1,885	30.2	30.9	31.1	31.1
	12:30	1,822	30.1	30.8	30.9	30.7
	12:40	1,748	29.8	30.6	30.7	30.4
	12:50	1,724	30.1	30.6	30.8	30.7
	13:00	1,757	30.2	30.8	30.9	30.7
	13:10	1,793	29.9	30.6	30.8	30.6
	13:20	1,801	29.8	30.5	30.7	30.4
	13:30	1,797	30.1	30.8	30.9	30.7
	13:40	1,772	30.1	30.7	30.9	30.7
13:50	1,724	30.1	30.6	30.8	30.6	
14:00	1,724	30.0	30.6	30.7	30.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

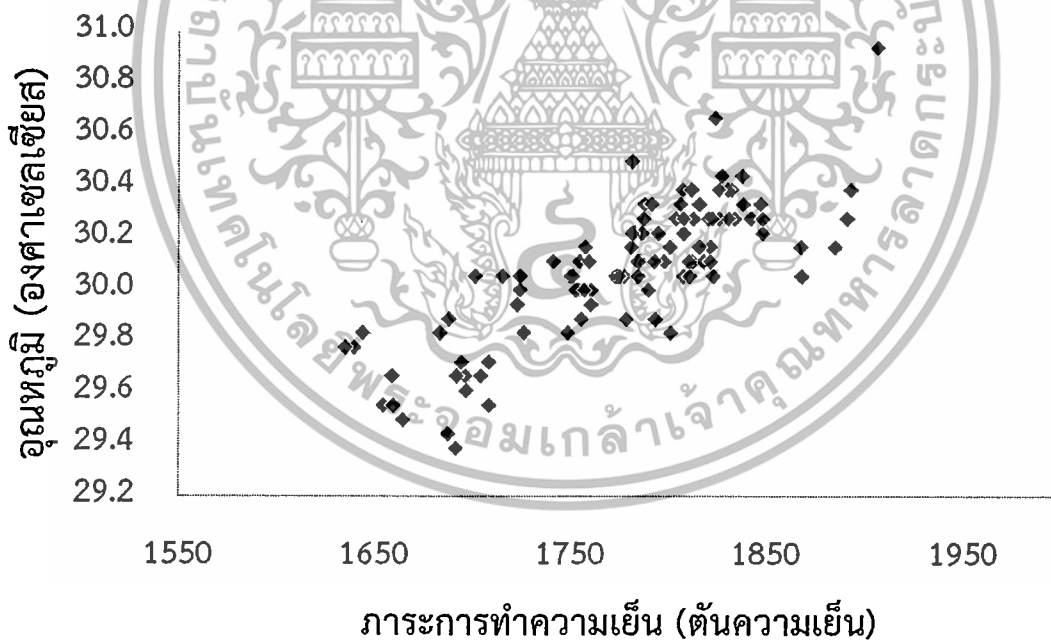
ตารางที่ ก.2 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ (ต่อ)

วันที่	เวลา	ภาระการทำ ความเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
22 ส.ค. 56	11:10	1,715	30.1	30.8	30.9	30.6
	11:20	1,722	29.9	30.6	30.8	30.6
	11:30	1,687	29.9	30.6	30.7	30.4
	11:40	1,635	29.8	30.3	30.5	30.3
	11:50	1,644	29.8	30.4	30.6	30.3
	12:00	1,683	29.8	30.5	30.6	30.4
	12:10	1,778	29.9	30.6	30.8	30.5
	12:20	1,817	30.1	30.8	30.9	30.8
	12:30	1,750	30.1	30.7	30.9	30.7
	12:40	1,757	30.0	30.7	30.8	30.6
	12:50	1,773	30.1	30.6	30.8	30.6
	13:00	1,821	30.1	31.1	31.1	30.8
	13:10	1,781	30.2	30.8	31.1	30.8
	13:20	1,794	30.2	30.9	31.1	30.8
	13:30	1,830	30.3	31.1	31.1	31.0
	13:40	1,827	30.4	31.2	31.3	31.1
	13:50	1,848	30.3	30.8	31.1	30.9
14:00	1,815	30.2	30.9	30.9	30.8	
28 ส.ค. 56	11:10	1,808	30.9	31.3	31.5	31.2
	11:20	1,885	30.9	31.1	31.5	31.1
	11:30	1,889	31.0	31.3	31.5	31.2
	11:40	1,888	30.9	31.3	31.5	31.2
	11:50	1,911	30.8	31.1	31.3	31.0
	12:00	1,884	30.8	31.1	31.4	30.9
	12:10	1,833	30.7	31.1	31.2	30.9
	12:20	1,838	30.8	31.1	31.3	31.1
	12:30	1,920	30.9	31.2	31.5	31.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

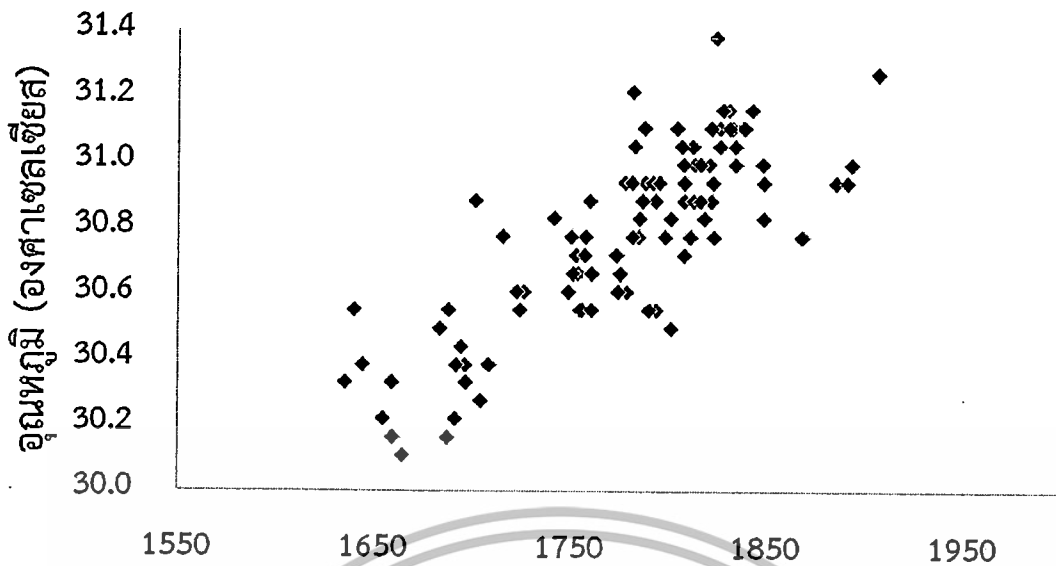
ตารางที่ ก.2 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ (ต่อ)

วันที่	เวลา	ภาระการทำความเย็น (TR)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)			
			หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
28 ส.ค. 56	12:40	1,915	31.0	31.1	31.5	31.1
	12:50	1,875	30.9	31.1	31.5	31.1
	13:00	1,884	30.9	31.2	31.5	31.2
	13:10	1,911	31.1	31.2	31.7	31.4
	13:20	1,915	31.1	31.3	31.7	31.2
	13:30	1,915	31.3	31.5	31.7	31.4
	13:40	1,907	31.3	31.6	31.8	31.5
	13:50	1,915	31.5	31.7	32.1	31.7
	14:00	1,933	31.6	31.8	32.1	31.7



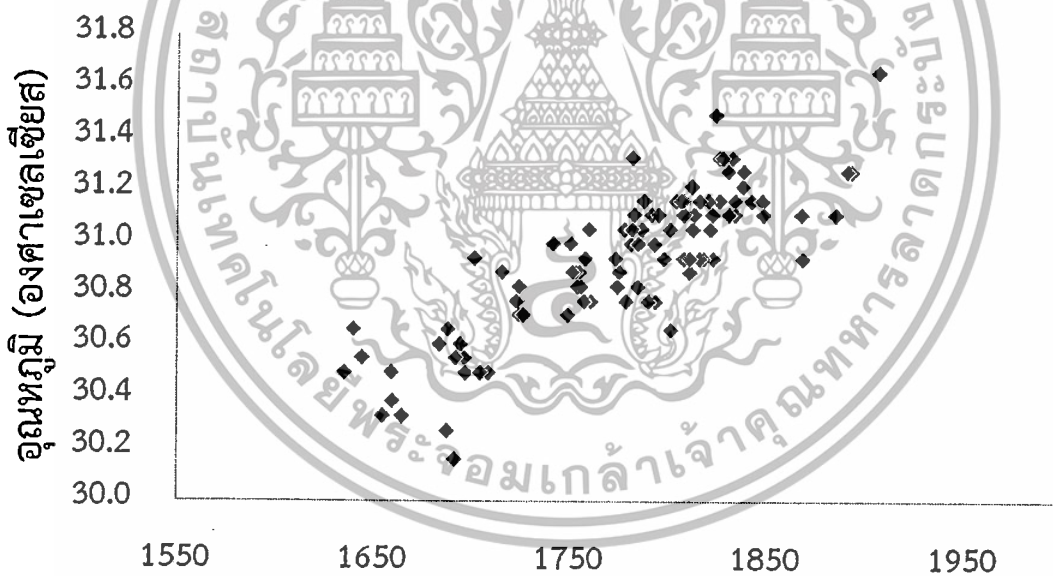
รูปที่ ก.5 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1 ที่ภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การกระทำความเย็น (ต้นความเย็น)

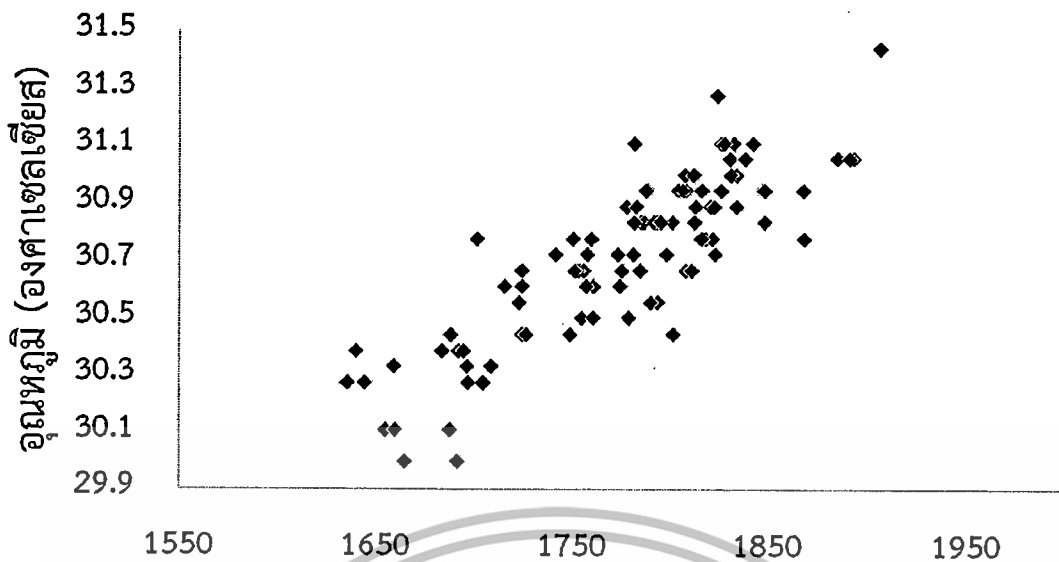
รูปที่ ก.6 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 2 ที่การกระทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแปลงกระจายฟิล์มน้ำ



การกระทำความเย็น (ต้นความเย็น)

รูปที่ ก.7 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 3 ที่การกระทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแปลงกระจายฟิล์มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การระการทำความเย็น (ต้นความเย็น)

รูปที่ ก.8 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 ที่การระการทำความเย็น ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตหลังการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน

ตารางที่ ข.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4	
		อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)
3 พ.ค. 56	12:20	0.77	258	0.86	564	0.78	253	0.82	270
	12:30	0.76	255	0.87	577	0.79	259	0.81	270
	12:40	0.74	248	0.88	574	0.77	249	0.83	273
	12:50	0.77	258	0.87	572	0.77	251	0.81	268
	13:00	0.77	258	0.88	572	0.78	252	0.80	268
	13:10	0.77	258	0.89	582	0.78	251	0.82	272
	13:20	0.79	265	0.91	588	0.82	263	0.83	277
	13:30	0.79	265	0.89	583	0.81	263	0.84	278
	13:40	0.78	262	0.89	578	0.80	251	0.81	271
	13:50	0.78	262	0.88	577	0.80	257	0.80	266
	14:00	0.75	252	0.87	574	0.78	253	0.80	263

ตารางที่ ข.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4	
		อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)
7 พ.ค. 56	11:10	0.81	271	0.96	614	1.00	327	0.89	294
	11:20	0.79	265	0.90	591	0.92	304	0.85	278
	11:30	0.80	268	0.88	580	0.90	296	0.83	276
	11:40	0.80	268	0.90	585	0.89	294	0.82	270
	11:50	0.81	271	0.90	583	0.88	290	0.82	270
	12:00	0.81	271	0.91	599	0.88	290	0.84	275
	12:10	0.82	274	0.92	600	0.89	290	0.86	282
	12:20	0.85	283	0.92	601	0.90	295	0.82	267
	12:30	0.86	286	0.92	602	0.92	301	0.75	246
	12:40	0.85	283	0.93	608	0.92	300	0.76	245
	12:50	0.84	280	0.93	604	0.92	298	0.77	247
	13:00	0.82	274	0.93	596	0.90	293	0.72	235
	13:10	0.79	265	0.90	593	0.88	292	0.72	238
	13:20	0.82	274	0.90	593	0.87	287	0.71	245
	13:30	0.81	271	0.90	593	0.87	288	0.71	231
	13:40	0.82	274	0.89	586	0.89	291	0.71	232
13:50	0.83	277	0.92	599	0.90	294	0.76	249	
14:00	0.84	280	0.92	598	0.90	295	0.74	241	

ตารางที่ ข.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4	
		อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)
10 พ.ค. 56	11:10	0.72	241	0.86	560	0.77	251	0.78	257
	11:20	0.72	241	0.87	568	0.78	253	0.77	255
	11:30	0.72	241	0.86	563	0.76	250	0.78	256
	11:40	0.72	241	0.86	568	0.77	250	0.79	261
	11:50	0.72	241	0.86	564	0.77	250	0.76	251
	12:00	0.69	230	0.86	565	0.76	244	0.78	256
	12:10	0.69	230	0.85	552	0.75	241	0.77	252
	12:20	0.68	226	0.85	553	0.76	241	0.76	250
	12:30	0.66	218	0.81	530	0.73	234	0.73	237
	12:40	0.66	218	0.81	530	0.73	234	0.74	241
	12:50	0.68	226	0.80	517	0.72	230	0.72	233
	13:00	0.64	210	0.79	513	0.67	208	0.71	228
	13:10	0.64	210	0.79	515	0.69	219	0.71	230
	13:20	0.62	202	0.80	519	0.69	216	0.73	236
	13:30	0.65	214	0.80	523	0.70	226	0.73	240
	13:40	0.64	210	0.80	523	0.71	227	0.76	249
	13:50	0.65	214	0.83	538	0.70	226	0.76	247
14:00	0.67	222	0.86	561	0.71	228	0.80	260	

ตารางที่ ข.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4	
		อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)
16 พ.ค. 56	11:10	0.82	274	0.86	562	0.84	266	0.76	248
	11:20	0.82	274	0.87	569	0.80	259	0.73	244
	11:30	0.83	277	0.88	574	0.78	250	0.66	216
	11:40	0.83	277	0.92	601	0.75	242	0.66	214
	11:50	0.83	277	0.94	625	0.74	236	0.65	204
	12:00	0.87	289	0.98	640	0.77	250	0.69	221
	12:10	0.87	289	0.98	631	0.74	244	0.78	258
	12:20	0.88	291	0.98	629	0.69	218	0.80	257
	12:30	0.89	294	0.98	632	0.76	239	0.89	295
	12:40	0.88	291	0.97	627	0.71	227	0.87	291
	12:50	0.89	294	0.97	627	0.69	218	0.88	292
	13:00	0.89	294	0.96	629	0.69	218	0.90	296
	13:10	0.84	280	0.97	632	0.92	303	0.68	223
	13:20	0.80	268	0.97	628	0.91	300	0.65	210
	13:30	0.79	265	0.96	628	0.88	290	0.65	207
	13:40	0.81	271	0.97	631	0.84	271	0.65	209
	13:50	0.80	268	0.98	633	0.82	265	0.61	191
14:00	0.80	268	0.98	633	0.80	260	0.61	191	

ตารางที่ ข.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4	
		อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)
17 พ.ค. 56	11:10	0.77	258	0.81	536	0.82	271	0.73	243
	11:20	0.77	258	0.81	534	0.81	267	0.73	242
	11:30	0.78	262	0.96	627	0.75	244	0.68	225
	11:40	0.81	271	0.96	622	0.68	211	0.64	202
	11:50	0.82	274	0.97	627	0.79	253	0.62	199
	12:00	0.84	280	0.96	624	0.76	244	0.61	191
	12:10	0.86	286	0.96	624	0.74	234	0.63	202
	12:20	0.86	286	0.97	627	0.83	271	0.63	202
	12:30	0.85	283	0.96	624	0.89	287	0.69	227
	12:40	0.84	280	0.97	627	0.92	292	0.62	200
	12:50	0.84	280	0.96	624	0.75	241	0.61	191
	13:00	0.88	291	0.96	624	0.80	264	0.63	202
	13:10	0.87	289	0.96	624	0.83	270	0.65	207
	13:20	0.87	289	0.96	624	0.84	274	0.60	190
	13:30	0.86	286	0.96	624	0.84	274	0.61	191
	13:40	0.87	289	0.97	631	0.98	323	0.70	226
	13:50	0.83	277	0.96	624	0.97	318	0.61	191
	14:00	0.83	277	0.97	629	0.84	260	0.60	189

ตารางที่ ข.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4	
		อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)
21 พ.ค. 56	11:10	0.77	258	0.81	539	0.81	266	0.74	246
	11:20	0.77	258	0.94	622	0.70	228	0.61	190
	11:30	0.79	265	0.97	631	0.71	230	0.60	189
	11:40	0.81	271	0.97	631	0.77	247	0.62	196
	11:50	0.82	274	0.97	631	0.78	252	0.60	189
	12:00	0.83	277	0.98	636	0.83	270	0.61	192
	12:10	0.81	271	0.98	636	0.95	312	0.60	190
	12:20	0.79	265	0.97	630	0.87	281	0.61	192
	12:30	0.79	265	0.96	628	0.78	255	0.60	188
	12:40	0.79	265	0.97	631	0.73	236	0.62	196
	12:50	0.81	271	0.97	631	0.84	273	0.60	189
	13:00	0.80	268	0.97	631	0.89	293	0.60	189
	13:10	0.80	268	0.97	632	0.88	287	0.59	186
	13:20	0.80	268	0.97	632	0.83	270	0.60	188
	13:30	0.80	268	0.97	632	0.78	255	0.61	193
	13:40	0.82	274	0.97	632	0.84	272	0.60	188
	13:50	0.81	271	0.97	631	0.87	282	0.60	189
	14:00	0.80	268	0.97	630	0.83	270	0.62	194

ตารางที่ ข.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4	
		อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)
29 พ.ค. 56	11:10	0.73	241	0.82	538	0.80	259	0.76	251
	11:20	0.87	288	0.91	608	0.80	260	0.76	252
	11:30	0.87	289	0.94	622	0.64	206	0.73	238
	11:40	0.70	235	0.94	618	0.90	300	0.70	231
	11:50	0.66	216	0.94	620	0.97	320	0.70	232
	12:00	0.61	197	0.95	620	0.99	328	0.65	211
	12:10	0.60	196	0.95	624	0.98	324	0.63	201
	12:20	0.80	268	0.89	578	0.95	312	0.79	262
	12:30	0.80	265	0.87	574	0.94	310	0.77	255
	12:40	0.83	276	0.89	581	0.87	286	0.80	261
	12:50	0.81	272	0.87	572	0.87	284	0.79	262
	13:00	0.92	307	0.95	622	0.69	222	0.64	208
	13:10	0.92	306	0.95	622	0.70	224	0.63	199
	13:20	0.92	306	0.96	628	0.66	210	0.63	202
	13:30	0.92	306	0.96	627	0.65	204	0.63	201
	13:40	0.92	306	0.96	629	0.66	206	0.63	201
	13:50	0.92	307	0.97	633	0.84	267	0.65	209
	14:00	0.89	300	0.96	628	0.98	323	0.64	208

ตารางที่ ข.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4	
		อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)
19 มิ.ย. 56	11:10	0.81	268	0.84	542	0.85	277	0.77	249
	11:20	0.80	262	0.84	539	0.84	271	0.74	238
	11:30	0.91	301	0.96	620	0.69	216	0.63	201
	11:40	0.93	303	0.98	636	0.67	213	0.63	195
	11:50	0.93	303	0.98	636	0.67	213	0.63	195
	12:00	0.93	303	0.98	636	0.70	227	0.64	201
	12:10	0.93	303	0.98	636	0.76	241	0.64	201
	12:20	0.92	301	0.98	636	0.71	230	0.63	198
	12:30	0.92	301	0.98	636	0.67	211	0.63	198
	12:40	0.92	301	0.98	636	0.67	214	0.63	201
	12:50	0.93	304	0.99	636	0.73	231	0.63	201
	13:00	0.93	304	0.99	636	0.78	250	0.63	201
	13:10	0.93	301	0.99	635	0.77	248	0.63	198
	13:20	0.93	301	0.99	635	0.71	225	0.63	198
	13:30	0.93	302	0.99	635	0.76	241	0.64	200
	13:40	0.93	300	0.99	635	0.84	270	0.63	198
	13:50	0.90	296	0.97	628	0.79	255	0.63	198
	14:00	0.90	297	0.96	623	0.69	217	0.62	198

ตารางที่ ข.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4	
		อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)
26 มิ.ย. 56	11:10	0.87	286	0.84	550	0.91	300	0.78	256
	11:20	0.92	303	0.96	620	0.74	240	0.63	200
	11:30	0.92	303	0.99	636	0.74	240	0.63	201
	11:40	0.93	304	0.99	638	0.77	258	0.63	201
	11:50	0.93	304	0.99	638	0.71	227	0.64	203
	12:00	0.94	305	0.99	636	0.80	256	0.64	203
	12:10	0.93	302	0.99	635	0.88	291	0.65	202
	12:20	0.92	301	0.99	637	0.81	259	0.64	203
	12:30	0.92	300	0.99	636	0.80	256	0.64	202
	12:40	0.91	299	0.98	632	0.74	235	0.63	199
	12:50	0.90	296	0.96	624	0.67	207	0.63	199
	13:00	0.89	293	0.94	612	0.67	210	0.62	194
	13:10	0.88	290	0.89	583	0.67	210	0.61	189
	13:20	0.88	290	0.84	548	0.66	207	0.62	194
	13:30	0.90	296	0.81	530	0.66	208	0.63	196
	13:40	0.89	293	0.79	516	0.66	208	0.63	196
	13:50	0.91	300	0.76	495	0.66	208	0.63	200
	14:00	0.91	299	0.76	495	0.66	208	0.64	205

ตารางที่ ข.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่ออัตราส่วนการทำงานก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4	
		อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)	อัตราส่วนการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (kW)
3 ก.ค. 56	11:20	0.89	293	0.85	560	0.69	221	0.63	200
	11:30	0.92	304	0.85	556	0.67	210	0.64	201
	11:40	0.93	302	0.92	602	0.67	210	0.64	201
	11:50	0.94	306	0.94	612	0.67	211	0.63	195
	12:00	0.93	303	0.95	619	0.66	208	0.63	197
	12:10	0.93	304	0.88	577	0.66	208	0.63	198
	12:20	0.92	302	0.88	577	0.66	208	0.63	198
	12:30	0.92	301	0.89	582	0.66	208	0.63	198
	12:40	0.93	304	0.92	601	0.67	210	0.64	201
	12:50	0.91	299	0.99	638	0.66	208	0.63	199
	13:00	0.92	301	0.99	638	0.87	284	0.63	198
	13:10	0.90	296	0.98	634	0.79	255	0.63	198
	13:20	0.92	302	0.99	638	0.74	238	0.63	198
	13:30	0.91	298	0.99	638	0.76	243	0.63	199
	13:40	0.92	302	0.99	638	0.77	251	0.63	198
	13:50	0.91	302	0.99	639	0.77	250	0.63	198
	14:00	0.91	301	0.98	633	0.77	250	0.63	198

ภาคผนวก ค

อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นและภาระการทำความร้อนที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นและภาระการทำความร้อนที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4		ภาระการทำ ความร้อน (TR)
		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
22 เม.ย. 56	7:00	8.00	4.44	7.72	4.22	7.94	4.11	7.67	4.50	1,766
	8:00	8.39	4.56	8.11	4.50	8.22	4.61	7.94	4.44	1,828
	9:00	8.39	4.61	8.06	4.61	8.28	4.56	7.94	4.50	1,797
	10:00	8.33	4.39	8.17	4.44	8.17	4.50	8.00	4.61	1,855
	11:00	8.22	4.39	8.22	4.39	8.00	4.39	8.00	4.17	1,902
	12:00	8.17	4.50	8.11	4.44	8.00	4.50	8.00	4.44	1,813
	13:00	8.17	4.61	8.06	4.39	7.94	4.61	7.94	4.67	1,755
	14:00	8.22	4.56	8.28	4.44	8.00	4.56	8.00	4.28	1,854
	15:00	8.06	4.44	8.00	4.28	7.89	4.33	7.89	4.61	1,795
	16:00	7.78	4.28	7.89	4.33	7.67	4.39	7.67	4.39	1,723
	17:00	7.11	4.39	8.00	4.44	6.94	4.39	7.72	4.50	1,554

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นและภาระการทำ ความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4		ภาระการทำ ความเย็น (TR)
		อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)		
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
22 เม.ย. 56	18:00	7.61	4.33	8.11	4.44	7.50	4.44	7.89	4.33	1,722
	19:00	8.06	4.50	8.22	4.67	8.00	4.50	7.89	4.33	1,780
	20:00	8.11	4.50	8.00	4.56	8.00	4.50	7.78	4.72	1,716
	21:00	8.06	4.56	7.83	4.44	8.00	4.56	7.67	4.39	1,709
	22:00	8.06	4.39	7.67	4.44	8.00	4.44	7.78	4.72	1,687
	23:00	7.89	4.33	7.72	4.39	7.72	4.28	7.72	4.61	1,689
23 เม.ย. 56	0:00	8.06	4.61	7.89	4.50	7.94	4.56	7.72	4.72	1,670
	1:00	8.00	4.44	7.78	4.50	7.89	4.56	7.78	4.50	1,683
	2:00	7.78	4.39	7.56	4.28	7.72	4.56	7.50	4.56	1,614
	3:00	7.89	4.44	7.78	4.39	7.72	4.56	7.67	4.61	1,652
	4:00	7.78	4.44	7.61	4.50	7.78	4.44	7.67	4.50	1,616
	5:00	7.89	4.39	7.61	4.50	7.72	4.56	7.61	4.50	1,612
	6:00	7.67	4.61	7.67	4.44	7.56	4.67	7.61	4.33	1,570
	7:00	7.56	4.44	8.00	4.50	7.44	4.56	7.72	4.28	1,644
	8:00	7.78	4.50	8.06	4.50	7.67	4.61	7.78	4.33	1,691
	9:00	7.72	4.44	8.39	4.56	7.67	4.44	8.11	4.39	1,787
	10:00	7.89	4.56	8.39	4.44	7.72	4.50	8.17	4.72	1,787

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นและภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4		ภาระการทำ ความเย็น (TR)
		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
23 เม.ย. 56	11:00	7.94	4.56	8.28	4.50	7.72	4.50	8.17	4.55	1,779
	12:00	7.44	4.50	8.00	4.22	7.28	4.44	7.89	4.28	1,688
	13:00	7.89	4.56	8.00	4.33	7.67	4.50	7.83	4.56	1,713
	14:00	7.78	4.50	7.83	4.44	7.67	4.50	7.94	4.44	1,677
	15:00	7.78	4.61	7.78	4.39	7.61	4.61	7.67	4.50	1,614
	16:00	7.72	4.39	7.89	4.44	7.50	4.33	7.83	4.44	1,683
	17:00	7.94	4.56	8.22	4.67	7.83	4.67	8.17	4.44	1,742
	18:00	7.89	4.28	8.00	4.22	7.78	4.17	7.83	4.61	1,806
	19:00	7.94	4.33	8.22	4.44	7.89	4.56	7.94	4.39	1,810
	20:00	8.00	4.61	8.11	4.50	7.89	4.50	7.89	4.44	1,749
	21:00	7.56	4.44	7.39	4.33	7.50	4.28	7.44	4.50	1,547
	22:00	7.83	4.44	7.89	4.50	7.67	4.44	7.67	4.56	1,657
	23:00	8.00	4.50	7.72	4.50	7.94	4.56	7.78	4.44	1,678
24 เม.ย. 56	0:00	8.06	4.67	8.06	4.56	7.89	4.61	7.89	4.50	1,711
	1:00	7.94	4.44	8.00	4.39	7.83	4.50	7.78	4.39	1,750
	2:00	7.94	4.56	7.94	4.50	7.78	4.50	7.89	4.50	1,701
	3:00	7.83	4.33	8.00	4.39	7.67	4.50	7.67	4.44	1,716

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นและภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4		ภาระการทำ ความเย็น (TR)
		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
24 เม.ย. 56	4:00	7.44	4.33	7.72	4.28	7.28	4.33	7.67	4.39	1,623
	5:00	7.56	4.56	8.11	4.50	7.33	4.44	7.78	4.50	1,636
	6:00	7.56	4.33	7.72	4.39	7.44	4.50	7.72	4.61	1,598
	7:00	7.39	4.44	7.94	4.50	7.28	4.33	7.89	4.72	1,593
	8:00	8.11	4.56	8.06	4.33	7.89	4.44	7.78	4.56	1,772
	9:00	8.06	4.50	8.22	4.72	7.89	4.39	7.94	4.39	1,770
	10:00	8.17	4.44	8.17	4.44	8.00	4.44	7.89	4.61	1,808
	11:00	8.00	4.33	7.94	4.44	7.89	4.33	8.00	4.56	1,777
	12:00	8.28	4.50	8.28	4.50	8.11	4.61	8.17	4.50	1,857
	13:00	8.11	4.33	8.33	4.33	8.00	4.33	8.00	4.56	1,894
	14:00	8.17	4.33	8.33	4.67	8.11	4.50	8.22	4.33	1,876
	15:00	8.28	4.56	8.22	4.44	8.11	4.44	8.17	4.44	1,874
	16:00	7.94	4.44	7.89	4.33	7.78	4.39	8.06	4.50	1,762
	17:00	7.67	4.33	8.06	4.39	7.67	4.44	8.00	4.44	1,746
	18:00	7.44	4.50	8.00	4.39	7.28	4.50	7.89	4.56	1,623
	19:00	8.39	4.61	8.33	4.61	8.22	4.61	8.17	4.56	1,853
20:00	8.39	4.67	8.00	4.44	8.06	4.33	8.17	4.44	1,839	

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นและภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4		ภาระการทำ ความเย็น (TR)
		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
24 เม.ย. 56	21:00	8.33	4.56	8.28	4.56	8.22	4.61	8.06	4.44	1,853
	22:00	8.28	4.50	8.06	4.44	8.11	4.50	7.89	4.22	1,838
	23:00	8.06	4.28	7.83	4.39	7.89	4.28	7.89	4.39	1,790
25 เม.ย. 56	0:00	8.06	4.39	8.06	4.39	8.00	4.50	7.89	4.50	1,796
	1:00	8.22	4.44	8.17	4.44	8.00	4.39	7.94	4.50	1,836
	2:00	8.11	4.50	7.78	4.39	7.94	4.56	7.83	4.56	1,716
	3:00	7.94	4.44	7.94	4.44	7.83	4.50	7.89	4.50	1,729
	4:00	7.67	4.44	8.11	4.44	7.56	4.50	7.89	4.67	1,683
	5:00	7.39	4.44	8.17	4.44	7.28	4.50	7.89	4.56	1,644
	6:00	7.28	4.39	7.94	4.39	7.00	4.33	7.78	4.50	1,589
	7:00	8.11	4.39	8.06	4.44	7.94	4.33	7.89	4.44	1,810
	8:00	8.22	4.50	8.28	4.67	8.00	4.33	8.06	4.61	1,815
	9:00	8.44	4.56	8.28	4.44	8.33	4.50	8.11	4.56	1,904
	10:00	8.28	4.50	8.17	4.50	8.11	4.56	8.00	4.72	1,804
	11:00	7.94	4.39	7.72	4.28	7.83	4.28	7.78	4.50	1,738
	12:00	8.22	4.61	8.44	4.56	8.11	4.61	8.11	4.44	1,859
13:00	8.17	4.50	8.22	4.50	8.17	4.67	8.11	4.44	1,834	

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นและภาระการทำน้ำเย็นที่ตรงการใช้ในกระบวนการผลิต (ต่อ)

วันที่	เวลา	เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 1		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 2		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 3		เครื่องทำน้ำเย็น หมายเลข 4		ภาระการทำ ความเย็น (TR)
		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
25 เม.ย. 56	14:00	7.89	4.28	8.11	4.28	7.78	4.22	7.89	4.56	1,821
	15:00	8.22	4.50	8.00	4.44	8.11	4.61	8.00	4.44	1,799
	16:00	7.94	4.44	7.94	4.33	7.78	4.33	7.89	4.50	1,762
	17:00	7.33	4.39	7.83	4.28	7.17	4.44	7.61	4.44	1,591
	18:00	7.67	4.44	8.22	4.56	7.56	4.61	7.94	4.61	1,682
	19:00	7.83	4.50	7.83	4.44	7.72	4.56	7.83	4.61	1,656
	20:00	8.22	4.50	7.78	4.44	8.11	4.56	7.94	4.33	1,769
	21:00	7.83	4.33	7.83	4.28	7.78	4.28	7.61	4.39	1,741
	22:00	7.89	4.33	7.94	4.39	7.78	4.22	7.56	4.61	1,725
	23:00	8.11	4.50	7.56	4.44	7.89	4.44	7.72	4.61	1,654
26 เม.ย. 56	0:00	8.06	4.44	7.94	4.44	7.89	4.39	7.83	4.44	1,759
	1:00	8.17	4.50	7.89	4.44	7.94	4.50	7.89	4.33	1,766
	2:00	7.89	4.33	7.50	4.33	7.67	4.44	7.61	4.33	1,651
	3:00	7.89	4.33	7.44	4.33	7.67	4.39	7.50	4.83	1,586
	4:00	7.89	4.44	7.78	4.50	7.78	4.39	7.67	4.50	1,666
	5:00	7.61	4.44	7.67	4.33	7.50	4.56	7.50	4.50	1,581

ภาระการทำความเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตเท่ากับผลรวมภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่อง จากสมการที่ (2.6)

$$\text{ภาระการทำความเย็นของระบบผลิตน้ำเย็น} = Q_{evap,1} + Q_{evap,2} + Q_{evap,3} + Q_{evap,4}$$

$$Q_{evap,i} = m_{chw,i} C_p (T_{chw,in,i} - T_{chw,out,i}) / 3.517 \quad (2.6)$$

- เมื่อ Q_{evap} = ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น, ตันความเย็น
 m_{cw} = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็นที่คอนเดนเซอร์, กิโลกรัมต่อวินาที
 C_p = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเมื่อความดันคงที่, กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส
 $T_{chw,out}$ = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาออกเครื่องทำน้ำเย็น, องศาเซลเซียส
 $T_{chw,in}$ = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น, องศาเซลเซียส

ตัวอย่างการคำนวณภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต ณ วันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลา 7.00 น. เมื่ออัตราการไหลของน้ำเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 94.20, 155.93, 89.00 และ 83.44 กิโลกรัมต่อวินาที และความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเมื่อความดันคงที่ (1 บรรยากาศ) มีค่าเท่ากับ 4.18 กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} \text{ภาระการทำความเย็นของระบบผลิตน้ำเย็น} &= \frac{94.20 \times 4.18 \times (8.00 - 4.44)}{3.517} \\ &+ \frac{155.93 \times 4.18 \times (7.72 - 4.22)}{3.517} \\ &+ \frac{89.00 \times 4.18 \times (7.94 - 4.11)}{3.517} \\ &+ \frac{83.44 \times 4.18 \times (7.67 - 4.50)}{3.517} && \text{ตันความเย็น} \\ &= 398 + 649 + 405 + 314 && \text{ตันความเย็น} \\ &= 1,766 && \text{ตันความเย็น} \end{aligned}$$

ค่าเฉลี่ยของภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตระหว่างวันที่ 22 เมษายน 2556 เวลา 7.00 น. ถึงวันที่ 26 เมษายน 2556 เวลา 4.00 น. เท่ากับ 1,741 ตันความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็น
ที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต**

ตารางที่ ง.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

วันที่	เวลา	อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น				ภาระการทำ ความเย็น (TR)	การใช้ไฟฟ้า (kW)
		หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4		
22 เม.ย. 56	7:00	0.68	0.82	0.84	0.72	1,766	1,272.0
	8:00	0.77	0.83	0.83	0.77	1,828	1,326.2
	9:00	0.77	0.84	0.84	0.75	1,797	1,329.2
	10:00	0.81	0.84	0.83	0.77	1,855	1,345.7
	11:00	0.77	0.82	0.83	0.74	1,902	1,308.3
	12:00	0.76	0.81	0.79	0.74	1,813	1,283.7
	13:00	0.77	0.83	0.78	0.75	1,755	1,301.0
	14:00	0.79	0.84	0.81	0.76	1,854	1,328.7
	15:00	0.80	0.86	0.81	0.77	1,795	1,348.6
	16:00	0.77	0.80	0.75	0.70	1,723	1,250.5
	17:00	0.66	0.78	0.63	0.69	1,554	1,148.4
	18:00	0.71	0.83	0.71	0.74	1,722	1,251.0
	19:00	0.75	0.77	0.78	0.72	1,780	1,240.2
	20:00	0.74	0.77	0.78	0.70	1,716	1,229.1
	21:00	0.75	0.77	0.76	0.67	1,709	1,213.8
22:00	0.79	0.80	0.82	0.71	1,687	1,286.0	
23:00	0.75	0.79	0.79	0.69	1,689	1,247.1	
23 เม.ย. 56	0:00	0.73	0.75	0.76	0.67	1,670	1,191.6
	1:00	0.74	0.77	0.75	0.68	1,683	1,210.6
	2:00	0.71	0.75	0.71	0.64	1,614	1,154.4
	3:00	0.71	0.74	0.71	0.67	1,652	1,158.5
	4:00	0.71	0.72	0.74	0.66	1,616	1,149.5
	5:00	0.71	0.73	0.71	0.65	1,612	1,142.7
6:00	0.68	0.76	0.68	0.67	1,570	1,151.7	

ตารางที่ ง.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำคามเย็นที่ต้องการใช้ใน
กระบวนการผลิต (ต่อ)

วันที่	เวลา	อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น				ภาระการทำ ความเย็น (TR)	การใช้ไฟฟ้า (kW)
		หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4		
23 เม.ย. 56	7:00	0.75	0.77	0.69	0.70	1,644	1,200.1
	8:00	0.74	0.79	0.71	0.72	1,691	1,226.2
	9:00	0.75	0.83	0.73	0.77	1,787	1,283.5
	10:00	0.79	0.86	0.76	0.78	1,787	1,331.1
	11:00	0.75	0.86	0.76	0.78	1,779	1,317.8
	12:00	0.73	0.85	0.68	0.75	1,688	1,264.5
	13:00	0.74	0.84	0.75	0.77	1,713	1,294.0
	14:00	0.71	0.83	0.74	0.73	1,677	1,258.1
	15:00	0.71	0.78	0.71	0.72	1,614	1,208.1
	16:00	0.71	0.82	0.73	0.74	1,683	1,251.4
	17:00	0.71	0.83	0.74	0.76	1,742	1,269.2
	18:00	0.68	0.82	0.79	0.73	1,806	1,257.9
	19:00	0.70	0.77	0.75	0.70	1,810	1,203.8
	20:00	0.72	0.75	0.73	0.70	1,749	1,188.8
	21:00	0.71	0.72	0.71	0.66	1,547	1,138.7
22:00	0.72	0.73	0.73	0.68	1,657	1,165.4	
23:00	0.74	0.75	0.75	0.68	1,678	1,195.4	
24 เม.ย. 56	0:00	0.65	0.76	0.74	0.70	1,711	1,173.1
	1:00	0.73	0.78	0.74	0.70	1,750	1,218.6
	2:00	0.72	0.78	0.74	0.71	1,701	1,218.8
	3:00	0.71	0.76	0.73	0.70	1,716	1,192.8
	4:00	0.71	0.76	0.68	0.67	1,623	1,163.1
	5:00	0.73	0.76	0.67	0.67	1,636	1,166.7
	6:00	0.75	0.76	0.67	0.70	1,598	1,185.3
	7:00	0.74	0.77	0.68	0.69	1,593	1,189.2
	8:00	0.70	0.78	0.76	0.72	1,772	1,222.4
	9:00	0.68	0.79	0.79	0.74	1,770	1,240.3
	10:00	0.70	0.83	0.81	0.75	1,808	1,287.0
11:00	0.71	0.83	0.81	0.77	1,777	1,298.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำคามเย็นที่ต้องการใช้ใน
กระบวนการผลิต (ต่อ)

วันที่	เวลา	อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น				ภาระการทำ ความเย็น (TR)	การใช้ไฟฟ้า (kW)
		หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4		
24 เม.ย. 56	12:00	0.80	0.87	0.81	0.77	1,857	1,355.0
	13:00	0.84	0.89	0.84	0.78	1,894	1,393.9
	14:00	0.85	0.89	0.84	0.82	1,876	1,410.8
	15:00	0.83	0.88	0.86	0.81	1,874	1,402.5
	16:00	0.77	0.87	0.79	0.78	1,762	1,341.8
	17:00	0.73	0.86	0.74	0.79	1,746	1,307.2
	18:00	0.69	0.84	0.68	0.76	1,623	1,246.7
	19:00	0.81	0.85	0.85	0.78	1,853	1,363.1
	20:00	0.81	0.84	0.84	0.79	1,839	1,356.5
	21:00	0.82	0.84	0.83	0.79	1,853	1,355.9
	22:00	0.84	0.85	0.84	0.78	1,838	1,368.5
	23:00	0.81	0.84	0.84	0.78	1,790	1,352.9
25 เม.ย. 56	0:00	0.80	0.83	0.82	0.77	1,796	1,332.3
	1:00	0.80	0.84	0.84	0.77	1,836	1,346.2
	2:00	0.77	0.81	0.79	0.71	1,716	1,275.8
	3:00	0.78	0.82	0.78	0.73	1,729	1,290.0
	4:00	0.71	0.82	0.72	0.75	1,683	1,251.4
	5:00	0.66	0.79	0.66	0.74	1,644	1,185.5
	6:00	0.65	0.79	0.66	0.71	1,589	1,170.2
	7:00	0.79	0.82	0.81	0.75	1,810	1,311.4
	8:00	0.80	0.82	0.84	0.76	1,815	1,328.9
	9:00	0.85	0.89	0.89	0.81	1,904	1,425.2
	10:00	0.82	0.86	0.83	0.78	1,804	1,365.5
	11:00	0.78	0.85	0.81	0.78	1,738	1,339.3
	12:00	0.79	0.85	0.81	0.78	1,859	1,342.5
	13:00	0.80	0.85	0.81	0.77	1,834	1,342.1
	14:00	0.78	0.85	0.81	0.75	1,821	1,328.4
	15:00	0.80	0.83	0.80	0.75	1,799	1,317.8
16:00	0.76	0.83	0.81	0.73	1,762	1,301.0	

ตารางที่ ง.1 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง ต่อภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ใน
กระบวนการผลิต (ต่อ)

วันที่	เวลา	อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น				ภาระการทำ ความเย็น (TR)	การใช้ไฟฟ้า (kW)
		หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4		
25 เม.ย. 56	17:00	0.70	0.83	0.77	0.71	1,591	1,257.7
	18:00	0.74	0.84	0.85	0.78	1,682	1,333.4
	19:00	0.75	0.87	0.85	0.76	1,656	1,349.3
	20:00	0.83	0.86	0.85	0.79	1,769	1,379.2
	21:00	0.79	0.83	0.83	0.75	1,741	1,325.4
	22:00	0.80	0.82	0.84	0.76	1,725	1,328.9
	23:00	0.79	0.82	0.82	0.73	1,654	1,307.6
26 เม.ย. 56	0:00	0.81	0.85	0.82	0.76	1,759	1,345.2
	1:00	0.78	0.84	0.79	0.75	1,766	1,314.6
	2:00	0.80	0.83	0.81	0.76	1,651	1,325.1
	3:00	0.76	0.82	0.71	0.71	1,586	1,250.6
	4:00	0.77	0.80	0.77	0.76	1,666	1,280.1
	5:00	0.68	0.76	0.85	0.68	1,581	1,216.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ขั้นตอนการคำนวณสมการถดถอยของผลต่างสูงสุดระหว่างน้ำเย็น ขาเข้าและน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ด้วยโปรแกรม Minitab R. 15

1. กำหนดสัญลักษณ์ของปัจจัยที่มีผลต่อผลต่างสูงสุดระหว่างน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นดังนี้

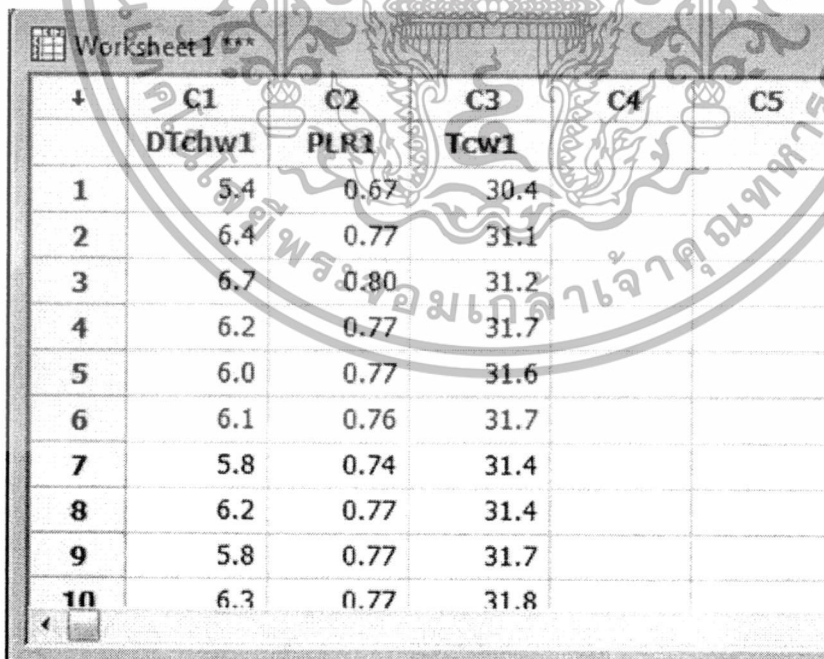
DTchw,i = ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำเย็นวนกลับจากกระบวนการผลิตที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นและน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, องศาเซลเซียส

PLRi = อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น

Tcw,i = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น, องศาเซลเซียส

i = หมายเลขของเครื่องทำน้ำเย็น

2. ป้อนปัจจัยที่มีผลต่อผลต่างสูงสุดระหว่างน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้จากการตรวจวัดลงในตารางข้อมูล (Work Sheet) ของโปรแกรม Minitab R. 15 ดังรูปที่ จ.1

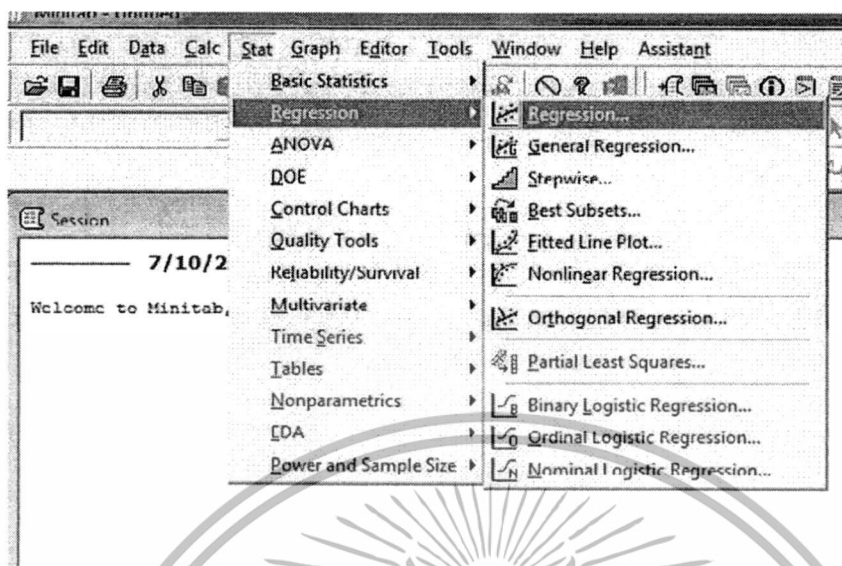


	C1	C2	C3	C4	C5
	DTchw1	PLR1	Tcw1		
1	5.4	0.67	30.4		
2	6.4	0.77	31.1		
3	6.7	0.80	31.2		
4	6.2	0.77	31.7		
5	6.0	0.77	31.6		
6	6.1	0.76	31.7		
7	5.8	0.74	31.4		
8	6.2	0.77	31.4		
9	5.8	0.77	31.7		
10	6.3	0.77	31.8		

รูปที่ จ.1 ตัวอย่างการป้อนปัจจัยที่มีผลต่อผลต่างสูงสุดระหว่างน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็นในโปรแกรม Minitab R. 15

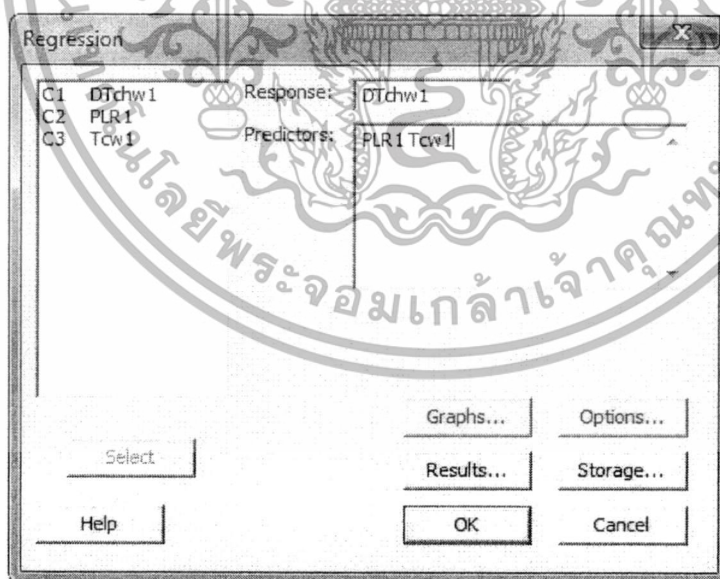
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกคำสั่ง Stat > Regression > Regression บน Menu Bar ดังรูปที่ จ.2



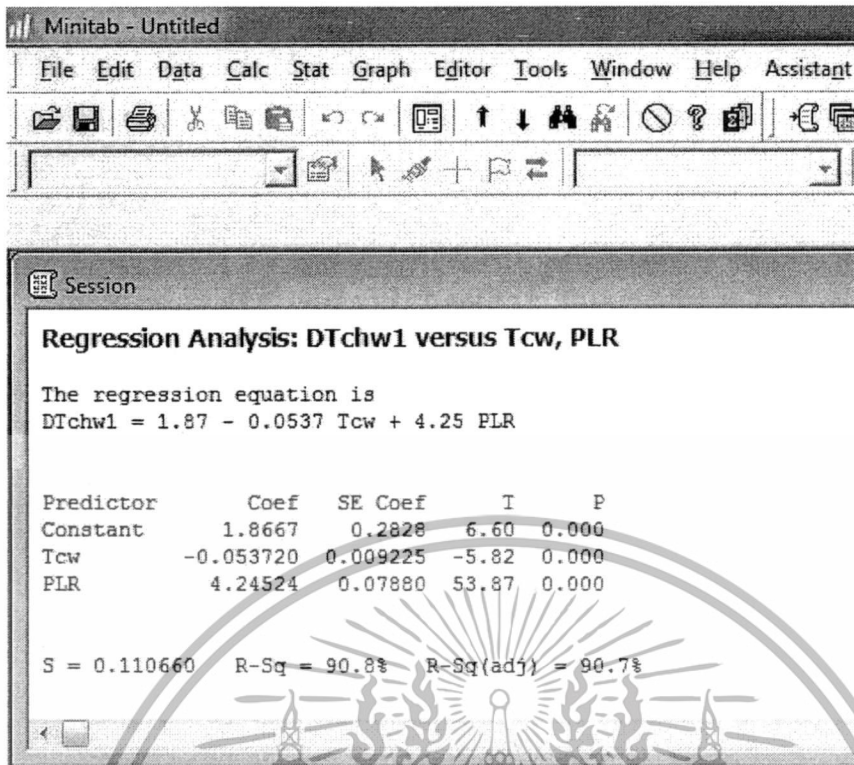
รูปที่ จ.2 การเลือกเมนู Regression ในการคำนวณสมการถดถอยในโปรแกรม Minitab R. 15

4. เมื่อเลือกคำสั่ง Regression หน้าต่างโปรแกรมจะเปลี่ยนไปเพื่อให้เลือกปัจจัยต้นและปัจจัยตาม ดังรูปที่ จ.3



รูปที่ จ.3 การกำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามสำหรับการคำนวณสมการถดถอย

5. เมื่อกำหนดปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้นและตัวแปรตามแล้ว คลิก OK ผลการคำนวณจะแสดงในส่วนแสดงผลดังรูปที่ จ.4
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.4 ผลการคำนวณสมการถดถอยด้วยโปรแกรม Minitab R. 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 และกำลังไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

ภาคผนวก ฉ.1

อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4

อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 4 คำนวณจากสมการที่ (3.3)

$$Q = \sum_{i=1}^4 (PLR_i \times TR_i) \quad (3.3)$$

สามารถจัดรูปสมการที่ (3.3) ได้ดังสมการที่ (ฉ.1)

$$PLR_4 = \frac{Q - TR_1 \times PLR_1 - TR_2 \times PLR_2 - TR_3 \times PLR_3}{TR_4} \quad (ฉ.1)$$

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ภาระการทำความเย็นที่กระบวนการผลิตต้องการ 1,900 ตันความเย็น
ภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง 513, 803, 450 และ 470 ตันความเย็น
อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข 1, 2 และ 3 เท่ากับ 0.94, 0.95 และ 0.79

$$\begin{aligned} PLR_4 &= \frac{1900 - 513 \times 0.94 - 803 \times 0.95 - 450 \times 0.79}{470} \\ &= 0.63 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ฉ.2

กำลังไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

กำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า 3 เฟส คำนวณได้จากสมการที่ (ฉ.2)

$$W = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times PF}{1,000} \quad (\text{ฉ.2})$$

- เมื่อ W = กำลังไฟฟ้า, กิโลวัตต์
 V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า, โวลต์
 I = กระแสไฟฟ้า, แอมป์
 PF = แפקเตอร์กำลัง (Power Factor) มีค่าเท่ากับ 0.80

ตัวอย่างการคำนวณ แสดงผลการเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มที่หอทำความเย็นสามารถลดการใช้กระแสไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศได้ 27.8 แอมป์ ในระบบไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 360 โวลต์ คำนวณกำลังไฟฟ้าที่ลดลงได้ดังนี้

$$W = \frac{\sqrt{3} \times 360 \times 27.8 \times 0.8}{1,000} \quad \text{กิโลวัตต์}$$

$$= 16.9 \quad \text{กิโลวัตต์}$$

ภาคผนวก ข

การจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นด้วย วิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่งโดยโปรแกรม MATLAB 2006

โปรแกรม MATLAB 2006 ถูกใช้เพื่อจำลองอัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นโดยวิธีซิมูเลชันแอนนิลลิ่ง ซึ่งคำสั่งที่ใช้ในการจำลองถูกป้อนลงในหน้าต่าง Editor ดังรูปที่ ข.1 และผลการจำลองที่ได้แสดงดังรูปที่ ข.2

คำสั่งที่ป้อนลงในหน้าต่าง Editor

$$Q = 1900$$

$$TR1 = 513;$$

$$TR2 = 804;$$

$$TR3 = 450;$$

$$TR4 = 470;$$

$$Tk = 100;$$

$$a1 = -310.91;$$

$$b1 = 811.02;$$

$$c1 = -181.69;$$

$$PLR1 = (0.94-0.6)*rand(1)+0.6;$$

$$P1 = a1*(PLR1^2)+b1*(PLR1)+c1;$$

$$a2 = -565.72;$$

$$b2 = 1620.1;$$

$$c2 = -410.47;$$

$$PLR2 = (1-0.67)*rand(1)+0.67;$$

$$P2 = a2*(PLR2^2)+b2*(PLR2)+c2;$$

$$a3 = -14.983;$$

$$b3 = 382.56;$$

$$c3 = -37.587;$$

$$PLR3 = (1-0.67)*rand(1)+0.67;$$

$$P3 = a3*(PLR3^2)+b3*(PLR3)+c3;$$

$$a4 = -150.99;$$

$$b4 = 593.54;$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

c4 = -113.89;
PLR4 = (Q - ((PLR1)*(TR1)+(PLR2)*(TR2)+(PLR3)*(TR3)))/(TR4);
P4 = a4*(PLR4^2)+b4*(PLR4)+c4;
Jold = P1+P2+P3+P4;
PLR1o = 0.5;
PLR2o = 0.5;
PLR3o = 0.5;
PLR4o = 0.5;

```

```
for k = 1:400;
```

```
for n = 1:1000;
```

```
if n < 1000,
```

```
    a1 = -310.91;
```

```
    b1 = 811.02;
```

```
    c1 = -181.69;
```

```
    PLR1 = (0.94-0.6)*rand(1)+0.6;
```

```
    P1 = a1*(PLR1^2)+b1*(PLR1)+c1;
```

```
    a2 = -565.72;
```

```
    b2 = 1620.1;
```

```
    c2 = -410.47;
```

```
    PLR2 = (1-0.7)*rand(1)+0.7;
```

```
    P2 = a2*(PLR2^2)+b2*(PLR2)+c2;
```

```
    a3 = -14.983;
```

```
    b3 = 382.56;
```

```
    c3 = -37.587;
```

```
    PLR3 = (1-0.67)*rand(1)+0.67;
```

```
    P3 = a3*(PLR3^2)+b3*(PLR3)+c3;
```

```
    a4 = -150.99;
```

```
    b4 = 593.54;
```

```
    c4 = -113.89;
```

```
    PLR4 = (Q - ((PLR1)*(TR1)+(PLR2)*(TR2)+(PLR3)*(TR3)))/(TR4);
```

```
    P4 = a4*(PLR4^2)+b4*(PLR4)+c4;
```

```
    Jnew = P1 + P2 + P3 + P4;
```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Pr = exp(-((Jnew)-(Jold))/Tk);
if or((PLR2<PLR1),or((PLR3<PLR4),or((PLR4>0.64),or((0.939>PLR1),(PLR4<0.63))))))
    Pr = 0;
end
if ((Pr) > r),
    Jold = Jnew;
    PLR1o = PLR1;
    PLR2o = PLR2;
    PLR3o = PLR3;
    PLR4o = PLR4;
end
end
end
end
end

```

เมื่อ a_i, b_i, c_i = สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันการใช้ไฟฟ้าต่ออัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
 หมายเลข i

i = หมายเลขของเครื่องทำน้ำเย็น

J_{new} = การใช้ไฟฟารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง จากการสุ่มคำตอบครั้งใหม่

J_{old} = การใช้ไฟฟารวมของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 4 เครื่อง จากการสุ่มคำตอบครั้งก่อนหน้า

k = จำนวนครั้งของการลดอุณหภูมิของการจำลอง

n = จำนวนครั้งของการสุ่มคำตอบ

Pr = ความน่าจะเป็นของ Boltzmann

P_i = การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i จากการสุ่มคำตอบครั้งใหม่

PLR_i = อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i จากการสุ่มคำตอบครั้งใหม่

PLR_{io} = อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i ที่เหมาะสม

Q = ภาระการทำความเย็นที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

r = ฟังก์ชันการสุ่มข้อมูลที่มีการกระจายข้อมูลแบบปกติ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

TR_i = ภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นหมายเลข i

T_k = อุณหภูมิของการจำลองครั้งที่ k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Editor - C:\Users\VI.FIGHT\Documents\MATLAB\Untitled4.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
- 10 + ÷ 11 × % %
1 - Q = 1900
2 - TR1 = 513;
3 - TR2 = 804;
4 - TR3 = 450;
5 - TR4 = 470;
6 - Tk = 100;
7 - a1 = -310.91;
8 - b1 = 811.02;
9 - c1 = -181.69;
10 - PLR1 = (0.94-0.6)*rand(1)+0.6;
11 - P1 = a1*(PLR1^2)+b1*(PLR1)+c1;
12 - a2 = -565.72;
13 - b2 = 1620.1;
14 - c2 = -410.47;
15 - PLR2 = (1-0.67)*rand(1)+0.67;
16 - P2 = a2*(PLR2^2)+b2*(PLR2)+c2;
17 - a3 = -14.983;
18 - b3 = 382.56;
19 - c3 = -37.587;
20 - PLR3 = (1-0.67)*rand(1)+0.67;
21 - P3 = a3*(PLR3^2)+b3*(PLR3)+c3;
22 - a4 = -150.99;
23 - b4 = 593.54;

```

รูปที่ ข.1 การป้อนคำสั่งลงในหน้าต่าง Editor ของโปรแกรม MATLAB 2006

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
Q =
    1900

Jold =
    1.3813e+003

PLR1o =
    0.9395

PLR2o =
    0.9515

PLR3o =
    0.7893

PLR4o =
    0.6336

```

รูปที่ ข.2 ผลการจำลองจากโปรแกรม MATLAB 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าไฟฟ้ารายปีและระยะเวลาคืนทุน

คำนวณค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลง (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.23 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)

$$\text{ค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลง} = \text{จำนวนหน่วยของการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง} \times \text{ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย} \\ \times \text{ระยะเวลาปฏิบัติงาน}$$

ตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าหลังเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ลดได้ 16.9 กิโลวัตต์
คำนวณค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลงเมื่อหอทำความเย็นทั้ง 2 ชุด ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 340 วันต่อปี

$$\text{ค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลง} = 16.9 \text{ กิโลวัตต์} \times 3.23 \text{ บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง} \times 24 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \\ \times 340 \text{ วันต่อปี} \\ = 445,000 \text{ บาทต่อปี}$$

คำนวณระยะเวลาคืนทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนในโครงการ}}{\text{ค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลง}}$$

การเปลี่ยนแผงกระจายฟิล์มของหอทำความเย็นชุดที่ 2 และ 3 ใช้เงินลงทุนประมาณ 1,500,000 บาท
ระยะเวลาคืนทุนคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 1,500,000 / 445,000 && \text{ปี} \\ &= 3.37 && \text{ปี} \\ &= 3.5 && \text{เดือน} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชวิน เอมมาโนชญ์
วัน-เดือน-ปีเกิด	10 มิถุนายน 2533
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	
2551-2556	หลักสูตรปริญญาตรีก้าวหน้า ปริญญาตรี (วศ.บ.) (เกียรตินิยมอันดับ 1) สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง GPA 3.56 ปริญญาโท (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง GPA 3.75
2545-2550	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย โรงเรียนสารสาส์นเอกตรา กรุงเทพมหานคร
ประสบการณ์การทำงานกับภาคอุตสาหกรรม	
2555-2556	การทำงานวิจัยกับฝ่ายสาธารณูปโภค (Utility) บริษัท มอนเตเลซ อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด
เม.ย.-มิ.ย. 2554	การฝึกงานภาคฤดูร้อน ฝ่ายการผลิตโพลีพรพิลีน บริษัท ไทยโพลีเอททีลีน จำกัด (มหาชน)
รางวัลและทุนการศึกษาที่ได้รับ	
	<ul style="list-style-type: none"> - รางวัล Innovative Suggestion Award ครั้งที่ 10 จากบริษัท ไทยโพลีเอททีลีน จำกัด (มหาชน) - ทุนวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 - ทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-ระดับปริญญาโท - ทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากพระครูวินัยธร พชร ฐานกโร เจ้าอาวาสวัดประยงค์กิตติวนาราม

ผลงานทางวิชาการ

1. ชวิน เอมมาโนชญ์ กันต์กนิษฐ์ ชวีญพฤกษ์ และอัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ. 2556. “การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับกระบวนการผลิตหมากฝรั่ง” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 วันที่ 17-18 ตุลาคม 2556 ณ โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาณาจักร จังหัดขอนแก่น, APP03 หน้า 270-275.
2. ธิดารัตน์ อำนวยศิลป์ ชนกนาถ บู่สาลี กัญจน์ณัฐฐ์ คำสมศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้ก่อนขึ้นรูปเล่มงานวิจัยฉบับสมบูรณ์และไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ชวิน เอมมาโนชญ์ และสุรัตน์ อาริรัตน์. 2555. “การเตรียมพอลิเอททีลีนจากยาง การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิพอกไซต์ธรรมชาติสำหรับการผลิตโฟมพอลิยูรีเทน” การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 วันที่ 25-26 ตุลาคม
2555 ณ โรงแรมเดอะกรีนเนอร์ รีสอร์ท จังหวัดนครราชสีมา, TPP01 หน้า 1-7.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้