



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การลดการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น

Reduction of power consumption in the chiller

นายศิวตล วงลาชี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การลดการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น

ชื่อ-นามสกุล นักศึกษา นายศิวดล วงลาชี

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.ญาณิพร พัชรวรโชติ

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณวีระชัย ปาโท

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท ทีเอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นและปรับสภาวะในกระบวนการผลิตเพื่อลดการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น จากการศึกษาและวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นและการตั้งค่าของอุณหภูมิน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นส่งผลโดยตรงต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งในกระบวนการผลิตมีอุปกรณ์ที่มีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นและถังบารอเมทริก ดังนั้นจึงมีแนวทางที่จะลดการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น 3 แนวทางคือ (1) ลดจำนวนครั้งการสลับการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (2) ลดอุณหภูมิของถังบารอเมทริก และ (3) ปรับการตั้งค่าของอุณหภูมิน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น จากการศึกษาทดลองเก็บน้ำตัวอย่างที่เข้าและออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำมันในน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่ามากกว่าน้ำที่เข้าซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีน้ำมันติดอยู่ในระบบซึ่งเกิดจากการเวียนล้าของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ไม่สะอาด จึงได้มีการเปลี่ยนน้ำที่ใช้สำหรับเวียนล้าของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้และพบว่าจำนวนครั้งการสลับการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงเหลือ 2 ครั้งต่อวันและการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ลดลงจาก 20% เหลือ 5% นอกจากนี้ได้มีการปรับลดน้ำที่ใช้เติมที่ถังบารอเมทริกเพื่อเป็นการลดอุณหภูมิในถังบารอเมทริกหลังจากปรับลดน้ำแล้วกระบวนการผลิตยังดำเนินการอยู่ในสภาวะปกติ สุดท้ายมีการปรับการตั้งค่าของอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นจาก 0.5 องศาเซลเซียสเป็น 1.5 องศาเซลเซียส ซึ่งหลังจากการศึกษา วิเคราะห์และปรับสภาวะในกระบวนการผลิตพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นสามารถลดการใช้กำลังลงได้ 599 กิโลวัตต์ต่อวัน ซึ่งคิดเป็นเงินที่ลดลงเท่ากับ 0.7 ล้านบาทต่อปี และจากการปรับลดน้ำที่เติมที่ถังบารอเมทริกสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อน้ำได้ 0.4 ล้านบาทต่อปี และลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียได้ 0.5 ล้านบาทต่อปี ซึ่งคิดเป็นเงินที่ประหยัดทั้งหมด 1.6 ล้านบาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title Reduction of power consumption in the chiller

Student intern name Mr. Siwadon Wonglasee

Faculty: Engineering **Department** Chemical Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Yaneeporn Patcharavorachot

Mentor: Mr. Virachai Phato

Company: T S Oil Industry Company Limited

Abstract

The objectives of this study were to study and analyze the factors affecting to the power consumption of chiller and adjust the conditions of production process to reduce power consumption of chiller. The analysis revealed that the water temperature at inlet and outlet of the chiller directly affect to its power consumption. In the production process, there are two devices that affecting to inlet water temperature of chiller, i.e., plate heat exchanger and barometric tank. Therefore, there are 3 approaches to reduce the power consumption: (1) reducing the number of switching of plate heat exchanger, (2) decreasing the water fed to barometric tank and (3) adjusting the outlet water temperature of chiller. In this study, the sample of the inlet and outlet water from plate heat exchanger was collected to analyze the oil content. The experimental result showed that oil content from outlet is greater than that from inlet of plate heat exchanger. This indicated that there is oil stuck in the system. This problem was solved by changing the water used to circulate in the heat exchanger. After the water is changed, the number of switching of heat exchangers is decreased to 2 times/day and the relative change can be decreased to 5%. In addition, the content of water used in the barometric tank is reduced in order to decrease the temperature of barometric tank. Finally, the water temperature at the outlet of chiller is adjusted from 0.5 °C to 1.5 °C the result revealed that the power consumption of chiller can be reduced to 599 kW/day which is equivalent to 0.7 MB/year. Moreover, the reduction of water filled into barometric tank, can reduce the cost of buying water and cost of wastewater treatment around 0.9 MB/year

||

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การที่ข้าพเจ้าได้เข้ามาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท ทีเอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด ตั้งแต่วันที่ 5 สิงหาคม 2562 ถึงวันที่ 22 พฤษภาคม 2562 ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ ที่มีค่าและมีประโยชน์มากมายต่อตัวข้าพเจ้าเอง สำหรับรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความร่วมมือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ดังนี้

1. บริษัท ที เอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด
2. คุณวีระชัย ปาโท หัวหน้าฝ่ายผลิต

และบุคคลท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนาม ที่ให้คำแนะนำและให้การช่วยเหลือในการทำสหกิจครั้งนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ญาณิพร พัทรวรโชติ อาจารย์นิเทศน์สหกิจศึกษา ที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และทุ่มเทเอาใจใส่ในการทำงานครั้งนี้จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนเสมอมา

นายศิวตล วงลาชี

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ปาล์ม	4
2.1.1 ประวัติของน้ำมันปาล์ม	4
2.1.2 องค์ประกอบในน้ำมันปาล์ม	6
2.1.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์ม	7
2.1.4 กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริโภค	8
2.1.5 กระบวนการแยกส่วน (Fractionation).....	12
2.2 ระบบทำความเย็น	13
2.2.1 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration System).....	13
2.2.2 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System)	14
2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	22
2.3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate heat exchanger).....	22
2.3.2 การวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	24

สารบัญ(ต่อ)

2.3.3 วิธีหาความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก (The log mean temperature difference (LMTD) method)	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ.....	28
3.1 ศึกษากระบวนการผลิต	28
3.2 ศึกษาการใช้กำลังย้อนหลังของเครื่องทำน้ำเย็น	29
3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น	30
3.3.1 อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น	30
3.3.2 การตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น	35
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ	37
4.1 การใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น	37
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในน้ำ	37
4.3 การลดน้ำประปาที่เติมในถังบารอเมทริก	41
4.4 สรุปผลการดำเนินการ	44
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการดำเนินการ	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	48
ภาคผนวก ก.....	49
ภาคผนวก ข.....	50
ภาคผนวก ค.....	52

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวของน้ำมันปาล์ม	6
ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันปาล์ม	6
ตารางที่ 2-3 สารประกอบอื่นที่อยู่ในน้ำมันปาล์ม	7
ตารางที่ 2-4 จุดหลอมเหลวของกรดไขมัน	8
ตารางที่ 2-5 จุดเด่นและจุดด้อยของการกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี	11
ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นในแต่ละเดือน	29
ตารางที่ 3-2 ตารางแสดงการใช้กำลังเฉลี่ยในแต่ละวันของแต่ละเดือน	29
ตารางที่ 3-3 ตารางแสดงปริมาณน้ำมันในน้ำ	31
ตารางที่ 3-4 ตารางแสดงจำนวนการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	32
ตารางที่ 3-5 ตารางแสดงจำนวนการสลับการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือน	32
ตารางที่ 3-6 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ถังบารอเมทริกในแต่ละชั่วโมง	34
ตารางที่ 3-7 ตารางแสดงปริมาณการใช้น้ำประปาในการเติมถังบารอเมทริก	35
ตารางที่ 3-8 ตารางแสดงการตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นกับกำลังที่ใช้	36
ตารางที่ 4-1 ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ ในน้ำของก่อนและหลังการเปลี่ยนน้ำเวียนล้าง	40
ตารางที่ 4-2 จำนวนการสลับการใช้งานเฉลี่ยต่อ 1 วัน ในแต่ละเดือนของเครื่องแลกเปลี่ยนความ ร้อนแบบแผ่น	40
ตารางที่ 4-3 ปริมาณน้ำประปาเฉลี่ยที่เติมที่ถังบารอเมทริกใน 1 วัน ในแต่ละเดือน	41

สารบัญภาพ

รูปที่ 1-1 ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ของกระบวนการกลั่นน้ำมันพืชของบริษัท ที เอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด.....	1
รูปที่ 1-2 ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วยต่างๆเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ของกระบวนการกลั่นน้ำมันพืชของบริษัท ที เอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด	2
รูปที่ 2-1 ลักษณะและโครงสร้างของผลปาล์ม.....	5
รูปที่ 2-2 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	5
รูปที่ 2-3 แสดงโครงสร้างของโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์	6
รูปที่ 2-4 โครงสร้างไอโซเมอร์ชนิด CIS และ TRANS	8
รูปที่ 2-5 แผนภาพแสดงอุณหภูมิกับความดันไอขององค์ประกอบบางชนิดในน้ำมันปาล์ม.....	10
รูปที่ 2-6 กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยวิธีทางกายภาพอย่างง่าย	10
รูปที่ 2-7 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	13
รูปที่ 2-8 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ.....	14
รูปที่ 2-9 แผนภูมิความดัน-เอนทัลปี	15
รูปที่ 2-10 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ	18
รูปที่ 2-11 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็นชนิด R-134A	18
รูปที่ 2-13 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็นชนิด R-123.....	19
รูปที่ 2-12 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็นชนิด R-22.....	19
รูปที่ 2-14 เส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวแบ่งพื้นที่บนแผนภาพออกเป็น 3 เขต	20
รูปที่ 2-15 เส้นคุณสมบัติต่างๆ ของสารทำความเย็นบนแผนภาพ.....	21
รูปที่ 2-16 ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	23
รูปที่ 2-17 แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน.....	23
รูปที่ 2-18 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลไหลสวนทางกัน	26

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ 2-19 แสดงค่า T_1 และ T_2 ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ (A) ไหลทิศทางเดียว (B) ไหลสวนทาง	26
รูปที่ 3-1 แผนภาพกระบวนการทำระบบสุญญากาศและผลิตน้ำเย็น	28
รูปที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นต่อ 1 วัน ในแต่ละเดือน	37
รูปที่ 4-3 ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างน้ำของน้ำในช่วงก่อนที่จะมีการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	38
รูปที่ 4-2 ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างน้ำของน้ำในช่วงที่เพิ่งจะมีการสลับไปใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นอีกเครื่อง	38
รูปที่ 4-4 ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างน้ำของน้ำในช่วงที่เพิ่งจะมีการสลับไปใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นอีกเครื่อง	39
รูปที่ 4-5 ระบบของถังบารอเมทริก	41
รูปที่ 4-6 การทดลองลดปริมาตรน้ำประปาที่เติมถังบารอเมทริก	42
รูปที่ 4-7 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของถังบารอเมทริกในช่วงก่อนปรับสภาวะและระหว่างปรับสภาวะในกระบวนการผลิต	43
รูปที่ 4-8 อุณหภูมิของถังบารอเมทริกเมื่อมีการปรับการตั้งค่าของอุณหภูมิน้ำขาออก	43
รูปที่ 4-9 แสดงการใช้กำลังเฉลี่ยใน 1 วันของเครื่องทำน้ำเย็นในแต่ละเดือน	44

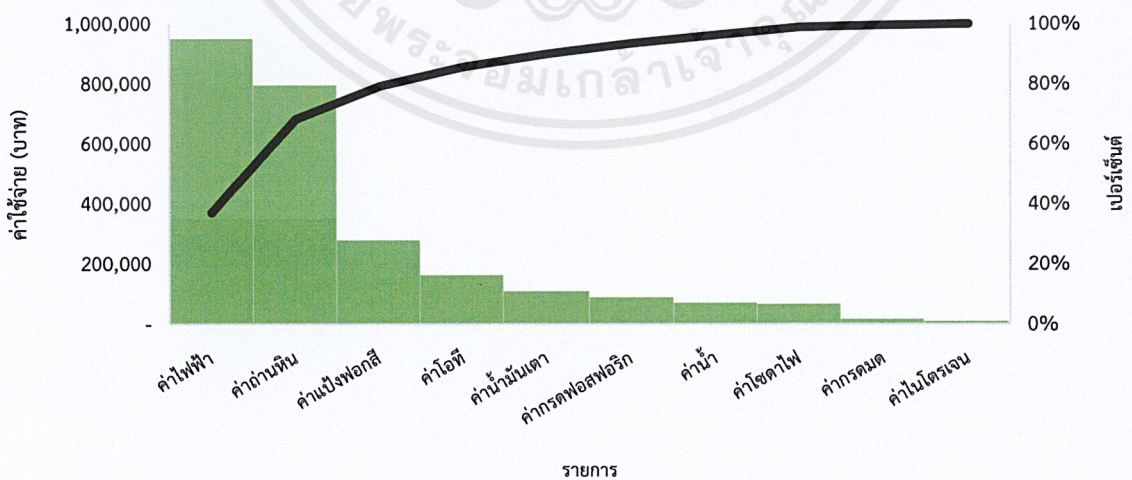
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัท ที เอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด เป็นบริษัทในเครือของบริษัท ไทยซูการ์ เทอร์มิเนล จำกัด (มหาชน) ซึ่งดำเนินธุรกิจกลั่นน้ำมันพืชโดยมีกำลังการผลิตประมาณ 400 ตันต่อวัน โดยในกระบวนการกลั่นน้ำมันพืชเป็นกระบวนการกำจัดสิ่งเจือปนและองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกไปเพื่อให้ได้คุณภาพ รสชาติ กลิ่น สี และอายุการเก็บรักษาตามที่ต้องการ บริษัท ทีเอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด ใช้การกลั่นด้วยวิธีกายภาพ (Physical Refining) โดยวิธีนี้ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่ 1. กระบวนการกำจัดยาง (Degumming) เป็นกระบวนการที่กำจัดยางเหนียวหรือฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) ออกจากน้ำมันดิบ 2. กระบวนการฟอกสี (Bleaching) เป็นกระบวนการฟอกสีน้ำมันโดยใช้ดินฟอกสี (Bleaching Earth) ในการดูดซับสารมีสีรวมถึงฟอสโฟลิพิดและกรดไขมันอิสระ 3. กระบวนการกำจัดกลิ่น (Deodorization) เป็นกระบวนการสำคัญในการกำจัดกรดไขมันอิสระ สารระเหยอื่นๆ ที่เป็นสิ่งเจือปนที่มีจุดเดือดต่ำกว่าไตรกลีเซอไรด์ วิธีการคือกลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งระบบสุญญากาศนี้เองมีการใช้หัวฉีดไอน้ำสุญญากาศแบบหลายชั้น (Vacuum steam ejector) และเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ในการควบคุมระบบสุญญากาศนี้

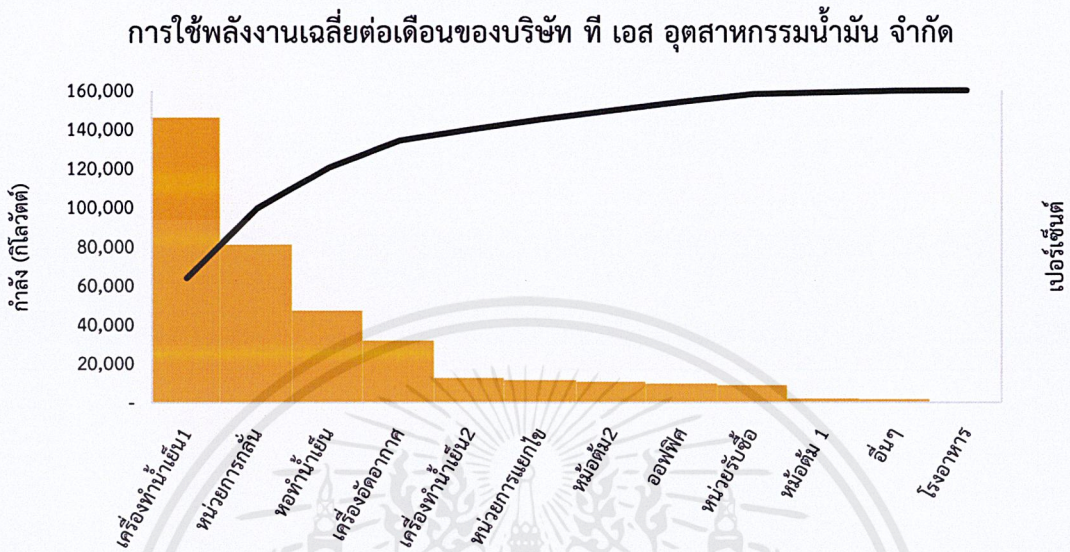
ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนของบริษัท ทีเอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด



รูปที่ 1-1 ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ของกระบวนการกลั่นน้ำมันพืชของบริษัท ที เอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1-1 บริษัท ที เอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด มีค่าใช้จ่ายในด้านค่าไฟฟ้าคิดเป็นประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด หรือคิดเป็นจำนวนเป็นประมาณ 950,000 บาทต่อเดือน



รูปที่ 1-2 ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วยต่างๆเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ของกระบวนการกลั่นน้ำมันพืชของบริษัท ที เอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด

จากรูปที่ 1-2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) คิดเป็นประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณค่าไฟฟ้าทั้งหมด หรือคิดเป็น 146,500 kW ต่อเดือน ซึ่งจากจุดนี้เองการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นจำเป็นต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นนี้มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูง รวมไปถึงการปรับปรุงสถานะ (Condition) ที่ส่งผลถึงการใช้งำลังของเครื่องทำน้ำเย็นนี้ด้วย

ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้เอง ทำให้โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะลดการใช้งำลังของเครื่องทำน้ำเย็นด้วยการศึกษาและวิเคราะห์ถึงสาเหตุรวมไปถึงการปรับปรุงสถานะของกระบวนการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งำลังของเครื่องทำน้ำเย็น

1.2.2 เพื่อปรับสถานะในกระบวนการผลิตที่ส่งผลให้เกิดการลดการใช้งำลังของเครื่องทำน้ำเย็น

1.2.3 เพื่อลดการใช้งำลังของเครื่องทำน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger)

1.3.2 ศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นที่ถังบารอเมตริก (Barometric Tank)

1.3.3 ศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น

1.4.2 มีปรับสภาวะในกระบวนการผลิตและสามารถลดการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นได้

1.4.3 ลดการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปาล์ม

2.1.1 ประวัติของน้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมันมีถิ่นกำเนิดในแถบแอฟริกาตะวันตก ชาวโปรตุเกสได้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกในทวีปเอเชีย โดยเริ่มปลูกที่สวนพฤกษศาสตร์ เมืองโบกอร์ ประเทศอินโดนีเซีย ราวปี พ.ศ. 2391 จากนั้นได้แพร่กระจายพันธุ์มายังเกาะสุมาตราในช่วงปี พ.ศ. 2396-2400 และเริ่มปลูกเป็นการค้าอย่างจริงจังเมื่อปี พ.ศ. 2454 และในปี พ.ศ. 2461 มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในเกาะสุมาตรา 22,500 ไร่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2472 มีผู้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกในประเทศไทย ที่สถานีทดลองยางคอหงส์ จังหวัดสงขลา และสถานีกสิกรรมพลิว จังหวัดจันทบุรี โดยปลูกเป็นปาล์มประดับ ส่วนการส่งเสริมการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่นั้นเริ่มเมื่อปี พ.ศ. 2511 โดยโครงการนิคมสร้างตนเองพัฒนาภาคใต้ จังหวัดสตูลประมาณ 20,000 ไร่ และโครงการบริษัทอุตสาหกรรมน้ำมันและสวนปาล์มจำกัด (สวนเจียรวานิช) ตำบลปลายพระยา อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ ประมาณ 20,000 ไร่ หลังจากนั้นจึงขยายพื้นที่ปลูกมากขึ้น การพัฒนาปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทยแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2472 ถึง 2525 หรือระยะเวลาประมาณ 50 ปี เป็นระยะของการเริ่มต้น มีการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันค่อนข้างช้า และระยะที่สอง จากปี พ.ศ. 2525 ถึง 2545 เป็นระยะที่มีการพัฒนาการขยายพื้นที่ปลูกอย่างรวดเร็ว โดยเฉลี่ยประมาณ 50,000-100,000 ไร่ต่อปี ในปี พ.ศ. 2546 มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 2,100,000 ไร่ โดยจังหวัดที่ปลูกมากที่สุด คือ กระบี่ สุราษฎร์ธานี และชุมพร ตามลำดับ

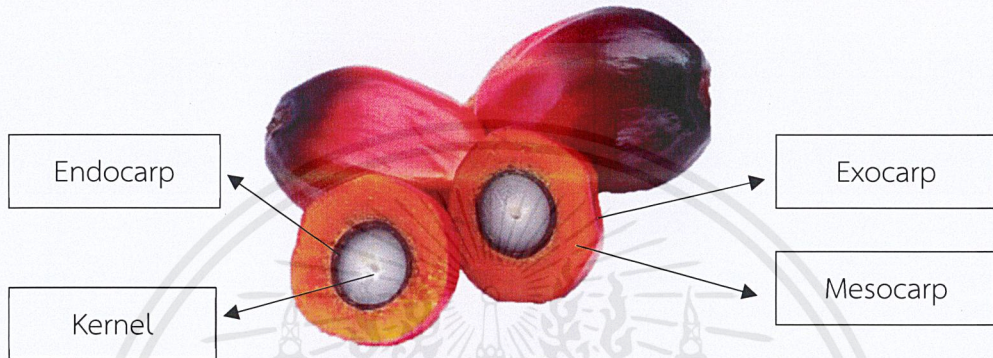
ปาล์มจัดอยู่ในตระกูล *Palme* หรือ *Palmaceae* เป็นตระกูลย่อยเดียวกันกับมะพร้าว คือ *Eliaes* โดยแบ่งเป็น 3 สายพันธุ์ คือ *Eliaes guineensis*, *Eliaes oleifera* และ *Eliaes odora* สำหรับสองสายพันธุ์สองสายพันธุ์หลังไม่นิยมปลูกเนื่องจากเติบโตช้าและให้ผลเล็ก พันธุ์ที่นิยมปลูกเชิงเศรษฐกิจอยู่ในปัจจุบันคือ *Eliaes guineensis*

Eliaes guineensis เป็นลูกผสมระหว่างสายพันธุ์ *dura* ซึ่งมีกะลาที่หนา เนื้อในเมล็ดใหญ่ มีส่วนของเปลือก (*mesocarp*) 30-50% ของน้ำหนัก และมีปริมาณน้ำมัน 17-18% และสายพันธุ์ *tenera* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีกะลาหนานปานกลาง มีเยื่อรอบกะลา มีส่วนของเปลือก 60-95% ของน้ำหนัก และมีปริมาณน้ำมัน 22-24%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

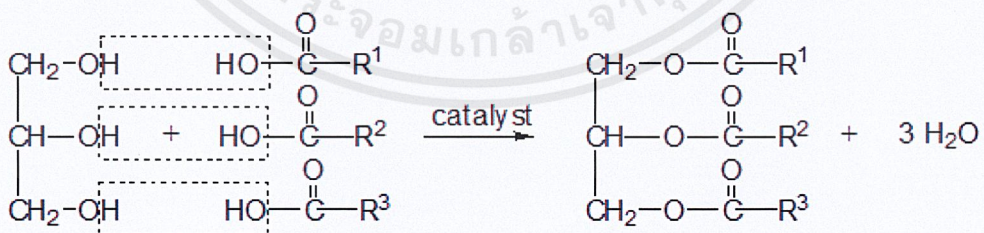
ปาล์มน้ำมันจะออกผลเป็นทะลาย โดยลักษณะของผลปาล์มจะมีส่วนของเปลือกชั้นนอก (Exocarp) และ ชั้นกลาง (Mesocarp) ที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไขมันซึ่งเมื่อคั้นออกมาจะได้ผลผลิตที่เรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil : CPO) โดยมีไขมันรวมประมาณ 73.2%

สำหรับชั้นในของผลปาล์ม (Endocarp) จะหุ้มด้วยกะลา (Shell) ภายในประกอบด้วยน้ำมัน ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างจากที่ได้จากเปลือกนอก เมื่อคั้นออกมาเรียกผลผลิตส่วนนี้ว่าน้ำมันเมล็ดใน (Kernel oil) ลักษณะและโครงสร้างของผลปาล์มแสดงในรูปที่ 2-1



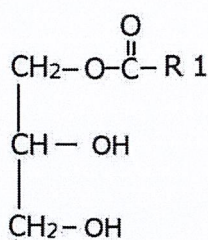
รูปที่ 2-1 ลักษณะและโครงสร้างของผลปาล์ม [3]

น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดปาล์มมีสูตรโครงสร้างคล้ายกับน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันมะพร้าว, ถั่วเหลือง, ถั่วลิสง, มะกอก, มันหมู, มันวัว ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งเรียกว่า กลีเซอไรด์เกิดจากปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification) ระหว่างหมู่ alcohol (-OH) ของ glycerol และ carboxylic acid (-COOH) ของกรดไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 2-2 และเมื่อนำ glycerol 1 โมล ทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน 1, 2 และ 3 โมล ผลผลิตที่ได้ คือ โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride), ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2-3

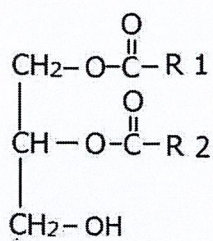


รูปที่ 2-2 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน [3]

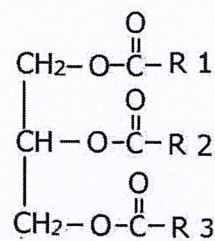
โดยอักษรตัว R^1 , R^2 , R^3 แทนไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาวที่มีคาร์บอนอยู่ในช่วง 11-19 ตัว หรือที่เรียกว่า กรดไขมัน ซึ่งโซ่คาร์บอนยาวหรือกรดไขมันนี้อาจจะอิ่มตัว (Saturated) หรือไม่อิ่มตัวก็ได้ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน



โมโนกลีเซอไรด์



ไดกลีเซอไรด์



ไตรกลีเซอไรด์

รูปที่ 2-3 แสดงโครงสร้างของโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ [3]

2.1.2 องค์ประกอบในน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil : CPO) จะประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์มากกว่า 90%, กรดไขมันอิสระ 3-5%, กลีเซอไรด์ชนิดอื่น และ minor component ที่ไม่มีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบเช่น β -carotenes, tocopherols และ tocotrienols ประมาณ 1% โดยองค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มสามารถวิเคราะห์โดยการทำให้โมเลกุลของเอสเทอร์แตกสลายเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันในน้ำมันปาล์มได้ แสดงดังตารางที่ 2-1 และ 2-2

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวของน้ำมันปาล์ม [3]

กรดไขมันอิ่มตัว	สูตรโมเลกุล	จำนวนคาร์บอน	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
ไมริสติก (myristic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	14	2
ปาล์มมิติก (palmitic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	16	43
สเตียริก (stearic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	18	7

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันปาล์ม [3]

กรดไขมันไม่อิ่มตัว	สูตรโมเลกุล	จำนวน คาร์บอน	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
โอเลอิก (oleic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	18	39
ลิโนเลอิก (linoleic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	18	9

จากที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ในน้ำมันปาล์มนอกจากจะประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์, กรดไขมันอิสระ แล้วยังมีสารประกอบอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 สารประกอบอื่นที่อยู่ในน้ำมันปาล์ม [3]

ชื่อสาร	ปริมาณ (ppm)
แคโรทีนอยด์ (carotenoids)	500-700
โทโคเฟอรอล (tocopherols)	500-800
ฟอสฟาไทด์ (phosphatides)	500-1,000

2.1.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์ม

เนื่องจากไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบหลักของน้ำมันปาล์ม ดังนั้นคุณสมบัติทั้งทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันปาล์มจึงขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์หรือกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบซึ่งอาจแตกต่างกันได้ด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน (degree of unsaturation)

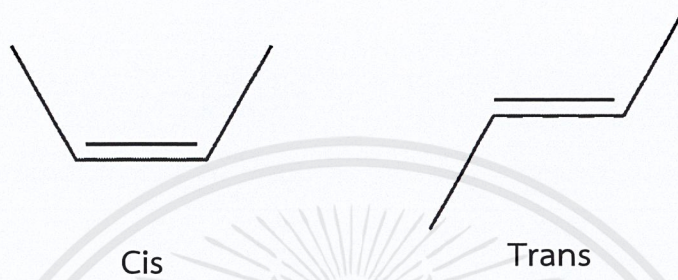
กลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวสูง (saturated fatty acid) จะมีจุดหลอมเหลวสูงด้วย ดังนั้น tripalmitin (มีคาร์บอน 16 ตัวเป็นองค์ประกอบ : C16:0) และ tristearin (มีคาร์บอน 18 ตัวเป็นองค์ประกอบ : C18:0) จึงมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูง ในทางกลับกันกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (unsaturated fatty acid) จะมีจุดหลอมเหลวต่ำ ดังนั้น triolein (มีคาร์บอน 18 ตัว มีพันธะคู่ 1 จุดเป็นองค์ประกอบ : C18:1) และ trilinolein (มีคาร์บอน 18 ตัว มีพันธะคู่ 2 จุดเป็นองค์ประกอบ : C18:2) จึงมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง คุณสมบัติเหล่านี้สอดคล้องกับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 2-4

2. น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)

กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมสูงหรือน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมต่ำกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2-4

3. โครงสร้างไอโซเมอร์ (isomer)

สารที่เป็นไอโซเมอร์กัน คือ สารที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างกันด้วย เช่น Cis-oleic acid (C18:1) มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า Trans-elaidic acid (C18:1) ดังแสดงในตารางที่ 2-4 ในรูปที่ 2-4 แสดงโครงสร้างของสารที่เป็นไอโซเมอร์



รูปที่ 2-4 โครงสร้างไอโซเมอร์ชนิด Cis และ Trans [3]

ตารางที่ 2-4 จุดหลอมเหลวของกรดไขมัน [3]

กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (°C)
Lauric acid (C12:0)	44.2
Myristic acid (C14:0)	53.9
Palmitic acid (C16:0)	63.1
Stearic acid (C18:0)	69.6
Cis-Oleic acid (C18:1)	13.4
Trans-Elaidic (C18:1)	46.5
Linoleic acid (C18:2)	-17

2.1.4 กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริโภคน

การกลั่นน้ำมันปาล์มเป็นกระบวนการกำจัดสิ่งเจือปนและองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกไป เพื่อให้ได้คุณภาพ รสชาติ กลิ่น สี และอายุการเก็บรักษาตามที่ต้องการ กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มแบ่งเป็น 2 วิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ (Physical Refining) และ วิธีทางเคมี (Chemical Refining) วิธีการทั้งสองนี้แตกต่างกันที่กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ดังจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

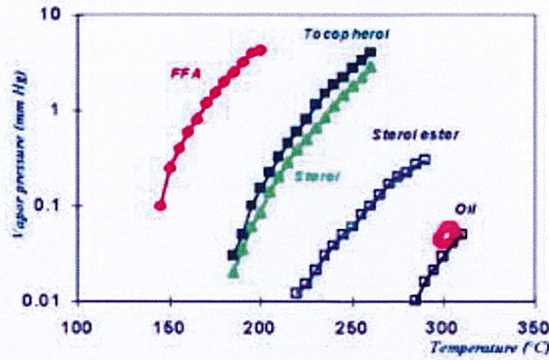
1. การกลั่นด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Refining)

การกลั่นด้วยวิธีทางกายภาพเริ่มใช้ในประเทศมาเลเซียตั้งแต่ พ.ศ. 2513 และใช้อย่างแพร่หลายที่สุดในปัจจุบัน วิธีนี้ใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ และประกอบด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่

1.1 กระบวนการกำจัดยาง (Degumming) เป็นกระบวนการกำจัดยางเหนียวหรือฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ของฟอสฟอรัสในน้ำมัน กระบวนการกำจัดยางมี 6 วิธี ดังนี้ (1) แบบแห้ง (Dry degumming) (2) แบบเปียก (Water degumming) (3) แบบกรด (Acid degumming) (4) แบบใช้เอนไซม์ (Enzymatic degumming) (5) แบบ EDTA (EDTA-degumming) และ (6) แบบเมมเบรน (Membrane degumming) โดยแต่ละวิธีจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณของฟอสโฟลิพิดที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นๆ โดยน้ำมันปาล์มที่มีฟอสโฟลิพิดน้อย จะใช้วิธีแบบแห้ง ซึ่งใช้กรดฟอสฟอริกหรือซिटริกเข้มข้น 80-85% ใส่ในน้ำมันปาล์มดิบและให้ความร้อนประมาณ 90 องศาเซลเซียส นาน 15-30 นาที เพื่อให้เกิดยางเหนียวและตกตะกอน

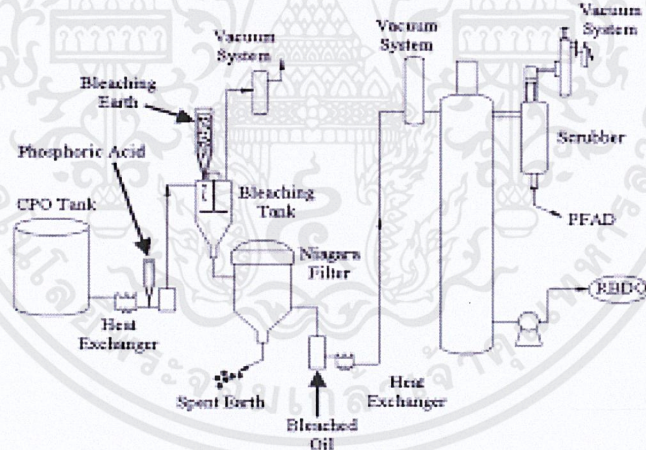
1.2 กระบวนการฟอกสี (Bleaching) เป็นการฟอกสีน้ำมันปาล์มโดยใช้สารดูดซับ ได้แก่ ดินฟอกสี (Acid activated bleaching earth หรือ Bleaching clay) ดินฟอกสีธรรมชาติ (Natural bleaching earth) ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซิลิเกตสังเคราะห์ (Synthetic silicates) และเรซินสังเคราะห์ (Synthetic resins) ดูดซับสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำมัน โดยการฟอกสีของน้ำมันมักใช้ดินฟอกสีเป็นส่วนใหญ่ สารนี้มีองค์ประกอบเป็นไฮเดรตอะลูมิเนียมซิลิเกต (Hydrated aluminum-silicates) มีสมบัติในการดูดซับที่ดีสามารถดูดซับสารคลอโรฟิลล์และสารมีสีอื่นๆ รวมถึงฟอสโฟลิพิดและกรดไขมันอิสระที่อาจเกิดระหว่างกระบวนการฟอกสีได้ วิธีการคือ เติมดินฟอกสีลงไปในน้ำมันปาล์มดิบและกวนผสมกันประมาณ 30-45 นาที จากนั้นจึงนำน้ำมันที่ได้ผ่านเข้าสู่เครื่องกรองก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป

1.3 กระบวนการกำจัดกลิ่น (Deodorization) เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ สารระเหยอื่นๆ ที่เป็นสิ่งเจือปนที่มีจุดเดือดต่ำกว่าไตรกลีเซอไรด์ที่ทำให้เกิดกลิ่น รวมถึงสีของน้ำมันบางส่วนที่กำจัดไม่ได้ด้วยกระบวนการก่อนหน้านี้ วิธีการคือกลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญในการกลั่น ผลของอุณหภูมิกับความดันไอขององค์ประกอบบางชนิดในน้ำมัน แสดงได้ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 แผนภาพแสดงอุณหภูมิกับความดันไอขององค์ประกอบบางชนิดในน้ำมันปาล์ม [7]

จากรูปที่ 2-5 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 270 องศาเซลเซียส น้ำมันจะระเหยออกไป ดังนั้น ช่วงอุณหภูมิของการกลั่นที่เหมาะสมคือ 250-270 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง และความดันไม่เกิน 10 มิลลิเมตรปรอท ก็จะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Palm Oil, RPO) เป็นผลิตภัณฑ์หลัก และกรดไขมันอิสระที่ได้ออกมาในรูปของกรดไขมันปาล์ม (Plam Fatty Acid Distillate, PFAD) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (By-product) ที่สามารถสร้างมูลค่าได้ แผนภาพอย่างง่ายของกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มแสดงได้ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยวิธีทางกายภาพอย่างง่าย [7]

2. การกลั่นด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Refining) การกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการนี้ กำจัดกรดไขมันอิสระโดยใช้สารเคมี วิธีนี้มีมาก่อนวิธีทางกายภาพประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก ได้แก่

2.1 กระบวนการกำจัดยางเหนียวและการทำน้ำมันให้เป็นกลาง (Degumming and Neutralization) เริ่มต้นด้วยกระบวนการกำจัดยางเหนียวโดยการเติมกรดฟอสฟอริกหรือซิตริก เช่นเดียวกับวิธีทางกายภาพ แต่หลังจากนั้นมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ลงไปทำปฏิกิริยาสaponification เคঁซันกับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่แล้ว จึงแยกสบู่กัออกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifugal separator) ก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป

2.2 กระบวนการฟอกสี (Bleaching) น้ำมันปาล์มที่ผ่านการแยกเอาสบู่กัออกแล้วจะ ทำการฟอกสีโดยการเติมดินฟอกสีลงในน้ำมันที่มีอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกับวิธี ทางกายภาพ

2.3 กระบวนการกำจัดกลิ่น (Deodorization) น้ำมันที่ผ่านกระบวนการฟอกสีแล้ว จะเข้าสู่เครื่องกำจัดกลิ่น (Deodorizer) เพื่อกำจัดกลิ่นและสารเจือปนอื่นๆ โดยการกลั่นด้วยไอน้ำที่ อุณหภูมิสูงประมาณ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะสุญญากาศแล้วจึงผ่านเข้าสู่เครื่องกรอง จะได้ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Palm Oil, RPO)

ตารางที่ 2-5 จุดเด่นและจุดด้อยของการกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี [7]

กระบวนการ	จุดเด่น	จุดด้อย
การกลั่นด้วยวิธีทางกายภาพ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ผลผลิตสูง 2. ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้น สามารถสร้างมูลค่าได้ เช่น กรด ปาล์ม (PFAD) ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตสบู่ ไบโอดีเซล และจารบี เป็นต้น 3. ขั้นตอนในกระบวนการน้อยกว่า วิธีทางเคมี 4. ค่าใช้จ่ายในระหว่างการดำเนินงาน น้อยกว่าวิธีทางเคมี 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีน้ำเสียในกระบวนการ 2. ต้นทุนเครื่องจักรสูงกว่าวิธี ทางเคมี เช่น ระบบกำจัดกลิ่น ที่ต้องใช่วัสดุที่ทนต่ออุณหภูมิ สูงกว่าทำให้มีราคาแพงกว่า
การกลั่นด้วยวิธีทางเคมี	<ol style="list-style-type: none"> 1. อุณหภูมิที่ใช้ต่ำกว่าวิธีทาง กายภาพ 2. เมื่อน้ำมันปาล์มที่เป็นวัตถุดิบตั้ง ต้นมีองค์ประกอบของกรดไขมัน อิสระไม่คงที่ ระบบนี้สามารถปรับ สภาวะของแต่ละขั้นตอนได้ง่าย เพียงแค่เพิ่มหรือลดปริมาณสารเคมี ที่ใช้ 3. เหมาะกับน้ำมันที่มีฟอสโฟลิพิดสูง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. สูญเสียน้ำมันปาล์มใน ขั้นตอนที่เกิดสบู่ 2. ใช้สารเคมีและมีน้ำเสีย เกิดขึ้นในกระบวนการ

2.1.5 กระบวนการแยกส่วน (Fractionation)

ก่อนที่จะนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการกำจัดยาง ฟอกสี และการกำจัดกลิ่นมาใช้บริโภค นั้น จำเป็นต้องผ่านกระบวนการสุดท้าย ได้แก่ กระบวนการแยกส่วนของน้ำมันโอเลอิน (Olein) และ ไชมันสเตียร์อิน (Stearin) ออกจากกัน ซึ่งปัจจุบันมี 3 วิธี ดังนี้

1. กระบวนการแยกส่วนแบบแห้ง (Dry Fractionation) เป็นการแยกส่วนโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 75-90 องศาเซลเซียสแก่น้ำมันที่กลั่นได้ เพื่อให้ไขมันปาล์มละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปให้น้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียสเพื่อให้ไขมันตกตะกอน ซ้ำๆ และนำไปผ่านเครื่องกรอง

2. กระบวนการแยกส่วนแบบลันซา (Lanza Fractionation) กระบวนการนี้ค้นพบโดย Fractelli Lanza [1] เป็นการแยกส่วนโดยการเติมสารซักฟอก (Detergent) ได้แก่ โซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium Lauryl Sulphate) ลงไปเพื่อให้น้ำมันพืชแยกส่วนกันระหว่างชั้นน้ำและน้ำมัน ส่วนที่ขอบน้ำจะแยกออกและน้ำมันจะรวมตัวกันวิธีนี้สามารถแยกโอเลอินและสเตียร์อินได้ง่ายและใช้เวลาน้อยกว่าวิธีแยกส่วนแบบแห้ง

3. กระบวนการแยกส่วนแบบเปียก (Wet Fractionation) เป็นวิธีที่ใช้ตัวทำละลาย เช่น เฮกเซน (Hexane) อะซีโตน (Acetone) และ 2-ไนโตรโพรเพนผสมกับน้ำมันปาล์มแล้วผ่านเข้าสู่เครื่องเกิดผลึกเพื่อให้ตกผลึกโดยการทำให้เย็นที่อุณหภูมิที่เกิดการแยกส่วนกัน ผลึกที่เกิดขึ้นจะนำเข้าสู่เครื่องกรองแล้วจึงระเหยตัวทำละลายออกไปจะได้สเตียร์อิน ส่วนโอเลอินและตัวทำละลายจะเข้าสู่เครื่องตกผลึกอีกครั้งหนึ่งเพื่อแยกโอเลอินออกมา

เมื่อผ่านกระบวนการแยกส่วนแล้ว น้ำมันปาล์มโอเลอินที่ได้จะถูกบรรจุลงขวดหรือบรรจุภัณฑ์อื่นๆ สำหรับนำไปใช้บริโภคต่อไป

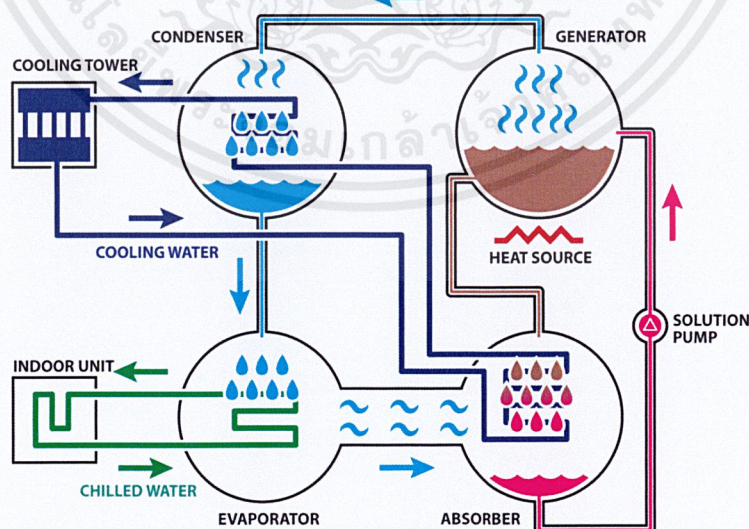
2.2 ระบบทำความเย็น

การทำความเย็นเป็นการดูดความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศ ในการทำความเย็นจะมีสารตัวกลางที่ทำหน้าที่ถ่ายโอนความร้อน หรือที่เรียกว่า สารทำความเย็น (Refrigerant) ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการดูดความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศนี้เรียกว่า เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) โดยเครื่องทำน้ำเย็นนี้จะอาศัยกระบวนการทำความเย็นที่หลากหลายประเภท อย่างไรก็ตามในที่นี้จะกล่าวถึงการทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Cooling) และ การทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Cooling) เนื่องจากมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

2.2.1 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration System)

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมเป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยกำลังความร้อนในการขับเคลื่อนเครื่องทำความเย็นให้ทำงาน โดยความร้อนที่ป้อนให้มักจะอยู่ในรูปของไอน้ำ น้ำร้อน หรือแก๊สร้อนซึ่งเป็นกำลังคุณภาพต่ำ

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เครื่องกำเนิด (Generator) เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องดูดซึม (Absorber) และวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ส่วนสารทำงานจะเป็นลักษณะของสารคู่ผสมระหว่างสารทำความเย็น (เช่น น้ำ) และสารดูดซึม (เช่น สารลิเทียมโบรไมด์, LiBr) ดังแสดงในรูปที่ 2-7



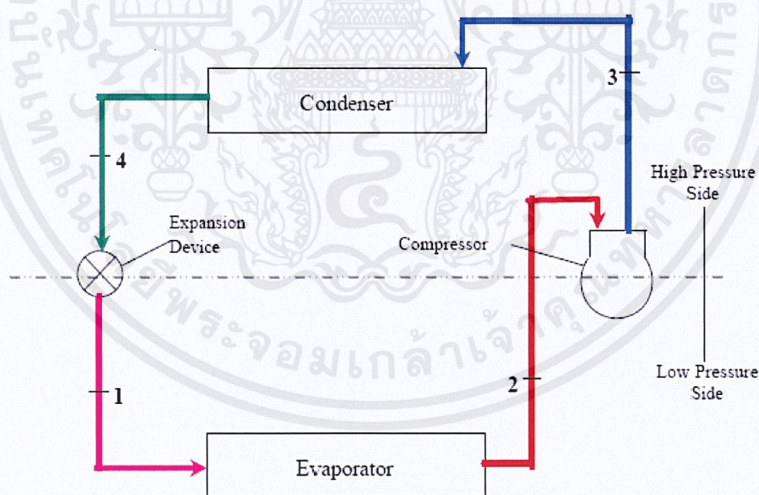
รูปที่ 2-7 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานเริ่มต้นจากเครื่องกำเนิดรับความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นไอและแยกตัวจากสารดูดซึ่ม ไอสารทำความเย็นจะถูกทำให้ควบแน่นที่เครื่องควบแน่นและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวแล้วไหลผ่านวาล์วลดความดันไปสู่เครื่องระเหย ที่เครื่องระเหยสารทำความเย็นจะรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเพื่อระเหยกลายเป็นไอนั้น ไอสารทำความเย็นจะถูกดูดซึ่มด้วยสารดูดซึ่มที่ไหลผ่านวาล์วลดความดันอีกตัวหนึ่งที่ต่อออกมาจากเครื่องกำเนิดและกลายเป็นของเหลวในเครื่องดูดซึ่ม ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกริยาคายความร้อนจากนั้นของเหลวผสมจะถูกสูบโดยปั๊มให้มีความดันสูงขึ้นและส่งไปยังเครื่องกำเนิดเพื่อรับความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนต่อไป ซึ่งถือว่าเป็นการทำงานครบรอบวัฏจักร

2.2.2 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System)

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันโดยอาศัยกำลังกลขับเคลื่อนเพรสเซอร์ (Compressor) เพื่อทำหน้าที่อัดไอสารทำความเย็นให้หมุนเวียนในระบบ โดยในระบบการทำความเย็นแบบอัดไอนี้มีอุปกรณ์หลักคือ 1.คอมเพรสเซอร์ 2. เครื่องควบแน่น 3. วาล์วลดแรงดัน 4. เครื่องระเหย ต่อกันเป็นวัฏจักรดังรูปที่ 2-8 โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะทำงานดังนี้



รูปที่ 2-8 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ [5]

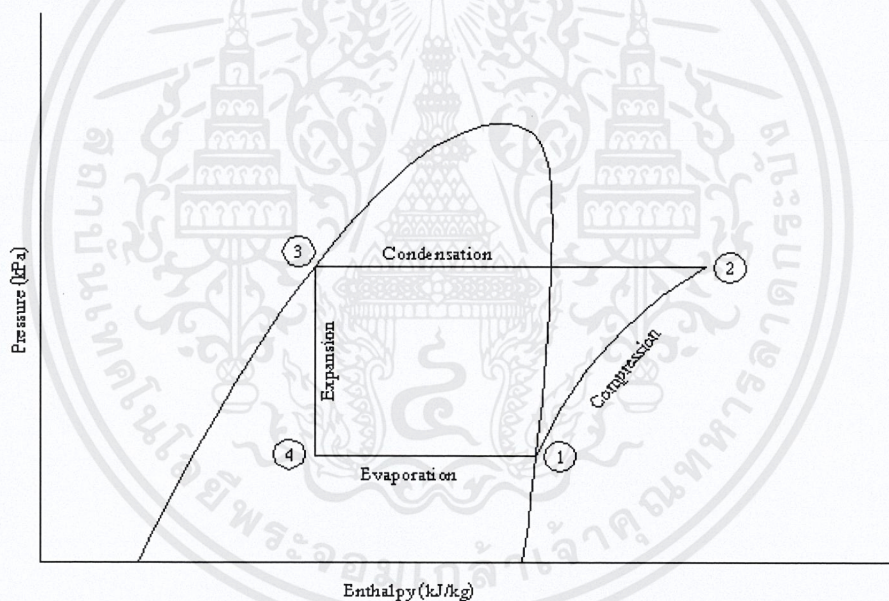
1.คอมเพรสเซอร์ เป็นอุปกรณ์สำคัญหรือหัวใจของระบบความเย็น ทำหน้าที่ดูดไอสารทำความเย็นความดันต่ำที่ออกจากเครื่องระเหยและอัดให้มีความดันสูงเพื่อส่งไปยังเครื่องควบแน่น

2. เครื่องควบแน่น ทำหน้าที่รับสารทำความเย็นที่มาจากคอมเพรสเซอร์เพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิลงและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ก่อนส่งไปยังวาล์วลดความดัน

3. วาล์วลดความดัน ทำหน้าที่ลดความดันและควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเหลวให้มีความดันต่ำลงจนสามารถเดือดเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำในเครื่องระเหย

4. เครื่องระเหย ทำหน้าที่ดูดซับความร้อนจากสารตัวกลางหรืออากาศแล้วถ่ายโอนความร้อนให้สารทำความเย็นจนเปลี่ยนสถานะเป็นไอส่งกลับเข้าไปยังคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะหมุนเวียนเป็นวัฏจักรเช่นนี้

โดยอุปกรณ์หลักของวัฏจักรทำน้ำเย็นแบบอัดไอ ซึ่งมีสารทำความเย็นไหลในระบบและมีการทำงานแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการ ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 แผนภูมิความดัน-เอนทัลปี [5]

กระบวนการ 1-2 เป็นกระบวนการอัดตัวแบบ Isentropic Compression โดยคอมเพรสเซอร์ทำการอัดสารทำความเย็นในสภาวะไออิ่มตัว ให้มีความดันเท่ากับความดันที่เครื่องควบแน่น

กระบวนการ 2-3 เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ความดันคงที่แบบย้อนกลับได้ โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะไอร้อนยิ่งยวด (Superheated Vapor) จะถูกทำให้เย็นลงจนเกิดการกลั่นตัวของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ 3-4 เป็นกระบวนการขยายตัว หรือ กระบวนการลดความดัน โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะของเหลวจะถูกลดความดันลงมากลายเป็นของผสมที่ความดันที่เครื่องระเหย

กระบวนการ 4-1 เป็นกระบวนการรับความร้อนที่ความดันคงที่ซึ่งทำให้สารทำความเย็นเดือดจนกลายเป็นไออิ่มตัว

สมการการไหลแบบต่อเนื่อง (Steady Flow Energy Equation)

วิศวกรทำความเย็นแบบอัดไอน้ำเป็นการนำกระบวนการต่างๆ มาเรียงต่อกันเป็นระบบปิดเพื่อควบคุมปริมาตรให้คงที่ สารทำความเย็นที่ไหลในระบบเป็นไปแบบต่อเนื่อง จึงอาศัยสมการการไหลแบบต่อเนื่องวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักร

จากนิยามสามารถเขียนสมดุลกำลังได้ คือ

$$\dot{m}\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1\right) + Q - \dot{m}\left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2\right) + w = dE/dt \quad (1)$$

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

h = เอลท์ลปี (kJ/kg)

v = ความเร็วของสารทำความเย็น (m/s)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s²)

z = ระดับความสูง (m)

Q = ความร้อน (kJ)

W = งาน (kJ)

E = กำลัง (kJ)

ในกรณีการไหลแบบคงที่ ($dE/dt = 0$)

$$\text{ดังนั้น} \quad \dot{m}\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1\right) + q = \dot{m}\left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2\right) + w \quad (2)$$

การไหลแบบคงที่จะได้ว่า $v_1 = v_2$ และ $z_1 = z_2$

$$\text{ดังนั้น } \dot{m}(h_1) + q = \dot{m}(h_2) + w \quad (3)$$

$$\text{หรือ } Q - W = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (4)$$

สมการที่ 4 เรียกว่า สมการการไหลแบบต่อเนื่อง (Steady Flow Energy Equation)

$$\text{จากสมการที่ (4)} \quad Q - W = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

ที่ คอมเพรสเซอร์ (จาก 1-2) $Q = 0$ เนื่องจากเป็นกระบวนการอัดไอแบบความร่อนคงที่

$$\text{ดังนั้น } -W = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\text{หรือ } W_{\text{comp}} = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (5)$$

สมการที่ (5) W_{comp} มีค่าเป็น - แสดงว่างานเข้าสู่ระบบ

ที่ เครื่องควบแน่น (จาก 2-3) $W = 0$ เนื่องจากไม่มีงานเข้าสู่ระบบ

$$\text{ดังนั้น } Q_{\text{cond}} = \dot{m}(h_3 - h_2) \quad (6)$$

สมการที่ (6) Q_{cond} มีค่าเป็น - แสดงว่าความร้อนออกจากระบบ

ที่ วาล์วลดความดัน (จาก 3-4) และ W และ Q มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากไม่มีความร้อนและงานเข้าสู่ระบบ

$$\text{ดังนั้น } h_4 = h_3 \quad (7)$$

สมการที่ (7) ใช้เปิดแผนภูมิความดัน-เอนทัลปี หาค่า h_4

ที่ เครื่องระเหย (จาก 4-1) $W = 0$ เนื่องจากไม่มีงานเข้าสู่ระบบ

$$\text{ดังนั้น } Q_{\text{evap}} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (8)$$

สมการที่ (8) Q_{evap} มีค่าเป็น + แสดงว่าความร้อนเข้าสู่ระบบ

ประสิทธิภาพกำลังของระบบทำความเย็น

ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำเย็นจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำน้ำเย็น

(Coefficient of Performance, COP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า COP คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณความร้อนที่ถูกดูดซับโดยเครื่องระเหยต่อกำลังที่ระบบใช้ โดยการวิเคราะห์ค่า COP ของระบบทำความเย็นทำได้โดยใช้แผนภาพความดัน-เอนทัลปี

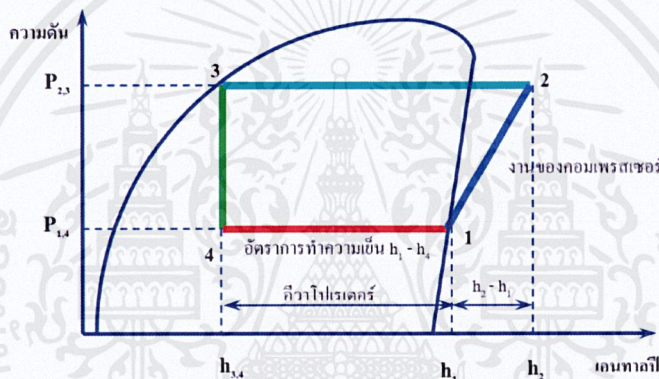
จาก $COP = Q_{\text{evap}}/W_{\text{comp}}$

ดังนั้น $COP = (h_4-h_1)/(h_2-h_1)$ (9)

เมื่อ h_1 = เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์, (kJ/kg)

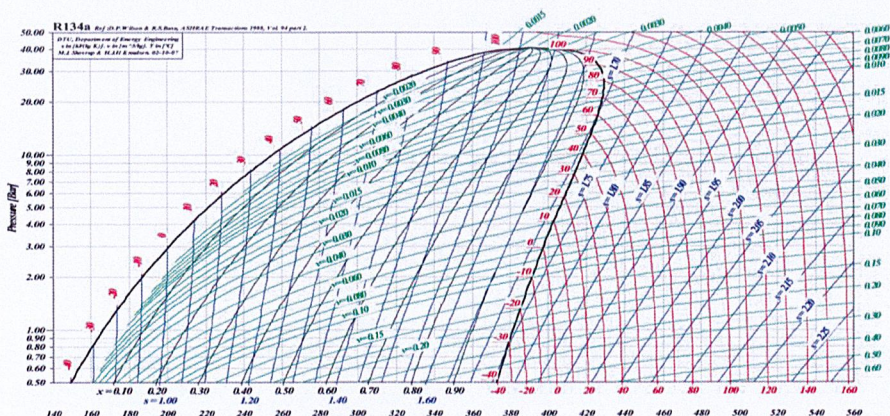
h_2 = เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ออกคอมเพรสเซอร์, (kJ/kg)

h_4 = เอนทัลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องระเหย, (kJ/kg)



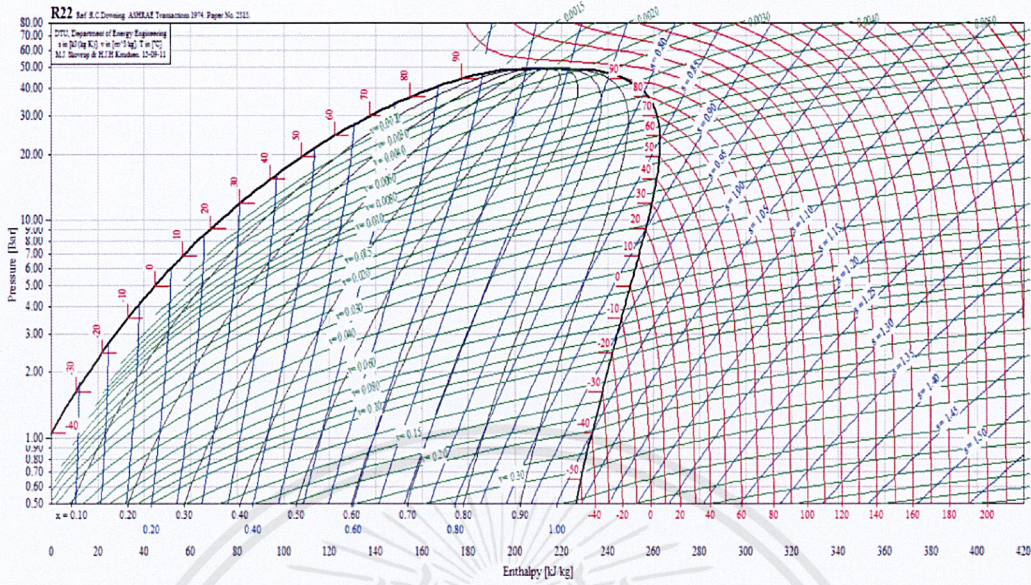
รูปที่ 2-10 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ [5]

ดังนั้น สภาวะ (ความดันและอุณหภูมิ) ของสารทำความเย็นในแต่ละจุดของระบบเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทราบ เพื่อนำไปหาค่าเอนทัลปีจากรายคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ หรือจากแผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็นชนิดที่ใช้ในระบบ ตัวอย่างแผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็น R-134a R-22 และ R-123 แสดงในรูปที่ 2-11, 2-12 และ 2-13 ตามลำดับ

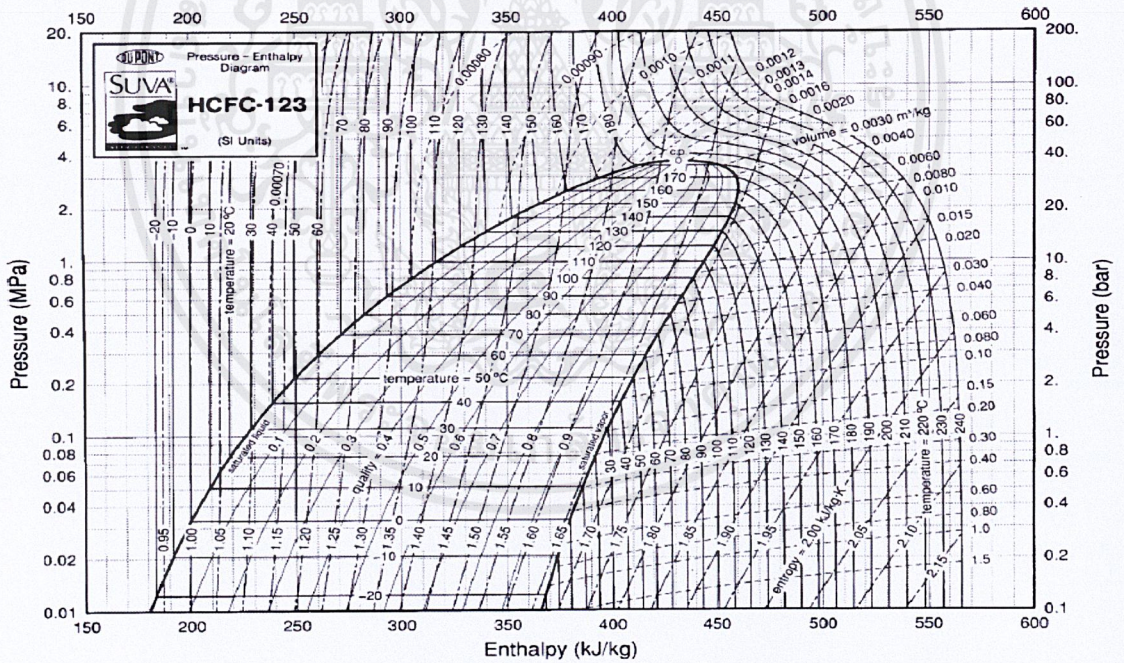


รูปที่ 2-11 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็นชนิด R-134a [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-12 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็นชนิด R-22 [5]



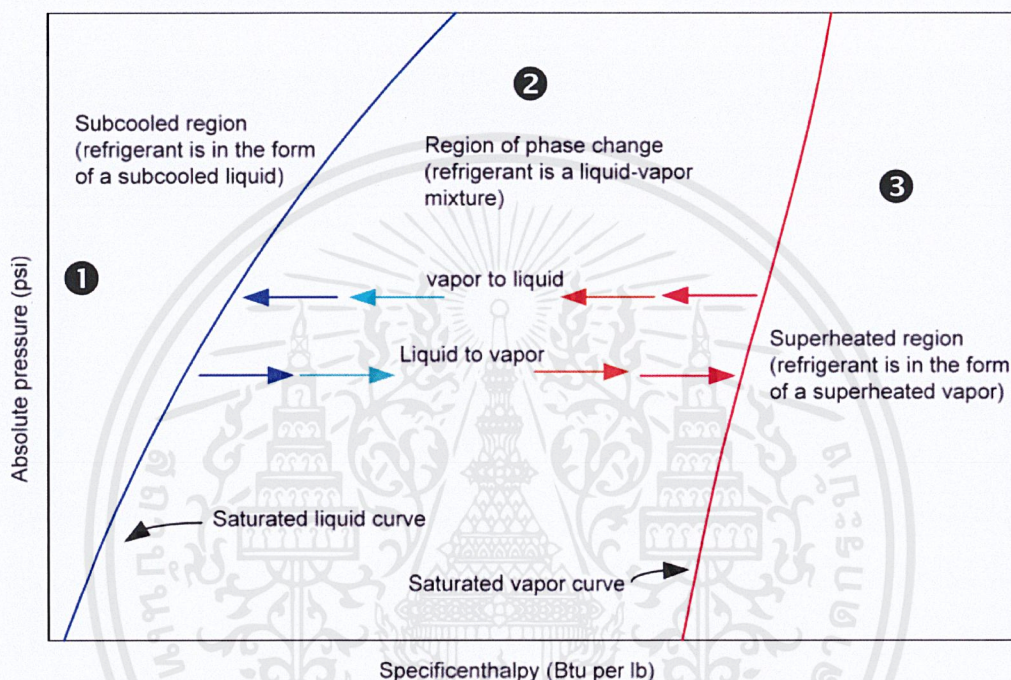
รูปที่ 2-13 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็นชนิด R-123 [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการอ่านค่าแผนภาพ

แผนภาพจะประกอบด้วยเส้นบอกคุณสมบัติต่างๆ ของสารทำความเย็นสามารถแยกเป็นรายละเอียดของเส้นต่างๆ ดังนี้

เส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว (Saturated liquid and Saturated vapor lines) เป็นเส้นที่แบ่งพื้นที่ของแผนภาพเป็น 3 เขต คือ



รูปที่ 2-14 เส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวแบ่งพื้นที่บนแผนภาพออกเป็น 3 เขต [1]

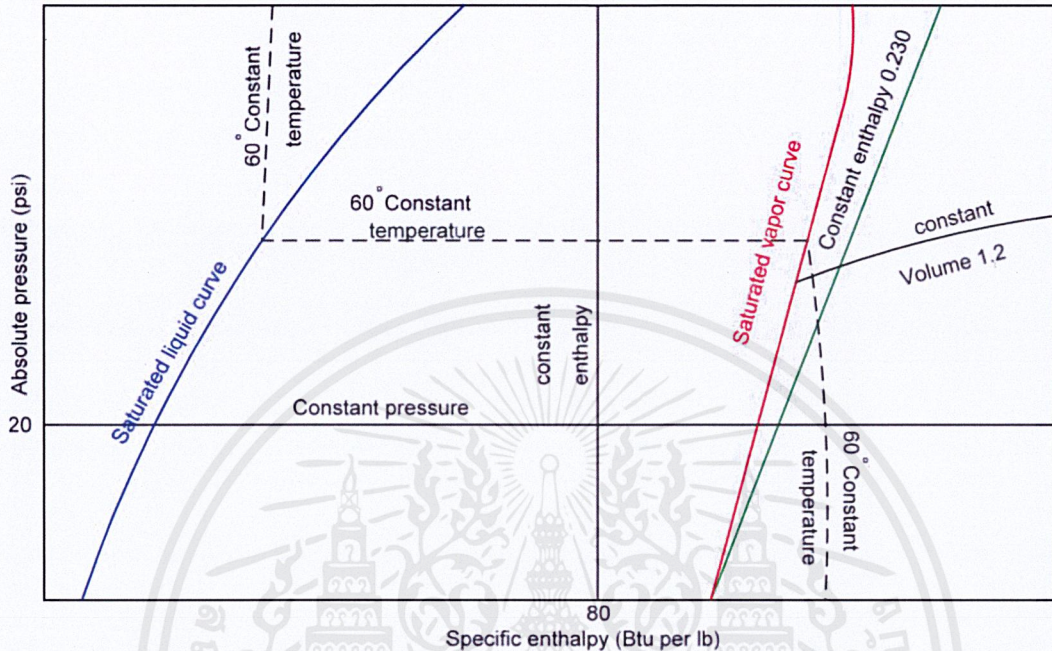
เขตของเหลวเย็นยิ่งยวด (Subcooled region) คือ บริเวณพื้นที่ด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัว สารทำความเย็นที่อยู่ในพื้นที่นี้จะมีสถานะเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ของเหลวเย็นยิ่งยวด (Subcooled liquid)

เขตไอร้อนยิ่งยวด (Superheated region) คือ บริเวณพื้นที่ด้านขวาของเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นที่อยู่ในพื้นที่นี้จะมีสถานะเป็นไอที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ไอร้อนยิ่งยวด (Superheated Vapor)

เขตเปลี่ยนสถานะ (Phase change region) คือ พื้นที่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้จะมีสถานะเป็นสารผสมระหว่างของเหลวและไอ (Liquid-Vapor mixture) หรือเป็นเขตเปลี่ยนสถานะ คือการเปลี่ยนแปลงจากด้านซ้ายไปด้านขวาเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวตามกระบวนการควบแน่น (Condensation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่เชื่อมต่อกันระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวคือ จุดวิกฤต (Critical Point) ซึ่งเป็นจุดที่สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวอิ่มตัวเป็นไอร้อนยิ่งยวด หรือจากไอร้อนยิ่งยวดไปเป็นของเหลวอิ่มตัวได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านช่วง Liquid-Vapor mixture



รูปที่ 2-15 เส้นคุณสมบัติต่างๆ ของสารทำความเย็นบนแผนภาพ [1]

1. เส้นความดันคงที่และเส้นเอนทัลปีคงที่ (Constant pressure and Constant enthalpy lines) คือกลุ่มของเส้นตรงในแนวระดับ รายงานเป็นความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) มีหน่วยเป็น psia, kg/cm² หรือ bar ส่วนเส้นเอนทัลปีคงที่คือกลุ่มของเส้นตรงในแนวตั้ง รายงานเป็นค่าปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในสารทำความเย็นต่อ 1 หน่วยของมวล มีหน่วยเป็น Btu/lb, kcal/kg หรือ kJ/kg

2. เส้นความแห้งคงที่ (Constant dryness lines - x) คือ เส้นซึ่งลากจากจุดวิกฤตลงมาด้านล่าง อยู่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว เป็นเส้นที่บอกเปอร์เซ็นต์ของสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอ (โดยน้ำหนัก) เช่น เส้น $x = 0.1$ หมายความว่า มีสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอ คิดเป็นน้ำหนัก 10% และส่วนที่เป็นของเหลว 90%

3. เส้นอุณหภูมิคงที่ (Constant temperature lines) คือเส้นที่อยู่ในแนวเกือบขนานกับเส้นเอนทัลปี เมื่ออยู่ในเขตของเหลวเย็นยิ่ง เป็นเส้นตรงขนานกับเส้นความดันเมื่ออยู่ในเขตเปลี่ยนสถานะ และจะเปลี่ยนเป็นเส้นโค้งลงทางด้านล่าง เมื่ออยู่ในเขตไอร้อนยิ่งยวด มีหน่วยเป็น °F, °C

4. เส้นเอนโทรปีคงที่ (Constant entropy lines) คือเส้นโค้งซึ่งเอียงขึ้นเป็นมุมสูง อยู่ในเขตไอรอนยิ่งยวด เป็นเส้นบอกอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอนทัลปีต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง 1 องศา มีหน่วยเป็น Btu/lb R, kcal/kg C, kJ/kg K

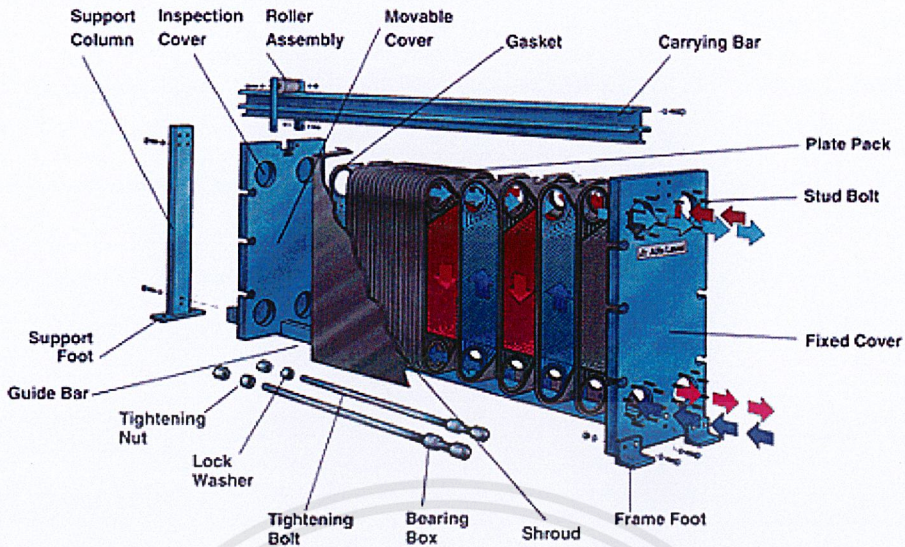
5. เส้นปริมาตรจำเพาะคงที่ (Constant specific volume lines) คือเส้นโค้งที่เอียงขึ้นเป็นมุมใกล้กับแนวนอนอยู่ในไอเซตรอนยิ่งยวด เป็นเส้นที่บอกค่าของปริมาตรของสารทำความเย็นต่อ 1 หน่วยของมวล มีหน่วยเป็น ft³/lb, m³/kg

2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือเครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งเพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในระบบต่าง ๆ ทางวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันกระบวนการอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อน ส่วนใหญ่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นองค์ประกอบ เช่น อุตสาหกรรมน้ำมัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกใช้สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันดิบ สำหรับเปลี่ยนสถานะของไอที่ออกมาจากหอกลับให้เป็นของเหลว และสำหรับการลดอุณหภูมิของน้ำมันหรือก๊าซ ในทำนองเดียวกันอุตสาหกรรมปุ๋ย อุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ก็ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเพิ่มอุณหภูมิ ลดอุณหภูมิ หรือหมุนเวียนความร้อนจากของไหลกลับมาใช้ใหม่

2.3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate heat exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ได้ถูกนักวิจัยชาวอังกฤษ ชื่อ Dr. Richard Seligman ประดิษฐ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1923 เป็นเครื่องแรกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่อมาในปี ค.ศ. 1930 ได้มีการนำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมมาใช้ผลิตแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนและมีการพัฒนาความดันใช้งานเพิ่มขึ้นจากประมาณ 1 kg/cm² เป็น 20 kg/cm² จนกระทั่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นอย่างต่อเนื่อง อาทิ พัฒนารูปแบบใหม่ขึ้นมาสามารถใช้งานได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในปัจจุบันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งในด้านให้ความร้อน ทำน้ำเย็น และการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ ดังเช่นในแขนงงาน อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเหล็ก เป็นต้น



รูปที่ 2-16 ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น [4]

จากรูปที่ 2-16 แสดงส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น โดยประกอบด้วยแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนหลายแผ่น วางเรียงกันต่อขนานกันเป็นชุด ชุดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกประกอบอยู่ระหว่าง เฟรมหน้า (fixed cover) และเฟรมอัด (movable cover) มีท่อเข้าและออกอยู่บนเฟรมหน้า (อาจจะอยู่บนทั้งสองเฟรมได้ ถ้ามีการจัดการไหลในชุดแผ่นมากกว่าหนึ่งรอบ) ชุดแผ่นและเฟรม ยึดกันให้แน่นด้วยชุดสลักยึด (tightening bolt and nut) แขนงอยู่บนคานแขวนบน (carrying bar) และตั้งอยู่บนคานรับล่าง



รูปที่ 2-17 แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน [4]

แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแผ่นโลหะบางที่มีพื้นผิวเป็นคลื่น หรือเป็นลอนบนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน จะมีปะเก็น (gasket) อยู่รอบแผ่นเพื่อป้องกันการรั่วออก และบังคับทิศทางการไหลของของไหล แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนนี้จะใช้เป็นตัวกลางที่กั้นระหว่างของเหลวสองชนิดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกัน โดยขนาดและจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนจะถูกออกแบบให้มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเพียงพอตามวัตถุประสงค์การใช้งาน พื้นที่ผิวของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งเป็นคลื่นหรือลอนแบบแตกต่างกันนั้นเพื่อเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนและทำให้ของเหลวเกิดการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนและลดการเกิดตะกรัน (fouling)

2.3.2 การวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ในการออกแบบหรือเลือกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้งานทางวิศวกรรมจำเป็นต้องมีความสามารถในการคาดคะเนอุณหภูมิตรงทางออกของของไหลร้อนและเย็นและ สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดระหว่างของไหลร้อนและเย็นได้เมื่อทราบอัตราการไหลของมวลของของไหล ในที่นี้จะกล่าวถึงการหาความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก (Log Mean Temperature Difference, or LMTD) และ วิธีประสิทธิผล NTU (Effectiveness-NTU)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยปกติมักใช้เป็นเวลาานานโดยไม่เปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการทำงาน ดังนั้นอาจ สมมุติว่าอุปกรณ์มีการไหลแบบสภาวะคงที่ คุณสมบัติของไหล เช่น อุณหภูมิ ความเร็วที่ทางออกหรือทางเข้ามีค่าคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ ความร้อนจำเพาะของของไหลจะใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าคงที่การนำความร้อนตามแนวแกนของท่อมีไม่ค่อมมีความสำคัญและจะไม่นำมาคิดก็ได้สุดท้ายสมมุติให้ผิวนอกสุดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหุ้มด้วยฉนวนเป็นอย่างดีจนไม่มีการสูญเสียความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อม มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลทั้ง 2 ชนิดเท่านั้น ดังนั้นจากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้ว่า อัตราการถ่ายโอนความร้อนจากของไหลที่ร้อน เท่ากับ อัตราการถ่ายโอนความร้อนของไหลเย็น ดังสมการ

$$\dot{Q} = \dot{m}_c C_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (10)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_h C_{ph} (T_{h,out} - T_{h,in}) \quad (11)$$

เมื่อ ตัวห้อย h และ c สำหรับของไหลร้อนและของไหลเย็น ตามลำดับ และ

\dot{m} = อัตราการไหลของมวล (mass flow rates)

C_{pc} C_{ph} = ความร้อนจำเพาะ (specific heats)

$T_{c,out}$, $T_{h,out}$ = อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางออกจากท่อ (outlet temperature)

$T_{c,in}$, $T_{h,in}$ = อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้าท่อ (inlet temperature)

ในการวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อความสะดวกมักรวมอัตราการไหลของมวลและความร้อนจำเพาะของของไหลเข้าด้วยกันเป็นจำนวนหนึ่งๆที่เรียกว่า “ อัตราความจุความร้อน (Heat Capacity Rate), C ดังนี้

$$C = \dot{m}C_p \quad (12)$$

$$\text{สำหรับของไหลร้อน } C_h = \dot{m}_h C_{ph} \text{ และสำหรับของไหลเย็น } C_c = \dot{m}_c C_{pc} \quad (13)$$

เขียนสมการ (12) และ (13) ในรูปของอัตราความจุความร้อน คือ

$$\dot{Q} = C_c(T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (14)$$

$$\dot{Q} = C_h(T_{h,out} - T_{h,in}) \quad (15)$$

ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเท่ากับอัตราความจุความร้อนของของไหลคูณกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของของไหล อัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถเขียนได้ในรูปของความแตกต่างของอุณหภูมิ ΔT ระหว่างของไหลที่ร้อนและเย็นโดยที่

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (16)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนนี้หาจากกฎการเย็นตัวของนิวตันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U แทนสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h แต่เนื่องจาก ΔT อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามตำแหน่งต่าง ๆ ในอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน จึงมีรูปสมการเป็น

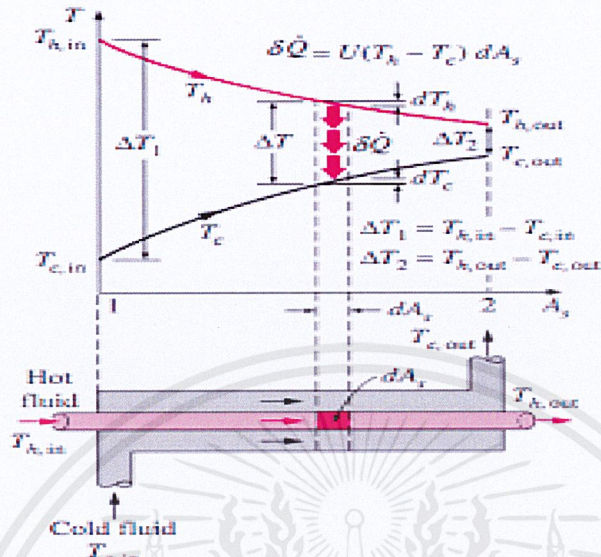
$$\dot{Q} = UA_s(\Delta T_m) \quad (17)$$

เมื่อ A พื้นที่ของการถ่ายเทความร้อน และ ΔT_m คือความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมระหว่างของไหล 2 ชนิด

2.3.3 วิธีหาความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก (The log mean temperature difference (LMTD) method)

อุณหภูมิของของไหลต่าง ๆ ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นปกติแล้วจะมีค่าไม่คงที่ แต่จะแปรค่าจากจุดหนึ่งไปจุดหนึ่งเมื่อมีความร้อนไหลจากของไหลที่ร้อนไปของไหลที่เย็นกว่า ดังนั้นถึงแม้ว่าความต้านทานความร้อนตามทางของไหลจะมีค่าคงที่ก็ตามอัตราการถ่ายเทความร้อนจะแปรค่าตามเส้นการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งนี้เพราะอัตราการถ่ายเทความร้อนจะแปรค่า

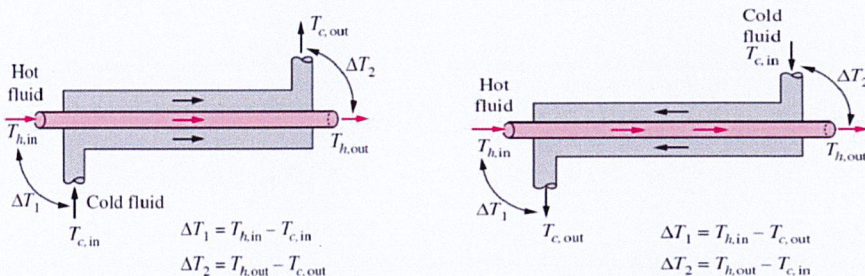
ตามความแตกต่างของอุณหภูมิของไหลร้อนและของ ไหลเย็นที่แต่หน้าตัด ดังภาพที่ 2-18 ระยะห่างระหว่างเส้นกราฟทั้งสองจะเป็นความแตกต่างของอุณหภูมิ ΔT ระหว่างของไหลทั้งสอง



รูปที่ 2-18 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลไหลสวนทางกัน [4]

จากรูปที่ 2-18 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลไหลสวนทางกันเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิ ΔT ระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็นมีค่าสูงที่ทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแต่จะลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลกับทางออกและอุณหภูมิของของเหลวร้อนจะลดลงขณะที่อุณหภูมิของของเหลวเย็นเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิของของเหลวเย็นไม่สามารถเพิ่มสูงเกินอุณหภูมิของของเหลวที่ร้อนได้ไม่ว่าจะอยู่ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนานแค่ไหนก็ตาม

ในการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ นั้นล้วนแต่ ต้องหาโดยการอินทิเกรตจากอัตราการถ่ายเทความร้อน ที่ไหลผ่านพื้นที่ dA ซึ่งเป็นพื้นที่เล็ก ๆ ให้ทั่วพื้นที่ A ที่ใช้ ในการถ่ายเทความร้อนตลอดความยาวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 2-19 แสดงค่า T_1 และ T_2 ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ (a) ไหลทิศทางเดียว (b) ไหลสวนทาง [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{Q} = UA_s(\Delta T_m) \quad \text{เมื่อ} \quad (\Delta T_m) = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (18)$$

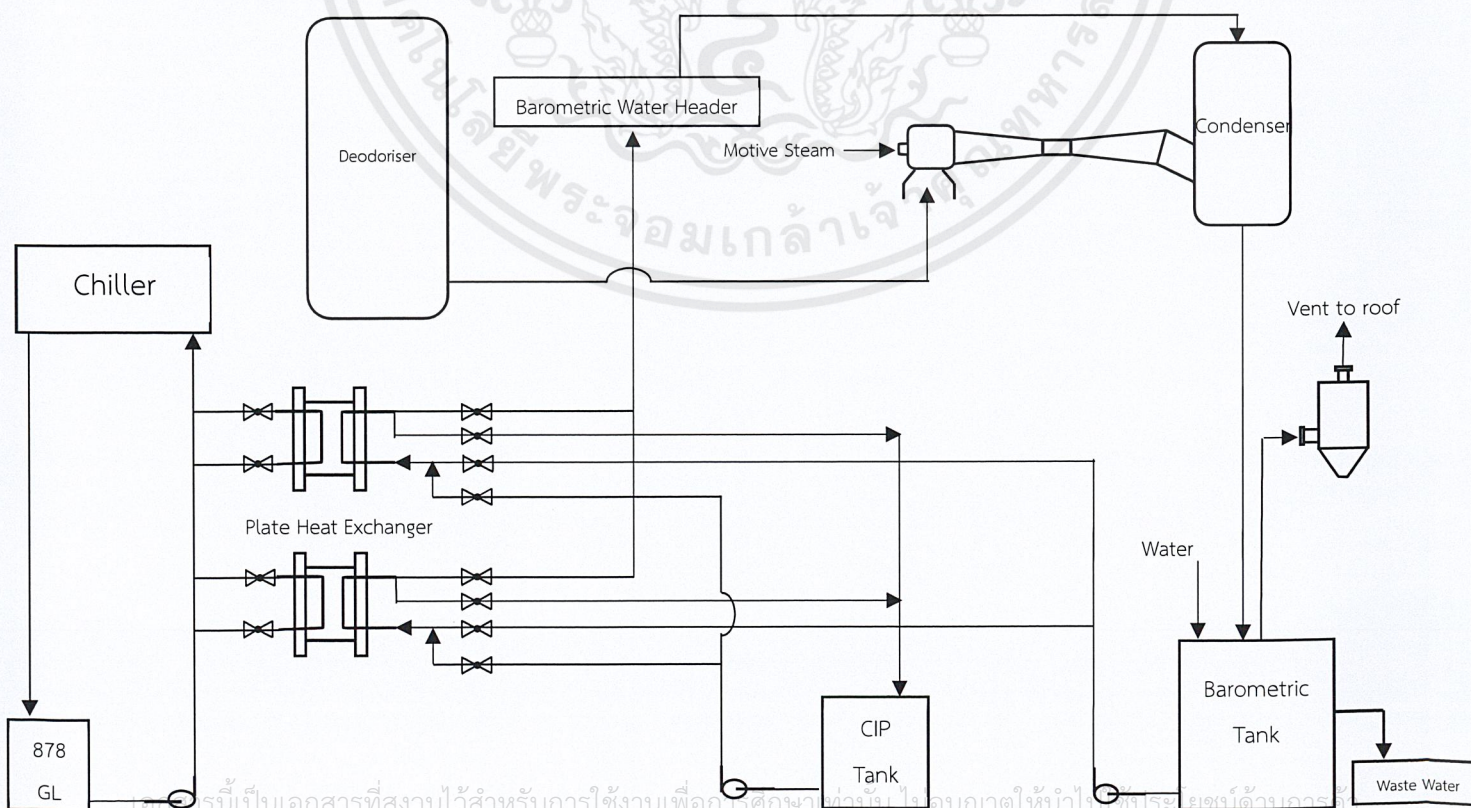
ค่า LMTD มีประโยชน์เพียงแค่ว่าใช้ในการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนอย่างหยาบ ๆ ทั้งนี้เพราะโดยปกติแล้วค่าของ U นี้จะไม่คงที่อย่างไรก็ตามในการออกแบบนั้นมักจะนำเอาค่า U ของหน้าตัดที่อยู่กึ่งกลางปลายทั้งสองของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในการคำนวณโดยถือว่ามีความคงที่ แต่ถ้าหากค่า U นี้แปรค่ามากก็จะต้องคำนวณหาที่ละขั้นตอนโดยการนำค่า U นั้นไปแทนค่าลงในสมการแล้วอินทิเกรตหาอัตราการถ่ายเทความร้อนอีกทีหนึ่ง สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ซับซ้อน เช่น แบบท่อกับเซลล์ที่ของไหลในท่อและในเซลล์ ไหลผ่านเครื่องหลายเที่ยวหรือหลายกลับ หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉากที่ของไหลมีการ คลุกเคล้าปนกัน และไม่คลุกเคล้า จะหาความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีคณิตศาสตร์ได้ยากมาก วิธีที่นิยมใช้ กันก็คือให้ตัดแปลงค่า LMTD ที่จะนำไปใช้งานโดยการคูณด้วยแก้ไข F ที่อยู่ในรูปเส้นกราฟ ในการหาความแตกต่าง ของอุณหภูมิเฉลี่ยที่แท้จริงของอุปกรณ์และเปลี่ยนความร้อนที่ไหลซับซ้อนนั้น ให้คูณค่า LMTD ของอุปกรณ์และ เปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางกันที่ใช้ข้อมูลอุณหภูมิของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ไหลซับซ้อนนั้นด้วย แฟคเตอร์แก้ไข (F) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละระบบ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 ศึกษากระบวนการผลิต

ศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันพืชของบริษัท ทีเอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด เนื่องจากหอกำจัดกลิ่นดำเนินการภายใต้ระบบสุญญากาศ ซึ่งระบบสุญญากาศนี้ดำเนินการโดยใช้ระบบหัวฉีดไอน้ำสุญญากาศแบบหลายชั้น ซึ่งจะดูดอากาศและไอน้ำต่างๆ ที่ไม่ถูกควบแน่นที่หอกำจัดกลิ่น มาควบแน่นที่เครื่องควบแน่นที่ต่ออยู่กับระบบหัวฉีดไอน้ำสุญญากาศแบบหลายชั้นนี้ โดยการควบแน่นที่จุดนี้จะใช้ปั๊ม ปั๊มน้ำจากถังบารอเมตริกไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นที่ถูผลิตโดยเครื่องทำน้ำเย็น ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น เพื่อนำน้ำนี้ไปสเปย์ที่เครื่องควบแน่นเพื่อควบแน่นอากาศและไอน้ำต่างๆที่มากับหัวฉีดไอน้ำสุญญากาศแบบหลายชั้น ซึ่งระบบน้ำที่ไปสเปย์จะเป็นระบบน้ำหมุนเวียน ซึ่งเมื่อดำเนินการไปเรื่อยๆ อุณหภูมิของน้ำที่ไปสเปย์จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีไขมันที่ควบแน่น และผสมมากับน้ำ ทำให้เมื่อไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นแล้ว ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนที่ไม่ได้ประสิทธิภาพ จึงต้องมีการสลับไปใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นอีกตัวที่เตรียมไว้ ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้งานแล้วจะมีการใช้น้ำที่มีสถานะเป็นเบสในการเวียนล้าง โดยน้ำที่ใช้เวียนล้างนี้จะมาจากถัง CIP ดังรูปที่ 3-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 3-1** แผนภาพกระบวนการทำระบบสุญญากาศและผลิตน้ำเย็นที่มีการนำไปใช้

3.2 ศึกษาการใช้กำลังย้อนหลังของเครื่องทำน้ำเย็น

ศึกษาการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นของบริษัท ทีเอส อุตสาหกรรมน้ำมัน จำกัด โดยเริ่มศึกษาข้อมูลในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 (โดยยกเว้นเดือนสิงหาคม เนื่องจากในเดือนดังกล่าวมีการทดลองกลั่นน้ำมันถั่วเหลือง) เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการอ้างอิง ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นในแต่ละเดือน

วันที่	กำลัง (kW)	วันที่	กำลัง (kW)
1		17	
2		18	
3		19	
4		20	
6		21	
7		22	
8		23	
9		24	
10		25	
11		26	
12		27	
13		28	
14		29	
15		30	
16		31	
รวม		เฉลี่ยใน 1 วัน	

ตารางที่ 3-2 ตารางแสดงการใช้กำลังเฉลี่ยในแต่ละวันของแต่ละเดือน

เดือน	กำลังเฉลี่ย (kW)
พฤษภาคม	
มิถุนายน	
กรกฎาคม	
กันยายน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น

จากการศึกษากระบวนการผลิตและศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อเครื่องทำน้ำเย็น พบว่ามีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัวแปร คืออุณหภูมิของน้ำที่เข้ามาที่เครื่องทำน้ำเย็นนี้ และการตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่อง (Set Point)

3.3.1 อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น

จากการศึกษากระบวนการผลิตพบว่า อุณหภูมิของน้ำที่เข้ามีผลโดยตรงต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิที่เข้ามีค่าสูง เครื่องทำน้ำเย็นก็จะมีการใช้กำลังสูงในทางกลับกัน เมื่ออุณหภูมิที่เข้ามีค่าต่ำ เครื่องทำน้ำเย็นก็จะมีการใช้กำลังที่ต่ำลง ซึ่งในกระบวนการผลิตมีอุปกรณ์หลายอุปกรณ์ที่ส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิจุดนี้ แต่ในงานนี้จะศึกษาใน 2 อุปกรณ์ คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger) และ ถังบารอเมตริก (Barometric Tank)

3.3.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นนี้ใช้เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำที่นำไปสเปรย์ (Spray) ที่เครื่องควบแน่นที่ติดอยู่กับหัวฉีดไอน้ำสุญญากาศแบบหลายชั้น ดังนั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนตรงจุดนี้ควรจะมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากมีน้ำมันที่ควบแน่นติดมากับน้ำ ซึ่งน้ำมันนี้เมื่อเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะมีน้ำมันบางส่วนติดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนและสะสมมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง จึงทำให้ต้องมีการเปลี่ยนไปใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีกเครื่องที่เตรียมไว้ ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้งานแล้วจะมีการใช้น้ำที่มีสถานะเป็นเบสในการเวียนล้าง ซึ่งระบบน้ำเวียนล้างจะเป็นระบบน้ำหมุนเวียน ซึ่งจากจุดนี้เองทำให้เกิดการสะสมของไขมันในน้ำเวียนล้าง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการล้างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่สะอาด จึงได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในน้ำทั้งก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ตารางที่ 3-3 ตารางแสดงปริมาณน้ำมันในน้ำ

เวลา	ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างน้ำ (ppm)		ผลต่างของปริมาณของน้ำมันในน้ำ	การเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์
	ก่อนเข้าเครื่อง	หลังเข้าเครื่อง		

เนื่องจากการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นมีผลต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น กล่าวคือ ก่อนจะมีการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอุณหภูมิที่ถังบารอเมทริก (อุณหภูมิขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน) จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด ทำให้เมื่อสลับไปใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีกเครื่องที่เตรียมไว้ แล้วเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นที่ผลิตจากเครื่องทำน้ำเย็น ทำให้น้ำเย็นที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นใช้กำลังมากในช่วงนี้ จึงได้มีการเก็บข้อมูลเรื่องการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามตารางที่ 3-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-4 ตารางแสดงจำนวนการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

วันที่	จำนวนการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (ครั้ง)	วันที่	จำนวนการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (ครั้ง)
1		17	
2		18	
3		19	
4		20	
6		21	
7		22	
8		23	
9		24	
10		25	
11		26	
12		27	
13		28	
14		29	
15		30	
16		31	
รวม		เฉลี่ยใน 1 วัน	

ตารางที่ 3-5 ตารางแสดงจำนวนการสลับการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเฉลี่ยใน 1 วันของแต่ละเดือน

เดือน	จำนวนการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเฉลี่ยใน 1 วันของแต่ละเดือน (ครั้ง)
พฤษภาคม	
มิถุนายน	
กรกฎาคม	
กันยายน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลองหาปริมาณน้ำมันในน้ำ

อุปกรณ์

บีกเกอร์, ขวดเก็บน้ำตัวอย่างขนาด 500 มิลลิลิตร, กระจกตวง, กรวยแยกสาร, เครื่องชั่ง, ตู้อบ, บิวเรตต์, กรวย, กรดซัลฟูริกเข้มข้น 50%, ไอโซโพรพานอล (isopropanol), นอมอลเฮกเซน (n-hexane),

วิธีการทดลอง

1. เก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าและออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
2. ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์และจดบันทึกไว้
3. ตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่กรวยแยกสาร
4. ตวงกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 50% ปริมาตร 5 มิลลิลิตรใส่ในกรวยแยกสาร
5. ตวงไอโซโพรพานอล (isopropanol) ปริมาตร 30 มิลลิลิตรผสมกับนอมอลเฮกเซน (n-hexane) 70 มิลลิลิตร ในกระจกตวง จากนั้นนำไปเติมในกรวยแยกสาร
6. จะได้สารผสมระหว่างน้ำตัวอย่างและสารเคมีที่เติมลงไปในกรวยแยกสาร
7. ปิดฝากรวยแยกสารและเขย่า จากนั้นทิ้งไว้ 30 วินาที จะเห็นน้ำมันและน้ำแยกชั้นกันอย่างชัดเจน
8. แยกส่วนของน้ำมันออกจากกรวยแยกสารโดยการไขน้ำแยกออกและไขน้ำมันใส่บีกเกอร์ที่เตรียมไว้
9. นำน้ำที่เหลือจากข้อ 8) ไปทำการทดลองตามข้อ 5.-8.) เพิ่ม 2 ครั้ง
10. นำบีกเกอร์ที่มีน้ำมันไปต้มเพื่อแยกนอมอลเฮกเซนออกในตู้อบควัน รอจนกว่าจะเห็นส่วนของน้ำมันชัดเจน
11. นำบีกเกอร์ใน ข้อ 10) ไปอบที่ตู้อบ 105 °C 60 นาที และนำไปชั่งน้ำหนัก
12. คำนวณหาปริมาณน้ำมันในน้ำจากสมการที่.(19)

$$\text{ปริมาณน้ำมันในน้ำ (ppm)} = \frac{(\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังทดลอง}) - (\text{น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนทดลอง})}{500} \times 10^6 \quad (19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 ถังบารอเมทริก

เนื่องจากอุณหภูมิที่ถังบารอเมทริกมีผลโดยตรงต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิในถังบารอเมทริกสูงเมื่อไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นที่ถูกผลิตโดยเครื่องทำน้ำเย็น จะทำให้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสูงตามไปด้วย จึงได้มีการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิที่ถังบารอเมทริกนี้ ตามตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ถังบารอเมทริกในแต่ละชั่วโมง

เวลา	อุณหภูมิ (°C)	เวลา	อุณหภูมิ (°C)
00:00		12:00	
01:00		13:00	
02:00		14:00	
03:00		15:00	
04:00		16:00	
05:00		17:00	
06:00		18:00	
07:00		19:00	
08:00		20:00	
09:00		21:00	
10:00		22:00	
11:00		23:00	
อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)			

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น อุณหภูมิของน้ำในถังบารอเมทริกนั้นมีผลโดยตรงต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งถังบารอเมทริกนี้เองนอกจากจะมีการรับน้ำและน้ำมันที่มีการควบแน่นและตกลงมาสู่ถังแล้ว ยังมีการใช้น้ำประปาเติมในถังนี้ ซึ่งน้ำประปานั้นเองมีอุณหภูมิที่สูง ทำให้เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ส่งผลต่ออุณหภูมิในถังบารอเมทริก ดังนั้นจึงมีการจัดบันทึกการใช้น้ำประปานั้นเพื่อนำมาวิเคราะห์หา

แนวทางเพื่อที่จะทำการลดการใช้น้ำประปาซึ่งจะส่งผลดีคือสามารถลดน้ำประปาและสามารถลดอุณหภูมิของน้ำในถังบารอเมทริกได้

ตารางที่ 3-7 ตารางแสดงปริมาณการใช้น้ำประปาในการเติมถังบารอเมทริก

วันที่	ปริมาณน้ำที่เติม (m ³)	วันที่	ปริมาณน้ำที่เติม (m ³)
1		17	
2		18	
3		19	
4		20	
6		21	
7		22	
8		23	
9		24	
10		25	
11		26	
12		27	
13		28	
14		29	
15		30	
16		31	
รวม		เฉลี่ยใน 1 วัน	

3.3.2 การตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น

การตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นมีผลโดยตรงต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น กล่าวคือ ในน้ำที่เข้าที่มีอุณหภูมิเท่ากัน การตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำขาออกที่ต่ำกว่าจะทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีการใช้กำลังมากกว่าการตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำขาออกที่สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-8 ตารางแสดงการตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นกับกำลังที่ใช้

วันที่	อุณหภูมิที่ตั้งค่า (°C)	กำลัง (kW)	วันที่	อุณหภูมิที่ตั้งค่า (°C)	กำลัง (kW)
1			16		
2			17		
3			18		
4			19		
5			20		
6			21		
7			22		
8			23		
9			24		
10			25		
11			26		
12			27		
13			28		
14			29		
15			30		

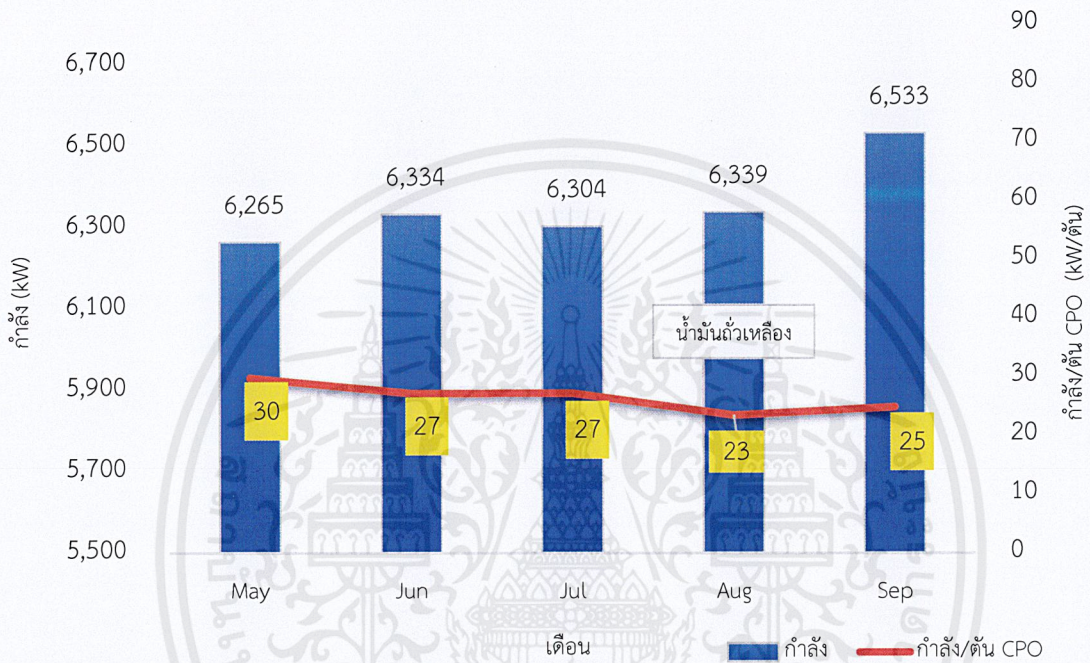
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

4.1 การใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น

การใช้กำลังเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นใน 1 วัน ของแต่ละเดือน



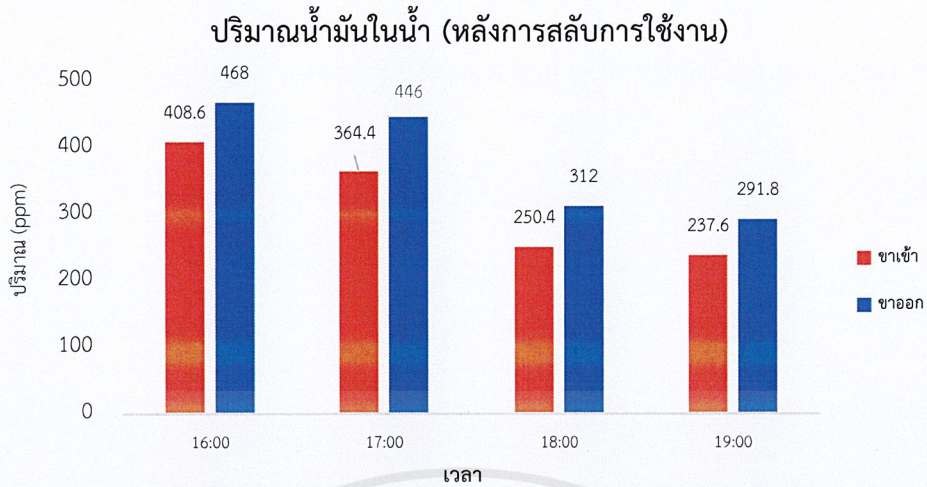
รูปที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นต่อ 1 วัน ในแต่ละเดือน

จากรูปที่ 4-1 แสดงค่าเฉลี่ยการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นต่อ 1 วัน ในแต่ละเดือน โดยในเดือนพฤษภาคม, มิถุนายน, กรกฎาคม, สิงหาคม และกันยายน มีค่าเฉลี่ยการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นต่อ 1 วันอยู่ที่ 6,265, 6,334, 6,304, 6,339 และ 6,533 kW ตามลำดับ และเมื่อคิดปริมาณการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นเทียบกับปริมาณของน้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil : CPO) ที่นำมาผลิตน้ำมันปาล์มต่อ 1 วัน พบว่ามีค่า 30 27 27 23 และ 25 kW/ตัน CPO

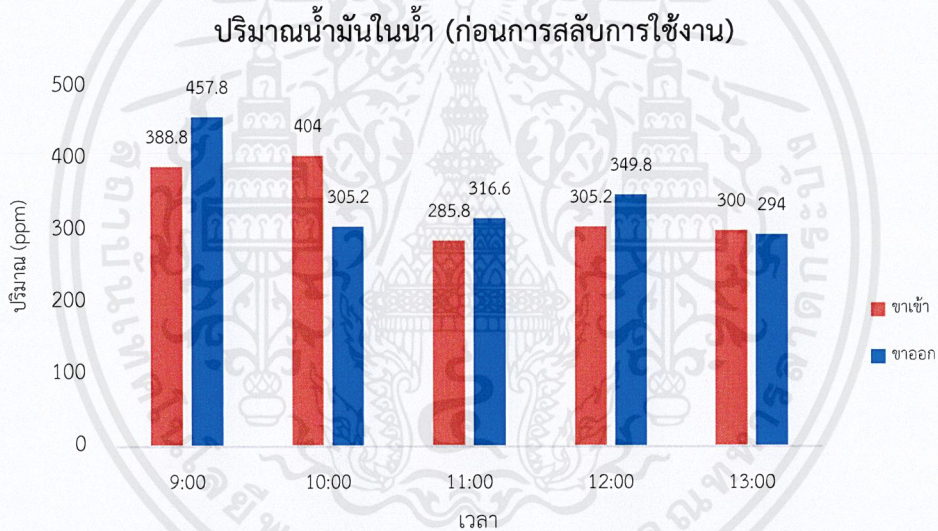
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในน้ำ

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในน้ำ มีการเก็บตัวอย่างน้ำ 2 จุด คือเก็บน้ำก่อนที่จะมีการผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น และเก็บน้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น โดยมีการเก็บในช่วงที่เพิ่งจะมีการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีกเครื่อง และในช่วงก่อนที่จะมีการสลับไปใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีกเครื่องที่เตรียมไว้ โดยผลการวิเคราะห์หาปริมาณของทั้ง 2 ช่วงนี้แสดงในรูปที่ 4-2 และ 4-3 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-2 ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างน้ำของน้ำในช่วงที่เพิ่งจะมีการสลับไปใช้งานเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นอีกเครื่อง

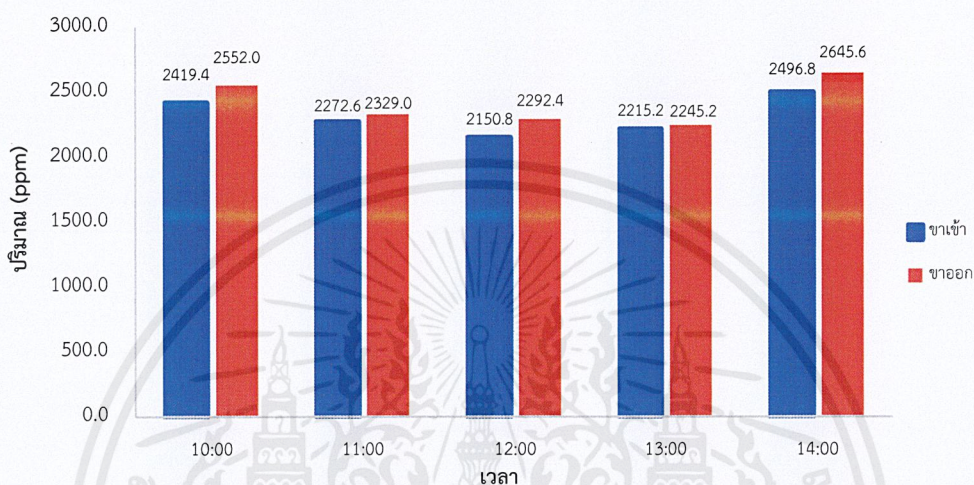


รูปที่ 4-3 ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างน้ำของน้ำในช่วงก่อนที่จะมีการสลับการใช้งานเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

จากรูปที่ 4-2 พบว่าปริมาณน้ำมันในน้ำของน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นมีปริมาณมากกว่าปริมาณน้ำมันในน้ำของน้ำก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น นั่นคือมีน้ำมันหรือไขมันติดออกมาในน้ำ ซึ่งน้ำมันหรือไขมันนี้อาจจะมาจากการสะสมของน้ำมันหรือไขมันที่แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากมีการใช้น้ำเย็นล้างนี้ เวียนล้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซ้ำๆ โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายในช่วงเวลาที่เหมาะสม และจากภาพที่ 4-3 จะพบว่าจะมีทั้งช่วงที่ปริมาณน้ำมันในน้ำของน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีปริมาณมากกว่าและน้อยกว่าของน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน นั่นคือมีการสะสมของไขมันที่มา

กับน้ำที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและมีการที่ไขมันหลุดออกมากับน้ำที่ออกมาจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ด้วย ซึ่งไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน ดังนั้นจึงได้มีการเปลี่ยนน้ำเวียนล้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และมีการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในน้ำตามรูปแบบที่ได้ทำมาแล้ว ผลการหาปริมาณน้ำมันในน้ำแสดงในรูปที่ 4-4

ปริมาณน้ำมันในน้ำ (หลังการสลับการใช้งาน)



รูปที่ 4-4 ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างน้ำของน้ำในช่วงที่เพิ่งจะมีการสลับไปใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นอีกเครื่อง

จากรูปที่ 4-4 แสดงปริมาณน้ำมันในน้ำทั้งก่อนและหลังที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นที่มีการเปลี่ยนน้ำเวียนล้างและใช้ล้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ใช้ทดลองนี้ พบว่าปริมาณของน้ำมันในน้ำที่ออกจากเครื่องมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณของน้ำมันในน้ำก่อนเข้าเครื่อง นั่นคือการเปลี่ยนน้ำเวียนล้างมีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำมันในจุดนี้ และจะส่งผลต่อจำนวนการสลับการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ตารางที่ 4-1 ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ ในน้ำของก่อนและหลังการเปลี่ยนน้ำเวียนล่าง

ชั่วโมงที่	การเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ (ก่อนการเปลี่ยนน้ำเวียนล่าง)	การเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ (หลังการเปลี่ยนน้ำเวียนล่าง)
1	14.54 %	5.48 %
2	22.39 %	2.48 %
3	24.60 %	6.58 %
4	22.81 %	1.35 %
5		5.96 %

$$\text{การเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันในน้ำขาออก-ปริมาณน้ำมันขาเข้า}}{\text{ปริมาณน้ำมันขาเข้า}} \times 100 \quad (20)$$

จากรูปที่ 4-3 และ 4-4 เมื่อนำมาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์โดยใช้สมการที่ (20) พบว่าก่อนการเปลี่ยนเวียนล่างมีค่าสูงกว่าหลังจากมีการเปลี่ยนน้ำเวียนล่างแล้ว นั่นคือมีน้ำมันและไขมันติดอยู่ที่แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยลง จึงส่งผลโดยตรงต่อจำนวนการสลับการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจำนวนการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งก่อนการเปลี่ยนน้ำเวียนล่างและหลังการเปลี่ยนน้ำเวียนล่างได้แสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 จำนวนการสลับการใช้งานเฉลี่ยต่อ 1 วัน ในแต่ละเดือนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เดือน	จำนวนการสลับการใช้งานเฉลี่ยต่อ 1 วัน ในแต่ละเดือนของเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (ครั้ง)
พฤษภาคม	2.82
มิถุนายน	3.04
กรกฎาคม	2.48
สิงหาคม	-
กันยายน	2.82
ตุลาคม	2.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

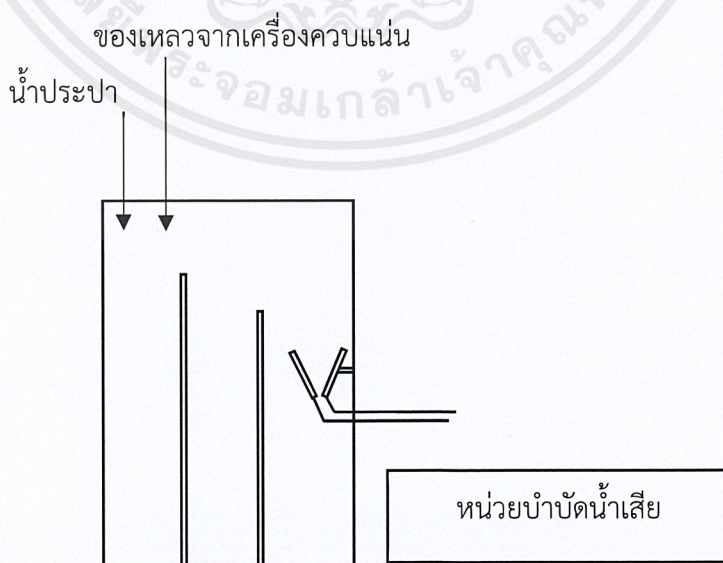
จากตารางที่ 4-2 ข้อมูลในเดือนตุลาคมคือข้อมูลหลังจากที่มีการเปลี่ยนน้ำเวียนล้างแล้ว ทำให้มีจำนวนการสลับการใช้งานเฉลี่ยต่อ 1 วันในเดือนนี้มีค่าที่ต่ำกว่าในเดือนอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยในการสลับการใช้งานประมาณ 2 ครั้งต่อ 1 วัน โดยค่าในเดือนอื่นๆ ได้แสดงในตาราง ซึ่งจากจุดนี้เองสามารถลดการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นลงได้

4.3 การลดน้ำประปาที่เติมในถังบารอเมทริก

ตารางที่ 4-3 ปริมาณน้ำประปาเฉลี่ยที่เติมที่ถังบารอเมทริกใน 1 วัน ในแต่ละเดือน

เดือน	ปริมาณน้ำเติมเฉลี่ย (m ³)
พฤษภาคม	73.44
มิถุนายน	73.04
กรกฎาคม	66.32
สิงหาคม	56.30
กันยายน	69.82

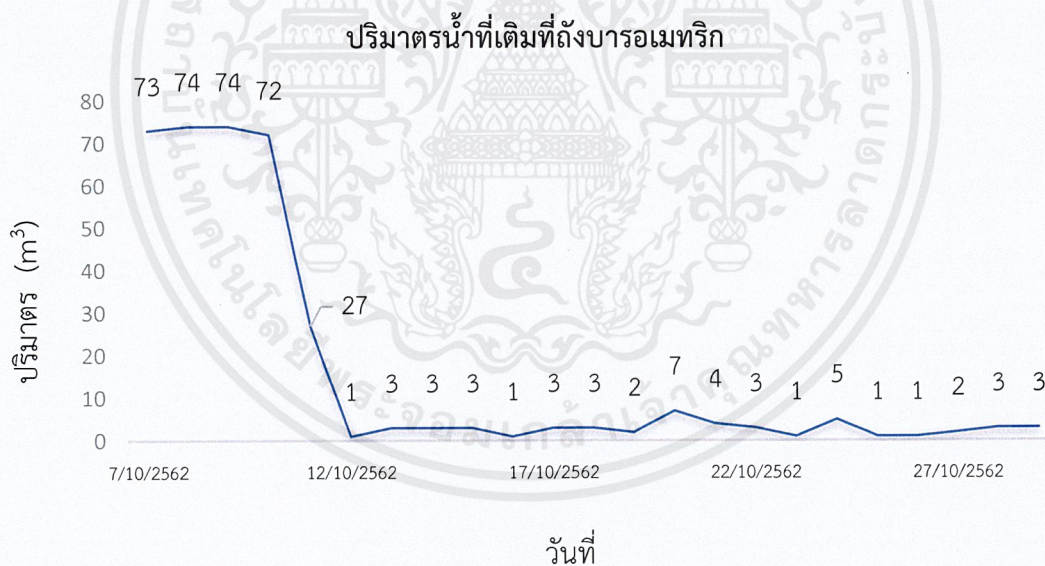
จากตารางที่ 4-3 ปริมาณน้ำประปาที่เติมในถังบารอเมทริกใน 1 วัน โดยน้ำประปานั้นได้มีการเติมมาตลอดเวลาตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงช่วงก่อนที่จะมีการทดลองลดน้ำประปานั้น โดยเฉลี่ยแล้วมีการเติมน้ำประปานั้นประมาณ 70 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (โดยในเดือนสิงหาคมได้มีการทดลองกลั่นน้ำมันถั่วเหลือง)



รูปที่ 4-5 ระบบของถังบารอเมทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

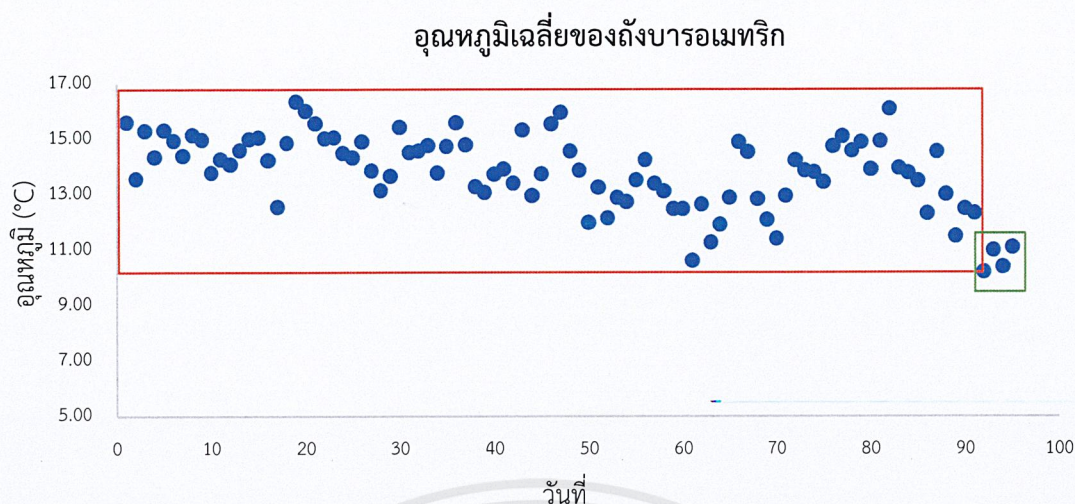
จากรูปที่ 4-5 ถึงบารอเมทริกเป็นถังที่รับน้ำและไขมันที่ถูกควบแน่นจากเครื่องควบแน่นที่ติดอยู่กับระบบหัวฉีดไอน้ำสุญญากาศแบบหลายชั้น โดยระบบของถังบารอเมทริกนี้จะแบ่งภายในออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งจะใช้การล้นของของเหลวจากส่วนที่ 1 ไปส่วนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ และสุดท้ายของเหลวที่ล้นนี้จะถูกส่งไปที่บ่อบำบัดน้ำเสีย ด้วยระบบนี้เอง น้ำประปาที่เติมเข้าไปนั้นจึงมีโอกาที่จะลดได้ เนื่องจากของเหลวในถังนั้นเต็มตลอดและมีของเหลวที่เติมมาจากส่วนของเครื่องควบแน่นอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ระบบของถังบารอเมทริกนี้ยังสามารถดำเนินการได้ และเนื่องจากในอดีตที่ผ่านมาทางโรงงานมีการผลิตน้ำมันพืชในเกรดพลังงานซึ่งจะมีไขมันที่ติดมาที่ระบบหัวฉีดไอน้ำสุญญากาศแบบหลายชั้นมาก ทำให้ต้องเปิดน้ำตรงจุดนี้ช่วยเพื่อที่จะเป็นการช่วยทำให้ไขมันในระบบน้อยลง แต่ในปัจจุบันทางโรงงานมีการกลั่นน้ำมันเกรดบริโภคจึงทำให้น้ำมันที่ติดมากับระบบหัวฉีดไอน้ำสุญญากาศแบบหลายชั้นนั้นน้อยลง จากเหตุผลนี้เองจึงได้มีการทดลองปิดน้ำประปານี้ เพื่อที่จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายเรื่องการซื้อน้ำและลดค่าใช้จ่ายเรื่องการบำบัดน้ำเสียลง และเป็นการลดอุณหภูมิของของเหลวในถังบารอเมทริกนี้ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำประปานั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28-31 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าของเหลวที่มาจากเครื่องควบแน่น จึงทำให้น้ำในถังนี้มีอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4-6 การทดลองลดปริมาณน้ำประปาที่เติมถังบารอเมทริก

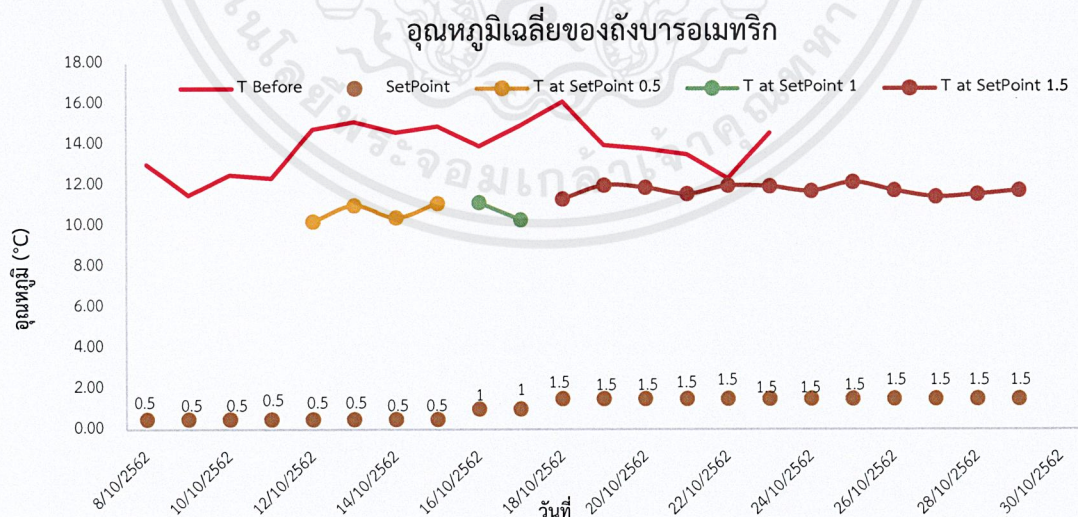
จากรูปที่ 4-6 มีการทดลองการปิดน้ำประปาที่เติมที่ถังบารอเมทริกในวันที่ 11 ตุลาคม 2562 โดยมีการทดลองหยุดไปจนมีน้ำประปาที่เติมน้ำในถังเหลือ 27 ลูกบาศก์เมตร และพบว่ายังสามารถลดน้ำประปานั้นได้อีก ในวันที่ 12 ตุลาคม 2562 จึงได้มีการปิดน้ำประปาที่ใช้เติมในถังนี้ และมีการติดตามจนถึงวันที่ 29 ตุลาคม 2562 พบว่าถังนี้ยังสามารถดำเนินการได้ในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-7 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของถังบารอเมทริกในช่วงก่อนปรับสภาวะและระหว่างปรับสภาวะในกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 4-7 จะพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของถังบารอเมทริกก่อนการปรับสภาวะนั้นอยู่ในช่วง 12-16 องศาเซลเซียส และเมื่อมีการปรับสภาวะในกระบวนการผลิต คือ มีการปรับลดน้ำประปาที่เติม และมีการปรับลดความดันของไอน้ำตัวพาในระบบหัวฉีดไอน้ำสุญญากาศแบบหลายชั้น อุณหภูมิเฉลี่ยของถังบารอเมทริกตกลงมาอยู่ในช่วง 11-12 องศาเซลเซียส ซึ่งจากจุดนี้เองเมื่ออุณหภูมิในถังนี้ลดลง จึงส่งผลให้อุณหภูมิให้อุณหภูมิที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นลดลงด้วย จึงได้มีการปรับการตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นได้

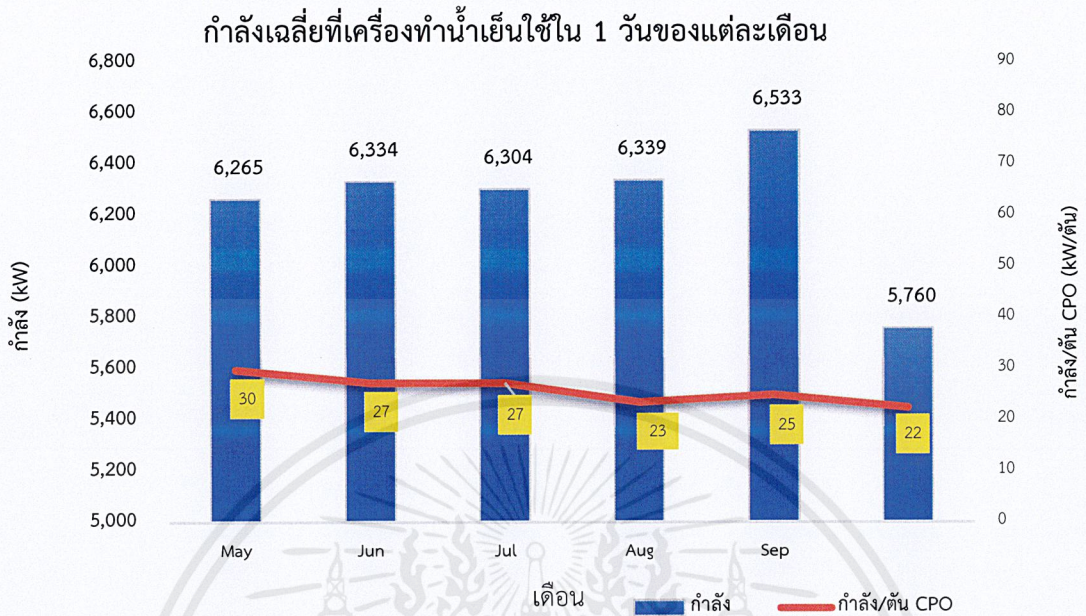


รูปที่ 4-8 อุณหภูมิของถังบารอเมทริกเมื่อมีการปรับการตั้งค่าของอุณหภูมิน้ำขาออก

จากรูปที่ 4-8 มีการปรับการตั้งค่าอุณหภูมิน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นโดยมีการปรับจาก 0.5 เป็น 1 และ 1.5 องศาเซลเซียสตามลำดับ และปรับคงที่ไว้ที่ 1.5 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สรุปผลการดำเนินการ



รูปที่ 4-9 แสดงการใช้กำลังเฉลี่ยใน 1 วันของเครื่องทำน้ำเย็นในแต่ละเดือน

จากรูปที่ 4-9 กำลังเฉลี่ยที่เครื่องทำน้ำเย็นใช้ใน 1 วัน ในเดือนพฤษภาคม, มิถุนายน, กรกฎาคม, สิงหาคม และกันยายน มีค่าเฉลี่ยคือ 6,359 kW และหลังจากที่มีการปรับสภาวะในกระบวนการผลิตคือ มีการเปลี่ยนน้ำเวียนล้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น, ปรับลดน้ำประปาที่เติมที่ถังบารอเมทริก และมีการปรับการตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกที่เครื่องทำน้ำเย็นจาก 0.5 องศาเซลเซียส เป็น 1.5 องศาเซลเซียส เครื่องทำน้ำเย็นมีการใช้กำลังเฉลี่ยใน 1 วัน อยู่ที่ 5,760 kW ซึ่งสามารถลดการใช้กำลังไป 599 kW ต่อวันหรือ 215,753 kW ต่อปี เมื่อคิดเป็นเงินสามารถลดได้ 1,948 บาทต่อวันหรือ 701,196 บาทต่อปี และสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการหยุดการเติมน้ำที่ถังบารอเมทริก ซึ่งแบ่งเป็นค่าใช้จ่ายจากการซื้อน้ำ คิดเป็น 1,120 บาทต่อวันหรือ 403,200 บาทต่อปี และค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย คิดเป็น 1,400 บาทต่อวันหรือ 504,000 บาทต่อปี และเมื่อคิดทั้งหมดสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 1.6 ล้านบาทต่อปี

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินการ และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

โครงการสหกิจศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นและปรับสถานะในกระบวนการผลิตเพื่อลดการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น จากการศึกษาและวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นและการตั้งค่าของอุณหภูมิน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นส่งผลโดยตรงต่อการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งในกระบวนการผลิตมีอุปกรณ์ที่มีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นและถังบารอเมทริก ดังนั้นจึงมีแนวทางที่จะลดการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น 3 แนวทางคือ (1) ลดจำนวนครั้งการสลับการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (2) ลดอุณหภูมิของถังบารอเมทริก และ (3) ปรับการตั้งค่าของอุณหภูมิน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น จากการทดลองเก็บน้ำตัวอย่างที่เข้าและออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณน้ำมันในน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่ามากกว่าน้ำที่เข้าเมื่อไปคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์พบว่ามีค่าประมาณ 20% ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีน้ำมันติดอยู่ในระบบซึ่งเกิดจากการเวียนล้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ไม่สะอาด จึงได้มีการเปลี่ยนน้ำที่ใช้สำหรับเวียนล้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้และทดลองซ้ำพบว่า การเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ลดลงเหลือประมาณ 5% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนน้ำเวียนล้านี้มีผลโดยตรงต่อปริมาณไขที่เหลืออยู่ในระบบซึ่งส่งผลต่อจำนวนครั้งการสลับการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยหลังจากการเปลี่ยนน้ำเวียนล้านี้ การสลับการใช้งานลดลงเหลือ 2 ครั้งต่อวัน นอกจากนี้ได้มีการปรับลดน้ำที่เติมที่ถังบารอเมทริกเพื่อเป็นการลดอุณหภูมิในถังบารอเมทริกซึ่งหลังจากปรับลดน้ำแล้วกระบวนการผลิตยังดำเนินการอยู่ในสภาวะปกติ สุดท้ายมีการปรับการตั้งค่าของอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นจาก 0.5 องศาเซลเซียสเป็น 1.5 องศาเซลเซียส

ซึ่งจากการปรับสถานะในกระบวนการผลิต เครื่องทำน้ำเย็นนี้มีการใช้กำลังเฉลี่ยลดลงจาก 6,360 กิโลวัตต์ต่อวัน เหลือ 5,760 กิโลวัตต์ต่อวัน ซึ่งสามารถลดการใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นไปได้ 599 กิโลวัตต์ต่อวัน หรือคิดเป็นเงินที่ลดลง 1,950 บาทต่อวัน หรือประมาณ 700,000 บาทต่อปี และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อน้ำที่เติมถังบารอเมทริกและค่าบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้นที่ถังบารอเมทริกคิดเป็นเงิน 900,000 บาทต่อปี ซึ่งคิดเป็นเงินที่ประหยัดทั้งหมด 1.6 ล้านบาทต่อปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ติดตั้งอินเวอร์เตอร์ (Invertor) ที่เครื่องอัดอากาศของเครื่องทำน้ำเย็น
2. ศึกษาและวิเคราะห์ถึงสถานะที่ทำให้ไอต่างๆติดมาที่ระบบหัวฉีดไอน้ำสุญญากาศแบบหลายชั้นน้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบอากาศอัด (2561). **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(โรงงาน).**
กรุงเทพฯ
- [2] เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น. เอกสารเผยแพร่ความรู้เทคโนโลยีประหยัดพลังงานการ
ไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [Online]. Available : www2.dede.go.th/bhrd/.htm
- [3] ชาคกริต ทองอุไร และคณะ. (2549). การศึกษาเบื้องต้นในกระบวนการกลั่นลำดับส่วนเมทิลเอ
สเตอร์กรดไขมันปาล์ม โครงการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [4] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น/Plate heat exchanger.
[Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0929/>
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น-plate heat exchanger
- [5] ระบบทำความเย็น. (2553). **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(อาคาร).** กรุงเทพฯ. กรมพัฒนา
พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน
- [6] รัชณี เองปัญญาเลิศ. (2539). เทคโนโลยีใหม่การปรับสภาวะอากาศ. กรุงเทพฯ. สมาคมวิศวกรรม
ปรับอากาศแห่งประเทศไทย.
- [7] ศิริกานต์ สัตถวิชัยพิชญ์. (2558). เทคโนโลยีการกลั่นน้ำมันปาล์มบริโภค. ปทุมธานี. ศูนย์
เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- [8] หลักการ/การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็นและปรับอากาศ. (2547). ตำราฝึกอบรม
ผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ)ด้านความร้อน. กรุงเทพฯ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและ
อนุรักษ์พลังงาน
- [9] อนรรฆอร ศรีไสยเพชร. Lipid. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- [10] Y.B. Che Mana, T. Haryatia, H.M. Ghazalib, and B.A. Asbia. (1999). **Composition
and Thermal Profile of Crude Palm Oil and Its Products.** Departments of
Food Technology and Biotechnology, University Putra Malaysia

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในน้ำก่อนการเปลี่ยนน้ำเวียนล้าง

ตารางที่ ก.1 ก่อนการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เวลา	ปริมาณน้ำมันในน้ำ ขาเข้า (ppm)	ปริมาณน้ำมันใน น้ำขาออก (ppm)	ผลต่างของปริมาณ น้ำมันในน้ำ	การเปลี่ยนแปลง สัมพัทธ์
09:00	388.8	457.8	69	17.75
10:00	404	305.2	-98.8	-24.46
11:00	285.8	316.6	30.8	10.78
12:00	305.2	349.8	44.6	14.61
13:00	300	294	-6	2

ตารางที่ ก.2 หลังการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เวลา	ปริมาณน้ำมันในน้ำ ขาเข้า (ppm)	ปริมาณน้ำมันใน น้ำขาออก (ppm)	ผลต่างของปริมาณ น้ำมันในน้ำ	การเปลี่ยนแปลง สัมพัทธ์
16:00	408.6	468	59.4	14.54
17:00	364.4	446	81.6	22.39
18:00	250.4	312	61.6	24.60
19:00	237.6	291.8	54.2	22.81

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในน้ำก่อนการเปลี่ยนน้ำเวียนล้าง

ตารางที่ ก.3 หลังการสลับการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เวลา	ปริมาณน้ำมันในน้ำ ขาเข้า (ppm)	ปริมาณน้ำมันใน น้ำขาออก (ppm)	ผลต่างของปริมาณ น้ำมันในน้ำ	การเปลี่ยนแปลง สัมพัทธ์
10:00	2419.4	2552	132.612	5.48
11:00	2272.6	2329	56.4	2.48
12:00	2150.8	2292.4	141.6	6.58
13:00	2215.2	2245.2	30	1.35

ภาคผนวก ข

อุณหภูมิเฉลี่ยของถังบารอเมทริก

ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันของถังบารอเมทริก

วันที่	อุณหภูมิ (°C)	วันที่	อุณหภูมิ (°C)	วันที่	อุณหภูมิ (°C)
1/5/2562	15.62	17/6/2562	13.15	14/7/2562	13.53
2/5/2562	13.58	18/6/2562	13.67	15/7/2562	14.26
3/5/2562	15.31	19/6/2562	15.43	16/7/2562	13.41
4/5/2562	14.36	20/6/2562	14.52	17/7/2562	13.13
5/5/2562	15.34	21/6/2562	14.58	18/7/2562	12.49
6/5/2562	14.95	22/6/2562	14.78	19/7/2562	12.49
7/5/2562	14.41	23/6/2562	13.79	20/7/2562	10.62
8/5/2562	15.16	24/6/2562	14.74	21/7/2562	12.65
9/5/2562	14.99	25/6/2562	15.60	22/7/2562	11.28
10/5/2562	13.80	26/6/2562	14.80	23/7/2562	11.92
11/5/2562	14.28	27/6/2562	13.29	24/7/2562	12.89
12/5/2562	14.09	28/6/2562	13.08	25/7/2562	14.90
13/5/2562	14.61	29/6/2562	13.74	26/7/2562	14.55
14/5/2562	15	30/6/2562	13.93	27/7/2562	12.85
15/5/2562	15.06	1/7/2562	13.42	28/7/2562	12.10
5/6/2562	14.25	2/7/2562	15.33	29/7/2562	11.42
6/6/2562	12.57	3/7/2562	12.97	30/7/2562	12.97
7/6/2562	14.88	4/7/2562	13.75	31/7/2562	14.25
8/6/2562	16.37	5/7/2562	15.55	2/9/2562	13.88
9/6/2562	16.03	6/7/2562	15.97	3/9/2562	13.82
10/6/2562	15.58	7/7/2562	14.57	4/9/2562	13.47
11/6/2562	15.04	8/7/2562	13.88	5/9/2562	14.76
12/6/2562	15.06	9/7/2562	12.00	6/9/2562	15.11
13/6/2562	14.50	10/7/2562	13.26	7/9/2562	14.60
14/6/2562	14.34	11/7/2562	12.16	8/9/2562	14.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันของถังบารอเมทริก (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (°C)	วันที่	อุณหภูมิ (°C)	วันที่	อุณหภูมิ (°C)
15/6/2562	14.92	12/7/2562	12.90	9/9/2562	13.92
16/6/2562	13.86	13/7/2562	12.75	10/9/2562	14.94
11/9/2562	16.10	14/10/2562	10.41	24/10/2562	11.71
12/9/2562	13.97	15/10/2562	11.10	25/10/2562	11.94
13/9/2562	13.80	16/10/2562	11.14	26/10/2562	11.71
7/10/2562	13.51	17/10/2562	10.23	27/10/2562	12.15
8/10/2562	12.33	18/10/2562	11.32	28/10/2562	11.73
9/10/2562	14.56	19/10/2562	11.99	29/10/2562	11.42
10/10/2562	13.02	20/10/2562	11.88	30/10/2562	11.55
11/10/2562	11.51	21/10/2562	11.58		
12/10/2562	10.22	22/10/2562	11.97		
13/10/2562	11.00	23/10/2562	11.94		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็น

ตารางที่ ค.1 การใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นเดือนพฤษภาคม

วันที่	กำลัง (kW)	วันที่	กำลัง (kW)
1/5/2562	6,130	10/5/2562	6,209
2/5/2562	6,349	11/5/2562	6,366
3/5/2562	6,288	12/5/2562	6,142
4/5/2562	6,262	13/5/2562	6,220
5/5/2562	6,297	14/5/2562	6,224
6/5/2562	6,153	15/5/2562	6,351
7/5/2562	6,234	16/5/2562	6,383
8/5/2562	6,235	17/5/2562	6,323
9/5/2562	6,283	18/5/2562	6,321

ตารางที่ ค.2 การใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นเดือนมิถุนายน

วันที่	กำลัง (kW)	วันที่	กำลัง (kW)
5/6/2562	6,544	18/6/2562	6,355
6/6/2562	6,494	19/6/2562	6,368
7/6/2562	6,326	20/6/2562	6,460
8/6/2562	6,401	21/6/2562	6,320
9/6/2562	6,433	22/6/2562	6,528
10/6/2562	6,444	23/6/2562	6,514
11/6/2562	6,352	24/6/2562	6,438
12/6/2562	6,384	25/6/2562	6,519
13/6/2562	6,317	26/6/2562	5,283
14/6/2562	6,629	27/6/2562	6,019
15/6/2562	6,426	28/6/2562	6,241
16/6/2562	6,502	29/6/2562	6,346
17/6/2562	5,695	30/6/2562	6,097

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 การใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นเดือนกรกฎาคม

วันที่	กำลัง (kW)	วันที่	กำลัง (kW)
1/7/2562	6,273	17/7/2562	6,250
2/7/2562	6,212	18/7/2562	6,460
3/7/2562	5,979	19/7/2562	6,622
4/7/2562	5,386	20/7/2562	6,409
5/7/2562	5,900	21/7/2562	6,544
6/7/2562	6,095	22/7/2562	6,487
7/7/2562	5,947	23/7/2562	6,427
8/7/2562	5,920	24/7/2562	6,593
9/7/2562	5,923	25/7/2562	6,486
10/7/2562	5,937	26/7/2562	6,505
11/7/2562	6,305	27/7/2562	6,573
12/7/2562	6,309	28/7/2562	6,603
13/7/2562	6,117	29/7/2562	6,461
14/7/2562	6,495	30/7/2562	6,795
15/7/2562	6,281	31/7/2562	6,585
16/7/2562	6,551		

ตารางที่ ค.4 การใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นเดือนกันยายน

วันที่	กำลัง (kW)	วันที่	กำลัง (kW)
2/9/2562	6,663	8/9/2562	6,551
3/9/2562	6,704	9/9/2562	6,985
4/9/2562	6,722	10/9/2562	6,460
5/9/2562	6,529	11/9/2562	6,586
6/9/2562	6,172	12/9/2562	6,304
7/9/2562	6,596	13/9/2562	6,392

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 การใช้กำลังของเครื่องทำน้ำเย็นเดือนตุลาคม

วันที่	กำลัง (kW)	วันที่	กำลัง (kW)
7/10/2562	5,351	19/10/2562	5,729
8/10/2562	6,475	20/10/2562	5,796
9/10/2562	6,652	21/10/2562	5,632
10/10/2562	6,536	22/10/2562	5,692
11/10/2562	6,535	23/10/2562	5,816
12/10/2562	6,323	24/10/2562	5,870
13/10/2562	6,138	25/10/2562	5,899
14/10/2562	6,222	26/10/2562	5,756
15/10/2562	6,863	27/10/2562	5,831
16/10/2562	5,866	28/10/2562	5,786
17/10/2562	5,885	29/10/2562	5,825
18/10/2562	5,754	30/10/2562	5,490

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้