

กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซัลโฟเนชัน

A CASE STUDY ON ENERGY EFFICIENCY ENHANCEMENT  
IN A SULFONATION PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของวารสารศึกษาค้นคว้าวิจัยปริทัศน์วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-3015.EN-M-220-325

กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซัลโฟเนชัน

A CASE STUDY ON ENERGY EFFICIENCY ENHANCEMENT  
IN A SULFONATION PROCESS



ชวกร ภัคดีสรสิทธิ์  
CHAVAGON PAKSORASIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
KMITL-2015-EN-M-220-025  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A CASE STUDY ON ENERGY EFFICIENCY ENHANCEMENT  
IN A SULFONATION 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

2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
KMUTL-2015-EN-M-220-025



**COPYRIGHT 2015**

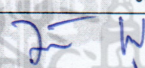

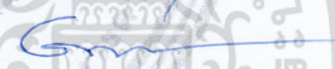
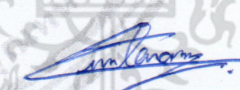
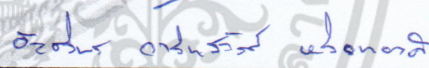
**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

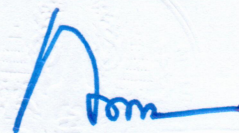
หัวข้อวิทยานิพนธ์ กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซัลโฟเนชัน  
Thesis Title A Case Study on Energy Efficiency Enhancement in a Sulfonation Process  
นักศึกษา นายชวกร ภัคดีสรสิทธิ์  
รหัสประจำตัว 55612103  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวีสดี หล่อทองคำ  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-220-025

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.นริศรา	ทองบุญชู	
ดร.สันติ	วัฒนานุสรณ์	
ศ.ภิชาน ดร.อุรา	ปานเจริญ	
ดร.กุลนันท์	เกียรติกิตติพงษ์	
รศ.ดร.อัญชลีพร	วาริตสวีสดี หล่อทองคำ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 เวลา 09.00-11.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซัลโฟเนชัน
นักศึกษา	นายชวกร ภัคดีสรสิทธิ์
รหัสประจำตัว	55612103
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์หลักในกระบวนการซัลโฟเนชัน ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 และเครื่องเป่าลม (Blower) 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 การดำเนินงานแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 กรณีเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 ตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นตั้งแต่ -2 ถึง 0.5 °C ที่การผลิตผลิตภัณฑ์ 4 แบบ ได้แก่ 1) ลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear Alkyl Benzene Sulfonate: LAS) 3.99 ตัน/ชม. 2) LAS 5.13 ตัน/ชม. 3) LAS 3.99 ตัน/ชม. และไพรมารีอัลคิลซัลเฟต (Primary Alkyl Sulfate: PAS) 3.00 ตัน/ชม. และ 4) LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. พบว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ที่ 30 °C และตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -0.5 °C การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 มีค่าต่ำที่สุด ส่วนที่ 2 กรณีเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุดโดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (LAS) เป็นตามข้อกำหนดเมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม เท่ากับ 6,900 กิโลกรัม/ชม. และ 8,900 กิโลกรัม/ชม. ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. และ 5.13 ตัน/ชม. ตามลำดับ ส่วนที่ 3 กรณีเครื่องเป่าลม 12 K1 ตัวแปรที่ศึกษา คือ ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ พบว่าความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ที่เหมาะสมซึ่งทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการผลิตทั้ง 4 แบบ ต่ำที่สุด โดยไม่กระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้าอุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต คือ 45, 46, 47 และ 48 Hz ตามลำดับ ผลจากการดำเนินงานทั้ง 3 ส่วน คำนวณค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานได้เท่ากับ 124.33 กิโลวัตต์-ชม./ตันผลิตภัณฑ์ และสามารถลดค่าไฟฟ้าในกระบวนการซัลโฟเนชันทั้งหมด 1,500,000 บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	A Case Study on Energy Efficiency Enhancement in a Sulfonation Process
<b>Student</b>	Mr. Chavagon Paksorasit
<b>Student ID.</b>	55612103
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Chemical Engineering
<b>Year</b>	2015
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum

### ABSTRACT

This research aims to enhance energy efficiency of the main equipment in a sulfonation process, i.e., the chiller 11 RG3, the blowers 11 K1A and 11 K1B, and the blower 12 K1. The studies were divided into 3 parts. Part 1, for the chiller 11 RG3, the outlet temperatures of chilled water from the chiller from -2 to 0.5 °C for 4 cases of production were considered. Four types of production were classified as follows 1) linear alkyl benzene sulfonate or LAS 3.99 ton/h, 2) LAS 5.13 ton/h, 3) LAS 3.99 and primary alkyl sulfate or PAS 3.00 ton/h, and 4) LAS 5.13 and PAS 3.00 ton/h. It was found that at a constant inlet temperature of the cooling water of 30 °C to the chiller and the outlet temperature of chilled water of -0.5 °C, the lowest electrical energy consumption was observed. In part 2, the operating conditions of the blowers 11 K1A and 11 K1B were investigated. The lowest electrical energy consumption, of which the quality of the product (LAS) was still satisfied, would be acquired when the total outlet air flow rates of the blowers were minimized to 6,900 and 8,900 kg/h at the production of LAS 3.99 and 5.13 ton/h, respectively. Part 3, for the blower 12 K1, the frequency of the motor of the blower for 4 cases of production was optimized to obtain the lowest electrical energy consumption with no effect on both the average inlet temperature of SO<sub>3</sub> gas to the falling film reactor and the average inlet air pressure to the electrostatic precipitator. For the aforementioned 4 types of production, the optimal frequencies of the motor of the blower were 45, 46, 47 and 48 Hz respectively. From this work, the calculated specific electrical energy consumption (SEC<sub>E</sub>) was 124.33 kWh/ton product, and the total electrical energy saving in the sulfonation process was approximately 1,500,000 Baht/year.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษา  
แนะแนวทางในการทำงานและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความรู้และ  
คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คณะผู้บริหารของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ที่ให้โอกาสทำงาน  
วิจัยอย่างต่อเนื่องกับบริษัททั้งในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท รวมทั้งสนับสนุนวัตถุดิบและ  
อุปกรณ์ในการทำงานวิจัย คุณประชา โภคฐิติยุกต์ อดีตผู้อำนวยการฝ่ายผลิตกลุ่มผลิตภัณฑ์  
เครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคล คุณทรรศศิลา อู่สุวรรณ ผู้จัดการแผนกซัลโฟเนชัน  
คุณไพบุลย์ ชูโชติรส ผู้จัดการฝ่ายผลิตแผนกซัลโฟเนชัน คุณเอนก ทรัพย์จำนง หัวหน้างานฝ่าย  
ผลิตแผนกซัลโฟเนชัน พนักงานห้องปฏิบัติการควบคุมการผลิต และพนักงานตรวจสอบคุณภาพ ที่ให้  
ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบังที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 พระครู  
วินัยธร พชร ฐานกโร เจ้าอาวาสวัดประยงค์กิตติวนาราม ที่สนับสนุนทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท  
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ดร. นริศรา ทองบุญชู ดร. สันติ วัฒนานุสรณ์ ดร. กุลนันทน์  
เกียรติกิตติพงษ์ และ ศาสตราจารย์ภิกขาน ดร. อูรา ปานเจริญ ที่ให้คำแนะนำและทำให้วิทยานิพนธ์นี้  
มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติ ครู อาจารย์ รวมทั้งผู้มีพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนาม ขอขอบคุณ  
รุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้อง ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา หากวิทยานิพนธ์นี้มีข้อผิดพลาดประการ  
ใด ผู้เขียนขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

ชวกร ภักดีสรสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา<sup>III</sup> เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	4
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 กระบวนการซีลโฟเนชั่น.....	5
2.2 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC).....	13
2.3 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น.....	14
2.4 วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ และแนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ของเครื่องทำน้ำเย็น.....	19
2.5 เครื่องเป่าลม (Blower).....	23
2.6 มอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์.....	29
2.7 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchangers).....	35
2.8 แนวทางการจัดการและการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม.....	40
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....	50
3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3.....	50
3.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า ของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B.....	52
3.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1.....	57

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการอภิปรายผล .....	61
4.1 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 .....	61
4.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B .....	63
4.3 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 .....	66
4.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ .....	75
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ .....	76
5.1 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซีลโฟเนชั่น .....	76
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	77
บรรณานุกรม.....	78
ภาคผนวก.....	83
ภาคผนวก ก การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการซีลโฟเนชั่น .....	84
ภาคผนวก ข การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า ของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 .....	85
ภาคผนวก ค การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า ของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B .....	100
ภาคผนวก ง การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 .....	133
ประวัติผู้เขียน.....	176

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	กฎความสัมพันธ์ของพัดลม.....25
3.1	ความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตกับผลการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นในปี 2555 .....51
3.2	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์จากการคำนวณที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนการดำเนินงาน .....55
3.3	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์จากการคำนวณที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนการดำเนินงาน .....56
3.4	อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP .....59
4.1	ค่าไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นเมื่อตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -0.5 °C เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C.....63
4.2	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ กรณีผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน .....64
4.3	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ กรณีผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน.....65
4.4	ค่าไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B ในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. และ 5.13 ตัน/ชม. เมื่อปรับอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมตามค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง .....65
4.5	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน .....67
4.6	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน.....69

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.7	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน ..... 71
4.8	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน..... 73
4.9	ค่าไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 เมื่อปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมตามค่าที่เหมาะสมจากการทดลองสำหรับกำลังการผลิต 4 กรณีสึกษา ..... 74
4.10	ค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์หลักในกระบวนการซัลโฟเนชันที่ลดลง..... 75
ก-1	การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการซัลโฟเนชัน ..... 84
ข-1.1	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นค่าต่างๆ..... 86
ข-1.2	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นค่าต่างๆ ..... 89
ข-2.1	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -2 °C และ -0.5 °C..... 92
ข-2.2	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -2 °C และ -0.5 °C ..... 94
ข-2.3	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -2 °C และ -0.5 °C ..... 96
ข-2.4	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -2 °C และ -0.5 °C ..... 98
ค-2.1	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงาน ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของ

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของ อากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 6,900 กิโลกรัม/ชม.....	112
ค-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของ อากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 10,100 กิโลกรัม/ชม. ....	119
ค-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของ อากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 8,900 กิโลกรัม/ชม.....	126
ง-1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ก่อนการดำเนินงาน .....	134
ง-2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของ อากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของ มอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz .....	136
ง-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของ อากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของ มอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz .....	138
ง-2.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของ อากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของ มอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz .....	140
ง-2.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของ อากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของ มอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 47 Hz .....	142

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-2.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 46 Hz .....	144
ง-2.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 45 Hz .....	146
ง-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz .....	148
ง-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz .....	150
ง-3.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz .....	152
ง-3.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 47 Hz .....	154
ง-3.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของ	

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 และ 12 K3 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนการดำเนินงาน .....	158
ง-4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz .....	160
ง-4.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz .....	162
ง-4.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz .....	164
ง-4.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 47 Hz .....	166
ง-5.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 และ 12 K3 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันของอากาศที่เข้า ESP กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนการดำเนินงาน .....	168
ง-5.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz .....	170

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-5.3	
การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz ..... 172	172
ง-5.4	
การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz ..... 174	174

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การใช้พลังงานไฟฟ้าของบริษัทในปี 2555.....	2
1.2	การใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการซัลโฟเนชันของบริษัทในปี 2553-2555.....	3
1.3	ผังพาเรโตแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการซัลโฟเนชัน.....	3
2.1	สูตรโครงสร้างของอัลคิลเบนซีนแบบกิ่ง.....	5
2.2	สูตรโครงสร้างของอัลคิลเบนซีนแบบโซ่ตรง.....	6
2.3	แผนภาพกระบวนการซัลโฟเนชันที่เป็นกรณีศึกษา.....	8
2.4	ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม.....	10
2.5	ตำแหน่งของอุปกรณ์หลัก ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 และเครื่องเป่าลม 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 ในกระบวนการซัลโฟเนชันที่เป็นกรณีศึกษา.....	12
2.6	ส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำเย็น.....	15
2.7	คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบ.....	15
2.8	หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดก้านหอย.....	16
2.9	คอมเพรสเซอร์ชนิดสกรู.....	16
2.10	คอมเพรสเซอร์ชนิดหอยโข่ง.....	17
2.11	เครื่องควบแน่นสารทำความเย็น.....	17
2.12	แผนภูมิความดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ.....	19
2.13	การไหลของพลังงานในเครื่องทำน้ำเย็น.....	22
2.14	แผนภูมิความดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นให้สูงขึ้น.....	22
2.15	แผนภูมิความดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ เมื่อลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น.....	23
2.16	ประเภทของพัดลมและเครื่องเป่าลม.....	25
2.17	ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมเซอร์ร็อคโค.....	25
2.18	ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมภาระจำกัด.....	26
2.19	ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมแบบใบพัดเครื่องบิน.....	26
2.20	ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมแบบใบตรง.....	27
2.21	ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมแบบใบพัด.....	27
2.22	ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมไหลตามแกนแบบมีท่อครอบ.....	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.23	ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมไหลตามแนวแกน แบบมีท่อครอบและมีครีบนำ.....	28
2.24	การแบ่งประเภทของมอเตอร์ตามการใช้กระแสไฟฟ้า.....	39
2.25	โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้า.....	30
2.26	โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	30
2.27	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม.....	31
2.28	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน.....	31
2.29	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม.....	32
2.30	ลักษณะของโรเตอร์แบบกรงกระรอกของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ.....	33
2.31	ลักษณะของโรเตอร์แบบขดลวดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ.....	33
2.32	ส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์.....	35
2.33	ลักษณะการไหลและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลใน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อ 2 ชั้น หรือท่อคู่.....	37
2.34	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	38
2.35	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น.....	38
2.36	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศ.....	39
2.37	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดปลอกหุ้ม.....	40
2.38	ตัวอย่างแผนภาพ Sankey แสดงการดุลพลังงานที่หม้อน้ำ.....	42
2.39	ตัวอย่างแสดงการสูญเสียพลังงานความร้อนที่หม้อน้ำ.....	43
2.40	ตัวอย่างแผนภาพ Sankey แสดงการดุลพลังงานในโรงงานผลิตไฟฟ้า.....	43
3.1	กลไกการใช้งานน้ำเย็นในกระบวนการชัลโฟเนชัน.....	51
3.2	การส่งอากาศของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B เข้ากระบวนการชัลโฟเนชัน.....	53
3.3	ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์จากการคำนวณก่อนการดำเนินงาน ที่กำลัการผลิต (ก) LAS 3.99 ตัน/ชม. และ (ข) LAS 5.13 ตัน/ชม. ....	54
3.4	การส่งอากาศของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในกระบวนการชัลโฟเนชัน.....	58
4.1	การใช้พลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 เมื่อ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา<sup>XIII</sup>นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่กำลังการผลิตต่างๆ ก่อนและหลังการดำเนินงาน เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C.....62
4.3	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ.....66
4.4	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ.....68
4.5	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ ..... 70
4.6	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ..... 72
4.7	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ก่อนและหลังการเปลี่ยนความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม..... 74
4.8	การใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการซัลโฟเนชันก่อนและหลังการดำเนินงาน..... 75

# บทที่ 1

## บทนำ

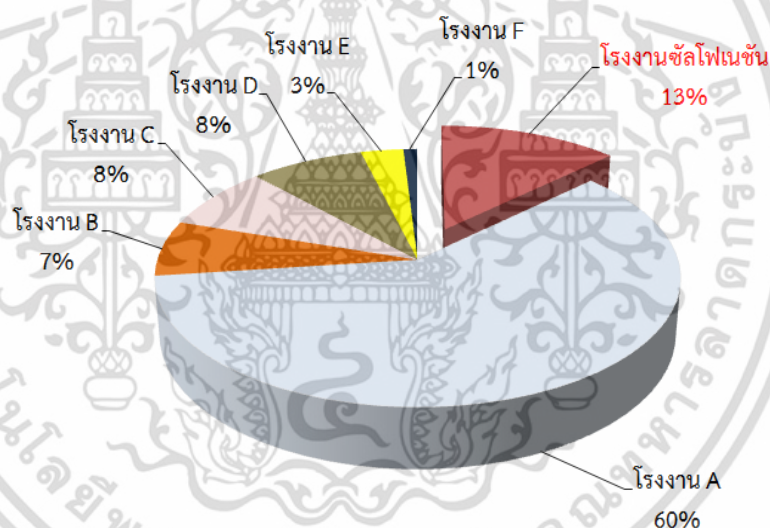
### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานรายงานปริมาณการนำเข้าพลังงานในปี 2556 เท่ากับ 70,232 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (Kilo Ton Oil Equivalent: ktoe) หรือ 42.5 % ของการใช้พลังงานทั้งประเทศ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2555 ประมาณ 0.4 % (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556) ซึ่งพบว่าภาคอุตสาหกรรมมีปริมาณการใช้พลังงานสูงสุด โดยมีสัดส่วนเป็น 36.2% ของการใช้พลังงานทั้งประเทศ หรือประมาณ 27,193 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และมีแนวโน้มว่าความต้องการใช้พลังงานของประเทศไทยจะเพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นเนื่องจากปริมาณสำรองของพลังงานจากฟอสซิลมีจำกัดและประเทศไทยจัดเป็นประเทศผู้นำเข้าพลังงาน รัฐบาลจึงกำหนดนโยบายด้านพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2551-2565 เพื่อกำกับให้เกิดความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy Security) และให้ภาคอุตสาหกรรมดำเนินการอนุรักษ์และใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์ของประเทศไทยในการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน เช่น ส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมลดการใช้พลังงานและเลือกใช้พลังงานเชื้อเพลิงประเภทที่เหมาะสมซึ่งจะลดต้นทุนด้านพลังงานได้ (กระทรวงพลังงาน. 2554) ผลของการกำหนดนโยบายนี้ทำให้ภาคอุตสาหกรรมตระหนักและหามาตรการต่างๆ เพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ในการประกอบธุรกิจจำเป็นต้องควบคุมต้นทุนการผลิตให้ต่ำที่สุด เช่น การลดของเสีย การลดงานรีเวิร์ค การลดความสูญเสียเปล่าต่างๆ การเพิ่มศักยภาพของกระบวนการผลิตโดยการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์และเครื่องจักร รวมทั้งการหาแนวทางการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตและช่วยเสริมภาพลักษณ์ที่ดีให้กับบริษัท

บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง เป็นบริษัทร่วมทุนระหว่างอังกฤษ - เนเธอร์แลนด์ กลุ่มยูนิลีเวอร์มีกิจการอยู่ใน 150 ประเทศทั่วโลก และมีบริษัทในเครือมากกว่า 500 บริษัท บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ผลิตและจำหน่ายสินค้าอุปโภคและบริโภค 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคล เช่น แชมพู ครีมนวดผม สบู่ ครีมาบหน้า 2) ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น สารซักฟอก น้ำยาล้างจาน และ 3) ผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศกรีม เครื่องปรุงรส บริษัทตระหนักดีว่าเทคนิคและกรรมวิธีการผลิตที่ทันสมัย การกำหนดนโยบายการลดความสูญเสีย การดำเนินกิจกรรมการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง การวางแผนการบำรุงรักษาในเชิงป้องกัน และการลดต้นทุนการผลิตโดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังคงได้ตามมาตรฐานคุณภาพผลิตภัณฑ์ เช่น การลดการใช้พลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของบริษัทได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

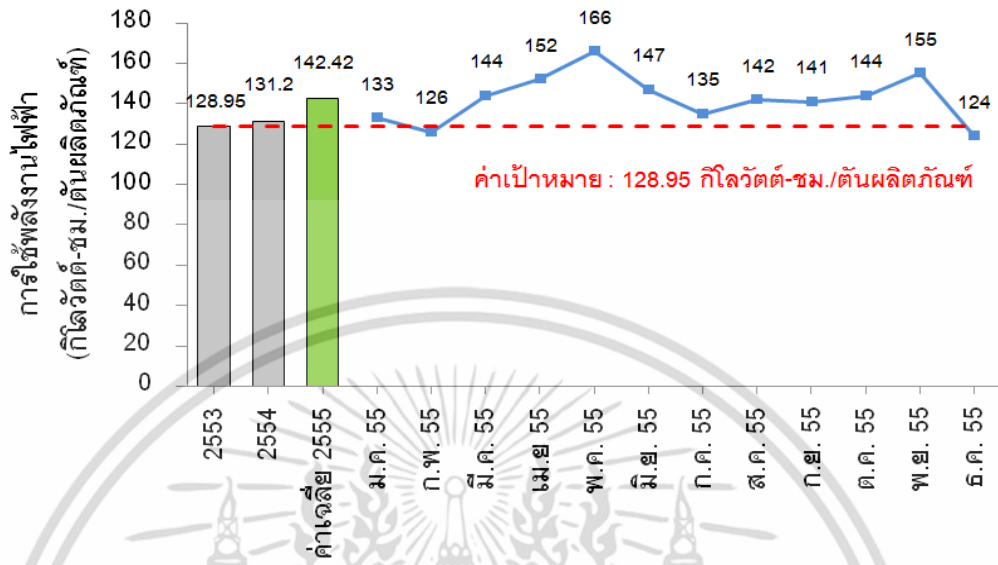
โครงการนี้เป็นกรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซัลโฟเนชันซึ่งเป็นกระบวนการที่ผลิตผลิตภัณฑ์กรดซัลโฟนิคหรือลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear Alkyl Benzene Sulfonate: LAS) ไพรมารีอัลคิลซัลเฟต (Primary Alkyl Sulfate: PAS) และโซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟต (Sodium Lauryl Ether Sulfate: SLES) สารเหล่านี้ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวในการผลิตสารซักฟอก (ทั้งชนิดที่เป็นผงและของเหลว) และแชมพู ส่วนแบ่งทางการตลาดของผลิตภัณฑ์สารซักฟอกและแชมพูของบริษัทประมาณ 58 และ 50.4 % ของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวทั้งหมดในประเทศ กระบวนการซัลโฟเนชันของบริษัทเริ่มดำเนินการตั้งแต่ พ.ศ. 2538 ปัจจุบันมีกำลังการผลิต LAS ประมาณ 45,000 ตัน/ปี และมีกำลังการผลิต PAS และ SLES รวม 10,000 ตัน/ปี การผลิต LAS, PAS และ SLES ทำตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อให้เพียงพอสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตสารซักฟอกและแชมพู จากการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตของโรงงานย่อยภายในบริษัทในปี 2555 ดังรูปที่ 1.1 พบว่ากระบวนการซัลโฟเนชันใช้พลังงานไฟฟ้า 13 % สูงเป็นอันดับสองของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของบริษัท หรือคิดเป็นมูลค่าประมาณ 20 ล้านบาท



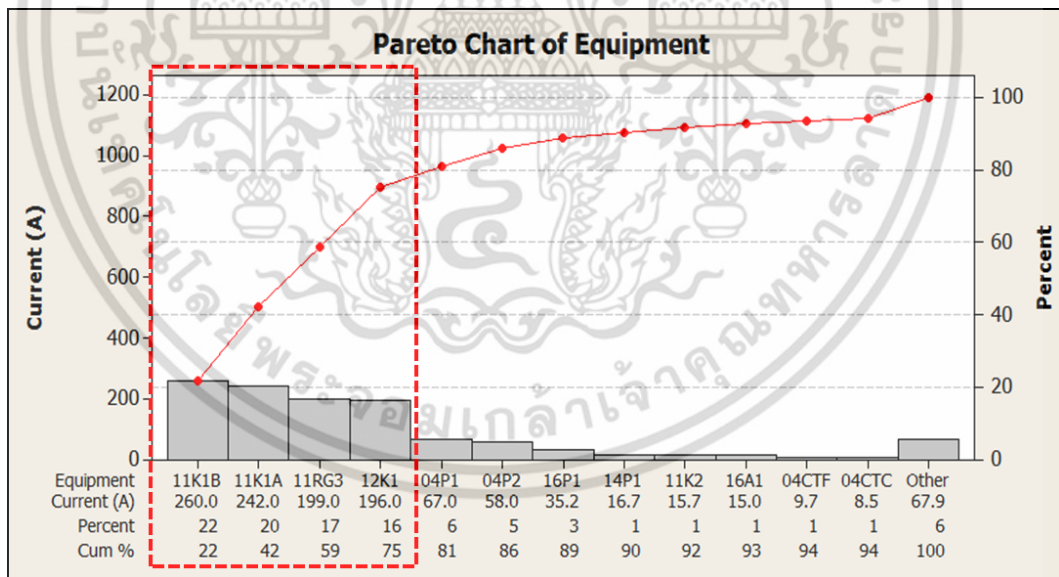
รูปที่ 1.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของบริษัทในปี 2555  
(เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โซลดิ้งส์ จำกัด. 2555)

หลังจากบริษัทเพิ่มกำลังการผลิตในปี 2553 พบว่าค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการซัลโฟเนชันมีค่า 128.95 กิโลวัตต์-ชม./ตันผลิตภัณฑ์ (รูปที่ 1.2) และเมื่อสำรวจในปี 2555 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 142.42 กิโลวัตต์-ชม./ตันผลิตภัณฑ์ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โซลดิ้งส์ จำกัด. 2555) ดังนั้นโครงการนี้จะศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซัลโฟเนชันเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยเลือกศึกษากับอุปกรณ์หลักของกระบวนการซัลโฟเนชัน ซึ่งกำหนดว่าคืออุปกรณ์ที่มีผลรวมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 75 % ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในกระบวนการ ในที่นี้ ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 เครื่องเป่าลม (Blower) 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการซัลโฟเนชันของบริษัทในปี 2553-2555



รูปที่ 1.3 ผังพาเรโตแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการซัลโฟเนชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซัลโฟเนชันเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 เลือกอุปกรณ์หลักในกระบวนการซัลโฟเนชัน ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 เครื่องเป่าลม 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 เพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

1.3.2 ทหาภาวะปฏิบัติการของอุปกรณ์หลักที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด ในกรณีการผลิต 4 แบบ ได้แก่ 1) LAS 3.99 ตัน/ชม. 2) LAS 5.13 ตัน/ชม. 3) LAS 3.99 ตัน/ชม. และ PAS 3.00 ตัน/ชม. และ 4) LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.

1.3.3 ทดสอบภาวะปฏิบัติการของอุปกรณ์หลักที่ศึกษาในโครงการนี้ในกระบวนการซัลโฟเนชัน และคำนวณค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของอุปกรณ์หลัก และเปรียบเทียบกับค่าก่อนการดำเนินงาน

1.3.4 ปรับใช้ภาวะปฏิบัติการของอุปกรณ์หลักที่ลดการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ในกระบวนการซัลโฟเนชัน

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้แนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 เครื่องเป่าลม 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 ในกระบวนการซัลโฟเนชัน

1.4.2 สามารถลดค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ในกระบวนการซัลโฟเนชัน

1.4.3 บริษัทสามารถประยุกต์แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากโครงการนี้กับกระบวนการผลิตอื่นของบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**2.1 กระบวนการซัลโฟเนชัน** (พัทธทิพย์ อัครวดีกุล. 2538; จีรวรรณ แก้วรัตน์ และคณะ. 2552; ศศิวิมล พัฒนพัฒนานนท์ และคณะ. 2554; นกุล สมบูรณ์. 2556; Roberts, D.W. 2003; Seidel, A. 2007; Nawaz, Z. and Naveed, S. 2012)

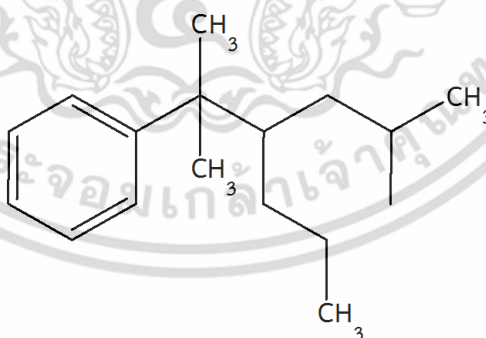
ปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน (Sulfonation Reaction) เป็นปฏิกิริยาสังเคราะห์กรดซัลโฟนิคหรือลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear Alkyl Benzene Sulfonate: LAS) ไพรมารีอัลคิลซัลเฟต (Primary Alkyl Sulfate: PAS) และโซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟต (Sodium Lauryl Ether Sulfate: SLES) โดยแทนที่อะตอมของไฮโดรเจนในลิเนียร์อัลคิลเบนซีน (Linear Alkyl Benzene: LAB) หรือ Fatty Alcohol หรือ Ethoxilated Fatty Alcohol ด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ โดยทั่วไปใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม (Falling Film Reactor) ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50-70 °C

วัตถุดิบสำหรับกระบวนการซัลโฟเนชัน ได้แก่

#### 2.1.1 อัลคิลเบนซีน (Alkylbenzene)

อัลคิลเบนซีนเป็นวัตถุดิบพื้นฐานสำหรับใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว (Surface Active Agent) ในการผลิตสารซักฟอก อัลคิลเบนซีนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

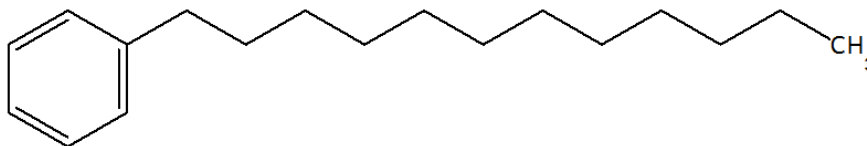
2.1.1.1 อัลคิลเบนซีนแบบกิ่ง (Branched Chain Alkylbenzene) ดังรูปที่ 2.1 มีโครงสร้างโมเลกุลค่อนข้างซับซ้อน ถูกย่อยสลายตามธรรมชาติได้ง่าย



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของอัลคิลเบนซีนแบบกิ่ง (นกุล สมบูรณ์. 2556)

2.1.1.2 อัลคิลเบนซีนแบบโซ่ตรง ดังรูปที่ 2.2 เป็นอัลคิลเบนซีนที่มีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงไม่ซับซ้อน จึงถูกย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของอัลคิลเบนซีนแบบโซ่ตรง (นุกูล สมบูรณ์. 2556)

### 2.1.2 Fatty Alcohol มี 2 ประเภท คือ

2.1.2.1 Natural Fatty Alcohol อาจใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวในการผลิตแชมพู เป็น Fatty Alcohol ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม

2.1.2.2 Synthetic Fatty Alcohol เป็น Fatty Alcohol ที่สังเคราะห์จากปิโตรเลียม มีสมบัติและลักษณะคล้ายกับ Natural Fatty Alcohol แต่มีราคาถูกกว่า Synthetic Fatty Alcohol แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Regular Fatty Alcohol และ Ethoxilated Fatty Alcohol ซึ่ง Ethoxilated Fatty Alcohol เป็นส่วนที่ให้ฟอง และช่วยให้สารลดแรงตึงผิวสามารถทำความสะอาดและกำจัดคราบไขมันได้ดีขึ้น สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยา Ethoxylation ระหว่าง Regular Fatty Alcohol กับ Ethylene Oxide

### 2.1.3 Sulfonating Agent

เป็นสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับอัลคิลเบนซีน และ Fatty Alcohol ได้แก่ แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ โอเลียม (Oleum) กรดซัลฟิวริก และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เหลว นิยมใช้แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เป็น Sulfonating Agent เพราะมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาสูง เนื่องจากแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์สามารถแพร่เข้าทำปฏิกิริยากับอัลคิลเบนซีน และ Fatty Alcohol ได้ดีกว่า Sulfonating Agent ชนิดอื่น

### 2.1.4 Neutralization Agent

คือ สารที่มีฤทธิ์เป็นด่างที่ใช้ทำปฏิกิริยาสะเทิน (Neutralization Reaction) กับ LAS แล้วได้เกลือโซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Sodium Linear Alkylbenzene Sulfonate: NaLAS) ดังสมการที่ (2.1) Neutralization Agent ที่นิยมใช้คือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

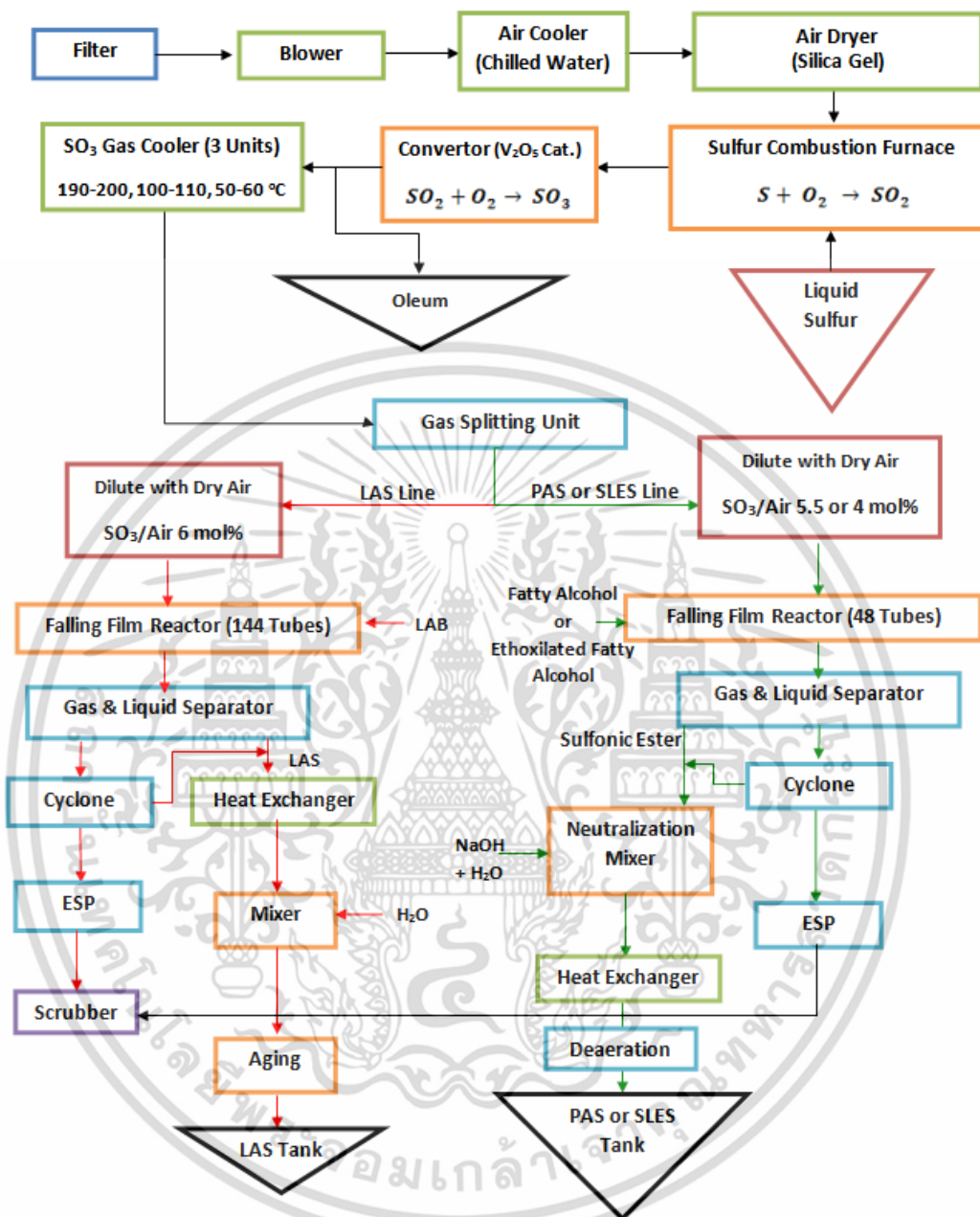


สมการที่ (2.2) และ (2.3) แสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์ Sulfonic Ester จาก Fatty Alcohol หรือ Ethoxilated Fatty Alcohol ที่ทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ จากนั้น Sulfonic Ester จะทำปฏิกิริยาสะเทินด้วย Neutralization Agent ในกรณีของ Sulfonic Ester ที่เกิดจาก Fatty Alcohol ทำปฏิกิริยาสะเทินกับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และได้เกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภาพกระบวนการซัลโฟเนชันที่เป็นกรณีศึกษา แสดงในรูปที่ 2.3 ประกอบด้วย



รูปที่ 2.3 แผนภาพกระบวนการซัลโฟเนชันที่เป็นกรณีศึกษา

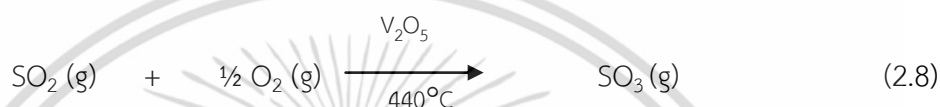
1. การทำอากาศแห้ง (Air Drying) โดยใช้ น้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นลดอุณหภูมิของอากาศ ให้ได้ประมาณ 3-5 °C แล้วจึงผ่านอากาศเข้าเครื่องดูดความชื้น (Air Dryer) ด้วยซิลิกาเจล เพื่อควบคุมปริมาณความชื้นในอากาศไม่เกิน  $0.79 \times 10^{-4}$  กิโลกรัมต่ออากาศแห้ง 1 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน่วยผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> Production Unit) อากาศแห้งจากเครื่องดูดความชื้นจะถูกเผากับกำมะถันเหลวที่อุณหภูมิ 600-650 °C ใน Sulfur Combustion Furnace ได้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังสมการที่ (2.7)



จากนั้นจะส่งแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Packed-Bed Reactor) ซึ่งมีความหนาแน่นเพนทอกไซด์ (Vanadium Pentoxide: V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนที่อุณหภูมิประมาณ 440 °C ได้แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ดังสมการที่ (2.8)



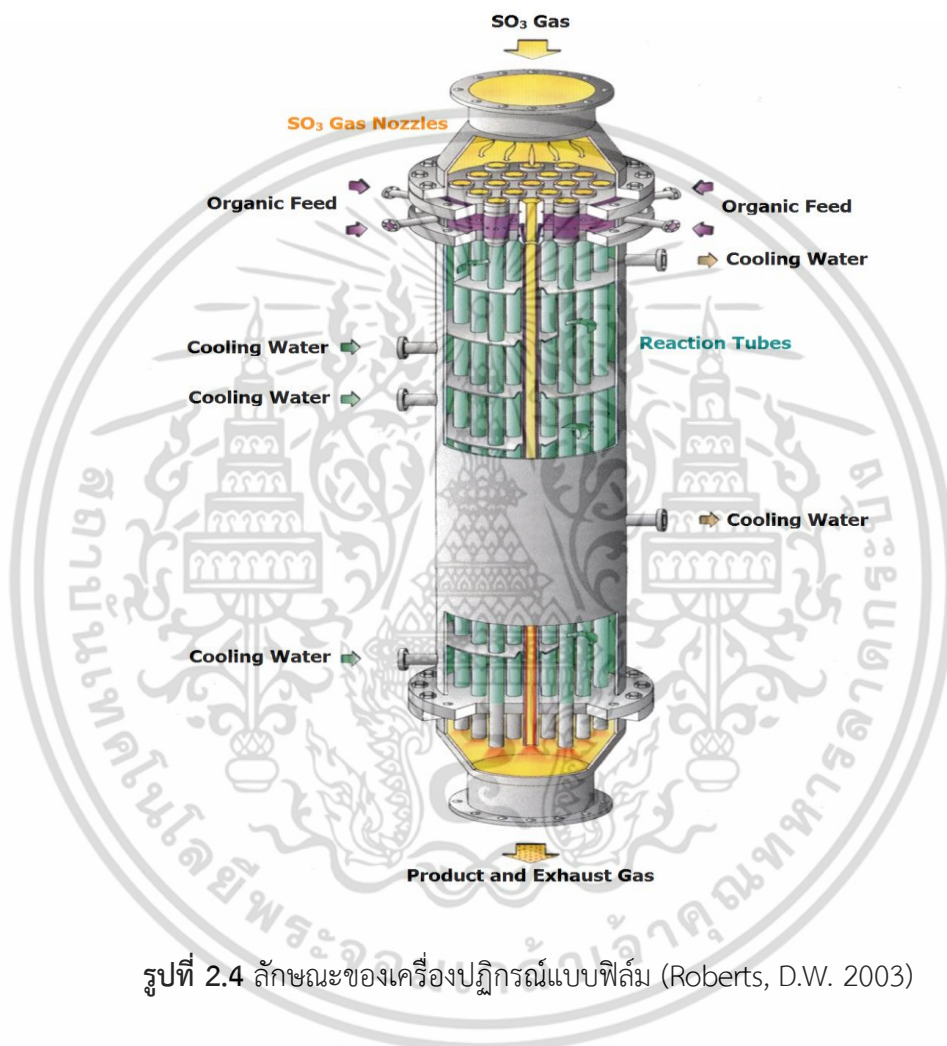
แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์อุณหภูมิประมาณ 440 °C ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งจะผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (SO<sub>3</sub> Gas Cooler) 3 เครื่อง เพื่อลดอุณหภูมิลงเหลือ 50-55 °C ก่อนจะถูกส่งไปทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันที่เครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม (Falling Film Reactor)

จากมาตรฐานการปฏิบัติงานของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา ในกรณีผลิต LAS แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับลิเนียร์อัลคิลเบนซินต้องมีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 6.00 % โมล สำหรับกรณีผลิต PAS แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับ Fatty Alcohol ต้องมีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 5.50 % โมล ในกรณีผลิต SLES แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับ Ethoxilated Fatty Alcohol ต้องมีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 4.00 % โมล

3. เครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม (Falling Film Reactor) มีลักษณะคล้ายอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ใช้สำหรับทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ผลิต LAS ในโครงการนี้ประกอบด้วยท่อ 144 ท่อ และที่ใช้ผลิต PAS หรือ SLES ประกอบด้วยท่อ 48 ท่อ แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์จะผ่านเครื่องดักจับฝุ่น (Filter) จากนั้นจะถูกส่งเข้าท่อซึ่งอยู่ด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม ดังรูปที่ 2.4 และทำปฏิกิริยากับวัตถุดิบ คือ LAB หรือ Fatty Alcohol หรือ Ethoxilated Fatty Alcohol ที่กระจายเป็นฟิล์มบางรอบผิวภายในท่อของเครื่องปฏิกรณ์ ส่วนน้ำหล่อเย็นที่อยู่ภายในเปลือกของเครื่องปฏิกรณ์ จะรับความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ LAS หรือ Sulfonic Ester และผลพลอยได้ (By Products) เช่น ซัลโฟนิคแอนไฮไดรด์ (Sulfonic Anhydride) กรดไพโรซัลโฟนิค (Pyrosulfonic Acid) ซัลโฟน (Sulfones) 1,4-ไดออกเซน (1,4-Dioxane) และโอเลียม (Oleum) รวมทั้งวัตถุดิบที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (ได้แก่แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ LAB หรือ Fatty Alcohol หรือ Ethoxilated Fatty Alcohol) ผลิตภัณฑ์ ผลพลอยได้ และวัตถุดิบที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะไหลไปรวมกันทาง

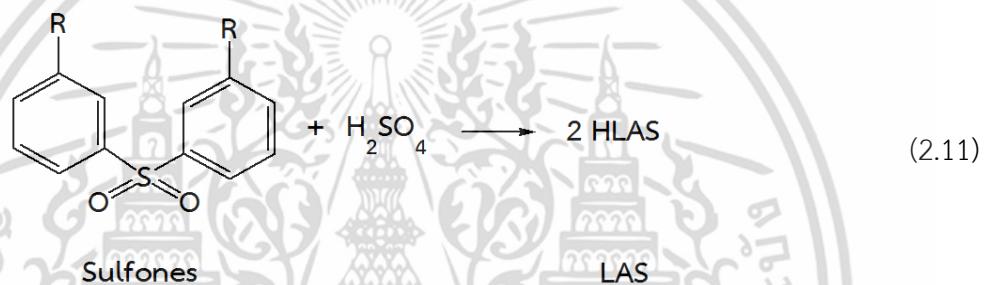
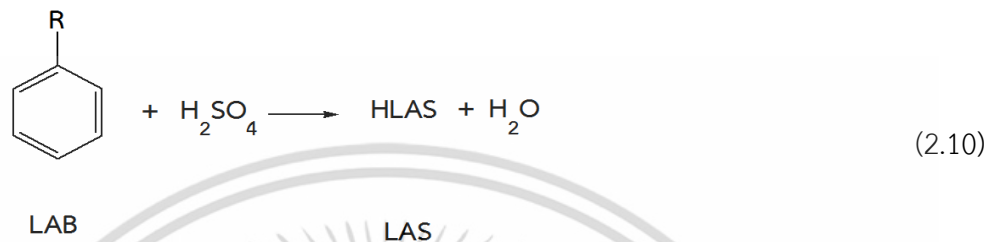
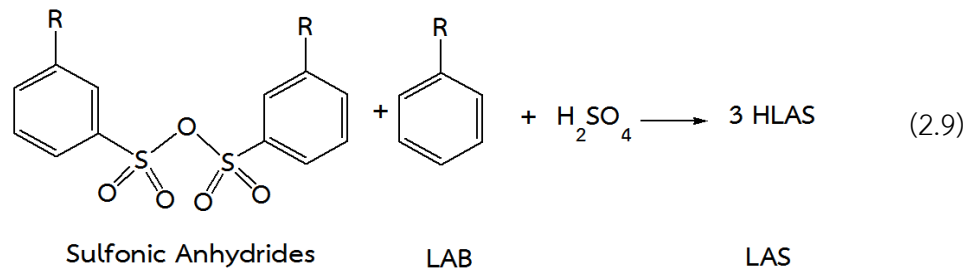
ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ ก่อนไหลเข้าเครื่องแยกแก๊ส-ของเหลว (Gas-Liquid Separator) จากนั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เห็นได้เห็นเป็นฉบับจะขอสงวนการตีพิมพ์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LAS ผลพลอยได้ และ LAB ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกบีบไปยังกระบวนการบ่ม (Aging) กรณีที่ใช้ Fatty Alcohol เป็นวัตถุดิบ Sulfonic Ester ที่ได้จะถูกบีบไปทำปฏิกิริยาสะเทินกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ PAS ส่วนกรณีที่ใช้ Ethoxilated Fatty Alcohol เป็นวัตถุดิบ Sulfonic Ester ที่ได้จะถูกบีบไปทำปฏิกิริยาสะเทินกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ SLES สำหรับส่วนที่เป็นแก๊สจะถูกส่งไปยังหน่วยกำจัดอากาศเสีย



4. กระบวนการบ่ม (Aging) LAS ผลพลอยได้ และ LAB ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกส่งเข้าถังบ่ม ระยะเวลาที่ LAS ผลพลอยได้ และ LAB อยู่ในถังบ่ม ประมาณ 20-30 นาที เพื่อเพิ่มผลได้ของ LAS จากการเกิดปฏิกิริยาทุติยภูมิ (Secondary Reaction) ดังสมการที่ (2.9) ถึง (2.11) LAB ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและผลพลอยได้ จะถูกเปลี่ยนเป็น LAS ก่อนส่งไปยังถังเก็บผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

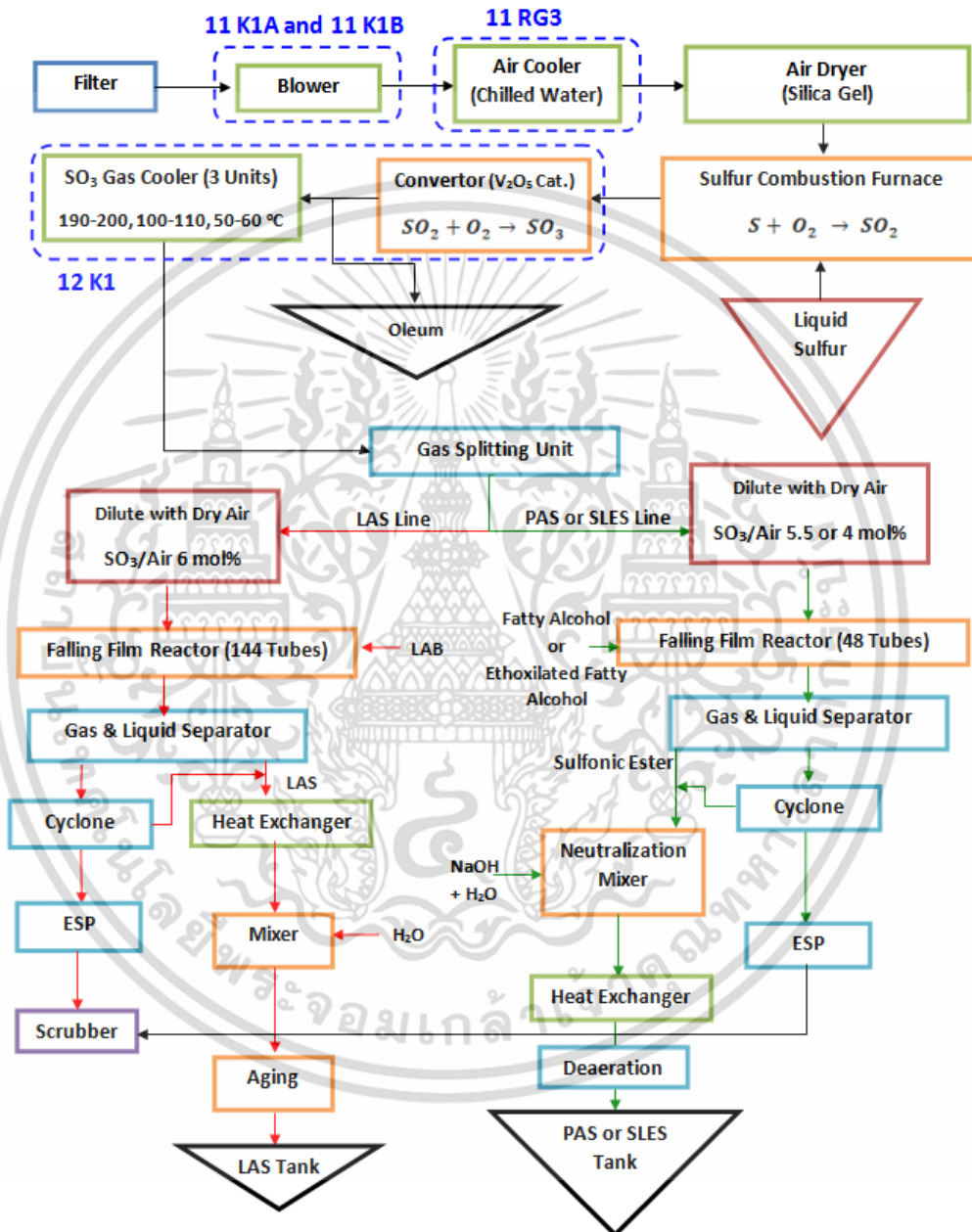


5. หน่วยกำจัดอากาศเสีย (Exhaust Gas Treatment Unit) แก๊สที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน ประกอบด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และละออง LAS, PAS และ SLES ถ้าปล่อยออกสู่บรรยากาศจะก่อให้เกิดมลภาวะ จึงต้องแยกโดยใช้ไซโคลน (Cyclone) แบบลมหมุน ละออง LAS, PAS และ SLES ที่มีขนาดใหญ่จะตกลงด้านล่างของไซโคลน และถูกส่งกลับเข้ากระบวนการซัลโฟเนชัน ส่วนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และอากาศจะไหลออกทางด้านบนผ่านไปยังอุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator: ESP) เพื่อจับละออง LAS, PAS และ SLES ที่ยังเหลือส่งกลับเข้ากระบวนการซัลโฟเนชัน ส่วนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และอากาศจะผ่านไปยังสครับเบอร์ (Scrubber) และทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) และโซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) และจะส่งไปบำบัดน้ำเสีย

รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์หลักในกระบวนการซัลโฟเนชัน ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 และเครื่องเป่าลม 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 ทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นส่งไปที่เครื่องลดอุณหภูมิของอากาศ (Air Cooler) โดยรับความร้อนจากอากาศที่ป้อนเข้ากระบวนการซัลโฟเนชันและทำให้อากาศแห้ง เครื่องเป่าลม (Blower) 11 K1A และ 11 K1B ทำหน้าที่นำอากาศจากบรรยากาศเข้ากระบวนการซัลโฟเนชัน เพื่อผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์สำหรับใช้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน เครื่องเป่าลม 12 K1 ทำหน้าที่ส่งอากาศไปยัง 1) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E2 และ 12 E3 เพื่อระบายความร้อนจากแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในหน่วยผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5, 12 E6 และ 12 E7 เพื่อระบายความร้อนจากแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ในหน่วยผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งของอุปกรณ์หลัก ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 และเครื่องเป่าลม 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 ในกระบวนการซัลโฟเนชันที่เป็นกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)

(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2550; วัชระ มั่งวิติกุล. 2550; สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2557)

ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (กิโลวัตต์/กิโลกรัม หรือ บาท/กิโลกรัม) เป็นค่าที่แสดงการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ และต้นทุนด้านพลังงานของกระบวนการหรือโรงงาน นอกจากนั้นยังสะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน หากดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะในกระบวนการมีค่าต่ำ แสดงว่ามีการใช้พลังงานต่ำและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง

### 2.2.1 การคำนวณดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ

ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ คำนวณจากพลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์) หรือราคาของเชื้อเพลิง (บาท) ที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งหมดต่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ดังสมการที่ (2.12)

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต}}{\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้}} \quad (2.12)$$

ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตคำนวณได้จากราคาของเชื้อเพลิง หรือพลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนจากไอน้ำและเชื้อเพลิงต่างๆ เป็นต้น หน่วยของพลังงานที่ใช้ ได้แก่ กิโลวัตต์ หรือ กิโลจูล ดังนั้นเพื่อให้สามารถคำนวณหรือเปรียบเทียบได้ พลังงานที่ใช้จึงต้องเป็นหน่วยเดียวกัน

ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ทั้งหมดจากกระบวนการอาจมีหลายสถานะ เช่น ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ดังนั้นต้องเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน เช่น กิโลกรัม ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Electrical Energy Consumption:  $SEC_E$ ) คำนวณจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ดังสมการที่ (2.13)

$$SEC_E = \frac{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต}}{\text{ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้}} \quad (2.13)$$

ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะ (Specific Thermal Energy Consumption:  $SEC_{TH}$ ) คำนวณจากปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ดังสมการที่ (2.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SEC_{Th} = \frac{\text{ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต}}{\text{ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้}} \quad (2.14)$$

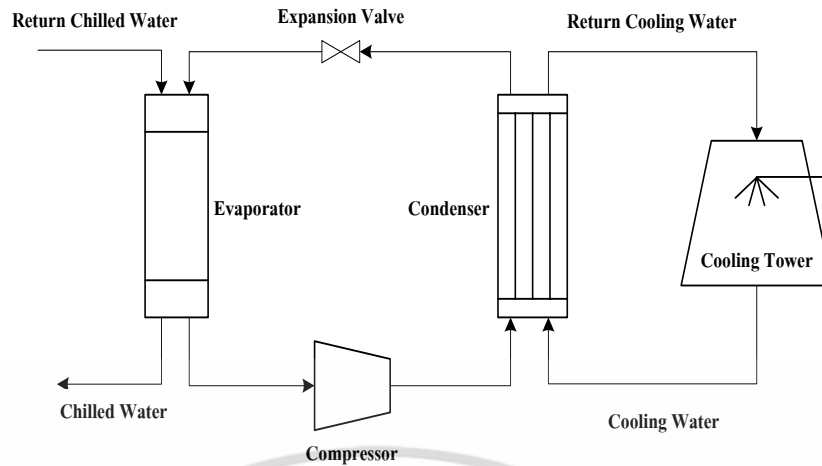
**การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน** (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2555.) คือ การหาแนวทางลดการใช้พลังงานในการผลิตสินค้าและบริการในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ลดลง ในโครงการนี้จะเปรียบเทียบกับดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ( $SEC_E$ ) หรือการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของอุปกรณ์หลักในกระบวนการซีลโพนชั้นก่อนและหลังการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

### 2.2.2 ความสำคัญของดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ

1. ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอดีตกับปัจจุบัน
2. ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกิจกรรมที่ใช้พลังงานประเภทเดียวกันภายในโรงงานเพื่อติดตามและปรับปรุงพฤติกรรมการใช้พลังงานของโรงงาน หรือเปรียบเทียบระหว่างโรงงานที่มีกิจกรรมการใช้พลังงานและผลิตภัณฑ์คล้ายกันบนบรรทัดฐานเดียวกัน
3. ใช้ประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรสำหรับประหยัดพลังงานที่ติดตั้งใหม่
4. ใช้กำหนดเป้าหมายของการลดการใช้พลังงานในกระบวนการอย่างเหมาะสม

**2.3 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น** (สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. 2554; ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. 2556; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556; ชวิน เอ็มมานูชญ์. 2557; Wang, S.K. 2001; Hundy, G.F. Trott, A.R. and Welch, T.C. (Auth.). 2008)

เครื่องทำน้ำเย็น เป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง มีหน้าที่รับความร้อนจากน้ำเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อลดอุณหภูมิของน้ำเย็นก่อนนำกลับไปใช้งานใหม่ โดยใช้หลักการระเหยและการควบแน่นของสารทำความเย็น (Refrigerant) ความร้อนที่สารทำความเย็นรับมาจากน้ำเย็นที่ผ่านการใช้งานจะถูกระบายออกไปกับน้ำหล่อเย็น ส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำเย็น แสดงดังรูปที่ 2.6



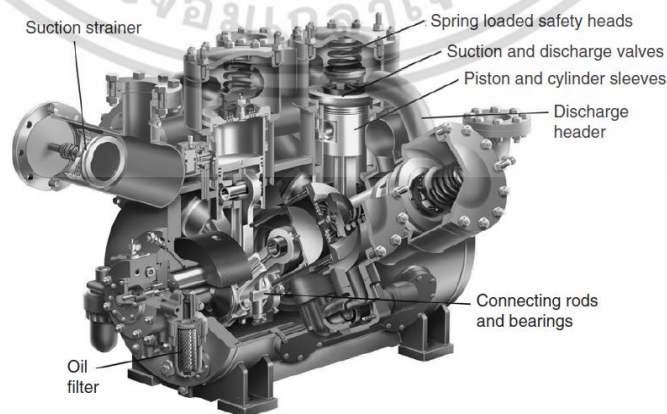
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำเย็น

### 1. คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

เป็นอุปกรณ์เพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอ โดยการดูดไอของสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิและความดันต่ำจากเครื่องระเหยสารทำความเย็น (Evaporator) เข้ามาอัดเพิ่มความดันไอ และส่งต่อไปยังเครื่องควบแน่นสารทำความเย็น (Condenser) คอมเพรสเซอร์มีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้

#### - คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบ (Reciprocating Compressor)

รูปที่ 2.7 แสดงคอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบ หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มีดังนี้ ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงเพื่อดูดไอของสารทำความเย็นเข้ามาอยู่ในกระบอกสูบ และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นด้วยแรงดันจากมอเตอร์ไฟฟ้า ไอของสารทำความเย็นจะถูกอัดให้มีความดันเพิ่มขึ้น และไหลออกจากกระบอกสูบ คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มักใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดไม่เกิน 200 ตันความเย็น

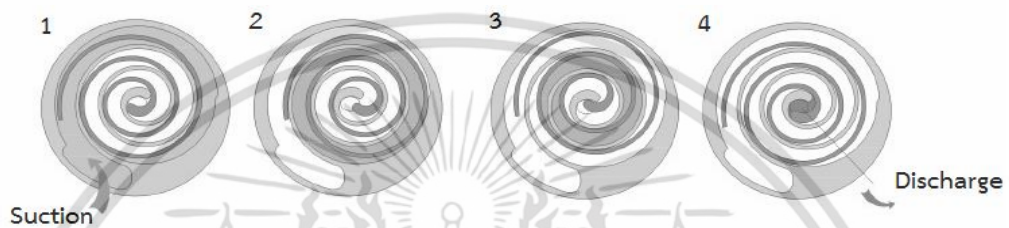


รูปที่ 2.7 คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบ (Hundy, G.F. Trott, A.R. and Welch, T.C. (Auth.). 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คอมเพรสเซอร์ชนิดก้นหอย (Scroll Compressor)

หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มีดังนี้ ชิ้นส่วนก้นหอยชิ้นที่หนึ่งจะอยู่นิ่ง (Fixed Scroll) ในขณะที่ชิ้นส่วนก้นหอยชิ้นที่สอง (Orbiting Scroll) จะเคลื่อนที่เบียดกับชิ้นส่วนที่อยู่นิ่งชิ้นแรก เมื่อชิ้นส่วนสองชิ้นนี้ประกบกันจะเกิดช่องว่างสำหรับกักเก็บไอของสารทำความเย็น และอัดให้ไอของสารทำความเย็นเขาสู่จุดศูนย์กลาง จึงเป็นการลดปริมาตรและเพิ่มความดันให้ไอของสารทำความเย็นที่จะจ่ายออกไปทางช่องที่อยู่ตรงจุดศูนย์กลาง ดังรูปที่ 2.8 คอมเพรสเซอร์ชนิดก้นหอย มักใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นขนาดเล็กที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดระหว่าง 15 ถึง 60 ตันทำความเย็น

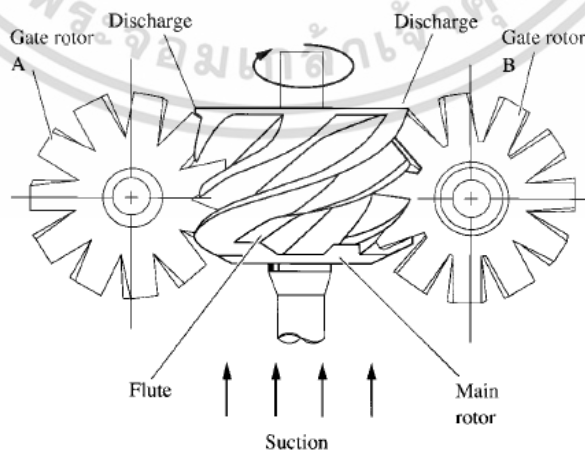


รูปที่ 2.8 หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดก้นหอย

(Hundy, G.F. Trott, A.R. and Welch, T.C. (Auth.). 2008)

- คอมเพรสเซอร์ชนิดสกรู (Screw Compressor)

รูปที่ 2.9 แสดงคอมเพรสเซอร์ชนิดสกรู หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มีดังนี้ เมื่อแกนเพลลาของสกรูหมุนจะดูดไอของสารทำความเย็นเข้ามาทางท่อดูด และอัดไอของสารทำความเย็นตามฟันเฟืองที่ขบกันและหมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้ไอของสารทำความเย็นที่ถูกอัดมีความดันสูงขึ้นและจ่ายสารทำความเย็นออกไปอีกทางหนึ่ง คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มักใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดระหว่าง 50 ถึง 1,300 ตันทำความเย็น

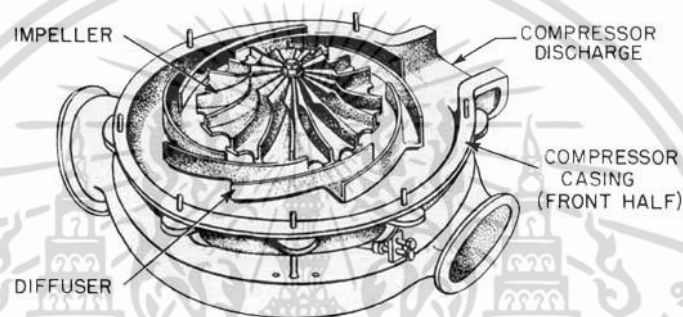


รูปที่ 2.9 คอมเพรสเซอร์ชนิดสกรู (Wang, S. K. 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คอมเพรสเซอร์ชนิดหอยโข่ง (Centrifugal Compressor)

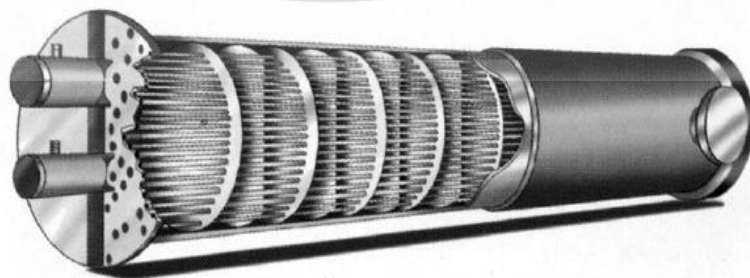
รูปที่ 2.10 แสดงคอมเพรสเซอร์ชนิดหอยโข่ง หลักการอัดไอของคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้อาศัยการหมุนของใบพัด (Impeller) ที่ได้รับการถ่ายกำลังจากเครื่องยนต์ต้นกำลังหรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใบพัดหมุนพลังงานจะถูกถ่ายเทโดยการผลัดกันของครีบบใบพัด ทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง (Tangential Flow) การไหลในลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เป็นผลให้เกิดการไหลจากศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวง (Radial Flow) เมื่อไอของสารทำความเย็นถูกหมุนให้เกิดแรงหนีจุดศูนย์กลางจะมีความดันมากขึ้น คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มักใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดระหว่าง 150 ถึง 8,000 ตันความเย็น



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

2. เครื่องควบแน่นสารทำความเย็น (Condenser)

เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ (Shell and Tube Heat Exchanger) แสดงดังรูปที่ 2.11 ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอของสารทำความเย็นจากคอมเพรสเซอร์ที่มีอุณหภูมิและความดันสูงกับน้ำหล่อเย็นจากหอทำความเย็น เพื่อรับความร้อนจากสารทำความเย็นและควบแน่นสารทำความเย็นให้กลายเป็นของเหลวทั้งหมด



รูปที่ 2.11 เครื่องควบแน่นสารทำความเย็น (เวชยันต์ วรกิจธำรงค์ชัย. 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็น (Refrigerant Control Valve)

ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิและปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้เหมาะสมโดยการลดความดันของสารทำความเย็นก่อนจะป้อนเข้าเครื่องระเหยสารทำความเย็น (Evaporator) โดยทั่วไปอัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบเครื่องทำน้ำเย็นจะเปลี่ยนตามภาระการทำความเย็น (Cooling Load) หรือปริมาณความร้อนที่เครื่องทำน้ำเย็นดึงออกจากน้ำเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว เพื่อปรับภาระการทำความเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นผลิตให้สอดคล้องกับภาระการทำความเย็นที่อุปกรณ์ปลายทางต้องการ อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นมีหลายชนิด เช่น วาล์วระเหยสารทำความเย็น (Expansion Valve) จะติดตั้งในเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดไม่เกิน 200 ตันความเย็น ในกรณีที่ต้องการปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้แน่นอนอาจใช้วาล์วระเหยสารทำความเย็นอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Expansion Valve) ที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครโพรเซสเซอร์ สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดสูงกว่า 200 ตันความเย็น จะใช้วาล์วลูกลอย (Float Valve) หรือแผ่นช่อง (Orifice Plate)

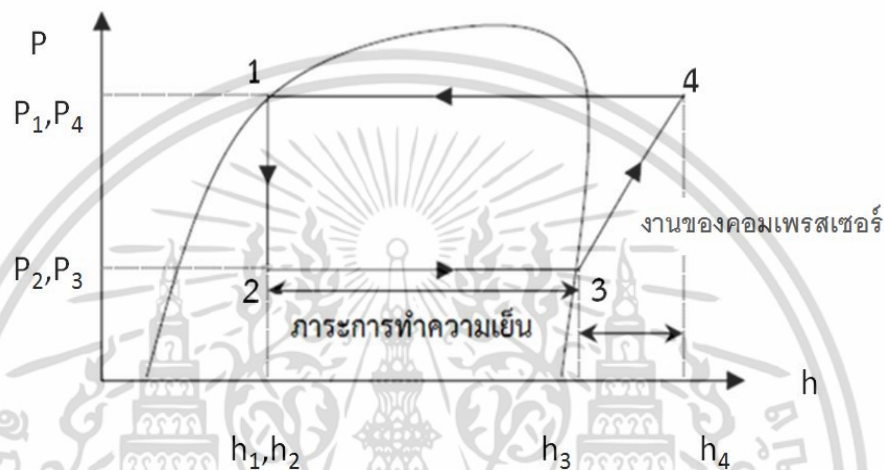
### 4. เครื่องระเหยสารทำความเย็น (Evaporator)

เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อเช่นเดียวกับเครื่องควบแน่นสารทำความเย็น ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นในสถานะของผสมระหว่างของเหลวและไอที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าน้ำเย็นอุณหภูมิสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว สารทำความเย็นของผสมระหว่างของเหลวและไอที่ไหลเข้าเครื่องระเหยจะกลายเป็นไอทั้งหมดที่ความดันคงที่ โดยใช้พลังงานในการระเหยจากน้ำเย็นอุณหภูมิสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว ทำให้น้ำเย็นอุณหภูมิสูงที่ผ่านการใช้งานแล้วที่ผ่านแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิต่ำลง

เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 ที่เป็นกรณีศึกษาในโครงการนี้ มีภาระการทำความเย็นสูงสุด 200 ตันความเย็น อุปกรณ์ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมการอัตราการไหลของสารทำความเย็นชนิดวาล์วระเหยสารทำความเย็นอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องระเหยสารทำความเย็น คอมเพรสเซอร์ชนิดสกรู 2 ตัว คือ คอมเพรสเซอร์ A และ B (คอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานพร้อมกันทั้ง 2 ตัว เมื่อภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่สูงกว่า 80 % แต่หากภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นต่ำกว่า 80 % คอมเพรสเซอร์จะทำงานเพียงตัวเดียว เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น) และเครื่องควบแน่นสารทำความเย็น สารทำความเย็นที่ใช้ คือ R-134A (1,1,1,2-Tetrafluoroethane)

## 2.4 วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ และแนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545; กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2556; ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. 2556; ชวิน เอมมาโนชญ์. 2557; Wang, S.K. 2001; Cengel, Y.A. and Boles, M.A. 2006)

วัฏจักรการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น อาศัยหลักการระเหยและการควบแน่นสารทำความเย็น ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น ประกอบด้วย 4 กระบวนการ แสดงด้วยแผนภูมิความดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แผนภูมิความดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ (พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545)

- กระบวนการที่ 1-2 คือ กระบวนการลดความดันและควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นด้วยอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็น การลดความดันของสารทำความเย็น จะทำให้สารทำความเย็นสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ ในระหว่างกระบวนการลดความดัน สารทำความเย็นบางส่วนจะระเหยกลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลง

อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นทำให้สารทำความเย็นมีอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อภาระการทำความเย็นขณะนั้น การปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นจะทำให้เครื่องทำน้ำเย็นทำงานที่อัตราส่วนการทำงาน (Part Load Ratio, PLR) ต่างๆ ดังสมการที่ (2.15) (Chang, Y.C. 2004)

$$PLR = Q_{evap} / TR \quad (2.15)$$

เมื่อ PLR = อัตราส่วนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น

$Q_{evap}$  = ภาระการทำความเย็นขณะทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น, ต้นความเย็น

TR = ภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็น, ต้นความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เห็นเห็นเป็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามข้อกำหนดการใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นของกรมโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องทำน้ำเย็นควรมีอัตราส่วนการทำงานสูงกว่า 0.60 เพื่อป้องกันคอมเพรสเซอร์ทำงานผิดปกติ หรือเกิดเสิร์จ (Surge) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่คอมเพรสเซอร์ไม่สามารถเพิ่มความดันให้ไอของ สารทำความเย็นได้เพียงพอ ทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของไอของสารทำความเย็นที่มีความดันสูง กว่าจากภายนอกเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ ซึ่งอาจสร้างความเสียหายให้กับชิ้นส่วนของคอมเพรสเซอร์ได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2556)

- กระบวนการที่ 2-3 คือ กระบวนการระเหยสารทำความเย็นแบบความดันคงที่ (Isobaric) ด้วยเครื่องระเหย สารทำความเย็นในสถานะของผสมระหว่างไอและของเหลวที่ออกจากอุปกรณ์ควบคุม อัตราการไหลของสารทำความเย็น จะถูกนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นอุณหภูมิสูงที่ผ่านการ ใช้งานแล้ว ทำให้น้ำเย็นอุณหภูมิสูงที่ผ่านการใช้งานแล้วที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นมีอุณหภูมิต่ำลง กระบวนการระเหยจะสิ้นสุดเมื่อสารทำความเย็นของผสมถูกระเหยกลายเป็นไอทั้งหมด

ภาระการทำความเย็นคำนวณได้จากสมการที่ (2.16) และเมื่อพิจารณาจากแผนภูมิความ ดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ จะสามารถคำนวณจากสมการที่ (2.17) เช่นกัน ภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็น คำนวณจากสมการที่ (2.18) หมายถึง ภาระการทำความ เย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นทำงานเต็มพิกัด (Full Load) หรือมีอัตราส่วนการทำงานเท่ากับ 1.00 ซึ่งจะ ทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าและที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นมีค่าสูงที่สุด (Chang, Y.C. 2004)

$$Q_{evap} = m_{chw} C_p (T_{chw,in} - T_{chw,out}) / 3.517 \quad (2.16)$$

$$= m_{rf} (h_3 - h_2) / 3.517 \quad (2.17)$$

$$TR = m_{chw} C_p \Delta T_{max} / 3.517 \quad (2.18)$$

เมื่อ	$m_{chw}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็น, กิโลกรัม/วินาที
	$m_{rf}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย, กิโลกรัม/วินาที
	$C_p$	=	ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำที่ความดันคงที่, กิโลจูล/กิโลกรัม·°C
	$T_{chw,in}$	=	อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าเครื่องระเหย, °C
	$T_{chw,out}$	=	อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องระเหย, °C
	$h_2$	=	เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่เข้าเครื่องระเหย, กิโลจูล/กิโลกรัม
	$h_3$	=	เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องระเหย, กิโลจูล/กิโลกรัม
	$\Delta T_{max}$	=	ผลต่างสูงสุดระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าและที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระบวนการที่ 3-4 คือ กระบวนการอัดด้วยคอมเพรสเซอร์ ไอของสารทำความเย็นจากเครื่องระเหยจะถูกเพิ่มความดันจนกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated Vapor) เพื่อให้สารทำความเย็นสามารถควบแน่นได้ที่อุณหภูมิสูง ก่อนส่งไปยังเครื่องควบแน่น

งาน (Work) ที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้อัดไอของสารทำความเย็นเพื่อเพิ่มความดันจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นกับภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นขณะนั้น เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิความดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ งานที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้อัดไอของสารทำความเย็นในช่วงเวลาหนึ่ง คำนวณจากสมการที่ (2.19) (Wang, S.K. 2001)

$$W = m_{rf}(h_4 - h_3) \quad (2.19)$$

เมื่อ  $W$  = งานที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้อัดไอของสารทำความเย็น, กิโลวัตต์  
 $h_3$  = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์, กิโลจูล/กิโลกรัม  
 $h_4$  = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์, กิโลจูล/กิโลกรัม

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

ปริมาณความร้อนที่ไอของสารทำความเย็นถ่ายเทออกไปยังน้ำหล่อเย็น คำนวณได้จากสมการที่ (2.20) และเมื่อพิจารณาจากแผนภูมิความดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.21) เช่นกัน (Wang, S.K. 2001)

$$Q_{con} = m_{cw} C_p (T_{cw,out} - T_{cw,in}) / 3.517 \quad (2.20)$$

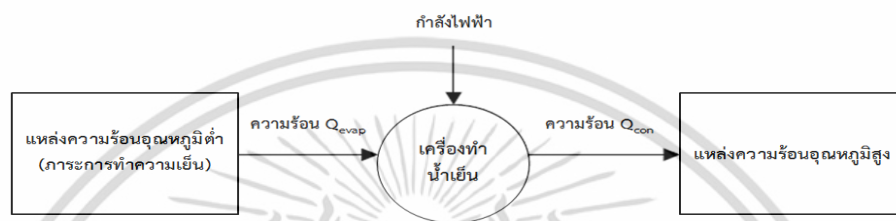
$$= m_{rf}(h_4 - h_1) / 3.517 \quad (2.21)$$

เมื่อ  $Q_{con}$  = ปริมาณความร้อนที่ไอของสารทำความเย็นถ่ายเทสู่น้ำหล่อเย็น, ตันความเย็น  
 $m_{cw}$  = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่น, กิโลกรัม/วินาที  
 $T_{cw,in}$  = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องควบแน่น, °C  
 $T_{cw,out}$  = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่น, °C  
 $h_1$  = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่น, กิโลจูล/กิโลกรัม  
 $h_4$  = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่เข้าเครื่องควบแน่น, กิโลจูล/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสรุปวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอได้ดังรูปที่ 2.13 เครื่องทำน้ำเย็นใช้ไฟฟ้าในการอัดไอของสารทำความเย็นที่คอมเพรสเซอร์ เพื่อให้เครื่องทำน้ำเย็นสามารถรับความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (น้ำเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว) และระบายความร้อนนี้ไปยังแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง (น้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องควบแน่นสารทำความเย็น) สมการดุลพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น แสดงดังสมการที่ (2.22) (พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545)

$$Q_{evap} + Power = Q_{con} \quad (2.22)$$

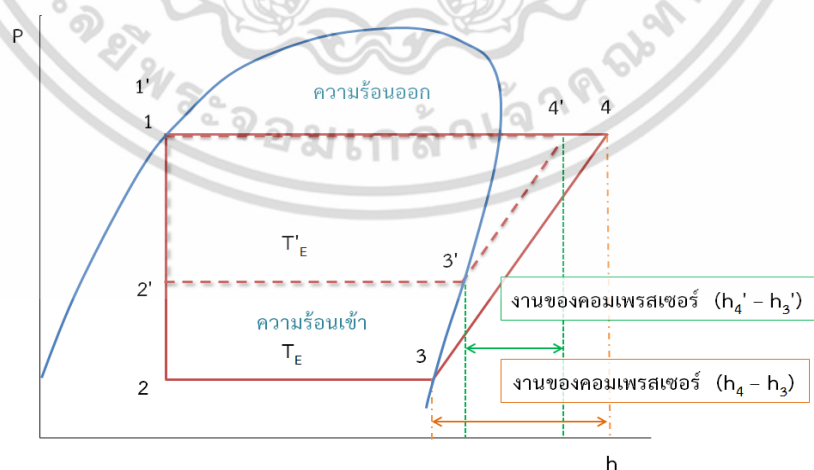


รูปที่ 2.13 การไหลของพลังงานในเครื่องทำน้ำเย็น (พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545)

แนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น เช่น

1. การปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นให้สูงขึ้น

พิจารณารูปที่ 2.14 การระเหยสารทำความเย็นที่เครื่องระเหยเพื่อดึงความร้อนออกจากน้ำเย็นวนกลับที่ผ่านการใช้งานแล้ว จะเกิดตามเส้นทาง 2-3 เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นให้สูงขึ้น เส้นทางการระเหยสารทำความเย็นจะเปลี่ยนเป็น 2'-3' ดังนั้นความดันที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้อัดไอของสารทำความเย็นจะลดลง (งานที่คอมเพรสเซอร์ต้องป้อนให้แก่ไอของสารทำความเย็นจะเปลี่ยนจากเส้นทาง 3-4 เป็น 3'-4') ส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง

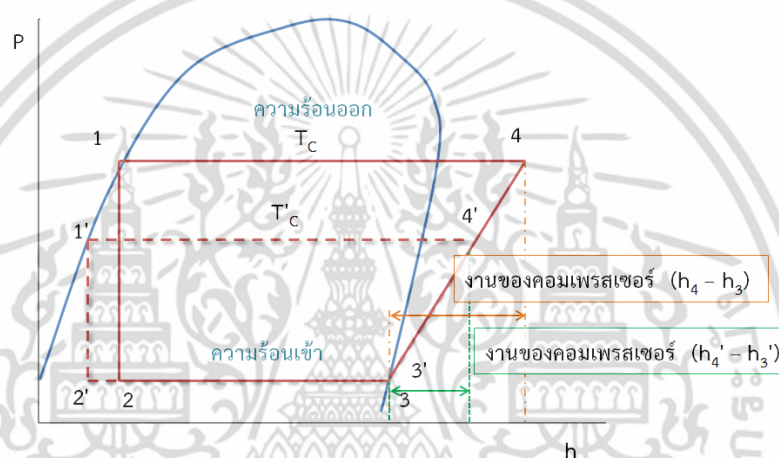


รูปที่ 2.14 แผนภูมิความดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอเมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นให้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าคอนเดนเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็น

พิจารณารูปที่ 2.15 เส้นทาง 4-1 แสดงความดันและอุณหภูมิในการควบแน่นสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์เพื่อถ่ายเทความร้อนที่สารทำความเย็นได้รับจากน้ำเย็นอุณหภูมิสูงที่ผ่านการใช้งานแล้วไปยังน้ำหล่อเย็น หากลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าคอนเดนเซอร์ลง สารทำความเย็นจะสามารถรับความร้อนจากน้ำเย็นอุณหภูมิสูงที่ผ่านการใช้งานแล้วได้มากขึ้น ความดันและอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้อัดไอสารทำความเย็นเพื่อให้ควบแน่นจะเปลี่ยนเป็น 4'-1' ส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง (งานที่คอมเพรสเซอร์ต้องป้อนให้แก่ไอของสารทำความเย็นจะเปลี่ยนจากเส้นทาง 3-4 เป็น 3'-4')



รูปที่ 2.15 แผนภูมิความดัน - เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอเมื่อลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น

## 2.5 เครื่องเป่าลม (Blower) (สุธรรม สุขมณี. 2552; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553; Energy Efficiency Guide for Industry in Asia. 2006)

เครื่องเป่าลม คือ อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแก๊สในอัตราการไหลและทิศทางตามต้องการ มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standards: JIS) ได้กำหนดความแตกต่างระหว่างพัดลมและเครื่องเป่าลม ดังนี้ “พัดลม (Fan)” คือ อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความดันของแก๊สต่ำกว่า 1,000 มิลลิเมตรน้ำ ส่วน “เครื่องเป่าลม” คือ อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความดันของแก๊สตั้งแต่ 1,000 มิลลิเมตรน้ำ แต่ไม่ถึง 10 เมตรน้ำ โดยทั่วไปพัดลมและเครื่องเป่าลมมีลักษณะการทำงานคล้ายกัน แตกต่างกันที่อัตราการไหลและความดันของแก๊สที่ได้ จึงสามารถใช้ทฤษฎีของพัดลมอธิบายการทำงานของเครื่องเป่าลมได้ เช่น ใช้กฎความสัมพันธ์ของพัดลม (Fan's Law) หรือ “กฎการแปรผัน” อธิบายความสัมพันธ์ของเครื่องเป่าลม ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

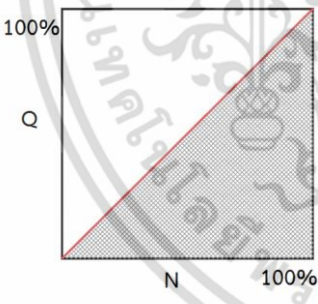
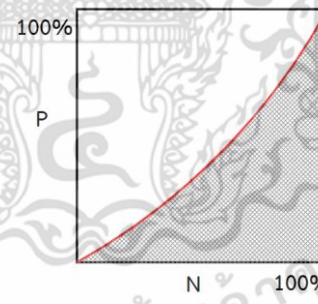
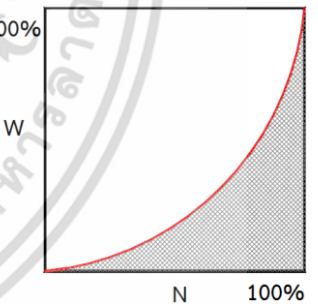
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.23)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(N_1)^2}{(N_2)^2} \quad (2.24)$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{(N_1)^3}{(N_2)^3} \quad (2.25)$$

เมื่อ Q	=	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊ส (ลูกบาศก์เมตร/นาทีก)
N	=	ความเร็วรอบของเครื่องเป่าลม (รอบต่อนาที)
P	=	ความดันของแก๊ส (มิลลิเมตรน้ำ)
W	=	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (กิโลวัตต์)

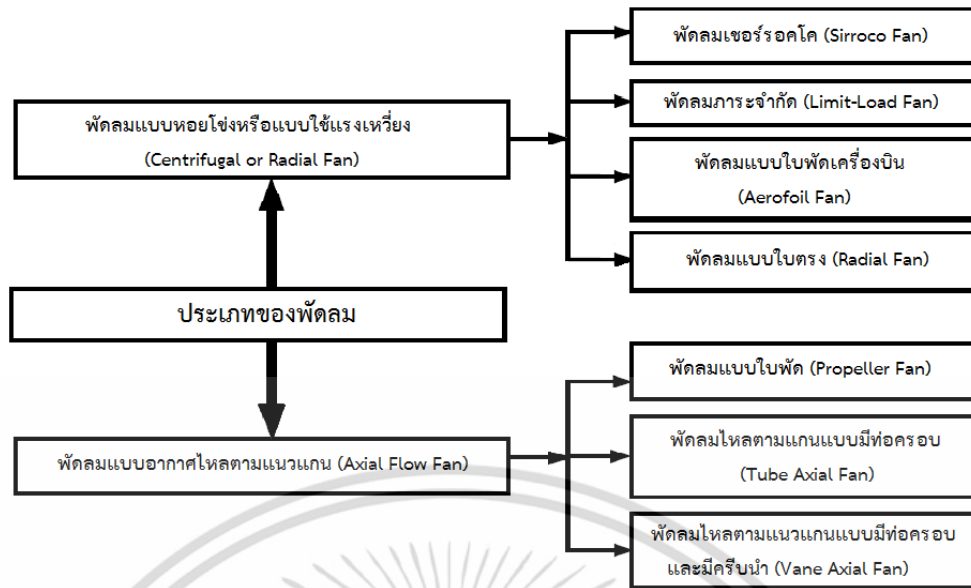
ตารางที่ 2.1 กฎความสัมพันธ์ของพัดลม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553)

ความสัมพันธ์ระหว่าง		
อัตราการไหลของแก๊สกับ ความเร็วรอบของพัดลม	ความดันของแก๊สกับ ความเร็วรอบของพัดลม	การใช้พลังงานไฟฟ้ากับ ความเร็วรอบของพัดลม
		
$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(N_1)^2}{(N_2)^2}$	$\frac{W_1}{W_2} = \frac{(N_1)^3}{(N_2)^3}$

### ประเภทและหลักการทำงานของพัดลม

รูปที่ 2.16 แสดงประเภทของพัดลม ที่แบ่งตามลักษณะการไหลของแก๊สได้ 2 กลุ่ม คือ 1) พัดลมแบบหอยโข่งหรือแบบใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal or Radial Fan) และ 2) พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fan)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

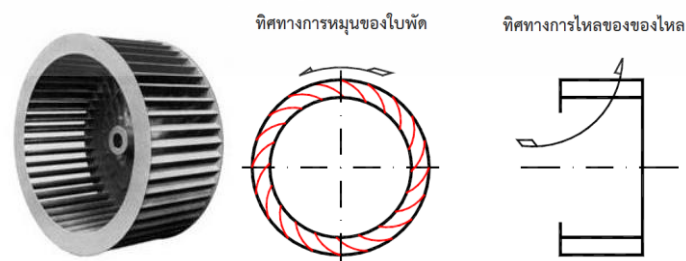


รูปที่ 2.16 ประเภทของพัดลม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553)

**พัดลมแบบหอยโข่งหรือแบบใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal or Radial Fan)**

หลักการทำงานอาศัยการหมุนของใบพัดที่ได้รับการถ่ายกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า ผลักดันแก๊สให้ไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เป็นผลให้เกิดการไหลจากศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวง แบ่งพัดลมแบบหอยโข่งตามลักษณะการทำงานและชนิดของใบพัด เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1. พัดลมเซอร์ร็อคโค (Sirroco Fan) หรือพัดลมแบบหลายใบ (Multi-Blade Fan) แสดงดังรูปที่ 2.17 เป็นพัดลมที่มีกรีบใบพัดโค้งไปทางเดียวกับการหมุน (ใบโค้งหน้า) เหมาะสำหรับงานที่ต้องการอัตราการไหลของแก๊สต่ำ และมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของแก๊สไม่มาก ประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างสูง (55-75%) สามารถทำให้แก๊สมีอัตราการไหลตั้งแต่ 10-1,000 ลูกบาศก์เมตร/นาที



รูปที่ 2.17 ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมเซอร์ร็อคโค

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553)

2. พัดลมภาระจำกัด (Limit-Load Fan) แสดงดังรูปที่ 2.18 เป็นพัดลมที่มีครีบบใบพัดโค้งไปทางตรงข้ามกับการหมุน (ใบโค้งหลัง) เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ปรับอากาศและท่อลมความเร็วสูงในอุตสาหกรรม มีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าพัดลมชนิดเซอร์ร็อคโค (65-80%) สามารถทำให้แก๊สมีอัตราการไหลตั้งแต่ 20-3,200 ลูกบาศก์เมตร/นาทึ



**รูปที่ 2.18** ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมภาระจำกัด  
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553)

3. พัดลมแบบใบพัดเครื่องบิน (Aerofoil Fan) แสดงดังรูปที่ 2.19 เป็นพัดลมที่มีปลายเรียวคล้ายปีกเครื่องบินและโค้งไปทางตรงข้ามกับการหมุน (ใบโค้งหลัง) เหมาะสำหรับงานที่ต้องการอัตราการไหลของแก๊สสูง การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของแก๊สทำได้ง่ายและสะดวก สามารถใช้ได้กับแก๊สที่มีอนุภาคของแข็งแขวนลอย เป็นพัดลมที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดในพัดลมแบบหอยโข่ง (65-80%) แต่มีราคาแพง สามารถทำให้แก๊สมีอัตราการไหลตั้งแต่ 60-2,500 ลูกบาศก์เมตร/นาทึ

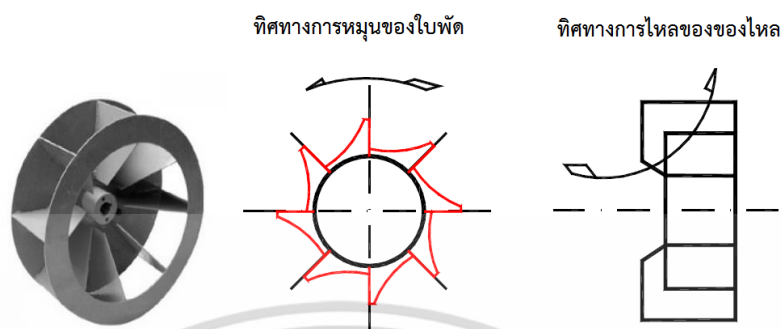


**รูปที่ 2.19** ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมแบบใบพัดเครื่องบิน  
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553)

4. พัดลมแบบใบตรง (Radial Fan) แสดงดังรูปที่ 2.20 เป็นพัดลมที่มีใบพัดตามแนวรัศมี มีโครงสร้างที่เรียบง่าย แข็งแรงและทนทาน สามารถใช้ได้กับแก๊สที่มีของแข็งแขวนลอย หรือแก๊สที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติที่ดีกว่าเนื่องจากการเคลื่อนผิวใบพัดทำได้ง่าย มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำที่สุดในพัดลมแบบ หอยโข่ง (50-65%) สามารถทำให้เกิดสมรรถนะการไหลตั้งแต่ 3-20 ลูกบาศก์เมตร/นาที



รูปที่ 2.20 ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมแบบใบตรง  
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553)

### พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fan)

ไม่นิยมใช้ในระบบปรับอากาศ เพราะมีเสียงดังและประสิทธิภาพการทำงานต่ำ ทำงานโดยดูด แก๊สเข้าทางด้านหลังของใบพัด แล้วส่งแก๊สผ่านใบพัดออกไปตามแนวแกน แบ่งพัดลมแบบอากาศไหลตาม แนวแกนตามลักษณะการทำงานและชนิดของใบพัด เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. พัดลมแบบใบพัด (Propeller Fan) แสดงดังรูปที่ 2.21 เป็นพัดลมที่มีลักษณะเช่นเดียวกับ ใบพัดเรือ ใช้ส่งลมแบบไม่มีท่อลม นิยมใช้เป็นพัดลมถ่ายเทอากาศ พัดลมระบายแก๊สเสีย พัดลมระบาย ความร้อน มีเสียงค่อนข้างดัง สามารถทำให้เกิดสมรรถนะการไหลตั้งแต่ 10-50 ลูกบาศก์เมตร/นาที

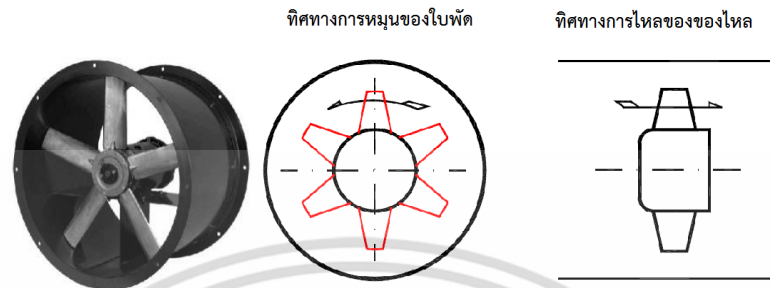


รูปที่ 2.21 ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมแบบใบพัด  
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553)

2. พัดลมไหลตามแกนแบบมีท่อครอบ (Tube Axial Fan) แสดงดังรูปที่ 2.22 ใบพัดจะอยู่ ภายในท่อครอบ เป็นพัดลมที่มีการไหลของแก๊สตามแนวแกนหมุน ลักษณะการไหลเป็นแบบสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Screw-Like Motion) มีประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างต่ำ (30-50%) แต่มีอัตราการไหลของแก๊สสูงกว่าแบบใบพัด นิยมใช้เป็นพัดลมส่งอากาศในหอทำความเย็น มีเสียงค่อนข้างดัง สามารถทำให้แก๊สมีอัตราการไหลตั้งแต่ 15-1,000 ลูกบาศก์เมตร/นาที



รูปที่ 2.22 ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมไหลตามแกนแบบมีท่อครอบ  
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553)

3. พัดลมไหลตามแนวแกนแบบมีท่อครอบและมีครีบริบนำ (Vane Axial Fan) แสดงดังรูปที่ 2.23 เป็นพัดลมลักษณะเดียวกับพัดลมไหลตามแกนแบบมีท่อครอบ แต่จะมีครีบริบนำทางแก๊ส (Guide Vanes) เพื่อป้องกันการปั่นป่วนของแก๊สทำให้การไหลของแก๊สอยู่ในแนวแกนหมุน มีประสิทธิภาพการทำงานปานกลาง (40-65%) สามารถทำให้แก๊สมีอัตราการไหลตั้งแต่ 15-1,000 ลูกบาศก์เมตร/นาที



รูปที่ 2.23 ลักษณะและหลักการทำงานของพัดลมไหลตามแนวแกนแบบมีท่อครอบและมีครีบริบนำ  
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553)

เครื่องเป่าลม 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 ในกระบวนการซีลโฟเนชันเป็นเครื่องเป่าลมแบบหอยโข่งหรือแบบใช้แรงเหวี่ยงชนิดการะจำกัด เนื่องจากมีประสิทธิภาพการใช้งานสูง และสามารถทำให้แก๊สมีอัตราการไหลเป็นช่วงกว้างตั้งแต่ 20-3,200 ลูกบาศก์เมตร/นาที จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการซีลโฟเนชัน ซึ่งต้องการอัตราการไหลของแก๊สที่หลากหลายให้เหมาะสมกับแต่ละกำลังการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 มอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

2.6.1. มอเตอร์ (Motor) (ปัญญา ยอดโอวาท. 2547; ไชยชาญ หินเกิด. 2551; ภัทรา กุลเดชชัยชาญ. 2551; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556; Petruzella, F. D. 1996)

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ใช้เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังของเครื่องจักรต่างๆ ในอาคารและอุตสาหกรรม สามารถแบ่งประเภทของมอเตอร์โดยพิจารณาจากการใช้กระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิด คือ 1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor: DC Motor) และ 2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor: AC Motor) ดังรูปที่ 2.24



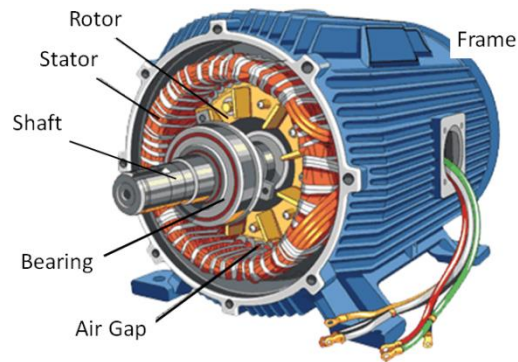
รูปที่ 2.24 การแบ่งประเภทของมอเตอร์ตามการใช้กระแสไฟฟ้า

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556)

โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก แสดงดังรูปที่ 2.25 คือ

1. ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย 1) โครงของมอเตอร์ (Frame or Yoke) ทำด้วยเหล็กหล่อทรงกระบอกกลวงมีครีบบนเพื่อช่วยระบายความร้อน ทำหน้าที่ยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) ให้อยู่กับที่ 2) แกนเหล็กสเตเตอร์ ทำด้วยเหล็กวงกลมแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน (Laminated Iron Core) และ 3) ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Coil) จะมีลักษณะเป็นเส้นลวดทองแดงเคลือบฉนวนพันอยู่ในร่อง (Slot) ของแกนเหล็กสเตเตอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวรับกระแสไฟฟ้าจากภายนอก และเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวดสเตเตอร์จะเหนี่ยวนำไปที่โรเตอร์เพื่อให้โรเตอร์หมุน

2. ส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์ (Rotor) ประกอบด้วยแกนเพลลา (Shaft) ที่วางอยู่บนตลับลูกปืน (Bearing) ทำให้โรเตอร์หมุนในแนวแกนหมุน ใช้สำหรับยึดแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) มีขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) พันอยู่ในร่องของแกนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ขนาดของลวดและจำนวนรอบที่พันขึ้นอยู่กับการออกแบบโรเตอร์เพื่อให้เหมาะสมกับงานต่างๆ



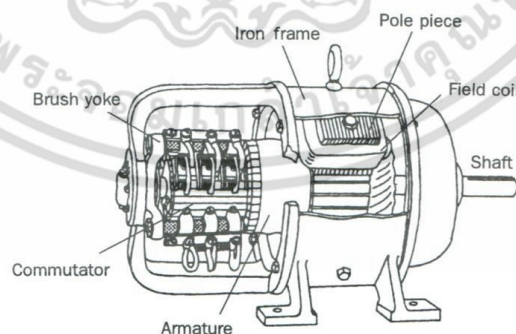
รูปที่ 2.25 โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้า

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556)

### มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 2.26 แสดงโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โรเตอร์ประกอบด้วยอาร์เมเจอร์ (Armature) ที่ถูกพันรอบๆ ด้วยขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) และมีขั้วแม่เหล็ก (Pole Piece) ยึดติดกับโครงของมอเตอร์ เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำเป็นต้องจ่ายไฟฟ้าเข้าไปยังอาร์เมเจอร์ จึงมีแปรงถ่านคาร์บอน (Carbon Brushes) สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำหน้าเป็นตัวนำไฟฟ้าเข้าไปยังอาร์เมเจอร์

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปยังมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะผ่านแปรงถ่านคาร์บอนและคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในอาร์เมเจอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำขึ้น กระแสไฟฟ้าอีกส่วนจะไหลเข้าไปสเตเตอร์ ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนจากสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำทั้งสองสนามของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

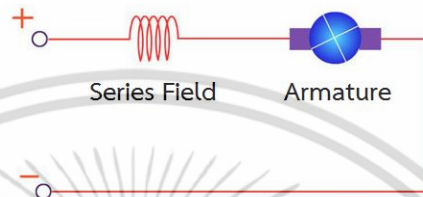


รูปที่ 2.26 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (ภัทธา กุลเดชชัยชาญ. 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งตามลักษณะการต่อขดลวดสนามแม่เหล็กได้ 3 แบบ ดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.27 จึงเรียกขดลวดสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า “ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field)” มีคุณสมบัติที่ดี คือ ให้แรงบิดสูง นิยมใช้เป็นต้นกำลังสำหรับรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า เครื่องไฟฟ้า เป็นต้น ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมจะลดลงเมื่อภาระการทำงานของมอเตอร์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.27 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (ภัทรา กุลเดชชัยชาญ. 2551)

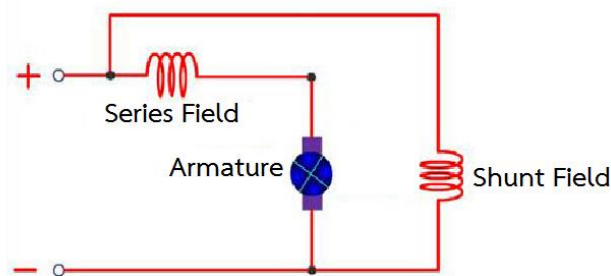
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.28 จึงเรียกขดลวดสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า “ชันทฟิลด์ (Shunt Field)” มีคุณสมบัติที่ดี คือ ให้ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ จึงนิยมนำไปใช้กับเครื่องจักรกลที่ต้องหมุนด้วยรอบคงที่ เช่น เครื่องกลึง เครื่องไส เครื่องกัด เป็นต้น



รูปที่ 2.28 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (ภัทรา กุลเดชชัยชาญ. 2551)

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดสนามแม่เหล็ก 2 ชุดพันอยู่บนขั้วแม่เหล็กอันเดียวกัน ขดลวดสนามแม่เหล็กชุดแรกต่ออนุกรม ส่วนชุดที่สองต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.29 ทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีคุณสมบัติผสมระหว่างมอเตอร์แบบอนุกรมและขนาน กล่าวคือ มีความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่กว่ามอเตอร์แบบอนุกรม แต่ยังคงมีแรงบิดที่สูงกว่ามอเตอร์แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (ภัทรา กุลเดชชัยชาญ. 2551)

### มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับมีข้อดี คือ ไม่มีแปรงถ่านคาร์บอนและคอมมิวเตเตอร์ ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างแปรงถ่านคาร์บอนกับคอมมิวเตเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่มีกำลังสูง และการบำรุงรักษาต่ำ นิยมใช้ทั่วไปในอาคารและอุตสาหกรรมเนื่องจากอาคารและอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นอุปกรณ์ที่ควรพิจารณาลำดับต้นๆ เมื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งตามโครงสร้างและหลักการทำงานได้ 2 แบบ คือ

#### 1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส (Synchronous Motor)

เป็นมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีขนาดพิกัดของกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 150 กิโลวัตต์ ถึง 15 เมกะวัตต์ ความเร็วตั้งแต่ 150 ถึง 1,800 รอบต่อนาที สเตเตอร์ของมอเตอร์แบบซิงโครนัสจะมีร่องสำหรับพันขดลวดจำนวน 3 ชุด เฟสละ 1 ชุด ส่วนโรเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Poles) และมีขดลวดพันรอบๆ ขั้วแม่เหล็กยื่นเหล่านั้น เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปยังมอเตอร์แบบซิงโครนัส สเตเตอร์ของมอเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำขึ้น และเนื่องจากโรเตอร์ของมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น และมีขดลวดที่สนามแม่เหล็กพันอยู่รอบๆ ทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่สเตเตอร์

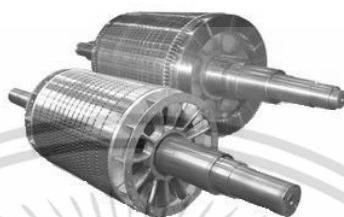
#### 2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (Induction Motor)

มีลักษณะการทำงานคล้ายกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส แตกต่างกันที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำจะขึ้นกับความถี่ของแรงดันไฟฟ้า มีคุณสมบัติที่ดี คือ มีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบของมอเตอร์ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ของแรงดันไฟฟ้า มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกต่อการบำรุงรักษาเพราะไม่มีแปรงถ่านคาร์บอนและคอมมิวเตเตอร์เหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์หรืออินเวอร์เตอร์ (Inverter) สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วสูงสุดตามพิกัดของมอเตอร์ นิยมใช้เป็นต้นกำลังในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อขับเคลื่อนลิฟท์ ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง ขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบ่งตามลักษณะของโรเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor) ลักษณะของโรเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.30
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำที่มีโรเตอร์แบบขดลวด (Wound Rotor Induction Motor) ลักษณะของโรเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.30 ลักษณะของโรเตอร์แบบกรงกระรอกของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ  
(ภัทรา กุลเดชชัยชาญ, 2551)



รูปที่ 2.31 ลักษณะของโรเตอร์แบบขดลวดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ  
(ภัทรา กุลเดชชัยชาญ, 2551)

ในโครงการวิจัยนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำที่มีโรเตอร์แบบขดลวดเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องเป่าลม 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 มอเตอร์มีขนาด 250, 250 และ 150 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ความเร็วรอบของมอเตอร์ชนิดนี้คงที่และขึ้นกับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ เมื่อใช้งานร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์หรืออินเวอร์เตอร์ จะสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วสูงสุดตามพิกัดของมอเตอร์

**2.6.2. อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์** (กฤษฎา วิศวธีรานนท์. 2539; วิชัย คังจันทรานนท์. 2540; มัสตุโอะ โมโตกิ. 2543; โคทม อารียา. 2544; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556)

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ (Variable Speed Drives: VSD) หรือ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับภาระการทำงาน โดยอาศัยหลักการปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ ดังสมการที่ (2.25)

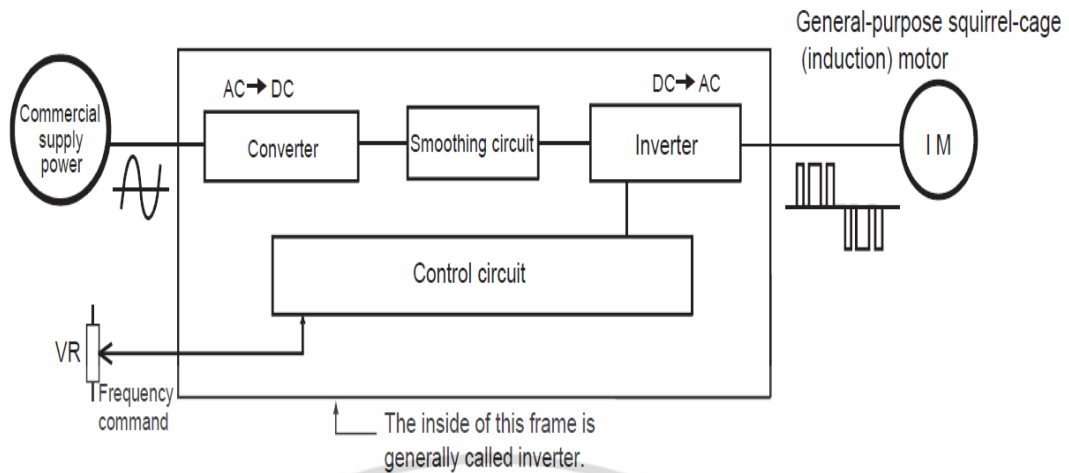
$$N_m = \frac{120f}{P_m} \quad (2.25)$$

เมื่อ  $N_m$  = ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบต่อนาที)

$f$  = ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ (Hz)

$P_m$  = จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

จากสมการที่ (2.25) หากปรับลดความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะลดลง และจากสมการที่ (2.23) ของกฎความสัมพันธ์ของพัดลม (Fan's Law) จะเห็นว่าเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลง ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ลดลงมาก ดังนั้นการปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ที่อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระการทำงานจึงเป็นแนวทางที่นิยมในปัจจุบันเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ของอุปกรณ์การปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์จะเริ่มจากความถี่สูงสุดของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ที่มอเตอร์ทำงานเต็มพิกัด (Full Load) คือ 50 Hz ไม่ควรตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ต่ำกว่า 30 Hz เนื่องจากจะทำให้ความเร็วรอบของใบพัดลมที่ถ่ายเทความร้อนออกจากมอเตอร์ลดลง อาจทำให้มีความร้อนสะสมที่มอเตอร์และทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ตามปกติในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า จะเริ่มปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์จาก 50 Hz แล้วปรับลดลงครั้งละ 1 Hz เพื่อหาความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับภาระการทำงาน และทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ของอุปกรณ์มีค่าต่ำที่สุด



รูปที่ 2.32 ส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์  
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556)

รูปที่ 2.32 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

1. คอนเวอร์เตอร์ (Converter) ทำหน้าแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็นไฟฟ้ากระแสตรง
2. ชุดวงจร Smoothing Circuit หรือ DC Link ทำหน้าควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์ให้มีความราบเรียบมากที่สุด ก่อนที่จะเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ (Inverter)
3. อินเวอร์เตอร์ ทำหน้าแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ
4. ชุดควบคุม (Control Circuit) ทำหน้ารับ-ส่งสัญญาณควบคุมให้กับคอนเวอร์เตอร์และอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานผ่านทางอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น Input/Output Unit: I/O และ Man-Machine-Interface: MMI เป็นต้น

**2.7 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchangers)** (วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. 2536; สุธรรม สุขมณี. 2550; สิทธิพันธ์ บุญสงค์ และคณะ. 2553; สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. 2554; Cengel, Y. A. 2005)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรม แบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ

- 1) ตามสถานะของไหลที่ใช้
- 2) ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน
- 3) ตามโครงสร้างของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่แบ่งตามสถานะของไหลที่ใช้

1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว (ไม่เปลี่ยนแปลงสถานะ) ของเหลว 2 ชนิดยังคงมีสถานะของเหลวเท่านั้นเมื่อถูกทำให้ร้อนขึ้นหรือเย็นลง เช่น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำมันก๊าดร้อนและน้ำมันดิบที่ป้อนเข้าหอกลั่นน้ำมัน
2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว (เปลี่ยนแปลงสถานะ) ของเหลวชนิดหนึ่งยังอยู่ในสถานะของเหลว แต่ของเหลวอีกชนิดจะเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สขณะที่แลกเปลี่ยนความร้อน เช่น รีบอยล์เลอร์ (Reboiler)
3. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊ส-แก๊ส (ไม่เปลี่ยนแปลงสถานะ) แก๊ส 2 ชนิดไม่เกิดการควบแน่นเป็นของเหลว เช่น เครื่องอุ่นอากาศ (Air Preheater)
4. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊ส-แก๊ส (เปลี่ยนแปลงสถานะ) แก๊สชนิดหนึ่งยังอยู่ในสถานะแก๊ส แต่แก๊สอีกชนิดจะถูกควบแน่นเป็นของเหลวขณะที่แลกเปลี่ยนความร้อน เช่น เครื่องกระจายความร้อน (Radiator) สำหรับอุ่นอากาศด้วยไอน้ำเพื่อให้ความอบอุ่นในห้อง
5. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊ส-ของเหลว (ไม่เปลี่ยนแปลงสถานะ) แก๊สและของเหลวไม่มีการเปลี่ยนสถานะขณะที่แลกเปลี่ยนความร้อน เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อน้ำ (Economizer หรือ Feed Water Preheater) ที่ใช้แก๊สเสียจากการเผาไหม้ที่หม้อน้ำเป็นแหล่งความร้อน
6. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊ส-ของเหลว (เปลี่ยนแปลงสถานะ) แก๊สยังอยู่ในสถานะแก๊ส แต่ของเหลวจะเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สขณะที่แลกเปลี่ยนความร้อน เช่น เครื่องระเหย (Evaporator)

### อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่แบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

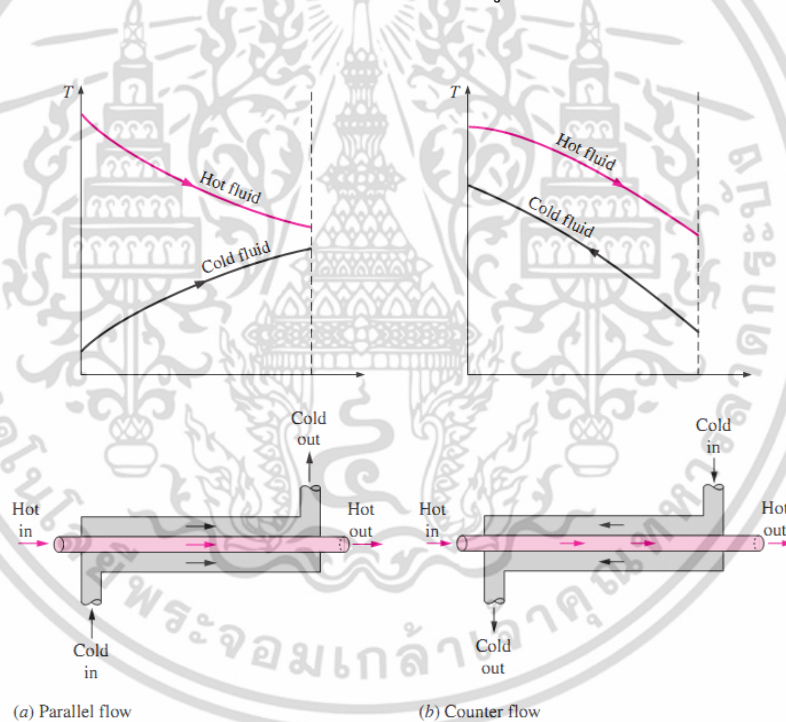
1. เครื่องระเหย (Evaporator) ทำหน้าที่ระเหยของเหลวให้เป็นแก๊ส
2. เครื่องควบแน่น (Condenser) ทำหน้าที่ควบแน่นแก๊สให้เป็นของเหลว
3. เครื่องอุ่น (Preheater) ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของของไหลก่อนส่งเข้ากระบวนการ มักจะเรียกชื่อตามอุปกรณ์ที่ใช้ของไหล หรือตามประเภทของของไหลที่ถูกอุ่นให้ร้อน เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อน้ำ (Boiler Feed Water Preheater) เป็นต้น
4. เครื่องทำให้ร้อน (Heater) ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหล
5. เครื่องทำให้ร้อนยิ่งยวด (Superheat Heater) ทำหน้าที่เพิ่มความร้อนให้กับของไหลที่ถูกทำให้ร้อนมาแล้ว เพื่อทำให้อยู่ในสภาพร้อนยิ่งยวด เช่น เครื่องผลิตไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Steam Superheater)
6. เครื่องต้มซ้ำ หรือรีบอยล์เลอร์ (Reboiler) ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับของเหลวจนเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส
7. เครื่องระบายความร้อน (Cooler) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เครื่องทำน้ำเย็น ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของของไหลให้ต่ำลงโดยใช้สารทำความเย็น (Refrigerant) เช่น ฟรีออน แอมโมเนีย เป็นต้น

### อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่แบ่งตามโครงสร้างของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อ 2 ชั้น หรือท่อคู่ (Double Pipe Heat Exchanger) โครงสร้างประกอบด้วยท่อ 2 ขนาดที่สวมเข้าด้วยกันโดยมีแกนกลางของท่อร่วมกัน ของไหลชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในท่อ และของไหลอีกชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในช่องว่างระหว่างท่อในและท่อนอก ของไหลทั้งสองชนิดอาจไหลในทิศทางเดียวกัน (Parallel Flow หรือ Co-Current) หรือไหลสวนทางกัน (Counter Flow หรือ Counter-Current) ดังรูปที่ 2.33 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้เหมาะสำหรับเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของของไหลที่มีความหนืดสูงในระบบที่ความดันสูง หรือของไหลที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง ในบางครั้งจะใช้ท่อที่มีครีบริดอยู่ที่ท่อชั้นในเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน ข้อดีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ คือ มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ราคาของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ถ่ายเทความร้อนถูก ข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่ติดตั้งมาก



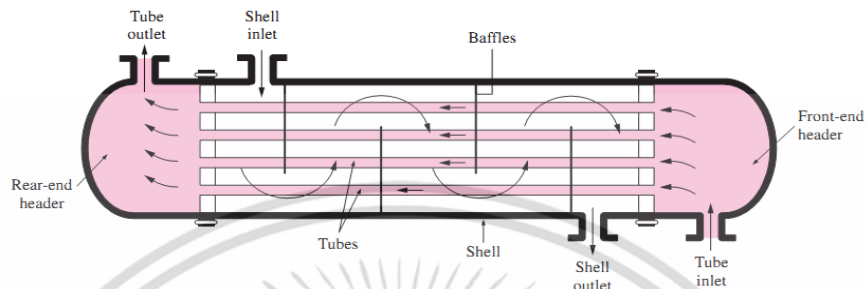
รูปที่ 2.33 ลักษณะการไหลและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อ 2 ชั้น หรือท่อคู่ (Cengel, Y. A. 2005)

2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ (Shell and Tube Heat Exchanger) โครงสร้างประกอบด้วยเปลือก (Shell) ท่อ (Tube) และแผ่นกั้น (Baffles) ที่ติดตั้งในเปลือก ดังรูปที่ 2.34 ของไหลชนิดหนึ่งอยู่ในเปลือกและอีกชนิดอยู่ในท่อ ลักษณะการไหลอาจเป็นแบบสวนทางกัน

ขนานกัน หรือไหลตั้งฉากกับท่อ ข้อดีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ คือ เหมาะสมสำหรับ

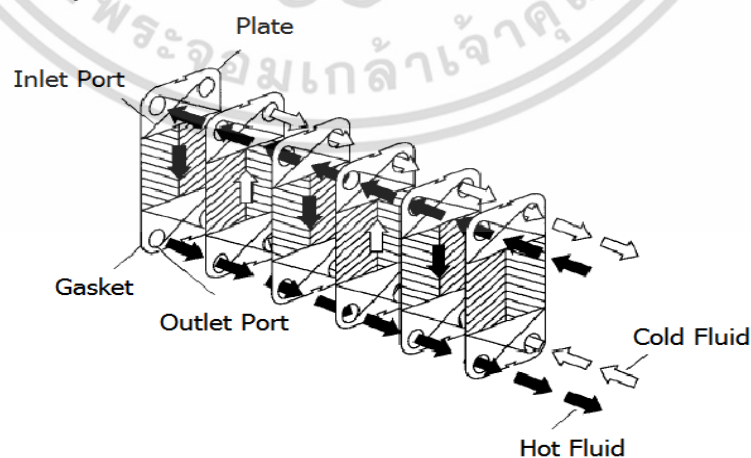
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์ในการใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการที่ของไหลมีอัตราการไหล อุณหภูมิ และความดันสูง เช่น ในอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นต้น เนื่องจากมีระยะระหว่างพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสูง จึงลดโอกาสการเกิดสเกลและการอุดตัน (Fouling หรือ Flow Blockage) ที่อาจเกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ ข้อเสียคือประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ำเมื่อเทียบกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น



รูปที่ 2.34 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ (Cengel, Y. A. 2005)

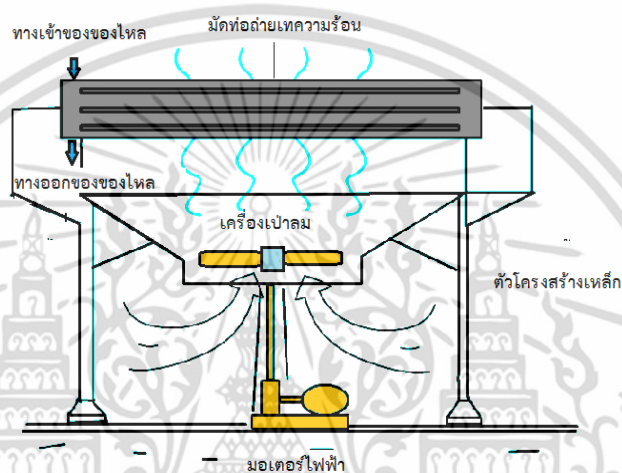
3. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น (Plate Heat Exchanger) โครงสร้างประกอบด้วยแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนหลายแผ่นต่อเรียงกันและห่างกันคงที่ ของไหลแต่ละชนิดไหลผ่านด้านหน้าและหลังของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในลักษณะที่สลับกันช่องเว้นช่อง โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน คือ เหล็กสแตนเลส (Stainless Steel) หรือไทเทเนียม (Titanium) ซึ่งทนต่อสนิมได้ดี ลักษณะและโครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น แสดงดังรูปที่ 2.35 ข้อดีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ คือ มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนสูงมาก ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อยกว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดอื่นเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่เท่ากัน และสามารถเพิ่มหรือลดปริมาณแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนได้ ข้อเสียคือค่าลงทุนก่อสร้างและค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.35 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น (Wang, S. K. 2001)

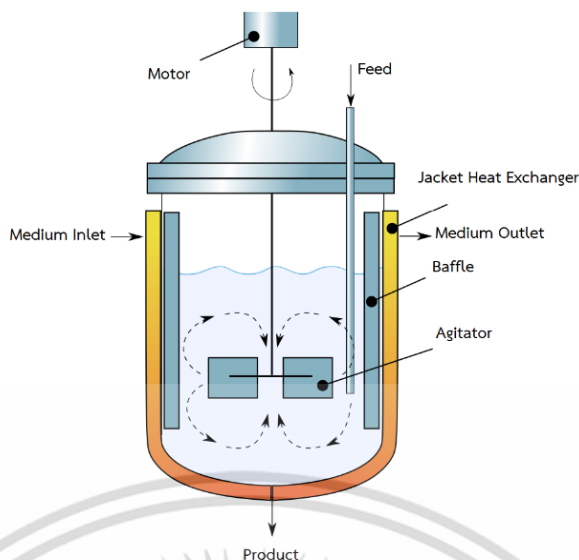
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Heat Exchanger) ใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนแทนน้ำเย็น โครงสร้างประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) มัดท่อถ่ายเทความร้อนที่มีครีป (Fin) 2) โครงสร้างเหล็กสำหรับมัดท่อ และ 3) เครื่องเป่าลมพร้อมมอเตอร์สำหรับเป่าอากาศที่อยู่รอบมัดท่อ ดังรูปที่ 2.36 ข้อดีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้คือไม่ต้องหาแหล่งน้ำและไม่ต้องควบคุมคุณภาพน้ำ ลดปัญหาเกี่ยวกับสนิมหรือความสกปรกเพราะไม่ได้ใช้น้ำเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน และค่าบำรุงรักษาถูกกว่ากรณีใช้น้ำ ข้อเสียคือเสียงดัง ค่าลงทุนก่อสร้างสูง ต้องเลือกสถานที่ติดตั้งที่เป็นพื้นที่โล่งเพราะใช้อากาศในการระบายความร้อนจึงต้องใช้พื้นที่ติดตั้งมากเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนดี



รูปที่ 2.36 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศ  
(สิทธิพันธ์ บัญสงค์ และคณะ. 2553)

5. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดปลอกหุ้ม (Jacket Heat Exchanger) โครงสร้างเป็นถึง 2 ชั้น ชั้นในบรรจุของไหลในกระบวนการ ชั้นนอกมีของไหลถ่ายเทความร้อนไหลผ่านเพื่อรักษาอุณหภูมิของของเหลวในถังในให้คงที่ ดังรูปที่ 2.37 ข้อดีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้คือ โครงสร้างง่าย และราคาถูก ข้อเสีย คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนถูกจำกัดด้วยขนาดของถัง จึงไม่เหมาะกับงานที่มีวัตถุประสงค์เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน และไม่สามารถทำความสะอาดภายในปลอกหุ้ม ดังนั้นของไหลที่ใช้ในปลอกหุ้มควรเป็นของไหลที่มีความสกปรกน้อย เช่น ไขมัน หรือน้ำเย็น



รูปที่ 2.37 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดปลอกหุ้ม (สิทธิพันธ์ บัญสงค์ และคณะ. 2553)

บริษัทที่เป็นกรณีศึกษาใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลายชนิดตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ในโครงการวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อที่หน่วยผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ได้แก่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E2 และ 12 E3 เพื่อระบายความร้อนออกจากแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5, 12 E6 และ 12 E7 เพื่อระบายความร้อนออกจากแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

กรณีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E2 และ 12 E3 อากาศจากเครื่องเป่าลม 12 K1 ไหลในเปลือก ส่วนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไหลในท่อของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง ในกรณีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5, 12 E6 และ 12 E7 แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ไหลในเปลือก ส่วนอากาศจากเครื่องเป่าลม 12 K1 ไหลในท่อ

## 2.8 แนวทางการจัดการและการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม (Topfer, K. 2006; มัสตุโอะ โมโตกิ. 2543; ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์. 2548; วัชร มั่งวิฑิตกุล. 2550)

การจัดการพลังงานในอุตสาหกรรม หมายถึง การจัดการการใช้พลังงานประเภทต่างๆ ในกระบวนการให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

### 2.8.1 หลักการพิจารณาแนวทางการจัดการและการอนุรักษ์พลังงาน

1. การเลือกใช้ชนิดของพลังงานและเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมกับกิจกรรมการใช้พลังงานมากที่สุด โดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและราคาของเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเลือกวิธีการแปลงพลังงานในกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสม หากกระบวนการใดสามารถใช้พลังงานได้มากกว่าหนึ่งรูปแบบควรเลือกรูปแบบการใช้พลังงานที่มีความเหมาะสมทั้งเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ เช่น การเลือกใช้น้ำสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือใช้ให้ความร้อนในกระบวนการ

3. การลดการสูญเสียและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการต้องศึกษาสภาพการใช้งานและรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานเพื่อวิเคราะห์แนวทางการลดความสูญเสียเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น ท่อไอน้ำรั่ว ท่อลมรั่ว ฉนวนความร้อนเสื่อมสภาพ เป็นต้น

4. การนำพลังงานเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เช่น การนำความร้อนทิ้ง (Waste Heat) จากกระบวนการต่างๆ ที่ยังมีศักยภาพกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ (Waste Heat Recovery) ทั้งนี้ต้องพิจารณาความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์

## 2.8.2 การตรวจสอบทำบัญชีพลังงาน (Energy Audit)

การตรวจสอบทำบัญชีพลังงาน คือ การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานทั้งหมดในกระบวนการเพื่อหาแนวทางการจัดการและการอนุรักษ์พลังงาน มีขั้นตอนปฏิบัติตามลำดับ ดังนี้

1. ตรวจสอบสภาพการใช้พลังงานจากข้อมูลในอดีต เป็นการรวบรวมและศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่ผ่านมา ที่จัดบันทึกไว้หรือสามารถหาได้จากใบแจ้งหนี้พลังงาน เพื่อให้ทราบปริมาณและค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานทุกรูปแบบ ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์และปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา

2. ตรวจสอบวิเคราะห์การใช้พลังงาน ขั้นตอนแรกเข้าสำรวจกระบวนการผลิต โดยศึกษากระบวนการเพื่อทราบลักษณะทั่วไปของกระบวนการผลิตและอุปกรณ์ต่างๆ หากกระบวนการและอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานสูงและส่วนที่เกี่ยวข้อง หาสาเหตุของการสูญเสียพลังงาน การใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการ และมาตรการการจัดการและการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตที่มีศักยภาพเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

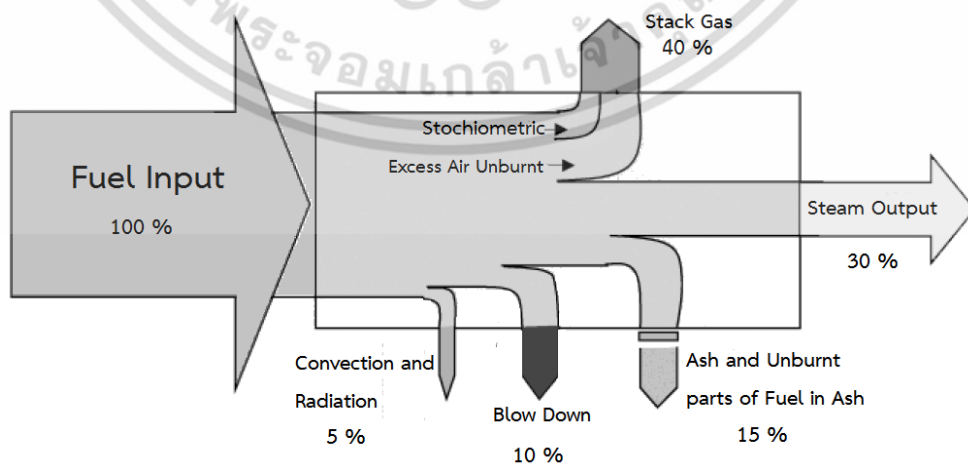
3. ตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด เพื่อให้ทราบว่าควรปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์หรือกระบวนการใดบ้าง โดยตรวจวัดและวิเคราะห์อย่างละเอียดแล้วนำผลที่ได้มาคูณพลังงานที่แสดงด้วยแผนภาพ Sankey เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการ วิเคราะห์สาเหตุของการสูญเสียและหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งต้องวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเทคนิคและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของแนวทางการจัดการและการอนุรักษ์พลังงานนั้นเพื่อการตัดสินใจที่จะดำเนินการและลงทุนต่อไป

**แผนภาพ Sankey** คือ แผนภาพที่แสดงภาพรวมของการใช้พลังงานและการเปลี่ยนแปลงสภาพของพลังงานไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน ไอน้ำ ในส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

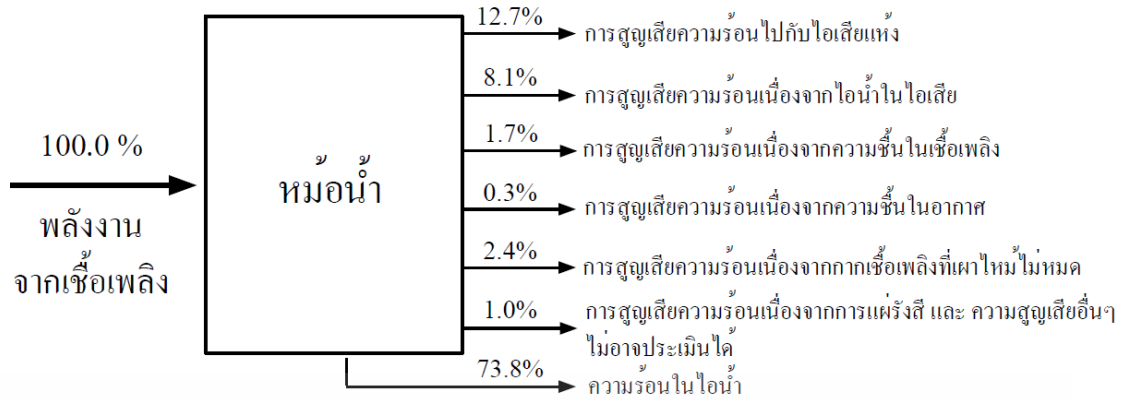
ของกระบวนการ ความหนาของลูกศรในแผนภาพ Sankey แสดงปริมาณของพลังงานรูปแบบนั้นๆ ดังนั้นสามารถใช้แผนภาพ Sankey พิจารณาแนวทางปรับปรุงอุปกรณ์และกระบวนการเพื่อลดการสูญเสียและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ รูปที่ 2.38 และ 2.39 แสดงตัวอย่างการดุลพลังงานและการสูญเสียพลังงานความร้อนที่หม้อน้ำด้วยแผนภาพ Sankey จากรูปที่ 2.38 แนวทางลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ เช่น

- ควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้เผาไหม้เชื้อเพลิงของหม้อน้ำตามปริมาณสารสัมพันธ์เพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
- ควบคุมอุณหภูมิของไอเสียต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ต้องไม่ต่ำจนไอน้ำในไอเสียเกิดการควบแน่นและจับตัวที่ผนังปล่องไอเสีย (ในกรณีที่มีปริมาณซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิงสูง การควบแน่นของไอน้ำในไอเสียอาจนำไปสู่การกัดกร่อนผนังปล่องไอเสีย)
- ควบคุมภาระการจ่ายไอน้ำของหม้อน้ำ โดยกำหนดการทำงานของหม้อน้ำให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการใช้ไอน้ำที่อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- ควบคุมปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงให้ต่ำ (ในกรณีที่ใช้ถ่านหิน)
- ควบคุมคุณภาพของน้ำป้อนหม้อน้ำเพื่อลดการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการปล่อยน้ำโบว์ลดาว์น (Blow Down) และลดการเกิดตะกรันซึ่งเป็นฉนวนของการถ่ายเทความร้อน
- หลีกเลี่ยงการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการพาและการแผ่รังสีความร้อน (การถ่ายเทความร้อนในหม้อน้ำประกอบด้วย การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีในทิศทางอุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำ)
- อุ้มน้ำป้อนหม้อน้ำโดยใช้ไอโคโนไมเซอร์
- อุ้มน้ำที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำ
- ลดความดันของไอน้ำในหม้อน้ำ



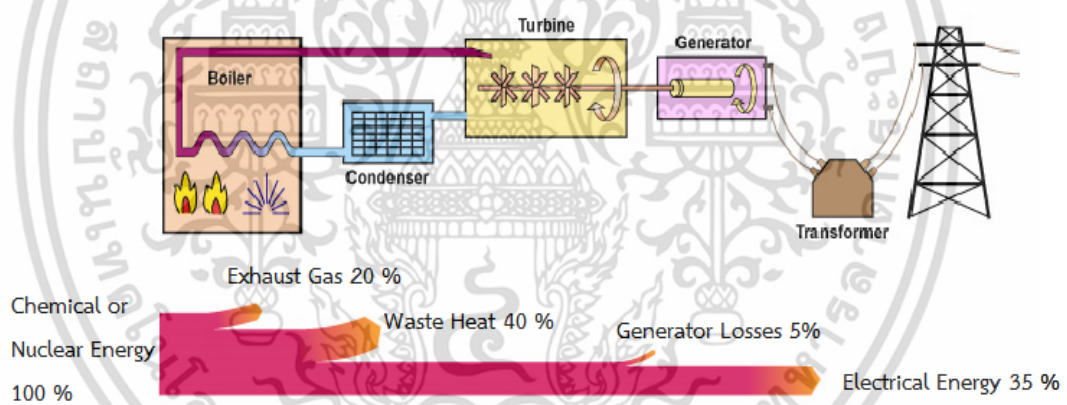
รูปที่ 2.38 แผนภาพ Sankey แสดงตัวอย่างการดุลพลังงานที่หม้อน้ำ (Topfer, K. 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 ตัวอย่างแสดงการสูญเสียพลังงานความร้อนที่หม้อน้ำ (Topfer, K. 2006)

ตัวอย่างแผนภาพ Sankey แสดงการดุลพลังงานในโรงงานผลิตไฟฟ้าและรูปแบบพลังงานต่างๆ ที่สูญเสีย เช่น พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของหม้อน้ำ ความร้อนทิ้ง (Waste Heat) และการสูญเสียที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันไอน้ำ ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 ตัวอย่างแผนภาพ Sankey แสดงการดุลพลังงานในโรงงานผลิตไฟฟ้า (Pass My Exams. 2014)

### 2.8.3 ขั้นตอนการจัดการและการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม (Topfer K. 2006)

1. การวางแผนและการจัดการ จัดทำข้อเสนอโครงการการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งแสดงแผนการดำเนินงานและการประเมินสภาพการใช้พลังงานเบื้องต้นเพื่อเสนอขออนุมัติจากผู้บริหาร และกำหนดทีมงานที่รับผิดชอบดำเนินงานดังนี้ 1) ผู้บริหารระดับสูงของบริษัท 2) ผู้บริหารระดับกลาง เช่น ผู้จัดการฝ่ายผลิต ผู้จัดการด้านสิ่งแวดล้อม และ 3) ผู้ร่วมดำเนินงานจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การประเมินการใช้และการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิต โดยเดินสำรวจพื้นที่เป้าหมายในกระบวนการผลิต ประเมินการใช้พลังงานและพลังงานที่สูญเสียจากการดูลพลังงานในกระบวนการผลิต เพื่อกำหนดทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

3. การกำหนดทางเลือก ระบุแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต โดยหาสาเหตุของการสูญเสีย กำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้ และคัดเลือกเฉพาะทางเลือกที่มีศักยภาพสูงมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเทคนิคและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

4. การเปรียบเทียบและเลือกทางเลือกที่มีศักยภาพสูงสุดสำหรับเสนอขออนุมัติการดำเนินงานจากผู้บริหารระดับสูง

5. การดำเนินงานและตรวจติดตามผลการดำเนินงาน

6. การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และเตรียมข้อเสนอโครงการการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในพื้นที่เป้าหมายใหม่เสนอขออนุมัติจากผู้บริหารระดับสูง

#### 2.8.4 มาตรการจัดการและการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม

1. มาตรการที่ไม่ต้องลงทุนหรือลงทุนน้อย ระยะคืนทุนน้อยกว่า 4 เดือน เช่น การทำความสะอาดหอทำความเย็น (Cooling Tower) เป็นต้น

2. มาตรการที่มีการลงทุนปรับปรุงอุปกรณ์ที่ต้องการเงินลงทุนปานกลาง ระยะเวลาคืนทุน 1 - 2 ปี เช่น การเปลี่ยนหม้อน้ำ การติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam Trap) การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น

3. มาตรการที่มีการลงทุนสูงและระยะเวลาคืนทุน 2-5 ปี เช่น การปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงระบบ เครื่องจักร และอุปกรณ์หลัก เช่น การติดตั้งระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ เป็นต้น

### 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.9.1 งานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการซัลโฟเนชัน

Roberts, D.W. (2003) กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่เจือจางด้วยอากาศแห้งไหลทางเดียวกัน (Co-Current) กับลิเนียร์อัลคิลเบนซีนที่ไหลเป็นฟิล์มภายในท่อแนวตั้ง แรงที่เกี่ยวข้องกับการไหลของลิเนียร์อัลคิลเบนซีนเกิดจากความหนืด แรงตึงผิว แรงเฉือนของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์บนชั้นฟิล์ม ส่วนแรงโน้มถ่วงของโลกมีผลน้อยมาก ในขณะที่ลิเนียร์อัลคิลเบนซีนและแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ไหลอยู่ภายในท่อของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม ลิเนียร์อัลคิลเบนซีนจะดูดซึมแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์และเกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชันเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ LAS ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาซัลโฟเนชันจะถูกถ่ายเทไปยัง

น้ำหล่อเย็นที่ด้านนอกของท่อของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มอย่างมีประสิทธิภาพในเวลาประมาณ 30 วินาทีเนื่องจากอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของชั้นฟิล์มของลิเนียร์อัลคิลเบนซีนต่อปริมาตรสูง

อุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamics) และอุณหพลศาสตร์ (Thermokinetics) ของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มสำหรับการเกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชันมีความซับซ้อนและเกี่ยวเนื่องกัน ลักษณะการไหลของของเหลวจะเป็นการไหลแบบราบเรียบมากกว่าการไหลแบบปั่นป่วน เป็นผลให้เกิดสเกลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ถูกดูดซับที่บริเวณผิวรอยต่อระหว่างแก๊สกับของเหลว และเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความเข้มข้นขึ้นทั้งในแนวรัศมีและแนวตั้ง ความแตกต่างเหล่านี้ทำให้การถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ ไม่เหมือนกัน บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ที่ผิวรอยต่อระหว่างแก๊สกับของเหลวและอาจสูงถึง 100 °C ความหนืดของฟิล์มของลิเนียร์อัลคิลเบนซีนขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ปริมาณของสิ่งเจือปน และอุณหภูมิของลิเนียร์อัลคิลเบนซีน การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อความหนาของชั้นฟิล์มตามแนวตั้งของเครื่องปฏิกรณ์ (โดยทั่วไปความหนาของชั้นฟิล์มด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์จะน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร ส่วนด้านล่างจะมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร) และยังทำให้ค่าความปั่นป่วน (Degree of Turbulence) ของชั้นฟิล์มแตกต่างกันทั้งในแนวรัศมีและแนวตั้ง จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่กล่าวมาทำให้ไม่สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายการเกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชันนั้นได้อย่างแน่นอน

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มระดับห้องปฏิบัติการเหมือนกับการจัดเรียงในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ เครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มมักอยู่ในแนวตั้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อของเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 25.4 มิลลิเมตร และความยาวเท่ากับ 6 เมตร แต่ละท่อสามารถป้อนลิเนียร์อัลคิลเบนซีนได้ 40 กิโลกรัม/ชม. และใช้ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ในอากาศ 5 % โมล ความเร็วของแก๊สประมาณ 30 เมตร/วินาที กำลังการผลิต LAS ขึ้นกับจำนวนท่อขนาดเล็กที่อยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เครื่องปฏิกรณ์อาจมีจำนวนท่อมากกว่า 144 ท่อ มีกำลังการผลิต LAS ประมาณ 5.5 ตัน/ชม. สามารถปรับปรุงภาวะปฏิบัติการของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มได้โดยปรับความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของสารหล่อเย็น และอัตราส่วนเชิงโมลของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์กับลิเนียร์อัลคิลเบนซีน ซึ่งอัตราส่วนเชิงโมลของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์กับลิเนียร์อัลคิลเบนซีนจะต้องเหมาะสมเพื่อให้ได้ผลได้มากที่สุดและหลีกเลี่ยงการเกิด Oversulfonation ที่จะทำให้เกิดผลพลอยได้และสีของผลิตภัณฑ์ที่เข้มข้น แม้ว่าการเกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชันของลิเนียร์อัลคิลเบนซีนจะเกิดอย่างรวดเร็ว แต่ก็ไม่สามารถเกิดได้อย่างสมบูรณ์ จึงต้องมีกระบวนการบ่ม (Aging) เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ขึ้น เวลาที่ใช้ในการบ่มประมาณ 30-50 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 45-55 °C โดยทั่วไปลิเนียร์อัลคิลเบนซีนสามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นผลิตภัณฑ์ LAS ที่เครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มได้ประมาณ 90-92% และหลังการบ่มจะได้ผลิตภัณฑ์ LAS ประมาณ 96-98%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Moreno, A. และคณะ (2003)** ศึกษาการลดองค์ประกอบของผลพลอยได้ในกระบวนการซัลโฟเนชัน คือ ซัลโฟนิกแอนไฮไดรด์ และซัลโฟน และศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์กับลิเนียร์อัลคิลเบนซีนต่อการเกิดแอนไฮไดรด์และซัลโฟน การวิเคราะห์ตัวอย่างใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี พบว่ากระบวนการไฮโดรไลซิสสามารถลดปริมาณแอนไฮไดรด์ได้ การลดอัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ต่อลิเนียร์อัลคิลเบนซีนก็สามารถลดแอนไฮไดรด์และซัลโฟนเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ต่อลิเนียร์อัลคิลเบนซีนที่ทำให้เหลือสารตั้งต้นที่ไม่เกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชันน้อยที่สุด คือ 1.07

**จิระวรรณ แก้วรัตน์ และคณะ (2552)** ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ผลได้ของผลิตภัณฑ์ LAS ในกระบวนการซัลโฟเนชัน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลได้ของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ อัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ต่อลิเนียร์อัลคิลเบนซีน ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ในอากาศ และอุณหภูมิของลิเนียร์อัลคิลเบนซีนที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม ภาวะปฏิบัติงานที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ของผลิตภัณฑ์ LAS เพิ่มขึ้น โดยเกิดกรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นผลพลอยได้อยู่ในเกณฑ์ที่บริษัทยอมรับได้ คือ อัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ต่อลิเนียร์อัลคิลเบนซีนอยู่ในช่วง 1 ถึง 1.01

**ศศิวิมล พัฒนพัฒนานนท์ และคณะ (2554)** ศึกษาผลของการเติมและไม่เติมกรดลอริก ระยะเวลาบ่ม และอัตราการไหลของน้ำในกระบวนการซัลโฟเนชันต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ LAS ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ ในโปรแกรมมินิแทป พบว่าการเติมกรดลอริกในขั้นตอนการผสมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนก่อนส่งเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ผลได้ของผลิตภัณฑ์ LAS (%SA) เพราะกรดลอริกช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาซัลโฟเนชันเกิดได้ง่ายขึ้น กรดลอริกยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายไฮดรอกไซด์ได้สารลดแรงตึงผิว ผลการทดสอบในกระบวนการผลิตพบว่าที่อัตราการไหลของกรดลอริก 1.45 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ระยะเวลาบ่ม 1 ชั่วโมง 48 นาที และอัตราการไหลของน้ำ 30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์ LAS ที่มี %SA เท่ากับ 97.5 % และระดับสี 24.5 Klett คำนวณมูลค่า % SA ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 11,520,000 บาท/ปี และมูลค่าเพิ่มจากการลดการใช้กรดลอริกเท่ากับ 720,000 บาท/ปี

## 2.9.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

**เอกสิทธิ์ สุวรรณศรี (2543)** ศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อปรับปรุงการจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ พบว่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่บริษัทกำหนด จึงปรับปรุงการจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ตามขั้นตอนดังนี้

1. รับนโยบายจากผู้บริหารระดับสูงและกำหนดเป้าหมายในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำหนดแผนงานหลักในการดำเนินงานการปรับปรุงการจัดการพลังงานและแผนงานในแต่ละระดับของแผนก
3. ปรับปรุงองค์กรโดยดำเนินงานให้เข้าถึงทุกส่วนในกระบวนการ
4. วางแผนการเดินเครื่องจักรให้เหมาะสมโดยควบคุมปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุด
5. ปรับปรุงระบบการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยจัดทำเอกสารและจัดตั้งทีมงานในการตรวจสอบการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง
6. ปรับปรุงกระบวนการและติดตามการปรับปรุงแก้ไขการดำเนินงานที่เกิดขึ้น

จากการดำเนินงานดังกล่าวส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง 25.44 % และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อนต่อปูนเม็ดลดลง 3.37 % คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ลดลง 218 ล้านบาท

**สุชาติ สุวรรณพิสิทธิ์ (2548)** ศึกษาสภาพการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องตีมีบารุงกำลัง เพื่อวิเคราะห์แนวทางลดการใช้พลังงานที่เป็นไปได้ พบว่าโรงงานมีการใช้พลังงานอยู่ 2 ประเภท คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน แบ่งตามสัดส่วนจากปริมาณการใช้พลังงานคือ การใช้ไฟฟ้า 19 % และการใช้เชื้อเพลิง (น้ำมันเตา) 81 % แนวทางหรือมาตรการที่นำมาใช้ในการลดการใช้พลังงานแบ่งเป็น 2 แนวทาง คือ 1) แนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้า นำเสนอมาตรการที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศและเครื่องทำน้ำเย็น โดยลดการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นตอนกลางคืน และยกเลิกการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อการปรับอากาศให้พนักงานซ่อมบำรุงเครื่องจักรในวันหยุด ซึ่งสามารถลดค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์จาก 382.16 เป็น 359.17 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ และ 2) แนวทางลดการใช้พลังงานความร้อน นำเสนอมาตรการติดตั้งเครื่องควบคุมการเผาไหม้แบบอัตโนมัติ สามารถลดค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์จาก 1,579.99 เป็น 1,312.03 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์

**อมรรัตน์ แก้วประดับ และคณะ (2548)** วิเคราะห์การใช้พลังงานและเสนอแนวทางการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโลหะที่ใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยเสนอมาตรการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนี้ 1) ลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องอัดอากาศ และปรับความตึงสายพานของมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสม 2) ใช้ปลั๊กสตัดขดลวดชนิดที่มีการสูญเสียต่ำ 3) บำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ และแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในระบบไฟฟ้า ส่วนมาตรการลดพลังงานความร้อน ได้แก่ การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ จากผลการดำเนินการตามมาตรการดังกล่าวสามารถประหยัดไฟฟ้าและน้ำมันเตาเกรด C ที่ให้พลังงานความร้อนได้ 17,976.50 กิโลวัตต์-ชม./ปี และ 923.74 ลิตร/ปี ตามลำดับ ค่ารวมเป็นเงิน 66,997 บาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ชนิชา หมอชาติ (2550)** ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ และหาเกณฑ์การใช้พลังงานที่สามารถนำไปกำหนดเป็นมาตรฐานการใช้พลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมนี้ พบว่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) ของกลุ่มอุตสาหกรรมนี้มีค่าแตกต่างกันขึ้นกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการผลิต และสมบัติของวัตถุดิบ มาตรการที่นำเสนอคือ 1) การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระการทำงาน ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 0.215 กิโลวัตต์-ชม./ตันผลิตภัณฑ์ 2) การนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 90 เมกะวัตต์ และลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 600 ล้านหน่วยต่อปี 3) การใช้เครื่องคัดแยกเศษเหล็กออกจากปูนเม็ดสามารถลดพลังงานเชื้อเพลิงได้ 797.60 กิกะจูล/ปี และ 4) การติดตั้งตะแกรงคัดแยกหินคลุกที่ Plant CFBK สามารถลดพลังงานเชื้อเพลิงได้ 2,949.73 กิกะจูล/ปี

**ณัฐฉา เพิ่มขุนทด (2550)** ศึกษาดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตแก้วและกระจก เพื่อหามาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต เมื่อเปรียบเทียบ SEC ของอุตสาหกรรมแก้วและกระจกในประเทศไทยกับค่า SEC Benchmarking ที่ใช้อ้างอิง พบว่าค่า SEC ของอุตสาหกรรมแก้วและกระจกในประเทศไทยสูงกว่า แสดงว่ายังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อลดค่า SEC มาตรการที่นำเสนอ คือ 1) มาตรการลดการใช้อากาศของระบบอัดอากาศ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 10-20% 2) มาตรการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่ Absorption Water Chiller เพื่อใช้ในระบบปรับอากาศ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 1% และ 3) มาตรการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่ Absorption Water Chiller เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 5.5-12.32 กิโลวัตต์-ชม./ตันผลิตภัณฑ์

**เวชยันต์ อะมะวัลย์ (2551)** เสนอแนวทางลดการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน 5 วิธี ดังนี้ 1) ดำเนินการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างถูกต้อง 2) การใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิหรือเทอร์มอสแตตชนิดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Thermostat) แทนเทอร์มอสแตตชนิดธรรมดา 3) การปรับตั้งอุณหภูมิของเทอร์มอสแตตให้เหมาะสม 4) การติดตั้งเครื่องปรับอากาศชนิดอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง (High EER) แทนเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดา และ 5) การติดม่านปรับแสงเพื่อลดความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาในอาคาร และเมื่อทดสอบแนวทางที่นำเสนอกับอาคารอำนวยการของ บริษัท ทีโอซีซี จำกัด (มหาชน) พบว่าค่าไฟฟ้าของอาคารอำนวยการลดลง 41,825 บาทต่อปี

**เวชยันต์ วรกีจรงค์ชัย (2552)** ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ค่าไฟฟ้า ค่าซ่อมบำรุงของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำแทน การใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่ใช้อยู่ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ โดยใช้ทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจในการลงทุนและดำเนินการวางแผนโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งระบบใหม่ จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ มีค่าไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงต่ำกว่า ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ประมาณปีละ 7.6 ล้านบาท หรือ 53% ของค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงาน

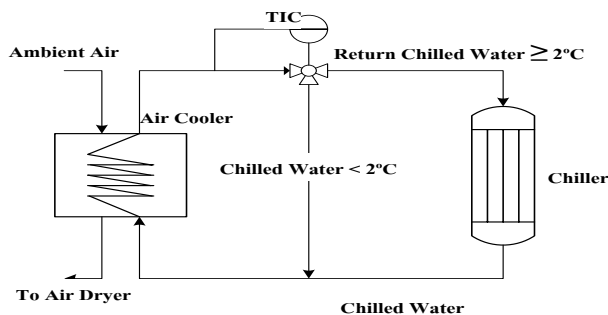
วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์หลักในกระบวนการซัลโฟเนชันเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์หลักที่ศึกษา ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 และเครื่องเป่าลม 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 และเครื่องเป่าลม 12 K1 ศึกษาที่การผลิตผลิตภัณฑ์ 4 แบบ ได้แก่ 1) LAS 3.99 ตัน/ชม. 2) LAS 5.13 ตัน/ชม. 3) LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. และ 4) LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ส่วนกรณีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B ศึกษาเฉพาะกรณีที่เกิด LAS อย่างเดียว ไม่ศึกษาในกรณีที่เกิดทั้ง LAS และ PAS จากการคำนวณเบื้องต้นพบว่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการคำนวณใกล้เคียงมาตรฐานการปฏิบัติงาน หากปรับลดอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม อาจทำให้ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงกว่ามาตรฐานการปฏิบัติงานและสีของผลิตภัณฑ์ทั้ง LAS และ PAS เข้มขึ้น (เครื่องเป่าลม 12 K1 ทำหน้าที่ส่งอากาศไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อระบายความร้อนจากแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่านั้น ไม่ได้มีผลต่อความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์)

การดำเนินงานแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

### 3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3

รูปที่ 3.1 แสดงกลไกการใช้งานน้ำเย็นในกระบวนการซัลโฟเนชันที่เครื่องลดอุณหภูมิของอากาศ (Air Cooler) สำหรับใช้ทำอากาศแห้ง ก่อนการดำเนินงานตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นไว้ที่  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  หลังจากน้ำเย็นแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศแล้ว น้ำเย็นที่มีอุณหภูมิ  $2 - 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  จะวนกลับมาถ่ายเทความร้อนออกที่เครื่องระเหยของเครื่องทำน้ำเย็น และได้น้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  และวนกลับไปใช้งานที่เครื่องลดอุณหภูมิของอากาศ จากการศึกษาทางทฤษฎีได้แนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น โดยปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นสูงกว่า  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพราะจะลดภาระการทำความเย็นและการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นได้ ในโครงการนี้จึงศึกษาตั้งแต่  $-2$  ถึง  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กลไกการใช้งานน้ำเย็นในกระบวนการชัลโฟเนชั่น

**ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น**

1. อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น

การปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นสูงขึ้น จะทำให้ความดันที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้อัดสารทำความเย็นลดลง ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง

2. อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าคอนเดนเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็น

การปรับอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าคอนเดนเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง น้ำหล่อเย็นจะสามารถรับความร้อนจากน้ำเย็นวนกลับที่ผ่านการใช้งานแล้วได้มากขึ้น ดังนั้นความดันและอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้อัดสารทำความเย็นเพื่อให้ควบแน่นจะลดลง ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง

3. ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต

หากผลิตผลิตภัณฑ์ปริมาณมากขึ้น จะต้องใช้ปริมาณน้ำเย็นมากขึ้นเพื่อรับความร้อนจากอากาศที่ป้อนเข้ากระบวนการชัลโฟเนชั่น ทำให้ภาระการทำความเย็นและการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นสูงขึ้น

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตกับภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตกับผลการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นในปี 2555

กำลังการผลิต (ตัน/ชม.)	ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น (ตันความเย็น)
LAS 3.99	85.4
LAS 5.13	108.2
LAS 3.99 และ PAS 3.00	128.3
LAS 5.13 และ PAS 3.00	152.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการนี้ศึกษาผลของอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (ตั้งแต่ -2 ถึง 0.5 °C) ที่กำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 แบบ ซึ่งมีภาระการทำความเย็นดังตารางที่ 3.1 ส่วนอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C (การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นขึ้นกับภาระการทำความเย็น)

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 มีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 ก่อนการดำเนินงาน เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 ไว้ที่ -2 °C (อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C)

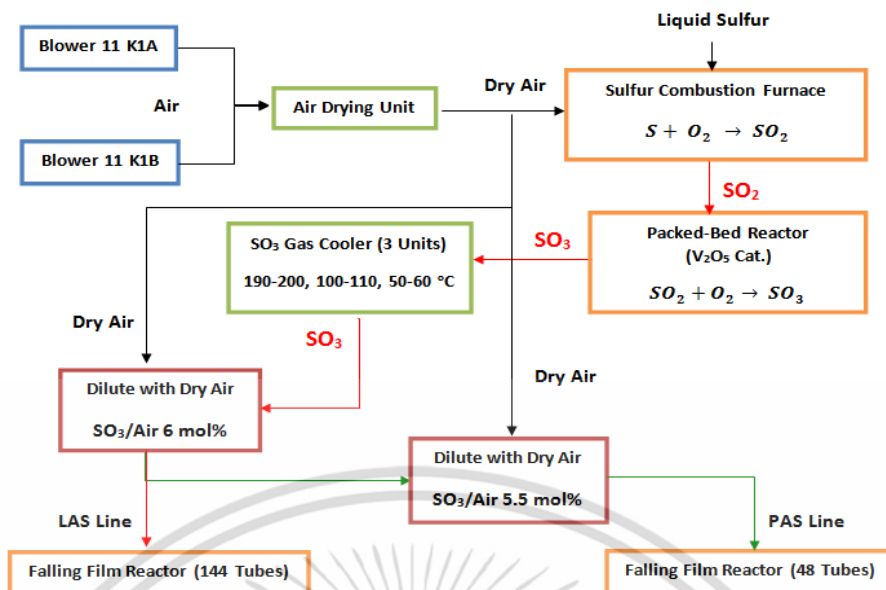
2. ปรับเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 ตั้งแต่ -2 ถึง 0.5 °C ทีละ 0.5 °C

3. วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าทุก 30 นาที เป็นเวลา 12 ชม. ที่แต่ละการตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 สำหรับกำลังการผลิตที่มีภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นต่ำที่สุดและสูงที่สุดที่เป็นกรณีศึกษา คือ การผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. และการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ตามลำดับ เพื่อหาอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 ที่ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด

4. ทดสอบตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ในกระบวนการซัลโฟเนชัน ที่การผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 แบบ ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชม. และเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นกับก่อนการดำเนินงาน

### 3.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B

รูปที่ 3.2 แสดงการส่งอากาศของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B เข้ากระบวนการซัลโฟเนชันที่หน่วยทำอากาศแห้ง (Air Drying Unit) เพื่อควบคุมปริมาณความชื้นในอากาศไม่เกิน  $0.79 \times 10^{-4}$  กิโลกรัมต่ออากาศแห้ง 1 กิโลกรัม อากาศแห้งจากหน่วยทำอากาศแห้งจะถูกเผากับกำมะถันเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 600-650 °C ใน Sulfur Combustion Furnace ได้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากนั้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกส่งเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง ซึ่งมีวานาเดียมเพนทอกไซด์ ( $V_2O_5$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนที่อุณหภูมิประมาณ 440 °C ได้แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ จากมาตรฐานการปฏิบัติงานของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา ในกรณีผลิต LAS แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับลิเนียร์อัลคิลเบนซีนต้องมีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 6.00 % โมล ส่วนกรณีผลิต PAS แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับ Fatty Alcohol ต้องมีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 5.50 % โมล

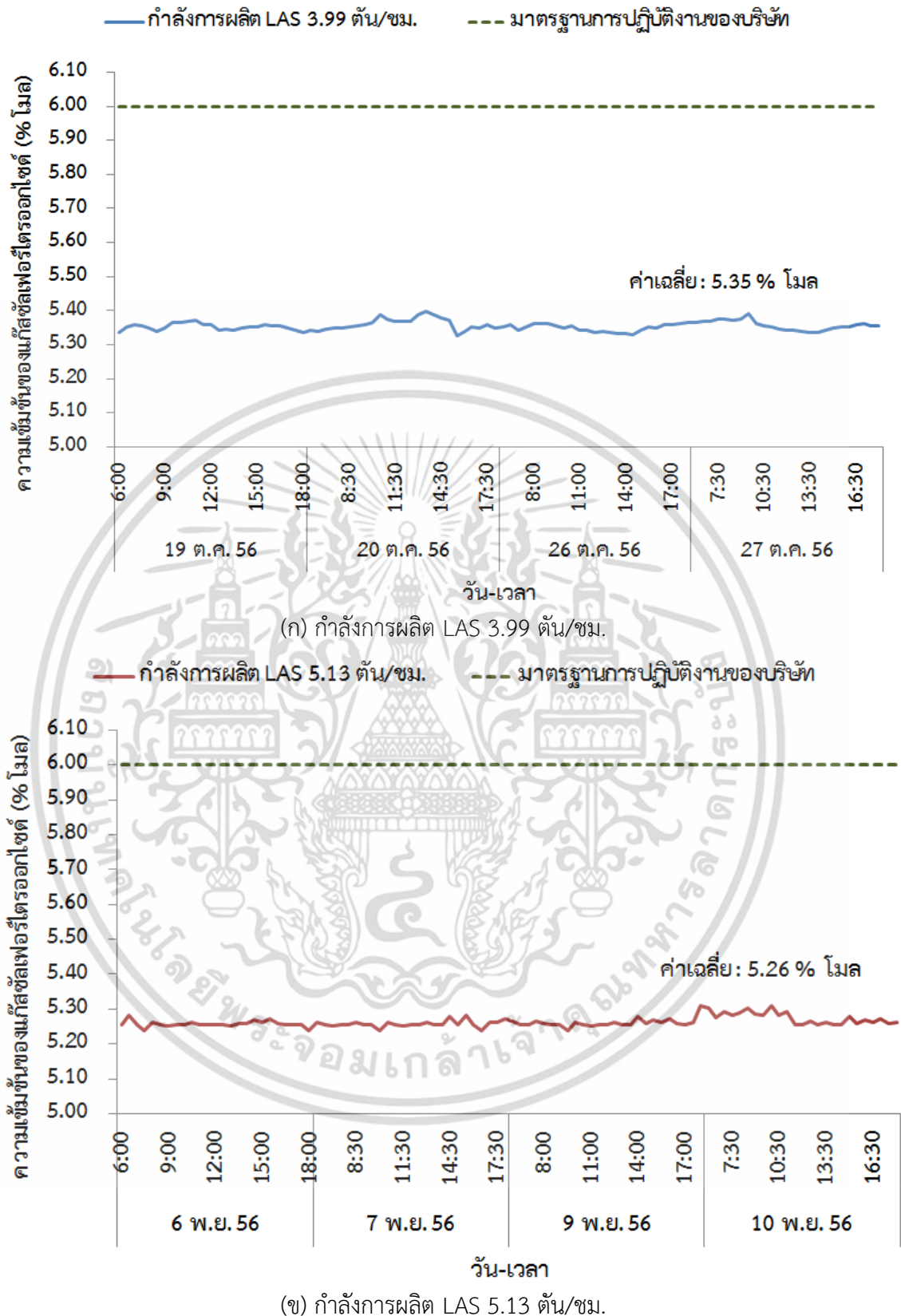


รูปที่ 3.2 การส่งอากาศของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B เข้ากระบวนการซัลโฟเนชัน

จากการคำนวณเบื้องต้นความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ 5.13 ตัน/ชม. เท่ากับ 5.35 % โมล และ 5.26 % โมล ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.3 (ก) และ 3.3 (ข) ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานการปฏิบัติงานของบริษัท (6.00 % โมล) แสดงว่าอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมที่ใช้ผสมกับแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์สูงกว่าที่ควรเป็น ดังนั้นจึงต้องศึกษาการปรับลดอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ให้ได้ 6.00 % โมล

ไม่ศึกษาการปรับลดอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมที่ใช้ผสมกับแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ในกรณีการผลิตทั้ง LAS และ PAS เพราะความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ใช้ผลิต LAS และ PAS ที่คำนวณได้พบว่าใกล้เคียงมาตรฐานการปฏิบัติงาน (แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 3.2 ในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ความเข้มข้นเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ใช้ผลิต LAS และ PAS เท่ากับ 6.05 % โมล และ 5.47 % โมล ตามลำดับ และตารางที่ 3.3 ในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.)

โครงการนี้ต้องควบคุมข้อกำหนดของ LAS คือ สี (ไม่เกิน 60 Klett) และเปอร์เซ็นต์ผลได้ของ LAS ซึ่งแสดงในรูปของ % Sulfonic Acid (% SA) ไม่ต่ำกว่า 96 % งานวิจัยของ Roberts, D.W. (2003) รายงานว่าสีของ LAS จะเข้มข้น และเกิดผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการ (Undesired by Products) มากขึ้น ได้แก่ ซัลโฟนิคแอนไฮไดรด์ ซัลโฟน และโอเลียมหากความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นต้องปรับอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมที่ใช้ผสมกับแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์อย่างเหมาะสม



รูปที่ 3.3 ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการคำนวณก่อนการดำเนินงาน

ที่กำลังการผลิต (ก) LAS 3.99 ตัน/ชม. และ (ข) LAS 5.13 ตัน/ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์จากการคำนวณที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนการดำเนินงาน

วันที่	อัตราการไหลของอากาศขาออก (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (% โมล)	
		ที่ใช้ผลิต LAS	ที่ใช้ผลิต PAS
28 มี.ค. 57	8,910	6.06	5.48
29 มี.ค. 57	8,920	6.05	5.47
30 มี.ค. 57	8,928	6.05	5.47
3 เม.ย. 57	8,926	6.05	5.47
4 เม.ย. 57	8,932	6.04	5.46
2 พ.ค. 57	8,920	6.05	5.47
3 พ.ค. 57	8,917	6.06	5.47
4 พ.ค. 57	8,912	6.06	5.48
<b>เฉลี่ย</b>	<b>8,923</b>	<b>6.05</b>	<b>5.47</b>

หมายเหตุ : 1) ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์แสดงในภาคผนวก ค-1  
2) ใช้กำมะถันเหลว 573 กิโลกรัม/ชม. เมื่อผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.3** อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์จากการคำนวณที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนการดำเนินงาน

วันที่	อัตราการไหลของอากาศขาออก (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	
		ที่ใช้ผลิต LAS	ที่ใช้ผลิต PAS
6 มี.ค. 57	10,396	6.06	5.45
7 มี.ค. 57	10,409	6.05	5.44
13 มี.ค. 57	10,412	6.05	5.44
14 มี.ค. 57	10,410	6.05	5.44
15 มี.ค. 57	10,400	6.06	5.45
20 มี.ค. 57	10,410	6.05	5.44
21 มี.ค. 57	10,369	6.08	5.46
22 มี.ค. 57	10,402	6.06	5.44
<b>เฉลี่ย</b>	<b>10,404</b>	<b>6.06</b>	<b>5.45</b>

หมายเหตุ : 1) ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์แสดงในภาคผนวก ค-1  
2) ใช้กำมะถันเหลว 610 กิโลกรัม/ชม. เมื่อผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.

### ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม

- อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม  
จากกฎความสัมพันธ์ของพัดลม (Fan's Law) จะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมที่ลดลง การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมจะลดลงมาก
- ความดันลดในระบบ  
หากความดันลดในระบบสูงขึ้น การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมจะสูงขึ้น (การปรับลดอัตราการไหลของอากาศในกระบวนการซัลโฟเนชันก่อนการดำเนินงานด้วยแอมเปอร์ ทำให้ความดันลดในระบบสูงขึ้น ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมสูงขึ้น)
- ประสิทธิภาพของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม  
การใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม

ในโครงการนี้ศึกษาผลของอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม ส่วนความดันลดในระบบและประสิทธิภาพของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมไม่ได้อยู่ในขอบเขตของการดำเนินงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B ที่กำลังการผลิต 1) LAS 3.99 ตัน/ชม. และ 2) LAS 5.13 ตัน/ชม. มีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบวัดค่าต่างๆ ต่อไปนี้ ก่อนการดำเนินงาน ทุก 30 นาที เป็นเวลา 12 ชม. 3 วัน

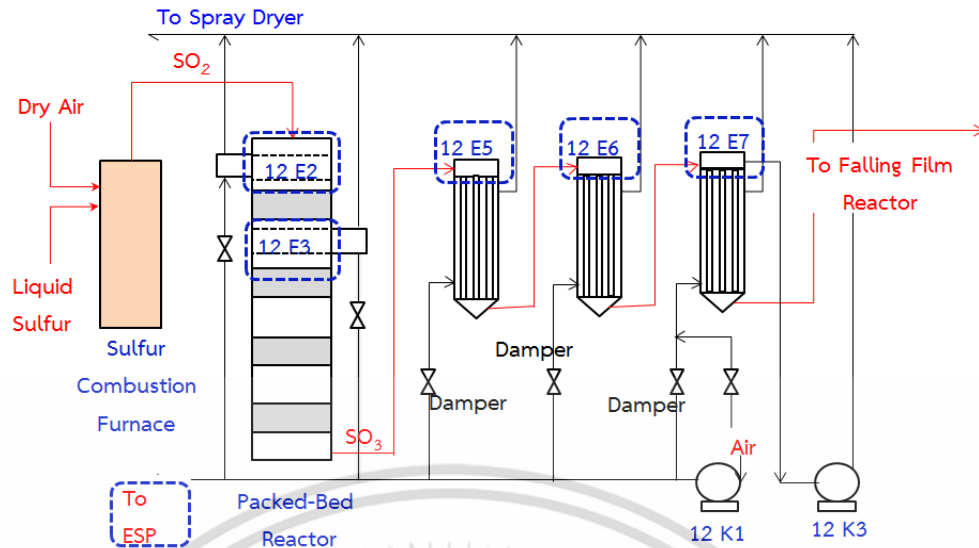
- การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B
- อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B
- สีของ LAS ต้องไม่เกิน 60 Klett
- และเปอร์เซ็นต์ผลได้ของ LAS (%SA) ต้องไม่ต่ำกว่า 96 %

2. ปรับอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B ที่กำลังการผลิต 1) LAS 3.99 ตัน/ชม. และ 2) LAS 5.13 ตัน/ชม. ที่ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 6.00 % โมล ตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน แล้วตรวจสอบวัดค่าต่างๆ ตามขั้นตอนที่ 1

3. เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B สีของ LAS และ เปอร์เซ็นต์ผลได้ของ LAS ก่อนและหลังการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B

### 3.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1

รูปที่ 3.4 แสดงการส่งอากาศจากเครื่องเป่าลม 12 K1 ไปยัง 1) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E2 และ 12 E3 เพื่อไประบายความร้อนจากแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ 2) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5, 12 E6 และ 12 E7 เพื่อไประบายความร้อนจากแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ และ 3) อุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator: ESP) เพื่อลดการเกาะของละออง LAS และ PAS ที่ขั้วไฟฟ้าของ ESP ก่อนการดำเนินงานกรณีผลิตทั้ง LAS และ PAS จะใช้เครื่องเป่าลม 12 K3 (ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า 30 กิโลวัตต์) ส่งอากาศเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7 เพื่อระบายความร้อนจากแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์แทนการใช้อากาศจากเครื่องเป่าลม 12 K1



รูปที่ 3.4 การส่งอากาศของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในกระบวนการซัลไฟเนชั่น

ตารางที่ 3.4 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP ก่อนการดำเนินงาน พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มต่ำกว่าค่าเป้าหมายของบริษัท ส่วนความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP สูงกว่าค่าเป้าหมายของบริษัท แสดงว่าอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมสูงเกินไป ดังนั้นโครงการนี้จึงต้องปรับลดอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมซึ่งใช้เป็นสารหล่อเย็น เพื่อเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และลดความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP

ก่อนการดำเนินงานบริษัทที่เป็นกรณีศึกษาใช้การปรับแดมเปอร์ (Damper) ควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่เข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5, 12 E6 และ 12 E7 แดมเปอร์ที่ใช้ในกระบวนการที่เป็นกรณีศึกษา คือ แดมเปอร์ชนิดแผ่นเดี่ยว ซึ่งเป็นชนิดที่ทำให้เกิดความดันลดในระบบต่ำที่สุดอยู่แล้ว (สันติ วัฒนานุสรณ์, 2540 จำลองการไหลของอากาศผ่านแผ่นแบนเรียบที่เอียงขนานกันในท่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยศึกษาการใช้แดมเปอร์หลายชนิด พบว่าแดมเปอร์ชนิดแผ่นเดี่ยวเป็นชนิดที่ทำให้เกิดความดันลดในระบบต่ำที่สุด) แต่การปรับแดมเปอร์ทำยาก และยังทำให้ความดันลดในระบบสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมสูงขึ้น ดังนั้นโครงการนี้จึงใช้การปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ที่อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมแทนการปรับแดมเปอร์ และยกเลิกการใช้งานเครื่องเป่าลม 12 K3 ในกรณีที่มีการผลิตทั้ง LAS และ PAS เพราะคาดว่าใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเป่าลม 12 K1 เท่านั้นที่เพียงพอที่จะมีอากาศสำหรับถ่ายเทความร้อนออกจากแก๊สซัลเฟอร์ ไตรออกไซด์

การปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 เริ่มจากความถี่สูงสุดของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ที่มอเตอร์ทำงานเต็มพิกัด (Full Load) คือ 50 Hz และจะปรับลดความถี่ของแรงดันไฟฟ้าลงทีละ 1 Hz เพื่อหาอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมที่ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด และยังคงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ ไตรออกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP ได้ตามค่าเป้าหมายของบริษัท (การปรับลดความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์รวมทั้งหมดต้องไม่ทำให้ความถี่ต่ำกว่า 30 Hz เนื่องจากจะทำให้ความเร็วรอบของใบพัดลมที่ระบายความร้อนจากมอเตอร์ต่ำและมีความร้อนสะสมที่มอเตอร์และอาจทำให้อุณหภูมิเสียหายได้) ตารางที่ 3.4 แสดงค่าเป้าหมายของอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ ไตรออกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP

ตารางที่ 3.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ ไตรออกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP

	อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันของอากาศที่เข้า ESP (mbarg)
	จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม	
มาตรฐานการปฏิบัติงาน	190-200	100-110	50-60	50-55	42-62
ค่าเป้าหมาย	190-200	100-110	55	50	52
ก่อนการดำเนินงาน	185.5	89.2	52.4	47.9	64

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ที่การผลิตผลิตภัณฑ์ 4 แบบ มีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 และ 12 K3 ก่อนการดำเนินงาน
2. ยกเลิกการใช้งานเครื่องเป่าลม 12 K3 ในกรณีที่มีการผลิตทั้ง LAS และ PAS
3. ปรับลดความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ที่อุปกรณ์ควบคุม

ความเร็วรอบของมอเตอร์จาก 50 Hz ทีละ 1 Hz เพื่อหาความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเป่าลม 12 K1 ที่ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมมีค่าต่ำที่สุด และยังคงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP ได้ตามค่าเป้าหมายของบริษัท ดังตารางที่ 3.4 (การปรับลดความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์รวมทั้งหมุดต้องไม่ทำให้ความถี่ต่ำกว่า 30 Hz)

4. เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ก่อนและหลังการปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานและการอภิปรายผล

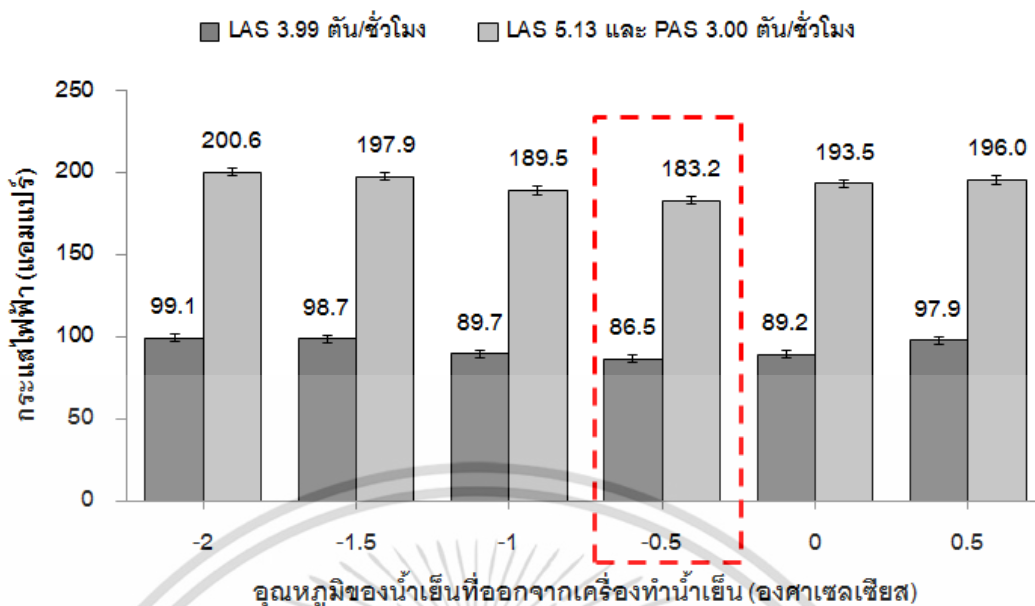
**4.1 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3** (ชวกร ภักดีสรสิทธิ์ ปิยะนาถ สมมณี และอัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ, 2556)

**4.1.1 ผลของอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3**

เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 ทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นส่งไปที่เครื่องลดอุณหภูมิของอากาศ (Air Cooler) โดยรับความร้อนจากอากาศที่ป้อนเข้ากระบวนการชิลโฟเนชั่นและทำให้อากาศแห้ง ก่อนการดำเนินงานตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นไว้ที่  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  หลังจากน้ำเย็นแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศแล้ว แล้วน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ  $2 - 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  จะวนกลับมาถ่ายเทความร้อนออกที่เครื่องทำน้ำเย็น และได้น้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  วนกลับไปรับความร้อนจากอากาศที่เครื่องลดอุณหภูมิของอากาศ จากรูปที่ 4.1 เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถ้าตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นสูงขึ้นเป็น  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  พบว่าในกรณีที่ผลิตที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของเครื่องทำน้ำเย็นต่ำที่สุดเท่ากับ 86.5 แอมแปร์ และในกรณีที่ผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เท่ากับ 183.2 แอมแปร์

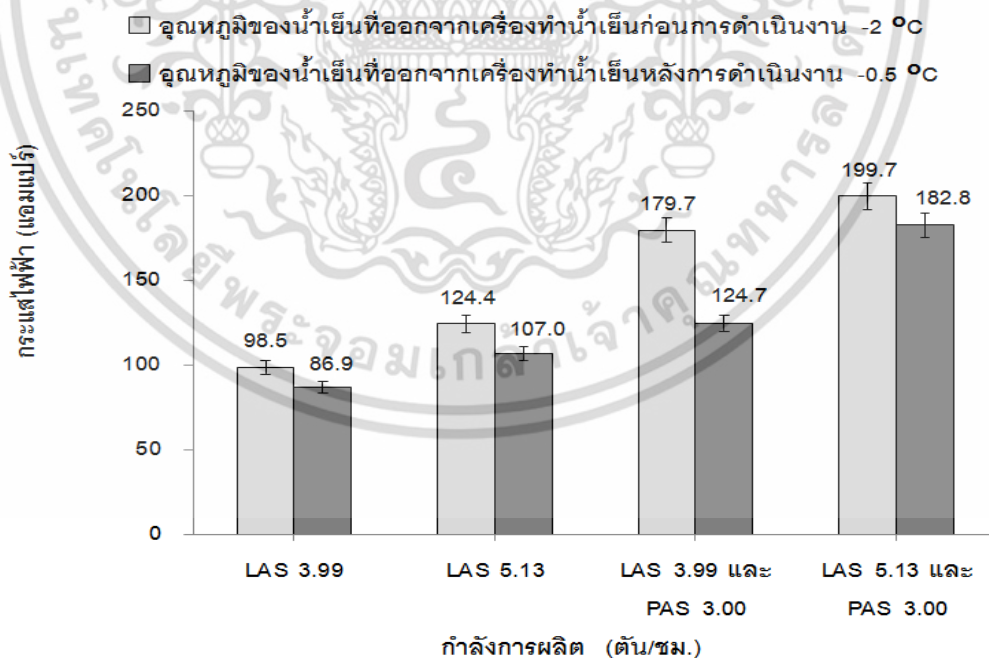
อย่างก็ตาม หากตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นสูงกว่า  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  เช่น  $0$  หรือ  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องทำน้ำเย็นสูงขึ้น สามารถอธิบายได้จากสมการที่ (2.16) ในการแลกเปลี่ยนความร้อนปริมาณเท่ากัน เมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นก่อนและหลังการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ปริมาณน้ำเย็นที่ต้องใช้จะมากขึ้น ดังนั้นการตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นสูงกว่า  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นก่อนและหลังการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศจะลดลง ปริมาณน้ำเย็นหลังการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่วนกลับมาถ่ายเทความร้อนออกที่เครื่องระเหยจะมากขึ้น ดังนั้นภาระการทำความเย็นและการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นจึงสูงขึ้น

โดยสรุปสำหรับทุกกำลังการผลิต ควรตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด



รูปที่ 4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C

#### 4.1.2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนและหลังการดำเนินงาน



รูปที่ 4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่กำลังการผลิตต่างๆ ก่อนและหลังการดำเนินงาน เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น เมื่อตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นก่อนและหลังการดำเนินงาน -2 และ -0.5 °C ตามลำดับ (อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C) พบว่าการตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -0.5 °C การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่ทุกกำลังการผลิต มีค่าต่ำที่สุด สามารถลดค่าไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในปี 2556 ได้ประมาณ 350,000 บาท ดังตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงมากที่สุด เนื่องจากก่อนการดำเนินงานคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นทำงานพร้อมกันทั้ง 2 ตัว เพื่อรับภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่สูงกว่า 80 % หลังการดำเนินงานเมื่อตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -0.5 °C ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นต่ำกว่า 80 % ดังนั้นคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นจึงทำงานเพียงตัวเดียว จึงใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงมาก

ตารางที่ 4.1 ค่าไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นเมื่อตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -0.5 °C เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C

กำลังการผลิต (ตัน/ชม.)	จำนวนวันที่ผลิต (วัน)	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (กิโลวัตต์-ชม.)			ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท)
		ก่อนดำเนินงาน	หลังดำเนินงาน	ลดลง	
LAS 3.99	70	55.1	48.6	6.5	35,599
LAS 5.13	80	69.6	59.8	9.8	61,340
LAS 3.99 และ PAS 3.00	73	100.6	69.7	30.9	176,486
LAS 5.13 และ PAS 3.00	108	111.7	102.3	9.4	79,429
<b>รวม</b>	<b>331</b>				<b>352,855</b>

หมายเหตุ: 1) จำนวนวันที่ผลิตอ้างอิงข้อมูลการผลิตปี 2555 2) อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.26 บาท/หน่วย

## 4.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B

(ปิยะ อุไรพรวัน ชวกร ภักดีศรีสิทธิ์ และ อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ. 2557)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B ที่ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการคำนวณเท่ากับ 6.00 % โมล คือ 6,900 กิโลกรัม/ชม. การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม คือ 194 แอมแปร์ โดยสีของ LAS 29 Klett และเปอร์เซ็นต์ผลได้ของ LAS 96.7 % เป็นตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 พบว่าที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B ที่ทำให้ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์จากการคำนวณเท่ากับ 6.00 % โมล คือ 8,900 กิโลกรัม/ชม. การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม คือ 458 แอมแปร์ และยังคงมีสีของ LAS 29 Klett และเปอร์เซ็นต์ผลได้ของ LAS 96.9 % เป็นตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์

ดังนั้นสำหรับการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. และ 5.13 ตัน/ชม. ควรตั้งอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมเท่ากับ 6,900 กิโลกรัม/ชม. และ 8,900 กิโลกรัม/ชม. ตามลำดับ เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด และยังคงมีสีและเปอร์เซ็นต์ผลได้ของ LAS เป็นตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ กรณีผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน

เครื่องเป่าลม	ก่อนการดำเนินงาน			หลังการดำเนินงาน		
	อัตราการไหลของอากาศขาออก 7,700 กิโลกรัม/ชม. ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ 5.35 % โมล			อัตราการไหลของอากาศขาออก 6,900 กิโลกรัม/ชม. ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ 6.00 % โมล		
	การใช้ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	สีของ LAS (Klett) (max 60)	%SA	การใช้ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	สีของ LAS (Klett) (max 60)	%SA
11 K1A	-	20	96.8	-	29	96.7
11 K1B	215			194		
รวม	215			194		

หมายเหตุ: % SA คือ เปอร์เซ็นต์ผลได้ของ LAS ต้องไม่ต่ำกว่า 96 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ กรณีผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน

เครื่องเป่าลม	ก่อนการดำเนินงาน			หลังการดำเนินงาน		
	อัตราการไหลของอากาศขาออก 10,100 กิโลกรัม/ชม. ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ 5.26 % โมล	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	สีของ LAS (Klett) (max 60) %SA	อัตราการไหลของอากาศขาออก 8,900 กิโลกรัม/ชม. ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ 6.00 % โมล	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	สีของ LAS (Klett) (max 60) %SA
11 K1A		275	24		228	29
11 K1B		288			230	
รวม		563		458		

หมายเหตุ: % SA คือ เปอร์เซนต์ผลได้ของ LAS ต้องไม่ต่ำกว่า 96 %

ตารางที่ 4.4 เมื่อปรับอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. และ 5.13 ตัน/ชม. เท่ากับ 6,900 กิโลกรัม/ชม. และ 8,900 กิโลกรัม/ชม. ตามลำดับ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่คำนวณ 6.00 % โมล พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B ลดลง แต่สีและเปอร์เซนต์ผลได้ของ LAS เป็นตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ สามารถลดค่าไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B ในปี 2556 ได้ประมาณ 400,000 บาท

ตารางที่ 4.4 ค่าไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B ในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. และ 5.13 ตัน/ชม. เมื่อปรับอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมตามค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง

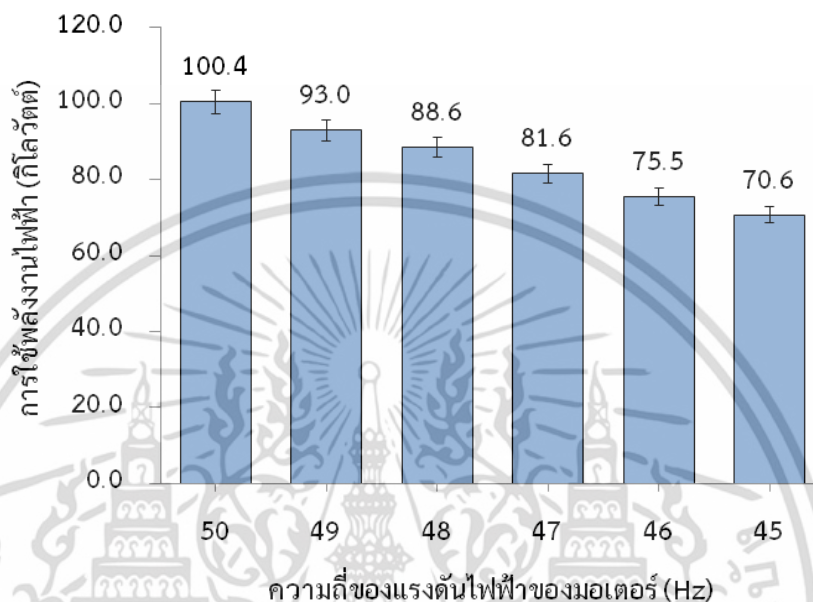
กำลังการผลิต (ตัน/ชม.)	จำนวนวันที่ผลิต (วัน)	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลวัตต์-ชม.)			ค่าไฟฟ้าที่ ลดลง (บาท)
		ก่อนดำเนินงาน	หลังดำเนินงาน	ลดลง	
LAS 3.99	70	120.3	108.5	11.7	64,342
LAS 5.13	80	315.0	261.8	53.1	332,654
รวม	150				396,996

หมายเหตุ: 1) จำนวนวันที่ผลิตอ้างอิงข้อมูลการผลิตปี 2555 2) อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.26 บาท/หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 (ปิยะ อุไรพรวัน ชวกร ภักดิ์ศรีสิทธิ์ และ อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ. 2557)

#### 4.3.1 ผลของความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม ในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม.



รูปที่ 4.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

จากรูปที่ 4.3 พบว่าในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 เท่ากับ 45 Hz การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมมีค่าต่ำที่สุด คือ 70.6 กิโลวัตต์ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม 50.2 °C และความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP 51 mbarg ได้ตามค่าเป้าหมายของบริษัท ดังตารางที่ 4.5 ดังนั้นเพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุดสำหรับการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. ควรตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 เท่ากับ 45 Hz

หากตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ต่ำกว่า 45 Hz อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม จะสูงกว่าค่าเป้าหมายของบริษัท ทำให้เกิดความร้อนสะสมที่เครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มมากขึ้น ในขณะที่อัตราการถ่ายเทความร้อนจากเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มไปยังน้ำหล่อเย็นยังคงเท่าเดิม สีของ LAS จะเข้มขึ้น และความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP จะต่ำกว่าค่าเป้าหมายของบริษัท ทำให้เกิดการเกาะของละออง LAS ที่ขั้วไฟฟ้าของ ESP มากขึ้น และอาจทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรที่ขั้วไฟฟ้าของ ESP ได้

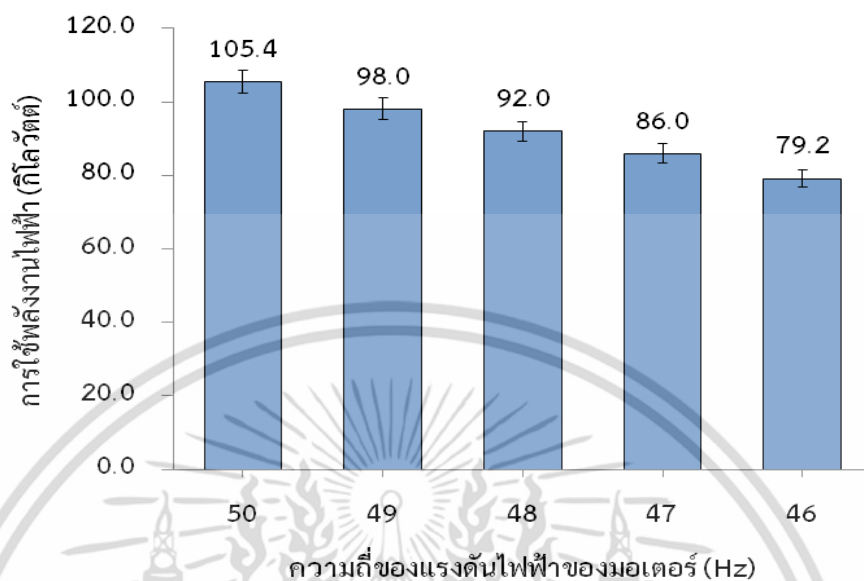
ดังนั้นควรตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ไม่ต่ำกว่า 45 Hz เพื่อให้ อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันเฉลี่ยของ อากาศที่เข้า ESP ได้ตามค่าเป้าหมายของบริษัท

**ตารางที่ 4.5** อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและ ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน

	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดัน ของอากาศ ที่เข้า ESP (mbarg)
	ออกจาก อุปกรณ์ แลกเปลี่ยน ความร้อน 12 E5	ออกจาก อุปกรณ์ แลกเปลี่ยน ความร้อน 12 E6	ออกจาก อุปกรณ์ แลกเปลี่ยน ความร้อน 12 E7	เข้าเครื่อง ปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
มาตรฐาน การปฏิบัติงาน	190-200	100-110	50-60	50-55	42-62
ค่าเป้าหมาย	190-200	100-110	55	50	52
ก่อนการ ดำเนินงาน	187.5	85.7	51.6	45.8	62
หลังการ ดำเนินงาน (45 Hz)	200.4	97.4	56.8	50.2	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 ผลของความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม ในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม.



รูปที่ 4.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

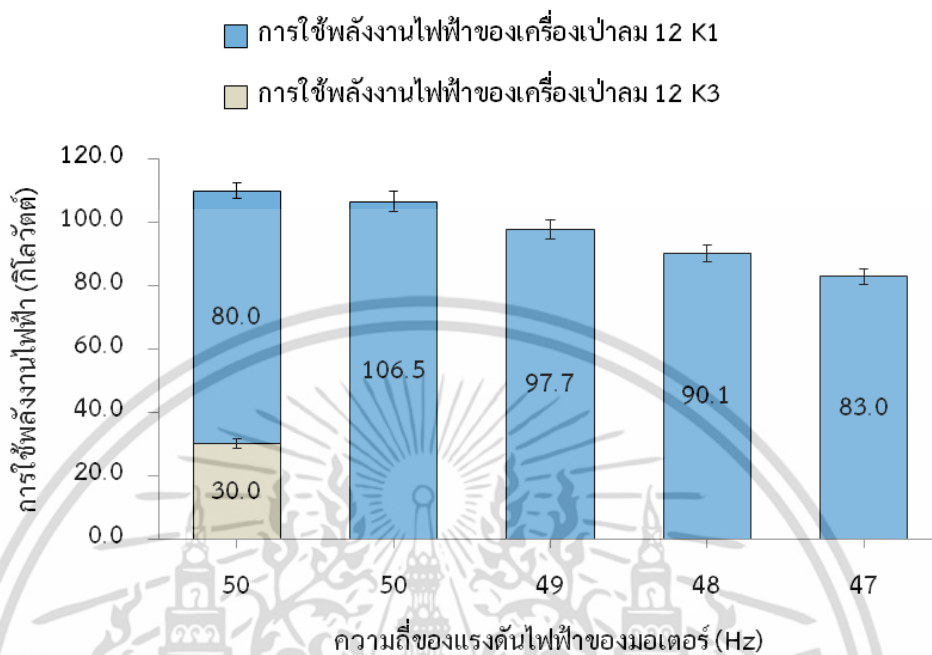
ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 มีแนวโน้มลดลง เมื่อปรับลดความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม เช่นเดียวกับที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. จากการดำเนินงานพบว่าสามารถปรับลดความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมได้ไม่ต่ำกว่า 46 Hz เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุดคือ 79.2 กิโลวัตต์ ดังรูปที่ 4.4 โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไดร็อกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม 50.1 °C และความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP 52 mbarg ได้ตามค่าเป้าหมายของบริษัท ดังตารางที่ 4.6 ดังนั้นเพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุดสำหรับการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. ควรตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12K1 เท่ากับ 46 Hz

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน

	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันของอากาศที่เข้า ESP (mbarg)
	ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม	
มาตรฐานการปฏิบัติงาน	190-200	100-110	50-60	50-55	42-62
ค่าเป้าหมาย	190-200	100-110	55	50	52
ก่อนการดำเนินงาน	187.2	85.7	51.6	45.6	61
หลังการดำเนินงาน (46 Hz)	199.6	97.2	56.7	50.1	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.3 ผลของควมถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม ในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.



รูปที่ 4.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

ในกรณีที่ผลิตทั้ง LAS และ PAS เดิมใช้งานทั้งเครื่องเป่าลม 12 K1 และ 12 K3 ในโครงการนี้ได้ยกเลิกการใช้งานเครื่องเป่าลม 12 K3 และใช้งานเพียงเครื่องเป่าลม 12 K1 จากการดำเนินงาน พบว่ากรณีที่ผลิตทั้ง LAS และ PAS สามารถใช้เพียงเครื่องเป่าลม 12 K1 ได้ โดยไม่กระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP

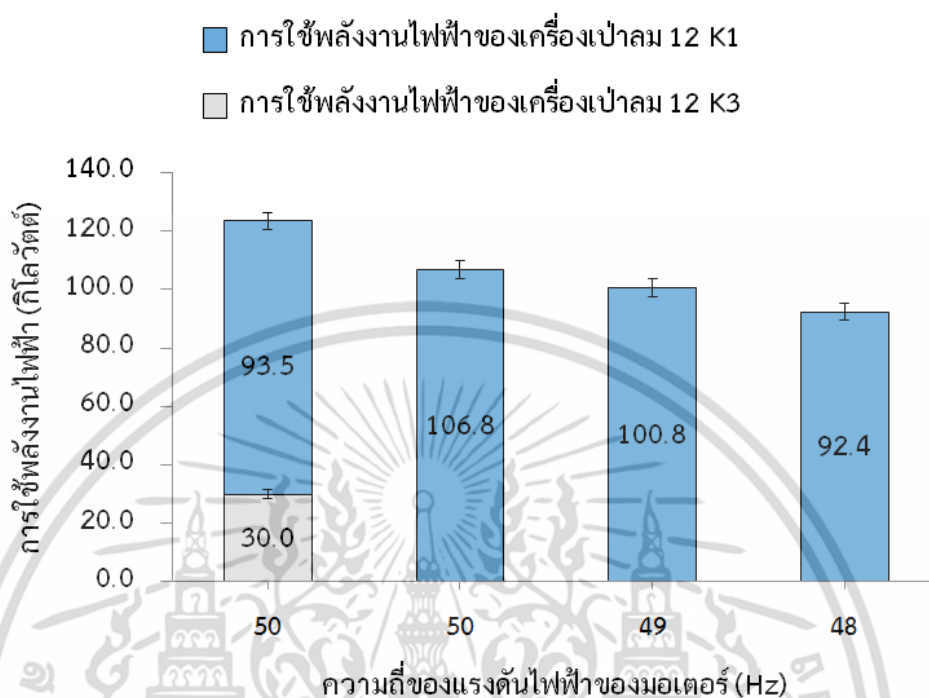
เมื่อยกเลิกการใช้งานเครื่องเป่าลม 12 K3 และปรับลดความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 เป็น 47 Hz ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมมีค่าต่ำที่สุด คือ 83.0 กิโลวัตต์ ดังรูปที่ 4.5 โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม 50.3 °C และความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP 52 mbarg ได้ตามค่าเป้าหมายของบริษัท ดังตารางที่ 4.7 ดังนั้นเพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุดสำหรับการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ควรตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 เท่ากับ 47 Hz

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน

	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันของอากาศที่เข้า ESP (mbarg)
	ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม	
มาตรฐานการปฏิบัติงาน	190-200	100-110	50-60	50-55	42-62
ค่าเป้าหมาย	190-200	100-110	55	50	52
ก่อนการดำเนินงาน	187.4	85.8	51.6	45.6	60
หลังการดำเนินงาน (47 Hz)	198.9	97.6	56.5	50.3	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 ผลของควมถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม ในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.



รูปที่ 4.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

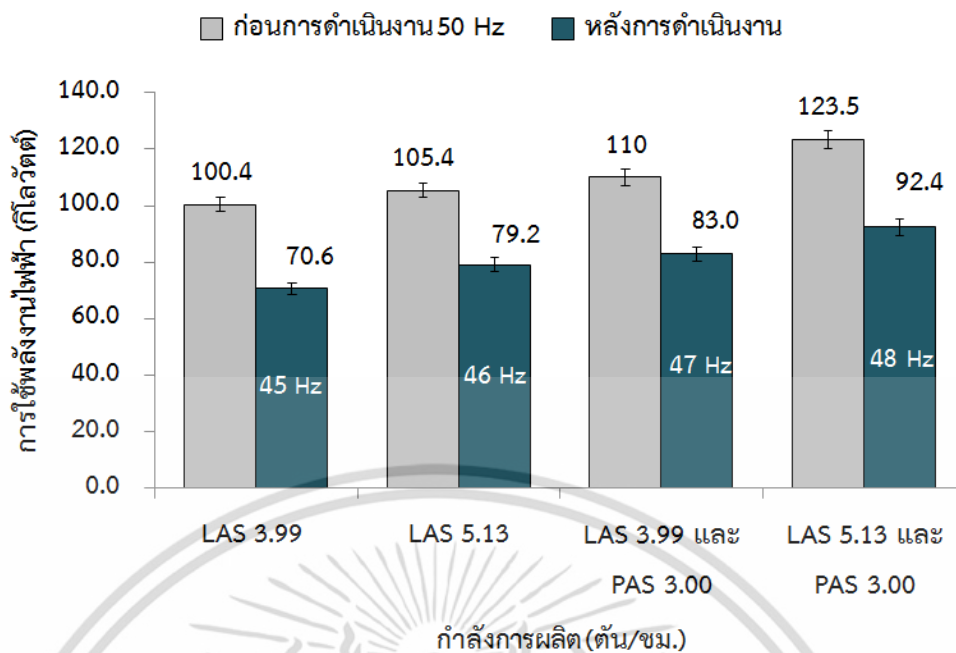
ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. พบว่าสามารถยกเลิกการใช้งานเครื่องเป่าลม 12 K3 เช่นเดียวกับที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. และควรตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 เป็น 48 Hz เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด คือ 92.4 กิโลวัตต์ ดังรูปที่ 4.6 โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม 50.6 °C และความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP 51 mbarg ได้ตามค่าเป้าหมายของบริษัท ดังตารางที่ 4.8 ดังนั้นสำหรับการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ควรตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 เท่ากับ 48 Hz

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงาน

	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันของอากาศที่เข้า ESP (mbarg)
	ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม	
มาตรฐานการปฏิบัติงาน	190-200	100-110	50-60	50-55	42-62
ค่าเป้าหมาย	190-200	100-110	55	50	52
ก่อนการดำเนินงาน	195.76	95.71	54.80	48.51	55
หลังการดำเนินงาน (48 Hz)	199.9	97.6	57.0	50.6	51

#### 4.3.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ก่อนและหลังการดำเนินงาน

จากรูปที่ 4.7 ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 แบบ ได้แก่ 1) LAS 3.99 ตัน/ชม. 2) LAS 5.13 ตัน/ชม. 3) LAS 3.99 ตัน/ชม. และ PAS 3.00 ตัน/ชม. และ 4) LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. พบว่าเมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 เท่ากับ 45, 46, 47 และ 48 Hz ตามลำดับ ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด สามารถลดค่าไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในปี 2556 ได้ประมาณ 750,000 บาท ดังตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ก่อนและหลังการเปลี่ยนความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมตามค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง

ตารางที่ 4.9 ค่าไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 เมื่อปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมตามค่าที่เหมาะสมจากการทดลองสำหรับกำลังการผลิต 4 กรณีศึกษา

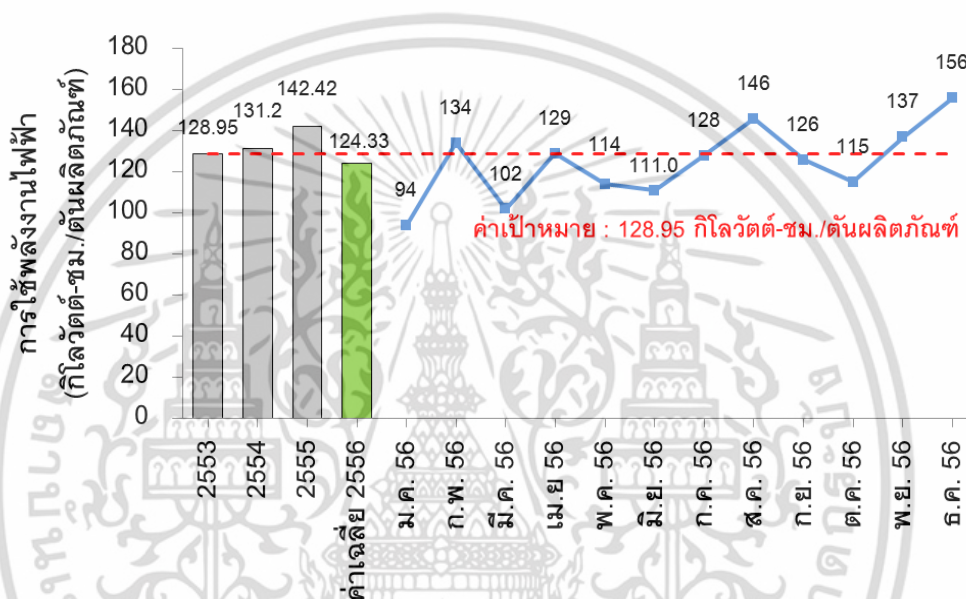
กำลังการผลิต (ตัน/ชม.)	จำนวน วันที่ผลิต (วัน)	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 (กิโลวัตต์-ชม.)			ค่าไฟฟ้าที่ ลดลง (บาท)
		ก่อนดำเนินงาน	หลังดำเนินงาน	ลดลง	
LAS 3.99	70	100.4	70.6	29.8	163,209
LAS 5.13	80	105.4	79.1	26.3	164,554
LAS 3.99 และ PAS 3.00	73	110	83	27.0	154,325
LAS 5.13 และ PAS 3.00	108	123.5	92.4	31.1	263,131
รวม	331				745,219

หมายเหตุ: 1) จำนวนวันที่ผลิตอ้างอิงข้อมูลการผลิตปี 2555 2) อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.26 บาท/หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

รูปที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ในปี 2556 ที่ได้หลังการดำเนินงานเท่ากับ 124.33 กิโลวัตต์-ชม./ตันผลิตภัณฑ์ ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการซัลโฟเนชันในปี 2553 ที่บริษัทเริ่มเพิ่มกำลังการผลิต คือ 128.95 กิโลวัตต์-ชม./ตันผลิตภัณฑ์ แสดงว่าหลังการดำเนินงานประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซัลโฟเนชันสูงขึ้น สามารถลดค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์หลักในกระบวนการซัลโฟเนชันในปี 2556 ได้ประมาณ 1,500,000 บาท ดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.8 การใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการซัลโฟเนชันก่อนและหลังการดำเนินงาน

ตารางที่ 4.10 ค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์หลักในกระบวนการซัลโฟเนชันที่ลดลง

อุปกรณ์หลัก	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท)
เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3	352,855
เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B	396,996
เครื่องเป่าลม 12 K1	745,219
<b>รวม</b>	<b>1,495,070</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์หลักในกระบวนการซัลโฟเนชัน ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3 เครื่องเป่าลม 11 K1A, 11 K1B และ 12 K1 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีผลรวมของการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 75 % ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในกระบวนการ พิจารณาลดการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของกระบวนการในการผลิต 4 แบบ ได้แก่

- 1) ลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear Alkyl Benzene Sulfonate: LAS) 3.99 ตัน/ชม.
- 2) LAS 5.13 ตัน/ชม.
- 3) LAS 3.99 ตัน/ชม. และไพรมารีอัลคิลซัลเฟต (Primary Alkyl Sulfate: PAS) 3.00 ตัน/ชม. และ 4) LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์หลักหลังการดำเนินงานโดยใช้ภาวะปฏิบัติการของอุปกรณ์หลักที่เหมาะสม ได้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ( $SEC_E$ ) เท่ากับ 124.33 กิโลวัตต์-ชม./ตันผลิตภัณฑ์ สามารถลดค่าไฟฟ้าในกระบวนการซัลโฟเนชันในปี 2556 ได้ทั้งหมด 1,500,000 บาท สรุปได้ดังนี้

#### 5.1 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซัลโฟเนชัน

##### ก. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3

ก่อนการดำเนินงานอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นตั้งค่าไว้ที่  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  จากทฤษฎีได้แนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นโดยปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นสูงกว่า  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพราะจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นได้ เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  พบว่าเมื่อตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นสูงขึ้นเป็น  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุดที่ทุกการผลิตสามารถลดค่าไฟฟ้าในปี 2556 ได้ประมาณ 350,000 บาท

##### ข. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B

ก่อนการดำเนินงานในกรณีผลิต LAS แก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับลิเนียร์อัลคิลเบนซีนมีความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐานการปฏิบัติงานของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา หลังการดำเนินงานพบว่าเมื่อปรับลดอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B ที่ผสมกับแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม ซึ่งทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. และ 5.13 ตัน/ชม. เท่ากับ 6,900 กิโลกรัม/ชม. และ 8,900 กิโลกรัม/ชม. ตามลำดับ สามารถลดค่าไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 2556 ได้ประมาณ 400,000 บาท (เมื่อสี่และเปอร์เซ็นต์ผลได้ของ LAS ยังอยู่ภายใต้ข้อกำหนด)

#### ค. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1

ก่อนการดำเนินงานใช้การปรับแดมเปอร์ (Damper) ควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่เข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5, 12 E6 และ 12 E7 แต่การปรับแดมเปอร์ทำยากและทำให้อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มต่ำกว่าค่าเป้าหมายของบริษัท ส่วนความดันของอากาศที่เข้า ESP สูงกว่าค่าเป้าหมายของบริษัท โครงการนี้จึงใช้การปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ที่อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมแทนการปรับแดมเปอร์ ในกรณีที่มีการผลิตทั้ง LAS และ PAS พบว่าสามารถใช้เพียงเครื่องเป่าลม 12 K1 ได้โดยไม่กระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันเฉลี่ยของอากาศที่เข้า ESP

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 แบบ ได้แก่ 1) LAS 3.99 ตัน/ชม. 2) LAS 5.13 ตัน/ชม. 3) LAS 3.99 ตัน/ชม. และ PAS 3.00 ตัน/ชม. และ 4) LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 12 K1 ที่เหมาะสม คือ 45, 46, 47 และ 48 Hz ตามลำดับ สามารถลดค่าไฟฟ้าในปี 2556 ได้ประมาณ 750,000 บาท

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมที่จะทำต่อไป ควรศึกษาการลดความดันลดในระบบ และเปลี่ยนใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง
2. บริษัทที่เป็นกรณีศึกษาควรติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศที่เข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5, 12 E6 และ 12 E7 เพื่อสามารถปรับอัตราการไหลของอากาศที่เข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่องได้อย่างเหมาะสม
3. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในโครงการนี้อาจนำไปใช้ได้กับกระบวนการผลิตอื่นที่ต้องการภาระการทำความเย็นมากกว่า 10,000 ตันความเย็น เพื่อลดการใช้ไฟฟ้า เช่น กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ กระบวนการผลิตสารกึ่งตัวนำ เป็นต้น
4. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมในโครงการนี้อาจนำไปใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีกำลังการผลิตเปลี่ยนแปลงโดยต้องควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับภาระการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553. **บทที่ 7 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับพัดลม (Energy conservation for fan)** [Online].  
Available : [www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file\\_handbook/Pre\\_Build/Build\\_10.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_10.pdf) [1 พฤษภาคม 2553]
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556ก. **สถิติพลังงานของประเทศไทย ปี 2556 เบื้องต้น.** [Online].  
Available : [www.dede.go.th/dede/images/stories/stat\\_dede/report13/statistics2556r\\_p.pdf](http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/report13/statistics2556r_p.pdf) [3 มีนาคม 2557]
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556ข. **บทที่ 3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ.** [Online].  
Available : [www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file\\_handbook/Pre\\_E\\_B/Elec\\_B\\_3.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_E_B/Elec_B_3.pdf) [19 กรกฎาคม 2556]
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556ค. **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]
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556ง. **หมวดที่ 7 : มอเตอร์และตัวขับ (Motor & Drive)** [Online].  
Available : [www2.dede.go.th/bhrd/old/web\\_display/websemple/Industrial\(PDF\)/Bay21%20High%20Efficiency%20Motors.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)/Bay21%20High%20Efficiency%20Motors.pdf) [1 สิงหาคม 2556]
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2556. **การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ.** [Online].  
Available : [www.diw.go.th/km/power/pdf/06การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ.pdf](http://www.diw.go.th/km/power/pdf/06การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ.pdf) [25 เมษายน 2556]
- กระทรวงพลังงาน. 2554. **นโยบายด้านพลังงานของรัฐบาล.** [Online].  
Available : [www.energy.go.th/?q=th/energy\\_policy](http://www.energy.go.th/?q=th/energy_policy). [25 ตุลาคม 2554]
- กฤษดา วิศวีธีรานนท์. 2539. **Inverter หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งาน.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : บริษัท เอฟ.เอ.เทค. จำกัด.
- โคทม อาริยา. 2544. **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2.** กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จิรวรรณ แก้วรัตน์ ชัยศิริ ปฏิภาทรานนท์ และธันวา จรกิจ. 2552. “ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ผลได้ของกรดซัลโฟนิคในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Falling film.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชนิชา หมอชาติ. 2550. “มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชวกร ภัคดีสรสิทธิ์ ปิยะนาถ สมมณี และอัญชลีพร วาริตสวัสดี หล่อทองคำ. 2556. “กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการซัลโฟเนชัน.” หน้า 299-304. ใน **การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23**. วันที่ 17-18 ตุลาคม 2556 ณ โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาอ์คิด จังหวัดขอนแก่น.
- ชวิน เอมมาโนชญ์. 2557. “การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบน้ำเย็นในกระบวนการผลิตหมากฝรั่ง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. 2556. **การทำความเย็นและการปรับอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 25. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ไชยชาญ หินเกิด. 2551. **เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ณัฐภูมิ เพิ่มขุนทด. 2550. “มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมแก้วและกระจก.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นุกูล สมบูรณ์. 2556. **กรรมวิธีการผลิต คู่มือการเดินเครื่องจักร Film Sulphonation Plant**. กรุงเทพฯ : บริษัท ลีเวอร์บราเธอร์ (ประเทศไทย) จำกัด.
- ปัญญา ยอดโอวาท. 2547. **อนุกรมเครื่องกลไฟฟ้า เล่ม 2 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ**. กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.
- ปิยะ อุไรไพรวิน ชวกร ภัคดีสรสิทธิ์ และ อัญชลีพร วาริตสวัสดี หล่อทองคำ. 2557. “การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซัลโฟเนชัน” หน้า 438-443. ใน **การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24**. วันที่ 17-18 ธันวาคม 2557 ณ โรงแรมพู่ราฆ่า จังหวัดเชียงใหม่.
- พัทธทิพย์ อัครดีกุล. 2538. **Film Sulphonation Plant**. กรุงเทพฯ : บริษัท ลีเวอร์บราเธอร์ (ประเทศไทย) จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พิสุทธิ์ ชัยอมฤต. 2545. “โปรแกรมตรวจสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภัทรา กุลเดชชัยชาญ. 2551. “ศึกษาการจำลองระบบควบคุมมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร.” ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- มีสตุโอะ โมโตกิ. 2543. **เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม.** แปลโดย บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, ประยูร เชี่ยววัฒนา, สายกมล กมลยะบุตร, ระนอง พยัคฆพันธ์ และสุชี ฉัตรชัยเวช. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- วัชระ มั่งวิฑิตกุล. 2550. **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : บริษัท เรียว ยู พาวเวอร์ จำกัด.
- วิชัย ศังขจันทรานนท์. 2540. **ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1.** พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- วิวัฒน์ ตัณตะพานิชกุล. 2536. **อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรม ฉบับปรับปรุงใหม่ (หน่วย SI).** กรุงเทพฯ : บริษัท ส.เอเชียเพรส (1989) จำกัด.
- เวชยันต์ อมะวัลย์. 2551. “การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารอำนวยการ.” สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ อุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- เวชยันต์ วรกิจธำรงค์ชัย. 2552. “การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนระบบทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำเพื่อทดแทนระบบทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ กรณีศึกษา: โรงงานประกอบชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์.” สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ศศิวิมล พัฒนพัฒนานนท์ สุทธิชัย สุรสมภพ และเหมือนฝัน เพ็ชรคง. 2554. “ผลของกรดลอริกต่อข้อกำหนดคุณภาพผลิตภัณฑ์ของกรดซัลโฟนิค.” ปริญญาโท วิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์. 2548. **เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมและกรณีศึกษา.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. 2554. **การออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สันติ วัฒนานุสรณ์. 2540. “การจำลองการไหลของอากาศผ่านแผ่นแบนเรียบที่เอียงขนานกันในท่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2550. **คู่มือการรายงานข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อจัดทำคำดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานราชการ.** [Online].

Available : [www.e-report.energy.go.th](http://www.e-report.energy.go.th) [15 พฤษภาคม 2550]

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2555. **แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573).** [Online]. Available : [www.eppo.go.th/encon/ee-20yrs/ee-20yr-final.pdf](http://www.eppo.go.th/encon/ee-20yrs/ee-20yr-final.pdf) [25 มีนาคม 2557]

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2557. **การทำดัชนีการใช้พลังงานเพื่อการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม.** [Online]. Available : [www.php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/26.pdf](http://www.php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/26.pdf) [26 มกราคม 2558]

สิทธิพันธ์ บุญสงค์, เสาวนีย์ เพิ่มสมบัติ และเอกชัย ยุ่งทอง. 2553. “ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดอากาศสู่อากาศ (Air-to-air) ในการลดใช้พลังงานเชื้อเพลิงในเตาหลอมอะลูมิเนียม.” วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุชาติ สุวรรณพิสิทธิ์. 2548. “การลดการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องต้ม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุธรรม สุขมณี. 2552. **การออกแบบอุปกรณ์ทางวิศวกรรมเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 6. สงขลา : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อมรรัตน์ แก้วประดับ และ พิชัย นามประกาย. 2548. “การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในอุตสาหกรรมประเภทโลหะ.” หน้า ECI06-1 – ECI06-6. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1

เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด. 2555. **ข้อมูลการดำเนินงานและข้อมูลส่วนกลาง.** กรุงเทพฯ : บริษัท ลีเวอร์บราเธอร์ (ประเทศไทย) จำกัด.

เอกสิทธิ์ สุวรรณศรี. 2543. “การปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Capehart, B.L. Turner, W.C. and Kennedy, W.J. 2008. **Guide to Energy management.** 6<sup>th</sup> Ed. Lilburn : The Fairmont Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cengel, Y.A. and Boles, M.A. 2006. **Thermodynamics : An Engineering Approach.** 6<sup>th</sup> Ed. New York : McGraw-Hill.
- Cengel, Y.A. 2005. **Heat and Mass Transfer: A Practical Approach.** 3<sup>rd</sup> Ed. New York : McGraw-Hill.
- Chang, Y.C. 2004. "A novel energy conservation method optimal chiller loading." **Electric Power Systems Research.** 69 : 221-226.
- Energy Efficiency Guide for Industry in Asia. 2006. **เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้า: พัดลมและเครื่องเป่าลม** [Online].  
Available : [http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee\\_modules/thai/Chapter%20-%20Fans%20and%20Blowers%20\(Thai\).pdf](http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/thai/Chapter%20-%20Fans%20and%20Blowers%20(Thai).pdf) [1 มีนาคม 2550]
- Hundy, G.F. Trott, A.R. and Welch, T.C. (Auth.). 2008. **Refrigeration and Air-Conditioning.** 4<sup>th</sup> Ed. London : Butterworth-Heinemann.
- Moreno, A. Bengoechea, C. Bravo, J. and Berna, J.L. 2003. "A Contribution to Understanding Secondary Reactions in Linear Alkylbenzene Sulfonation." **Journal of Surfactants and Detergents.** Vol. 6(2) : 137-142.
- Nawaz, Z. and Naveed, S. 2012. **Advances in Chemical Engineering.** 1<sup>st</sup> Ed. Rijeka : InTech.
- Pass My Exams. 2014. **Energy Transfer Diagrams.** [Online].  
Available : <http://www.passmyexams.co.uk/GCSE/physics/energy-transfer.html> [1 May 2014]
- Petruzella, F. D. 2541. **อิเล็กทรอนิกส์สำหรับอุตสาหกรรม.** แปลโดย สุรพล รักวิชัย. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล อินเทอร์เน็ตเซ็นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์, อิงค์.
- Roberts, D.W. 2003. "Optimisation of the Linear Alkyl Benzene Sulfonation Process for Surfactant Manufacture." **Organic Process Research & Development** Vol. 7(2) : 172-184.
- Seidel, A. 2007. **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.** 5<sup>th</sup> ed. Vol. 23, New Jersey : John Wiley & Sons.
- Topfer, K. 2006. **คู่มือการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในภาคอุตสาหกรรมของเอเชีย.** แปลจาก Energy Efficiency Guide for Industry in Asia. โดย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (TISTR). กรุงเทพฯ.
- Wang, S.K. 2001. **Handbook of Air Condition and Refrigeration.** New York : McGraw-Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการซัลโฟเนชัน

ตารางที่ ก-1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการซัลโฟเนชัน

อุปกรณ์	กระแส (แอมแปร์)
11K1B	260.0
11K1A	242.0
11RG3	199.0
12K1	196.0
04P1	67.0
04P2	58.0
16P1	35.2
14P1	16.7
11K2	15.7
16A1	15.0
11P1	7.6
11P2	7.6
04CT1/A	6.9
04CT1/B	7.8
04CT1/C	8.5
04CT1/D	8.5
04CT1/E	8.5
04CT1/F	9.7
14K1	2.0
05P1	3.0
16P2	5.0
16P6	3.0
16P3	3.0
16P4i	5.0

หมายเหตุ การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

## การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น 11 RG3

ภาคผนวก ข-1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นค่าต่างๆ

ภาคผนวก ข-2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิตผลิตภัณฑ์ 4 แบบที่เป็นกรณีศึกษา ก่อนและหลังการดำเนินงาน  
เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C

ภาคผนวก ข-1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นค่าต่างๆ

ตารางที่ ข-1.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นค่าต่างๆ

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)					
	26 ก.พ. 56	27 ก.พ. 56	28 ก.พ. 56	1 มี.ค. 56	2 มี.ค. 56	3 มี.ค. 56
	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -2 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -0.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0.5 °C
6:00	89	89	83	82.5	81	83
6:30	89.5	89.5	84	82	82.5	85
7:00	90	90	86	82	86	87
7:30	92	92.5	88	83.5	90.5	91.5
8:00	100.5	99	90.5	84.5	92	99.5
8:30	101	100	92.5	90.5	96	102
9:00	109	108	96.5	95	96	105
9:30	110	108	97	96	97	105
10:00	110	109	97	96	96.5	105

ตารางที่ ข-1.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นค่าต่างๆ (ต่อ)

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)					
	26 ก.พ. 56	27 ก.พ. 56	28 ก.พ. 56	1 มี.ค. 56	2 มี.ค. 56	3 มี.ค. 56
	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -2 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -0.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0.5 °C
10:30	110.5	109	98	94	98	105
11:00	111	110	98	95	98	105.5
11:30	108	108	98	93	98	106
12:00	104	104	94	90.5	91.5	104
12:30	103	103.5	92	90.5	92	102
13:00	100.5	100	89.5	89	90	99.5
13:30	99	99	89	84.5	89	97
14:00	97	99	85	83	85	95
14:30	99	99	86	81	85	97
15:00	95	95	86	79	84.5	94
15:30	96	95	86	80	84	95

ตารางที่ ข-1.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นค่าต่างๆ (ต่อ)

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)					
	26 ก.พ. 56	27 ก.พ. 56	28 ก.พ. 56	1 มี.ค. 56	2 มี.ค. 56	3 มี.ค. 56
	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -2 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -0.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0.5 °C
16:00	94	94.5	86	82	84	94.5
16:30	94.5	94	86	82	83.5	93
17:00	93	92	85.5	83	83.5	91.5
17:30	92	91.5	85.5	83	84	91
18:00	91	90	84	82	83	90.5
ค่าเฉลี่ย	99.1	98.7	89.7	86.5	88.3	96.9

หมายเหตุ : อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ที่ 30 °C

ตารางที่ ข-1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นค่าต่างๆ

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)					
	6 มี.ค. 56	7 มี.ค. 56	8 มี.ค. 56	13 มี.ค. 56	14 มี.ค. 56	15 มี.ค. 56
	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -2 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -0.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0.5 °C
6:00	195.5	191.5	183	178	187	189.5
6:30	196	192	183.5	177	187.5	191
7:00	196	193	185	178	189	192
7:30	196	195	187	178	191	194
8:00	198.5	197.5	189	179	193	195
8:30	204	202	193	189	197	200
9:00	205.5	204.5	194	193	198	200
9:30	208.5	204	195	194	199	201
10:00	208	205	196	194	200	202
10:30	210	205	197	195.5	201	202

ตารางที่ ข-1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นค่าต่างๆ (ต่อ)

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)					
	6 มี.ค. 56	7 มี.ค. 56	8 มี.ค. 56	13 มี.ค. 56	14 มี.ค. 56	15 มี.ค. 56
	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -2 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -0.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0.5 °C
11:00	210	206	196	194.5	200	202
11:30	209.5	205.5	197	195	201	201
12:00	207.5	204	195	192.5	199	199
12:30	204	204	194.5	185.5	198.5	200
13:00	203	203	194	180	198	200
13:30	197.5	196	187	177	191	197.5
14:00	197.5	196	187.5	177	191.5	193
14:30	197	196	186.5	178.5	190.5	193
15:00	195	194	186	179	190	191
15:30	196.5	194	187	178	191	193

ตารางที่ ข-1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นค่าต่างๆ (ต่อ)

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)					
	6 มี.ค. 56	7 มี.ค. 56	8 มี.ค. 56	13 มี.ค. 56	14 มี.ค. 56	15 มี.ค. 56
	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -2 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -1 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก -0.5 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0 °C	อุณหภูมิของน้ำเย็น ขาออก 0.5 °C
16:00	194	193	185	177	189	192
16:30	195.5	192	185	178	189	192
17:00	196.5	191.5	185	178	189	193.5
17:30	197.5	191.5	185	177	189	193.5
18:00	195	192	184	178	188	192
ค่าเฉลี่ย	200.6	197.9	189.5	183.2	193.5	196

หมายเหตุ : อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ที่ 30 °C

ภาคผนวก ข-2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับกำลังการผลิต  
4 กรณีศึกษา ก่อนและหลังการดำเนินงาน เมื่ออุณหภูมิของ  
น้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ 30 °C

ตารางที่ ข-2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. ก่อนและหลัง  
การดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -2 °C และ -0.5 °C

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)	
	ก่อนการดำเนินงาน อุณหภูมิของน้ำเย็น -2 °C	หลังการดำเนินงาน อุณหภูมิของน้ำเย็น -0.5 °C
6:00	89	82.5
6:30	89.5	82
7:00	89	82
7:30	92	83.5
8:00	100.5	84.5
8:30	101	90.5
9:00	109	95
9:30	110	96
10:00	110	96
10:30	110.5	94
11:00	111	95
11:30	108	93
12:00	104	90.5
12:30	103	90.5
13:00	100.5	89
13:30	99	84.5
14:00	92.5	83
14:30	92.5	81
15:00	90	79
15:30	92	80
16:00	91	82
16:30	90	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -2 °C และ -0.5 °C (ต่อ)

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)	
	ก่อนการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -2 °C	หลังการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -0.5 °C
17:00	90	83
17:30	91	83
18:00	92.5	82
18:30	93	84
19:00	98	84
19:30	100.5	85
20:00	101	90.5
20:30	102	93
21:00	106	93
21:30	108	93.5
22:00	108	93
22:30	106	94
23:00	106.5	95
23:30	106.5	93
0:00	104	89
0:30	100.5	84.5
1:00	99	83
1:30	98	83.5
2:00	99	84.5
2:30	94	84
3:00	94	84
3:30	93	83.5
4:00	92.5	83
4:30	90.5	83
5:00	91	83
5:30	90	82.5
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>98.5</b>	<b>86.9</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -2 °C และ -0.5 °C

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)	
	ก่อนการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -2 °C	หลังการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -0.5 °C
6:00	119	100
6:30	119	99
7:00	119	99
7:30	118.5	100
8:00	121	101.5
8:30	125	109
9:00	130	116
9:30	131	118.5
10:00	133	118.5
10:30	133	119
11:00	134	119
11:30	131	119
12:00	128	110
12:30	124	109
13:00	123	103.5
13:30	120.5	103.5
14:00	120.5	104
14:30	121	101.5
15:00	120	101.5
15:30	119	102
16:00	120	102
16:30	119	101.5
17:00	123	103.5
17:30	122.5	103.5
18:00	124	101.5
18:30	125	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น -2 °C และ -0.5 °C (ต่อ)

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)	
	ก่อนการดำเนินงานตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็น -2 °C	หลังการดำเนินงานตั้งอุณหภูมิของน้ำเย็น -0.5 °C
19:00	122	103.5
19:30	122.5	103.5
20:00	122.5	104
20:30	128	109
21:00	131	115
21:30	133	118
22:00	132.5	118
22:30	131	117.5
23:00	131	116
23:30	130	116
0:00	127	116
0:30	126.5	113
1:00	125	110
1:30	122	103.5
2:00	122	101.5
2:30	121	101.5
3:00	120.5	101
3:30	121	100
4:00	120.5	100
4:30	121	101
5:00	119	100
5:30	119	100
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>124.4</b>	<b>107.0</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.  
ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น  
-2 °C และ -0.5 °C

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)	
	ก่อนการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -2 °C	หลังการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -0.5 °C
6:00	173	113
6:30	173	112
7:00	173	112
7:30	175	113
8:00	183.5	118
8:30	185.5	127.5
9:00	189.5	133.5
9:30	189	136
10:00	187	134
10:30	189	135
11:00	188	136
11:30	186.5	132
12:00	186.5	132.5
12:30	183.5	132.5
13:00	182.5	133.5
13:30	177	132.5
14:00	173	130.5
14:30	172.5	125
15:00	171	123
15:30	170	118
16:00	172	117
16:30	170	112
17:00	174	113
17:30	175.5	118
18:00	176	118
18:30	177	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.  
ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น  
-2 °C และ -0.5 °C (ต่อ)

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)	
	ก่อนการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -2 °C	หลังการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -0.5 °C
19:00	178	127.5
19:30	178	127.5
20:00	181.5	127.5
20:30	184.5	133.5
21:00	186.5	133.5
21:30	186.5	132
22:00	185.5	132.5
22:30	185	132
23:00	185	132
23:30	186.5	132.5
0:00	186.5	132
0:30	182	130.5
1:00	182	130.5
1:30	178	127.5
2:00	177.5	119
2:30	177	118
3:00	177	118
3:30	177.5	118
4:00	177.5	117
4:30	175.5	113
5:00	173	113
5:30	174	112
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>179.7</b>	<b>124.7</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.  
ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น  
-2 °C และ -0.5 °C

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)	
	ก่อนการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -2 °C	หลังการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -0.5 °C
6:00	195.5	178
6:30	195	177
7:00	195.5	178
7:30	195	178
8:00	197.5	179
8:30	204	189
9:00	204.5	193
9:30	207.5	194
10:00	208	194
10:30	210	195.5
11:00	210	194.5
11:30	209.5	195
12:00	207.5	192.5
12:30	204	185.5
13:00	203	180
13:30	198.5	177
14:00	197.5	177
14:30	196	178.5
15:00	197	179
15:30	195.5	178
16:00	195	177
16:30	196	178
17:00	193.5	178
17:30	194.5	177
18:00	194	178
18:30	195.5	178

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.  
ก่อนและหลังการดำเนินงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น  
-2 °C และ -0.5 °C (ต่อ)

เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (แอมแปร์)	
	ก่อนการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -2 °C	หลังการดำเนินงานตั้ง อุณหภูมิของน้ำเย็น -0.5 °C
19:30	196	183
20:00	197.5	183.5
20:30	200	185.5
21:00	203	190.5
21:30	206.5	191
22:00	206.5	191.5
22:30	207.5	192.5
23:00	207.5	191.5
23:30	207	192
0:00	206.5	183
0:30	203	181
1:00	197.5	178
1:30	196	178
2:00	196	178
2:30	195	177
3:00	195	177
3:30	195	177.5
4:00	195	177
4:30	194	177
5:00	194	176
5:30	193	176
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>199.7</b>	<b>182.8</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B

ภาคผนวก ค-1 การคำนวณความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์

ภาคผนวก ค-2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมตามค่าที่เหมาะสม

ภาคผนวก ค-3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมตามค่าที่เหมาะสม

## ภาคผนวก ค-1 การคำนวณความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

### สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ

1. อุณหภูมิและความดันคงที่
2. เป็นแก๊สอุดมคติ
3. อุปกรณ์ที่ใช้วัดมีความแม่นยำ
4. เตาเผาสามารถเผาไหม้ได้หมดด้วยอากาศที่มากเกินไป
5. ประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งสามารถเปลี่ยนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) เป็นแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO<sub>3</sub>) ได้ 98% ตามค่าการออกแบบของเครื่องปฏิกรณ์

### ตัวอย่างการคำนวณที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม.

#### เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B

อุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องเป่าลม = 35 °C

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity: RH) = 60 %

ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศ (Absolute Humidity) ที่เข้าเครื่องเป่าลม 25 g/kg Air

อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B = 8,900 kg/h

ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศที่ออกจากหน่วยทำอากาศแห้ง = 0.0066 g Humid/kg Air

ความชื้นในอากาศที่ถูกกำจัด 24.99 g Humid/kg Air

อัตราการไหลของอากาศแห้งที่ออกจากหน่วยทำอากาศแห้ง 8,900 – 222.5 = 8,677.5 kg/h

อากาศแห้งที่แบ่งเพื่อใช้เจือจางแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม 1,230 kg/h

อัตราการไหลของอากาศแห้งที่เข้าเตาเผา 7,447.5 กิโลกรัม/ชม.

- มีแก๊สไนโตรเจน (MW = 28)  $0.79(28)(7,447.5) = 5,883.5$  kg/h

- มีแก๊สออกซิเจน (MW = 32)  $0.21(32)(7,447.5) = 1,564$  kg/h

#### เตาเผากำมะถัน

ปฏิกิริยาที่เกิด  $S$  (MW = 32) + O<sub>2</sub> → SO<sub>2</sub> (MW = 64)

ใช้กำมะถันเหลว = 573 kg/h

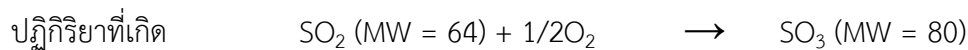
$$= \frac{573 \text{ kg/h}}{32 \text{ kg/kmol}} = 17.91 \text{ kmol/h}$$

เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ = 17.91 kmol/h

ใช้แก๊สออกซิเจน = 17.91 kmol/h = 573 kg/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หน่วยผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์



$$\text{ใช้แก๊สออกซิเจน} = 8.95 \text{ kmol/h} = 286.5 \text{ kg/h}$$

เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

$$= 0.98(17.91 \text{ kmol/h})$$

$$= 17.55 \text{ kmol/h}$$

แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา

$$= 17.91 - 17.55 = 0.36 \text{ kmol/h}$$

### ทางออกของหน่วยผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

สารขาออก ได้แก่

- แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ = 17.55 kmol/h
- แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา = 0.36 kmol/h
- แก๊สไนโตรเจนที่ไม่เกิดปฏิกิริยา = 210.13 kmol/h
- แก๊สออกซิเจนที่ไม่เกิดปฏิกิริยา = 22.01 kmol/h
- อัตราการไหลของสารขาออก = 250.05 kmol/h

### เครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม

ก่อนป้อนแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม ต้องเติมอากาศแห้ง 1,230 kg/h หรือ 42.65 kmol/h เพื่อเจือจางแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ส่งมาจากหน่วยผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

อัตราการไหลขาเข้าแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม

$$= 250.05 + 42.65 = 292.70 \text{ kmol/h}$$

ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

$$= \frac{17.55 \text{ kmol/h}}{292.7 \text{ kmol/h}} \times 100 = 6.00 \text{ mol\%} = 6.00 \text{ vol\%}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม.

### เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B

อุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องเป่าลม = 35 °C

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH) = 60 %

ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) ของอากาศที่เข้าเครื่องเป่าลม 25 g/kg Air

อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B เท่ากับ 10,400 kg/h

ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศที่ออกจากหน่วยทำอากาศแห้ง 0.0066 g Humid/kg Air

ความชื้นในอากาศที่ถูกกำจัด 24.99 g Humid/kg Air

อัตราการไหลของอากาศแห้งที่ออกจากหน่วยทำอากาศแห้ง 10,400 - 260 = 10,140 kg/h

อากาศแห้งที่แบ่งเพื่อใช้เจือจางแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม 2,400 kg/h

- อากาศแห้งที่แบ่งเพื่อใช้ผลิต LAS 1,400 kg/h

- อากาศแห้งที่แบ่งเพื่อใช้ผลิต PAS 1,400 kg/h

อัตราการไหลของอากาศแห้งที่เข้าเตาเผา 7,740 กิโลกรัม/ชม.

- มีแก๊สไนโตรเจน (MW = 28)  $0.79(7,740) = 6,114.68$  kg/h = 218.38 kmol/h

- มีแก๊สออกซิเจน (MW = 32)  $0.21(7,740) = 1,625.42$  kg/h = 50.79 kmol/h

### เตาเผากำมะถัน

ปฏิกิริยาที่เกิด  $S$  (MW = 32) +  $O_2 \rightarrow SO_2$  (MW = 64)

ใช้กำมะถันเหลว = 610 kg/h

$$= \frac{610 \text{ kg/h}}{32 \text{ kg/kmol}} = 19.06 \text{ kmol/h}$$

เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ = 19.06 kmol/h

ใช้แก๊สออกซิเจน = 19.06 kmol/h = 610 kg/h

### หน่วยผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ปฏิกิริยาที่เกิด  $SO_2$  (MW = 64) +  $1/2O_2 \rightarrow SO_3$  (MW = 80)

ใช้แก๊สออกซิเจน = 9.53 kmol/h = 305 kg/h

เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

$$= 0.98(19.06 \text{ kmol/h})$$

$$= 18.68 \text{ kmol/h}$$

แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $= 19.06 - 18.68 = 0.38 \text{ kmol/h}$   
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ทางออกของหน่วยผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

สารขาออก ได้แก่

- แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์	=	18.68	kmol/h
- แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา	=	0.38	kmol/h
- แก๊สไนโตรเจนที่ไม่เกิดปฏิกิริยา	=	218.38	kmol/h
- แก๊สออกซิเจนที่ไม่เกิดปฏิกิริยา	= 50.79 - (19.06+9.53)	=	22.01 kmol/h
- อัตราการไหลของสารขาออก	=	259.45	kmol/h

### ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ใช้ผลิต LAS

ก่อนป้อนแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มที่ใช้ผลิต LAS ต้องเติมอากาศแห้ง 1,400 kg/h หรือ 48.54 kmol/h เพื่อเจือจางแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ส่งมาจากหน่วยผลิตแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

อัตราการไหลขาเข้าแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มที่ใช้ผลิต LAS

$$= 259.45 + 48.54 = 307.99 \text{ kmol/h}$$

ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ใช้ผลิต LAS

$$= \frac{18.67 \text{ kmol/h}}{307.99 \text{ kmol/h}} \times 100 = 6.06 \text{ mol\%} = 6.06 \text{ vol\%}$$

### ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ใช้ผลิต PAS

ก่อนป้อนแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มที่ใช้ผลิต PAS ต้องเติมอากาศแห้ง 1,000 kg/h หรือ 34.67 kmol/h เพื่อเจือจางแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 6.06 mol% ที่ถูกแยกออกมาสำหรับใช้ผลิต PAS

อัตราการไหลขาเข้าแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มที่ใช้ผลิต PAS

$$= 307.99 + 34.64 = 342.63 \text{ kmol/h}$$

$$= \frac{18.67 \text{ kmol/h}}{342.63 \text{ kmol/h}} \times 100 = 5.45 \text{ mol\%} = 5.45 \text{ vol\%}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค-2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมตามค่าที่เหมาะสม

ตารางที่ ค-2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงาน ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 7,700 กิโลกรัม/ชม.

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
19 ต.ค. 56	6:00	215	7,739	5.33	-	-
	6:30	212	7,712	5.35	-	-
	7:00	213	7,705	5.36	-	-
	7:30	210	7,709	5.36	-	-
	8:00	212	7,721	5.35	-	-
	8:30	210	7,731	5.34	-	-
	9:00	213	7,718	5.35	96.62	18
	9:30	210	7,698	5.36	-	-
	10:00	214	7,694	5.37	-	-
	10:30	215	7,691	5.37	-	-
	11:00	215	7,689	5.37	-	-
	11:30	215	7,703	5.36	-	-

**ตารางที่ ค-2.1** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 7,700 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
19 ต.ค. 56	12:00	210	7,707	5.36	96.46	18
	12:30	215	7,728	5.34	-	-
	13:00	212	7,723	5.35	-	-
	13:30	213	7,730	5.34	-	-
	14:00	213	7,718	5.35	-	-
	14:30	214	7,712	5.35	-	-
	15:00	215	7,715	5.35	96.73	20
	15:30	216	7,704	5.36	-	-
	16:00	216	7,709	5.36	-	-
	16:30	215	7,710	5.36	-	-
	17:00	216	7,720	5.35	-	-
	17:30	216	7,728	5.34	-	-
	18:00	216	7,738	5.34	96.78	19
20 ต.ค. 56	6:00	210	7,726	5.34	-	-
	6:30	212	7,732	5.34	-	-
	7:00	214	7,725	5.34	-	-

**ตารางที่ ค-2.1** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 7,700 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
20 ต.ค. 56	7:30	215	7,720	5.35	-	-
	8:00	216	7,717	5.35	-	-
	8:30	215	7,712	5.35	-	-
	9:00	213	7,709	5.36	97.02	19
	9:30	214	7,703	5.36	-	-
	10:00	213	7,696	5.37	-	-
	10:30	216	7,663	5.39	-	-
	11:00	212	7,683	5.37	-	-
	11:30	210	7,692	5.37	-	-
	12:00	215	7,691	5.37	97.00	16
	12:30	210	7,690	5.37	-	-
	13:00	215	7,666	5.39	-	-
	13:30	212	7,650	5.40	-	-
	14:00	213	7,665	5.39	-	-
	14:30	216	7,677	5.38	-	-
15:00	213	7,688	5.37	97.13	17	

**ตารางที่ ค-2.1** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 7,700 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
20 ต.ค. 56	15:30	215	7,749	5.33	-	-
	16:00	215	7,732	5.34	-	-
	16:30	210	7,712	5.35	-	-
	17:00	213	7,721	5.35	-	-
	17:30	215	7,705	5.36	-	-
	18:00	215	7,718	5.35	96.86	18
26 ต.ค. 56	6:00	214	7,716	5.35	-	-
	6:30	214	7,704	5.36	-	-
	7:00	215	7,728	5.34	-	-
	7:30	218	7,716	5.35	-	-
	8:00	218	7,702	5.36	-	-
	8:30	216	7,701	5.36	-	-
	9:00	216	7,700	5.36	96.87	19
	9:30	215	7,709	5.36	-	-
	10:00	214	7,718	5.35	-	-
	10:30	218	7,710	5.36	-	-

**ตารางที่ ค-2.1** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 7,700 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
26 ต.ค. 56	11:00	218	7,726	5.34	-	-
	11:30	220	7,729	5.34	-	-
	12:00	215	7,737	5.34	96.82	18
	12:30	214	7,731	5.34	-	-
	13:00	215	7,739	5.33	-	-
	13:30	214	7,742	5.33	-	-
	14:00	215	7,741	5.33	-	-
	14:30	215	7,745	5.33	-	-
	15:00	215	7,729	5.34	96.66	24
	15:30	215	7,714	5.35	-	-
	16:00	215	7,717	5.35	-	-
	16:30	215	7,705	5.36	-	-
	17:00	215	7,706	5.36	-	-
	17:30	216	7,702	5.36	-	-
18:00	215	7,698	5.36	96.42	28	
27 ต.ค. 56	6:00	218	7,694	5.37	-	-

ตารางที่ ค-2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 7,700 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
27 ต.ค. 56	6:30	220	7,691	5.37	-	-
	7:00	218	7,690	5.37	-	-
	7:30	220	7,684	5.37	-	-
	8:00	220	7,682	5.38	-	-
	8:30	215	7,689	5.37	-	-
	9:00	218	7,680	5.38	96.72	30
	9:30	219	7,660	5.39	-	-
	10:00	217	7,702	5.36	-	-
	10:30	218	7,710	5.36	-	-
	11:00	215	7,716	5.35	-	-
	11:30	219	7,724	5.35	-	-
	12:00	219	7,729	5.34	96.67	29
	12:30	219	7,730	5.34	-	-
	13:00	218	7,731	5.34	-	-
	13:30	216	7,737	5.34	-	-
	14:00	215	7,735	5.34	-	-

**ตารางที่ ค-2.1** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 7,700 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
27 ต.ค. 56	14:30	217	7,728	5.34	-	-
	15:00	218	7,720	5.35	97.03	28
	15:30	219	7,716	5.35	-	-
	16:00	220	7,712	5.35	-	-
	16:30	219	7,705	5.36	-	-
	17:00	218	7,702	5.36	-	-
	17:30	220	7,708	5.36	-	-
	18:00	219	7,710	5.36	96.99	39

**หมายเหตุ :** 1. ใช้กำมะถันเหลว 445 กิโลกรัม/ชม. เมื่อผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. 2. %SA คือ เปอร์เซ็นต์ผลได้ของ LAS ต้องไม่ต่ำกว่า 96 %

ตารางที่ ค-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 6,900 กิโลกรัม/ชม.

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
2 ม.ค. 57	6:00	194	6,900	6.00	-	-
	6:30	192	6,901	6.00	-	-
	7:00	196	6,905	6.00	-	-
	7:30	195	6,945	5.96	-	-
	8:00	196	6,932	5.97	-	-
	8:30	194	6,899	6.00	-	-
	9:00	194	6,864	6.04	96.81	25
	9:30	196	6,924	5.98	-	-
	10:00	195	6,935	5.97	-	-
	10:30	195	6,899	6.00	-	-
	11:00	196	6,855	6.04	-	-
	11:30	193	6,868	6.03	-	-
	12:00	194	6,874	6.03	96.75	24
	12:30	195	6,922	5.98	-	-
	13:00	195	6,881	6.02	-	-
	13:30	194	6,923	5.98	-	-

ตารางที่ ค-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 6,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
2 ม.ค. 57	14:00	195	6,916	5.99	-	-
	14:30	196	6,907	6.00	-	-
	15:00	196	6,928	5.98	96.72	32
	15:30	195	6,869	6.03	-	-
	16:00	195	6,860	6.04	-	-
	16:30	194	6,958	5.95	-	-
	17:00	195	6,940	5.97	-	-
	17:30	195	6,941	5.97	-	-
	18:00	194	6,937	5.97	-	26
3 ม.ค. 57	6:00	196	6,857	6.04	-	-
	6:30	196	6,863	6.04	-	-
	7:00	192	6,874	6.03	-	-
	7:30	194	6,899	6.00	-	-
	8:00	192	6,903	6.00	-	-
	8:30	194	6,919	5.99	-	-
	9:00	194	6,924	5.98	96.66	26

ตารางที่ ค-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 6,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
3 ม.ค. 57	9:30	195	6,935	5.97	-	-
	10:00	196	6,895	6.01	-	-
	10:30	193	6,884	6.02	-	-
	11:00	195	6,856	6.04	-	-
	11:30	196	6,875	6.03	-	-
	12:00	192	6,896	6.01	96.62	24
	12:30	192	6,895	6.01	-	-
	13:00	192	6,891	6.01	-	-
	13:30	190	6,905	6.00	-	-
	14:00	194	6,909	5.99	-	-
	14:30	192	6,932	5.97	-	-
	15:00	190	6,931	5.98	96.87	30
	15:30	192	6,917	5.99	-	-
	16:00	194	6,926	5.98	-	-
	16:30	195	6,941	5.97	-	-
17:00	198	6,937	5.97	-	-	

ตารางที่ ค-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 6,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
3 ม.ค. 57	17:30	197	6,881	6.02	-	-
	18:00	197	6,941	5.97	96.68	27
4 ก.พ. 57	6:00	195	6,938	5.97	-	-
	6:30	196	6,932	5.97	-	-
	7:00	190	6,928	5.98	-	-
	7:30	192	6,925	5.98	-	-
	8:00	190	6,912	5.99	-	-
	8:30	192	6,899	6.00	-	-
	9:00	194	6,865	6.03	97.10	31
	9:30	195	6,885	6.02	-	-
	10:00	195	6,887	6.01	-	-
	10:30	192	6,897	6.01	-	-
	11:00	195	6,899	6.00	-	-
	11:30	195	6,902	6.00	-	-
	12:00	192	6,961	5.95	97.00	28
	12:30	192	6,927	5.98	-	-

ตารางที่ ค-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 6,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
4 ก.พ. 57	13:00	194	6,864	6.04	-	-
	13:30	192	6,863	6.04	-	-
	14:00	191	6,878	6.02	-	-
	14:30	190	6,873	6.03	-	-
	15:00	192	6,899	6.00	96.82	30
	15:30	194	6,879	6.02	-	-
	16:00	195	6,916	5.99	-	-
	16:30	196	6,926	5.98	-	-
	17:00	194	6,917	5.99	-	-
	17:30	193	6,937	5.97	-	-
	18:00	192	6,940	5.97	96.46	29
5 ก.พ. 57	6:00	192	6,880	6.02	-	-
	6:30	195	6,883	6.02	-	-
	7:00	194	6,883	6.02	-	-
	7:30	192	6,945	5.96	-	-
	8:00	193	6,941	5.97	-	-

ตารางที่ ค-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 6,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
5 ก.พ. 57	8:30	192	6,881	6.02	-	-
	9:00	194	6,850	6.05	96.78	37
	9:30	192	6,856	6.04	-	-
	10:00	190	6,863	6.04	-	-
	10:30	191	6,869	6.03	-	-
	11:00	192	6,873	6.03	-	-
	11:30	193	6,862	6.04	-	-
	12:00	194	6,877	6.02	96.73	36
	12:30	196	6,883	6.02	-	-
	13:00	192	6,835	6.06	-	-
	13:30	195	6,867	6.03	-	-
	14:00	193	6885	6.02	-	-
	14:30	194	6880	6.02	-	-
	15:00	195	6882	6.02	97.62	34
	15:30	195	6893	6.01	-	-
16:00	192	6890	6.01	-	-	

ตารางที่ ค-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 6,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
5 ก.พ. 57	16:30	195	6896	6.01	-	-
	17:00	195	6892	6.01	-	-
	17:30	190	6946	5.96	-	-
	18:00	192	6853	6.05	96.55	38

หมายเหตุ : 1. ใช้กำมะถันเหลว 445 กิโลกรัม/ชม. เมื่อผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. 2. %SA คือ เปอร์เซ็นต์ผลได้ของ LAS ต้องไม่ต่ำกว่า 96 %

ภาคผนวก ค-3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. ก่อนและหลังการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมตามค่าที่เหมาะสม

ตารางที่ ค-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 10,100 กิโลกรัม/ชม.

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
6 พ.ย. 56	6:00	574	10,069	5.28	-	-
	6:30	553	10,108	5.26	-	-
	7:00	552	10,062	5.28	-	-
	7:30	555	10,108	5.26	-	-
	8:00	556	10,142	5.24	-	-
	8:30	557	10,096	5.26	-	-
	9:00	556	10,109	5.26	96.49	28
	9:30	568	10,117	5.25	-	-
	10:00	567	10,112	5.25	-	-
	10:30	568	10,110	5.26	-	-
	11:00	569	10,100	5.26	-	-
	11:30	550	10,113	5.25	-	-

ตารางที่ ค-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 10,100 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
6 พ.ย. 56	12:00	555	10,110	5.26	96.55	28
	12:30	563	10,110	5.26	-	-
	13:00	568	10,112	5.25	-	-
	13:30	549	10,115	5.25	-	-
	14:00	553	10,105	5.26	-	-
	14:30	555	10,102	5.26	-	-
	15:00	577	10,087	5.27	96.68	29
	15:30	564	10,098	5.26	-	-
	16:00	567	10,078	5.27	-	-
	16:30	571	10,106	5.26	-	-
	17:00	554	10,111	5.25	-	-
	17:30	559	10,110	5.26	-	-
	18:00	572	10,108	5.26	96.57	29
	6:00	567	10,142	5.24	-	-
	6:30	568	10,096	5.26	-	-

ตารางที่ ค-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 10,100 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
7 พ.ย. 56	7:00	569	10,109	5.26	-	-
	7:30	550	10,117	5.25	-	-
	8:00	555	10,112	5.25	-	-
	8:30	563	10,110	5.26	-	-
	9:00	568	10,100	5.26	97.04	32
	9:30	557	10,113	5.25	-	-
	10:00	571	10,110	5.26	-	-
	10:30	565	10,142	5.24	-	-
	11:00	565	10,096	5.26	-	-
	11:30	557	10,109	5.26	-	-
	12:00	555	10,117	5.25	96.50	42
	12:30	556	10,112	5.25	-	-
	13:00	562	10,110	5.26	-	-
	13:30	562	10,100	5.26	-	-
	14:00	573	10,113	5.25	-	-

ตารางที่ ค-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 10,100 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
7 พ.ย. 56	14:30	573	10,110	5.26	-	-
	15:00	565	10,069	5.28	96.44	39
	15:30	565	10,108	5.26	-	-
	16:00	565	10,062	5.28	-	-
	16:30	565	10,108	5.26	-	-
	17:00	561	10,142	5.24	-	-
	17:30	559	10,096	5.26	-	-
	18:00	563	10,101	5.26	96.56	25
9 พ.ย. 56	6:00	565	10,078	5.27	-	-
	6:30	557	10,091	5.27	-	-
	7:00	555	10,110	5.26	-	-
	7:30	556	10,112	5.25	-	-
	8:00	562	10,089	5.27	-	-
	8:30	562	10,104	5.26	-	-
	9:00	573	10,108	5.26	96.67	26
	9:30	573	10,110	5.26	-	-

ตารางที่ ค-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ต้น/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 10,100 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
9 พ.ย. 56	10:00	565	10,142	5.24	-	-
	10:30	565	10,096	5.26	-	-
	11:00	565	10,109	5.26	-	-
	11:30	565	10,117	5.25	-	-
	12:00	564	10,112	5.25	96.77	22
	12:30	559	10,110	5.26	-	-
	13:00	561	10,100	5.26	-	-
	13:30	559	10,113	5.25	-	-
	14:00	562	10,110	5.26	-	-
	14:30	565	10,069	5.28	-	-
	15:00	566	10,102	5.26	97.16	33
	15:30	562	10,087	5.27	-	-
	16:00	564	10,098	5.26	-	-
	16:30	562	10,078	5.27	-	-
	17:00	554	10,106	5.26	-	-
17:30	555	10,111	5.25	-	-	

ตารางที่ ค-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 10,100 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
9 พ.ย. 56	18:00	570	10,099	5.26	96.71	25
10 พ.ย. 56	6:00	565	10,007	5.31	-	-
	6:30	570	10,023	5.30	-	-
	7:00	566	10,073	5.28	-	-
	7:30	554	10,040	5.29	-	-
	8:00	558	10,058	5.28	-	-
	8:30	556	10,049	5.29	-	-
	9:00	566	10,022	5.30	96.62	27
	9:30	558	10,051	5.29	-	-
	10:00	560	10,061	5.28	-	-
	10:30	560	10,012	5.31	-	-
	11:00	579	10,062	5.28	-	-
	11:30	569	10,043	5.29	-	-
	12:00	571	10,110	5.26	96.95	24
	12:30	574	10,112	5.25	-	-
13:00	557	10,089	5.27	-	-	

ตารางที่ ค-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 10,100 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
10 พ.ย. 56	13:30	560	10,110	5.26	-	-
	14:00	576	10,100	5.26	-	-
	14:30	559	10,113	5.25	-	-
	15:00	554	10,110	5.26	97.28	23
	15:30	556	10,069	5.28	-	-
	16:00	559	10,102	5.26	-	-
	16:30	557	10,087	5.27	-	-
	17:00	576	10,098	5.26	-	-
	17:30	568	10,078	5.27	-	-
	18:00	570	10,106	5.26	96.99	26

หมายเหตุ : 1. ใช้กำมะถันเหลว 573 กิโลกรัม/ชม. เมื่อผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. 2. %SA คือ เปอร์เซนต์ผลได้ของ LAS ต้องไม่ต่ำกว่า 96 %

ตารางที่ ค-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 8,900 กิโลกรัม/ชม.

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
3 ม.ค. 57	6:00	462	8,909	5.99	-	-
	6:30	458	8,932	5.97	-	-
	7:00	458	8,931	5.97	-	-
	7:30	457	8,917	5.98	-	-
	8:00	455	8,926	5.97	-	-
	8:30	456	8,941	5.96	-	-
	9:00	457	8,937	5.97	96.94	28
	9:30	456	8,881	6.00	-	-
	10:00	456	8,941	5.96	-	-
	10:30	457	8,938	5.97	-	-
	11:00	458	8,887	6.00	-	-
	11:30	458	8,883	6.00	-	-
	12:00	458	8,874	6.01	96.87	26
	12:30	457	8,905	5.99	-	-
	13:00	458	8,906	5.99	-	-
13:30	458	8,917	5.98	-	-	

ตารางที่ ค-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 8,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
3 ม.ค. 57	13:00	458	8,906	5.99	-	-
	13:30	458	8,917	5.98	-	-
	14:00	457	8,899	5.99	-	-
	14:30	458	8,878	6.01	-	-
	15:00	456	8,863	6.02	96.90	26
	15:30	457	8,899	5.99	-	-
	16:00	456	8,873	6.01	-	-
	16:30	458	8,862	6.02	-	-
	17:00	458	8,877	6.01	-	-
	17:30	457	8,883	6.00	-	-
	18:00	458	8,835	6.04	96.77	28
4 ม.ค. 57	6:00	457	8,867	6.01	-	-
	6:30	461	8,885	6.00	-	-
	7:00	458	8,880	6.01	-	-
	7:30	457	8,882	6.00	-	-
	8:00	458	8,893	6.00	-	-

ตารางที่ ค-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 8,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
4 ม.ค. 57	8:30	456	8,890	6.00	-	-
	9:00	457	8,896	5.99	96.96	20
	9:30	456	8,892	6.00	-	-
	10:00	456	8,874	6.01	-	-
	10:30	457	8,899	5.99	-	-
	11:00	458	8,903	5.99	-	-
	11:30	458	8,919	5.98	-	-
	12:00	458	8,924	5.98	96.89	30
	12:30	457	8,925	5.97	-	-
	13:00	457	8,912	5.98	-	-
	13:30	458	8,899	5.99	-	-
	14:00	457	8,865	6.02	-	-
	14:30	455	8,885	6.00	-	-
	15:00	456	8,887	6.00	96.77	29
	15:30	457	8,897	5.99	-	-

ตารางที่ ค-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 8,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
4 ม.ค. 57	16:00	456	8,899	5.99	-	-
	16:30	456	8,902	5.99	-	-
	17:00	461	8,961	5.95	-	-
	17:30	463	8,927	5.97	-	-
	18:00	459	8,864	6.02	96.73	24
5 ม.ค. 57	6:00	457	8,938	5.97	-	-
	6:30	458	8,932	5.97	-	-
	7:00	458	8,874	6.01	-	-
	7:30	457	8,850	6.03	-	-
	8:00	455	8,866	6.02	-	-
	8:30	456	8,865	6.02	-	-
	9:00	457	8,879	6.01	96.88	23
	9:30	456	8,898	5.99	-	-
	10:00	456	8,921	5.98	-	-
	10:30	457	8,905	5.99	-	-
	11:00	458	8,910	5.98	-	-

ตารางที่ ค-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 8,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
5 ม.ค. 57	11:30	458	8,938	5.97	-	-
	12:00	458	8,946	5.96	96.83	23
	12:30	457	8,900	5.99	-	-
	13:00	458	8,901	5.99	-	-
	13:30	458	8,906	5.99	-	-
	14:00	455	8,904	5.99	-	-
	14:30	456	8,924	5.98	-	-
	15:00	457	8,889	6.00	96.55	54
	15:30	456	8,885	6.00	-	-
	16:00	456	8,880	6.01	-	-
	16:30	457	8,873	6.01	-	-
	17:00	463	8,870	6.01	-	-
	17:30	459	8,862	6.02	-	-
	18:00	456	8,900	5.99	96.98	38
6 ม.ค. 57	6:00	463	8,942	5.96	-	-
	6:30	463	8,931	5.97	-	-

ตารางที่ ค-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 8,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
6 ม.ค. 57	7:00	461	8,884	6.00	-	-
	7:30	456	8,854	6.02	-	-
	8:00	457	8,896	5.99	-	-
	8:30	459	8,890	6.00	-	-
	9:00	457	8,873	6.01	96.85	32
	9:30	456	8,882	6.00	-	-
	10:00	456	8,893	6.00	-	-
	10:30	457	8,897	5.99	-	-
	11:00	458	8,898	5.99	-	-
	11:30	458	8,892	6.00	-	-
	12:00	458	8,857	6.02	96.64	35
	12:30	457	8,893	6.00	-	-
	13:00	458	8,942	5.96	-	-
	13:30	458	8,932	5.97	-	-
	14:00	457	8,941	5.96	-	-
	14:30	458	8,903	5.99	-	-

ตารางที่ ค-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการดำเนินงานที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลม 8,900 กิโลกรัม/ชม. (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราการไหลของอากาศที่ออกจาก เครื่องเป่าลม 11 K1A และ 11 K1B (กิโลกรัม/ชม.)	ความเข้มข้นของแก๊ส ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (% โมล)	%SA	สีของ LAS (Klett) (max 60)
6 ม.ค. 57	15:00	457	8,856	6.02	97.22	27
	15:30	455	8,875	6.01	-	-
	16:00	456	8,896	5.99	-	-
	16:30	460	8,895	6.00	-	-
	17:00	457	8,891	6.00	-	-
	17:30	459	8,901	5.99	-	-
	18:00	461	8,908	5.99	96.53	24

หมายเหตุ : 1. ใช้กำมะถันเหลว 573 กิโลกรัม/ชม. เมื่อผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. 2. %SA คือ เปอร์เซนต์ผลได้ของ LAS ต้องไม่ต่ำกว่า 96 %

ภาคผนวก ง

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1

ภาคผนวก ง-1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ก่อนการดำเนินงาน

ภาคผนวก ง-2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

ภาคผนวก ง-3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

ภาคผนวก ง-4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

ภาคผนวก ง-5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

ภาคผนวก ง-1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยน  
ความร้อน ก่อนการดำเนินงาน

ตารางที่ ง-1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ  
ก่อนการดำเนินงาน

ลำดับที่	วันที่	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจาก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (°C)		
		12 E5	12 E6	12 E7
1	4 ม.ค. 55	182.6	92.3	50.6
2	11 ม.ค. 55	185.4	95.4	54.3
3	22 ม.ค. 55	184.8	87.4	50.7
4	3 ก.พ. 55	184.9	83.2	49.1
5	12 ก.พ. 55	184.2	82.1	50.3
6	24 ก.พ. 55	181.2	87.9	52.4
7	2 มี.ค. 55	182.1	89.7	52
8	15 มี.ค. 55	183	94.1	54.5
9	26 มี.ค. 55	186.6	87.5	50.9
10	2 เม.ย. 55	184.2	86	49
11	19 เม.ย. 55	185.2	87.3	50.6
12	27 เม.ย. 55	187.6	88.9	53.8
13	5 พ.ค. 55	185.4	86.6	52.1
14	15 พ.ค. 55	187	89.7	56.2
15	26 พ.ค. 55	186.9	84.2	51.9
16	4 มิ.ย. 55	187.1	85.2	52.5
17	19 มิ.ย. 55	189.1	95.4	53.6
18	26 มิ.ย. 55	183	87	55.9
19	2 ก.ค. 55	185.9	84.8	52.6
20	13 ก.ค. 55	187.6	89.7	54.4
21	23 ก.ค. 55	184.1	87.8	56.8
22	1 ส.ค. 55	187.4	95.7	54.2
23	16 ส.ค. 55	184.7	78.2	52.9
24	24 ส.ค. 55	184.6	85.8	53.5

ตารางที่ ง-1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

ลำดับที่	วันที่	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจาก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (°C)		
		12 E5	12 E6	12 E7
25	9 ก.ย. 55	187.7	88.9	54.7
26	18 ก.ย. 55	185.3	86.7	51
27	28 ก.ย. 55	184.4	86.3	50.6
28	5 ต.ค. 55	188.7	90.5	51.8
29	18 ต.ค. 55	184.8	91.4	53.5
30	25 ต.ค. 55	185.4	91.5	48.5
31	3 พ.ย. 55	188.1	92.9	49.5
32	10 พ.ย. 55	183.7	92.7	51.4
33	21 พ.ย. 55	184.9	92	50.5
34	1 ธ.ค. 55	188.5	98.4	53.3
35	11 ธ.ค. 55	186.8	92.3	50.8
36	18 ธ.ค. 55	184.4	94	54.2
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>185.5</b>	<b>89.2</b>	<b>52.4</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง-2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

ตารางที่ ง-2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
30 ก.ค. 56	6:00	98	186.46	83.64	49.05	43.50	62
	6:30	99	186.58	83.59	49.29	43.59	62
	7:00	99	186.23	83.4	49.55	43.67	62
	7:30	99	186.50	84.08	49.92	44.28	62
	8:00	101	186.35	84.18	50.31	44.33	62
	8:30	101	186.52	84.35	50.27	44.55	62
	9:00	101	186.99	85.47	50.95	45.22	62
	9:30	100	186.84	85.88	51.29	45.20	62
	10:00	99	186.97	85.91	51.63	45.74	62
	10:30	101	187.81	86.07	51.92	45.84	62

**ตารางที่ ง-2.1** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อดังความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
30 ก.ค. 56	11:00	102	187.43	85.92	52.17	46.00	62
	11:30	101	187.89	86.85	52.36	46.44	62
	12:00	101	187.95	86.77	52.51	46.19	62
	12:30	102	187.30	86.62	52.66	46.66	62
	13:00	101	188.61	86.02	52.74	46.49	62
	13:30	101	188.01	86.58	52.39	46.28	62
	14:00	100	187.84	86.11	52.51	46.87	62
	14:30	101	188.63	86.38	51.66	46.55	62
	15:00	101	187.09	86.11	52.17	46.93	62
	15:30	101	188.02	86.83	52.36	47.24	62
	16:00	100	187.98	86.75	52.17	46.81	62
	16:30	101	188.43	86.46	52.47	46.79	62
	17:00	101	188.17	85.92	52.17	46.69	62
	17:30	100	187.87	86.85	52.46	46.94	62
18:00	100	188.13	86.94	52.63	46.46	62	
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>100.4</b>	<b>187.46</b>	<b>85.74</b>	<b>51.58</b>	<b>45.81</b>	<b>62</b>

ตารางที่ ง-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
31 ก.ค. 56	6:00	92	189.39	84.87	50.48	44.20	59
	6:30	92	189.21	85.1	50.15	44.32	59
	7:00	93	189.72	85.28	50.36	44.41	59
	7:30	92	189.04	84.21	50.75	44.70	59
	8:00	93	189.43	85.02	51.21	45.15	59
	8:30	92	189.80	85.07	51.56	45.22	59
	9:00	93	189.46	85.57	51.86	45.57	59
	9:30	94	188.89	85.69	51.89	45.61	59
	10:00	93	189.16	84.64	52.51	46.20	59
	10:30	93	190.53	84.93	52.76	46.41	59
	11:00	92	189.72	84.84	52.81	46.77	59
	11:30	94	190.76	85.25	53.05	46.82	59
	12:00	93	190.12	86.04	53.12	46.89	59
	12:30	93	190.32	86.68	53.34	47.18	59
	13:00	93	189.66	87.03	53.14	47.26	59

ตารางที่ ง-2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
31 ก.ค. 56	13:30	94	190.18	87.97	52.48	47.10	59
	14:00	93	189.98	88.28	52.89	47.20	59
	14:30	93	190.33	87.33	53.28	47.37	59
	15:00	94	190.83	88.15	53.24	47.44	59
	15:30	93	191.12	87.98	53.14	47.50	59
	16:00	94	190.72	88.05	53.32	47.51	59
	16:30	93	191.13	88.28	52.72	47.46	59
	17:00	94	190.47	88.14	53.25	47.41	59
	17:30	93	190.35	88.25	53.59	47.69	59
	18:00	93	190.27	88.11	53.03	47.77	59
ค่าเฉลี่ย		93.0	190.02	86.43	52.40	46.45	59

ตารางที่ ง-2.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
13 ส.ค. 56	6:00	88	190.64	86.98	51.74	45.09	57
	6:30	87	190.98	87.21	52.21	45.21	57
	7:00	87	191.47	87.39	51.82	45.30	57
	7:30	87	191.71	86.32	52.01	45.59	57
	8:00	88	191.48	86.06	52.47	46.04	57
	8:30	88	191.85	87.18	52.82	46.11	57
	9:00	88	191.94	87.68	53.12	46.46	57
	9:30	89	190.93	87.8	53.15	46.50	57
	10:00	88	191.21	86.75	53.57	47.09	57
	10:30	89	192.55	86.64	53.92	47.60	57
	11:00	89	192.75	86.95	53.77	47.66	57
	11:30	88	192.17	86.36	54.31	47.71	57
	12:00	89	192.17	87.15	54.38	47.78	57
	12:30	89	191.77	87.79	54.65	48.07	57
	13:00	89	191.71	88.14	54.44	48.15	57

**ตารางที่ ง-2.3** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
13 ส.ค. 56	13:30	89	192.16	89.08	54.54	47.99	57
	14:00	89	192.03	89.39	54.15	48.09	57
	14:30	88	192.38	88.44	54.23	48.26	57
	15:00	89	192.88	89.26	54.55	48.33	57
	15:30	88	192.87	89.09	54.41	48.39	57
	16:00	89	192.77	90.16	54.58	48.40	57
	16:30	88	193.25	89.39	54.28	48.35	57
	17:00	89	192.52	89.55	54.51	48.30	57
	17:30	88	192.42	90.36	54.55	48.58	57
	18:00	89	192.32	90.62	54.29	48.06	57
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>88.4</b>	<b>192.04</b>	<b>88.07</b>	<b>53.70</b>	<b>47.32</b>	<b>57</b>

ตารางที่ ง-2.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 47 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
14 ส.ค. 56	6:00	80	194.07	90.19	52.17	45.98	55
	6:30	80	194.58	90.42	52.14	46.10	55
	7:00	81	193.41	90.16	52.35	46.19	55
	7:30	81	193.73	89.53	52.54	46.48	55
	8:00	80	194.11	90.27	52.76	46.93	55
	8:30	81	194.48	90.39	53.34	46.96	55
	9:00	82	194.57	90.89	53.75	47.35	55
	9:30	82	194.56	91.01	53.88	47.39	55
	10:00	82	193.84	89.96	54.15	47.68	55
	10:30	81	194.18	89.85	54.75	48.09	55
	11:00	82	194.78	90.16	54.67	48.55	55
	11:30	83	195.46	89.57	55.04	48.60	55
	12:00	82	194.89	90.36	55.41	48.67	55
	12:30	82	195.21	91.11	55.33	48.96	55
	13:00	81	194.66	91.35	55.13	49.04	55

**ตารางที่ ง-2.4** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 47 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
14 ส.ค. 56	13:30	82	195.01	92.29	55.47	48.88	55
	14:00	83	195.51	91.76	54.88	48.98	55
	14:30	82	194.34	91.65	55.27	48.85	55
	15:00	82	195.79	92.47	55.23	48.22	55
	15:30	81	195.84	92.32	55.13	48.84	55
	16:00	82	195.41	93.37	55.31	48.59	55
	16:30	82	194.79	92.66	54.71	48.72	55
	17:00	82	195.15	92.76	55.24	48.92	55
	17:30	81	195.05	92.57	54.87	48.47	55
	18:00	82	194.95	92.83	55.02	48.95	55
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>81.6</b>	<b>194.73</b>	<b>91.20</b>	<b>54.34</b>	<b>48.02</b>	<b>55</b>

ตารางที่ ง-2.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 46 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
15 ส.ค. 56	6:00	74	197.03	94.15	53.85	46.90	53
	6:30	74	197.14	94.38	54.03	47.02	53
	7:00	75	197.66	94.56	54.27	47.11	53
	7:30	75	197.69	94.49	53.95	47.40	53
	8:00	76	197.37	94.23	54.85	47.85	53
	8:30	76	196.74	94.35	53.95	47.92	53
	9:00	75	197.83	94.85	54.91	48.27	53
	9:30	76	197.82	94.97	54.51	48.31	53
	10:00	75	197.41	94.92	54.92	48.90	53
	10:30	75	198.44	94.81	55.36	49.31	53
	11:00	76	198.64	95.12	55.90	49.37	53
	11:30	75	198.66	94.53	56.34	49.52	53
	12:00	76	198.06	94.98	56.78	49.59	53
	12:30	75	198.26	95.96	57.76	49.58	53
	13:00	76	197.60	94.31	57.46	49.96	53

ตารางที่ ง-2.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 46 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
15 ส.ค. 56	13:30	75	198.05	95.25	57.71	49.80	53
	14:00	76	197.92	95.56	58.36	49.90	53
	14:30	76	198.27	95.61	58.12	49.67	53
	15:00	76	198.77	95.43	58.34	49.98	53
	15:30	76	199.06	95.26	57.73	50.02	53
	16:00	77	199.23	96.33	58.78	50.21	53
	16:30	76	199.05	96.56	58.76	50.16	53
	17:00	76	198.41	96.72	58.66	50.11	53
	17:30	75	198.31	96.53	58.42	50.09	53
	18:00	76	198.21	96.79	57.90	50.13	53
ค่าเฉลี่ย		75.5	198.07	95.23	56.46	49.08	53

ตารางที่ ง-2.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 45 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
16 ส.ค. 56	6:00	69	199.60	96.32	54.53	48.03	51
	6:30	69	199.81	96.55	54.66	48.15	51
	7:00	70	199.93	96.73	54.87	48.24	51
	7:30	70	199.76	95.66	55.26	48.53	51
	8:00	69	199.64	95.40	55.72	48.98	51
	8:30	70	199.98	96.52	56.07	49.05	51
	9:00	71	200.10	97.02	56.37	49.40	51
	9:30	71	199.79	97.14	56.40	49.24	51
	10:00	72	199.77	96.09	56.98	50.03	51
	10:30	71	200.71	95.98	57.27	49.96	51
	11:00	70	200.91	96.29	57.32	50.60	51
	11:30	71	200.93	95.70	57.56	50.55	51
	12:00	72	200.63	96.37	57.63	50.72	51
	12:30	71	200.53	97.13	57.13	50.73	51
	13:00	71	200.87	97.48	57.15	51.09	51

ตารางที่ ง-2.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 45 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
16 ส.ค. 56	13:30	70	200.32	98.42	56.99	50.93	51
	14:00	71	200.19	98.73	57.40	51.03	51
	14:30	71	200.54	97.78	57.79	51.20	51
	15:00	71	201.04	98.60	57.75	51.27	51
	15:30	70	201.33	98.37	57.65	51.33	51
	16:00	71	201.03	99.50	57.78	51.34	51
	16:30	72	201.32	98.73	57.23	51.29	51
	17:00	71	200.68	98.89	57.76	51.24	51
	17:30	71	200.58	99.70	58.10	51.02	51
	18:00	71	200.48	99.96	57.54	51.00	51
ค่าเฉลี่ย		70.6	200.42	97.40	56.84	50.20	51

ภาคผนวก ง-3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

ตารางที่ ง-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
22 พ.ค. 56	6:00	104	186.13	83.32	49.10	43.18	61
	6:30	105	186.42	83.43	49.30	43.43	61
	7:00	106	185.57	83.34	49.56	43.61	61
	7:30	105	186.08	83.66	49.93	43.86	61
	8:00	106	186.27	84.10	50.32	44.25	61
	8:30	105	186.31	84.11	50.60	44.31	61
	9:00	106	186.48	84.96	50.96	44.71	61
	9:30	105	186.52	85.56	51.30	44.88	61
	10:00	105	186.81	85.59	51.64	45.42	61
	10:30	106	187.74	85.91	51.93	45.68	61

ตารางที่ ง-3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
22 พ.ค. 56	11:00	106	187.01	85.86	52.18	45.94	61
	11:30	105	187.81	86.43	52.47	46.02	61
	12:00	106	187.74	86.69	52.52	46.11	61
	12:30	106	187.79	87.30	52.67	46.34	61
	13:00	105	188.28	86.86	52.40	46.33	61
	13:30	105	187.84	86.52	52.40	46.22	61
	14:00	106	187.78	86.69	52.52	46.45	61
	14:30	105	188.21	86.30	51.67	46.47	61
	15:00	106	187.01	85.86	52.18	46.69	61
	15:30	106	187.81	86.32	52.37	46.73	61
	16:00	105	187.47	86.43	52.41	46.49	61
	16:30	105	188.11	87.00	52.48	46.63	61
	17:00	106	187.01	85.86	52.18	46.63	61
	17:30	106	187.81	86.43	52.47	46.52	61
18:00	105	187.68	86.86	52.40	46.38	61	
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>105.4</b>	<b>187.19</b>	<b>85.66</b>	<b>51.60</b>	<b>45.57</b>	<b>61</b>

ตารางที่ ง-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
23 พ.ค. 56	6:00	97	189.14	86.32	50.38	44.25	58
	6:30	97	189.32	86.43	50.59	44.58	58
	7:00	98	188.67	86.32	50.88	44.72	58
	7:30	97	189.18	86.66	51.28	44.95	58
	8:00	98	189.27	87.12	51.62	45.36	58
	8:30	98	189.32	87.16	51.84	45.42	58
	9:00	99	189.44	87.96	52.25	45.84	58
	9:30	98	189.57	88.57	52.52	45.97	58
	10:00	99	189.81	88.59	52.93	46.53	58
	10:30	97	190.43	88.93	53.27	46.76	58
	11:00	98	190.23	88.87	53.41	47.02	58
	11:30	99	190.71	89.43	53.77	47.13	58
	12:00	98	190.74	89.69	53.83	47.25	58
	12:30	97	190.69	90.31	53.96	47.47	58
	13:00	98	191.18	89.87	53.69	47.46	58

ตารางที่ ง-3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
23 พ.ค. 56	13:30	99	190.64	89.53	53.67	47.38	58
	14:00	99	190.72	89.62	53.81	47.54	58
	14:30	97	191.21	89.31	52.97	47.53	58
	15:00	98	190.51	88.86	53.45	47.72	58
	15:30	98	190.83	89.33	53.65	47.85	58
	16:00	98	190.47	89.45	53.75	47.58	58
	16:30	98	191.12	90.04	53.78	47.76	58
	17:00	99	190.21	88.84	53.48	47.73	58
	17:30	99	190.81	89.46	53.76	47.65	58
	18:00	98	190.66	89.83	53.69	47.47	58
ค่าเฉลี่ย		98.0	190.20	88.66	52.89	46.68	58

**ตารางที่ ง-3.3** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
24 พ.ค. 56	6:00	90	192.16	89.36	51.78	45.32	56
	6:30	90	192.33	89.43	51.84	45.41	56
	7:00	91	191.65	89.23	52.16	45.64	56
	7:30	90	192.17	89.65	52.53	45.86	56
	8:00	91	192.28	90.13	52.93	46.47	56
	8:30	92	192.34	90.17	53.11	46.49	56
	9:00	91	192.45	90.93	53.52	46.84	56
	9:30	92	192.58	91.56	53.84	46.97	56
	10:00	93	192.83	91.56	54.21	47.93	56
	10:30	93	193.45	91.97	54.56	48.16	56
	11:00	92	193.24	91.81	54.71	47.82	56
	11:30	91	193.76	92.47	55.08	48.13	56
	12:00	93	193.74	92.63	55.15	48.28	56
	12:30	92	193.66	93.38	55.28	48.46	56
	13:00	93	194.15	92.86	54.96	48.49	56

**ตารางที่ ง-3.3** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
24 พ.ค. 56	13:30	92	193.67	92.52	54.93	48.53	56
	14:00	92	193.73	92.67	55.11	48.54	56
	14:30	93	194.22	92.36	54.97	48.53	56
	15:00	93	193.58	92.88	54.72	48.66	56
	15:30	92	193.85	92.39	54.96	48.82	56
	16:00	92	193.44	92.47	55.06	48.58	56
	16:30	93	194.16	93.21	55.06	48.76	56
	17:00	93	193.24	92.84	54.77	48.74	56
	17:30	92	193.87	92.46	55.09	48.65	56
	18:00	93	193.64	92.83	54.99	48.52	56
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>92.0</b>	<b>193.21</b>	<b>91.75</b>	<b>54.21</b>	<b>47.70</b>	<b>56</b>

ตารางที่ ง-3.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 47 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
25 พ.ค. 56	6:00	84	195.14	92.32	52.98	46.28	54
	6:30	84	195.35	92.45	53.04	46.36	54
	7:00	85	194.66	92.26	53.36	46.56	54
	7:30	85	195.18	92.68	53.73	46.79	54
	8:00	85	195.22	93.16	54.13	47.37	54
	8:30	86	195.36	93.14	54.31	47.39	54
	9:00	85	195.42	93.96	54.72	47.78	54
	9:30	86	195.57	94.59	55.04	48.37	54
	10:00	87	195.84	94.53	55.41	48.83	54
	10:30	86	196.48	94.95	55.76	49.35	54
	11:00	87	196.23	94.87	55.91	49.72	54
	11:30	86	196.78	95.45	55.88	49.21	54
	12:00	85	196.79	95.63	56.24	49.45	54
	12:30	86	196.63	96.36	56.18	49.36	54
	13:00	87	197.16	95.82	56.16	49.38	54

**ตารางที่ ง-3.4** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 47 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
25 พ.ค. 56	13:30	86	196.69	95.56	56.13	49.46	54
	14:00	87	196.71	95.61	56.31	49.47	54
	14:30	86	197.27	95.39	56.17	49.48	54
	15:00	86	196.55	95.85	55.92	49.59	54
	15:30	86	196.82	95.32	56.16	49.75	54
	16:00	87	196.47	95.46	56.26	49.47	54
	16:30	87	197.15	96.24	56.26	49.69	54
	17:00	86	196.29	95.87	55.97	49.64	54
	17:30	87	196.86	95.49	56.29	49.57	54
	18:00	87	196.66	95.86	56.19	49.49	54
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>86.0</b>	<b>196.21</b>	<b>94.75</b>	<b>55.38</b>	<b>48.71</b>	<b>54</b>

ตารางที่ ง-3.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 46 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
26 พ.ค. 56	6:00	78	198.65	95.87	54.54	47.58	52
	6:30	79	198.79	96.43	54.54	48.03	52
	7:00	78	199.36	96.66	54.8	48.17	52
	7:30	78	198.67	95.57	55.17	48.44	52
	8:00	79	198.98	95.24	55.56	48.82	52
	8:30	79	198.28	96.29	55.84	48.82	52
	9:00	79	199.43	96.85	56.2	49.23	52
	9:30	79	198.53	97.08	56.34	49.38	52
	10:00	79	198.77	95.99	56.88	49.93	52
	10:30	79	199.89	95.66	56.95	50.22	52
	11:00	80	200.29	96.17	57.2	50.48	52
	11:30	80	200.36	95.63	57.49	50.58	52
	12:00	79	199.74	96.28	57.54	50.63	52
	12:30	80	199.87	96.97	57.69	50.85	52
	13:00	80	199.14	97.25	57.42	50.86	52

**ตารางที่ ง-3.5** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 46 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5		ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
26 พ.ค. 56	13:30	80	199.65	98.25	56.82	50.76	52
	14:00	80	199.63	98.67	57.34	50.97	52
	14:30	79	199.87	97.61	57.62	51.03	52
	15:00	80	200.48	98.54	57.69	51.21	52
	15:30	80	200.73	98.27	57.55	51.23	52
	16:00	79	200.11	99.18	57.46	51.02	52
	16:30	79	200.7	98.61	57.11	51.17	52
	17:00	79	200.11	98.82	57.69	51.17	52
	17:30	79	199.63	99.25	57.65	51.07	52
	18:00	80	199.86	99.84	57.42	50.88	52
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>79.2</b>	<b>199.58</b>	<b>97.24</b>	<b>56.74</b>	<b>50.10</b>	<b>52</b>

ภาคผนวก ง-4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

ตารางที่ ง-4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 และ 12 K3 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนการดำเนินงาน

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (กิโลวัตต์-ชม.)		อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจาก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (°C)			อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม (°C)	ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
		12 K1	12 K3	12 E5	12 E6	12 E7		
12 มิ.ย. 56	6:00	79	30	186.16	83.45	49.12	43.08	60
	6:30	80	30	186.52	83.56	49.32	43.53	60
	7:00	81	30	185.55	83.47	49.58	43.67	60
	7:30	79	30	186.04	83.79	49.95	43.94	60
	8:00	80	30	186.22	84.23	50.34	44.29	60
	8:30	81	30	185.91	84.24	50.62	44.32	60
	9:00	81	30	187.38	85.09	50.98	44.73	60
	9:30	81	30	187.5	85.69	51.32	44.88	60
	10:00	80	30	188.11	85.72	51.66	45.41	60
	10:30	79	30	187.74	86.04	51.95	45.72	60
	11:00	79	30	187.01	85.99	52.2	45.98	60
	11:30	80	30	187.81	86.56	52.49	46.08	60

**ตารางที่ ง-4.1** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 และ 12 K3 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (กิโลวัตต์-ชม.)		อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจาก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (°C)			อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม (°C)	ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
		12 K1	12 K3	12 E5	12 E6	12 E7		
12 มิ.ย. 56	12:00	80	30	186.16	83.45	49.12	43.08	60
	12:30	81	30	186.52	83.56	49.32	43.53	60
	13:00	79	30	185.55	83.47	49.58	43.67	60
	13:30	80	30	186.04	83.79	49.95	43.94	60
	14:00	81	30	186.22	84.23	50.34	44.29	60
	14:30	80	30	185.91	84.24	50.62	44.32	60
	15:00	81	30	187.38	85.09	50.98	44.73	60
	15:30	80	30	187.5	85.69	51.32	44.88	60
	16:00	81	30	188.11	85.72	51.66	45.41	60
	16:30	80	30	187.74	86.04	51.95	45.72	60
	17:00	81	30	187.01	85.99	52.2	45.98	60
	17:30	80	30	187.81	86.56	52.49	46.08	60
18:00	80	30	187.90	86.51	51.88	45.95	60	
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>80</b>	<b>30</b>	<b>186.87</b>	<b>84.89</b>	<b>50.84</b>	<b>44.69</b>	<b>60</b>

ตารางที่ ง-4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 และ อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
25 มิ.ย. 56	6:00	105	186.16	83.45	49.12	43.08	60
	6:30	106	186.52	83.56	49.32	43.53	60
	7:00	107	185.55	83.47	49.58	43.67	60
	7:30	106	186.04	83.79	49.95	43.94	60
	8:00	107	186.22	84.23	50.34	44.29	60
	8:30	106	185.91	84.24	50.62	44.32	60
	9:00	107	187.38	85.09	50.98	44.73	60
	9:30	106	187.5	85.69	51.32	44.88	60
	10:00	106	188.11	85.72	51.66	45.41	60
	10:30	107	187.74	86.04	51.95	45.72	60
	11:00	107	187.01	85.99	52.2	45.98	60
	11:30	106	187.81	86.56	52.49	46.08	60
	12:00	107	187.74	86.82	52.54	46.13	60
	12:30	107	189.21	87.43	52.69	46.35	60
	13:00	106	188.68	86.99	52.42	46.36	60
	13:30	106	187.84	86.65	52.42	46.26	60

ตารางที่ ง-4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
25 มิ.ย. 56	14:00	107	187.78	86.82	52.54	46.47	60
	14:30	106	188.21	86.43	51.69	46.49	60
	15:00	107	187.01	85.99	52.2	46.72	60
	15:30	107	187.81	86.45	52.39	46.73	60
	16:00	106	187.47	86.56	52.43	46.52	60
	16:30	107	188.11	87.13	52.5	46.67	60
	17:00	107	187.01	85.99	52.2	46.67	60
	17:30	107	187.81	86.56	52.49	46.57	60
	18:00	106	188.68	86.99	52.42	46.38	60
ค่าเฉลี่ย		106.5	187.41	85.79	51.62	45.60	60

**ตารางที่ ง-4.3** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
26 มิ.ย. 56	6:00	97	189.16	85.59	50.87	44.52	57
	6:30	96	189.52	85.7	51.07	44.97	57
	7:00	97	188.55	85.61	51.33	45.11	57
	7:30	98	189.04	85.93	51.7	45.38	57
	8:00	98	189.22	86.37	52.09	45.73	57
	8:30	98	188.91	86.38	52.37	45.76	57
	9:00	99	190.38	87.23	52.73	46.17	57
	9:30	98	190.5	87.83	53.07	46.32	57
	10:00	98	191.11	87.86	53.41	46.84	57
	10:30	97	190.74	88.18	53.48	47.16	57
	11:00	98	190.01	88.13	53.73	47.42	57
	11:30	98	190.81	88.7	54.02	47.52	57
	12:00	98	190.74	88.96	54.07	47.57	57
	12:30	98	192.21	89.57	54.22	47.79	57
	13:00	97	191.68	89.13	53.95	47.83	57

ตารางที่ ง-4.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
26 มิ.ย. 56	13:30	98	190.06	88.22	53.15	47.77	57
	14:00	98	191.16	88.51	53.17	47.91	57
	14:30	98	190.25	88.28	53.13	47.94	57
	15:00	98	190.61	88.05	53.22	48.14	57
	15:30	97	191.48	87.88	53.08	48.17	57
	16:00	98	190.73	88.33	52.99	47.96	57
	16:30	97	191.77	88.37	52.63	48.11	57
	17:00	98	190.27	87.96	52.22	48.11	57
	17:30	97	190.61	87.81	52.18	48.01	57
	18:00	98	190.92	87.79	51.95	47.82	57
ค่าเฉลี่ย		97.7	190.42	87.69	52.79	47.04	57

**ตารางที่ ง-4.4** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
27 มิ.ย. 56	6:00	88	190.64	86.98	51.74	45.09	54
	6:30	87	190.98	87.21	52.21	45.21	54
	7:00	87	191.47	87.39	51.82	45.30	54
	7:30	87	191.71	86.32	52.01	45.59	54
	8:00	88	191.48	86.06	52.47	46.04	54
	8:30	88	191.85	87.18	52.82	46.11	54
	9:00	88	191.94	87.68	53.12	46.46	54
	9:30	89	190.93	87.8	53.15	46.50	54
	10:00	88	191.21	86.75	53.57	47.09	54
	10:30	89	192.55	86.64	53.92	47.60	54
	11:00	89	192.75	86.95	53.77	47.66	54
	11:30	88	192.17	86.36	54.31	47.71	54
	12:00	89	192.17	87.15	54.38	47.78	54
	12:30	89	191.77	87.79	54.65	48.07	54
	13:00	89	191.71	88.14	54.44	48.15	54

**ตารางที่ ง-4.4** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
27 มิ.ย. 56	13:30	91	195.56	96.58	55.01	49.22	54
	14:00	90	195.8	97.05	55.39	49.43	54
	14:30	90	195.62	96.89	55.37	49.46	54
	15:00	91	195.43	96.72	55.42	49.66	54
	15:30	91	195.13	96.52	55.57	49.69	54
	16:00	90	195.19	96.45	55.42	49.48	54
	16:30	90	195.31	96.58	55.52	49.63	54
	17:00	90	195.09	96.95	55.62	49.63	54
	17:30	91	194.95	96.55	55.4	49.53	54
	18:00	90	194.42	96.18	55.42	49.34	54
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>90.1</b>	<b>194.99</b>	<b>96.01</b>	<b>55.03</b>	<b>48.56</b>	<b>54</b>

**ตารางที่ ง-4.5** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 47 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
28 มิ.ย. 56	6:00	82	198.12	95.87	54.47	47.79	51
	6:30	83	199.46	96.43	54.67	48.24	51
	7:00	83	199.83	96.66	54.93	48.38	51
	7:30	82	197.14	95.57	55.3	48.65	51
	8:00	83	197.45	95.24	55.69	49.03	51
	8:30	83	197.75	95.75	55.97	49.03	51
	9:00	83	196.9	95.21	56.33	49.44	51
	9:30	82	198	95.86	56.67	49.59	51
	10:00	84	198.24	96.55	57.01	50.11	51
	10:30	82	198.36	96.83	57.08	50.43	51
	11:00	83	200.56	97.83	57.33	50.69	51
	11:30	82	199.83	98.25	57.62	50.79	51
	12:00	83	198.61	97.19	57.67	50.84	51
	12:30	82	199.34	98.12	57.82	51.06	51
	13:00	84	198.61	97.85	57.55	51.07	51

**ตารางที่ ง-4.5** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 3.99 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 47 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
28 มิ.ย. 56	13:30	84	198.12	98.76	56.75	50.97	51
	14:00	83	199.1	98.18	56.77	51.18	51
	14:30	84	199.34	98.58	56.73	51.21	51
	15:00	84	199.95	98.83	56.82	51.41	51
	15:30	83	200.2	99.67	56.68	51.44	51
	16:00	83	199.58	99.45	56.59	51.23	51
	16:30	84	201.17	100.21	56.23	51.38	51
	17:00	83	199.58	99.42	55.82	51.38	51
	17:30	83	199.1	98.97	55.78	51.28	51
	18:00	83	198.73	98.4	55.55	51.09	51
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>83.0</b>	<b>198.92</b>	<b>97.59</b>	<b>56.39</b>	<b>50.31</b>	<b>51</b>

ภาคผนวก ง-5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 ในการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมค่าต่างๆ

ตารางที่ ง-5.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 และ 12 K3 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนการดำเนินงาน

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (กิโลวัตต์-ชม.)		อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจาก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (°C)			อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม (°C)	ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
		12 K1	12 K3	12 E5	12 E6	12 E7		
24 พ.ค. 56	6:00	93	30	193.5	93.86	52.19	45.85	55
	6:30	93	30	193.87	94.43	52.39	46.31	55
	7:00	92	30	194.21	52.32	52.43	46.45	55
	7:30	94	30	193.7	52.69	52.80	46.73	55
	8:00	93	30	193.88	53.09	53.20	47.07	55
	8:30	94	30	194.26	53.36	53.47	47.10	55
	9:00	93	30	194.73	53.72	53.83	47.47	55
	9:30	93	30	194.8	54.06	54.17	47.61	55
	10:00	94	30	194.46	54.4	54.51	48.18	55
	10:30	93	30	194.09	54.47	54.58	48.50	55
	11:00	92	30	195.44	54.72	54.83	45.85	55
	11:30	92	30	195.16	55.01	55.12	46.31	55

**ตารางที่ ง-5.1** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 และ 12 K3 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์มและความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. ก่อนการดำเนินงาน (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (กิโลวัตต์-ชม.)		อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่ออกจาก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (°C)			อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม (°C)	ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
		12 K1	12 K3	12 E5	12 E6	12 E7		
24 พ.ค. 56	12:00	95	30	195.09	55.06	55.17	48.75	55
	12:30	95	30	196.56	55.3	55.41	48.85	55
	13:00	94	30	196.03	55.39	55.50	48.91	55
	13:30	94	30	197.08	54.99	55.10	49.13	55
	14:00	94	30	197.13	55.37	55.48	49.15	55
	14:30	94	30	196.98	55.35	55.46	49.04	55
	15:00	95	30	196.59	55.4	55.51	49.25	55
	15:30	95	30	197.16	55.55	55.66	49.28	55
	16:00	94	30	197.32	55.46	55.57	49.48	55
	16:30	93	30	197.46	55.5	55.61	49.50	55
	17:00	93	30	197.36	55.72	55.83	49.29	55
	17:30	93	30	197.16	55.5	55.61	49.44	55
18:00	93	30	197.03	55.32	55.43	49.47	55	
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>93.5</b>	<b>30</b>	<b>195.64</b>	<b>57.84</b>	<b>54.59</b>	<b>48.37</b>	<b>55</b>

ตารางที่ ง-5.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
24 มิ.ย. 56	6:00	105	193.50	93.86	52.19	45.99	55
	6:30	105	193.87	94.43	52.39	46.45	55
	7:00	106	194.21	94.53	52.65	46.59	55
	7:30	107	193.70	94.67	53.02	46.87	55
	8:00	106	194.88	95.24	53.42	47.21	55
	8:30	108	194.26	95.03	53.69	47.24	55
	9:00	106	194.73	95.09	54.05	47.61	55
	9:30	107	194.80	95.69	54.39	47.75	55
	10:00	107	195.46	95.72	54.73	48.32	55
	10:30	108	195.09	95.94	54.8	48.64	55
	11:00	108	195.44	95.79	55.05	48.89	55
	11:30	106	195.16	95.56	55.34	48.99	55
	12:00	107	195.09	95.82	55.39	49.05	55
	12:30	106	196.56	96.43	55.63	49.27	55
	13:00	106	196.03	96.29	55.72	49.29	55

ตารางที่ ง-5.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 50 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
24 มิ.ย. 56	13:30	108	197.08	96.65	55.32	49.18	55
	14:00	106	197.13	96.82	55.7	49.39	55
	14:30	107	196.98	96.43	55.68	49.42	55
	15:00	107	196.59	95.99	55.73	49.62	55
	15:30	108	197.16	96.45	55.88	49.64	55
	16:00	107	197.32	96.56	55.79	49.43	55
	16:30	107	197.46	96.13	55.83	49.58	55
	17:00	106	197.36	95.98	56.05	49.61	55
	17:30	107	197.16	95.56	55.83	49.49	55
	18:00	108	197.03	95.99	55.65	49.32	55
ค่าเฉลี่ย		106.7	195.76	95.71	54.80	48.51	55

**ตารางที่ ง-5.3** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
25 มิ.ย. 56	6:00	99	196.16	94.24	53.42	46.7	53
	6:30	99	196.52	94.73	53.62	47.15	53
	7:00	100	196.55	95.63	53.88	47.17	53
	7:30	99	197.04	95.53	54.25	47.35	53
	8:00	101	197.22	95.24	54.64	47.51	53
	8:30	101	196.91	95.73	54.67	47.94	53
	9:00	101	197.38	95.09	55.28	48.35	53
	9:30	100	197.45	95.69	55.62	48.5	53
	10:00	102	198.11	95.72	55.96	49.03	53
	10:30	101	197.74	96.04	56.25	49.34	53
	11:00	102	198.09	95.79	56.5	49.6	53
	11:30	101	197.81	96.56	56.79	49.7	53
	12:00	102	197.74	96.82	56.84	49.6	53
	12:30	102	198.68	97.43	56.99	49.7	53
	13:00	101	199.21	96.99	56.72	49.86	53

**ตารางที่ ง-5.3** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 49 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
25 มิ.ย. 56	13:30	101	198.73	97.65	57.52	49.97	53
	14:00	100	198.78	96.82	56.84	49.98	53
	14:30	101	198.21	96.43	56.99	49.88	53
	15:00	101	198.01	97.29	57.32	50.18	53
	15:30	101	198.81	96.45	57.59	50.12	53
	16:00	102	197.97	97.56	57.73	50.24	53
	16:30	101	198.11	97.13	57.84	50.55	53
	17:00	101	199.01	96.99	57.56	50.83	53
	17:30	100	198.81	97.56	57.49	51.09	53
	18:00	101	198.68	97.13	57.22	50.78	53
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>100.8</b>	<b>197.91</b>	<b>96.33</b>	<b>56.22</b>	<b>49.24</b>	<b>53</b>

ตารางที่ ง-5.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
26 มิ.ย. 56	6:00	91	198.48	95.84	54.21	47.86	51
	6:30	91	198.84	95.98	54.57	48.32	51
	7:00	92	197.87	95.88	54.83	48.03	51
	7:30	92	198.36	95.22	55.20	48.61	51
	8:00	91	199.54	96.66	55.59	48.97	51
	8:30	92	198.23	96.34	55.62	49.10	51
	9:00	93	199.70	96.52	56.23	49.51	51
	9:30	93	199.77	97.12	56.57	49.66	51
	10:00	92	200.43	97.15	56.91	50.19	51
	10:30	93	200.06	97.47	57.20	50.50	51
	11:00	92	199.41	97.22	57.45	50.76	51
	11:30	93	200.13	97.99	57.74	50.86	51
	12:00	93	200.06	98.25	57.79	51.13	51
	12:30	92	201.53	98.86	57.94	51.26	51
	13:00	92	201.00	98.42	57.67	51.53	51

**ตารางที่ ง-5.4** การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม 12 K1 อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิล์ม และความดันของอากาศที่เข้า ESP ที่กำลังการผลิต LAS 5.13 และ PAS 3.00 ตัน/ชม. เมื่อตั้งความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม 48 Hz (ต่อ)

วันที่	เวลา	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	อุณหภูมิของแก๊สซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (°C)				ความดันลมที่เข้า ESP (mbarg)
			ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E5	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E6	ที่ออกจากอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 12 E7	ที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ แบบฟิล์ม	
26 มิ.ย. 56	13:30	93	202.36	99.08	57.67	51.72	51
	14:00	93	200.10	98.25	57.79	51.79	51
	14:30	92	200.53	97.86	57.94	52.21	51
	15:00	92	199.33	97.42	58.27	51.92	51
	15:30	93	200.13	97.88	57.94	51.90	51
	16:00	94	200.29	99.99	58.11	51.85	51
	16:30	93	200.43	98.56	57.75	52.02	51
	17:00	93	199.33	97.42	58.15	51.99	51
	17:30	92	200.13	98.99	57.74	52.05	51
	18:00	92	201.00	98.42	57.67	51.95	51
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>92.4</b>	<b>199.88</b>	<b>97.55</b>	<b>56.98</b>	<b>50.63</b>	<b>51</b>

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชวกร ภัคดีสรสิทธิ์
วัน-เดือน-ปีเกิด	8 พฤษภาคม 2533
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลค่ายประจักษ์ศิลปาคม จังหวัดอุดรธานี
ประวัติการศึกษา	
2545-2550	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัดอุดรธานี
2551-2554	ปริญญาตรี (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2555-2556	ปริญญาโท (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### ประสบการณ์การทำงานกับภาคอุตสาหกรรม

2555-2556	ทำงานวิจัยกับแผนกซิลโฟเนชั่น บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด
2554-2555	ทำปริญญานิพนธ์กับแผนกผลิตผลิตภัณฑ์น้ำยา บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด
เม.ย.-มิ.ย. 2554	ฝึกงานภาคฤดูร้อน ฝ่ายที่ปรึกษาการอนุรักษ์พลังงาน และพลังงานทดแทน บริษัท ไทเร็กซ์ แพลน จำกัด

### รางวัลและทุนการศึกษาที่ได้รับ

- ทุนวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556
- ทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากพระครูวินัยธร พชร ฐานกโร เจ้าอาวาสวัดประยงค์กิตติวนาราม

### ผลงานทางวิชาการ

1. ปิยะ อุไรไพรวิน ชวกร ภัคดีสรสิทธิ์ และ อัญชลีพร วาริตสวัสดี หล่อทองคำ. 2557. “การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการซิลโฟเนชั่น” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 วันที่ 17-18 ธันวาคม 2557 ณ โรงแรมฟูราม่า จังหวัดเชียงใหม่, NA-CHE-011 หน้า 438-443.
2. ชวกร ภัคดีสรสิทธิ์ ปิยะนาถ สมมณี และอัญชลีพร วาริตสวัสดี หล่อทองคำ. 2556. “กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการซิลโฟเนชั่น” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 วันที่ 17-18 ตุลาคม 2556 ณ โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชาออร์คิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนจังหวัดขอนแก่น, APP08 หน้า 299-304.นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชวกร ภักดิ์สรสิทธิ์ จักกฤช เค้าชาติชาย จักรกฤษณ์ ถาวร บุญชัย โชติวิริยวาณิช และอัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ. 2555. **“ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของแชมพูและการลดเวลาสูญเปล่าในกระบวนการผลิตแชมพู”** การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 วันที่ 25-26 ตุลาคม 2555 ณ โรงแรมเดอะกรีนเนอรี รีสอร์ท จังหวัดนครราชสีมา, TID03 หน้า 1-7.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้