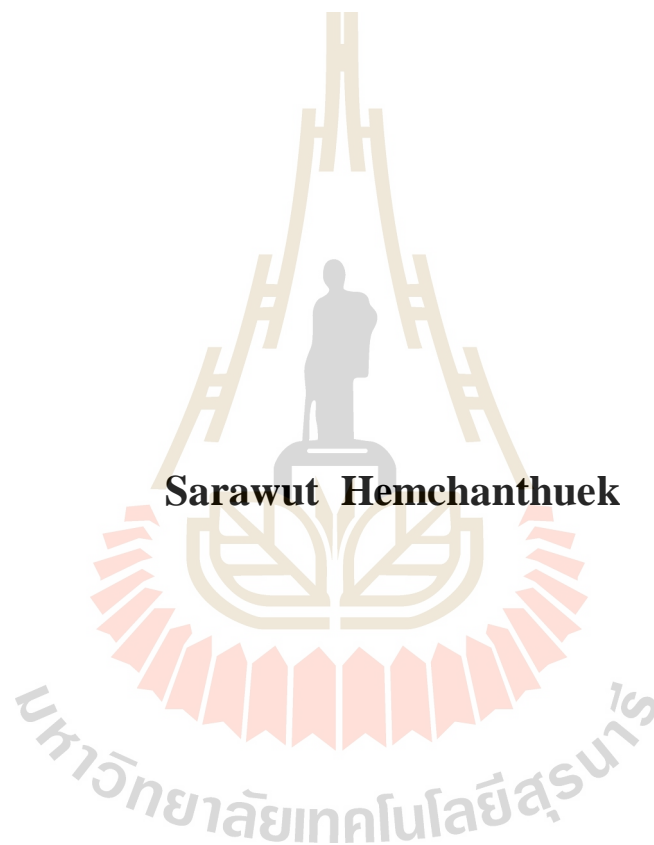


การประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิต
เหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

**ASSESSMENT OF ENERGY POTENTIAL FOR HOT AIR
DRYER SYSTEM IN CONTINUOUS HOT-DIP
COATING PROCESS**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Energy Management Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2017

การประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิต
เหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.บัณฑิต กฤตาคม)

ประธานกรรมการ



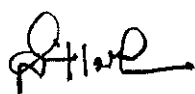
(ผศ. ดร.กীরดี สุตักษณ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



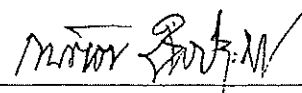
(อ. ดร.ธีทัต ตลวิชัย)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สรารุช เหมจันทิก : การประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อนใน
กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบ โลหะจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง (ASSESSMENT OF
ENERGY POTENTIAL FOR HOT AIR DRYER SYSTEM IN CONTINUOUS HOT-
DIP COATING PROCESS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ สุลักษณ์,
72 หน้า.

ระบบผลิตลมร้อนของกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบ โลหะจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง เป็น
ระบบที่ใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับไอน้ำให้ได้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศา
เซลเซียส จากการประเมินพบว่าสถานะของระบบไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไอน้ำและ
อุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสม งานวิจัยนี้นำเสนอการประเมินศักยภาพด้านพลังงาน และเสนอแนว
ทางการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็ก
แผ่นชุบ โลหะจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำเข้าระบบผลิต
ลมร้อน จะได้อุณหภูมิลมร้อนที่ต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต
เมื่อปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำจากอุณหภูมิลมร้อน 110 องศาเซลเซียส เป็น 65-70 องศาเซลเซียส
พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มสูงขึ้น 1.92
เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาถูกนำไปประยุกต์ใช้งาน พบว่าอุณหภูมิลมร้อนที่ 50-60 องศาเซลเซียส
เหมาะสมและเพียงพอต่อการผลิตที่ความหนาเหล็กแผ่นน้อยกว่า 0.40 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์
หลักที่มีการผลิตในกระบวนการ จากการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานที่สถานะปัจจุบันมีค่าเป็น
35.45 สามารถเพิ่มเป็น 9.00 เมื่อใช้สภาวะปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำ ส่งผลให้ต้นทุนของปริมาณ
การใช้น้ำมันเตาลดลงได้กว่า 1,100,000 บาท/ปี

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน
ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

SARAWUT HEMCHANHUEK : ASSESSMENT OF ENERGY
POTENTIAL FOR HOT AIR DRYER SYSTEM IN CONTINUOUS
HOT-DIP COATING PROCESS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
KEERATI SULUKSNA, Ph.D., 72 PP.

HEAT EXCHANGERS/ASSESSMENT OF ENERGY POTENTIAL/
HOT AIR DRYER

The hot air dryer system of continuous hot-dip coating process, is used to exchange the heat between air and steam to produce the hot air the temperature of 110°C. Based on the assessment, the system has not been analyzed the appropriate of process conditions of steam consumption and hot air temperature. This research present assessment of energy potential and propose the way to increase the efficiency of the dryer system in continuous hot-dip coating process. It is found that, from analyzing, as shut off condition the steam supply to the hot air dryer system, the hot air temperature found to be less than 50°C and then make the production not to be good. For reducing of steam for hot air temperature to be 65-70°C, this condition not affect to the product and the efficiency based on assessment is increased 1.92 percent. The results has been applied to the system, the result shown that hot air temperature of 50-60°C is appropriate and sufficient for main production with steel sheet thickness less than 0.40 mm. This can reduce the Specific Energy Consumption from 35.45 at present. To be 9.00 at reduced steam condition. This can reduce the cost of fuel oil by over 1,100,000 Baht/year.

School of Energy Management Engineering Student's Signature

Academic Year 2017

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร.กীরติ สุกฤษณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้ให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ตลอดจนควบคุมการศึกษาค้นคว้าจนประสบความสำเร็จด้วยดี ผู้ศึกษาวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณรณณรงค์ เพชรช่วย คุณเทวีญ ยังมี คุณกิตติวัฒน์ พิริยะวิไล ที่กรุณาถ่ายทอดความรู้เรื่องเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่องอย่างละเอียด รวมทั้งบุคคลที่ปรากฏชื่อในเอกสารอ้างอิงที่ผู้ศึกษาใช้อ้างอิงทางวิชาการ

ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ศึกษาวิจัยขอมอบเป็นกตัญญูตานุชาแก่ พ่อสมคิด และแม่คำเขียน เหมจันทิก ครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

สรารุช เหมจันทิก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และ ปรัชญ่วรรณกรรม.....	4
2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกัน.....	4
2.2 หม้อไอน้ำและการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อไอน้ำ.....	5
2.3 อัตราการไหลเชิงมวล.....	6
2.4 สถานะของน้ำ ระหว่างของเหลวกับไอ.....	6
2.5 กระบวนการชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง.....	8
2.6 ปรัชญ่วรรณกรรม.....	9
3 วิธีการทดลอง.....	10
3.1 ระบบผลิตลมร้อน.....	10
3.2 เทคนิคการตรวจวัด.....	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

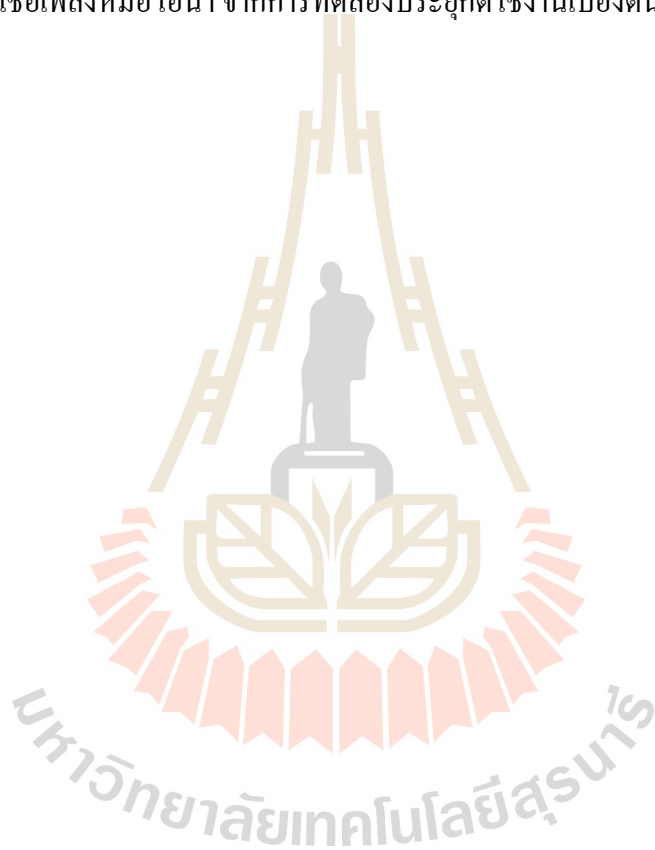
3.3	การประเมินศักยภาพด้านพลังงาน ในสภาวะปัจจุบัน (เปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำปกติ) และสภาวะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ.....	13
3.4	การประเมินศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำ.....	14
3.5	วิเคราะห์ผลการประเมินศักยภาพด้านพลังงาน.....	15
3.6	การประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ในกระบวนการผลิต.....	16
4	ผลการทดลอง.....	17
4.1	ผลกระทบต่อด้านอุณหภูมิความร้อนจากจากระบบผลิตลมร้อน.....	17
4.2	ผลกระทบต่อด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตลมร้อน.....	18
4.3	ผลกระทบต่อด้านดัชนีการใช้พลังงานของระบบผลิตลมร้อน.....	19
4.4	ผลกระทบต่อด้านต้นทุนของเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C ป้อนหม้อไอน้ำ.....	20
4.5	ผลกระทบจากการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ในกระบวนการผลิต.....	21
5	สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	23
5.1	วิจารณ์และสรุปผลการศึกษาวิจัย.....	23
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	24
	รายการอ้างอิง.....	25
	ภาคผนวก.....	27
	ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลการทดลอง.....	27
	ภาคผนวก ข. ผลกระทบเบื้องต้นของระบบต่อกระบวนการผลิต.....	39
	ภาคผนวก ค. การประเมินหามวลไอน้ำ และมวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน.....	44
	ภาคผนวก ง. การคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน และต้นทุนเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ.....	49
	ภาคผนวก จ. ข้อมูล และการวิเคราะห์ การประยุกต์ใช้งานเบื้องต้นในกระบวนการผลิต.....	53
	ภาคผนวก ฉ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	62
	ประวัติผู้เขียน.....	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลวที่นิยมใช้งานกับหม้อไอน้ำ.....5
3.1	เทคนิคการตรวจวัด ตัวแปรต่างๆ ของระบบผลิตลมร้อน.....12
ก.1-1	อุณหภูมิและความดันของระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปัจจุบัน.....28
ก.1-2	ตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปัจจุบัน.....29
ก.2-1	อุณหภูมิและความดันของระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ.....30
ก.2-2	ตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ.....31
ก.3-1	อุณหภูมิและความดันของระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปรับลดวาล์ว การจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 1.....32
ก.3-2	ตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปรับลดวาล์ว การจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 1.....33
ก.4-1	อุณหภูมิและความดันของระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปรับลดวาล์ว การจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 2.....34
ก.4-2	ตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปรับลดวาล์ว การจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 2.....35
ก.5-1	อุณหภูมิและความดันของระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปรับลดวาล์ว การจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 3.....36
ก.5-2	ตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปรับลดวาล์ว การจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 3.....37
ก.6-1	ค่าเอนโทรปีในสภาวะต่างๆ.....38
ค.1-1	ตัวแปรสำหรับการคำนวณมวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปัจจุบัน.....45
ค.1-2	ผลการประเมินหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน.....47
ค.2-1	ตัวแปรสำหรับการคำนวณมวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปัจจุบัน.....47
ง.1-1	ข้อมูลไอน้ำขาเข้า ป้อนระบบผลิตลมร้อน.....50
ง.1-2	ผลการคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน.....51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง.2-1	อัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา C ป้อนหม้อไอน้ำ.....	52
ง.2-2	ต้นทุนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C สำหรับผลิตไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน.....	52
จ.1-1	ผลการทดลองการประยุกต์ใช้ในกระบวนการ.....	54
จ.2-1	ต้นทุนเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ จากการทดลองประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น.....	61



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ลำดับกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง.....	1
1.2	แผนผังแสดงระบบที่มีการใช้อินน้ำ.....	2
2.1	การไหลของ ของไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของ ไหลตัดกัน ลักษณะที่ไม่ผสมกัน-ไม่ผสมกัน และลักษณะที่ไม่ผสมกัน-ผสมกัน.....	4
2.2	รูปร่างของความเร็วของการไหลในท่อเมื่อพัฒนาเต็มที่.....	6
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ-ปริมาตรจำเพาะ และความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน-ปริมาตรจำเพาะ.....	7
2.4	ลำดับกระบวนการผลิตเหล็กชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง.....	8
3.1	ระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง.....	10
3.2	ตัวแปร สำหรับประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อน.....	11
3.3	ตำแหน่งวัดความเร็วลม ในท่ออากาศ.....	13
4.1	อุณหภูมิลมร้อนขาออกจากระบบผลิตลมร้อน.....	17
4.2	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตลมร้อน.....	18
4.3	ดัชนีการใช้พลังงานของระบบผลิตลมร้อน.....	19
4.4	ต้นทุนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C ป้อนหม้อไอน้ำ.....	20
4.5	ต้นทุนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C จากการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ในกระบวนการผลิต.....	21
ข.1-1	อุณหภูมิลมร้อนและอุณหภูมิสารระบบอื่นๆ ในสภาวะปัจจุบันและสภาวะปิดวาล์ว การจ่ายอินน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน.....	40
ข.2-1	อุณหภูมิลมร้อนและอุณหภูมิสารระบบอื่นๆ ในสภาวะปรับลดวาล์วการจ่ายอินน้ำ เข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน ครั้งที่ 1 และ 2.....	41
ข.3-1	อุณหภูมิลมร้อนและอุณหภูมิสารระบบอื่นๆ ในสภาวะปรับลดวาล์วการจ่ายอินน้ำ เข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน ครั้งที่ 3.....	42
ค.1-1	มวลอินน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ กรณีหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพ 85-95 เปอร์เซ็นต์.....	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.2-1	
อุณหภูมิความร้อนและความหนาเหล็ก เมื่อทดลองการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ในกระบวนการผลิต.....	60



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

η	=	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ 90 เปอร์เซ็นต์
h_g	=	เอนโทรปีไอน้ำ (กิโลจูล/กิโลกรัม)
h_f	=	เอนโทรปีน้ำ (กิโลจูล/กิโลกรัม)
q	=	ปริมาณน้ำมันเตา (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
HV	=	ค่าความร้อนของน้ำมันเตา (กิโลจูล/กิโลกรัม)
Q_v	=	มวลไอน้ำ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
\dot{m}	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
A	=	พื้นที่หน้าตัดท่อ (ตารางเมตร)
V	=	ความเร็วลม (เมตร/นาที่)
ρ	=	ความหนาแน่นอากาศ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) โดยอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ อากาศมีความหนาแน่น 1.164 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
h_1	=	ค่าเอนโทรปีไอน้ำ (กิโลจูล/กิโลกรัม)
h_3	=	ค่าเอนโทรปีน้ำคอนเดนเสท (กิโลจูล/กิโลกรัม)
m_1	=	มวลไอน้ำ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
m_2	=	มวลอากาศ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
C_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศมีค่าเป็น 1.005 (กิโลจูล/กิโลกรัม เคลวิน)
T_1	=	อุณหภูมิไอน้ำขาเข้า (องศาเซลเซียส)
T_2	=	อุณหภูมิอากาศขาเข้า (องศาเซลเซียส)
T_3	=	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสทขาออก (องศาเซลเซียส)
T_4	=	อุณหภูมิมวลร้อนขาออก (องศาเซลเซียส)
P_1	=	ความดันไอน้ำ (กิโลปาสกาล)
X	=	สัดส่วนระหว่างไอและของเหลว
h_f	=	ค่าเอนโทรปีไอน้ำ 450 กิโลปาสกาล (กิโลจูล/กิโลกรัม)
h_{fg}	=	ค่าเอนโทรปีของผสม 450 กิโลปาสกาล (กิโลจูล/กิโลกรัม)
η_{th}	=	ประสิทธิภาพของระบบผลิตความร้อนเชิงการประเมิน (เปอร์เซ็นต์)

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนำนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาซึ่งนำไปสู่วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย การประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง รวมถึงระบุขอบเขต และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในครั้งนี้

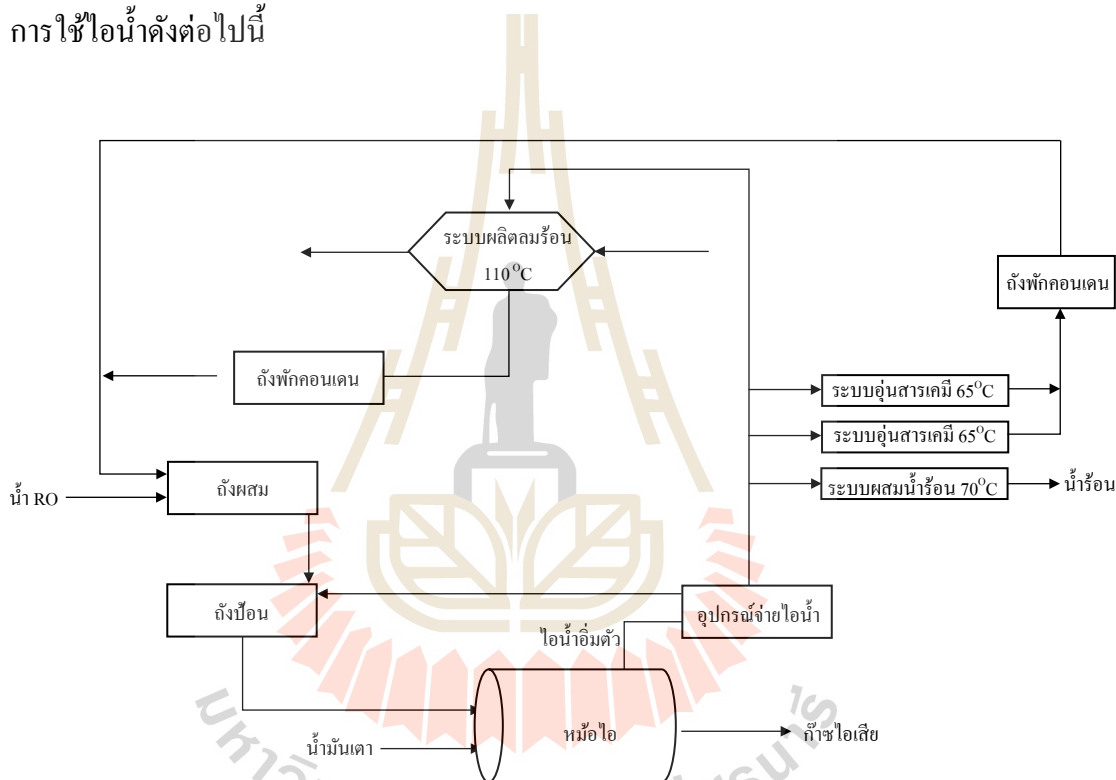
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน เป็นอุตสาหกรรมช่วยยืดอายุการใช้งานให้โลหะ ป้องกันการผุกร่อน และอื่นๆ อาทิ ความสวยงาม ความทนทาน การนำไฟฟ้า เป็นต้น ในกระบวนการผลิตจะมีการใช้ไอน้ำสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการ ซึ่งหากไม่คำนึงถึงการควบคุมปริมาณการใช้ให้เหมาะสม จะเกิดการสูญเสียพลังงานอย่างสิ้นเปลือง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง (continuous hot-dip coating processing line) ซึ่งมีการทำงานต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ลำดับกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.1 ลำดับกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง

กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง มีการใช้ไอน้ำผสมกับน้ำเพื่อผลิตน้ำร้อน และแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับ ลม หรือสารเคมี เพื่ออุ่นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ก่อนส่งเข้าไปใช้ในหน่วยต่างๆ ของกระบวนการผลิต จากการประเมินเบื้องต้นพบว่าระบบเหล่านี้ยังไม่ได้มีการวิเคราะห์ความเหมาะสมของปริมาณการใช้ไอน้ำในการดำเนินการผลิต อาจทำให้มีการใช้งานที่เกินความจำเป็น และยังพบว่าระบบผลิตลมร้อนเป็นหน่วยที่ใช้อุณหภูมิสูงสุด 110 องศาเซลเซียส เป็นไปได้ว่ามีการใช้ปริมาณไอน้ำสูงสุด หากสามารถดำเนินปรับลดให้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม น่าจะส่งผลทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แผนผังแสดงระบบที่มีการใช้ไอน้ำดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.2 แผนผังแสดงระบบที่มีการใช้ไอน้ำ

การศึกษานี้จะนำเสนอการประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่องที่มีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ชั่วโมงการผลิต 300 วัน/ปีกำลังการผลิตสูงสุดถึง 120,000 ตัน/ปี และ เสนอแนวทางการปรับปรุงให้มีความเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง ในสภาวะคงตัว (steady state)
2. เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1. ทำการศึกษาระบบไอน้ำ จากกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง ภายใต้สภาวะอบอุ่นเดียวกัน จากบ่อชุบโลหะเดียวกันที่มีส่วนผสมหลักเป็น อลูมิเนียม-สังกะสี
2. ทำการศึกษการใช้ไอน้ำของหน่วยการผลิตลมร้อนเท่านั้น
3. ทำการศึกษาโดยไม่พิจารณาผลของการแผ่รังสีความร้อน
4. ประเมินประสิทธิภาพของระบบการแลกเปลี่ยนความร้อน จากการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะความหนา 0.30 มิลลิเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลการประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง
2. แนวทางการปรับปรุงที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตลมร้อน ในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง

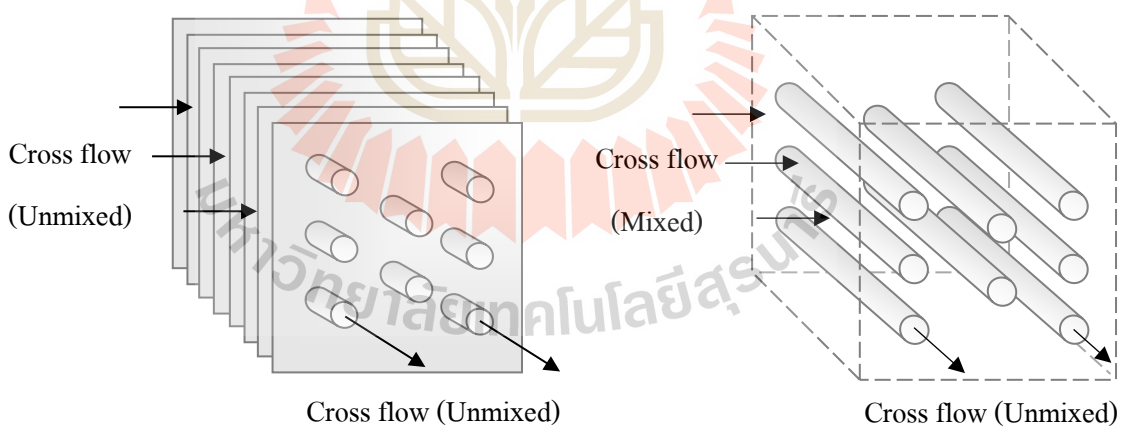
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และ ปรัชญาวิศวกรรม

ระบบลมร้อน จากกรณีศึกษากระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะ แบบต่อเนื่อง เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนประเภทของไหลตัดกัน มีการถ่ายโอนแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนในการทำงาน ระบบจะมีสัมพันธ์กันระหว่าง พลังงานความร้อนจากไอน้ำกับสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น พลังงานทางเคมีที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันเตา เป็นต้น

2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกัน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหล 2 ชนิด ในทิศทางการไหลตั้งฉากกัน เรียกว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกัน (Cross flow heat exchanger) ซึ่งของไหลแต่ละชนิดอาจอยู่ในลักษณะที่ไม่ผสมกัน (Unmixed) หรือลักษณะที่ผสมกัน (Mixed) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การไหลของ ของไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกัน
ลักษณะที่ไม่ผสมกัน-ไม่ผสมกัน (ด้านซ้าย) และลักษณะที่ไม่ผสมกัน-ผสมกัน (ด้านขวา)

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกัน จะมีการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อ และการถ่ายเทความร้อนในของไหลแต่ละชนิด ซึ่งถือได้ว่าเป็นการวิเคราะห์ที่มีความซับซ้อนเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$q = UAF\Delta T_{Im} \quad (2-1)$$

โดยที่ $T_{Im} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 - \Delta T_2)}$ (2-2)

และ $q = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{h,1} - T_{h,2})$ (2-3)

$$q = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,1} - T_{c,2}) \quad (2-4)$$

ค่า F เป็นแฟกเตอร์ตัวแก้ค่า (Correction Factor) สามารถคำนวณได้จากวิธีหาความแตกต่าง อุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก (The log mean temperature difference, LMTD) ^[5,6] และการวิเคราะห์ สมรรถนะหรือประสิทธิภาพ (Effectiveness, \mathcal{E}) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกันชนิด ทั่วไป จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์เชิงความร้อนและพื้นที่ถ่ายเทความร้อน แต่จะไม่วิเคราะห์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลแต่ละชนิด เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของ ไหลตัดกันมีความซับซ้อนของพื้นที่ถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลผ่านของของไหล การ วิเคราะห์ให้แม่นยำจึงมีความลำบาก สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะจะใช้วิธี NTU (The effectiveness – Number of transfer unit) โดยการหาค่า Effectiveness, \mathcal{E} สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนของไหลตัดกันลักษณะที่ไม่ผสมกัน-ผสมกัน

2.2 หม้อไอน้ำและการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำ มีหลากหลายประเภท สำหรับในประเทศไทยกว่า 80% เป็นหม้อไอน้ำแบบท่อ ไฟ (fire tube boiler) จะมีท่อไฟที่มีก๊าซร้อน ไหลผ่านอยู่ภายในท่อถ่ายเทความร้อนให้น้ำ มีเปลือก หม้อไอน้ำรูปทรงกระบอกเป็นภาชนะเก็บกักน้ำและรับความดัน โดยความดันที่ใช้งานสูงสุด 180 บาร์ (150 PSD) อุณหภูมิไอน้ำไม่เกิน 180 องศาเซลเซียส ^[7] เชื้อเพลิงเหลวที่นิยมนำมาใช้งานมีค่า ความร้อนดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลวที่นิยมใช้งานกับหม้อไอน้ำ

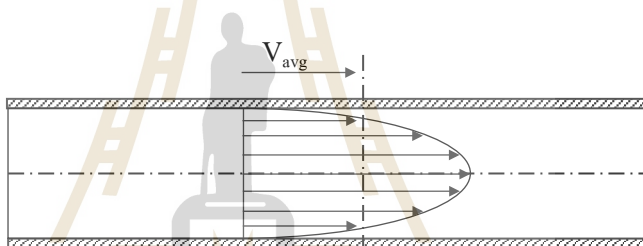
ชนิดเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน
น้ำมันดีเซล	38,744
น้ำมันเตา A	41,240
น้ำมันเตา C	41,035

การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อไอน้ำ^[8] (η) ตาม American Society of Mechanical Engineers (ASME) คือ การคำนวณด้วย วิธีประเมินตรง (Direct method หรือ Input-Output method) ตามสมการที่ 2-5

$$\eta = \frac{Q_v(h_g - h_f)}{qHV} \times 100 \quad (2-5)$$

2.3 อัตราการไหลเชิงมวล

การใช้ของไหลเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนและพลังงาน สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งคือ ระบบลำเลียงของไหลจากที่หนึ่งไปสู่ที่หนึ่ง เช่น ท่อ รวมไปถึงลักษณะของของไหล โดยการไหลภายในระบบท่อคือการไหลที่ถูกกักล้อมรอบด้วยผนังท่อ รูปร่างความเร็วของการไหลในท่อเมื่อพัฒนาเต็มที่ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปร่างของความเร็วของการไหลในท่อเมื่อพัฒนาเต็มที่

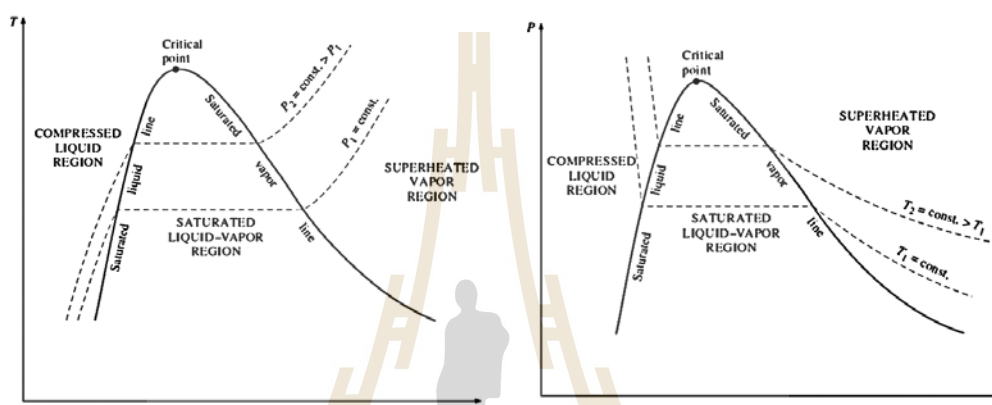
อัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate, \dot{m}) หมายถึง มวลของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดต่อต่อหน่วยเวลา สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ตามสมการที่ 2-6

$$\dot{m} = \rho V_{avg} A \quad (2-6)$$

2.4 สถานะของน้ำ ระหว่างของเหลวกับไอ

ภายใต้ความดันคงที่ 1 บรรยากาศ เมื่อไม่มีแรงเสียดทานและให้ความร้อนกับน้ำ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะ^[9] น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส (ต่ำกว่าจุดเดือด) เรียกว่าของเหลวอัด (Compressed Liquid) น้ำที่เป็นของเหลวอัดได้รับความร้อน จนมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ของเหลวจะมีสถานะที่พร้อมกลายเป็นไอ เรียกว่า ของเหลวอิ่มตัว (Saturated liquid) เมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากของเหลวเริ่ม

กลายเป็นไอ ดังนั้นสถานะนี้จึงเป็นสถานะที่ผสมระหว่าง 2 สถานะด้วยกัน คือ ของเหลว และไอ เรียกว่าของผสมอิ่มตัว (Saturated mixture) และของเหลวกลายเป็นไอน้ำทั้งหมด สถานะนี้เป็นไอน้ำพร้อมจะควบแน่นเป็นของเหลวเมื่อสูญเสียความร้อน เรียกสถานะนี้ว่า ไออิ่มตัว (Saturated vapor) ไอน้ำอิ่มตัวได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น ไอน้ำที่มีสถานะเหนือจุดอิ่มตัวนี้ เรียกว่า ไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated vapor) จะพบว่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ ระหว่างของเหลวกับไอ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ความดัน และปริมาตรจำเพาะ สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ-ปริมาตรจำเพาะ (ด้านซ้าย) และ ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน-ปริมาตรจำเพาะ (ด้านขวา)

สำหรับของผสมอิ่มตัว ที่มีส่วนผสมระหว่างของเหลว และไอ สัดส่วนจะเป็นสิ่งบ่งบอกสมบัติของของผสม เรียกว่า สัดส่วนความแห้งของไอ (dryness fraction, x) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$v = v_f + xv_{fg} \quad (2-7)$$

$$h = h_f + xh_{fg} \quad (2-8)$$

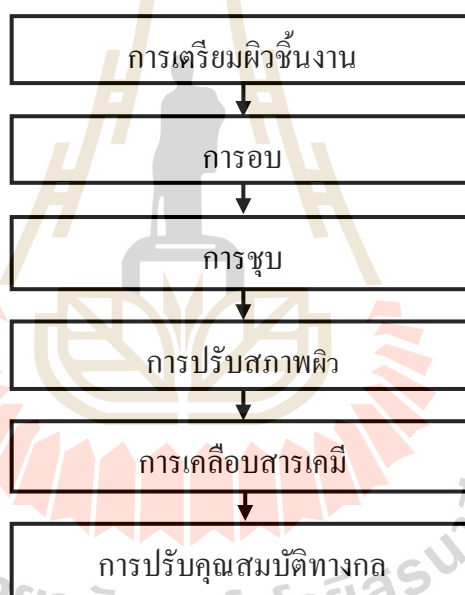
$$u = u_f + xu_{fg} \quad (2-9)$$

ความสัมพันธ์ต่างของ v , h และ u สามารถวิเคราะห์ได้จาก ตารางไอน้ำ (Steam Table)

สำหรับสัดส่วนความแห้งของไอ จะไม่มีในสถานะของเหลวอัด ($x = 0$) และไอร้อนยวดยิ่ง ($x = 1$) ดังนั้น ของผสมอิ่มตัวจึงเป็นสถานะที่มีค่าสัดส่วนความแห้งของไอระหว่าง 0 ถึง 1

2.5 กระบวนการชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง

อุตสาหกรรมการชุบโลหะ^[1] เป็นอุตสาหกรรมสนับสนุนที่ช่วยในการส่งเสริมการผลิตเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าส่งออก โดยเฉพาะชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์จากโลหะเหล็ก เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รถยนต์ ท่อ และข้อต่อสังกะสี เครื่องสุญญากาศที่ทำด้วยโลหะ เป็นต้น ทำให้มีความต้องการในการบริโภคสูง การชุบโลหะช่วยตกแต่งผลิตภัณฑ์ให้เกิดความสวยงาม แวววาว ป้องกันการผุกร่อน ยืดอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์ และ เพิ่มคุณสมบัติเฉพาะให้กับวัสดุ เช่น การนำไฟฟ้า การสะท้อนแสง ทนทานต่อแรงบิด ทนทานต่อสารเคมี การเชื่อมประโลหะเพิ่มความแข็ง เป็นต้น กระบวนการชุบโลหะมีหลากหลายวิธีการ ซึ่งวิธีการชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่ได้รับความนิยมสูง มีลำดับกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4 ลำดับกระบวนการผลิตแผ่นเหล็กชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง

เหล็กแผ่นที่จะนำมาชุบโลหะ จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานก่อนชุบโลหะ จะทำความสะอาดน้ำมันที่เคลือบกันสนิมและสิ่งสกปรกออกจากผิวชิ้นงาน จากนั้นแผ่นเหล็กถูกส่งเข้าเตาอบ (Annealing Furnace) เริ่มดำเนินการอบอ่อนปรับคุณสมบัติของเหล็ก เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานต่างๆ และเพิ่มความร้อนแผ่นเหล็กให้มีอุณหภูมิเหมาะสมในการชุบโลหะ หลังจากนั้นแผ่นเหล็กจะถูกส่งต่อไปยังบ่อชุบโลหะที่มีการควบคุมสัดส่วนโลหะ อุณหภูมิ ขึ้นเคลือบให้เหมาะสม เพื่อให้ได้โลหะเคลือบบนผิวแผ่นเหล็กสม่ำเสมอ เมื่อแผ่นเหล็กขึ้นจากบ่อชุบ

จะถูกลดอุณหภูมิ ก่อนส่งปรับสภาพความเรียบของผิว (Skin Pass) ปรับคุณสมบัติทางกล (Tension Leveler) ให้เหมาะสม และ เคลือบสารเคมีพร้อมอบให้แห้ง เป็นกระบวนการสุดท้าย

2.6 ปรัชญ์นัวรรณกรรม

ธีรวัฒน์ คลับคล้าย และ ธีระชาติ พรพิบูลย์ (2555).^[2] ได้นำเสนอแบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของกระบวนการต้มและอุ่นน้ำอ้อย แบบหลายขั้นตอนในกระบวนการผลิตน้ำตาล เพื่อใช้วิเคราะห์แนวโน้มปริมาณการใช้ไอน้ำทั่วไปของกระบวนการ โดยพิจารณาปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตเพิ่มเติม คือ ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างหม้อต้มและหม้ออุ่นในขั้นตอนต่างๆ แตกต่างจากการวิเคราะห์ทั่วไปที่พิจารณาเพียงค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อย (ค่าบริกซ์) ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้จากการพิจารณาปัจจัยเพิ่มเติมนี้ มาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไอน้ำจริงของโรงงานผลิตน้ำตาลจำนวน 3 แห่ง พบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกัน แต่ค่าจากการวิเคราะห์จะต่ำกว่าปริมาณการใช้จริงเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากอิทธิพลความถดถอยของประสิทธิภาพเครื่องจักรที่ใช้งานมาระยะเวลาหนึ่ง

พรเทพ กลิ่นรอด, วันชัย ทรัพย์ศิริ และ อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ (2548).^[3] ได้เสนอมาตรการลดการใช้พลังงานจากไอน้ำโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการปิดช่องทางน้ำล้นของอุปกรณ์และหริ้วาล์วลดปริมาณไอน้ำ ซึ่งแนวคิดมาจากการวิเคราะห์สมดุลมวลและพลังงานของเครื่องอบฆ่าเชื้อที่ใช้ไอน้ำ ในระบบกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง ทำให้ทราบว่าอุปกรณ์มีการสูญเสียพลังงานร้อยละ 57.76 จากกรณีการระเหยที่ผิวน้ำร้อน ผลปรากฏว่าสามารถลดการใช้ปริมาณไอน้ำของอุปกรณ์ได้ร้อยละ 5.67

นายวรุตม์ บุญภักดี (2550).^[4] ได้เสนอแนวคิดการลดต้นทุนการผลิต จากการคำนึงถึง 4 ปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการนำเฮกเซนกลับมาใช้งานในกระบวนการผลิตกาวยางธรรมชาติ โดยพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ปริมาณไอน้ำ 1,560 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิไอเฮกเซน 52 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของระบบควบแน่น 43 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของไอเฮกเซน 396 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สามารถทำให้ประสิทธิภาพกระบวนการนำกลับเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 82.07 เป็นร้อยละ 91.36

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

จากการศึกษางานวิจัย บทความ และทฤษฎีต่างๆ ในบทที่ 2 จะพบว่าสามารถนำมาใช้ ประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อน ในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่ม ร้อน แบบต่อเนื่อง ซึ่งได้มีวิธีการทดลองดังนี้

3.1 ระบบผลิตลมร้อน

ระบบผลิตลมร้อน อาศัยพัดลมดูดอากาศ จากภายนอก ป้อนเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน มา แลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำจากหม้อ ไอน้ำ เพื่อผลิตลมร้อนป้อนให้กระบวนการผลิตเหล็กแผ่น ชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนของไหลตัดกันดังแสดงรูปที่ 2.1 ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อากาศจะไหลผสม กันอยู่ในภายในเครื่อง ส่วนไอน้ำจะไหลไม่ผสมกันภายในท่อ การแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำผ่าน ผนังท่อไปยังอากาศ โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนประมาณ 82 ตารางเมตร



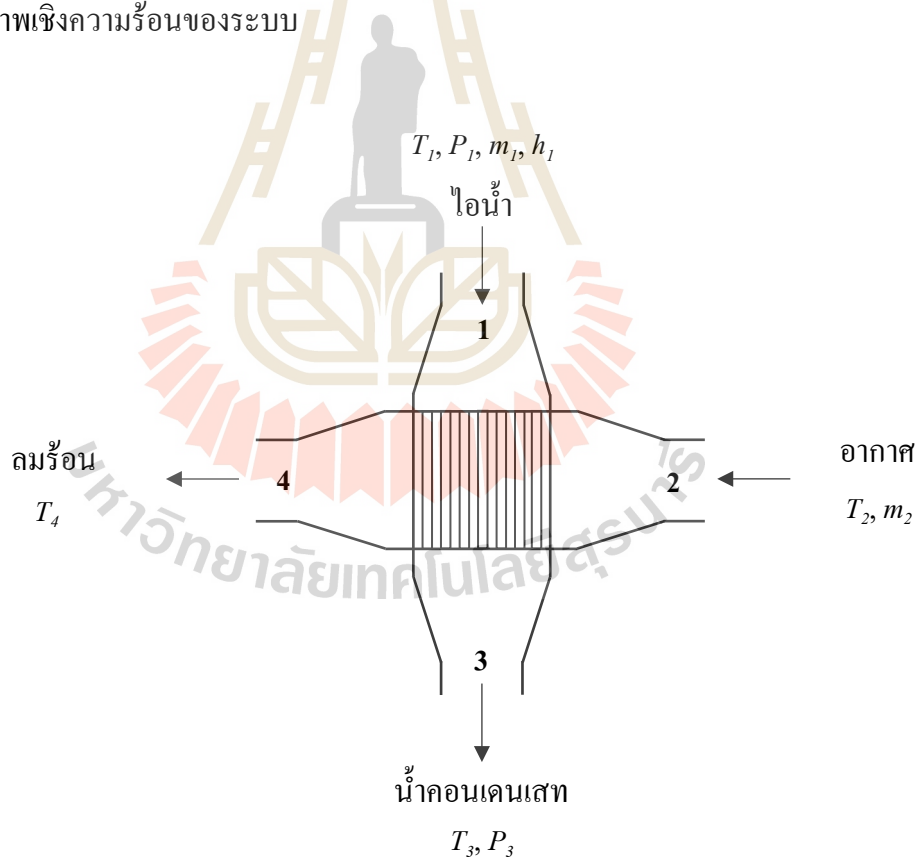
รูปที่ 3.1 ระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง

สำหรับการประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อน เริ่มจากการตรวจวัดตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณจากประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามสมการที่ 3-1

$$\eta_{th} = \frac{m_2 C_p (T_4 - T_2)}{m_1 (h_1 - h_3)} \times 100 \quad (3-1)$$

3.2 เทคนิคการตรวจวัด

จากการศึกษาข้อมูลของระบบผลิตลมร้อนดังกล่าว พบว่าระบบผลิตลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสตลอด 24 ชั่วโมง ปัจจุบันไม่ได้มีการควบคุมการทำงานให้มีความเหมาะสมกับความต้องการ ของกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่ม จึงไม่สามารถประเมินความเหมาะสมด้านพลังงาน จำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมตามรูปที่ 3.2 เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ

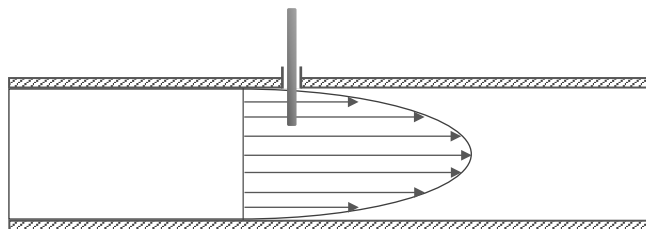


รูปที่ 3.2 ตัวแปร สำหรับประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อน

ตารางที่ 3.1 เทคนิคการตรวจวัด ตัวแปรต่างๆ ของระบบผลิตลมร้อน

ตัวแปร	เทคนิคการตรวจวัด
T_1 และ T_3	ดำเนินการเปิดฉนวนหุ้มท่อ ใช้เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ตรวจวัดที่ผิวท่อขาเข้าของไอน้ำ และขาออกของคอนเดนเสท ยิ่งลำแสงค้างไว้เป็นเวลา 1 นาทีแล้วจึงบันทึกอุณหภูมิ บันทึกอุณหภูมิทุกชั่วโมงเป็นเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย
T_2	ติดตั้งดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ บริเวณใกล้เคียงพัดลมดูดอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน บันทึกอุณหภูมิทุกชั่วโมงเป็นเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมงแล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย
T_4	บันทึกข้อมูลจากเซนเซอร์ของเทอร์โมมิเตอร์ ที่ได้มีการใช้งานอยู่แล้ว ในปัจจุบัน บันทึกอุณหภูมิทุกชั่วโมงเป็นเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย
P_1 และ P_3	ดำเนินการเจาะท่อติดตั้งเกจวัดความดัน ขาเข้าของไอน้ำ และขาออกของคอนเดนเสท ดำเนินการตรวจวัดตั้งตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 3.3 บันทึกความดันทุกชั่วโมงเป็นเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย
V_{avg}	ดำเนินการเจาะท่อเพื่อใช้สอดเครื่องวัดความเร็วลม บันทึกความเร็วลมทุกชั่วโมงเป็นเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย
$q_{น้ำมันเตา}$	บันทึกปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ป้อนหม้อไอน้ำทุกชั่วโมงจากมิเตอร์วัดน้ำมันเตา บันทึกอย่างน้อย 8 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาหาอัตราการป้อนน้ำมันต่อชั่วโมง

สำหรับการคำนวณหามวลของอากาศจำเป็นต้องมีการตรวจวัดความเร็วลมในตำแหน่งที่เหมาะสม หากวัดที่จุดศูนย์กลางของท่ออากาศจะได้ค่าความเร็วลมสูง แต่หากดำเนินการตรวจวัดตำแหน่งใกล้เคียงผนังจะได้ค่าความเร็วลมต่ำ ดังนั้นจึงได้ดำเนินการตรวจวัดตำแหน่งระหว่างผนังท่อ และจุดศูนย์กลางท่อ แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งวัดความเร็วลม ในท่ออากาศ

นอกจากการตรวจวัดตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบผลิตลมร้อน ระบบอื่นๆ ที่มีการใช้ไอน้ำ ได้แก่ ระบบอุ่นสารเคมี และระบบผลิตน้ำร้อน จะบันทึกข้อมูลจากเซนเซอร์ของเทอร์โมมิเตอร์ ที่ได้มีการใช้งานอยู่แล้วในปัจจุบัน บันทึกอุณหภูมิทุกชั่วโมง

3.3 การประเมินศักยภาพด้านพลังงานในสถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำปกติ) และสถานะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ

3.3.1 การประเมินผลกระทบของระบบต่อกระบวนการผลิต เริ่มจากการตรวจวัดตัวแปรต่างๆ ของระบบผลิตลมร้อนในสถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำปกติ) จากนั้นดำเนินการโดยปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง บันทึกข้อมูล และนำข้อมูลอุณหภูมิลมที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อน และอุณหภูมิระบบอื่นๆ ที่ใช้ไอน้ำ มาเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์

3.3.2 สำหรับการประเมินหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสถานะปัจจุบัน ได้มีการตรวจสอบข้อมูลการซ่อมบำรุงหม้อไอน้ำ พบว่าผลจากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ มีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ในการทดสอบ ดังนั้นเมื่อใช้งานหม้อไอน้ำขณะดำเนินการผลิตน้ำป้อนจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 80 องศาเซลเซียส มีความเป็นไปได้ว่าหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพประมาณ 85-95 เปอร์เซ็นต์ นำข้อมูลอัตราการใช้น้ำมันเตา อุณหภูมิไอน้ำ และความดันไอที่ตรวจวัดได้มาคำนวณด้วยสมการที่ 2-5 เพื่อประเมินหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน และหาผลต่างระหว่างสถานะปัจจุบันกับการทดลองปิดการจ่ายไอน้ำ จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์หามวลไอน้ำจากกรณีหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพ 85-95 เปอร์เซ็นต์

3.3.3 การประเมินหามวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปัจจุบัน จากตรวจวัดความเร็วลมเฉลี่ยของอากาศที่ป้อนเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน ด้วยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 550 มิลลิเมตร ซึ่งจากสมการที่ 2-6 สามารถคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล (\dot{m}) ได้จากสมการ 3-2

$$\dot{m} = \rho VA \times 60 \quad (3-2)$$

3.3.4 การประเมินศักยภาพด้านพลังงาน ในสภาวะปัจจุบัน นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการตรวจวัด และจากการคำนวณ มาประเมินหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตลมร้อน โดยใช้สมการที่ 3-1

3.4 การประเมินศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปรับลดอัตราการจ่ายไอน้ำ

3.4.1 ศึกษาแนวโน้มผลกระทบของระบบต่อกระบวนการผลิต ในการปรับลดอัตราการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน โดยทดลองปรับลดอัตราการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน จำนวน 2 ครั้ง

- ปรับวาล์วครั้งที่ 1 ให้อุณหภูมิลมร้อนจาก 110 องศาเซลเซียส ลดลงเป็นช่วง 90-100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง ดำเนินการตรวจวัดตัวแปรต่างๆ เช่นเดียวกับศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปัจจุบัน
- ปรับวาล์วครั้งที่ 2 ให้อุณหภูมิลมร้อนจาก 110 องศาเซลเซียส ลดลงไม่เกิน 90 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง ดำเนินการตรวจวัดตัวแปรต่างๆ เช่นเดียวกับศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปัจจุบัน

จากนั้นนำข้อมูลอุณหภูมิลมที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อน และอุณหภูมิระบบอื่นๆ ที่ใช้ไอน้ำ มาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์แนวโน้มผลกระทบ ความเป็นไปได้ในการปรับลดโดยใช้ลำดับการประเมินเช่นเดียวกับ ศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปัจจุบัน (ตามข้อ 3.3.1 - 3.3.4)

3.4.2 การประเมินผลกระทบของระบบต่อกระบวนการผลิต ในสภาวะปรับลดอัตราการจ่ายไอน้ำดำเนินการทดลองปรับลดอัตราการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อนครั้งที่ 3 ให้อุณหภูมิลมร้อนจาก 110 องศาเซลเซียส ลดลงเป็นช่วงอุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง เก็บข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลอุณหภูมิลมที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อน และอุณหภูมิระบบอื่นๆ ที่ใช้ไอน้ำ มาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์โดยใช้ลำดับการประเมินเช่นเดียวกับ ศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปัจจุบัน (ตามข้อ 3.3.1 - 3.3.4)

3.5 วิเคราะห์ผลการประเมินศักยภาพด้านพลังงาน

นำข้อมูลการวิเคราะห์ที่ได้จากทั้งสองการทดลอง (3.3 และ 3.4) มาเปรียบเทียบและประเมินศักยภาพด้านพลังงานกับผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบผลิตลมร้อน เพื่อให้ได้แนวทางการประเมินที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต

3.5.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิลมร้อนที่ได้จากการตรวจวัดในสภาวะปัจจุบัน จากสภาวะปรับลดความร้อนการจ่ายไอน้ำทั้ง 3 ครั้ง และสถานะปิดการจ่ายไอน้ำพร้อมกับวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการดำเนินงาน

3.5.2 จากการประเมินได้มีการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนด้วยสมการที่ 3-1 นำประสิทธิภาพเชิงความร้อนมาทำการเปรียบเทียบทั้งจากสภาวะปัจจุบัน จากสภาวะปรับลดความร้อนการจ่ายไอน้ำทั้ง 3 ครั้ง พร้อมกับวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณ

3.5.3 คำนีการใช้พลังงาน หรือ SEC (Specific Energy Consumption) เป็นค่าที่จะบอกการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยดำเนินการคำนวณคำนีการใช้พลังงานจาก อัตราการป้อนไอน้ำเข้าระบบผลิตลมร้อนสำหรับดำเนินการผลิต ผลิตภัณฑ์เหล็กแผ่นชุบจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง ขนาดความหนาแผ่นเหล็ก 0.30 มิลลิเมตร จะมีน้ำหนักผลิตภัณฑ์ 2.0810 กิโลกรัม/เมตร ใช้ความเร็วมาตรฐานในการผลิต 135 เมตร/นาที ดำเนินการผลิตต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ตลอดทั้งปีจำนวน 250 วันการทำงาน สามารถคำนวณคำนีการใช้พลังงานได้จากสมการที่ 3-3

$$\text{คำนีการใช้พลังงาน} = \text{พลังงานความร้อน (เมกะจูล/ปี)} / \text{จำนวนผลิตภัณฑ์ (ตัน/ปี)} \quad (3-3)$$

จากนั้นทำการเปรียบเทียบคำนีการใช้พลังงานทั้งจากสภาวะปัจจุบัน และจากสภาวะปรับลดความร้อนการจ่ายไอน้ำทั้ง 3 ครั้ง พร้อมกับวิเคราะห์ผลการศึกษา

3.5.4 ดำเนินการคำนวณต้นทุนน้ำมันเตา C หม้อไอน้ำของระบบผลิตลมร้อน จากสภาวะปัจจุบัน จากสภาวะปรับลดความร้อนการจ่ายไอน้ำทั้ง 3 ครั้ง และจากสถานะปิดความร้อนการจ่ายไอน้ำ เมื่อน้ำมันเตาที่ใช้มีราคา 14.01 บาท/ลิตร ดำเนินการผลิตต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ตลอดทั้งปีจำนวน 250 วันการทำงาน คำนวณด้วยสมการที่ 3-4

$$\text{ต้นทุนน้ำมันเตา C} = \text{ปริมาณน้ำมันเตา C (ลิตร/ปี)} \times \text{ราคาน้ำมันเตา C (บาท/ลิตร)} \quad (3-4)$$

จากนั้นทำการเปรียบเทียบต้นทุนน้ำมันเตา C หม้อไอน้ำของระบบผลิตลมร้อนที่ได้จากการคำนวณพร้อมกับวิเคราะห์ผลการดำเนินงานที่เกิดขึ้น

3.6 การประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ในกระบวนการผลิต

นำผลการวิเคราะห์มาทำการทดลองมาประยุกต์ใช้งานเบื้องต้นในกระบวนการผลิต เก็บข้อมูลต่อเนื่องนาน 80 ชั่วโมง ที่การผลิตด้วยความหนาเหล็กแผ่นไม่เกิน 0.40 มิลลิเมตร สังเกตผลกระทบที่เกิดขึ้น และดำเนินการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อน ความหนาเหล็กแผ่น และปริมาณน้ำมันเตาป้อนหม้อไอน้ำ บันทึกผลทุกชั่วโมง พร้อมทั้งวิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันเตา C ของหม้อไอน้ำสำหรับระบบผลิตลมร้อน



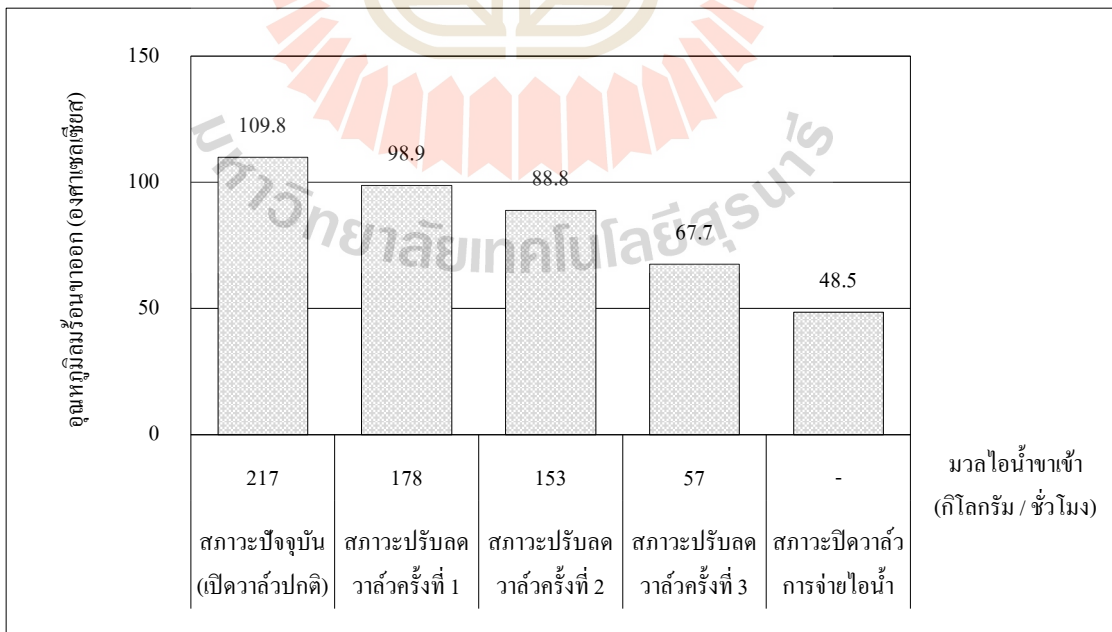
บทที่ 4

ผลการทดลอง

เนื้อหาบทนี้จะอธิบายถึงผลการทดลอง และผลประเมินศักยภาพทางด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อน ในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง โดยสอดคล้องตามลำดับการดำเนินวิธีการทดลองในบทที่ 3 รวมไปถึงการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างสถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วปกติ) สถานะปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำทั้ง 3 ครั้ง และสถานะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ เพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่การนำไปประยุกต์ไปใช้งานจริง และผลการทดลองประยุกต์ใช้งานจริงเบื้องต้น

4.1 ผลกระทบด้านอุณหภูมิลมร้อนขาออกจากระบบผลิตลมร้อน

ดำเนินการทดลองปรับลดวาล์ว และปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำเข้าระบบผลิตลมร้อน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างมวลไอน้ำเข้ากับอุณหภูมิลมร้อนขาออกสถานะต่างๆ จะได้ความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.1

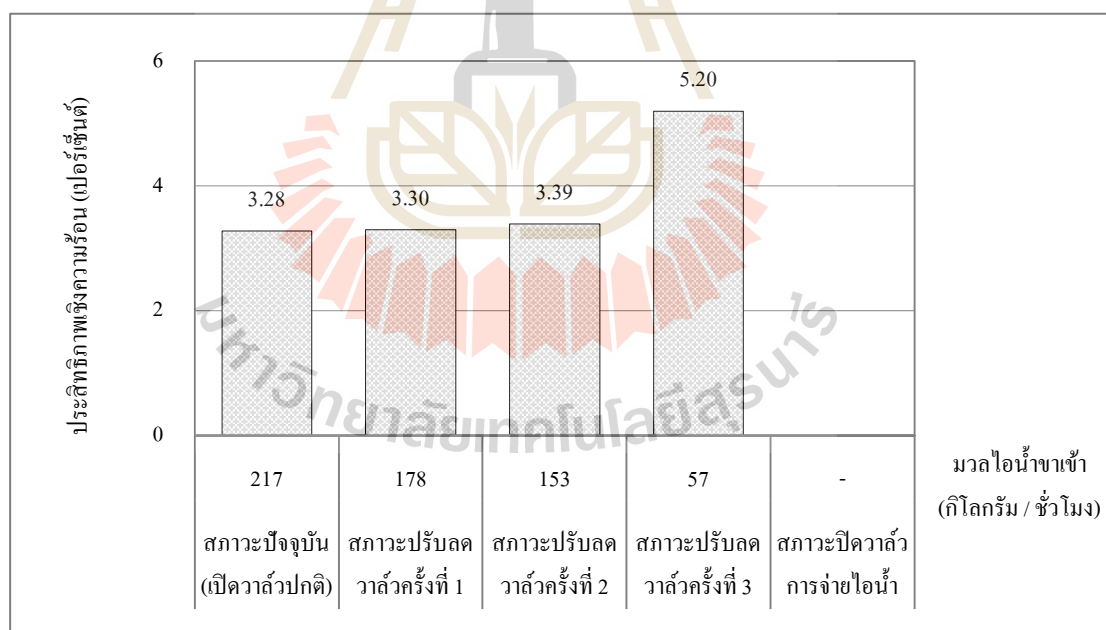


รูปที่ 4.1 อุณหภูมิลมร้อนขาออกจากระบบผลิตลมร้อน

จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนจากสถานะปัจจุบันเป็นสถานะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำให้มวลไอน้ำขาเข้าลดลง จะส่งผลกระทบทำให้ลมร้อนขาออกมีอุณหภูมิลดลงเช่นกัน แต่ลมร้อนที่อุณหภูมิลดลงกลับไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง แสดงว่าการใช้สถานะปัจจุบันที่อุณหภูมิลมร้อน 109.8 องศาเซลเซียส เป็นการใช้งานเกินความจำเป็น ส่วนสถานะปิดควาล์วการจ่ายไอน้ำจะทำให้ลมร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส ระหว่างการทดลอง พบว่าส่งผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง ทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์มีลักษณะต่างผิดปกติ ไม่สวยงาม ถือว่าเป็นของเสีย ดังนั้นอุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมต่อการใช้งานอยู่ในช่วง 50 – 67 องศาเซลเซียส

4.2 ผลกระทบด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตลมร้อน

นำข้อมูลผลการตรวจวัดของสถานะต่างๆ มาประเมินหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตลมร้อน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างมวลไอน้ำขาเข้ากับประสิทธิภาพเชิงความร้อน จะได้ความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.2



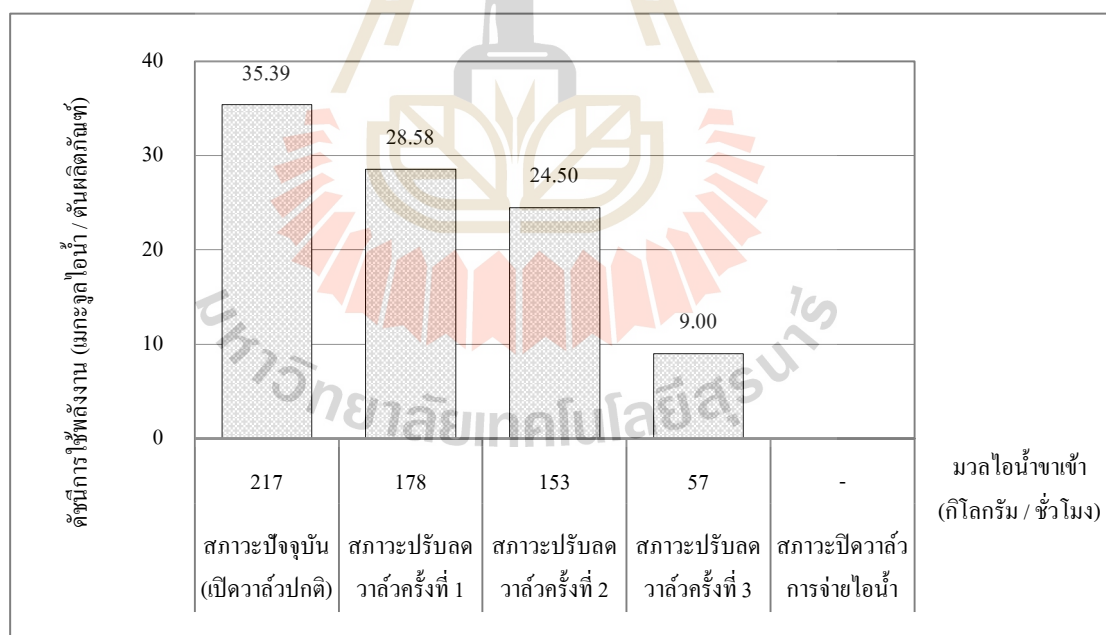
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตลมร้อน

จากรูปที่ 4.2 จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนจากสถานะปัจจุบันเป็นสถานะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำให้มวลไอน้ำขาเข้าลดลงเล็กน้อยในครั้งที่ 1 และ 2 ส่งผลกระทบทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ของระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน ซึ่งในสถานะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำครั้งที่ 3 ส่งผลกระทบทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 1.92% จากสถานะปัจจุบันที่ 3.28 เป็น 5.20% แสดงว่าสถานะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำที่เหมาะสมส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตลมร้อนเพิ่มขึ้น สำหรับสถานะปิดควาล์วการจ่ายไอน้ำ จะไม่ได้ทำการประเมินหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน เนื่องจากเมื่อปิดการจ่ายไอน้ำเข้าระบบผลิตลมร้อน แสดงว่าไม่มีมวลไอน้ำที่เข้ามาในระบบ จึงไม่มีกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้น

4.3 ผลกระทบด้านดัชนีการใช้พลังงานของระบบผลิตลมร้อน

ดัชนีการใช้พลังงาน หรือ SEC (Specific Energy Consumption) เป็นค่าที่สามารถบอกการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต หากมีค่ามากหมายถึงระบบจะใช้พลังงานสูงต่อหน่วยมากผลิต และหากมีค่าน้อยหมายถึงระบบใช้พลังงานต่ำต่อหน่วยการผลิต ซึ่งจากการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานของระบบผลิตลมร้อนจากสถานะต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างมวลไอน้ำขาเข้ากับดัชนีการใช้พลังงาน จะได้ความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.3



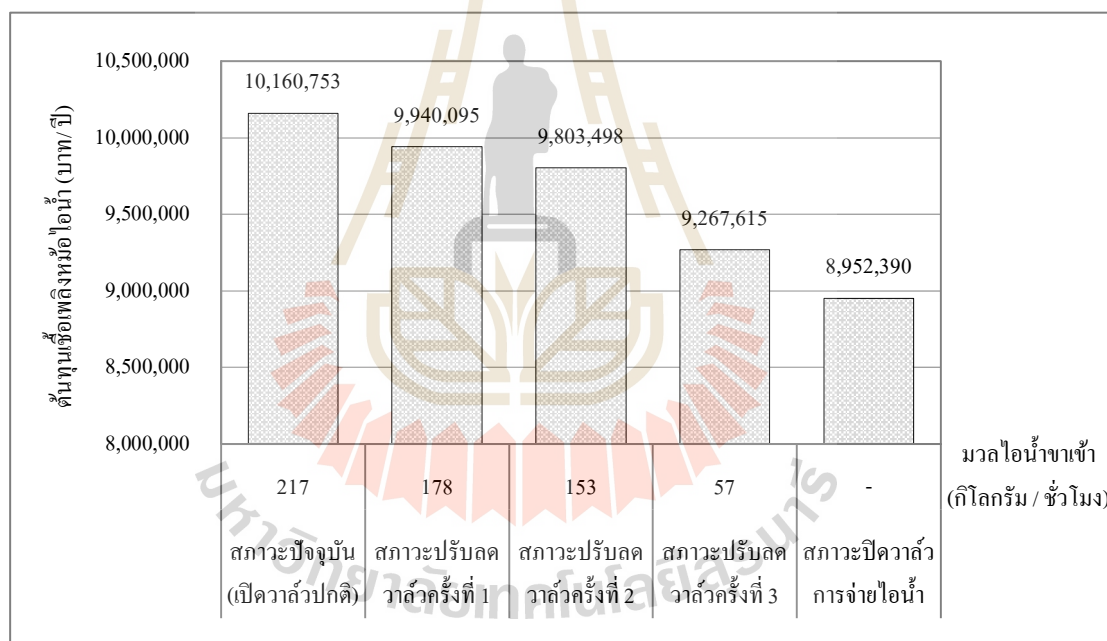
รูปที่ 4.3 ดัชนีการใช้พลังงานของระบบผลิตลมร้อน

จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนจากสถานะปัจจุบันเป็นสถานะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำให้มวลไอน้ำขาเข้าลดลง ในสถานะปัจจุบันที่มวลไอน้ำขาเข้า 217 กิโลกรัม/ชั่วโมง หากผลิตเหล็ก

แผ่นซูปจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง จำนวน 1 ตัน จะต้องใช้พลังงาน 35.39 เมกะจูลไอน้ำ แต่ในสถานะปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำครั้งที่ 3 สามารถลดดัชนีการใช้พลังงานเหลือเพียง 9.00 เมกะจูลไอน้ำ/ตันผลิตภัณฑ์ แสดงว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นคือสามารถดำเนินการผลิตได้ตามปกติโดยที่ดัชนีการใช้พลังงานมีแนวโน้มลดลง สำหรับสถานะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำจะไม่ได้ทำการคำนวณหาดัชนีการใช้พลังงานเนื่องจากไม่มีการใช้พลังงานในการผลิต และยังเป็นสถานะที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตเหล็กแผ่นซูปจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง

4.4 ผลกระทบด้านต้นทุนของน้ำมันเตา C ป้อนหม้อไอน้ำ

คำนวณหาต้นทุนของน้ำมันเตา C ป้อนหม้อไอน้ำจากสถานะต่างๆ จากนั้นเปรียบเทียบระหว่างมวลไอน้ำขาเข้ากับต้นทุนของน้ำมันเตา C จะได้ความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ต้นทุนน้ำมันเตา C ป้อนหม้อไอน้ำ

โดยปกติแล้วหม้อไอน้ำจะมีอัตราการใช้น้ำมันเตา 120.9 ลิตร/ชั่วโมง สำหรับผลิตไอน้ำป้อนทุกระบบในกระบวนการผลิต (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ง.) มีการแบ่งจ่ายมวลไอน้ำให้ระบบผลิตลมร้อนในสถานะปัจจุบัน 217 กิโลกรัม/ชั่วโมง คำนวณต้นทุนน้ำมันเตาได้ 10,160,753 บาท/ปี เมื่อเปลี่ยนเป็นสถานะปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำให้มวลไอน้ำขาเข้าลดลง ต้นทุนน้ำมันเตา

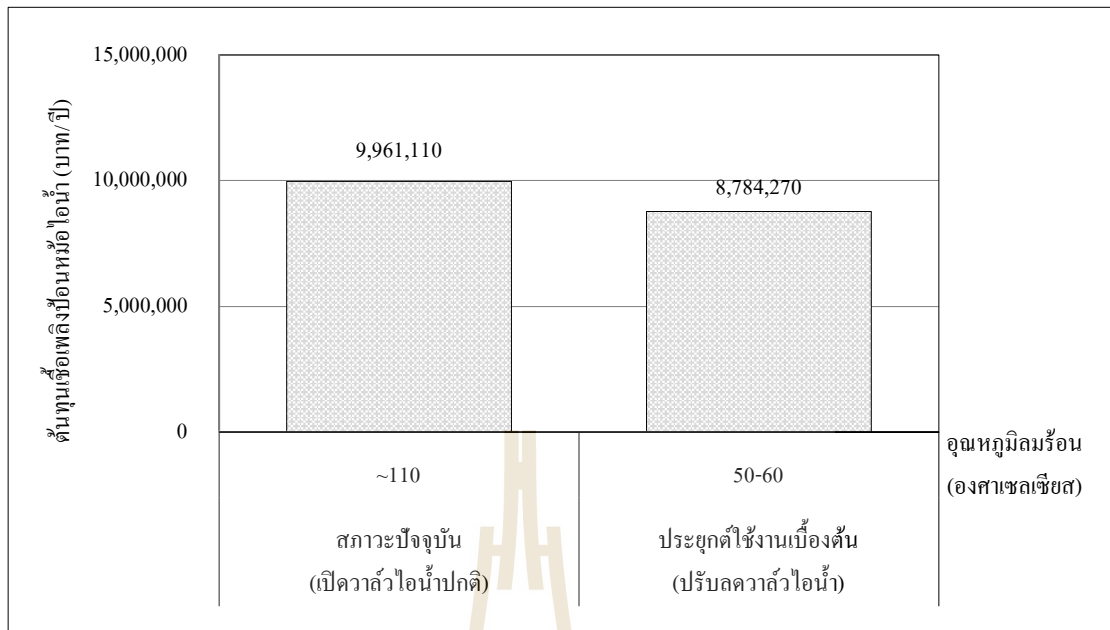
C ที่ใช้ในการผลิตไอน้ำป้อนทุกระบบในกระบวนการผลิตจะลดลงด้วยเช่นกัน โดยในสถานะปิด วาล์วการจ่ายไอน้ำครั้งที่ 3 จะมีอัตราการใช้น้ำมันเตาป้อนหม้อไอน้ำเพียง 110.3 ลิตร/ชั่วโมง แบ่งจ่ายมวลไอน้ำให้ระบบผลิตลมร้อน 57 กิโลกรัม/ชั่วโมง จำนวนต้นทุนน้ำมันเตาได้ 9,267,615 บาท ต่อปี ลดลงถึง 891,036 บาท/ปี ส่วนสถานะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำเข้าระบบผลิตลมร้อน มีอัตราการใช้น้ำมันเตาที่ 106.5 ลิตร/ชั่วโมง สามารถคำนวณต้นทุนน้ำมันเตาได้ 8,952,390 บาท/ปี แต่จะไม่มี การแบ่งจ่ายไอน้ำให้ระบบผลิตลมร้อนเนื่องจากปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำเข้าระบบผลิตลมร้อน

4.5 ผลกระทบจากการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ในกระบวนการผลิต

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจะพบว่าอุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต เหล็กแผ่นชุบจุ่มร้อนแบบต่อเนื่องมีค่าอยู่ในช่วง 50-67 องศาเซลเซียส แสดงถึงการดำเนินงานที่ ผ่านมาใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นการใช้พลังงานเกินความจำเป็น นอกจากนี้การ ทดลองที่ผ่านมา ทำการทดลองที่ความหนาเหล็กแผ่น 0.30 มิลลิเมตรเท่านั้น แต่สำหรับการ ประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ในกระบวนการผลิตจะเก็บข้อมูลต่อเนื่องนาน 80 ชั่วโมง ซึ่งจากการวาง แผนการผลิต ทำให้ต้องเลือกประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ที่ความหนาเหล็กแผ่นไม่เกิน 0.40 มิลลิเมตร และประยุกต์ใช้ลมร้อนป้อนกระบวนการผลิตด้วยอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลอง ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส สามารถดำเนินการผลิตได้ ตามปกติ ไม่เกิดผลกระทบในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง (รายละเอียดผลการทดลองในภาคผนวก จ.) เมื่อนำข้อมูลของสถานะที่ได้ทำการทดลอง มาคำนวณ ต้นทุนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C ป้อนหม้อไอน้ำ จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.5 ต้นทุนน้ำมันเตา C จากการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ในกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 4.5 จะพบว่าโดยปกติหม้อไอน้ำมีต้นทุนน้ำมันเตา C 9,961,110 บาท/ปี สำหรับผลิตไอน้ำให้ทุกระบบในกระบวนการผลิต และแบ่งจ่ายให้ระบบผลิตลมร้อนที่สถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำปกติ) ผลิตลมร้อนอุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส แต่เมื่อได้ทดลองสถานะประยุกต์ใช้งานเบื้องต้นในกระบวนการผลิต ซึ่งปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำเข้าระบบผลิตลมร้อน จนทำให้ลมร้อนที่ได้จากกระบวนการผลิตลมร้อนมีอุณหภูมิช่วง 50-60 องศาเซลเซียส ส่งผลกระทบทำให้สามารถลดต้นทุนน้ำมันเตา C ป้อนหม้อไอน้ำเป็น 8,784,270 บาท/ปี แสดงว่าต้นทุนลดลง 1,176,840 บาท/ปี

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากจุดประสงค์การดำเนินงาน เพื่อวิเคราะห์ด้านพลังงานและเสนอแนวทางการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง ซึ่งเนื้อหาบทนี้อธิบายถึงสรุปผลการทดลองที่ผ่านมา สอดคล้องกับจุดประสงค์ของการดำเนินงาน รวมถึงระบุข้อเสนอแนะให้การดำเนินงาน

5.1 วิจัยและสรุปผลการศึกษาวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ ได้ดำเนินการศึกษาการทำงานของระบบผลิตลมร้อนของกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง ซึ่งมีการใช้ไอน้ำมาแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนกับอากาศ ผลิตลมร้อนส่งไปใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งจากการดำเนินงานมาทั้งหมดทำให้สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังนี้

อุณหภูมิของลมร้อนที่ต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส จากการทดลองปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง ทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์มีลักษณะต่างผิดปกติ ไม่สวยงาม แต่จากการทดลองปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำให้เหมาะสมจนได้สถานะที่สามารถผลิตลมร้อนได้อุณหภูมิช่วง 50-67 องศาเซลเซียส กับไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต แสดงให้เห็นว่าที่ผ่านมามีการใช้ลมร้อนอุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส เป็นการใช้พลังงานมากเกินไป

ระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปัจจุบันที่มีการเปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำปกติ มีผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็น 3.28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำให้เหมาะสมส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็น 5.20 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นจากเดิม 1.92 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามถือได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเชิงต่ำมาก ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ อาทิ เป็นเทคโนโลยีเก่ากว่า 20 ปี มีระยะเวลาไม่น้อยมากในการแลกเปลี่ยนแลกเปลี่ยนความร้อน และอากาศที่ป้อนเข้าไปมีความลมเร็วสูง

สำหรับดัชนีการใช้พลังงาน โดยปกติการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง จำนวน 1 ตัน ระบบผลิตจุ่มร้อนจะต้องใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำ 35.39 เมกะจูล เมื่อปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำให้เหมาะสม ส่งผลให้ดัชนีการใช้พลังงานลดลงเป็น 9.00 เมกะจูล/ตันผลิตภัณฑ์

โดยปกติหม้อไอน้ำมีการผลิตไอน้ำป้อนทุกระบบในกระบวนการผลิต และแบ่งจ่ายมวลไอน้ำให้ระบบผลิตจุ่มร้อนในสถานะปัจจุบันที่มีการเปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำปกติ จะมีต้นทุนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C เป็น 10,160,753 บาท/ปี เมื่อปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำให้เหมาะสม ส่งผลให้มีต้นทุนน้ำมันเตา C เป็น 9,267,615 บาท/ปี ต้นทุนลดลงถึง 891,036 บาท/ปี

เมื่อนำแนวทางมาปรับปรุงประยุกต์ใช้งานเบื้องต้นในกระบวนการผลิต โดยปรับลดวาล์วการจ่ายไอน้ำอีกเล็กน้อยให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ลมร้อนที่ได้จากระบบผลิตจุ่มร้อนจะมีอุณหภูมิช่วง 50-60 เซลเซียส สามารถผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง ที่มีความหนาไม่เกิน 0.40 มิลลิเมตร ได้ตามปกติและไม่เกิดผลกระทบในกระบวนการผลิตกว่า 80 ชั่วโมง ทำให้ต้นทุนน้ำมันเตา C ลดลงถึง 1,176,840 บาท/ปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากผลการประเมินจะพบว่าประสิทธิภาพเชิงการประเมินมีค่าที่ต่ำมาก เนื่องจากไม่สามารถตรวจวัดเก็บข้อมูลต่างๆ ได้โดยตรง ควรมีการค้นหาวิธีการเก็บข้อมูลที่แม่นยำกว่านี้ รวมถึงควรหาวิธีการสอบกลับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดหรือการประเมิน อาทิ ตรวจวัดปริมาณน้ำคอนเดนเสทขาออกที่แท้จริง เปรียบเทียบกับมวลไอน้ำขาเข้าที่ได้จากการประเมิน

5.2.2 ควรมีการตรวจสอบ วิเคราะห์ จำนวน ปริมาณความต้องการพลังงานความร้อนจากจุ่มร้อนของกระบวนการผลิต

5.2.3 ควรมีการเก็บข้อมูลการประยุกต์ใช้การให้มากกว่า 80 ชั่วโมง นำทำให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อน้ำมันเตา

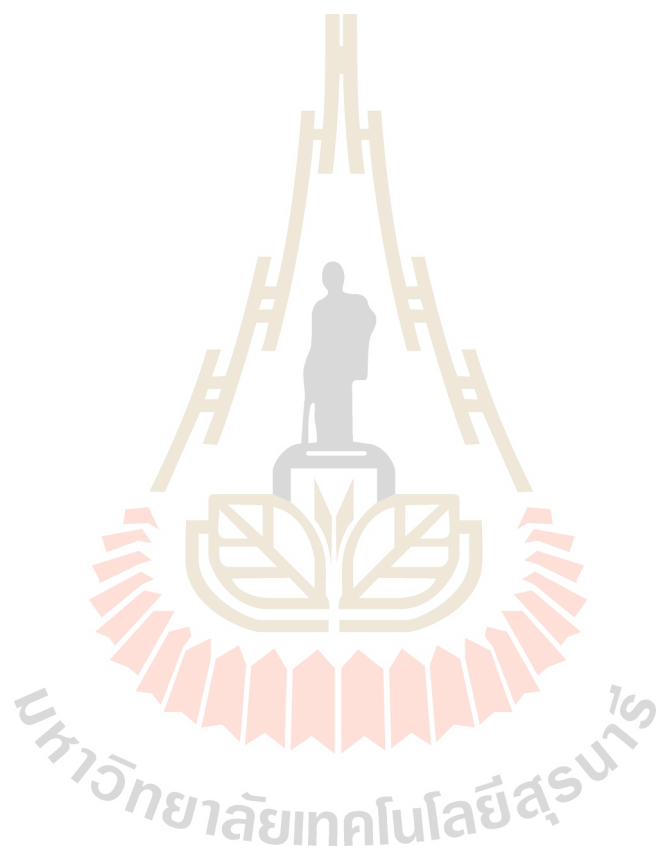
5.2.4 ไม่ได้มีวิเคราะห์เก็บข้อมูลขึ้นกับเวลา เป็นเพียงการตรวจวัด 1 ครั้ง/ชั่วโมง ทำให้ไม่ทราบถึงผลกระทบ เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของผลิตภัณฑ์ในการผลิต

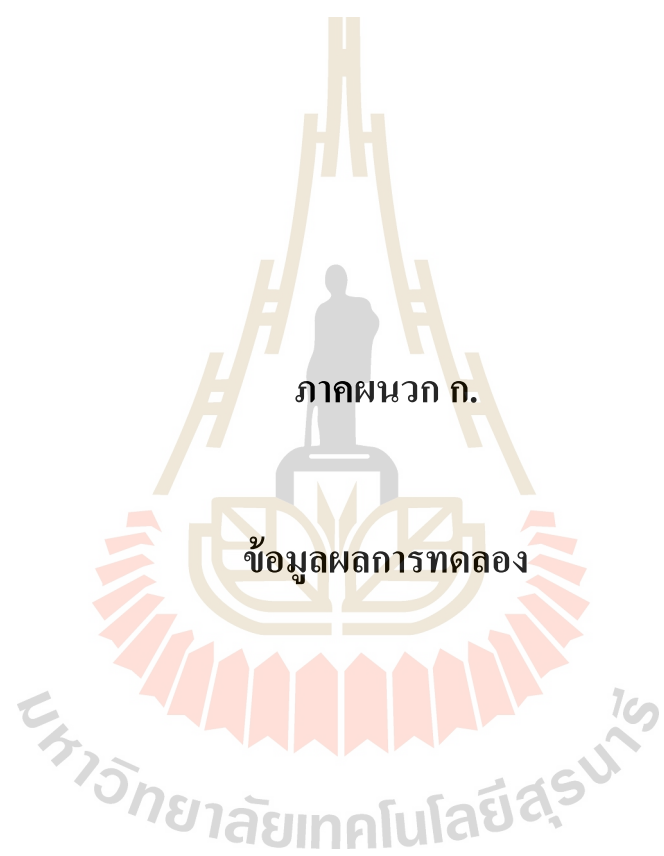
รายการอ้างอิง

- [1] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์ (2545). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กชุบเคลือบสังกะสี [ออนไลน์]. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. ได้จาก : <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/70>
- [2] ชีรวัฒน์ คลับคล้าย และ ชีระชาติ พรพิบูลย์ (2555). แบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของกระบวนการต้มและอุ่นน้ำอ้อยแบบหลายขั้นตอนในกระบวนการผลิตน้ำตาล. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8 (E-NETT8th). 2-4 พฤษภาคม 2555
- [3] พรเทพ กลิ่นรอด, วันชัย ทรัพย์ศิริ และ อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ (2548). การประหยัดไอน้ำในกระบวนการผลิตผลไม้ประป่อง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19 (ME-NETT19th). 19-21 ตุลาคม 2548
- [4] นายวรุฒม์ บุญภักดี (2550). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ Solvent Recovery โดยวิธีการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม : กรณีศึกษา บริษัท ยูเนี่ยนไทย-นิจิบัน จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [5] บริษัท คอมพลีท เอ็นจิเนียริง แอนด์ เซอร์วิส จำกัด. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchangers) [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.completesengineering.com/style/article_heat%20exchanger1.pdf อ้างถึง Yunus A. cengel and Afshin J. ghajar (2011). **Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications 4th edition**. McGraw-Hill Companies, Inc.
- [6] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ (2558). การออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [7] จรัส จีรวินบูลย์ (2553). หม้อไอน้ำฉบับใช้ในโรงงาน. สำนักพิมพ์ ศ.ศ.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [8] โอตปี กกกำแหง (2552). การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อไอน้ำ. จุลสารก๊าซไลน์ ปีที่ 20 ฉบับที่ 75. บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

[9] สมชัย อัครทิวา และ ขวัญจิต วงษ์ชารี. **เทอร์โมไดนามิกส์**. สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล. อ้างถึง

Yunus A. Cengel and Michael A. Boles (2011). **Thermodynamics: An Engineering Approach, 7th edition**. McGraw-Hill International Enterprises, Inc.





ภาคผนวก ก.

ข้อมูลผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 ข้อมูลผลการตรวจวัดในสภาวะปัจจุบัน (เปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำปกติ)

ตารางที่ ก.1-1 อุณหภูมิและความดันของระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปัจจุบัน

รายละเอียด	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิ (°C)				ความดัน (kPa)	
		ไอน้ำ (T ₁)	อากาศ (T ₂)	คอนเดนเสท (T ₃)	ลมร้อน (T ₄)	ขาเข้า (P ₁)	ขาออก (P ₃)
สภาวะปัจจุบัน (เปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำปกติ)	1	148.2	29.1	108	110.4	446	446
	2	150.3	28.7	110	109.2	446	446
	3	149.1	28.3	107	109.3	446	446
	4	152.5	29.2	110	110.1	446	446
	5	152.6	28.5	109	109.0	446	446
	6	150.5	27.3	107	111.3	446	446
	7	152.3	29.0	112	110.4	446	446
	8	148.0	28.1	109	109.0	446	446
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (°C)		150.4	28.5	109.0	109.8		

ตารางที่ ก.1-2 ตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปัจจุบัน

รายละเอียด	ชั่วโมง ที่	ความเร็วลม อากาศขาเข้า (m/s)		มิเตอร์ น้ำมันเตา (l)	อุณหภูมิ ระบบอื่นๆ (°C)		
		ความเร็วลม	ค่าเฉลี่ย		สารเคมี 1	สารเคมี 2	น้ำร้อน
				569238			
สภาวะปัจจุบัน (เปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำปกติ)	1	12.4	12.0	569371	55.2	58.2	65.5
	2	11.5		569503	56.8	57.8	65.3
	3	12.3		569624	57.4	58.2	64.9
	4	13.4		569745	55.6	58	65.1
	5	9.5		569841	58.2	57.6	66.2
	6	11.0		569936	57.1	58.4	65.5
	7	11.5		570071	57	58	65.5
	8	14.3		570205	55.2	57.9	66.1
ค่าเฉลี่ยเชื้อเพลิงน้ำมันเตา (l/h)				120.9			

ก.2 ข้อมูลผลการตรวจวัดในสภาวะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ

ตารางที่ ก.2-1 อุณหภูมิและความดันของระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ

รายละเอียด	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิ (°C)				ความดัน (kPa)	
		ไอน้ำ (T ₁)	อากาศ (T ₂)	คอนเดนเสท (T ₃)	ลมร้อน (T ₄)	ขาเข้า (P ₁)	ขาออก (P ₃)
สภาวะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ	1	ปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ	28.7	ปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ	48.9	ปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ	
	2		28.4		48.8		
	3		28.5		49.3		
	4		28.5		48.3		
	5		29.0		48.3		
	6		28.3		47.9		
	7		29.3		46.4		
	8		29.1		50.0		
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (°C)		28.7		48.5			

ตารางที่ ก.2-2 ตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ

รายละเอียด	ชั่วโมงที่	ความเร็วลม อากาศขาเข้า (m/s)		มิเตอร์ น้ำมันเตา (l)	อุณหภูมิ ระบบอื่นๆ (°C)		
		ความเร็วลม	ค่าเฉลี่ย		สารเคมี1	สารเคมี2	น้ำร้อน
				570428			
สภาวะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ	1	9.4	11.8	570535	56.3	58	65.5
	2	13.9		570641	56.9	58.1	65.8
	3	14.6		570750	56.5	58.2	65.9
	4	9.5		570859	56.1	58.1	65.9
	5	12.5		570966	56.4	58.2	65.9
	6	9.3		571073	56.6	57.9	66
	7	13.8		571177	56.4	57.9	65.9
	8	11.5		571280	56.5	58.2	65.8
ค่าเฉลี่ยเชื้อเพลิงน้ำมันเตา (l/h)				106.5			



ก.3 ข้อมูลผลการตรวจวัดในสภาวะปรับลดความถี่การจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.3-1 อุณหภูมิและความดันของระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปรับลดความถี่การจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 1

รายละเอียด	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิ (°C)				ความดัน (kPa)	
		ไอน้ำ (T ₁)	อากาศ (T ₂)	คอนเดนเสท (T ₃)	ลมร้อน (T ₄)	ขาเข้า (P ₁)	ขาออก (P ₃)
สภาวะปรับลดความถี่ครั้งที่ 1	1	123.5	31.7	98.1	99.9	221	221
	2	125.1	32.6	98.2	98.3	221	221
	3	124.5	30.2	97.5	98.8	221	221
	4	124.5	33.1	98.0	99.0	221	221
	5	123.7	32.9	98.2	100.8	221	221
	6	125.0	31.1	97.7	96.8	221	221
	7	124.5	30.2	98.0	99.0	221	221
	8	123.8	32.4	98.5	98.7	221	221
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (°C)		124.3	31.8	98.0	98.9		

ตารางที่ ก.3-2 ตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตความร้อน ในสภาวะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำครั้งที่ 1

รายละเอียด	ชั่วโมงที่	ความเร็วลมอากาศเข้า (m/s)		มิเตอร์น้ำมันเตา (l)	อุณหภูมิ ระบบอื่นๆ (°C)		
		ความเร็วลม	ค่าเฉลี่ย		สารเคมี1	สารเคมี2	น้ำร้อน
				744069			
สภาวะปรับลดควาล์วครั้งที่ 1	1	12.3	12.2	744189	58.5	58.5	66.5
	2	12.0		744305	57	57.5	65.2
	3	11.3		744428	56.6	57.9	64.7
	4	9.3		744546	56	58.2	66.2
	5	13.5		744660	56.2	58	65.5
	6	9.8		744781	57.1	58.4	65
	7	14.8		744899	56.6	57.4	65.8
	8	14.5		745015	55.5	57.9	66.1
ค่าเฉลี่ยเชื้อเพลิงน้ำมันเตา (l/h)				118.3			

ก.4 ข้อมูลผลการตรวจวัดในสภาวะปรับลดความถี่การจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.4-1 อุณหภูมิและความดันของระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปรับลดความถี่การจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 2

รายละเอียด	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิ (°C)				ความดัน (kPa)	
		ไอน้ำ (T ₁)	อากาศ (T ₂)	คอนเดนเสท (T ₃)	ลมร้อน (T ₄)	ขาเข้า (P ₁)	ขาออก (P ₃)
สภาวะปรับลดความถี่ครั้งที่ 2	1	115.5	29.8	91.0	90.3	161	161
	2	114.2	28.9	90.5	88.1	161	161
	3	111.6	28.8	90.2	87.6	161	161
	4	112.1	28.6	90.5	89.1	161	161
	5	115.2	28.6	89.9	88.5	161	161
	6	110.4	28.5	89.8	87.5	161	161
	7	114.2	28.0	90.5	89.2	161	161
	8	116.5	27.8	91.2	90.3	161	161
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (°C)		113.7	28.6	90.5	88.8		

ตารางที่ ก.4-2 ตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตความร้อน ในสภาวะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำครั้งที่ 2

รายละเอียด	ชั่วโมงที่	ความเร็วลมอากาศเข้า (m/s)		มิเตอร์น้ำมันเตา (l)	อุณหภูมิ ระบบอื่นๆ (°C)		
		ความเร็วลม	ค่าเฉลี่ย		สารเคมี1	สารเคมี2	น้ำร้อน
				745244			
สภาวะปรับลดควาล์วครั้งที่ 2	1	12.7	12.7	745363	57.7	57.6	66.2
	2	12.5		745478	56.6	57.6	66.2
	3	11.8		745594	56.2	58.1	65.4
	4	13.5		745713	58.5	57.5	64.9
	5	13.5		745833	57.7	58.2	65.9
	6	10.7		745951	58.1	57.9	65.9
	7	12.5		746062	56.6	57.2	66
	8	14.3		746177	56	57.5	65.2
ค่าเฉลี่ยเชื้อเพลิงน้ำมันเตา (l/h)				116.6			

ก.5 ข้อมูลผลการตรวจวัดในสภาวะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.5-1 อุณหภูมิและความดันของระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 3

รายละเอียด	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิ (°C)				ความดัน (kPa)	
		ไอน้ำ (T ₁)	อากาศ (T ₂)	คอนเดนเสท (T ₃)	ลมร้อน (T ₄)	ขาเข้า (P ₁)	ขาออก (P ₃)
สภาวะปรับลดควาล์วครั้งที่ 3	1	97.2	28.0	53.3	67.7	101	101
	2	98.6	30.2	53.3	66.2	101	101
	3	97.5	29.5	53.7	66.5	101	101
	4	98.5	31.1	52.8	67.4	101	101
	5	97.7	32.3	53.2	67.9	101	101
	6	98.2	32.5	53.7	67.9	101	101
	7	97.7	34.0	54.0	68.4	101	101
	8	98.0	33.1	54.0	69.3	101	101
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (°C)		97.9	31.3	53.50	67.7		

ตารางที่ ก.5-2 ตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตความร้อน ในสภาวะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 3

รายละเอียด	ชั่วโมง ที่	ความเร็วลม อากาศขาเข้า (m/s)		มิเตอร์ น้ำมันเตา (l)	อุณหภูมิ ระบบอื่นๆ (°C)		
		ความเร็วลม	ค่าเฉลี่ย		สารเคมี1	สารเคมี2	น้ำร้อน
				611496			
สภาวะปรับลดควาล์วครั้งที่ 3	1	13.1	12.0	611590	54.3	58.59	65.92
	2	11.5		611693	54.39	57.81	65.33
	3	9.5		611822	54.83	58.45	64.99
	4	13.5		611951	55.27	58.15	64.89
	5	11.3		612062	55.91	57.96	65.33
	6	12.4		612174	55.81	58.01	66.26
	7	14.2		612276	55.32	57.91	65.86
	8	11.1		612378	54.42	58.01	65.14
ค่าเฉลี่ยเชื้อเพลิงน้ำมันเตา (l/h)				110.3			

ก.6 ข้อมูลค่าเอนโทรปีในสถานะต่างๆ

จากข้อมูลการตรวจวัดไอน้ำขาเข้าในสถานะต่างๆ จะมีค่าอุณหภูมิและความดันจึงสามารถนำมาเปิดตารางไอน้ำเพื่อหาค่าเอนโทรปี ส่วนคอนเดนเสทขาออกของระบบผลิตลมร้อน จะพบว่าความดันขาออกเท่ากับขาเข้าแต่อุณหภูมิลดลง แสดงว่าไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงจากสถานะไอน้ำอิ่มตัวเป็นของเหลวอิ่มตัว ดังนั้นค่าเอนโทรปีของคอนเดนเสทขาออกจึงสามารถเปิดจากตารางไอน้ำได้เช่นกัน ซึ่งจะได้ค่าเอนโทรปีดังตารางที่ ก.6-1

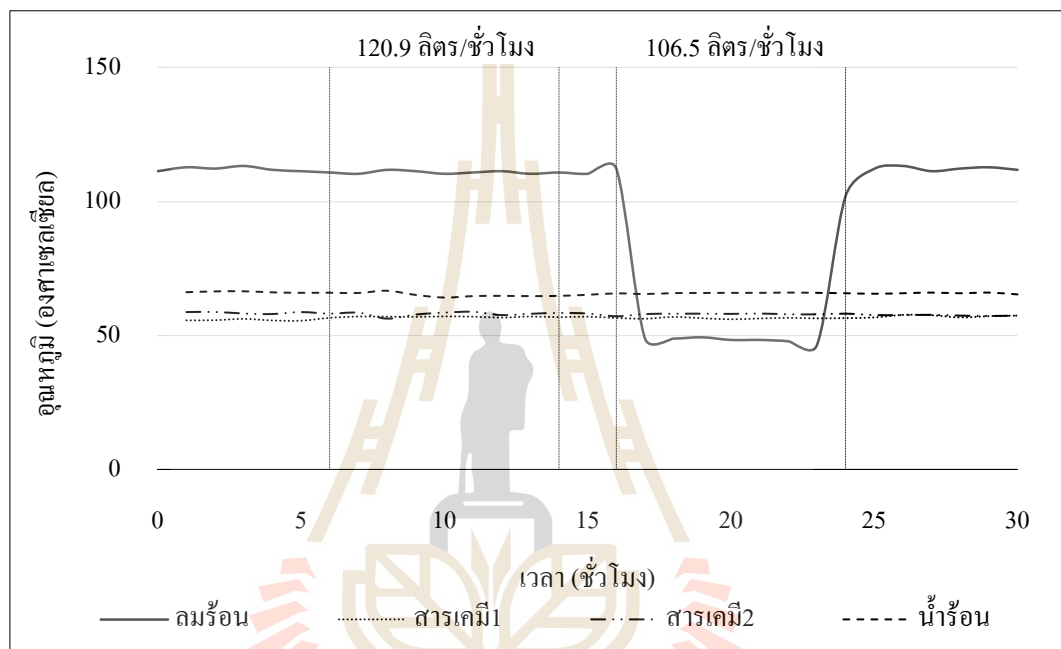
ตารางที่ ก.6-1 ค่าเอนโทรปีในสถานะต่างๆ

รายละเอียด	ไอน้ำขาเข้า			คอนเดนเสทขาออก		
	อุณหภูมิ °C	ความดัน kPa	เอนโทรปี kJ/kg	อุณหภูมิ °C	ความดัน kPa	เอนโทรปี kJ/kg
สถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วจ่ายไอน้ำปกติ)	150.4	446	2745.9	109.0	446	461.42
สถานะปรับลดวาล์ว ครั้งที่ 1	124.3	221	2713.1	98.0	221	419.17
สถานะปรับลดวาล์ว ครั้งที่ 2	113.7	161	2698.6	90.5	161	377.04
สถานะปรับลดวาล์ว ครั้งที่ 3	97.9	101	2,675.6	53.50	101.42	209.34
สถานะปิดวาล์ว การจ่ายไอน้ำ	-	-	-	-	-	-



ข.1 ผลกระทบของระบบต่อกระบวนการผลิตในสภาวะปัจจุบันและสภาวะปิดการจ่ายไอน้ำ

จากการศึกษาผลกระทบของระบบต่อกระบวนการผลิต ในสภาวะปัจจุบัน (เปิดการจ่ายไอน้ำปกติ) และสภาวะปิดการจ่ายไอน้ำ เมื่อนำข้อมูลผลการตรวจวัดอุณหภูมิลมร้อนมาขึ้นกับเวลา และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของระบบอื่นๆ ที่ใช้ไอน้ำ จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

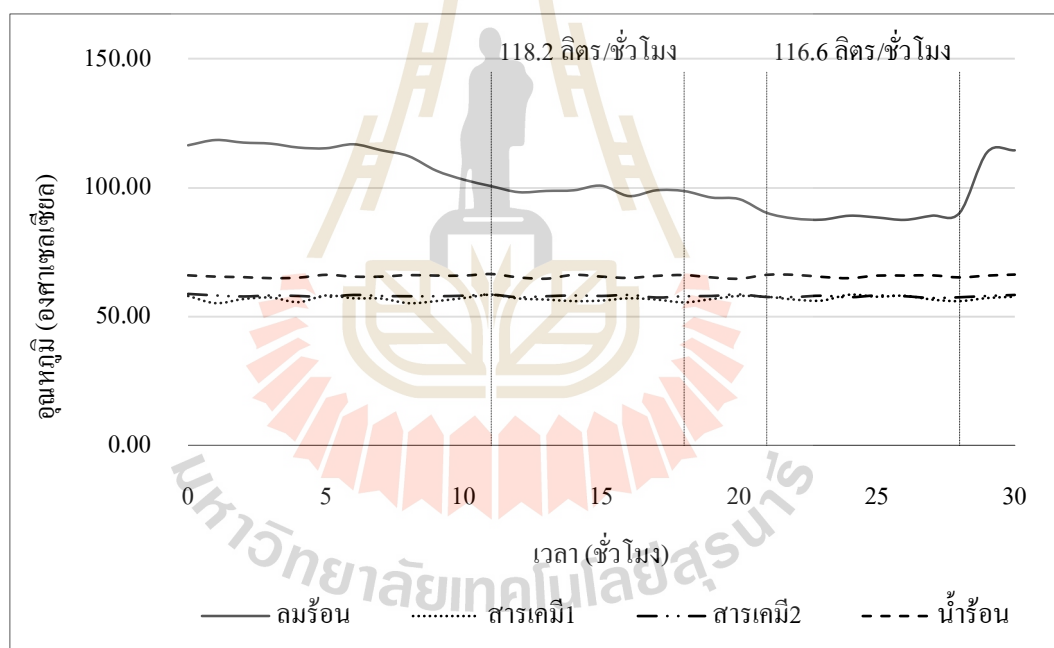


รูปที่ ข.1-1 อุณหภูมิลมร้อนและอุณหภูมิสารระบบอื่นๆ ในสภาวะปัจจุบันและสภาวะปิดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน

จากรูปที่ ข.1-1 จะพบว่าการผลิตในสภาวะปัจจุบัน ลมที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 111 องศาเซลเซียส และน้ำมันเตาที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำมีอัตราการใช้ที่ 120.9 ลิตร/ชั่วโมง เมื่อทดลองปิดการจ่ายไอน้ำ ลมร้อนมีอุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส น้ำมันเตามีอัตราการใช้ที่ 106.5 ลิตร/ชั่วโมง ลดลง 14.4 ลิตร/ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อปิดการจ่ายไอน้ำจะไม่ส่งผลกระทบทำให้อุณหภูมิของสารในระบบอื่นๆ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเพราะลมร้อนมีอุณหภูมิต่ำมากเกินไป ไม่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต

ข.2 แนวโน้มผลกระทบของระบบต่อกระบวนการผลิตในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำครั้งที่ 1 และ 2

จากการศึกษาผลกระทบของระบบผลิตลมร้อนต่อกระบวนการผลิต ในสภาวะปัจจุบันและสภาวะปิดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน อุณหภูมิของลมร้อนจะลดลงต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส และส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต แสดงว่าจะต้องมีช่วงอุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมภายในช่วง 50 - 110 องศาเซลเซียส จึงดำเนินการทดลองปรับลดการจ่ายไอน้ำเล็กน้อยเพื่อศึกษาแนวโน้มของผลกระทบของระบบ โดยให้ผลิตลมร้อนอยู่ในช่วง 90 - 100 องศาเซลเซียส และต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อน และอุณหภูมิสารที่ทางออกของระบบอื่นๆ ที่ใช้ไอน้ำ จะมีความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ ข.2-1 อุณหภูมิลมร้อนและอุณหภูมิสารระบบอื่นๆ
ในสภาวะปรับลดควาล์วการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน ครั้งที่ 1 และ 2

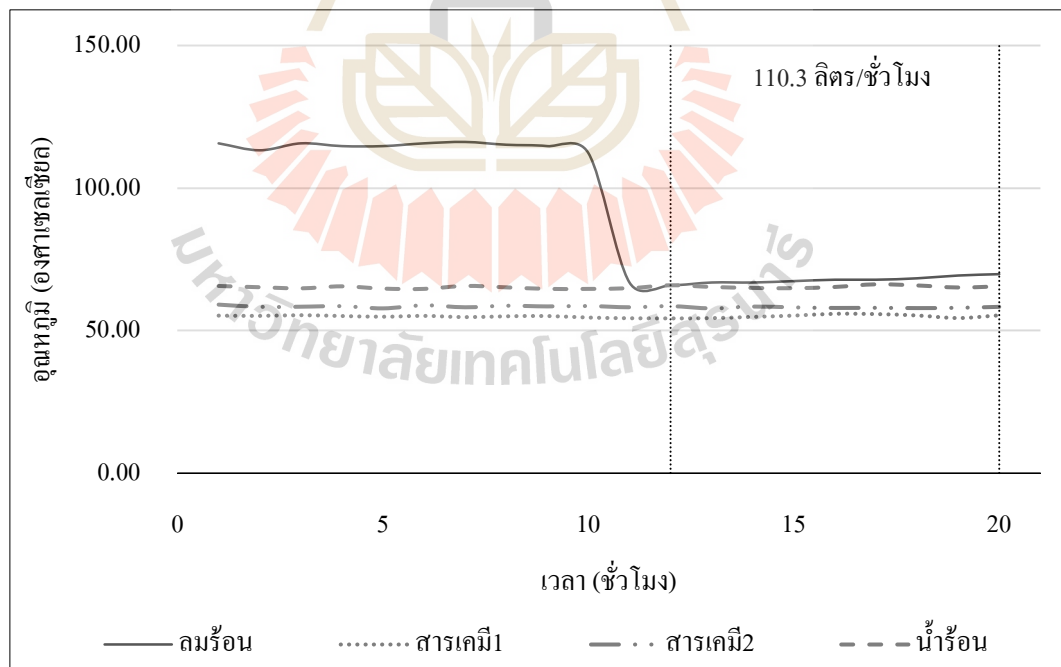
รูปที่ ข.2-1 จะพบว่า การปรับลดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน เพื่อศึกษาแนวโน้มผลกระทบที่เกิดขึ้น เมื่อปรับลดไอน้ำครั้งที่ 1 ให้ลมร้อนอุณหภูมิช่วง 90 - 100 องศาเซลเซียส จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยลมร้อนเฉลี่ยที่ 98.9 องศาเซลเซียส มีอัตราการใช้น้ำมันเตา 118.2 ลิตรต่อชั่วโมง และ

ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต รวมถึงไม่ทำให้ระบบอื่นๆที่ใช้ไอน้ำ มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปรับลดไอน้ำครั้งที่ 2 ให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยลมร้อนเฉลี่ยที่ 88.80 องศาเซลเซียส มีอัตราการใช้น้ำมันเตา 116.6 ลิตรต่อชั่วโมง และไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเช่นกัน รวมถึงไม่ทำให้ระบบอื่นๆที่ใช้ไอน้ำ มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาแนวโน้มผลกระทบการปรับลดการจ่ายไอน้ำ ทำให้ทราบว่าหากสามารถดำเนินการปรับลดการจ่ายไอน้ำให้เหมาะสมจะไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และยังสามารถทำให้ต้นทุนการผลิตจากน้ำมันเตาลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ในช่วง 50 - 88 องศาเซลเซียส

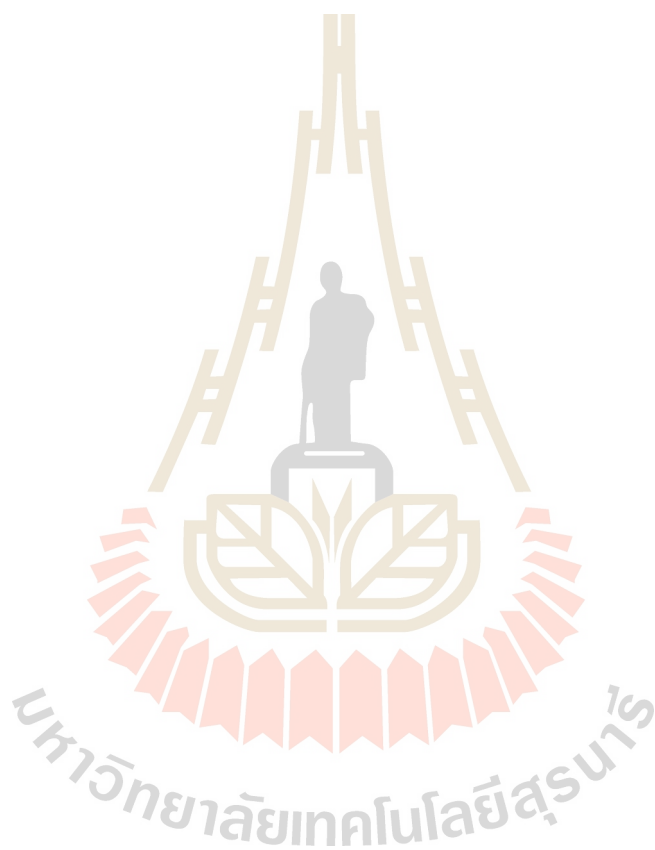
ข.3 ผลกระทบของระบบต่อกระบวนการผลิตในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ ครั้งที่ 3

ทดลองปรับลดการจ่ายไอน้ำอีกครั้ง (ครั้งที่ 3) โดยกำหนดให้ลมร้อนมีอุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส ปรับลดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อนเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อน และอุณหภูมิสารที่ทางออกของระบบอื่นๆ ที่ใช้ไอน้ำเช่นกัน จะมีความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ ข.3-1 อุณหภูมิลมร้อนและอุณหภูมิสารระบบอื่นๆ
ในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน ครั้งที่ 3

จากรูปที่ ข.2-1 จะพบว่าเมื่อเข้าสู่สภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำครั้งที่ 3 ลมร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 67.7 องศาเซลเซียส น้ำมันเตามีอัตราการใช้ที่ 110.3 ลิตร/ชั่วโมง และยังพบอีกว่าเมื่อปรับลดการจ่ายไอน้ำจะไม่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิของสารในระบบอื่นๆ เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเพราะลมร้อนมีอุณหภูมิเพียงพอกับกระบวนการผลิต



The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a large, stylized emblem. It features a central figure of a person standing on a pedestal, surrounded by a circular base with a gear-like pattern. Above the figure are several vertical lines of varying heights, resembling a stylized 'H' or a traditional architectural element. The entire logo is rendered in a light beige or gold color.

ภาคผนวก ค.

การประเมินหมวลไอน้ำ และหมวลอากาศป้อนระบบผลิตหมร้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ค.1 การประเมินหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตความร้อน

เนื่องจากระบบผลิตความร้อน ไม่มีข้อมูลและมีเตอร์วัดปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่ระบบ จึงจำเป็นต้องประเมินหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตความร้อนจากความแตกต่าง ระหว่างการใช้ในสภาวะปัจจุบัน (เปิดการจ่ายไอน้ำปกติ) กับ การทดลองปิดการจ่ายไอน้ำ เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าว สำหรับประเมินศักยภาพด้านพลังงาน ซึ่งผลการตรวจวัดหมี้อไอน้ำ พบว่าดำเนินการผลิตไอน้ำที่ความดัน 446 กิโลปาสกาล อุณหภูมิ 150.5 องศาเซลเซียส ไอน้ำมีสถานะเป็นไอน้ำอิ่มตัว นำข้อมูลอัตราการใช้น้ำมันเตาที่ตรวจวัดได้มาคำนวณด้วยสมการที่ 2-5 รายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้

ตารางที่ ค.1-1 ตัวแปรสำหรับการคำนวณมวลไอน้ำป้อนระบบผลิตความร้อนในสภาวะปัจจุบัน

รายละเอียด		สภาวะปัจจุบัน	ปิดการจ่ายไอน้ำ
ประสิทธิภาพหมี้อไอน้ำ (η)	เปอร์เซ็นต์	90	90
เอนโทรปีไอน้ำ 500 กิโลปาสกาล (h_g)	กิโลจูล/กิโลกรัม	2,748.1	2,748.1
เอนโทรปีน้ำ 80 องศาเซลเซียส (h_f)	กิโลจูล/กิโลกรัม	335.02	335.02
ปริมาณน้ำมันเตา (q)	ลิตร/ชั่วโมง	120.9	106.5
ปริมาณน้ำมันเตา (q)	กิโลกรัม/ชั่วโมง	113.30	99.80
ค่าความร้อนของน้ำมันเตา (HV)	กิโลจูล/กิโลกรัม	43,238	43,238

การคำนวณหามวลไอน้ำจากหมี้อไอน้ำจะใช้สมการที่ 2-5

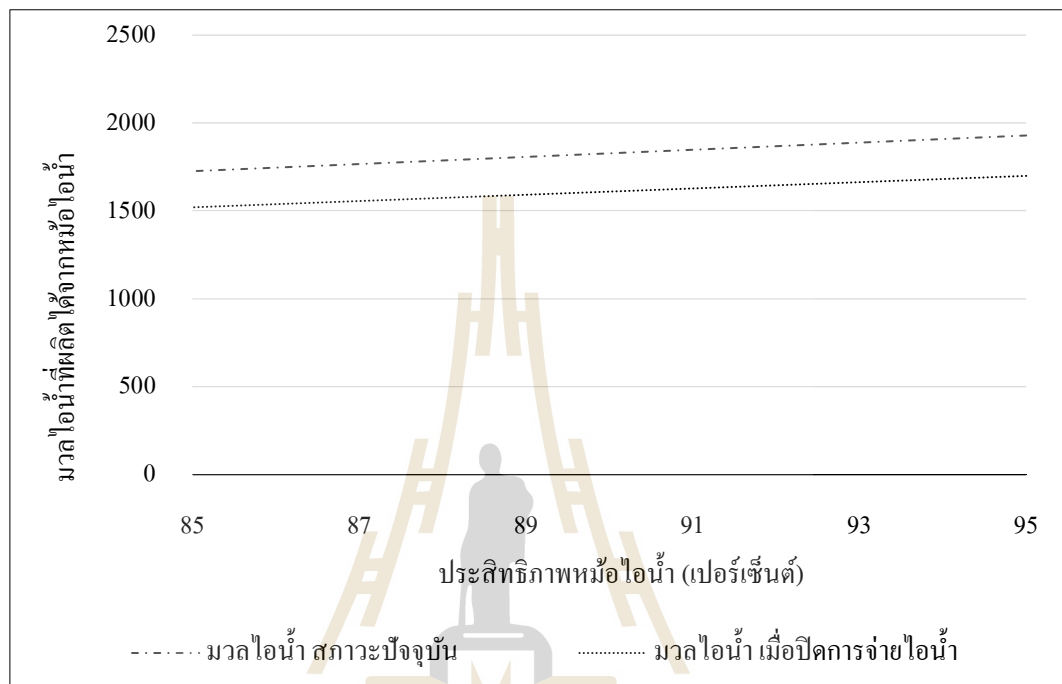
$$\eta = \frac{Q_v(h_g - h_f)}{qHV} \times 100 \quad (2-5)$$

เมื่อแทนตัวแปรต่างๆจากสภาวะปกติ โดยสมมติให้ประสิทธิภาพของหมี้อไอน้ำเป็น 90%

$$90 = \frac{Q_v(2,748.1 - 335.02)}{113.30 \times 43,238} \times 100$$

$$Q_v = 1,827 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

กรณีประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเป็น 90% จะได้มวลไอน้ำจากหม้อไอน้ำในสถานะปัจจุบัน 1,827.04 กิโลกรัม/ชั่วโมง ทำการคำนวณเช่นเดิมแต่คำนวณจากกรณีหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบจะได้ดังรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1-1 มวลไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ กรณีหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพ 85-95 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ ค.1 จะพบว่าผลต่างของมวลไอน้ำระหว่าง 2 สถานะ ที่ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ 85-95 เปอร์เซ็นต์ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ประกอบกับข้อมูลจากรูปที่ ข.1-1 จะพบว่าเมื่อปิดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อระบบอื่นๆที่มีการใช้ไอน้ำเช่นกัน จึงสามารถประเมินได้ว่าผลต่างของมวลไอน้ำระหว่าง 2 สถานะ เป็นมวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อนในสถานะปัจจุบัน

และจากการตรวจสอบข้อมูลการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร พบว่า หม้อไอน้ำมีผลการทดสอบประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ เป็นไปได้ว่าขณะผลิตซึ่งมีน้ำคอนเดนเสทวนกลับมาป้อนหม้อไอน้ำจะทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงกว่าใกล้เคียง 85 เปอร์เซ็นต์

ทั้งนี้หากหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อคำนวณเช่นเดียวกัน สำหรับการปิดการจ่ายไอน้ำจะได้มวลไอน้ำจากหม้อไอน้ำเป็น 1,609.43 กิโลกรัม/ชั่วโมง จะพบว่าผลต่างของทั้ง

สองสถานะเป็น 217.61 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งสามารถประเมินได้ว่าเป็นมวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปัจจุบัน

ทำการคำนวณเช่นเดิมกับสถานะปรับลดการจ่ายไอน้ำทั้ง 3 ครั้ง ซึ่งจะได้มวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อนดังตารางที่ ค.1-2

ตารางที่ ค.1-2 ผลการประเมินหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน

รายละเอียด	มวลไอน้ำ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
สภาวะปัจจุบัน (เปิดวาล์วปกติ)	217
สภาวะปรับลดครั้งที่ 1	178
สภาวะปรับลดครั้งที่ 2	153
สภาวะปรับลดครั้งที่ 3	169
สภาวะปิดการจ่ายไอน้ำ	-

สำหรับสถานะปิดการจ่ายไอน้ำ จะไม่ได้ทำการคำนวณหามวลไอน้ำ เนื่องจากปิดการจ่ายไอน้ำเข้าระบบผลิตลมร้อน แสดงว่าไม่มีมวลไอน้ำที่เข้ามาในระบบ

ค.2 การประเมินหามวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน

วิธีการคำนวณหามวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน เพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพด้านพลังงาน จะประเมินอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศจากความเร็วลมของอากาศที่ไหลอยู่ภายในท่อ โดยทุกการทดลองไม่ได้มีการปรับเปลี่ยนสถานะ ซึ่งจากข้อมูลรายละเอียดในภาคผนวก ก. จะพบว่าค่าเฉลี่ยความเร็วลมของทุกสถานะมีค่าใกล้เคียงกันเป็น 12 เมตร/นาทึ สามารถประเมินมวลของอากาศเข้าระบบผลิตลมร้อนด้วยสมการที่ 3-2 โดยมีตัวแปรต่างๆ แสดงดังตาราง ค.1-1

ตารางที่ ค.2-1 ตัวแปรสำหรับการคำนวณมวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปัจจุบัน

รายละเอียด		
ความหนาแน่น (ρ)	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	1.164
ความเร็วลมเฉลี่ย (V)	เมตร/นาทึ	12
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D)	มิลลิเมตร	550

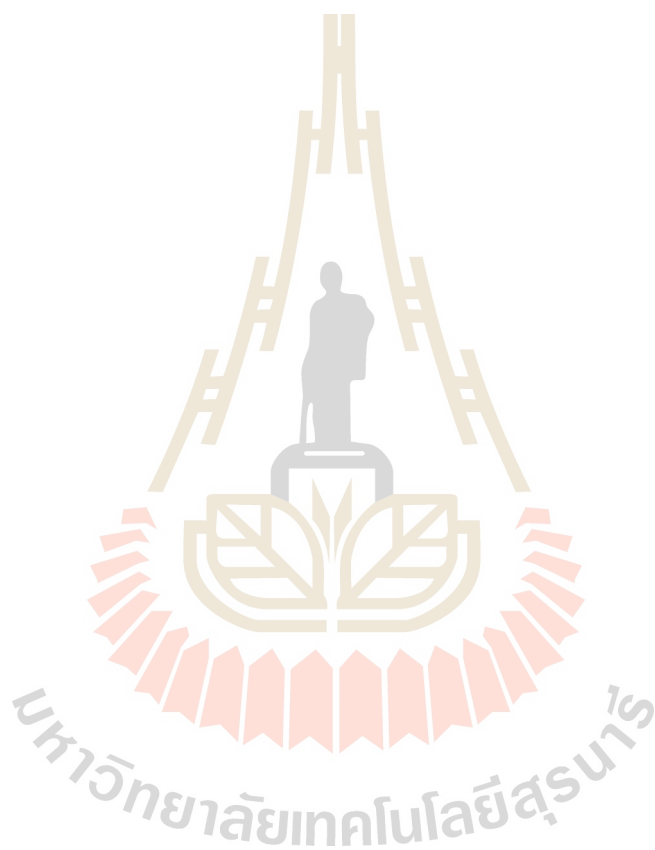
จาก $\dot{m} = \rho VA \times 60$ (3-2)

จะได้ $\dot{m} = \rho V \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times 60$

$$\dot{m} = 1.164 \times 12 \times \pi \left(\frac{550 \times 10^{-3}}{2}\right)^2 \times 60$$

$$\dot{m} = 199 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

สามารถประเมินมวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อนเป็น 199 กิโลกรัม/ชั่วโมง





ภาคผนวก ง.

การคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน และต้นทุนเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ง.1 การคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน

ผลิตภัณฑ์เหล็กแผ่นชุบร้อน แบบต่อเนื่อง ขนาดความหนาแผ่นเหล็ก 0.30 มิลลิเมตร จะมีน้ำหนักผลิตภัณฑ์ 2.0810 กิโลกรัม/เมตร ซึ่งโดยปกติจะผลิตที่ความเร็วมาตรฐาน 135 เมตร/นาที ดำเนินการผลิตต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ตลอดทั้งปีจำนวน 250 วันการทำงาน จะสามารถผลิตได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนผลิตภัณฑ์} &= \text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (ตัน/ชั่วโมง)} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง/ปี)} \\ &= \left(\frac{2.0810 \times 135 \times 60}{1,000} \right) \times (24 \times 250) \\ &= 101,137 \text{ ตัน/ปี} \end{aligned}$$

พลังงานจากไอน้ำที่ระบบผลิตความร้อนจะได้รับตลอดทั้งปี จะคำนวณจากขาเข้าของไอน้ำ โดยมีรายละเอียดข้อมูลสำหรับการคำนวณดังตารางที่ ง.1-1

ตารางที่ ง.1-1 ข้อมูลไอน้ำขาเข้า ป้อนระบบผลิตความร้อน

รายละเอียด	ไอน้ำขาเข้า	
	มวลไอน้ำ กิโลกรัม / ชั่วโมง	ค่าเอนโทรปี กิโลจูล / กิโลกรัม
สถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วปกติ)	217	2,746
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 1	178	2,713
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 2	153	2,699
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 3	57	2,676
สถานะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ	-	-

กรณีคำนวณพลังงานความร้อนของสถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วไอน้ำปกติ)

$$\begin{aligned} \text{พลังงานความร้อน} &= \text{พลังงานจากไอน้ำ (เมกะจูล/ชั่วโมง)} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง/ปี)} \\ &= \left(\frac{2,746 \times 217}{1,000} \right) \times (24 \times 250) \\ &= 3,579,037 \text{ เมกะจูล/ปี} \end{aligned}$$

จะพบว่าจากการคำนวณที่สถานะปัจจุบันจะได้ พลังงานความร้อนจากไอน้ำป้อนระบบผลิตความร้อนเป็น 3,585,212 เมกะจูล/ปี เมื่อสามารถคำนวณดัชนีการใช้พลังงานได้จากสมการ 3.4 ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีการใช้พลังงาน} &= \text{พลังงานความร้อน (เมกะจูล/ปี)} / \text{จำนวนผลิตภัณฑ์ (ตัน/ปี)} \quad (3.4) \\ &= \frac{3,585,212}{101,137} \\ &= 35.39 \text{ เมกะจูล ไอน้ำ / ตัน ผลิตภัณฑ์} \end{aligned}$$

ดังนั้นในสถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วไอน้ำปกติ) จะได้ดัชนีการใช้พลังงานของระบบผลิตความร้อนเป็น 35.39 เมกะจูล ไอน้ำ / ตัน ผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อคำนวณเช่นเดียวกันกับทุกสถานะจะได้ดัชนีการใช้พลังงานตามตารางที่ ง.1-2

ตารางที่ ง.1-2 ผลการคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน

รายละเอียด	ดัชนีการใช้พลังงาน เมกะจูล ไอน้ำ / ตัน ผลิตภัณฑ์
สถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วปกติ)	35.39
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 1	28.58
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 2	24.50
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 3	9.00
สถานะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ	-

ง.2 การคำนวณ ต้นทุนเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำในการศึกษานี้ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเตา C ราคา 14.01 บาท/ลิตร ดำเนินการผลิตต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ตลอดทั้งปีจำนวน 250 วันการทำงาน การคำนวณต้นทุนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C จะใช้ข้อมูลอัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา C ป้อนหม้อไอน้ำสำหรับผลิตไอน้ำป้อนทุกระบบที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต (แผนผังแสดงระบบที่มีการใช้ไอน้ำแสดงดังรูปที่ 1.2) โดยมีข้อมูลอัตราการเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C ดังตารางที่ ง.2-1

ตารางที่ ง.2-1 อัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา C ป้อนหม้อไอน้ำ

รายละเอียด	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร/ชั่วโมง)
สถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วปกติ)	120.9
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 1	118.3
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 2	116.6
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 3	110.3
สถานะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ	106.5

กรณีคำนวณต้นทุนเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำของสถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วไอน้ำปกติ)

ปริมาณเชื้อเพลิง = อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร/ชั่วโมง) x ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง/ปี)

$$= 120.9 \times (24 \times 250)$$

$$= 725,250 \text{ ลิตร/ปี}$$

ต้นทุนเชื้อเพลิง = ปริมาณเชื้อเพลิง (ลิตร/ปี) x ราคาน้ำมันเตา C (บาท/ลิตร) (3.5)

$$= 725,250 \times 14.01$$

$$= 10,160,753 \text{ บาท/ปี}$$

จะพบว่าในสถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำปกติ) ต้นทุนเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำเป็น 10,160,753 บาท/ปี จากนั้นคำนวณเช่นเดียวกันทุกสถานะปรับลดการจ่ายไอน้ำ จะได้ผลการประเมินต้นทุนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C สำหรับผลิตไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน ดังตารางที่ ง.2-2

ตารางที่ ง.2-2 ต้นทุนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C สำหรับผลิตไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน

รายละเอียด	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท/ปี)
สถานะปัจจุบัน (เปิดวาล์วปกติ)	10,160,753
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 1	9,940,095
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 2	9,803,498
สถานะปรับลดวาล์วครั้งที่ 3	9,267,615
สถานะปิดวาล์วการจ่ายไอน้ำ	8,952,390



ภาคผนวก จ.

ข้อมูล และการวิเคราะห์ การประยุกต์ใช้งานเบื้องต้นในกระบวนการผลิต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จ.1 ข้อมูลการทดลอง การประยุกต์ใช้งานเบื้องต้นในกระบวนการผลิต

ตารางที่ จ.1-1 ผลการทดลองการประยุกต์ใช้ในกระบวนการ

รายละเอียด	ชั่วโมง ที่	ความหนาเหล็ก (มิลลิเมตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		น้ำมันเตา	
			อากาศ	ลมร้อน	(หน่วย เมตร)	(ลิตร/ ชั่วโมง)
	1		30.8	106.93		
	2		30.8	122.56		
	3		32.4	116.70		
	4		33.1	132.32		
	5		33.2	136.23		
	6		33.4	138.18		
	7		33.6	138.67		
	8		33.6	137.70		
	9		33.4	139.16		
	10		33.3	139.65		
	11		33.1	139.65		
	12		33.2	141.60		
	13		31.0	140.14		
	14		30.0	140.63		
	15		30.3	121.58		
	16		29.7	124.51		
	17	0.35	30.3	111.33	576144	
สถานะ ปัจจุบัน	18	0.35	30.3	112.79	576263	118.75
	19	0.30	29.9	112.30	576381	
	20	0.30	29.8	113.28	576506	
	21	0.30	29.6	112.30	576630	
	22	0.30	29.5	111.82	576751	

รายละเอียด	ชั่วโมง ที่	ความหนาเหล็ก (มิลลิเมตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		น้ำมันเตา	
			อากาศ	ลมร้อน	(หน่วย เมตร)	(ลิตร/ ชั่วโมง)
	23	0.30	30.4	112.79	576871	
	24	0.30	30.8	112.30	576983	
	25	0.30	31.7	110.84	577094	
	26	0.30	32.3	111.82	578626	
	27	0.30	34.6	93.75	580157	
	28	0.3	36.4	93.75	580251	
	29	0.3	35.7	95.21	580345	
	30	0.3	35.4	45.9	580462	
	31	0.3	35.5	49.8	580578	
	32	0.3	35.4	53.22	580681	
	33	0.3	34.1	54.2	580784	
	34	0.3	33.9	52.73	580893	
	35	0.3	31.1	54.2	581001	
	36	0.3	31.7	54.69	581103	
	37	0.3	30.9	54.2	581204	
ประยุกต์ ใช้งาน	38	0.3	30.9	53.71	581317	104.50
	39	0.3	30.6	52.73	581429	
	40	0.3	30.5	53.71	581542	
	41	0.3	30.3	53.22	581654	
	42	0.3	30.1	52.25	581749	
	43	0.3	29.8	53.22	581843	
	44	0.3	29.9	52.73	581948	
	45	0.28	29.5	52.73	582053	
	46	0.3	29.5	52.73	582170	
	47	0.3	29.9	51.76	582286	

รายละเอียด	ชั่วโมง ที่	ความหนาเหล็ก (มิลลิเมตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		น้ำมันเตา	
			อากาศ	ลมร้อน	(หน่วย เมตร)	(ลิตร/ ชั่วโมง)
ประยุกต์ ใช้งาน	48	0.3	31.1	51.27	582400	104.50
	49	0.3	31.8	51.27	582513	
	50	0.3	33.1	51.76	582603	
	51	0.3	34.3	52.25	582692	
	52	0.3	35.3	52.25	582813	
	53	0.3	34.9	52.73	582934	
	54	0.3	35.3	53.22	583019	
	55	0.3	35.7	53.71	583103	
	56	0.3	35.8	54.2	583210	
	57	0.3	35.5	54.2	583317	
	58	0.3	34.4	54.2	583421	
	59	0.3	33.9	53.71	583524	
	60	0.3	32.3	54.2	583630	
	61	0.3	30.6	53.71	583735	
	62	0.3	31.3	53.22	583829	
	63	0.3	30.8	53.22	583922	
	64	0.3	30.5	52.73	584047	
	65	0.3	30.3	52.25	584172	
	66	0.3	30.1	51.76	584271	
	67	0.3	29.6	51.76	584369	
	68	0.3	29.8	50.78	584454	
	69	0.3	29.6	51.27	584538	
	70	0.3	29.9	51.76	584663	
	71	0.3	31	51.27	584788	
72	0.3	32.9	51.27	584882		

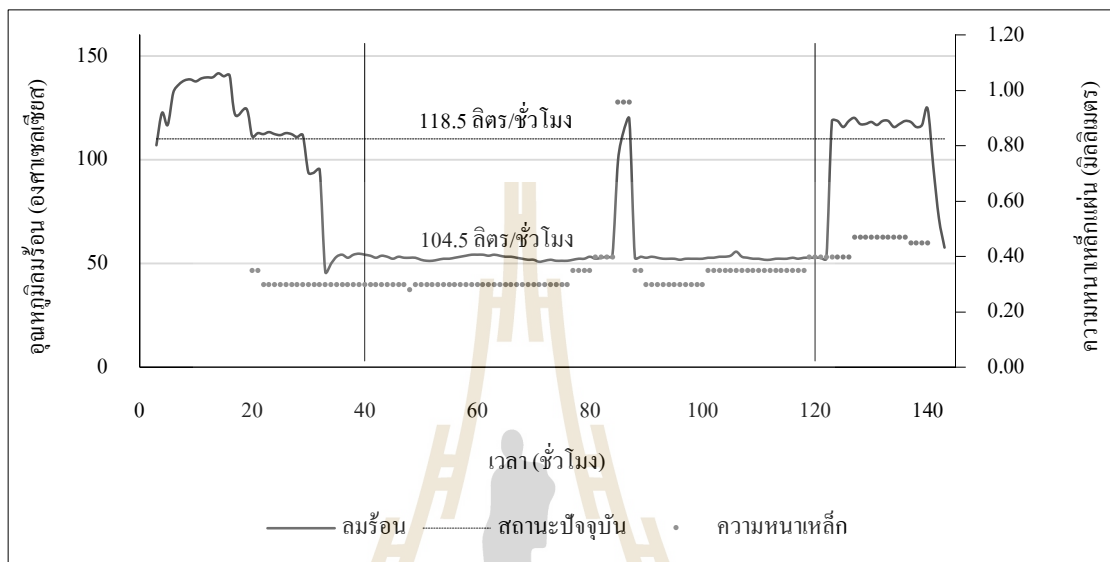
รายละเอียด	ชั่วโมง ที่	ความหนาเหล็ก (มิลลิเมตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		น้ำมันเตา	
			อากาศ	ลมร้อน	(หน่วย เมตร)	(ลิตร/ ชั่วโมง)
ประยุกต์ ใช้งาน	73	0.3	33.4	51.27	584976	104.50
	74	0.35	34.1	51.76	585080	
	75	0.35	34.9	52.25	585183	
	76	0.35	35.6	52.25	585293	
	77	0.35	35.9	53.22	585403	
	78	0.4	35.9	52.25	585520	
	79	0.4	36.3	52.73	585636	
	80	0.4	36	53.22	585723	
	81	0.4	35.6	53.71	585810	
	82	0.96	33.6	99.61	585903	
	83	0.96	32.8	113.77	585996	
	84	0.96	31.9	119.63	586104	
	85	0.35	31.8	52.73	586212	
	86	0.35	31.2	53.22	586317	
	87	0.3	30.9	52.73	586422	
	88	0.3	30.6	53.22	586530	
	89	0.3	30.2	52.73	586638	
	90	0.3	30	52.25	586747	
	91	0.3	30.1	52.25	586855	
	92	0.3	29.9	52.25	586953	
	93	0.3	29.8	51.76	587050	
	94	0.3	30.1	52.25	587151	
	95	0.3	30.9	52.25	587252	
96	0.3	31.2	52.25	587358		
97	0.3	32	52.25	587464		

รายละเอียด	ชั่วโมง ที่	ความหนาเหล็ก (มิลลิเมตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		น้ำมันเตา	
			อากาศ	ลมร้อน	(หน่วย เมตร)	(ลิตร/ ชั่วโมง)
ประยุกต์ ใช้งาน	98	0.35	32.9	52.73	587581	104.50
	99	0.35	35.4	52.73	587698	
	100	0.35	34.9	53.22	587797	
	101	0.35	35.1	53.22	587895	
	102	0.35	35.9	53.71	587995	
	103	0.35	31.5	55.66	588095	
	104	0.35	30.5	53.22	588207	
	105	0.35	30.1	52.73	588319	
	106	0.35	30.6	52.25	588421	
	107	0.35	29.8	52.25	588522	
	108	0.35	29.5	51.76	588630	
	109	0.35	29.5	51.76	588737	
	110	0.35	29.5	52.25	588833	
	111	0.35	29.1	52.25	588929	
	112	0.35	28.8	52.25	589025	
	113	0.35	28.6	52.73	589121	
	114	0.35	28.5	52.25	589246	
115	0.35	28.2	52.73	589371		
116	0.40	28.1	52.73	589468		
117	0.40	28	52.73	589564		
	118	0.40	28.6	52.73	589666	
	119	0.40	29.7	52.25	589767	
	120	0.40	31.2	118.65	589893	
	121	0.40	31.8	118.65	590018	
	122	0.40	33.2	115.72	590133	

รายละเอียด	ชั่วโมง ที่	ความหนาหลัก (มิลลิเมตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		น้ำมันเตา	
			อากาศ	ลมร้อน	(หน่วย เมตร)	(ลิตร/ ชั่วโมง)
	123	0.40	33.6	118.65	590248	
	124	0.47	33.8	120.12	590374	
	125	0.47	34.6	117.19	590500	
	126	0.47	35.7	117.19	590621	
	127	0.47	35.4	118.16	590742	
	128	0.47	35.3	116.7	590865	
	129	0.47	33.8	118.65	590988	
	130	0.47	30.3	118.65	591112	
	131	0.47	31.8	115.72	591236	
	132	0.47	31.6	117.19	591354	
	133	0.47	30.8	118.65	591472	
	134	0.45	30.6	118.16	591585	
	135	0.45	30.5	115.72	591697	
	136	0.45	30	116.7	591810	
	137	0.45	28.8	124.51	591923	
	138		28.8	96.68		
	139		28.8	71.78		
	140		28.8	57.62		

จ.2 การวิเคราะห์ การประยุกต์ใช้งานเบื้องต้นในกระบวนการผลิต

เมื่อดำเนินการทดลองการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ในกระบวนการผลิต ผลการทดลองที่ได้ มีความสัมพันธ์ขึ้นกับเวลา ของลมร้อนและน้ำมันเตาป้อนหม้อไอน้ำ แสดงดังรูปที่ จ.2-1



รูปที่ จ.2-1 อุณหภูมิลมร้อนและความหนาเหล็ก เมื่อทดลองการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น
ในกระบวนการผลิต

จากรูปที่ จ.2-1 เมื่อประยุกต์ใช้ผลการประเมินในกระบวนการผลิตต่อเนื่องนาน 80 ชั่วโมง พบว่าลมร้อนที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เพียงพอต่อการผลิตที่ความหนาเหล็กแผ่นน้อยกว่า 0.40 มิลลิเมตร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแสดงว่าผลการประเมินที่ผ่านมาสามารถนำมาใช้งานได้ ในกระบวนการผลิต และน้ำมันเตาที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำมีปริมาณลดลงจาก 118.50 ลิตร/ชั่วโมง เป็น 104.50 ลิตร/ชั่วโมง ลดลง 14 ลิตร/ชั่วโมง

ดำเนินการคำนวณต้นทุนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C กรณีน้ำมันเตา C ราคา 14.01 บาท/ลิตร ผลิตต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง จำนวน 250 วันการทำงาน/ปี (รายละเอียดการคำนวณแสดงตามภาคผนวก ง.2) จะได้ต้นทุนเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ แสดงดังตารางที่ จ.2-1

ตารางที่ จ.2-1 ต้นทุนเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ จากการทดลองประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น

รายละเอียด	ต้นทุนเชื้อเพลิง หม้อไอน้ำ (บาท/ปี)	ปริมาณเชื้อเพลิง หม้อไอน้ำ (ลิตร/ปี)	ค่าเฉลี่ยเชื้อเพลิง น้ำมันเตา (ลิตร/ชั่วโมง)	อุณหภูมิความร้อน จากระบบ (องศาเซลเซียส)
สภาวะปัจจุบัน (เปิดวาล์วปกติ)	9,961,110	711,000	118.5	~110
ประยุกต์ ใช้งานเบื้องต้น	8,784,270	627,000	104.5	50 - 60
ต้นทุนลดลง	1,176,840	บาท/ปี		

จากตารางที่ จ.2-1 จะพบว่าเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น ในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง และปรับวาล์วการจ่ายไอน้ำเข้าระบบผลิตความร้อนลดลง จนกระทั่งอุณหภูมิความร้อนลดลงจาก 110 องศาเซลเซียส ลดลงอยู่ใน 50-60 องศาเซลเซียสสามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้ 1,176,840 บาท/ปี



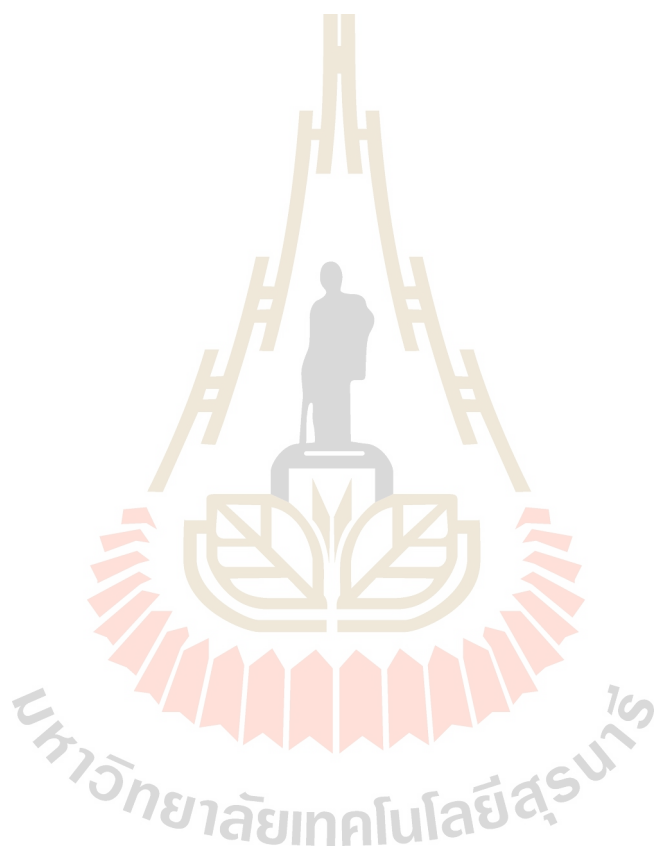


ภาคผนวก ฉ.

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

สรารุช เหมจันทิก และ กิรติ สุลักษณ์ (2561) การประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14 (E-NETT14). 13-15 มิถุนายน 2561



การประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อน ในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่น
ชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง
Assessment of energy potential for hot air dryer system
in continuous hot-dip coating process

สรารุช เหมจันทิก¹, กীরติ สุลักษณ์¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
E-mail: keerati@sut.ac.th, โทรศัพท์ 044 2244498, โทรสาร 044 224613

บทคัดย่อ

ระบบผลิตลมร้อนของกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง เป็นระบบที่มีใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับไอน้ำให้ได้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากการประเมินพบว่าสถานะของระบบไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไอน้ำและอุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสม บทความนี้นำเสนอการประเมินศักยภาพด้านพลังงาน และเสนอแนวทางการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตลมร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง โดยจากผลการศึกษาพบว่าเมื่อปิดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน จะได้อุณหภูมิลมร้อนที่ต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต เมื่อปรับลดการจ่ายไอน้ำจากอุณหภูมิลมร้อน 110 องศาเซลเซียส เป็น 65-70 องศาเซลเซียส พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเชิงการประเมินเพิ่มสูงขึ้น 1.67 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาถูกนำไปประยุกต์ใช้งาน พบว่าอุณหภูมิลมร้อนที่ 50-60 องศาเซลเซียสเหมาะสมและเพียงพอต่อการผลิตที่ความหนาเหล็กแผ่นน้อยกว่า 0.40 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่มีการผลิตในกระบวนการ สามารถลดต้นทุนของน้ำมันเตาได้กว่า 1,100,000 บาท/ปี
คำหลัก: ระบบผลิตลมร้อน, การประเมินศักยภาพด้านพลังงาน, ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน

Abstract

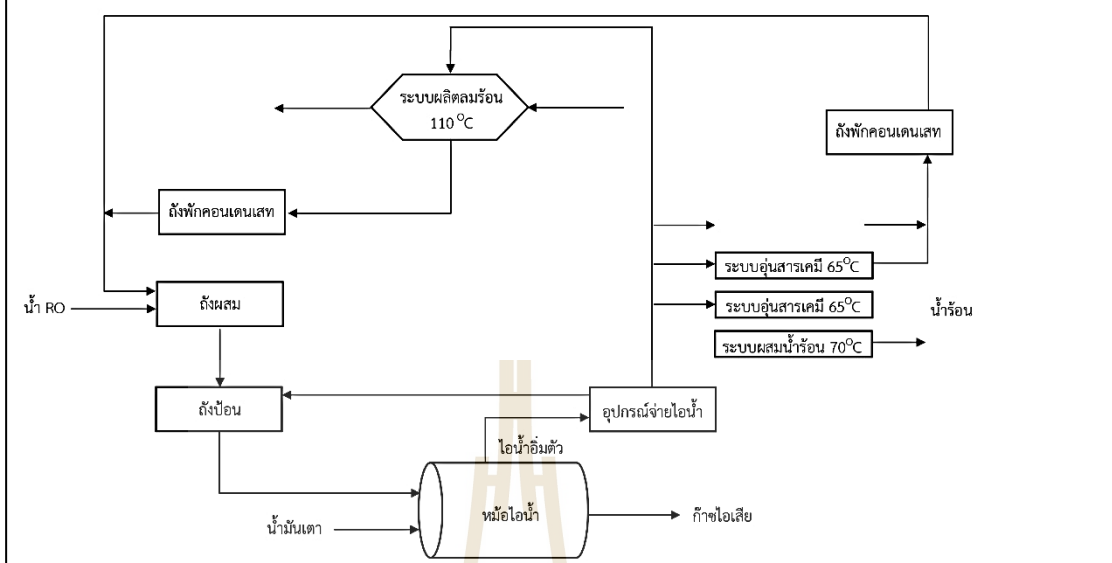
The hot air dryer system of continuous hot-dip coating process, is used to exchange the heat between air and steam to produce the hot air the temperature of 110°C. Based on the assessment, the system has not been analyzed the appropriate of process conditions of steam consumption and hot air temperature. This paper is to present assessment of energy potential and proposed the way to increase the efficiency of the dryer system in continuous hot-dip coating process. It is found that, from analyzing, as shut off condition the steam supply to the hot air dryer system, the hot air temperature found to be less than 50°C and then make the production not to be good. For reducing of steam for hot air temperature to be 65-70°C, this condition not affect to the product and the efficiency based on assessment is increased 1.67 percent. The results has been applied to the system, It is found that hot air temperature of 50-60°C, is appropriate and sufficient for main production with steel sheet thickness less than 0.40 mm. This can reduce the cost of fuel oil by over 1,100,000 Baht/year.

Keywords: Hot air dryer, Assessment of energy potential, Heat exchangers

1. บทนำ

กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน เป็นอุตสาหกรรมช่วยยืดอายุการใช้งานโลหะ ป้องกันการผุกร่อนและอื่นๆ อาทิ ความทนทาน ความสวยงาม เป็นต้น¹ ภายในกระบวนการผลิตจะใช้ไอน้ำมาผสมกับน้ำเพื่อผลิตน้ำร้อนและใช้ไอน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ สารเคมี เพื่อทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามที่แสดงในรูปที่ 1 การใช้ไอน้ำใน

กระบวนการผลิตสิ่งต่างๆ หากไม่มีการควบคุมปริมาณให้เหมาะสม จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต จึงจำเป็นต้องศึกษา และค้นหาวิธีควบคุมการใช้ไอน้ำให้เหมาะสม ประหยัด และเพียงพอต่อกระบวนการผลิต^{2,3} โดยเฉพาะกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง ที่มีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ชั่วโมงการผลิต 250 วัน/ปี กำลังการผลิต 120,000 ตัน/ปี จากการประเมิน-



รูปที่ 1 แผนผังระบบที่ใช้ไอน้ำ

เบื้องต้น พบว่าสถานะของระบบยังไม่ได้วิเคราะห์การใช้ไอน้ำที่เหมาะสม ทำให้อาจใช้งานเกินความจำเป็น และยังพบว่าระบบผลิตไอน้ำมีการใช้อุณหภูมิสูงสุด 110 องศาเซลเซียส เป็นไปได้ว่ามีการใช้ไอน้ำสูงกว่าระบบอื่นๆ บทความนี้ทำการศึกษา ระบบผลิตไอน้ำในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง จากการผลิตด้วยเหล็กแผ่นความหนา 0.30 มิลลิเมตร จุ่มร้อนผ่านบ่อที่มีองค์ประกอบหลักเป็น อลูมิเนียมสังกะสี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตไอน้ำในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง ภายใต้สภาวะคงตัว และเพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไอน้ำในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อนแบบต่อเนื่อง

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหล 2 ชนิด ในทิศทางที่ไหลตั้งฉากกัน เรียกว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกัน (Cross flow heat exchanger)^{4,5} ของไหลแต่ละชนิดอาจอยู่ในลักษณะไม่ผสมกัน (Unmixed) หรือลักษณะที่ผสมกัน (Mixed) ดังรูปที่ 2 โดยการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกัน เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$q = UAF\Delta T_{lm} \tag{1}$$

โดย $T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$ (2)

และ $q = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{h,1} - T_{h,2})$ (3)

$q = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,1} - T_{c,2})$ (4)

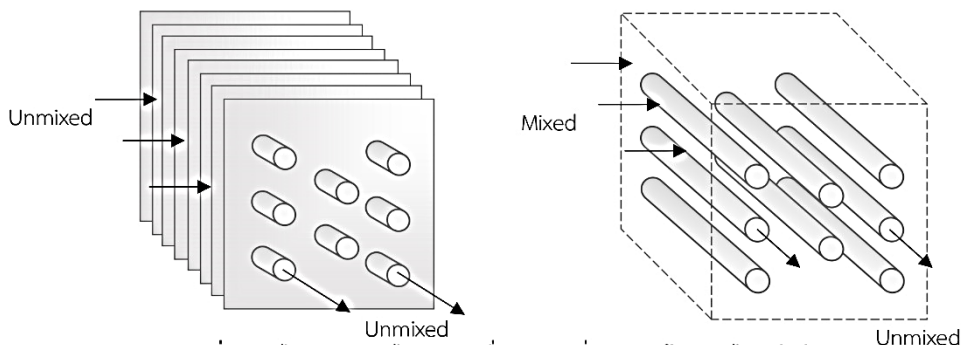
ค่า F เป็นแฟคเตอร์ตัวแก้ค่า สามารถคำนวณได้จากวิธีหาคความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก (LMTD)^{5,6} และการวิเคราะห์สมรรถนะหรือประสิทธิภาพ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกันชนิดทั่วไป จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์เชิงความร้อนและพื้นที่ถ่ายเทความร้อน แต่จะไม่วิเคราะห์สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลแต่ละชนิด เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกันมีความซับซ้อนของพื้นที่ถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลผ่านของของไหล การวิเคราะห์ให้แม่นยำจึงมีความลำบาก สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะ โดยทั่วไปเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกันลักษณะที่ไม่ผสมกัน-ผสมกันจะใช้วิธี NTU

หม้อไอน้ำและการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำ มีหลากหลายประเภทกว่า 80% ในประเทศไทยเป็นแบบท่อไฟ จะมีก๊าซร้อนไหลผ่านอยู่ภายในสำหรับถ่ายเทความร้อนให้น้ำ และมีเปลือกหม้อไอน้ำรูปทรงกระบอกเป็นภาชนะเก็บกักน้ำ โดยความดันที่ใช้งานสูงสุด 180 บาร์ อุณหภูมิไอน้ำไม่เกิน 180 องศาเซลเซียส⁷ เชื้อเพลิงที่นิยมใช้งานคือน้ำมันเตา C ซึ่งมีค่าความร้อน 41,035 กิโลจูล/ลิตร

การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อน (η) ของหม้อไอน้ำ⁸ ตาม American Society of Mechanical Engineers (ASME) คือ การคำนวณด้วย วิธีประเมินตรง ตามสมการที่ 5

$$\eta = \frac{Q_v(h_g - h_f)}{q_{HV}} \times 100 \tag{5}$$



รูปที่ 2 การไหลของ ของไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกัน
ลักษณะที่ไม่ผสมกัน-ไม่ผสมกัน (ด้านซ้าย) และลักษณะที่ไม่ผสมกัน-ผสมกัน (ด้านขวา)

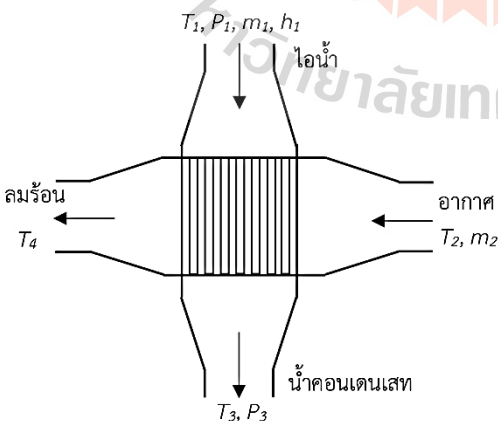
3. วิธีการทดลอง

3.1 ระบบผลิตลมร้อน

ระบบผลิตลมร้อน อาศัยพัดลมดูดอากาศ จากภายนอก ป้อนเข้าสู่ระบบ มาแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำจากหม้อไอน้ำ เพื่อผลิตลมร้อนป้อนกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลตัดกันดังแสดงรูปที่ 2 ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อากาศจะไหลผสมกัน ส่วนไอน้ำจะอยู่ภายในท่อมีการไหลไม่ผสมกัน การแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำจะผ่านผนังท่อไปยังอากาศ ด้วยพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนประมาณ 82 ตารางเมตร

3.2 การตรวจวัด

จากการศึกษาข้อมูลของระบบผลิตลมร้อน พบว่าระบบผลิตลมร้อนที่ได้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสตลอด 24 ชั่วโมง ปัจจุบันไม่มีการควบคุมการทำงานให้เหมาะสมกับความต้องการของกระบวนการ จึงไม่สามารถนำมาประเมินความเหมาะสมด้านพลังงาน จำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมตามรูปที่ 3 โดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด



รูปที่ 3 ตัวแปร สำหรับประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อน

- การตรวจวัดอุณหภูมิลมร้อนใช้เทอร์โมมิเตอร์ติดตั้งที่ท่อลมขาออก บันทึกข้อมูลทุกชั่วโมง
- น้ำมันเตาบันทึกจากมิเตอร์วัดปริมาณ บันทึกข้อมูลทุกชั่วโมง
- อากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน เป็นอากาศแวดล้อม ตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้ ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งติดตั้งไว้บริเวณใกล้เคียงกับพัดลมดูดอากาศ บันทึกข้อมูลทุกชั่วโมง
- อุณหภูมิไอน้ำที่ทางเข้าระบบ และน้ำคอนเดนเสทที่ทางออกของระบบ วัดอุณหภูมิจากผิวท่อโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด บันทึกข้อมูลทุกชั่วโมง
- อัตราการไหลของอากาศขาเข้าระบบลมร้อน ใช้เครื่องวัดความเร็วลมบันทึกข้อมูลทุกชั่วโมง
- ความดันไอ เจาะท่อ ติดตั้งเกจวัดความดัน ที่ทางเข้าและออกของระบบ บันทึกข้อมูลทุกชั่วโมง
- ระบบอื่นๆ เช่น ระบบอุ่นสารเคมี ตรวจวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมมิเตอร์บันทึกข้อมูลทุกชั่วโมง

3.3 ศักยภาพด้านพลังงานในสถานะปัจจุบัน

3.3.1 การประเมินผลกระทบของระบบต่อกระบวนการผลิต

ปิดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง บันทึกข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลอุณหภูมิลมที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อน และอุณหภูมิระบบอื่นๆ ที่ใช้ไอน้ำ มาเปรียบเทียบความสัมพันธ์

3.3.2 การประเมินหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสถานะปัจจุบัน

จากข้อมูลซ่อมบำรุงหม้อไอน้ำ พบว่าผลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ไม่ต่ำกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อใช้งานหม้อไอน้ำขณะดำเนินการผลิต น้ำป้อนจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 80 องศาเซลเซียส เป็นไปได้ว่าหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำข้อมูลอัตราการใช้น้ำมันเตา อุณหภูมิไอน้ำ และความดันไอที่ตรวจวัดได้มาคำนวณด้วยสมการที่ 5 เพื่อประเมินหามวลไอน้ำจากความแตกต่างของไอน้ำในสถานะปัจจุบันกับปิดการจ่ายไอน้ำ

3.3.3 การประเมินหามวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปัจจุบัน

ตรวจวัดความเร็วลมเฉลี่ยของอากาศที่ป้อนเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน ด้วยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 550 มิลลิเมตร ซึ่งจากสมการที่ 6 สามารถคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล (\dot{m}_a) ได้จากสมการ 6

$$\dot{m}_{air} = \rho VA \times 60 \quad (6)$$

3.3.4 การประเมินศักยภาพด้านพลังงาน ในสภาวะปัจจุบัน

สมมุติให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างไอน้ำและลมร้อน เป็นไม่มีการสูญเสียให้กับสภาพแวดล้อม ระบบผลิตลมร้อนจะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถประเมินศักยภาพด้านพลังงานได้จากสมการที่ 7

$$h_3 = h_1 - \frac{m_2 C_p (T_4 - T_2)}{m_1} \quad (7)$$

และ สามารถคำนวณสัดส่วนความแห้งของไอน้ำ (dryness fraction, x) ได้จากสมการที่ 8

$$h_3 = h_f + x h_{fg} \quad (8)$$

จากนั้นนำผลการตรวจวัดน้ำคอนเดนเสทมาคำนวณหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเชิงการประเมินได้จากสมการที่ 9

$$\eta_{th} = \frac{m_2 C_p (T_4 - T_2)}{m_1 (h_1 - h_3)} \times 100 \quad (9)$$

3.4 ศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ

ปรับลดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน ให้ลมร้อนมีอุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง เก็บข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลอุณหภูมิลมที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อน และอุณหภูมิระบบอื่นๆ ที่ใช้ไอน้ำ มาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ แล้วนำข้อมูลไปประเมิน ศักยภาพด้านพลังงาน (ตามข้อ 3.3.1 - 3.3.4)

3.5 วิเคราะห์ผลการประเมินศักยภาพด้านพลังงาน

นำข้อมูลการวิเคราะห์ที่ได้จากทั้งสองการทดลอง (3.3 และ 3.4) มาเปรียบเทียบและประเมินศักยภาพด้านพลังงานกับผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบผลิตลมร้อน เพื่อให้ได้แนวทางการประเมินที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต

3.6 การประยุกต์ใช้ในกระบวนการ และการเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์

นำผลการประเมินจาก 3.3 มาทดลองประยุกต์ใช้งานในกระบวนการผลิต เก็บข้อมูลต่อเนื่อง 80 ชั่วโมง ที่การผลิตด้วยเหล็กแผ่นความหนาน้อยกว่า 0.40 มิลลิเมตร สังเกตผลกระทบที่เกิดขึ้น และเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อุณหภูมิ ลมร้อน ความหนาเหล็กแผ่น และปริมาณน้ำมันเตาป้อนหม้อไอน้ำ บันทึกผลทุกชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้มาสรุปผลการศึกษา จากนั้นเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นระยะเวลา 1 ปี

4. ผลการทดลอง

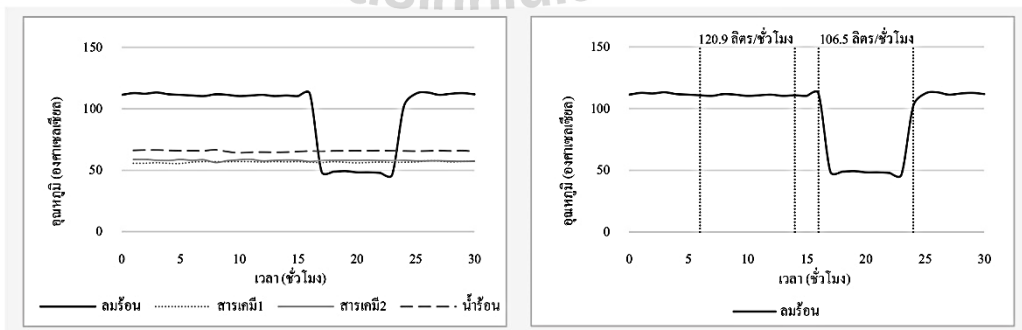
4.1 ศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปัจจุบัน

4.1.1 การประเมินผลกระทบของระบบต่อกระบวนการผลิต

ปิดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อน และอุณหภูมิสารที่ทางออกของระบบอื่นๆ ที่ใช้ไอน้ำแสดงตามรูปที่ 4 จะพบว่าการผลิตในสภาวะปัจจุบัน ลมที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 111 องศาเซลเซียส และน้ำมันเตาป้อนเข้าหม้อไอน้ำมีอัตราการใช้ 120.90 ลิตร/ชั่วโมง เมื่อทดลองปิดการจ่ายไอน้ำ ลมร้อนมีอุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส น้ำมันเตาอัตราการใช้ที่ 106.5 ลิตร/ชั่วโมง ลดลง 14.4 ลิตร/ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อปิดการจ่ายไอน้ำจะไม่ส่งผลกระทบต่อทำให้อุณหภูมิของสารในระบบอื่นๆ เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเพราะลมร้อนมีอุณหภูมิต่ำเกินไปไม่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต

4.1.2 มวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปัจจุบัน

เนื่องจากระบบผลิตลมร้อน ไม่มีข้อมูลและมิเตอร์วัดปริมาณไอน้ำจึงป้อนเข้าสู่ระบบ จำเป็นต้องประเมินจากความแตกต่างระหว่างการใช้ในสภาวะปัจจุบันกับการทดลองปิดการจ่ายไอน้ำ ผลการตรวจวัดพบว่าหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำที่ความดัน 446 กิโลปาสคาล อุณหภูมิ 150.5 องศาเซลเซียส สถานะเป็นไอน้ำอิ่มตัว จากนั้นนำข้อมูลอัตราการใช้น้ำมันเตาตามคำนวณด้วยสมการที่ 5 ผลการคำนวณตามตารางที่ 1 สามารถประเมินหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อนได้ 217.61 กิโลกรัม/ชั่วโมง



รูปที่ 4 อุณหภูมิลมและอุณหภูมิสารระบบอื่นๆ จากการปิดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน

ตารางที่ 1 การคำนวณหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปัจจุบัน

รายละเอียด	สภาวะปัจจุบัน	ทดลองปิดการจ่ายไอน้ำ
η	90	90
h_g 500 kPa	2748.1	2748.1
h_f 80 °C	335.02	335.02
q (L/h)	120.90	106.50
q (kg/h)	113.30	99.80
HV	43,238	43,238
\dot{m}	1,827.04	1,609.43
ผลต่างระหว่าง 2 กรณี	217.61	

4.1.3 มวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปัจจุบัน

เนื่องจากระบบผลิตลมร้อน ไม่มีข้อมูลและมิเตอร์วัดอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ป้อนเข้าสู่ระบบ จำเป็นต้องประเมินจากความเร็วลมของอากาศที่ไหลภายในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 550 มิลลิเมตร ซึ่งผลจากการตรวจวัดพบว่าอากาศที่ป้อนเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 12 เมตร/นาที อุณหภูมิเฉลี่ย 28.5 องศาเซลเซียส เมื่อคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลด้วยจากสมการ 6 จะได้ค่าเป็น 199 กิโลกรัม/ชั่วโมง

4.1.4 การประเมินศักยภาพด้านพลังงาน ในสภาวะปัจจุบัน

จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ ระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปัจจุบัน จากข้อมูลตามตารางที่ 2 หากสมมติให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างไอน้ำและลมร้อนไม่มีการสูญเสียให้กับสภาพแวดล้อม ระบบมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อประเมินศักยภาพด้านพลังงานด้วยสมการที่ 7 และคำนวณสัดส่วนความแห้งของไอจากสมการที่ 8 พบว่าน้ำคอนเดนเสทมีพลังงาน 2,666.50 กิโลจูล/กิโลกรัม สถานะเป็นของผสมอิมิตวี่ที่สัดส่วนความแห้งของไอ 0.9637 เมื่อประเมินอุณหภูมิน้ำคอนเดนเสทจากการตรวจวัดอุณหภูมิผิวท่อที่ทางออกของระบบ พบว่าน้ำคอนเดนเสทมีอุณหภูมิ 109.8 องศาเซลเซียส ความดัน 446 กิโลปาสคาล หากเปรียบเทียบกับไอน้ำที่ป้อนระบบผลิตลมร้อน จะพบว่าความดันคงที่แต่

ตารางที่ 2 ข้อมูลการประเมินศักยภาพด้านพลังงาน ในสภาวะปัจจุบัน

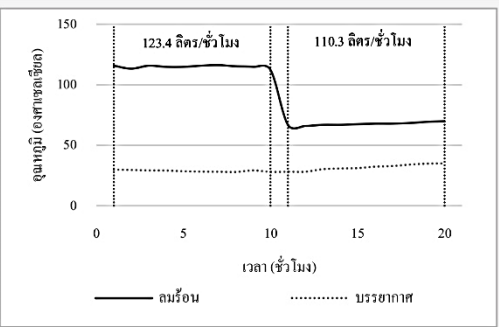
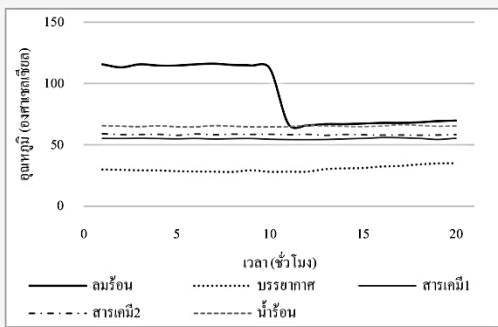
รายละเอียด	ข้อมูลการประเมิน	รายละเอียด	ข้อมูลการประเมิน
T ₁	150	T ₂	28.5
P ₁	446	m ₂	199.1
m ₁	217.61	T ₄	111.1
h ₁	2,745.9	T ₃	109.8
		P ₃	446

อุณหภูมิลดลง น้ำคอนเดนเสทมีพลังงาน 419.17 กิโลจูล/กิโลกรัม สถานะเป็นของเหลวอิมิตวี่ เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเชิงการประเมินด้วยสมการที่ 9 มีค่าเพียง 3.41 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากพลังงานของน้ำคอนเดนเสทที่ได้จากการประเมินผลการตรวจวัดอุณหภูมิผิวท่อที่ทางออกของระบบ มีค่าเพียง 419.17 กิโลจูล/กิโลกรัม มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานน้ำคอนเดนเสท 2,666.50 กิโลจูล/กิโลกรัม ที่คำนวณจากสมการที่ 7 แสดงว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจริงของระบบ น่าจะมีค่าน้อยมากเช่นกัน

4.2 ศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ

4.2.1 การประเมินผลกระทบของระบบต่อกระบวนการผลิต ในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ

ผลการปรับลดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน ให้ลมร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมที่ทางออกของระบบผลิตลมร้อน และอุณหภูมิสารที่ทางออกของระบบอื่นๆ ที่ใช้ไอน้ำ ตามรูปที่ 6 จะพบว่าการผลิตในสภาวะปกติ ลมร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 114.8 องศาเซลเซียส และน้ำมันเตาที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำอัตราการใช้ที่ 123.4 ลิตร/ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ ลมร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 67.7 องศาเซลเซียส น้ำมันเตามีอัตราการใช้ที่ 110.3 ลิตร/ชั่วโมง ลดลง 13.1 ลิตร/ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อปรับลดการจ่ายไอน้ำจะไม่ส่งผลกระทบต่อทำให้อุณหภูมิของสารในระบบอื่นๆ เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต



รูปที่ 6 อุณหภูมิลมและอุณหภูมิสารระบบอื่นๆ จากการปรับลดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน

4.2.2 มวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ

สามารถประเมินมวลไอน้ำได้จากความแตกต่างระหว่างการใช้น้ำในสภาวะปัจจุบันกับการทดลองปิดการจ่ายไอน้ำ เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวสำหรับประเมินศักยภาพด้านพลังงาน ผลการตรวจวัดพบว่าหลังปรับลดการจ่ายไอน้ำในระบบผลิตลมร้อนมีอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 101 กิโลปาสกาล โดยคำนวณหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน จะใช้ข้อมูลหม้อไอน้ำและข้อมูลสภาวะปิดการจ่ายไอน้ำเช่นเดียวกับข้อ 4.1.2 และนำข้อมูลอัตราการใช้น้ำมันเตาที่ตรวจวัดได้ในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำมาคำนวณด้วยสมการที่ 5 การคำนวณแสดงตามตารางที่ 3 ซึ่งจะพบว่าสามารถประเมินหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำได้ 57.43 กิโลกรัม/ชั่วโมง

ตารางที่ 3 การคำนวณหามวลไอน้ำป้อนระบบผลิตลมร้อนในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ

รายละเอียด	สภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ	ทดลองปิดการจ่ายไอน้ำ
η	90	90
h_c 500 kPa	2748.1	2748.1
h_f 80 °C	335.02	335.02
q (V/h)	110.3	106.5
q (kg/h)	103.36	99.80
HV	43,238	43,238
\dot{m}	1,666.86	1,609.43
ผลต่างระหว่าง 2 กรณี		57.43

4.2.3 มวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ

สถานการณ์การจ่ายมวลอากาศป้อนระบบผลิตลมร้อน ในสภาวะปัจจุบัน และสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ ใช้สถานะเดียวกัน ความเร็วลมที่ตรวจวัดจึงมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ประมาณ 12 เมตร/นาที่ ทำให้อัตราการไหลเชิงมวลมีค่าเป็น 199 กิโลกรัม/ชั่วโมง แต่จากการตรวจวัดอุณหภูมิ พบว่าอากาศที่ป้อนมีอุณหภูมิ 31.7 องศาเซลเซียส

4.2.4 การประเมินศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ

จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ ระบบผลิตลมร้อน มีข้อมูลตามตารางที่ 4 หากสมมุติให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างไอน้ำและลมร้อนไม่มีการสูญเสียให้กับสภาพแวดล้อม ระบบมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อประเมินศักยภาพด้านพลังงานด้วยสมการที่ 7 และคำนวณสัดส่วนความแห้งของไอ จากสมการที่ 8 ซึ่งการคำนวณ พบว่าน้ำคอนเดนเสทมีพลังงาน 2,600.50 กิโลจูล/กิโลกรัม มีสถานะ

ตารางที่ 4 ข้อมูลการประเมินศักยภาพด้านพลังงานในสภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ

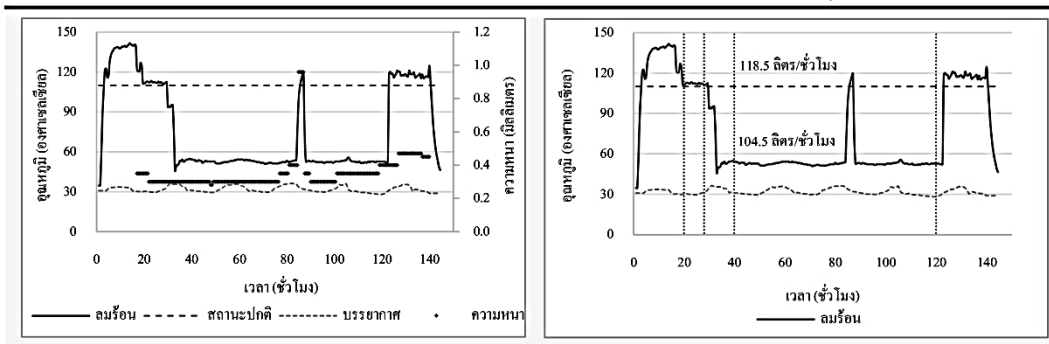
รายละเอียด	ข้อมูลการประเมิน	รายละเอียด	ข้อมูลการประเมิน
T ₁	98.0	T ₂	31.7
P ₁	101	m ₂	199.1
m ₁	57.43	T ₄	67.7
h ₁	2,675.6	T ₃	53.6
		P ₃	101

เป็นของผสมอิ่มตัว สัดส่วนความแห้งของไอ 0.9667 เมื่อประเมินอุณหภูมิหน้าคอนเดนเสทจากการตรวจวัดอุณหภูมิผิวท่อที่ทางออกของระบบ พบว่าน้ำคอนเดนเสทมีอุณหภูมิ 53.6 องศาเซลเซียส ความดัน 101 กิโลปาสกาล หากเปรียบเทียบกับไอน้ำที่ป้อนระบบผลิตลมร้อน จะพบว่าความดันคงที่แต่อุณหภูมิลดลง ดังนั้นน้ำคอนเดนเสทมีพลังงาน 209.34 กิโลจูล/กิโลกรัม และสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัว เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเชิงการประเมินด้วยสมการที่ 9 ซึ่งมีค่าเพียง 209.34 กิโลจูล/กิโลกรัม มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานน้ำคอนเดนเสท 2,600.50 กิโลจูล/กิโลกรัม ที่คำนวณจากสมการที่ 7 แสดงว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจริงของระบบ น่าจะมีค่าน้อยมากเช่นกัน

4.3 วิเคราะห์ผลการประเมินศักยภาพด้านพลังงาน

จากผลการทดลอง จะพบว่าดำเนินการเก็บข้อมูลในระยะเวลาเพียง 8 ชั่วโมง เท่านั้น ซึ่งจากนี้ก็นำข้อมูลมาเปรียบเทียบ ตามตารางที่ 5 เพื่อใช้เป็นแนวทางควบคุมสถานะให้เหมาะสม ก่อนนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตให้มีระยะเวลายาวนานมากขึ้น ไม่น้อยกว่า 80 ชั่วโมง

จากผลการประเมินศักยภาพด้านพลังงานตามตารางที่ 6 พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานความร้อนเชิงการประเมินในสภาวะปัจจุบันเพียง 3.41 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ระบบใช้พลังงานจำนวนมากเพื่อผลิตลมร้อนที่อุณหภูมิ 111 องศาเซลเซียส เมื่อปรับลดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน พบว่ากระบวนการสามารถดำเนินการผลิตได้ตามปกติที่ลมร้อนอุณหภูมิ 67.7 องศาเซลเซียส แสดงว่าที่ผ่านมาระบบใช้พลังงานเกินความจำเป็นในการกระบวนการผลิต แต่ระบบมีประสิทธิภาพการถ่ายพลังงานความร้อนเพียง 5.08 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้น 1.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถลดปริมาณน้ำมันเตาป้อนหม้อไอน้ำได้ 10.6 ลิตร/ชั่วโมง ดังนั้น ลมร้อนที่อุณหภูมิ 67.7 องศาเซลเซียส กระบวนการสามารถดำเนินการผลิตได้ตามปกติ และจากผลการทดลองปิดการจ่ายไอน้ำเข้าสู่ระบบผลิตลมร้อน (3.2.1) พบว่าลมร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต แสดงว่าอุณหภูมิของลมร้อนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50 - 67.7 องศาเซลเซียส



รูปที่ 7 อุณหภูมิไอน้ำร้อน เมื่อประยุกต์ใช้ในกระบวนการ

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบศักยภาพด้านพลังงานระหว่างสถานะปกติและปรับลดการจ่ายไอน้ำ

รายละเอียด	สถานะ		ผลต่าง
	ปกติ	ปรับลดไอน้ำ	
q (l/h)	120.9	110.3	10.6
m ₁ (kg/h)	217.61	57.43	160.18
T ₄ (°C)	111.1	67.7	47.1
อากาศป้อนระบบ			
T ₂ (°C)	28.5	31.7	-
V (m/min)	12	12	-
ṁ _{air} (kg/h)	199.1	199.1	-
ไอน้ำ (ขาเข้า)			
สถานะ	ไอน้ำอิ่มตัว	ไอน้ำอิ่มตัว	-
T ₁ (°C)	150.5	98	52.5
P ₁ (kPa)	446	101	345
h ₁ (kJ/kg)	2,745.9	2,675.6	70.3
น้ำคอนเดนเสท (ขาออก)			
สถานะ	ของเหลวอิ่มตัว	ของเหลวอิ่มตัว	-
T ₃ (°C)	109.8	53.6	56.2
P ₃ (kPa)	446	101	345.0
h ₃ (kJ/kg)	419.17	209.34	209.8
η _{th} (%)	3.41	5.08	1.67
กรณีระบบมีประสิทธิภาพถ่ายเทความร้อน 100 เปอร์เซ็นต์			
สถานะ	ของผสมอิ่มตัว	ของผสมอิ่มตัว	-
คอนเดนเสท	X	X	0.0030
h ₃ (kJ/kg)	2,666.50	2,600.50	66.0

4.4 การประยุกต์ใช้ในกระบวนการ และการเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์

การประเมินที่ผ่านมา ทดลองที่เหล็กแผ่นความหนา 0.30 มิลลิเมตร แต่สำหรับการประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต

จะเก็บข้อมูลต่อเนื่องนาน 80 ชั่วโมง จากแผนการผลิตต้องเลือกประยุกต์ใช้ที่ความหนาเหล็กแผ่นน้อยกว่า 0.40 มิลลิเมตร และใช้ลมร้อนป้อนกระบวนการผลิตด้วยอุณหภูมิ 50 - 60 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ของลมร้อนและน้ำมันเตาป้อนหม้อไอน้ำแสดงดังรูปที่ 7 พบว่าลมร้อนอุณหภูมิเพียงพอต่อการผลิตที่ความหนาเหล็กแผ่นน้อยกว่า 0.40 มิลลิเมตร โดยไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และน้ำมันเตาที่ป้อนเข้าสู่มห้อมไอน้ำมีปริมาณลดลงจาก 118.50 ลิตร/ชั่วโมง เป็น 104.50 ลิตร/ชั่วโมง ลดลง14.00 ลิตร/ชั่วโมง แสดงว่าผลการประเมินสามารถนำมาใช้งานได้ และเมื่อพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์ตามตารางที่ 6 หากใช้สถานะลมร้อนที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ปี ที่น้ำมันเตาราคา 14.01 บาท/ลิตร สามารถประหยัดต้นทุน 1,176,840 บาท/ปี ตารางที่ 6 เปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์

รายละเอียด	สถานะ		ประยุกต์ใช้งาน
	ปัจจุบัน	ปรับลดไอน้ำ	
ลมร้อน (°C)	~ 110	65 - 70	50 - 60
น้ำมันเตาป้อนหม้อไอน้ำ			
l/h	120.9	110.3	104.5
kg/h	725,400	661,800	627,000
บาท/ปี	10,162,854	9,271,818	8,784,270
น้ำมันเตาลดลง			
l/h	-	13.1	14.0
kg/h	-	78,600	84,000
บาท/ปี	-	1,101,186	1,176,840

5. ผลการทดลอง

การทดลองปิดการจ่ายไอน้ำให้ระบบผลิตลมร้อน พบว่าอุณหภูมิลมร้อนต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิต้องมากกว่า 50 องศาเซลเซียส เมื่อทดลองปรับลดการจ่ายไอน้ำ พบว่าอุณหภูมิลมร้อนประมาณ 65-70 องศาเซลเซียส สามารถใช้ในกระบวนการ

ผลิตได้ตามปกติ แสดงว่าการใช้ที่อุณหภูมิร้อนประมาณ 110 องศาเซลเซียส มากเกินความจำเป็น เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเชิงการประเมินในสภาวะปัจจุบันได้ 3.41 เปอร์เซนต์ และที่สภาวะปรับลดการจ่ายไอน้ำ 5.08 เปอร์เซนต์ ถือว่ามีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเชิงการประเมินต่ำมาก ซึ่งประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบจริงน่าจะน้อยเช่นกัน อาจเกิดจากหลายสาเหตุ อาทิ ระบบมีเทคโนโลยีเก่ากว่า 20 ปี มีระยะเวลาสั้นมากในการแลกเปลี่ยนความร้อน และอากาศที่ป้อนเข้าไปมีความลมเร็วสูง นอกจากนี้ยังเป็นไปได้ว่าเกิดจากการประเมินโดยใช้อุณหภูมิที่ผิวท่อ อย่างไรก็ตามการประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตความร้อน ในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง ในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงอุณหภูมิร้อนที่ 50-60 องศาเซลเซียสเหมาะสมและเพียงพอต่อการผลิตเหล็กแผ่นความหนาแน่นน้อยกว่า 0.40 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่มีการผลิตในกระบวนการ โดยจากการผลการคำนวณในเชิงเศรษฐศาสตร์สามารถลดต้นทุนของน้ำมันเตาได้กว่า 1,100,000 บาท/ปี และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเชิงการประเมินของระบบเพิ่มขึ้น 1.67 เปอร์เซนต์

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิษฐ์ (2545). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กชุบเคลือบสังกะสี [ออนไลน์]. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. ได้จาก : <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/70>
- [2] จีรวินน์ คลับคล้าย และ ชีระชาติ พรพิบูลย์ (2555). แบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของกระบวนการต้มและอุ่นน้ำอ้อยแบบหลายขั้นตอนในกระบวนการผลิตน้ำตาล. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8 (E-NETT8th). 2-4 พฤษภาคม 2555
- [3] พรเทพ กลิ่นรอด, วันชัย ทรัพย์ศิริ และ อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ (2548). การประหยัดไอน้ำในกระบวนการผลิตผลไม้ประปอง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19 (ME-NETT19th). 19-21 ตุลาคม 2548
- [4] นายวรุฒม์ บุญภักดี (2550). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ Solvent Recovery โดยวิธีการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม : กรณีศึกษา บริษัท ยูเนี่ยนไทย-นิจิบัน จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [5] บริษัท คอมพลีท เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ เซอร์วิส จำกัด. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchangers) [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.completesengineering.com/style/article_heat%20exchanger1.pdf อ้างถึง Yunus A. cengel and

Afshin J. ghajar (2011). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications 4th edition. McGraw-Hill Companies, Inc.

- [6] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ (2558). การออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [7] จรัส จีรวินบูลย์ (2553). หม้อไอน้ำฉบับใช้ในโรงงาน. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [8] โอดบ่ กกก้าแหง (2552). การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อไอน้ำ. จุลสารก๊าซไลน์ ปีที่ 20 ฉบับที่ 75. บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
- [9] สมชัย อัครทิวา และ ขวัญจิต วงษ์ขารี. เทอร์โมไดนามิกส์. สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล. อ้างถึง Yunus A. Cengel and Michael A. Boles (2011). Thermodynamics: An Engineering Approach, 7th edition. McGraw-Hill International Enterprises, Inc.

7. สัญลักษณ์ นิยาม

η	แทน ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ 90%
h_g	แทน เอนโทรปีไอน้ำ (kJ/kg)
h_f	แทน เอนโทรปีน้ำ (kJ/kg)
q	แทน ปริมาณน้ำมันเตา (kg/h)
HV	แทน ค่าความร้อนของน้ำมันเตา (kJ/kg)
Q_v	แทน มวลไอน้ำ (kg/h)
m_{air}	แทน อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/h)
A	แทน พื้นที่หน้าตัดท่อ (m^2)
V	แทน ความเร็วลม (m/min.)
ρ	แทน ความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3) โดยอุณหภูมิ $30^\circ C$ ความดัน 1 บรรยากาศ อากาศมีความหนาแน่น $1.164 kg/m^3$
h_1	แทน ค่าเอนโทรปีไอน้ำ (kJ/kg)
h_3	แทน ค่าเอนโทรปีน้ำคอนเดนเสท (kJ/kg)
m_1	แทน มวลไอน้ำ (kJ/h)
m_2	แทน มวลอากาศ (kJ/h)
C_p	แทน ความร้อนจำเพาะของอากาศ ($1.005 kJ/kg.K$)
T_1	แทน อุณหภูมิไอน้ำขาเข้า ($^\circ C$)
T_2	แทน อุณหภูมิอากาศขาเข้า ($^\circ C$)
T_3	แทน อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสทขาออก ($^\circ C$)
T_4	แทน อุณหภูมิความร้อนขาออก ($^\circ C$)
P_1	แทน ความดันไอน้ำ (kPa)
X	แทน สัดส่วนระหว่างไอและของเหลว
h_f	แทน ค่าเอนโทรปีไอน้ำ 450 กิโลปาสคาล (kJ/kg)
h_{fg}	แทน ค่าเอนโทรปีของผสม 450 กิโลปาสคาล (kJ/kg)
η_{th}	แทน ประสิทธิภาพเชิงการประเมินของระบบ (%)

ประวัติผู้เขียน

นายสรารัฐ เหมจันทร์ เกิดวันที่ 19 กรกฎาคม 2533 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสีคิ้ว “สวัสดิ์ผดุงวิทยา” อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร เมื่อปี พ.ศ. 2555 หลังจากจบการศึกษาระดับปริญญาตรีได้ทำงานที่บริษัทเอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา ตำแหน่งวิศวกรโครงการ ระดับ 6 (Project Engineer) จากนั้นเมื่อปี พ.ศ. 2558 ได้เข้าศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้เขียนได้นำเสนอผลงานวิชาการเรื่อง “การประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบผลิตลมร้อน ในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบโลหะจุ่มร้อน แบบต่อเนื่อง” ในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 ระหว่างวันที่ 13-15 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรมโนโวเทล ระยอง ริมน้ำ จังหวัดระยอง โดยมีรายละเอียดปรากฏในภาคผนวก ฉ.

