

การบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำ
กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ

THERMAL ENERGY MANAGEMENT OF BOILER:
A CASE STUDY OF TEXTILE FACTORY

พิชญา ศรีมงคล
PITCHAYA SRIMONGKOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-217-056

การบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำ
กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ

THERMAL ENERGY MANAGEMENT OF BOILER:
A CASE STUDY OF TEXTILE FACTORY

พิชญา ศรีมงคล
PITCHAYA SRIMONGKOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562
KMITL-2019-EN-M-217-056

THERMAL ENERGY MANAGEMENT OF BOILER:
A CASE STUDY OF TEXTILE FACTORY

PITCHAYA SRIMONGKOL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019
KMITL-2019-EN-M-217-056

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำ
กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Thesis Title THERMAL ENERGY MANAGEMENT OF BOILER: A CASE STUDY OF
TEXTILE FACTORY

ชื่อนักศึกษา นางสาวพิชญา ศรีมงคล

รหัสประจำตัว 57601329

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2019-EN-M-217-056

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข ผศ.ดร.ณัฐวิภา เจียรระโนวชิระ ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิววัฒน์ รศ.ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ.....
สถานที่สอบ.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ดร.กอบชัยเดชาหาญ)

คนบตี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำ กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ
นักศึกษา	นางสาวพิชญา ศรีมงคล
รหัสประจำตัว	57601329
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการบริหารจัดการพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งหนึ่ง การศึกษาเริ่มด้วยการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายเป็นเวลา 2 ปี พบว่า พลังงานความร้อนเป็นพลังงานหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต (86.15%) ซึ่งแหล่งพลังงานความร้อนหลักของกระบวนการผลิตมาจาก หม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน หลังจากวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์ ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำมีเพียง 44.31% ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหาจากอัตราการใช้น้ำที่ค่อนข้างไม่คงที่ในกระบวนการผลิต และการสูญเสียความร้อนที่ผิวผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ซึ่งมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายมีอยู่ด้วยกัน 2 มาตรการ คือ 1) มาตรการการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ โดยการจัดตารางการผลิตใหม่เพื่อลดความผันแปรของอัตราการผลิตไอน้ำ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 45.36% สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงกะลาปาล์มได้ 222.88 ตัน/ปี คิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 602,724.32 บาท/ปี และ 2) มาตรการติดตั้งความร้อนที่บริเวณผนังภายนอกของห้องเผาไหม้ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 47.13% สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้ 523.20 ตัน/ปี คิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 1,414,837.76 บาท/ปี เมื่อนำมาตรการทั้ง 2 มาตรการ มาใช้ร่วมกันทำให้มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด โดยจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 48.44% สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้ 731.30 ตัน/ปี คิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 1,977,592.6 บาท/ปี มีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ 8,143,988.81 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน 1,521.2237% และมีระยะเวลาในการคืนทุนน้อยกว่า 1 เดือน ที่อัตราผลตอบแทน 6.25% ต่อปี

Thesis	THERMAL ENERGY MANAGEMENT OF BOILER: A CASE STUDY OF TEXTILE FACTORY
Student	Miss Pitchaya Srimongkol
Student ID.	57601329
Degree	Master of Engineering
Program	Industrial Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Sakon Klongboonjit

ABSTRACT

This study purposes to manage thermal energy in textile factory. Firstly, the data of energy consumption in a fabric production process has been collected for 2 years. The data show that thermal energy is the important energy source of this process which a 6-ton boiler is the main thermal source. After calculation data of boiler usage with thermodynamics equations, 6-ton boiler thermal efficiency is about 44.31%. The main causes of low thermal efficiency are from unstable stream consumption in the fabric production process and heat loss from walls of the 6-ton boiler combustion chamber. To improve the thermal efficiency of this boiler, there are two feasible methods. These two feasible methods are: 1) To control the stream production rate by reducing stream consumption with new production scheduling plan, this method can improve the boiler thermal efficiency about 45.36% and reduce palm kernel shell consumption about 222.88 tons/year or about 602,724.32 bath/year saving cost and 2) To install new insulation at outside walls of the boiler combustion chamber, this method can improve the thermal efficiency of boiler about 45.23% and reduce palm kernel shell consumption of 523.20 tons/year or about 1,414,837.76 bath/year saving cost. Finally, these two methods are together applied with the fabric production process which can improve the thermal efficiency of boiler about 48.44% and reduce palm kernel shell consumption of 731.30 tons/year or about 1,977,592.6 bath/year saving cost. That is equally to net present value of 8,143,988.81 bath, internal rate of return of 1,521.2237% and payback period is less than 1 month at rate of return of 6.25% per year.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ ตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คณะผู้บริหาร พนักงานและเจ้าหน้าที่ของโรงงานในกรณีศึกษา ที่ให้การสนับสนุน ทั้งทางด้านข้อมูล ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนการอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลต่างๆ

สุดท้ายต้องขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า และเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำ และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับครอบครัว ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พิชญา ศรีมงคล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การผลิตผ้าฝ้าย.....	5
2.1.1 กระบวนการทอผ้า.....	5
2.1.2 กระบวนการฟอก ย้อม และตกแต่งสำเร็จ.....	8
2.2 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ.....	11
2.2.1 สถานการณ์การด้านพลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย.....	11
2.2.2 แหล่งพลังงานไฟฟ้าในโรงงานงานอุตสาหกรรม.....	13
2.2.3 แหล่งพลังงานความร้อนในโรงงานงานอุตสาหกรรม.....	17
2.2.4 ลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย.....	25
2.3 มาตรการการบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ.....	29
2.3.1 มาตรการการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า.....	29
2.3.2 มาตรการการบริหารจัดการพลังงานความร้อน.....	36
2.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.....	39
2.5 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41
2.6 บทสรุปการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	46
3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของโรงงานในกรณีศึกษา	47
3.2 เก็บข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานในกรณีศึกษา.....	47
3.3 ประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษา	48
3.3.1 การประเมินการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานกรณีศึกษา	48
3.3.2 การวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน	48
3.3.3 การวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงาน	48
3.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานระดับเครื่องจักรและอุปกรณ์	50
3.4.1 การตรวจวัด.....	50
3.4.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน.....	58
3.5 มาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงาน	58
3.6 สรุปมาตรการที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.....	58
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	59
4.1 ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานกรณีศึกษา.....	59
4.2 ข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานในกรณีศึกษา	66
4.3 ผลการประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษา	69
4.3.1 ผลการประเมินการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงาน	69
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน.....	70
4.3.3 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงาน	73
4.4 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานระดับเครื่องจักรและอุปกรณ์.....	74
4.4.1 การตรวจวัด.....	74
4.4.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน.....	79
4.5 มาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำ.....	89
4.5.1 มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ	91
4.5.2 มาตรการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์	93
4.5.3 มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอ ต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ	96
4.5.4 มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ	99
4.5.5 มาตรการติดตามความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน	102

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการ	110
4.6.1 มาตรการการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ.....	110
4.6.2 มาตรการลดอุณหภูมิความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน	112
4.6.3 กรณีที่มีการดำเนินการพร้อมกันทั้ง 2 มาตรการ.....	114
4.7 ผลการเปรียบเทียบมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำ	117
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	120
5.1 สรุปผลการวิจัย	120
5.2 ข้อเสนอแนะ	122
เอกสารอ้างอิง.....	123
ภาคผนวก ก แบบบันทึกข้อมูลการตรวจวัดสำหรับพลังงานไฟฟ้าและความร้อน.....	127
ภาคผนวก ข ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานของกระบวนการทอและกระบวนการพอก ย้อม แต่งสำเร็จ ในกรณีศึกษา	130
ภาคผนวก ค ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานระดับเครื่องจักรอุปกรณ์ ..	133
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ผลการดำเนินการตามมาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหาร จัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำโรงงานในกรณีศึกษา.....	149
ภาคผนวก จ การประเมินเพื่อจัดทำข้อเสนอมาตรการการบริหารพลังงานความร้อน สำหรับหม้อไอน้ำโรงงานกรณีศึกษา.....	167
ภาคผนวก ฉ เอกสารการตีพิมพ์.....	171
ประวัติผู้เขียน	179

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	การใช้พลังงานในสาขาอุตสาหกรรมการผลิตจำแนกตามสาขาย่อย 12
2.2	ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศป้อนและก๊าซไอเสียเชิงทฤษฎี 20
2.3	ระดับความส่องสว่างภายในอุตสาหกรรมสิ่งทอ พร้อมค่า UGR และดัชนี ความถูกต้องของสี 29
2.4	แสดงการปรับอากาศที่เหมาะสมในโรงงานสิ่งทอ 33
2.5	อากาศส่วนเกินที่เหมาะสม 36
3.1	ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอกรณีศึกษาปี 2559-2560 47
3.2	แบบบันทึกข้อมูลการคำนวณหาค่าดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงาน 49
3.3	การตรวจวัดและเครื่องมือวัดสำหรับระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้า 55
3.4	การตรวจวัดและเครื่องมือวัดสำหรับระบบที่ใช้พลังงานความร้อน 57
4.1	ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอกรณีศึกษาปี 2559 67
4.2	ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอกรณีศึกษาปี 2560 68
4.3	ข้อมูลการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำของโรงงานในกรณีศึกษา เฉลี่ยรายเดือน 75
4.4	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ 79
4.5	ค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ 87
4.6	มาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำกรณีศึกษา 90
4.7	คุณสมบัติของเชื้อเพลิงกะลาปาล์มและไม้สับ 93
4.8	การจัดช่วงระยะเวลาการสั่งซื้อและการใช้เชื้อเพลิงในปี 2561 95
4.9	ผลการวิเคราะห์ปรับค่าความดันไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำ 96
4.10	เปรียบเทียบอุณหภูมิก่อนและหลังการติดตั้งฉนวนที่ผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ 103
4.11	ค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้หลังติดตั้งฉนวนความร้อน 103
4.12	คำอธิบายการให้คะแนนสำหรับการพิจารณาเลือกมาตรการ 106
4.13	สรุปมาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงานความร้อนของโรงงานกรณีศึกษา 107
4.14	การคัดเลือก เพื่อจัดทำมาตรการในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงงาน 109
4.15	รายละเอียดการของมาตรการติดตั้งฉนวนความร้อน 112
4.16	รายละเอียดการของการดำเนินการทั้ง 2 มาตรการพร้อมกัน 115
4.17	การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ 117

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	สัดส่วนการนำเข้า และการส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทย ปี พ.ศ. 2560 1
1.2	การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม ปี พ.ศ. 2556-2560 2
2.1	โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอ 6
2.2	การกรอผ้า 7
2.3	การสับผ้าแบบตรง 7
2.4	การสับผ้าแบบแถบ 7
2.5	การลงแป้ง 7
2.6	โครงสร้างพื้นฐานตามหลักการทอผ้าของเครื่องทอผ้า 8
2.7	สัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละสาขาเศรษฐกิจ ปี พ.ศ. 2556-2560 11
2.8	โครงสร้างการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ 12
2.9	หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ 18
2.10	หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ 18
2.11	การใช้พลังงานในกระบวนการผลิต 26
2.12	แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการทอผ้า 27
2.13	แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการฟอก ย้อม และแต่งสำเร็จ 28
3.1	แผนผังรูปที่ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 46
3.2	แผนผังขั้นตอนตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 50
3.3	เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า 51
3.4	เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า 52
3.5	เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า 52
3.6	เครื่องมือวัดระดับแสงสว่าง 52
3.7	เครื่องมือวัดความเร็วรอบ 53
3.8	เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น 53
3.9	เครื่องวัดความเร็วลม 54
3.10	เครื่องทดสอบการเผาไหม้ 54
3.11	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส 54
4.1	กระบวนการผลิตและลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานในกรณีศึกษา 59
4.2	ขั้นตอนการกรอผ้าของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา 60
4.3	ขั้นตอนการสับผ้าของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา 61
4.4	ขั้นตอนการลงแป้งของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา 61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5	ขั้นตอนการรวมด้ายของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา..... 61
4.6	ขั้นตอนการร้อยตะกอกของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา..... 62
4.7	ขั้นตอนการทอผ้าของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา..... 62
4.8	ขั้นตอนการตรวจสอบผ้าของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา..... 63
4.9	ขั้นตอนการลอกแป้งทำความสะอาด และฟอกขาว ของกระบวนการฟอกย้อม 63
4.10	ขั้นตอนการย้อมของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา..... 64
4.11	ขั้นตอนการสลัดแห้งผ้าของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา..... 64
4.12	ขั้นตอนการอบแห้งของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา..... 65
4.13	ขั้นตอนการตกแต่งผ้าของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา 65
4.14	ขั้นตอนการตรวจสอบผ้าของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา 66
4.15	สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานในกรณีศึกษาปี 2559 และ 2560 69
4.16	การใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนของโรงงานในกรณีศึกษาปี พ.ศ. 2559 70
4.17	การใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนของโรงงานในกรณีศึกษาปี พ.ศ. 2560 70
4.18	หม้อไอน้ำของโรงงานในกรณีศึกษา..... 73
4.19	สัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนของโรงงานในกรณีศึกษา..... 74
4.20	ผนังห้องเผาไหม้ที่ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ 76
4.21	เครื่องบันทึกอุณหภูมิที่ใช้ในการตรวจวัด..... 76
4.22	พื้นที่ผิวผนังห้องเผาไหม้ด้านข้าง (ซ้าย-ขวา) 77
4.23	พื้นที่ผิวผนังห้องเผาไหม้ด้านป้อนเชื้อเพลิง 78
4.24	พื้นที่ผิวผนังห้องเผาไหม้ด้านน้ำป้อน 78
4.25	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำตลอดระยะเวลาการทำงานใน 1 วัน 88
4.26	แนวโน้มราคากะลาปาล์มและไม้สับในแต่ละเดือนตั้งแต่ มกราคมถึง ธันวาคม ปี 2559 94
4.27	อัตราการผลิตไอน้ำในแต่ละช่วงเวลาตลอดระยะเวลาการทำงาน 1 วัน ของหม้อไอน้ำ..... 99
4.28	ประสิทธิภาพรวมหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ ... 100
4.29	ประสิทธิภาพรวมหม้อไอน้ำหลังดำเนินการตามมาตรการติดฉนวนความร้อน..... 104
4.30	แผนภาพกระแสเงินสดของมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ..... 110
4.31	แผนภาพกระแสเงินสดของมาตรการติดฉนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน..... 112
4.32	แผนภาพกระแสเงินสดของการดำเนินพร้อมกันทั้ง 2 มาตรการ 115
4.33	แนวโน้มราคากะลาปาล์มในแต่ละเดือนตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม ปี 2560 118

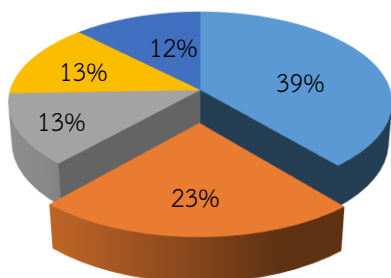
บทที่ 1

บทนำ

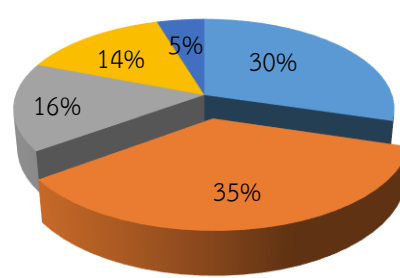
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยอุตสาหกรรมย่อยหลายส่วนประกอบกัน ตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำไปจนถึงอุตสาหกรรมปลายน้ำ ได้แก่ อุตสาหกรรมเส้นใย อุตสาหกรรมปั่นด้าย อุตสาหกรรมทอผ้าหรือถักผ้า อุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จ อุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูป อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มและสิ่งทออื่นๆ โดยอุตสาหกรรมทั้งระบบจะประสานต่อเนื่องกัน มีการส่งต่อวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมหนึ่งไปยังอีกอุตสาหกรรมหนึ่ง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมการทำชิป กระดุม ลีเยอัม สารเคมี เป็นต้น [1] อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มจึงนับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของไทย สามารถสร้างรายได้จากการส่งออก และมีอัตราการจ้างแรงงานสูง ทำให้เกิดการกระจายรายได้สู่ประชากรในประเทศ จากข้อมูลการส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทย พบว่า ปี พ.ศ. 2560 มีมูลค่าการส่งออก 6,700.71 ล้านบาท เพิ่มขึ้น 3.9% จากปีก่อนหน้า ซึ่งผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มที่มีการนำเข้าและส่งออกสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ด้าย เส้นใย ผ้าฝืน เครื่องนุ่งห่ม และสิ่งทออื่นๆ โดยกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าการส่งออกสูงสุด คือ เครื่องนุ่งห่ม มีมูลค่าการส่งออก 2,347.66 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วน 38.8% ของมูลค่าการส่งออกรวมในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม และรองลงมาคือ ผ้าฝืน มีมูลค่าการส่งออก 1,384.78 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วน 22.9% ขณะที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเข้าสูงสุด คือ ผ้าฝืน มีมูลค่าการนำเข้า 1,660.39 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วน 35.5% ของมูลค่าการนำเข้ารวมในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม [2] แสดงให้เห็นว่าผ้าฝืนเป็นผลิตภัณฑ์อันดับต้นๆ ของอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มที่มีความต้องการของทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเครื่องนุ่งห่มที่เป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกอันดับหนึ่งของไทยอีกด้วย

การส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม



การนำเข้าสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม

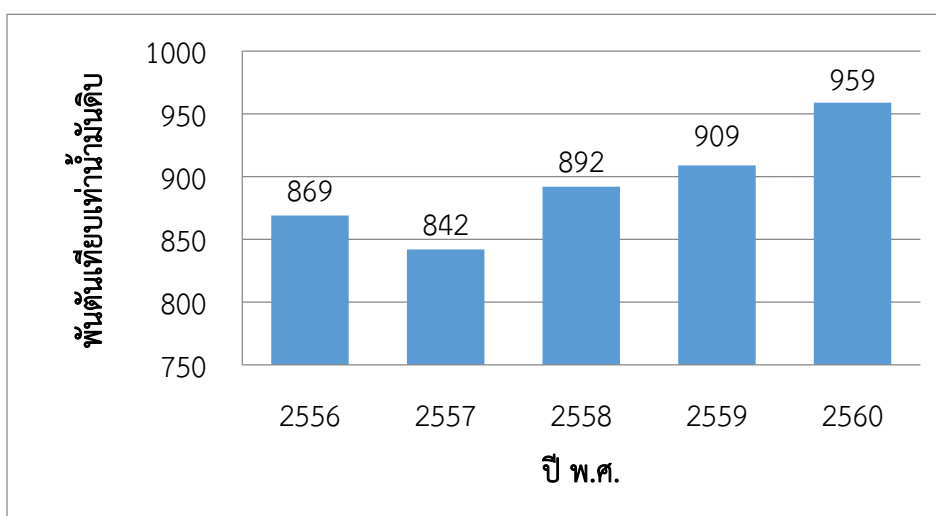


■ เครื่องนุ่งห่ม ■ ผ้าฝืน ■ ด้าย ■ เส้นใย ■ สิ่งทออื่นๆ

รูปที่ 1.1 สัดส่วนการนำเข้า และการส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทย ปี พ.ศ. 2560 [2]

ผ้าฝ้าย (Textile Fabric) จัดเป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมกลางน้ำที่มีการนำวัตถุดิบจาก อุตสาหกรรมต้นน้ำจำพวกเส้นใยมาทำการผลิตเป็นเส้นด้ายในอุตสาหกรรมปั่นด้าย จากนั้นเส้นด้าย จะถูกส่งต่อไปผลิตเป็นผ้าฝ้ายยังอุตสาหกรรมทอผ้าหรือถักผ้า และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่ง สำเร็จโดยมีกระบวนการผลิตที่สำคัญ คือ กระบวนการทอผ้าหรือถักผ้า ที่ประกอบด้วยขั้นตอนการ กรอด้าย สืบด้าย ลงแปรง ทอผ้าหรือถักผ้า และกระบวนการฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จ ที่ ประกอบด้วยขั้นตอนการ ผาชน ลอกแปรง ทำความสะอาดหรือกำจัดสิ่งสกปรก ฟอกขาว ซูบมัน ย้อม อบแห้ง และแต่งสำเร็จ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นล้วนมีพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานในการ ผลิต แบ่งประเภทของพลังงานได้ 2 รูปแบบ คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยพลังงาน ไฟฟ้าจะใช้สำหรับมอเตอร์ต้นกำลังของเครื่องจักร เช่น เครื่องกรอด้าย เครื่องสืบด้าย เครื่องทอผ้า เป็นต้น รวมไปถึงใช้สำหรับระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์สำนักงาน ต่างๆ เป็นต้น และส่วนพลังงานความร้อนโดยส่วนใหญ่จะได้จากเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการผลิตไอน้ำ ของหม้อไอน้ำ ซึ่งหม้อไอน้ำจะถูกเผาไหม้ด้วยเชื้อเพลิงทำให้เกิดเป็นไอน้ำที่เป็นตัวพาความร้อน ใช้ใน การดูดเครื่องจักรไอน้ำ หรือในกระบวนการผลิตที่ต้องใช้ความร้อน เช่น การลงแปรง การลอกแปรง การ ย้อม การอบแห้ง เป็นต้น [3]

เมื่อพิจารณาถึงการใช้พลังงานปี พ.ศ. 2560 ในแต่ละสาขาเศรษฐกิจ พบว่า สาขา อุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานมากเป็นอันดับสองรองจากสาขาการขนส่ง มีการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย 28,459 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นสัดส่วน 35.2% ของการใช้พลังงานรวมในทุกสาขา เศรษฐกิจ โดยในอุตสาหกรรมการผลิตสาขาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม มีการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย 959 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้า 5.21% และมีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ตั้งแต่ปี 2558 เป็นต้นมา แสดงดังรูปที่ 1.2 ซึ่งมีการใช้พลังงานจากถ่านหิน (25.1%) น้ำมันสำเร็จรูป (10.1%) ก๊าซธรรมชาติ (7.6%) ไฟฟ้า (56.5%) และพลังงานหมุนเวียน (0.6%) [4]



รูปที่ 1.2 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม ปี พ.ศ. 2556-2560 [4]

ขณะที่ปัจจุบันทรัพยากรด้านพลังงานมีอยู่จำกัด ไม่สามารถจัดหาหรือผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการได้ทัน เชื้อเพลิงบางชนิดต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ส่งผลให้ต้นทุนในด้านพลังงานเพิ่มขึ้น ประกอบกับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมทอผ้าหรือถักผ้า และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินลงทุนและเทคโนโลยีในระดับปานกลางถึงสูง มีการใช้เครื่องจักรในการผลิตที่ใช้งานมายาวนาน เครื่องจักรมีประสิทธิภาพต่ำ ต้องสิ้นเปลืองพลังงานมาก ในการผลิต ทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยเหตุนี้ การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมทอผ้าหรือถักผ้า และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จจึงเป็นประเด็นที่ถูกให้ความสำคัญ แม้ว่าการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นจะเป็นปัจจัยที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ต่อการผลิต และการส่งออกที่สูงขึ้น แต่หากมีการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจะเป็นการช่วยลดการสูญเสียพลังงานและต้นทุนการผลิตที่ต้องสูญเสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์ ดังที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อกำกับดูแล ส่งเสริม และสนับสนุนให้ โรงงานควบคุม และอาคารควบคุม ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานด้วยการผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด และส่งเสริมสนับสนุนให้เกิดการผลิต เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งส่งเสริมการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานขึ้นในประเทศ ได้มีการศึกษาแนวทางและวิธีการในการอนุรักษ์พลังงานที่สามารถดำเนินการได้หลายมาตรการ เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพของการเผาไหม้เชื้อเพลิง การป้องกันการสูญเสียพลังงาน และการนำพลังงานที่เหลือจากการใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น [5]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษากาการบริหารจัดการพลังงานในอุตสาหกรรมทอผ้าหรือถักผ้า และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จ เพื่อให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยได้ทำการศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งหนึ่งในจังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีอุตสาหกรรมทอผ้าหรือถักผ้า และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จมากเป็นอันดับหนึ่งในภาคตะวันตก โรงงานในกรณีศึกษาเป็นโรงงานขนาดใหญ่ที่มีการประกอบกิจการอุตสาหกรรม การผลิตทั้ง 2 ประเภท คือ การทอ และการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ เปิดดำเนินกิจการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 ทำให้มีเครื่องจักรและเทคโนโลยีการผลิตที่ใช้งานมาอย่างยาวนาน โดยจะทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนของโรงงาน แล้วประเมินปริมาณการใช้พลังงานเพื่อบ่งชี้ว่า โรงงานมีการใช้พลังงานใดสูงสุด และมีระบบหรือกระบวนการใดที่มีนัยสำคัญต่อปริมาณการใช้พลังงาน จากนั้นจะทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จนนำไปสู่การสร้างและเลือกมาตรการที่เหมาะสมในการบริหารจัดการพลังงานของโรงงานในกรณีศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย ของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในกรณีศึกษา
2. เพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในกรณีศึกษา
3. เพื่อเสนอมาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในกรณีศึกษา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดใหญ่ในจังหวัดราชบุรี
2. งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิตผ้าฝ้ายของโรงงานในกรณีศึกษา ที่ประกอบด้วยกระบวนการทอ และกระบวนการฟอก ย้อม และแต่งสำเร็จ
3. งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในกรณีศึกษา ย้อนหลัง ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2559 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2560
4. การตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานในกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้จะต้องไม่กระทบต่อการดำเนินการผลิตของโรงงาน
5. ขอบเขตข้อมูลอ้างอิง
 - 1) อัตราค่าเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดกะลาปาล์ม อ้างอิงจากราคาซื้อของโรงงานในกรณีศึกษาปี 2560
 - 2) อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ อ้างอิงจากข้อมูลสินเชื่อเพื่อการประกอบธุรกิจ ธนาคารกสิกรไทย พ.ศ. 2561 เท่ากับ 6.25%

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบรูปแบบการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในกรณีศึกษา
2. ได้มาตรการที่เป็นไปได้สำหรับการลดใช้พลังงาน และลดต้นทุนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอกรณีศึกษา

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการศึกษา วิเคราะห์ และประเมินการใช้พลังงานของโรงงานในกรณีศึกษา เพื่อหามาตรการการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสม โดยได้ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีต่างๆ ทั้งทฤษฎีการผลิตผ้าผืน แหล่งพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ มาตรการการบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงงานวิจัยที่มีผู้ทำการศึกษาผ่านมาแล้วเพื่อประกอบการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งแสดงรายละเอียดดังนี้

2.1 การผลิตผ้าผืน [1] และ [6]

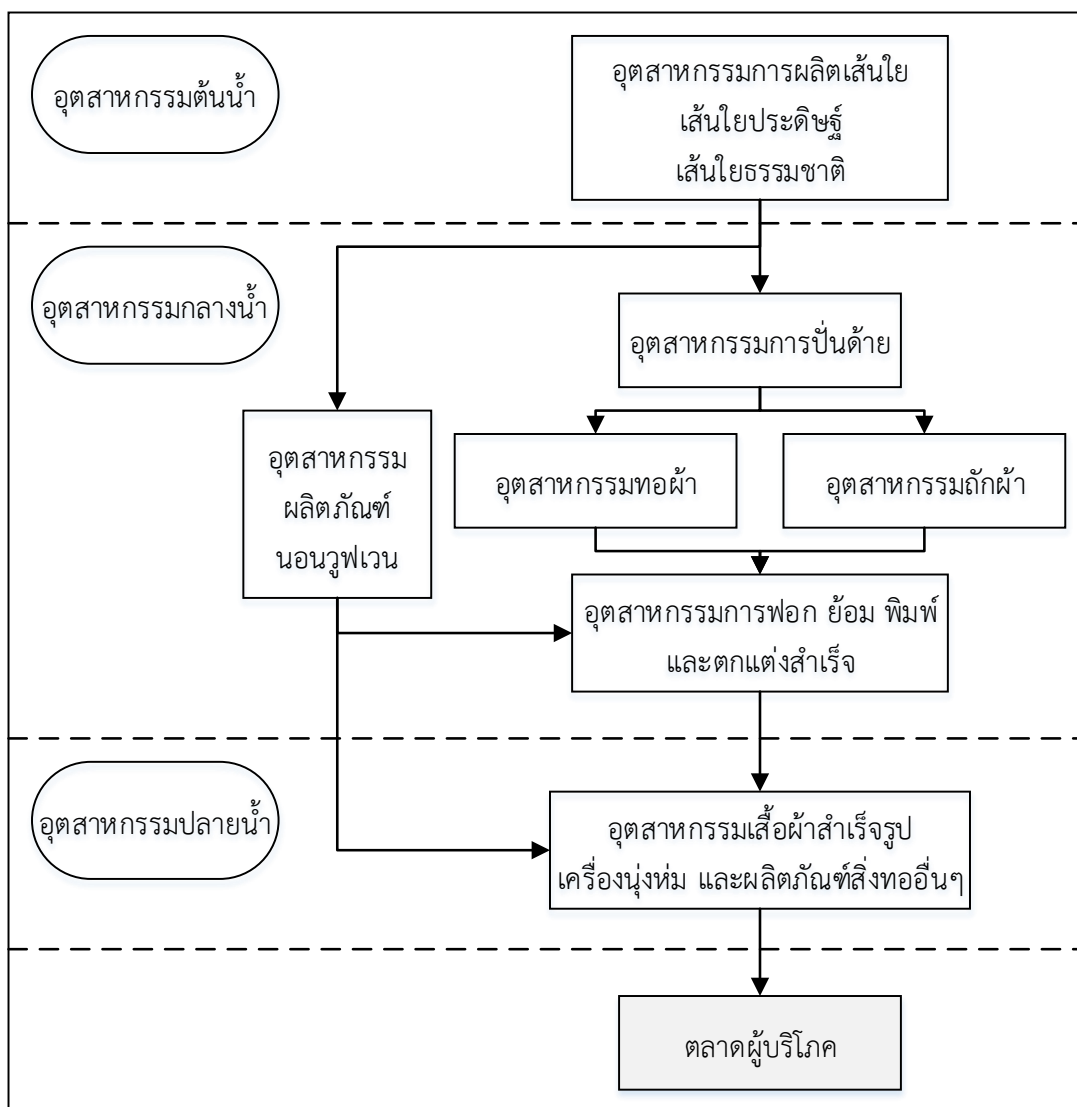
อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทยประกอบด้วยอุตสาหกรรมต่างๆ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน แสดงดังรูปที่ 2.1 เริ่มตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream) เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้เงินลงทุนและเทคโนโลยีในระดับสูง (Capital intensive) ประกอบด้วย อุตสาหกรรมเส้นใย ต่อมาคือ อุตสาหกรรมกลางน้ำ (Middle stream) เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินลงทุนและเทคโนโลยีในระดับปานกลางถึงสูง หรือเน้นการใช้แรงงาน (Capital or labor intensive) ประกอบด้วย อุตสาหกรรมปั่นด้าย อุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ และแต่งสำเร็จ และสุดท้ายคือ อุตสาหกรรมปลายน้ำ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้แรงงานเป็นหลัก (Labor intensive) ใช้เงินลงทุน เทคโนโลยี และเครื่องจักรไม่สูงมากนัก ประกอบด้วย อุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูป อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มและผลิตภัณฑ์สิ่งทออื่นๆ [1]

ผ้าผืน เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งในอุตสาหกรรมกลางน้ำ ผลิตได้จากสารละลาย เส้นใย เส้นด้าย หรือวัสดุพื้นฐานหลายอย่างรวมกัน แตกต่างกันไปตามแนวทางการผลิต เช่น การผลิตด้วยเส้นด้าย การผลิตด้วยเส้นใยแบบนอนวูฟเวน (Nonwovens) และการผลิตแบบเทคนิคผสม ซึ่งเมื่อกล่าวถึงผ้าผืนที่ผลิตจากเส้นด้าย เป็นการผลิตโดยการนำเส้นด้ายจากอุตสาหกรรมปั่นด้ายมาผลิตเป็นผ้าผืนในอุตสาหกรรมทอผ้า และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จมีกระบวนการผลิตที่สำคัญดังนี้

2.1.1 กระบวนการทอผ้า [1] และ [6]

การเตรียมเส้นด้ายสำหรับการทอ

เป็นการนำเส้นด้ายมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้เส้นด้ายอยู่ในลักษณะพร้อมที่จะนำไปทอ ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้



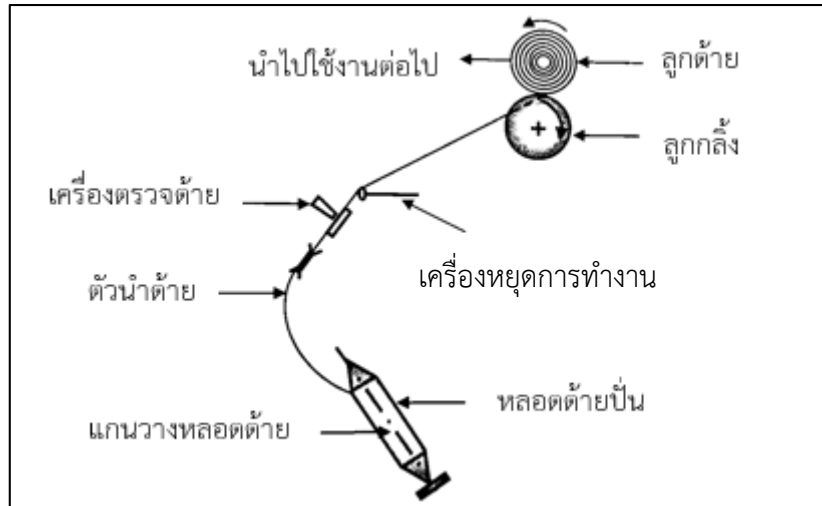
รูปที่ 2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอ [1]

1. การกรอด้าย (Spinning)

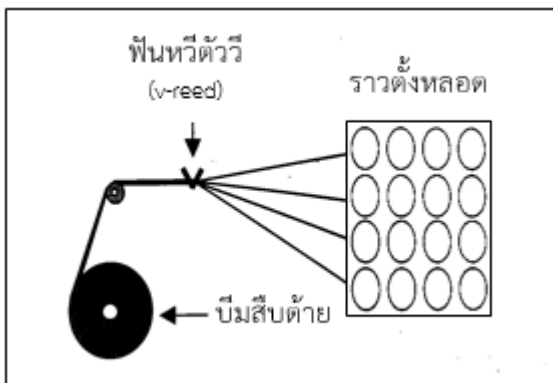
เป็นการคลายเส้นด้ายออกจากหลอดด้าย เพื่อตรวจสอบและกำจัดจุดบกพร่องบนเส้นด้าย จากนั้นจะม้วนเส้นด้ายเก็บด้วยลูกด้าย (Package) ซึ่งเครื่องกรอด้ายจะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการคลายเส้นด้ายออกจากหลอดด้าย ส่วนที่ 2 เป็นการตรวจสอบเส้นด้าย และส่วนสุดท้ายคือการม้วนเก็บเส้นด้ายเป็นลูกด้าย แสดงดังรูปที่ 2.2

2. การสืบด้าย (Warping)

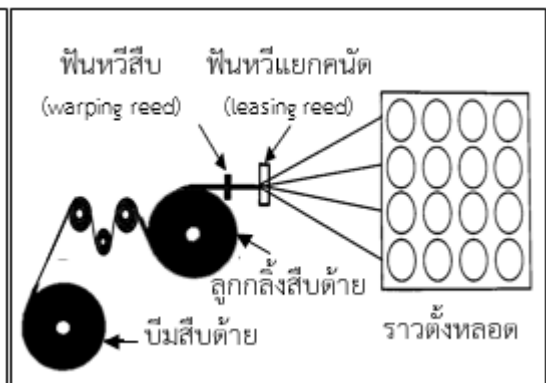
เป็นการนำเส้นด้ายจากลูกด้ายมาวางเรียงต่อกันอย่างเป็นระเบียบและมีจำนวนตามต้องการ จากนั้นจะม้วนเก็บลงปิม (Beam) เนื่องจากการทอทุกครั้งโครงสร้างของผ้าจะต้องถูกจัดเรียงเป็นแผ่นเสมอ ซึ่งการสืบด้ายมี 2 แบบ คือ การสืบด้ายแบบตรง (Direct warping) ใช้สำหรับสืบด้ายเพื่อทอผ้าชนิดผ้าฝืนสีเดียว แสดงดังรูปที่ 2.3 และการสืบด้ายแบบเป็นแถบ (Sectional warping) ใช้สำหรับสืบด้ายเพื่อทอผ้าให้มีเส้นด้ายยืนเป็นแถบสีตามกำหนด แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.2 การกรอด้วย [1]



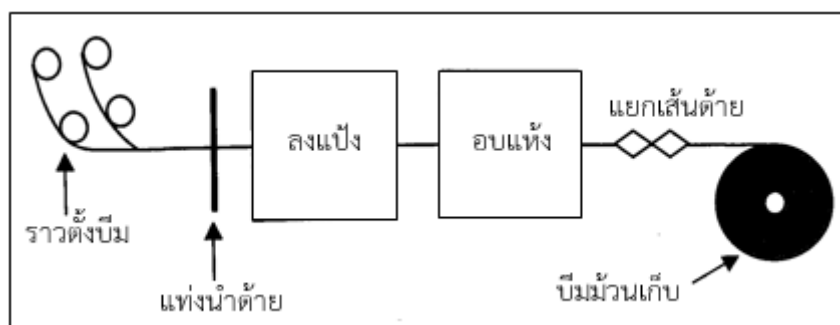
รูปที่ 2.3 การสับด้ายแบบตรง [1]



รูปที่ 2.4 การสับด้ายแบบเป็นแถบ [1]

3. การลงแป้ง (Sizing or Slashing)

เป็นการทำให้เส้นด้ายมีความแข็งแรง ช่วยให้ระหว่างเส้นใยยึดติดกันดีขึ้น ผิวของเส้นด้ายมีความเรียบ และเป็นการหล่อลื่นผิวของเส้นด้าย เพื่อลดแรงเสียดสีขณะทอ โดยเครื่องลงแป้งแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ ส่วนของราวตั้งบีม ส่วนของการลงแป้ง การอบแห้ง การแยกเส้นด้าย และการม้วนเก็บ แสดงดังรูปที่ 2.5

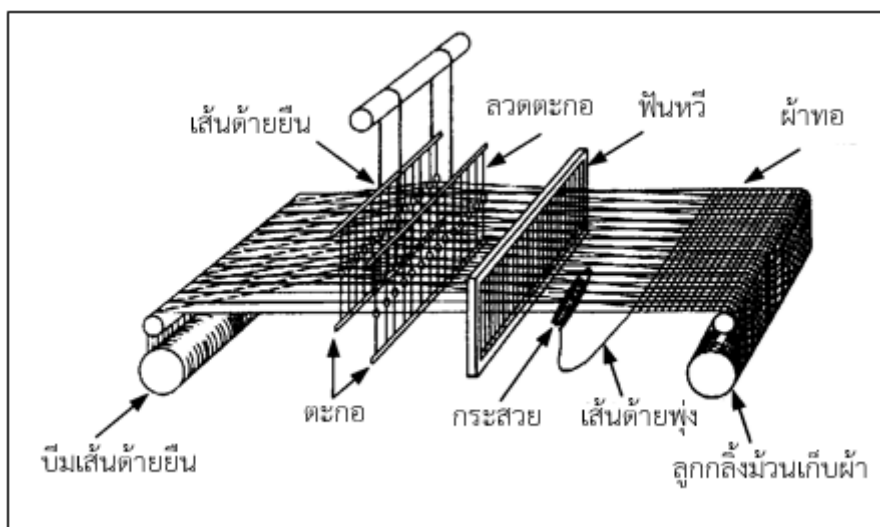


รูปที่ 2.5 การลงแป้ง [1]

การทอผ้า (Weaving)

เป็นการสร้างผ้าผืนจากเส้นด้าย 2 ชุด คือ เส้นด้ายที่วางตามแนวยาวของผ้า เรียกว่าเส้นด้ายยืน (Warp) และเส้นด้ายที่วางตามแนวขวางของผ้า เรียกว่าเส้นด้ายพุ่ง (Weft) มาขัดสานกัน แสดงดังรูปที่ 2.6 ด้วยเครื่องทอผ้า (Weaving machine) ซึ่งในปัจจุบันเครื่องทอผ้ามีวิวัฒนาการไปอย่างกว้างขวาง พัฒนาจากเครื่องทอผ้าแบบใช้กระสวยไปเป็นเครื่องทอผ้าแบบไร้กระสวย โดยอุตสาหกรรมทอผ้ามีการใช้เครื่องทอผ้าแบบไร้กระสวยชนิดต่างๆ เช่น เครื่องทอแรเพียร์ (Rapier loom) เครื่องทอผ้าไร้กระสวยแบบใช้ลมพ่น (Air jet loom) เครื่องทอผ้าไร้กระสวยแบบใช้น้ำพ่น (Water jet loom) เครื่องทอแบบโปรเจกไทล์ เป็นต้น โดยมีหลักการการทอดังนี้

1. ยกตะกอกขึ้น-ลง เพื่อให้เกิดช่องว่างให้เส้นด้ายพุ่ง วิ่งผ่านเส้นด้ายยืน
2. เส้นด้ายพุ่งวิ่งผ่านช่องว่างระหว่างเส้นด้ายยืน ซึ่งเส้นด้ายพุ่งอาจถูกพาไปด้วยกระสวย หรือที่ไม่ใช้กระสวยขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องทอผ้า
3. เส้นด้ายพุ่งที่วิ่งผ่านช่องว่างเรียบร้อยแล้วจะถูกอัดด้วยฟันหวี (Reed) เพื่อให้โครงสร้างของผ้ามีความแข็งแรง
4. ผ้าที่ทอได้จะถูกม้วนเก็บเข้าหลอด โดยมีการควบคุมการม้วนเก็บผ้าทอและการปล่อยเส้นด้ายยืนออกจากบีมให้สอดรับกัน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างพื้นฐานตามหลักการทอผ้าของเครื่องทอผ้า [1]

2.1.2 กระบวนการฟอก ย้อม และตกแต่งสำเร็จ [1] และ [6]

การเตรียมผ้า

เป็นการเตรียมผ้าที่ได้จากการทอให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสม ก่อนที่จะนำไปสู่กระบวนการย้อม พิมพ์ หรือตกแต่งสำเร็จ ทั้งยังเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกและสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ โดยเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเตรียมผ้าจะมีทั้งที่เป็นการใช้ระบบที่ละห้อม และระบบต่อเนื่อง ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. การเผาขน (Singeing)

เป็นการกำจัดปลายเส้นใยที่ยื่นเกินออกมาบนหน้าผ้า เพื่อให้ผ้ามีผิวเรียบเป็นมันเงา เมื่อนำไปย้อมจะทำให้ผ้าติดสีสม่ำเสมอ การเผาขนนั้นทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยม คือการเผาด้วยเปลวไฟจากแก๊ส โดยผ้าจะถูกผ่านเข้าไปยังเปลวไฟด้วยความเร็วและระยะห่างระหว่างเปลวไฟที่พอเหมาะ

2. การลอกแป้ง (Desizing)

เป็นการกำจัดแป้งที่ลงไว้ในเส้นด้ายออก เมื่อนำไปย้อมจะทำให้ผ้าติดสีดีและมีความสม่ำเสมอ วิธีการกำจัดทำได้หลายวิธี เช่น การหมัก การใช้กรด การใช้เอนไซม์ และการใช้สารออกซิไดส์ โดยวิธีการจะขึ้นอยู่กับชนิดแป้งที่ลงไว้ในเส้นด้าย

3. การทำความสะอาดหรือการกำจัดสิ่งสกปรก (Scouring)

เป็นการกำจัดไขมันและสิ่งปนเปื้อนบนผ้า ซึ่งมีทั้งเกลือต่างๆ ตลอดจนไอออนของโลหะ โดยทั่วไปนิยมใช้สารละลายโซดาไฟและน้ำสบู่อเป็นตัวหลัก และมีสารที่เป็นตัวช่วยในการจับไอออนโลหะผสมอยู่ด้วย หลังจากผ่านการกำจัดในอ่างน้ำยาผสมแล้ว จะถูกหมักย้อมในตู้อบไอน้ำ จากนั้นจะถูกซักล้างและทำให้แห้ง

4. การฟอกขาว (Bleaching)

เป็นการกำจัดสารมีสีในธรรมชาติที่ติดมา และทำให้ผ้าขาวสะอาดพร้อมสำหรับนำไปย้อม ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการฟอกขาวเป็นสารประเภทออกซิไดส์ หรือรีดิวส์ โดยการใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของผ้า

5. การชุบมัน (Mercerization)

เป็นการทำให้ลักษณะของเส้นใย จากลักษณะบิดตัวเปลี่ยนเป็นหลอดกลม หดตัว ทำให้มีความแข็งแรง มีผิวมัน และมีลักษณะคงตัว ไม่ยับง่าย นอกจากนี้ยังช่วยให้การดูดซึมสีและสารเคมีในการย้อมดีขึ้น การชุบมันทำได้โดยการผ่านผ้าที่ซึ่งตั้งลงไปนสารละลายโซดาไฟ แล้วฉีดล้างด้วยน้ำร้อน จากนั้นทำให้เป็นกลางด้วยกรด แล้วจึงซักล้างทำความสะอาด และทำให้แห้ง

การย้อม (Dyeing process)

กระบวนการย้อมแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การย้อมแบบต่อเนื่อง (Continuous dyeing process) เป็นกระบวนการที่เหมาะสมกับการย้อมครั้งละมากๆ และการย้อมแบบทีละหม้อ (Batch-wise dyeing process) เป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตจำนวนไม่มากในแต่ละครั้ง ซึ่งเครื่องย้อมมีหลายประเภท เช่น เครื่องจิกเกอร์ (Jigger) เครื่องวินช์ (Winch) เครื่องเจต (Jet) เป็นต้น โดยกระบวนการให้สีในกระบวนการย้อม มีขั้นตอน ดังนี้

1. การย้อม (Dyeing) เป็นการทำให้ผ้าหรือเส้นด้ายมีสีเหมือนกันทั้งผืน โดยทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับผ้า

2. การอบผนึกสี (Heat Fixation) คือการใช้ความร้อนทำให้สีติดกับเส้นใย

3. การซักล้าง (Washing-Off) คือการกำจัดสีและสารเคมีส่วนเกินที่ไม่ได้ผนึกติดอยู่บนเส้นใยให้หลุดออกไป

4. การอบแห้ง (Drying) คือการนำผ้าที่ผ่านการย้อม และการล้างขั้นสุดท้ายมาอบให้แห้ง ซึ่งถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการย้อม ก่อนนำไปสู่กระบวนการแต่งสำเร็จ

การพิมพ์ผ้า (Printing process)

เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดลวดลายบนผืนผ้าด้วยเครื่องพิมพ์ด้วยมือที่อาศัยแรงงานคน หรือการพิมพ์ด้วยเครื่องจักร เช่น เครื่องพิมพ์โรลเลอร์ เครื่องสกรีนแบบราบ เครื่องโรตารีสกรีน เป็นต้น ซึ่งมีวิธีการพิมพ์แบ่งออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

1. พิมพ์โดยตรง (Direct printing) เป็นการพิมพ์ให้สีติดบนผืนผ้าโดยตรง
2. พิมพ์กีดสี (Discharge printing) เป็นการย้อมสีผ้าด้วยสีที่สามารถถูกกัดออกได้ไว้ก่อน จากนั้นจะพิมพ์ลวดลายลงบนผ้าด้วยพิมพ์ที่ผสมสารเคมีที่จะกัดสีบนผ้าออกเกิดเป็นลวดลาย
3. พิมพ์กันสี (Resist Printing) เป็นการพิมพ์ด้วยสารเคมีที่กั้นการติดสีไว้ก่อน แล้วจึงนำผ้าไปย้อม ส่วนที่พิมพ์ด้วยสารกันสีจะเกิดเป็นลวดลายหลังการย้อม

การตกแต่งสำเร็จ (Finishing process)

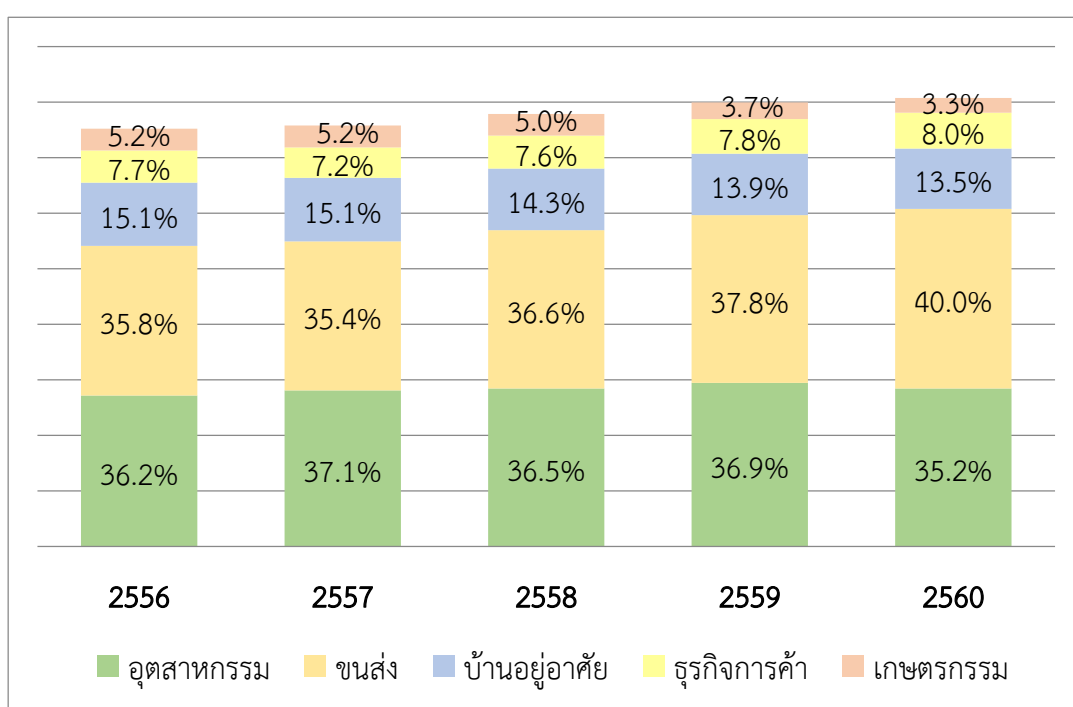
เป็นกระบวนการในการทำให้ผ้าผืน หรือผลิตภัณฑ์สิ่งทอมีคุณสมบัติตามความต้องการ และทำให้มูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นโดยมีเครื่องจักรที่ใช้ เช่น เครื่องสแต็นเตอร์ (Stenter) เครื่องเซ็ทด้วยความร้อน (Heat set) เครื่องลูกกลิ้งอัดรีด (Tenter calendar) เครื่องตะกุกขน เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งวัตถุประสงค์ในการตกแต่งผ้าได้ดังนี้

1. การตกแต่งสำเร็จเพื่อความสวยงาม
 - การขัดมัน (Calendering)
 - การลงแป้งและการเคลือบ (Sizing and Coating)
 - การตะกุกขน (Raising)
2. การตกแต่งสำเร็จเพื่อการทำให้คงรูป (Stabilization)
 - การทนทานต่อการยับ (Wrinkle resistant)
 - การซักและใส่ (Wash and wear)
 - การอัดถาวร (Durable press)
 - การตกแต่งทำให้ไม่เปียกน้ำ (Water-repellent finishes)
 - การตกแต่งป้องกันไฟฟ้าสถิต (Anti-static finishes)
 - การตกแต่งไม่จับฝุ่น (Solli-release finishes)
 - การตกแต่งให้ดูดซึมความชื้นดี (Absorbent finishes)
 - การป้องกันราและแมลง (Mold and mildew control)
 - การตกแต่งป้องกันแบคทีเรีย (Antiseptic finishes)
 - การตกแต่งการหน่วงไฟ (Flame-retardant finishes)

2.2 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ [4]

2.2.1 สถานการณ์ด้านพลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย

ปี 2560 อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจไทยขยายตัวร้อยละ 3.9 จากปี 2559 ส่งผลให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 1.03% โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละสาขาเศรษฐกิจ ปี พ.ศ. 2556-2560 แสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งปี พ.ศ. 2560 สาขาอุตสาหกรรมการผลิตเป็นสาขาเศรษฐกิจที่มีการใช้พลังงานมากเป็นอันดับสองรองจากสาขาการขนส่ง มีการใช้พลังงาน 28,210 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 35.2 ของการใช้พลังงานทั้งหมดในทุกสาขาเศรษฐกิจ โดยจำแนกการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมตามสาขาย่อยได้ คือ อาหารและเครื่องดื่ม สิ่งทอ ไม้และเครื่องเรือน กระดาษ เคมี โลหะ โลหะขั้นมูลฐาน ผลิตภัณฑ์โลหะ และอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.1



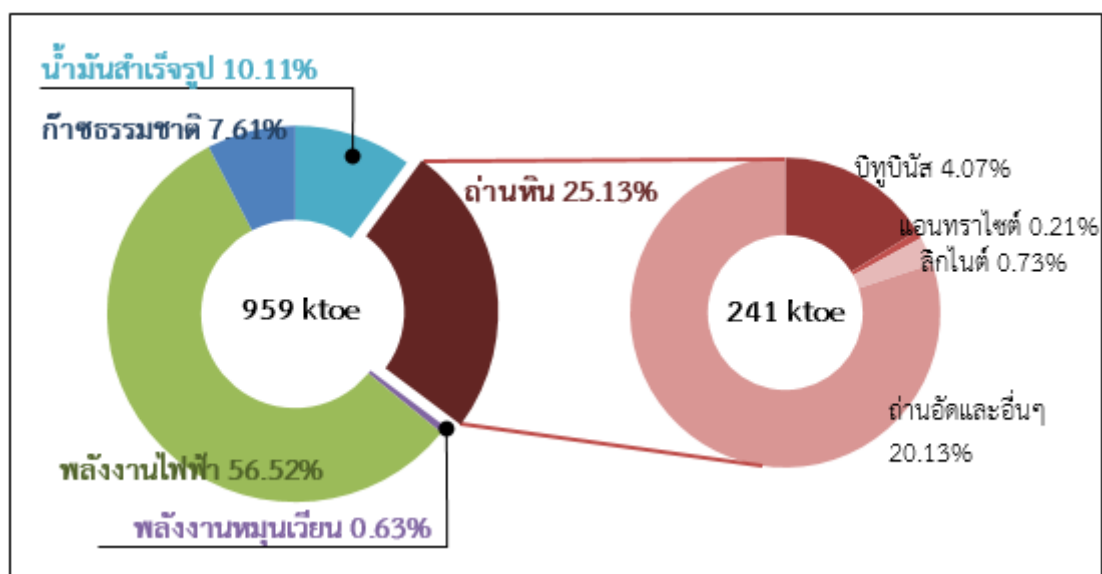
รูปที่ 2.7 สัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละสาขาเศรษฐกิจ ปี พ.ศ. 2556-2560 [4]

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอสิ่งถัก เครื่องแต่งกาย หนังสือพิมพ์ และผลิตภัณฑ์หนังสือพิมพ์ พบว่า มีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายสูงขึ้นทุกปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 เป็นต้นมา โดยปี พ.ศ. 2560 มีการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย 959 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นสัดส่วน 3.4% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในภาคอุตสาหกรรม สำหรับโครงสร้างการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอสิ่งถัก เครื่องแต่งกาย หนังสือพิมพ์ และผลิตภัณฑ์หนังสือพิมพ์ พบว่ามีการใช้พลังงานจากพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คิดเป็น 56.5% ของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ รองลงมาได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซธรรมชาติ และพลังงานหมุนเวียน คิดเป็นสัดส่วน 25.1% 10.1% 7.6% 0.6% ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.8

ตารางที่ 2.1 การใช้พลังงานในสาขาอุตสาหกรรมการผลิตจำแนกตามสาขาย่อย

สาขาย่อย	การใช้พลังงานในแต่ละปี (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)				
	2556	2557	2558	2559	2560
อาหาร เครื่องดื่ม และยาสูบ	9,607	10,578	9,472	9,145	9,941
สิ่งทอ สิ่งถัก เครื่องแต่งกาย หนังสัตว์ และผลิตภัณฑ์หนังสัตว์	869	842	892	909	959
ไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้รวมทั้งเครื่องเรือน	346	404	391	400	328
กระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ การพิมพ์ และพิมพ์โฆษณา	1,736	1,611	1,959	2,027	2,248
เคมีภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์เคมี น้ำมัน ปิโตรเลียม ถ่านหิน ยางและพลาสติก	2,819	2,410	3,161	3,518	3,375
ผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ ยกเว้นผลิตภัณฑ์ จากน้ำมันปิโตรเลียมและถ่านหิน	6,397	6,525	6,527	6,853	5,859
อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน	1,426	1,515	1,444	1,486	1,479
ผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์	1,881	1,999	2,239	2,388	2,147
อุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ (จำแนกไม่ได้)	1,849	1,991	2,098	2,480	1,874
รวม	26,930	27,875	28,183	29,206	28,210

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน [4]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ [4]

2.2.2 แหล่งพลังงานไฟฟ้าในโรงงานงานอุตสาหกรรม [7-10]

พลังงานไฟฟ้ามีแหล่งกำเนิดทั้งที่ผลิตจาก น้ำ ลม แสงอาทิตย์ น้ำมัน ถ่านหิน หรือ แก๊สธรรมชาติ ซึ่งผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก โดยโรงงานอุตสาหกรรมอาจผลิตขึ้นเอง หรือรับมาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำไปใช้หลากหลายรูปแบบ สามารถแปลงเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น แสงสว่าง ความร้อน การทำความเย็น การปรับอากาศ แรงขับเคลื่อนในระบบขนส่ง เช่น ลิฟต์ยกของ รถไฟฟ้า สายพานลำเลียง ตลอดจนการขับเคลื่อนเครื่องจักรต่างๆ เป็นต้น

2.2.2.1 อุปกรณ์รับและจ่ายไฟ [7]

อุปกรณ์รับและจ่ายไฟหรือสวิตช์เกียร์ (Switch gear) ของโรงงานอุตสาหกรรม เป็นอุปกรณ์หลักสำคัญ ควรจัดให้อยู่ในบริเวณศูนย์กลางของโหลดทั้งหมด เพื่อป้องกันกำลังงานสูญเสียไป ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1. หม้อแปลงไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงระดับของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ขดลวด 2 ขด คือขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิ พันอยู่รอบแกนเหล็ก โดยมีการทำงานคือกำลังไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ (แหล่งจ่ายไฟ) ผ่านไปยังขดลวดทุติยภูมิ (โหลด หลอดไฟ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ) ด้วยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยทั่วไปจะดีที่สุดเมื่อใช้งานที่โหลดประมาณ 60-80% ของพิกัดใช้งาน (kVA) ซึ่งถ้าหากมีการใช้งานที่โหลดสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้มีประสิทธิภาพต่ำลง ซึ่งการใช้หม้อแปลงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด คือการใช้หม้อแปลงในสภาพที่กำลังไฟฟ้าสูญเสียมีค่าน้อยที่สุด สามารถคำนวณประสิทธิภาพของหม้อแปลงได้ดังสมการที่ 2.1

$$\eta_{\text{หม้อแปลงไฟฟ้า}} = \frac{n P \cos\phi}{n P \cos\phi + W_i + n^2 W_c} \times 100 \quad (2.1)$$

โดยที่

η คือ ประสิทธิภาพ (%)

n คือ โหลดแพกเตอร์ (%)

P คือ ขนาดพิกัดของหม้อแปลง (kVA)

$\cos\phi$ คือ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลด (%)

W_i คือ ค่ากำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงขณะที่ไม่มีโหลด (kW)

W_c คือ ค่ากำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงเนื่องจากการต่อโหลด (kW)

ค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าโหลดแพกเตอร์ ในกรณีที่

$$n = \frac{W_i}{W_c} = 1 \quad \text{หรือ} \quad W_i = W_c \quad \text{จะได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับในกรณีของโรงงานที่มีโหลด}$$

เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพสูงสุดทำได้โดยการจัดหม้อแปลงเป็นหลายๆ ตัว แล้วใช้ให้เหมาะสมกับสภาพการเปลี่ยนแปลงของโหลด

ค่ากำลังสูญเสียรวมของหม้อแปลง N ลูก ขณะใช้งานพร้อมกัน หาได้ดังสมการ 2.2

$$W_N = N \left[W_i + \left(\frac{P_L^2}{NQ} \right) W_c \right] \quad (2.2)$$

โดยที่

W_N คือ ค่ากำลังการสูญเสียรวม (kW)

W_i คือ ค่ากำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงขณะที่ไม่มีโหลด 1 ลูก (kW)

W_c คือ ค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากโหลดของหม้อแปลง 1 ลูก (kW)

P_L คือ ขนาดพิกัดของหม้อแปลง (kVA)

N คือ จำนวนหม้อแปลง

และค่ากำลังสูญเสียรวมของหม้อแปลง (N-1) ลูก ขณะใช้งานพร้อมกัน หาได้จากสมการที่ 2.3

$$W_{N-1} = (N-1) \left[W_i + \left(\frac{P_L}{(N-1)Q} \right)^2 W_c \right] \quad (2.3)$$

2. ตัวเก็บประจุ

เป็นอุปกรณ์ที่เมื่อถูกต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือโหลดต่างๆ จะช่วยในการแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ มีลักษณะที่ประกอบด้วย แผ่นโลหะบางที่ใช้เป็นขั้ว 2 ขั้ว ระหว่างทั้ง 2 ขั้วมีวัสดุฉนวน เช่น กระดาษบาง กระดาษฉนวน โดยตัวเก็บประจุแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวเก็บประจุชนิดกระป๋อง และตัวเก็บประจุชนิดถัง ซึ่งการติดตั้งตัวเก็บประจุสำหรับแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์จะต้องมีขนาดที่เหมาะสม โดยค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์สามารถคำนวณหาได้จากสมการ 2.4

$$\text{เพาเวอร์แฟกเตอร์} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (P)}}{\text{แรงดันไฟฟ้า (E) \times กระแสไฟฟ้า (I)}} \times 100\% \quad (2.4)$$

2.2.2.2 อุปกรณ์ทางไฟฟ้าในโรงงาน

1. มอเตอร์

มอเตอร์อาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กทางไฟฟ้าเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electrical energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical energy) ซึ่งมอเตอร์เป็นอุปกรณ์เครื่องกลไฟฟ้า มีชนิดและขนาดที่หลากหลาย ในการใช้มอเตอร์จะต้องพิจารณาลักษณะสมบัติ (Characteristic) ของมอเตอร์ร่วมกับลักษณะสมบัติของเครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์ ประกอบการพิจารณาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ ในกรณีของมอเตอร์ที่ใช้งานอย่างต่อเนื่อง หลักการสำคัญในการประหยัดพลังงานคือ การเลือกมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ประสิทธิภาพของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.5

$$\text{ประสิทธิภาพมอเตอร์} = \frac{\text{กำลังงานขาออก}}{\text{กำลังงานขาเข้า}} \times 100\% \quad (2.5)$$

กำลังงานสูญเสียนั้นเป็นการสูญเสียทางไฟฟ้าหรือทางกลที่เกิดในตัวมอเตอร์ ซึ่งจะต้องพยายามลดให้เหลือน้อยที่สุด ในปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะออกแบบและสร้างมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีการสูญเสียน้อย โดยใช้วัสดุทำแกนเหล็กที่มีค่าการสูญเสียต่ำ และเพิ่มขนาดขดลวดแกนเหล็ก นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาขนาดที่เหมาะสมของมอเตอร์สำหรับโหลดที่ใช้ โดยถ้าโหลดแฟกเตอร์ของมอเตอร์ (โหลดจริงหารด้วยกำลังพิกัดของมอเตอร์) เป็น 80-100% จะได้ประสิทธิภาพสูงสุด แต่ถ้าโหลดแฟกเตอร์ต่ำกว่า 50% ค่าประสิทธิภาพจะตกลงอย่างเห็นได้ชัด

2. เตาอบแห้งไฟฟ้า

เตาอบแห้งไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ 1) เตาอบแห้งแบบฮีตเตอร์ไฟฟ้า (Electric heating drying furnace) เป็นการให้ความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าผ่านลมในการอบให้วัสดุแห้ง 2) เตาอบแห้งแบบเหนี่ยวนำ (Induction drying furnace) ให้ความร้อนโดยใช้หลักการ สนามไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นเนื่องจากการสูญเสียไดอิเล็กทริก (Dielectric loss) ในสารไดอิเล็กทริก และ 3) เตาอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรด (Infrared drying furnace) เตาอบชนิดนี้เป็นวิธีให้ความร้อนโดยอาศัยการดูดกลืนพลังงานในรังสีอินฟราเรดของวัสดุ ซึ่งนอกจากนี้ยังมีการใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) มาใช้ในงานอบแห้งด้วยเช่นเดียวกัน

การใช้เตาอบแห้งไฟฟ้าเพื่อให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงาน ควรเลือกเตาให้มีความเหมาะสมกับงาน และลดความร้อนสูญเสียในเตาอบ สามารถทำได้โดยปรับปริมาณลมระบายออกให้เหมาะสม ในกรณีเตาอบแห้งแบบฮีตเตอร์ ส่วนกรณีเตาอบแห้งแบบเหนี่ยวนำ จะไม่มีความร้อนสูญเสียที่เกิดจากวิธีทำงานหรือโครงสร้างของเตา แต่ถ้าให้ความร้อนนานเกินไป หรือการกระจายของพลังงานไม่สม่ำเสมอ จะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียได้ และสำหรับเตาอบแห้งแบบอินฟราเรด การลดการสูญเสียสามารถทำได้โดย ฉนวนภายในเตาใช้วัสดุที่มีอัตราการสะท้อนรังสีอินฟราเรดได้ดี มีโครงสร้างที่กันฝุ่น เนื่องจากฝุ่นจะทำให้การสะท้อนลดลง ควบคุมเวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งให้เหมาะสมถูกต้อง และให้มีการกระจายความร้อนสม่ำเสมอ

3. เครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศมีใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมทุกชนิด โดยใช้เป็นแรงขับเคลื่อนในการอัดส่งหรือใช้ในการทำงานต่างๆ ซึ่งการใช้เครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง และลดการรั่วของอากาศ (Air loss) เป็นจุดสำคัญหนึ่งในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน ในการใช้เครื่องอัดอากาศ สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพในการใช้งาน i ได้ดังสมการ 2.6

$$i = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW)}}{\text{ขนาดของเครื่อง (kW)} \times \text{เวลาที่ใช้งาน (h)}} \quad (2.6)$$

ถ้าการใช้งานอยู่ในสภาพที่สามารถใช้ความดันสูงสุดกับภาระ 100% ค่า $i = 1$ แต่ถ้าเวลาที่ใช้ในการปรับภาระยาวนานออกไป ค่า i ก็จะลดลงโดยประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศจะขึ้นอยู่กับความดันขาออก ขนาดโครงสร้าง และความเร็วรอบของเครื่อง ซึ่งในการควบคุมให้เครื่องอัดอากาศใช้งานในสภาพที่มีประสิทธิภาพสูงอยู่เสมอ ทำได้โดยการเลือกขนาดของเครื่องอัดอากาศให้พอดีกับภาระที่ต้องการ และลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นจาก การรั่วของอากาศ การควบคุมการทำงานของน้ำระบายความร้อนผิดพลาดหรือตั้งความดันขาออกสูงเกินไป

4. ไฟฟ้าและแสงสว่าง

หลักการสำคัญในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างคือ การใช้ไฟฟ้าแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด นั่นคือเลือกวิธีให้แสงสว่างที่ตรงความต้องการ รวมถึงการเลือกใช้หลอดไฟและอุปกรณ์ร่วมให้เหมาะสม สำหรับการให้แสงสว่างที่เหมาะสมนั้นเป็นเงื่อนไขพื้นฐานของการให้แสงสว่างที่ดี โดยความสว่างที่ต้องการนั้นเป็นความสว่างเฉลี่ยบนพื้นที่ทำงาน สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.7

$$E = N \cdot F \cdot U \cdot M / A \quad (2.7)$$

โดยที่

E คือ ความสว่าง เป็นความสว่างบนพื้นที่ทำงานที่ถูกส่องสว่าง (lux)

N คือ จำนวนหลอด

F คือ ฟลักซ์การส่องสว่างเป็นปริมาณของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอด (lm)

U คือ สัมประสิทธิ์การใช้แสงสว่าง ซึ่งเป็นอัตราส่วนของฟลักซ์ที่ตกบนพื้นที่ทำงานกับฟลักซ์ที่เปล่งออกจากหลอด

M คือ สัมประสิทธิ์การบำรุงรักษาซึ่งเป็นผลคูณระหว่างค่าอัตราส่วนของฟลักซ์ของหลอดก่อนการเริ่มการเปลี่ยนกับตอนเริ่มใช้ และอัตราส่วนของความสว่างก่อนทำความสะอาดอุปกรณ์กับหลังทำความสะอาดอุปกรณ์

A คือ พื้นที่บริเวณทำงานของโรงงาน (m^2)

5. เครื่องปรับอากาศ

เนื่องจากภาวะของอากาศในโรงงาน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด และ กระแสลม มีผลอย่างยิ่งต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต การเก็บรักษา และคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการปรับอากาศในโรงงานให้มีภาวะเหมาะสมดังกล่าวจึงเรียกว่า การปรับอากาศเพื่อ อุตสาหกรรม โดยเงื่อนไขอุณหภูมิและความชื้น มาตรฐานในกระบวนการผลิตของโรงงานแต่ละ ประเภทจำเป็นต้องกำหนดขึ้นให้มีความเหมาะสม ตัวอย่างของภาวะอากาศที่ส่งผลต่อการผลิต มีดังนี้

- การปรับปริมาณความชื้นของวัสดุที่มีความชื้น เช่น ปริมาณความชื้นในเส้นใย กระดาษ ไม้ มีผลต่อความแข็งแรง การบิดตัว การหดตัว
- อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ มีผลต่อความเร็วของปฏิกิริยาเคมี หรือความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการระเหยและความเข้มข้นของสารละลาย
- อุณหภูมิและความชื้นของอากาศมีผลต่อความเร็วของปฏิกิริยาชีวเคมี เช่น การหมักของการทำขนมปังในอุตสาหกรรมอาหาร

2.2.3 แหล่งพลังงานความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม [8]

พลังงานความร้อนที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม มีแหล่งกำเนิดจากอุปกรณ์หรือ เครื่องจักรสำหรับผลิตความร้อน เช่น หม้อไอน้ำ (Steam boiler) หม้อน้ำร้อน (Hot water boiler) และหม้อน้ำมันร้อน (Thermal oil boiler) ทำงานโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงแล้วถ่ายเทความร้อน ให้กับของเหลวไอน้ำ น้ำร้อน หรือน้ำมันร้อน เพื่อเป็นตัวกลางในการพาความร้อนไปสู่กระบวนการ หรือเครื่องจักรที่ใช้ความร้อน ซึ่งงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงระบบผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำ ที่มีการใช้อย่าง แพร่หลาย ทั้งในอาคารสำนักงาน โรงพยาบาล โรงไฟฟ้า และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีรายละเอียด ดังนี้

2.2.3.1 โครงสร้างของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังสำหรับการผลิตไอน้ำ ที่ทำงานด้วยการเผาไหม้ เชื้อเพลิง แล้วถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นให้กับน้ำในภาชนะอัดความดัน เพื่อกำเนิดไอน้ำที่มีความดัน และอุณหภูมิที่กำหนด มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ตัวหม้อไอน้ำ ที่เป็นภาชนะอัดความดันสำหรับ บรรจุน้ำและไอน้ำ อุปกรณ์เผาไหม้สำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิง และอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากการเผา ไหม้ นอกจากนี้ยังมี อุปกรณ์เสริมต่างๆ ประกอบด้วย อุปกรณ์สำหรับเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำให้ สูงขึ้น เช่น ซูเปอร์ฮีทเตอร์ (Superheater) หรือรีฮีทเตอร์ (Reheater) อุปกรณ์สำหรับนำความร้อน ทั้งในก๊าซไอเสียกลับมาใช้งาน เช่น เครื่องอุ่นน้ำบ่อนหม้อไอน้ำ (Economizer) หรือ เครื่องอุ่นอากาศ (Air preheater) อุปกรณ์ควบคุมหม้อไอน้ำอัตโนมัติ และอุปกรณ์ความปลอดภัยต่างๆ รวมไปถึง อุปกรณ์สนับสนุนอื่นๆ เช่น เครื่องเติมอากาศ (Aerator) เครื่องเติมน้ำ เครื่องเป่าฝุ่น (Soot blower) วาล์ว เช่น วาล์วนิรภัย วาล์วไอน้ำ ระบบท่อ และเครื่องวัด เช่น เครื่องวัดความดัน เครื่องวัดระดับน้ำ เป็นต้น

2.2.3.2 ประเภทของหม้อไอน้ำ [9]

หม้อไอน้ำที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ มีการออกแบบที่หลากหลายเพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งาน การแบ่งประเภทหม้อไอน้ำตามลักษณะการถ่ายเทความร้อน ประกอบด้วยหม้อไอน้ำชนิดต่างๆ ดังนี้

1. หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water tube boiler)

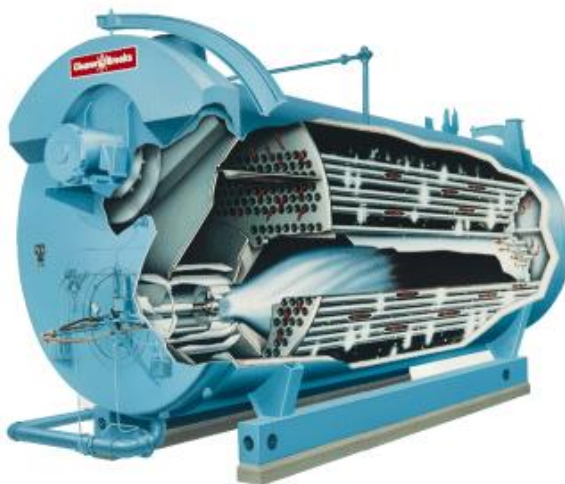
หม้อไอน้ำชนิดนี้น้ำจะถูกบรรจุและไหลอยู่ภายในท่อโดยเปลวไฟหรือก๊าซร้อนจะเคลื่อนที่อยู่โดยรอบท่อ ความร้อนจากการเผาไหม้จะถูกถ่ายเทไปยังน้ำภายในท่อ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ [9]

2. หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire tube boiler)

หม้อไอน้ำชนิดนี้ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ในท่อซึ่งมีน้ำล้อมรอบอยู่ โดยที่น้ำจะอยู่นอกท่อระหว่างเปลือกหม้อไอน้ำและท่อ แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ [9]

2.2.3.3 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (Boiler Efficiency) [11]

การคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ เป็นการวิเคราะห์หาค่าศักยภาพการใช้งานของหม้อไอน้ำซึ่งในทางปฏิบัติหม้อไอน้ำจะไม่สามารถใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไปผลิตเป็นไอน้ำได้ทั้งหมด เนื่องจากมีพลังงานสูญเสียต่างๆ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจึงแสดงถึงปริมาณความร้อนที่ได้ประโยชน์เทียบกับความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไป ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.8

$$\text{ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ } (\eta) = \frac{\text{ความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำ}}{\text{ความร้อนที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ}} \times 100$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_w)}{\dot{m}_f \times \text{LHV}} \times 100 \quad (2.8)$$

โดยที่

\dot{m}_s	คือ อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/s)
h_s	คือ เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)
h_w	คือ เอนทาลปีของน้ำป้อน (kJ/kg)
\dot{m}_f	คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/s)
LHV	คือ ค่าความร้อนขั้นต่ำของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

2.2.3.4 ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ

การคำนวณหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในห้องเผาไหม้ เป็นการวิเคราะห์หาค่าศักยภาพในการถ่ายเทความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้กับน้ำเพื่อใช้ในการผลิตไอน้ำ โดยวิเคราะห์จากค่าความร้อนจริงที่เชื้อเพลิงสามารถป้อนให้กับระบบ นั่นคือ ค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงลบด้วยค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.9

$$\eta_{\text{การถ่ายเทความร้อน}} = \frac{\text{ความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำ}}{\text{ความร้อนที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ} - \text{ความร้อนสูญเสีย}} \times 100 \quad (2.9)$$

2.2.3.5 ความร้อนสูญเสียของหม้อไอน้ำ

ปริมาณความร้อนที่ป้อนให้แก่หม้อไอน้ำ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณความร้อนที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำ จะเรียกว่า ความร้อนสูญเสีย ซึ่งการพิจารณาการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นของหม้อไอน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญในการจัดการประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ถ้าหากไม่ทราบความ

ร้อนสูญเสียที่แท้จริงนั้นจะไม่สามารถดำเนินการตามวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพได้อย่างเหมาะสม โดยลักษณะการสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำมีดังนี้

1. การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากไอเสีย (Dry flue gas loss)

การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในการต้มน้ำและผลิตไอน้ำ โดยผ่านพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำส่วนหนึ่งจะถูกปล่อยทิ้งทางปล่อง โดยไอเสียที่ถูกปล่อยทิ้งจะยังมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการสูญเสียประมาณ 10 – 30% ความร้อนที่สูญเสียไปกับก๊าซไอเสียขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพการเผาไหม้ ซึ่งสามารถประเมินการสูญเสียความร้อนในก๊าซไอเสีย โดยใช้สมการดังนี้

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนขั้นต่ำของเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศป้อนและก๊าซไอเสียเชิงทฤษฎี

เชื้อเพลิง (LHV: kCal/kg)	อากาศป้อนเชิงทฤษฎี (A_o) (Nm ³ /kg)	ก๊าซไอเสียเชิงทฤษฎี (G_o) (Nm ³ /kg)
เชื้อเพลิงแข็ง	$A_o = \frac{1.01 \cdot LHV}{1000} + 0.5$	$G_o = \frac{0.89 \cdot LHV}{1000} + 1.65$
เชื้อเพลิงเหลว	$A_o = \frac{0.85 \cdot LHV}{1000} + 2$	$G_o = \frac{1.11 \cdot LHV}{1000}$
เชื้อเพลิงก๊าซ	$A_o = \frac{1.09 \cdot LHV}{1000} + 0.25$	$G_o = \frac{1.14 \cdot LHV}{1000} + 0.25$

เมื่อกำหนดหาค่าอากาศป้อนเชิงทฤษฎี (A_o) และก๊าซไอเสียเชิงทฤษฎี (G_o) ได้จากสมการดังตารางที่ 2.2 แล้ว สามารถนำมาหาค่าปริมาณก๊าซไอเสียจริง (G) ได้จากสมการที่ 2.10 และหาปริมาณความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสีย (Q_g) ได้จากสมการที่ 2.11

$$G = G_o + (m-1)A_o \quad (2.10)$$

$$Q_g = G \cdot C_p \cdot (T_g - T_a) \quad (2.11)$$

โดยที่

Q_g คือ ความร้อนสูญเสียที่เกิดจากไอเสีย

G คือ ปริมาณก๊าซไอเสียจริง

m คือ มวลของไอเสีย (kg/kg-fuel)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของไอเสีย

T_g คือ อุณหภูมิไอเสีย (°C)

T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม (°C)

2. การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ประกอบด้วยเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ซึ่งชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ขึ้นอยู่กับการออกแบบของหม้อไอน้ำ ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะมีการสันดาปเกิดขึ้น นั่นคือการออกซิเดชันที่สสารปล่อยความร้อนและแสงสว่างออกมา โดยการสันดาปที่สมบูรณ์จะทำให้ได้พลังงานความร้อนสูงสุด แต่ถ้าการสันดาปไม่สมบูรณ์จะเกิดควันดำ และสูญเสียพลังงานความร้อนอย่างมาก โดยมีสาเหตุและการวิเคราะห์การสูญเสียดังนี้

- การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการควบแน่นของน้ำจาก H_2 ในเชื้อเพลิง เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้ก๊าซไฮโดรเจนที่เป็นส่วนประกอบของเชื้อเพลิงเหลืออยู่ในระบบ ทำให้ก๊าซไฮโดรเจนจับตัวกับออกซิเจนที่อยู่ในอากาศ (O_2) เปลี่ยนสภาพเป็นน้ำ (H_2O) และน้ำที่เกิดขึ้นในระบบเผาไหม้เมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนสภาพจะต้องดึงความร้อนบางส่วนที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนโดยเปล่าประโยชน์ สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ 2.12

$$L = \frac{9 \times m \times \left[L_v + C_p (T_F - T_a) \right]}{GVC} \times 100 \quad (2.12)$$

โดยที่

L	คือ % การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการควบแน่นของน้ำจาก H_2 ในเชื้อเพลิง
m	คือ มวลของไฮโดรเจน (kg/kg-fuel)
L_v	คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ
C_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ
T_F	คือ อุณหภูมิไอเสีย ($^{\circ}C$)
T_a	คือ อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}C$)
GVC	คือ ค่าความร้อนที่ได้ทั้งหมดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

- การสูญเสียความร้อนเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง เนื่องมาจากเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำผสมอยู่ในเชื้อเพลิงมาก จึงส่งผลให้พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าต่ำ เพราะพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งจะต้องนำไประเหยน้ำที่อยู่ในเชื้อเพลิง คล้ายกับกรณีการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการควบแน่นของน้ำสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ 2.13

$$L = \frac{m \times \left[L_v + C_p (T_F - T_a) \right]}{GVC} \times 100 \quad (2.13)$$

โดยที่

L	คือ % การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากความชื้นในเชื้อเพลิง
m	คือ มวลของน้ำหรือส่วนประกอบที่ทำให้เกิดความชื้นในเชื้อเพลิง (kg/kg-fuel)
L_v	คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ
C_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg)
T_F	คือ อุณหภูมิไอเสีย ($^{\circ}\text{C}$)
T_a	คือ อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)
GVC	คือ ค่าความร้อนที่ได้ทั้งหมดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

- การสูญเสียความร้อนเนื่องจากความชื้นในอากาศ

ในกระบวนการเผาไหม้จะต้องใช้อากาศเพื่อเป็นส่วนประกอบ ซึ่งหากอากาศที่นำมาใช้มีความชื้นสัมพัทธ์สูง จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้เชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากต้องเสียความร้อนส่วนหนึ่งไปกับการระเหย สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ 2.14

$$L = \frac{m \times H + C_p (T_F - T_a)}{GVC} \times 100 \quad (2.14)$$

โดยที่

L	คือ % การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากความชื้นในอากาศ
m	คือ มวลของอากาศตามจริงที่ใช้ขณะนั้น (kg/kg-fuel)
H	คือ Humidity factor มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างมวลน้ำต่อมวลอากาศแห้ง
C_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg)
T_F	คือ อุณหภูมิไอเสีย ($^{\circ}\text{C}$)
T_a	คือ อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)
GVC	คือ ค่าความร้อนที่ได้ทั้งหมดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

- การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

การเผาไหม้ถือเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการนำความร้อนไปใช้งาน การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นหากเป็นการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จะทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนถูกทิ้งไปโดยไม่เกิดการเผาไหม้ การเผาไหม้จะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้หมด โดยมีสภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้ มีออกซิเจนส่วนเกินที่เหมาะสม หากมีออกซิเจนน้อยจะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดเขม่าคาร์บอนมาก แต่ถ้าหากออกซิเจนมากเกินไปจะทำให้มีปริมาณไอเสียมาก เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับไอเสียส่วนเกินด้วยเช่นกัน ในกระบวนการเผาไหม้โดยปกติแล้วไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงจะถูกเผา ดังนั้นประสิทธิภาพการเผาไหม้เผาไหม้จึงพิจารณาคาร์บอนในขี้เถ้าหรือในก๊าซที่ไม่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ 2.15

$$L = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{GVC} 100 \quad (2.15)$$

โดยที่

L คือ % การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

CO คือ ปริมาณ CO ในไอเสียจากปล่อง (%)

CO₂ คือ ปริมาณ CO₂ ในไอเสียจากปล่อง (%)

C คือ ค่าคงที่คาร์บอน (kg/kg-fuel)

GVC คือ ค่าความร้อนที่ได้ทั้งหมดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

3. การสูญเสียความร้อนที่ผิวนิ่งห้องเผาไหม้ [14]

ผิวนิ่งห้องเผาไหม้เป็นอีกช่องทางหนึ่งของการสูญเสียความร้อน และส่งผลให้ประสิทธิภาพพลังงานโดยรวมของหม้อไอน้ำลดลง การสูญเสียที่ผิวของผิวนิ่งห้องเผาไหม้เกิดจากการพาความร้อนโดยอากาศภายนอก และการแผ่รังสีความร้อนเนื่องจากผิวนิ่งห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อม สามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนที่ผิวนิ่งห้องเผาไหม้ได้ดังนี้

- การสูญเสียความร้อนที่ผิวนิ่งห้องเผาไหม้ ในลักษณะการพาความร้อนแบบอิสระกรณีแผ่นเรียบวางแนวตั้ง สามารถคำนวณด้วยสมการดังนี้

อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{q})

อัตราการถ่ายเทความร้อนนี้จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างผิวนิ่งกับของไหลพื้นที่ผิวของผิวนิ่ง และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ดังสมการ 2.16

$$\bar{q} = \bar{h}A(T_s - T_\infty) \quad (2.16)$$

โดยที่

\bar{h} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย

T_s คือ อุณหภูมิที่ผิวของผิวนิ่งห้องเผาไหม้

T_∞ คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก

A คือ พื้นที่ผิวผิวนิ่งห้องเผาไหม้

โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (\bar{h}) หรือที่เรียกว่า การนำผ่านฟิล์ม เพราะความความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นกระบวนการนำความร้อนในชั้นบางๆ ของของไหลที่บริเวณผิวของผิวนิ่ง ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางความร้อนของของไหล ซึ่งในกรณีนี้มีของไหลคืออากาศ โดยสามารถหาค่าคุณสมบัติต่างๆ เช่น ค่าความหนืด (ν) ค่าสภาพการนำความร้อน (k) ค่าพรีมัมเบอร์ (Pr) จากตารางค่าคุณสมบัติของอากาศได้ ที่ค่าอุณหภูมิฟิล์ม T_f คำนวณได้จากสมการ 2.17

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (2.17)$$

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{h}) จะแสดงในรูปความสัมพันธ์ของ คุณสมบัติของมิติที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของปัญหา สำหรับแผ่นเรียบวางตั้งฉากที่มีความสูง L แสดงความสัมพันธ์ของสมการ ดังนี้

หาค่ากราชอฟนัมเบอร์ (Grashof number) ด้วยความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.18

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu^2} \quad (2.18)$$

โดยผลคูณของกราชอฟนัมเบอร์และพรีนัมเบอร์จะเรียกว่า Rayleigh number ซึ่งค่า Rayleigh number จะใช้ในการพิจารณาสมการเพื่อหาค่านัสเซลนัมเบอร์เฉลี่ยได้ ดังนี้

กรณี $Ra_L < 10^9$ หาค่า Nusselt number จากสมการ 2.19

$$\bar{Nu} = 0.68 + \frac{0.670 (Ra_L)^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad (2.19)$$

กรณี $10^{-1} < Ra_L < 10^{12}$ หาค่า Nusselt number จากสมการ 2.20

$$\bar{Nu} = \left[0.825 + \frac{0.387 (Ra_L)^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right]^2 \quad (2.20)$$

จากนั้นจะหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (\bar{h}) ดังสมการที่ 2.21

$$\bar{h} = \frac{\bar{Nu} \cdot k}{L} \quad (2.21)$$

• การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ในลักษณะการแผ่รังสีความร้อน สามารถคำนวณด้วยสมการดังนี้

อัตราการแผ่รังสีความร้อน (R_e)

$$\bar{q} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_a^4) \quad (2.22)$$

โดยที่

- ϵ คือ สภาพส่งรังสีของผิววัตถุซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1
- σ คือ ค่าคงที่สเตฟานโบลท์สมานน์มีค่า $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- A คือ พื้นที่ผิวผนังห้องเผาไหม้ (m^2)
- T_s คือ อุณหภูมิที่ผิวของผนังห้องเผาไหม้ (K)
- T_a คือ อุณหภูมิที่ผิวของอากาศ (K)

4. การสูญเสียความร้อนจากซีเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้

การสูญเสียความร้อนจากซีเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เสียพลังงานความร้อนไปบางส่วน อีกทั้งซีเถ้ายังมีผลกระทบต่อด้านการสึกกร่อนของหัวเผา โดยซีเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- ซีเถ้าที่มีน้ำหนักเบาหรือซีเถ้าลอย (Unburned in fly ash)

ซีเถ้าลอย คือ ซีเถ้าที่มีน้ำหนักเบา ฟูกระจายอยู่ส่วนบนของห้องเผาไหม้ในหม้อไอน้ำ สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียความร้อน (L) ได้จากสมการ 2.23

$$L = \frac{\text{Total ash collected/kg of burnt} \times \text{GVC of fly ash}}{\text{GVC of fuel}} \times 100 \quad (2.23)$$

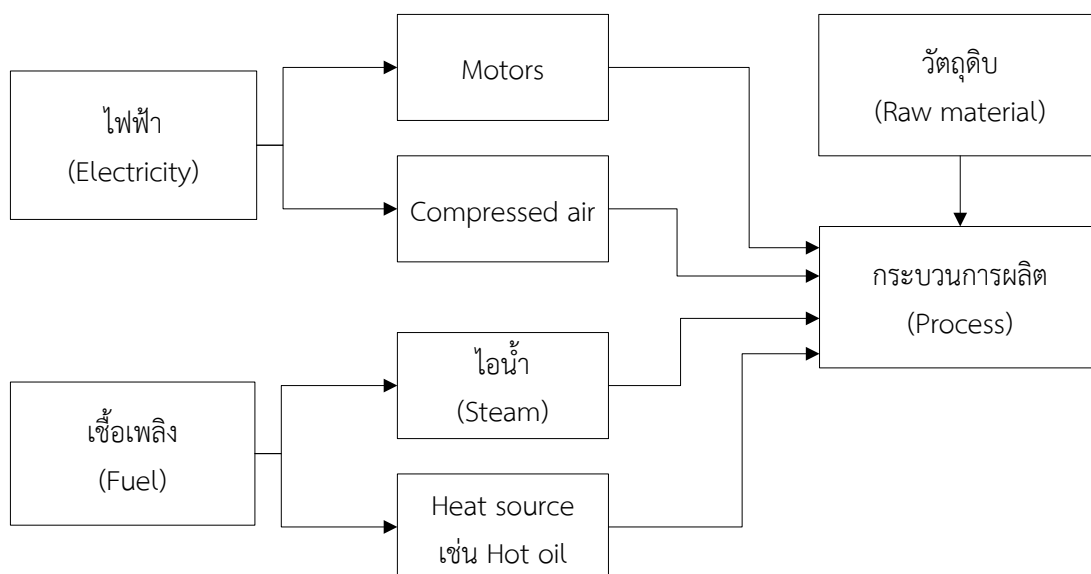
- ซีเถ้าที่มีน้ำหนักมากหรือซีเถ้าจม (Unburned in bottom ash)

ซีเถ้าจม คือ ซีเถ้าที่มีน้ำหนักมาก ตกตะกอนอยู่ด้านล่างของห้องเผาไหม้ในหม้อไอน้ำ สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียความร้อน (L) ได้จากสมการ 2.24

$$L = \frac{\text{Total ash collected/kg of burnt} \times \text{GVC of bottom ash}}{\text{GVC of fuel}} \times 100 \quad (2.24)$$

2.2.4 ลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย [12]

ลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม จำแนกออกเป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน แสดงดังรูปที่ 2.11 ซึ่งพลังงานไฟฟ้าจะถูกใช้สำหรับมอเตอร์ต้นกำลังของเครื่องจักร ทั้งยังสามารถแปลงเป็นพลังงานรูปอื่นได้ เช่น แสงสว่าง ความร้อน การทำความเย็น การปรับอากาศ แรงขับเคลื่อนในระบบขนส่ง สำหรับลักษณะการใช้พลังงานความร้อนแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบที่เครื่องจักร อุปกรณ์ใช้ไอน้ำโดยตรง จะเป็นระบบอย่างง่าย และไม่มีอุปกรณ์เกี่ยวข้องมากนัก ใช้งานโดยการพ่นไอน้ำเข้าไปในกระบวนการโดยตรง โดยองค์ประกอบของระบบการใช้ไอน้ำประเภทนี้มีเพียงระบบควบคุม และวาล์วเปิด-ปิดไอน้ำ ซึ่งไม่ต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือกักตักไอน้ำ เนื่องจากคอนเดนเสทจะผสมเข้าไปในกระบวนการโดยไม่ต้องระบายออก และสำหรับการใช้ในอีกรูปแบบ คือ อุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ไอน้ำโดยอ้อม เป็นระบบการใช้ไอน้ำที่ให้ความร้อนแก่กระบวนการโดยผ่านเครื่องจักร หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งกระบวนการผลิตหลักๆ ในอุตสาหกรรมสิ่งทอจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันเกือบทุกโรงงาน แตกต่างกันเพียงรายละเอียดปลีกย่อยเท่านั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก จากโครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.1 สำหรับกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายมีเครื่องจักรและลักษณะการใช้พลังงานดังนี้

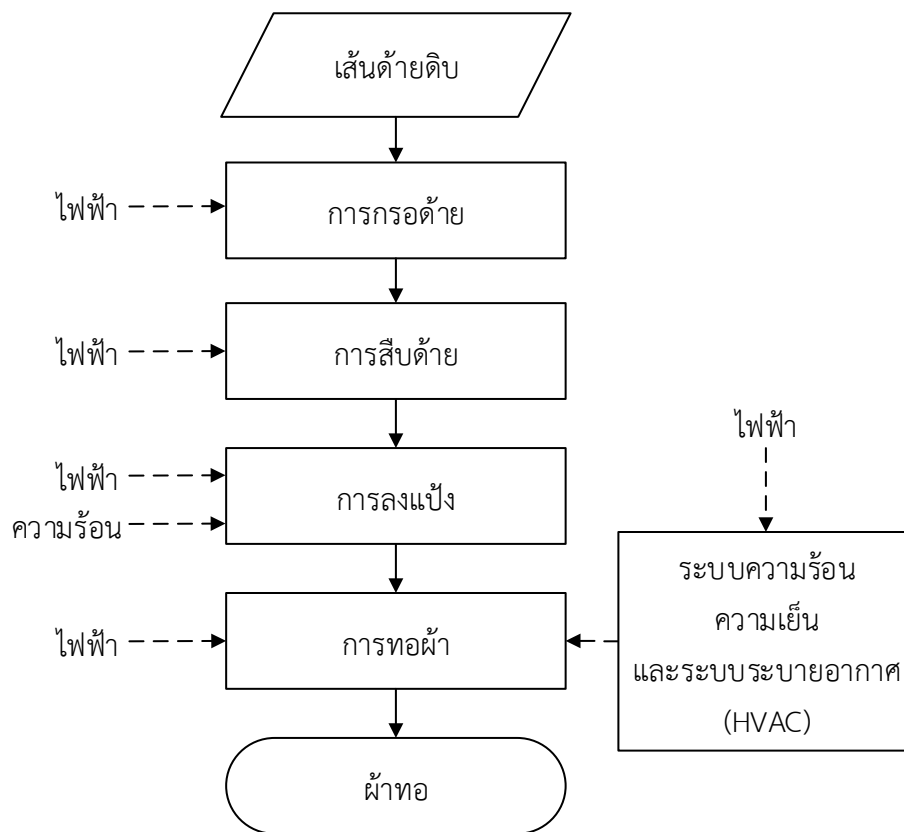


รูปที่ 2.11 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิต [12]

กระบวนการทอผ้า

มีการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนแสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอน ดังนี้

1. การกรอผ้า ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับและควบคุมตัวนำด้ายของเครื่องกรอผ้า ให้เส้นด้ายคลายออกจากหลอดด้ายไปสู่การม้วนลงลูกด้าย
2. การสืบด้าย ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเครื่องสืบเส้นด้ายให้เส้นด้ายคลายออกจากลูกด้ายบริเวณราวตั้งหลอด เคลื่อนที่ผ่านฟันหวี แล้วม้วนลงปิม
3. การลงแป่ง ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ขับเครื่องลงแป่ง ให้เส้นด้ายเคลื่อนที่ผ่านไปยังอ่างลงแป่ง ตู้อบแห้ง และม้วนลงปิม และใช้พลังงานความร้อนในการอบระเหยน้ำเพื่อให้แป่งเคลือบติดบนเส้นด้าย
4. การทอผ้า ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับชุดอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องทอผ้า เช่น ตะกอ ฟันหวี รวมถึงควบคุมการปล่อยเส้นด้ายยื่นออกจากปิมให้สอดคล้องกับการม้วนเก็บผ้าที่ทอได้

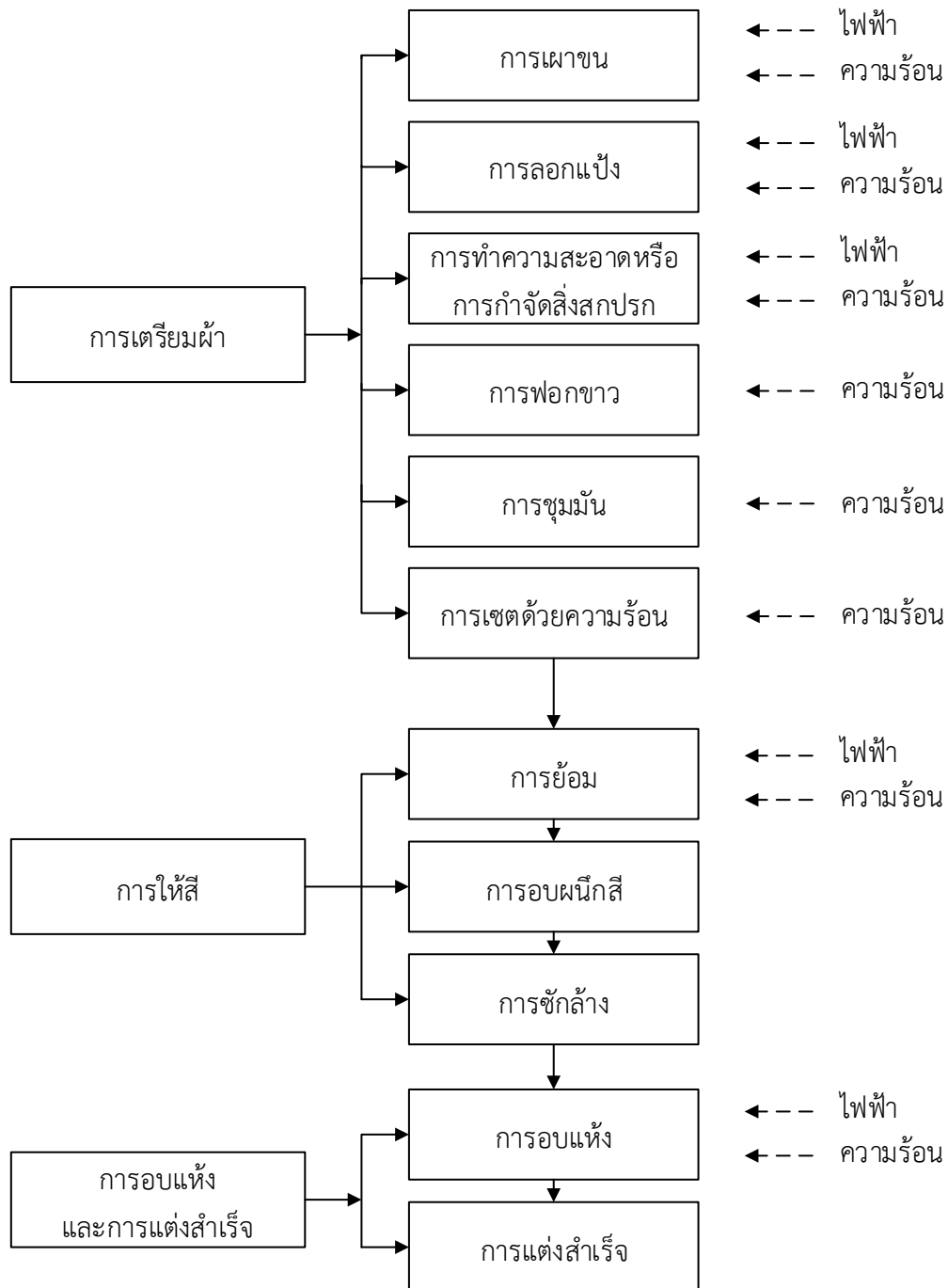


รูปที่ 2.12 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการทอผ้า [12]

กระบวนการฟอก ย้อม และแต่งสำเร็จ

กระบวนการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จมีการการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน แสดงดังรูปที่ 2.13 สามารถจำแนกตามขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

1. การเผาขน จะใช้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนขึ้นอยู่กับวิธีในการเผาขน เช่น การใช้หัวเผาเปลวไฟจากแก๊ส เผาด้วยไฟฟ้า เผาด้วยโลหะร้อน เป็นต้น
2. การลอกแปรง ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการทำงานของเครื่องจักร และใช้พลังงานความร้อนสำหรับการให้ความร้อนแก่สารที่ใช้ในการลอกแปรง เช่น การลอกแปรงที่ใช้สารสังเคราะห์ในการลงแปรง จะใช้น้ำสบู่ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และการลอกแปรงธรรมชาติ จะใช้สารเคมีหรือเอนไซม์ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นต้น
3. การทำความสะอาดหรือกำจัดสิ่งสกปรก ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการทำงานของเครื่องจักร และใช้พลังงานความร้อนสำหรับการทำปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีที่ใช้กำจัดไขมันและสิ่งสกปรกที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 85 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.13 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการฟอก ย้อม และแต่งสำเร็จ [12]

- การฟอกขาว ใช้พลังงานความร้อนสำหรับการกำจัดสารมีสีที่ติดมาตามธรรมชาติให้ผ้าขาวด้วยสารเคมีร่วมกับความร้อนที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส
- การย้อม ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนเครื่องย้อมผ้า และใช้พลังงานความร้อนในการผนึกสี (Heat fixation) ให้สีที่ย้อมติดกับเส้นใย

6. การชุบมัน และการเซตด้วยความร้อน ใช้พลังงานความร้อนในการให้ความร้อนแก่ผ้าเพื่อเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผ้า

7. การอบแห้ง ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนในการทำงานของเครื่องอบแห้ง และใช้พลังงานความร้อนผ่านเครื่องเป่าลมร้อน แล้วส่งลมร้อนไปยังเครื่องอบแห้ง และเครื่องอบขยายหน้าผ้า

2.3 มาตรการการบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอสามารถดำเนินการได้หลายแนวทาง ทั้งในกระบวนการผลิต และหน่วยสนับสนุนการผลิต ซึ่งมีมาตรการดังต่อไปนี้

2.3.1 มาตรการการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า [7 และ 12]

ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

1. ใช้แสงสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งาน จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงาน โดยค่าความสว่างที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ระดับความส่องสว่างภายในอุตสาหกรรมสิ่งทอ พร้อมค่า UGR และดัชนี ความถูกต้องของสี

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	\bar{E}_m	UGR _L	R _a min
พื้นที่ทั่วไป	200	25	60
พื้นที่ทอผ้า	500	22	80
พื้นที่ย้อมผ้า	500	22	80
พื้นที่อบแห้ง	100	28	60
พื้นที่พับ แต่งขอบผ้า	1000	19	80
พื้นที่ตรวจสอบสี คุณภาพผ้า	1000	16	90

ที่มา: คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ

มีนิยามดังนี้

- Maintained Illuminance (\bar{E}_m) หมายถึง ระดับความส่องสว่างขั้นต่ำโดยเฉลี่ยที่วัดได้ และต้องคงไว้ ณ พื้นที่หรือจุดทำงาน มีหน่วยเป็น ลักซ์หรือ ลูเมนต่อตารางเมตร

- Limiting Unified Glare Rating (UGR_L) หมายถึง ค่าระดับความไม่สบายตาจากแสงสว่าง (Unified Glare Rating) ที่ยอมรับได้สูงสุดเมื่อติดตั้งระบบแสงสว่างเสร็จแล้ว ณ พื้นที่หรือจุดทำงาน

- Minimum Color Rendering Index (R_a min) หมายถึง ดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index) หรือความเหมือนจริงของสีของวัตถุขั้นต่ำสุดเมื่อมองเห็นขณะส่องจากระบบแสงสว่าง ณ พื้นที่หรือจุดทำงานกระทบผิววัตถุ

2. ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น หลอดประหยัดพลังงาน บัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง หรือการใช้โคมไฟที่มีแผ่นสะท้อนแสง
3. ออกแบบให้มีสวิตช์ควบคุมหลอดไฟอยู่ในตำแหน่งที่เปิด-ปิดได้สะดวก เพื่อให้ผู้ใช้สามารถปิดไฟในพื้นที่และช่วงเวลาที่ไม่ต้องการใช้งาน
4. ออกแบบแยกวงจรสวิตช์ควบคุมหลอดไฟ โดยกำหนดการเปิด-ปิดไฟในตำแหน่งต่างๆ ภายในพื้นที่นั้นให้อิสระต่อกัน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกปิดไฟในตำแหน่งที่ไม่ใช้งาน
5. ติดตั้งอุปกรณ์เปิด-ปิดไฟอัตโนมัติ เช่น การใช้แสงสว่างในการเปิด-ปิด การใช้สวิตช์เวลา หรือไทม์ดีเลย์ เพื่อป้องกันการลืมปิดไฟเมื่อไม่ใช้งาน
6. จัดตำแหน่งโคมไฟใหม่ หรือการจัดกลุ่มสวิตช์ควบคุมหลอดไฟตามการใช้งาน ซึ่งจะสามารถลดจำนวนโคมไฟที่ไม่เกิดประโยชน์ต่อการใช้งานได้
7. นำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ตามศักยภาพของโรงงาน เช่น การออกแบบอาคารที่คำนึงถึงเรื่องทิศทางของแสงสว่างตามฤดูกาลและสภาพอากาศ และควรมีหน้าต่างหรือช่องแสงที่มากตามความเหมาะสม
8. จัดสภาพแวดล้อมภายในให้เหมาะสม เช่น ฝ้าผนัง เพดาน และพื้น ควรจะเลือกใช้สีที่ส่งผลในการส่องสว่างสูง ที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูง เช่น สีขาว (60 – 80%) สีครีม (50 – 60%) สีอ่อน (35 – 55%)
9. การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าแสงสว่างด้วยการทำความสะอาด การเปลี่ยนหลอดที่เสื่อมสภาพทำให้อายุการใช้งานยาวนาน และรักษาความสว่างไว้ได้ในระดับที่ต้องการ

ระบบอัดอากาศ

1. การลดการรั่วไหลของอากาศอัด

การรั่วของอากาศอัดส่งผลให้เครื่องอัดอากาศต้องทำงานหนักขึ้นเพื่ออัดอากาศให้ได้ตามความต้องการ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน โดยทั่วไปอากาศรั่วจะสูงเกินกว่า 10% ของปริมาณอากาศอัดทั้งหมด ซึ่งในบางโรงงานอาจมีอากาศรั่วสูงถึง 20-30% โดยการรั่วมักจะเกิดขึ้นตามข้อต่อ ข้องอ ท่อส่งลม วาล์วเชื่อมต่อต่างๆ หรือจุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต ดังนั้นโรงงานจึงควรมีการตรวจสอบและซ่อมแซมรอยรั่วในระบบอัดอากาศเป็นระยะๆ อย่างน้อยปีละครั้ง ซึ่งปริมาณลมรั่วในระบบอัดอากาศไม่ควรเกิน 10% ของการผลิตอากาศอัดทั้งหมดในระบบอัดอากาศ
2. การลดอุณหภูมิอากาศเข้า

พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้จะแปรผันตามอุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่อง เนื่องจากอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีความหนาแน่นของอากาศมากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูง โดยในการอัดอากาศให้ได้ระดับความดันที่ต้องการ หากอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศมีอุณหภูมิต่ำหรือเป็นอากาศเย็น ซึ่งทำได้โดยการระบายความร้อน ลดอุณหภูมิอากาศ หรือเดินท่อนำอากาศเย็นจากภายนอกเข้ามา เครื่องอัดอากาศจะมีการใช้พลังงานลดลง

3. การปรับลดความดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน

พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้ จะขึ้นอยู่กับระดับความดันอากาศที่เครื่องอัดอากาศผลิต การอัดอากาศที่ความดันสูงจะสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ดังนั้นจึงควรตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการของอุปกรณ์ปลายทาง โดยทั่วไปถ้าความดันที่เครื่องอัดอากาศมีค่าสูงกว่าความดันที่ต้องการ ตั้งแต่ 69 kPa (10 psi) ขึ้นไป ควรพิจารณาทำการลดความดันลง ยกเว้นกรณีที่มีความดันลดในท่อมาก และการลดความดันลงทุกๆ 69 kPa การสูญเสียจากการรั่วไหลจะลดลง 5%

4. การใช้งานเครื่องอัดอากาศที่มีขนาดเหมาะสมกับภาระ

การเลือกเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่เกินกว่าภาระ เครื่องอัดอากาศจะทำงานเพื่อผลิตอากาศในช่วงระยะเวลาสั้นๆ จากนั้นจะเป็นการสูญเสียไปในภาวะไม่มีภาระงาน การเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศให้มีขนาดเหมาะสมกับภาระงาน เครื่องอัดอากาศจะทำงานอยู่ตลอดเวลา การสูญเสียในขณะที่ไร้ภาระจะลดลง ดังนั้นเครื่องอัดอากาศที่มีสัดส่วนการทำงานต่ำ ควรพิจารณาลดขนาดเครื่องอัดอากาศลง

5. หลีกเลี่ยงการใช้งานเครื่องอัดอากาศในภาวะไร้ภาระการทำงาน

เนื่องจากเครื่องอัดอากาศจะมีประสิทธิภาพลดลง เมื่อทำงานที่ภาระต่ำๆ โดยการเดินเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กที่ภาระเต็มพิกัด จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการเดินเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ที่ภาระการทำงานต่ำๆ (Part Load) ดังนั้นในระบบรวมที่ใช้เครื่องอัดอากาศหลายชุดจึงควรเลือกเดินเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และให้ทุกเครื่องทำงานใกล้เคียงกับพิกัดให้มากที่สุด หยุดเครื่องที่ทำงานภาระต่ำๆ

6. การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศมาใช้

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบสกรู จะใช้พลังงานในการอัดอากาศ 60-90% ส่วนที่เหลือจะสูญเสียไปในรูปความร้อน 10-40% ความร้อนส่วนนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตที่ต้องการความร้อนอุณหภูมิต่ำ หรืออุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำได้ ความร้อนทิ้งที่อาจจะเป็นทั้งอากาศระบายความร้อนและน้ำหล่อเย็นในเครื่องอัดอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับเครื่องอัดอากาศว่าเป็นการหล่อเย็นด้วยน้ำหรืออากาศ

7. การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ

- ควรตรวจหาและซ่อมจุดรั่วไหลของอากาศอย่างสม่ำเสมอ
- ควรตรวจสอบสภาพและปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นทุกวัน
- ควรตรวจสอบระบบระบายน้ำอัตโนมัติ
- ควรตรวจสอบการระบายน้ำในถังลมและท่ออย่างสม่ำเสมอ เป็นประจำทุกวัน
- หมั่นทำความสะอาด ชุดกรองอากาศในระบบอัดอากาศ แผงกรองอากาศ ก่อนเข้าเครื่องตัวกรองสารแขวนลอยในระบบน้ำหล่อเย็นทุกเดือน รวมทั้งทำการเปลี่ยนเมื่อถึงระยะเวลาที่เหมาะสม

- ควรเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นและไส้กรอง อัดจาระบีทุก 6 เดือน หรือเมื่อหมดอายุการใช้งาน
- ควรตรวจและปรับแต่งสายพานกำลังส่ง หรือชุดเกียร์ส่งกำลังอย่างสม่ำเสมอทุกเดือน
- ควรมีการตรวจวัดและบันทึกข้อมูล อุณหภูมิ ความดันของอากาศเข้าเครื่อง อัดอากาศ และอากาศภายในถัง รวมถึงอุณหภูมิสารระบายความร้อนเข้าและออก

ระบบปรับอากาศ

1. การปรับอุณหภูมิน้ำเย็นให้เหมาะสม

การปรับอุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ จะทำให้เครื่องทำน้ำเย็นใช้พลังงานในการขับเครื่องอัดอากาศลดลง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะสูงขึ้น โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นขึ้นทุกๆ 1 °C จะสามารถประหยัดพลังงานเครื่องทำน้ำเย็นได้ 1.5-2%

2. การปรับปรุงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นให้เหมาะสม

โดยทั่วไปอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของบรรยากาศ ประมาณ 3-5 °C เมื่อทำให้น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิต่ำลง ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นใช้พลังงานในการขับเครื่องอัดอากาศลดลง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นจะดีขึ้นร้อยละ 0.5% ทุกๆ 1 °C ที่ลดลงของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

3. การปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำ

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำ จะทำให้อุณหภูมิที่เข้าเครื่องควบแน่นมีค่าต่ำ ซึ่งส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของเครื่องทำความเย็น โดยการระบายอากาศอย่างเหมาะสมของหอผึ่งน้ำต้องอยู่ในตำแหน่งที่มีการถ่ายเทอากาศได้สะดวก ไม่มีสิ่งกีดขวางทางลม ไม่มีการหมุนเวียนของอากาศร้อนเข้าไประบายความร้อนซ้ำ

4. การควบคุมอากาศใหม่ และการระบายอากาศให้ต่ำที่สุด

ปริมาณอากาศใหม่ที่ต้องใช้จะเท่ากับอากาศที่ระบายออกและอากาศรั่วไหลตามช่องเปิดต่างๆ การนำอากาศใหม่มาปรับอากาศจะทำให้เกิดการใช้พลังงานสูงขึ้น ดังนั้นจะต้องลดการระบายอากาศให้ต่ำที่สุด ลดปริมาณอากาศรั่ว หรือลดพื้นที่เปิดที่ออกสู่บริเวณที่ไม่ปรับอากาศให้น้อย เนื่องจากจะทำให้อากาศร้อนจากภายนอกเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณปรับอากาศ ซึ่งจะส่งผลทำให้ภาระของเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำน้ำเย็นสูงขึ้น

5. การตรวจสอบสภาพของฉนวนที่หุ้ม

ตรวจสอบสภาพของฉนวนต่างๆ ที่หุ้มเครื่องทำน้ำเย็น เครื่องส่งลมเย็น ท่อลม และท่อน้ำ หากมีการชำรุดหรือเสื่อมสภาพให้รีบดำเนินการแก้ไข หรือทำการหุ้มฉนวนให้มีความหนาที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความร้อน จากบรรยากาศที่จะถ่ายเทเข้าสู่ น้ำเย็นและอากาศเย็น

6. การปรับตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสม

การตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ต่ำเกินไปเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน อุณหภูมิที่ตั้งควรจะปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งาน หรือฤดูกาล กรณีเป็นพื้นที่ปรับอากาศเพื่อภาวะสุขสบาย เช่น ส่วนสำนักงาน ควรปรับตั้งไว้ที่ 25 °C ส่วนกรณีการปรับอากาศสำหรับกระบวนการผลิต ควรมีการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมเนื่องจากบริเวณกระบวนการผลิตที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง จะทำให้การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสูงเกินความจำเป็น โดยความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับชนิดของเส้นใยในแต่ละกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงการปรับอากาศที่เหมาะสมในโรงงานสิ่งทอ

ชนิดเส้นใย	กระบวนการ	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
ฝ้าย (Cotton)	ทอผ้า	37 - 31	70 - 85
	ตกแต่งสำเร็จ	30 - 35	50 - 65
โพลีเอสเตอร์ (Polyester)	การเตรียมสิ่งทอ	26.7	65 - 75
	ทอผ้า	26.7	65 - 75
ไนลอน (Nylon)	การเตรียมสิ่งทอ	26.7	60 - 70
	ทอผ้า	26.7	60 - 70
เรยอน (Rayon)	ทอผ้า	26.7	50 - 65
อะซีเตต (Acetate)	ทอผ้า	26.7	55 - 65
ไหม (Silk)	การเตรียมสิ่งทอ	26.7	60 - 70
	ทอผ้า	26.7	60 - 70

ที่มา: ดัดแปลงจาก คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ

7. การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ

- ควรทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องควบแน่น อย่างสม่ำเสมอทุก 6 เดือนเป็นอย่างน้อย เพื่อป้องกันการเกิดตะกรันบนพื้นผิวถ่ายเทความร้อน
- ควรทำการปรับคุณภาพน้ำที่เติมเข้าสู่หอผึ่งน้ำและน้ำที่ไหลเวียนในระบบระบายความร้อน
- ตรวจสอบการหล่อลื่นอุปกรณ์ที่เคลื่อนไหวทั้งหมดอย่างสม่ำเสมอ เช่น เฟืองของพัดลม หอผึ่งน้ำพัดลมส่งความเย็นต่างๆ

- ตรวจสอบการรั่วของลมเย็นในบริเวณต่างๆ ของท่อลมอย่างสม่ำเสมอ และทำการทดสอบและทำสมดุลระบบทั้งหมด ทั้งระบบน้ำเย็นและระบบลมอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง
- ตรวจสอบการทำงานของวาล์วระบายอากาศ ให้ทำงานไล่อากาศภายในระบบท่อน้ำ เนื่องจากอากาศเมื่ออยู่ในระบบท่อน้ำหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้ น้ำเย็นแลกเปลี่ยนความร้อนได้ไม่ดี เนื่องจากมีอากาศเป็นฉนวนกั้นอยู่
- ตรวจสอบการรั่วของน้ำเย็นบริเวณแกนของปั๊ม หรือบริเวณต่างๆ เนื่องจากน้ำเย็นมีอุณหภูมิประมาณ 4.5-7 °C ซึ่งถ้ารั่วไหลจะต้องเติมน้ำเข้าสู่ระบบ โดยน้ำที่เติมมีอุณหภูมิประมาณ 32 °C ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการทำให้น้ำนั้นๆ เย็นขึ้น
- ควรตรวจสอบสภาพสีและปริมาณของสารทำความเย็น และน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องทำน้ำเย็นอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

เครื่องสูบน้ำ

1. การเปลี่ยนขนาดเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับอัตราการไหลและความดันของน้ำ เครื่องสูบน้ำที่มีขนาดใหญ่เกินภาระ จะทำให้ต้องทำงานที่อัตราการไหลและความดันสูง เกิดความสูญเสียเกินความจำเป็น ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมต่ำ ซึ่งสามารถปรับลดขนาดของเครื่องให้ใกล้เคียงกับภาระ หรือเปลี่ยนเป็นการใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กหลายตัว เพื่อให้เครื่องสูบน้ำแต่ละชุดทำงานใกล้เคียงกับพิกัดให้มากที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงสุด
2. การปรับแต่งหรือเปลี่ยนใบพัดเครื่องสูบน้ำ
เครื่องสูบน้ำที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าภาระ อัตราการไหลและความดันของน้ำหรือเฮดสูงเกินความต้องการในใช้งานมาก จำเป็นต้องใช้วาล์ว เครื่องสูบน้ำจึงต้องทำงานเอาชนะความเสียดทานที่เพิ่มขึ้น โดยการปรับปรุงที่ลงทุนน้อยที่สุด คือ การเจียรแต่งใบพัด หรือเปลี่ยนใบพัดให้มีขนาดเล็กลง เนื่องจากอัตราการไหลจะแปรผันตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และเฮดของเครื่องสูบน้ำจะแปรผันตามเส้นผ่านศูนย์กลางกำลังสอง
3. การใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กหลายชุดและเดินเครื่องตามจำนวนที่จำเป็น
กรณีที่อัตราการไหลของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง จะมีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำขนาดเล็กหลายชุด เมื่ออัตราการไหลลดลง ควรมีสวิตช์อัตโนมัติตัดเครื่องสูบน้ำบางเครื่องออกและใช้งานเท่าที่จำเป็น
4. การใช้เครื่องสูบน้ำความดันสูงเฉพาะจุด
กรณีมีการใช้งานความดันสูงในบางจุด ควรติดตั้งเครื่องสูบน้ำความดันสูง (Booster Pump) แยกเฉพาะสำหรับจุดนั้น เนื่องจากการผลิตที่ความดันสูงแล้วนำมาลดความดันเพื่อใช้งาน จะเกิดการสูญเสียพลังงานมากเกินความจำเป็น

5. การเปลี่ยนเครื่องสูบน้ำที่ชำรุด

เมื่อเครื่องสูบน้ำชำรุด เช่น ใบพัดสึกหรือหัก บุกซึ่ง แหวน แบริงชำรุด จะส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องสูบน้ำและกำลังพิกัดลดลง จึงควรดำเนินการซ่อมและปรับเปลี่ยนทันที

6. การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD)

การควบคุมอัตราการไหลที่ไม่เต็มพิกัดและไม่คงที่ สามารถใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD) ควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการควบคุมด้วยวิธีอื่น และส่งผลให้มอเตอร์ใช้พลังงานลดลง

มอเตอร์ไฟฟ้า

1. การใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระ

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพลดลงเมื่อภาระลดลง และเมื่อภาระลดลงต่ำกว่า 40% ของพิกัด ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะลดลงอย่างมาก ดังนั้นควรเลือกใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระ ร้อยละของภาระเทียบกับภาระพิกัดควรมีค่าสูงกว่า 60%

2. หลีกเลี่ยงการใช้งานมอเตอร์ในภาวะไร้ภาระการทำงาน

การทำงานของมอเตอร์ในภาวะไร้ภาระ มีการใช้กำลังไฟฟ้า 30-40% ของกำลังพิกัด เกิดเป็นความสูญเสียเปล่า ซึ่งสามารถปรับปรุง โดยการถ่ายโอนภาระไปใช้งานกับเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูง หรือทำให้เครื่องนั้นรับภาระสูงขึ้น และหยุดเครื่องที่ทำงานภาระต่ำๆ

3. มีการระบายความร้อนที่ดี

มอเตอร์ที่มีการใช้งาน จะเกิดการเกาะ จับตัว ของฝุ่นและสิ่งสกปรก ทำให้มอเตอร์ระบายความร้อนได้ไม่ดี ส่งผลให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยอุณหภูมิมอเตอร์ที่สูงขึ้น 25 °C จะเกิดการสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และมอเตอร์ที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปจะมีอายุการใช้งานสั้นลง

4. การควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม

มอเตอร์จะทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงเมื่อได้รับระดับแรงดันที่พิกัดใช้งานหรือแตกต่างกันไม่เกิน 5% และควรอยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลเกิน 2% จะมีความสูญเสียเพิ่มขึ้น 25% ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์ไม่ควรเสียสมดุลเกิน 1%

5. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีการออกแบบให้มีกำลังสูญเสียต่ำ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ทั่วไป 1-3% ทั้งนี้มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งาน 15-20 ปี ดังนั้นประสิทธิภาพที่สูงขึ้น จึงทำให้ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุการใช้งานลดลง

2.3.2 มาตรการการบริหารจัดการพลังงานความร้อน [11 - 13]

ระบบไอน้ำ

1. การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม

ในกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถันในเชื้อเพลิง จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และพลังงานความร้อน โดยในการเผาไหม้ หากปริมาณอากาศที่เข้าเผาไหม้ต่ำเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิง บางส่วนเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ มีเขม่าควัน จัดเป็นการสูญเสียพลังงานลักษณะหนึ่ง (Combustible loss) ในทางกลับกันหากมีปริมาณอากาศ มากเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงส่วนหนึ่งต้องใช้เพื่อเผาอากาศให้ร้อน เป็นการสูญเสียอีกลักษณะหนึ่ง (Excess gas loss) ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ได้ในปริมาณที่พอดีกับ เชื้อเพลิง เนื่องจากจะมีเชื้อเพลิงบางส่วนสัมผัสกับอากาศไม่ทั่วถึง เราจึงต้องป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ ในปริมาณที่เกินพอดีเล็กน้อย อากาศส่วนนี้เรียกว่า อากาศส่วนเกิน ซึ่งค่าอากาศส่วนเกินที่เหมาะสม สำหรับเชื้อเพลิงแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 2.5 และควรปรับแต่งเชื้อเพลิงและอากาศที่เผาไหม้ ทุกๆ 3 เดือน

ตารางที่ 2.5 อากาศส่วนเกินที่เหมาะสม

ชนิดเชื้อเพลิง	ก๊าซออกซิเจน ในก๊าซไอเสีย (%)	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในก๊าซไอเสีย (%)	ก๊าซคาร์บอนมอน นอกไซด์ในก๊าซ ไอเสีย (ppm)	อากาศ ส่วนเกิน (%)
เชื้อเพลิงเหลว	3 - 4	12 - 14	<200	10 - 20
เชื้อเพลิงก๊าซ	1 - 2	9 - 10	<200	10 - 20
เชื้อเพลิงแข็ง	7 - 10	12 - 13	<200	50 - 70

ที่มา: คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ

2. การควบคุมอุณหภูมิก๊าซไอเสีย

อุณหภูมิก๊าซไอเสีย เป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อการสูญเสียพลังงานความร้อนไปกับ ก๊าซไอเสีย (Flue gas loss) ซึ่งอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่สูงขึ้น นั้นหมายถึง ต้องเผาไหม้เชื้อเพลิงมากขึ้น เพื่อทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นทั้งนี้มิใช่สาเหตุจากการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีระหว่างด้านไฟและน้ำ ทำให้ต้องผลิตก๊าซไอเสียอุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปผลต่างระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสียและไอน้ำอิมตัวที่ ความดันไอน้ำใช้งาน จะมีค่าประมาณ 50-60 °C แต่เมื่อใช้งานไปจะมีตะกรันมาเกาะที่ผิวแลกเปลี่ยน ความร้อนด้านน้ำ และมีเขม่าเกาะด้านท่อไฟ ทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิมิค่าสูงขึ้น พร้อมกับการ สูญเสียพลังงานที่มากขึ้น

3. การควบคุมการระบายน้ำออก (Blow Down) ที่เหมาะสม

คุณภาพของน้ำที่ใช้กับหม้อไอน้ำจะมีผลต่อการใช้พลังงาน เนื่องจากหินปูน (CaCO_3) และของแข็งที่ปะปนอยู่ในน้ำเกิดการสะสมเป็นตะกรันเกาะอยู่ที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้น้อยลง ส่งผลให้อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงขึ้น ต้องสูญเสียพลังงานความร้อนไปกับก๊าซไอเสีย อีกทั้งยังอาจก่อให้เกิดการแตกกร้าว ดังนั้นจึงต้องมีการระบายน้ำทิ้ง เพื่อลดความเข้มข้นของสารที่ปะปนมาในน้ำไม่ให้มีค่าสูงเกินที่จะส่งผลเสียกับหม้อไอน้ำ ทั้งนี้จะต้องมีการระบายอย่างเหมาะสม เพราะหากมีการระบายน้ำบ่อยเกินไป ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน และน้ำ โดยความบ่อยครั้งในการระบายขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและปริมาณน้ำป้อนที่นำมาใช้ ประเภทของหม้อไอน้ำ และความดันที่ใช้งานของแต่ละโรงงาน โดยทั่วไปแล้วน้ำระบายไม่ควรเกิน 1-3% ของไอน้ำที่ผลิต ในกรณีที่ต้องระบายน้ำบ่อย และมีปริมาณมากควรทำการติดตั้งระบบระบายน้ำอัตโนมัติและนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ โดยการผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

4. การติดตั้งตัวปรับความเร็วรอบสำหรับพัดลมดูดอากาศร่วมกับตัววัดออกซิเจน

หม้อไอน้ำมักมีภาระไม่เต็มพิกัดและไม่สม่ำเสมอ การควบคุมปริมาณอากาศที่เข้าเผาไหม้โดยการปรับความเร็วรอบพัดลม จะทำให้สามารถควบคุมสัดส่วนปริมาณอากาศให้เหมาะสมได้ตลอดเวลา

5. การปรับลดความดันของไอน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน

เนื่องจากไอน้ำที่มีความดันยิ่งต่ำ ค่าความร้อนแฝงก็จะยิ่งสูง ดังนั้นการใช้ไอน้ำที่ความดันต่ำลง ก็จะสามารถดึงความร้อนจากไอน้ำออกมาใช้ได้มาก

6. ตรวจสอบและซ่อมแซมจุดรั่วไหลของท่อไอน้ำ ท่อคอนเดนเสท และกับดักไอน้ำ

จุดรั่วไหลของท่อไอน้ำ และท่อคอนเดนเสทจะเป็นจุดที่มีการสูญเสียพลังงานอย่างมาก ควรตรวจสอบและซ่อมแซมทันที จุดรั่วไหลมักเกิดตามข้อต่อต่างๆ

7. นำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่

เครื่องจักรที่มีการใช้ความร้อนจากไอน้ำส่วนใหญ่เป็นการใช้ความร้อนแฝง (Latent heat) ส่วนความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ประมาณ 10-20% ที่อยู่ในคอนเดนเสท สามารถนำกลับมาป้อนเข้าหม้อไอน้ำได้อีกครั้งโดยตรง ซึ่งหากมีการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ได้ทั้ง 100% จะลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ 20% สำหรับกรณีที่คอนเดนเสทมีสิ่งเจือปน ไม่สามารถส่งเข้าหม้อไอน้ำได้โดยตรง ความร้อนในคอนเดนเสทสามารถใช้แลกเปลี่ยนให้ความร้อนกับของไหลอื่นได้โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

8. นำความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์

การนำความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสียกลับมาอุ่นอากาศ (Air preheater) หรือการนำความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสียกลับมาอุ่นน้ำป้อน เป็นอีกวิธีที่นำความร้อนกลับมาใช้ ซึ่งนอกจากจะลดการสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซไอเสียแล้ว ยังทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น จากข้อมูลของผู้ผลิตอุปกรณ์อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Economizer) ในทุกๆ 20 °C ของอุณหภูมิก๊าซไอ

เสียที่นำมาใช้ได้จะลดการใช้เชื้อเพลิงลงประมาณ 1% แต่ข้อจำกัดในการนำความร้อนทิ้งของก๊าซไอเสียมาใช้ก็คือการควบแน่นของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง จะทำให้เกิดกรดซัลฟูริกกัดกร่อนอุปกรณ์ ซึ่งอุณหภูมิของก๊าซไอเสียหลังแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว อุณหภูมิไม่ควรต่ำกว่าอุณหภูมิควบแน่นของกรด

9. ลดการสูญเสียจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน

เนื่องจากอุณหภูมิบริเวณผิวนอกของหม้อไอน้ำสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จึงเกิดการถ่ายเทความร้อน โดยการสูญเสียที่ผิวเป็น 1 ใน 3 ของการสูญเสียหลักของหม้อไอน้ำ ซึ่งการหุ้มฉนวนกันความร้อน การซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาฉนวน จะช่วยลดการสูญเสียความร้อนทางพื้นผิวของวัตถุ โดยจะสามารถลดการสูญเสียได้ประมาณ 95% ของการสูญเสียความร้อนทางพื้นผิว

10. การจัดการการใช้งานหม้อไอน้ำที่เหมาะสม

ช่วงการเดินหม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด อยู่ในช่วงภาระ 65 – 85% ของพิกัด ควรมีการจัดการที่เหมาะสม เพื่อลดการใช้ไอน้ำเมื่ออุปกรณ์ปลายทางที่ใช้ไอน้ำมีตารางการทำงานที่แตกต่างกัน

11. การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำอย่างเหมาะสม

- ควรตรวจวัดและบันทึกความดันและอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าหัวเผา
- ควรทำความสะอาดชุดหัวเผาอย่างน้อยทุกเดือนสำหรับเชื้อเพลิงเหลว และทุก 6 เดือนสำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ
- ควรทำความสะอาดตัวกรอง (Strainer) ของระบบน้ำป้อนและน้ำมันเชื้อเพลิงทุกเดือน
- ควรตรวจสอบคุณภาพน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำทุกสัปดาห์
- ควรตรวจสอบทางเข้าของอากาศในห้องหม้อไอน้ำ และในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำรวมทั้งทำความสะอาดด้านดูดของพัดลม และแผงกรองอากาศทุกเดือน
- ควรตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ ปัมเชื้อเพลิง ชุดหัวเผา และชุดอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง วาล์ว และวาล์วอัตโนมัติต่างๆ และมอเตอร์ พัดลมอย่างน้อยปีละ 1-2 ครั้ง
- ควรทำความสะอาดผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านสัมผัสน้ำและด้านสัมผัสไฟทุกปี
- ควรทำความสะอาดถังเก็บน้ำป้อน ถังสารเคมี และถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงทุกปี
- ควรตรวจสอบ ผึง และฉนวนของหม้อไอน้ำทุกปี
- ควรทำความสะอาดปล่องก๊าซไอเสียทุก 3 ปี

2.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ [15 - 16]

การจัดทำมาตรการการบริหารจัดการพลังงานของโรงงานถือเป็นโครงการที่ต้องทราบว่าโครงการที่จะลงทุนนั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เงินที่สามารถประหยัดได้และเงินลงทุน ซึ่งการวิเคราะห์ผลตอบแทนที่ใช้สำหรับประเมินโครงการจะอยู่ในรูป มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ(Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP) ซึ่งมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

การวิเคราะห์ด้านการเงิน (Financial Analysis)

เป็นการวิเคราะห์การลงทุนและผลตอบแทนของโครงการ รวมถึงการวางแผนทางการเงินที่เหมาะสมกับโครงการ เพื่อเป็นการประเมินศักยภาพของโครงการว่ามีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ โดยมีการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์กระแสการไหลของเงินสด (Cash Flow Analysis)

แบ่งการวิเคราะห์กระแสเงินสดของกิจการออกเป็น 3 ส่วน

- กระแสเงินสดจากกิจกรรมดำเนินงาน
- กระแสเงินสดจากกิจกรรมการลงทุน
- กระแสเงินสดจากกิจกรรมจัดหาเงินทุน

การจัดทำงบกระแสเงินสดสามารถทำได้โดยแสดงเงินสดรับและเงินสดจ่ายจากกิจกรรมดำเนินงานต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.25

$$\text{กระแสเงินสดสุทธิ} = \text{กระแสเงินสดรับ} - \text{กระแสเงินสดจ่าย} \quad (2.25)$$

2. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุนทางด้านพลังงาน จากแนวทางหรือมาตรการ โดยอยู่ในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนเริ่มแรก ซึ่งสามารถคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิจากสมการที่ 2.26

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (2.26)$$

โดยที่

n คือ อายุของโครงการ (ปี)

ES_t คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy Cost Savings) รายปีตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 คือ เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

i คือ อัตราคิดลด (มีค่าเดียวกันตลอดอายุโครงการ)

ในการพิจารณาเลือกโครงการ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ จะแสดงให้เห็นว่าโครงการที่กำลังพิจารณา มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเป็นมูลค่าเท่าไรเมื่อสิ้นสุดโครงการ โดยที่ถ้ามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ มีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการสมควรที่จะลงทุน ทั้งนี้ควรนำเครื่องมืออื่นมาร่วมพิจารณาประกอบการตัดสินใจ

3. อัตราผลตอบแทนภายใน

อัตราผลตอบแทนภายใน คือ อัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุน เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับการดำเนินการประหยัดพลังงานตลอดอายุโครงการหรืออาจกล่าวได้ว่า การคำนวณหาค่าอัตราผลตอบแทนภายใน คือการหาค่าอัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่ง ภายใต้สมมติฐานที่ไม่มีการคิดมูลค่าซาก และเงินลงทุนสุทธิเท่ากับต้นทุนทางบัญชี สามารถคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในจากสมการที่ 2.27

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1 + IRR)^t} - I_0 \quad (2.27)$$

โดยที่

n คือ อายุของโครงการ (ปี)

ES_t คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 คือ เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ

IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน

ดังนั้นถ้าค่าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่า หรือ เท่ากับอัตราคิดลดจะถือได้ว่าโครงการนั้นเป็นโครงการที่สมควรลงทุน

4. ระยะเวลาคืนทุน

เป็นระยะเวลาที่เป็นจำนวนปี เดือน หรือวัน ที่กระแสเงินสดรับจากโครงการสามารถชดเชยกระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนจากสมการที่ 2.28

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{มูลค่าของค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนเฉลี่ยสุทธิต่อปี}} \quad (2.28)$$

การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน

- ระยะเวลาคืนทุน น้อยกว่า ระยะเวลาดำเนินงานโครงการ แสดงว่าการลงทุนของโครงการให้ผลที่คุ้มค่า
- ระยะเวลาคืนทุน มากกว่า ระยะเวลาดำเนินงานโครงการ แสดงว่าการลงทุนของโครงการให้ผลที่ไม่คุ้มค่า

2.5 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมศักดิ์ จันทโภทศ (2543) [17] ศึกษาศักยภาพการประหยัดพลังงานในโรงงานสิ่งทอ โดยทำการตรวจ วิเคราะห์การใช้พลังงานในอุปกรณ์หลักของกระบวนการฟอกย้อม พบว่ามีค่าการใช้ไอน้ำจำเพาะของเครื่องต้มล้างผ้า 16,147 กิโลจูล/กิโลกรัม/ผ้า เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง 6 ลูก 1,298.47 กิโลจูล/กิโลกรัม/ผ้า เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง 8 ลูก 1,829 กิโลจูล/กิโลกรัม/ผ้า และเครื่องอบแห้งแบบบิสระ 24,88.27 กิโลจูล/กิโลกรัม/ผ้า และเมื่อทำการสมดุลพลังงานพบว่า การสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการสูญเสียความร้อนที่ผิวอุปกรณ์ ซึ่งสามารถลดการสูญเสียได้โดยการหุ้มฉนวน โดยสามารถประหยัดการใช้ไอน้ำได้ 21,015.25 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่า 7,544,528.70 บาท/ปี และการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้กับเครื่องฟอกย้อม ทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานได้ 1,741.62 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่า 512,353 บาท/ปี นอกจากนี้การนำน้ำจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้กับเครื่องต้มล้างผ้า สามารถประหยัดการใช้น้ำ คิดเป็นมูลค่า 913,509.50 บาท/ปี สำหรับการลงทุนในทุกมาตรการข้างต้น มีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 1 ปี

วุฒิสักดิ์ ทะนวนรัมย์ (2550) [18] ศึกษาศักยภาพการประหยัดพลังงานและสาเหตุของการสูญเสียพลังงานของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงาน มีโรงงานที่เข้าร่วมโครงการจำนวน 79 โรงงานจาก 8 สาขาอุตสาหกรรม คือ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมไม้ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมโลหะ และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากโลหะ ซึ่งโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ ดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน สามารถประหยัดพลังงานได้ 175,035 จิกะจูล/ปี คิดเป็นมูลค่า 105.35 ล้านบาท/ปี สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้พลังงานรวมของอุตสาหกรรมสิ่งทอ 2,379,433 จิกะจูล/ปี เป็นพลังงานไฟฟ้าร้อยละ 28.4 มีการสูญเสียพลังงานด้วยสาเหตุหลักจากระบบไอน้ำ ระบบอัดอากาศ และระบบทำความเย็นและปรับอากาศ เกิดการสูญเสียพลังงานรวม 41,845 จิกะจูล/ปี และเมื่อดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน สามารถประหยัดพลังงานลงได้ 28,804 จิกะจูล/ปี คิดเป็นมูลค่า 16.84 ล้านบาท/ปี โดยมีตัวอย่างมาตรการที่ใช้ตั้งนี้ ลดความดันในการผลิตไอน้ำของระบบไอน้ำ ลดการรั่วของอากาศอัดในระบบอัดอากาศ และหยุดการใช้งานชุดระบายความร้อนลงบางชุดในระบบทำความเย็นและปรับอากาศ เป็นต้น

พัชรมาศ นุ่มดี (2553) [19] ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานตามแนวทาง การจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษและอุตสาหกรรมเคมี โดยสร้างสมการเชิงเส้นแบบง่ายแสดงความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม คำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) และตรวจติดตามการใช้พลังงาน โดยประยุกต์ใช้หลักการทางสถิติ คือ กราฟ CUSUM ซึ่งจะแสดงให้เห็นช่วงที่มีการใช้พลังงานผิดปกติในกระบวนการผลิต ทั้งยังได้สมการตัวแทนการใช้พลังงานและค่า SEC ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ที่สามารถใช้เพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกลุ่ม

อุตสาหกรรมที่มีลักษณะการผลิตใกล้เคียงกัน นอกจากนี้จากกราฟ CUSUM จะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ

สุวิทย์ ภูลี (2554) [20] ศึกษาแนวทางในการบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากดัชนีตรวจติดตามค่าการใช้พลังงานต่อความสามารถเชิงปริมาณในการผลิตสินค้า หรือค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) และได้เสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในรูปแบบการบำรุงรักษา ด้วยการปรับปรุงการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อลดเวลาการปฏิบัติงานลง โดยการปรับปรุงและออกแบบขั้นตอนปฏิบัติงานใหม่ การจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน ปรับปรุงแผนการบำรุงรักษา จัดสอนพัฒนาทักษะการปฏิบัติงานให้กับผู้ปฏิบัติงาน และประชุมสื่อสารแลกเปลี่ยนความรู้ในการปฏิบัติงาน ซึ่งได้ติดตามตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องคือ SEC ชั่วโมงเวลาการบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และ Plant reliability ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าสามารถลดเวลาการปฏิบัติงานลงได้ 16.57% โดยมีค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษา ลดลง 21.17% และไม่ทำให้ Plant Reliability ลดต่ำลงไปจนเกิดผลเสียกับกระบวนการผลิต แต่กลับเพิ่มขึ้น 25.22% โดยประมาณ

พงศ์ปิติ เดชะศิริ (2555) [21] ศึกษาศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย โดยทำการวิเคราะห์ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของเครื่องจักรและเทคโนโลยีพื้นฐานที่ใช้ในกระบวนการผลิต คือ มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องอัดอากาศ และหม้อไอน้ำ ภายใต้สมมติฐานการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรและเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า จะพิจารณาให้เท่ากับค่าเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสุด โดยเพิ่มการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ หม้อไอน้ำ จะทำการปรับปรุงประสิทธิภาพให้มีค่าเท่ากับประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดของหม้อไอน้ำชนิดนั้น เครื่องอัดอากาศ จะพิจารณาปรับปรุงให้เท่ากับประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้าที่ดีที่สุด ซึ่งการปรับปรุงมอเตอร์ไฟฟ้า หม้อไอน้ำ และเครื่องอัดอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ส่งผลให้เครื่องจักรดังกล่าวมีศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก ร้อยละ 63, 7 และ 31 ตามลำดับ

A. Hasanbeigi and L. Price (2012) [22] ศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงาน และเทคโนโลยีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงมาตรการต่างๆ ที่สามารถนำไปปรับใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นกรณีศึกษาจากโรงงานสิ่งทอทั่วโลก งานวิจัยได้แสดงข้อมูลการประหยัดพลังงาน ค่าใช้จ่ายในการลงทุน และระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยีและมาตรการในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวมทั้งสิ้น 184 ทางเลือก โดยแยกตามกระบวนการดังนี้ กระบวนการปั่นด้าย กระบวนการทอผ้า กระบวนการผลิตสิ่งทอที่ต้องใช้น้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง กระบวนการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ ซึ่งตัวอย่างของเทคโนโลยีและมาตรการของกระบวนการปั่นด้าย เช่น การติดตั้งตัวปรับความเร็วรอบกับมอเตอร์พัดลมของระบบควบคุมความชื้น จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า 18–105 เมกกะวัตต์ชั่วโมง/ปี/ตัว มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 1900–8660 เหรียญสหรัฐ/ตัว และมีระยะเวลา

คืนทุน 1-2 ปี ในส่วนของกระบวนการทอผ้า นั้น เครื่องทอผ้าควรมีอัตราประโยชน์มากกว่า 90% โดยอัตราประโยชน์ที่ลดลง 10% จะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นประมาณ 3-4% และกระบวนการผลิตสิ่งทอที่ต้องใช้น้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่นในกระบวนการย้อมผ้า การติดฉนวนความร้อนแก่เครื่องย้อมผ้า จะช่วยประหยัดเชื้อเพลิง 210-280 จิกะจูล/ปี/โรงงาน มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 9000-13,000 เหรียญสหรัฐ/โรงงาน มีระยะเวลาคืนทุน 3.8-4.9 ปี

จิณาภา แซ่เหี้ย (2556) [23] ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพลังงานความร้อนสูญเสียของหม้อไอน้ำกลับมาใช้ใหม่ กรณีศึกษาโรงงานทอผ้ากระโปรง โดยจากการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอดีตพบว่าหม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่มีการสูญเสียพลังงานความร้อนในปริมาณมากจากการโบล์ดาวน์ และไอเสียจากกระบวนการเผาไหม้ จึงได้ศึกษาหามาตรการในการนำพลังงานความร้อนสูญเสียกลับมาใช้พบว่ามี 2 มาตรการที่เหมาะสม คือมาตรการการเพิ่มชุดแลกเปลี่ยนความร้อนอีก 1 ชุดต่ออนุกรมกับระบบเดิมของโรงงาน ซึ่งจะทำให้สามารถนำพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากการโบล์ดาวน์กลับมาใช้ได้ถึง 85.76 กิโลวัตต์ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 65,905.40 บาท/เดือน โดยใช้เงินลงทุนเบื้องต้น 490,000 บาท และค่าบำรุงรักษา 25,000 บาท/ต่อปี สามารถคืนทุนในระยะเวลา 8 เดือน และมาตรการติดตั้งชุดอีโคโนไมเซอร์ที่ปล่อยไอเสียของหม้อไอน้ำ ซึ่งจะทำให้สามารถนำพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากไอเสียกลับมาใช้ได้ถึง 79.74 กิโลวัตต์ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 61,276.90 บาท/เดือน โดยใช้เงินลงทุนเบื้องต้น 1,235,000 บาท และค่าบำรุงรักษาต่อปี 20,000 บาท/ปี สามารถคืนทุนในระยะเวลา 3 ปี 2 เดือน

E. Alkaya and G.N. Demirer (2014) [24] ศึกษาการผลิตสิ่งทออย่างยั่งยืนของโรงงานทอผ้าในตุรกี โดยทำการประเมินผลการใช้มาตรการการผลิตอย่างยั่งยืน ซึ่งตัวอย่างมาตรการที่ใช้คือ ในกระบวนการอบแห้งผ้าด้วยเครื่องอบตากแห้งสำเร็จ ผ้าที่มีอุณหภูมิสูงจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็นจากเครื่อง เมื่อกระบวนการเสร็จสิ้นลงน้ำร้อนที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกส่งไปยังแหล่งรวมน้ำเสีย จึงได้มีมาตรการนำน้ำร้อนนี้กลับมาใช้ใหม่ โดยน้ำร้อนจะถูกส่งไปเก็บในถังเก็บสำหรับใช้ในกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการย้อมสี จะเห็นได้ว่ามาตรการดังกล่าวสามารถลดการใช้น้ำ และการใช้พลังงานในการให้ความร้อน โดยมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการ 1.5 เดือน ทั้งนี้การใช้มาตรการส่งผลให้การใช้น้ำของโรงงานลดลง 40.2% ขณะเดียวกันปริมาณน้ำเสียลดลง 43.4% สำหรับการใช้พลังงานที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่ามีการลดลง 17.1% และ 13.5% ตามลำดับ

J. Bujak (2008) [25] ทำการศึกษาปรับปรุงการจัดการพลังงานในระบบไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก โดยระบบประกอบไปด้วยหม้อไอน้ำเผาไหม้ด้วยแก๊สธรรมชาติ ไอน้ำ และท่อคอนเดนเสทที่ติดตั้งจากกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูกที่มีอยู่เดิม ซึ่งหม้อไอน้ำทำงานพร้อมกับถังคอนเดนเสทแบบระบบเปิด ที่มีผลต่อการสูญเสียพลังงาน จากการศึกษาได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงการสูญเสียพลังงานโดยเปลี่ยนถังคอนเดนเสทจากเดิมที่เป็นระบบเปิด เป็นถังคอนเดนเสทแบบระบบปิด ซึ่งจากการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน และการสูญเสีย

พลังงาน พบว่าถึงคอนเดนเสทแบบระบบปิดมีการสูญเสียที่น้อยกว่ากว่าถึงคอนเดนเสทแบบระบบเปิด ทั้งยังมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับระบบปิดเพิ่มขึ้น 8% ซึ่งการดำเนินการตามมาตรการมีระยะเวลาคืนทุนภายใน 1 ปี

Gui-Bing Hong and et. al (2010) [26] ศึกษาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอของไต้หวัน งานวิจัยนี้ได้รวบรวมแนวทางและสรุปผลการประหยัดพลังงานที่ดำเนินการโดยบริษัท 303 แห่งในอุตสาหกรรมสิ่งทอของไต้หวันพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ 46,074 ตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ (TOE) หรือเทียบเท่าการประหยัด พลังงานไฟฟ้า 94,614 MWh น้ำมันเชื้อเพลิงได้ 23,686 kl และเชื้อเพลิงถ่านหิน 4887 ตัน และแสดงถึงศักยภาพการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง 143,669 ตัน โดยการศึกษาครั้งนี้ได้สรุปมาตรการประหยัดพลังงานสำหรับผู้ใช้งานและระบุพื้นที่สำหรับการประหยัดพลังงานเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยมีตัวอย่างมาตรการดังนี้ การลดการรั่วไหลสำหรับระบบอัดอากาศ การลดการใช้แสงสว่างในช่วงเวลาที่แหล่งกำเนิดแสงอื่นให้แสงสว่างเช่นในเวลากลางวัน การเพิ่มอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ ให้กับเครื่องเป่าลมของหม้อไอน้ำ ปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม สำหรับระบบไอน้ำ เป็นต้น

V.A.F. Costa and et. al (2019) [27] ศึกษาการเปลี่ยนแปลง มวล พลังงานและเอนทัลปีในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน 50 MW_{th} ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเหลือทิ้งร่วมกับเทคโนโลยีการเผาไหม้แบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized bed combustion technology) ซึ่งในกรณีศึกษาได้ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดไม้ยูคาลิปตัส จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษในโปรตุเกส โดยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง มวล พลังงาน และเอนทัลปี ในองค์ประกอบหลักของระบบ ได้แก่ ห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ ตรีม ซูเปอร์ฮีตเตอร์ อีโคโนไมเซอร์ และส่วนอุ่นอากาศ ด้วยผัง Sankey และ Grassmann แสดงการไหลของมวล พลังงาน และเอนทัลปีจากแหล่งที่มาไปจนถึงปลายทาง เพื่อหาแหล่งและศักยภาพสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการการสูญเสียเอนทัลปีหลักเกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้ โดยการสูญเสียพลังงานและเอนทัลปีจะเกิดขึ้นไม่มากสำหรับระบบที่มีการหุ้มฉนวนความร้อน

M.C.Barma and et. al (2017) [28] ได้ทบทวนเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ในเรื่องการใช้พลังงานในหม้อไอน้ำ การประหยัดพลังงาน และการลดการสูญเสียความร้อนจากการศึกษาพบว่าพลังงานจำนวนมากสูญเสียไปกับก๊าซไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงของหม้อไอน้ำ นอกจากนี้แล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ทำให้เกิดการการสูญเสียซึ่งความร้อนทั้งหมดนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมและแตกต่างกันไป โดยประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสามารถปรับปรุงได้ด้วยการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาซึ่งจะช่วยให้หม้อไอน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และการจัดฝึกอบรมอย่างสม่ำเสมอสำหรับพนักงานที่เกี่ยวข้องจะช่วยสร้างความตระหนัก และเกิดความเข้าใจถึงความสำคัญของพลังงานที่ใช้ในระบบหม้อไอน้ำ

J. Phusrimuang and T. Wongwuttanasatian (2017) [29] ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอบไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเตาอบไอน้ำได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมในเตาอบไอน้ำเดิม ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาถูกกำหนดและเปรียบเทียบกับเตาทั่วไปในการทดสอบโดยใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง ตัวเตามีโครงสร้างแบบผนังสองชั้นบรรจุด้วยซีเมนต์แล้วกลายเป็นฉนวน ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาโดยทั่วไปเท่ากับ 15.17% ในขณะที่ประสิทธิภาพของเตาที่มีการออกแบบและปรับปรุงคือ 21.21% สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงลง 15.20% เป็นการประหยัดต้นทุนเชื้อเพลิง 190 เหรียญฯ/ปี โดยค่าใช้จ่ายสำหรับเตาที่ถูกออกแบบขึ้นใหม่ 268 เหรียญฯ คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 1.2 ปี นอกจากนี้การประหยัดเชื้อเพลิงจะเทียบเท่ากับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 9.9 ตัน คาร์บอนไดออกไซด์/ปี

มานพ นิลรัตน์ (2560) [30] ได้ทำการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนจากฉนวนเสื่อมสภาพโดยประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า สำหรับหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน โดยนำแผนงานวิศวกรรมคุณค่า 6 ขั้นตอนของสมาคมวิศวกรรมคุณค่าแห่งสหรัฐอเมริกาประยุกต์ใช้กับโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ผลการวิจัยพบว่ามีความร้อนสูญเสียรวม 5,295,280.21 เมกะจูล กรณีดำเนินการมาตรการแก้ไข คือการเปลี่ยนฉนวนที่เสื่อมสภาพ สามารถลดการสูญเสียได้ 4,510,644.60 เมกะจูล ที่สภาวะตัวประกอบการใช้งาน 100% หรือคิดเป็น 85% และลดการสูญเสียความร้อนได้ 2,119,551.90 เมกะจูล หรือคิดเป็น 40.03% ที่สภาวะตัวประกอบ 46.99% อุณหภูมิฉนวนไม่เกิน 60 °C มีระยะเวลาคืนทุน 0.32 ปี

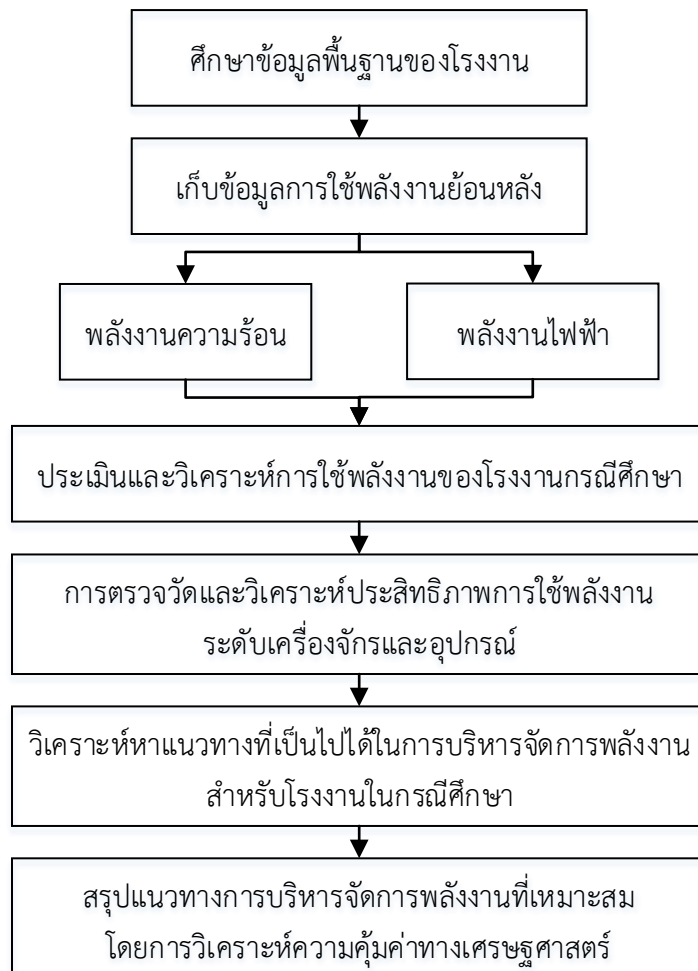
2.6 บทสรุปจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าและความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถดำเนินการได้หลายแนวทางทั้งในกระบวนการผลิต และหน่วยสนับสนุนการผลิต ที่ประกอบไปด้วยมาตรการเชิงการจัดการ และเชิงเทคนิค โดยมาตรการการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าและความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ประกอบด้วย ระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบปรับอากาศ ระบบปั๊มมอเตอร์ไฟฟ้า และระบบไอน้ำ ซึ่งในการจัดทำมาตรการเพื่อเสนอเป็นแนวทางบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสมจะต้องทำการวิเคราะห์การใช้พลังงาน การสูญเสียพลังงาน รวมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญต่อปริมาณการใช้พลังงานของโรงงาน แล้วจึงวิเคราะห์หามาตรการในการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสมกับสภาพปัญหาและความเป็นไปได้ในการดำเนินการ รวมถึงความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเงินที่สามารถประหยัดได้และเงินลงทุนในรูปแบบ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อการบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรณีศึกษา โดยทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนของโรงงานย้อนหลัง ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2559 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2560 แล้วทำการประเมิน ตรวจสอบ และวิเคราะห์การใช้พลังงาน การสูญเสียพลังงาน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญต่อปริมาณการใช้พลังงานของโรงงาน เพื่อจะนำไปสู่การวิเคราะห์หามาตรการในการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสม ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1 และรายละเอียดการดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอนในหัวข้อ 3.1 ถึง 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของโรงงานในกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตในการศึกษา รวบรวมข้อมูลและประเมินการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในกรณีศึกษาเท่านั้น โดยขั้นแรกของการดำเนินงาน จะต้องศึกษาข้อมูลพื้นฐานของโรงงานทั้งขั้นตอนกระบวนการผลิตในโรงงาน เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต เพื่อให้เข้าใจและสามารถจำแนกลักษณะการใช้พลังงานของแต่ละเครื่องจักร อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานในกรณีศึกษา

3.2 เก็บข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานในกรณีศึกษา

การเก็บข้อมูลย้อนหลังจะทำให้ทราบถึงสภาพการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษาในอดีต โดยสำรวจและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานจากเอกสารค่าใช้จ่ายพลังงานของแต่ละเดือน ประกอบด้วย ใบเสร็จค่าไฟฟ้า และใบเสร็จค่าเชื้อเพลิง ย้อนหลังตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2559 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2560 มีรูปแบบการบันทึกข้อมูลดังตารางที่ 3.1 ซึ่งแบบบันทึกแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลส่วนพลังงานไฟฟ้า และข้อมูลส่วนพลังงานความร้อน ประกอบด้วย ปริมาณการใช้และมูลค่าการสูญเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ข้อมูลที่ได้จะแสดงให้เห็นลักษณะการใช้พลังงานและสามารถนำไปใช้ในการประเมินเพื่อบ่งชี้ว่าโรงงานมีการใช้พลังงานใดสูงสุด

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอกรณีศึกษาปี 2559-2560

เดือน	พลังงานไฟฟ้า			พลังงานความร้อน		
	ปริมาณ (kWh)	ไฟฟ้า (MJ)	มูลค่า (Baht)	ปริมาณ (Ton)	ความร้อน (MJ)	มูลค่า (Baht)
ม.ค. 59						
ก.พ. 59						
มี.ค. 59						
.						
.						
.						
ต.ค. 60						
พ.ย. 60						
ธ.ค. 60						
รวม 2559						
รวม 2560						
รวม						

3.3 ประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษา

3.3.1 การประเมินการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานกรณีศึกษา

เป็นการนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนย้อนหลังของโรงงานกรณีศึกษา มาประเมินการใช้พลังงาน ด้วยกราฟวงกลมแสดงสัดส่วนการใช้ระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนโดยภาพรวม และกราฟแท่งเพื่อการเปรียบเทียบขนาดของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2559 - 2560 ที่จะทำใหทราบเบื้องต้นถึงสัดส่วนและพฤติกรรมการใช้พลังงานของโรงงานในกรณีศึกษา

3.3.2 การวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption: SEC) คือการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตที่ได้ เพื่อแสดงให้เห็นว่าโรงงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนมากน้อยเพียงใด และบ่งชี้ได้ว่าการใช้พลังงานรูปแบบใดมีความเหมาะสมต่อการบริหารจัดการพลังงาน ซึ่งการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 โดยจะทำการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2559 - 2560 แล้วบันทึกผลดังตารางที่ 3.2 จากนั้นจะทำการหาค่าเฉลี่ย โดยค่าเฉลี่ยดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานใดที่สูงกว่าจะทำการพิจารณาเพื่อหามาตรการในการบริหารจัดการพลังงานสำหรับ ระบบ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานชนิดนั้นต่อไป

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า} = \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \quad (3.1)$$

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานความร้อน} = \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานความร้อน}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \quad (3.2)$$

3.3.3 การวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงาน

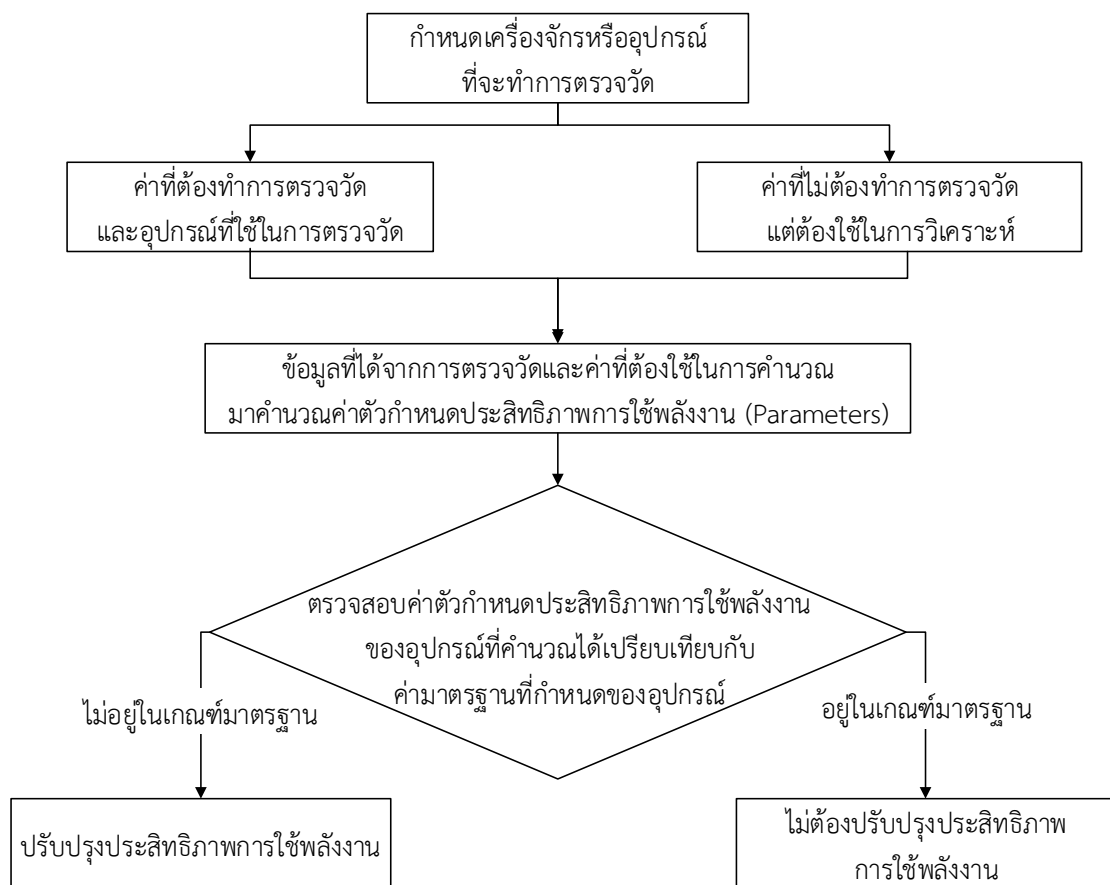
จากการประเมินข้อมูลการใช้พลังงาน และวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานจะแสดงให้เห็นว่าโรงงานในกรณีศึกษามีการใช้พลังงานใดสูงสุด ทำให้สามารถระบุได้ว่าพลังงานชนิดใดเป็นพลังงานที่จะพิจารณาปรับปรุง จากนั้นจะพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน โดยจะทำการประเมินว่า ระบบ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ใดที่มีนัยสำคัญต่อปริมาณการใช้พลังงานและมีโอกาสในการบริหารจัดการพลังงานมากที่สุด

ตารางที่ 3.2 แบบบันทึกข้อมูลการคำนวณหาค่าดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงาน

เดือน	กระบวนการทอ					กระบวนการพอกย้อม				
	ผลผลิต (Ton)	พลังไฟฟ้า (MJ)	พลังงาน ความร้อน (MJ)	ดัชนีการใช้ พลังงานไฟฟ้า (MJ/Ton)	ดัชนีการใช้ พลังงานความร้อน (MJ/Ton)	ผลผลิต (Ton)	พลังไฟฟ้า (MJ)	พลังงาน ความร้อน (MJ)	ดัชนีการใช้ พลังงานไฟฟ้า (MJ/Ton)	ดัชนีการใช้ พลังงานความร้อน (MJ/Ton)
ม.ค. 59										
ก.พ. 59										
มี.ค. 59										
เม.ย. 59										
พ.ค. 59										
.										
.										
.										
ก.ย. 60										
ต.ค. 60										
พ.ย. 60										
ธ.ค. 60										
รวม										
เฉลี่ย										

3.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานระดับเครื่องจักรและอุปกรณ์

จากการประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะทำให้สามารถระบุได้ว่ามี ระบบ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ใดที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงาน และเพื่อให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณการสูญเสียพลังงาน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์นั้นๆ จะทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือในการตรวจวัด แล้วนำค่าจากการตรวจวัดมาวิเคราะห์ ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน [12]

3.4.1 การตรวจวัด

ลักษณะการตรวจวัด

1. ตรวจวัดแบบชั่วขณะ จะทำการตรวจวัดการใช้พลังงานในครั้งเดียวเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ขณะทำงานที่สภาวะปกติ
2. ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง จะทำการตรวจวัดการใช้พลังงานซ้ำๆ อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่ง ในกรณีตรวจวัดเครื่องจักรที่มีลักษณะการทำงานไม่คงที่ หรือเป็นเครื่องจักรหลักที่มีการใช้พลังงานมาก และต้องการทราบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานอย่างละเอียด

ขั้นตอนการตรวจวัด

1. ศึกษาข้อมูลและจำแนกเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ตามประเภทของพลังงานที่ใช้
2. กำหนดแผนการตรวจวัด ได้แก่ เครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตที่ต้องการตรวจวัด ตัวแปรที่จำเป็นต้องตรวจวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และช่วงเวลาในการตรวจวัด
3. จัดเตรียมเครื่องมือในการตรวจวัด
4. ดำเนินการตรวจวัด และเก็บรวบรวมข้อมูลโดยมีรูปแบบตารางการบันทึกข้อมูล ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1-ก.3

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

ในการตรวจวัดเพื่อให้ทราบข้อมูลทางไฟฟ้า และความร้อนเบื้องต้น เช่น กำลังไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความเร็วรอบของเครื่องจักร ค่าความร้อนที่ผิวของเครื่องจักร มีการใช้เครื่องมือวัด และรูปแบบการบันทึกข้อมูล ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Ammeter)

เป็นเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า อาจเป็นกระแสตรงหรือกระแสสลับ โดยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับงานตรวจสอบการใช้พลังงานควรเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้ เช่น เครื่องวัดแบบคล้อง (Snap-on) ค่าที่วัดสามารถอ่านค่าได้เลย และยังสามารถบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในรอบเวลาต่างๆ ได้



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า [31]

2. เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter)

เป็นเครื่องมือวัดความต่างศักย์ของไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุดในวงจรไฟฟ้า โดยความต่างศักย์นี้มีหน่วยเป็นโวลต์ (V) แรงดันไฟฟ้าเป็นค่าหนึ่งที่ต้องวัดในการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า [31]

3. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter)

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดเคลื่อนย้ายได้ เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ส่วนวิธีอื่นต้องมีการวัดค่ากระแส แรงเคลื่อนและนำมาคำนวณ ในกรณีที่เป็นกระแสสลับ 3 เฟส การวัดวิธีนี้ทำให้การคำนวณการใช้ไฟฟ้าง่ายขึ้น



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า [31]

4. เครื่องมือวัดระดับแสงสว่าง (Lux Meter)

เป็นเครื่องมือวัดการส่องสว่างของแสงมีหน่วยเป็นแรงเทียนหรือ ลักซ์ การวัดอาศัยเซลล์ที่ไวต่อแสง เครื่องมือชนิดนี้สามารถเคลื่อนย้ายหรือพกติดตัวได้ เหมาะสำหรับการใช้วัดความสว่างได้ตามจุดต่างๆ



รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดระดับแสงสว่าง [31]

5. เครื่องมือวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

เครื่องมือวัดความเร็วรอบในปัจจุบันจะเป็นแบบดิจิทัล สามารถแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข ใช้แสงอินฟราเรดในการตรวจวัดความเร็วรอบ เพียงชี้เครื่องวัดความเร็วรอบไปที่อุปกรณ์ที่ต้องการวัด แล้วกดปุ่มที่เครื่องวัด เครื่องจะแสดงค่าความเร็วรอบของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่เราวัดทันที



รูปที่ 3.7 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ [31]

6. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Thermometer and Humidity Meter)

ใช้ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นเพื่อประกอบการวิเคราะห์การทำงานของระบบปรับอากาศ



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น [31]

7. เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ (Air Velocity Meter) หรือเครื่องวัดความเร็วลม

ใช้วัดความเร็วของกระแสลม เพื่อหาค่าปริมาณลมของเครื่องปรับอากาศ โดยเครื่องวัดความเร็วลมมี 2 ชนิด คือชนิดใช้ใบพัด และชนิดขดลวดความร้อน



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความเร็วลม [31]

8. เครื่องทดสอบการเผาไหม้ (Combustion Tester)

เครื่องทดสอบการเผาไหม้ ประกอบด้วย การหาค่าความเข้มข้นของก๊าซจากการเผาไหม้ที่ปล่อยก๊าซโดยปกติแล้วจะพิจารณาเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกซิเจน (O_2) ใช้ในการทดสอบหาอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบการเผาไหม้ [31]

9. เครื่องวัดอุณหภูมิผิว (Surface Pyrometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิผิว เป็นเครื่องมือวัดที่มีหัววัดที่สามารถแนบสนิทกับพื้นผิวได้ เพื่อใช้ในการวัดค่าความร้อนสูญเสียจากผนังได้ และใช้ทดสอบการทำงานของสตีมแทรป แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ ใช้สำหรับวัดค่าอุณหภูมิต่ำ (ได้ถึง $250\text{ }^{\circ}\text{F}$) และสำหรับอุณหภูมิสูง (ได้ถึง $600\text{-}700\text{ }^{\circ}\text{F}$)



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส [31]

ตารางที่ 3.3 การตรวจวัดและเครื่องมือวัดสำหรับระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า	• แรงดันไฟฟ้า	• เพาเวอร์มิเตอร์แบบคล่องวัด
	• กระแสไฟฟ้า	• เครื่องวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง
	• กำลังไฟฟ้า	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า
	• ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	
ระบบปรับอากาศ	• ค่าทางไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์	• เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
แบบหน่วยเดียว	• อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย	• เครื่องวัดความเร็วลม
	• อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ	
	• ความเร็วลมและพื้นที่ช่องจ่ายลมเย็น	
	• อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าคอนเดนเซอร์	
	• อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมภายนอก	
เครื่องส่งลมเย็น	• อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า
	• อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ	• เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
	• ความเร็วลมและพื้นที่ช่องจ่ายลมเย็น	• เครื่องวัดความเร็วลม
	• ค่าทางไฟฟ้าของพัดลม	• เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ
	• ความดันตกคร่อมแผงกรองอากาศ	• เกจวัดความดัน
	• ความดันตกคร่อมท่อน้ำเย็น	
	• อัตราการไหลของน้ำเย็น	

ตารางที่ 3.3 การตรวจวัดและเครื่องมือวัดสำหรับระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้า (ต่อ)

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบอัดอากาศ	• ค่าทางไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า
	• ความเร็วลมและพื้นที่ของช่องอากาศเข้า	• เครื่องวัดความเร็วลม
	• อุณหภูมิและความชื้นของอากาศเข้า	• เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
	• ช่วงเวลาการตัดต่อของเครื่องอัดอากาศ	• นาฬิกาจับเวลา
ระบบแสงสว่าง	• ค่าทางไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า
	• ค่าความส่องสว่าง	• เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง
	• ขนาดพื้นที่ของแต่ละส่วน	
ระบบปั๊ม	• ค่าทางไฟฟ้าของปั๊ม	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า
	• ความเร็วรอบมอเตอร์	• เครื่องวัดความเร็วรอบ
	• ความดันด้านส่งและด้านดูดของปั๊ม	
มอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้า	• ค่าทางไฟฟ้า	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า
	• ความเร็วรอบกรณีเป็นมอเตอร์	• เครื่องวัดความเร็วรอบ

ที่มา: คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ

ตารางที่ 3.4 การตรวจวัดและเครื่องมือวัดสำหรับระบบที่ใช้พลังงานความร้อน

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
หม้อไอน้ำ	• ปริมาณออกซิเจนคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และอุณหภูมิของก๊าซเสีย	• เครื่องทดสอบการเผาไหม้ • เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ
	• อุณหภูมิผิวผนังหม้อไอน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม และพื้นที่ผิว	• เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
	• อัตราการผลิต อุณหภูมิและความดันของไอน้ำ	• เครื่องวัดอุณหภูมิผิว
	• อัตราการใช้และอุณหภูมิเชื้อเพลิง	
	• อัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำป้อน	
	• อัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศป้อน	
	• อัตราการไหลของน้ำ	
	• ค่า TDS ของน้ำโบลว์ดาวน์และน้ำป้อน	
	• อุณหภูมิแวดล้อม	
	• อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของท่อวาล์ว และหน้าแปลน	• เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
ระบบส่งจ่ายไอน้ำ	• อุณหภูมิแวดล้อม	• เครื่องวัดอุณหภูมิผิว
	• อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของอุปกรณ์	• เครื่องวัดอุณหภูมิผิว
อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ	• อุณหภูมิแวดล้อม	• เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
	• ปริมาณน้ำคอนเดนเสท	• กระจกตวงวัดปริมาตร
	• ความดันไอน้ำใช้งาน	• เกจวัดความดันไอน้ำ

ที่มา: คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ

3.4.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน

เมื่อทำการตรวจวัดแล้ว จะนำค่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาคำนวณค่าตัวกำหนดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เพื่อใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด หากค่าตัวกำหนดประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากการคำนวณ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แสดงว่าระบบหรืออุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แสดงว่าระบบหรืออุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำ สิ้นเปลืองพลังงานมากในการใช้งาน จึงต้องหามาตรการในการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสมมาดำเนินการเพื่อให้ระบบ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

3.5 มาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงาน

การวิเคราะห์มาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงานจะต้องมีความเป็นไปได้ในการนำมามาตรการไปปฏิบัติได้จริงเชิงวิศวกรรม โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาและปัจจัยที่พบจากการตรวจวัด และวิเคราะห์การใช้พลังงาน แล้วจึงพิจารณามาตรการที่มีความสอดคล้องกับปัญหา พร้อมกันนี้ จะต้องคำนึงถึงการพิจารณาให้ความเห็นของผู้ประกอบกิจการ โดยการสัมภาษณ์และเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้จัดการโรงงาน ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานของโรงงาน และพนักงานที่เกี่ยวข้อง โดยใช้แบบจำลองของค่าคะแนนแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Scoring Model) เพื่อคัดเลือกมาตรการที่เป็นไปได้มากที่สุด

3.6 สรุปมาตรการที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

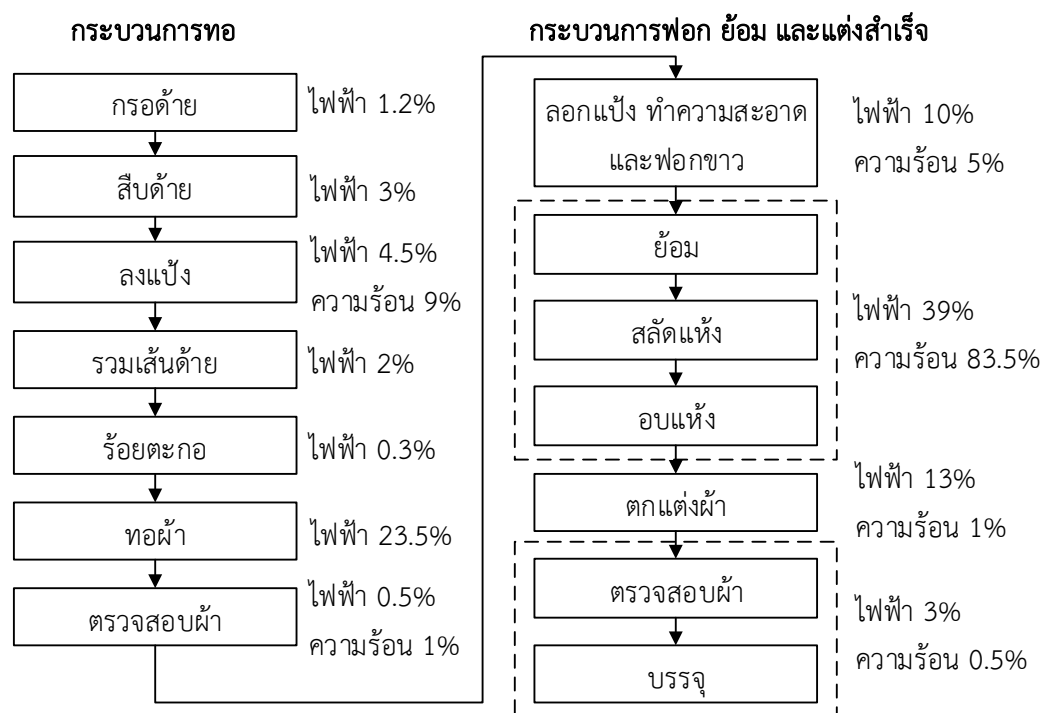
เมื่อได้มาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงานแล้ว จะนำมาทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยการวิเคราะห์ใน มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value) ผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4 ซึ่งจากการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงาน จะทำให้โรงงานในกรณีศึกษาสามารถตัดสินใจเลือกลงทุนหรือเลือกใช้มาตรการที่เหมาะสมได้

บทที่ 4 ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อหามาตรการในการบริหารจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอกรณีศึกษาโดยผลจากการดำเนินการตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย สามารถแบ่งได้เป็น 6 ส่วนคือ 1. ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานกรณีศึกษา 2. ข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานกรณีศึกษา 3. ผลการวิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานของโรงงานในกรณีศึกษา 4. ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานระดับเครื่องจักรอุปกรณ์ 5. มาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงาน 6. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และ 7. สรุปมาตรการการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสม ซึ่งรายละเอียดผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนได้แสดงไว้ในหัวข้อ 4.1 ถึง 4.7 ตามลำดับ

4.1 ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในกรณีศึกษาเป็นโรงงานขนาดใหญ่ ตั้งอยู่ที่อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี เริ่มประกอบกิจการเมื่อปี พ.ศ.2534 ประกอบกิจการอุตสาหกรรมการผลิต 2 ประเภทคือ ทอผ้า และฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ ซึ่งมีกระบวนการผลิตแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กระบวนการผลิตและลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานในกรณีศึกษา

กระบวนการผลิตของโรงงานในกรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือกระบวนการทอ ประกอบด้วยขั้นตอนการ กรอถ่าย สืบถ่าย ลงแป้ง รวมเส้นถ่าย ร้อยตะกอล ทอ และตรวจสอบผ้า และกระบวนการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ ประกอบด้วยขั้นตอนการ ลอกแป้ง ทำความสะอาดผ้า ฟอก ขาว ย้อม สลัดแห้ง อบแห้ง ตกแต่งผ้า ตรวจสอบผ้า และบรรจุ โดยเส้นถ่ายวัตถุดิบตั้งต้นจะเข้าสู่กระบวนการทอจนได้เป็นผ้าดิบ จากนั้นผ้าดิบที่ผลิตได้รวมทั้งผ้าดิบที่มีการรับจากภายนอกจะเข้าสู่กระบวนการฟอกย้อมและแต่งสำเร็จจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ผ้าผืนชนิดต่างๆ เช่น ผ้าร่มโพลีเอสเตอร์ (Polyester Taffeta) ผ้าร่มไนลอน (Nylon Taffeta) ผ้าโพลีเอสเตอร์ออกซฟอร์ด (Polyester Oxford) ผ้าไนลอนออกซฟอร์ด (Nylon Oxford) และผ้าซาติน (Satin Fabric) เป็นต้น มีกำลังการผลิตโดยเฉลี่ย 6,000 ตัน/ปี ดำเนินการผลิต 24 ชั่วโมง/วัน โดยมีการผลิต 299 วัน/ปี มีรายละเอียดขั้นตอนการผลิตดังนี้

4.1.1 กระบวนการทอ

1. กรอถ่าย เป็นการคลายเส้นถ่ายออกจากหลอดถ่าย เพื่อตรวจสอบและกำจัดจุดบกพร่องบนเส้นถ่าย จากนั้นจะม้วนเส้นถ่ายเก็บด้วยลูกถ่าย ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องกรอถ่าย แสดงดังรูปที่ 4.2



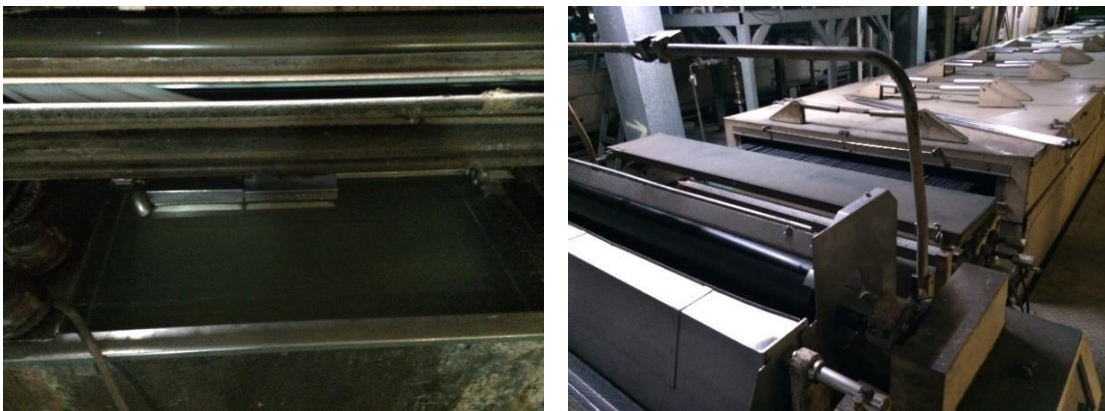
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการกรอถ่ายของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา

2. สืบถ่าย เป็นการนำลูกถ่ายมาวางเรียงกัน จากนั้นถ่ายจากลูกถ่ายแต่ละอันจะถูกคลายออกแล้วม้วนรวมลงบีม ในลักษณะที่เส้นถ่ายวางเรียงกันไปตามแนวหน้ากว้างของบีม ซึ่งขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องสืบเส้นถ่าย แสดงดังรูปที่ 4.3

3. ลงแป้ง เป็นการทำให้เส้นถ่ายมีความแข็งแรง ช่วยให้ระหว่างเส้นใยยึดติดกันดีขึ้น ลดการขาดของเส้นถ่าย และเป็นการทำให้ผิวของเส้นถ่ายมีความเรียบ ช่วยหล่อลื่นเส้นถ่ายเพื่อลดแรงเสียดสีขณะทอ โดยเส้นถ่ายจะถูกคลายออกจากบีมผ่านลงไปใอ่างสารละลายแป้ง จากนั้นจะเข้าสู่การอบระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 110 - 120 °C ซึ่งขั้นตอนนี้จะใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการปั่นด้ายของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการลงแป้งของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา

4. รวมด้าย เป็นการรวมเส้นด้ายลงป้อมอีกครั้งหลังจากเส้นด้ายผ่านการลงแป้งและระเหยแห้งแล้ว โดยเส้นด้ายจะถูกม้วนลงป้อมในลักษณะที่เส้นด้ายวางเรียงกันไปตามหน้ากว้างของป้อม ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องรวมด้าย แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการรวมด้ายของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา

5. ร้อยตะกอ เป็นการเตรียมเส้นด้ายก่อนการทอโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าตะกอ เป็นตัวร้อยควบคุมเส้นด้ายจากปม หรือที่เรียกว่า เส้นด้ายยืน เพื่อแยกเส้นด้ายยืนให้ออกเป็นช่องว่างสำหรับให้เส้นด้ายพุ่งวิ่งผ่านและขัดสานกันในขั้นตอนการทอ การร้อยตะกอจะมีรูปแบบแตกต่างกันไปตามลวดลายผ้า ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อนม้วนปมแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการร้อยตะกอของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา

6. ทอผ้า เป็นการนำเส้นด้ายที่เตรียมไว้มาทอให้เป็นผืนด้วยเครื่องทอผ้า เส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งจะขัดสานกันและถูกอัดด้วยฟันหวีเพื่อให้โครงสร้างของผ้ามีความแข็งแรง จากนั้นผ้าทอที่ได้จะถูกม้วนเก็บเข้าหลอด โดยมีการควบคุมการม้วนเก็บผ้าทอและการปล่อยเส้นด้ายยืนออกจากปมให้สอดคล้องกัน ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องทอผ้า แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการทอผ้าของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา

7. ตรวจสอบผ้า เป็นขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ รูป ลักษณะของผ้า โดยการตรวจผิวสัมผัส ลายผ้า หาดำหนึผ้า เช่น ปมด้าย เป็อนสี เส้นด้ายขาด และตำหนิอื่นๆ ซึ่งขั้นตอนนี้จะมีการผ่านผ้าทอเข้าสู่อุปกรณ์ที่ตรวจสอบความชื้นก่อนที่จะเข้าสู่จุดตรวจ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงมีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการตรวจสอบผ้าของกระบวนการทอผ้าในกรณีศึกษา

4.1.2 กระบวนการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ

1. การลอกแป้ง ทำความสะอาด และฟอกขาว เป็นการกำจัดแป้งในเส้นด้ายและเตรียมผ้าก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการย้อมเพื่อให้ผ้ามีคุณสมบัติ ดูดซึมน้ำ สี สารเคมีได้ดีและสม่ำเสมอ โดยเริ่มจากการลอกแป้งด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งจะเป็นการฟอกขาวผ้าไปในตัว จากนั้นจะถูกกำจัดไขมันและสิ่งสกปรก ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) โดยใช้ความร้อนในการทำให้เกิดปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า $85^{\circ}C$ ในขั้นตอนนี้จึงมีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการลอกแป้ง ทำความสะอาด และฟอกขาว ของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา

2. การย้อม เป็นการทำให้ผ้ามีสีตามต้องการ โดยใช้วิธีการย้อมแบบดูดซึม ด้วยเครื่องย้อมแบบจิ๊กเกอร์ (Jigger dyeing machine) และเครื่องย้อมแบบเจ็ท (Jet dyeing machine) ซึ่งผ้าจะถูกแขวนหรือหมุนอยู่ในเครื่องย้อมทำให้สีย้อมซึมผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับผ้า และมีความร้อนเป็นตัวช่วยให้สีติดกับเส้นใย จากนั้นจะซักล้าง กำจัดสีและสารเคมีส่วนเกินที่ไม่ได้ผนึกติดอยู่บนเส้นใยให้หลุดออกไป ขั้นตอนนี้มีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการย้อมของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา

3. สลัดแห้งผ้าเป็นการกำจัดน้ำออกจากผ้าให้มากที่สุดด้วยอุปกรณ์เชิงกลก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการอบแห้งผ้า ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งผ้า โดยโรงงานกรณีศึกษาใช้เครื่องบีบน้ำแบบลูกกลิ้ง (Mangle) ในการกำจัดน้ำออกจากผ้า ทำให้มีปริมาณน้ำคงเหลือประมาณ 20 - 40% สำหรับผ้าไนลอนและโพลีเอสเตอร์ ขั้นตอนนี้จึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องบีบน้ำแบบลูกกลิ้ง แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการสลัดแห้งผ้าของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา

4. การอบแห้ง เป็นขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนสำหรับเครื่องอบแห้ง ซึ่งความร้อนจากแหล่งผลิตพลังงานความร้อนจะถูกส่งมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับลมของพัดลมหมุนเวียนอากาศ (Circulating blower) เกิดเป็นลมร้อนให้กับผ้าที่ถูกลำเลียงเคลื่อนที่ผ่านด้วยระยะทางและความเร็วที่เหมาะสม ทำให้เกิดการระเหยของน้ำจนทำให้ผ้าแห้งและมีความชื้นที่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 4.12



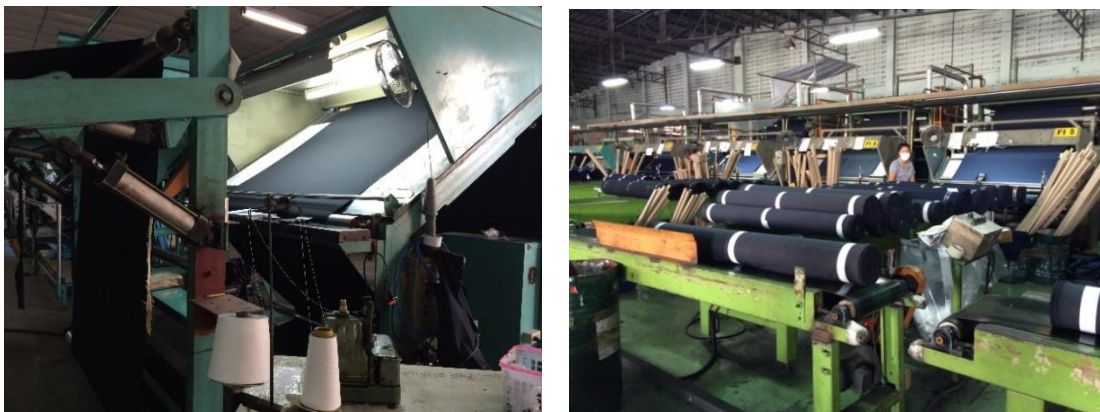
รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการอบแห้งของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา

5. การตากแต่งผ้า เป็นขั้นตอนการทำให้ผ้าผืน มีคุณสมบัติตามความต้องการของลูกค้า เช่น ใสสารตกแต่งเพื่อให้ผ้านุ่ม ใสสารหล่อลื่นเพื่อให้เกิดความมันเงา หรือใช้วิธีทางกล เช่น ชัดมัน ตัดขน เผาขนหรือใช้วิธีทางเคมี ทำให้ผ้า ทยับ ทยไฟ ทยสารเคมี เป็นต้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและความร้อนแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการตากแต่งผ้าของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา

6. การตรวจสอบผ้าและการบรรจุเป็นการตรวจสอบคุณภาพของผ้า โดยการตรวจผิวสัมผัส ลายผ้า หาดำหนิผ้า และคุณสมบัติที่ลูกค้าต้องการ จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการบรรจุต่อไป ซึ่งจะมีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ขั้นตอนการตรวจสอบผ้าของกระบวนการฟอกย้อมในกรณีศึกษา

4.2 ข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานกรณีศึกษา

จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2559 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2560 ตามแบบบันทึกข้อมูล ตารางที่ 3.1 พบว่าโรงงานมีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และพลังงานความร้อนที่ได้จากหม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน จำนวน 1 ตัว ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล คือ กะลาปาล์ม (ค่าความร้อน 16,900 เมกะจูลต่อตัน) และไม้สับ (ค่าความร้อน 10,880 เมกะจูลต่อตัน) โดยปี พ.ศ. 2559 โรงงานในกรณีศึกษามีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 10,631,680 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือเท่ากับ 38,274,048 เมกะจูล คิดเป็นมูลค่า 37,485,329 บาท และมีการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม 8,098.99 ตัน และไม้สับ 7,224.85 ตัน ผลิตเป็นพลังงานความร้อน 215,479,299 เมกะจูล คิดเป็นมูลค่า 34,726,664 บาท ในปี พ.ศ. 2560 มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 9,917,600 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือเท่ากับ 35,703,360 เมกะจูล คิดเป็นมูลค่า 36,788,755.56 บาท และมีการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม 14,469.79 ตัน ผลิตเป็นพลังงานความร้อน 244,539,451 เมกะจูล คิดเป็นมูลค่า 39,040,582 บาท ซึ่งแสดงรายละเอียดการใช้พลังงานของแต่ละเดือนในปี พ.ศ. 2559 และ 2560 ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอกรณีศึกษาปี 2559

เดือน	พลังงานไฟฟ้า			พลังงานความร้อน					
	ไฟฟ้า (kWh)	ไฟฟ้า (MJ)	มูลค่า (บาท)	เชื้อเพลิง กะลาปาล์ม			เชื้อเพลิง ไม้สับ		
				ปริมาณ (ตัน)	ความร้อน (MJ)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (ตัน)	ความร้อน (MJ)	มูลค่า (บาท)
ม.ค. 59	806,720	2,904,192	2,947,486	1,229.51	20,778,719	4,168,039	-	-	-
ก.พ. 59	720,640	2,594,304	2,638,733	684.40	11,566,360	2,347,492	258.78	2,815,526	439,926
มี.ค. 59	976,160	3,514,176	3,496,338	914.72	15,458,768	2,680,129	304.59	3,313,939	517,804
เม.ย. 59	851,200	3,064,320	3,112,295	738.62	12,482,678	1,986,888	277.17	3,015,610	471,189
พ.ค. 59	966,400	3,479,040	3,309,450	894.04	15,109,276	2,240,252	366.60	3,988,608	623,220
มิ.ย. 59	878,400	3,162,240	3,094,186	905.43	15,301,767	2,227,358	352.45	3,834,656	599,165
ก.ค. 59	853,280	3,071,808	2,993,497	700.01	11,830,169	1,995,029	592.43	6,445,638	922,285
ส.ค. 59	855,040	3,078,144	2,960,353	508.00	8,585,200	1,447,800	775.77	8,440,378	1,237,389
ก.ย. 59	943,680	3,397,248	3,303,942	438.60	7,412,340	1,074,570	1,199.62	13,051,866	2,015,683
ต.ค. 59	951,520	3,425,472	3,299,465	336.59	5,688,371	966,013	1,052.43	11,450,438	1,548,490
พ.ย. 59	969,280	3,489,408	3,314,889	532.37	8,997,053	1,410,781	959.42	10,438,490	1,438,942
ธ.ค. 59	859,360	3,093,696	3,014,696	216.70	3,662,230	574,255	1,085.59	11,811,219	1,793,966
รวม	10,631,680	38,274,048	37,485,329	8,098.99	136,872,931	23,118,605	7,224.85	78,606,368	11,608,059
เฉลี่ย	885,973	3,189,504	3,123,778	675	11,406,078	1,926,551	657	7,146,033	1,055,278

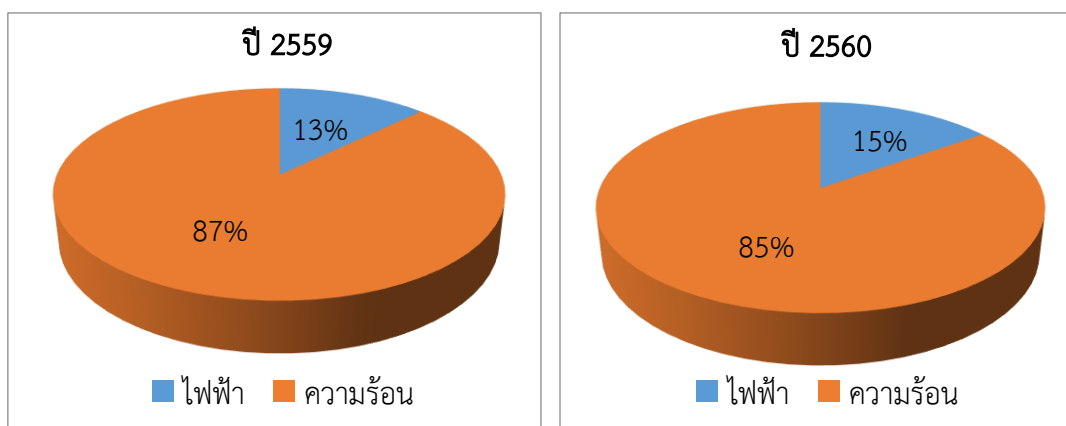
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอกรณีศึกษาปี 2560

เดือน	พลังงานไฟฟ้า			พลังงานความร้อน					
	ไฟฟ้า (kWh)	ไฟฟ้า (MJ)	มูลค่า (บาท)	เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม			เชื้อเพลิงไม้สับ		
				ปริมาณ (ตัน)	ความร้อน (MJ)	มูลค่า(บาท)	ปริมาณ (ตัน)	ความร้อน(MJ)	มูลค่า(บาท)
ม.ค. 60	781,120	2,812,032	2,876,961	992.38	16,771,222	2,669,502	-	-	-
ก.พ. 60	763,360	2,748,096	2,823,671	1,033.59	17,467,671	2,873,380	-	-	-
มี.ค. 60	909,280	3,273,408	3,247,609	1,399.48	23,651,212	3,806,586	-	-	-
เม.ย. 60	739,840	2,663,424	2,755,159	1,102.18	18,626,842	2,854,646	-	-	-
พ.ค. 60	875,040	3,150,144	3,226,769	1,202.70	20,325,630	2,970,669	-	-	-
มิ.ย. 60	851,200	3,064,320	3,160,455	1,260.00	21,294,000	2,973,600	-	-	-
ก.ค. 60	820,320	2,953,152	3,107,914	1,292.60	21,844,940	3,141,018	-	-	-
ส.ค. 60	869,920	3,131,712	3,219,602	1,282.79	21,679,151	3,425,049	-	-	-
ก.ย. 60	837,280	3,014,208	3,139,921	1,376.16	23,257,104	3,880,771	-	-	-
ต.ค. 60	849,760	3,059,136	3,179,134	1,426.73	24,111,737	4,123,250	-	-	-
พ.ย. 60	878,080	3,161,088	3,249,079	1,194.45	20,186,205	3,547,517	-	-	-
ธ.ค. 60	742,400	2,672,640	2,802,482	906.73	15,323,737	2,774,594	-	-	-
รวม	9,917,600	35,703,360	36,788,755.56	14,469.79	244,539,451	39,040,582	-	-	-
เฉลี่ย	826,467	2,975,280	3,065,730	1,206	20,378,288	3,253,382	-	-	-

4.3 ผลการประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานในกรณีศึกษา

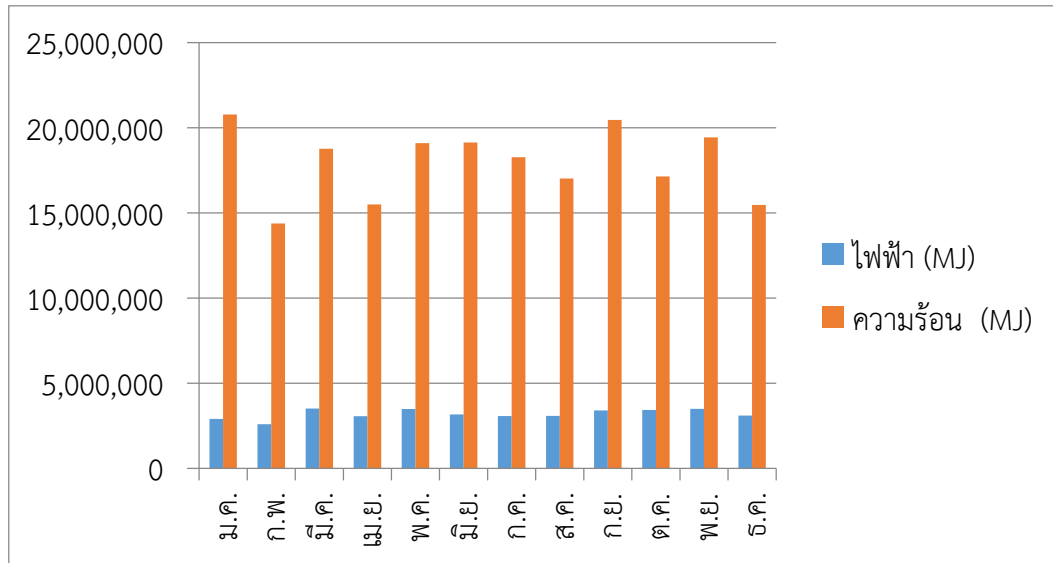
4.3.1 ผลการประเมินการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงาน

จากข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2559 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2560 ในหัวข้อที่ 4.2 สามารถนำมาประเมินและวิเคราะห์ได้ว่า ปี 2559 มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 38,274,048 เมกะจูล พลังงานความร้อน 215,479,299 เมกะจูล คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า 13% และพลังงานความร้อน 87% และในปี พ.ศ. 2560 มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 35,703,360 เมกะจูล พลังงานความร้อน 244,539,451 เมกะจูล คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า 15% และพลังงานความร้อน 85% แสดงกราฟวงกลมสัดส่วนการใช้พลังงาน ดังรูปที่ 4.15

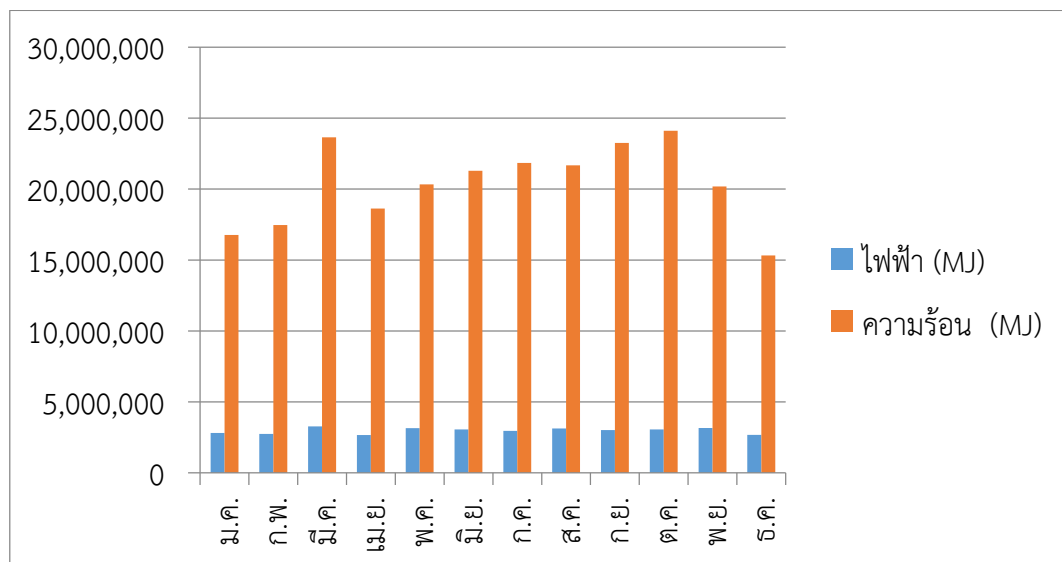


รูปที่ 4.15 สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานในกรณีศึกษาปี 2559 และ 2560

การใช้พลังงานในแต่ละเดือนของปี 2559 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 2,594,304 ถึง 3,514,176 เมกะจูล เฉลี่ย 3,189,504 เมกะจูล/เดือน จะเห็นได้ว่าการใช้ที่ค่อนข้างคงที่ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 280,508.76 เมกะจูล/เดือน ขณะที่พลังงานความร้อนมีการใช้อยู่ระหว่าง 14,381,886 ถึง 20,778,719 เมกะจูล เฉลี่ย 17,956,608 เมกะจูล/เดือน ซึ่งมีการใช้ที่ไม่แน่นอน มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2,713,663.23 เมกะจูล/เดือน แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนของปี 2559 ในแต่ละเดือน ดังรูปที่ 4.16 และสำหรับปี 2560 โดยภาพรวมแล้ว มีการใช้พลังงานเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปี 2559 คือมีการใช้พลังงานความร้อนสูงกว่าพลังงานไฟฟ้า โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 2,663,424 ถึง 3,243,408 เมกะจูล เฉลี่ย 2,975,280 เมกะจูล/เดือน มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 280,508.76 เมกะจูล/เดือน ขณะที่พลังงานความร้อนมีการใช้อยู่ระหว่าง 15,323,737 ถึง 24,111,737 เมกะจูล เฉลี่ย 20,378,288 เมกะจูล/เดือน มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2,824,542 เมกะจูล/เดือน ซึ่งมีความผันแปรของการใช้พลังงานความร้อนสูงกว่าพลังงานไฟฟ้า แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนของปี 2560 ในแต่ละเดือน ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 การใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนของโรงงานในกรณีศึกษาปี พ.ศ. 2559



รูปที่ 4.17 การใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนของโรงงานในกรณีศึกษาปี พ.ศ. 2560

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน

จากข้อมูลปริมาณผลผลิต ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ที่แบ่งออกเป็นกระบวนการทอ และกระบวนการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ เมื่อนำมาวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 พบว่า ปี 2559 กระบวนการทอมีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3.23 จิกะจูล/ตัน และมีดัชนีการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ย 5.52 จิกะจูล/ตัน สำหรับกระบวนการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ มีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 4.22 จิกะจูล/ตัน และดัชนีการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ย 31.92 จิกะจูล/ตัน ในปี 2560 กระบวนการทอมีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3.31 จิกะจูล/ตัน และมีดัชนีการใช้พลังงาน

ความร้อนเฉลี่ย 6.34 จิกะจูล/ตัน สำหรับกระบวนการพอก ย้อม แต่งสำเร็จ มีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3.91 จิกะจูล/ตัน และดัชนีการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ย 37.54 จิกะจูล/ตัน โดยแสดงผลการคำนวณ ดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข.1 และ ข.2 ตามลำดับ ซึ่งมีการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานเฉลี่ย ดังนี้

ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานปี 2559

กระบวนการทอ

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานไฟฟ้า} &= \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \\ &= \frac{12,631 \quad (\text{GJ})}{3,908.79 \quad (\text{Tons})} \\ &= 3.23 \quad \text{GJ / Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานความร้อน} &= \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานความร้อน}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \\ &= \frac{21,578 \quad (\text{GJ})}{3,908.79 \quad (\text{Tons})} \\ &= 5.52 \quad \text{GJ / Ton} \end{aligned}$$

กระบวนการพอก ย้อม แต่งสำเร็จ

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานไฟฟ้า} &= \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \\ &= \frac{25,645 \quad (\text{GJ})}{6,075.43 \quad (\text{Tons})} \\ &= 4.22 \quad \text{GJ / Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานความร้อน} &= \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานความร้อน}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \\ &= \frac{193,902 \quad (\text{GJ})}{6,075.43 \quad (\text{Tons})} \\ &= 31.92 \quad \text{GJ / Ton} \end{aligned}$$

ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานปี 2560

กระบวนการทอ

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานไฟฟ้า} &= \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \\ &= \frac{12,765 \text{ (GJ)}}{3,855.64 \text{ (Tons)}} \\ &= 3.31 \text{ GJ / Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานความร้อน} &= \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานความร้อน}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \\ &= \frac{24,454 \text{ (GJ)}}{3,855.64 \text{ (Tons)}} \\ &= 6.34 \text{ GJ / Ton} \end{aligned}$$

กระบวนการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานไฟฟ้า} &= \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \\ &= \frac{22,937 \text{ (GJ)}}{5,862.73 \text{ (Tons)}} \\ &= 3.91 \text{ GJ / Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานความร้อน} &= \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานความร้อน}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \\ &= \frac{220,085 \text{ (GJ)}}{5,862.73 \text{ (Tons)}} \\ &= 37.54 \text{ GJ / Ton} \end{aligned}$$

4.3.3 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงาน

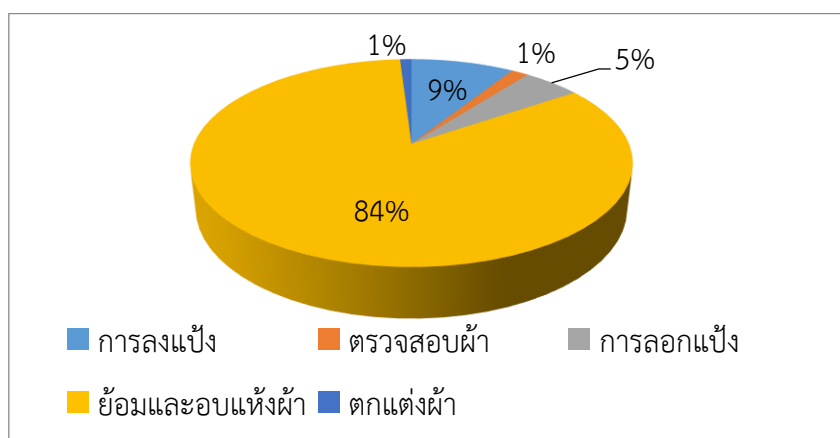
จากการประเมินข้อมูลการใช้พลังงาน และวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานแสดงให้เห็นว่าโรงงานในกรณีศึกษามีการใช้พลังงานความร้อนมากกว่าพลังงานไฟฟ้า มีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ยถึง 86% เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานทั้งหมดในโรงงาน โดยมีการใช้พลังงานความร้อนที่ไม่คงที่ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าและพลังความร้อนมีประสิทธิภาพของเครื่องจักรเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้ แต่นอกจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรแล้วพลังงานความร้อนยังมีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ที่ส่งผลต่อความผันแปรของการใช้ เช่น การสูญเสียความร้อน ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เป็นต้น และเมื่อพิจารณาดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าโรงงานในกรณีศึกษามีดัชนีการใช้พลังงานความร้อนสูงกว่าพลังงานไฟฟ้า นั่นหมายความว่า มีการใช้พลังงานความร้อนต่อหน่วยผลผลิตที่สูงกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้า งานวิจัยนี้เห็นถึงโอกาสในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อน ดังนั้นจึงได้มุ่งพิจารณาวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานความร้อน



รูปที่ 4.18 หม้อไอน้ำของโรงงานในกรณีศึกษา

เมื่อพิจารณาแหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้สำหรับโรงงานในกรณีศึกษานี้มาจากหม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน ดังรูปที่ 4.18 ทำงานโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในภาชนะอัดความดัน เพื่อกำเนิดไอน้ำสำหรับส่งถ่ายความร้อนและความดันผ่านระบบท่อไปยังกระบวนการผลิตโดยจากข้อมูลการประเมินสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตของโรงงานในกรณีศึกษา ดังรูปที่ 4.1 พบว่าพลังงานความร้อนถูกใช้ในกระบวนการผลิตทั้ง 2 ส่วนหลักคือ กระบวนการทอ ที่ประกอบด้วย การลงแป้ง (9%) และตรวจสอบผ้า (1%) และกระบวนการฟอกย้อม แต่งสำเร็จ ที่ประกอบด้วย การลอกแป้ง (5%) ย้อมและอบแห้งผ้า (83.5%) ตกแต่งผ้า (1%)

และตรวจสอบผ้า (0.5%) แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อน ดังรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า ในส่วนกระบวนการย้อมและอบแห้งผ้า มีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนมากที่สุด แต่เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวไม่สามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการได้ เพราะจะส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงมาพิจารณาที่แหล่งพลังงานความร้อนหลัก นั่นคือ หม้อไอน้ำ ซึ่งจากการประเมินเบื้องต้นพบว่า มีความร้อนสูญเสียเกิดขึ้นบริเวณผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ นอกจากนี้แล้วจากข้อมูลอัตราการผลิตไอน้ำยังพบว่า มีความผันแปรอยู่ตลอดเวลา มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 7.79 ตัน/วัน แสดงดังตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ด้วยเหตุนี้หม้อไอน้ำจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงงานกรณีศึกษา



รูปที่ 4.19 สัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนของโรงงานในกรณีศึกษา

4.4 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานระดับเครื่องจักรอุปกรณ์

4.4.1 การตรวจวัด

จากการประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานในกรณีศึกษาจากหัวข้อที่ 4.3 จนระบุได้ว่า หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงงานกรณีศึกษา ดังนั้น หม้อไอน้ำ จึงเป็นเครื่องจักรที่จะทำการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.4 โดยทำการเก็บข้อมูลที่จะใช้สำหรับการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนข้อมูลที่ไม่ต้องตรวจวัดเป็นข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ได้จากฐานข้อมูลของโรงงานประกอบด้วย ค่าความดันไอน้ำที่ผลิต (kPa) อัตราการใช้ไอน้ำ (kg/sec) อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ($^{\circ}\text{C}$) และอัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/sec) โดยมีการบันทึกค่าไว้ทุกๆ 1 ชั่วโมงตลอดการทำงาน 24 ชั่วโมง ของหม้อไอน้ำ แสดงข้อมูลการผลิตและการใช้ไอน้ำของโรงงานในกรณีศึกษาเฉลี่ยรายเดือน ดังตารางที่ 4.3 และในส่วนข้อมูลที่ต้องทำการตรวจวัด เป็นข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณการสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำ โดยตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวบริเวณผนังห้องเผา

ไหม้ของหม้อไอน้ำทั้ง 4 ด้าน ดังรูปที่ 4.20 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ซึ่งมีขนาดพื้นที่ผิวดังรูปที่ 4.22-4.24 ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX2008-1-4-2 ดังรูปที่ 4.21 ซึ่งมีการบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลแสดงไว้ในภาคผนวก ค และแสดงผลเฉลี่ยดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำของโรงงานในกรณีศึกษา เฉลี่ยรายเดือน

เวลา	ความดันไอน้ำ (kPa)	อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/sec)	อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/sec)	อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ (°C)	อุณหภูมิที่ปล่อง (°C)
8:00	527.08	1.37	95.2	0.38	855.4	170.8
9:00	544.74	1.38	100.2	0.31	869.6	180.2
10:00	521.19	1.37	98.4	0.32	870.8	181.2
11:00	550.62	1.33	97.4	0.32	885.0	176.8
12:00	523.16	1.49	109.0	0.31	879.4	181.8
13:00	548.66	1.36	102.0	0.34	877.4	176.0
14:00	542.78	1.49	101.6	0.35	880.2	177.0
15:00	511.38	1.36	95.8	0.29	887.8	177.6
16:00	493.73	1.59	96.6	0.36	894.2	175.8
17:00	517.27	1.51	97.2	0.35	906.0	177.8
18:00	513.35	1.39	96.8	0.34	905.0	177.2
19:00	554.55	1.47	103.6	0.32	910.4	180.6
20:00	505.50	1.48	96.6	0.34	906.2	179.0
21:00	578.09	1.49	98.8	0.32	896.6	177.8
22:00	529.04	1.36	96.0	0.34	860.2	168.0
23:00	515.31	1.39	95.6	0.32	895.6	179.0
0:00	497.65	1.36	95.6	0.30	909.4	178.8
1:00	611.45	1.29	98.8	0.29	768.2	158.6
2:00	546.70	1.28	100.4	0.29	882.0	178.6
3:00	534.93	1.40	92.8	0.32	852.0	172.6
4:00	574.17	1.27	103.0	0.28	803.8	170.2
5:00	552.59	1.27	89.6	0.28	856.2	174.2
6:00	613.41	1.22	102.4	0.28	741.6	165.4
7:00	587.90	1.40	99.0	0.31	837.0	172.4



รูปที่ 4.20 (ก) ผนังด้านป้อนเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.20 (ข) ผนังด้านน้ำป้อน



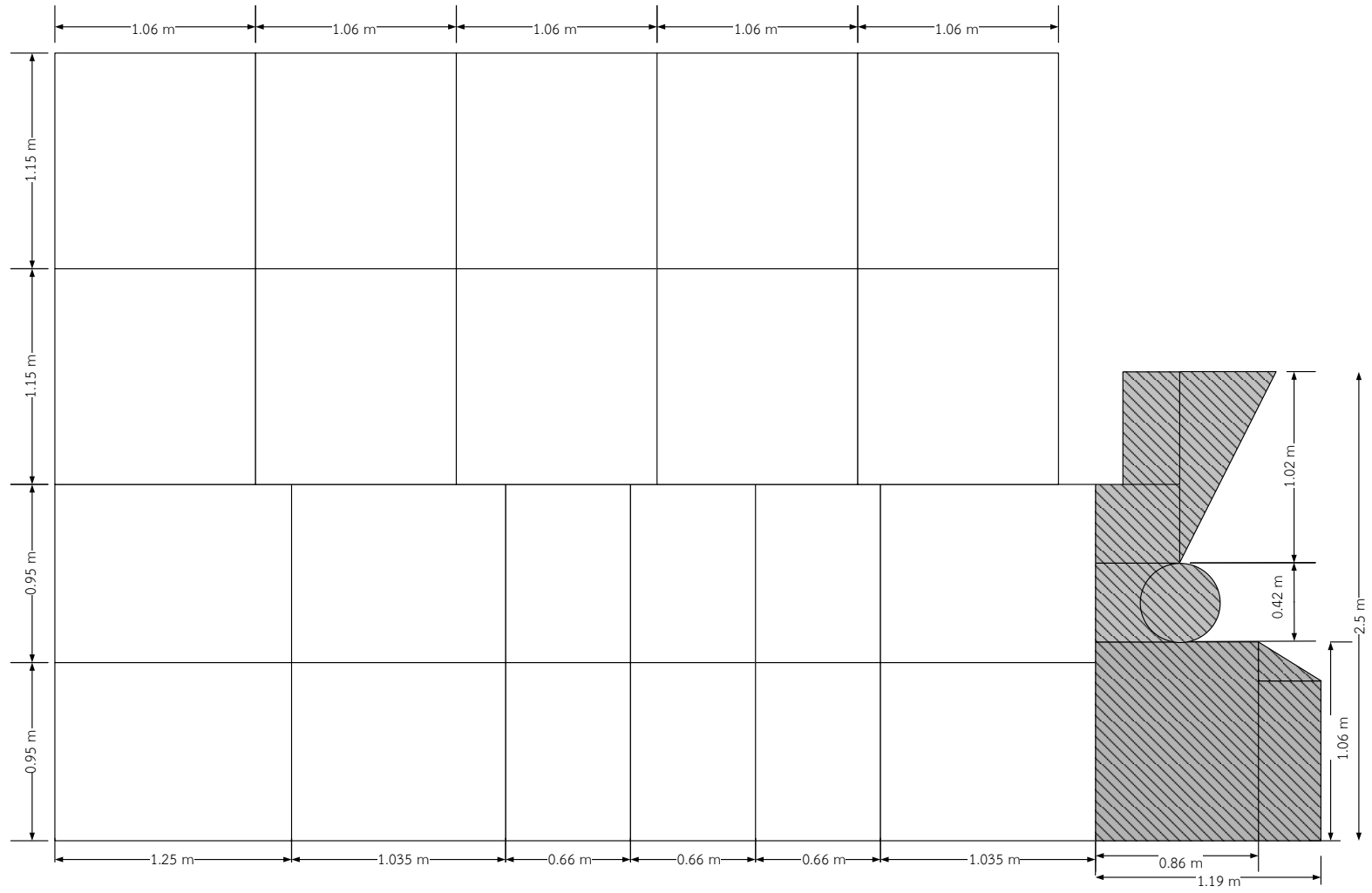
รูปที่ 4.20 (ค) ผนังด้านข้าง (ฝั่งพื้นที่เปิด)



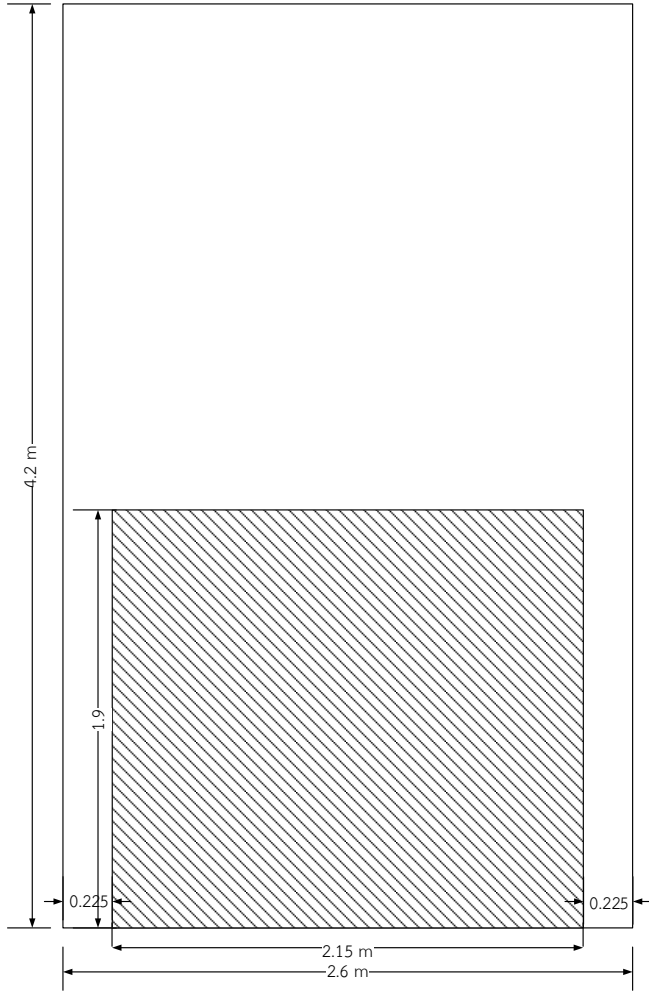
รูปที่ 4.20 (ง) ผนังด้านข้าง (ฝั่งติดผนังอาคาร)



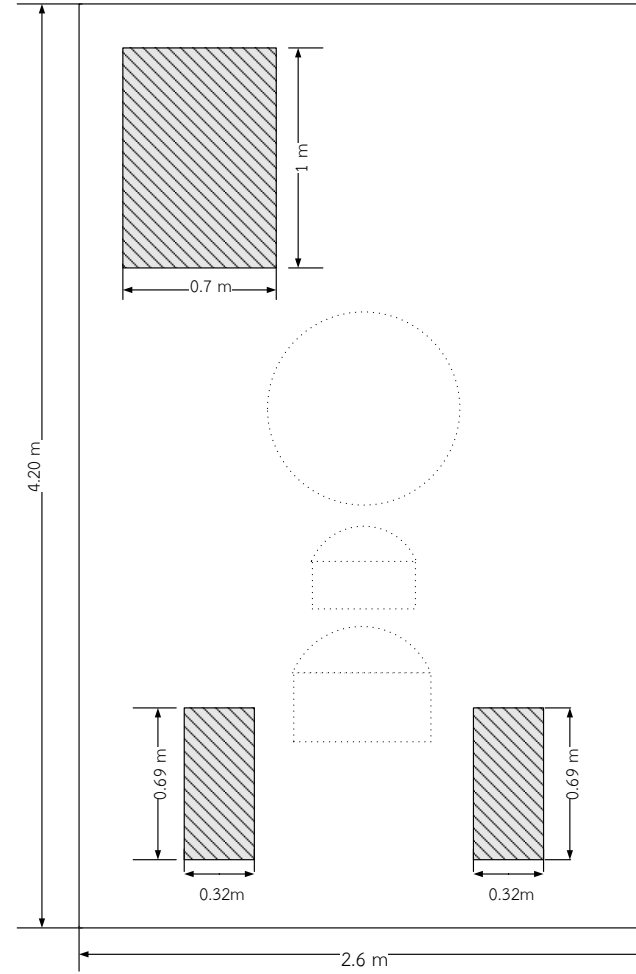
รูปที่ 4.21 เครื่องบันทึกอุณหภูมิที่ใช้ในการตรวจวัด



รูปที่ 4.22 พื้นที่ผิวผนังห้องเผาไหม้ด้านข้าง (ซ้าย-ขวา)



รูปที่ 4.23 พื้นที่ผิวผนังห้องเผาไหม้ด้านป้อนเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.24 พื้นที่ผิวผนังห้องเผาไหม้ด้านน้ำป้อน

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ

บริเวณตรวจวัด		อุณหภูมิ (°C)
ผนังด้านข้าง ฝั่งพื้นที่เปิด	(T_{s1})	68.61
ผนังด้านข้าง ฝั่งติดผนังอาคาร	(T_{s2})	72.91
ผนังด้านป้อนเชื้อเพลิง	(T_{s3})	73.76
ผนังด้านน้ำป้อน	(T_{s4})	41.11
อากาศ	(T_{∞})	32.42
ผนังอาคาร	(T_w)	49.08

4.4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ จะต้องคำนวณเพื่อให้ทราบค่าการสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำก่อน ซึ่งจากการเก็บข้อมูลจากการตรวจวัด สามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำได้ดังนี้

1. การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ ในลักษณะการพาความร้อนแบบอิสระ กรณีแผ่นเรียบวางแนวดิ่ง

ด้านที่ 1 ผนังด้านข้าง (ฝั่งพื้นที่เปิด)

ทำการประเมินคุณสมบัติต่างๆ ที่อุณหภูมิฟิล์ม T_f ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.17)

จะได้

$$T_f = \frac{T_{s1} + T_{\infty}}{2}$$

$$T_f = \frac{68.61 + 32.42}{2}$$

$$T_f = 50.52 \text{ } ^\circ\text{C} = 323.52 \text{ K}$$

จากตารางคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศมาตรฐาน ค.7

ที่อุณหภูมิ 323.52 K มีค่าคุณสมบัติจากการประมาณค่าในช่วง ดังนี้

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	(β)	3.09104×10^{-3}	
ปริมาตรจำเพาะ	(ν)	1.80749×10^{-5}	m^3/s
ค่าสภาพการนำความร้อน	(k)	0.028022816	$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$
พรีนัมเบอร์	(Pr)	0.7028256	

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย โดยใช้สมการที่ (2.16) – (2.21) แสดงการคำนวณดังนี้

หาค่า Grashof number

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_{s1} - T_\infty) L^3}{\nu^2}$$

$$Gr_L = \frac{(9.81)(3.0914 \times 10^{-3})(68.61 - 32.42)(4.2^3)}{(1.8074928 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr_L = 2.48871 \times 10^{11}$$

จะได้ $GrPr = (2.48871 \times 10^{11}) \times 0.7028256 = 1.74913 \times 10^{11}$

กรณี $10^{-1} < GrPr < 10^{12}$ หาค่า Nusselt number จากสมการดังนี้

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(GrPr)^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(1.74913 \times 10^{11})^{1/6}}{\left[1 + (0.492/0.7028256)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 628.3898$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (\bar{h})

$$\bar{h} = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{628.3898 \times 0.028022816}{4.2}$$

$$\bar{h} = 4.1927 \quad \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{q}) คำนวณได้ดังนี้

$$\bar{q} = \bar{h}A(T_{s1} - T_\infty)$$

$$\bar{q} = 4.1927 (4.2 \times 5.3)(68.61 - 32.42)$$

$$\bar{q} = 3,377.59 \quad \text{W}$$

ด้านที่ 2 ผนังด้านข้าง (ฝั่งติดผนังอาคาร)

ทำการประเมินคุณสมบัติต่างๆ ที่อุณหภูมิฟิล์ม T_f ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.17) จะได้ว่า

$$T_f = \frac{T_{s2} + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{72.91 + 49.08}{2}$$

$$T_f = 61 \text{ } ^\circ\text{C} = 334 \text{ K}$$

จากตารางคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศ ภาคผนวก ค.7

ที่อุณหภูมิ 334 K มีค่าคุณสมบัติจากการประมาณค่าในช่วง ดังนี้

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	(β)	2.994057×10^{-3}	
ปริมาตรจำเพาะ	(ν)	1.91376×10^{-5}	m^2/s
ค่าสภาพการนำความร้อน	(k)	0.0288172	$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$
พริ้นด์นัมเบอร์	(Pr)	0.70052	

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย โดยใช้สมการที่ (2.16) – (2.21) แสดงการคำนวณดังนี้

หาค่า Grashof number

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_{s2} - T_w) L^3}{\nu^2}$$

$$Gr_L = \frac{(9.81)(2.994057 \times 10^{-3})(72.91 - 49.08)(4.2^3)}{(1.91376 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr_L = 1.41588 \times 10^{11}$$

จะได้ $GrPr = (1.41588 \times 10^{11}) \times 0.70052 = 9.91852 \times 10^{10}$

กรณี $10^{-1} < GrPr < 10^{12}$ หาค่า Nusselt number จากสมการดังนี้

$$\text{Nu} = \left[0.825 + \frac{0.387(\text{GrPr})^{1/6}}{\left[1 + (0.492/\text{Pr})^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$\text{Nu} = \left[0.825 + \frac{0.387(9.91852 \times 10^{10})^{1/6}}{\left[1 + (0.492/0.70052)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$\text{Nu} = 523.2725$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (\bar{h})

$$\bar{h} = \frac{\text{Nu} \cdot k}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{523.2725 \times 0.0288172}{4.2}$$

$$\bar{h} = 3.5903 \quad \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{q}) คำนวณได้ดังนี้

$$\bar{q} = \bar{h}A(T_{s2} - T_\infty)$$

$$\bar{q} = 3.5903 (4.2 \times 5.3)(72.91 - 49.08)$$

$$\bar{q} = 1,904.50 \quad \text{W}$$

ด้านที่ 3 ผนังด้านป้อนเชื้อเพลิง

ทำการประเมินคุณสมบัติต่างๆ ที่อุณหภูมิมิฟิล์ม T_f ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.17) จะได้

$$T_f = \frac{T_{s3} + T_\infty}{2}$$

$$T_f = \frac{73.76 + 32.42}{2}$$

$$T_f = 53.09 \quad ^\circ\text{C} = 326.09 \quad \text{K}$$

จากตารางคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศ ภาคผนวก ค.7

ที่อุณหภูมิ 326.09 K มีค่าคุณสมบัติจากการประมาณค่าในช่วง ดังนี้

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	(β)	3.066638×10^{-3}	
ปริมาตรจำเพาะ	(ν)	1.83355×10^{-5}	m^2/s
ค่าสภาพการนำความร้อน	(k)	0.028217622	$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$
พริ้นด์นัมเบอร์	(Pr)	0.7022602	

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย โดยใช้สมการที่ (2.16) – (2.21) แสดงการคำนวณดังนี้

หาค่า Grashof number

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_{s3} - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

$$Gr_L = \frac{(9.81)(3.066638 \times 10^{-3})(73.76 - 32.42)(4.2^3)}{(1.83355 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr_L = 2.74071 \times 10^{11}$$

จะได้ $GrPr = (2.74071 \times 10^{11}) \times 0.7022602 = 1.92469 \times 10^{11}$

กรณี $10^{-1} < GrPr < 10^{12}$ หาค่า Nusselt number จากสมการดังนี้

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(GrPr)^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(1.92469 \times 10^{11})^{1/6}}{\left[1 + (0.492/0.7022602)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 647.9968$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (\bar{h})

$$\bar{h} = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{647.9968 \times 0.028217622}{4.2}$$

$$\bar{h} = 4.3536 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

ดังนั้น อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{q}) คำนวณได้ดังนี้

$$\bar{q} = \bar{h}A(T_{s3} - T_{\infty})$$

$$\bar{q} = 4.3536 [(4.2 \times 2.6) - (1.9 \times 2.15)] (73.76 - 32.42)$$

$$\bar{q} = 1,230.15 \text{ W}$$

ด้านที่ 4 ผนังด้านน้ำป้อน

ทำการประเมินคุณสมบัติต่างๆ ที่อุณหภูมิมิฟิล์ม T_f ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.17) จะได้

$$T_f = \frac{T_{s4} + T_{\infty}}{2}$$

$$T_f = \frac{41.11 + 32.42}{2}$$

$$T_f = 36.77 \text{ °C} = 309.77 \text{ K}$$

จากตารางคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศ ภาคผนวก ค.7

ที่อุณหภูมิมิ 309.77 K มีค่าคุณสมบัติจากการประมาณค่าในช่วง ดังนี้

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	(β)	3.228254×10^{-3}	
ปริมาตรจำเพาะ	(ν)	1.66807×10^{-5}	m^2/s
ค่าสภาพการนำความร้อน	(k)	0.026980566	$\text{W/m} \cdot \text{°C}$
พริ้นด์นัมเบอร์	(Pr)	0.7058506	

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย โดยใช้สมการที่ (2.16) – (2.21) แสดงการคำนวณดังนี้

หาค่า Grashof number

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_{s4} - T_{\infty})L^3}{\nu^2}$$

$$Gr_L = \frac{(9.81)(3.228254 \times 10^{-3})(41.11 - 32.42)(4.2^3)}{(1.66807 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr_L = 7.32786 \times 10^{10}$$

จะได้ $GrPr = (7.32786 \times 10^{10}) \times 0.7058506 = 5.17237 \times 10^{10}$

กรณี $10^{-1} < GrPr < 10^{12}$ หาค่า Nusselt number จากสมการดังนี้

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(GrPr)^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(5.17237 \times 10^{10})^{1/6}}{\left[1 + (0.492/0.7058506)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 425.1408$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (\bar{h})

$$\bar{h} = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{425.1408 \times 0.026980566}{4.2}$$

$$\bar{h} = 2.7311 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

ดังนั้น อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{q}) คำนวณได้ดังนี้

$$\bar{q} = \bar{h}A(T_{s4} - T_{\infty})$$

$$\bar{q} = 2.7311[(4.2 \times 2.6) - 1.1416](41.11 - 32.42)$$

$$\bar{q} = 232.07 \text{ W}$$

2. การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ในลักษณะการแผ่รังสีความร้อนสามารถคำนวณดังสมการที่ (2.22)

ด้านที่ 1 ผนังด้านข้าง (ฝั่งพื้นที่เปิด)

มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ผิว (T_{s1}) จากการตรวจวัด เท่ากับ 68.6°C หรือ 341.6 K และ อุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 32.42°C หรือ 305.42 K

$$\text{จะได้ } \bar{q} = \epsilon\sigma A(T_s^4 - T_a^4)$$

$$\bar{q} = 0.9(5.669 \times 10^{-8})(4.2 \times 5.3)(341.6^4 - 305.42^4)$$

$$\bar{q} = 5,584.47\text{ W}$$

ด้านที่ 2 ผนังด้านข้าง (ฝั่งติดผนังอาคาร)

มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ผิว (T_{s2}) จากการตรวจวัด เท่ากับ 72.91°C หรือ 345.91 K และ อุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 32.42°C หรือ 305.42 K

$$\text{จะได้ } \bar{q} = \epsilon\sigma A(T_s^4 - T_a^4)$$

$$\bar{q} = 0.9(5.669 \times 10^{-8})(4.2 \times 5.3)(345.91^4 - 305.42^4)$$

$$\bar{q} = 6,377.79\text{ W}$$

ด้านที่ 3 ผนังด้านป้อนเชื้อเพลิง

มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ผิว (T_{s3}) จากการตรวจวัด เท่ากับ 73.76°C หรือ 346.76 K และ อุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 32.42°C หรือ 305.42 K

จะได้

$$\bar{q} = \epsilon\sigma A(T_s^4 - T_a^4)$$

$$\bar{q} = 0.9(5.669 \times 10^{-8})[(4.2 \times 2.6) - (1.9 \times 2.15)](346.76^4 - 305.42^4)$$

$$\bar{q} = 2,007.58\text{ W}$$

ด้านที่ 4 ผนังด้านน้ำป้อน

มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ผิว (T_{s4}) จากการตรวจวัด เท่ากับ 41.11°C หรือ 314.11 K และ อุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 32.42°C หรือ 305.42 K

จะได้

$$\bar{q} = \epsilon\sigma A(T_s^4 - T_a^4)$$

$$\bar{q} = 0.9(5.669 \times 10^{-8})[(4.2 \times 2.6) - 1.1416](314.11^4 - 305.42^4)$$

$$\bar{q} = 515.56\text{ W}$$

จากการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ในลักษณะการพาความร้อนและแผ่รังสีความร้อนของผนังทั้ง 4 ด้าน พบว่ามีการสูญเสียความร้อนรวม 21.23 กิโลวัตต์ แสดงค่าการสูญเสียความร้อนของผนังห้องเผาไหม้ในแต่ละด้านดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้

พื้นที่	การสูญเสียความร้อน (kW)		รวม (kW)
	พา ความร้อน	แผ่รังสี ความร้อน	
ด้านข้างฝั่งพื้นที่เปิด	3.38	5.58	8.96
ด้านข้างฝั่งติดผนังอาคาร	1.90	6.38	8.28
ด้านป้อนเชื้อเพลิง	1.23	2.01	3.24
ด้านน้ำป้อน	0.23	0.52	0.75
รวม	6.74	14.49	21.23

จากข้อมูลเบื้องต้นของหม้อไอน้ำที่ได้จากฐานข้อมูลของโรงงานในกรณีศึกษา เฉลี่ยรายเดือนดังตารางที่ 4.3 และค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้จากการตรวจวัดและวิเคราะห์สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ได้จากสมการที่ 2.8 โดยแสดงขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. หาค่าเอนทัลปีของไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ (h_s)

การหาเอนทัลปีของไอน้ำกรณีเป็นของผสมระหว่างของเหลวอิ่มตัวและไอน้ำอิ่มตัวสามารถหาได้จากค่าเอนทัลปีของของเหลวอิ่มตัวและไอน้ำอิ่มตัว ณ ค่าความดันใดๆ จากตาราง Saturated water - Pressure table ดังภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.8 แล้วคำนวณหาค่าเอนทัลปีของไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ ดังสมการ 4.1 โดยแสดงผลการคำนวณดังตารางที่ ค.10

$$h_s = h_f + xh_{fg} \quad (4.1)$$

โดยที่

h_f คือ เอนทัลปีของของเหลวอิ่มตัว ณ ความดันหรืออุณหภูมิใดๆ

h_g คือ เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัว ณ ความดันหรืออุณหภูมิใดๆ

h_{fg} คือ ผลต่างของเอนทัลปีของของเหลวอิ่มตัวและไอน้ำอิ่มตัว ณ ความดันหรืออุณหภูมิใดๆ

x คือ ค่าคุณภาพไอ ที่แสดงสัดส่วนระหว่างมวลของไอน้ำต่อมวลของของผสมอิ่มตัว มี ค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยโรงงานในกรณีศึกษา กำหนดให้ค่าคุณภาพไอที่มีความเหมาะสมต่อกระบวนการผลิต เท่ากับ 0.7

2. หาค่าเอนทัลปีของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (h_w)

การหาค่าเอนทัลปีของน้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำสามารถหาได้จาก ค่าเอนทัลปีของของเหลวอิ่มตัว ณ อุณหภูมิใดๆ ในตาราง Saturated water - Temperature table ดังภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.9 ซึ่งจากการเปิดตารางจะได้ค่าเอนทัลปีของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำแสดงดังภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.11

3. หาค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

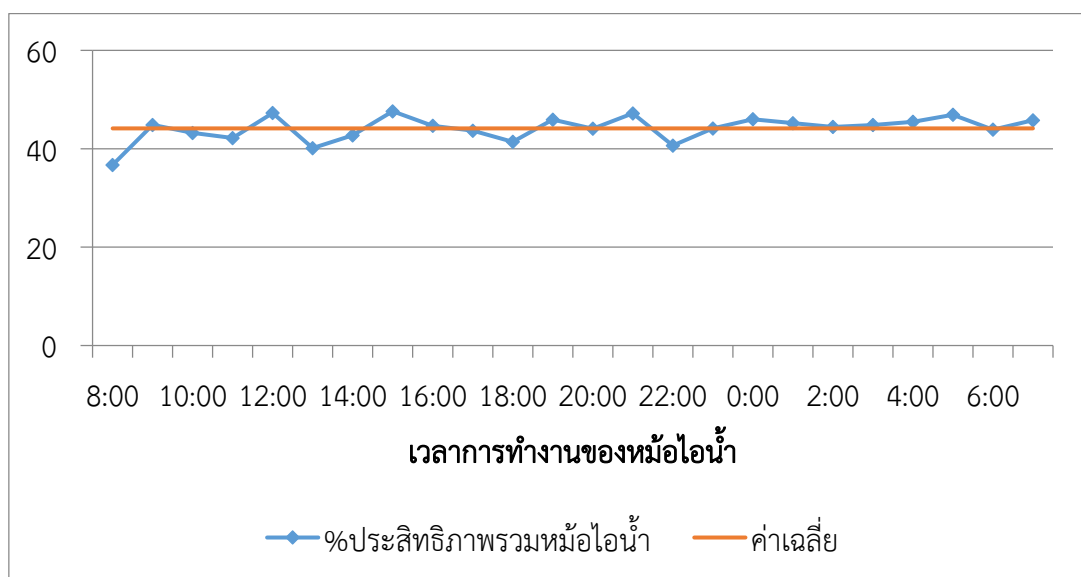
ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงสามารถหาได้จาก ผลคูณของค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิง และค่าความร้อนขั้นต่ำของเชื้อเพลิง (LHV) ซึ่งในช่วงของการเก็บข้อมูล โรงงานในกรณีศึกษามีการใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการไหม้ มีค่าความร้อนขั้นต่ำเท่ากับ 16,900 kJ/kg แสดงผลการคำนวณค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ดังดังภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.12

4. หาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อภายในห้องเผาไหม้

จากข้อมูลอัตราการไหลของไอน้ำ ค่าเอนทัลปีของไอน้ำ ค่าเอนทัลปีของน้ำป้อน ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และค่าการสูญเสียความร้อน เมื่อนำมาวิเคราะห์ตามสมการที่ 2.9 โดยค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถูกลบออกด้วยค่าการสูญเสียความร้อนที่ได้จากการตรวจวัดและคำนวณ ซึ่งจะทำให้ทราบค่าประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งจากการคำนวณดังดังภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.13

5. หาประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ

จากข้อมูลอัตราการไหลของไอน้ำ ค่าเอนทัลปีของไอน้ำ ค่าเอนทัลปีของน้ำป้อน และค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อนำมาวิเคราะห์ตามสมการที่ 2.8 จะทำให้ทราบค่าประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ ซึ่งแสดงผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำโรงงานกรณีศึกษา ภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.14



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำตลอดระยะเวลาการทำงานใน 1 วัน

6. สรุปผลประสิทธิภาพการใช้พลังงานระดับเครื่องจักรและอุปกรณ์

จากการพิจารณาอุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานความร้อนของโรงงานในกรณีศึกษา และระบุได้ว่า หม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน เป็นอุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานความร้อน โดยเมื่อได้ศึกษาข้อมูลการผลิตและการใช้ไอน้ำ รวมถึงการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานพบว่า หม้อไอน้ำในกรณีศึกษามีการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้นที่บริเวณผนังห้องเผาไหม้ มีค่าการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 21.23 กิโลวัตต์ คิดเป็น 548,447.328 เมกะจูล/ปี ทำให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้ท่อเฉลี่ย เท่ากับ 44.31% และมีประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำตลอดช่วงระยะเวลาการทำงานต่ำสุดที่ 36.71% มากที่สุดที่ 47.62% และผลเฉลี่ยเท่ากับ 44.13% ดังกราฟรูปที่ 4.25 ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของหม้อไอน้ำชนิดเชื้อเพลิงแข็ง (75% ขึ้นไป สำหรับหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงแข็ง) นั้นแสดงให้เห็นว่าหม้อไอน้ำของโรงงานในกรณีศึกษามีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำ สิ้นเปลืองพลังงานมากในการใช้งาน จึงได้มีการศึกษาหามาตรการที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำในขั้นตอนต่อไป

4.5 มาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำ

จากข้อมูลการผลิตและการใช้ไอน้ำ รวมถึงการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำโรงงานในกรณีศึกษาที่ได้ศึกษามาแล้วนั้น จะพิจารณามาตรการการบริหารจัดการพลังงานความร้อนจากคู่มือแนวทางการปฏิบัติงานที่ดีสำหรับหม้อไอน้ำ และคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ ประกอบด้วยมาตรการต่างๆ ดังนี้

1. มาตรการด้านการจัดการ (House keeping)
 - มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ
 - มาตรการการปรับสัดส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสม
 - มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ
 - มาตรการลดการรั่วไหลของไอน้ำ
 - มาตรการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์
 - มาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหม้อไอน้ำ
 - มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ
2. มาตรการด้านการปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement)
 - มาตรการการหุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำ ท่อคอนเดนเสท
 - มาตรการติดฉนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน
3. มาตรการด้านการเปลี่ยนเครื่องจักร (Machine Change)
 - มาตรการติดตั้ง Economizer

จากมาตรการต่างๆ ข้างต้น เมื่อพิจารณาเพื่อนำมาวิเคราะห์และเป็นทางเลือกมาตรการสำหรับโรงงานในกรณีศึกษา โดยได้ทำการคัดกรองมาตรการแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 มาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำกรณีศึกษา

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ดำเนินการแล้ว	ยังไม่ดำเนินการ
มาตรการด้านการจัดการ (House keeping)			
1	มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ		✓
2	มาตรการการปรับสัดส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสม	✓	
3	มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ		✓
4	มาตรการลดการรั่วไหลของไอน้ำ	✓	
5	มาตรการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์		✓
6	มาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหม้อไอน้ำ	✓	
7	มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ		✓
มาตรการด้านการปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement)			
8	มาตรการการหุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำ ท่อคอนเดนเสท	✓	
9	มาตรการติดฉนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน		✓
มาตรการด้านการเปลี่ยนเครื่องจักร (Machine Change)			
10	มาตรการติดตั้ง Economizer	✓	

จากการคัดกรองมาตรการพบมาตรการที่สอดคล้องกับชนิดของหม้อไอน้ำกรณีศึกษา และสภาพปัญหา รวมถึงขอบเขตของข้อมูลสำหรับกรณีศึกษาในครั้งนี้ ดังนี้ มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ มาตรการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่ง

จ่ายไอน้ำ มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ และมาตรการติดตามความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน ซึ่งในส่วนมาตรการอื่นๆ ที่ไม่ได้ถูกเลือกมาใช้ในการจัดทำทางเลือกของมาตรการในครั้งนี้ เนื่องจากการดำเนินงานบางส่วนเป็นสิ่งที่โรงงานกรณีศึกษามีการดำเนินการแล้ว เช่น มาตรการติดตั้ง Economizer หรือมาตรการที่มีการดำเนินการอยู่เป็นประจำอย่างต่อเนื่อง เช่น มาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหม้อไอน้ำ โดยกำหนดรอบการบำรุงรักษาทำความสะอาดพื้นที่แลกเปลี่ยนภายในห้องเผาไหม้ หรือการตรวจสอบการรั่วไหลของท่อไอน้ำ ท่อคอนเดนเสท และกับดักไออยู่เสมอ แต่ไม่มีการเก็บข้อมูลผลที่แน่ชัด จึงยากต่อการประเมินผลอย่างเป็นรูปธรรม

มาตรการทางเลือกทั้ง 5 มาตรการ เมื่อนำมาศึกษารายละเอียดถึงหลักการ แนวทางและขั้นตอนการบริหารจัดการ รวมถึงศักยภาพของการประหยัดพลังงานจากการคำนวณ มีรายละเอียดของแต่ละมาตรการดังนี้

4.5.1 มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ

เนื่องจากการสูญเสียที่ตัวหม้อไอน้ำและระบบส่งจ่ายเกิดขึ้นเสมอตามเท่าที่หม้อไอน้ำกำลังทำงานอยู่ ซึ่งถ้าเราสามารถลดระยะเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำและอุปกรณ์ประกอบหม้อไอน้ำต่างๆ เราจะสามารถลดการสูญเสียที่ตัวหม้อไอน้ำและระบบส่งจ่าย การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อน การสูญเสียเนื่องจากการรั่วไหล ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อหม้อไอน้ำยังทำงานอยู่ภายใต้ความดันที่สูง โดยจากข้อมูลโรงงานกรณีศึกษามีการติดตั้งหม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน จำนวน 1 ตัว เพื่อผลิตไอน้ำป้อนสู่กระบวนการผลิต ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล เปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 299 วัน/ปี มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 8,219,101.32 กิโลกรัม/ปี ซึ่งจากการสำรวจและสอบถามข้อมูลสภาพการเปิดใช้งานของหม้อไอน้ำ พบว่ารอบการเปิดใช้งานหม้อไอน้ำในแต่ละครั้ง จะเปิดก่อนเครื่องจักรทำงานเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และปิดพร้อมเครื่องจักร โดยมีรอบการปิด-เปิดใช้งานคิดเป็น 66 ครั้ง/ปี การดำเนินการตามมาตรการนี้จึงได้วิเคราะห์ปรับลดเวลาการเปิดใช้งานลง 0.25 ชั่วโมง และปิดหลังจากก่อนเวลา 0.25 ชั่วโมง ทำให้ลดเวลาในการทำงานของหม้อไอน้ำได้ 0.5 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจมีการปรับตารางการผลิตของเครื่องจักรที่มีการใช้ไอน้ำให้เหมาะสมกับเวลาในการปิด-เปิดที่ปรับลดเพื่อไม่ให้กระทบต่อการผลิตและการส่งงาน ซึ่งสามารถคำนวณผลการประหยัดเชื้อเพลิงหลังการดำเนินการตามมาตรการได้ดังนี้

ก่อนดำเนินการตามมาตรการ

ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ	=	44.13%	
ความร้อนที่ได้ออกมาจากการผลิตไอน้ำ	=	2,372.79	กิโลจูล/วินาที
ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ	=	$\frac{2,372.79}{0.4413}$	
	=	5,376.83	กิโลจูล/วินาที

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	=	16,900	กิโลจูล/กิโลกรัม
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	=	$\frac{5,376.83}{16,900} \times (60 \times 60)$	
	=	1,145.36	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ	=	299 (วัน/ปี) \times 24 (ชั่วโมง/วัน)	
	=	7,176	ชั่วโมง/ปี
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม	=	1,145.36 \times 7,176	
	=	8,219,101.32	กิโลกรัม/ปี
คิดเป็นมูลค่า	=	8,219,101.32 \times 2.7042	
	=	22,226,093.79	บาท/ปี

หลังดำเนินการตามมาตรการ

ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ	=	44.13%	
ความร้อนที่ได้ออกมาจากการผลิตไอน้ำ	=	2,372.79	กิโลจูล/วินาที
ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ	=	$\frac{2,372.79}{0.4413}$	
	=	5,376.83	กิโลจูล/วินาที
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	=	16,900	กิโลจูล/กิโลกรัม
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	=	$\frac{5,376.83}{16,900} \times (60 \times 60)$	
	=	1,145.36	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ	=	7,176 - (66 ครั้ง/ปี \times 0.5 ชั่วโมง/ครั้ง)	
	=	7,143	ชั่วโมง/ปี
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม	=	1,145.36 \times 7,143	
	=	8,181,306.48	กิโลกรัม/ปี
คิดเป็นมูลค่า	=	8,181,306.48 \times 2.7042	
	=	22,123,888.98	บาท/ปี
สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้	=	8,219,101.32 - 8,181,306.48	
	=	37,794.84	กิโลกรัม/ปี
	=	37.79	ตัน/ปี
ประหยัดค่าใช้จ่ายได้	=	22,226,093.79 - 22,123,888.98	
	=	102,204.81	บาท/ปี

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงระหว่างก่อนและหลังการดำเนินการตามมาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ พบว่าหลังการดำเนินการตามมาตรการหม้อไอน้ำมีการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์มลดลง 37.79 ตัน/ปี คิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 102,204.81 บาท/ปี ทั้งนี้ในการดำเนินการตามมาตรการนี้ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน แต่จะต้องมีการวิเคราะห์และวางแผนงานเพื่อไม่ให้เกิดการดำเนินการส่งผลกระทบต่อการผลิต

4.5.2 มาตรการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์

การดำเนินการตามมาตรการการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์จะสามารถดำเนินการได้ในกรณีที่หม้อไอน้ำที่ใช้นั้นรองรับเชื้อเพลิงได้มากกว่า 1 ชนิด โดยการดำเนินการจะพิจารณาเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ตลอดระยะเวลาการทำงาน เนื่องจากมาตรการนี้จะช่วยทำให้เกิดผลการประหยัดอย่างมีนัยสำคัญโดยไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งจะมีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์มากในเวลาหนึ่ง และจะมีความเหมาะสมน้อยในอีกเวลาหนึ่งตามแต่ฤดูกาล ซึ่งจากข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา พบว่า หม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน ที่ผ่านมามีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดกะลาปาล์ม และไม้สับ (Wood chips) โดยในการดำเนินการตามมาตรการนี้จึงวิเคราะห์หาแนวทางการจัดการเลือกใช้เชื้อเพลิงให้เหมาะสมตามช่วงเวลา โดยการศึกษาข้อมูลคุณสมบัติ และราคาของเชื้อเพลิง เพื่อใช้มาเป็นแนวทางในการวิเคราะห์กรณีมีการปรับใช้เชื้อเพลิงจากการใช้กะลาปาล์มตลอดทั้งปี มาเป็นการใช้ไม้สับในบางช่วงเวลาตามความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

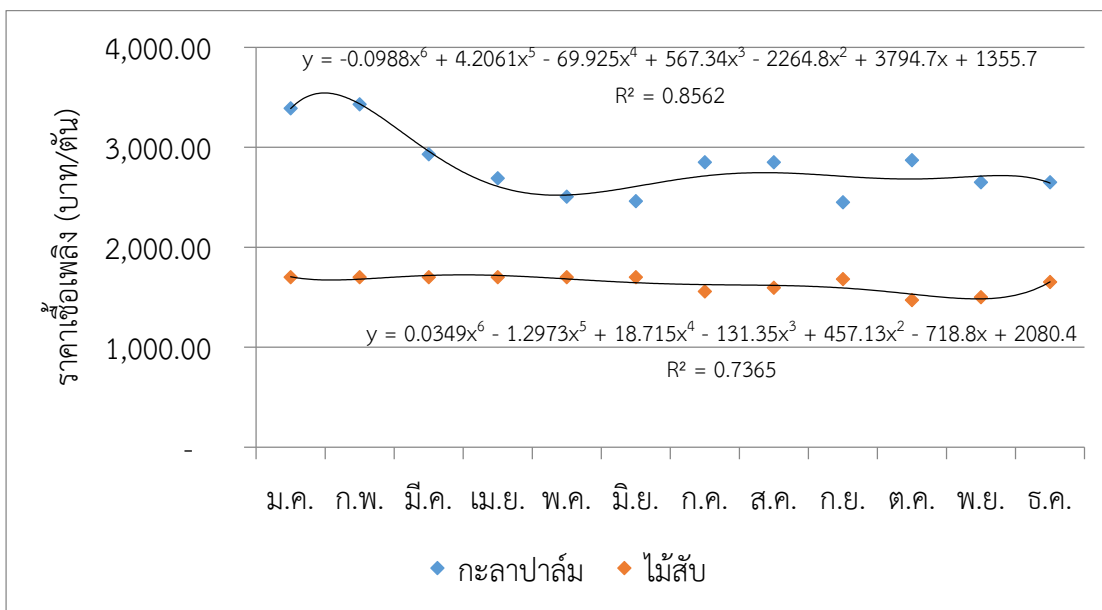
จากการศึกษาข้อมูลคุณสมบัติ ค่าความร้อนชั้นต่ำ (Lower heating value: LHV) ชี้เถ้า (Ash) ความชื้น (Total Moisture) ของเชื้อเพลิงกะลาปาล์มและไม้สับ แสดงตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติดังตารางที่ 4.7 พบว่ากะลาปาล์มมีค่าความร้อนที่สูงกว่าไม้สับ ทั้งยังมีค่าความชื้นที่ต่ำกว่าไม้สับ ขณะที่เปอร์เซ็นต์ชี้เถ้ามีความต่างไม่มากนัก ดังนั้นในการดำเนินการตามมาตรการจะพิจารณาทั้งคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้พร้อมทั้งความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์ราคากะลาปาล์มและไม้สับจากราคาที่โรงงานกรณีศึกษาซื้อในปี 2559 ดังกราฟรูปที่ 26 เพื่อนำสมการแนวโน้มมาใช้ในการประมาณราคาเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงกะลาปาล์มและไม้สับ

ชีวมวล	ค่าความร้อนชั้นต่ำ (kJ/kg)	ชี้เถ้า (%)	ความชื้น (%)
กะลาปาล์ม	16,900	< 4% โดยน้ำหนัก	16% - 25% โดยน้ำหนัก
ไม้สับ	10,880	< 3% โดยน้ำหนัก	ประมาณ 45% โดยน้ำหนัก

ที่มา: กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

- จากการวิเคราะห์ราคากระดาษปาเลียม สามารถแบ่งช่วงราคากระดาษปาเลียมได้เป็น 4 ช่วง ดังนี้
- 1) ราคา 2,400-2,600 บาท ในเดือน พฤษภาคม-มิถุนายน และ กันยายน
 - 2) ราคา 2,601-2,800 บาท ในเดือน เมษายน และ พฤศจิกายน-ธันวาคม
 - 3) ราคา 2,801-3,000 บาท ในเดือน มีนาคม กรกฎาคม-สิงหาคม และ ตุลาคม
 - 4) ราคาสูงกว่า 3,000 บาท ขึ้นไป ในเดือน มกราคม-กุมภาพันธ์



รูปที่ 4.26 แนวโน้มราคากระดาษปาเลียมและไม้สับในแต่ละเดือนตั้งแต่ มกราคม ถึงธันวาคม ปี 2559

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบราคาซื้อเพลิงต่อค่าความร้อนพบว่า กระดาษปาเลียมมีราคาเฉลี่ย 0.00017 บาทต่อกิโกลจุล ขณะที่ไม้สับมีราคาเฉลี่ย 0.00015 บาทต่อกิโกลจุล ซึ่งจะเห็นว่าไม้สับมีราคาต่อค่าความร้อนน้อยกว่ากระดาษปาเลียม แต่ด้วยคุณสมบัติของไม้สับที่มีค่าความชื้นที่ค่อนข้างสูง ในการกำหนดช่วงของการสั่งซื้อจึงต้องคำนึงถึง ระยะเวลาของการขนส่ง ประกอบกับเรื่องของความชื้นที่ต้องมีระยะเวลาของการควบคุม ตากพักเชื้อเพลิงให้มีความชื้นที่เหมาะสมต่อการใช้งาน จึงได้กำหนดให้มีการสั่งซื้อล่วงหน้าเป็นระยะเวลา 1-2 เดือน โดยในเดือนที่มีราคากระดาษปาเลียมไม่เกิน 2,600 บาท จะเป็นเดือนที่มีการสั่งซื้อกระดาษปาเลียมมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแสดงตัวอย่างรูปแบบการจัดช่วงระยะเวลาการสั่งซื้อและการใช้เชื้อเพลิงในปี 2561 ดังตารางที่ 4.8

จากข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงกระดาษปาเลียมและค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อของปี 2560 พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงทั้งสิ้น 244,539,451 เมกะจุล คิดเป็นมูลค่า 39,040,582 บาท ขณะที่การใช้เชื้อเพลิงที่มีการดำเนินการตามมาตรการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ มีค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเชื้อเพลิงกระดาษปาเลียมและไม้สับรวมของปี 2561 คิดเป็นมูลค่า 38,221,913.50 บาท (สำหรับการใช้ความร้อน 244,539,451 เมกะจุล จะเห็นได้ว่า ปี 2561 มีค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า โดยสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้ 818,668.50 บาท/ปี

ตารางที่ 4.8 การจัดช่วงระยะเวลาการสั่งซื้อและการใช้เชื้อเพลิงในปี 2561

เดือนที่มีการสั่งซื้อ	เดือนที่นำไป	ชนิดเชื้อเพลิงที่สั่งซื้อ	ปริมาณความร้อนที่ใช้ (MJ)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ (ตัน)	ราคาเชื้อเพลิง (บาท/ตัน)	คิดเป็นเงิน
พ.ย. 60	ม.ค. 61	กะลาปาล์ม	16,771,222	16.9	992.38	2,772.90	2,751,769.81
ธ.ค. 60	ก.พ. 61	กะลาปาล์ม	17,467,671	16.9	1,033.59	2,748.28	2,840,590.59
ม.ค. 61	มี.ค. 61	ไม้สับ	23,651,212	10.88	2,173.82	1,704.83	3,706,007.10
ก.พ. 61	เม.ย. 61	ไม้สับ	18,626,842	10.88	1,712.03	1,680.68	2,877,367.72
มี.ค. 61	พ.ค. 61	ไม้สับ	20,325,630	10.88	1,868.16	1,717.83	3,209,195.04
เม.ย. 61	มิ.ย. 61	ไม้สับ	21,294,000	10.88	1,957.17	1,718.44	3,363,268.30
พ.ค. 61	ก.ค. 61	กะลาปาล์ม	21,844,940	16.9	1,292.60	2,520.39	3,257,852.88
มิ.ย. 61	ส.ค. 61	กะลาปาล์ม	21,679,151	16.9	1,282.79	2,606.56	3,343,670.13
ก.ค. 61	ก.ย. 61	ไม้สับ	23,257,104	10.88	2,137.60	1,632.06	3,488,702.41
ส.ค. 61	ต.ค. 61	ไม้สับ	24,111,737	10.88	2,216.15	1,630.66	3,613,789.13
ก.ย. 61	พ.ย. 61	กะลาปาล์ม	20,186,205	16.9	1,194.45	2,725.46	3,255,429.40
พ.ย. 61	ธ.ค. 61	กะลาปาล์ม	15,323,737	16.9	906.73	2,772.90	2,514,270.98
รวมค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเชื้อเพลิง							38,221,913.50

4.5.3 มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ระบบไอน้ำได้รับการออกแบบให้ทำงานที่ความดันหนึ่งๆ เพื่อที่จะมั่นใจว่าสามารถส่งถ่ายไอน้ำได้อย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังต้องมีความดันและอุณหภูมิที่เพียงพอต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำปลายทางด้วย โดยโรงงานในกรณีศึกษามีการใช้หม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน จำนวน 1 ตัว ทำงานที่ความดันไอน้ำสูงสุด 5.5 บาร์ เพื่อผลิตไอน้ำป้อนกระบวนการพอกย้อมเป็นหลัก ซึ่งส่วนของเครื่องย้อมผ้าเป็นส่วนที่มีสัดส่วนของการใช้มากที่สุด มีการใช้ไอน้ำที่ 3.8 บาร์ โดยการดำเนินการตามมาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ จะพิจารณาวิเคราะห์ปรับลดความดันไอน้ำที่ผลิตลง 0.2 บาร์ เพื่อให้ยังคงเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำปลายทางในทุกๆ กระบวนการที่มีการใช้ไอน้ำ ทั้งนี้อาจมีการจัดตารางการผลิตร่วมเพื่อรักษาระดับความดันไอน้ำให้เพียงพอต่อการใช้งาน

ในการปรับค่าความดันไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำ จะส่งผลให้มีค่าความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำลดลงซึ่งจะทำให้สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไอน้ำลงได้ ในการดำเนินการตามมาตรการจะทำการวิเคราะห์ปรับลดความดันไอน้ำลง 0.2 บาร์ ในทุกช่วงเวลาตลอดการทำงานของหม้อไอน้ำ แสดงผลการวิเคราะห์จากการการปรับลดค่าความดันดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปรับค่าความดันไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำ

เวลา	ความดันไอน้ำ ก่อนปรับลด (bar)	ความดันไอน้ำ หลังปรับลด		ความร้อนที่ได้ จากการผลิตไอน้ำ (kW)	อัตราการใช้ เชื้อเพลิง (kg/s)
		(bar)	(kPa)		
8:00	4.3	4.1	507	2,353.55	0.3156
9:00	4.5	4.3	525	2,345.40	0.3145
10:00	4.3	4.1	502	2,333.82	0.3129
11:00	4.6	4.4	531	2,277.32	0.3054
12:00	4.3	4.1	504	2,471.99	0.3315
13:00	4.6	4.4	529	2,301.89	0.3086
14:00	4.5	4.3	523	2,523.08	0.3383
15:00	4.2	4.0	492	2,329.42	0.3123
16:00	4.0	3.8	474	2,713.14	0.3638
17:00	4.2	4.0	498	2,578.96	0.3458
18:00	4.2	4.0	494	2,375.42	0.3185
19:00	4.6	4.4	535	2,479.47	0.3325
20:00	4.1	3.9	486	2,528.45	0.3390

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปรับค่าความดันไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำ (ต่อ)

เวลา	ความดันไอน้ำ ก่อนปรับลด (bar)	ความดันไอน้ำ หลังปรับลด		ความร้อนที่ได้ จากการผลิตไอน้ำ (kW)	อัตราการใช้ เชื้อเพลิง (kg/s)
		(bar)	(kPa)		
21:00	4.9	4.7	558	2,548.64	0.3417
22:00	4.4	4.2	509	2,332.18	0.3127
23:00	4.2	4.0	496	2,382.92	0.3195
0:00	4.0	3.8	478	2,327.33	0.3121
1:00	5.2	5.0	592	2,212.60	0.2967
2:00	4.5	4.3	527	2,174.74	0.2916
3:00	4.4	4.2	515	2,420.92	0.3246
4:00	4.8	4.6	555	2,149.11	0.2882
5:00	4.6	4.4	533	2,216.69	0.2972
6:00	5.2	5.0	594	2,074.34	0.2781
7:00	5.0	4.8	568	2,395.45	0.3212

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงระหว่างก่อนและหลังการดำเนินการตามมาตรการ พบว่าหลังการดำเนินการตามมาตรการสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม ซึ่งแสดงผลการประหยัดการใช้พลังงานได้ดังนี้

ก่อนดำเนินการตามมาตรการ

ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ	=	44.13%	
ความร้อนที่ได้ออกมาจากการผลิตไอน้ำ	=	2,372.79	กิโลจูล/วินาที
ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ	=	$\frac{2,372.79}{0.4413}$	
	=	5,376.83	กิโลจูล/วินาที
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	=	16,900	กิโลจูล/กิโลกรัม
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	=	$\frac{5,376.83}{16,900} \times (60 \times 60)$	
	=	1,145.36	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ	=	299 (วัน/ปี) \times 24 (ชั่วโมง/วัน)	
	=	7,176	ชั่วโมง/ปี

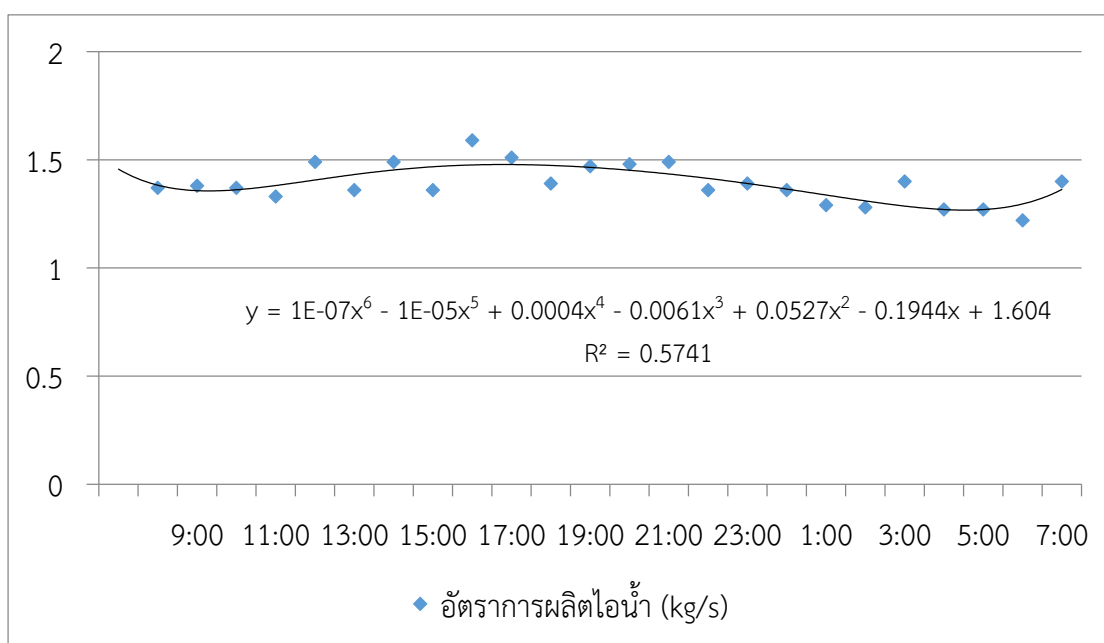
$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม} &= 1,145.36 \times 7,176 \\
 &= 8,219,101.32 \text{ กิโลกรัม/ปี} \\
 \text{คิดเป็นมูลค่า} &= 8,219,101.32 \times 2.7042 \\
 &= 22,226,093.79 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

หลังดำเนินการตามมาตรการ

$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ} &= 44.13\% \\
 \text{ความร้อนที่ได้ออกมาจากการผลิตไอน้ำ} &= 2,368.62 \text{ กิโลจูล/วินาที} \\
 \text{ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ} &= \frac{2,368.62}{0.4413} \\
 &= 5,367.37 \text{ กิโลจูล/วินาที} \\
 \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง} &= 16,900 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม} \\
 \text{อัตราการป้อนเชื้อเพลิง} &= \frac{5,367.37}{16,900} \times (60 \times 60) \\
 &= 1,143.35 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง} \\
 \text{ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ} &= 299 \text{ (วัน/ปี)} \times 24 \text{ (ชั่วโมง/วัน)} \\
 &= 7,176 \text{ ชั่วโมง/ปี} \\
 \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม} &= 1,143.35 \times 7,176 \\
 &= 8,204,679.6 \text{ กิโลกรัม/ปี} \\
 \text{คิดเป็นมูลค่า} &= 8,204,679.6 \times 2.7042 \\
 &= 22,187,094.57 \text{ บาท/ปี} \\
 \text{สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้} &= 8,219,101.32 - 8,204,679.6 \\
 &= 14,421.72 \text{ กิโลกรัม/ปี} \\
 &= 14.42 \text{ ตัน/ปี} \\
 \text{ประหยัดค่าใช้จ่ายได้} &= 22,226,093.79 - 22,187,094.57 \\
 &= 38,999.22 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

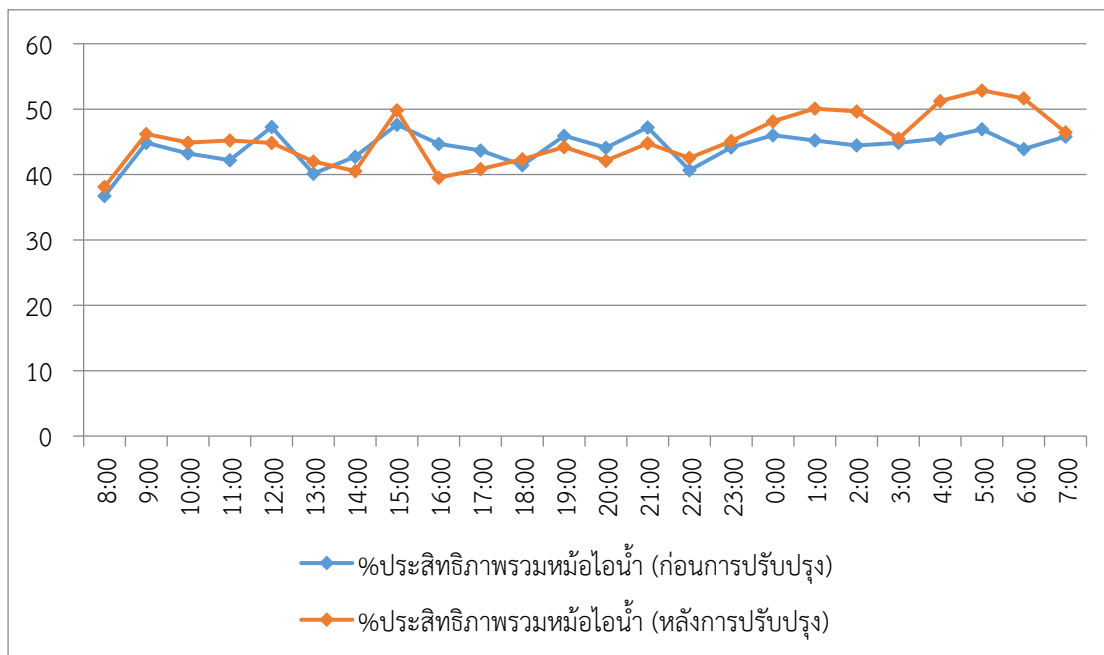
4.5.4 มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ

จากข้อมูลเบื้องต้นของหม้อไอน้ำที่ได้จากฐานข้อมูลของโรงงานในกรณีศึกษา ดังตารางที่ 4.3 พบว่า โรงงานในกรณีศึกษามีอัตราการผลิตไอน้ำที่มีความผันแปรอยู่ตลอดเวลา โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 7.79 ตัน/วัน ซึ่งเมื่อพิจารณาตามมาตรการการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ จึงเห็นว่าการจัดตารางการผลิตในกระบวนการที่มีการใช้ไอน้ำโดยไม่ให้กระทบต่อการส่งงานเป็นวิธีการจัดการที่จะสามารถช่วยลดความผันแปรของอัตราการผลิตไอน้ำได้ โดยผลการดำเนินการตามมาตรการจะทำการวิเคราะห์จากการปรับค่าอัตราการผลิตไอน้ำให้มีค่าอัตราการผลิตไอน้ำแต่ละช่วงเวลาดังสมการเส้นแนวโน้ม ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 อัตราการผลิตไอน้ำในแต่ละช่วงเวลาตลอดระยะเวลาการทำงาน 1 วัน ของหม้อไอน้ำ

จากนั้นทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ โดยนำ ค่าอัตราการผลิตไอน้ำแต่ละช่วงเวลาที่คำนวณได้จากสมการเส้นแนวโน้ม ค่าเอนทาลปีของไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ เอนทาลปีของน้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ มาคำนวณ และค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง หาประสิทธิภาพรวมด้วยสมการที่ 2.8 พบว่า หม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำตลอดช่วงระยะเวลาการทำงาน ใน 1 วัน ต่ำสุดที่ 38.11% มากที่สุดที่ 52.86% และมีผลเฉลี่ยเท่ากับ 45.36% ดังกราฟรูปที่ 4.28 แสดงรายละเอียดการคำนวณดังภาคผนวก ง. ตารางที่ ง.1



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำระหว่างก่อนและหลังการดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ พบว่าหลังการดำเนินการตามมาตรการหม้อไอน้ำมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพรวมที่สูงขึ้น ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์มขณะที่ยังคงผลิตไอน้ำได้ในอัตราการผลิตและค่าความร้อนคงเดิม ซึ่งแสดงผลการประหยัดการใช้พลังงานได้ดังนี้

ก่อนดำเนินการตามมาตรการ

ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ	=	44.13%	
ความร้อนที่ได้ออกมาจากการผลิตไอน้ำ	=	2,372.79	กิโลจูล/วินาที
ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ	=	$\frac{2,372.79}{0.4413}$	
	=	5,376.83	กิโลจูล/วินาที
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	=	16,900	กิโลจูล/กิโลกรัม
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	=	$\frac{5,376.83}{16,900} \times (60 \times 60)$	
	=	1,145.36	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ	=	299 (วัน/ปี) \times 24 (ชั่วโมง/วัน)	
	=	7,176	ชั่วโมง/ปี

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม} &= 1,145.36 \times 7,176 \\
 &= 8,219,101.32 \text{ กิโลกรัม/ปี} \\
 \text{คิดเป็นมูลค่า} &= 8,219,101.32 \times 2.7042 \\
 &= 22,226,093.79 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

หลังดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ

$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ} &= 45.36\% \\
 \text{ความร้อนที่ได้ออกมาจากการผลิตไอน้ำ} &= 2,372.79 \text{ กิโลจูล/วินาที} \\
 \text{ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ} &= \frac{2,372.79}{0.4536} \\
 &= 5,231.02 \text{ กิโลจูล/วินาที} \\
 \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง} &= 16,900 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม} \\
 \text{อัตราการป้อนเชื้อเพลิง} &= \frac{5,231.02}{16,900} \times (60 \times 60) \\
 &= 1,114.30 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง} \\
 \text{ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ} &= 299 \text{ (วัน/ปี)} \times 24 \text{ (ชั่วโมง/วัน)} \\
 &= 7,176 \text{ ชั่วโมง/ปี} \\
 \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม} &= 1,114.30 \times 7,176 \\
 &= 7,996,216.8 \text{ กิโลกรัม/ปี} \\
 \text{คิดเป็นมูลค่า} &= 7,996,216.8 \times 2.7042 \\
 &= 21,623,369.47 \text{ บาท/ปี} \\
 \\
 \text{สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้} &= 8,219,101.32 - 7,996,216.8 \\
 &= 222,884.52 \text{ กิโลกรัม/ปี} \\
 &= 222.88 \text{ ตัน/ปี} \\
 \text{ประหยัดค่าใช้จ่ายได้} &= 22,226,093.79 - 21,623,369.47 \\
 &= 602,724.32 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

4.5.5 มาตรการตัดสินนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน

จากขอบเขตในการศึกษาข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา ทั้งข้อมูลเบื้องต้นของหม้อไอน้ำที่ได้จากฐานข้อมูลของโรงงานในกรณีศึกษา เฉลี่ยรายเดือนดังตารางที่ 4.3 และค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้จากการตรวจวัดและวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.4 ที่ผ่านมาแล้วนั้น จึงได้พิจารณาเลือกตัดสินนวนความร้อนที่บริเวณผนังภายนอกของห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ซึ่งมีพื้นที่ผิวดังรูปที่ 4.22 - 4.24 โดยเมื่อได้ทำการศึกษาคูณสมบัติของฉนวนความร้อน ชนิดต่างๆ เช่น ฉนวนใยหิน (Ceramic fiber) อิฐฉนวนความร้อนทนไฟ คอนกรีตทนไฟ (Lightweight castable) ซิลิกาบอร์ด (Silica board) พลาสติกทนไฟ และอิฐทนไฟจากตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติฉนวนความร้อนและวัสดุทนไฟ ดังภาคผนวก ง.3 พบว่าสภาพปัจจุบันของห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำในกรณีศึกษา ที่มีผนังห้องเผาไหม้ทำจากอิฐฉนวนความร้อนทนไฟและมีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เฉลี่ย 867 °C มีความสอดคล้องใกล้เคียงกับกรณีที่ใช้อิฐฉนวนความร้อนทนไฟที่ผนังด้านในมีอุณหภูมิภายใน 850 °C โดยในกรณีนี้มีผนังด้านนอกเป็นฉนวนความร้อนชนิดซิลิกาบอร์ด ความหนา 25 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิที่ผิว 67 °C ซึ่งซิลิกาบอร์ดหรือแคลเซียมซิลิเกตชนิดแผ่น เป็นฉนวนที่เหมาะสมกับงานอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิและแรงดันสูง เหมาะสำหรับบริเวณที่เน้นความเบา และความแข็งแรงทนทาน มีคุณสมบัติ ไม่ทำให้เกิดการสันดาป ป้องกันไฟ และไม่มีสารพิษ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงความสอดคล้องและความเหมาะสมแล้ว จึงเลือกฉนวนความร้อนชนิดแคลเซียมซิลิเกตชนิดแผ่น ความหนา 25 มิลลิเมตร เป็นข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับโรงงานในกรณีศึกษา

4.5.5.1 การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้หลังการตัดสินนวน

ในการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้หลังการตัดสินนวน จะคำนวณจากค่าอุณหภูมิอ้างอิงของคุณสมบัติของฉนวนความร้อนชนิดแคลเซียมซิลิเกตชนิดแผ่น คือ ที่อุณหภูมิ 67 °C และสำหรับด้านที่มีอุณหภูมิก่อนการตัดสินนวนความร้อนต่ำกว่า 67 °C ประกอบด้วยผนังด้านน้ำป้อน และผนังอาคาร จะคิดให้มีอุณหภูมิลดลงเท่ากับด้านที่มีอุณหภูมิลดลงน้อยที่สุด นั่นคือ ผนังด้านข้าง ฝั่งพื้นที่เปิด มีอุณหภูมิลดลง 1.61°C จึงประมาณค่าอุณหภูมิหลังตัดสินนวนได้ ดังตารางที่ 4.10 ทั้งนี้คิดที่อุณหภูมิอากาศเท่ากับ 32.42 °C

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบอุณหภูมิก่อนและหลังการติดตั้งฉนวนที่ผนังห้องเผาไหม้

บริเวณตรวจวัด	อุณหภูมิ (°C) ก่อนติดตั้งฉนวน (°C)	อุณหภูมิ หลังติดตั้งฉนวน (°C)
ผนังด้านข้าง ฝั่งพื้นที่เปิด (T_{s1})	68.61	67.00
ผนังด้านข้าง ฝั่งติดผนังอาคาร (T_{s2})	72.91	67.00
ผนังด้านป้อนเชื้อเพลิง (T_{s3})	73.76	67.00
ผนังด้านน้ำป้อน (T_{s4})	41.11	39.5*
อากาศ (T_{∞})	32.42	32.42
ผนังอาคาร (T_w)	49.08	47.47*

* คิดในกรณีที่ผนังมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับผนังด้านที่มีอุณหภูมิลดลงน้อยที่สุด

จากการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำหลังติดตั้งฉนวนความร้อนในลักษณะการพาความร้อนและแผ่รังสีความร้อนของผนังทั้ง 4 ด้าน ดังภาคผนวก ง.4 พบว่าการสูญเสียความร้อนลดลงจากเดิมที่ไม่ได้มีการติดตั้งฉนวนความร้อนที่ผนังของห้องเผาไหม้ โดยมีการสูญเสียความร้อนรวม 18.45 กิโลวัตต์ แสดงค่าการสูญเสียความร้อนของผนังห้องเผาไหม้ในแต่ละด้านดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้หลังติดตั้งฉนวนความร้อน

พื้นที่	การสูญเสียความร้อน (kW)		รวม
	พาความร้อน	แผ่รังสีความร้อน	
ด้านข้างฝั่งพื้นที่เปิด	3.19	5.29	8.48
ด้านข้างฝั่งติดผนังอาคาร	1.47	5.29	6.76
ด้านป้อนเชื้อเพลิง	0.98	1.63	2.61
ด้านน้ำป้อน	0.18	0.42	0.6
รวม	5.82	12.63	18.45

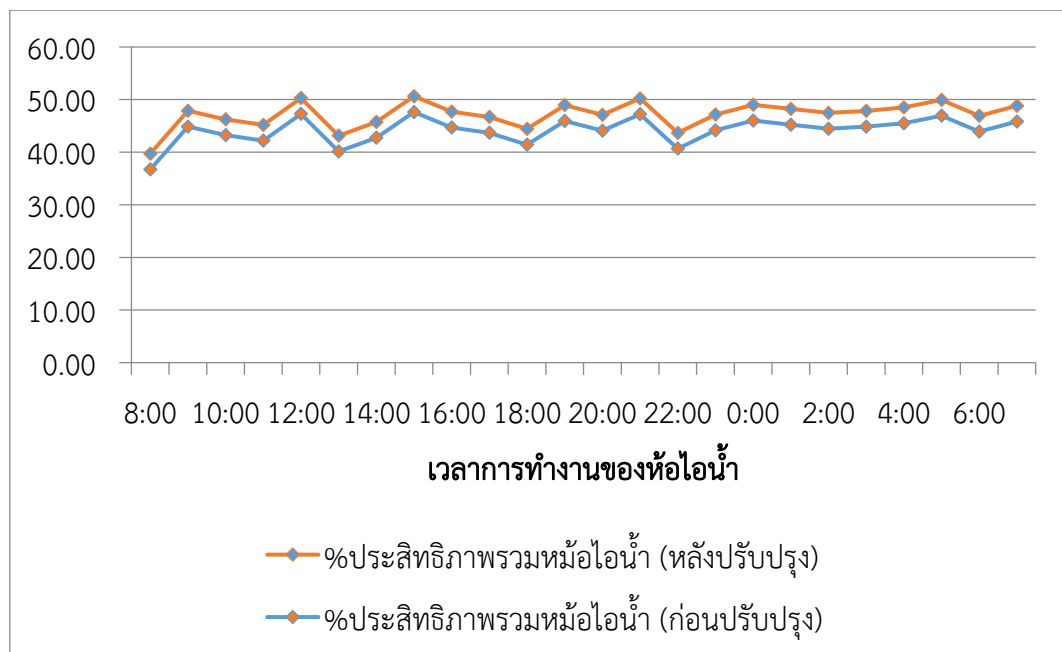
4.5.5.2 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งฉนวนความร้อน

จากการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนที่ผิวของผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำหลังการติดตั้งฉนวนความร้อน และจากข้อมูลคุณสมบัติของแคลเซียมซิลิเกตชนิดแผ่นที่ทางบริษัทรับติดตั้งฉนวนระบุว่า ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนภายในห้องเผาไหม้หลังการติดตั้งฉนวนจะเพิ่มขึ้นจากเดิม 3-5% จึงวิเคราะห์หาความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับระบบ หลังมีการติดตั้งฉนวนความร้อน โดยที่พลังงานที่ได้รับจากการผลิตไอน้ำยังคงเดิม ซึ่งจากสมการที่ 2.9 สามารถเขียนสมการเพื่อหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงหลังติดตั้งฉนวนได้ดังนี้

$$\eta_{\text{การถ่ายเทความร้อน}} = \frac{\text{ความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำ}}{\text{ความร้อนที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ} - \text{ความร้อนสูญเสีย}} \times 100$$

$$\text{ความร้อนที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ} = \frac{\text{ความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำ}}{\eta_{\text{การถ่ายเทความร้อน}}} + \text{ความร้อนสูญเสีย} \times 100$$

โดยประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนติดตั้งฉนวนที่ใช้ในการคำนวณ จะใช้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากเดิม 3% แสดงผลการคำนวณดังกล่าวในตารางที่ 5



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการติดตั้งฉนวนความร้อนบริเวณผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการติดตั้งฉนวนความร้อนบริเวณผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ พบว่า มีประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำตลอดช่วงระยะเวลาการทำงาน ใน 1 วัน ต่ำสุดที่ 39.71% มากที่สุดที่ 50.62% และมีผลเฉลี่ยเท่ากับ 47.13% ดังกราฟรูปที่ 4.29 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำระหว่างก่อนและหลังการดำเนินการตามมาตรการติดตั้งฉนวนความร้อนบริเวณผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำพบว่าหลังการดำเนินการตามมาตรการ หม้อไอน้ำมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพรวมที่สูงขึ้น ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม ขณะที่ยังคงผลิตไอน้ำได้ในอัตราการผลิตและค่าความร้อนคงเดิม ซึ่งแสดงผลการประหยัดการใช้พลังงานได้ดังนี้

ก่อนดำเนินการตามมาตรการ

ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ	=	44.13%	
ความร้อนที่ได้ออกมาจากการผลิตไอน้ำ	=	2,372.79	กิโลจูล/วินาที
ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ	=	$\frac{2,372.79}{0.4413}$	
	=	5,376.83	กิโลจูล/วินาที
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	=	16,900	กิโลจูล/กิโลกรัม
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	=	$\frac{5,376.83}{16,900} \times (60 \times 60)$	
	=	1,145.36	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ	=	299 (วัน/ปี) \times 24 (ชั่วโมง/วัน)	
	=	7,176	ชั่วโมง/ปี
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม	=	1,145.36 \times 7,176	
	=	8,219,101.32	กิโลกรัม/ปี
คิดเป็นมูลค่า	=	8,219,101.32 \times 2.7042	
	=	22,226,093.79	บาท/ปี

หลังดำเนินการตามมาตรการลดอุณหภูมิบริเวณผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ

ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ	=	47.13%	
ความร้อนที่ได้ออกมาจากการผลิตไอน้ำ	=	2,372.79	กิโลจูล/วินาที
ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ	=	$\frac{2,372.79}{0.4713}$	
	=	5,034.56	กิโลจูล/วินาที
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	=	16,900	กิโลจูล/กิโลกรัม
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	=	$\frac{5,034.56}{16,900} \times (60 \times 60)$	
	=	1,072.45	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ	=	299 (วัน/ปี) \times 24 (ชั่วโมง/วัน)	
	=	7,176	ชั่วโมง/ปี
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม	=	1,072.45 \times 7,176	
	=	7,695,901.20	กิโลกรัม/ปี
คิดเป็นมูลค่า	=	7,695,901.20 \times 2.7042	
	=	20,811,256.03	บาท/ปี

สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้	=	8,219,101.32 - 7,695,901.20
	=	523,200.12 กิโลกรัม/ปี
ประหยัดค่าใช้จ่ายได้	=	22,226,093.79 - 20,811,256.03
	=	1,414,837.76 บาท/ปี

จากการศึกษามาตรการการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำ รวมถึงการวิเคราะห์ศักยภาพของการประหยัดพลังงานจากการคำนวณมาตรการทางเลือกทั้ง 5 มาตรการข้างต้น ในการจัดทำข้อเสนอมาตรการการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำของโรงงาน กรณีศึกษา จะคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการนำไปปฏิบัติงานจริง จึงได้ทำการสัมภาษณ์และเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้จัดการโรงงาน ผู้จัดการโรงทอผ้า ผู้จัดการโรงฟอกย้อม ผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน ในโรงงาน และพนักงานด้านเทคนิคของแผนกระบบหม้อไอน้ำ โดยจะพิจารณาเลือกมาตรการด้วยแบบจำลองของค่าคะแนนแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Scoring Model) พิจารณาจากเกณฑ์ และให้น้ำหนักความสำคัญดังนี้ งบประมาณในการลงทุน (40%) ระยะเวลาของการปรับปรุง (30%) และผลกระทบที่เกิดขึ้นในระหว่างการปรับปรุง (30%) โดยในแต่ละเกณฑ์มีคะแนนแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 4.12 และแสดงสรุปรายละเอียดของแต่ละมาตรการดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 คำอธิบายการให้คะแนนสำหรับการพิจารณาเลือกมาตรการ

เกณฑ์การพิจารณา	ระดับคะแนน	คำอธิบาย
1. งบประมาณในการลงทุน (40%)	1	งบประมาณในการดำเนินการสูง
	3	งบประมาณในการดำเนินการค่อนข้างสูง
	3	งบประมาณในการดำเนินการปานกลาง
	4	งบประมาณในการดำเนินการค่อนข้างต่ำ
	5	งบประมาณในการดำเนินการต่ำ/ไม่มี
2. ระยะเวลาของการปรับปรุง (30%)	1	ระยะเวลาในการดำเนินการมาก
	2	ระยะเวลาในการดำเนินการค่อนข้างมาก
	3	ระยะเวลาในการดำเนินการปานกลาง
	4	ระยะเวลาในการดำเนินการค่อนข้างน้อย
	5	ระยะเวลาในการดำเนินการน้อย
3. ผลกระทบที่เกิดขึ้น (30%)	1	มีผลกระทบต่อการผลิตสูง
	2	มีผลกระทบต่อการผลิตค่อนข้างสูง
	3	มีผลกระทบต่อการผลิตปานกลาง
	4	มีผลกระทบต่อการผลิตค่อนข้างต่ำ
	5	มีผลกระทบต่อการผลิตต่ำ/ไม่มี

ตารางที่ 4.13 สรุปมาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงานความร้อนของโรงงานกรณีศึกษา

มาตรการ	เกณฑ์การพิจารณา			ศักยภาพในการประหยัดพลังงานความร้อน
	งบประมาณ	ระยะเวลา	ผลกระทบ	
1. มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ	ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์และวางแผนงาน	มีผลกระทบต่อแผนการผลิต ที่ต้องมีการปรับลดเวลาลง	- ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์มได้ 37.79 ตัน/ปี - ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 102,204.81 บาท/ปี
2. มาตรการการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์	ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ใช้ระยะเวลาในการวางแผน	มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้	- ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 818,668.50 บาท/ปี
3. มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ	ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ใช้ระยะเวลาในการวางแผน	มีผลกระทบต่อตารางการผลิต ที่ต้องมีการจัดการเพื่อรักษาระดับความดันไอน้ำให้เพียงพอต่อการใช้งาน	- ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์มได้ 14.42 ตัน/ปี - ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 38,999.22 บาท/ปี

ตารางที่ 4.13 สรุปมาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหารจัดการพลังงานความร้อนของโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

มาตรการ	เกณฑ์การพิจารณา			ศักยภาพในการประหยัดพลังงานความร้อน
	งบประมาณ	ระยะเวลา	ผลกระทบ	
4. มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ	ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ใช้ระยะเวลาในการวางแผนจัดตารางการผลิต	มีผลกระทบกับพนักงานในการปรับเปลี่ยนตารางการผลิตใหม่	<ul style="list-style-type: none"> - ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์มได้ 222.88 ตัน/ปี - ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 602,724.32 บาท/ปี
5. มาตรการติดตั้งนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน	มีงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์สำหรับติดตั้ง	ใช้ระยะเวลาในการติดตั้งใหม่	ไม่มีผลกระทบ เพราะไม่ต้องหยุดระบบเพื่อดำเนินการ	<ul style="list-style-type: none"> - ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์มได้ 523.20 ตัน/ปี - ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 1,414,837.76 บาท/ปี

จากการเก็บข้อมูลและสัมภาษณ์ผู้จัดการโรงงาน ผู้จัดการโรงทอผ้า ผู้จัดการโรงพอกย้อม ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานในโรงงาน และพนักงานด้านเทคนิคของแผนกระบบหม้อไอน้ำ ดังแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก จ. สามารถเลือกมาตรการเพื่อนำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับจัดทำข้อเสนอมาตรการการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งจากผลการประเมินดังตารางที่ 4.14 ได้พิจารณาเลือกมาตรการที่จะทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในหัวข้อต่อไป มีทั้งหมด 2 มาตรการ คือ มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ และมาตรการมาตรการติดฉนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน เนื่องจากมาตรการการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ ในการเปิดเครื่องแต่ละครั้งจะต้องใช้เวลาในการอุ่นเครื่อง และปรับสภาวะของเครื่องซึ่งจะส่งผลกระทบต่อตารางการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สำหรับมาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ เป็นมาตรการที่มีความเสี่ยงต่อความเพียงพอในการใช้งานของอุปกรณ์ปลายทาง จะต้องมีการวิเคราะห์และการวางแผนอย่างรอบครอบ และในส่วนมาตรการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์นั้น การดำเนินการตามมาตรการอาจได้รับผลกระทบจากคุณภาพ ความชื้นที่ไม่แน่นอนของเชื้อเพลิง ขณะเดียวกันต้องมีการจัดการพื้นที่การจัดเก็บ และการดูแลรักษา

ตารางที่ 4.14 การคัดเลือกเพื่อจัดทำข้อเสนอมาตรการบริหารจัดการพลังงานความร้อนของโรงงาน

ทางเลือกมาตรการในการปรับปรุง	เกณฑ์ในการพิจารณา และค่าถ่วงน้ำหนัก			รวมคะแนน	ลำดับความสำคัญ
	งบประมาณ (40%)	ระยะเวลา (30%)	ผลกระทบ (30%)		
1. มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ	4.2	2.4	3	3.3	3
2. มาตรการการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์	4.8	2.2	1.8	3.12	5
3. มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ	5	2	2	3.2	4
4. มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ	5	2.6	3	3.68	1
5. มาตรการติดฉนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน	2.2	3.8	4.8	3.46	2

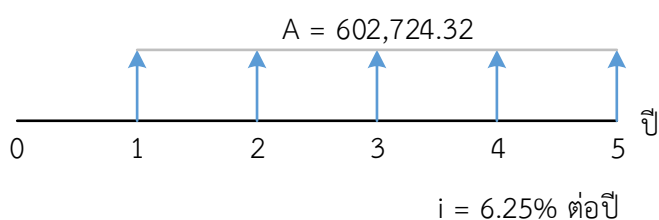
4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำของโรงงานการศึกษา

การจัดทำข้อเสนอมาตรการการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำของโรงงานในกรณีศึกษา จะต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้ก่อนเริ่มดำเนินการทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ สำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์จะทำการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนกับผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตจากการดำเนินการตามมาตรการ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจว่ามาตรการนั้นเหมาะสมต่อการลงทุนหรือไม่ โดยจะทำการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value, NPV) ผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.6.1 มาตรการการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ

มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำโดยการจัดตารางการผลิตใหม่โดยไม่ให้กระทบต่อการส่งงานเป็นวิธีการจัดการเพื่อลดความผันแปรของอัตราการผลิตไอน้ำ ซึ่งการดำเนินมาตรการนี้ จะไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน แต่จะต้องมีการวางแผนจากฝ่ายวางแผนและควบคุมการผลิตของโรงงาน ที่จะต้องจัดตารางการผลิตให้มีความเหมาะสม ไม่กระทบต่อการส่งงาน ทั้งยังต้องมีความคล่องตัวในการทำงานสำหรับพนักงานซึ่งการดำเนินมาตรการนี้จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ 3,766,672 เมกะจูล/ปี หรือคิดเป็นมูลค่า 602,724.32 บาท/ปี โดยสามารถวิเคราะห์ความคุ้มค่าของเศรษฐศาสตร์คิดที่อัตราดอกเบี้ย 6.25% และอายุโครงการ 5 ปี ได้ ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value, NPV) สามารถวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิได้ ดังนี้



รูปที่ 4.30 แผนภาพกระแสเงินสดของมาตรการควบคุมระดับการเผาไหม้โดยการจัดตารางการผลิตใหม่

จากสมการที่ 2.29

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0$$

จะได้

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{602,724.32}{(1 + 0.0625)^1} + \frac{602,724.32}{(1 + 0.0625)^2} + \frac{602,724.32}{(1 + 0.0625)^3} \\ &\quad + \frac{602,724.32}{(1 + 0.0625)^4} + \frac{602,724.32}{(1 + 0.0625)^5} - 0 \end{aligned}$$

$$NPV = 2,521,719.73 \quad \text{บาท}$$

2. ผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

จากสมการที่ 2.30 สามารถวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในได้ ดังนี้

$$\text{เมื่อ } ES_t = 602,724.32$$

$$i = 6.25\% = 0.0625$$

$$I_0 = 0 \quad \text{เนื่องจากไม่มีเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ}$$

จะได้

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1 + IRR)^t} - I_0$$

$$0 = \frac{602,724.32}{(1 + IRR)^1} + \frac{602,724.32}{(1 + IRR)^2} + \frac{602,724.32}{(1 + IRR)^3} + \frac{602,724.32}{(1 + IRR)^4} + \frac{602,724.32}{(1 + IRR)^5} - 0$$

$$IRR = \text{เข้าใกล้ Infinity}$$

3. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

จากสมการที่ 2.31 สามารถวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในได้ ดังนี้

$$\text{เมื่อ } A = 602,724.32$$

$$C_0 = 0 \quad \text{เนื่องจากไม่มีเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ}$$

จะได้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{มูลค่าของค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนเฉลี่ยสุทธิต่อปี}}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{มูลค่าของค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี}}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{0}{602,724.32}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 0$$

4.6.2 มาตรการลดอุณหภูมิความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน

มาตรการลดอุณหภูมิความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อนทำโดยการลดอุณหภูมิความร้อนที่บริเวณผนังภายนอกของห้องเผาไหม้ทั้ง 4 ด้านของหม้อไอน้ำด้วยซิลิกาบอร์ด หรือ แคลเซียมซิลิเกตชนิดแผ่น โดยมีคุณสมบัติของฉนวน ดังภาคผนวก ง.2 และรายละเอียดการของโครงการดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 รายละเอียดการของมาตรการลดอุณหภูมิความร้อน

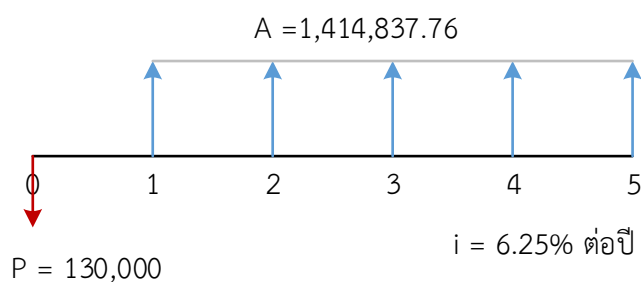
รายละเอียด	ค่า	หน่วย
เงินลงทุนทั้งหมด (ค่าวัสดุ+ค่าติดตั้ง)	130,000	บาท
ประหยัดพลังงานความร้อนได้	8,842,082.03	เมกะจูล/ปี
คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้	1,414,837.76	บาท/ปี
ระยะเวลาโครงการ	5	ปี
อัตราดอกเบี้ย	6.25	%

ที่มา: ข้อมูลการลงทุน เป็นข้อมูลจากการเสนอราคาของบริษัทแห่งหนึ่ง ที่รวมค่าวัสดุพร้อมการติดตั้ง

สามารถวิเคราะห์ความคุ้มค่าของเศรษฐศาสตร์ได้ ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value, NPV)

สามารถวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิได้ ดังนี้



รูปที่ 4.31 แผนภาพกระแสเงินสดของมาตรการลดอุณหภูมิความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน

จากสมการที่ 2.29

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

จะได้

$$I_0 = 130,000 \quad i = 0.0625$$

$$t = 1; \quad ES_1 = 1,414,837.76$$

$$t = 2; \quad ES_2 = 1,414,837.76$$

$$t = 3; \quad ES_3 = 1,414,837.76$$

$$t = 4; \quad ES_4 = 1,414,837.76$$

$$t = 5; \quad ES_5 = 1,414,837.76$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0$$

$$NPV = \left[\frac{1,414,837.76}{(1+0.0625)^1} + \frac{1,414,837.76}{(1+0.0625)^2} + \frac{1,414,837.76}{(1+0.0625)^3} + \frac{1,414,837.76}{(1+0.0625)^4} + \frac{1,414,837.76}{(1+0.0625)^5} \right] - 130,000$$

$$NPV = 5,789,496.16 \quad \text{บาท}$$

2. ผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

จากสมการที่ 2.30 สามารถวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในได้ ดังนี้

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} - I_0$$

จะได้

$$I_0 = 130,000 \quad i = 0.0625$$

$$t = 1; \quad ES_1 = 1,414,837.76$$

$$t = 2; \quad ES_2 = 1,414,837.76$$

$$t = 3; \quad ES_3 = 1,414,837.76$$

$$t = 4; \quad ES_4 = 1,414,837.76$$

$$t = 5; \quad ES_5 = 1,414,837.76$$

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} - 130,000$$

$$130,000 = \frac{1,414,837.76}{(1 + \text{IRR})^1} + \frac{1,414,837.76}{(1 + \text{IRR})^2} + \frac{1,414,837.76}{(1 + \text{IRR})^3} + \frac{1,414,837.76}{(1 + \text{IRR})^4} + \frac{1,414,837.76}{(1 + \text{IRR})^5}$$

$$\text{IRR} = 1,088.332\%$$

3. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

จากสมการที่ 2.31 สามารถวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในได้ ดังนี้

$$\text{เมื่อ } A = 1,414,837.76$$

$$C_0 = 130,000$$

จะได้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{มูลค่าของค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนเฉลี่ยสุทธิต่อปี}}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{มูลค่าของค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี}}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{130,000}{1,414,837.76}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 0.092 \quad \text{ปี}$$

4.6.3 กรณีที่มีการดำเนินการพร้อมกันทั้ง 2 มาตรการ

การดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ ทำโดยการจัดการวางการผลิตใหม่ โดยไม่ให้กระทบต่อการส่งงานเพื่อลดความผันแปรของอัตราการผลิตไอน้ำ พร้อมทั้งติดตั้งความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน ทำโดยการติดตั้งความร้อนที่บริเวณผนังภายนอกของห้องเผาไหม้ทั้ง 4 ด้านของหม้อไอน้ำด้วยแคลเซียมซิลิเกตชนิดแผ่น แสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ศักยภาพการประหยัดพลังงานดังภาคผนวก ง.6 และรายละเอียดการของโครงการดังตารางที่ 4.16

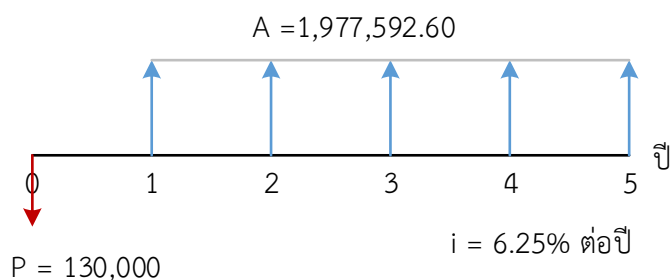
ตารางที่ 4.16 รายละเอียดการของการดำเนินการทั้ง 2 มาตรการพร้อมกัน

รายละเอียด	ค่า	หน่วย
เงินลงทุนทั้งหมด (ค่าวัสดุ+ค่าติดตั้ง)	130,000	บาท
ประหยัดพลังงานความร้อนได้	12,358,970	MJ/ปี
คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้	1,977,592.60	บาท/ปี
ระยะเวลาโครงการ	5	ปี
อัตราดอกเบี้ย	6.25	%

สามารถวิเคราะห์ความคุ้มค่าของเศรษฐศาสตร์ได้ ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value, NPV)

สามารถวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิได้ ดังนี้



รูปที่ 4.32 แผนภาพกระแสเงินสดของมาตรการ

จัดตารางการผลิตใหม่และมาตรการติดตั้งนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน

จากสมการที่ 2.29

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

จะได้

$$I_0 = 130,000 \quad i = 0.0625$$

$$t = 1; \quad ES_1 = 1,977,592.60$$

$$t = 2; \quad ES_2 = 1,977,592.60$$

$$t = 3; \quad ES_3 = 1,977,592.60$$

$$t = 4; \quad ES_4 = 1,977,592.60$$

$$t = 5; \quad ES_5 = 1,977,592.60$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0$$

$$NPV = \frac{1,977,592.60}{(1+0.0625)^1} + \frac{1,977,592.60}{(1+0.0625)^2} + \frac{1,977,592.60}{(1+0.0625)^3} \\ + \frac{1,977,592.60}{(1+0.0625)^4} + \frac{1,977,592.60}{(1+0.0625)^5} - 130,000$$

$$NPV = 8,143,988.81 \quad \text{บาท}$$

2. ผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

จากสมการที่ 2.30 สามารถวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในได้ ดังนี้

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} - I_0$$

จะได้

$$I_0 = 130,000 \quad i = 0.0625$$

$$t = 1; ES_1 = 1,977,592.60$$

$$t = 2; ES_2 = 1,977,592.60$$

$$t = 3; ES_3 = 1,977,592.60$$

$$t = 4; ES_4 = 1,977,592.60$$

$$t = 5; ES_5 = 1,977,592.60$$

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} - 130,000$$

$$130,000 = \frac{1,977,592.60}{(1+IRR)^1} + \frac{1,977,592.60}{(1+IRR)^2} + \frac{1,977,592.60}{(1+IRR)^3} \\ + \frac{1,977,592.60}{(1+IRR)^4} + \frac{1,977,592.60}{(1+IRR)^5}$$

$$IRR = 1,521.2237\%$$

3. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

จากสมการที่ 2.31 สามารถวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในได้ ดังนี้

$$\text{เมื่อ } A = 1,977,592.60$$

$$C_0 = 130,000$$

จะได้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{มูลค่าของค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ต้นทุนปล้งงานที่ประหยัดได้ต่อปี}}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{130,000}{1,977,592.60}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 0.066 \quad \text{ปี}$$

4.7 ผลการเปรียบเทียบมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำ

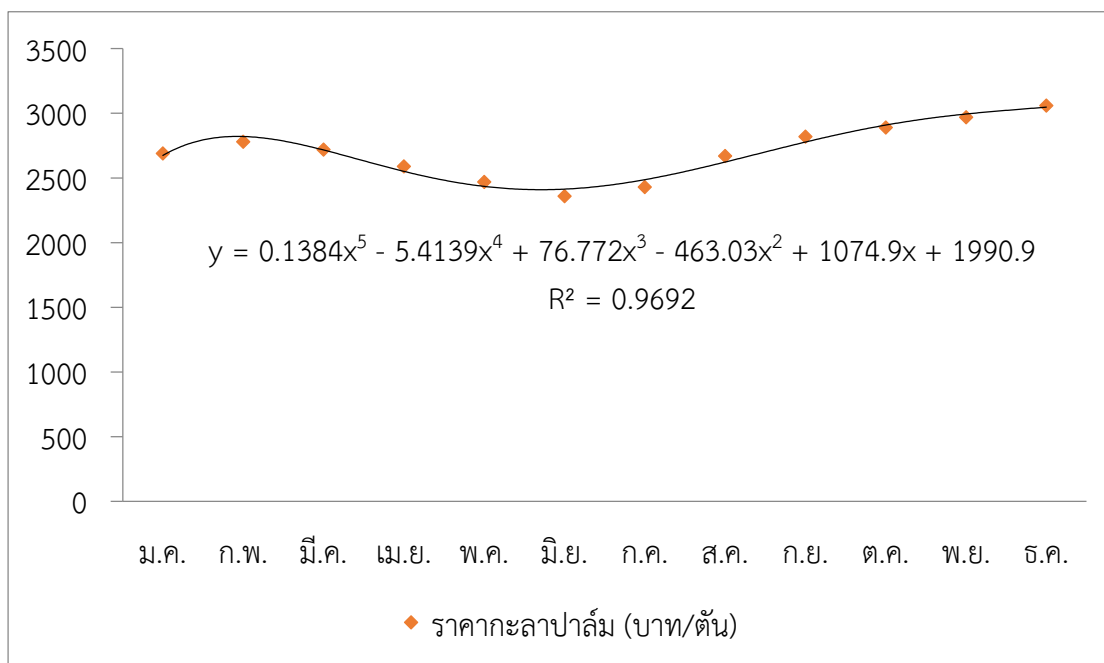
เมื่อพิจารณาข้อมูลจากหัวข้อที่ 4.6.1 มาตรการการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำด้วยการจัดตารางการผลิตใหม่โดยไม่ให้กระทบต่อการส่งงาน และ หัวข้อที่ 4.6.2 มาตรการลดอุณหภูมิความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อนทำโดยการลดอุณหภูมิที่บริเวณผนังภายนอกของห้องเผาไหม้ ทั้ง 4 ด้านของหม้อไอน้ำรวมถึงในหัวข้อที่ 4.6.3 ที่มีการวิเคราะห์ในกรณีดำเนินการตามมาตรการทั้ง 2 มาตรการพร้อมกัน โดยนำผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์มาเปรียบเทียบแสดงผลดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

มาตรการ	รายการ	มูลค่า
มาตรการที่ 1 มาตรการการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ	มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ (NPV)	2,521,719.73 บาท
	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	เข้าใกล้ ∞
	ระยะเวลาคืนทุน (PBP)	0 ปี
มาตรการที่ 2 มาตรการลดอุณหภูมิความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน	มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ (NPV)	5,789,496.16 บาท
	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	1,088.3321%
	ระยะเวลาคืนทุน (PBP)	1.104 เดือน
ดำเนินการพร้อมกันทั้ง 2 มาตรการ	มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ (NPV)	8,143,988.81 บาท
	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	1,521.2237%
	ระยะเวลาคืนทุน (PBP)	0.792 เดือน

จากตารางที่ 4.17 เมื่อพิจารณามูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PBP) โดยมาตรการที่ดีที่สุดและเมื่อนำไปใช้จริงจะเกิดประโยชน์สูงสุดจะต้องมีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิมากกว่าเงินลงทุน อัตราผลตอบแทนภายในมีค่าสูง และมีระยะเวลาคืนทุนต่ำ จะเป็นมาตรการที่ให้ความคุ้มค่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 มาตรการจะเห็นได้ว่า การดำเนินพร้อมกัน ทั้ง 2 มาตรการ มีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิมากกว่าเงินลงทุน และมีมูลค่าสูงกว่ามาตรการที่ 1 และ 2 อัตราผลตอบแทนภายในจากการคำนวณมีค่ามากกว่าอัตราคิดลดและมากกว่ามาตรการที่ 2 และในส่วนของระยะเวลาคืนทุนมีระยะเวลาคืนทุนที่น้อยกว่ามาตรการที่ 2 แม้ว่า จะมีอัตราผลตอบแทนภายในที่น้อยกว่าและระยะเวลาในการคืนทุนที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรการที่ 1 ทั้งนี้ เนื่องจากมาตรการที่ 1 เป็นมาตรการที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน แต่หากมีการลงทุนเพิ่มเติมโดยดำเนินการพร้อมกันทั้ง 2 มาตรการจะให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่ามากขึ้น สำหรับดำเนินพร้อมกันทั้ง 2 มาตรการ มีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ 8,143,988.81 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน 1,521.2237% และระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 1 เดือน

ทั้งนี้ราคาเชื้อเพลิงกะลาปาล์มมีความเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของราคากะลาปาล์มที่มีผลต่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์ราคากะลาปาล์มจากราคาที่โรงงานกรณีศึกษาซื้อในปี 2560 ดังกราฟรูปที่ 4.33 เพื่อนำสมการแนวโน้มมาใช้ในการพยากรณ์ราคาเชื้อเพลิงในแต่ละเดือน



รูปที่ 4.33 แนวโน้มราคากะลาปาล์มในแต่ละเดือนตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม ปี 2560

โดยก่อนการดำเนินการตามมาตรการ โรงงานในกรณีศึกษามีการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์มสำหรับหม้อไอน้ำ คิดเป็นมูลค่า 22,226,093.79 บาท/ปี

การวิเคราะห์ราคากระดาษปาล์ม สามารถแบ่งช่วงราคากระดาษปาล์มได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

1. กรณีช่วงราคาซื้อเพลิงกระดาษปาล์มต่ำสุด

การดำเนินการตามมาตรการ 2 มาตรการพร้อมกัน มีการใช้ซื้อเพลิงกระดาษปาล์ม

คิดเป็นมูลค่า	=	$7,487,797.2 \times 2.40616$
	=	18,016,838.11 บาท/ปี
ประหยัดค่าใช้จ่ายได้	=	$22,226,093.79 - 18,016,838.11$
	=	4,209,255.68 บาท/ปี
NPV	=	17,480,975.28
IRR	=	3,237.89%
ระยะเวลาคืนทุน (PBP)	=	0.031 ปี

2. ช่วงราคาซื้อเพลิงกระดาษปาล์มปานกลาง

การดำเนินการตามมาตรการ 2 มาตรการพร้อมกัน มีการใช้ซื้อเพลิงกระดาษปาล์ม

คิดเป็นมูลค่า	=	$7,487,797.2 \times 2.69268$
	=	20,162,264.23 บาท/ปี
ประหยัดค่าใช้จ่ายได้	=	$22,226,093.79 - 20,162,264.23$
	=	2,063,829.56 บาท/ปี
NPV	=	8,504,792.98
IRR	=	1,587.56%
ระยะเวลาคืนทุน (PBP)	=	0.016 ปี

3. กรณีช่วงราคาซื้อเพลิงกระดาษปาล์มสูงสุด

การดำเนินการตามมาตรการมีการใช้ซื้อเพลิงกระดาษปาล์ม

คิดเป็นมูลค่า	=	$7,487,797.2 \times 2.959408$
	=	21,924,270.2 บาท/ปี
ประหยัดค่าใช้จ่ายได้	=	$22,226,093.79 - 21,924,270.2$
	=	301,823.59 บาท/ปี
NPV	=	148,841.72
IRR	=	42.56032%
ระยะเวลาคืนทุน (PBP)	=	1.951 ปี

จากการวิเคราะห์ผลกระทบ เมื่อราคาซื้อเพลิงกระดาษปาล์มเมื่อราคากระดาษปาล์มเปลี่ยนแปลง 2,406.16 ถึง 2,959.408 บาท พบว่ายังคงมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โรงงานในกรณีศึกษาเป็น โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดราชบุรี มีการประกอบกิจการผลิตผ้าฝ้าย ที่มีกระบวนการผลิตหลัก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือกระบวนการทอ และกระบวนการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ มีกำลังการผลิต 6,000 ตัน/ปี ดำเนินการผลิต 299 วัน/ปี โดยมีการผลิต 24 ชั่วโมง/วัน ซึ่งจากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2559 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2560 พบว่า โรงงานมีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตแบ่ง ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และพลังงานความร้อนที่ได้จาก หม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน จำนวน 1 ตัว โดยมีกะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิงหลัก มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 36,988,704 เมกะจูล/ปี และมีการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ย 230,009,375 เมกะจูล/ปี คิดเป็น สัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนถึง 86.15% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในโรงงาน ซึ่งจากการ วิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน พบว่า มีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า 3.27 จิกะจูล/ตัน พลังงานความร้อน 5.93 จิกะจูล/ตัน สำหรับกระบวนการทอ ขณะเดียวกันในกระบวนการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ มีดัชนี การใช้พลังงานไฟฟ้า 4.07 จิกะจูล/ตัน พลังงานความร้อน 34.73 จิกะจูล/ตัน นั้นแสดงให้เห็นว่า โรงงานในกรณีศึกษามีการใช้พลังงานความร้อนต่อหน่วยผลผลิตที่สูงกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งพิจารณาวิเคราะห์การใช้พลังงานความร้อนของโรงงาน

เมื่อทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานความร้อนของโรงงานกรณีศึกษา พบว่า หม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวลน้ำขนาด 6 ตัน เป็นแหล่งผลิตพลังงานความร้อนหลักของโรงงานที่มีความเหมาะสมสำหรับการพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อน จึงได้ทำการตรวจวัดและ วิเคราะห์การใช้พลังงานของหม้อไอน้ำ โดยทำการเก็บข้อมูลพร้อมทั้งตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวบริเวณ ผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ แล้ววิเคราะห์ค่าการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้น จากการวิเคราะห์ พบว่า หม้อไอน้ำมีการสูญเสียความร้อนที่บริเวณผนังห้องเผาไหม้ทั้ง 4 ด้านเฉลี่ย 21.23 กิโลวัตต์ (548,447.328 เมกะจูล/ปี) มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของห้องเผาไหม้ 44.31% และมี ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ เฉลี่ย 44.13% ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของหม้อไอน้ำ ชนิดเชื้อเพลิงแข็ง (75% ขึ้นไป สำหรับหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงแข็ง) จึงได้ศึกษาหามาตรการที่เป็นไปได้ ในการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำด้วยการวิเคราะห์ปัจจัย และพิจารณาเลือก มาตรการด้วยแบบจำลองของค่าคะแนนแบบถ่วงน้ำหนัก ซึ่งจากการเก็บข้อมูลและการสัมภาษณ์ ผู้จัดการโรงงาน ผู้จัดการโรงทอผ้า ผู้จัดการโรงฟอกย้อม ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานในโรงงาน และ พนักงานด้านเทคนิคของแผนกระบบหม้อไอน้ำ สามารถเลือกมาตรการในการปรับปรุงประสิทธิภาพ เชิงความร้อนของหม้อไอน้ำของโรงงานกรณีศึกษาได้ดังนี้

1) มาตรการการควบคุมอัตราการผลิตน้ำ ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่า หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพพรหมหลังการดำเนินการตามมาตรการ เฉลี่ยเท่ากับ 45.36% สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้ 222.88 ตัน/ปี (3,766,672 เมกะจูล/ปี) คิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 602,724.32 บาท/ปี และเมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ตลอดระยะเวลาโครงการ 5 ปี พบว่า มีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ 2,521,719.73 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายในจากการคำนวณมีค่าไม่สิ้นสุด และไม่มีระยะในการคืนทุน เนื่องจากเป็นมาตรการที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน

2) มาตรการติดฉนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อนดำเนินการโดยการติดฉนวนความร้อนที่บริเวณผนังภายนอกของห้องเผาไหม้ทั้ง 4 ด้านของหม้อไอน้ำด้วยฉนวนความร้อนแคลเซียมซิลิเกตชนิดแผ่น ความหนา 2.5 มิลลิเมตร พบว่า ค่าการสูญเสียความร้อนจากการคำนวณมีค่าลดลงจากก่อนการดำเนินการตามมาตรการ โดยมีค่าการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 18.45 กิโลวัตต์ และมีประสิทธิภาพพรหมของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการ เฉลี่ยเท่ากับ 47.13% สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้ 523.20 ตัน/ปี (8,842,082.03 เมกะจูล/ปี) คิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 1,414,837.76 บาท/ปี และเมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ตลอดระยะเวลาโครงการ 5 ปี พบว่า มีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ 5,789,496.16 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน 1,088.332% มีระยะในการคืนทุนประมาณ 1 เดือน (0.092 ปี)

3) เป็นการดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำโดยการจัดตารางการผลิตใหม่ (มาตรการที่ 1) พร้อมทั้ง มาตรการการติดฉนวนความร้อนบริเวณผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ (มาตรการที่ 2) พบว่า หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพพรหมหลังการดำเนินการตามมาตรการ เฉลี่ยเท่ากับ 48.44% สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้ 731.30 ตัน/ปี คิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 1,977,592.6 บาท/ปี และเมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ตลอดระยะเวลาโครงการ 5 ปี พบว่า มีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ 8,143,988.81 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน 1,521.2237% มีระยะเวลาในการคืนทุนน้อยกว่า 1 เดือน (0.066 ปี)

จากการวิเคราะห์มาตรการพบว่า การดำเนินการตามมาตรการติดฉนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน (มาตรการที่ 2) ให้ผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากกว่า มาตรการการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ (มาตรการที่ 1) แต่หากมีการดำเนินการพร้อมกันทั้ง 2 มาตรการจะมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด เนื่องจากมีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิมากกว่าเงินลงทุนและมากกว่ามาตรการที่ 1 และ 2 อัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าอัตราคิดลดและมากกว่ามาตรการที่ 2 และให้ระยะในการคืนทุนที่เร็วกว่า มาตรการที่ 2 แม้ว่าจะมีอัตราผลตอบแทนภายในที่น้อยกว่า และระยะในการคืนทุนที่มากกว่ามาตรการที่ 1 เนื่องด้วยมาตรการที่ 1 เป็นมาตรการที่ไม่ใช้เงินลงทุน แต่หากมีการลงทุนและดำเนินการพร้อมกันทั้ง 2 มาตรการ จะให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าตามมาตรการการบริหารจัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำกรณีศึกษานั้น หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพรวมเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ทั้งนี้ด้วยข้อจำกัดของขอบเขตในการศึกษาปัจจัย ทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลและศึกษาปัจจัยในด้านอื่นๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในห้องเผาไหม้ และประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ จากการศึกษาวิเคราะห์จากข้อมูลในครั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของห้องเผาไหม้มีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งการสะสมตัวของขี้เถ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นหนึ่งปัจจัยที่ควรพิจารณาอย่างยิ่งสำหรับหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงแข็ง ด้วยสภาพการใช้งานในปัจจุบันที่โรงงานกรณีศึกษามีหม้อไอน้ำเพียง 1 ตัว และมีการผลิต 24 ชั่วโมง จึงไม่สามารถกำจัดขี้เถ้าได้ด้วยการบำรุงรักษาประจำวัน จะกำจัดได้เมื่อหยุดเครื่อง จึงคาดว่าจะเป็ปัจจัยนอกขอบเขตของการศึกษาปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำต่ำลง โดยในอนาคตหากโรงงานมีการติดตั้งหม้อไอน้ำเพิ่มเติม จะสามารถหยุดการทำงานของหม้อไอน้ำเพื่อทำความสะอาดและบำรุงรักษาได้ ซึ่งจะช่วยให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา, **อุตสาหกรรมสิ่งทอไทย**. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2544
- [2] ศูนย์ข้อมูลสิ่งทอ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. “**สถานการณ์อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทย เดือนสิงหาคม 2561.**” [Online]. Available: <https://www.thaitextile.org/th/insign/detail.699.1.0.html>.
- [3] ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, **เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมและกรณีศึกษา**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548.
- [4] ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. “**รายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย 2560.**” [Online]. Available: http://www.dede.go.th/download/state_61/Thailand_Energy_Efficiency_Situation_2017.pdf.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน. “**พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550).**” [Online]. Available: http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=134.
- [6] ลีลี โกศัยยานนท์, **คู่มือวิชาการสิ่งทอ**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2541.
- [7] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ และคณะ, ผู้แปลและเรียบเรียง. **ประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น, 2544.
- [8] ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, **เทคโนโลยีการจัดการและการอนุรักษ์พลังงาน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2554.
- [9] สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรมสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, **คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ**. กรุงเทพฯ : ศูนย์เผยแพร่แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม, 2558.
- [10] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน)**. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553.
- [11] โครงการพัฒนาคุณภาพหม้อไอน้ำในภาคอุตสาหกรรม, **คู่มือการปฏิบัติงานที่ดีสำหรับหม้อไอน้ำ**. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551.
- [12] โครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือจากโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535, **คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ**. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- [13] ระนอง พยัคฆพันธ์ และคณะ, ผู้แปลและเรียบเรียง. **เทคนิคการประหยัดพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น, 2543.
- [14] ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง, ผู้แปลและเรียบเรียง. **การถ่ายเทความร้อน**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป, 2547.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [15] จันนทนา จันทโร และ ศิริจันทร์, การศึกษาความเป็นไปได้โครงการด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2540.
- [16] สุภาพร พิศาลบุตร, การวางแผนและการบริหารโครงการ. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2549.
- [17] สมศักดิ์ จันทโภาศ, “ศักยภาพการประหยัดพลังงานในโรงงานสิ่งทอ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2543.
- [18] วุฒิสักดิ์ ทะนวนรัมย์, “ศักยภาพการประหยัดพลังงานและอุปสรรคของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2550.
- [19] พัชรมาศ นุ่มดี, “การศึกษาประสิทธิภาพและตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2553.
- [20] สุวิทย์ ภูลี, “การปรับปรุงงานบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2554.
- [21] พงศ์ปิติ เดชะศิริ, “ศักยภาพการประหยัดพลังงานและอุปสรรคของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- [22] A. Hasanbeigi, and L. Price, “A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 3648-3665, 2012.
- [23] ฉิมภา แก้วเหี้ย, “ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพลังงานความร้อนสูญเสียของหม้อไอน้ำกลับมาใช้ใหม่ กรณีศึกษาโรงงานท่อน้ำกระป๋อง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555.
- [24] Alkaya E. and Demirer G.N. “Sustainable textile production: A case study from a woven fabric manufacturing mill in Turkey,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 65 pp. 595-603, 2014.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [25] J. Bujak, “Energy savings and heat efficiency in the paper industry: A case study of a corrugated board machine,” **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 33, pp. 1597-1608, 2008.
- [26] Gui-Bing Hong., et al. “Energy conservation potential in Taiwanese textile industry” **Energy Policy**, vol. 38, pp. 7048-7053, 2010.
- [27] V. A. F. Costa., et al. “Mass, energy and exergy analysis of a biomass boiler : A portuguese representative case of the pulp and paper industry,” **Applied Thermal Engineering**, vol. 152, pp. 350–361, 2019.
- [28] M. C. Barma., et al. “A review on boilers energy use, energy savings, and emissions reductions,” **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 79, pp. 970-983, 2017.
- [29] J. Phusrimuang and T. Wongwuttanasatian “Improvements on thermal efficiency of a biomass stove for a steaming process in Thailand,” **Applied Thermal Engineering**, vol. 98, pp. 196-202, 2016.
- [30] มานพ นิรัตน์, “การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนจากฉนวนเสื่อมสภาพโดยประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า สำหรับหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2560.
- [31] หลักสูตร การบริหารจัดการพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, **คู่มือการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551.

ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก.** แบบบันทึกข้อมูลการตรวจวัดสำหรับพลังงานไฟฟ้าและความร้อน
- ภาคผนวก ข.** ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานของกระบวนการทอและกระบวนการฟอก ย้อม
แต่งสำเร็จ ในกรณีศึกษา
- ภาคผนวก ค.** ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานระดับเครื่องจักรอุปกรณ์
- ภาคผนวก ง.** การวิเคราะห์ผลการดำเนินการตามมาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหาร
จัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำโรงงานในกรณีศึกษา
- ภาคผนวก จ.** การประเมินเพื่อจัดทำข้อเสนอมาตรการการบริหารพลังงานความร้อนสำหรับหม้อ
ไอน้ำโรงงานกรณีศึกษา
- ภาคผนวก ฉ.** เอกสารการตีพิมพ์

ภาคผนวก ก.

แบบบันทึกข้อมูลการตรวจวัดสำหรับพลังงานไฟฟ้าและความร้อน

ตารางที่ ก.1 แบบบันทึกข้อมูลการตรวจวัดสำหรับพลังงานไฟฟ้า

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (kV)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า			สำหรับหลอดแสงสว่าง			สำหรับเครื่องจักรกล		
				ค่า อ่าน	ค่า แตกต่าง	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ค่า อ่าน	ค่า แตกต่าง	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ค่า อ่าน	ค่า แตกต่าง	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
รวม				พลังงานไฟฟ้าที่ใช้		kWh	แสงสว่าง		kWh	เครื่องจักร		kWh

ภาคผนวก ข.

ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานของกระบวนการทอและกระบวนการ
ฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ ในกรณีศึกษา

ตารางที่ ข.1 ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานของกระบวนการทอและกระบวนการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ ในกรณีศึกษา ปี 2559

เดือน	กระบวนการทอผ้า					กระบวนการฟอกย้อม แต่งสำเร็จ				
	ปริมาณ ผลผลิต (Ton)	ปริมาณพลังงานที่ใช้		ดัชนีการใช้พลังงาน		ปริมาณ ผลผลิต (Ton)	ปริมาณพลังงานที่ใช้		ดัชนีการใช้พลังงาน	
		ไฟฟ้า (GJ)	ความร้อน (GJ)	ไฟฟ้า (GJ/Ton)	ความร้อน (GJ/Ton)		ไฟฟ้า (GJ)	ความร้อน (GJ)	ไฟฟ้า (GJ/Ton)	ความร้อน (GJ/Ton)
ม.ค. 59	283.41	911	2,078	3.21	7.33	495.09	1,994	18,701	4.03	37.77
ก.พ. 59	285.86	943	1,467	3.30	5.13	424.46	1,652	12,915	3.89	30.43
มี.ค. 59	382.84	1,189	1,877	3.11	4.90	574.47	2,325	16,895	4.05	29.41
เม.ย. 59	328.84	1,037	1,550	3.15	4.71	480.23	2,027	13,948	4.22	29.05
พ.ค. 59	356.42	1,105	1,910	3.10	5.36	549.01	2,374	17,188	4.33	31.31
มิ.ย. 59	333.07	1,020	1,914	3.06	5.75	530.90	2,143	17,223	4.04	32.44
ก.ค. 59	296.11	1,022	1,828	3.45	6.17	505.01	2,050	16,448	4.06	32.57
ส.ค. 59	285.16	990	1,703	3.47	5.97	495.10	2,088	15,323	4.22	30.95
ก.ย. 59	329.93	1,104	2,046	3.35	6.20	524.18	2,294	18,418	4.38	35.14
ต.ค. 59	366.11	1,215	1,714	3.32	4.68	516.80	2,210	15,425	4.28	29.85
พ.ย. 59	349.34	1,076	1,944	3.08	5.56	511.59	2,414	17,492	4.72	34.19
ธ.ค. 59	311.70	1,019	1,547	3.27	4.96	468.59	2,074	13,926	4.43	29.72
รวม	3,908.79	12,631	21,578	38.87	66.72	6,075.43	25,645	193,902	50.65	382.83
ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานเฉลี่ย				3.23	5.52	ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานเฉลี่ย			4.22	31.92

ตารางที่ ข.2 ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานของกระบวนการทอ และกระบวนการฟอก ย้อม แต่งสำเร็จ ในกรณีศึกษา ปี 2560

เดือน	กระบวนการทอผ้า					กระบวนการฟอกย้อม แต่งสำเร็จ				
	ปริมาณ ผลผลิต (Ton)	ปริมาณพลังงานที่ใช้		ดัชนีการใช้พลังงาน		ปริมาณ ผลผลิต (Ton)	ปริมาณพลังงานที่ใช้		ดัชนีการใช้พลังงาน	
		ไฟฟ้า (GJ)	ความร้อน (GJ)	ไฟฟ้า (GJ/Ton)	ความร้อน (GJ/Ton)		ไฟฟ้า (GJ)	ความร้อน (GJ)	ไฟฟ้า (GJ/Ton)	ความร้อน (GJ/Ton)
ม.ค. 60	351.26	1,075	1,677	3.06	4.77	451.75	1,737	15,094	3.84	33.41
ก.พ. 60	333.90	1,010	1,747	3.02	5.23	489.58	1,738	15,721	3.55	32.11
มี.ค. 60	338.24	1,093	2,365	3.23	6.99	560.51	2,180	21,286	3.89	37.98
เม.ย. 60	276.40	968	1,863	3.50	6.74	427.13	1,695	16,764	3.97	39.25
พ.ค. 60	325.58	906	2,033	2.78	6.24	502.63	2,245	18,293	4.47	36.39
มิ.ย. 60	326.30	1,304	2,129	4.00	6.53	464.58	1,760	19,165	3.79	41.25
ก.ค. 60	271.45	958	2,184	3.53	8.05	515.93	1,995	19,660	3.87	38.11
ส.ค. 60	327.41	1,134	2,168	3.46	6.62	500.44	1,998	19,511	3.99	38.99
ก.ย. 60	324.19	1,118	2,326	3.45	7.17	499.72	1,896	20,931	3.79	41.89
ต.ค. 60	332.44	1,100	2,411	3.31	7.25	519.20	1,959	21,701	3.77	41.80
พ.ย. 60	370.84	1,197	2,019	3.23	5.44	468.93	1,964	18,168	4.19	38.74
ธ.ค. 60	277.63	902	1,532	3.25	5.52	462.33	1,770	13,791	3.83	29.83
รวม	3,855.64	12,765	24,454	39.82	76.55	5,862.73	22,937	220,085	46.95	449.75
ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานเฉลี่ย				3.31	6.34	ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานเฉลี่ย			3.91	37.54

ภาคผนวก ค.

ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
ระดับเครื่องจักรอุปกรณ์

ค่าอุณหภูมิที่ผิวบริเวณผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ จากการตรวจวัด

ตารางที่ ค.1 ค่าอุณหภูมิที่ผิวบริเวณผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำด้านข้าง ฝั่งพื้นที่เปิด

เวลา	อุณหภูมิที่ผิว (°C)
9:30:00AM - 9:45:00AM	65.57
9:45:01AM - 10:00:01AM	67.61
10:00:02AM - 10:15:02AM	70.19
10:15:03AM - 10:30:03AM	71.84
10:30:04 AM - 10:45:04AM	72.29
10:45:05AM - 11:00:05AM	74.53
11:00:06AM - 11:15:06AM	76.64
11:15:07AM - 11:30:07AM	78.75
11:30:08AM - 11:45:08AM	81.11
12:15:11PM - 12:30:11PM	83.62
12:30:12PM - 12:45:12PM	83.92
12:45:13PM - 13:00:13PM	84.86
1:15:00PM - 1:30:00PM	57.38
1:30:01PM - 1:45:01PM	59.73
1:45:02PM - 2:00:02PM	61.03
2:00:03PM - 2:15:03PM	61.93
2:15:04PM - 2:30:04PM	62.08
2:30:05PM - 2:45:05PM	62.44
2:45:06PM - 3:00:06PM	62.82
3:00:07PM - 3:15:07PM	63.07
เฉลี่ย	68.61

ตารางที่ ค.2 ค่าอุณหภูมิที่ผิวบริเวณผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำด้านข้าง ฝั่งติดผนังอาคาร

เวลา	อุณหภูมิที่ผิว (°C)
9:30:00AM - 9:45:00AM	66.37
9:45:01AM - 10:00:01AM	65.27
10:00:02AM - 10:15:02AM	65.27
10:15:03AM - 10:30:03AM	65.28
10:30:04 AM - 10:45:04AM	66.46
10:45:05AM - 11:00:05AM	66.81
11:00:06AM - 11:15:06AM	67.73
11:15:07AM - 11:30:07AM	68.42
11:30:08AM - 11:45:08AM	69.66
12:15:11PM - 12:30:11PM	79.29
12:30:12PM - 12:45:12PM	77.76
12:45:13PM - 13:00:13PM	77.55
1:15:00PM - 1:30:00PM	77.37
1:30:01PM - 1:45:01PM	77.67
1:45:02PM - 2:00:02PM	77.62
2:00:03PM - 2:15:03PM	76.92
2:15:04PM - 2:30:04PM	77.19
2:30:05PM - 2:45:05PM	78.43
2:45:06PM - 3:00:06PM	78.80
3:00:07PM - 3:15:07PM	78.26
เฉลี่ย	72.91

ตารางที่ ค.3 ค่าอุณหภูมิที่ผิวบริเวณผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำด้านป้อนเชื้อเพลิง

เวลา	อุณหภูมิที่ผิว (°C)
9:30:00AM - 9:45:00AM	59.04
9:45:01AM - 10:00:01AM	62.80
10:00:02AM - 10:15:02AM	66.50
10:15:03AM - 10:30:03AM	69.83
10:30:04 AM - 10:45:04AM	72.62
10:45:05AM - 11:00:05AM	74.03
11:00:06AM - 11:15:06AM	74.62
11:15:07AM - 11:30:07AM	76.32
11:30:08AM - 11:45:08AM	77.81
12:15:11PM - 12:30:11PM	82.02
12:30:12PM - 12:45:12PM	83.95
12:45:13PM - 13:00:13PM	85.53
เฉลี่ย	73.76

ตารางที่ ค.4 ค่าอุณหภูมิที่ผิวบริเวณผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำด้านน้ำป้อน

เวลา	อุณหภูมิที่ผิว (°C)
12:15:11PM - 12:30:11PM	38.33
12:30:12PM - 12:45:12PM	40.18
12:45:13PM - 13:00:13PM	40.51
12:45:13PM - 13:00:13PM	41.51
1:15:00PM - 1:30:00PM	41.19
1:30:01PM - 1:45:01PM	42.24
1:45:02PM - 2:00:02PM	42.46
2:00:03PM - 2:15:03PM	42.47
2:15:04PM - 2:30:04PM	41.32
2:30:05PM - 2:45:05PM	40.31
2:45:06PM - 3:00:06PM	41.54
3:00:07PM - 3:15:07PM	41.26
เฉลี่ย	41.11

ตารางที่ ค.5 ค่าอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมโดยรอบ

เวลา	อุณหภูมิ (°C)
9:30:00AM - 9:45:00AM	29.25
9:45:01AM - 10:00:01AM	29.29
10:00:02AM - 10:15:02AM	29.84
10:15:03AM - 10:30:03AM	30.23
10:30:04 AM - 10:45:04AM	30.74
10:45:05AM - 11:00:05AM	31.05
11:00:06AM - 11:15:06AM	31.52
11:15:07AM - 11:30:07AM	31.80
11:30:08AM - 11:45:08AM	32.72
12:15:11PM - 12:30:11PM	33.74
12:30:12PM - 12:45:12PM	33.91
12:45:13PM - 13:00:13PM	34.09
1:15:00PM - 1:30:00PM	33.21
1:30:01PM - 1:45:01PM	33.65
1:45:02PM - 2:00:02PM	33.45
2:00:03PM - 2:15:03PM	33.96
2:15:04PM - 2:30:04PM	34.03
2:30:05PM - 2:45:05PM	33.90
2:45:06PM - 3:00:06PM	33.96
3:00:07PM - 3:15:07PM	34.12
เฉลี่ย	32.42

ตารางที่ ค.6 ค่าอุณหภูมิที่ผิวบริเวณผนังอาคาร

เวลา	อุณหภูมิ (°C)
9:30:00AM - 9:45:00AM	46.70
9:45:01AM - 10:00:01AM	46.78
10:00:02AM - 10:15:02AM	47.31
10:15:03AM - 10:30:03AM	47.80
10:30:04 AM - 10:45:04AM	49.16
10:45:05AM - 11:00:05AM	48.70
11:00:06AM - 11:15:06AM	48.57
11:15:07AM - 11:30:07AM	48.82
11:30:08AM - 11:45:08AM	48.75
12:15:11PM - 12:30:11PM	49.28
12:30:12PM - 12:45:12PM	49.98
12:45:13PM - 13:00:13PM	50.09
1:15:00PM - 1:30:00PM	50.89
1:30:01PM - 1:45:01PM	50.14
1:45:02PM - 2:00:02PM	51.24
2:00:03PM - 2:15:03PM	49.84
2:15:04PM - 2:30:04PM	49.80
2:30:05PM - 2:45:05PM	49.85
2:45:06PM - 3:00:06PM	49.46
3:00:07PM - 3:15:07PM	48.44
เฉลี่ย	49.08

ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศ

ตารางที่ ค.7 ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศ

The values of μ , k , c_p , and Pr are not strongly pressure-dependent and may be used over a fairly wide range of pressures							
T, K	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg · °C	$\mu \times 10^5$ kg/m · s	$\nu \times 10^6$ m ² /s	k W/m · °C	$\alpha \times 10^4$ m ² /s	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.31	0.02227	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

†From Natl. Bur. Stand. (U.S.) Circ. 564, 1955.

ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวอิ่มตัว ณ ความดันใดๆ

ตารางที่ ค.8 ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวอิ่มตัว ณ ความดันใดๆ

Press., P kPa	Sat. temp., T_{sat} °C	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวอิ่มตัว ณ อุณหภูมิใดๆ

ตารางที่ ค.9 ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวอิ่มตัว ณ อุณหภูมิใดๆ

Temp., T °C	Sat. press., P _{sat} kPa	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

ผลการคำนวณค่าเอนทาลปีของไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ

ตารางที่ ค.10 ค่าเอนทาลปีของไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ

เวลา	ความดัน ไอน้ำที่ผลิตได้ (kPa)	Enthalpy (kJ/kg)				
		h_f	h_{fg}	$h_f + xh_{fg}$	=	h_s
8:00	527.08	648.58	2,101.83	$648.58+(0.7 \times 2,101.83)$	=	2,119.86
9:00	544.74	654.12	2,097.80	$654.12+(0.7 \times 2,097.80)$	=	2,122.58
10:00	521.19	646.74	2,103.17	$646.74+(0.7 \times 2,103.17)$	=	2,118.95
11:00	550.62	655.95	2,096.47	$655.95+(0.7 \times 2,096.47)$	=	2,123.48
12:00	523.16	647.35	2,102.72	$647.35+(0.7 \times 2,102.72)$	=	2,119.26
13:00	548.66	655.35	2,096.91	$655.35+(0.7 \times 2,096.91)$	=	2,123.18
14:00	542.78	653.50	2,098.25	$653.50+(0.7 \times 2,098.25)$	=	2,122.28
15:00	511.38	643.66	2,105.40	$643.66+(0.7 \times 2,105.40)$	=	2,117.44
16:00	493.73	637.96	2,109.54	$637.96+(0.7 \times 2,109.54)$	=	2,114.64
17:00	517.27	645.51	2,104.06	$645.51+(0.7 \times 2,104.06)$	=	2,118.35
18:00	513.35	644.27	2,104.96	$644.27+(0.7 \times 2,104.96)$	=	2,117.75
19:00	554.55	657.10	2,095.62	$657.10+(0.7 \times 2,095.62)$	=	2,124.03
20:00	505.50	641.81	2,106.75	$641.81+(0.7 \times 2,106.75)$	=	2,116.54
21:00	578.09	663.98	2,090.53	$663.98+(0.7 \times 2,090.53)$	=	2,127.35
22:00	529.04	649.20	2,101.38	$649.20+(0.7 \times 2,101.38)$	=	2,120.16
23:00	515.31	644.89	2,104.51	$644.89+(0.7 \times 2,104.51)$	=	2,118.05
0:00	497.65	639.29	2,108.58	$639.29+(0.7 \times 2,108.58)$	=	2,115.30
1:00	611.45	673.52	2,083.44	$673.52+(0.7 \times 2,083.44)$	=	2,131.93
2:00	546.70	654.73	2,097.35	$654.73+(0.7 \times 2,097.35)$	=	2,122.88
3:00	534.93	651.04	2,100.04	$651.04+(0.7 \times 2,100.04)$	=	2,121.07
4:00	574.17	662.83	2,091.38	$662.83+(0.7 \times 2,091.38)$	=	2,126.80
5:00	552.59	656.53	2,096.04	$656.53+(0.7 \times 2,096.04)$	=	2,123.75
6:00	613.41	674.05	2,083.04	$674.05+(0.7 \times 2,083.04)$	=	2,132.18
7:00	587.90	666.84	2,088.41	$666.84+(0.7 \times 2,088.41)$	=	2,128.73

ค่าเอนทัลปีของน้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ จากการเปิดตารางด้วยค่าอุณหภูมิ

ตารางที่ ค.11 ค่าเอนทัลปีของน้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

เวลา	อุณหภูมิของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ(°C)	h_w (kJ/kg)
8:00	95.2	398.93
9:00	100.2	420.01
10:00	98.4	412.42
11:00	97.4	408.21
12:00	109.0	457.19
13:00	102.0	427.61
14:00	101.6	425.93
15:00	95.8	401.46
16:00	96.6	404.84
17:00	97.2	407.37
18:00	96.8	405.68
19:00	103.6	434.37
20:00	96.6	404.84
21:00	98.8	414.11
22:00	96.0	402.31
23:00	95.6	400.62
0:00	95.6	400.62
1:00	98.8	414.11
2:00	100.4	420.86
3:00	92.8	388.83
4:00	103.0	431.84
5:00	89.6	375.36
6:00	102.4	429.3
7:00	99.0	414.95

ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

ตารางที่ ค.12 ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

เวลา	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/s)	×	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (kJ/kg)	=	ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (kW)
8:00	0.38	×	16,900	=	6,422
9:00	0.31	×	16,900	=	5,239
10:00	0.32	×	16,900	=	5,408
11:00	0.32	×	16,900	=	5,408
12:00	0.31	×	16,900	=	5,239
13:00	0.34	×	16,900	=	5,746
14:00	0.35	×	16,900	=	5,915
15:00	0.29	×	16,900	=	4,901
16:00	0.36	×	16,900	=	6,084
17:00	0.35	×	16,900	=	5,915
18:00	0.34	×	16,900	=	5,746
19:00	0.32	×	16,900	=	5,408
20:00	0.34	×	16,900	=	5,746
21:00	0.32	×	16,900	=	5,408
22:00	0.34	×	16,900	=	5,746
23:00	0.32	×	16,900	=	5,408
0:00	0.30	×	16,900	=	5,070
1:00	0.29	×	16,900	=	4,901
2:00	0.29	×	16,900	=	4,901
3:00	0.32	×	16,900	=	5,408
4:00	0.28	×	16,900	=	4,732
5:00	0.28	×	16,900	=	4,732
6:00	0.28	×	16,900	=	4,732
7:00	0.31	×	16,900	=	5,239

ตารางที่ ค.13 ผลการคำนวณประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อภายในห้องเผาไหม้

เวลา	อัตราการใช้น้ำ (kg/sec)	Enthalpy (kJ/kg)		ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (kW)	ค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้เฉลี่ย	ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้ท่อ $\eta_{\text{การถ่ายเทความร้อนให้ท่อ}} = \frac{\dot{m}_s \times (T_s - T_w)}{(\dot{m}_f \times \text{LHV}) - Q_{\text{สูญเสีย}}}$
		ไอน้ำ (h_s)	น้ำป้อนหม้อไอน้ำ (h_w)			
8:00	1.37	2,119.86	398.93	6,422	21.23	36.83
9:00	1.38	2,122.58	420.01	5,239	21.23	45.03
10:00	1.37	2,118.95	412.42	5,408	21.23	43.40
11:00	1.33	2,123.48	408.21	5,408	21.23	42.35
12:00	1.49	2,119.26	457.19	5,239	21.23	47.46
13:00	1.36	2,123.18	427.61	5,746	21.23	40.28
14:00	1.49	2,122.28	425.93	5,915	21.23	42.89
15:00	1.36	2,117.44	401.46	4,901	21.23	47.82
16:00	1.59	2,114.64	404.84	6,084	21.23	44.84
17:00	1.51	2,118.35	407.37	5,915	21.23	43.84
18:00	1.39	2,117.75	405.68	5,746	21.23	41.57
19:00	1.47	2,124.03	434.37	5,408	21.23	46.11
20:00	1.48	2,116.54	404.84	5,746	21.23	44.25
21:00	1.49	2,127.35	414.11	5,408	21.23	47.39

ตารางที่ ค.13 ผลการคำนวณประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อภายในห้องเผาไหม้ (ต่อ)

เวลา	อัตราการใช้อิอน้ำ (kg/sec)	Enthalpy (kJ/kg)		ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (kW)	ค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้เฉลี่ย	ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้ท่อ $\eta_{\text{การถ่ายเทความร้อนให้ท่อ}} = \frac{\dot{m}_s \times (T_s - T_w)}{(\dot{m}_f \times \text{LHV}) - Q_{\text{สูญเสีย}}}$
		ไอน้ำ (h_s)	น้ำป้อนหม้อไอน้ำ (h_w)			
22:00	1.36	2,120.16	402.31	5,746	21.23	40.81
23:00	1.39	2,118.05	400.62	5,408	21.23	44.32
0:00	1.36	2,115.30	400.62	5,070	21.23	46.19
1:00	1.29	2,131.93	414.11	4,901	21.23	45.41
2:00	1.28	2,122.88	420.86	4,901	21.23	44.65
3:00	1.40	2,121.07	388.83	5,408	21.23	45.02
4:00	1.27	2,126.80	431.84	4,732	21.23	45.70
5:00	1.27	2,123.75	375.36	4,732	21.23	47.14
6:00	1.22	2,132.18	429.3	4,732	21.23	44.10
7:00	1.40	2,128.73	414.95	5,239	21.23	45.98
ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อภายในห้องเผาไหม้เฉลี่ย						44.31

ตารางที่ ค.14 ผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ

เวลา	อัตราการใช้น้ำ (kg/sec)	Enthalpy (kJ/kg)		ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (kW)	ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ $\eta_{\text{รวมของหม้อไอน้ำ}} = \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_w)}{(\dot{m}_f \times \text{LHV})} \times 100$
		ไอน้ำ (h_s)	น้ำป้อนหม้อไอน้ำ (h_w)		
8:00	1.37	2,119.86	398.93	6,422	36.71
9:00	1.38	2,122.58	420.01	5,239	44.85
10:00	1.37	2,118.95	412.42	5,408	43.23
11:00	1.33	2,123.48	408.21	5,408	42.18
12:00	1.49	2,119.26	457.19	5,239	47.27
13:00	1.36	2,123.18	427.61	5,746	40.13
14:00	1.49	2,122.28	425.93	5,915	42.73
15:00	1.36	2,117.44	401.46	4,901	47.62
16:00	1.59	2,114.64	404.84	6,084	44.68
17:00	1.51	2,118.35	407.37	5,915	43.68
18:00	1.39	2,117.75	405.68	5,746	41.42
19:00	1.47	2,124.03	434.37	5,408	45.93
20:00	1.48	2,116.54	404.84	5,746	44.09

ตารางที่ ค.14 ผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ (ต่อ)

เวลา	อัตราการใช้ ไอน้ำ (kg/sec)	Enthalpy (kJ/kg)		ค่าความร้อนจากการ เผาไหม้เชื้อเพลิง (kW)	ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ $\eta_{\text{รวมของหม้อไอน้ำ}} = \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_w)}{(\dot{m}_f \times \text{LHV})} \times 100$
		ไอน้ำ (h_s)	น้ำป้อนหม้อไอน้ำ (h_w)		
21:00	1.49	2,127.35	414.11	5,408	47.20
22:00	1.36	2,120.16	402.31	5,746	40.66
23:00	1.39	2,118.05	400.62	5,408	44.14
0:00	1.36	2,115.30	400.62	5,070	46.00
1:00	1.29	2,131.93	414.11	4,901	45.21
2:00	1.28	2,122.88	420.86	4,901	44.45
3:00	1.40	2,121.07	388.83	5,408	44.84
4:00	1.27	2,126.80	431.84	4,732	45.49
5:00	1.27	2,123.75	375.36	4,732	46.92
6:00	1.22	2,132.18	429.3	4,732	43.90
7:00	1.40	2,128.73	414.95	5,239	45.80
ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำเฉลี่ย					44.13

ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์ผลการดำเนินการตามมาตรการที่เป็นไปได้ในการบริหาร
จัดการพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำโรงงานในกรณีศึกษา

ตารางที่ ง.1 ผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำโดยการจัดตารางการผลิตใหม่

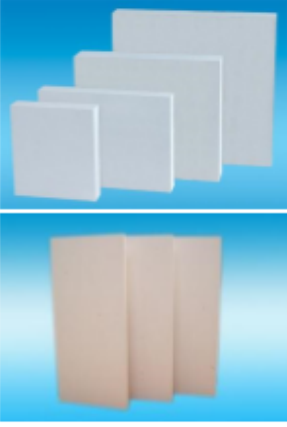
เวลา	อัตราการผลิตไอน้ำ ก่อนการดำเนินการ ตามมาตรการ (kg/s)	อัตราการผลิตไอน้ำ หลังการดำเนินการ ตามมาตรการ (kg/s)	Enthalpy (kJ/kg)		ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ เชื้อเพลิง (kW)	ประสิทธิภาพรวม ของหม้อไอน้ำ (%)
			ไอน้ำ	น้ำป้อน		
8:00	1.37	1.4223	2,119.86	398.93	6,422	38.11
9:00	1.38	1.4215	2,122.58	420.01	5,239	46.19
10:00	1.37	1.4223	2,118.95	412.42	5,408	44.88
11:00	1.33	1.4255	2,123.48	408.21	5,408	45.21
12:00	1.49	1.4131	2,119.26	457.19	5,239	44.83
13:00	1.36	1.4231	2,123.18	427.61	5,746	41.99
14:00	1.49	1.4131	2,122.28	425.93	5,915	40.52
15:00	1.36	1.4231	2,117.44	401.46	4,901	49.83
16:00	1.59	1.4061	2,114.64	404.84	6,084	39.52
17:00	1.51	1.4116	2,118.35	407.37	5,915	40.83
18:00	1.39	1.4207	2,117.75	405.68	5,746	42.33
19:00	1.47	1.4145	2,124.03	434.37	5,408	44.20
20:00	1.48	1.4138	2,116.54	404.84	5,746	42.12
21:00	1.49	1.4131	2,127.35	414.11	5,408	44.77

ตารางที่ ง.1 ผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำโดยการจัดตารางการผลิตใหม่ (ต่อ)

เวลา	อัตราการผลิตไอน้ำ ก่อนการดำเนินการ ตามมาตรการ (kg/s)	อัตราการผลิตไอน้ำ หลังการดำเนินการ ตามมาตรการ (kg/s)	Enthalpy (kJ/kg)		ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ เชื้อเพลิง (kW)	ประสิทธิภาพรวม ของหม้อไอน้ำ (%)
			ไอน้ำ	น้ำป้อน		
22:00	1.36	1.4231	2,120.16	402.31	5,746	42.54
23:00	1.39	1.4207	2,118.05	400.62	5,408	45.12
0:00	1.36	1.4231	2,115.30	400.62	5,070	48.13
1:00	1.29	1.4289	2,131.93	414.11	4,901	50.08
2:00	1.28	1.4298	2,122.88	420.86	4,901	49.65
3:00	1.4	1.4199	2,121.07	388.83	5,408	45.48
4:00	1.27	1.4306	2,126.80	431.84	4,732	51.24
5:00	1.27	1.4306	2,123.75	375.36	4,732	52.86
6:00	1.22	1.4351	2,132.18	429.3	4,732	51.64
7:00	1.4	1.4199	2,128.73	414.95	5,239	46.45
ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำเฉลี่ย						45.36

รายละเอียดสำหรับมาตรการ การติดฉนวนความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้

ตารางที่ ง.2 คุณสมบัติของฉนวนที่เลือกใช้ในการติดตั้งผนังห้องเผาไหม้

BORNDER —High Temperature Calcium Silicate Insulation Board				
 <p>This product mainly used in metallurgy, petroleum, building, machinery, power plants, chemical plants, light-industry, kilns, furnaces and shipping heat-insulation projects.</p> <p>The product has sold well in China, Taiwan, Hong Kong and exported to Africa, Europe, Asia, America and Australia, etc, more than fifty countries and region.</p>	Item	HCS-1000		
	Bulk Density (dry)	230±10%kg/m ³	270±10% kg/m ³	
	Thermal Conductivity	0.067W/m.k +0.0001t	0.069W/m.k +0.0001t	
	Flexural Strength	0.4 MPa	0.5 MPa	
	Water Content	<9%	<9%	
	Service Temperature	1000℃	1000℃	
	Linear Shrinkage (1000℃×16h)	2%	2%	
	Thickness	30-120mm	25-100mm	
	Length and Width	1000X500,500X500, 600X300/150,610X300/150,400X250, 1080X950,1220X1220		
	Size Tolerance	Length ± 4mmWidth ± 3mmThickness+3—1.5mm		
	PH value	7-9		
	Mineral Consist	Xonotlite hydrated calcium silicate		
	Solubility	Non-solubility		
	Toxic Information	Non-asbestos and nontoxic		
	Color and smell	White and non-smell		
	Loss on ignition	6-8%		
Volatility	Non-Volatility			

ตารางที่ ง.3 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่สะสมภายในผนังเตาเผา

		ในกรณีที่ใช้ ceramic fiber	ในกรณีที่ใช้อิฐฉนวน ความร้อนไฟ	ในกรณีที่ใช้ light- weight castable	ในกรณีที่ใช้ พลาสติกทนไฟ	ในกรณีที่ใช้ อิฐทนไฟ
องค์ประกอบของ ผนังเตาเผา	ผนังใน	ceramic wool (Kaowool) blanket 50 mm	อิฐฉนวนความร้อนไฟ 230 mm	Light-weight castable 248 mm	พลาสติกทนไฟ 250 mm	อิฐทนไฟ 230 mm
	ผนังชั้นกลาง	-	-	-	-	อิฐฉนวนความร้อนไฟ 114 mm
	ผนังนอก	mineral wool blanket 110 mm	silica board 25 mm	-	silica board 68 mm	Silica board 75 mm
	(รวม)	(160 mm)	(255 mm)	(248 mm.)	(318 mm.)	(419 mm.)
อุณหภูมิของผิวผนัง	ผิวของผนังใน	850°C	850°C	850°C	850°C	850°C
	ผิวด้านในของผนังชั้นกลาง	706°C	248°C	-	440°C	752°C
	ผิวด้านนอกของผนังชั้นกลาง	-	-	-	-	477°C
	ผิวนอกของผนังนอก	67°C	67°C	67°C	67°C	67°C
ปริมาณความร้อน ที่สูญเสีย	ความร้อนที่คายทิ้ง [kcal/m ² h]	410	410	410	410	410
	ความร้อนที่สะสม [kcal/m ²]	2,620	14,479	12,772	75,650	99,152
เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่สะสม		1.0	5.53	4.88	28.86	37.85
น้ำหนักของผนังของ เตาเผา kg/m ²	ผนังใน (ความหนาแน่น)	6.5 [130 kg/m ³]	253.0 (1,100 kg/m ³)	285.0 [1,150 kg/m ³]	500.0 [2,000 kg/m ³]	460.0 [2,000 kg/m ³]
	ผนังชั้นกลาง (ความหนาแน่น)	-	-	-	-	79.8 (700 kg/m ²)
	ผนังนอก (ความหนาแน่น)	31.9 [290 kg/m ³]	5.5 [220 kg/m ³]	-	15.0 [220 kg/m ³]	16.5 (220 kg/m ³)
	รวม	37.4 kg/m ²	258.5 kg/m ²	285.5 kg/m ²	515.0 kg/m ²	556.3 kg/m ²

ภาคผนวก ง.4 การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้หลังการติดฉนวน

1. การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ ในลักษณะการพาความร้อนแบบอิสระ กรณีแผ่นเรียบวางแนวดิ่ง

ด้านที่ 1 ผนังด้านข้าง (ฝั่งพื้นที่เปิด)

ทำการประเมินคุณสมบัติต่างๆ ที่อุณหภูมิฟิล์ม T_f ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.17)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad T_f &= \frac{T_{s1} + T_\infty}{2} \\ T_f &= \frac{67 + 32.42}{2} \\ T_f &= 49.71 \text{ }^\circ\text{C} = 322.71 \text{ K} \end{aligned}$$

จากตารางคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศ

ที่อุณหภูมิ 322.71 K มีค่าคุณสมบัติจากการประมาณค่าในช่วง ดังนี้

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	(β)	3.09875×10^{-3}	
ปริมาตรจำเพาะ	(ν)	1.79928×10^{-5}	m^2/s
ค่าสภาพการนำความร้อน	(k)	0.0279614	$\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$
พรีนัมเบอร์	(Pr)	0.703	

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย โดยใช้สมการที่ (2.16) – (2.21) แสดงการคำนวณดังนี้

หาค่า Grashof number

$$\begin{aligned} Gr_L &= \frac{g \beta (T_{s1} - T_\infty) L^3}{\nu^2} \\ Gr_L &= \frac{(9.81)(3.09875 \times 10^{-3})(67 - 32.42)(4.2^3)}{(1.79928 \times 10^{-5})^2} \\ Gr_L &= 2.40564 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\text{จะได้} \quad GrPr = (2.40564 \times 10^{11}) \times 0.703 = 1.69117 \times 10^{11}$$

กรณี $10^{-1} < GrPr < 10^{12}$ หาค่า Nusselt number จากสมการดังนี้

$$\text{Nu} = \left[0.825 + \frac{0.387(\text{GrPr})^{1/6}}{\left[1 + (0.492/\text{Pr})^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$\text{Nu} = \left[0.825 + \frac{0.387(1.69117 \times 10^{11})^{1/6}}{\left[1 + (0.492/0.703)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$\text{Nu} = 621.6236$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (\bar{h})

$$\bar{h} = \frac{\text{Nu} \cdot k}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{621.6236 \times 0.0279614}{4.2}$$

$$\bar{h} = 4.1384 \quad \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{q}) คำนวณได้ดังนี้

$$\bar{q} = \bar{h}A(T_{s1} - T_\infty)$$

$$\bar{q} = 4.1384 (4.2 \times 5.3)(67 - 32.42)$$

$$\bar{q} = 3,185.57 \quad \text{W}$$

ด้านที่ 2 ผนังด้านข้าง (ฝั่งติดผนังอาคาร)

ทำการประเมินคุณสมบัติต่างๆ ที่อุณหภูมิมินิมัล์ม T_f ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.17) จะได้

$$T_f = \frac{T_{s2} + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{67 + 47.47}{2}$$

$$T_f = 57.24 \quad ^\circ\text{C} = 330.24 \quad \text{K}$$

จากตารางคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศ

ที่อุณหภูมิ 330.24 K มีค่าคุณสมบัติจากการประมาณค่าในช่วง ดังนี้

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	(β)	3.028147×10^{-3}	
ปริมาตรจำเพาะ	(ν)	1.87563×10^{-5}	m^2/s
ค่าสภาพการนำความร้อน	(k)	0.0285322	$\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
พริ้นด์นัมเบอร์	(Pr)	0.70135	

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย โดยใช้สมการที่ (2.16) – (2.21) แสดงการคำนวณดังนี้

หาค่า Grashof number

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_{s2} - T_w) L^3}{\nu^2}$$

$$Gr_L = \frac{(9.81)(3.028147 \times 10^{-3})(67.00 - 47.47)(4.2^3)}{(1.87563 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr_L = 1.2218 \times 10^{11}$$

จะได้ $GrPr = (1.2218 \times 10^{11}) \times 0.70135 = 8.569125 \times 10^{10}$

กรณี $10^{-1} < GrPr < 10^{12}$ หาค่า Nusselt number จากสมการดังนี้

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(GrPr)^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(8.569125 \times 10^{10})^{1/6}}{\left[1 + (0.492/0.70135)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 499.3497$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (\bar{h})

$$\bar{h} = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{499.3497 \times 0.0285322}{4.2}$$

$$\bar{h} = 3.3923 \quad \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{q}) คำนวณได้ดังนี้

$$\bar{q} = \bar{h}A(T_{s2} - T_\infty)$$

$$\bar{q} = 3.39227 (4.2 \times 5.3)(67 - 47.47)$$

$$\bar{q} = 1,474.75 \quad \text{W}$$

ด้านที่ 3 ผนังด้านป้อนเชื้อเพลิง

ทำการประเมินคุณสมบัติต่างๆ ที่อุณหภูมิฟิล์ม T_f ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.17) จะได้ว่า

$$T_f = \frac{T_{s3} + T_\infty}{2}$$

$$T_f = \frac{67 + 32.42}{2}$$

$$T_f = 49.71 \quad ^\circ\text{C} = 322.71 \quad \text{K}$$

จากตารางคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศ

ที่อุณหภูมิ 322.71 K มีค่าคุณสมบัติจากการประมาณค่าในช่วง ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร} \quad (\beta) \quad 3.0987574 \times 10^{-3}$$

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ} \quad (\nu) \quad 1.79928 \times 10^{-5} \quad \text{m}^2/\text{s}$$

$$\text{ค่าสภาพการนำความร้อน} \quad (k) \quad 0.0279614 \quad \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{พรีนัมเบอร์} \quad (\text{Pr}) \quad 0.703$$

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย โดยใช้สมการที่ (2.16) – (2.21) แสดงการคำนวณดังนี้

หาค่า Grashof number

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_{s3} - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

$$Gr_L = \frac{(9.81)(3.0987574 \times 10^{-3})(67.00 - 32.42)(4.2^3)}{(1.79928 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr_L = 2.40565 \times 10^{11}$$

จะได้ $GrPr = (2.40565 \times 10^{11}) \times 0.703 = 1.69117 \times 10^{11}$

กรณี $10^{-1} < GrPr < 10^{12}$ หาค่า Nusselt number จากสมการดังนี้

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(GrPr)^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(1.69117 \times 10^{11})^{1/6}}{\left[1 + (0.492/0.703)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 621.624$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (\bar{h})

$$\bar{h} = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{621.624 \times 0.0279614}{4.2}$$

$$\bar{h} = 4.1384 \quad \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{q}) คำนวณได้ดังนี้

$$\bar{q} = \bar{h}A(T_{s3} - T_\infty)$$

$$\bar{q} = 4.1384 [(4.2 \times 2.6) - (1.9 \times 2.15)](67 - 32.42)$$

$$\bar{q} = 978.14 \quad \text{W}$$

ด้านที่ 4 ผนังด้านน้ำป้อน

ทำการประเมินคุณสมบัติต่างๆ ที่อุณหภูมิมิฟิล์ม T_f ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.17)

จะได้

$$T_f = \frac{T_{s4} + T_\infty}{2}$$

$$T_f = \frac{39.5 + 32.42}{2}$$

$$T_f = 35.96 \quad ^\circ\text{C} = 308.96 \quad \text{K}$$

จากตารางคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศ

ที่อุณหภูมิ 308.96 K มีค่าคุณสมบัติจากการประมาณค่าในช่วง ดังนี้

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	(β)	3.236665×10^{-3}	
ปริมาตรจำเพาะ	(ν)	1.65985×10^{-5}	m^2/s
ค่าสภาพการนำความร้อน	(k)	0.0269192	$\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
พรีนัมเบอร์	(Pr)	0.7028256	

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย โดยใช้สมการที่ (2.16) – (2.21) แสดงการคำนวณดังนี้

หาค่า Grashof number

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_{s4} - T_{\infty})L^3}{\nu^2}$$

$$Gr_L = \frac{(9.81)(3.236665 \times 10^{-3})(39.5 - 32.42)(4.2^3)}{(1.65985 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr_L = 6.0451933 \times 10^{10}$$

$$\text{จะได้ } GrPr = (6.0451933 \times 10^{10}) \times 0.7028256 = 4.24872 \times 10^{10}$$

กรณี $10^{-1} < GrPr < 10^{12}$ หาค่า Nusselt number จากสมการดังนี้

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(GrPr)^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(4.24872 \times 10^{10})^{1/6}}{\left[1 + (0.492 / 0.7028256)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 398.9743$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (\bar{h})

$$\bar{h} = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{398.9743 \times 0.0269192}{4.2}$$

$$\bar{h} = 2.5572 \quad \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{q}) คำนวณได้ดังนี้

$$\bar{q} = \bar{h}A(T_{s4} - T_\infty)$$

$$\bar{q} = 4.1384 [(4.2 \times 2.6) - 1.1416](39.5 - 32.42)$$

$$\bar{q} = 177.03 \quad \text{W}$$

2. การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ในลักษณะการแผ่รังสีความร้อนสามารถคำนวณดังสมการที่ (2.22)

ด้านที่ 1 ผนังด้านข้าง (ฝั่งพื้นที่เปิด)

มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ผิวหลังติดฉนวน (T_{s1}) เท่ากับ 67°C หรือ 340 K และอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 32.42°C หรือ 305.42 K

$$\text{จะได้ } \bar{q} = \epsilon\sigma A(T_s^4 - T_a^4)$$

$$\bar{q} = 0.9(5.669 \times 10^{-8})(4.2 \times 5.3)(340^4 - 305.42^4)$$

$$\bar{q} = 5,294.70 \quad \text{W}$$

ด้านที่ 2 ผนังด้านข้าง (ฝั่งติดผนังอาคาร)

มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ผิวหลังติดฉนวน (T_{s2}) เท่ากับ 67°C หรือ 340 K และอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 32.42°C หรือ 305.42 K

$$\text{จะได้ } \bar{q} = \epsilon\sigma A(T_s^4 - T_a^4)$$

$$\bar{q} = 0.9(5.669 \times 10^{-8})(4.2 \times 5.3)(340^4 - 305.42^4)$$

$$\bar{q} = 5,294.70 \quad \text{W}$$

ด้านที่ 3 ผนังด้านป้อนเชื้อเพลิง

มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ผิวหลังติดฉนวน (T_{s3}) เท่ากับ 67°C หรือ 340 K และอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 32.42°C หรือ 305.42 K

$$\text{จะได้ } \bar{q} = \epsilon\sigma A(T_s^4 - T_a^4)$$

$$\bar{q} = 0.9(5.669 \times 10^{-8})[(4.2 \times 2.6) - (2.15 \times 2.9)](340^4 - 305.42^4)$$

$$\bar{q} = 1,625.75 \text{ W}$$

ด้านที่ 4 ผนังด้านน้ำป้อน

มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ผิว (T_{s4}) จากการตรวจวัด เท่ากับ 39.5°C หรือ 312.5 K และอุณหภูมิ

อากาศ เท่ากับ 32.42°C หรือ 305.42 K

จะได้
$$\bar{q} = \epsilon\sigma A(T_s^4 - T_a^4)$$

$$\bar{q} = 0.9(5.669 \times 10^{-8})[(4.2 \times 2.6) - 1.1416](312.5^4 - 305.42^4)$$

$$\bar{q} = 416.75 \text{ W}$$

ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการลดอุณหภูมิบริเวณผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ

เวลา	η การถ่ายเท ความร้อน ก่อนปรับปรุง	η การถ่ายเท ความร้อน หลังปรับปรุง	ความร้อน สูญเสีย หลังปรับปรุง (kW)	ความร้อนที่ได้ จากการผลิต ไอน้ำ (kW)	ความร้อนของเชื้อเพลิง ที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ หลังการปรับปรุง (kW)	$\eta_{\text{หม้อไอน้ำ}} = \frac{\text{ความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำ}}{\text{ความร้อนที่ให้กับระบบหลังปรับปรุง}} \times 100$
8:00	36.83	39.83	18.45	2,357.67	5,937.16	39.71
9:00	45.03	48.03	18.45	2,349.55	4,910.31	47.85
10:00	43.40	46.40	18.45	2,337.95	5,056.95	46.23
11:00	42.35	45.35	18.45	2,281.31	5,048.87	45.18
12:00	47.46	50.46	18.45	2,476.48	4,926.02	50.27
13:00	40.28	43.28	18.45	2,305.98	5,346.41	43.13
14:00	42.89	45.89	18.45	2,527.56	5,526.88	45.73
15:00	47.82	50.82	18.45	2,333.74	4,610.18	50.62
16:00	44.84	47.84	18.45	2,718.59	5,701.03	47.69
17:00	43.84	46.84	18.45	2,583.58	5,534.70	46.68
18:00	41.57	44.57	18.45	2,379.77	5,357.88	44.42
19:00	46.11	49.11	18.45	2,483.80	5,076.15	48.93
20:00	44.25	47.25	18.45	2,533.31	5,379.76	47.09
21:00	47.39	50.39	18.45	2,552.73	5,084.51	50.21

ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการลดอุณหภูมิบริเวณผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ (ต่อ)

เวลา	η การถ่ายเท ความร้อน ก่อนปรับปรุง	η การถ่ายเท ความร้อน หลังปรับปรุง	ความร้อน สูญเสีย หลังปรับปรุง (kW)	ความร้อนที่ได้ จากการผลิต ไอน้ำ (kW)	ความร้อนของเชื้อเพลิง ที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ หลังการปรับปรุง (kW)	$\eta_{\text{หม้อไอน้ำ}} = \frac{\text{ความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำ}}{\text{ความร้อนที่ให้กับระบบหลังปรับปรุง}} \times 100$
22:00	40.81	43.81	18.45	2,336.28	5,351.20	43.66
23:00	44.32	47.32	18.45	2,387.22	5,063.68	47.14
0:00	46.19	49.19	18.45	2,331.96	4,759.30	49.00
1:00	45.41	48.41	18.45	2,215.98	4,595.83	48.22
2:00	44.65	47.65	18.45	2,178.59	4,590.96	47.45
3:00	45.02	48.02	18.45	2,425.13	5,068.69	47.85
4:00	45.70	48.70	18.45	2,152.60	4,439.00	48.49
5:00	47.14	50.14	18.45	2,220.46	4,447.34	49.93
6:00	44.10	47.10	18.45	2,077.51	4,429.18	46.91
7:00	45.98	48.98	18.45	2,399.30	4,916.66	48.80
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเฉลี่ย						47.13

ภาคผนวก ง.6 การวิเคราะห์ผลการดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ พร้อมทั้งติดฉนวนความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน

เป็นการดำเนินการตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำโดยการจัดตารางการผลิตใหม่ (มาตรการที่ 1) พร้อมทั้ง มาตรการการติดฉนวนความร้อนบริเวณผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ (มาตรการที่ 2) ซึ่งในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการทั้ง 2 มาตรการพร้อมกัน จะนำค่าความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำหลังการปรับอัตราผลิตไอน้ำตามมาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำหลังการปรับปรุงตามมาตรการการติดฉนวนความร้อนบริเวณผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ มาคำนวณดังสมการที่ 2.8 โดยแสดงผลการคำนวณดังตารางที่ ง.6

ตารางที่ ง.6 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการทั้ง 2 มาตรการพร้อมกัน

เวลา	ความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำหลังปรับปรุงตามมาตรการที่ 1 (kW)	ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำหลังการปรับปรุงตามที่ 2 (kW)	ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ $\eta = \frac{\text{ความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำ}}{\text{ความร้อนที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ}} \times 100$
8:00	2,447.61	5,937.16	41.23
9:00	2,420.14	4,910.31	49.29
10:00	2,427.13	5,056.95	48.00
11:00	2,445.17	5,048.87	48.43
12:00	2,348.61	4,926.02	47.68
13:00	2,412.91	5,346.41	45.13
14:00	2,397.05	5,526.88	43.37
15:00	2,441.96	4,610.18	52.97
16:00	2,404.10	5,701.03	42.17
17:00	2,415.25	5,534.70	43.64
18:00	2,432.28	5,357.88	45.40
19:00	2,390.08	5,076.15	47.08
20:00	2,420.00	5,379.76	44.98
21:00	2,420.92	5,084.51	47.61
22:00	2,444.62	5,351.20	45.68

ตารางที่ ง.6 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการทั้ง 2 มาตรการร่วมกัน (ต่อ)

เวลา	ความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำหลังปรับปรุงตามมาตรการที่ 1 (kW)	ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำหลังการปรับปรุงตามที่ 2 (kW)	ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ $\eta = \frac{\text{ความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำ}}{\text{ความร้อนที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ}} \times 100$
23:00	2,439.89	5,063.68	48.18
0:00	2,440.11	4,759.30	51.27
1:00	2,454.59	4,595.83	53.41
2:00	2,433.48	4,590.96	53.01
3:00	2,459.57	5,068.69	48.52
4:00	2,424.85	4,439.00	54.63
5:00	2,501.29	4,447.34	56.24
6:00	2,443.72	4,429.18	55.17
7:00	2,433.36	4,916.66	49.49
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเฉลี่ย			48.44

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำหลังการดำเนินการตามมาตรการควบคุมระดับการเผาไหม้โดยการจัดการตารางการผลิตใหม่พร้อมทั้งมาตรการการติดตามควบคุมความร้อนบริเวณผนังห้องเผาไหม้หม้อไอน้ำ พบว่า มีประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำตลอดช่วงระยะเวลาการทำงาน ใน 1 วัน มีผลเฉลี่ยเท่ากับ 48.44% พบว่าหลังการดำเนินการทำให้หม้อไอน้ำมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพรวมที่สูงขึ้น โดยสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม ขณะที่ยังคงผลิตไอน้ำได้ในอัตราการผลิตและค่าความร้อนคงเดิม แสดงผลการประหยัดการใช้พลังได้ดังนี้

ก่อนดำเนินการตามมาตรการ

ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ	=	44.13%	
ความร้อนที่ได้ออกมาจากการผลิตไอน้ำ	=	2,372.79	กิโลจูล/วินาที
ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ	=	$\frac{2,372.79}{0.4413}$	
	=	5,376.83	กิโลจูล/วินาที
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	=	16,900	กิโลจูล/กิโลกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการป้อนเชื้อเพลิง} &= \frac{5,376.83}{16,900} \times (60 \times 60) \\
 &= 1,145.36 \quad \text{กิโลกรัม/ชั่วโมง} \\
 \text{ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ} &= 299 \text{ (วัน/ปี)} \times 24 \text{ (ชั่วโมง/วัน)} \\
 &= 7,176 \quad \text{ชั่วโมง/ปี} \\
 \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม} &= 1,145.36 \times 7,176 \\
 &= 8,219,101.32 \quad \text{กิโลกรัม/ปี} \\
 \text{คิดเป็นมูลค่า} &= 8,219,101.32 \times 2.7042 \\
 &= 22,226,093.79 \quad \text{บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

หลังดำเนินการ 2 มาตรการพร้อมกัน

$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ} &= 48.44\% \\
 \text{ความร้อนที่ได้ออกมาจากการผลิตไอน้ำ} &= 2,372.79 \quad \text{กิโลจูล/วินาที} \\
 \text{ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หม้อไอน้ำ} &= \frac{2,372.79}{0.4844} \\
 &= 4,898.41 \quad \text{กิโลจูล/วินาที} \\
 \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง} &= 16,900 \quad \text{กิโลจูล/กิโลกรัม} \\
 \text{อัตราการป้อนเชื้อเพลิง} &= \frac{4,898.41}{16,900} \times (60 \times 60) \\
 &= 1,043.45 \quad \text{กิโลกรัม/ชั่วโมง} \\
 \text{ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ} &= 299 \text{ (วัน/ปี)} \times 24 \text{ (ชั่วโมง/วัน)} \\
 &= 7,176 \quad \text{ชั่วโมง/ปี} \\
 \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม} &= 1,043.45 \times 7,176 \\
 &= 7,487,797.2 \quad \text{กิโลกรัม/ปี} \\
 \text{คิดเป็นมูลค่า} &= 7,487,797.2 \times 2.7042 \\
 &= 20,248,501.19 \quad \text{บาท/ปี} \\
 \\
 \text{สามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้} &= 8,219,101.32 - 7,487,797.2 \\
 &= 731,304.12 \quad \text{กิโลกรัม/ปี} \\
 &= 731.30 \quad \text{ตัน/ปี} \\
 \text{ประหยัดค่าใช้จ่ายได้} &= 22,226,093.79 - 20,248,501.19 \\
 &= 1,977,592.60 \quad \text{บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก จ.

การประเมินเพื่อจัดทำข้อเสนอมาตรการการบริหารพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำโรงงานกรณีศึกษา

ผลการประเมินเพื่อจัดทำข้อเสนอมาตรการการบริหารพลังงานความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำ

1. ผู้จัดการโรงงาน

ทางเลือกมาตรการในการปรับปรุง	เกณฑ์ในการพิจารณา และค่าถ่วงน้ำหนัก			รวมคะแนน
	งบประมาณ (40%)	ระยะเวลา (30%)	ผลกระทบ (30%)	
1. มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ	4	2	3	3.1
2. มาตรการการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์	4	2	2	2.8
3. มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ	5	2	2	3.2
4. มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ	5	3	3	3.8
5. มาตรการติดตามอุณหภูมิในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน	2	4	5	3.5

2. ผู้จัดการโรงงานฝ่ายโรงทอผ้า

ทางเลือกมาตรการในการปรับปรุง	เกณฑ์ในการพิจารณา และค่าถ่วงน้ำหนัก			รวมคะแนน
	งบประมาณ (40%)	ระยะเวลา (30%)	ผลกระทบ (30%)	
1. มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ	5	2	3	3.5
2. มาตรการการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์	5	2	1	2.9
3. มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ	5	2	2	3.2
4. มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ	5	2	3	3.5
5. มาตรการติดตามอุณหภูมิในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน	2	4	4	3.2

3. ผู้จัดการโรงงานฝ่ายโรงฟอก ย้อม

ทางเลือกมาตรการในการปรับปรุง	เกณฑ์ในการพิจารณา และค่าถ่วงน้ำหนัก			รวมคะแนน
	งบประมาณ (40%)	ระยะเวลา (30%)	ผลกระทบ (30%)	
1. มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ	4	3	3	3.4
2. มาตรการการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์	5	2	2	3.2
3. มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ	5	2	2	3.2
4. มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ	5	3	3	3.8
5. มาตรการติดตามอุณหภูมิร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน	2	4	5	3.5

4. ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานในโรงงาน

ทางเลือกมาตรการในการปรับปรุง	เกณฑ์ในการพิจารณา และค่าถ่วงน้ำหนัก			รวมคะแนน
	งบประมาณ (40%)	ระยะเวลา (30%)	ผลกระทบ (30%)	
1. มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ	4	3	3	3.4
2. มาตรการการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์	5	3	2	3.5
3. มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ	5	2	2	3.2
4. มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ	5	3	3	3.8
5. มาตรการติดตามอุณหภูมิร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน	2	4	5	3.5

5. พนักงานด้านเทคนิคของแผนระบบหม้อไอน้ำ

ทางเลือกมาตรการในการปรับปรุง	เกณฑ์ในการพิจารณา และค่าถ่วงน้ำหนัก			รวมคะแนน
	งบประมาณ (40%)	ระยะเวลา (30%)	ผลกระทบ (30%)	
1. มาตรการลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ	4	2	3	3.1
2. มาตรการการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์	5	2	2	3.2
3. มาตรการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบส่งจ่ายไอน้ำ	5	2	2	3.2
4. มาตรการควบคุมอัตราการผลิตไอน้ำ	5	2	3	3.5
5. มาตรการลดอุณหภูมิความร้อนในพื้นที่ที่มีการสูญเสียความร้อน	3	3	5	3.6

ภาคผนวก ฉ.
เอกสารการตีพิมพ์

หนังสือรวมบทความฉบับสมบูรณ์งานประชุมวิชาการ

Proceedings of

OR-Net 2019

Operations Research Network
2019 Conference

February 7-8, 2019

Wintree City Resort Chiang Mai

Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chiang Mai University



Subject Areas:

- ✦ *Computing and Information Technologies*
- ✦ *Financial Engineering*
- ✦ *Manufacturing Management*
- ✦ *Service and Revenue Management*
- ✦ *Logistics and Supply Chain Management*
- ✦ *Simulation*
- ✦ *Probability and Statistics*
- ✦ *Stochastic Models*
- ✦ *Transportation*
- ✦ *Inventory and Warehouse Management*
- ✦ *Project Management*
- ✦ *Decision Science*
- ✦ *Operations Research in Environment Management and Sustainability*
- ✦ *Healthcare Engineering*
- ✦ *Other Related Topics*



*Operations Research
for Healthcare Innovation*





การประชุมวิชาการการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2562
 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 7-8 กุมภาพันธ์ 2562 เชียงใหม่

การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำสำหรับกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย
กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ
Improvement of Boiler Thermal Efficiency for Fabric Production Process:
Case Study of a Textile Industry

พิชญา ศรีมงคล *

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

E-mail: pichya.pitchaya@gmail.com

และ สกนธ์ คล่องบุญจิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

E-mail: sklongboonjit@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนในกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งหนึ่ง เริ่มด้วยการเก็บข้อมูลการใช้กะลาปาล์มเป็นระยะเวลา 2 ปี จากนั้นข้อมูลจะถูกนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน พบว่า หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 45.19% โดยในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน มีแนวทางที่เป็นไปได้ดังนี้ แนวทางแรก คือ การติดตั้งฉนวนที่บริเวณห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ แนวทางที่สอง คือ การลดการใช้ไอน้ำด้วยการจัดตารางการผลิตใหม่ ซึ่งจากการคำนวณ พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำขนาด 6 ตัน เพิ่มขึ้นเป็น 45.23% สำหรับแนวทางการติดตั้งฉนวนที่บริเวณห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ เพิ่มขึ้นเป็น 45.67% สำหรับแนวทางการลดการใช้ไอน้ำด้วยการจัดตารางการผลิตใหม่ และเพิ่มขึ้นเป็น 46.14% สำหรับการดำเนินการทั้งสองแนวทาง เมื่อแนวทางที่เป็นไปได้ทั้งสองแนวทางถูกพิจารณาเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย จะสามารถลดการใช้กะลาปาล์มได้ 164.48 ตัน/ปี (444,793 บาท/ปี)

คำสำคัญ: พลังงานความร้อน, ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ, อุตสาหกรรมสิ่งทอ

Abstract

This study is purpose to improve thermal efficiency in a fabric production process of a textile industry. Firstly, the data of palm kernel shell consumption have been collected for 2 years. After that, these data are analyzed to calculate the 6-ton boiler thermal efficiency at 45.19%. To improve the thermal efficiency of 6-ton boiler, the first feasible plan is to install new insulation in the boiler combustion chamber and the second feasible plan is to reduce steam consumption with new production scheduling plan. The calculation results show that the 6-ton boiler thermal efficiency is increased to be 45.23% with the first feasible plan, 45.67% with the second feasible plan and 46.14% with all feasible plan. Finally, all feasible plan are considered to apply for a fabric production process that can reduce palm kernel shell consumption of 164.48 tons/year. (444,793 baht/year)

Keywords: Thermal energy, Boiler efficiency, Textile industry

* Corresponding author: E-mail: pichya.pitchaya@gmail.com

1. บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยอุตสาหกรรมย่อยหลายส่วนประกอบกัน ตั้งแต่ อุตสาหกรรมต้นน้ำไปจนถึงอุตสาหกรรมปลายน้ำ ได้แก่ อุตสาหกรรมเส้นใย อุตสาหกรรมปั่นด้าย อุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า อุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จ อุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูป อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มและผลิตภัณฑ์สิ่งทออื่นๆ โดยอุตสาหกรรมทั้งระบบจะประสานต่อเนื่องกัน มีการส่งต่อวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมหนึ่งไปยังอีก อุตสาหกรรมหนึ่ง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมการทำซิป กระดุม สีย้อม สารเคมี เป็นต้น ซึ่งอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มนับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของไทย สามารถสร้างรายได้จากการส่งออก และมีอัตราการจ้างแรงงานสูง ทำให้เกิดการกระจายรายได้สู่ประชากรในประเทศ จากข้อมูลการส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทย ปี 2560 - 2561 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2559 โดยในช่วงเดือนมกราคม - สิงหาคม ปี 2561 การส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มรวมแปดเดือนมีมูลค่า 4,803.18 ล้านบาทหรือ มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น 9.20% เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อนหน้า

ผ้าผืน (Textile Fabric) เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทยที่มีการส่งออกเป็นอันดับ 2 รองจากเสื้อผ้าสำเร็จรูป มีมูลค่าการส่งออก 948.54 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วน 19.75% ของมูลค่าการส่งออกรวมในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทย มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น 6.40% ตลาดส่งออกที่สำคัญคือ เวียดนาม พม่า กัมพูชา และบังคลาเทศ ขณะเดียวกัน ผ้าผืนยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเข้าเป็นอันดับ 2 รองจากเส้นด้าย คิดเป็นสัดส่วน 34.64% ของมูลค่าการนำเข้ารวมในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทย [1] แสดงให้เห็นว่าผ้าผืนเป็นผลิตภัณฑ์อันดับต้นๆ ที่มีความต้องการของทั้งภายในประเทศ และต่างประเทศ อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปที่เป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกอันดับหนึ่งของไทยอีกด้วย ผ้าผืนจัดเป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมกลางน้ำที่มีการนำวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมต้นน้ำ จำพวกเส้นใยมาทำการผลิตเป็นเส้นด้ายในอุตสาหกรรมปั่นด้าย จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังอุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จ ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่สำคัญ คือ กระบวนการทอผ้าและถักผ้า ที่ประกอบด้วยกระบวนการ กอตัว สืบด้าย ลงแปรง ทอผ้าและถักผ้า และกระบวนการฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จ ที่ประกอบด้วยกระบวนการ เมาชน ลอกแปรง ทำความสะอาดหรือกำจัดสิ่งสกปรก ฟอกขาว ซูบมัน ย้อม อบแห้ง และแต่งสำเร็จ [2] โดยในแต่ละกระบวนการล้วนมีพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานในการผลิต สามารถแบ่งประเภทของพลังงานได้ 2 รูปแบบ คือ พลังงานไฟฟ้า ใช้สำหรับมอเตอร์ต้นกำลังของเครื่องจักร เช่น เครื่องกอตัว เครื่องสืบด้าย เครื่องทอผ้า เป็นต้น ระบบแสงสว่าง เครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์สำนักงานอื่นๆ และพลังงานความร้อน ที่ใช้ในการจุดเครื่องจักรไอน้ำ หรือในกระบวนการผลิตที่ต้องใช้ความร้อน เช่น การลงแปรง การลอกแปรง การย้อม การอบแห้ง เป็นต้น [3] ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม พบว่า ปี 2560 มีการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย 959 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปี

ก่อนหน้า 5.21% และมีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ตั้งแต่ปี 2558 เป็นต้นมา [4] ขณะที่ปัจจุบันทรัพยากรด้านพลังงานมีอยู่จำกัด ไม่สามารถจัดหาหรือผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการได้ทัน เชื่อเพลิงบางชนิดต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ส่งผลให้ต้นทุนในด้านพลังงานเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินทุนและเทคโนโลยีในระดับปานกลางถึงสูง มีการใช้เครื่องจักรในการผลิตที่ใช้มานานยาวนาน เครื่องจักรมีประสิทธิภาพต่ำ ต้องสิ้นเปลืองพลังงานมากในการผลิต ด้วยเหตุนี้การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ แต่งสำเร็จจึงเป็นประเด็นที่ถูกให้ความสำคัญ มีการศึกษาแนวทางและวิธีการในการอนุรักษ์พลังงานที่สามารถดำเนินการได้หลายแนวทาง ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพของการเผาไหม้เชื้อเพลิง การป้องกันการสูญเสียพลังงาน การนำพลังงานที่เหลือจากการใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น [5] นอกจากนี้ยังมีแนวทางและมาตรการต่างๆ จากกรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอทั่วโลก ดังนี้ ในกระบวนการอบแห้งผ้าด้วยเครื่องอบตักแต่งสำเร็จ ผ้าที่มีอุณหภูมิสูง จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็นจากเครื่องจักร เมื่อกระบวนการเสร็จสิ้นลงน้ำร้อนที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกส่งกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการย้อมสี การใช้มาตรการส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าของโรงงานลดลง 40.2% มีปริมาณน้ำเสียลดลง 43.4% มีการใช้พลังงานลดลง 17.1% และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง 13.5% ในกระบวนการทอผ้า เครื่องทอผ้าควรมีอัตราประโยชน์มากกว่า 90% โดยอัตราประโยชน์ที่ลดลง 10% จะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นประมาณ 3-4% ในกระบวนการย้อมผ้า การติดตั้งฉนวนความร้อนแก่เครื่องย้อมผ้า ช่วยในการประหยัดเชื้อเพลิง 210-280 จิกะจูล/ปี/โรงงาน มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 9000-13,000 เหรียญ/โรงงาน ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน 3.8-4.9 ปี ในอุปกรณ์หลักของกระบวนการฟอกย้อม ประกอบด้วย เครื่องต้มล้างผ้า เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง และเครื่องอบแห้งแบบอิสระ มีการสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการสูญเสียความร้อนที่ผิวอุปกรณ์ ซึ่งลดการสูญเสียได้โดยการติดตั้งฉนวน สามารถประหยัดการใช้ไอน้ำได้ 21,015.25 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่า 7,544,528.70 บาท/ปี และการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้กับเครื่องฟอกย้อม ทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานได้ 1,741.62 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่า 512,353 บาท/ปี และสามารถประหยัดการใช้ไอน้ำ คิดเป็นมูลค่า 913,509.50 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 1 ปี การใช้พลังงานของเครื่องจักรและเทคโนโลยีพื้นฐานที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องอัดอากาศ และหม้อไอน้ำ เมื่อพิจารณาปรับปรุงภายใต้สมมติฐานการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรและเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า จะพิจารณาให้เท่ากับค่าเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสุด โดยเพิ่มการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ หม้อไอน้ำ จะทำการปรับปรุงประสิทธิภาพให้มีค่าเท่ากับประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดของหม้อไอน้ำชนิดนั้น เครื่องอัดอากาศ จะพิจารณาปรับปรุงให้เท่ากับประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้าที่ดีที่สุด ซึ่งจากการปรับปรุงส่งผลให้เครื่องจักรมีศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก 63% 7% และ 31% ตามลำดับ และการศึกษาศักยภาพ

การประหยัดพลังงานและสาเหตุของการสูญเสียพลังงานของโรงงานพบว่า อุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้พลังงานรวม 2,379,433 จิกะจูล/ปี มีการสูญเสียพลังงานด้วยสาเหตุหลักจากระบบไอน้ำ ระบบอัดอากาศ ระบบทำความเย็น และระบบปรับอากาศ เกิดการสูญเสียพลังงานรวม 41,845 จิกะจูล/ปี และเมื่อดำเนินการตามมาตรฐานอนุรักษ์พลังงาน เช่น การลดความดันในการผลิตไอน้ำของระบบไอน้ำ การลดการรั่วของอากาศอัดในระบบอัดอากาศ และการหยุดการใช้งานของชุดระบายความร้อนลงบางชุดในระบบทำความเย็น สามารถประหยัดพลังงานได้ 28,804 จิกะจูล/ปี คิดเป็นมูลค่า 16.84 ล้านบาท/ปี [6-10]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษากาการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งหนึ่งในจังหวัดราชบุรี มีการประกอบกิจการผลิตผ้าผืนชนิดต่างๆ เช่น ผ้าร่มโพลีเอสเตอร์ (Polyester Taffeta) ผ้าร่มไนลอน (Nylon Taffeta) ผ้าโพลีเอสเตอร์ออกซฟอร์ด (Polyester Oxford) ผ้าไนลอนออกซฟอร์ด (Nylon Oxford) ผ้าซาติน (Satin Fabric) เป็นต้น แบ่งกระบวนการผลิตหลักออกเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการทอ และกระบวนการฟอกย้อม โดยทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนของโรงงาน แล้วนำมาวิเคราะห์และประเมินปริมาณการใช้พลังงานเพื่อป่งชี้ว่าโรงงานมีการใช้พลังงานใดสูงสุด และมีระบบหรือกระบวนการใดที่มีนัยสำคัญต่อปริมาณการใช้พลังงาน และนำไปสู่การสร้างและวิเคราะห์เลือกแนวทางที่เหมาะสมในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานการศึกษา

2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนคือ วิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานของโรงงาน การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานระดับเครื่องจักรและอุปกรณ์ สร้างแนวทางการปรับปรุงและเลือกแนวทางที่เหมาะสม และสรุปพร้อมข้อเสนอแนะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 วิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษา

เป็นการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนของโรงงานการศึกษา แล้วนำมาวิเคราะห์และประเมินปริมาณการใช้พลังงานเพื่อป่งชี้ว่าโรงงานมีการใช้พลังงานใดสูงสุด และมีระบบ เครื่องจักรและอุปกรณ์ใดที่มีนัยสำคัญต่อปริมาณการใช้พลังงาน

2.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานระดับเครื่องจักรและอุปกรณ์

การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน จะช่วยให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณการสูญเสียพลังงาน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละระบบ พื้นที่ กระบวนการ ไปจนถึงเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงาน โดยจะทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือในการตรวจวัด เช่น เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดอุณหภูมิที่ผิว เป็นต้น จากนั้นจะนำค่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาคำนวณค่าตัวกำหนดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เพื่อใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบหรืออุปกรณ์เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด หากค่าตัวกำหนดประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากการคำนวณ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

แสดงว่าระบบหรืออุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แสดงว่าระบบหรืออุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำ สิ้นเปลืองพลังงานมากในการใช้งาน จึงต้องหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานที่เหมาะสมมาดำเนินการ เพื่อให้ระบบหรืออุปกรณ์มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

2.3 สร้างแนวทางการปรับปรุงและเลือกแนวทางที่เหมาะสม

การสร้างแนวทางการปรับปรุง เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการในการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในโรงงานการศึกษา ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนด้านพลังงานของโรงงาน ทั้งยังช่วยลดปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานอีกด้วย ทั้งนี้ในการเลือกแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงานการศึกษา จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย

2.4 สมการที่ใช้ในการศึกษาปัญหา

งานวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้สมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งประกอบด้วยสมการดังต่อไปนี้

1) การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ ในลักษณะการพาความร้อนแบบอิสระ กรณีแผ่นเรียบบางแนวดิ่ง

$$\bar{q} = \bar{h}A(T_s - T_\infty) \quad (1)$$

\bar{q} คือ อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย

\bar{h} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย

T_s คือ อุณหภูมิที่ผิวของผนังห้องเผาไหม้

A คือ พื้นที่ผิวผนังห้องเผาไหม้

L คือ ความสูงผนังห้องเผาไหม้

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (2)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (3)$$

กรณี $10^{-1} < GrPr < 10^{12}$

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387(GrPr)^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/5}} \right]^2 \quad (4)$$

$$\bar{h} = \frac{Nuk}{L} \quad (5)$$

โดยค่าคุณสมบัติต่างๆ เช่น β , ν , k , α สามารถเปิดตารางค่าคุณสมบัติของของไหลได้จากค่าอุณหภูมิ T_f ซึ่งค่า T_f คำนวณได้จากสมการ (6)

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (6)$$

2) การสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ ในลักษณะการแผ่รังสีความร้อน

$$R_e = \epsilon\sigma A T_s \quad (7)$$

R_e คือ อัตราการแผ่รังสีความร้อน

ϵ คือ สภาพส่งรังสีของผิววัตถุ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1

σ คือ ค่าคงที่สเตฟานโบลท์สมานน์ มีค่า $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

A คือ พื้นที่ผิวผนังห้องเผาไหม้

T_s คือ อุณหภูมิที่ผิวของผนังห้องเผาไหม้

3) สมการหาปริมาณความร้อนที่ต้องการสำหรับหม้อไอน้ำ

$$Q_{3} = \dot{m}(h_2 - h_1) \tag{8}$$

Q_3 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

\dot{m} คือ อัตราการไหลของน้ำที่เข้าหม้อไอน้ำ

h_1 คือ ค่าเอนทาลปีของน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิก่อนเข้าหม้อไอน้ำ

h_2 คือ ค่าเอนทาลปีของน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ

4) สมการหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสำหรับท่อภายในของหม้อไอน้ำ และสมการหาประสิทธิภาพโดยรวมของหม้อไอน้ำ

$$\eta_{\text{ถ่ายเทความร้อนในท่อ}} = \frac{Q_3}{Q_{\text{เชื้อเพลิง}} - Q_{\text{สูญเสีย}}} \times 100 \tag{9}$$

$$\eta_{\text{โดยรวมหม้อไอน้ำ}} = \frac{Q_3}{Q_{\text{เชื้อเพลิง}}} \times 100 \tag{10}$$

$Q_{\text{เชื้อเพลิง}}$ คือ ปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงนั้นให้ออกมา ซึ่งโรงงานกรณีศึกษา มีการใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง มีค่าความร้อน 16.90 เมกะจูล/กิโลกรัม

Q_3 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

$Q_{\text{สูญเสีย}}$ คือ ปริมาณการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้

2.5 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษาเพื่อป้องกันชี้ว่าโรงงานมีการใช้พลังงานได้สูงสุด และมีระบบหรือกระบวนการใดที่มีนัยสำคัญต่อปริมาณการใช้พลังงาน จะนำผลที่ได้มาสรุปพร้อมทั้งข้อเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพที่เหมาะสมสำหรับโรงงานกรณีศึกษา

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

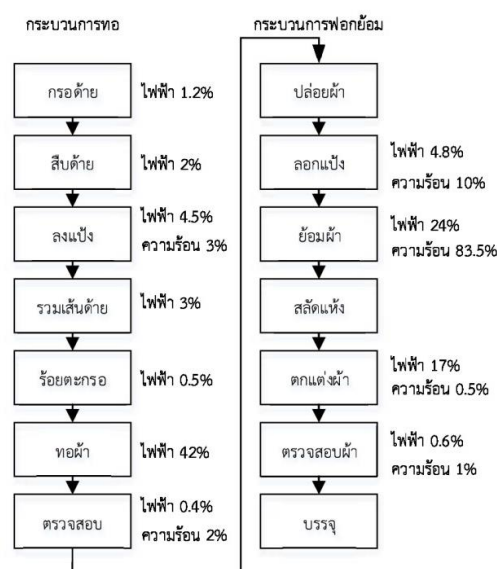
3.1 วิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในกรณีศึกษา ประกอบกิจการผลิตผ้าผืนชนิดต่างๆ เช่น ผ้าร่มโพลีเอสเตอร์ (Polyester Taffeta) ผ้าร่มไนลอน (Nylon Taffeta) ผ้าโพลีเอสเตอร์ออกซฟอร์ด (Polyester Oxford) ผ้าไนลอนออกซฟอร์ด (Nylon Oxford) ผ้าซาติน (Satin Fabric) เป็นต้น มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนสำหรับระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบผลิตไอน้ำ และกระบวนการผลิต ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานเดือน มกราคม พ.ศ. 2559 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2560 พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 20,549,280 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็น 73,977,408 เมกะจูล และพลังงานความร้อนรวม 459,962,050 เมกะจูล

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษา

ปี	ปริมาณพลังงานที่ใช้	
	ไฟฟ้า (MJ)	ความร้อน (MJ)
2559	38,274,048	215,479,299
2560	35,703,360	244,539,451
รวม	73,977,408	459,962,050

จากการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนของโรงงานกรณีศึกษา จะเห็นได้ว่าโรงงานมีการใช้พลังงานความร้อนมากกว่าพลังงานไฟฟ้า โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อน 86.14% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในโรงงาน ผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาการใช้พลังงานความร้อนของโรงงานกรณีศึกษา และเมื่อพิจารณาถึงการที่ใช้พลังงานความร้อน พบว่าพลังงานความร้อนทั้งหมดถูกใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งแบ่งกระบวนการผลิตหลักออกเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการทอ ที่ประกอบด้วยกระบวนการ กรอด้วย สืบด้วย ลงแบ่ง รวมเส้นด้วย ร้อยตะกรอ ทอผ้า และตรวจสอบผ้า และกระบวนการฟอกย้อม ที่ประกอบด้วยกระบวนการ ปล่อยผ้า ลอกแบ่ง ย้อมผ้า สกัดแห้ง ตกแต่งผ้า และตรวจสอบผ้า ซึ่งกระบวนการที่มีการใช้พลังงานความร้อน ประกอบด้วยกระบวนการ ลงแบ่ง (3%) ลอกแบ่ง (10%) ย้อมผ้า (83.5%) ตกแต่งผ้า (0.5%) และตรวจสอบผ้า (3%)



รูปที่ 1 แผนภาพขั้นตอนการผลิตผ้าผืนและสัดส่วนการใช้พลังงาน

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงแหล่งพลังงานของกระบวนการที่ใช้พลังงานความร้อน โรงงานกรณีศึกษาใช้หม้อไอน้ำเป็นแหล่งผลิตพลังงานความร้อนหลัก ทำงานโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิง แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในภาชนะอัดความดัน เพื่อกำเนิดไอน้ำ ไอน้ำจะเป็นตัวกลางส่งถ่ายความร้อนและความดันไปยังกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีการใช้ในกระบวนการแบบโดยตรง (Direct Heating) และแบบผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Indirect Heating) จากข้อมูลการผลิตและการใช้ไอน้ำของโรงงานกรณีศึกษา พบว่า หม้อไอน้ำมีความร้อนสูญเสียเกิดขึ้นบริเวณผนังห้องเผาไหม้ นอกจากนี้แล้วกระบวนการผลิตยังมีการใช้ไอน้ำที่มีความดันแปรของปริมาณการใช้อยู่ตลอดเวลา มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 14.88 ตัน/วัน ซึ่งความร้อนสูญเสีย และความดันแปรของปริมาณการใช้ไอน้ำนี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพลดลง ด้วยเหตุนี้หม้อไอน้ำจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงงานกรณีศึกษา

3.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานระดับเครื่องจักรและอุปกรณ์

จากการวิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษาในหัวข้อที่ 3.1 ทำให้ผู้วิจัยเลือกศึกษาหม้อไอน้ำของโรงงานกรณีศึกษา โดยทำการเก็บข้อมูลจากหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Boiler) ขนาด 6 ตัน ประกอบด้วยข้อมูล ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ปริมาณการใช้น้ำ อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ และปริมาณการผลิตไอน้ำ นอกจากนี้ยังได้มีการตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวบริเวณผนังห้องเผาไหม้ทั้ง 4 ด้าน ของหม้อไอน้ำ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำ ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ซึ่งมีการบันทึกค่าอุณหภูมิทุก 1 วินาที



รูปที่ 2 การตรวจวัดอุณหภูมิที่บริเวณผนังห้องเผาไหม้

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ

บริเวณตรวจวัด	อุณหภูมิ (°C)
ผนังด้านข้าง ฝั่งพื้นที่เปิด	(T_{s1}) 64.5
ผนังด้านบ่อนเชื้อเพลิง	(T_{s2}) 73.1
ผนังด้านน้ำบ่อน	(T_{s3}) 39.1
ผนังด้านข้าง ฝั่งติดผนังอาคาร	(T_{s4}) 71.48
อากาศ	(T_{∞}) 32.6

จากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ทำการตรวจวัดมาคำนวณหาค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำทั้ง 4 ด้าน ด้วยสมการที่ (1) – (7) ในหัวข้อ 2.4 ซึ่งผลการคำนวณ แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้

พื้นที่	การสูญเสียความร้อน (kW)		รวม
	พาความร้อน	แผ่รังสีความร้อน	
ด้านข้างฝั่งพื้นที่เปิด	2.87	16.37	19.24
ด้านบ่อนเชื้อเพลิง	1.53	7.11	8.64
ด้านน้ำบ่อน	0.16	5.26	5.42
ด้านข้างฝั่งติดผนังอาคาร	0.55	17.77	18.32
รวม	5.11	46.51	51.62

จากข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ ปริมาณการผลิตไอน้ำ และปริมาณการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ สามารถหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้ท่อ และประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ ได้จากสมการที่ (9) และ (10) ในหัวข้อ 2.4 ซึ่งผลการคำนวณพบว่า หม้อไอน้ำของโรงงานกรณีศึกษา มีประสิทธิภาพรวม 45.19% ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของหม้อไอน้ำชนิดเชื้อเพลิงแข็ง โดยจากการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพลดลง คือ ความผันแปรของปริมาณการใช้น้ำที่เกิดจากการจัดตารางการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ และความร้อนสูญเสียที่เกิดขึ้นบริเวณผนังห้องเผาไหม้ จึงได้มีการศึกษาหาแนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำในขั้นตอนต่อไป

3.3 สร้างแนวทางการปรับปรุงและเลือกแนวทางที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ และระบุปัจจัยที่ส่งผลให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพลดลง สามารถสร้างแนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำได้ดังนี้

3.3.1 การจัดตารางการผลิตใหม่

การจัดตารางการผลิตใหม่เป็นแนวทางการจัดการเพื่อลดความผันแปรของปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิต ทำให้การใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้และปริมาณความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำที่เหมาะสม และสัมพันธ์กับปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิต โดยจากการวิเคราะห์ปรับค่าอัตราการไหลของน้ำที่เข้าหม้อไอน้ำให้คงที่ และคำนวณค่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำได้จากสมการที่ (8) ในหัวข้อ 2.4 ทำให้ทราบว่า หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพรวมเป็น 45.67%

3.3.2 การติดฉนวนที่ผนังห้องเผาไหม้

การติดฉนวนที่ผนังห้องเผาไหม้เป็นแนวทางที่จะช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อน โดยจากการคำนวณพบว่าบริเวณผนังห้องเผาไหม้หลังการติดฉนวน จะมีค่าการสูญเสียความร้อนรวม 50.07 กิโลวัตต์ ซึ่งค่าการสูญเสียความร้อนของผนังทั้ง 4 ด้าน แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้หลังหุ้มฉนวน

พื้นที่	การสูญเสียความร้อน (kW)		รวม
	พาความร้อน	แผ่รังสีความร้อน	
ด้านข้างฝั่งพื้นที่เปิด	2.72	15.61	18.33
ด้านบ่อนเชื้อเพลิง	1.57	6.94	8.51
ด้านน้ำบ่อน	0.18	5.13	5.31
ด้านข้างฝั่งติดผนังอาคาร	0.56	17.36	17.92
รวม	5.03	45.04	50.07

จากนั้นนำค่าการสูญเสียความร้อนหลังติดฉนวนบริเวณผนังห้องเผาไหม้มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ซึ่งจากการคำนวณพบว่าหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพรวมเป็น 45.23%

3.3.3 การดำเนินการตามแนวทางการปรับปรุงทั้ง 2 แนวทาง เป็นการดำเนินการจัดการตารางการผลิตพร้อมทั้งการติดตามบริเวณผนังห้องเผาไหม้ ซึ่งจากการคำนวณด้วยค่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำหลังการปรับอัตราการไหลของน้ำให้คงที่ และค่าการสูญเสียความร้อนหลังติดตามบริเวณผนังห้องเผาไหม้ พบว่าหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพรวมเป็น 46.14%

จากแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำในโรงงานกรณีศึกษาข้างต้น สามารถประเมินการลดการใช้กะลาปาล์มซึ่งเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ และมูลค่าจากการลดการใช้กะลาปาล์ม (ราคากะลาปาล์ม 2,704.2 บาท/ตัน) ได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การลดใช้เชื้อเพลิงและมูลค่าจากการลดใช้ของแต่ละแนวทาง

แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	ปริมาณการลดใช้กะลาปาล์ม (ตัน/ปี)	มูลค่า (บาท/ปี)
การจัดตารางการผลิตใหม่	83.90	226,884.73
การติดตาม	5.25	14,209.55
ดำเนินการทั้ง 2 แนวทาง	164.48	444,793.22

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งหนึ่ง ที่มีกระบวนการผลิตผ้าผืน โดยทำการเก็บข้อมูล แล้วนำมาวิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงาน พบว่าโรงงานมีการใช้พลังงานความร้อนมากกว่าพลังงานไฟฟ้า โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อน 86.14% ของการใช้พลังงานในโรงงาน พลังงานความร้อนทั้งหมดถูกใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งมีหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวล ขนาด 6 ตัน เป็นแหล่งผลิตพลังงานความร้อนหลัก และจากการคำนวณ พบว่าหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพรวม 45.19% โดยมีอัตราการใช้น้ำในกระบวนการผลิต และการสูญเสียความร้อนบริเวณผนังห้องเผาไหม้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ จึงได้ทำการศึกษาหาแนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำ ในหัวข้อที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าแนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เหมาะสม คือ การดำเนินการทั้ง 2 แนวทาง สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำได้เป็น 46.14% และลดปริมาณการใช้กะลาปาล์มได้ 164.48 ตัน/ปี (444,793.22 บาท/ปี) จะเห็นได้ว่าตามแนวทางการปรับปรุงนั้น หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นไม่มากนัก เนื่องจากท่อภายในห้องเผาไหม้มีการสะสมตัวของขี้เถ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในปริมาณมาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนต่ำ ขณะที่โรงงานกรณีศึกษามีหม้อไอน้ำเพียง 1 ตัว และมีการผลิต 24 ชั่วโมง ไม่สามารถกำจัดขี้เถ้าได้ด้วยการบำรุงรักษาประจำวัน จะกำจัดได้เมื่อหยุดเครื่อง โดยในอนาคตหากโรงงานมีการติดตั้งหม้อไอน้ำเพิ่ม จะสามารถหยุดการทำงานของหม้อไอน้ำเพื่อทำความสะอาดและบำรุงรักษาได้ ซึ่งจะช่วยให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์ข้อมูลสิ่งทอ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, “สถานการณ์อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทย เดือนสิงหาคม 2561,” [Online]. Available: <https://www.thaitextile.org/th/insign/detail.699.1.0.html>.
- [2] วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา, อุตสาหกรรมสิ่งทอไทย, กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2544.
- [3] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, “คู่มืออนุรักษ์พลังงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ,” [Online]. Available: <http://php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/20.pdf>.
- [4] ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, “รายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย 2560,” [Online]. Available: http://www.dede.go.th/download/state_61/Thailand_Energy_Efficiency_Situation_2017.pdf.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน. “พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550),” [Online]. Available: http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=134.
- [6] E. Alkaya, and G.N. Demirel, “Sustainable textile production: A case study from a woven fabric manufacturing mill in Turkey,” Journal of Cleaner Production, vol. 65, pp. 595-603, 2014.
- [7] A. Hasanbeigi, and L. Price, “A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, pp. 3648-3665, 2012.
- [8] สมศักดิ์ จันทนาภัก, “ศักยภาพการประหยัดพลังงานในโรงงานสิ่งทอ,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- [9] พงศ์ปิติ เดชะศิริ, “ศักยภาพการประหยัดพลังงานและอุปสรรคของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- [10] วุฒิสักดิ์ ทะนวนรัมย์, “ศักยภาพการประหยัดพลังงานและอุปสรรคของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวพิชญา ศรีมงคล
 วัน เดือน ปีเกิด 20 มิถุนายน 2534 ที่ จังหวัดราชบุรี
 ที่อยู่ 72 หมู่ 4 ตำบลบางป่า อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี 70000
 โทร. 0868145051

ประวัติการศึกษา 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2560-ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรปฏิบัติการ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
 ตั้งอยู่ที่ 75/6 ถ. พระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

ผลงานวิชาการ

พิชญาศรีมงคล และ สกนธ์ คล่องบุญจิต, “การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำ
 สำหรับกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ,” การประชุมวิชาการ
วิจัยดำเนินงานแห่งชาติ 2562, pp. 343-349, 2562.