การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับกิจการซักรีด กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัดเซ็นทรัลลอนดรี้

ENERGY COST REDUCTON FOR LAUNDRY BUSINESS: CASE STUDY OF CENTRAL LAUNDRY LTD., PART.

นางสาวจินต์จุฑา จันทร์ห่วง

MS. JINJUTA JANLUANG

นางสาวธวัลรัตน์ รุจิราวรรณากร

MS. TAWANRAT RUJIRAWANNAKORN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับกิจการซักรีด
กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัดเซ็นทรัลลอนดรี้

ENERGY COST REDUCTON FOR LAUNDRY BUSINESS:
CASE STUDY OF CENTRAL LAUNDRY LTD., PART.

นางสาวจินต์จุฑา จันทร์หลวง

MS. JINJUTA JANLUANG

นางสาวธวัลรัตน์ รุจิราวรรณกร

MS. TAWANRAT RUJIRAWANNAKORN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

Energy Cost Reduction for Laundry Business: Case Study of Central Laundry Ltd., Part.

MS. JINJUTA JANLUANG

MS. TAWANRAT RUJIRAWANNAKORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับกิจการซักรีด กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัด เซ็นทรัลลอนดรี้ Energy Cost Reduction: Case Study of Central Laundry Ltd., Part.		
นักศึกษา	นางสาวจินต์จุฑา จันทร์หลวง	รหัสประจำตัว	53010210
	นางสาวธวัลรัตน์ รุจิราวรรณกร	รหัสประจำตัว	53010719
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับกิจการซักรีด กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัด เซ็นทรัลลอนดรี้
นักศึกษา	นางสาวจินต์จุฑา จันทร์หลวง
	นางสาวธวัลรัตน์ รุจิราวรรณกร
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาวิธีการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับกิจการซักรีด โดยทำการศึกษา ณ ห้างหุ้นส่วนจำกัดเซ็นทรัลลอนดรี้ โรงงานกรณีศึกษานี้มีการซักรีดเสื้อผ้า 2 ประเภทได้แก่ ผ้ายีนส์ และผ้าชนิดอื่น ซึ่งพบว่าในการซักรีดผ้ายีนส์จะมีการใช้พลังงานสิ้นเปลืองมากกว่าผ้าชนิดอื่น โดยพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิงเป็นพลังงานที่สิ้นเปลืองที่สุด ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของกะลาปาล์มที่สั่งซื้อต่อเดือนมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานอื่นๆ จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดค่าใช้จ่ายกะลาปาล์มโดยใช้ความรู้ด้านการจัดการและด้านวิศวกรรมศาสตร์ ด้วยวิธีด้านการจัดการ, ได้นำเสนอวิธีการทำงานแบบใหม่โดยการวางแผนการทำงานจากส่วนกลางและใช้บัตรสื่อสารเพื่อเพิ่มการสื่อสารระหว่างสถานี ด้วยวิธีด้านวิศวกรรมศาสตร์, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเครื่องอบผ้ายีนส์ได้ถูกออกแบบใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการศึกษาพบว่า 1) ด้วยวิธีการวางแผนการซักรีดแบบใหม่สามารถลดค่าใช้จ่ายกะลาปาล์มลง 31.94% และ 2) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบผ้าแบบใหม่สามารถลดค่าใช้จ่ายกะลาปาล์มลง 4.42% โดยมีค่า NPW เท่ากับ 587,326.35 บาท IRR เท่ากับ 38.20% ต่อปี B/C เท่ากับ 2.46 และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.5 ปี ตลอดอายุใช้งาน 7 ปี ที่อัตราผลตอบแทน 5% ต่อปี โดยอ้างอิงจากราคากะลาปาล์มที่ 3.5 บาท/กิโลกรัม

Thesis Title	Energy Cost Reduction: Case Study of Central Laundry Ltd., Part.
Student	Ms. Jinjuta Janluang
	Ms. Tawanrat Rujirawannakorn
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2013
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Sakon Klongboonjit

ABSTRACT

This thesis is to study on how to decrease the energy cost for launder business. By studying at Central Laundry Ltd., Part., this factory launders two types of fabric which are Jean and other fabrics. It shows that Jean consume more energy than other fabrics and the thermal energy generated by burning oil palm shell is the most wasted consumption energy of all; therefore the cost of oil palm shell orders per month is the highest cost compared to other energy costs. So the study aims to study the possibility to reduce the cost of oil palm shell by using management knowledge and engineering knowledge. With management knowledge, it offers new ways working process by using centralized planning and communication pass in the communication system in order to communicate between each station. With engineering knowledge, the new heat exchanger dryer is redesigned for laundry jean with more efficiency. The study shows that 1) New management planed can save the oil palm shell cost up to 31.94% 2) New heat exchanger dryer can save the oil palm shell cost up to 4.42% with 587,326.35 baht of NPW, 38.20% per year of IRR, 2.46 % of B/C, and 2.5 years of payback period over the 7-year-rate at the rate of return 5% per year base on oil palm shell price of 3.5 baht/kg.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ชุมพล ยวงใย และดร. กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ที่ให้ความกรุณาในการให้คำแนะนำที่ดี ชี้แนะข้อบกพร่องต่างๆ ของโครงการ

ขอขอบคุณ คุณจิรวัฒน์ เชียงทอง นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับคำแนะนำในเรื่องทฤษฎีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ขอขอบคุณ คุณวิศิษฐ์ เยาวพงศ์ศิริ ประธานบริษัท เรดิคอน จำกัดมหาชน สำหรับการอำนวยความสะดวกในการผลิตและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ขอขอบคุณผู้บริหารและพนักงานห้างหุ้นส่วนจำกัดเซ็นทรัลลอนดรี้ โรงงานกรณีศึกษา สำหรับการอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในโรงงาน รวมถึงการให้งบประมาณสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้

ขอบคุณเพื่อนทุกคนรวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ ความห่วงใย และคอยเป็นกำลังใจจนทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

นางสาวจินต์จุฑา จันทร์หลวง

นางสาวธวัลรัตน์ รุจิราวรรณกร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 แผนการดำเนินงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการแก้ปัญหา 7 ขั้นตอน 3

2.1.1 ความเป็นมาของทฤษฎีการแก้ปัญหา 3

2.1.2 ขั้นตอนการแก้ปัญหา 4

2.1.2.1 ระบุปัญหา 4

2.1.2.2 มองหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา 4

2.1.2.3 แจกแจงทางเลือกต่างๆสำหรับวิธีที่จะใช้แก้ปัญหา 5

2.1.2.4 เลือกวิธีการแก้ปัญหา 5

2.1.2.5 วางแผนนำทางเลือกในการแก้ปัญหาที่เป็นวิธีที่ดีที่สุดไปปฏิบัติหรือจัดทำแผนปฏิบัติการ 5

2.1.2.6 ดูแลควบคุมการปฏิบัติตามแผนโดยพิจารณาตัวบ่งชี้ความสำเร็จ 5

2.1.2.7 ตรวจสอบว่าปัญหาได้รับการแก้ไขเรียบร้อยแล้วหรือไม่ 5

2.2 ทฤษฎีการทบทวนด้านพลังงาน 6

2.2.1 ความหมายและขั้นตอนการทบทวนด้านพลังงาน 6

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2 สูตรคำนวณที่เกี่ยวข้องในการทำกิจกรรมการทบทวนพลังงาน 6

2.2.2.1 การคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้า 6

2.2.2.2 การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานความร้อน 7

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษางาน 8

2.3.1 ความหมายของการศึกษางาน 8

2.3.2 การเพิ่มผลผลิต 9

2.3.3 การวิเคราะห์กระบวนการ 10

2.3.4 การคำนวณรอบทำงานและจังหวะความต้องการของลูกค้า 11

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 11

2.4.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 12

2.4.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตัดกันหรือตั้งฉากกัน 12

2.4.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อขัดกัน 12

2.4.2 การวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 14

2.4.3 การไหลผ่านท่อหลายชั้น 15

2.5 ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 22

2.5.1 การเปรียบเทียบคุณค่าของโครงการด้วยมูลค่าปัจจุบันและมูลค่าเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา 23

2.5.1.1 การเปรียบเทียบโครงการหลายๆโครงการที่มีอายุโครงการเท่ากัน 23

2.5.1.2 การเปรียบเทียบโครงการหลายๆโครงการที่มีอายุโครงการไม่เท่ากัน 23

2.5.2 การคำนวณหาค่า Internal Rate of Return 24

2.5.3 การหาค่า Benefit/Cost Ratio ของโครงการ 24

2.5.4 การหาระยะเวลาคืนทุนของโครงการ 24

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล 27

3.1.1 กระบวนการซักรีดของบริษัทกรณีศึกษา 27

3.1.2 ผลิตภัณฑ์ 28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.4 พลังงานประเภทต่างๆในห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา..... 29

3.1.4.1 พลังงานไฟฟ้า..... 29

3.1.4.2 พลังงานความร้อน..... 29

3.2 การกำหนดและนิยามปัญหา..... 30

3.2.1 ทำการชี้บ่งแหล่งพลังงานที่ใช้และแยกประเภทพลังงานของบริษัท..... 30

3.2.2 บันทึกปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานแต่ละประเภทและผลผลิตย้อนหลัง 12 เดือน.... 30

3.2.3 ประเมินปริมาณการใช้พลังงาน ประสิทธิภาพพลังงาน และจัดทำสัดส่วนการใช้พลังงาน 33

3.2.4 สร้างแผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน..... 33

3.3 การหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา..... 34

3.3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา..... 35

3.3.2 วิเคราะห์สาเหตุของการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญจำนวนมาก โดยผังก้างปลา..... 35

3.4 มาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญ..... 35

3.4.1 ออกแบบแนวคิดการแก้ปัญหาเพื่อลดการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ..... 35

3.4.2 การศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีการแก้ปัญหาในด้านเทคนิควิศวกรรม..... 36

3.4.3 การศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีการแก้ปัญหาด้านการเงิน..... 36

3.5 การวางแผนนำมาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญไปใช้..... 36

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล..... 37

4.1.1 กระบวนการซักรีดของบริษัทกรณีศึกษา..... 37

4.1.2 ผลิตภัณฑ์..... 38

4.1.2.1 ผลิตภัณฑ์ผ้าชนิดอื่น..... 38

4.1.2.2 ผลิตภัณฑ์ผ้ายีนส์..... 40

4.1.3 กรรมวิธีในการซักรีดเสื้อผ้า..... 42

4.1.4 พลังงานประเภทต่างๆในห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา..... 43

4.1.4.1 พลังงานไฟฟ้า..... 43

4.1.4.2 พลังงานความร้อนหรือพลังงานเชื้อเพลิง..... 46

4.2 การกำหนดและนิยามปัญหา..... 46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1 ทำการชี้บ่งแหล่งพลังงานที่ใช้และแยกประเภทพลังงานของบริษัท..... 46

4.2.2 บันทึกข้อมูลปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานแต่ละประเภท
และผลผลิตย้อนหลัง 12 เดือน..... 47

4.2.3 ประเมินปริมาณการใช้พลังงาน ประสิทธิภาพพลังงาน และสัดส่วนการใช้พลังงาน..... 49

4.2.4 สร้างแผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน..... 51

4.2.4.1 แผนภูมิแสดงระบบที่ใช้พลังงานรวมมากที่สุด..... 51

4.2.4.2 แผนภูมิแสดงประเภทพลังงานที่มีนัยสำคัญในระบบการผลิต..... 51

4.2.4.3 การหาเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญมากที่สุด..... 53

4.3 การหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา..... 54

4.3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา..... 54

4.3.2 วิเคราะห์สาเหตุของการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญจำนวนมากโดยผังก้างปลา..... 55

4.4 มาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญ..... 56

4.4.1 ปัญหาด้านกระบวนการผลิต..... 57

4.4.1.1 แนวคิดการแก้ปัญหา..... 57

4.4.1.2 การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค..... 57

4.4.1.3 การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน..... 68

4.4.2 ปัญหาด้านเครื่องจักร..... 69

4.4.2.1 แนวคิดการแก้ปัญหา..... 70

4.4.2.2 การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค..... 70

4.4.2.3 การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน..... 75

4.5 การวางแผนนำมาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญไปใช้..... 77

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน..... 78

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 79

บรรณานุกรม..... 80

ภาคผนวก ก ข้อมูลการคำนวณประสิทธิภาพความร้อน

ภาคผนวก ข ข้อมูลการคำนวณความเป็นไปได้ที่จะลงทุนโครงการ

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน..... 2

ตารางที่ 2.1 ตารางค่าความร้อนของเชื้อเพลิง..... 8

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่สำหรับอากาศไหลผ่านชั้นท่อตั้งแต่ 10 แถวหรือมากกว่า..... 17

ตารางที่ 2.3 แฟคเตอร์แก้ไข C_2 สำหรับ N < 10..... 18

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ของสมการ (2.15) สำหรับการไหลผ่านท่อหลายชั้น..... 19

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกเวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการซักรีดในหน่วยนาที สำหรับการซักรีดผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์ตามสูตรการซัก A, B, C และD..... 28

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเสื้อผ้า และจำนวนผ้าที่มากที่สุดในหน่วยจำนวนตัวที่ใส่ได้ในแต่ละกระบวนการผลิต..... 29

ตารางที่ 3.3 ตารางแยกประเภทพลังงานของบริษัท..... 30

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดข้อมูลการผลิตย้อนหลัง 12 เดือน..... 31

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 12 เดือน..... 32

ตารางที่ 3.6 แสดงปริมาณและค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงย้อนหลัง 12 เดือน..... 32

ตารางที่ 3.7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงแยกตามระบบ..... 33

ตารางที่ 3.8 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมแยกเป็นระบบ..... 33

ตารางที่ 3.9 ตัวอย่างตารางเปรียบเทียบค่าตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมตามเกณฑ์การพิจารณาและค่าที่ได้ 36

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงเวลาที่ใช้ในกระบวนการซักรีดของผ้าชนิดสีและยีนส์ สำหรับสูตรการซัก A, B, C และ D 42

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเสื้อผ้าที่แบ่งออกเป็น ขนาดเล็ก (S) และใหญ่ (L) และจำนวนผ้าที่มากที่สุดที่ใส่ได้ในแต่ละกระบวนการทำงาน หน่วยเป็นจำนวนตัว..... 43

ตารางที่ 4.3 ตารางแยกประเภทพลังงานของบริษัท..... 47

ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดข้อมูลการผลิตย้อนหลัง 12 เดือน..... 47

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 12 เดือน..... 48

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณและค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงย้อนหลัง 12 เดือน..... 49

ตารางที่ 4.7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง..... 50

ตารางที่ 4.8 ตารางสัดส่วนการใช้พลังงานรวมแยกเป็นระบบ..... 50

ตารางที่ 4.9 ตารางสาเหตุของปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหา..... 56

ตารางที่ 4.10 ตารางใบสั่งซักรีดในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556..... 58

ตารางที่ 4.11 แสดงเวลารวมในการซัก สลัด และอบของผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์ และแสดงเปอร์เซ็นต์เวลา..... 59

ตารางที่ 4.12 ตารางมาตรฐานในการแบ่งสัดส่วนเครื่องจักรสำหรับผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์..... 59

ตารางที่ 4.13 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W5..... 61

ตารางที่ 4.14 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W6..... 61

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.15 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W7 61
ตารางที่ 4.16 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W8 61
ตารางที่ 4.17 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W9 62
ตารางที่ 4.18 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W10 62
ตารางที่ 4.19 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W11 62
ตารางที่ 4.20 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W12 62
ตารางที่ 4.21 แสดงรายการผลิตของพนักงานสลัดผ้าประจำเครื่องสลัดผ้าหมายเลข S3 63
ตารางที่ 4.22 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D5 64
ตารางที่ 4.23 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D6 64
ตารางที่ 4.24 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D7 65
ตารางที่ 4.25 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D8 65
ตารางที่ 4.26 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D9 65
ตารางที่ 4.27 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D10 66
ตารางที่ 4.28 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าแก๊ส หมายเลข LPG2 66
ตารางที่ 4.29 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าแก๊ส หมายเลข LPG3 66
ตารางที่ 4.30 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าแก๊ส หมายเลข LPG4 66
ตารางที่ 4.31 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าแก๊ส หมายเลข LPG5 67
ตารางที่ 4.32 ตารางสรุปเวลาที่ใช้ในการอบผ้า (ชั่วโมง) และปริมาณผลผลิต (กิโลกรัม) ก่อนและหลังปรับปรุง 68
ตารางที่ 4.33 ตารางเปรียบเทียบตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมตามเกณฑ์การพิจารณาและค่าที่ได้จริง 69
ตารางที่ 4.34 ตารางประเมินคุณสมบัติรังผึ้งก่อนและหลังปรับปรุง 71
ตารางที่ 4.35 ตารางเก็บข้อมูลอุณหภูมิไอน้ำ อุณหภูมิอากาศและความเร็วลม ก่อนและหลังการปรับปรุง 74
ตารางที่ 4.36 ตารางแสดงข้อมูลเวลาที่ใช้ในการอบผ้ายืนส์ให้แห้งในหน่วยนาที ก่อนและหลังปรับปรุง 75
ตารางที่ 4.37 ตารางประมาณค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อเดือนทั้ง 12 เดือน หลังติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยน
ความร้อนใหม่ จำนวน 4 เครื่อง 75
ตารางที่ 4.38 ตารางเปรียบเทียบค่าที่ได้จริงและเกณฑ์การพิจารณา 76

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ภาพแทนประเภทกิจกรรม 10

รูปที่ 2.2 แผนภูมิการไหล..... 11

รูปที่ 2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉากกัน (a) มีครีบและของไหลทั้งสองเป็นแบบ Unmixed (b) ไม่มีครีบของไหลหนึ่งเป็นแบบ Mixed และอีกของไหลหนึ่งเป็นแบบ Unmixed..... 12

รูปที่ 2.4 ภาพวาดแสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ซ้อนกัน (a) Parallel Flow และ (b) Counter Flow..... 13

รูปที่ 2.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน Shell and Tube 13

รูปที่ 2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน Shell and Tube แบบ (a) , (b) One Shell Pass และ Two Tube Pass (c) Two Shell และ Four Tube Pass 14

รูปที่ 2.7 แสดงรูปภาพของอุณหภูมิสำหรับการไหลตามกันและการไหลสวนทางกันในเครื่องแบบท่อซ้อนกัน 15

รูปที่ 2.8 ภาพวาดการไหลผ่านชั้นท่อ..... 15

รูปที่ 2.9 การจัดท่อหลายชั้น (a) แนวเดียวกัน (Aligned) (b) แนวเยื้อง (Staggered) 16

รูปที่ 2.10 สภาวะการไหลของท่อแบบ (a) แนวเดียวกัน (b) สลับกันหรือเยื้องกัน 20

รูปที่ 2.11 ตัวประกอบเสียดทาน (f) และตัวประกอบแก้ไข X (Factor X) สำหรับการจัดท่อในแนวเดียวกัน 21

รูปที่ 2.12 ตัวประกอบเสียดทาน (f) และตัวประกอบแก้ไข X (Factor X) สำหรับการจัดท่อสลับกัน..... 21

รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการเขียนแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต 27

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแผนภูมิวงกลม แสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การนับถือศาสนาในเลบานอล 34

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างแผนภูมิแท่ง แสดงอัตราส่วนระหว่างชายและหญิงในสำนักงาน..... 34

รูปที่ 3.4 แสดงการเชียงผังก้างปลา โดยมีปัญหาคือความไม่สมดุลของสายการประกอบ 35

รูปที่ 4.1 แสดงการไหลของกระบวนการซักรีดโดยรวม..... 38

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างเสื้อผ้าที่ผ่านการซักแบบ A..... 38

รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างกางเกงสีเทา เนื้อผ้ามีความเงาเล็กน้อย..... 39

รูปที่ 4.4 แสดงกางเกงสีซีดขึ้นลายตะเข็บ..... 39

รูปที่ 4.5 ชุดกระโปรงสีขาวที่ผ่านการย้อมสี..... 40

รูปที่ 4.6 แสดงกางเกงยีนส์ขาสามส่วนที่ผ่านการซักปรับผ้านุ่ม..... 40

รูปที่ 4.7 รูปกางเกงยีนส์ขาสั้น (a) ผ่านการซักไบโอสีเข้ม (b) ผ่านการซักไบโอสีอ่อน..... 41

รูปที่ 4.8 กางเกงยีนส์เคลือบสีเขียวขายาว..... 41

รูปที่ 4.9 เครื่องซักผ้า..... 44

รูปที่ 4.10 เครื่องสลัดผ้า..... 44

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11 เครื่องอบผ้าประเภทใช้ไอน้ำและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน..... 44

รูปที่ 4.12 เครื่องอบผ้าประเภทใช้แก๊ส..... 45

รูปที่ 4.13 เครื่องอบผ้าลมเย็น..... 45

รูปที่ 4.14 แผนภูมิวงกลมแสดงเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานรวมในหน่วยเมกะจูลของระบบต่างๆ..... 51

รูปที่ 4.15 แสดงเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงาน 3 ประเภทในระบบการผลิตในหน่วยเมกะจูล..... 52

รูปที่ 4.16. แผนภูมิแท่งแสดงค่าใช้จ่าย ในหน่วยบาท/ปี ของพลังงานทั้งสามประเภทในหน่วยบาทต่อปี..... 52

รูปที่ 4.17 แผนภูมิแท่งแสดงเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานกะลาปาล์มของเครื่องอบผ้าไอน้ำและเครื่องซักผ้า..... 53

รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงเวลารวมที่ใช้ในการอบผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์ต่อปีในหน่วยนาที..... 53

รูปที่ 4.19 แสดงแผนผังแผนกการผลิตของโรงงาน..... 55

รูปที่ 4.20 ผังก้างปลาแสดงการหาสาเหตุกระบวนการอบผ้ายีนส์ใช้เวลานาน..... 56

รูปที่ 4.21 แสดงตารางผลลัพธ์ความถี่และเวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการซักรีด จากโปรแกรมวางแผนการผลิต 60

รูปที่ 4.22 แสดงภาพบัตรสื่อสารระหว่างแผนกที่ออกแบบไว้..... 67

รูปที่ 4.23 แสดงวิธีใช้บัตรสื่อสารระหว่างกระบวนการต่าง..... 68

รูปที่ 4.24 แผนภูมิแสดงค่ากะลาปาล์มก่อนและหรับปรับปรุง ในหน่วย บาทต่อวัน..... 69

รูปที่ 4.25 ภาพรังผึ้งก่อนปรับปรุง..... 70

รูปที่ 4.26 ภาพรังผึ้งหลังปรับปรุง..... 70

รูปที่ 4.27 ภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากการซ้อนกันของท่อรังผึ้ง 20 ชั้น..... 72

รูปที่ 4.28 ภาพฉายอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2 ฝั่ง รวมรังผึ้งจำนวน 40 ท่อ..... 72

รูปที่ 4.29 แสดงด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนปรับปรุง..... 73

รูปที่ 4.30 ภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังปรับปรุง..... 73

รูปที่ 4.31 ภาพขณะติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบใหม่ และวัดค่าตัวแปรต่างๆ
ในวันที่ 18 ธันวาคม 2556..... 74

รูปที่ 4.32 แสดงแผนภูมิแท่งค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อกะลาปาล์มต่อเดือนของก่อนและหลังปรุง..... 76

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในสถานการณ์ปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆมีแนวโน้มการแข่งขันที่สูงขึ้น ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและราคาถูก ภายใต้การแข่งขันที่กดดันเช่นนี้ ทำให้หลายบริษัทหันมาสนใจการลดต้นทุนของโรงงาน โดยการเพิ่มกิจกรรมการตรวจหา การปรับปรุง และการลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นของบริษัท เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแข่งขัน ให้บริษัทสามารถอยู่ได้อย่างยั่งยืน การลดต้นทุนของบริษัทสามารถทำได้หลายด้านไม่ว่าจะเป็นการลดต้นทุนโดยการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านการจัดการ หรือการนำความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์มาปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมก็ดี สำหรับการลดต้นทุนทางด้านพลังงานนั้น สามารถแบ่งพลังงานออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่พลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) และพลังงานความร้อน (Thermal Energy)

บริษัทซักอบรีดกรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด เซ็นทรัลลอนดรี้ เป็นโรงงานอุตสาหกรรมซักอบรีดเสื้อผ้า มีสายการผลิตที่ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 2 ประเภท ได้แก่ ผ้าสี (Other Fabric) และผ้ายีนส์ (Jeans) ซึ่งมีสูตรการซักรวมกัน 8 สูตร จากการเก็บข้อมูลพบว่า แผนกที่มีการใช้พลังงานแต่ละประเภทมากที่สุดคือแผนกการผลิต และจากการแจกแจงพลังงานประเภทต่างๆ พบว่าพลังงานที่โรงงานกรณีศึกษาบริโภคแบ่งเป็น พลังงาน 3 ประเภท ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้กะลาปาล์ม (Thermal Energy From Oil Palm Shell) และพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ LPG (Thermal Energy From LPG) โดยพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้กะลาปาล์มมีค่าใช้จ่ายสูงที่สุด ทางคณะผู้จัดทำจึงต้องมุ่งเน้นการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเผาไหม้กะลาปาล์ม

จากการศึกษาปัญหา 4 ด้าน ได้แก่ ปัญหาด้านเครื่องจักร ปัญหาด้านวิธีการทำงาน ปัญหาด้านพนักงาน ปัญหาด้านวัสดุอุปกรณ์ พบว่าปัญหาเกิดจาก 3 ด้าน ได้แก่ ปัญหาด้านวิธีการทำงานที่ใช้ระบบเหมา ให้พนักงานแบ่งงานกันเอง จึงทำให้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ไม่มีประสิทธิภาพ ปัญหาด้านเครื่องจักรที่มีการใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้กะลาปาล์มสิ้นเปลือง ได้แก่ ตู้อบผ้าไอน้ำที่มีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประสิทธิภาพต่ำ ใช้งานพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้กะลาปาล์มไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้ต้องใช้เวลาในการอบผ้าถึง 58 นาทีต่อการอบผ้าหนึ่งครั้ง และประการสุดท้าย คือ ปัญหาด้านพนักงาน เนื่องจากพนักงานมีความหลากหลายทางเชื้อชาติทำให้เกิดอุปสรรคในการสื่อสารระหว่างแผนกก่อให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

จากการสำรวจโรงงานกรณีศึกษา ทำให้คณะผู้จัดทำมีความจำเป็นต้องดำเนินแผนการลดต้นทุนด้านพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้กะลาปาล์ม โดยอาศัยความรู้ด้านการจัดการและด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้บริษัทสามารถลดต้นทุนในส่วนที่ไม่จำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพในการแข่งขันต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อกะลาปาล์มอย่างน้อย 3%

2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดปริมาณการใช้กะลาปาล์มโดยการปรับปรุงกระบวนการทำงานของพนักงานและปรับปรุงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบผ้าไอน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานจากกะลาปาล์มไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นอย่างน้อย 15%

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

โครงงานนี้จะศึกษาเฉพาะการซักรีดผ้ายีนส์ของห้างหุ้นส่วนจำกัดเซ็นทรัลลอนดรี้เท่านั้น โครงงานนี้จะศึกษาที่แผนกการผลิตของห้างหุ้นส่วนจำกัดเซ็นทรัลลอนดรี้เท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสั่งซื้อกะลาปาล์มของห้างหุ้นส่วนจำกัดเซ็นทรัลลอนดรี้ได้
2. สามารถบริหารจัดการกระบวนการทำงานได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
3. สามารถหาโอกาสในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเดิมได้

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

รายการ	ระยะเวลา									
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาเพื่อหาหัวข้อที่น่าสนใจในการทำโครงงานวิจัย	←	→								
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง										
2.1 ศึกษาเรื่องThermodynamics										
2.2 ศึกษาเรื่องหลักการทำงานของหม้อไอน้ำ										
2.3 ศึกษาเรื่องการถ่ายเทความร้อน		←	→							
2.4 ศึกษาเรื่องอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน										
2.5 ศึกษาเรื่องพลังงานภาคอุตสาหกรรม										
3. ระบุปัญหา และสาเหตุที่แท้จริงโดยการทำ										
3.1 Energy review		←	→							
3.2 5W1H										
4. ทำการวิเคราะห์และหามาตรการแก้ไขปัญหา			←	→						
5. ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของแนวทางแก้ไข										
5.1 ความเป็นไปได้ในเชิงวิศวกรรม			←	→						
5.2 ความเป็นไปได้ในด้านการเงิน										
6. คัดเลือกมาตรการที่ดีที่สด และวางแผนการนำมาตรการไปใช้จริง			←	→						
7. ดำเนินการทำงานตามมาตรการที่ได้วางแผนไว้				←	→					
8. ทำการตรวจสอบความสำเร็จของโครงการ										
8.1 บันทึกข้อมูล						←	→			
8.2 วิเคราะห์ผลลัพธ์										
8.3 เปรียบเทียบผลลัพธ์กับวิธีการอื่น										

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเผาไหม้กะลาปาล์มเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานความร้อนของห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา โดยใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งด้านการจัดการและด้านเทคนิควิศวกรรม ซึ่งกลุ่มผู้วิจัยไว้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีการแก้ปัญหา 7 ขั้นตอน (Seven Steps Problem Solving)
2. ทฤษฎีการทบทวนด้านพลังงาน (Energy Review)
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษางาน (Work Study)
4. ทฤษฎีเกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)
5. ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy)

2.1 ทฤษฎีการแก้ปัญหา 7 ขั้นตอน [1]

ทฤษฎีแก้ไขปัญหา 7 ขั้นตอน (Seven Steps Problem Solving) เป็นทฤษฎีที่มีการวิวัฒนาการพัฒนาปรับปรุงมาอย่างยาวนาน และเป็นวิธีการปฏิบัติเพื่อขจัดปัญหาให้หมดไปพร้อมคิดวิธีการแก้ไขและป้องกันไม่ให้ปัญหาดังกล่าวเกิดซ้ำอีก

2.1.1 ความเป็นมาของทฤษฎีการแก้ปัญหา

ทฤษฎีการแก้ปัญหาส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากผลงานเรื่องนักแก้ปัญหาทั่วไป (General Problem Solver) ของ Ernest & Newell (1969) และ Newell & Simon (1972) ซึ่งเป็นทฤษฎีการแก้ปัญหาของมนุษย์ (Human Problem Solving) ในรูปแบบของโปรแกรมที่เป็นสถานการณ์จำลอง ผลงานนี้ช่วยวางรากฐานเกี่ยวกับการประมวลสารสนเทศสำหรับศึกษาเรื่อง การแก้ปัญหา และหลักการของทฤษฎีนี้คือ พฤติกรรมการแก้ปัญหาประกอบด้วย "วิธีการ-ปลายทาง-วิเคราะห์" ซึ่งเป็นการนำปัญหามาแตกออกเป็นองค์ประกอบหรือเป้าหมายย่อยๆ แล้วจึงจัดการแก้ไขเป้าหมายย่อยๆ เหล่านั้นทีละเรื่อง แนวคิดนี้ตรงกันข้ามกับ Wertheimer (1959) นักจิตวิทยาในกลุ่มทฤษฎีเกสตอลต์ ซึ่งทำการวิจัยเรื่องการแก้ปัญหาและให้ความสำคัญด้านความเข้าใจเรื่องโครงสร้างของปัญหา โดยเชื่อว่าพฤติกรรมการแก้ปัญหาที่ประสบผลสำเร็จเป็นเพราะบุคคลผู้นั้นสามารถมองเห็นโครงสร้างโดยรวมทั้งหมดของปัญหา หลักการของทฤษฎีนี้ คือ ผู้เรียนจะต้องได้รับการสนับสนุนให้เกิดการค้นพบธรรมชาติของปัญหาหรือประเด็นหัวข้อที่ต้องการแก้ไข สิ่งที่เป็นช่องว่าง ความไม่ลงรอยกัน หรือสิ่งรบกวนต่างๆ เป็นสิ่งเร้าที่สำคัญต่อการเรียนรู้ การเรียนการสอนจะต้องอยู่บนพื้นฐานของกฎองค์กรประกอบด้วยความใกล้เคียงการปกปิด ความคล้ายคลึง และความเรียบง่าย

DeBono (1971 และ 1991) เสนอแนวคิดในการแก้ปัญหาโดยประยุกต์ใช้วิธีการคิดแบบนอกกรอบ โดยเชื่อว่าปัญหาส่วนใหญ่ต้องการมุมมองที่แตกต่างจึงจะแก้ไขได้สำเร็จ วิธีการที่จะทำให้ได้มุมมองที่แตกต่างเกี่ยวกับปัญหา คือ การแยกปัญหาเป็นส่วนๆ แล้วนำกลับมารวมกลุ่มเข้าด้วยกันในลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิมหรือสุ่มบางส่วนมารวมกัน หลักการนี้เสนอองค์ประกอบในการแก้ปัญหา 4 ประการ คือ

1. ค้นหาความคิดเด่นๆ ที่เป็นหลักในทำความเข้าใจกับปัญหา

2. ค้นหาวิธีการที่แตกต่างออกไปในการมองปัญหา

3 ปล่อยวางการคิดแบบยึดติด

4 ให้โอกาสตัวเองในการเปิดรับความคิดอื่นๆ

McNamara (1999) กล่าวว่าวิธีการแก้ปัญหามีหลากหลายวิธี ไม่มีวิธีการแก้ปัญหาใดที่จะสามารถแก้ปัญหาทุกเรื่องได้ แต่มีแนวปฏิบัติพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาได้ โดยสรุปขั้นตอนการปฏิบัติออกเป็น 7 ขั้นตอน

2.1.2 ขั้นตอนแก้ปัญหา

ขั้นตอนการแก้ปัญหามีดังต่อไปนี้

2.1.2.1 <u>ระบุปัญหา</u>

การระบุปัญหาต้องอาศัยข้อมูลจากตนเองและผู้อื่น ซึ่งได้มาโดยใช้วิธีการตั้งคำถาม อาทิ อะไรคือสิ่งที่เห็นว่าเป็นสาเหตุ ที่ทำให้มีปัญหาเกิดขึ้น ปัญหาที่ว่านั้นเกิดขึ้นที่ไหน เกิดขึ้นอย่างไร เกิดขึ้นเมื่อใด กำลังเกิดขึ้นกับใคร และทำไมจึงเกิดขึ้น จากนั้นให้เขียนอธิบายว่าสิ่งที่กำลังเกิดในขณะนั้น โดยแท้จริงควรจะเป็นอย่างไร ต้องพยายามอธิบายให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เขียนอย่างเจาะจง และครอบคลุมประเด็นว่า อะไร ที่ไหน อย่างไร กับใคร และทำไม

- เมื่อถึงจุดนี้ หากปัญหายังดูเหมือนว่าเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อน ควรระบุปัญหาให้กระจายออกมาแบบย่อยๆ ลงไปอีก โดยตั้งคำถามซ้ำอย่างเดิม จนกว่าจะได้คำอธิบายสำหรับปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมากพอ

- ทำการตรวจสอบว่าความเข้าใจที่มีต่อปัญหาต่างๆ นั้นมีความถูกต้องเพียงใด โดยการหารือกับสมาชิกในกลุ่มหรือบุคคลอื่น

- นำปัญหาต่างๆ มาจัดความสำคัญ หากพบว่ามีปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันจำนวนหลายปัญหา ให้พิจารณาว่า ปัญหาใดควรจัดการก่อนปัญหาใดจัดการทีหลัง ทั้งนี้ต้องแยกให้ชัดเจนระหว่างปัญหาที่มีความสำคัญกับปัญหาที่เป็นเรื่องฉุกเฉิน เพราะปัญหาที่มีความสำคัญเป็นปัญหาที่ต้องจัดการก่อน

- ทำความเข้าใจกับบทบาทของตนเองในปัญหานั้นให้ถูกต้อง เพราะเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการรับรู้บทบาทของผู้อื่น ตัวอย่างเช่น เมื่อตนเองเครียดก็อาจมองว่าผู้อื่นเครียดเช่นเดียวกัน ซึ่งความจริงอาจไม่เป็นเช่นนั้น

2.1.2.2 <u>มองหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา</u>

ในขั้นนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับข้อมูลนำเข้าจากบุคคลอื่นซึ่งรับรู้ปัญหาและจากผู้ที่ได้รับผลกระทบจากปัญหา การเก็บข้อมูลควรทำเป็นรายบุคคลจะได้ข้อมูลมากกว่า ให้จดบันทึกสิ่งที่เป็นความคิดเห็นของตนเองและสิ่งที่ได้ยินมาจากผู้อื่น จากนั้นเขียนอธิบายสาเหตุของปัญหาในลักษณะที่ว่า อะไรกำลังเกิดขึ้น ที่ไหน เมื่อใด อย่างไร กับใคร และทำไม

2.1.2.3 แจกแจงทางเลือกต่างๆ สำหรับวิธีการที่จะใช้แก้ปัญหา

ในขั้นนี้ควรให้บุคคลอื่นเข้ามามีส่วนร่วม ยกเว้นในกรณีที่ปัญหาดังกล่าวเป็นเรื่องส่วนตัว ให้ระดมสมองเพื่อหาทางแก้ไขปัญหาเพื่อให้ได้ทางเลือกหลายๆทาง แล้วนำมาคัดกรองเพื่อหาแนวคิดที่ดีที่สุด การได้มาซึ่งความคิดที่หลากหลายนั้น ต้องระวังที่จะไม่ตัดสินว่าความคิดเหล่านั้นดีหรือไม่ดี ให้จดบันทึกตามที่ได้ยินมาเท่านั้น ทักษะที่เหมาะสมที่สุดในการจำแนกสาเหตุของปัญหาคือการคิดเชิงระบบ (Systems Thinking)

2.1.2.4 เลือกวิธีการแก้ปัญหา

ในการคัดเลือกวิธีที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา ควรพิจารณาดังนี้

- วิธีการใดที่สามารถแก้ปัญหาได้ในระยะยาว
- วิธีการใดที่มีความเป็นจริงมากที่สุดในการแก้ปัญหาได้สำเร็จ ในขณะนี้มีทรัพยากรสำหรับการแก้ปัญหาหรือไม่ มีเวลาเพียงพอที่จะใช้วิธีการนี้หรือไม่
- อะไรคือความเสี่ยงของทางเลือกแต่ละวิธี

2.1.2.5 วางแผนนำทางเลือกในการแก้ปัญหาที่เป็นวิธีที่ดีที่สุดไปปฏิบัติหรือจัดทำแผนปฏิบัติการ
ซึ่งในขั้นนี้มีสิ่งที่ต้องพิจารณา คือ

- สถานการณ์จะเป็นอย่างไรเมื่อปัญหาได้รับการแก้ไขแล้ว
- มีขั้นตอนอะไรที่จะต้องทำในการนำทางเลือกที่ดีที่สุดไปแก้ปัญหา มีระบบหรือกระบวนการอะไรที่จะต้องเปลี่ยนแปลงบ้าง
- จะรู้ได้อย่างไรว่าขั้นตอนต่างๆ มีการปฏิบัติ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความสำเร็จของแผน
- ทรัพยากรอะไรบ้างที่ต้องการ ในประเด็นของบคุลากร เงิน และสิ่งอำนวยความสะดวก
- ต้องใช้เวลานานเท่าใดในการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ ให้เขียนตารางที่แสดงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุด และเวลาที่คาดหวังว่าจะเห็นตัวบ่งชี้ความสำเร็จปรากฏขึ้น
- ใครคือผู้รับผิดชอบในการควบคุมดูแลการปฏิบัติตามแผน
- เขียนคำตอบสำหรับคำถามที่กล่าวมาแล้ว และให้ถือว่านี่คือแผนปฏิบัติการ
- สื่อสารทำความเข้าใจแผนนี้กับบุคคลที่เกี่ยวข้องในการนำแผนไปปฏิบัติ ปัจจัยสำคัญของขั้นตอนนี้คือ การสังเกต และการให้ข้อมูลย้อนกลับอย่างต่อเนื่อง

2.1.2.6 ดูแลควบคุมการปฏิบัติตามแผนโดยพิจารณาจากตัวบ่งชี้ความสำเร็จ

- เห็นสิ่งที่คาดหวังว่าจะเกิดขึ้นตามตัวบ่งชี้หรือไม่
- แผนมีการดำเนินงานตามตารางที่กำหนดไว้หรือไม่
- ถ้าแผนไม่ได้ดำเนินไปตามที่คาดหวังไว้ ให้พิจารณาว่า แผนมีความเป็นไปได้จริงหรือไม่

2.1.2.7 ตรวจสอบว่าปัญหาได้รับการแก้ไขเรียบร้อยแล้วหรือไม่

ในขั้นนี้วิธีหนึ่งที่ดีที่สุดในการตรวจสอบว่าปัญหาได้รับการแก้ไขเรียบร้อยแล้วหรือไม่ คือ การกลับคืนสู่การปฏิบัติงามตามปกติแล้วสังเกตสถานการณ์ นอกจากนั้นมีประเด็นที่ควรพิจารณาเพิ่มเติมดังนี้

- ควรมีการเปลี่ยนแปลงอะไรบ้าง เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเช่นนี้ขึ้นอีก

- อะไรคือบทเรียนที่ได้จากการแก้ปัญหาครั้งนี้ ในเชิงความรู้ ความเข้าใจ และ/หรือทักษะ

- ควรมีการเขียนบันทึกสั้นๆ ถึงเหตุการณ์เด่น ที่เป็นความสำเร็จในการพยายามแก้ปัญหา และสิ่งที่เป็นผลลัพธ์ที่ได้เรียนรู้แล้วนำมาแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับผู้เกี่ยวข้อง

แนวปฏิบัติพื้นฐานนี้ มีการพัฒนาเป็นรูปแบบการแก้ปัญหาทั่วไป (General Problem Solving Model) เพื่อใช้แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในเครือข่ายอินเตอร์เน็ตซึ่งดำเนินงานให้บริการโดยบริษัท Cisco Systems (2002)

2.2 ทฤษฎีการทบทวนด้านพลังงาน [มาตรฐาน ISO 50001 , 2011]

2.2.1 ความหมายและขั้นตอนการทบทวนด้านพลังงาน

การทบทวนด้านพลังงาน หมายถึง การทำกิจกรรมอันมีวัตถุประสงค์หลัก คือ การระบุปัญหาที่แท้จริงเพื่อนำไปสู่การหาหนทางแก้ไข โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. ทำการชี้บ่งแหล่งพลังงานที่ใช้ และแยกประเภทการใช้พลังงานของบริษัท
2. บันทึกข้อมูลปริมาณและค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานแต่ละประเภทและปริมาณผลผลิตย้อนหลัง 12 เดือน
3. จัดทำเส้นกราฟ Regression แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตและปริมาณการใช้พลังงานแต่ละประเภทรวมทั้งหาสมการ Regression ของความสัมพันธ์ดังกล่าว
4. ตรวจวัดและประเมินปริมาณการใช้พลังงานและประสิทธิภาพพลังงาน โดยแยกประเภทตามการใช้พลังงาน และจัดทำสัดส่วนการใช้พลังงาน
5. การประเมินหาลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Use)
6. บันทึกโอกาสในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานของลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญและประเมินตัวแปรต่างๆ
7. ทำการประมาณการลักษณะการใช้และปริมาณการใช้พลังงานในอนาคต

2.2.2 สูตรคำนวณที่เกี่ยวข้องในการทำกิจกรรมการทบทวนพลังงาน

ในการทำกิจกรรมทบทวนพลังงาน โดยปกติมักแบ่งพลังงานออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในรูปเชื้อเพลิงโดยมีหลักการคำนวณต่างๆดังนี้

2.2.2.1 <u>การคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้า</u>

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือพลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) หมายถึง พลังงานที่ใช้ไปหรือสร้างขึ้นมาใหม่จากกำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้ามาหรือส่งออกไป โดยมีความสัมพันธ์กับเวลา มีหน่วยใช้แสดงพลังงานเป็นจูล (J) พลังงานไฟฟ้าใช้สัญลักษณ์ตัว "W"

สำหรับกระแสสลับที่ถูกนำมาใช้งานในชีวิตประจำวันที่ซื้อมาจากหน่วยงานที่ผลิตกระแสไฟฟ้าออกจำหน่าย เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง เป็นต้น พลังงานไฟฟ้าเหล่านี้มิได้ถูกคิดออกมาเป็น จูล (J) แต่จะคิดออกมาเป็นกิโลวัตต์ - ชั่วโมง (Kilowatt-Hour, KWh) ไม่ได้จัดเป็นหน่วย SI แต่มีความสัมพันธ์กับหน่วยระบบ SI โดยคิดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็นกิโลวัตต์ (kW) คิดในเวลาเป็นชั่วโมง (hr)

การหาพลังงานไฟฟ้ามีสมการดังนี้

$$W\ (kWh) = P(kW) \times t(hr) \qquad (2.1)$$

เมื่อ W = พลังงานไฟฟ้า หน่วยจูล (J)

P = กำลังไฟฟ้า หน่วยวัตต์ (KW)

T = เวลา หน่วยวินาที (hr)

สำหรับกำลังไฟฟ้า "P" หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าในเวลา 1 วินาที โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.2

$$P = IV \qquad (2.2)$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า หน่วยวัตต์ (W)

V = ความต่างศักย์ หน่วยโวลต์ (V)

I = กระแสไฟฟ้า หน่วยแอมแปร์ (A)

2.2.2.2 <u>การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานความร้อน</u>

การเผาไหม้ (Combustion) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาเคมี เกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงเกิดการออกซิเดชันกับอากาศจะให้ผลผลิตและความร้อนออกมาดังสมการต่อไปนี้

$$\text{การเผาไหม้} = \text{เชื้อเพลิง} + \text{อากาศ} + \text{ความร้อน} \qquad (2.3)$$

โดยที่เชื้อเพลิง (Fuels) คือสารที่เกิดการสันดาปได้ง่ายในอากาศและสามารถปลดปล่อยพลังงานออกได้ เชื้อเพลิงโดยปกติจะประกอบด้วยสารคาร์บอนเป็นหลัก ส่วนปริมาณสารไฮโดรเจนจะมีปริมาณไม่เกิน 14% ส่วนออกซิเจนและสารอื่นๆ อีกจำนวนเล็กน้อย เชื้อเพลิงแบ่งตามสถานะได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

- เชื้อเพลิงเหลว

เชื้อเพลิงเหลวสามารถแบ่งได้หลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์, เชื้อเพลิงรถยนต์ และน้ำมันก๊าด

- เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งได้แก่ ถ่านหิน ไม้ ขยะ ฯลฯ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็งที่สำคัญในการพิจารณา ได้แก่ ความสามารถในการถูกบดให้ละเอียดเพื่อให้เกิดการคลุกเคล้ากับออกซิเจนได้ดี

- เชื้อเพลิงแก๊ส

เชื้อเพลิงแก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่ได้มาจากแก๊สธรรมชาติ และผลผลิตหรือผลพลอยได้ของการผลิตเชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงแข็ง

การแปลงการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนในรูปเมกะจูล (MJ)

สามารถคำนวณจากสมการต่อไปนี้

พลังงานความร้อน (MJ) = ปริมาณเชื้อเพลิง (Unit) x ค่าความร้อน (MJ/Unit) (2.4)

และสำหรับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงหน่วย (MJ/Unit) สามารถเปิดตารางค่าความร้อนเชื้อเพลิงตามตัวอย่าง ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางค่าความร้อนของเชื้อเพลิง [มาตรฐาน ISO 50001 , 2011]

ลำดับ	ชนิดพลังงาน	หน่วย	ค่าความร้อน (เมกะจูล/หน่วย)
1	ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.60
2	ไฟฟ้าพลังน้ำ	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	9.36
3	ก๊าซธรรมชาติ	ล้านบีทียู	1,055.00
4	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว(LPG)	ลิตร	26.62
5	น้ำมันเบนซิน	ลิตร	31.48
6	น้ำมันก๊าด	ลิตร	34.53
7	น้ำมันดีเซล	ลิตร	36.42
8	ยางมะตอย	ลิตร	41.19
9	ถ่านโค๊ก	กิโลกรัม	27.63
10	ไอน้ำ	ตัน	1,710.00
11	กะลาปาล์ม	ตัน	16,900.00
12	แกลบ	กิโลกรัม	14.40

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษางาน [2]

2.3.1 ความหมายของการศึกษางาน

การศึกษางาน (Work Study) คือการศึกษาวิธีและการวัดผลงาน เพื่อปรับปรุงให้งานดีขึ้น และการใช้ประโยชน์ด้านการพัฒนามาตรฐานการทำงานและเวลาทำงาน รวมไปถึงการใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาส่งเสริมจูงใจบุคลากร นำไปสู่การเพิ่มผลผลิต โดยการศึกษางานเป็นกิจกรรมที่ประกอบไปด้วยวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ทำงานน้อยได้งานมาก
2. เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและวิธีการทำงาน
3. เพิ่มความสะดวกและง่ายต่อการทำงานรวมทั้งลดความเมื่อยล้าในการทำงาน
4. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัสดุ แรงงาน เครื่องจักร ที่ดิน เงินทุน พลังงาน และข้อมูล
5. เพื่อปรับปรุงสถานที่ทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงาน

6. เพื่อหาวิธีเคลื่อนย้ายวัสดุให้เหมาะสม ต้นทุนต่ำ

7. เพื่อกำหนดมาตรฐานวิธีการทำงานที่ใช้ในการพัฒนาบุคลากร

8. เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในการทำงาน

9. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานแต่ละวิธี

10. เพื่อจัดสมดุลในสายการผลิต

11. กำหนดต้นทุนมาตรฐานและควบคุม

ซึ่งการทำกิจกรรมศึกษางานก่อให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพต่อเนื่องอย่างไม่มีที่สิ้นสุด และก่อให้เกิดการลดการสูญเสียหรืองานที่ไม่จำเป็นออกไป

2.3.2 การเพิ่มผลผลิต

การผลิต หมายถึง การนำปัจจัยการผลิต (Inputs) เช่นวัตถุดิบ แรงงาน เครื่องจักร มาป้อนสู่กระบวนการผลิต (Process) เพื่อให้ได้ผลผลิต (Outputs) ซึ่งคือสินค้าหรือบริการตามที่ต้องการ การเพิ่มผลผลิตหาได้จากอัตราส่วนของผลผลิตต่อปัจจัยการผลิต สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{ผลผลิต (Productivity)} = \frac{\text{ผลผลิต (Outputs)}}{\text{ปัจจัยการผลิต (Inputs)}} \qquad (2.5)$$

การเพิ่มผลผลิตเกิดขึ้นได้เมื่อ

1. พยายามเพิ่มผลิตผล โดยที่ยังใช้ปัจจัยการผลิตเท่าเดิม

2. พยายามเพิ่มผลิตและปัจจัยการผลิต โดยผลิตผลที่เพิ่มขึ้นมากกว่าปัจจัยการผลิตที่เพิ่มขึ้น

3. พยายามให้ผลิตผลเท่าเดิมโดยใช้ปัจจัยกากรผลิตน้อยลง

ถ้าจำเป็นต้องลดปริมาณการผลิต ให้ปริมาณการผลิตที่ลดน้อยกว่าการลดของปัจจัยการผลิตในกรณี 1 และ 2 จะได้ผลิตผลเพิ่มขึ้น ส่วนกรณี 3 และ ผลิตผลไม่ได้เพิ่มขึ้นแต่เน้นลดปัจจัยการผลิต

วิธีการเพิ่มผลผลิตทำได้หลากหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น

1. การนำวิธีการทำงานที่มีประสิทธิภาพดีกว่ามาใช้

2. การจัดรูปแบบของงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต การตลาด และการบริหารให้กระชับและคล่องตัวยิ่งขึ้น

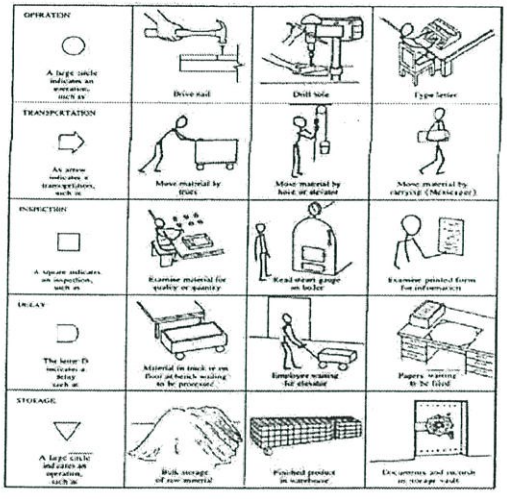
3. การฝึกคนงานและเจ้าหน้าที่ฝ่ายจัดการให้มีความสามารถและความชำนาญมากยิ่งขึ้น

4. การใช้วัตถุดิบให้เกิดประโยชน์มากขึ้น โดยการลดการสูญเสียและเศษที่ใช้ไม่ได้ให้น้อยลงโดยการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้อย่างประหยัด

5. การปรับปรุงคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นเพื่อให้ถูกใจลูกค้า

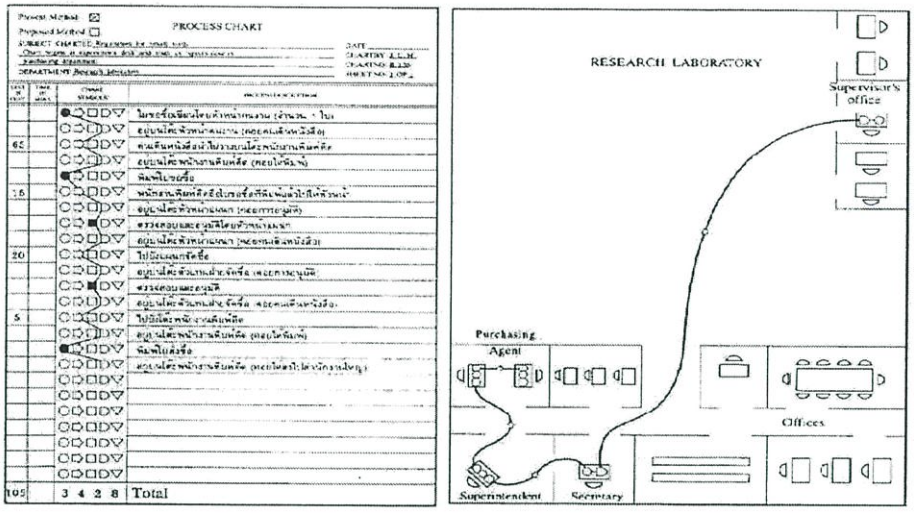
2.3.3 การวิเคราะห์กระบวนการ

การวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis) หมายถึง เทคนิคสำหรับการปรับปรุงกระบวนการต่างๆโดยติดตามดูแต่ละขั้นตอน ตรวจสอบผลข้อมูล แบ่งแยกเนื้อหา และใส่เนื้อหาเพื่อการปรับปรุงในแผนงานกระบวนการ (Process chart) ซึ่งขั้นตอนย่อยๆ ของกระบวนการจะอยู่ในรูปของสัญลักษณ์ภาพ โดยประกอบด้วยสัญลักษณ์ภาพดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ภาพแทนประเภทกิจกรรม [2]

การเขียนแผนภูมิการไหล (Flow Process Chart) หมายถึงการเลือกกิจกรรมการทำงานที่ต้องการศึกษาโดยกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของกระบวนการผลิต แสดงผลของจำนวนขั้นตอนการปฏิบัติงานจำนวนขั้นตอนการขนส่ง จำนวนครั้งของกิจกรรมที่ล่าช้า จำนวนครั้งการตรวจสอบ จำนวนครั้งในการพักหรือเก็บ รวมถึงระยะทางในการขนส่ง พร้อมแสดงทิศทางการไหลของกระบวนการผลิตโดยใช้หัวลูกศรชี้แสดง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภูมิการไหล [2]

2.3.4 การคำนวณรอบการทำงานและจังหวะความต้องการของลูกค้า

รอบการทำงาน (Work Cycle Time) หมายถึง การทำงาน ที่วนซ้ำกัน เมื่อทำงานตั้งแต่แรกและเมื่อสิ้นสุดการทำงานนั้นจะเริ่มทำงานใหม่ที่จุดเริ่มต้นเดิมซ้ำๆกันเป็นรอบๆ โดยมีจุดเริ่มต้นของการทำงานมาบรรจบกับจุดสิ้นสุดเป็นวงรอบ เสมอ การทำงานครบ 1 รอบมักจะได้ผลงานอย่างน้อย 1 งาน โดยแต่ละสถานีงานจะมี Cycle time ของตัวเอง

คอขวดของการผลิต (Bottle Neck) หมายถึง หากสถานีทำงานใด มี Cycle Time มากสุด จุดนั้นจะเป็นคอขวด และเป็นตัวกำหนดกำลังการผลิตของสายการผลิตนี้เราจะใช้จุดนี้จุดเดียวในการคำนวณ เนื่องจากสถานีทำงานที่ใช้เวลานานที่สุด แม้สถานีก่อนหน้าหรือตามหลังสถานีนี้ก็ตาม จะต้องรอให้สถานีนี้เสร็จเสียก่อน ดังนั้น Out Put จึงขึ้นอยู่กับจุดดังเกล่า

Total Cycle Time หมายถึง เวลารวมทั้งหมดของ Cycle time แต่ละสถานี และจะนำเวลานี้ไปคำนวณหาต้นทุนการผลิตต่อชิ้น

จังหวะความต้องการของลูกค้า (Takt Time) หมายถึง จังหวะความต้องการของลูกค้านั้นเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวกำหนดว่า ลูกค้าต้องการสินค้าที่เวลากี่นาทีต่อชิ้น จุดมุ่งหมายนี้ก็เพื่อกำจัดสินค้าหลังออกจากคลังสินค้าหรืออีกนัยหนึ่งคือทำเสร็จก็พร้อมส่งทันทีโดยมีสูตรดังสมการที่ 2.6

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Avariable time}}{\text{Customer Demand}} \qquad (2.6)$$

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน [3]

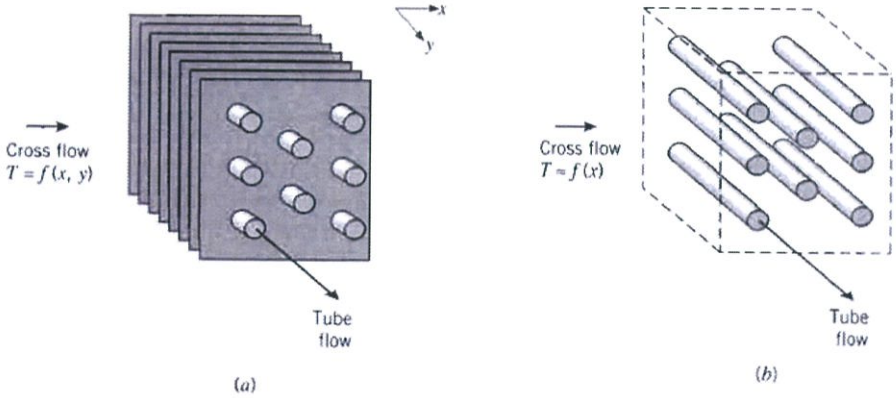
ขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกระแสการไหลที่แตกต่างกัน 2 ชนิด เป็นสิ่งที่สำคัญและพบได้หลายครั้งในทางวิศวกรรม หม้อน้ำ คอนเดนเซอร์ และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เป็นตัวอย่างของการแลกเปลี่ยนของไหลอุณหภูมิสูงและของไหลอุณหภูมิต่ำ

2.4.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนธรรมดาแบ่งได้เป็น 2 ประเภท โดยขึ้นอยู่กับการจัดวางทิศทางสัมพัทธ์ของทิศทางการไหลของกระแสของไหล 2 ชนิด คือ

2.4.1.1 <u>เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตัดกันหรือตั้งฉากกัน (Cross – Flow Heat Exchanger)</u>

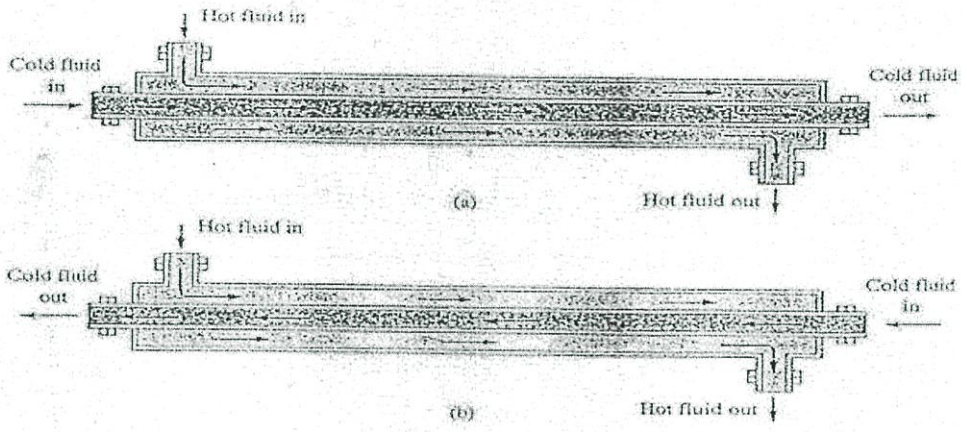
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Cross – Flow เป็นเครื่องที่กระแสของไหล 2 ชนิดมีทิศทางทำมุมซึ่งกันและกัน เครื่องแบบนี้มักถูกประยุกต์ใช้ในเครื่องบิน หรือยานอวกาศ รูปที่ 2.3 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Cross – Flow ซึ่งติดครีบและวิเคราะห์ได้ยากเนื่องจากอุณหภูมิของไหลแปรเปลี่ยนทั้งสองทิศทางการไหล และทิศทางตั้งฉากกับการไหล และทิศทางตั้งฉากกับการไหลถ้าของไหลไม่มีการผสมกันในทิศทางตั้งฉาก เครื่องแลกเปลี่ยนนี้ยังแยกได้เป็น 2 กรณี คือกรณีที่ของไหลแต่ละชนิดมีช่องทางที่แน่นอนไม่มีการผสมกันระหว่างช่องเรียกว่า Unmixed และกรณีที่ของไหลชนิดหนึ่งไม่มีช่องว่างการไหลที่แน่นอนสามารถผสมกันได้เรียกของไหลแบบนี้ว่า Mixed



รูปที่ 2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉากกัน (a) มีครีบและของไหลทั้งสองเป็นแบบ Unmixed (b) ไม่มีครีบของไหลหนึ่งเป็นแบบ Mixed และอีกของไหลหนึ่งเป็นแบบ Unmixed [4]

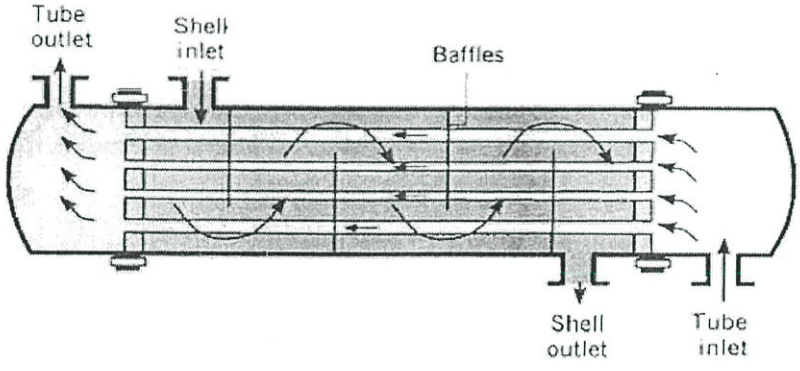
2.4.1.2 <u>เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and Tube) ท่อซ้อนกัน (Concentric Pipe)</u>

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ประกอบด้วยเครื่องที่ซึ่งกระแสการไหล 2 ชนิด เคลื่อนที่ผ่านทางผนังท่อชั้นในถ้าของไหลสองชนิดไหลไปในทางเดียวกันเรียกว่า Parallel Flow และถ้าไหลสวนทางกันเรียกว่า Counter Flow เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้จำกัดปริมาณเนื้อที่หรือพื้นที่ผิวสำหรับถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลสองชนิด พื้นที่ถ่ายเทความร้อนออกทำให้มากขึ้นได้โดยการเพิ่มจำนวนท่อภายใน (Tubes) เท่าที่ทำได้ในเปลือกท่อใหญ่ (Shell)



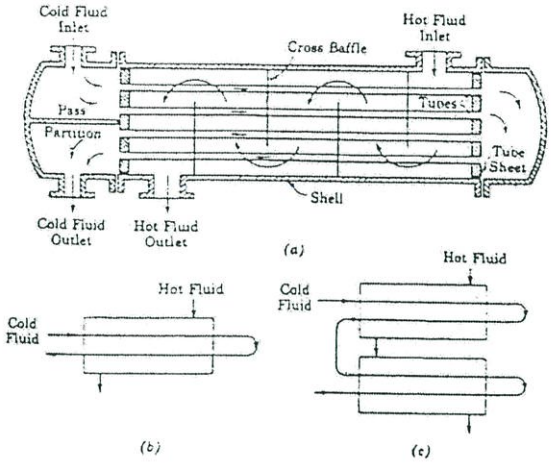
รูปที่ 2.4 ภาพวาดแสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ซ้อนกัน (a) Parallel Flow และ (b) Counter Flow [4]

รูปแบบที่นิยมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell and Tube ประกอบด้วยจำนวนชั้นของท่อเล็กๆ (Tubes) ตรึงไว้อย่างแน่นหนาที่ปลายสองข้างในแผ่นท่อซึ่งเป็นแผ่นเจาะรูขนาดใหญ่เพื่อยึดท่อไว้โดยเชื่อมขึ้นท่อเล็กๆ ทั้งหมดได้วางไว้ภายในเปลือกท่อใหญ่ที่ปิดมิดชิด เพื่อขึ้นรูปเป็น 2 ช่องใหญ่สำหรับของไหลร้อนและของไหลเย็น



รูปที่ 2.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน Shell and Tube [4]

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน Shell and Tube อาจมีรูปแบบที่สลับซับซ้อนขึ้นขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของช่องว่างภายในสำหรับจัดรูปทรงต่างๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาเช่นเป็นแบบ One Shell Pass และ Two Tube Pass และแบบ Two Shell Pass , Four Tube Pass ก็ได้ ซึ่งใช้กันมากในคอนเดนเซอร์ของไอน้ำเพื่อเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนนั่นเอง



รูปที่ 2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน Shell and Tube แบบ (a) , (b) One Shell Pass และ Two Tube Pass (c) Two Shell และ Four Tube Pass [4]

2.4.2 การวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

กรณีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบข้อนกันโดยเป็นแบบ Parallel flow หรือ Counter flow

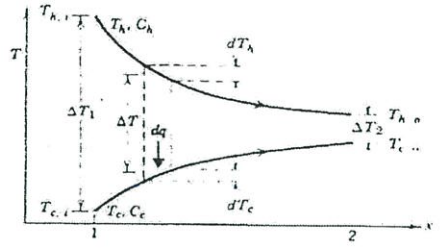
$$Q = UA\Delta T_m \tag{2.7}$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเท

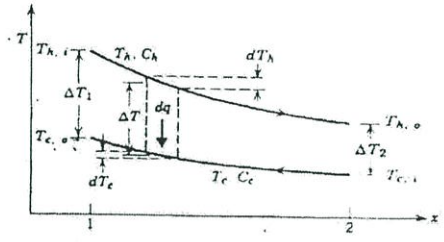
A = พื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อน

U = สัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนตามนิยาม

ΔT_m = ความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



(a) Parallel flow



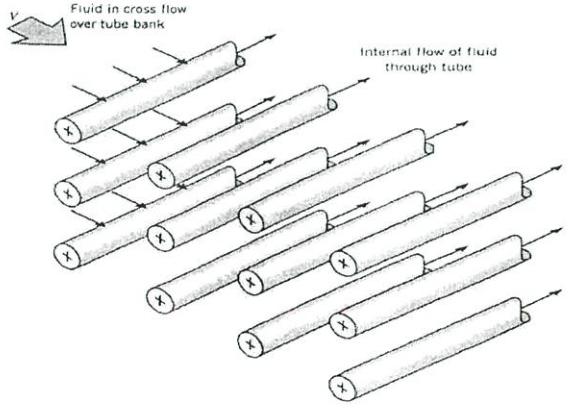
(b) Counter-flow

รูปที่ 2.7 แสดงรูปภาพของอุณหภูมิสำหรับการไหลตามกันและการไหลสวนทางกันในเครื่องแบบท่อซ้อนกัน [4]

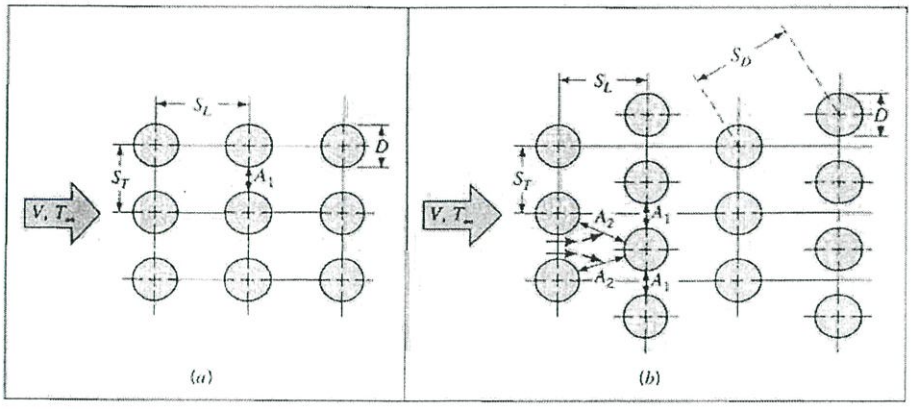
2.4.3 การไหลผ่านท่อหลายชั้น (Flow Across Banks of Tubes)

การถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากชั้นท่อในแนวขวาง ใช้ในระบบวิศวกรรมมากมาย เช่นการผลิตไอน้ำในหม้อน้ำ หรือในคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยของเหลวชนิดหนึ่งไหลภายในท่อขณะที่อีกชนิดหนึ่งที่อุณหภูมิต่างกันไหลในทางขวางไหลตัดภายนอกท่อ

การจัดแถวท่อทำได้ 2 แบบ คือแบบวางในแนวเดียวกัน (Aligned) และแบบวางสลับหรือเยื้องกัน (Staggered) ในแนวดิ่งระหว่างจุดศูนย์กลางของท่อ 2 ท่อ (Transverse Pitch) S_T ระยะในแนวนอนระหว่างจุดศูนย์กลางท่อ 2 ท่อ (Longitudinal Pitch) S_L และระยะในแนวทแยง (Diagonal Pitch) S_D



รูปที่ 2.8 ภาพวาดการไหลผ่านชั้นท่อ [4]



รูปที่ 2.9 การจัดท่อหลายชั้น (a) แนวเดียวกัน (Aligned) (b) แนวเยื้อง (Staggered) [4]

ค่า h ซึ่งเกี่ยวข้องกับท่อนี้ คำนวณหาตามตำแหน่งของมันในชั้นท่อ ค่า h สำหรับท่อในแถวแรกประมาณว่าเท่ากับการไหลผ่านท่อเดี่ยว ส่วนค่า h ที่มากขึ้นนั้นเกี่ยวข้องกับท่อต่างๆ ของแถวหลังๆ ที่ 2-3 แถวแรกกระทำให้เกิดมีเทอร์บูเลนท์ขึ้นทำให้ค่า h แถวหลังเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเงื่อนไขต่างๆของการถ่ายเทความร้อนเสถียรจนกระทั่งมีการเปลี่ยวแปลงเล็กน้อยเกิดขึ้นใน $\overline{h}$ สำหรับท่อแถวที่ 4 และ 5 โดยทั่วไปเรามักสนใจว่าค่าเฉลี่ย $\overline{h}$ สำหรับท่อทั้งระบบมากกว่า สำหรับอากาศไหลผ่านชั้นท่อที่มีแถว 10 ชั้นขึ้นไป ($N_L \geq 10$) Grimison ได้สหพันธ์อยู่ในรูป

$$\overline{Nu}_D = C_1 Re^m D,max \tag{2.8}$$

สำหรับ

$N_L \geq 10$

$2{,}000 < R_e D,max < 40{,}000$

Pr = 0.7

โดยที่ C_1 และ m ได้จากตารางที่ 2.2

$$Re_{D,max} = \frac{\rho V_{max} D}{\mu} \tag{2.9}$$

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่สำหรับอากาศไหลผ่านชั้นท่อตั้งแต่ 10 แถวหรือมากกว่า [4]

	S_T/D							
	1.25		1.5		2.0		3.0	
S_L/D	C_1	m	C_1	m	C_1	m	C_1	m
Aligned								
1.25	0.348	0.592	0.275	0.608	0.100	0.704	0.0633	0.752
1.50	0.367	0.586	0.250	0.620	0.101	0.702	0.0678	0.744
2.00	0.418	0.570	0.299	0.602	0.229	0.632	0.198	0.648
3.00	0.290	0.601	0.357	0.584	0.374	0.581	0.286	0.608
Staggered								
0.600	—	—	—	—	—	—	0.213	0.636
0.900	—	—	—	—	0.446	0.571	0.401	0.581
1.000	—	—	0.497	0.558	—	—	—	—
1.125	—	—	—	—	0.478	0.565	0.518	0.560
1.250	0.518	0.556	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
1.500	0.451	0.568	0.460	0.562	0.452	0.568	0.488	0.568
2.000	0.404	0.572	0.416	0.568	0.482	0.556	0.449	0.570
3.000	0.310	0.592	0.356	0.580	0.440	0.562	0.428	0.574

ค่า R_e D, max สำหรับสมการที่กล่าวมาแล้วถือตามค่าความเร็วสูงสุด V_{max} ที่เกิดขึ้นในท่อหลายชั้นสำหรับการจัดวางท่อในแนวเดียวกัน (Aligned Arrangement) V_{max} เกิดที่ระนาบขวาง A_1 ของรูปที่ 2.9a และมีค่า

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \tag{2.10}$$

สำหรับการจัดวางแบบเยื้องกัน (Staggered) ค่า V_{max} อาจเกิดที่ระนาบขวาง เหมือนแบบวางแนวเดียวกันก็ได้ หรืออาจจะเกิดที่ระนาบทแยง A_2 ตามรูปที่ 2.9b และ V_{max} เกิดที่ A_2

$$S_D = \left[S_L^2 + \left(\frac{S_T}{2}\right)^2\right]^{1/2} < \frac{S_T + D}{2} \tag{2.11}$$

กรณีนี้จะได้ V_{max}

$$V_{max} = \frac{S_T}{2(S_T - D)} V \tag{2.12}$$

ถ้า V_{max} เกิดที่ A_1 สำหรับแบบเยื้องกัน (Staggered) ต้องใช้สมการ 2.10 สำหรับของไหลอื่นๆให้คูณด้วยแฟคเตอร์ $1.13Pr^{1/3}$ ซึ่งจะได้สหพันธ์เป็น

$$\overline{Nu}_D = 1.13 C_1 R_{e\,D,\,max}^{m} Pr^{1/3} \tag{2.13}$$

สำหรับ

$N_L \geq 10$
$2{,}000 < R_e\,D, max < 40{,}000$
Pr = 0.7

โดยคุณสมบัติต่างๆ หาที่อุณหภูมิฟิลม์ T_f ที่ $N_L < 10$ ให้ใช้แฟคเตอร์แก้ไขดังนี้

$$u_D|_{(NL<10)} = C_2\overline{N}u_D|_{(NL\geq 10)} \tag{2.14}$$

ซึ่ง C_2 หาได้จากตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แฟคเตอร์แก้ไข C_2 ของสมการ (2.14) สำหรับ $N_L < 10$ [5]

N_L	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aligned	0.64	0.80	0.87	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99
Staggered	0.68	0.75	0.83	0.89	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99

Zhukauskas ได้เสนอสหพันธ์เป็น

$$\overline{N}u_D = CRe^m D, maxPr^{0.36}\left(\frac{Pr_\infty}{Pr_s}\right)^{1/4} \tag{2.15}$$

สำหรับ

$N_L \geq 20$
$0.7 < Pr < 500$
$1{,}000 < Re_{D,max} < 2 \times 10^6$

โดยที่ค่าคุณสมบัติทั้งหมด (ยกเว้น Pr_s) คิดที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทางเข้าและทางออก ส่วนค่าคงที่ C และ m กำหนดไว้ในตารางที่ 3.5 เหตุที่ต้องคิดคุณสมบัติของไหลที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทางเข้า ($T_i = T_\infty$) และอุณหภูมิทางออก (T_0) เนื่องจากความจริงที่ว่าอุณหภูมิของไหลจะลดลงเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ท่อหรือจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากถ่ายเทความร้อนออกจากท่อ ดังนั้นถ้าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไหล ($T_i = T_0$) สูงมาก เมื่อคิดคุณสมบัติที่อุณหภูมิทางเข้าแล้วย่อมมีความผิดพลาดของผลลัพธ์สูง ถ้า $N_L < 20$ จำเป็นต้องใช้ตัวประกอบแก้ไข (Correction Factor) เข้าช่วยนั่นคือ ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ของสมการ (2.15) สำหรับการไหลผ่านท่อหลายชั้น

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ของสมการ (2.15) สำหรับการไหลผ่านท่อหลายชั้น [4]

Configuration	$Re_{D,max}$	C	m
Aligned	$10–10^2$	0.80	0.40
Staggered	$10–10^2$	0.90	0.40
Aligned	$10^2–10^3$	Approximate as a single (isolated) cylinder	
Staggered	$10^2–10^3$		
Aligned ($S_T/S_L > 0.7$)[a]	$10^3–2 \times 10^5$	0.27	0.63
Staggered ($S_T/S_L < 2$)	$10^3–2 \times 10^5$	$0.35(S_T/S_L)^{1/5}$	0.60
Staggered ($S_T/S_L > 2$)	$10^3–2 \times 10^5$	0.40	0.60
Aligned	$2 \times 10^5–2 \times 10^6$	0.021	0.84
Staggered	$2 \times 10^5–2 \times 10^6$	0.022	0.84

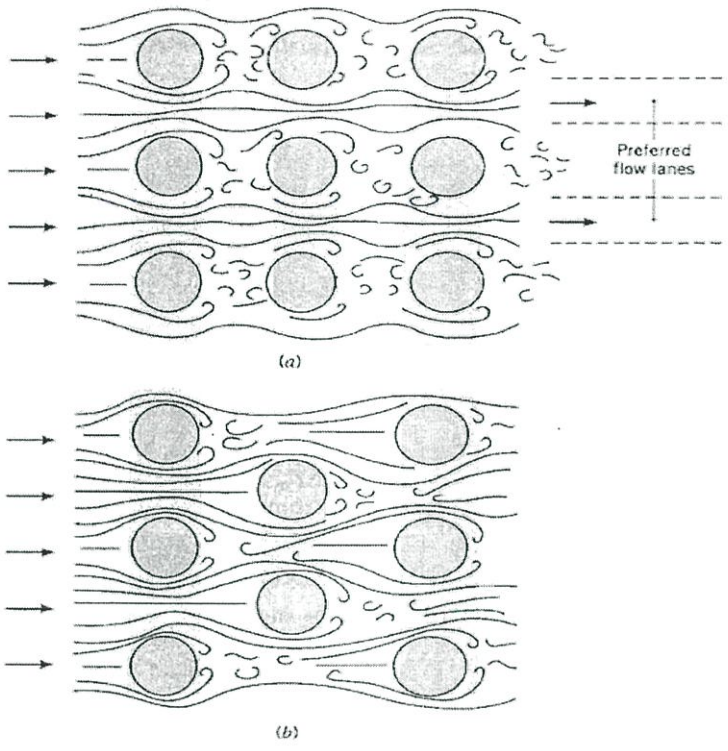
$$\overline{N}u_D|_{(NL<20)} = C_2\overline{N}u_D|_{(NL\geq 20)} \tag{2.16}$$

โดยที่ C_2 กำหนดไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าตัวประกอบแก้ไข C_2 ของสมการ (2.16) สำหรับ$N_L < 20$ $(Re_D > 10^3)$ [4]

N_L	1	2	3	4	5	7	10	13
Aligned	0.70	0.80	0.86	0.90	0.92	0.95	0.97	0.98
Staggered	0.64	0.76	0.84	0.89	0.92	0.95	0.97	0.98

การไหลรอบท่อในแถวแรกของกลุ่มท่อจะเหมือนกับการไหลตัดผ่านท่อทรงกระบอกเดี่ยว อย่างไรก็ตามสำหรับแถวต่อมา การไหลขึ้นอยู่กับการจัดกลุ่มท่อเป็นอย่างมาก กลุ่มท่อแบบวางแนวเดียวกันที่อยู่แถวแรกจะอยู่ในการไหลวนอย่างปั่นป่วนของท่อที่อยู่ข้างหน้า และสำหรับค่าพอประมาณของ S_L นั้น ค่า h ที่เกี่ยวข้องกับแถวด้านหลังท่อจะมีค่าสูง เนื่องจากการช่วยโดยความปั่นป่วนของการไหล ตัวอย่างเช่น ค่า h ของแถวหนึ่งจะเพิ่มจำนวนแถวจนกระทั่งประมาณแถวที่ 5 หลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในความปั่นป่วนและสัมประสิทธิ์การพา อย่างไรก็ตามสำหรับค่า S_L น้อยๆ แถวข้างหน้าจะมีผลกั้นต่อแถวหลังจากกระแสการไหลมาก และมีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนโดย ทางเดินของการไหลจะอยู่ในช่องระหว่างท่อ และผิวท่อส่วนมากไม่สัมผัสกับการไหลหลัก ด้วยเหตุผลนี้การจัดการกลุ่มท่อแบบแนวเดียวกันโดยที่ $S_T|S_L > 0.7$ จึงไม่เป็นที่ต้องการ สำหรับการจัดแบบเยื้องหรือสลับกัน ทางเดินของการไหลหลักวนเวียนคดเคี้ยวและส่วนมากของพื้นที่ผิวของแนวท่อด้านหลังยังคงอยู่ในทางเดินนี้ โดยทั่วไปการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมักนิยมทำโดยให้เป็นการไหลแบบคดเคี้ยวตามการจัดแบบเยื้องกันหรือสลับกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่ำ $(Re_D < 100)$



รูปที่ 2.10 สภาวะการไหลของท่อแบบ (a) แนวเดียวกัน (b) สลับกันหรือเยื้องกัน [4]

เนื่องจากของไหลพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะที่ไหลผ่านท่อหลายชั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงเกินกว่าการทำนายโดยใช้ $\Delta T = T_s - T$ ตามความแตกต่างของอุณหภูมิในกฎการเย็นตัวของนิวตัน ในขณะที่ของไหลเคลื่อนผ่านกลุ่มท่อจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธึม (LMTD)

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_0)}{ln\left(\frac{T_s - T_i}{T_s - T_0}\right)} \tag{2.17.}$$

โดยที่ T_i และ T_0เป็นอุณหภูมิของไหลขณะที่ไหลเข้าและไหลออกจากกลุ่มท่อตามลำดับ อุณหภูมิทางออกซึ่งใช้หาค่า ΔT_{lm} หาได้จาก

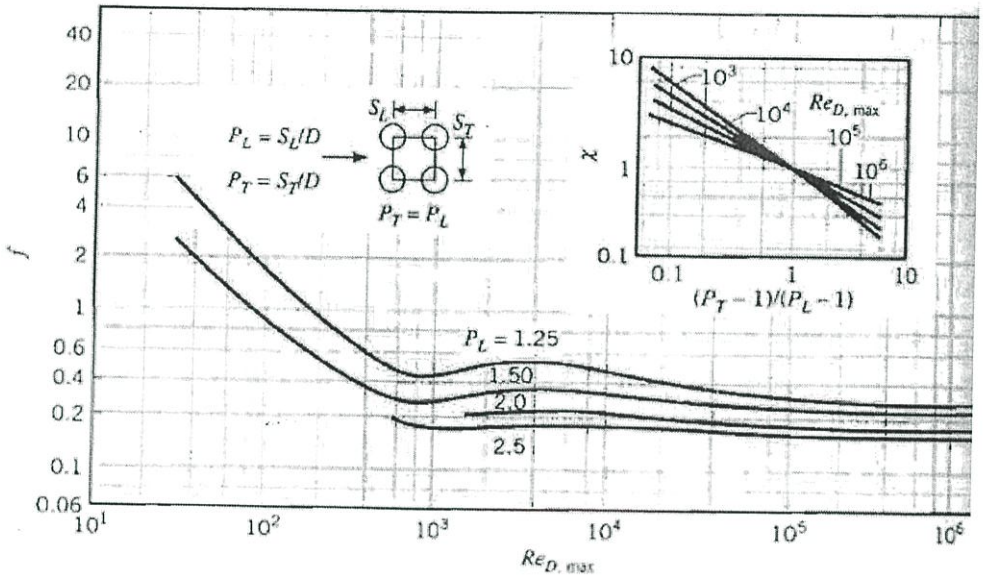
$$\frac{T_s - T_i}{T_s - T_0} = exp\left(-\frac{\pi D N \overline{h}}{\rho V N_T S_T c_p}\right) \tag{2.18.}$$

โดยที่ N เป็นจำนวนท่อทั้งหนมดในกลุ่ม และ N_T เป็นจำนวนท่อในระนาบขวาง ทันทีที่รู้ ΔT_{lm} จะสามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวของท่อได้

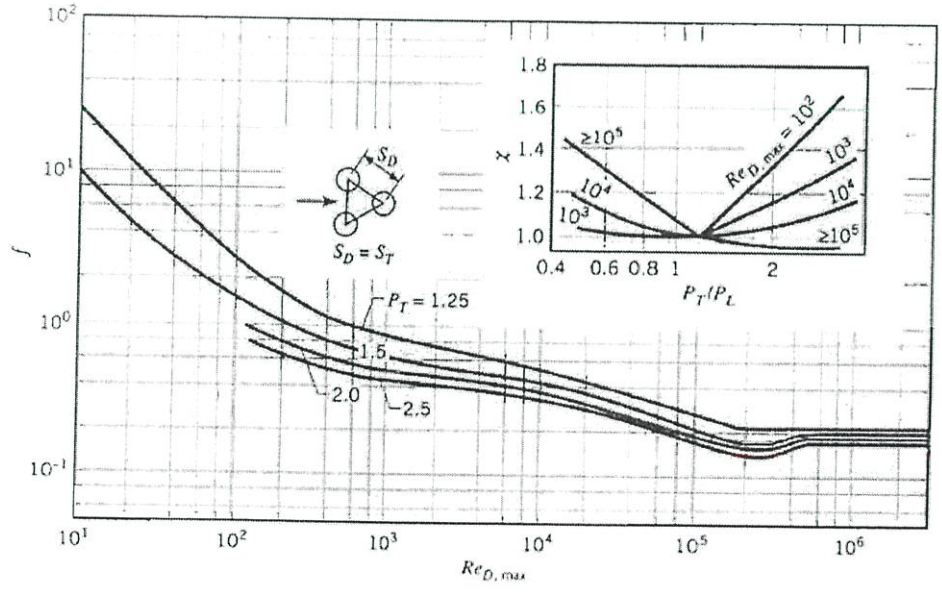
$$q = N(\overline{h}\pi D \Delta T_{lm}) \tag{2.19.}$$

โดยทั่วไปเมื่อมีการไหลผ่านกลุ่มท่อย่อมทำเกิดแรงเสียดทานสูงขึ้นจำเป็นต้องคำนวณหาความดันลด (Pressure Drop) ของการไหลผ่านท่อหลายชั้น เพราะว่ายิ่งความดันลดมากจำเป็นต้องใช้กำลังขับเคลื่อนของไหลมาก ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น Zhukauskas ได้แนะนำความดันลดโดยกำหนดเป็นสมการ ดังนี้

$$\Delta p = N_L x \left(\frac{\rho v_{max}^2}{2}\right) f \qquad (2.20)$$



รูปที่ 2.11 ตัวประกอบเสียดทาน (f) และตัวประกอบแก้ไข X (Factor X) สำหรับการจัดท่อในแนวเดียวกัน [4]



รูปที่ 2.12 ตัวประกอบเสียดทาน (f) และตัวประกอบแก้ไข X (Factor X) สำหรับการจัดท่อสลับกัน [4]

2.5 ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม [5]

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy) หมายถึงการนำเอาวิธีและเทคนิคต่างๆทางคณิตศาสตร์ มาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินคุณค่าของโครงการด้านวิศวกรรมอย่างมีหลักการและสมเหตุผล เพื่อให้ง่ายต่อการเลือกโครงการที่มีคุณค่าสูงสุด โดยวิเคราะห์ที่ตัวเงินที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณ

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณมีหลายตัวโดยแต่ละตัวมีความหมายดังต่อไปนี้

- P คือ Present Value หรือ มูลค่าปัจจุบัน หมายถึง การรวมเงินทั้งหมดที่จุดต่างๆ บนแกนเวลาของโครงการมาไว้เวลา 0 หน่วยเป็น บาท

- F คือ Future Value หรือ มูลค่าในอนาคต หมายถึง การรวมเงินทั้งหมดที่จุดต่างๆบนแกนเวลาของโครงการมาไว้ที่เวลาใดๆในอนาคต หน่วยเป็น บาท

- A คือ Annual Value หรือ มูลค่าเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา หมายถึง การรวมเงินทั้งหมดที่จุดต่างๆบนแกนเวลาของโครงการแล้วนำมาแทนด้วยอนุกรมของปริมาณเงินที่เท่ากัน ต่อเนื่องกันเป็นช่วงเวลาช่วงหนึ่ง หน่วยเป็นบาทต่อเวลา เช่น บาท/วัน บาท/เดือน บาท/ปี หรืออื่นๆ

- N หมายถึง จุดของเวลาที่เขียนอยู่บนแกนเวลา หน่วยเป็นหน่วยของเวลาเช่น 1 วัน 1 เดือน 1 ปี หรืออื่นๆ

- I หมายถึงอัตราดอกเบี้ยต่อหน่วยเวลา เป็น Compound Interest หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ต่อหน่วยเวลา เช่น 5% ต่อปี ทบต้นทุกปี

สูตรที่จะกล่าวต่อไปนี้คือการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Present Value (P), Future Value (F), และ Annual Value (A) ถ้าอัตราดอกเบี้ยแบบ Compound Interest มีค่าเท่ากับ i % ต่อปี ทบต้นทุกปี

$$F = P(1+i)^n \tag{2.21}$$

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \tag{2.22}$$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ P และ A จะได้สมการดังนี้

$$\mathrm{P} = \mathrm{A}\left[\frac{(1+\mathrm{i})^{\mathrm{n}}-1}{\mathrm{i}(1+\mathrm{i})^{\mathrm{n}}}\right] \tag{2.23}$$

$$\mathrm{A} = \mathrm{P}\left[\frac{\mathrm{i}(1+\mathrm{i})^{\mathrm{n}}}{(1+\mathrm{i})^{\mathrm{n}}-1}\right] \tag{2.24}$$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ F และ A จะได้สมการดังนี้

$$\mathrm{F} = \mathrm{A}\left[\frac{(1+\mathrm{i})^{\mathrm{n}}-1}{\mathrm{i}}\right] \tag{2.25}$$

$$A = F\left[\frac{i}{(1+i)^n-1}\right] \qquad (2.26)$$

2.5.1 การเปรียบเทียบคุณค่าของโครงการด้วยค่ามูลค่าปัจจุบัน (Present Value) และมูลค่าเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา (Annual Value)

การนำวิธีการหาค่า Present Value และ Annual Value มาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกโครงการหลายๆโครงการว่าโครงการใดมีคุณค่าพอที่จะลงทุน และโครงการใดควรที่จะถูกปฏิเสธหรือเก็บไว้เป็นตัวเลือกในอันดับที่รองๆลงไป โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

1. ถ้าโครงการหลายๆโครงการที่มีอยู่เป็นโครงการที่ต้องใช้เงินในการลงทุน โครงการที่ใช้เงินลงทุนน้อยกว่าจะถูกมองว่าเป็นโครงการที่ดีกว่า ควรถูกเลือกก่อนโครงการอื่นๆที่ใช้เงินลงทุนมากกว่า

2. ถ้าโครงการหลายๆโครงการที่มีอยู่เป็นโครงการที่ต้องใช้ได้ผลตอบแทนออกมาโครงการที่ได้ผลตอบแทนมากกว่าก็จะถูกมองว่าเป็นโครงการที่ดีกว่า ควรถูกเลือกก่อนโครงการอื่นๆที่ได้ผลตอบแทนน้อยกว่า

การเปรียบเทียบโครงการหลายโครงการด้วยวิธีทั้งสองนี้ สามารพแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีใหญ่ๆคือ การเปรียบเทียบโครงการหลายๆโครงการที่มีอายุโครงการเท่ากัน และการเปรียบเทียบโครงการหลายๆโครงการที่มีอายุโครงการไม่เท่ากัน

ข้อสังเกต คือ ผลที่ได้จากวิธีทั้งสองนี้จะเหมือนกัน ว่าโครงการใดดีที่สุดและโครงการใดดีรองมา และเพื่อลดความสับสนในการใช้สัญลักษณ์ต่างๆ สัญลักษณ์ของ Present Value และ Annual Value ที่จะใช้ในบทนี้อาจมีการเรียกให้แตกต่างไปจากเดิมเล็กน้อย โดยจะเรียก ค่า Present Value เสียใหม่ว่า Net Present Worth (NPW) และจะเรียกค่า Annual Value ว่า Equivalent Uniform Annual Worth (EUAW)

2.5.1.1. <u>การเปรียบเทียบโครงการหลายๆโครงการที่มีอายุโครงการเท่ากัน</u>

ในกรณีที่อายุของโครงการที่จะนำมาเปรียบเทียบกันมีค่าเท่ากันแล้ว ในการเปรียบเทียบคุณค่าของโครงการนั้นก็สามารถทำได้โดยตรง ด้วยการคำนวณหาค่า NPW หรือ EUAW ได้เลยแล้วจึงใช้หลักการเลือกเหมือนเดิม คือ ถ้าเป็นการลงทุนโครงการที่มีค่า NPW หรือ EUAW น้อยกว่าย่อมดีกว่าโครงการที่มีค่า NPW หรือ EUAW มากกว่า และถ้าเป็นโครงการที่ให้ผลประโยชน์โครงการที่มีค่า NPW หรือ EUAW มากกว่าย่อมดีกว่าโครงการที่มีค่า NPW หรือ EUAW น้อยกว่า

2.5.1.2 <u>การเปรียบเทียบโครงการหลายๆโครงการที่มีอายุโครงการไม่เท่ากัน</u>

ในกรณีที่อายุของโครงการที่จะนำมาเปรียบเทียบกันมีค่าไม่เท่ากันแล้ว ในการเปรียบเทียบคุณค่าของโครงการนั้นจะไม่สามารถทุกโครงการนั้นจะไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ในทันที จะต้องเริ่มต้นด้วยการนำเอาค่าอายุของโครงการทุกโครงการมาคำนวณหาค่าตัวคูณร่วมน้อย (ค.ร.น.) เสียก่อนเพื่อให้ได้ค่าระยะเวลากลางสำหรับทุกโครงการออกมา หลังจากนั้นในการนำโครงการแต่ละโครงการมาประเมินคุณค่าที่ให้ยึดหลักความจริงที่ว่าถ้าระยะเวลากลางที่ได้ออกมามีค่ามากกว่าอายุของโครงการ ก็ให้ลงทุนโครงการนั้นซ้ำไปเรื่อยๆเมื่อหมดอายุของโครงการจนกระทั่งถึงระยะเวลากลางที่คำนวณได้ จากนั้นให้ทำการคำนวณหาค่า NPW หรือ EUAW ของแต่ละโครงการ แล้วก็ใช้หลักการเลือกเหมือนเดิมคือ ถ้าเป็นการลงทุนโครงการที่มีค่า NPW หรือ EUAW น้อยกว่าย่อมดีกว่าโครงการที่มีค่า NPWหรือ

EUAW มากกว่า และถ้าเป็นโครงการที่ให้ผลประโยชน์ โครงการที่มีค่า NPW หรือ EUAW มากกว่าย่อมดีกว่าโครงการที่มีค่า NPW หรือ EUAW น้อยกว่า

2.5.2 การคำนวณหาค่า Internal Rate of Return

ในการประเมินคุณค่าของโครงการใดๆ ถ้าต้องการที่จะทราบว่าโครงการนั้นๆสามารถให้ผลตอบแทนออกมาด้วยอัตราเท่าไร หลักการคือการให้ทำการหาค่าอัตราผลตอบแทน เป็นเหมือนกับ ค่าดอกเบี้ยทบต้น I ที่ทำให้การคำนวณค่า Present Value หรือค่า Annual Value ของโครงการมีค่าเป็น ศูนย์ ซึ่งค่าผลตอบแทนที่ได้ออกมานี้ก็คือค่า Internal Rate of Return (IRR) ของโครงการ

หลังจากทราบค่า IRR ของโครงการแล้ว จำเป็นที่จำต้องตั้งค่าอัตราผลตอบแทนต่ำที่สุด หรือที่เรียกว่า Minimum Attractive Rate of Return (MARR) ที่ยอมรับได้ของโครงการเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงและประเมินคุณค่าของโครงการว่ามีคุณค่าพอที่จะเลือกลงทุนหรือไม่ หากค่า IRR ของโครงการมีค่ามากกว่า MARR ของโครงการนั้นก็ถือว่าโครงการนั้นมีคุณค่าพอที่จะเลือก

2.5.3 การคำนวณหาค่า Benefit/Cost Ratio ของโครงการ

ในการประเมินคุณค่าของโครงการใดๆ นอกจากใช้ค่า Present Value, Annual Value หรือ Internal Rate of Return (IRR) แล้ว ก็ยังมีอีกวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยม และยังเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน นั่นคือการใช้อัตราส่วนของผลประโยชน์สุทธิต่อต้นทุน ของโครงการ (Benefit/Cost Ratio, B/C ratio) หลักการที่ใช้คือ ถ้าผลประโยชน์สุทธิของโครงการมีค่ามากกว่าต้นทุนที่ลงไปแล้วโครงการนั้นก็ถือว่าเป็นโครงการที่ดี ควรค่าแก่การลงทุน (หรือ B/C ratio มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1

ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่า Benefit/Cost Ratio ประกอบด้วย

- ค่าของผลประโยชน์ต่างๆที่ได้รับจากการทำโครงการ (Benefit)
- ค่าของการเสียผลประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ (Disbenefit)
- ค่าการลงทุนเริ่มต้นของการทำโครงการ (Initial Cost)
- ค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการหลังจากลงทุนไปแล้ว (Operation and Maintenance Cost)

ในการคำนวณจะคำนวณโดยใช้ค่า Present Value หรือ Annual Value ก็ได้โดยทั่วไป

$$\frac{B}{C} = \frac{(\text{Benefit} - \text{Disbenefit})}{(\text{Initial Cost} + \text{Operation and Maintenance Cost})} \qquad (2.27)$$

2.5.4 การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของโครงการ

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ การคำนวณหาว่าในการลงทุนในโครงการใดๆจะต้องลงทุนเป็นเวลาอย่างน้อยเท่าไรถึงจะคืนทุนได้พอดี และหลังจากเวลาคืนทุนไปแล้วการลงทุนก็จะได้ผลของการดำเนินงานที่ดีมีผลกำไร

โครงการที่ดีก็คือโครงการที่มีระยะเวลาในการคืนทุนที่เร็ว ส่วนโครงการที่ไม่ดีคือโครงการที่มีระยะเวลาในการคืนทุนช้า หรือไม่มีทางหาระยะเวลาในการคืนทุนได้เลยหรือ ขาดทุนตลอดเวลา

ขั้นตอนในการคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุนมีดังนี้

1. เริ่มจากคิดว่าถ้าลงทุนไป 1 ปี เมื่อหาค่า NPW หรือ EUAW ต่อไปเมื่อลงทุนไป 2 ปี

2. ได้ผลประกอบการเป็นบวกหรือมีกำไร ถ้าผลประกอบการเป็นบวกหมายถึงระยะเวลาคืนทุนอยู่ระหว่างปีที่ 0 ถึง1 ถ้าผลประกอบการเป็นลบก็ให้ทำการคิดค่า NPW หรือ EUAW ต่อไปเมื่อลงทุนไป 2 ปี

3. ตรวจสอบตามวิธีในขั้นที่ 2 ว่าสามารถหาระยะเวลาคืนทุนได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ให้ทำการคิดค่า NPW หรือ EUAW ต่อไปเมื่อลงทุนไป 3 ปี

4. ทำซ้ำขั้นตอนการตรวจสอบไปเรื่อยๆจนกว่าจะพบว่าระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ใด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุญชัย ศิลปะกิจวงษ์กุล [6] ทำการวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and Tube) เป็นการไหลสวนทางกัน (Counter Flow) โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาทางลดขนาดและค่าใช้จ่ายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยการให้ค่าถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น โดยมีการติดตั้งแผ่นใบบิดสองปากและแผ่นใบบิดเป็นช่วงๆ ใส่เข้าไปในท่อกลม ซึ่งมีหน้าที่บังคับให้เกิดการหมุนวนของของไหลร้อนที่ไหลผ่านเข้าไปในท่อ ส่วนเปลือกจะเป็นการไหลของน้ำเย็นและปรับอัตราการไหลคงที่ที่ 100 ลิตรต่อชั่วโมง และปรับอัตราการไหลของน้ำร้อน 50-450 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วพิจารณาผลของแผ่นใบบิดต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมของของไหลร้อน และผลการทดลองที่ได้ ปรากฏค่า Nusselt Number ไม่มากและสามารถทำให้สมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้น

สันติ หวังนิพพานโต และสิริศร มิตรานนท์ [7] ทำการวิจัยออกแบบสร้างเทอร์โมไซฟอนฮีตไปป์แบบลูบปิดเพื่อศึกษาการทำงานของฮีตไปป์แบบลูบปิด อันจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้และหลีกเลี่ยงในข้อจำกัดของการใช้งานจริงของฮีตไปป์แบบลูบปิด ฮีตไปป์ที่สร้างขึ้นจะใช้น้ำเป็นสารทำงาน และทำด้วยท่อทองแดงขนาด 10 มม. การให้ความร้อนในส่วนการระเหยจะใช้ฮีตเตอร์แบบแผ่นที่สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าได้ เพื่อศึกษาวิธีการควบคุมความดันในการทำให้สารทำงานเคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่ต้องการ โดยออกแบบและสร้างฮีตไปป์แบบลูบปิดจำนวน 5 ชนิดคือ ใช้วาล์วกันกลับ ใช้ท่อรูเข็มเพิ่มส่วนสะสม ใช้ปลายท่ออยู่ใต้ระดับของเหลวในส่วนการระเหย และบีบปลายท่อ ผลการทดลองพบว่าหากอุณหภูมิที่ผิวส่วนระเหยของฮีตไปป์ทั้งสองแบบมีค่าสูงขึ้นกลไกการเดือดในบ่อเดือดจะรุนแรงและมีการปลดปล่อยไอไปควบแน่นที่ส่วนการควบแน่นมากขึ้น สำหรับฮีตไปป์แบบลูบปิดชนิดใช้วาล์วกันกลับและใช้ปลายท่ออยู่ใต้ระดับของเหลวในส่วนการระเหย จะมีช่วงการทำงานทางความร้อน (Thermal Duty Cycle) 100% ของคาบเวลาที่สภาวะคงที่ และสามารถส่งสารทำงานไปยังทิศทางที่ต้องการได้ตลอดเวลา หากมีสารทำงานสะสมในบ่อของเหลวของส่วนระเหยมากพอ

ขวัญชัย ไกรทอง และอติพงศ์ นันทพันธุ์ [8] ทำการวิจัยศึกษาถึงคุณลักษณะเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวางซึ่งดัดแปลงจากคอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศรถยนต์ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 65°C กับอากาศที่อุณหภูมิห้อง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศซึ่งอยู่ในช่วง 0.1 และ 0.4 กก./วินาที จำนวนคอนเดนเซอร์ 1-3 ชุด และทิศทางการไหลของน้ำร้อนและอากาศสองแบบ คือ แบบไหลสวนทางและไหลตามกัน จากการศึกษาพบว่า ค่าประสิทธิผลของการแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ระหว่าง 0.4 และ 0.9 ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ จำนวนคอนเดนเซอร์และทิศทางการไหลของน้ำและอากาศ และนอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ประเมินค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายผลการทดลองได้ทั้งหมดในช่วง ±10% จากการเปรียบเทียบสมรรถนะและราคากับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปกติพบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในเชิงปฏิบัติสูง

วสันต์ ศรีเมือง [9] นำเสนอความรู้เกี่ยวกับวิธีการคำนวณหาค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยเทคนิคของคูทาเทลัดเซนัมเบอร์ (Kutatalaza Number,Ku) โดยทั่วไปท่อความร้อนประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Evaporator Section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser Section) ท่อความร้อนทำงานด้วยสารทำงานที่ถูกเติมไว้ภายในซึ่งได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนสูง (Heat Source) เช่น ฮีตเตอร์หรือพลังงานความร้อนที่ปล่อยทิ้งออกจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยสารทำงานที่เป็นของเหลวอิ่มตัวเปลี่ยนสถานะไปเป็นไอแล้วลอยขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

จากนั้นสารทำงานที่มีสถานะเป็นไอที่อยู่บริเวณส่วนควบแน่นจะถ่ายเทความร้อนออกสู่แหล่งรับความร้อน (heat sink) เช่น อากาศเย็นหรือน้ำเย็นเป็นผลให้ไอดังกล่าวเกิดการกลั่นตัวและไหลตกลงสู่ส่วนทำระเหย สำหรับปัญหาหลักในการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในปัจจุบันคือวิศวกรจะเลือกชนิดของท่อความร้อน และคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่ท่อความร้อนโอนถ่ายได้ และออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนเพื่อให้เข้าใจอย่างแท้จริง โดยมุ่งเน้นวิธีการหาอัตราความร้อนที่ท่อความร้อนสามารถทำการโอนถ่ายผ่านตัวมันได้ นอกจากนี้รายละเอียดของท่อความร้อนแบบต่างๆ ได้ถูกอธิบายเพื่อให้วิศวกรสามารถใช้ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานทางด้านวิศวกรรมได้

อัญชลี พริ้มพราย [10] วิจัยและศึกษาปัญหาการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางปริก จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่มีผลกระทบโดยตรงกับการวางแผนการผลิตเพื่อลดต้นทุนการผลิต เพื่อวางแผนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางปริก เพื่อดำเนินงานตามแผนการผลิตยาง และวัดผลการดำเนินงานตามแผนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางปริก จังหวัดนครศรีธรรมราช จากการศึกษาการผลิตยาง ปัญหาที่พบมี 5 ประการ คือ ยางคัตติ้ง ยางฟอง ยางมีสิ่งสกปรก ยางสุกไม่ทั่ว และยางเหนียวเยิ้ม โดยปัญหาที่พบมาก คือ ยางคัตติ้งและยางฟอง นำไปสู่การวางแผนการผลิตเพื่อให้การทำงานเป็นระบบและมีมาตรฐานโดยการใช้หลักการของ 5W1H จากการดำเนินตามแผนพบว่าปริมาณของเสียลดลงจากเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการดำเนินงานตามแผน นอกจากนี้พบว่าพนักงานในฝ่ายผลิตได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี มีความกระตือรือร้น และมีความรู้มากยิ่งขึ้นเกี่ยวกับระบบการผลิต

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานของโครงงานฉบับนี้จะประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินโครงงาน พร้อมเอกสารและตารางเก็บข้อมูล เพื่อนำไปปฏิบัติตามในบทต่อไป โดยประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

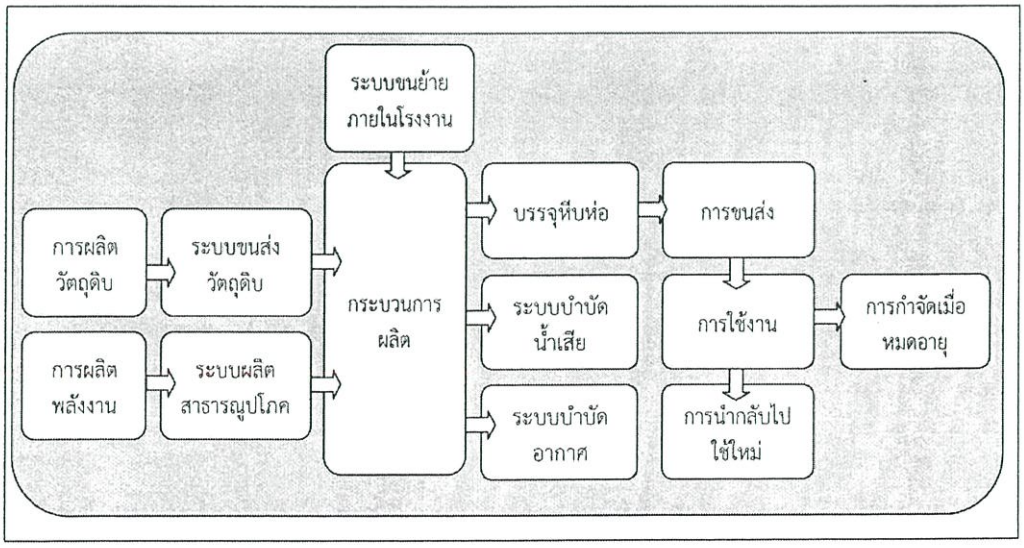
1. การศึกษาและรวมรวบข้อมูล
2. การกำหนดและนิยามปัญหา
3. การหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา
4. มาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญ
5. การวางแผนนำมาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญไปใช้

3.1 การศึกษาและรวมรวบข้อมูล

การศึกษาและรวบรวบรวมข้อมูลเป็นการเขียนรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษาในแง่มุมต่างๆในด้านกระบวนการซักอบรีด ผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีในการซักรีด และพลังงานประเภทต่างๆของห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา

3.1.1 กระบวนการซักรีดของบริษัทกรณีศึกษา

ศึกษากระบวนการซักรีดของโรงงานในแผนกการผลิต และสรุปกระบวนการให้อยู่ในรูปแผนผังการไหลของกระบวนการซักรีดโดยรวม ตามตัวอย่างรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการเขียนแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต [11]

3.1.2 ผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา พร้อมแสดงตัวอย่างรูปภาพผลิตภัณฑ์

3.1.3 กรรมวิธีในการซักรีด

สำหรับกรรมวิธีในการซักรีด จะมีสูตรมาตรฐานโดยพิจารณาที่ชนิดผ้า ขนาดของเสื้อผ้า และสูตรการซักรีด โดยมีตัวแปรดังต่อไปนี้

- ชนิดผ้า แบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ผ้ายีนส์ แทนด้วยตัวแปร J และผ้าชนิดอื่น แทนด้วยตัวแปร O
- ขนาดของเสื้อผ้า แบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ขนาดเล็ก แทนด้วยตัวแปร S และขนาดใหญ่ แทนด้วยตัวแปร L
- สูตรการซัก แบ่งออกเป็น 4 สูตรการซัก แทนด้วยตัวแปร A, B, C และ D ตามลำดับ

สำหรับการซักรีด จะเก็บข้อมูลมาตรฐานการซักไว้ในตาราง ดังตัวอย่างตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นตารางแสดงเวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการซักรีดในหน่วยนาที ของสูตรการซัก A, B, C และ D

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกเวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการซักรีดในหน่วยนาที สำหรับการซักรีดผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์ตามสูตรการซัก A, B, C และD

สูตรการซัก	ผ้าชนิดอื่น (O)				สูตรการซัก	ผ้ายีนส์ (J)			
	เวลาซัก (นาที)	เวลาสลัด (นาที)	เวลาอบ กรณีใช้ตู้อบไอน้ำ (นาที)	เวลาอบ กรณีใช้ตู้อบแก๊ส (นาที)		เวลาซัก (นาที)	เวลาสลัด (นาที)	เวลาอบ กรณีใช้ตู้อบไอน้ำ (นาที)	เวลาอบ กรณีใช้ตู้อบแก๊ส (นาที)
A					A				
B					B				
C					C				
D					D				

สำหรับปริมาณผ้าที่กำหนดไว้ในแต่ละกระบวนการซักรีดจะบันทึกข้อมูลไว้ในตารางดังตัวอย่างตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเสื้อผ้า และจำนวนผ้าที่มากที่สุดในหน่วยจำนวนตัวที่ใส่ได้ในแต่ละกระบวนการผลิต

ขนาดเสื้อผ้า	ผ้าชนิดอื่น			ขนาดเสื้อผ้า	ผ้ายืนส์		
	แผนกซัก (จำนวนตัว)	แผนกสลัด (จำนวนตัว)	แผนกอบ (จำนวนตัว)		แผนกซัก (จำนวนตัว)	แผนกสลัด (จำนวนตัว)	แผนกอบ (จำนวนตัว)
ขนาดเล็ก (S)				ขนาดเล็ก (S)			
ขนาดใหญ่ (L)				ขนาดใหญ่ (L)			

3.1.4 พลังงานประเภทต่างๆในห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา

เนื่องจากโครงงานฉบับนี้มุ่งเน้นการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของห้างหุ้นส่วนจำกัดเซ็นทรัลลอนดรี้ จึงมีความจำเป็นต้องรู้จักพลังงานและเครื่องจักรที่บริโภคพลังงานประเภทต่างๆ ในโรงงานแห่งนี้ โดยพลังงานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน

3.1.4.1 <u>พลังงานไฟฟ้า</u>

สำหรับแผนก หรือพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแบ่งออกได้ 2 แผนกหลักๆ คือ แผนกการผลิต (Production Department) และสำนักงาน (Office) โดยบันทึกข้อมูลดังนี้

- เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าในแผนกการผลิต ให้ทำการบันทึกจำนวนเครื่องจักรและอุปกรณ์ของแผนกการผลิตที่บริโภคพลังงานไฟฟ้าโดยระบุชื่อเครื่องจักรอุปกรณ์ รายละเอียด และอัตราการใช้พลังงานในหน่วยวัตต์หรือแรงม้า

- เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน ให้ทำการบันทึกจำนวนเครื่องจักรและอุปกรณ์ของสำนักงานที่บริโภคพลังงานไฟฟ้าโดยระบุชื่อเครื่องจักรอุปกรณ์ รายละเอียด และอัตราการใช้พลังงานในหน่วยวัตต์หรือแรงม้า

3.1.4.2 <u>พลังงานความร้อน</u>

สำหรับพลังงานความร้อนนั้นเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงที่โรงงานใช้มี 2 ชนิด คือ กะลาปาล์ม และแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยบันทึกข้อมูลดังนี้

- เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ความร้อนจากกะลาปาล์ม ให้ทำการบันทึกจำนวนเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานความร้อนจากกะลาปาล์ม โดยระบุชื่อเครื่องจักรอุปกรณ์ และรายละเอียด

- เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว ให้ทำการบันทึกจำนวนเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยระบุชื่อเครื่องจักรอุปกรณ์ และรายละเอียด

3.2 การกำหนดและนิยามปัญหา

ขั้นตอนกำหนดและนิยามปัญหาในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ หมายถึง การพยายามชี้บ่งพื้นที่ของลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญโดยการทำกิจกรรมการทบทวนด้านพลังงาน (Energy Review) เพื่อให้ทราบว่าพลังงานถูกใช้ในแผนกใดมากที่สุด พลังงานประเภทใดถูกใช้อย่างสิ้นเปลืองที่สุด และเครื่องจักรใดที่ใช้พลังงานดังกล่าวสิ้นเปลืองที่สุด กระบวนการเหล่านี้จะทำให้สามารถคิดแนวทางแก้ไขลดพลังงานที่มีนัยสำคัญได้อย่างตรงจุด การชี้บ่งพื้นที่ของลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญมีขั้นตอนและตารางเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

3.2.1 ทำการชี้บ่งแหล่งพลังงานที่ใช้และแยกประเภทพลังงานของบริษัท

ขั้นตอนนี้เป็นการหาอัตราการใช้ไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ต่อปีของแผนกการผลิต (Production Department) และสำนักงาน (Office) และบันทึกหมายเลขอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้พลังงานความร้อนในโรงงานลงในตาราง ดังตัวอย่างตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตารางแยกประเภทพลังงานของบริษัท

1. พลังงานไฟฟ้า ซื้อจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้ใน			
ระบบการผลิต			
ระบบแสงสว่าง			
ระบบปรับอากาศในออฟฟิศ			
ระบบระบายอากาศในโรงงาน			
ลำดับที่	ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	อัตราการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัต-ชั่วโมง/ปี)	
1	แผนกผลิต		
2	สำนักงาน		
	รวม		
2. พลังงานความร้อนใช้ เชื้อเพลิง ดังนี้			
ลำดับที่	หมายเลขเครื่องจักร	อุปกรณ์ที่ใช้	ชนิดเชื้อเพลิง
1			
2			

3.2.2 บันทึกข้อมูลปริมาณและค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานแต่ละประเภท และปริมาณผลผลิตย้อนหลัง 12 เดือน

บันทึกกำลังการผลิตในหน่วยกิโลกรัมต่อปีลงในตารางที่ 3.4 และสำหรับปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงให้คำนวณด้วยสมการที่ 2.1 และ 2.4 ตามลำดับ พร้อมบันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 3.5 และ 3.6

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดข้อมูลการผลิตย้อนหลัง 12 เดือน

ตารางปริมาณการผลิต				
ชื่อผลิตภัณฑ์		กำลังการผลิต (กิโลกรัม/ปี)		ผลผลิตจริง (กิโลกรัม/ปี)
รายละเอียดข้อมูลการผลิต				
เดือนที่ผลิต	ชั่วโมงการทำงาน/วัน	ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัม)	กิโลกรัม/ชั่วโมง	กำลังผลิตติดตั้ง (กิโลกรัม)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 12 เดือน

ตารางข้อมูลการใช้ไฟฟ้า			
เดือน	ปริมาณ (กิโลกรัม-ชั่วโมง)	ปริมาณ (กิโลกรัม-ชั่วโมง/ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

ตารางที่ 3.6 แสดงปริมาณและค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงย้อนหลัง 12 เดือน

ตารางข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์มและก๊าซปิโตรเลียมเหลว			
เดือน	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง	เมกะจูล	ค่าใช้จ่าย
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

3.2.3 ประเมินปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Consumption) และประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency) และจัดทำสัดส่วนการใช้พลังงาน

บันทึกข้อมูลลงในตารางสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบและตารางสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงแยกตามระบบ พร้อมคำนวณหาการใช้พลังงานทั้งสองประเภทในหน่วย เมกะจูลต่อปี และหาเปอร์เซ็นต์ของแต่ละระบบดังตัวอย่างตารางที่ 3.7 และหาสัดส่วนการใช้พลังงานรวมของแต่ละระบบในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงแยกตามระบบ

ตารางสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบ			
ระบบ	การใช้พลังงานไฟฟ้า		
	กิโลวัตต์/ปี	เมกะจูล/ปี	ร้อยละ

ตารางสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง				
ระบบ	อุปกรณ์	การใช้เชื้อเพลิง		
		ชนิดเชื้อเพลิง	เมกะจูล/ปี	ร้อยละ

ตารางที่ 3.8 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมแยกเป็นระบบ

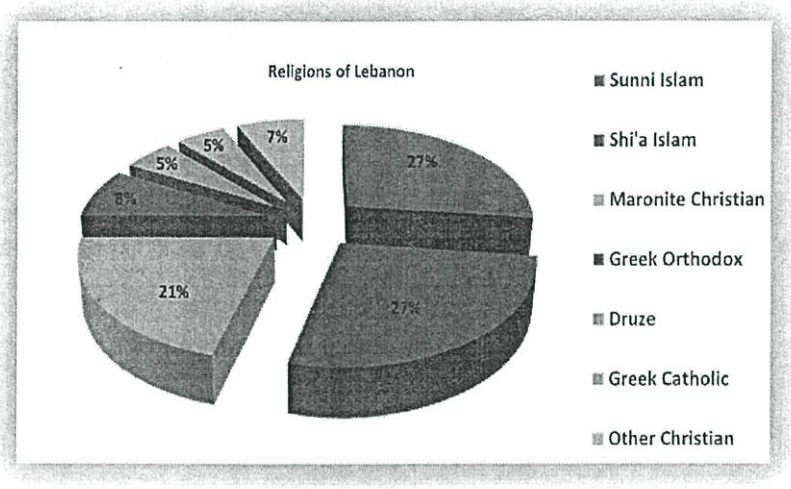
ตารางสัดส่วนการใช้พลังงานรวมแยกตามลักษณะระบบการใช้พลังงาน		
ระบบ	ปริมาณการใช้พลังงาน (เมกะจูล/ปี)	ร้อยละ
ระบบแสงสว่าง		
ระบบปรับอากาศ		
ระบายอากาศ		
ระบบการผลิต		

3.2.4 สร้างแผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน

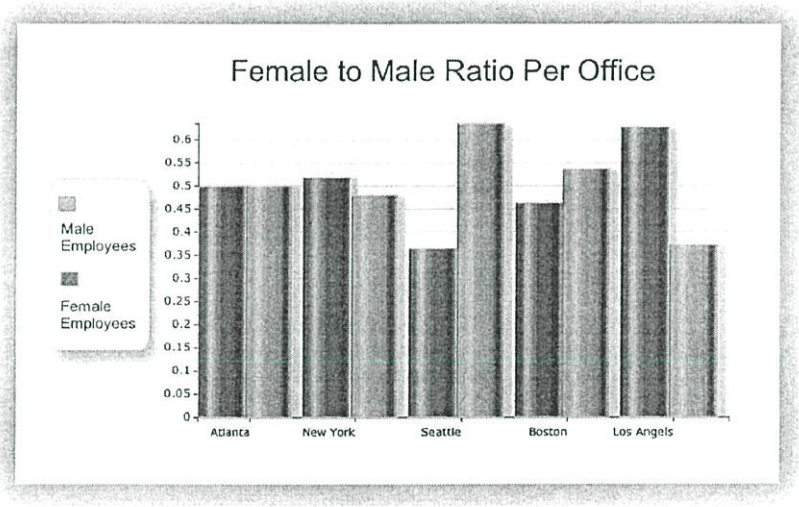
การสร้างแผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน คือการนำเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานที่คำนวณได้แปลงให้อยู่ในรูปกราฟ ในที่นี้จะใช้แผนภูมิวงกลม (Pie Chart) สำหรับการระบุแผนกหรือระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุด และใช้แผนภูมิแท่ง (Bar Chart) สำหรับการระบุประเภทของพลังงานที่ถูกใช้มากที่สุดหรือพลังงานที่มีนัยสำคัญ ทั้งในด้านปริมาณหน่วยเมกะจูล และด้านค่าใช้จ่าย หน่วยบาทต่อปี จากนั้นทำการหาเครื่องจักรที่บริโภคพลังงาน ที่มีนัยสำคัญมากที่สุดและสรุปให้อยู่ในรูปแผนภูมิแท่ง

สำหรับตัวอย่างการทำแผนภูมิวงกลมและแผนภูมิแท่งสามารถดูได้จากรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ โดยผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้จะทำให้ทราบว่าแผนกหรือระบบใดใช้พลังงานมากที่สุด พลังงานประเภทใด มีนัยสำคัญ

และเครื่องจักรใดที่บริโภคพลังงานที่มีนัยสำคัญมากที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการหาสาเหตุที่แท้จริงและหามาตรการแก้ไขในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแผนภูมิวงกลม แสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การนับถือศาสนาในเลบานอน [12]



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างแผนภูมิแท่ง แสดงอัตราส่วนระหว่างชายและหญิงในสำนักงาน [13]

3.3 การหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

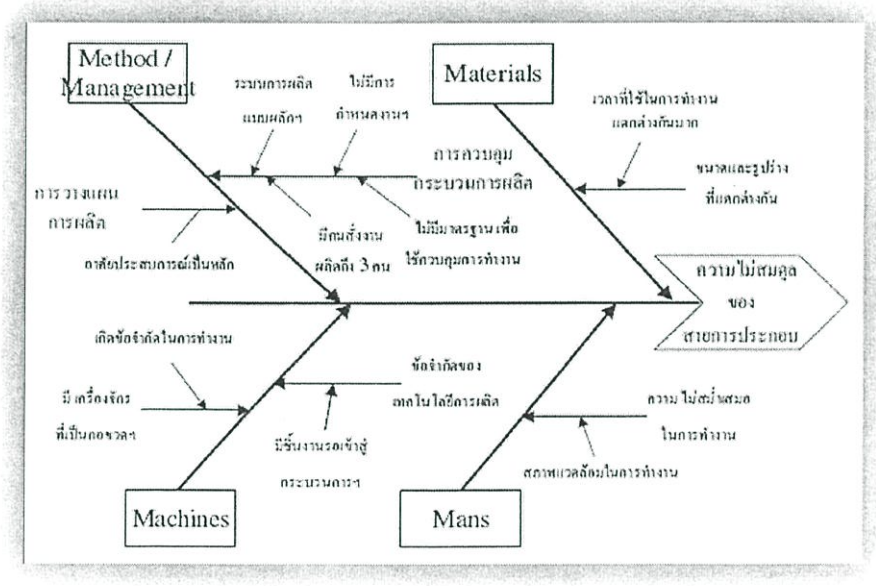
การหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา หมายถึงการวิเคราะห์ว่าเหตุใดการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญจึงมีค่ามากที่สุด โดยการใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ช่วยในการวิเคราะห์ โดยขั้นตอนการหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา

การศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานเป็นการสำรวจกระบวนการชักรีดในสภาวะปัจจุบันว่าพนักงานมีระบบการทำงานอย่างไร จัดสรรแบ่งงานอย่างไร เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุของการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญมาก ในขั้นตอนต่อไป

3.3.2 วิเคราะห์สาเหตุของการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญจำนวนมากโดยผังก้างปลา

สำหรับวิธีการเขียนผังก้างปลาให้วิเคราะห์ด้วยหลัก 4M ซึ่งประกอบไปด้วย พนักงาน (Man), เครื่องจักร (Machine), วัสดุอุปกรณ์ (Material) และวิธีการ (Method) โดยหัวของก้างปลาหมายถึงปัญหา โดยในที่นี้ปัญหาจะหมายถึงการใช้เครื่องจักรที่มีนัยสำคัญมาก สำหรับตัวอย่างการเขียนแผนผังก้างปลาสามารถดูตัวอย่างได้จากรูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงตัวอย่างปัญหาความไม่สมดุลของสายการประกอบ



รูปที่ 3.4 แสดงการเชียงผังก้างปลา โดยมีปัญหาคือความไม่สมดุลของสายการประกอบ [14]

3.4 มาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญ

หลังจากหาสาเหตุที่แท้จริงของการใช้เครื่องจักรที่มีนัยสำคัญมากแล้ว จึงนำมาสู่ขั้นตอนการออกแบบแนวคิดการแก้ปัญหา โดยวิธีการแก้ปัญหานั้นจะนำความรู้ด้านการบริหารจัดการ และด้านเทคนิควิศวกรรมศาสตร์มาใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายพลังงานที่มีนัยสำคัญ พร้อมศึกษาความเป็นไปได้ของแนวคิดการแก้ปัญหาทางด้านเทคนิควิศวกรรมศาสตร์และด้านการเงิน

3.4.1 ออกแบบแนวคิดการแก้ปัญหาเพื่อลดการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ

แนวคิดการแก้ปัญหา เป็นการเสนอวิธีการแก้ไขปัญหา โดยอธิบายรายละเอียดการแก้ไข โดยนำความรู้ทางด้านการจัดการและความรู้เชิงเทคนิควิศวกรรม เข้ามาช่วยเพื่อลดพลังงานที่มีนัยสำคัญ

3.4.2 การศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีการแก้ปัญหาในด้านเทคนิควิศวกรรม

การศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีการแก้ปัญหาในด้านวิศวกรรม เป็นการนำแนวคิดการแก้ปัญหาในข้อ 3.4.1 มาทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเทคนิคเพื่อให้มั่นใจว่าวิธีการที่ได้ออกแบบไว้ส่งผลให้ปริมาณและค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญลดลง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังปรับปรุง

3.4.3 การศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีการแก้ปัญหาด้านการเงิน

สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ด้านการเงินจะเป็นการประมาณค่าใช้จ่ายของพลังงานที่มีนัยสำคัญที่ประหยัดได้ เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายพลังงานที่มีนัยสำคัญก่อนและหลังทำการปรับปรุงเป็นเปอร์เซ็นต์ พร้อมสรุปผลประหยัดในรูปของแผนภูมิแท่ง

หากแนวคิดการแก้ปัญหามีค่าใช้จ่าย หรือเงินลงทุนเกิดขึ้น จะต้องคำนวณค่าตัวแปรต่างๆดังต่อไปนี้

- ค่ามูลค่าปัจจุบัน (NPW) โดยมูลค่าปัจจุบันของโครงการที่น่าลงทุนต้องมีค่ามากกว่า 0
- ค่าอัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันเท่ากับศูนย์ (IRR) โดยค่า IRR $\geq$ MARR

เมื่อ MARR หมายถึงผลตอบแทนต่ำสุดที่ควรจะได้ โดย MARR จะอ้างอิงจากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของผู้ผลิต ในที่นี้คือดอกเบี้ยเงินกู้ที่ 5%

- ค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์สุทธิต่อต้นทุนของโครงการ (B/C) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.27 และค่า $\frac{B}{C} \geq 1$ จึงจะเป็นมาตรการที่ควรค่าแก่การลงทุน

- ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ระยะเวลาคืนทุนที่ดีคือคืนทุนในระยะเวลาที่รวดเร็ว และ ระยะเวลาคืนทุน << ระยะเวลาโครงการ

โดยตัวแปรต่างๆ ดังที่กล่าวมาจะบันทึกในตารางสรุปการเปรียบเทียบความน่าลงทุนของแนวคิดแก้ปัญหา ดังตัวอย่างตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ตัวอย่างตารางเปรียบเทียบค่าตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมตามเกณฑ์การพิจารณาและค่าที่ได้จริง

ลำดับที่	ตัวแปร	เกณฑ์การพิจารณา	ค่าที่ได้
1	NPW	NPW > 0	
2	IRR	IRR $\geq$ 5%	
3	B/C	B/C $\geq$ 1	
4	Payback Period	ระยะเวลาคืนทุน << ระยะเวลาโครงการ	

3.5 การวางแผนนำมาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญไปใช้

สำหรับการวางแผนการนำมาตรการแก้ไขไปใช้จริง คือการแจกแจงกิจกรรมที่ต้องทำเพื่อให้แนวคิดการแก้ปัญหาสามารถนำไปปฏิบัติได้ พร้อมประมาณเงินลงทุน และวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้ เพื่อให้โรงงานกรณีศึกษาสามารถนำมาตรการดังกล่าวไปใช้ได้จริงได้ในอนาคต

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

การนำเสนอผลการดำเนินงานในบทนี้ เป็นการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติตามวิธีการดำเนินงานในบทที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การศึกษาและรวมรวบข้อมูล
2. การกำหนดและนิยามปัญหา
3. การหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา
4. มาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญ
5. การวางแผนนำมาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญไปใช้

4.1 การศึกษาและรวมรวบข้อมูล

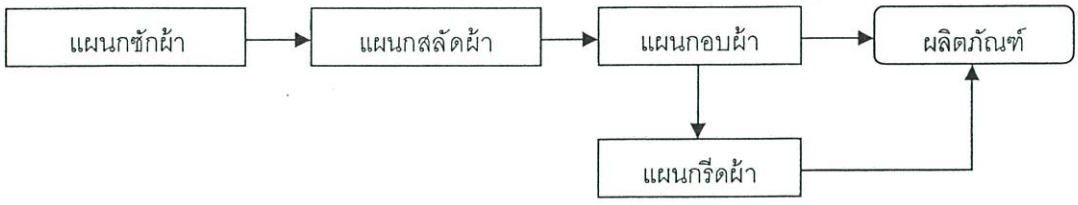
ห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา เป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ดำเนินธุรกิจซักอบรีดเสื้อผ้า โดยใช้สารเคมีและสูตรการซักที่หลากหลายเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ผู้ออกแบบเสื้อผ้าได้ออกแบบไว้ โดยโรงงานแห่งนี้ตั้งอยู่ที่ถนนกิ่งแก้ว จังหวัดกรุงเทพมหานคร สินค้าสามารถจำแนกได้เป็นสองประเภทคือผ้ายีนส์ และผ้าชนิดอื่น โดยผ้าชนิดอื่นหมายถึง ผ้าที่ไม่ใช่ผ้ายีนส์

4.1.1 กระบวนการซักรีดของบริษัทกรณีศึกษา

ในแผนกการผลิต (Production Department) สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นขั้นตอนดังนี้

- ซัก (Washing) เป็นการซักผ้าชนิดต่างๆด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ
- สลัด (Spinning) เป็นการสลัดน้ำออกจากตัวผ้าเพื่อให้ผ้าหมาด ก่อนจะทำการอบผ้าในกระบวนการถัดไป
- อบ (Drying) เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องจากกระบวนการสลัด เพื่อทำให้ผ้าหมาดแห้งสนิท
- รีด (Ironing) บางครั้งหลังการอบอาจจะมีการรีดผ้าหรือไม่ก็ได้ แล้วแต่คำสั่งลูกค้า ถือเป็นกระบวนการสุดท้ายก่อนจะทำการนับจำนวนและจัดส่งแก่ลูกค้า

สามารถสรุปกระบวนการซักรีดได้ ตามรูปที่ 4.1 ดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงการไหลของกระบวนการซักรีดโดยรวม

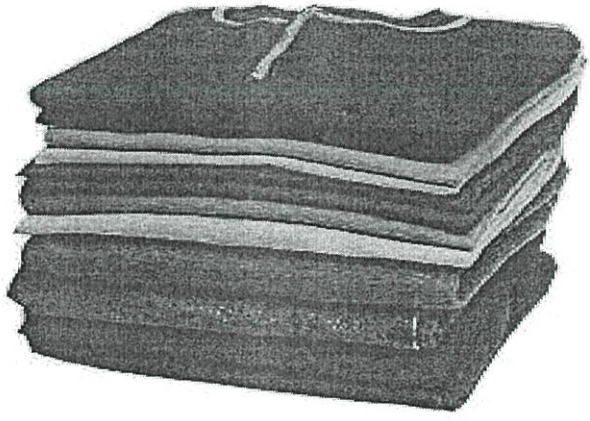
4.1.2 ผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาดูผลิตภัณฑ์ของโรงงานสามารถสรุปได้ว่า มีผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดคือ ผ้าชนิดอื่นและผ้ายืนส์ ซึ่งผ้าทั้งสองชนิดต่างมีกระบวนการซักรีดที่แตกต่างกัน สำหรับทั้งผ้าชนิดอื่นและผ้ายืนส์นั้นสามารถแบ่งประเภทผลิตภัณฑ์เป็น 4 ประเภทคือ ผลิตภัณฑ์การซักแบบ A, B, C และ D

4.1.2.1 ผลิตภัณฑ์ผ้าชนิดอื่น

ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังผ่านการซักด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกันทั้ง 4 สูตรการซัก มีรายละเอียดดังนี้

1. การซักแบบ A หมายถึง การซักธรรมดาและใส่น้ำยาปรับผ้านุ่มตอนสุดท้าย ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือสีของผ้าก่อนและหลังซักเป็นสีเดียวกัน แต่ความนุ่มของเนื้อผ้าเพิ่มขึ้น ตามตัวอย่างรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงรูปเสื้อผ้าสีสันต่างๆกันที่ผ่านการซักแบบ A ทำให้ได้เสื้อผ้าที่มีผิวสัมผัสนุ่ม

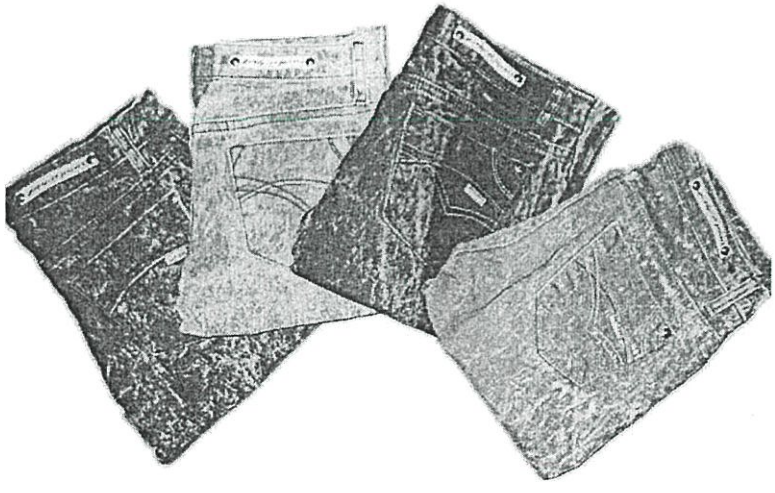


รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างเสื้อผ้าที่ผ่านการซักแบบ A

2. การซักแบบ B หมายถึง การซักเสื้อผ้าโดยการใช้สารเคมีกัดสีของผ้าให้มีสีที่อ่อนลงเพียงเล็กน้อย หรือหมายถึงการซักผ้าที่มีการใส่น้ำยาเคลือบเงาที่ผิวผ้า ส่งผลให้ผ้าที่ได้มีความลื่นเงาเพิ่มมากขึ้น ดังตัวอย่างรูปที่ 4.3 แสดงรูปกางเกงขาสามส่วนสีเทาที่ผ่านการซักด้วยสูตรการซักแบบ B ทำให้ผิวของผ้ามีความมันวาว

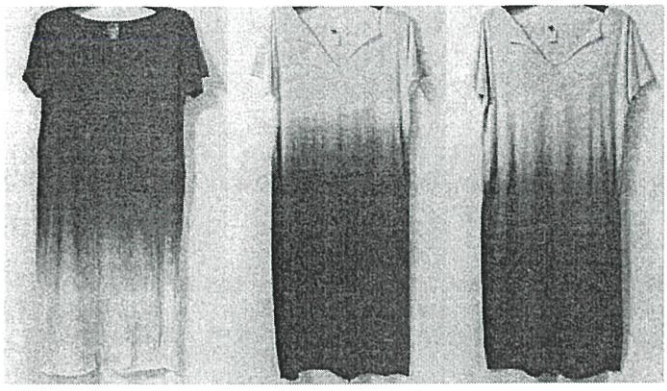
รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างกางเกงสีเทา เนื้อผ้ามีความเงาเล็กน้อย

- การซักแบบ C หมายถึง การซักเสื้อผ้าที่ใส่สารเคมีกัดสีของผ้าให้ซีดลงมากกว่าการซักแบบ B และเน้นการขึ้นลายตะเข็บของผ้า ให้เนื้อผ้าดูเก่า ดังตัวอย่างรูปที่ 4.4 รูปแสดงกางเกงสีสันต่างๆกันที่ผ่านการซักทำให้เนื้อผ้าดูเก่าและขึ้นลายตะเข็บ



รูปที่ 4.4 แสดงกางเกงสีซีดขึ้นลายตะเข็บ

- การซักแบบ D หมายถึง การย้อมสีเสื้อผ้าให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ โดยวิธีการกัดสีเสื้อผ้าให้ซีดลง และทำการย้อมสีใหม่ลงไป รวมถึงการมัดย้อมสีให้มีลวดลายสีสันที่หลายหลาย ยกตัวอย่างรูปที่ 4.5 แสดงภาพชุดกระโปรงสีขาวที่ผ่านการย้อมสีให้เป็นลวดลาย



รูปที่ 4.5 ชุดกระโปรงสีขาวที่ผ่านการย้อมสี

4.1.2.2 <u>ผลิตภัณฑ์ผ้ายีนส์</u>

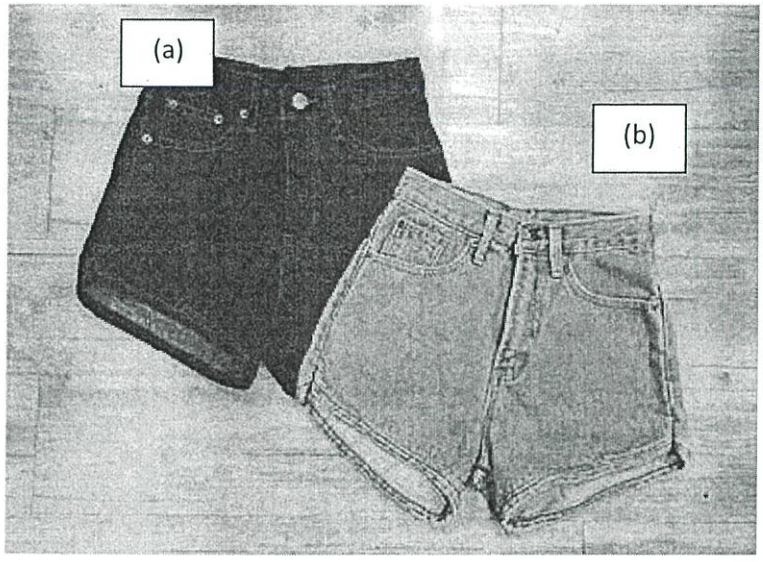
ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังผ่านการซักด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกันทั้ง 4 สูตรการซัก มีรายละเอียดดังนี้

- การซักแบบ A หมายถึง การซักธรรมดาและใส่น้ำยาปรับผ้านุ่มตอนสุดท้าย ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือผ้ายีนส์ที่มีผิวสัมผัสนุ่มมากขึ้น ตามตัวอย่างรูปที่ 4.6 แสดงภาพกางเกงยีนส์ขาสามส่วนที่ผ่านการซักแบบสูตร A ได้ผิวสัมผัสที่นุ่มขึ้น

ภาพที่ 4.6 แสดงกางเกงยีนส์ขาสามส่วนที่ผ่านการซักปรับผ้านุ่ม

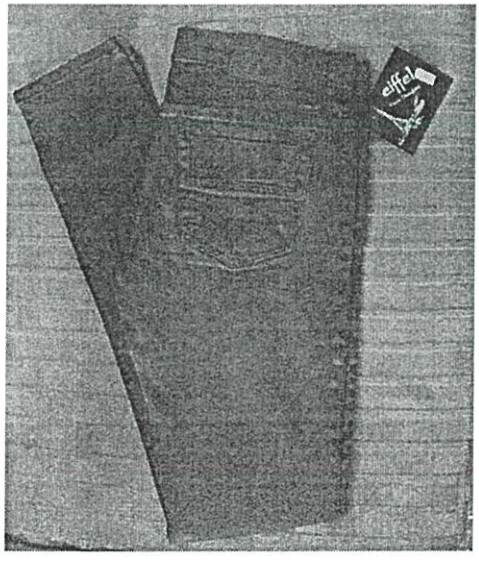
- การซักแบบ B หมายถึง การซักที่ใส่สารเคมีกัดสีของผ้ายีนส์ให้มีสีที่อ่อนลงเล็กน้อย นิยมเรียกว่าการซักไบโอสีเข้ม (Bio Washing) ดังตัวอย่างรูปที่ 4.7 (a) ซึ่งแสดงภาพกางเกงยีนส์ขาสั้นสีเข้ม

- การซักแบบ C หมายถึง การซักที่ใส่สารเคมีกัดสีของผ้ายีนส์ให้ซีดลง นิยมเรียกว่า การซักไบโอสีอ่อน (Bio Washing) ดังตัวอย่างรูปที่ 4.7 (b) ซึ่งแสดงภาพกางเกงยีนส์ขาสั้นสีอ่อน



รูปที่ 4.7 รูปกางเกงยีนส์ขาสั้น (a) ผ่านการซักไบโอสีเข้ม (b) ผ่านการซักไบโอสีอ่อน

- การซักแบบ D หมายถึง การซักย้อมสีผ้ายีนส์ให้มีสีที่แตกต่างไปจากเดิม โดยวิธีการกัดสีเสื้อผ้าให้ซีดลงและทำการเคลือบผิวผ้าด้วยสีที่ต้องการ โดยสีเคลือบที่นิยม ได้แก่ สีเขียว สีฟ้า สีดำ และสีแดง ดังตัวอย่างรูปที่ 4.8 แสดงกางเกงยีนส์ที่ถูกเคลือบด้วยสีเขียว



รูปที่ 4.8 กางเกงยีนส์เคลือบสีเขียวขายาว

4.1.3 กรรมวิธีในการซักรีดเสื้อผ้า

สำหรับกรรมวิธีในการซักรีด จะมีสูตรมาตรฐานโดยพิจารณาที่ชนิดผ้า ขนาดของเสื้อผ้า และสูตรการซัก โดยมีตัวแปรดังต่อไปนี้

- ชนิดผ้า แบ่งออกเป็นสองประเภทคือ ผ้าชนิดอื่น แทนด้วยตัวแปร O และ ผ้ายีนส์ แทนด้วยตัวแปร J

- ขนาดของเสื้อผ้า แบ่งออกเป็นสองประเภทคือ ขนาดเล็ก แทนด้วยตัวแปร S และขนาดใหญ่ แทนด้วยตัวแปร L

-สูตรการซัก สำหรับผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์ ต่างแบ่งสูตรการซักออกเป็น 4 สูตรการซัก แทนด้วยตัวแปร A, B ,C และ D

สำหรับมาตรฐานการซักรีดจะเป็นไปดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ของสูตรการซัก A,B,C และ D และเวลาที่ใช้ในหน่วยนาที ของแต่ละกระบวนการทำงาน

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงเวลาที่ใช้ในกระบวนการซักรีดของผ้าชนิดสีและยีนส์ สำหรับสูตรการซัก A, B, C และ D

สูตรการซัก	ผ้าชนิดอื่น (O)				สูตรการซัก	ผ้ายีนส์ (J)			
	เวลาซัก (นาที)	เวลาสลัด (นาที)	เวลาอบ กรณีใช้ตู้อบไอน้ำ (นาที)	เวลาอบ กรณีใช้ตู้อบแก๊ส (นาที)		เวลาซัก (นาที)	เวลาสลัด (นาที)	เวลาอบ กรณีใช้ตู้อบไอน้ำ (นาที)	เวลาอบ กรณีใช้ตู้อบแก๊ส (นาที)
A	20	22	48	43	A	20	22	58	53
B	44	22	48	43	B	76	22	58	53
C	75	22	48	43	C	140	22	58	53
D	98	22	48	43	D	166	22	58	53

สำหรับปริมาณผ้าที่กำหนดไว้ในแต่ละกระบวนการจะพิจารณาจาก ประเภทผ้าและขนาดผ้าดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเสื้อผ้าที่แบ่งออกเป็น ขนาดเล็ก (S) และใหญ่ (L) และจำนวนผ้าที่มากที่สุดที่ใส่ได้ในแต่ละกระบวนการทำงาน หน่วยเป็นจำนวนตัว

ขนาดเสื้อผ้า	ผ้าชนิดอื่น			ขนาดเสื้อผ้า	ผ้ายีนส์		
	แผนกซัก (จำนวนตัว)	แผนกสลัด (จำนวนตัว)	แผนกอบ (จำนวนตัว)		แผนกซัก (จำนวนตัว)	แผนกสลัด (จำนวนตัว)	แผนกอบ (จำนวนตัว)
ขนาดเล็ก (S)	≤250	≤500	≤100	ขนาดเล็ก (S)	≤125	≤250	≤45
ขนาดใหญ่ (L)	≤70	≤140	≤65	ขนาดใหญ่ (L)	≤70	≤140	≤30

4.1.4 พลังงานประเภทต่างๆในห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา

ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาพลังงานสองประเภท ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน สำหรับพลังงานความร้อนสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่าพลังงานเชื้อเพลิง โดยทำการจำแนกรายละเอียดและจำนวนเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆที่บริโภคพลังงานดังนี้

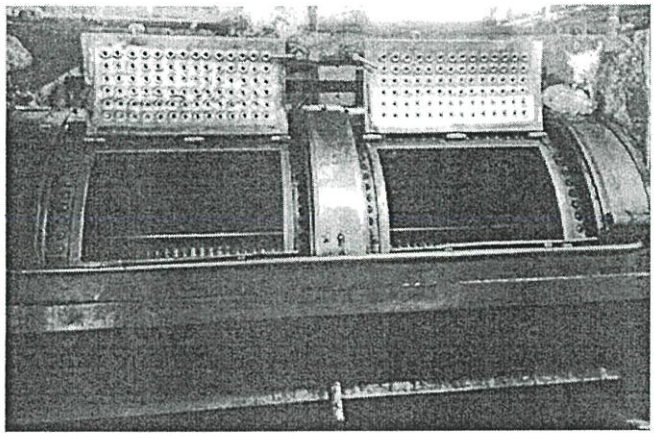
4.1.4.1 พลังงานไฟฟ้า

สำหรับพลังงานไฟฟ้านั้น ถูกบริโภคโดยเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ใน 2 สถานที่หลัก ได้แก่ แผนกการผลิต (Production) และสำนักงาน (Office) โดยอุปกรณ์ไฟฟ้ามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

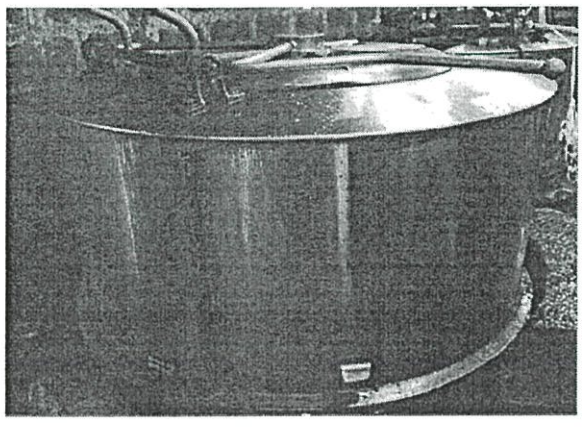
1. เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่บริโภคไฟฟ้าในแผนกการผลิต มีรายละเอียดดังนี้

- เครื่องซักผ้าความจุ 100 ปอนด์ 2 แรงม้า จำนวน 3 เครื่อง
- เครื่องซักผ้าความจุ 300 ปอนด์ 3 แรงม้า จำนวน 2 เครื่อง
- เครื่องซักผ้าความจุ 450 ปอนด์ 10 แรงม้า จำนวน 10 เครื่อง
- เครื่องสลัดผ้า 10 แรงม้า จำนวน 2 เครื่อง
- มอเตอร์สำหรับเครื่องอบผ้าประเภทใช้ไอน้ำ เครื่องละ 6 แรงม้า จำนวน 10 เครื่อง
- มอเตอร์สำหรับเครื่องอบผ้าประเภทใช้แก๊ส เครื่องละ 3 แรงม้า จำนวน 5 เครื่อง
- มอเตอร์สำหรับเครื่องอบผ้าลมเย็น เครื่องละ 8 แรงม้า จำนวน 2 เครื่อง
- มอเตอร์ปั๊มน้ำ 2 แรงม้า จำนวน 4 เครื่อง
- พัดลม $\frac{1}{3}$ แรงม้า จำนวน 7 เครื่อง

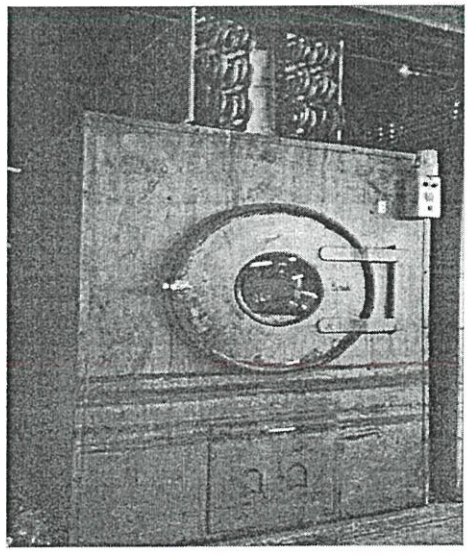
โดยลักษณะของเครื่องซักผ้า เครื่องสลัดผ้า เครื่องอบผ้าประเภทใช้ไอน้ำ เครื่องอบผ้าประเภทใช้แก๊ส และเครื่องอบผ้าลมเย็น มีลักษณะดังรูปที่ 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ



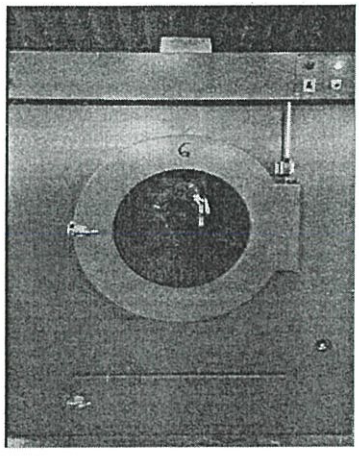
รูปที่ 4.9 เครื่องซักผ้า



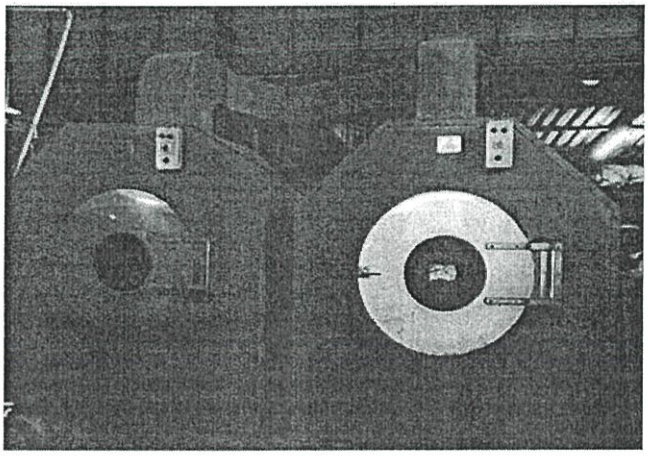
รูปที่ 4.10 เครื่องสลัดผ้า



รูปที่ 4.11 เครื่องอบผ้าประเภทใช้ไอน้ำและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 4.12 เครื่องอบผ้าประเภทใช้แก๊ส



รูปที่ 4.13 เครื่องอบผ้าลมเย็น

2. เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่บริโภคไฟฟ้าในสำนักงาน มีรายละเอียดดังนี้

- หลอดไฟ 50 วัตต์ จำนวน 55 ดวง
- เครื่องปรับอากาศ 12,000 btu จำนวน 2 เครื่อง
- เครื่องปรับอากาศ 24,000 btu จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องปรับอากาศ 36,000 btu จำนวน 1 เครื่อง
- ตู้เย็น 403.69 หน่วย/ปี จำนวน 1 เครื่อง
- คอมพิวเตอร์ 300 w จำนวน 3 เครื่อง

4.1.4.2 พลังงานความร้อนหรือพลังงานเชื้อเพลิง

สำหรับพลังงานความร้อนนั้น เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงที่โรงงานใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ กะลาปาล์มและแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) และสถานที่ที่มีการบริโภคความร้อนนั้นเกิดเฉพาะในแผนกการผลิตเท่านั้น จึงแบ่งเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ความร้อนออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงกะลาปาล์ม และเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)

1. เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงกะลาปาล์ม

สำหรับเครื่องจักรที่ใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ หม้อไอน้ำ (Boiler) 1 เครื่อง โดยหม้อไอน้ำจะใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิงในการเผาเพื่อต้มน้ำร้อนผลิตไอน้ำขึ้นมา และไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำดังกล่าว ส่งไปให้กับเครื่องจักรดังต่อไปนี้

- เครื่องซักผ้า จำนวน 15 เครื่อง ใช้ไอน้ำสำหรับผลิตน้ำอุ่นในการซักผ้าบางประเภท โดยมีตัวอย่างรูปดัง รูปที่ 4.9

- เครื่องอบผ้าชนิดไอน้ำ จำนวน 10 เครื่อง โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ที่ประกอบบนเตาอบผ้าจะทำหน้าที่แปลงความร้อนจากไอน้ำมาใช้ในการอบผ้า ซึ่งเครื่องอบผ้า ชนิดไอน้ำถือได้ว่าเป็นเครื่องจักรที่บริโภคไอน้ำมากที่สุด หรือก็คือเครื่องจักรที่ใช้พลังงานจากการเผาไหม้กะลาปาล์มมากที่สุดนั่นเอง โดยตัวอย่างของเครื่องอบผ้าชนิดไอน้ำเป็นไปตามตัวอย่างรูปที่ 4.11

- เครื่องรีดผ้า จำนวน 5 เครื่อง ใช้ไอน้ำในการรีดเสื้อผ้า

2. เครื่องจักรที่ใช้ความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว

สำหรับเครื่องจักรที่ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตความร้อนมาใช้นั้น ในโรงงานกรณีศึกษามีเพียงเครื่องอบผ้าชนิดแก๊สจำนวน 5 เครื่องเท่านั้น โดยเครื่องอบผ้าจะมีการเผาไหม้ปิโตรเลียมเหลวเพื่อผลิตความร้อนใช้ในการอบผ้า โดยตัวอย่างของเครื่องอบผ้าชนิดแก๊สเป็นไปตามรูปที่ 4.12

4.2 การกำหนดและนิยามปัญหา

การกำหนดและนิยามปัญหา หมายถึงการชี้บ่งพื้นที่การใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญโดยการทำกิจกรรมการทบทวนด้านพลังงาน (Energy Review) เพื่อให้ทราบว่าพลังงานถูกใช้มากที่สุดในระบบใด พลังงานชนิดใดที่ถูกใช้มากที่สุด และเครื่องจักรอุปกรณ์ใดที่ใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญมากที่สุด

4.2.1 ทำการชี้บ่งแหล่งพลังงานที่ใช้และแยกประเภทพลังงานของบริษัท

ในขั้นตอนนี้ เป็นการหาอัตราการใช้ไฟฟ้า ในหน่วยกิโลวัตต์ต่อปี ของแผนกการผลิต (Production Department) และสำนักงาน (Office) และบันทึกหมายเลขอุปกรณ์ เครื่องจักรในโรงงานที่ใช้พลังงานความร้อน ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางแยกประเภทพลังงานของบริษัท

1. พลังงานไฟฟ้า ซื้อจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้ใน			
ระบบการผลิต ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศในออฟฟิศ และระบบระบายอากาศในโรงงาน			
ลำดับที่	ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	อัตราการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัต-ชั่วโมง/ปี)	
1	แผนกผลิต	4,234,655.70	
2	สำนักงาน	585,864.00	
	รวม	4,820,519.70	
2.พลังงานความร้อนใช้ เชื้อเพลิง ดังนี้			
ลำดับที่	หมายเลขเครื่องจักร	อุปกรณ์ที่ใช้	ชนิดเชื้อเพลิง
1	Boiler	Boiler	กะลาปาล์ม
2	LPG1-LPG5	เตาอบแก๊ส	แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)

4.2.2 บันทึกข้อมูลปริมาณและค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานแต่ละประเภท และปริมาณผลผลิตย้อนหลัง 12 เดือน

หากำลังการผลิตในหน่วยกิโลกรัมต่อปี และบันทึกลงในตารางที่ 4.4 บันทึกปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 12 เดือน ในตารางที่ 4.5 และบันทึกปริมาณและค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงย้อนหลัง 12 เดือน ในตารางที่ 4.6 โดยข้อมูลย้อนหลัง 12 เดือนจะพิจารณาข้อมูลใน เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2555 - พฤษภาคม พ.ศ. 2556

ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดข้อมูลการผลิตย้อนหลัง 12 เดือน

ตารางปริมาณการผลิต (มิ.ย. 55 – พ.ค. 56)				
ชื่อผลิตภัณฑ์		กำลังการผลิต (กิโลกรัม/ปี)		ผลผลิตจริง (กิโลกรัม/ปี)
ผ้ายีนส์		3,545,100.00		1,518,499.61
รายละเอียดข้อมูลการผลิต				
เดือนที่ผลิต	ชั่วโมงการทำงาน/วัน	ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัม)	กิโลกรัม/ชั่วโมง	กำลังผลิตติดตั้ง (กิโลกรัม)
มิ.ย.-55	22	120,836.21	5,492.56	272,700.00
ก.ค.-55	22	126,673.13	5,757.87	272,700.00
ส.ค.-55	22	101,485.77	4,612.99	272,700.00
ก.ย.-55	22	147,154.06	6,688.82	272,700.00
ต.ค.-55	22	114,457.87	5,202.63	272,700.00
พ.ย.-55	22	97,817.86	4,446.27	272,700.00
ธ.ค.-55	22	195,930.38	8,905.93	272,700.00
ม.ค.-56	22	144,905.94	6,586.63	272,700.00
ก.พ.-56	22	78,592.77	3,572.40	272,700.00
มี.ค.-56	12	83,798.20	6,983.18	272,700.00
เม.ย.-56	12	62,835.42	5,236.29	272,700.00
พ.ค.-56	12	154,687.22	12,890.60	272,700.00

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 12 เดือน

ตารางข้อมูลการใช้ไฟฟ้า (มิ.ย. 55 – พ.ค. 56)			
เดือน	ปริมาณ (กิโลกรัม-ชั่วโมง)	ปริมาณ (กิโลกรัม-ชั่วโมง/ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
มิ.ย.-55	34,595.00	1,572.50	143,128.58
ก.ค.-55	34,524.00	1,569.27	144,735.50
ส.ค.-55	29,591.00	1,345.05	128,219.15
ก.ย.-55	31,862.00	1,448.27	142,464.49
ต.ค.-55	30,275.00	1,376.14	138,399.43
พ.ย.-55	29,169.00	1,325.86	133,315.17
ธ.ค.-55	29,027.00	1,319.41	132,238.55
ม.ค.-56	22,186.00	1,008.45	109,101.21
ก.พ.-56	19,586.00	890.27	100,150.13
มี.ค.-56	27,147.00	2,262.25	128,350.97
เม.ย.-56	18,290.00	1,524.17	98,027.72
พ.ค.-56	23,534.00	1,961.17	115,252.14

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณและค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงย้อนหลัง 12 เดือน

ตารางข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงกะลาปาล์ม (มิ.ย. 55 – พ.ค. 56)			
เดือน	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง	เมกะจูล	ค่าใช้จ่าย
มิ.ย.-55	131,130.00	2,216,097.00	489,183.76
ก.ค.-55	119,550.00	2,020,395.00	442,206.36
ส.ค.-55	91,310.00	1,543,139.00	341,968.68
ก.ย.-55	96,940.00	1,638,286.00	373,412.88
ต.ค.-55	101,560.00	1,716,364.00	335,986.50
พ.ย.-55	104,450.00	1,765,205.00	349,848.68
ธ.ค.-55	88,540.00	1,496,326.00	308,299.60
ม.ค.-56	89,400.00	1,510,860.00	322,311.83
ก.พ.-56	68,420.00	1,156,288.00	241,591.02
มี.ค.-56	71,740.00	1,212,406.00	253,313.94
เม.ย.-56	58,980.00	996,762.00	190,603.38
พ.ค.-56	87,320.00	1,475,709.00	310,233.66
ตารางข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)			
เดือน	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง	MJ	ค่าใช้จ่าย
มิ.ย.-55	300	15,069.00	4,315.00
ก.ค.-55	900	45,207.00	12,945.00
ส.ค.-55	1,800	90,414.00	25,890.00
ก.ย.-55	1,800	90,414.00	25,890.00
ต.ค.-55	2,700	135,621.00	38,835.00
พ.ย.-55	900	45,207.00	12,945.00
ธ.ค.-55	900	45,207.00	12,945.00
ม.ค.-56	1,500	75,345.00	21,575.00
ก.พ.-56	1,125	56,508.75	38,835.00
มี.ค.-56	1,800	90,414.00	25,890.00
เม.ย.-56	1,800	90,414.00	25,890.00
พ.ค.-56	2,400	120,552.00	34,520.00

4.2.3 ประเมินปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Consumption) และประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency) และจัดทำสัดส่วนการใช้พลังงาน

บันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบ หาสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า และหาสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง

ตารางสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบ			
ระบบ	การใช้พลังงานไฟฟ้า		
	กิโลวัตต์/ปี	เมกะจูล/ปี	ร้อยละ
ระบบการผลิต	4,234,655.70	15,244,760.52	88.53
ระบบแสงสว่าง	118,800.00	427,680.00	2.48
ระบบปรับอากาศในออฟฟิศ	423,360.00	1,524,096.00	8.85
ระบบระบายอากาศในโรงงาน	6,266.40	22,559.04	0.13

ตารางสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง				
ระบบ	อุปกรณ์	การใช้เชื้อเพลิง		
		ชนิดเชื้อเพลิง	เมกะจูล/ปี	ร้อยละ
ระบบการผลิต	หม้อไอน้ำ (Boiler)	กะลาปาล์ม	18,747,847.00	80.64
	เตาอบแก๊ส (LPG1)	LPG	900,372.75	3.87
	เตาอบแก๊ส (LPG2)	LPG	900,372.75	3.87
	เตาอบแก๊ส (LPG3)	LPG	900,372.75	3.87
	เตาอบแก๊ส (LPG4)	LPG	900,372.75	3.87
	เตาอบแก๊ส (LPG5)	LPG	900,372.75	3.87

หาพลังงานรวมในระบบต่างๆ ในหน่วยเมกะจูล เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุด ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางสัดส่วนการใช้พลังงานรวมแยกเป็นระบบ

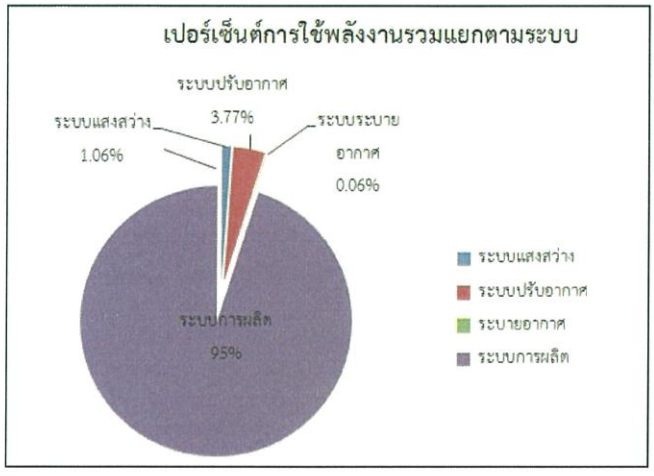
ตารางสัดส่วนการใช้พลังงานรวมแยกตามลักษณะระบบการใช้พลังงาน		
ระบบ	ปริมาณการใช้พลังงาน (เมกะจูล/ปี)	ร้อยละ
ระบบแสงสว่าง	427,680.00	1.06
ระบบปรับอากาศ	1,524,096.00	3.77
ระบายอากาศ	22,559.04	0.06
ระบบการผลิต	38,494,471.27	95.12

4.2.4 สร้างแผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 – 4.8 สามารถสรุปได้ เป็นแผนภูมิดังนี้

4.2.4.1 <u>แผนภูมิแสดงระบบที่ใช้พลังงานรวมมากที่สุด</u>

จากการหาเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานรวมในหน่วยเมกะจูล ของระบบทั้ง 4 คือ ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบระบายอากาศ และระบบการผลิต พบว่าระบบการผลิตมีสัดส่วนการใช้พลังงานรวมสูงสุดที่ 95% โดยมีระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบระบายอากาศ มีสัดส่วนการใช้พลังงานรวมรองลงมา ด้วยสัดส่วน 3.77%, 1.06% และ 0.06% ตามลำดับ สามารถสรุปเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานรวมในหน่วยเมกะจูล ได้เป็นแผนภูมิวงกลม ดังรูปที่ 4.14

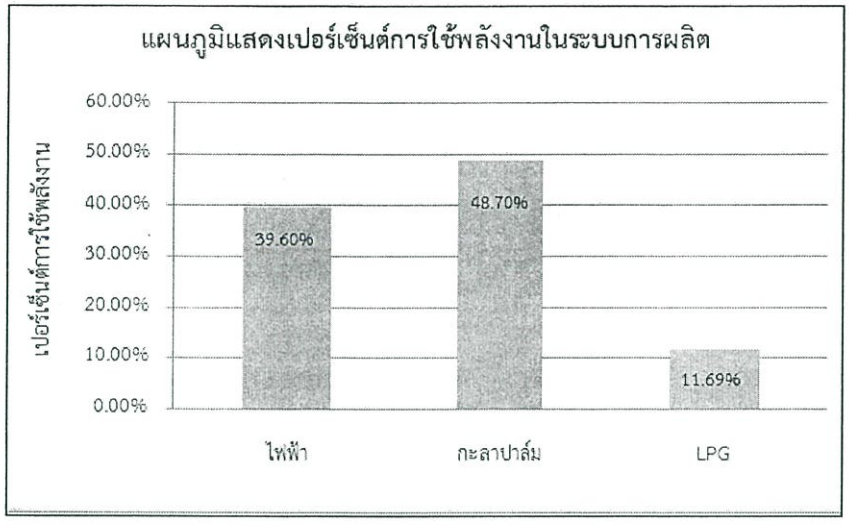


รูปที่ 4.14 แผนภูมิวงกลมแสดงเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานรวมในหน่วยเมกะจูล ของระบบต่างๆ

4.2.4.2 <u>แผนภูมิแสดงประเภทพลังงานที่มีนัยสำคัญในระบบการผลิต</u>

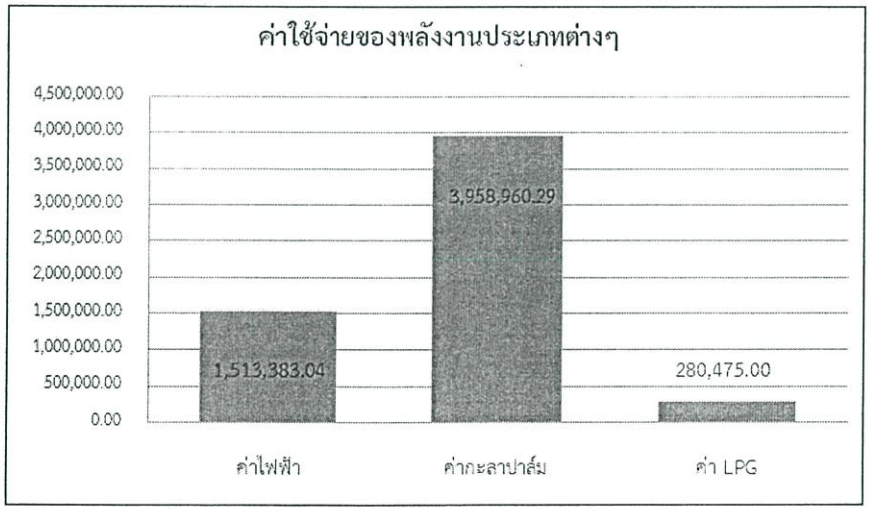
จาก 4.2.4.1 พบว่าระบบที่มีการใช้พลังงานรวมมากที่สุดคือ ระบบการผลิต จากนั้นให้พิจารณาพลังงานที่เกิดจาก ไฟฟ้า กะลาปาล์ม และแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในระบบการผลิต ในหน่วยเมกะจูล และสรุปเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานทั้งสามในระบบการผลิตให้อยู่ในรูปแผนภูมิแท่ง

พลังงานที่มีเปอร์เซ็นต์มากที่สุดในหน่วยเมกะจูล คือพลังงานที่มีนัยสำคัญของระบบการผลิต ซึ่งพบว่า กะลาปาล์มเป็นพลังงานที่มีนัยสำคัญที่สุดที่ 48.70% และพลังงานที่มีนัยสำคัญรองลงมาคือ ไฟฟ้าที่ 39.60% และแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ที่ 11.69% ตามรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงาน 3 ประเภทในระบบการผลิตในหน่วยเมกะจูล

จากภาพที่ 4.15 พบว่าพลังงานที่มีนัยสำคัญคือกะลาปาล์ม เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานมากที่สุด จากนั้นทำการพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมต่อปีของพลังงานทั้ง 3 ประเภทในรูปแผนภูมิแท่ง พบว่าค่าใช้จ่ายกะลาปาล์มสูงที่สุดที่ 3,958,960.29 บาทต่อปี โดยมีค่าใช้จ่ายที่สูงรองมาคือ ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ 1,513,383.04 บาทต่อปี และอันดับสุดท้าย ค่าใช้จ่ายปิโตรเลียมเหลว (LPG) ที่ 280,475 บาทต่อปี ตามรูปที่ 4.16

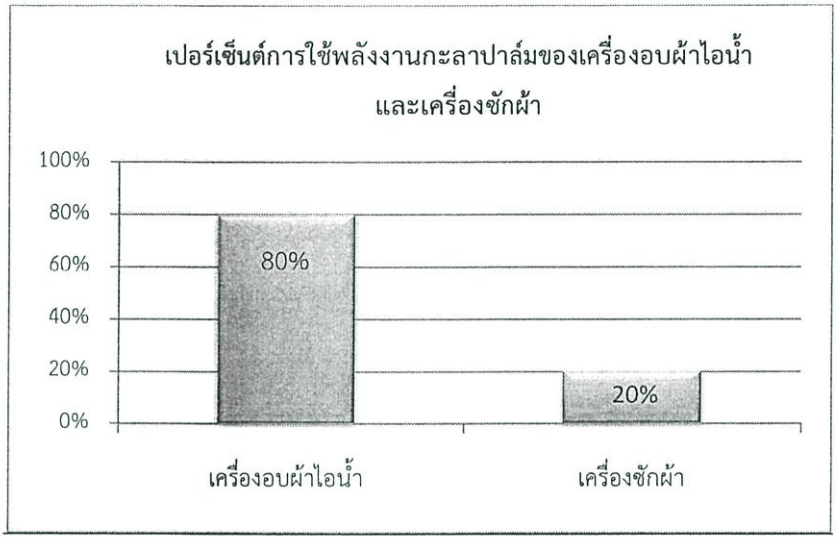


รูปที่ 4.16 แผนภูมิแท่งแสดงค่าใช้จ่าย ในหน่วยบาท/ปี ของพลังงานทั้งสามประเภทในหน่วยบาทต่อปี

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 สามารถสรุปในแนวทางเดียวกันว่าพลังงานที่มีนัยสำคัญที่สุดคือกะลาปาล์ม เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานมากที่สุดในระบบการผลิต และมีค่าใช้จ่ายต่อปีสูงที่สุด

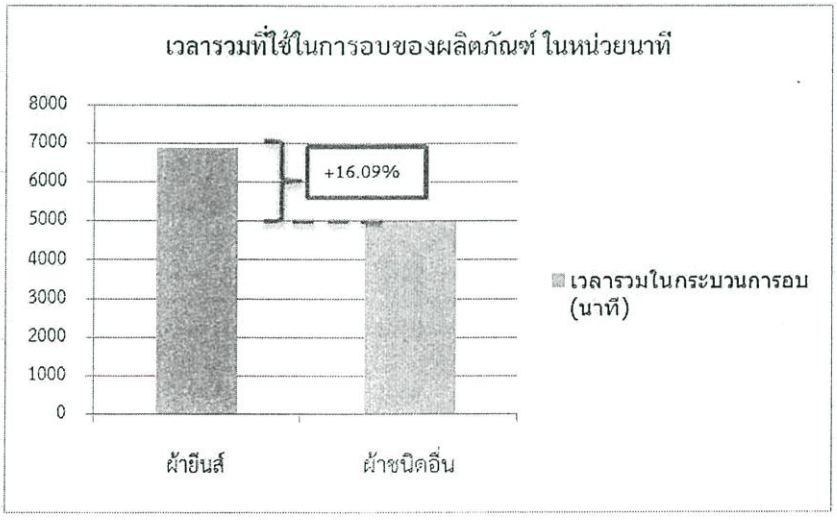
4.2.4.3 การหาเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญมากที่สุด

จากข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าเครื่องจักรที่มีการใช้พลังงานจากกะลาปาล์ม ประกอบไปด้วยเครื่องจักร 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องอบผ้าไอน้ำ และเครื่องซักผ้า โดยเครื่องอบผ้าไอน้ำบริโภคพลังงานจากกะลาปาล์มคิดเป็นสัดส่วน 80% และเครื่องซักผ้าคิดเป็น 20% ดังรูปที่ 4.17 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าหากต้องการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญจะต้องปรับปรุงการทำงานของเครื่องอบผ้า เนื่องจากเป็นเครื่องจักรอุปกรณ์ที่บริโภคพลังงานที่มีนัยสำคัญมากที่สุด



รูปที่ 4.17 แผนภูมิแท่งแสดงเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานกะลาปาล์มของเครื่องอบผ้าไอน้ำและเครื่องซักผ้า

เครื่องอบผ้าไอน้ำประกอบไปด้วย เครื่องอบผ้าไอน้ำที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ผ้ายีนส์และผ้าชนิดอื่น จากข้อมูลโดยเฉลี่ยปี 2010 - 2012 พบว่าผ้ายีนส์ใช้เวลารวมในการอบต่อปีมากกว่าผ้าชนิดอื่นถึง 16.09% ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงเวลารวมที่ใช้ในการอบผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์ต่อปีในหน่วยนาที

4.3 การหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

จากขั้นตอนการกำหนดและนิยามปัญหาพบว่าพลังงานที่มีนัยสำคัญที่ควรทำการปรับปรุงคือ กะลาปาล์ม โดยการแก้ปัญหาจะเน้นไปที่กระบวนการอบผ้าไอน้ำของผ้ายีนส์ เนื่องจากเครื่องอบผ้าไอน้ำเป็นเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญที่สุดและผ้ายีนส์เป็นผ้าที่บริโภคพลังงานมากที่สุด การหาสาเหตุที่แท้จริงของการใช้กะลาปาล์มเป็นจำนวนมาก จะเริ่มต้นจากการศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา จากนั้นทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram)

4.3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา

สำหรับการศึกษาสภาพปัจจุบันจะบันทึกข้อมูลของแผนกการผลิตเท่านั้นเนื่องจากเป็นแผนกที่มีการใช้กะลาปาล์มซึ่งเป็นพลังงานที่มีนัยสำคัญ พบว่าในปัจจุบัน กระบวนการซักอบรีดมีการทำงานด้วยระบบเหมาโดยประกอบไปด้วยทีมซักผ้าชนิดอื่น 1 ทีม ทีมละ 4 คน ทีมซักผ้ายีนส์ 2 ทีม ทีมละ4 คน คนสลัดผ้า 3 คน ประจำตำแหน่งเครื่องสลัด 3 เครื่อง และมีคนอบผ้า 2 คน นอกจากนี้มีการกำหนดจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการซักรีดเสื้อผ้าตายตัวดังต่อไปนี้

สำหรับกระบวนการผลิตหลักซึ่งได้แก่ การซัก การสลัด และอบ จะถูกแบ่งเป็น 2 พื้นที่คือ พื้นที่สำหรับซักสลัดผ้า และพื้นที่สำหรับกระบวนการอบ พร้อมแสดงจำนวนพนักงานในพื้นที่ทั้งสองเป็นสัญลักษณ์รูปคนสีน้ำเงิน โดยมีกรอบสีส้มแบ่งแยกพื้นที่ดังกล่าวไว้ ดังรูปที่ 4.19

เครื่องจักรในพื้นที่ทั้งสอง ประกอบไปด้วยสีทั้ง 3 คือ สีฟ้าแทนเครื่องจักรที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทผ้าชนิดอื่นเท่านั้น สีเขียวหมายถึงเครื่องจักรที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทผ้ายีนส์เท่านั้น และสีม่วงหมายถึงเครื่องจักรที่นิยมใช้กับผ้าชนิดอื่นแต่ในบางกรณีจะใช้กับผ้ายีนส์

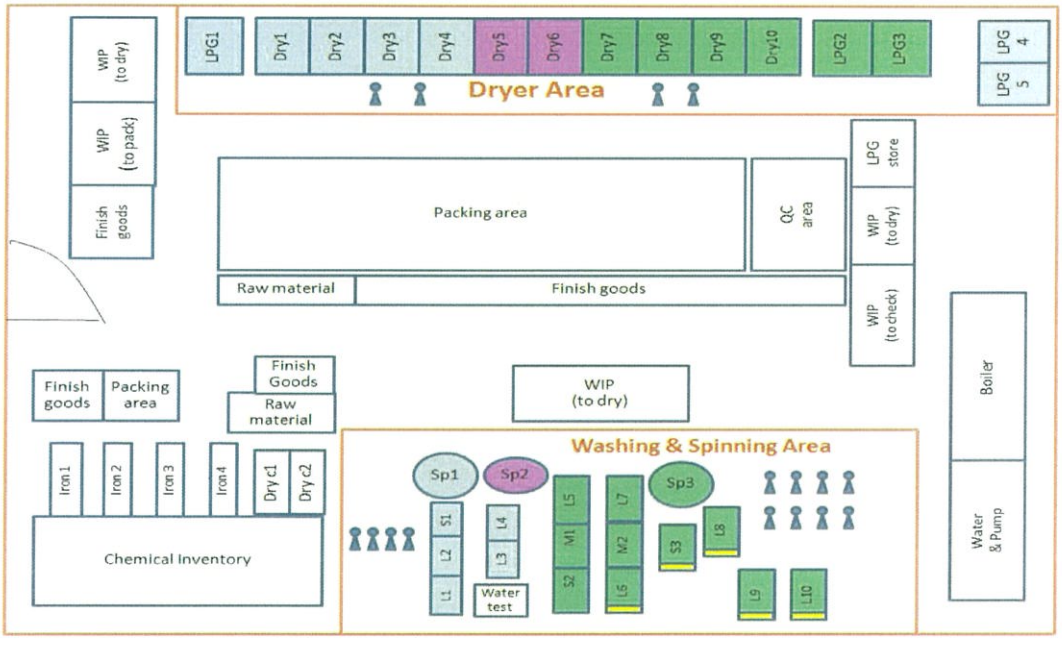
เมื่อพิจารณาเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ โดยแยกตามผลิตภัณฑ์ แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ เครื่องจักรอุปกรณ์สำหรับผลิตภัณฑ์ผ้าชนิดอื่น เครื่องจักรอุปกรณ์สำหรับผลิตภัณฑ์ผ้ายีนส์ และเครื่องจักรอุปกรณ์ที่นิยมใช้กับผ้าชนิดอื่นแต่ในบางกรณีจะใช้กับผ้ายีนส์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เครื่องจักรอุปกรณ์สำหรับผลิตภัณฑ์ผ้าชนิดอื่น ได้แก่
    - เครื่องซักผ้าขนาดเล็ก (S1) จำนวน 1 เครื่อง
    - เครื่องซักผ้าขนาดใหญ่ (L1-L4) จำนวน 4 เครื่อง
    - พนักงานซักผ้า 4 คน
    - เครื่องสลัดผ้า (Sp1) จำนวน 1 เครื่อง
    - เครื่องอบผ้าประเภทไอน้ำ (Dry1-Dry4) จำนวน 4 เครื่อง
    - เครื่องอบผ้าประเภทแก๊ส (LPG1,LPG4,LPG5) จำนวน 3 เครื่อง
    - พนักงานอบผ้าชนิดอื่น 2 คน
2. เครื่องจักรอุปกรณ์สำหรับผลิตภัณฑ์ผ้ายีนส์ ได้แก่
    - เครื่องซักผ้าขนาดเล็ก (S2-S3) จำนวน 2 เครื่อง
    - เครื่องซักผ้าขนาดกลาง (M1-M2) จำนวน 2 เครื่อง
    - เครื่องซักผ้าขนาดใหญ่ (L5-L10) จำนวน 6 เครื่อง
    - พนักงานซักผ้า 2 ทีม ทีมละ 4 คน รวมเป็น 8 คน
    - เครื่องสลัดผ้า (Sp3) จำนวน 1 เครื่อง

- เครื่องอบผ้าประเภทไอน้ำ (Dry7-Dry10) จำนวน 4 เครื่อง
- เครื่องอบผ้าประเภทแก๊ส (LPG2,LPG3) จำนวน 2 เครื่อง
- พนักงานอบผ้ายีนส์ 2 คน

3. เครื่องจักรอุปกรณ์ผลิตได้ทั้งผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์ ได้แก่
- เครื่องสลัดผ้า (Sp3) จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องอบผ้าประเภทไอน้ำ (Dry5-Dry6) จำนวน 2 เครื่อง โดยที่เครื่องอบผ้าทั้งสองนิยมใช้ในการอบผ้าชนิดอื่น ยกเว้นในกรณีวันที่มีผ้ายีนส์เยอะกว่าผ้าชนิดอื่นมากๆ (ปัจจุบันโรงงานยังขาดมาตรฐานในการแบ่งสัดส่วนเครื่องจักร)

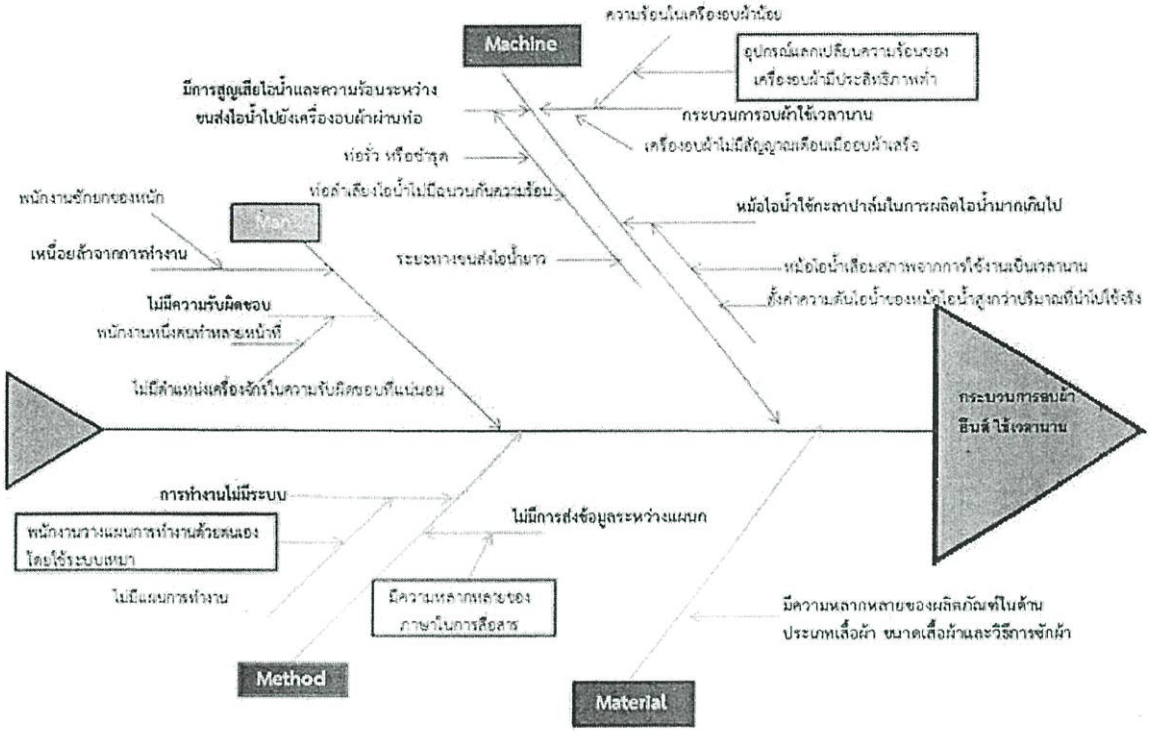
เครื่องจักรอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถดูได้ตาม รูปที่ 4.19 ซึ่งเป็นรูปแสดงแผนผังแผนกการผลิตของโรงงาน



รูปที่ 4.19 แสดงแผนผังแผนกการผลิตของโรงงาน

4.3.2 วิเคราะห์สาเหตุของการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญจำนวนมากโดยผังก้างปลา

สำหรับวิธีการเขียนผังก้างปลาให้วิเคราะห์โดยใช้หลัก 4M ซึ่งประกอบไปด้วย พนักงาน (Man), เครื่องจักร (Machine), วัสดุอุปกรณ์ (Material) และวิธีการ (Method) โดยหัวของก้างปลาแสดงถึงปัญหา ในที่นี้ปัญหาคือ กระบวนการอบผ้ายีนส์ใช้เวลานาน จากผังก้างปลาพบว่า สาเหตุย่อยที่ทำการคัดเลือกมาหามาตรการแก้ไขนั้น มีสามประการ ได้แก่ พนักงานวางแผนการทำงานด้วยตนเองโดยใช้ระบบเหมาทำให้การทำงานไม่มีระบบ, ความหลากหลายของภาษาในการสื่อสารทำให้การส่งข้อมูลระหว่างแผนกเป็นไปได้ยาก และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบผ้ามีประสิทธิภาพต่ำทำให้การอบผ้าใช้เวลานาน ซึ่งจากสาเหตุย่อยทั้งสามเกิดจากสาเหตุปัญหาด้าน กระบวนการผลิต (Method) และเครื่องจักร (Machine) ดังผังก้างปลา รูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ผังก้างปลาแสดงการหาสาเหตุกระบวนการอบผ้ายีนส์ใช้เวลานาน

4.4 มาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญ

จากการหาสาเหตุที่แท้จริงด้วยผังก้างปลาพบว่า สาเหตุย่อยที่เลือกมาปรับปรุงมี 3 ประการ โดย 2 สาเหตุย่อยเกิดจากปัญหาด้านกระบวนการผลิต (Method) และสาเหตุย่อยประการสุดท้ายเกิดจากปัญหาด้านเครื่องจักร (Machine) นำมาหาแนวทางการแก้ปัญหาตามตารางที่ 4.9 ตารางแสดงสาเหตุและแนวทางการแก้ปัญหา โดยแบ่งสาเหตุของปัญหาเป็น ปัญหาด้านเครื่องจักร (Machine) และปัญหาด้านกระบวนการผลิต (Method) พบว่ามีแนวทางแก้ไขปัญหาดังนี้

ตารางที่ 4.9 ตารางสาเหตุของปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหา

ประเภทของปัญหา	สาเหตุของปัญหา	แนวทางแก้ไขปัญหา
กระบวนการผลิต (Method)	พนักงานวางแผนการผลิต ด้วยตนเองโดยใช้ระบบเหมา	ทำการวางแผนจากส่วนกลาง สำหรับพนักงานแต่ละคน
	มีความหลากหลายของภาษา ที่ใช้ในการสื่อสาร	ทำบัตรสื่อสารระหว่างแผนก
เครื่องจักร (Machine)	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีประสิทธิภาพต่ำ	ออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

4.4.1 ปัญหาด้านกระบวนการผลิต

สำหรับปัญหาด้านกระบวนการผลิต จากตารางที่ 4.9 พบว่าสาเหตุของปัญหามี 2 ประการคือ พนักงานวางแผนการผลิตด้วยตนเองโดยใช้ระบบเหมา ซึ่งจะแก้ไขโดยทำการวางแผนจากส่วนกลางสำหรับพนักงานแต่ละคน และประการสุดท้าย มีความหลากหลายของภาษาที่ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งจะแก้ไขโดยทำบัตรสื่อสารระหว่างแผนก

4.4.1.1 <u>แนวคิดการแก้ปัญหา</u>

สำหรับการวางแผนจากส่วนกลางและการใช้บัตรสื่อสารระหว่างแผนกจะประกอบไปด้วย การบันทึกข้อมูลสั่งซักรีดประจำวัน โดยบันทึกประเภทผ้า ขนาดผ้า วิธีการซัก เวลาสินค้าเข้าและเวลาสินค้าออก จากนั้นหาสัดส่วนเวลารวมที่ใช้ในการซัก สลัดและอบ ของผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์และทำการแบ่งเครื่องจักรสำหรับการผลิตผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์ตามความเหมาะสม โดยการแบ่งเครื่องจักรให้แบ่งตามมาตรฐานการแบ่งเครื่องจักร จากนั้นหาความถี่ของการซัก สลัดและอบ โดยการกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมวางแผนการผลิต (Production Planning Program) ทำตารางการผลิตของพนักงานแต่ละบุคคล (Planning Sheet) และทำบัตรสื่อสารระหว่างแผนก (Communication Card)

4.4.1.2 <u>การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค</u>

การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค เป็นการทดลองนำวิธีวางแผนการผลิตจากส่วนกลางและการทำบัตรสื่อสารระหว่างแผนกไปใช้ในโรงงาน

จากตารางสั่งซักอบรีดในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ซึ่งมีข้อมูลเป็นไปตาม ตารางที่ 4.10 โดยตารางสีฟ้าแทนผลิตภัณฑ์ผ้าชนิดอื่นและสีเขียวแทนผลิตภัณฑ์ผ้ายีนส์ ในตารางจะระบุ ชื่อลูกค้า รหัสงาน รายละเอียดเสื้อผ้า ประเภทการซัก (รหัสที่ใช้กรอกลงในโปรแกรมวางแผนการผลิต) และจำนวนชิ้นงาน

ตารางที่ 4.10 ตารางใบสั่งซักรีดในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556

ลูกค้า	รหัส	รายละเอียด	style	ยอดรวม
ยูนิแคร์	p2	กางเกงขาสั้นสีกากี	oas	1080
ยูนิแคร์	p3	กางเกงขาสั้นสีกากี	oas	2730
kmg	p4	กางเกงขาสั้นเด็ก	oas	134
kmg	p5	กางเกงขาสั้นเด็ก	oas	135
kmg	p6	กางเกงขาสั้นเด็ก	oas	105
Jwa	p7	กางเกงเด็กขายาว	jbs	400
Jwa	p8	กางเกงเด็กขายาว	jbs	540
TK	p9	ยีนส์ขาสั้น	jbs	307
TK	p10	ยีนส์ขาสั้นสีอ่อน	jcs	450
มะเด็จ	p11	ยีนส์ขาสั้น	jcs	550
มะเด็จ	p12	ยีนส์ขาสั้น	jcs	460
big john	p13	shirt แขนสั้น	oas	750
กิตติภา	p14	กางเกงขาสั้น	oas	225
กิตติภา	p15	กางเกงขาสั้น	oas	447
เลิฟเบิร์ด	p16	กางเกงขายาวยีนส์	jbl	258
style net	p17	ผ้าชิ้นแดง	oal	41 kg
kome	p18	ผ้ายีนส์	jal	13 kg
kome	p19	ผ้าชนิดอื่นขาว	oal	62 kg
l&n	p20	เสื้อแขนยาวกลม	oas	228
l&n	p21	กางเกงขาสั้น	oas	214
ทิมัมพร	p22	เสื้อแขนยาว	obs	286
ยูนิแคร์	p23	กางเกงสีกากี	oal	910
Kหมื่น	p24	ชุดเด็ก	oas	300
Kหมื่น	p25	เสื้อยีนส์	jcs	85
TK	p26	เสื้อยีนส์แขนกุด	Jds	50
l&n	p27	กางเกงขาสั้นสีขาว	oas	39
l&n	p28	กางเกงขาสั้นสีขาว	oas	37
ทิมัมพร	p29	เสื้อแขนยาว	obl	162
Kพร	p30	เสื้อสี	oas	63
Kพร	p31	เสื้อสี	oas	63
Kพร	p32	เสื้อสี	oas	63

จากนั้นคำนวณเวลารวมของกระบวนการซัก สลัด และอบ ผ้ายีนส์และผ้าชนิดอื่น ในหน่วยนาที พร้อมหาเปอร์เซ็นต์เวลารวมของแต่ละกระบวนการซักรีด ได้ผลลัพธ์ออกมาดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงเวลารวมในการซัก สลัด และอบของผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์ และแสดงเปอร์เซ็นต์เวลา

ชนิดผ้า	เวลารวมในการซัก (นาที)	เปอร์เซ็นต์เวลาซัก	เวลารวมในการสลัด (นาที)	เปอร์เซ็นต์เวลาสลัด	เวลารวมในการอบ (นาที)	เปอร์เซ็นต์เวลาอบ
ผ้ายีนส์	5,126	78%	1034	91%	23825	69%
ผ้าชนิดอื่น	1420	22%	902	9%	10829	31%
Total	6546	100%	1936	100%	34654	100%

จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับตารางมาตรฐานที่ใช้ในการแบ่งสัดส่วนเครื่องจักร หรือตารางที่ 4.12 เพื่อแบ่งจำนวนเครื่องจักรที่ใช้กับผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์ให้เหมาะสมกับปริมาณงานในวันที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 4.12 ตารางมาตรฐานในการแบ่งสัดส่วนเครื่องจักรสำหรับผ้าชนิดอื่นและผ้ายีนส์

% เวลารวมในการซัก พิจารณาผ้ายีนส์	จำนวนเครื่องซักสำหรับผ้ายีนส์ (ตัว)	จำนวนเครื่องซักสำหรับผ้าชนิดอื่น (ตัว)
0-24%	2	10
25-49%	4	8
50-65%	6	6
66-90%	8	4
91-99%	10	2
100%	12	0
% เวลารวมในการสลัด พิจารณาผ้ายีนส์	จำนวนเครื่องสลัดสำหรับผ้ายีนส์ (ตัว)	จำนวนเครื่องสลัดสำหรับผ้าชนิดอื่น (ตัว)
0-65%	1	2
66-99%	2	1
100%	3	0
% เวลารวมในการอบ พิจารณาผ้ายีนส์	จำนวนเครื่องอบไอน้ำสำหรับผ้ายีนส์ (ตัว)	จำนวนเครื่องอบไอน้ำสำหรับผ้าชนิดอื่น (ตัว)
0-15%	1	9
16-29%	2	8
30-39%	3	7
40-49%	4	6
50-59%	5	5
60-69%	6	4
70-79%	7	3
80-89%	8	2
90-99%	9	1
100%	10	0
% เวลารวมในการอบ พิจารณาผ้ายีนส์	จำนวนเครื่องอบแก๊สสำหรับผ้ายีนส์ (ตัว)	จำนวนเครื่องอบแก๊สสำหรับผ้าชนิดอื่น (ตัว)
0-20%	1	4
21-40%	2	3
41-60%	3	2
61-90%	4	1
91-100%	5	0

พบว่าเปอร์เซ็นต์เวลาซักของผ้ายีนส์คือ 78% เปอร์เซ็นต์เวลาสลัดของผ้ายีนส์คือ 91% และเปอร์เซ็นต์เวลาอบผ้ายีนส์คือ 69% ดังนั้นจึงมีเครื่องซักผ้าสำหรับยีนส์ 8 เครื่อง เครื่องสลัดผ้าสำหรับผ้ายีนส์ 2 เครื่อง เครื่องอบผ้าไอน้ำ 6 เครื่อง และเครื่องอบผ้าแก๊ส 4 เครื่อง ตามลำดับ

นำข้อมูลจากตารางยอดสั่งซักรีด ตารางที่ 4.10 ใส่ลงในโปรแกรมวางแผนการ

เมื่อทราบจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการซักรีดผ้ายีนส์ในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 จึงนำข้อมูลจากตารางยอดสั่งผลิตใส่ลงในโปรแกรมวางแผนการผลิต (Production Planning Program) ซึ่งเป็น Excel โดยใส่รหัสชนิดผ้า ได้แก่ ผ้าชนิดอื่น (O) ผ้ายีนส์ (J) สูตรการซัก A, B, C และ D และขนาดผ้า เล็ก (S) ใหญ่ (L) เช่น จากข้อมูลในตารางที่ 4.10 แถวแรก มีรหัสการซักคือ OAS หมายถึงการซักผ้าชนิดอื่นขนาดเล็กแบบสูตร A

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมวางแผนการผลิตคือ จำนวนรอบในการซัก สลัดและอบ เวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการซักรีด ดังรูปที่ 4.21 เมื่อตารางสีส้มคือข้อมูลที่ใส่เข้าไป (Input) และตารางสีม่วงคือผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม (Output)

รหัส	สูตรซักรีด	จำนวน	เวลาซักต่อครั้ง (นาที)	จำนวนซัก (ครั้ง)	เวลาสลัดต่อครั้ง (นาที)	จำนวนสลัด (ครั้ง)	เวลาอบต่อครั้ง (นาที)	จำนวนอบ (ครั้ง)
p-7	jbs	400	76	3	22	2	58	9
p-8	jbs	540	76	4	22	2	58	12
p-9	jbs	307	76	2	22	1	58	7
p-10	jcs	450	140	3	22	2	58	10
p-11	jcs	550	140	4	22	2	58	9
p-12	jcs	460	140	3	22	2	58	10
p-16	jbl	258	76	1	22	1	58	3
p-18	jal	13 kg	20	1	22	1	58	1
p-25	jcs	85	140	1	22	1	58	1
p-26	jds	50	166	1	22	1	58	1

รูปที่ 4.21 แสดงตารางผลลัพธ์ความถี่และเวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการซักรีด จากโปรแกรมวางแผนการผลิต

เมื่อทราบจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการซักรีดผ้ายีนส์และทราบเวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการและความถี่แต่ละกระบวนการจากรูปที่ 4.21 และทราบข้อมูลจำนวนตัวที่ใส่ได้จากข้อมูลตารางที่ 4.2 จะสามารถทำตารางวางแผนสำหรับพนักงานแต่ละบุคคล (Planning Sheet) เมื่อพนักงานยืนประจำตำแหน่งเครื่องจักร สำหรับการผลิตผ้ายีนส์ประกอบด้วยเครื่องซักผ้า 8 เครื่อง แทนด้วยรหัสเครื่องจักร W5 – W12 ประกอบด้วยเครื่องสลัดผ้า 1 เครื่อง แทนด้วยรหัสเครื่องจักร S3 เครื่องอบผ้าไอน้ำ 6 เครื่อง แทนด้วยรหัสเครื่องจักร D5 – D10 และเครื่องอบผ้าแก๊ส จำนวน 4 เครื่อง แทนด้วยรหัสเครื่องจักร LPG2 –LPG5

รายละเอียดในใบวางแผนการผลิต สำหรับพนักงานซักผ้าจะประกอบไปด้วย ชื่อลูกค้าหรือบริษัท ประเภทของการซัก (รหัสที่ใช้กรอกลงในโปรแกรมวางแผนการผลิต) จำนวนผ้าที่ใส่ลงเครื่องหน่วยเป็นตัวหรือกิโลกรัม เวลาเริ่มซัก เวลาสิ้นสุดการซัก และรหัสเครื่องจักรที่เป็นสถานีถัดไป ยกตัวอย่างเช่น ใบวางแผนการผลิตของพนักงานประจำตำแหน่งเครื่องซักผ้ารหัส W5 ข้อมูลในตารางที่ 4.13 ซักงานของบริษัท JAWA ซึ่งมีรหัสงาน P7 มีวิธีการซักคือผลิตภัณฑ์ยีนส์ขนาดเล็ก ซักด้วยสูตรการซักแบบ B โดยจำนวนผ้าที่ใส่คือ 135 ตัว เริ่มกระบวนการซัก 8.00 – 9.16 จากนั้นนำไปไว้ที่เครื่องสลัดผ้าหมายเลย S3

จากนั้นจึงทำการผลิตผ้ายีนส์ลำดับที่ 2 ของบริษัท TK ซึ่งมีรหัสงาน P9 มีวิธีการซักคือผ้ายีนส์ขนาดเล็กซักด้วยสูตรการซักแบบ B โดยจำนวนผ้าที่ใส่คือ 153 ตัว เริ่มกระบวนการซัก 10.00 – 11.16 จากนั้นนำไปไว้ที่เครื่องสลัดผ้าหมายเลย S3

ตารางที่ 4.13 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W5

planning of washing : w5					
name	style	Quantity	start	end	number of spin
jawa (p7)	jbs	135	8:00	9:16	s3
TK (p9)	jbs	153	10:00	11:16	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	153	11:20	12:08	s3

สำหรับพนักงานซักผ้าแต่ละบุคคลจะมีใบแสดงรายการผลิตของตนเอง ได้แก่ พนักงานซักผ้าประจำหมายเลข W6 –W12 ดังตารางที่ 4.14 - 4.20

ตารางที่ 4.14 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W6

planning of washing : w6					
name	Style	Quantity	start	end	number of spin
jawa (p7)	jbs	135	8:00	9:16	s3
TK (p9)	jbs	154	10:00	11:16	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	153	11:25	12:13	s3

ตารางที่ 4.15 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W7

planning of washing : w7					
name	style	Quantity	start	end	number of spin
jawa (p7)	jbs	130	8:00	9:16	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	154	11:30	12:18	s3

ตารางที่ 4.16 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W8

planning of washing : w8					
Name	style	Quantity	start	end	number of spin
kome (p18)	jal	13 kg	8:10	8:30	s3
คุณหมื่น (p25)	jcs	85	8:32	8:52	s3
love bird (p16)	jbs	258	9:40	10:56	s3
TK (p26)	jds	50	13:40	15:46	s3

ตารางที่ 4.17 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W9

planning of washing : w9					
name	style	Quantity	start	end	number of spin
jawa (p8)	jbs	135	9:00	10:16	s3
TK (p10)	Jcs	150	10:30	11:46	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	135	13:55	15:11	s3

ตารางที่ 4.18 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W10

planning of washing : w10					
Name	style	Quantity	start	end	number of spin
jawa (p8)	jbs	135	9:00	10:16	s3
TK (p10)	jcs	150	10:25	11:41	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	135	13:45	15:01	s3

ตารางที่ 4.19 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W11

planning of washing : w11					
Name	style	Quantity	start	end	number of spin
jawa (p8)	jbs	135	9:00	10:16	s3
TK (p10)	Jcs	150	10:25	11:41	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	135	13:45	15:01	s3

ตารางที่ 4.20 แสดงรายการผลิตของพนักงานซักประจำเครื่องซักผ้าหมายเลข W12

planning of washing : w12					
Name	style	Quantity	start	end	number of spin
jawa (p8)	jbs	135	9:00	10:16	s3
TK (p10)	Jcs	150	10:45	12:01	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	145	13:45	15:01	s3

รายละเอียดในใบวางแผนการผลิต สำหรับพนักงานสลัดจะประกอบไปด้วย ชื่อลูกค้าหรือบริษัท วิธีการซัก (รหัสที่ใช้กรอกลงในโปรแกรมวางแผนการผลิต) จำนวนใส่เข้าเครื่อง หน่วยเป็นตัวหรือกิโลกรัม เวลาเริ่มและสิ้นสุดการผลิต หมายเลขเครื่องจักรที่เป็นสถานีต่อไป โดยสำหรับใบแสดงรายการผลิตของพนักงานสลัดผ้ายีนส์ ในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 มีเครื่องสลัด 1 เครื่องหมายเลข S3

จากข้อมูลในตารางที่ 4.21รายการผลิตลำดับแรกเป็นของบริษัท KOME รหัสงาน P18 เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบ JAL หมายถึง ยีนส์ขนาดใหญ่ซักด้วยสูตร A จำนวนใส่เข้าเครื่องสลัดคือ 13 กิโลกรัม ทำการสลัดผ้าเวลา 8.31 – 8.53 และนำผ้าใส่รถเข็ญ (Cart) ไปวางไว้บริเวณรอการอบ เพื่อนำไปสู่เครื่องอบ L2 หรือ เครื่องอบแก๊ส หมายเลข LPG2

รายการผลิตที่สองคือ งานลูกค้าคุณหมื่น รหัสงาน P25 ซึ่งเป็นกรรมวิธีการผลิตแบบ JCS หมายถึง ยีนส์ขนาดเล็กซักด้วยสูตร C จำนวนใส่เข้าเครื่องสลัดคือ 85 ตัว ทำการสลัดผ้าเวลา 8.54 – 9.15 และนำผ้าใส่รถเข็ญไปวางไว้บริเวณรอการอบ เพื่อนำไปสู่เครื่องอบ L3 หรือเครื่องอบแก๊ส หมายเลข LPG3
ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ลำดับต่อไป ตามใบตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงรายการผลิตของพนักงานสลัดผ้าประจำเครื่องสลัดผ้าหมายเลข S3

planning of spin :S3

Name	style	Quantity	Start	end	number of dryer
kome (p18)	jal	13 kg	8:31	8:53	L2
คุณหมื่น (p25)	jcs	85	8:54	9:15	L3
Jawa (p7)	jbs	270	9:16	9:38	d5,d6,d7,d8,d9
Jawa (p7)	jbs	130	9:39	10:01	d6,d7,d8
jawa (p8)	jbs	270	10:17	10:39	d5,d6,d7,d8,d9
jawa (p8)	jbs	270	10:40	11:02	d10,L2,L3,L4
love bird (p16)	Jbs	258	11:03	11:23	L5
TK (p9)	jbs	307	11:24	11:46	d9,d10,L2,L4,L5,
TK (p10)	jcs	300	11:50	12:12	d5,d6,d7,d8,d9,d10
TK (p10)	jcs	150	12:13	12:35	d6,d7,d8
มะเด็จ (p12)	jcs	306	12:36	12:58	d5,d6,d7,d8,d9,d10
มะเด็จ (p12)	jcs	154	13:00	13:22	d9,d10,L2
มะเด็จ (p11)	jcs	270	15:02	15:24	d5,d6,d7,d8
มะเด็จ (p11)	jcs	280	15:25	15:47	d5,d6,d7,d8
TK (p26)	Jds	50	15:50	16:12	d9

รายละเอียดในใบวางแผนการผลิต สำหรับพนักงานอบผ้าจะประกอบไปด้วย ชื่อลูกค้าหรือบริษัท กรรมวิธีการผลิต (รหัสที่ใช้กรอกลงในโปรแกรมวางแผนการผลิต) จำนวนใส่เข้าเครื่อง หน่วยเป็นตัวหรือกิโลกรัม เวลาเริ่มและสิ้นสุดการผลิต และหมายเลขเครื่องสลัดที่เป็นสถานีก่อนหน้า สำหรับรายการผลิตของพนักงานอบผ้ายีนส์ ในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 จะประกอบไปด้วย เครื่องอบผ้าไอน้ำ 6 เครื่องหมายเลข D5 – D10 และเครื่องอบผ้าแก๊ส 4 เครื่องหมายเลย LPG2 –LPG5

ยกตัวอย่างการผลิตของพนักงานอบผ้าหมายเลขเครื่องอบ D5 ตามข้อมูลในตารางที่ 4.22 รายการผลิตลำดับแรกเป็นของบริษัท JAWA รหัสงาน P7 เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบ JBS คือยีนส์ขนาดเล็กซักด้วยสูตร B จำนวนใส่เข้าเครื่องอบคือ 45 ตัว ทำการอบผ้าเวลา 9.39 – 10.37 และผ้ามาจากกระบวนการสลัดหมายเลขเครื่อง S3

ทำการผลิตตามลำดับต่อไปตามใบวางแผนการผลิต สำหรับพนักงานอบผ้าเตาอบไอน้ำ ตามตารางที่ 4.22 – 4.27 และสำหรับพนักงานอบผ้าเตาอบแก๊ส ตามตารางที่ 4.28 – 4.31 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D5

planning of dryer :D5					
Name	style	Quantity	start	end	number of spin
Jawa (p7)	jbs	45	9:39	10:37	s3
Jawa (p7)	jbs	45	10:38	11:36	s3
jawa (p8)	jbs	45	11:37	12:35	s3
TK (p10)	jcs	45	12:37	13:35	s3
TK (p10)	jcs	45	13:36	14:34	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	45	14:35	15:33	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	60	15:35	16:33	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	60	16:35	17:33	s3

ตารางที่ 4.23 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D6

planning of dryer :D6					
Name	Style	Quantity	start	end	number of spin
Jawa (p7)	jbs	45	9:39	10:37	s3
Jawa (p7)	jbs	45	10:38	11:36	s3
jawa (p8)	jbs	45	11:37	12:35	s3
TK (p10)	jcs	45	12:37	13:35	s3
TK (p10)	jcs	45	13:36	14:34	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	45	14:35	15:33	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	60	15:35	16:33	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	60	16:35	17:33	s3

ตารางที่ 4.24 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D7

planning of dryer :D7					
name	style	Quantity	start	end	number of spin
Jawa (p7)	jbs	45	9:39	10:37	s3
Jawa (p7)	jbs	45	10:38	11:36	s3
jawa (p8)	jbs	45	11:37	12:35	s3
TK (p10)	jcs	45	12:37	13:35	s3
TK (p10)	jcs	45	13:36	14:34	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	45	14:35	15:33	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	60	15:35	16:33	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	60	16:35	17:33	s3

ตารางที่ 4.25 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D8

planning of dryer :D8					
name	style	Quantity	start	end	number of spin
Jawa (p7)	jbs	45	9:39	10:37	s3
Jawa (p7)	jbs	40	10:38	11:36	s3
jawa (p8)	jbs	45	11:37	12:35	s3
TK (p10)	jcs	45	12:37	13:35	s3
TK (p10)	jcs	45	13:36	14:34	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	45	14:35	15:33	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	60	15:35	16:33	s3
มะเด็จ (p11)	jcs	60	16:35	17:33	s3

ตารางที่ 4.26 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D9

planning of dryer :D9					
name	style	Quantity	start	end	number of spin
Jawa (p7)	jbs	45	9:39	10:37	s3
jawa (p8)	jbs	45	10:40	11:38	s3
jawa (p8)	jbs	45	11:39	12:37	s3
TK (p9)	jbs	45	12:40	13:38	s3
TK (p10)	jcs	45	13:39	14:37	s3

ตารางที่ 4.27 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าไอน้ำ หมายเลข D10

planning of dryer :D10					
Name	style	Quantity	start	end	number of spin
kome (p18)	jal	13 kg	9:30	10:20	s3
คุณหมื่น (p25)	jcs	85	10:21	11:11	s3
jawa (p8)	jbs	45	11:12	12:10	s3
TK (p9)	jbs	37	12:11	13:09	s3
TK (p10)	jcs	45	13:10	14:08	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	45	14:10	15:08	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	45	15:09	16:07	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	55	16:09	17:07	s3

ตารางที่ 4.28 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าแก๊ส หมายเลข LPG2

planning of dryer :LPG2					
name	style	Quantity	start	end	number of spin
jawa (p8)	jbs	45	10:40	11:33	s3
jawa (p8)	jbs	45	11:34	12:27	s3
TK (p9)	jbs	45	12:28	13:21	s3
มะเด็จ (p12)	jcs	45	13:25	14:18	s3

ตารางที่ 4.29 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าแก๊ส หมายเลข LPG3

planning of dryer :LPG3					
Name	style	Quantity	start	end	number of spin
jawa (p8)	jbs	45	11:33	12:26	s3
jawa (p8)	jbs	45	12:27	13:20	s3

ตารางที่ 4.30 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าแก๊ส หมายเลข LPG4

planning of dryer :LPG4					
Name	style	Quantity	start	end	number of spin
jawa (p8)	jbs	45	11:10	12:03	s3
TK (p9)	jbs	45	12:04	12:57	s3

ตารางที่ 4.31 แสดงรายการผลิตของพนักงานอบผ้าประจำเครื่องอบผ้าแก๊ส หมายเลข LPG5

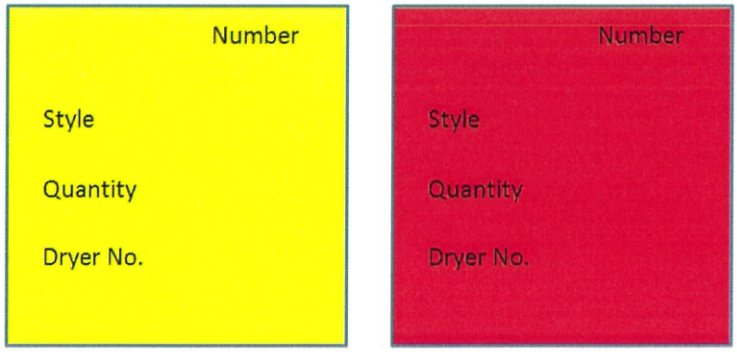
planning of dryer :LPG5					
Name	style	Quantity	start	end	number of spin
love bird (p16)	jbs	85	11:30	12:13	s3
TK (p9)	jbs	45	12:14	13:07	s3
TK (p9)	jbs	45	13:08	14:01	s3
love bird (p16)	Jbs	85	14:02	14:55	s3
love bird (p16)	Jbs	88	14:56	15:50	s3

และมีการทดลองนำบัตรสื่อสารไปใช้เพื่อเพิ่มการสื่อสารระหว่างแผนก

สำหรับพนักงานซัก หลังจากพนักงานซัก ซักผ้าเสร็จ จะเขียนรายละเอียดเสื้อผ้า กรรมวิธีการซัก จำนวนเสื้อผ้าในรถเข็ญที่ออกมาจากกระบวนการซัก หน่วยเป็นตัวหรือกิโลกรัม และหมายเลขสถานีต่อไป หรือหมายเลขเครื่องสลัดที่จะนำรถเข็ญนี้ไปใช้ต่อ โดยบัตรสื่อสารจากแผนกซักไปแผนกสลัดจะใช้บัตรสีเหลือง

สำหรับพนักงานสลัด หลังจากสลัดผ้าเสร็จ จะเขียนรายละเอียดเสื้อผ้า กรรมวิธีการซักรีด จำนวนเสื้อผ้าในรถเข็ญที่ออกมาจากกระบวนการสลัด หน่วยเป็นตัวหรือกิโลกรัม และหมายเลขสถานีถัดไป หรือหมายเลขเครื่องอบที่จะนำรถเข็ญนี้ไปใช้ต่อ โดยบัตรสื่อสารจากแผนกสลัดไปแผนกอบจะใช้บัตรสีเหลือง

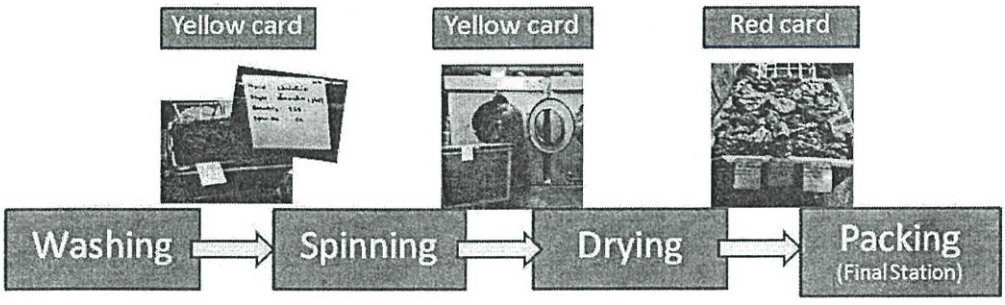
สำหรับพนักงานอบ จะรับเสื้อผ้าต่อจากเครื่องสลัด โดยมีข้อมูลหมายเลขของสถานีก่อนหน้าระบุไว้เพื่อให้สามารถหารถเข็ญที่ถูกต้อง โดยบัตรสื่อสารของแผนกอบจะเป็นใบสีแดง ดังรูปตัวอย่างบัตรสื่อสาร รูปที่ 4.22 แสดงภาพตัวอย่างบัตรสื่อสารที่ออกแบบไว้ โดยบัตรสื่อสารสีเหลืองใช้ในกระบวนการซักไปสลัด และกระบวนการสลัดไปอบ บัตรสื่อสารสีแดงใช้ในกระบวนการอบไปแผนกบรรจุภัณฑ์ โดยในบัตรสื่อสารจะระบุข้อมูล วิธีการซักรีด จำนวนตัว หมายเลขเครื่องจักรตนเอง และหมายเลขเครื่องจักรสถานีก่อนหน้าหรือสถานีถัดไป ตามความเหมาะสม



รูปที่ 4.22 แสดงภาพบัตรสื่อสารระหว่างแผนกที่ออกแบบไว้

ผลการทดลองใช้บัตรสื่อสารในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 มีภาพปฏิบัติการดังรูปที่ 4.23 โดยจากภาพเริ่มกระบวนการสื่อสารหลังจากแผนกซักผ้า ซักผ้าเสร็จ นำผ้าใส่รถเข็ญและแปะบัตรสื่อสารสีเหลืองเพื่อนำไปแผนก

สลัด หลังจากแผนกสลัด สลัดผ้าเสร็จจะนำผ้าใส่รถเข็ญและแปะบัตรสื่อสารสีเหลืองเพื่อนำไปแผนกอบ และสุดท้ายแผนกอบจะนำผ้าในรถเข็ญไปอบ และติดบัตรสื่อสารสีแดงเพื่อนำไปแผนกบรรจุภัณฑ์ซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้าย



รูปที่ 4.23 แสดงวิธีใช้บัตรสื่อสารระหว่างกระบวนการต่างๆ

เมื่อเก็บบันทึกข้อมูลการซักรีดพบว่าก่อนและหลังปรับปรุงมีข้อมูล เวลารวมที่ใช้ในการอบ และปริมาณผลผลิตผ้ายีนส์ ดังตารางที่ 4.32

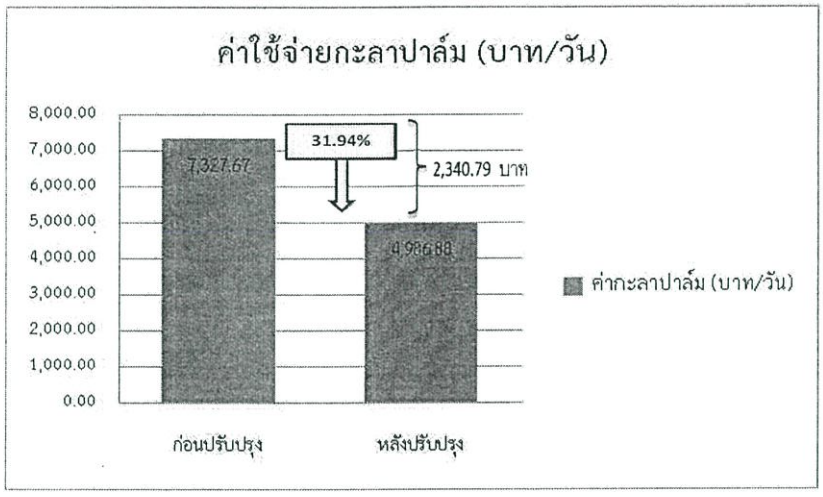
ตารางที่ 4.32 ตารางสรุปเวลาที่ใช้ในการอบผ้า (ชั่วโมง) และปริมาณผลผลิต (กิโลกรัม) ก่อนและหลังปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เวลาในการทำงาน	9.00 – 20.00	9.30-17.40
เวลาที่ใช้ในการอบ (ชั่วโมง)	12	8 ชั่วโมง 10 นาที
ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัม)	1,401.80	1,401.80

จากการทดลองในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 พบว่าถ้าให้พนักงานวางแผนการทำงานด้วยตนเองโดยใช้ระบบเหมาจะสามารถซักรีดผ้ายีนส์ 1,401.80 กิโลกรัมโดยใช้เวลา 12 ชั่วโมงในการ โดยเริ่มการอบผ้าเวลา 9.00 – 20.00 แต่เมื่อวางแผนการทำงานจากส่วนกลางและใช้บัตรสื่อสารระหว่างแผนกพบว่า สามารถใช้ซักรีดเสื้อผ้าในจำนวนที่เท่ากัน โดยใช้เวลาผลิต 8 ชั่วโมง 10 นาที โดยเริ่มการอบผ้าเวลา 9.30-17.40 ซึ่งใช้เวลาอบผ้าน้อยกว่าก่อนปรับปรุง 3 ชั่วโมง 50 นาที ประหยัดเวลาที่ใช้ในการอบผ้าไป 31.94% คิดเป็นปริมาณกะลาปาล์มที่ประหยัดไป 668.80 กิโลกรัม

4.4.1.3 <u>การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน</u>

จากการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค พบว่าหลังวางแผนจากส่วนกลาง สามารถประหยัดกะลาปาล์มได้ 668.80 กิโลกรัม เมื่อราคากะลาปาล์มอยู่ที่ 3.5 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายของกะลาปาล์มที่ประหยัดได้ 668.80 X 3.5 = 2,340 บาทในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 หรือคิดเป็นผลประหยัด 31.94% สามารถแสดงผลประหยัดกะลาปาล์มให้อยู่ในรูปแผนภูมแท่ง ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แผนภูมิแสดงค่ากะลาปาล์มก่อนและหรับปรับปรุง ในหน่วย บาทต่อวัน

เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการวางแผนการซักรีดจากส่วนกลาง ได้แก่ ค่าอบรมพนักงาน ซึ่งเป็นการอบรมภายในโรงงาน รวมถึงค่ากระดาษและอุปกรณ์เล็กน้อยในการทำบัตรสื่อสาร (Communication Card) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่น้อยมากเมื่อเทียบกับเงินที่ได้กลับคืนมา จึงเปรียบได้กับการไม่มีค่าใช้จ่ายในการวางแผนการซักรีดจากส่วนกลาง ทำให้สามารถคำนวณตัวแปรในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.33 ตารางเปรียบเทียบตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมตามเกณฑ์การพิจารณาและค่าที่ได้จริง

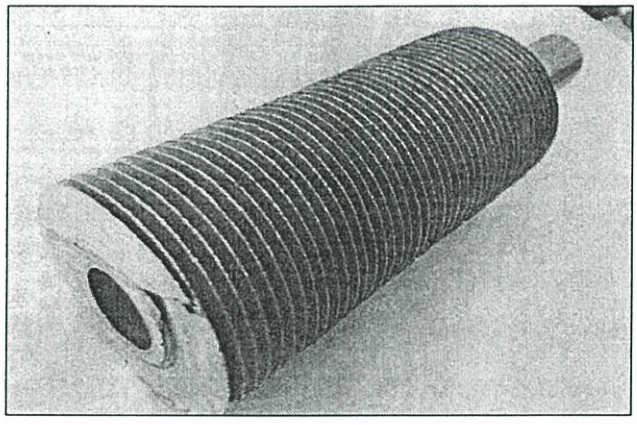
ลำดับที่	ตัวแปร	เกณฑ์การพิจารณา	ค่าที่ได้
1	NPW	NPW > 0	∞
2	IRR	IRR $\geq$ 5%	∞
3	B/C	B/C $\geq$ 1	∞
4	Payback Period	ระยะเวลาคืนทุน << ระยะเวลาโครงการ	0

4.4.2 ปัญหาด้านเครื่องจักร

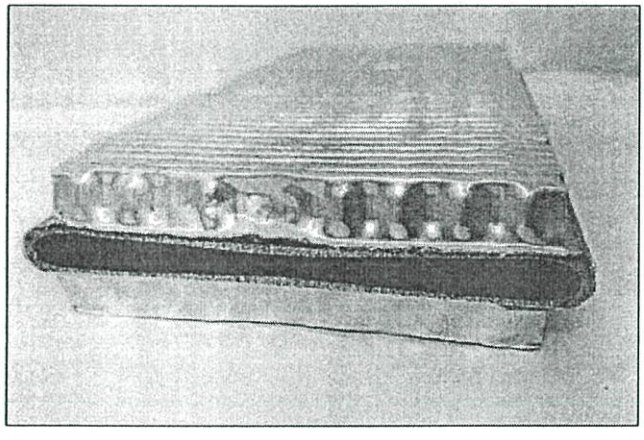
สำหรับปัญหาด้านเครื่องจักร จากตารางที่ 4.9 พบว่าสาเหตุของปัญหาคือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพต่ำซึ่งจะแก้ไขโดยการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

4.4.2.1 แนวคิดการแก้ปัญหา

ออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพการนำความร้อน และความทนทานที่มากขึ้น โดยเปลี่ยนตัวรังผึ้งจากภาพที่ 4.25 เป็นรังผึ้งใหม่ ภาพที่ 4.26



รูปที่ 4.25 ภาพรังผึ้งก่อนปรับปรุง



รูปที่ 4.26 ภาพรังผึ้งหลังปรับปรุง

4.4.2.2 การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค

สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค จะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนเปรียบเทียบคุณสมบัติรังผึ้งโดยการประเมินอย่างคร่าวๆ ขั้นตอนออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และขั้นตอนทดลองติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อวัดค่าตัวแปรต่างๆ

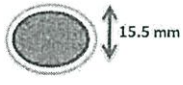
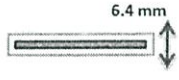
1. ขั้นตอนเปรียบเทียบคุณสมบัติรังผึ้งโดยการประเมินอย่างคร่าวๆ โดยเปรียบเทียบในด้านความคงทนของท่อรังผึ้ง การนำความร้อนโดยพิจารณาจากพื้นที่และผิวสัมผัสของครีบ (Fin) การลดพื้นที่สูญเสียไอน้ำ โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา ได้แก่

- วัสดุที่ใช้ทำท่อรังผึ้งทนทานต่อไอน้ำ
- พื้นที่ผิวครีบมีค่าสูงจะนำความร้อนได้สูง

- พื้นผิวขรุขระจะนำความร้อนได้มากกว่าพื้นผิวเรียบ
- พื้นที่ผิวท่อมีค่าสูงนำความร้อนได้สูง
- พื้นที่สูญเสียไอน้ำมีขนาดต่ำ

สามารถสรุปการประเมินคุณสมบัติรังผึ้งก่อนและหลังปรับปรุงได้ ดังตารางที่ 4.34

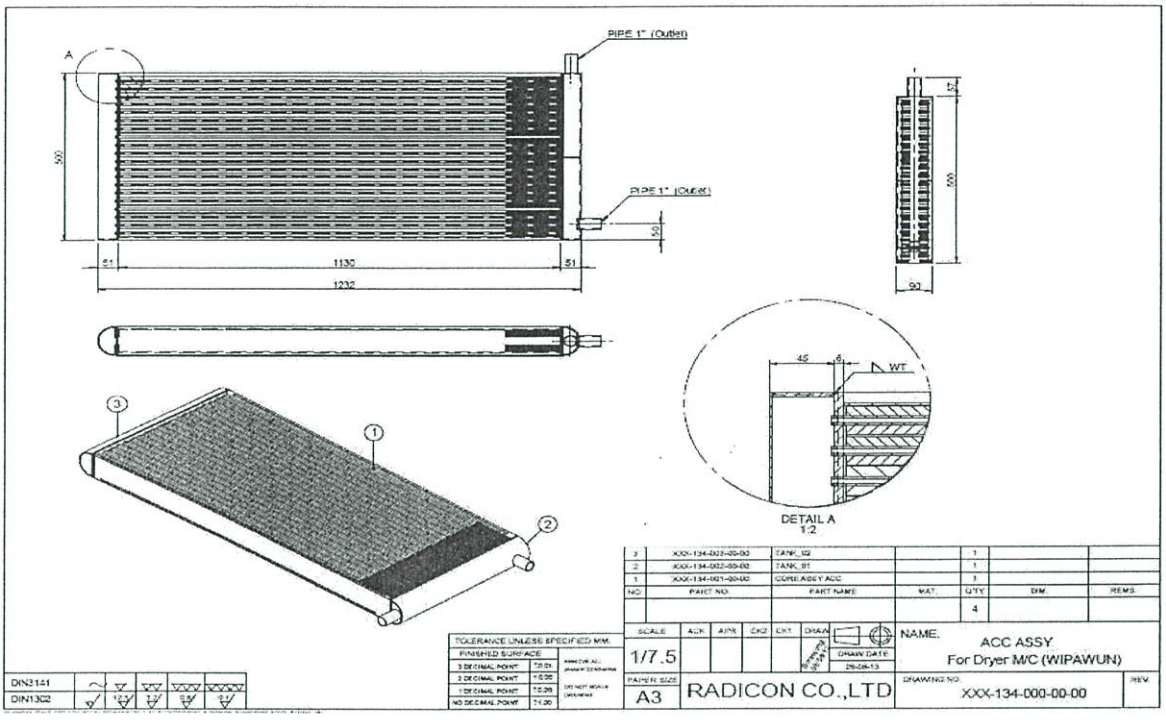
ตารางที่ 4.34 ตารางประเมินคุณสมบัติรังผึ้งก่อนและหลังปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ประโยชน์ที่ได้
วัสดุทำท่อรังผึ้ง	เหล็ก	สแตนเลส	วัสดุหลังปรับปรุงทนต่อไอน้ำ
พื้นที่ของครีบ	45,782.24 mm^2	81,748 mm^2	พื้นผิวหลังปรับปรุงเพิ่มขึ้น 78.56%
พื้นผิวของครีบ	ผิวเรียบ	ผิวขรุขระ	หลังปรับปรุงนำความร้อนได้ดีกว่า
พื้นที่ของท่อ	7,426.75 mm^2	23,772 mm^2	พื้นผิวหลังปรับปรุงเพิ่มขึ้น 220 %
พื้นที่สูญเสียไอน้ำ			หลังปรับปรุงปริมาณไอน้ำที่สูญเสียน้อยลง

จากขั้นตอนเปรียบเทียบคุณสมบัติรังผึ้งโดยการประเมินอย่างคร่าวๆ พบว่ารังผึ้งหลังปรับปรุงมีความน่าจะเป็นที่ประสิทธิภาพจะดีขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ครีบและพื้นที่ท่อมากขึ้น มีพื้นที่สูญเสียไอน้ำน้อยลง

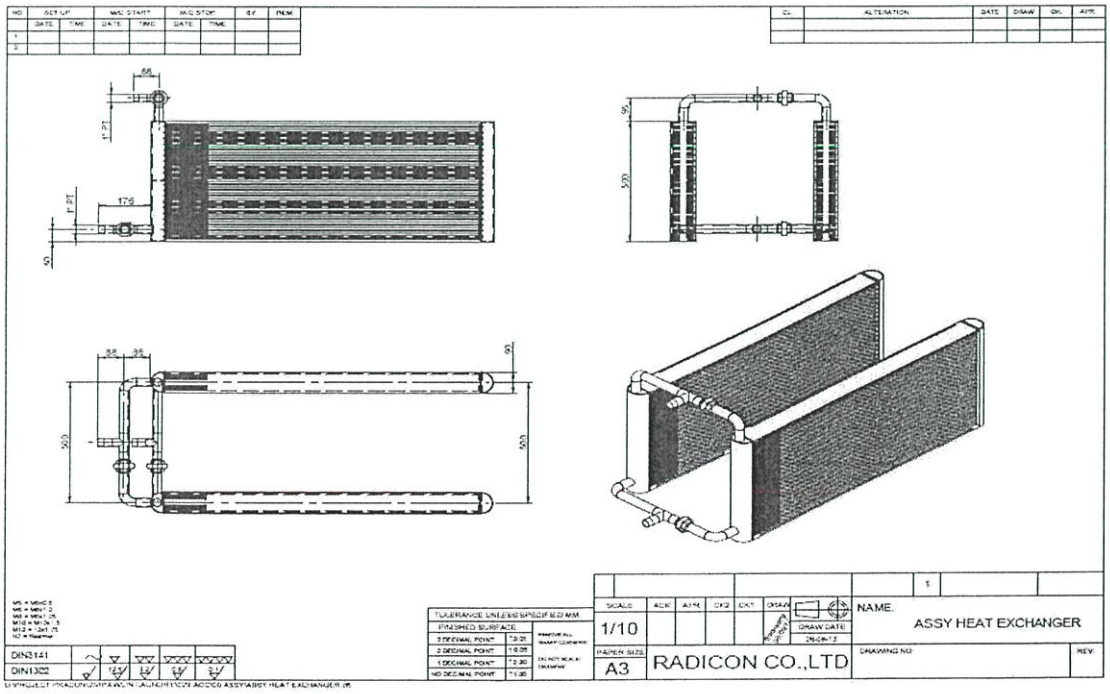
2. ขั้นตอนออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Design)

ออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยบริษัท RADICON โดยใช้รังผึ้งใหม่แบบใหม่จากขั้นตอนที่ผ่านมา ออกแบบเป็นท่อกว้าง 90 ซม., ยาว 1,130 ซม., สูง 25 ซม. วางเรียงกัน 20 ชั้น จะได้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีลักษณะเป็นกล่อง ตามรูปภาพที่ 4.26



รูปที่ 4.27 ภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากการซ้อนกันของท่อรังผึ้ง 20 ชั้น

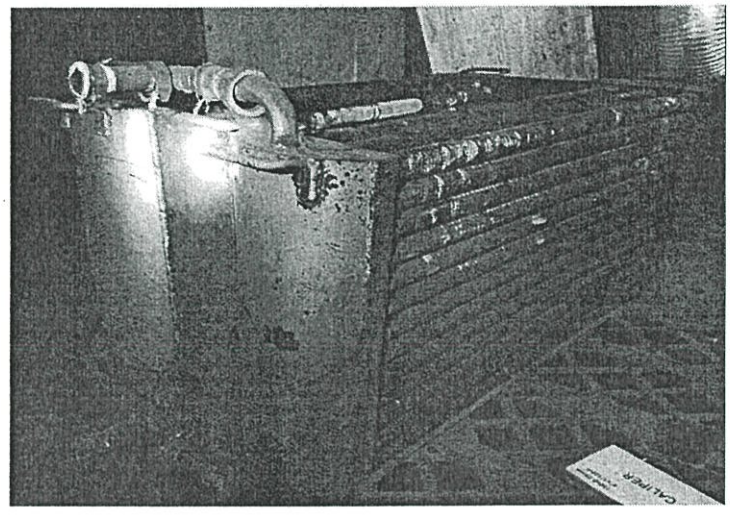
จากนั้นออกแบบให้กล่องเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประกอบไปด้วย 2 ฝั่งของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ตามตัวอย่างรูปที่ 4.28



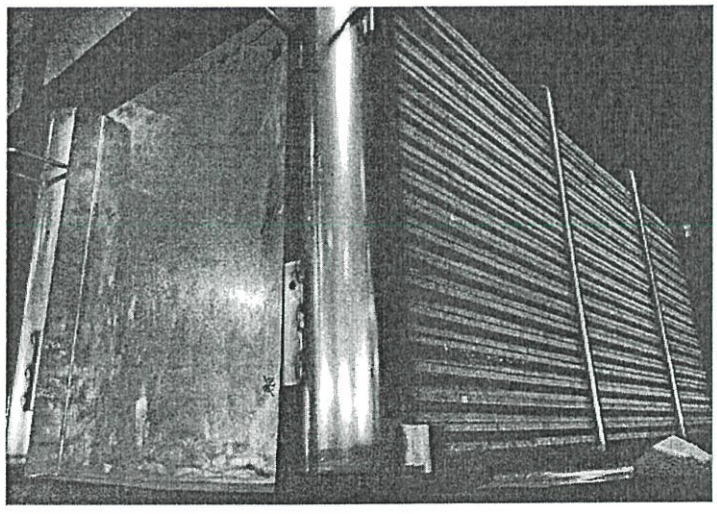
รูปที่ 4.28 ภาพฉายอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2 ฝั่ง รวมรังผึ้งจำนวน 40 ท่อ

3. ขั้นตอนทดลองติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อวัดค่าตัวแปรต่างๆ

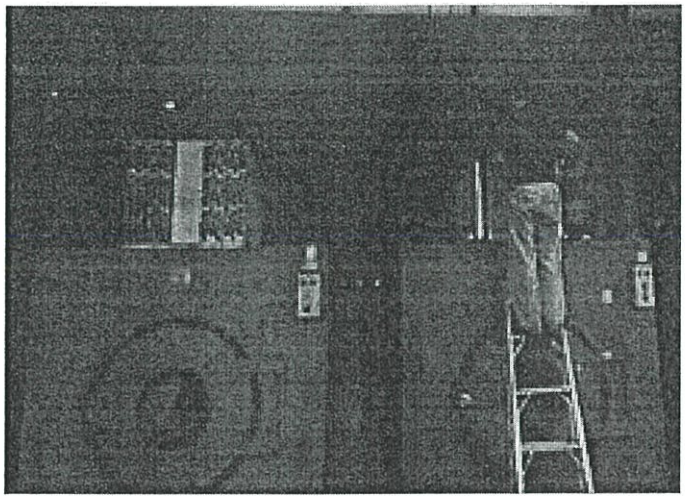
ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่โรงงานกรณีศึกษา ในวันที่ 18 ธันวาคม 2556 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเก่าและใหม่ โดยลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนและหลังปรับปรุงจะมีลักษณะดังรูปภาพที่ 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ



รูปที่ 4.29 แสดงด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนปรับปรุง



รูปที่ 4.30 ภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังปรับปรุง



รูปที่ 4.31 ภาพขณะติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบใหม่ และวัดค่าตัวแปรต่างๆ ในวันที่ 18 ธันวาคม 2556

สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค หลังติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังปรับปรุงจำนวน 1 เครื่องจะทำการวัดค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่อุณหภูมิของอากาศก่อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (T_{a1}) อุณหภูมิอากาศหลังผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (T_{a2}) อุณหภูมิไอน้ำก่อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (T_{s1}) อุณหภูมิไอน้ำหลังผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (T_{s2}) ความเร็วลม (V_{air}) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนและหลังปรับปรุงและหาค่าประสิทธิภาพความร้อนก่อนและหลังการปรับปรุง ตามตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 ตารางเก็บข้อมูลอุณหภูมิไอน้ำ อุณหภูมิอากาศและความเร็วลม ก่อนและหลังการปรับปรุง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
รายละเอียด	ขนาดเครื่อง: 1,100x482x250 จำนวนท่อ = 120	ขนาดเครื่อง: 1,130x480x90 จำนวนท่อ = 40
T_{a1} (องศาเซลเซียส)	45	46
T_{a2} (องศาเซลเซียส)	100.8	117.3
T_{s1} (องศาเซลเซียส)	120	123
T_{s2} (องศาเซลเซียส)	120	121
V_{air} (เมตร/วินาที)	0.4	0.2
ประสิทธิภาพความร้อน %	100 %	117.3%

จากการวัดค่าตัวแปรต่างๆพบว่าประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใหม่สูงกว่าแบบเก่า 17.3%

ทำการบันทึกข้อมูลเวลาที่ใช้ในการอบผ้ายืนส์ให้แห้งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเก่าและแบบใหม่ในตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 ตารางแสดงข้อมูลเวลาที่ใช้ในการอบผ้ายีนส์ให้แห้งในหน่วยนาที ก่อนและหลังปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เวลาที่ใช้ในการอบผ้ายีนส์ (นาที)	58	53
ประสิทธิภาพในการอบผ้ายีนส์ %	100%	108.62

พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบผ้าผ้ายีนส์ หลังปรับปรุง อบผ้าเร็วขึ้น 5 นาที หรือมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 8.62%

จากข้อมูลที่มีในตารางที่ 4.36 สามารถคำนวณความร้อนที่ไอน้ำถ่ายเทให้กับลมได้ หรือเรียกแทนด้วยค่า q จากการคำนวณหาค่า q พบว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเก่า มีค่า q เป็น 4,139.4154 จูล/วินาที และหลังปรับปรุงเป็น 6,294.4254 จูล/วินาที มีส่วนต่างที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2,155.01 จูล/วินาที คิดเป็น 52.06% ที่เพิ่มขึ้น วิธีการคำนวณค่า q ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนและหลังปรับปรุงอยู่ในภาคผนวก ก.

ดังนั้นจากการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคพบว่าหลังปรับปรุงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้น 17.3% อบผ้ายีนส์ได้เร็วขึ้น 8.62% และมีค่าอัตราถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวของท่อ 52.06%

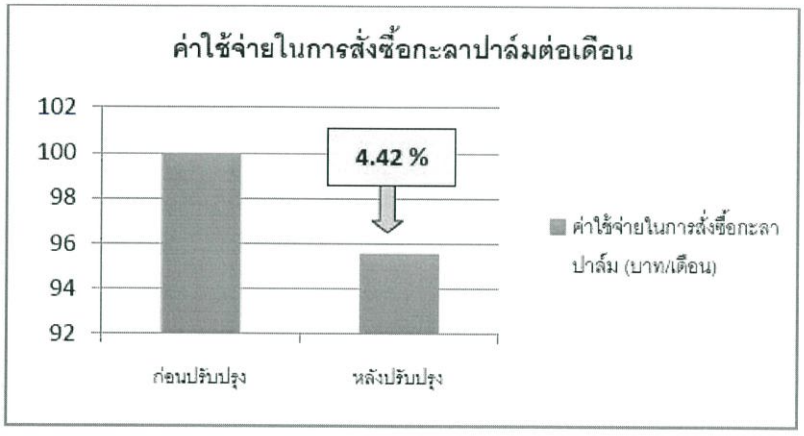
4.4.2.3 <u>การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน</u>

จากการศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน พบว่าหากเปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบใหม่ จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายกะลาปาส์มต่อเดือนทั้ง 12 เดือน ได้ดังตารางที่ 4.37 พิจารณาเมื่อเปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 4 เครื่อง สำหรับเตาอบผ้าไอน้ำสำหรับผ้ายีนส์ โดยคำนวณจากเวลาการซักรีดที่เร็วขึ้น 8.62%

ตารางที่ 4.37 ตารางประมาณค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อเดือนทั้ง 12 เดือน หลังติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ จำนวน 4 เครื่อง

เดือน	นาทีทำงาน/เดือน	ราคากะลาปาส์ม (บาท)	กะลาปามที่ใช้ (บาท/นาที)	น้ำหนักผ้ายีนส์ (กิโลกรัม)	จำนวนครั้งในการอบ (ครั้ง)	เวลาที่ใช้ในการอบผ้ายีนส์(นาที)	เวลาที่ลดได้ (นาที)	ประหยัดค่าใช้จ่ายกะลาปาม(บาท)
1	33000	426,519.68	12.92	25,339.25	353.51	20,503.30	1,767.53	22,844.98
2	33000	489,183.76	14.82	24,129.95	336.63	19,524.79	1,683.17	24,950.92
3	33000	442,206.36	13.40	20,779.54	289.89	16,813.80	1,449.47	19,423.12
4	33000	341,968.68	10.36	12,671.20	176.77	10,252.92	883.87	9,159.30
5	33000	373,412.88	11.32	24,976.32	348.44	20,209.63	1,742.21	19,714.05
6	33000	335,986.50	10.18	21,322.78	297.47	17,253.37	1,487.36	15,143.41
7	33000	349,848.68	10.60	18,505.71	258.17	14,973.93	1,290.86	13,684.98
8	33000	308,299.60	9.34	16,637.54	232.11	13,462.29	1,160.54	10,842.27
9	33000	322,311.83	9.77	12,003.09	167.45	9,712.32	837.27	8,177.63
10	18000	241,591.02	13.42	12,795.55	178.51	10,353.54	892.55	11,979.52
11	18000	253,313.94	14.07	18,493.54	258.00	14,964.08	1,290.01	18,154.26
12	18000	190,603.38	10.59	8,447.63	117.85	6,835.42	589.26	6,239.72

จากข้อมูลในตารางที่ 4.37 สามารถประมาณเป็นค่ากะลาปาล์มที่ประหยัดได้ต่อเดือน 4.42% เมื่อพิจารณาที่การลงทุนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ จำนวน 4 เครื่อง ได้ผลลัพธ์ดังแผนภูมิรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.32 แสดงแผนภูมิแท่งค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อกะลาปาล์มต่อเดือนของก่อนและหลังปรับปรุง

จากการคำนวณหาตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า ตัวแปรทุกค่าผ่านเกณฑ์ของเงื่อนไขที่น่าลงทุน ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 ตารางเปรียบเทียบค่าที่ได้จริงและเกณฑ์การพิจารณา

ลำดับที่	ตัวแปร	เกณฑ์การพิจารณา	ค่าที่ได้
1	NPW	NPW > 0	587,326.35
2	IRR	IRR ≥ 5%	38.203 %
3	B/C	B/C ≥ 1	2.46
4	Payback Period	ระยะเวลาคืนทุน << ระยะเวลาโครงการ	2.5 ปี

จากข้อมูลในตารางพบว่าตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมทั้ง 4 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาทั้งคู่ หมายถึง เป็นโครงการที่ควรค่าแก่การลงทุน โดยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 2 ปี 14 เดือน ในระยะเวลาโครงการซึ่งมีอายุ 7 ปี สำหรับวิธีการคำนวณค่าในตารางที่ 4.38 สามารถดูได้ที่ภาคผนวก ข.

4.5 การวางแผนนำมาตรการลดพลังงานที่มีนัยสำคัญไปใช้

- แนวคิดการแก้ปัญหาด้วยวิธีวางแผนการทำงานจากส่วนกลางและทำบัตรสื่อสาร ต้องมีการอบรมพนักงานทั้งผู้วางแผนการซักรีดจากส่วนกลาง และพนักงานหน้าเครื่องจักร มีการลงทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ เล็กน้อย เช่น กระดาษสำหรับทำใบวางแผนการผลิต และฟิวเจอร์บอร์ดสำหรับทำบัตรสื่อสาร

- แนวคิดการแก้ปัญหาด้วยวิธีออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยการสั่งซื้ออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากบริษัท RADICON จำนวน 4 เครื่อง ใช้เงินลงทุน 400,000 บาท ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ และอบรมพนักงานอบผ้าให้เข้าใจหลักการใช้เครื่องอบผ้าหลังปรับปรุง

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาวิธีการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับกิจการซักรีด จากขั้นตอนระบุปัญหาพบว่าพลังงานที่ถูกบริโภคมากที่สุดคือพลังงานจากกะลาปาล์ม และเครื่องจักรที่มีการบริโภคพลังงานกะลาปาล์มมากที่สุดคือเครื่องอบผ้าไอน้ำที่ใช้สำหรับการอบผ้ายีนส์ ดังนั้นเพื่อศึกษาแนวทางการลดพลังงานสำหรับกิจการซักรีด จึงคิดแนวทางการแก้ปัญหาโดยมีจุดประสงค์เพื่อลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบผ้ายีนส์ โดยการแก้ปัญหาแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง ได้แก่ วิธีวางแผนการซักรีดผ้ายีนส์ และการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบผ้ายีนส์ใหม่

สำหรับแนวคิดวางแผนการซักรีดผ้ายีนส์โดยการทำใบวางแผนการซักรีดจากส่วนกลางให้แก่พนักงานรายบุคคลและใช้บัตรสื่อสาร พบว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายกะลาปาล์ม 2,340 บาท ในวันที่ทำการทดลอง หรือคิดเป็น 31.94% และเป็นแนวคิดที่คุ้มค่าแก่การลงทุน เนื่องจากผลประหยัดที่ได้มาก ในขณะที่ค่าใช้จ่ายมีจำนวนเล็กน้อยจนเปรียบเสมือนไม่มีค่าใช้จ่าย จึงทำให้มีระยะเวลาคืนทุนที่ 0 ปี หรือคืนทุน ณ วันที่ดำเนินงานทันที รวมทั้งเมื่อพิจารณาตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าค่าตัวแปรดังกล่าวผ่านเกณฑ์น่าลงทุนทั้งหมด ได้แก่ NPW เท่ากับ ∞, IRR เท่ากับ ∞ และ B/C เท่ากับ ∞ จึงเป็นแนวคิดที่คุ้มค่าแก่การลงทุน

สำหรับแนวคิดการแก้ปัญหาโดยการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบผ้าใหม่ พบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายกะลาปาล์มได้เฉลี่ย 15,026 บาทต่อเดือน คิดเป็น 4.42% และเป็นแนวคิดที่คุ้มค่าแก่การลงทุน มีระยะเวลาคืนทุนที่ 2 ปี 6 เดือน จากระยะเวลาโครงการ 7 ปี เมื่อลงทุนติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับผ้ายีนส์ 4 เครื่อง ด้วยเงินลงทุน 400,000 บาท พบว่าค่าตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมผ่านเกณฑ์น่าลงทุนทั้งหมด เนื่องจากมีค่า NPW เท่ากับ 587,326.35, IRR เท่ากับ 38.203% และ B/C เท่ากับ 2.46 จึงเป็นแนวคิดที่คุ้มค่าแก่การลงทุน

จากผลการดำเนินงานพบว่าแนวคิดแก้ปัญหาทั้งสองวิธีบรรลุวัตถุประสงค์โครงงานดังนี้

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดค่าใช้จ่ายกะลาปาล์มอย่างน้อย 3% โดยแนวคิดแก้ปัญหาที่1 และ2 บรรลุวัตถุประสงค์ที่ 31.94% และ 4.42% ตามลำดับ

2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดปริมาณการใช้กะลาปาล์มโดยการปรับปรุงกระบวนการทำงานของพนักงาน และปรับปรุงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบผ้าไอน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานจากกะลาปาล์มไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นอย่างน้อย 15% จากแนวคิดการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบผ้าใหม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่อัตราการถ่ายเทความร้อนหลังปรับปรุงเพิ่มขึ้น 52.07%

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากแนวคิดแก้ปัญหาวางแผนการซักรีดจากส่วนกลางมีการใช้โปรแกรมวางแผนการผลิต (Production Planning Program) ที่เป็น Excel ในการหาความถี่ของแต่ละกระบวนการซักรีด และใช้ข้อมูลมาตรฐานการซักรีดที่มีอยู่ไปใช้ในการวางแผนการซักรีดรายบุคคล มีการใช้บัตรสื่อสาร และเปลี่ยนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ หากบริษัทกรณีศึกษาต้องการนำแนวคิดแก้ปัญหาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ไปใช้จริง จะมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมดังนี้

1. โปรแกรมวางแผนการผลิต (Production Planning Program) ในที่นี้ครอบคลุมสูตรการซักผ้ายีนส์ 4 สูตร ได้แก่ สูตร A, B, C และ D หากในอนาคตโรงงานกรณีศึกษามีสูตรการซักรีดแบบใหม่เพิ่มขึ้นมาจำเป็นต้องใส่ข้อมูลเพิ่มเติมลงไปในโปรแกรม เพื่อให้โปรแกรมวางแผนการซักรีดมีความแม่นยำมากขึ้น

2. จัดอบรมพนักงานหน้าเครื่องจักร และพนักงานวางแผนการผลิต ให้คุ้นเคยกับระบบวางแผนการซักรีดจากส่วนกลางมากขึ้น เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3. บัตรสื่อสารในการทดลองของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำฟิวเจอร์บอร์ด (Future Board) มาติดที่รถเข็ญเพื่อบ่งบอกข้อมูลผ้าที่อยู่ในรถเข็ญ ทางโรงงานกรณีศึกษาสามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงวัสดุ และรูปแบบบัตรสื่อสารให้มีความคงทน ใช้งานง่าย และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4. เมื่อติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบผ้ายีนส์จำนวน 4 เครื่อง ในอนาคตโรงงานสามารถติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้แก่เครื่องอบผ้าไอน้ำเครื่องที่เหลือ เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5. ทางโรงงานสามารถนำแนวคิดแก้ปัญหาทั้งสองประยุกต์ใช้พร้อมกัน และหากต้องการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในส่วนอื่นๆ ต่อไปในอนาคต สามารถใช้แนวทางปฏิบัติจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ โดยเริ่มจากขั้นตอนระบุปัญหา เพื่อหาชนิดของพลังงานที่มีนัยสำคัญชนิดใหม่ และเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญลำดับต่อไป เพื่อนำไปสู่การคิดแนวทางแก้ไขในอนาคต

บรรณานุกรม

[1] **ทฤษฎีการแก้ปัญหาและแนวปฏิบัติพื้นฐาน** [Online],Available:http://www.gotoknow.org/posts/73287 **เมื่อ 2 กรกฎาคม 2556**

[2] รศ. รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. **การศึกษางานอุตสาหกรรม.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ท๊อป, 2550.

[3] เฉลิมชัย แย้มงาม , ปัญญา ศิริมนตรี และอดิศักดิ์ คิดหาทอง. **เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเตาเผาแกลบสำหรับอบแห้ง.** ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547

[4] Incropera , Dewit , Bergman and Lavine. **Fundamental of Heat and Mass Transfer.** USA : WILEY, 2006

[5] ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต. **เศรษฐศาสตร์ วิศวกรรม.** กรุงเทพมหานคร : แผนกตำรา คณะวิศวกรรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549

[6] บุญชัย ศิลปะกิจวงษ์. **การเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนโดยใช้แผ่นบิดสอดในท่อ.** ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2545

[7] **การทำงานของฮีตไปป์แบบลูป**[Online],Avalible:http://me.psu.ac.th/tsme/ME_NETT23/topic/file/TSF-002244.pdf **เมื่อ 20 กรกฎาคม 2556**

[8] **การประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวางดัดแปลงจากคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์: กรณีศึกษาการดึงความร้อนทิ้งจากน้ำร้อนมาใช้อุ่นอากาศ**[Online],Avalible: http://www.nupress.grad.nu.ac.th/journal/index.php/NJournal/article/File **เมื่อ 20 กรกฎาคม 2556**

[9] **วิธีการคำนวณหาค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน**[Online],Avalible: http://research.msu.ac.th/journal_/wp-content/uploads/2013/06/12.pdf

[10] **การวางแผนการผลิตเพื่อลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางปริก อำเภอทุ่งใหญ่** จังหวัดนครศรีธรรมราช [Online],Avalible:https://dspace.nstru.ac.th:8443/dspace/bitstream/123456789/820/1.pdf **เมื่อ 20 กรกฎาคม 2556**

[11] **ตัวอย่างแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต** [Online],Available:http://registration-master.com/projects /mteclci/index.php/example-pages/78-website?start=6 **เมื่อ 16 สิงหาคม 2556**

[12] **แผนภูมิวงกลม แสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การนับถือศาสนาในเลบานอน** [Online],Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pie_Chart_Showing_Religions_of_Lebanon_by_Percentage_of_Population.png **เมื่อ 16 สิงหาคม 2556**

[13] แผนภูมิแท่ง แสดงอัตราส่วนระหว่างช่ายและหญิงในสำนักงาน [Online],Available: http://www.datameer.com/documentation/display//Grouped+Bar+Chart เมื่อ 16 สิงหาคม 2556

[14] การเขียนผังก้างปลา โดยมีปัญหาคือความไม่สมดุลของสายการประกอบ [Online],Available: http://eiamsri.wordpress.com/2013/06/22/%E0%B9%8AB-2/เมื่อ 28 สิงหาคม 2556

ภาคผนวก ก

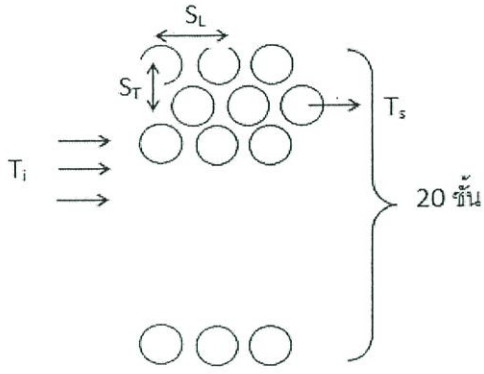
ข้อมูลคำนวณประสิทธิภาพความร้อน

ข้อมูลคำนวณประสิทธิภาพความร้อน

ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานจากกะลาปาล์มไปใช้ประโยชน์ ในที่นี้จะวัดด้วยกันคำนวณค่าตัวแปร q หมายถึงอัตราถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวของท่อ ซึ่งมีหน่วยเป็น จูล/วินาที

ก่อนปรับปรุง

สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนปรับปรุงจะมีลักษณะการเรียงตัวของท่อตามรูปที่ ผก 1



รูปที่ ผก 1 แสดงการเรียงตัวของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนปรับปรุง

เมื่อ S_L คือ ระยะห่างระหว่างท่อในแถวนอน

S_T คือ ระยะห่างระหว่างท่อในแถวตั้ง

$T_i = T_\infty$ คือ อุณหภูมิของอากาศ

T_s คือ อุณหภูมิที่ผิวของท่อ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

จากการเก็บข้อมูลพบว่า S_L = 47.3 mm, S_T = 48.1 mm, T_i = 46 °C, T_s = 120 °C, N_L = 3 ($N_L \leq 20$) และ D = 12.7 mm และจากข้อมูลในตารางที่ ผก 1 เป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและตัวแปรต่างๆ ของอากาศและไอน้ำ

ตารางที่ ผก 1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและตัวแปรต่างๆ ของอากาศและไอน้ำ

T (K)	ρ (kg/m^3)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m^2)	$\nu \cdot 10^6$ (m^2/s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^5$ (m^2/s)	Pr
Oxygen (O_2) *(continued)*							
350	1.100	0.929	233.5	21.23	29.6	29.0	0.733
400	0.9620	0.942	258.2	26.84	33.0	36.4	0.737
450	0.8554	0.956	281.4	32.90	36.3	44.4	0.741
500	0.7698	0.972	303.3	39.40	41.2	55.1	0.716
550	0.6998	0.988	324.0	46.30	44.1	63.8	0.726
600	0.6414	1.003	343.7	53.59	47.3	73.5	0.729
700	0.5498	1.031	380.8	69.26	52.8	93.1	0.744
800	0.4810	1.054	415.2	86.32	58.9	116	0.743
900	0.4275	1.074	447.2	104.6	64.9	141	0.740
1000	0.3848	1.090	477.0	124.0	71.0	169	0.733
1100	0.3498	1.103	505.5	144.5	75.8	196	0.736
1200	0.3206	1.115	532.5	166.1	81.9	229	0.725
1300	0.2960	1.125	588.4	188.6	87.1	262	0.721
Water Vapor (Steam)							
380	0.5863	2.060	127.1	21.68	24.6	20.4	1.06
400	0.5542	2.014	134.4	24.25	26.1	23.4	1.04
450	0.4902	1.980	152.5	31.11	29.9	30.8	1.01
500	0.4405	1.985	170.4	38.68	33.9	38.8	0.998
550	0.4005	1.997	188.4	47.04	37.9	47.4	0.993
600	0.3652	2.026	206.7	56.60	42.2	57.0	0.993
650	0.3380	2.056	224.7	66.48	46.4	66.8	0.996
700	0.3140	2.085	242.6	77.26	50.5	77.1	1.00
750	0.2931	2.119	260.4	88.84	54.9	88.4	1.00
800	0.2739	2.152	278.6	101.7	59.2	100	1.01
850	0.2579	2.186	296.9	115.1	63.7	113	1.02

T_∞ = 46 °C : ρ = 1.0982 kg/m^3, C_p = 1.0078 J/kg · K, v = 17.4852×10^{-6} m/s, k = 27.746×10^{-3}W/m · K และ Pr = 0.7043

T_s = 120 °C : ρ = 0.8761 kg/m^3, C_p = 1.0138 J/kg · K, v = 26.1904×10^{-6} m/s, k = 33.648×10^{-3}W/m · K และ Pr = 0.6904

จากสมการที่ 2.11 สำหรับการจัดวางแบบเยื้องกัน (Staggered) ค่า V_{max} จะเกิดที่ระนาบ A_2 ถ้า

$$S_D = \left[S_L^2 + \left(\frac{S_T}{2}\right)^2\right]^{1/2} < \frac{S_T+D}{2}$$

$$= \left[(47.3)^2 + (\frac{48.1}{2})^2\right]^{1/2} < \frac{48.1+12.7}{2}$$

= 53.0631 > 30.4 ∴ V_{max} จะเกิดที่ระนาบ A_1

จากสมการที่ 2.10 หาค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T-D}V$$

$$V_{max} = \left(\frac{48.1}{48.1-12.7}\right)x6 = 8.1525\ m/s$$

ตัวเลขเรโนลด์ (Re_{Dmax})

$$Re_{Dmax} = \frac{V_{max} D}{v}$$

$$= \frac{8.1525 m/s \times 12.7 \times 10^{-3} m}{17.4852 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$= 5921.3835$$

$$\frac{S_T}{SL} = \frac{48.1}{47.3} = 1.0169 < 2$$

$\therefore$ จากตารางที่ 2.4 : $C = 0.35\left(\frac{S_T}{S_L}\right)^{1/5} = 0.35(1.0169)^{1/5} = 0.3512$, m = 0.6

จากตารางที่ 2.5 : $C_2(N_L=3,\text{staggered}) = 0.83$

จากสมการที่ 2.6 หาค่าตัวเลขนัสเซลส์นัมเบอร์ (Nusselt number)

$$\overline{Nu}_D|_{(NL<20)} = C_2 \overline{Nu}_D|_{(NL \geq 20)}$$

$$\overline{Nu}_D = C Re^m D, max Pr^{0.36} \left(\frac{Pr_\infty}{Pr_s}\right)^{1/4}$$

$$\overline{Nu}_D = 0.83 \times 0.3512 \times (5921.3925)^{0.6} \times (0.7043)^{0.36} \times \left(\frac{0.7043}{0.6904}\right)^{1/4}$$

$$= 47.3635$$

จาก $\bar{h} = \overline{Nu}_D \frac{k}{D} = 47.3635\left(\frac{27.746 \times 10^{-3}}{12.7 \times 10^{-3}}\right) = 103.4762 w/m^2 \bullet k$

จากสมการที่ 2.17 หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิทึม

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_0)}{\ln\left(\frac{T_s - T_i}{T_s - T_0}\right)}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(120 - 46) - (120 - 100.8)}{\ln\left(\frac{120 - 46}{120 - 100.8}\right)} = 40.618$$

จากสมการ 2.19 หาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวของท่อ

$$q = N(\bar{h} \pi D \Delta T_{lm})$$

$$q = m^{\bullet} C_p (T_0 - T_i)$$

จากอัตราการไหล $m^{\bullet} = \rho v (N_T S_T L)$

โดยที่ ρ = ความหนานแน่นอากาศ

N_T = *จำนวนแถวแนวตั้ง*

S_T = ระยะแนวตั้ง

L = *ความยาวท่อ*

V = ความเร็วอากาศ

T_e = อุณหภูมิทางออก

T_i = อุณหภูมิทางเข้า

C_p = *ของอากาศที่ทางเข้า*

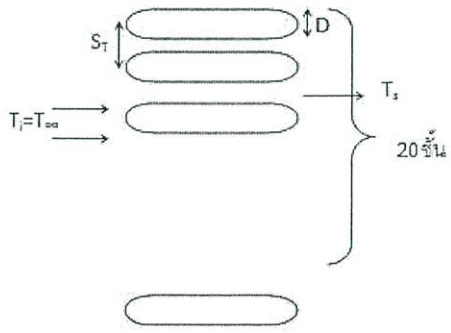
$$m^{\bullet} = \left(1.292\frac{kg}{m^3}\right)\times\left(6\frac{m}{s}\right)\times 13\times 0.625m\times 1.19m = 74.95215\frac{kg}{s}$$

$$q = \left(74.95215\frac{kg}{s}\right)\times\left(1.0078\frac{J}{kg\cdot K}\right)\times\left(100.8-46K\right) = 4139.41537\frac{J}{s}$$

∴

<u>หลังปรับปรุง</u>

สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังปรับปรุงจะมีลักษณะการเรียงตัวของท่อตามรูปที่ ผก 2



รูปที่ ผก 2 ภาพแสดงการเรียงตัวของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังปรับปรุง

เมื่อ S_L คือ ระยะห่างระหว่างท่อในแถวนอน ในที่นี้ไม่มี เพราะเป็นการจัดเรียงแค่แถวเดียวเท่านั้น

S_T คือ ระยะห่างระหว่างท่อในแถวตั้ง

$T_i = T_\infty$ คือ อุณหภูมิของอากาศ

T_s คือ อุณหภูมิที่ผิวของท่อ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

S_T = 24.7 mm, T_i = 46 °C, T_s = 123 °C, N_L = 1 ($N_L \le 20$) และ D = 9.6 mm

จากตาราง ผก 1

T_∞ = 46°C : ρ = 1.0982 kg/m^3, C_p = 1.0078 J/kg · K, v = 17.4852×10^{-6} m/s, k = 27.746×10^{-3}W/m · K และ Pr = 0.7043

T_s = 123°C : ρ = 0.8810 kg/m^3, C_p = 1.0136 J/kg · K, v = 27.9708×10^{-6} m/s, k = 33.496×10^{-3}W/m · K และ Pr = 0.6908

สำหรับการจัดเรียงแบบ Aligned สามารถหาค่า V_{max}ได้จากสมการที่ 2.10

จากสมการที่ 2.10 หาค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V$$

$$V_{max} = \left(\frac{24.7}{24.7-9.6}\right) \times 6 = 9.8146 m/s$$

ตัวเลขเรโนลด์ (Re_{Dmax})

$$Re_{Dmax} = \frac{V_{max} D}{v}$$

$$= \frac{9.8146 m/s \times 9.6 \times 10^{-3} m}{17.4852 \times 10^{-6} m^2/s}$$

= 5388.5663

∴ จากตารางที่ 2.4 :C = 0.26 , m = 0.6

จากตารางที่ 2.5 : $C_2(N_L=1,Aligned)$ = 0.70

จากสมการที่ 2.6 หาค่าตัวเลขนัสเซลส์นัมเบอร์ (Nusselt number)

$$\overline{N}u_D|_{(NL<20)} = C_2 \overline{N}u_D|_{(NL \geq 20)}$$

$$\overline{\mathrm{Nu}}_\mathrm{D} = C_2 \mathrm{CRe}^{\mathrm{m}}\mathrm{D,max}\mathrm{Pr}^{\mathrm{n}} \left(\frac{\mathrm{Pr}_\infty}{\mathrm{Pr}_\mathrm{s}}\right)^{1/4}$$

$$\overline{N}u_D = 0.7 \times 0.26 \times (5388.5663)^{0.6} \times (0.7043)^{0.37} \times \left(\frac{0.7043}{0.6908}\right)^{1/4}$$

= 27.8437

จาก $\bar{h} = \overline{Nu_D} \frac{k}{D} = 27.8437\left(\frac{27.746 \times 10^{-3}}{9.6 \times 10^{-3}}\right) = 80.4741 w/m^2 \bullet k$

จากสมการที่ 2.17 หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิทึม

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_0)}{\ln\left(\frac{T_s - T_i}{T_s - T_0}\right)}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(120-46)-(123-117.8)}{\ln\left(\frac{123-46}{123-117.3}\right)} = 27.3879$$

จากสมการ 2.19 หาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวของท่อ

$$q = N(\bar{h}\pi D\Delta T_{lm})$$

$$q = m^{\bullet} C_p (T_0 - T_i)$$

จากอัตราการไหล $m^{\bullet} = \rho v(N_T S_T L)$

โดยที่ ρ = ความหนานแน่นอากาศ

N_T = จำนวนแถวแนวตั้ง

S_T = ระยะแนวตั้ง

L = ความยาวท่อ

V = ความเร็วอากาศ

T_e = อุณหภูมิทางออก

T_i = อุณหภูมิทางเข้า

C_p = ของอากาศที่ทางเข้า

$$m^{\bullet} = \left(1.292\frac{kg}{m^3}\right) \times \left(6\frac{m}{s}\right) \times 20 \times 0.5m \times 1.13m = 87.5976\frac{kg}{s}$$

$$q = \left(87.5976\frac{kg}{s}\right) \times \left(1.0078\frac{J}{kg \cdot K}\right) \times (117.3 - 46K) = 6294.4254\frac{J}{s}$$

$\therefore$

จากการคำนวณหาค่า q พบว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเก่า มีค่า q เป็น 4,139.4154 จูล/วินาที และหลังปรับปรุงเป็น 6,294.4254 จูล/วินาที มีส่วนต่างที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2,155.01 จูล/วินาที คิดเป็น 52.06% ที่เพิ่มขึ้นมา

ดังนั้นจากการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคพบว่าหลังปรับปรุงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้น 17.3% อบผ้ายืนส์ได้เร็วขึ้น 8.62% และมีค่าอัตราถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวของท่อ 52.06%

ภาคผนวก ข

ข้อมูลคำนวณความน่าลงทุนของโครงการ

ข้อมูลคำนวณความน่าลงทุนของโครงการ

จากการศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน พบว่าหากเปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบใหม่ จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายกะลาปาล์มต่อเดือนทั้ง 12 เดือน ได้ดังตารางที่ ผข 1 พิจารณาเมื่อเปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 4 เครื่อง สำหรับเตาอบผ้าไอน้ำสำหรับผ้ายืนส์ โดยคำนวณจากเวลาการซักรีดที่เร็วขึ้น 8.62%

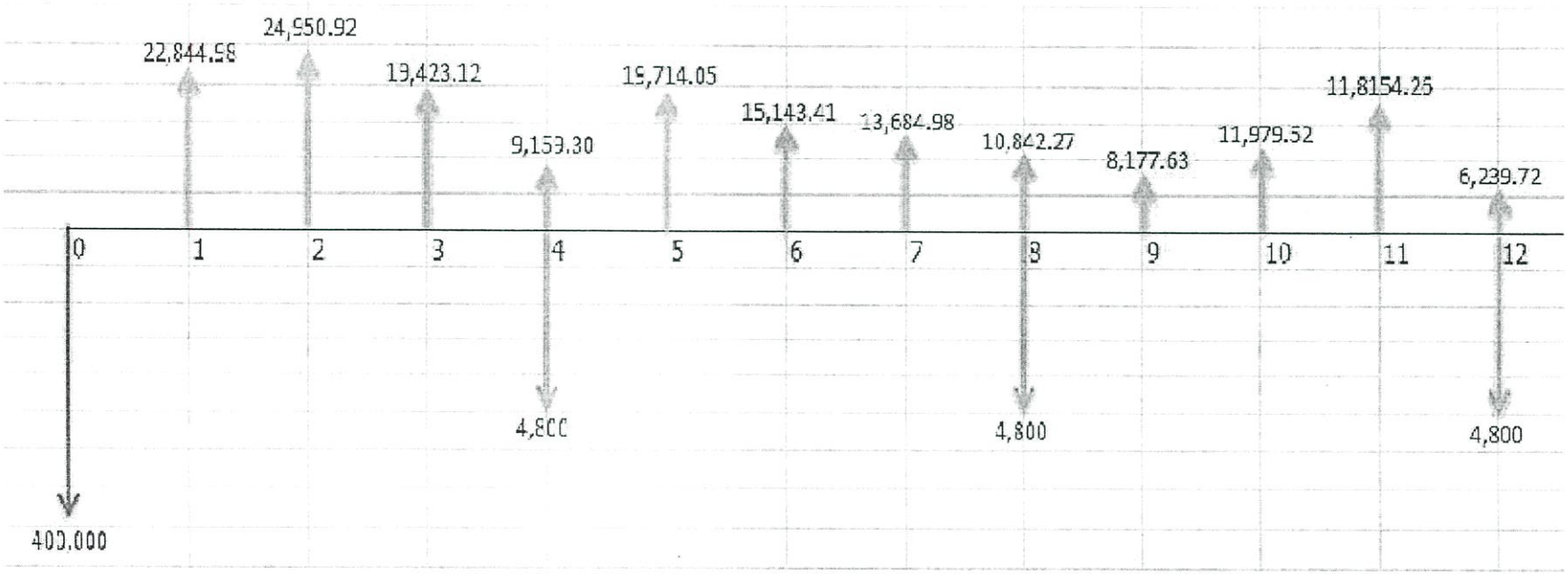
ตารางที่ ผข 1 ตารางประมาณค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อเดือนทั้ง 12 เดือน หลังติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ จำนวน 4 เครื่อง

เดือน	นาทีทำงาน/เดือน	ราคากะลาปาล์ม (บาท)	กะลาปามที่ใช้ (บาท/นาที)	น้ำหนักผ้ายืนส์ (กิโลกรัม)	จำนวนครั้งในการอบ (ครั้ง)	เวลาที่ใช้ในการอบผ้ายืนส์(นาที)	เวลาที่ลดได้ (นาที)	ประหยัดค่าใช้จ่ายกะลาปาม(บาท)
1	33000	426,519.68	12.92	25,339.25	353.51	20,503.30	1,767.53	22,844.98
2	33000	489,183.76	14.82	24,129.95	336.63	19,524.79	1,683.17	24,950.92
3	33000	442,206.36	13.40	20,779.54	289.89	16,813.80	1,449.47	19,423.12
4	33000	341,968.68	10.36	12,671.20	176.77	10,252.92	883.87	9,159.30
5	33000	373,412.88	11.32	24,976.32	348.44	20,209.63	1,742.21	19,714.05
6	33000	335,986.50	10.18	21,322.78	297.47	17,253.37	1,487.36	15,143.41
7	33000	349,848.68	10.60	18,505.71	258.17	14,973.93	1,290.86	13,684.98
8	33000	308,299.60	9.34	16,637.54	232.11	13,462.29	1,160.54	10,842.27
9	33000	322,311.83	9.77	12,003.09	167.45	9,712.32	837.27	8,177.63
10	18000	241,591.02	13.42	12,795.55	178.51	10,353.54	892.55	11,979.52
11	18000	253,313.94	14.07	18,493.54	258.00	14,964.08	1,290.01	18,154.26
12	18000	190,603.38	10.59	8,447.63	117.85	6,835.42	589.26	6,239.72

หาค่าตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์ต่างๆ เพื่อดูความน่าลงทุนของโครงการ เมื่อทราบข้อมูลดังนี้

- เงินลงทุนในการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 4 เครื่อง รวมเป็นเงิน 400,000 บาท
- ค่าซ่อมแซม 4,800 บาททุก 4 เดือน
- ค่าซาก 1,400 บาท
- เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอายุการใช้งาน 7 ปี
- ดอกเบี้ย (I %) เท่ากับ 5 % ต่อปีทบต้นทุกปี
- ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อกะลาปาล์มที่สามารถประหยัดได้ในแต่ละเดือน ดูได้จากตารางที่ ผข 1

นำข้อมูลเหล่านี้มาเขียน Cash Flow ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ ผข 1



รูปที่ ผข 1 Cash Flow ของการลงทุนเปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ 4 เครื่อง

มีวิธีการคำนวณหาตัวแปร เพื่อพิจารณาความคุ้มค่าแก่การลงทุนดังนี้

แปลง I % จาก 5% ต่อปีทบต้นทุกปี เป็น ต่อเดือนทบต้นทุกเดือน

โดย $i_1 = \left(1 + \frac{i_2 m}{m}\right)^m - 1$

$$0.05 = \left(1 + \frac{i_2 12}{12}\right)^{12} - 1$$

I_2 = 0.4074 % ต่อเดือนทบต้นทุกเดือน

จากสมการ 2.22 หาค่า Present Value (P)

$$P = \frac{F}{(1+i)^n}$$

$$Q_1 = \frac{22844.98}{(1+0.004074)^1} + \frac{24950.92}{(1+0.004074)^2} + \frac{19423.12}{(1+0.004074)^3} + \frac{9159.30}{(1+0.004074)^4} + \frac{19714.05}{(1+0.004074)^5}$$
$$+ \frac{15143.41}{(1+0.004074)^6} + \frac{13684.98}{(1+0.004074)^7} + \frac{10842.27}{(1+0.004074)^8} + \frac{8177.63}{(1+0.004074)^9} + \frac{11979.52}{(1+0.004074)^{10}}$$
$$+ \frac{18154.26}{(1+0.004074)^{11}} + \frac{6239.72}{(1+0.004074)^{12}}$$

= 176,281.29

จากสมการ 2.21 หาค่า Future Value (F)

$$F = P(1+i)^n$$

$$FQ_1 = (176281.29)(1+0.004074)^{12} = 185095.0808$$

จากสมการ 2.22 หาค่า Present Value (P)

$$P = \frac{F}{(1+i)^n}$$

$$Q_2 = \frac{4800}{(1+0.004074)^4} + \frac{4800}{(1+0.004074)^8} + \frac{4800}{(1+0.004074)^{12}}$$

= 13,940.468

จากสมการ 2.21 หาค่า Future Value (F)

$$F = P(1+i)^n$$

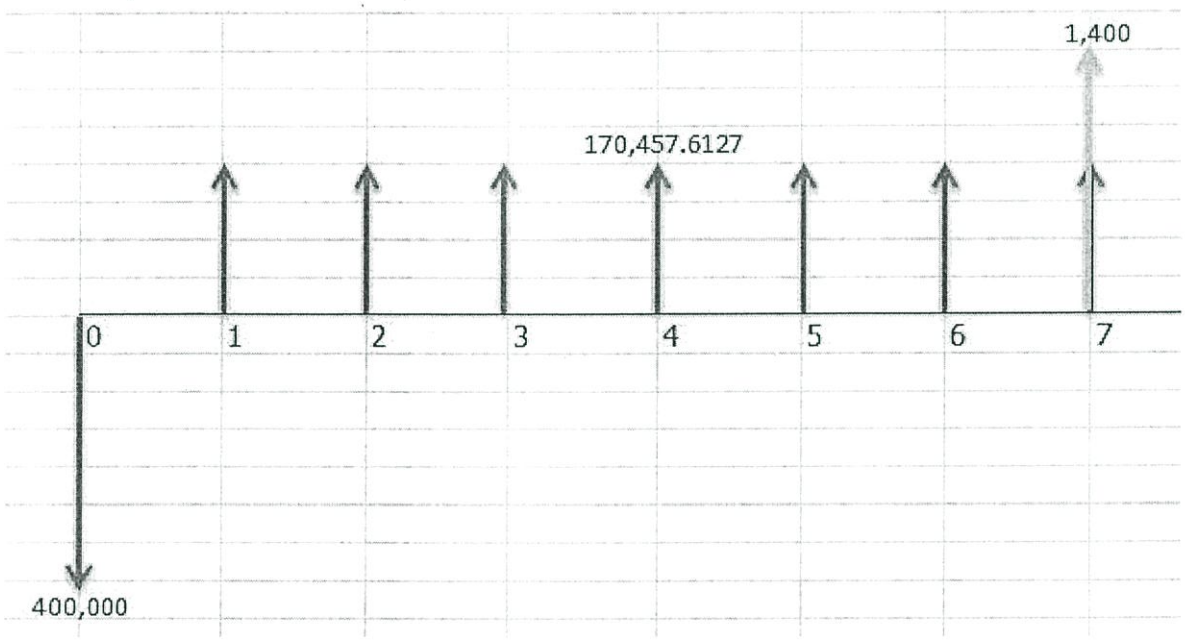
$$FQ_{1468} = (13940.468)(1+0.004074)^{12} = 14637.468$$

$\therefore F_{รวม} = FQ_1 - FQ_2$

$= 185095.0807 - 14637.468$

$= 170457.6127$

จากนั้นนำค่า $F_{รวม}$ ที่ได้ มาเขียน Cash flow ในหน่วยบาทต่อปี เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความคุ้มค่าต่อการลงทุนของโครงการ ได้รูปที่ ผข 2



รูปที่ ผข 2 Cash Flow แสดงความคุ้มค่าในการลงทุน หน่วยบาทต่อปี

1. คำนวณหาค่า NPW

$P_{รวม}$ = A(P/A , 5% , 7) + F (P/F , 5% , 7) – 400,000

$$= 170457.6128\left(\frac{(1+0.05)^7-1}{0.05(1+0.05)^7}\right)+\frac{1400}{(1+0.05)^7}-400000$$

$= 587326.35$

$P_{รวม} > 0$ แสดงว่า เป็นการลงทุนที่ดี

2. คำนวณหาค่าอัตราผลตอบแทน (IRR)

ให้ NPW = 0

จะได้ $$0 = 170457.6128\left(\frac{(1+i)^7-1}{0.05(1+i)^7}\right)+\frac{1400}{(1+i)^7}-400000$$

$I = 38.203$ %

I % > MARR แสดงว่าโครงการเป็นการลงทุนที่ดี

3. คำนวณหาค่า Benefit/Cost Ratio ของโครงการ

จากสมการ 2.27

$$\frac{B}{C} = \frac{(Benefit - Disbenefit)}{(Initial\ Cost + Operation\ and\ Maintenance\ Cost)}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{176{,}281.29}{69{,}127.93 + 2{,}409.18}$$

= 2.46

$\frac{B}{C} > 1$ แสดงว่าโครงการเป็นการลงทุนที่ดี

4. คำนวณหาระยะเวลาคืนทุน

เมื่อปีที่ 2 ; n = 2

$$NPW = -400000 + 170457.6127\left(\frac{(1+0.05)^2 - 1}{0.05(1+0.05)^2}\right) + \frac{1400}{(1+0.05)^2}$$

$$= -81779.496$$

เมื่อปีที่ 3 ; n = 3

$$NPW = -400000 + 170457.6127\left(\frac{(1+0.05)^3 - 1}{0.05(1+0.05)^3}\right) + \frac{1400}{(1+0.05)^3}$$

= 65,407.73

ดังนั้น

$$\frac{(n-2)}{3-2} = \frac{0-(-81779.496)}{(65407.73-(-81779.496)}$$

= 2.55 ปี

นำผลลัพธ์ที่คำนวณได้ ใส่ลงในตารางที่ ผข 2 ได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ ผข 2 ตารางเปรียบเทียบค่าที่ได้จริงและเกณฑ์การพิจารณา

ลำดับที่	ตัวแปร	เกณฑ์การพิจารณา	ค่าที่ได้
1	NPW	NPW > 0	587,326.35
2	IRR	IRR ≥ 5%	38.203 %
3	B/C	B/C ≥ 1	2.46
4	Payback Period	ระยะเวลาคืนทุน << ระยะเวลาโครงการ	2.5 ปี

จากข้อมูลในตารางพบว่า ตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมทั้ง 4 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาทั้งคู่ หมายถึง เป็นโครงการที่ควรค่าแก่การลงทุน โดยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 2 ปี 6 เดือน ในระยะเวลาโครงการซึ่งมีอายุ 7 ปี จึงเป็นโครงการที่คุ้มค่าแก่การลงทุน