



การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงานผลิตเครื่องตีมตัวอย่าง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

# THE ENERGY COST REDUCTION OF A SAMPLE BEVERAGE FACTORY



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Engineering (ENGINEERING MANAGEMENT)

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2021

Copyright of Silpakorn University



630920039 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต

คำสำคัญ : พลังงาน, พลังงานไฟฟ้า, พลังงานความร้อน, พลังงานจำเพาะ

นาย มงคล ภูทองคำ: การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงานผลิตเครื่องตี๋มตัวอย่าง  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานของโรงงานผลิตเครื่องตี๋มตัวอย่าง การวิจัยเริ่มจากการศึกษาภาพรวมการใช้พลังงาน รวมถึงลักษณะการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตภายในโรงงานผลิตเครื่องตี๋มตัวอย่าง และเรียงลำดับปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน จากนั้นทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของขั้นตอนการผลิตที่เหมาะสม ทั้งแนวทางที่ไม่ต้องใช้งเงินลงทุน และแนวทางที่ต้องใช้งเงินลงทุน จากการศึกษาภาพรวมการใช้พลังงานพบว่าโรงงานผลิตเครื่องตี๋มตัวอย่างมีการใช้พลังงานอยู่ 2 ชนิด คือ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 24.83 และสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงร้อยละ 75.17 ขั้นตอนการผลิตในส่วนงานสนับสนุนมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดถึงร้อยละ 86.88 ของการใช้พลังงานทั้งหมด การดำเนินงานตามแนวทางการลดค่าใช้จ่ายแบบที่ไม่ต้องใช้งเงินลงทุนสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 979,471.13 บาทต่อปี และแนวทางการลดค่าใช้จ่ายแบบที่ต้องใช้งเงินลงทุน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 7,937,334.50 บาท โดยที่สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมได้ 5,586,093.06 บาทต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุน 1.42 ปี ดังนั้นโรงงานผลิตเครื่องตี๋มตัวอย่างสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมดได้ 6,565,564.19 บาทต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุนรวม 1.21 ปี แนวทางการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอีกหนึ่งแนวทางการใช้พลังงานทดแทน ที่สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้เป็นจำนวนมากและคุ้มค่าต่อการลงทุน และจากผลการดำเนินงานทั้งหมดสามารถการใช้พลังงานจำเพาะได้ร้อยละ 9.59 โดยที่สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะได้ร้อยละ 3.52

630920039 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)

Keyword : Energy, Electrical energy, Thermal energy, Specific Energy Consumption

MR. MONGKON POOTONGKAM : THE ENERGY COST REDUCTION OF A SAMPLE BEVERAGE FACTORY THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR CHOOSAK PORNSING, Ph.D.

This research aimed to reduce the energy cost of a sample beverage factory. It began with a study of an overview of energy consumption and the energy characteristics of the production process and arranged each production process's energy consumption within a sample beverage factory for analysis and offering a cost reduction method. The implementation has both non-investment and investment with finding a return on investment. In an overview of energy consumption study, a sample beverage factory uses electrical energy and thermal energy derived from fuel. The proportion of electricity consumption is 24.83%. The thermal energy consumption from the fuel is 75.17%. Process in the supporting section used energy 86.88% of total energy consumption. The implementation cost reduction non-investment can reduce energy costs by 979,471.13 baht per year. Implementing cost reduction with an investment of 7,937,334.50 baht can reduce energy costs by 5,586,093.06 baht per year and has a payback period of 1.42 years. They both implement can reduce energy costs by 6,565,564.19 baht per year and has a payback period of 1.21 years. Solar energy is alternative renewable energy that can reduce the cost of energy consumption. The overall implementation results can reduce Specific Energy Consumption by 9.59 and reduce the cost of Specific Energy Consumption by 3.52%

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความกรุณาและการช่วยเหลือจากทุกท่าน ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์ ที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการทำวิจัย ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องและข้อผิดพลาดต่าง ๆ และขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองแท่ง ทองลั่น ที่ให้ความอนุเคราะห์และเสียสละเวลาในการตรวจสอบและแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและชี้แนะแนวทางการศึกษาด้วยดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนเรื่องและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ เพื่อนและน้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นาย มงคล ภูทองคำ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 .....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 .....	4
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลังงาน.....	4
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการจัดการพลังงาน.....	5
2.3 ทฤษฎีการตรวจวัดพลังงาน.....	10
2.4 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.....	12
2.5 เทคโนโลยีระบบหม้อไอน้ำ.....	30
2.6 เทคโนโลยีระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศ.....	38



2.7 เทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ.....	45
2.8 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	50
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	54
บทที่ 3 .....	60
การดำเนินงานวิจัย .....	60
3.1 การศึกษากลุ่มประชากรที่ใช้ในงานวิจัย .....	60
3.2 ข้อมูลที่นำมาศึกษาและวิเคราะห์ในงานวิจัย .....	60
3.3 การตรวจวัดการใช้พลังงาน.....	61
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล .....	64
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล .....	64
3.6 แผนผังขั้นตอนการทำงานวิจัย .....	65
บทที่ 4 .....	66
ผลการดำเนินงานวิจัย .....	66
4.1 การใช้พลังงานในภาพรวมของโรงงาน.....	66
4.2 การวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการลดการใช้พลังงาน.....	77
4.3 การดำเนินการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน .....	87
4.4 ผลที่ได้หลังจากการดำเนินการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน.....	104
4.5 การวิเคราะห์ความสอดคล้องของค่าการใช้พลังงานจำเพาะระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลัง การปรับปรุง .....	108
บทที่ 5 .....	112
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ .....	112
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	112
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	113
รายการอ้างอิง .....	114

ภาคผนวก ก	รายการคำนวณการลดการโบลั่วตัวของหม้อไอน้ำ.....	119
ภาคผนวก ข	รายการคำนวณการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ .....	122
ภาคผนวก ค	รายการคำนวณการลดการใช้งานห่อฉนวน.....	128
ภาคผนวก ง	รายการคำนวณลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัด .....	131
ภาคผนวก จ	รายการคำนวณติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	133
ภาคผนวก ฉ	รายการคำนวณการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ.....	139
ภาคผนวก ช	รายการคำนวณการหุ้มฉนวนท่อของระบบส่งจ่ายไอน้ำ.....	143
ภาคผนวก ซ	รายการคำนวณการใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง.....	147
ประวัติผู้เขียน.....		151



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ระดับความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้.....	12
ตารางที่ 2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	66
ตารางที่ 3 ข้อมูลการใช้กะลาปาล์ม ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	69
ตารางที่ 4 ข้อมูลการใช้น้ำมันเตา ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	72
ตารางที่ 5 ข้อมูลการใช้พลังงาน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง .....	75
ตารางที่ 6 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง .....	79
ตารางที่ 7 ปริมาณการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง .....	84
ตารางที่ 8 ข้อมูลการผลิตไอน้ำของเชื้อเพลิงกะลาปาล์ม .....	85
ตารางที่ 9 ข้อมูลการผลิตไอน้ำของเชื้อเพลิงน้ำมันเตาเกรดซี .....	86
ตารางที่ 10 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบบลงทุนอุปกรณ์ทั้งหมด.....	96
ตารางที่ 11 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบบสัญญาซื้อขายไฟฟ้า.....	97
ตารางที่ 12 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการนำน้ำคอนเดนเสดกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ น้ำ .....	99
ตารางที่ 13 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการหุ้มฉนวนท่อระบบส่งจ่ายไอน้ำ.....	101
ตารางที่ 14 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง .....	103
ตารางที่ 15 รายการดำเนินการลดใช้พลังงานทั้งหมดในโรงงานผลิตเครื่องตีตัวอย่าง .....	104
ตารางที่ 16 ข้อมูลการใช้พลังงาน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 5 หลังการปรับปรุง.....	105
ตารางที่ 17 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง .....	107
ตารางที่ 18 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	108
ตารางที่ 19 ผลทดสอบความแปรปรวนการใช้พลังงานจำเพาะระหว่าง ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	109

ตารางที่ 20 ผลทดสอบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานจำเพาะระหว่าง ก่อนและหลังการปรับปรุง..... 111



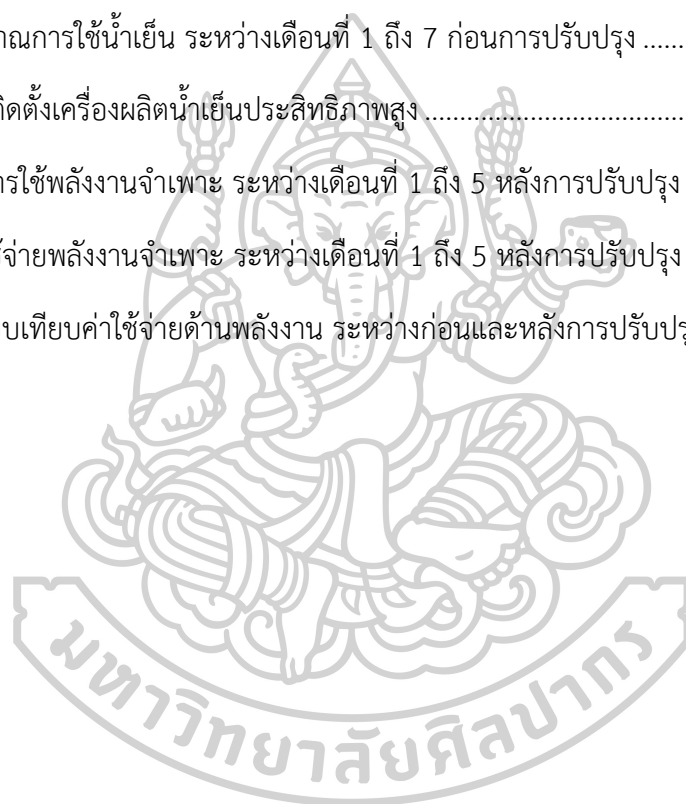
## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย .....	3
รูปที่ 2 แผนภาพกระบวนการของมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 .....	7
รูปที่ 3 ลักษณะของแผนภูมิพาเรโต .....	9
รูปที่ 4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous .....	14
รูปที่ 5 เซลล์แสงอาทิตย์ Crystalline .....	15
รูปที่ 6 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Super Amorphous .....	15
รูปที่ 7 Charge controller .....	16
รูปที่ 8 แบตเตอรี่แบบ Deep cycle .....	17
รูปที่ 9 อินเวอร์เตอร์ .....	18
รูปที่ 10 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เชื่อมต่อบรรณจําหนายไฟฟา (Off-Grid) .....	19
รูปที่ 11 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรณจําหนายไฟฟา (Grid-Connected ; On-Grid) .....	20
รูปที่ 12 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (Hybrid System) .....	21
รูปที่ 13 Solar parabolic dish .....	22
รูปที่ 14 Parabolic Trough .....	23
รูปที่ 15 Solar Thermal Tower .....	24
รูปที่ 16 Solar Chimney Tower .....	25
รูปที่ 17 ระบบผลิตน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน .....	27
รูปที่ 18 โรงอบแห้งผลิตภัณฑ์การเกษตรพลังงานแสงอาทิตย์ .....	29
รูปที่ 19 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ .....	32
รูปที่ 20 หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ .....	32
รูปที่ 21 หม้อไอน้ำแบบผสม .....	33

รูปที่ 22 ระบบทำความเย็นแบบโครโอเจนิค .....	39
รูปที่ 23 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ .....	39
รูปที่ 24 แผนภาพความดัน-เอนทาลปี (P-h Diagram) และจุดทำงานของระบบทำความเย็น .....	40
รูปที่ 25 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ .....	42
รูปที่ 26 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ .....	43
รูปที่ 27 ระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ .....	44
รูปที่ 28 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน .....	45
รูปที่ 29 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ .....	47
รูปที่ 30 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู .....	47
รูปที่ 31 เครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง .....	48
รูปที่ 32 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า .....	61
รูปที่ 33 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบภาพถ่าย .....	61
รูปที่ 34 เครื่องวัดอัตราการไหลของไอน้ำ .....	62
รูปที่ 35 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ .....	62
รูปที่ 36 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ .....	63
รูปที่ 37 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศอัด .....	63
รูปที่ 38 เครื่องวิเคราะห์การเผาไหม้ .....	64
รูปที่ 39 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย .....	65
รูปที่ 40 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง .....	67
รูปที่ 41 ค่าพลังงานไฟฟ้า ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง .....	67
รูปที่ 42 ค่าไฟฟ้า ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง .....	68
รูปที่ 43 ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง .....	68
รูปที่ 44 ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยความร้อน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง .....	69
รูปที่ 45 ปริมาณการใช้กะลาปาล์ม ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง .....	70

รูปที่ 46 ค่าพลังงานกะลาปาล์ม ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	70
รูปที่ 47 ค่าใช้จ่ายกะลาปาล์ม ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	71
รูปที่ 48 ค่ากะลาปาล์มต่อหน่วย ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	71
รูปที่ 49 ค่ากะลาปาล์มต่อหน่วยความร้อน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	72
รูปที่ 50 ปริมาณการใช้น้ำมันเตา ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	73
รูปที่ 51 ค่าพลังงานน้ำมันเตา ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	73
รูปที่ 52 ค่าใช้จ่ายน้ำมันเตา ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	74
รูปที่ 53 ค่าน้ำมันเตาต่อหน่วย ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	74
รูปที่ 54 ค่าน้ำมันเตาต่อหน่วยความร้อน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	75
รูปที่ 55 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	76
รูปที่ 56 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะ ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	76
รูปที่ 57 ขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องต้มตัวอย่างที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า .....	77
รูปที่ 58 ลำดับการใช้ไฟฟ้าของขั้นตอนการผลิตระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	83
รูปที่ 59 สัดส่วนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง .....	85
รูปที่ 60 ค่าใช้จ่ายการผลิตไอน้ำ.....	86
รูปที่ 61 พิกัดการใช้งานห่อฉนวน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	89
รูปที่ 62 การทำงานของเครื่องอัดอากาศ.....	90
รูปที่ 63 จุดรั่วไหลของอากาศอัด .....	91
รูปที่ 64 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า .....	92
รูปที่ 65 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย .....	92
รูปที่ 66 แบบการติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ .....	93
รูปที่ 67 การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโรงงาน แบบ On-Grid .....	93
รูปที่ 68 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ Bifacial Dual Glass Cat Mono Module .....	94
รูปที่ 69 อินเวอร์เตอร์ SE82.8K.....	94

รูปที่ 70 Dashboard ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	95
รูปที่ 71 การติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	97
รูปที่ 72 อุณหภูมิน้ำเข้าหม้อไอน้ำก่อนการปรับปรุง.....	98
รูปที่ 73 อุณหภูมิน้ำเข้าหม้อไอน้ำหลังการปรับปรุง.....	99
รูปที่ 74 อุณหภูมิผิวท่อจ่ายไอน้ำก่อนการปรับปรุง.....	100
รูปที่ 75 อุณหภูมิผิวท่อจ่ายไอน้ำหลังการปรับปรุง.....	100
รูปที่ 76 ปริมาณการใช้น้ำเย็น ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง.....	102
รูปที่ 77 การติดตั้งเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง.....	103
รูปที่ 78 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 5 หลังการปรับปรุง.....	106
รูปที่ 79 ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะ ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 5 หลังการปรับปรุง.....	106
รูปที่ 80 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง.....	107





## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากการเติบโตของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยทำให้ผู้ประกอบการส่วนใหญ่สนใจที่จะนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อให้เกิดการผลิตที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้น พลังงานเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการรองรับเทคโนโลยีเหล่านั้น ทั้งทางด้านพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน แนวคิดในการนำความรู้ทางด้านการจัดการมาใช้ในการอนุรักษ์พลังงานเป็นแนวคิดหนึ่งที่สถานประกอบการทั้งหลายให้ความสนใจและนำมาใช้ในปัจจุบัน อีกทั้งการใช้พลังงานทดแทนถือเป็นอีกหนึ่งกลยุทธ์ที่จะช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานได้ และส่งผลให้ธุรกิจสามารถอยู่ได้ในสภาวะที่มีการแข่งขันทางการตลาดสูง

จากวิกฤตการณ์พลังงานที่ผ่านมาได้ส่งผลกระทบต่อความเจริญก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก จนทำให้โรงงานอุตสาหกรรมและธุรกิจประเภทต่าง ๆ จำเป็นต้องหามาตรการการอนุรักษ์พลังงาน หรือหาแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อลดการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด และมีแนวโน้มราคาจะสูงขึ้นไปอย่างต่อเนื่อง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากธรรมชาติ ที่มีความสะอาดปราศจากการก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำมาใช้อย่างไม่หมดสิ้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในลักษณะต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นนำมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานความร้อน ที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม เพื่อให้เกิดการลดต้นทุนทางด้านพลังงานในกระบวนการผลิต

อุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการเติบโตของเศรษฐกิจไทย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มพร้อมดื่ม ซึ่งกำลังเป็นความต้องการอย่างมากในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 ที่กำลังแพร่ระบาดอยู่ทั่วโลก อีกทั้งในเรื่องของการบริโภคเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เช่น น้ำผักผลไม้ กาแฟออร์แกนิก ชาสมุนไพรออร์แกนิก กำลังเป็นที่นิยมของกลุ่มคนทั่วโลกที่ใส่ใจในเรื่องสุขภาพ จึงทำให้ธุรกิจเครื่องดื่มเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง และด้วยเหตุผลนี้ทำให้มีจำนวนผู้ผลิตรายใหม่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากไม่ว่าจะเป็นทั้งในประเทศหรือต่างประเทศ จึงก่อให้เกิดการแข่งขันทางด้านคุณภาพและราคาของสินค้าซึ่งมีส่วนสำคัญเป็นอย่างมากต่อการดำเนินธุรกิจ [1]

โรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างกำลังประสบปัญหาเรื่องไม่ทราบต้นทุนทางด้านพลังงานในการผลิต และไม่มี การประเมินค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานที่เป็นระบบ อีกทั้งยังต้องนำต้นทุนทางด้าน

พลังงานที่ได้จากการประมาณค่าและไม่มี ความถูกต้องชัดเจนมาคำนวณราคาขายของผลิตภัณฑ์ ด้วย เหตุผลนี้จึงทำให้ต้นทุนของผลิตภัณฑ์สูงกว่าคู่แข่ง การทราบถึงต้นทุนด้านพลังงานที่แท้จริงจึงเป็นสิ่ง สำคัญที่ทำให้โรงงานทราบถึงต้นทุนการผลิตที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ และนำไปสู่การจัดการพลังงาน เชิงบูรณาการทั้งในแนวทางที่ต้องลงทุนและไม่ต้องลงทุน ได้อย่างตรงจุดและมีประสิทธิภาพ อีกทั้ง การใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทน ก็เป็นสิ่งที่จะสามารถลดการใช้พลังงาน ซึ่งนำไปสู่การลด ต้นทุนทางด้านการผลิตได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาและปรับปรุงศักยภาพการใช้ พลังงานอย่างเต็มประสิทธิภาพในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม โดยการประยุกต์ศาสตร์ทางด้าน การจัดการงานวิศวกรรม วิศวกรรมอุตสาหกรรม วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมพลังงาน รวมทั้งการ วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดจะถูกออกแบบให้ดำเนินการเชิงบูรณาการอย่างเป็น ระบบ โดยนำเสนอการดำเนินการจัดการด้านพลังงานอย่างเป็นระบบ การคำนวณหาความเป็นไปได้ ในการประหยัดพลังงานของกระบวนการผลิตที่สำคัญ รวมทั้งการวิเคราะห์ผลการลงทุนทาง เศรษฐศาสตร์และแนวทางการเงินในแต่ละมาตรการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ภาพรวมการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง
- 1.2.2 เพื่อนำเสนอแนวทางการประหยัดพลังงานทั้งในกรณีใช้เงินลงทุนและไม่ใช้เงินลงทุน
- 1.2.3 เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะลงอย่างน้อยร้อยละ 2

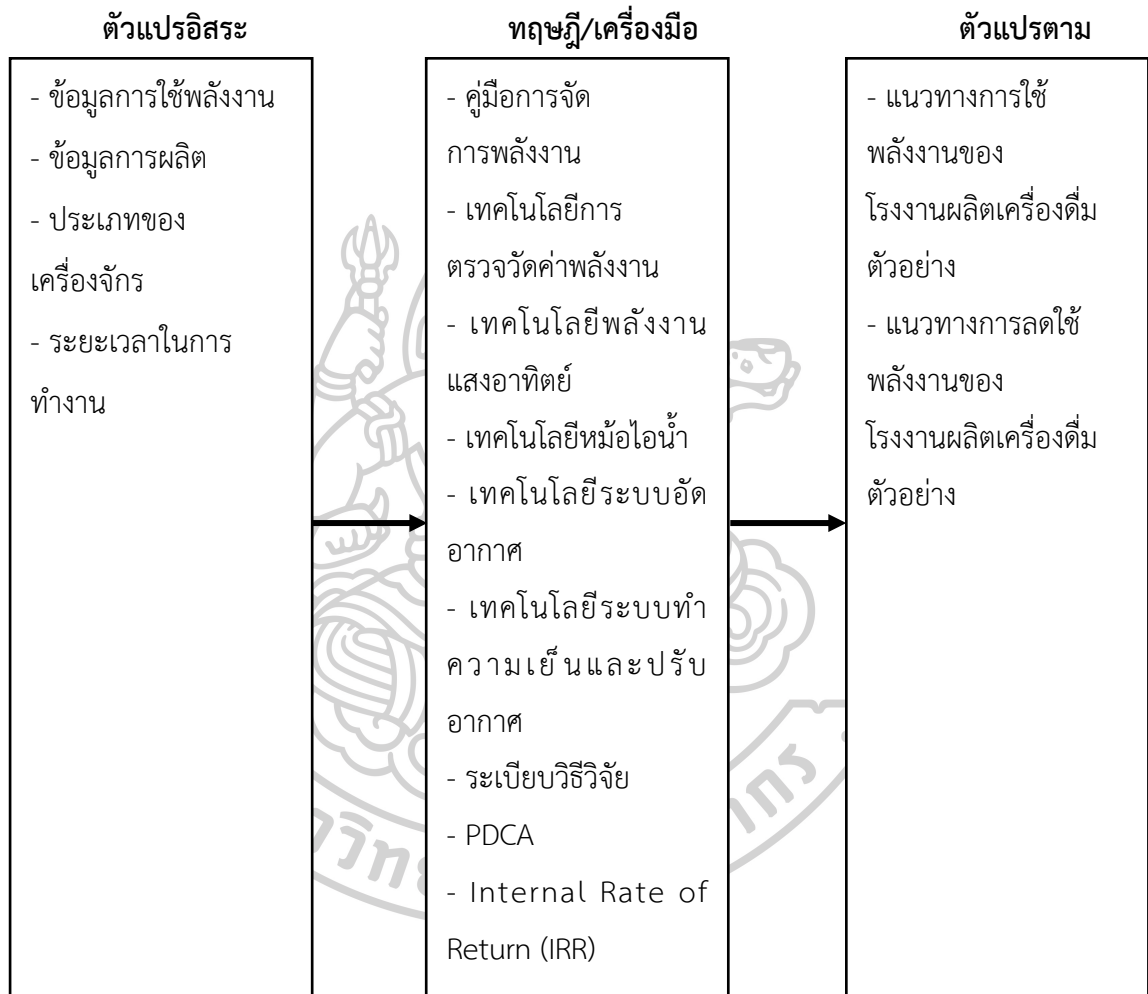
## 1.3 สมมติฐานงานวิจัย

- 1.3.1 การจัดการพลังงานที่มีระบบและมีประสิทธิภาพเพียงพอ จะช่วยลดต้นทุนทางด้าน พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างได้
- 1.3.2 สามารถนำความรู้ทางด้านการจัดการงานวิศวกรรมซ่อมบำรุงมาประยุกต์ใช้ในการ อนุรักษ์พลังงานแบบไม่ต้องลงทุนได้
- 1.3.3 มาตรการการอนุรักษ์พลังงานแบบที่ต้องลงทุน มีความเหมาะสมและมีผลตอบแทน ที่คุ้มค่าต่อการลงทุน

## 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการสำรวจข้อมูลด้านพลังงาน โดยศึกษาและวิเคราะห์ในรายละเอียดของแหล่งการใช้ พลังงานต่าง ๆ ในโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง ได้แก่ กระบวนการผลิตเครื่องดื่ม ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบอัดอากาศ ระบบทำน้ำเย็น และระบบทำความร้อน ระหว่างเดือน มกราคม

2564 ถึง กรกฎาคม 2564 จากนั้นทำการประเมินศักยภาพการใช้พลังงานเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานและวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของแนวทางการปรับปรุง เพื่อเสนอแนวทางการลดการใช้พลังงานแบบที่ต้องใช้เงินลงทุนและแบบที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุนอย่างมีประสิทธิภาพตามกรอบแนวคิดการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง

1.5.2 สามารถลดการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนำมาเป็นพื้นฐานของงานวิจัยนี้ โดยรายละเอียดจะแสดงตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลังงาน
- 2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการจัดการพลังงาน
- 2.3 ทฤษฎีการตรวจวัดค่าพลังงาน
- 2.4 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.5 เทคโนโลยีระบบหม้อไอน้ำ
- 2.6 เทคโนโลยีระบบทำความเย็นและปรับอากาศ
- 2.7 เทคโนโลยีระบบอัดอากาศ
- 2.8 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม
- 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลังงาน

##### 2.1.1 ความหมายและประเภทของพลังงาน

พลังงาน (Energy) ตามความหมายใน พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) หมายถึงความสารถในการทำงานซึ่งมีอยู่ในตัวของสิ่งทีอาจให้ งานได้ ได้แก่ พลังงานหมุนเวียน และพลังงานสิ้นเปลือง และให้รวมถึงสิ่งทีอาจให้งานได้ เช่น เชื้อเพลิง ความร้อนและไฟฟ้าเป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับความหมายของพลังงานตาม พ.ร.บ. ดังกล่าว จึงแบ่งพลังงานจำแนกตามลักษณะการนำมาใช้ประโยชน์เป็น 2 ประเภท คือ พลังงาน สิ้นเปลือง (Conventional energy) และพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) [3]

พลังงานสิ้นเปลือง (Conventional energy) คือ พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปหรือเรียกอีก ชื่อหนึ่งว่า พลังงานฟอสซิล (Fossil Fuels) ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน รวมทั้งหินน้ำมันและทราย น้ำมัน พลังงานฟอสซิลนี้เกิดจากซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมจมอยู่ใต้พื้นพิภพเป็นเวลานานหลายพันล้าน ปี โดยอาศัยแรงอัดของเปลือกโลกและความร้อนใต้ผิวโลก มีทั้งที่อยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ ปกติจะอยู่ใต้ดินถ้าไม่ขุดขึ้นมาก็สามารถเก็บไว้ใช้ในอนาคตได้

พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) คือ พลังงานที่ได้จากทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นมาใหม่ได้ด้วยตัวเองโดยธรรมชาติ เช่น แสงอาทิตย์ ลม ป่าไม้เป็นต้น หรือ อาจจะเกิดขึ้นและแพร่ขยายให้ได้ผลผลิตมากขึ้นโดยการกระทำของมนุษย์ ปัจจุบันพลังงานหมุนเวียนถูกพัฒนามาใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิลเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ พลังงานหมุนเวียนที่ถูกนำมาใช้มากในประเทศไทย ได้แก่ ชีวมวล พลังงานแสงอาทิตย์ น้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานลมเป็นต้น [3]

### 2.1.3 หน่วยวัดพลังงาน

พลังงานมีหลายรูปแบบและแต่ละชนิดให้งานไม่เท่ากันแม้จะใช้น้ำหนักเท่ากันหรือตวงเป็นลิตรเท่ากันก็ตาม หรือบางอย่างก็ตวงเป็นลิตรหรือชั่งเป็นกิโลกรัมไม่ได้ด้วย เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์เป็นต้น ดังนั้นการเปรียบเทียบพลังงานหรือเชื้อเพลิงที่ต่างรูปแบบกันจึงต้องพิจารณาที่ปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นจากการผลิตของเชื้อเพลิงชนิดนั้น ๆ หรือที่เรียกว่า “ค่าความร้อนสุทธิ (Energy content or Net Calorific Value : NCV of fuel)” มีค่าเท่ากับความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ โดยการวัดที่อุณหภูมิอ้างอิง (ระบบสากลกำหนดอุณหภูมิอ้างอิงที่ 25 °C) โดยปกติค่าความร้อนขั้นต้น (Gross Calorific Value) ของเชื้อเพลิงคือ ค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่ความดันและอุณหภูมิคงที่ แต่ในทางปฏิบัติผลของการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนเกินกว่าจุดเดือดของน้ำ ทำให้น้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ไฮโดรเจนที่เป็นส่วนประกอบของเชื้อเพลิงกลายเป็นไอ และดูดซับความร้อนแฝงกลายเป็นไอไปส่วนหนึ่ง ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงหลังหักค่าความร้อนแฝงกลายเป็นไอของไอน้ำจะเรียกว่า “ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง (Net Calorific Value of Fuel)”

หน่วยวัดมาตรฐานสากลหรือหน่วยวัดในระบบ SI ที่ใช้วัดพลังงาน คือ จูล (Joules: J) โดย 1 จูล คืองานที่ได้จากแรง 1 นิวตัน หรือความร้อนที่ได้จากกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ไหลผ่านความต้านทาน 1 โอห์ม ในเวลา 1 วินาที นอกจากนี้เรายังสามารถเลือกใช้หน่วยอื่นในการวัดพลังงานได้อีก เช่น กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) แคลอรี (Cal) และ บีทียู (Btu) เป็นต้น

## 2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการจัดการพลังงาน

การจัดการพลังงานคือ ขั้นตอนในการใช้พลังงานอย่างระมัดระวังเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยที่การจัดการพลังงานจะมีทั้งทางด้านเทคนิคและการบริหารจัดการ เพื่อหาวิธีและโอกาสในการประหยัดพลังงานที่เหมาะสม

## 2.2.1 ทฤษฎีการจัดการพลังงานในระบบ ISO 50001 [4]

ISO 50001 คือ ระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐานสากล หรือเรียกอย่างย่อว่า EnMS ซึ่งมาตรฐาน ISO 50001 มีวัตถุประสงค์ในการส่งเสริมให้องค์กรดำเนินการปรับปรุงสมรรถนะพลังงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดต้นทุนด้านพลังงาน ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้เป็นกรอบในการบริหารจัดการพลังงานสำหรับธุรกิจการค้า โรงงาน อุตสาหกรรม และองค์กรต่าง ๆ โดยมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 กำหนดให้มีการระบุขอบเขต และขอบข่ายของการจัดทำระบบการจัดการพลังงานให้เหมาะสมกับองค์กร โดยผู้บริหารระดับสูงจะประกาศแต่งตั้งผู้แทนฝ่ายบริหารและจะสรรหาคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานเพื่อร่วมดำเนินการจัดทำระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 จากนั้นองค์กรต้องจัดให้มีการวางแผนพลังงาน การปฏิบัติ การตรวจสอบ และการทบทวน โดยต้องปฏิบัติอย่างต่อเนื่องตามหลักการ PCDA

การวางแผนพลังงาน (PLAN) โดยการวัดและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานเพื่อบ่งชี้ลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Use: SEU) ขององค์กร และกำหนดข้อมูลฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline: EnB) ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy Performance Indicators: EnPIs) และสมรรถนะด้านพลังงานในปัจจุบันของกระบวนการ หรือเครื่องจักรหลักในพื้นที่ของลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญนั้น เพื่อชี้บ่งโอกาสในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานขององค์กร โดยกำหนดเป็นวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และแผนปฏิบัติการด้านพลังงานให้สอดคล้องกับนโยบายพลังงาน กฎหมายและข้อกำหนดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

การปฏิบัติ (DO) คือการดำเนินการตามแผนปฏิบัติการด้านพลังงาน ซึ่งครอบคลุมถึงการดำเนินการด้านอื่น ๆ ที่จะทำให้ระบบการจัดการพลังงานมีความยั่งยืนดังนี้

ด้านความสามารถ การฝึกอบรม และความตระหนักรู้ด้านพลังงานของบุคลากรในองค์กร (Competence Training and awareness)

ด้านการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกองค์กร (Communication)

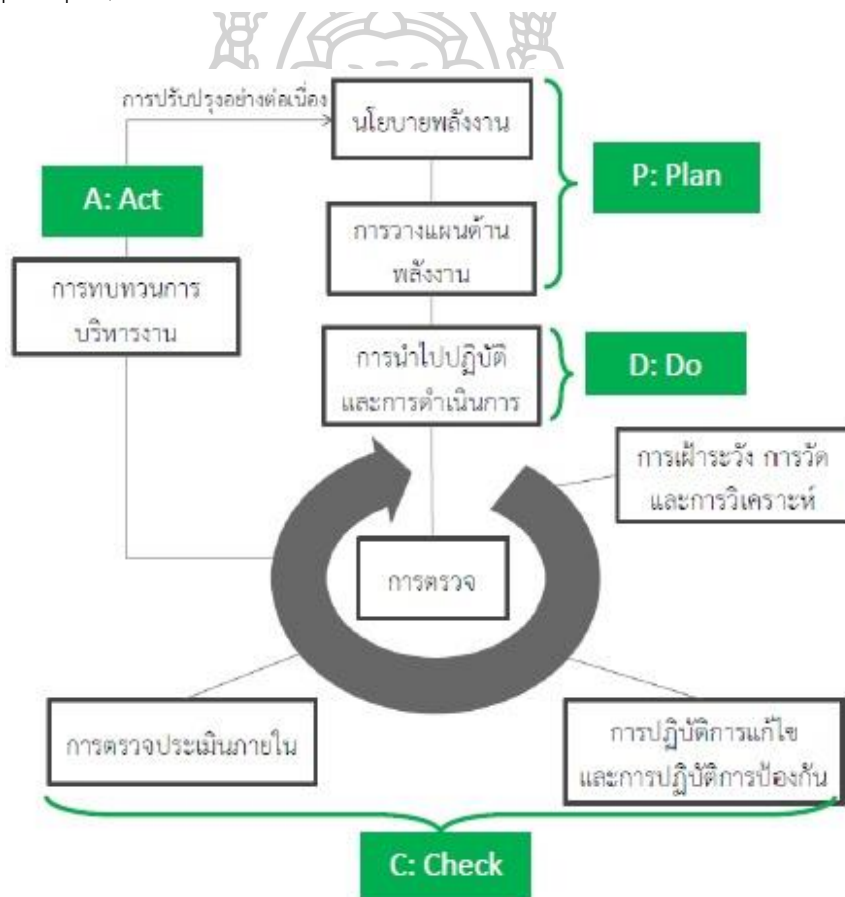
ด้านระบบเอกสาร (Documentation) ซึ่งต้องดำเนินการจัดทำเอกสารให้สอดคล้องกับข้อกำหนดและการควบคุมเอกสาร

ด้านการควบคุมการปฏิบัติงาน (Operational Control) และการบำรุงรักษา เฉพาะกระบวนการหรือเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญและมีผลกระทบต่อสมรรถนะด้านพลังงาน ถ้ามีความจำเป็นก็ควรกำหนดวิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction :WI หรือ Standard Operating Procedure: SOP) ของแต่ละอุปกรณ์ เช่น วิธีปฏิบัติงานการเริ่มเดินหม้อไอน้ำ เป็นต้น

ด้านการออกแบบและการจัดซื้อสำหรับกระบวนการเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญและมีผลกระทบต่อสมรรถนะด้านพลังงาน รวมถึงการบริการด้านพลังงาน

การตรวจสอบ (CHECK) เป็นกระบวนการในการตรวจติดตามและเฝ้าระวัง เพื่อให้มีความเชื่อมั่นได้ว่าระบบการจัดการพลังงานขององค์กรยังคงอยู่และมีสมรรถนะด้านพลังงานที่ดี โดยการกำหนดแผนในการเฝ้าระวังและการตรวจติดตามตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะด้านพลังงาน การตรวจติดตามความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์และเป้าหมายด้านพลังงานโดยการวัด และเครื่องมือวัดที่ใช้ต้องมีความเที่ยงตรง การตรวจสอบยังรวมถึงการตรวจประเมินภายในของระบบการจัดการพลังงาน (Internal audit) ที่ต้องทำทุกปี หากพบข้อบกพร่องหรือแนวโน้มที่จะเกิดข้อบกพร่องต้องดำเนินการแก้ไข และการปฏิบัติการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำ

การทบทวน (ACT) องค์กรต้องดำเนินการทบทวนการบริหารโดยผู้บริหารระดับสูงทุกปี เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการจัดการพลังงานยังคงอยู่ และมีการปรับปรุงและพัฒนาได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งครอบคลุมในทุก ๆ ด้านของระบบการจัดการพลังงาน



รูปที่ 2 แผนภาพกระบวนการของมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001  
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, คู่มือการปฏิบัติงานการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐานสากล ISO 50001 สำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม [4]



## 2.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการจัดการพลังงาน

การวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงาน เช่น ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน เพื่อให้ทราบถึงสถานการณ์การใช้พลังงาน และแหล่งการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ มีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น จัดทำเส้นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิต แผนภูมิวงกลม และแผนภูมิพาเรโต เป็นต้น โดยเครื่องมือเหล่านี้จะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

แผนภูมิ เป็นแผนภาพที่อธิบายความแตกต่างของข้อมูลจากการเก็บบันทึก แผนภูมิใช้สำหรับนำเสนอข้อมูลที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจโดยอาศัยการพิจารณาด้วยตาเปล่าได้ สามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีอื่น แผนภูมิที่สำคัญได้แก่ แผนภูมิเส้น แผนภูมิแท่ง และแผนภูมิวงกลม โดยรายละเอียดของแผนภูมิแต่ละชนิดมีดังนี้ [5]

แผนภูมิเส้น เป็นเส้นแผนภูมิที่ใช้แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ลักษณะของแผนภูมิเส้นจะมีแกนตั้งเป็นค่าข้อมูล และแกนนอนเป็นช่วงเวลา แผนภูมิเส้นใช้สำหรับการนำเสนอข้อมูลในกรณีที่ต้องการทราบแนวโน้มของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา หรือใช้สำหรับการดูการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

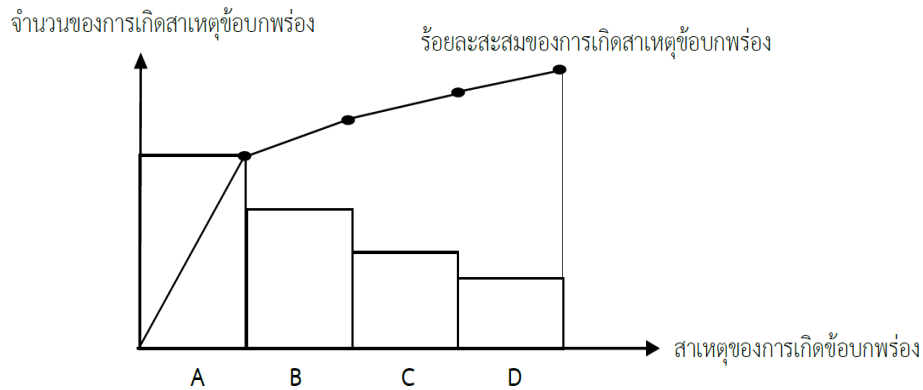
แผนภูมิแท่ง เป็นแผนภูมิรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากัน โดยจะใช้ขนาดความยาวหรือความสูงของแท่งแผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนข้อมูล การนำเสนอข้อมูลคล้ายกับแผนภูมิเส้น โดยที่แผนภูมิแท่งสามารถนำเสนอได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน แผนภูมิแท่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ แผนภูมิแท่งเชิงเดี่ยว แผนภูมิแท่งเชิงซ้อน และแผนภูมิแท่งเชิงประกอบ โดยแผนภูมิแท่งเชิงเดี่ยวใช้แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลชุดเดียว และแสดงลักษณะของข้อมูลที่สนใจเพียงลักษณะเดียว ส่วนแผนภูมิแท่งเชิงซ้อนใช้แสดงการเปรียบเทียบของข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป และแผนภูมิแท่งเชิงประกอบใช้เปรียบเทียบข้อมูลในช่วงเวลาต่างกัน โดยในแต่ละแท่งจะแสดงรายละเอียดหรือส่วนย่อยของข้อมูลที่เรียงต่อกันในแนวตั้ง

แผนภูมิวงกลม มีลักษณะเป็นวงกลมที่มีการแบ่งส่วนของข้อมูลจากจุดศูนย์กลางของวงกลมออกเป็นกลุ่ม ๆ ใช้สำหรับเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลชนิดเดียวกันในรูปแบบร้อยละ ซึ่งการนำเสนอข้อมูลคล้ายกับแผนภูมิเส้นและแผนภูมิแท่ง

แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิใช้แสดงสาเหตุของปัญหาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่อง โดยแสดงสาเหตุหลักและสาเหตุรองตามลำดับ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจว่าควรปรับปรุงสาเหตุใดก่อน และใช้ตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นหลังจากการแก้ไขปรับปรุง แผนภูมิพาเรโตมีลักษณะเป็นแผนภูมิแท่งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากัน และในแต่ละแท่งจะเรียงชิดติดกัน แต่แผนภูมิพาเรโตจะประกอบด้วยแกนตั้ง 2 แกนและแกนนอน 1 แกน คือ แกนตั้งด้านซ้ายเป็นจำนวนของการเกิดสาเหตุข้อบกพร่อง แกนตั้งด้านขวาเป็นร้อยละสะสมของการเกิด



สาเหตุข้อบกพร่อง ส่วนแกนนอนเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย และมีเส้นแสดงร้อยละ



รูปที่ 3 ลักษณะของแผนภูมิพาเรโต

ที่มา : เรื่องลักษณะ บุตรเพชร และคณะ, เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด [5]

### 2.2.3 การประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption; SEC) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานในระดับรายผลผลิต โดยวัดปริมาณพลังงานที่ใช้เทียบกับหน่วยนับทางกายภาพของผลผลิต การเปรียบเทียบค่า SEC สามารถทำได้ทั้งในเชิงเดี่ยว เพื่อติดตามพฤติกรรมการใช้พลังงานของโรงงานนั้น ๆ ในแต่ละช่วงเวลา หรือเปรียบเทียบค่า SEC ในเชิงกลุ่มสำหรับโรงงานในกลุ่มเดียวกันซึ่งมีกิจกรรมการใช้พลังงานและผลผลิตคล้ายคลึงกัน

การเปรียบเทียบค่า SEC ในเชิงเดี่ยว เป็นการเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงานเมื่อเวลาเปลี่ยนไปของโรงงานนั้น ๆ เองแต่ทั้งนี้การเลือกใช้หน่วยวัดผลผลิตจะต้องสะท้อนภาพการใช้พลังงานของโรงงานได้อย่างเหมาะสมและสามารถนำไปเปรียบเทียบกับโรงงานอื่นในกลุ่มเดียวกันได้ด้วย

การเปรียบเทียบค่า SEC ในเชิงกลุ่ม เป็นการเปรียบเทียบค่า SEC ของโรงงานในกลุ่มเดียวกันซึ่งมีลักษณะการใช้พลังงานและผลผลิตที่คล้ายกัน การเลือกใช้หน่วยนับผลผลิตที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มนั้น ๆ มีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าโรงงานนั้นมีผลผลิตหลายอย่าง วิธีในการประเมินค่าระดับการใช้พลังงานของแต่ละผลผลิตจะมีความซับซ้อนยิ่งขึ้น และในทำนองเดียวกัน ถ้ามีการคิดค่า SEC แบบเดียวกันทุกเดือนในทุก ๆ โรงงานในกลุ่มเดียวกันก็สามารถเปรียบเทียบค่า SEC ของกลุ่มได้และสามารถนำมากำหนดค่ามาตรฐานการใช้พลังงานในเชิงเปรียบเทียบได้

โดยการคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะของหน่วยผลผลิตทำได้โดยใช้สูตร  
คำนวณดังนี้

$$SEC = \frac{(Ee \times 3.6) + Et}{P} \quad (2-1)$$

กำหนดให้  $SEC$  คือ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของหน่วยผลผลิต (เมกะจูลต่อหน่วย)  
 $Ee$  คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์)  
 $Et$  คือ ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ (เมกะจูล)  
 $P$  คือ ปริมาณผลผลิต (หน่วย)

### 2.3 ทฤษฎีการตรวจวัดพลังงาน [6, 7]

การตรวจวัดการใช้พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ ซึ่งใช้ในการประเมินแนวทางการประหยัดพลังงาน การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน ตลอดจนการตรวจสอบติดตามผลการประหยัดที่เกิดขึ้นจริงหลังจากที่ได้ดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงาน ความสำคัญของการตรวจวัดการใช้พลังงานสามารถสรุปได้ดังนี้

ทำให้ทราบปริมาณการใช้และการสูญเสียพลังงาน ทั้งก่อนและหลังการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงาน

ทำให้ทราบประสิทธิภาพการใช้พลังงานทั้งของเครื่องจักร อุปกรณ์ และของโรงงานโดยรวม

เป็นข้อมูลในการประเมินแนวทางการประหยัดพลังงานที่เป็นได้ และใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

ใช้ในการกำหนดดัชนีการใช้พลังงานเพื่อใช้ตรวจสอบ และติดตามผลการประหยัดพลังงานหลังจากได้มีการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงานไปแล้ว

การตรวจวัดการใช้พลังงานจะเน้นที่การตรวจวัดในสถานะที่โรงงานทำการผลิตปกติ ไม่ใช่ช่วงเวลาที่ต้องเร่งทำการผลิตเนื่องจากมีคำสั่งซื้อเข้ามามากในช่วงเทศกาลหรือในทางกลับกัน ไม่ใช่ช่วงเวลาที่ผลิตน้อยกว่าปกติ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ได้จากสถานะปกตินั้นจะเป็นค่าที่แท้จริงของโรงงาน และสามารถเป็นค่าฐานในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน และใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบก่อนและหลังการดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานได้ ในการ

ตรวจวัดการใช้พลังงานจะกระทำกันอยู่ 2 ลักษณะ คือ การตรวจวัดแบบชั่วขณะ และการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง

การตรวจวัดแบบชั่วขณะ เป็นการตรวจวัดครั้งเดียวเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนการทำงานในขณะที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ทำงานที่สภาวะปกติ ซึ่งในกรณีของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก การตรวจวัดชั่วขณะส่วนใหญ่จะเพียงพอแล้วสำหรับการวิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงาน ข้อดีของการตรวจวัดแบบชั่วขณะคือทำได้ง่ายและประหยัดเวลา ส่วนข้อเสียคือ หากตรวจวัดในช่วงเวลาที่เครื่องจักรไม่ได้ทำงานที่สภาวะปกติจะทำให้ได้ค่าตัวแทนที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ได้เบี่ยงเบนไปจากความจริง

การตรวจวัดแบบต่อเนื่อง เป็นการตรวจวัดการใช้พลังงานซ้ำ ๆ กันอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่ง เช่น ทุกชั่วโมง หรือทุก 15 นาที เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่การตรวจวัดแบบนี้จะทำกับเครื่องจักรที่มีลักษณะการทำงานไม่คงที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา หรือเป็นเครื่องจักรหลักที่มีการใช้พลังงานมากและต้องการทราบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงาน (Energy Load Profile) อย่างละเอียด ข้อดีของการตรวจวัดแบบต่อเนื่องคือ ได้ค่าที่เป็นตัวแทนการทำงานของเครื่องจักรที่ถูกต้องแน่นอน ทำให้สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้เวลาและสิ้นเปลืองกำลังคนในการบันทึกข้อมูลหรือสิ้นเปลืองเงินลงทุนในการเช่าหรือซื้อเครื่องมือวัดที่สามารถบันทึกข้อมูลต่อเนื่องได้อย่างอัตโนมัติ

ความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ เราต้องเลือกใช้เครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงไม่น้อยกว่าความเที่ยงตรงที่เราต้องการ ในการวัดความเที่ยงตรงของเครื่องมือแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดที่แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ และถือเป็นความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

ระดับความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ต่อค่าพิกัด (%)	วัตถุประสงค์การใช้งานหลัก
ระดับ 0.2	$\pm 0.2$	เครื่องมาตรฐานรอง : เครื่องมาตรฐานสำหรับสอบเทียบ การวัดละเอียดมาก
ระดับ 0.5	$\pm 0.5$	การวัดละเอียด : การวัดทั่วไปที่ต้องการความละเอียด
ระดับ 1.0	$\pm 1.0$	การวัดปกติ : การวัดง่าย ๆ เช่น เครื่องวัดปกติตัว ฯลฯ
ระดับ 1.5	$\pm 1.5$	เครื่องวัดอุตสาหกรรม : เครื่องวัดสำหรับแผงจ่ายไฟทั่วไปและแผงควบคุม
ระดับ 2.5	$\pm 2.5$	เครื่องวัดคร่าว ๆ : ใช้กับงานที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรง

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า [6]

ดังนั้นเพื่อให้มีความคลาดเคลื่อนในการวัดน้อยที่สุด เราจึงต้องพยายามเลือกช่วงการวัดให้ใกล้กับค่าพิกัดมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

## 2.4 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ [8]

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

### 2.4.1 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์

#### 2.4.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)

เป็นการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์โดยตรง จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เครื่องเปลี่ยนระบบไฟฟ้าและแบตเตอรี่ โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องมีการออกแบบเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งในการออกแบบระบบจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อสามารถใช้งานได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพที่สุดในการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องใช้ส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น ให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปีค.ศ. 1954 โดยแชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียสัน (Pearson) ซึ่งได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ P-N ของผลึกซิลิคอนจนได้เซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมาเป็นครั้งแรกในโลกซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% โดยในระยะเวลาต่อมาได้มีการวิจัยและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงกว่า 15 % โดยในระยะเริ่มต้นได้นำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางด้านอวกาศดาวเทียมระบบสื่อสารต่าง ๆ จนในปัจจุบันมีการผลิตใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความต้องการการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีสะอาดที่เพิ่มสูงขึ้น และการพัฒนาเทคโนโลยีส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีราคาถูกลงและประสิทธิภาพสูงขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์ทำจากซิลิคอนซึ่งเป็นวัสดุเช่นเดียวกับ Transistors และวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) โดยผลึกซิลิคอนจะถูกทำให้ไม่บริสุทธิ์ โดยการเติมธาตุในกลุ่ม 3 และ 5 ของตารางธาตุซึ่งจะได้ผลึกซิลิคอน (P- Type และ N-type) ตามลำดับที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน เมื่อนำมาต่อเชื่อมกันด้วยกรรมวิธีการแพร่สารระหว่างผลึกทำให้ระหว่างรอยต่อมีสถานะที่เป็นกลาง (Depletion Region) ผลึกซิลิคอนจะวางซ้อนกันเป็นชั้นบางเมื่อมีแสงซึ่งมีอนุภาคโฟตอน (Photon) มาตกกระทบแผ่นชั้นซิลิคอน อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจะเกิดการไหลความไม่สมดุลของประจุระหว่างชั้นเซลล์เมื่อมีการต่อเชื่อมขั้วไฟฟ้าออกไปก็จะเกิดการความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วไฟฟ้านั้นเมื่อนำมาต่อเชื่อมกันเป็นวงจรไฟฟ้าก็จะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างขั้วเกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นมาได้ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน กับการผลิตจากสารประกอบชนิดอื่น ๆ เช่น แกลเลียมอาเซไน (GaAs) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) เป็นต้น กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนจะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นเป็น 2 แบบได้แก่ แบบที่อยู่ในรูปของผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 2 ชนิดคือชนิดเป็นก้อนผลึก (Bulk) และชนิดฟิล์มบาง (Thin film) เซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดก้อนผลึกยังแบ่งออกเป็นชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Mono Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึก

รวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ใน ประเทศไทยได้แก่

เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไวแสงมากที่สุดสามารถรับ แสงที่อ่อน ๆ ได้รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้าต่าง ๆ จึงทำงานได้ในพื้นที่ที่มีเมฆหมอกฝุ่นละอองมีฝนตก ชุก สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงได้ดี แต่ก็มีผลเสียคือประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำจึงทำให้ต้องใช้ พื้นที่มากแผงนิยมนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆเช่นเครื่องคิดเลขนาฬิกาหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ เป็นต้น

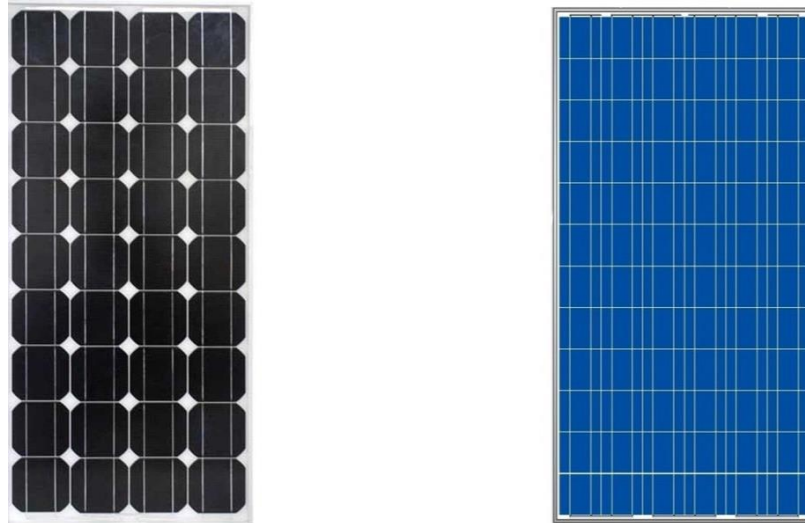


รูปที่ 4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous

ที่มา : Energy Next, ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ [9]

เซลล์แสงอาทิตย์ Crystalline เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของผลึกที่ทำให้เป็นแผ่นฟิล์มชั้นบาง ๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือแบบ Mono crystalline หรือแผงชนิดผลึกเดี่ยว และแบบ Poly crystalline หรือผลึกผสม ทั้งสองชนิดมีข้อดีคือหาอุปกรณ์ต่อพ่วงได้ง่าย มีราคาถูก อายุการใช้งานยาวนานกว่า 20 ปี ทนทาน ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย น้ำหนักเบา แต่มีข้อจำกัดคือ ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อทำงานในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูง

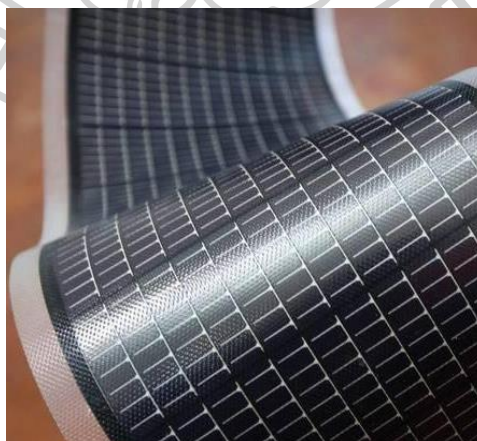




รูปที่ 5 เซลล์แสงอาทิตย์ Crystalline

ที่มา : Energy Next, ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ [9]

เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Super Amorphous แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะรวมเอาข้อดีของทั้ง Amorphous และ Crystalline มาไว้ด้วยกัน โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่า Amorphous และสามารถใช้อุปกรณ์ต่อพ่วงร่วมกับแบบ Crystalline บางชนิดยังมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถบิดตัวม้วนได้ เนื่องจากการปลูกเซลล์ทำบนฐานรองประเภทพลาสติก ทำให้มีน้ำหนักเบา การขนส่งสะดวก สามารถติดตั้งตามพื้นผิวของวัสดุต่างๆ ได้หลากหลาย แต่มีข้อเสียคือราคาแพงกว่าชนิดอื่น ๆ 30-40%



รูปที่ 6 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Super Amorphous

ที่มา : MTB Solar Energy, ชนิด และการเลือกใช้งาน แผงโซลาร์เซลล์ [10]

Charge controller เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งการประจุนี้จะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัด ทำให้เสื่อมสภาพเร็ว และเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วก็ต้องตัดการชาร์จทันที กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีรูปสัญญาณเป็นพัลส์ (Pulse) และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าแบตเตอรี่ ประมาณ 15-20% เนื่องจากมีค่าตัวแปรที่มากเกี่ยวข้องในกระบวนการชาร์จแบตเตอรี่ ได้แก่อุณหภูมิของแบตเตอรี่ ความไม่คงที่ของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ป้อนให้ โดยเฉพาะจากแหล่งพลังงานทดแทนอื่น ๆ เช่นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากกังหันลมหรืออื่น ๆ จึงต้องใช้อุปกรณ์ประมวลผล (Microcontroller) มาทำการประมวลผลและควบคุมการทำงานวงจรชาร์จประจุและใช้วงจร PWM (Pulse Width Modulation) มาสร้างรูปสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้อุปกรณ์ประจุแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 7 Charge controller

ที่มา : IndiaMART, PWM Solar Charge Controller [11]

แบตเตอรี่ (Battery) แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้จัดเก็บพลังงานไฟฟ้ามีการพัฒนาให้มีความเหมาะสมในการใช้งานโดยจะออกแบบให้สามารถจัดเก็บประจุได้มาก และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้นานยิ่งขึ้น หรือเรียกว่าเป็นแบตเตอรี่แบบ Deep cycle โดยการออกแบบให้แผ่นธาตุตะกั่วมีความหนาเป็นพิเศษ เป็นผลทำให้ค่าความต้านทานภายในสูงสามารถจัดเก็บประจุไฟฟ้าได้สูง แต่จะจ่ายกระแสออกมาได้ไม่สูงมากนักซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงในระยะเวลาสั้น ๆ เช่น การใช้กับรถยนต์แบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้ารอกของ (Flock lift) เครื่องสำรองไฟ (Uninterruptible Power Supply: UPS) หรือการเก็บพลังงานสำรองจากแหล่งพลังงานทดแทนต่าง ๆ รวมทั้งพลังงานจากแสงอาทิตย์ด้วยแบตเตอรี่แบบ Deep cycle จะมีราคาขนาด และน้ำหนัก



ที่ต่างกับแบตเตอรี่รถยนต์มาก ถึงแม้ว่ากำลังวัตต์ต่อชั่วโมงหรือความจุของกระแสไฟฟ้าจะเท่ากันก็ตาม ในการใช้งานแบตเตอรี่ต่างๆให้ทนทานจะต้องทราบข้อจำกัดทางด้านอุณหภูมิและระดับความลึกในการคายประจุในระหว่างการทำงานด้วยซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพ และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่การใช้งานจนพลังงานไฟฟ้าหมด จะเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงอย่างมาก ดังนั้นการใช้งานจึงไม่ควรใช้ประจุไฟฟ้าที่ต่ำกว่าระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ และแบตเตอรี่ควรเก็บไว้ในที่อากาศเย็นปกติอุณหภูมิไม่เกิน 25 °C ในส่วนการประจุไฟฟ้าจะต้องไม่ประจุกระแสไฟฟ้าที่สูงเกินไปจะทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัดทำให้เสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 8 แบตเตอรี่แบบ Deep cycle

ที่มา : SOLAY BESTTECH, แบตเตอรี่โซลาร์เซลล์ Deep Cycle GEL Solar battery 12V 200AH

[12]

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้านโดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์จะออกแบบวงจรภายในโดยใช้วงจร Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยมีสัญญาณความถี่ไฟฟ้า 50 Hz ในระบบที่มีขนาดเล็ก ผู้ผลิตอาจจะรวมวงจรอินเวอร์เตอร์เข้าเป็นชุดเดียวกับวงจรควบคุมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Charger and Inverter) ในการใช้งานต้องมีค่ากำลังงานที่สูงกว่ากำลังวัตต์ที่ใช้งาน 15-20 % ทั้งนี้เนื่องจากอินเวอร์เตอร์จะมีประสิทธิภาพประมาณ 80-85% เช่นกำลังวัตต์ที่ต้องการใช้งาน 800 วัตต์ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์ เป็นต้น

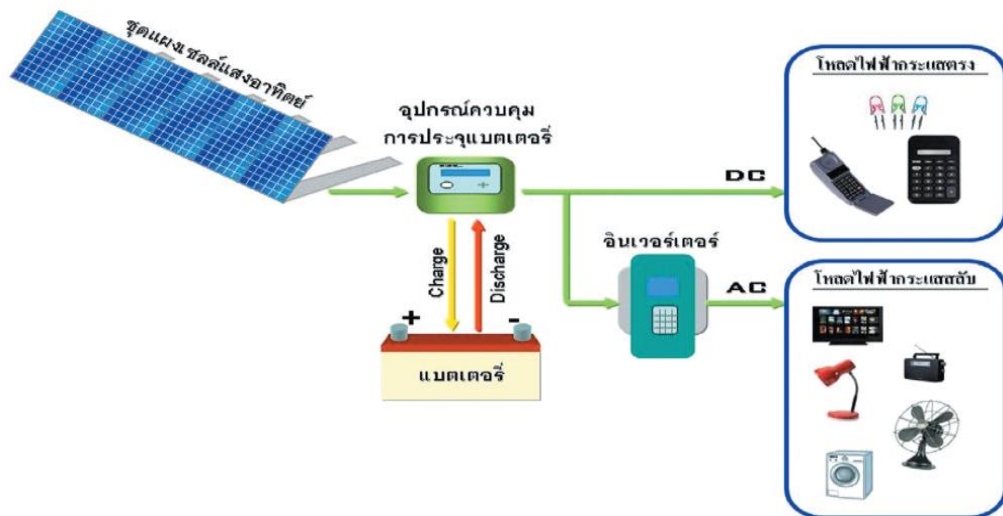


รูปที่ 9 อินเวอร์เตอร์

ที่มา : Baan Solar Cell, SolarEdge 3PH 82.8kW [13]

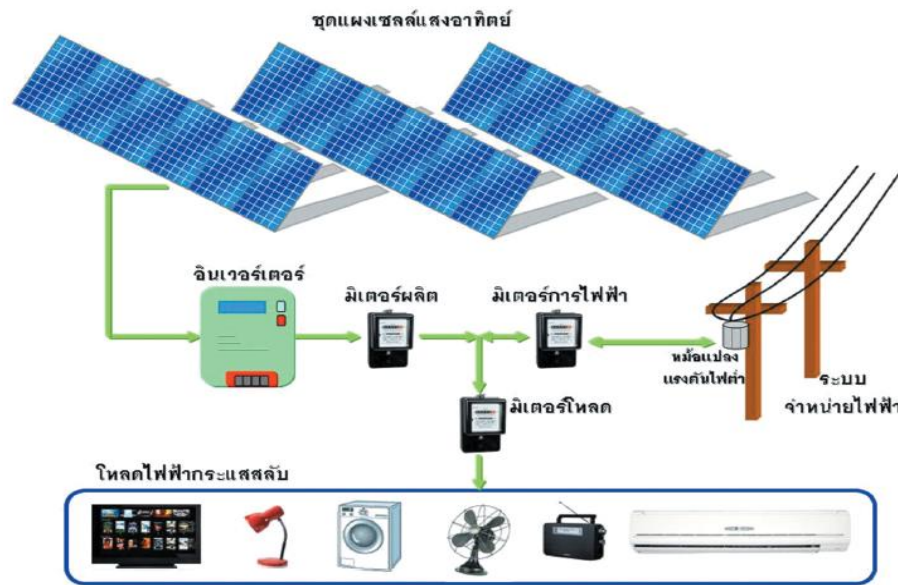
การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ตามรายงานขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA-PVPS) จำแนกลักษณะการเชื่อมต่อเพื่อการใช้งานได้ 3 รูปแบบ คือ แบบไม่เชื่อมต่อบรรณจําหน่ายไฟฟ้า (Off-Grid) แบบเชื่อมต่อระบบจําหน่ายไฟฟ้า (Grid-Connected) และแบบผสมผสาน (Hybrid) เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับกังหันลม และพลังงานน้ำ เป็นต้น

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่เชื่อมต่อบรรณจําหน่ายไฟฟ้า (Off-Grid) เป็นระบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Array : PV) ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นกระแสตรง (DC) เพื่อประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ผ่านการควบคุมการประจุไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charge Controller) ส่วนการใช้ประโยชน์ไฟฟ้าที่เกินไว้ในแบตเตอรี่นั้น สามารถใช้กับโหลดหรือภาระทางไฟฟ้าได้ 2 แบบ คือ โหลดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Load) และโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Load) กรณีโหลดไฟฟ้ากระแสตรงสามารถต่อใช้งานจากอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ได้โดยตรง ส่วนโหลดไฟฟ้ากระแสสลับต้องผ่านอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ



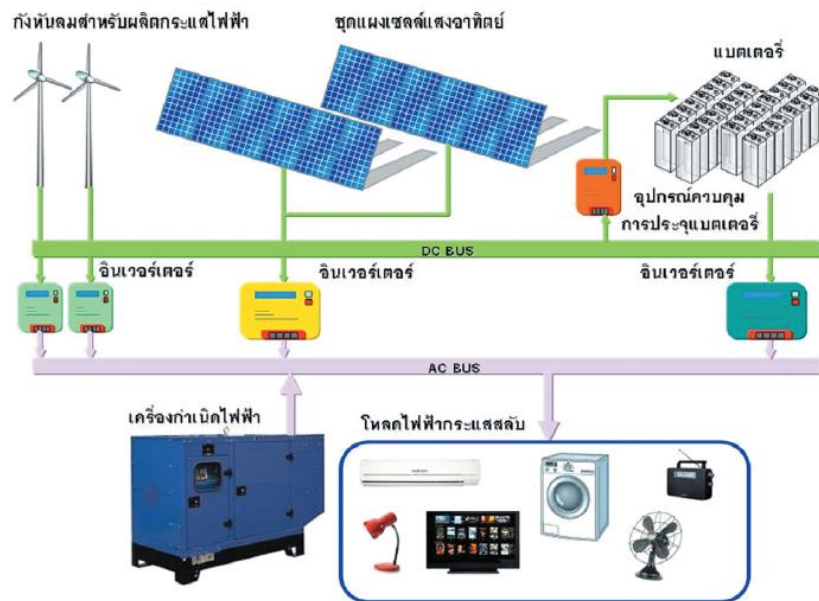
รูปที่ 10 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายไฟฟ้า (Off-Grid)  
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า [8]

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายไฟฟ้า (Grid-Connected ; On-Grid) เป็นระบบที่ถูกรอกแบบให้ทำงานเมื่อมีไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายเท่านั้น และเมื่อระบบเกิดความผิดปกติหรือระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดขัดข้องระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะหยุดการจ่ายไฟฟ้าทันที อุปกรณ์ในระบบจะประกอบไปด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ผ่านไปยังอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่อินเวอร์เตอร์สร้างขึ้นจะมีลักษณะรูปคลื่นทางไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันไซน์อย่างแท้จริง (Pure Sine) โดยมีขนาดของแรงดันไฟฟ้า 220-240 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ และต้องมีลักษณะเฟส (Phase) ที่เข้ากันได้กับระบบของการไฟฟ้า กรณีที่โหลดภายในมีการใช้งานน้อยกว่าปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ ส่วนที่ผลิตเกินขึ้นมาก็จะถูกจ่ายเข้าไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และกรณีที่โหลดภายในมีการใช้งานมากกว่าปริมาณไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ ก็จะมีการดึงพลังงานไฟฟ้าบางส่วนจากการไฟฟ้าเข้ามาเสริมการใช้งานอย่างอัตโนมัติ



รูปที่ 11 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายไฟฟ้า (Grid-Connected ; On-Grid)  
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า [8]

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (Hybrid System) เป็นการรวมเอาระบบผลิตไฟฟ้าจากหลายแหล่งมาต่อเข้าด้วยกัน ส่วนใหญ่จะถูกติดตั้งใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นลักษณะแบบรวมศูนย์ (Centralize) เช่น การผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานระหว่างชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลม และเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีชุดแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์เก็บและสำรองไฟฟ้ การเชื่อมต่อโหลดสามารถเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้ากระแสตรง หรือในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในกรณีเชื่อมต่อทางด้านระบบไฟฟ้ากระแสตรงจะมีโหลดไฟฟ้าเป็นชุดแบตเตอรี่สำรองไฟ ส่วนการเชื่อมต่อทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับต้องผ่านอินเวอร์เตอร์ โดยมีโหลดเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับทั่วไป



รูปที่ 12 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (Hybrid System)

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า [8]

โดยรูปแบบในการติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการติดตั้งอยู่หลายแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และเนื้อที่ใช้สอย โดยปกติมีรูปแบบการติดตั้งอยู่ 4 รูปแบบด้วยกัน คือ การติดตั้งบนพื้น (Ground Mounting) การติดตั้งบนหลังคา (Roof Mounting) การติดตั้งบนโครงบังแดด (Shade Structure Mounting) และการติดตั้งโดยเป็นส่วนหนึ่งของอาคาร (Building-Integrated PV Array)

#### 2.4.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Thermal)

เป็นเทคโนโลยีที่แบบรวมแสงอาทิตย์ไว้ที่ตัวรับแสงโดยการใช้กระจก หรือวัสดุสะท้อนแสงที่หมุนตามดวงอาทิตย์ได้ เพื่อสะท้อนและส่งแสงอาทิตย์ไปยังตัวรับแสงซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ความร้อนที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงกับชุดเครื่องยนต์ (Cycle Heat Engine) ซึ่งติดตั้งอยู่บนตัวรับแสง หรือนำความร้อนที่ได้ไปทำให้ของเหลวร้อนก่อน แล้วนำไปใช้กับเครื่องยนต์ (Central Engine) การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานในปัจจุบันใช้ทั้งวิธีการสะท้อนแสงอาทิตย์มาใช้งานโดยตรง และการใช้โดยอ้อมโดยการใช้ไอน้ำหรือการใช้ลมร้อนเพื่อหมุนเจเนอเรเตอร์ (Generator) มีลักษณะต่างกัันดังนี้



Parabolicdish เป็นระบบรวมแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ความร้อนที่มากพอสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ด้วยการเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับจุดศูนย์กลางของแสง โดยการใช้แผ่นสะท้อนแสงด้วยจานสะท้อนแสงรูปพาราโบลา หรือเรียกว่า “Solar parabolic dish system” ซึ่งจะมีค่าพลังงานความร้อนที่สูงมากตรงบริเวณจุดโฟกัสของแสง แผ่นจานสะท้อนแสงจะทำการหมุนรับแสงตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลาการนำความร้อนมาใช้งาน วิธีการที่สะดวกและนิยมใช้คือการนำเครื่องยนต์ความร้อน (Sterling Engine) มาใช้ในการหมุนเจเนอเรเตอร์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเรื่องของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่คงที่ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันของอุปกรณ์แต่ละชนิด และมักจะเกิดปัญหาในระบบตามมา เหตุนี้จึงทำให้ระบบการผลิตไม่เสถียรทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่ต่อเนื่อง จึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้งานกันมากนัก



รูปที่ 13 Solar parabolic dish

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า [8]

Parabolic Trough เป็นวิธีการรวมแสงอาทิตย์รูปแบบคล้ายจานพาราโบลา แต่จะออกแบบให้จานสะท้อนแสงวางยาวเป็นราง การควบคุมการหมุนรางตามแสงอาทิตย์ทำได้สะดวกขึ้น มีการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนรางสะท้อนแสงต่ำ เนื่องจากเป็นระบบขับเคลื่อนแบบ 1 แกน การนำพลังงานความร้อนออกมาใช้ก็สะดวก ทำได้โดยการวางท่อน้ำร้อนไปตามแนวจุดโฟกัสของจาน ความ

ร้อนที่ได้มีค่าความร้อนสูงมากจนน้ำร้อนกลายเป็นไอ และมีความดันที่สูงมากสามารถนำไปหมุนสตรีมเทอร์ไบน์และหมุนเจนเนอเรเตอร์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ไอน้ำที่ผ่านเทอร์ไบน์แล้วอุณหภูมิก็จะลดลงกลับตัวเป็นน้ำร้อนที่สามารถหมุนวนไปรับพลังงานความร้อนที่งานได้อีก ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น



รูปที่ 14 Parabolic Trough

ที่มา : EU SOLARIS, Parabolic Trough [14]

Solar Thermal Tower เป็นวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้วิธีรวมแสงอาทิตย์ความร้อนที่ได้จากการสะท้อนของแผ่นสะท้อนแสงหลายแผ่นมารวมกันที่ จุذبแสงบนหอสูง (Tower) แผ่นสะท้อนแสงแต่ละแผ่นก็จะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ท่ามกับดวงอาทิตย์โดยให้มีการสะท้อนแสงมาตกกระทบกับจุذبแสงบนหอสูงตลอดเวลา ซึ่งภายในหอสูงจะมีท่อน้ำร้อนซึ่งเมื่อน้ำได้รับความร้อนก็จะเดือดกลายเป็นไอ (Stream) ที่มีความดันสูงมาก ไอน้ำนี้จะถูกนำไปใช้เพื่อไปหมุนสตรีมเทอร์ไบน์และเจนเนอเรเตอร์ ทำการผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา วิธีนี้ต้องมีการสร้างเป็นโครงการขนาดใหญ่มีปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ตรงเยอะมาก



รูปที่ 15 Solar Thermal Tower

ที่มา : AFRICA SURVEYORS ONLINE NEWS, Case Study: DEWA Concentrated Solar Power Tower [15]

Solar Chimney Tower เป็นวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการหมุนของเทอร์ไบน์ที่ติดตั้งอยู่ในปล่องท่อที่มีลมร้อนไหลผ่านตามหลักการเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศ เมื่ออากาศได้รับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ที่อยู่รอบฐานปล่องแล้ว อากาศร้อนจะไหลสูงขึ้นที่สูง เมื่อมีพื้นที่รับแสงมากปริมาณอากาศที่ไหลเวียนก็จะมากขึ้น จึงทำให้เกิดแรงดูดอากาศที่เย็นกว่าเข้ามาที่ฐาน อากาศที่ร้อนก็จะไหลรวมกันเข้าไปในปล่อง ภายในจะมีการออกแบบให้กระแสลมเร่งความเร็วสูงขึ้นโดยใช้จุมูกรีดลม (Nuzzle) ทำให้ได้พลังงานมากขึ้น เพื่อหมุนใบพัดกังหันลมภายในท่อที่ติดตั้งเจนเนอเรเตอร์เพื่อทำการผลิตไฟฟ้าออกมา วิธีการผลิตไฟฟ้าวิธีนี้เพื่อให้ได้พลังงานมาก ๆ จึงต้องสร้างเป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่ ทำให้มีการลงทุนสูงและมีการใช้พื้นที่ในบริเวณที่กว้างมาก จึงเหมาะสมกับประเทศที่มีแสงแดดมากมีพื้นที่ที่กว้างขวาง เช่น ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา หรือประเทศแถบตะวันออกกลาง เป็นต้น





รูปที่ 16 Solar Chimney Tower

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า [8]

#### 2.4.2 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

ประเทศไทยใช้เทคโนโลยีการผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นระยะเวลา ยาวนาน ทั้งในรูปแบบการผลิตน้ำร้อน และการอบแห้ง ปัจจุบันมีกิจกรรมหลายประเภทที่จำเป็นต้อง ใช้น้ำร้อน เช่น โรงพยาบาล โรงแรม ร้านอาหาร ร้านเสริมสวย เป็นต้น สำหรับการผลิตน้ำร้อนได้มีการ ใช้พลังงานหลายรูปแบบ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีการต้มโดยใช้พลังงานจากก๊าซ และไฟฟ้า หรือหาก เป็นกิจกรรมขนาดใหญ่จะใช้หม้อต้ม (Boiler) ที่ใช้น้ำมันเตา หรือน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

##### 2.4.2.1 การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Water Heating)

การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเทคโนโลยีการนำความร้อนจาก แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะประเทศเมื่องหนาวที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนในแต่ละวันใน ปริมาณที่สูง ในขณะที่ประเทศไทยเครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์เป็นการใช้พลังงานในรูปความ ร้อน โดยตัวรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) เป็นตัวดูดเก็บพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อน ให้น้ำ ทำให้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำเป็นน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 40-70 °C ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้สำหรับ การอาบน้ำ การซักล้าง ซึ่งเป็นการทำน้ำร้อนเพื่อรองรับการใช้งานทั้งในบ้านพักอาศัย โรงแรม โรงพยาบาล หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ส่วนใหญ่ยังใช้ไฟฟ้า แก๊ส เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากความ สะดวกสบายในการใช้งานและมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก แต่ทั้งนี้ภายใต้สถานการณ์ราคาพลังงานที่เพิ่ม สูงขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน รวมไปถึงราคาเทคโนโลยีที่มีแนวโน้มถูกลง การทำน้ำร้อนด้วยพลังงาน แสงอาทิตย์จึงนับเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพื่อนำมาทดแทนพลังงานเชิงพาณิชย์

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีส่วนประกอบอยู่ 2 ส่วน คือ ตัวรับแสงอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อน ซึ่งการออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานความต้องการของผู้ใช้ โดยทั่วไปแผงรับแสงอาทิตย์สามารถจำแนกได้ดังนี้

แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collector) เป็นแบบที่สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำ แผงรับแสงแบบนี้จะไม่มีอุปกรณ์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ (Non-tracking solar collector) ได้แก่ แผงรับแสงแบบแผ่นเรียบชนิดที่แผ่นปิดใส (Singleglazed) และแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบชนิดไม่มีแผ่นปิด (Unglazed) เป็นต้น

แผงรับแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated Tube Solar Collector) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนอีกรูปแบบหนึ่ง มีลักษณะเป็นหลอดแก้วสองชั้น ระหว่างชั้นเป็นสุญญากาศ ภายในเคลือบด้วยสารดูดกลืนรังสี มีประสิทธิภาพสูงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการน้ำร้อนอุณหภูมิสูง

สระแสงอาทิตย์ (Solar Pond) เป็นแบบที่สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำ และไม่มีอุปกรณ์บังคับให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ได้แก่ ชนิดตื้น (Shallow solar pond) และชนิดลึก (Deep or salt gradient solar pond) เป็นต้น

ระบบผลิตน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์มาผสมผสานกับความร้อนเหลือทิ้ง เช่น จากการระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศ จากหม้อต้มไอน้ำ จากปล่องไอเสีย โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เพื่อลดขนาดพื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ และใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า ในกิจการของโรงงาน โรงพยาบาล โรงแรม หรือกิจกรรมอื่น ๆ ทั่วไปจะมีความร้อนเหลือทิ้งจากอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ หม้อไอน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า การนำความร้อนเหลือทิ้งเหล่านั้นกลับมาใช้ประโยชน์ เป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถผลิตน้ำร้อนได้ โดยหลักการผลิตน้ำร้อนจากความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศหรือตู้แช่เย็น คือจะมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างความร้อนจากคอนเดนเซอร์แลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำ ส่งผลให้น้ำเมื่อผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 17 ระบบผลิตน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน  
ที่มา : Thaienergysaving, SUNSAV [16]

#### 2.4.2.2 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Water Heating)

การอบแห้งแห้งเป็นวิธีหนึ่งของการถนอมอาหาร ซึ่งนิยมทำกันทั้งระดับชาวบ้านและอุตสาหกรรมมาช้านานแล้ว การทำให้แห้งมีหลายวิธี เช่นการตากด้วยแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งแบบเย็นเยือกแข็ง เป็นต้น วิธีตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ จะมีความสะดวกและมีค่าใช้จ่ายน้อย โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่ได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย การตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม เช่น การตากเนื้อ ปลา พืช ผัก และผลไม้ จะมีปัญหาเรื่องฝุ่นละออง มีเชื้อจุลินทรีย์ แมลงวันตอมเป็นพาหะนำเชื้อโรค เมื่อฝนตกหรืออากาศเย็น การตากอาจมีปัญหาเรื่องเชื้อรา เป็นเหตุให้เก็บไว้ได้ไม่นาน ทำให้ผู้บริโภคอาจเจ็บป่วยได้ การพัฒนาการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งจากแหล่งพลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง

ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หลักการคือแสงอาทิตย์ส่องผ่านเข้าไปในตู้ เมื่อแสงแดดผ่านเข้าตู้จะทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุดิบที่ต้องการอบแห้ง น้ำที่ระเหยจากวัตถุดิบจะลอยตัวและไหลออก อากาศเย็นจะไหลเข้ามาแทนที่ เกิดการหมุนเวียนภายในตู้อบ โดยปกติจะมีอุณหภูมิ 60-70 °C หากทำระบบใหญ่อาจเรียกว่าโรงอบ และปกติวัสดุที่ใช้ทำประกอบด้วยกระจกหรือโพลีคาร์บอเนต ด้านในตู้อบอาจทาสีดำเพื่อให้ดูดกลืนแสงแดดได้มากขึ้น การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันมีการยอมรับใช้งาน 3 ลักษณะ คือ การอบแห้งระบบ Passive การอบแห้งระบบ Active และการอบแห้งระบบ Hybrid

การอบแห้งระบบ Passive คือระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ และกระแสลมที่พัดผ่าน ได้แก่ เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุ ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่ใช้ออบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวเอง อากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศขึ้น และ ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ ทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านวัสดุอบแห้ง

การอบแห้งระบบ Active คือระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น จะมีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบ พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัดลมและห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของพืชผล จึงพาความชื้นจากพืชผลออกสู่ภายนอกทำให้พืชผลที่อบไว้แห้งได้

การอบแห้งระบบ Hybrid คือระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่นๆ ช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วย





รูปที่ 18 โรงอบแห้งผลิตภัณฑ์การเกษตรพลังงานแสงอาทิตย์  
ที่มา : โครงการหลวงวัดจันทร์, โรงอบแห้งผลิตภัณฑ์การเกษตรพลังงานแสงอาทิตย์ [17]

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความเย็น เป็นระบบทำความเย็นที่ใช้พลังงานความร้อนเป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อน ที่ได้รับความสนใจในปัจจุบันคือ ระบบปรับอากาศด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Cooling System) เพราะเป็นเทคโนโลยีที่ใช้แหล่งพลังงานสะอาด ไม่มีวันหมดไปจากโลก อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน ดังนั้นเทคโนโลยีการปรับอากาศด้วยพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์จึงถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานหลักในระบบการปรับอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ ระบบทำความเย็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า (Solar electric cooling system) และระบบทำความเย็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อน (Solar thermal electric cooling system)

ระบบทำความเย็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า (Solar electric cooling system) เป็นการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการทำความเย็นอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าคือ เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะเป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนระบบทำความเย็นต่อไป

ระบบทำความเย็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อน (Solar thermal electric cooling system) เป็นระบบที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อน แล้วนำความร้อนที่ได้ไปขับเคลื่อนระบบทำความเย็น ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบใหญ่คือ ระบบที่

ขับเคลื่อนด้วยกระบวนการกลจักรเชิงความร้อน (Thermal mechanical Process) และระบบที่ขับเคลื่อนด้วยการถ่ายเทความร้อน (Heat transformation)

## 2.5 เทคโนโลยีระบบหม้อไอน้ำ [18]

### 2.5.1 ระบบหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำ (Steam Boiler) หมายถึงภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำที่มีปริมาตรความจุมากกว่า 2 ลิตรขึ้นไป เมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิง หรือจากแหล่งพลังงานความร้อนอื่น ๆ น้ำที่บรรจุอยู่ภายในจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอน้ำ ภายใต้ความดันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ความสูงระดับน้ำทะเลปานกลางโดยที่ภาชนะปิดนี้ได้รับการออกแบบให้สามารถรับความดันไอน้ำที่เกิดขึ้นภายในได้ พร้อมทั้งมีอุปกรณ์ควบคุมเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน ส่วนประกอบหลักของหม้อไอน้ำสามารถแบ่งได้ 2 ส่วนคือ ระบบการสันดาปและระบบน้ำและไอน้ำ

ระบบการสันดาป (Combustion System) มีส่วนประกอบหลักคือ ห้องเผาไหม้ หรือเตาเผา ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้กำเนิดพลังงานความร้อนขึ้นจากการสันดาประหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศในปริมาณที่เหมาะสม พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ จะถูกถ่ายเทไปให้ระบบน้ำและไอน้ำต่อไป หากหม้อไอน้ำเป็นแบบรับเอาพลังงานความร้อนมาจากภายนอก เช่น หม้อไอน้ำแบบรับความร้อนทิ้ง โดยปกติจะไม่มีระบบการสันดาปอยู่ภายในตัว ซึ่งถ้าหากมีก็เพื่อใช้เติมพลังงานความร้อนเพิ่มเข้าไปหากพลังงานความร้อนที่ได้รับจากภายนอกไม่เพียงพอ โดยทั่วไประบบการสันดาปของหม้อไอน้ำจะแบ่งตามลักษณะของเชื้อเพลิง ได้แก่ เชื้อเพลิงก๊าซ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือก๊าซแอลพีจี ก๊าซชีวภาพ เป็นต้น เชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล เป็นต้น และเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน แกลบ กะลาปาล์ม ไม้ เป็นต้น เชื้อเพลิงก๊าซและเชื้อเพลิงเหลวจะใช้เครื่องฟืนไฟ (Burner) เป็นอุปกรณ์สันดาปเชื้อเพลิงกับอากาศเพื่อกำเนิดพลังงานความร้อนให้กับหม้อไอน้ำ เชื้อเพลิงแข็งบางชนิด เช่น ผงถ่านหินละเอียด ก็สามารถใช้ในเครื่องฟืนไฟชนิดพิเศษที่ออกแบบมาเฉพาะใช้ในหม้อไอน้ำแบบพัลเวอร์ไรซ์ ส่วนเชื้อเพลิงแข็งส่วนใหญ่จะใช้ตะกรับเตา (Stoker) เป็นอุปกรณ์สันดาปเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งก็คือการนำเอาเชื้อเพลิงแข็งที่มีลักษณะเป็นก้อนหรือชนิดเล็ก ๆ มาเผาบนตะกรับเตาให้เกิดการลุกไหม้ขึ้นเอง ตะกรับเตามีหลายแบบ เช่น ตะกรับเตาแบบโปรยลง (Spreader Stoker) ตะกรับเตาแบบป้อนล่าง (Underfeed Stoker) ตะกรับเตาแบบสั่น (Vibrating Grate Stoker) ตะกรับเตาแบบเคลื่อนที่ (Travelling Grate Stoker) เป็นต้น นอกจากนี้เชื้อเพลิงแข็งยังสามารถสันดาปโดยวิธีอื่น ๆ ได้อีก เช่น แบบฟลูอิดไดซ์เบด และแบบไซโคลน เป็นต้น

ระบบน้ำและไอน้ำ (Water and Steam System) มีโครงสร้างเป็นภาชนะรับแรงดันภายในโครงสร้างนี้สามารถบรรจุน้ำและไอน้ำที่มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศได้ พร้อมทั้งมีอุปกรณ์ป้อนน้ำเข้าระบบ อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ และอุปกรณ์ควบคุมความดันไอน้ำให้อยู่ในสภาวะการใช้งานปกติ น้ำที่บรรจุไว้ในระบบจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำเมื่อดูดซับเอาพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสันดาป พลังงานความร้อนดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทำให้ถึงจุดเดือดและใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอ เรียกว่า ไอน้ำ (Steam) โดยไอน้ำที่ได้จากขั้นต้นนั้น คือไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ในหม้อกักเก็บไอน้ำ (Steam Drum) โดยทั่วไปแล้วไอน้ำอิ่มตัวสามารถนำไปใช้งานได้ แต่หากต้องการไอน้ำที่แห้งมากขึ้นและมีพลังงานความร้อนที่สูงขึ้นมากกว่าไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันเท่ากัน ซึ่งสามารถทำได้จากการปล่อยให้ไอน้ำอิ่มตัวไหลออกจากหม้อกักเก็บไอน้ำผ่านเข้าอุปกรณ์ที่เรียกว่าซูเปอร์ฮีตเตอร์ (Superheater) เพื่อดูดซับเอาพลังงานความร้อนที่ได้จากการสันดาปเพิ่มขึ้นอีก ผลที่ได้ก็คือไอน้ำอิ่มตัวกลายเป็นไอน้ำยิ่งยวด (Superheat Steam)

#### 2.5.2 ประเภทของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะของการถ่ายเทความร้อนได้ 3 แบบ คือ หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ และหม้อไอน้ำแบบผสม

หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Steam Boiler) เป็นหม้อไอน้ำที่แบ่งแยกส่วนการไหลของก๊าซร้อนอยู่ในท่อไฟ (Fire Tube) ส่วนน้ำจะอยู่ล้อมรอบท่อภายนอก โดยท่อไฟทั้งหมดจะอยู่ภายในเปลือกและเปลือกนั้นจะมีหน้าที่เป็นภาชนะใส่น้ำทั้งหมด รวมถึงเป็นภาชนะรับความดันไอน้ำด้วย การถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากก๊าซร้อนถ่ายเทให้ผิวท่อด้านในแล้วส่งผ่านไปยังผิวท่อด้านนอก ทำให้น้ำที่อยู่ล้อมรอบท่อไฟได้รับพลังงานความร้อนในปริมาณหนึ่งซึ่งมากพอที่จะทำให้เดือดกลายเป็นไอ โดยจุดเดือดของน้ำนั้นจะแปรผันตามความดันของน้ำในขณะนั้นด้วย





รูปที่ 19 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

ที่มา : สภาวิศวกร, ร่างมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ (Code of Practice) เรื่อง ระบบหม้อไอน้ำ [18]

หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water Tube Steam Boiler) เป็นหม้อไอน้ำที่แบ่งแยกส่วนการไหลของก๊าซร้อนอยู่ภายนอกท่อ ส่วนน้ำจะอยู่ภายในท่อ หม้อกักเก็บไอน้ำจะมีหน้าที่เป็นภาชนะใส่น้ำทั้งหมดรวมถึงเป็นภาชนะรับความดันไอน้ำด้วย การถ่ายเทพลังงานความร้อนจะเกิดจากผิวท่อด้านนอกแล้วส่งผ่านไปยังผิวท่อด้านในทำให้น้ำที่อยู่ภายในท่อได้รับพลังงานความร้อนในปริมาณหนึ่งที่มากพอที่จะทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอโดยจุดเดือดของน้ำนั้นจะแปรผันตามความดันของน้ำขณะนั้นด้วย



รูปที่ 20 หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ

ที่มา : สภาวิศวกร, ร่างมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ (Code of Practice) เรื่อง ระบบหม้อไอน้ำ [18]

หม้อไอน้ำแบบผสม (Combination Steam Boiler) เป็นหม้อไอน้ำที่คิดค้นขึ้นมาจากการดัดแปลงหม้อไอน้ำแบบท่อไฟให้สามารถใช้กับเชื้อเพลิงแข็งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำเอาห้องเผาไหม้ผนังน้ำแบบที่มีอยู่ในหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำมาใช้เป็นต้นกำเนิดพลังงานความร้อนแทนเครื่องพ่นไฟที่ใช้กับเชื้อเพลิงก๊าซและน้ำมัน ภายในห้องเผาไหม้มีตะกรับเตา (Stoker) สำหรับสันดาปเชื้อเพลิงแข็งกับอากาศ โดยส่วนหนึ่งคือระบบสันดาป และอีกส่วนหนึ่งคือระบบน้ำและไอน้ำโดยการนำเอาหม้อไอน้ำท่อไฟที่ไม่มีเครื่องพ่นไฟมาเชื่อมต่อกับห้องเผาไหม้บริเวณทางออกของก๊าซสันดาป เพื่อให้ก๊าซสันดาปไหลเข้าไปถ่ายเทพลังงานความร้อนในระบบน้ำและไอน้ำเชื่อมต่อกับท่อน้ำและท่อไอน้ำเข้าระหว่างระบบสันดาปกับระบบน้ำและไอน้ำเพื่อให้ น้ำที่อยู่ภายในหม้อก็กักเก็บไอน้ำได้ไหลเวียนเข้าไปในห้องเผาไหม้ ส่วนไอน้ำที่กำเนิดขึ้นจากผนังน้ำในห้องเผาไหม้ให้ไหลมากักเก็บไอน้ำในส่วนหนึ่งของห้องเผาไหม้จะกำเนิดไอน้ำแบบท่อน้ำส่วนในระบบน้ำและไอน้ำจะกำเนิดไอน้ำเหมือนกันกับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ



รูปที่ 21 หม้อไอน้ำแบบผสม

ที่มา : สภาวิศวกร, ร่างมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ (Code of Practice) เรื่อง ระบบหม้อไอน้ำ [18]

### 2.5.3 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

โดยพื้นฐานแล้วประสิทธิภาพหม้อไอน้ำสามารถตรวจสอบได้ 2 วิธี ดังนี้

#### 2.5.3.1 การตรวจสอบโดยวิธีทางตรง

เป็นวิธีที่นำพลังงานที่เพื่อขึ้นของของเหลวมาเปรียบเทียบกับพลังงานของเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำ วิธีนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Input-Output Method โดยการคำนวณประสิทธิภาพทำได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\eta_d = \frac{M_s}{(M_f \times H_c)} \times (H_s \times H_w) \times 100 \quad (2-2)$$

- กำหนดให้
- $\eta_d$  คือ ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำทางตรง (%)
  - $M_s$  คือ ปริมาณไอน้ำที่ถูกสร้างขึ้น (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
  - $M_f$  คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
  - $H_c$  คือ ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
  - $H_s$  คือ ค่าพลังงานความร้อนของไอน้ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
  - $H_w$  คือ ค่าพลังงานความร้อนของน้ำที่เข้าระบบ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

#### 2.5.3.2 การตรวจสอบโดยวิธีทางอ้อม

เป็นวิธีวัดประสิทธิภาพโดยพิจารณาจากความต่างระหว่างพลังงานที่สูญเสียไปกับพลังงานที่ใส่เข้าไปในระบบ โดยการคำนวณประสิทธิภาพทำได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\eta_i = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8) \quad (2-3)$$

- กำหนดให้
- $\eta_i$  คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีทางอ้อม
  - $L1$  คือ การสูญเสียความร้อนจากไอเสียแห้ง
  - $L2$  คือ การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการกลายเป็นไอของน้ำที่ก่อตัวจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง
  - $L3$  คือ การสูญเสียความร้อนเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง
  - $L4$  คือ การสูญเสียความร้อนเนื่องจากความชื้นในอากาศ
  - $L5$  คือ การสูญเสียจากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์
  - $L6$  คือ การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการแผ่ความร้อนและการพาความร้อน
  - $L7$  คือ การสูญเสียความร้อนในรูปของซีเฝ้าในอากาศ
  - $L8$  คือ การสูญเสียความร้อนในรูปของซีเฝ้าที่ด้านล่างของหม้อไอน้ำ

## 2.5.4 การอนุรักษ์พลังงานในระบบหม้อไอน้ำ [19]

### 2.5.4.1 การป้องกันการสูญเสียพลังงาน

การสูญเสียพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมอาจเกิดขึ้นได้ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น การรั่วไหลของไอน้ำตามรอยรั่วในระบบ การสูญเสียไอน้ำเนื่องจากความบกพร่องของกักเก็บไอน้ำ การสูญเสียความร้อนจากการหุ้มฉนวนอย่างไม่เหมาะสม การสูญเสียจากการโบลว์ดาวน์ การสูญเสียความร้อนจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ การป้องกันการสูญเสียในรายการเหล่านี้นอกจากการให้ผลในด้านการอนุรักษ์พลังงานแล้วยังมีผลต่อความปลอดภัยและสภาพแวดล้อมการทำงานที่ดีอีกด้วย

การควบคุมการโบลว์ดาวน์ น้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำอาจมีสิ่งเจือปนอยู่ ซึ่งถ้าหากไม่จำกัดทิ้ง จะทำให้เกิดตะกอนในหม้อไอน้ำได้ การกำจัดสิ่งเจือปนนี้สามารถทำได้โดยการปล่อยน้ำร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำ ซึ่งจะทำความเข้มข้นของสิ่งเจือปนลดลง ซึ่งอัตราของการโบลว์ดาวน์ 10% ของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ อาจจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนได้ 1.5% ดังนั้นจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน การใช้อัตราการโบลว์ดาวน์ที่ถูกต้องและการนำความร้อนจากโบลว์ดาวน์กลับมาใช้จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ โดยที่ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อไอน้ำ พ.ศ. 2549 [20] กำหนดเกณฑ์ควบคุมค่าความเข้มข้นของสารละลาย (TDS) อยู่ที่ระดับไม่เกิน 3500 ppm ซึ่งปริมาณการโบลว์ดาวน์ที่เหมาะสมสามารถคำนวณได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$Qa = \frac{TDSb \times Q}{TDSA - TDSb} \quad (2-4)$$

กำหนดให้  $Qa$  คือ ปริมาณการโบลว์ดาวน์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)  
 $Q$  คือ อัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)  
 $TDSA$  คือ ค่าความเข้มข้นของน้ำในหม้อไอน้ำ (PPM)  
 $TDSb$  คือ ค่าความเข้มข้นของน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ (PPM)

การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำ โดยปกติแล้วหม้อไอน้ำจะใช้เชื้อเพลิงและออกซิเจนในอากาศช่วยในการเผาไหม้โดยการเผาไหม้ที่จะให้ประสิทธิภาพสูงได้ต่อเมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้หมด และใช้อากาศส่วนเกินให้น้อยที่สุด โดยก๊าซไอเสียที่ออกจากปล่องควันอยู่ในเกณฑ์ตามค่ามาตรฐานของกรโรงงานอุตสาหกรรม การคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้จากการวัดค่าออกซิเจนในไอเสีย สำหรับหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งปริมาณออกซิเจนไม่ควรเกิน 10% เชื้อเพลิง

เหลวไม่ควรเกิน 4% และเชื้อเพลิงก๊าซไม่ควรเกิน 2% โดยที่ความร้อนสูญเสียในไอเสียสามารถคำนวณได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$Qq = \frac{V \times D \times G \times Cpgx(Tg - Ta)}{1000} \quad (2-5)$$

กำหนดให้	$Qq$	คือ ความร้อนสูญเสียในไอเสีย (เมกะจูลต่อปี)
	$V$	คือ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย (ลิตรต่อปี)
	$D$	คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อลิตร)
	$G$	คือ ปริมาณไอเสียจริง ( $Nm^3 / kg \text{ fuel}$ )
	$Cpg$	คือ ความร้อนจำเพาะของไอเสีย ( $1.39 \text{ KJ}/Nm^3 \cdot ^\circ C$ )
	$Tg$	คือ อุณหภูมิไอเสียภายในปล่อง ( $^\circ C$ )
	$Ta$	คือ อุณหภูมิของบรรยากาศ ( $^\circ C$ )

การหุ้มฉนวนกันความร้อน ในการหุ้มฉนวนกันความร้อนในงานระบบหม้อไอน้ำนั้น มีจุดประสงค์หลักเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งอุณหภูมิต่ำและช่วยลดการใช้พลังงาน อีกทั้งยังช่วยในการลดอันตรายที่อาจจะเกิดจากความร้อนต่อผู้ปฏิบัติงานที่ไปจับหรือแตะต้องท่อหรืออุปกรณ์ในบริเวณที่มีความร้อนสูง วัสดุฉนวนมีคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และการเป็นฉนวนที่แตกต่างกัน เช่น ค่าการนำความร้อน และอุณหภูมิสูงสุดของฉนวนที่ทนได้ โดยวัสดุที่ใช้ทำฉนวนแบ่งออกเป็น 5 พวกใหญ่ ๆ คือ Flake Insulator ฉนวนชนิดนี้มีลักษณะเป็นปุยเม็ดเล็ก ๆ เพื่อแยกอากาศ ทำให้ความร้อนผ่านไปได้ยาก เช่น ไม้ก้ำ เป็นต้น Fibrous Insulation ฉนวนชนิดนี้มีทั้งเป็นสารอินทรีย์ เช่น ไม้ และสารอนินทรีย์ เช่น โยแก้ว โยหิน โยเซรามิก เป็นต้น Granular Insulation ฉนวนชนิดนี้ทำมาจากวัสดุพวก โฟมต่าง ๆ และ Calcium Silicate เป็นต้น Cellular Insulation ฉนวนชนิดนี้ทำมาจาก แก้ว ยาง และพลาสติก เป็นต้น และ Reflective Insulation ฉนวนชนิดนี้ทำมาจากแผ่นโลหะบาง ๆ หรือฟอยด์ซึ่งทำมาจากอลูมิเนียม หรือ สแตนเลส เพื่อที่จะสะท้อนความร้อนให้ย้อนกลับ เช่น ฟิล์มกรองแสง อลูมิเนียมฟอยด์ เป็นต้น

การหุ้มฉนวนที่ไม่เหมาะสมหรือขาดการตรวจสอบดูแลบำรุงรักษาซึ่งก่อให้เกิดการชำรุดหรือเสียหายส่งผลให้เกิดความร้อนสูญเสียเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานหม้อไอน้ำลดลง สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้น โดยปกติแล้วการสูญเสียความร้อนจะเกิดขึ้นได้ 2 รูปแบบคือ การสูญเสียจากการพาความร้อนของอากาศโดยรอบสามารถคำนวณได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้



$$Q_{cb} = h_{cb} \times A \times (T_b - T_a) \quad (2-6)$$

กำหนดให้	$Q_{cb}$	คือ ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการพาความร้อน กิโลแคลอรีจูลต่อชั่วโมง
	$h_{cb}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ )
	$A$	คือ พื้นที่ผิวของวัสดุที่มีความร้อน (ตารางเมตร)
	$T_b$	คือ อุณหภูมิผิวของท่อ ( $^\circ\text{C}$ )
	$T_a$	คือ อุณหภูมิโดยรอบของผิวท่อ ( $^\circ\text{C}$ )

และการสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน สามารถคำนวณได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$Q_{rb} = h_{cb} \times A \times e \times \left[ \left( \frac{273.15 + T_b}{100} \right)^4 - \left( \frac{273.15 + T_a}{100} \right)^4 \right] \quad (2-7)$$

กำหนดให้	$Q_{rb}$	คือ ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน (กิโลแคลอรีจูลต่อชั่วโมง)
	$h_{cb}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ )
	$A$	คือ พื้นที่ผิวของวัสดุที่มีความร้อน (ตารางเมตร)
	$e$	คือ ค่า Emissivity ของแผ่นโลหะ ( $0.5 \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ )
	$T_b$	คือ อุณหภูมิผิวของท่อ ( $^\circ\text{C}$ )
	$T_a$	คือ อุณหภูมิโดยรอบของผิวท่อ ( $^\circ\text{C}$ )

#### 2.5.4.2 การนำพลังงานที่เหลือจากการใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

พลังงานที่เหลือจากการใช้แล้ว (Waste Heat) ในกรณีนี้ ได้แก่ คอนเดนเสทหรือน้ำร้อนจากการใช้งานในกระบวนการผลิตส่วนต่าง ๆ รวมทั้งน้ำร้อนจากการเป่าหรือพ่นทิ้ง (Blow Down) ออกจากหม้อไอน้ำนั้น ยังมีพลังงานความร้อนในตัวสูง จึงควรจะนำกลับมาใช้ประโยชน์ เพราะนอกจากอนุรักษ์พลังงานแล้ว ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายสำหรับเป็นค่าน้ำและค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำอีกด้วย น้ำคอนเดนเสทสามารถใช้งานได้ในสองลักษณะ คือ น้ำกลับคืนไปเป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำโดยตรง และการนำคอนเดนเสทไปผลิตไอน้ำแฟลช (Flash Steam) เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตที่ต้องการไอน้ำความดันต่ำ นอกจากนี้ความร้อนจากก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำ หากมีอุณหภูมิที่สูงเพียงพอก็สามารถนำมาใช้ในการอุ่นน้ำป้อนหรืออากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ให้ร้อนมากขึ้น

ได้ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 1% ต่อทุก ๆ 20 °C ที่อุณหภูมิของก๊าซหรือ  
ว่าน้ำป้อนที่เพิ่มขึ้น

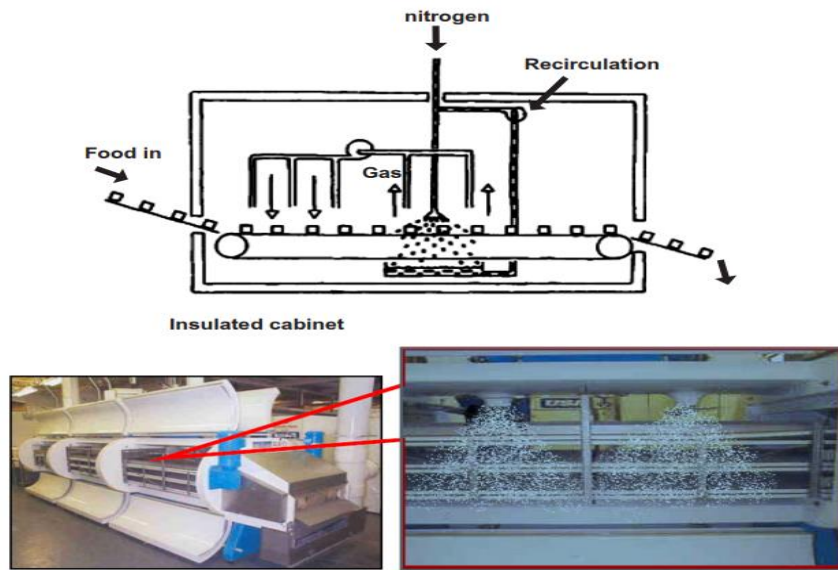
## 2.6 เทคโนโลยีระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศ [21]

### 2.6.1 ระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็น เป็นอีกระบบที่มีการใช้พลังงานสูงมากโดยในโรงงานอุตสาหกรรม  
บางแห่งมีการใช้พลังงานสูงถึง 80-90% ของการใช้พลังงานทั้งหมด การเกิดความร้อนในเครื่องทำ  
ความเย็นรวมทั้งเครื่องปรับอากาศที่มีใช้อยู่ทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นตู้เย็น ตู้แช่ เครื่องปรับอากาศรถยนต์  
เครื่องปรับอากาศในบ้าน เครื่องปรับอากาศในอาคาร หรือการทำความเย็นในโรงงานอุตสาหกรรม  
ทั่วไป จะมีหลักการเบื้องต้นในการทำให้เกิดความร้อนเหมือนกัน คือการทำให้สารตัวกลางในการทำ  
ความเย็น (refrigerant) เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ จากนั้นจะดูดความร้อนจากบริเวณ  
ใกล้เคียงทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลง จึงเกิดความร้อนขึ้น ในปัจจุบันเราอาศัยระบบทำความเย็น  
มาใช้ในงานด้านต่าง ๆ มากมายได้แก่ การผลิตอาหาร การเก็บรักษาอาหาร การทำความเย็นเพื่อการ  
ขนส่ง การปรับอากาศ และการผลิตในงานอุตสาหกรรม ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากยังคง  
ใช้งานระบบทำความเย็นอย่างไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากไม่ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ  
ระบบ รวมถึงวิธีการควบคุมและใช้งานอย่างถูกต้องเหมาะสม อีกทั้งยังมองข้ามการบำรุงรักษาทำให้  
สูญเสียพลังงานอย่างสิ้นเปลือง ระบบทำความเย็นแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ระบบทำความเย็น  
แบบโครโอเจนิค และระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบทำความเย็นแบบโครโอเจนิค (Cryogenic Refrigeration) เป็นระบบที่ใช้สารทำความ  
เย็นเหลวสัมผัสและดึงความร้อนจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งสารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากของเหลว  
กลายเป็นไอ ส่งผลให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งสามารถต่ำลงถึงจุดเยือกแข็งได้โดยใช้เวลาเพียง  
สั้น ๆ เท่านั้น สารทำความเย็นที่นิยมใช้คือ ไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) และคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (CO<sub>2</sub>)

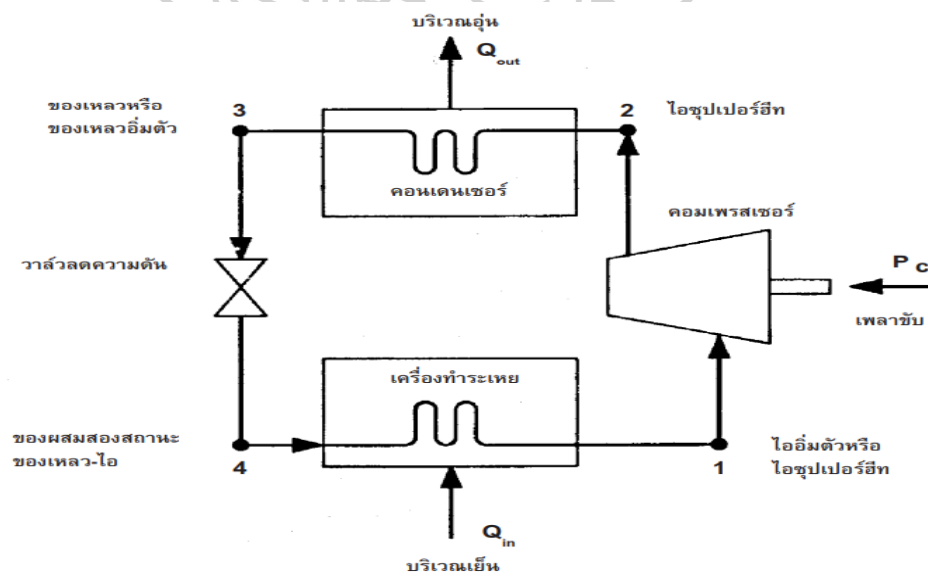




รูปที่ 22 ระบบทำความเย็นแบบไนโตรเจน

ที่มา : สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น [21]

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System) มีอุปกรณ์หลักในการทำงาน 4 ส่วน คือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ วาล์วลดความดัน และเครื่องระเหย ดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ที่มา : สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น [21]

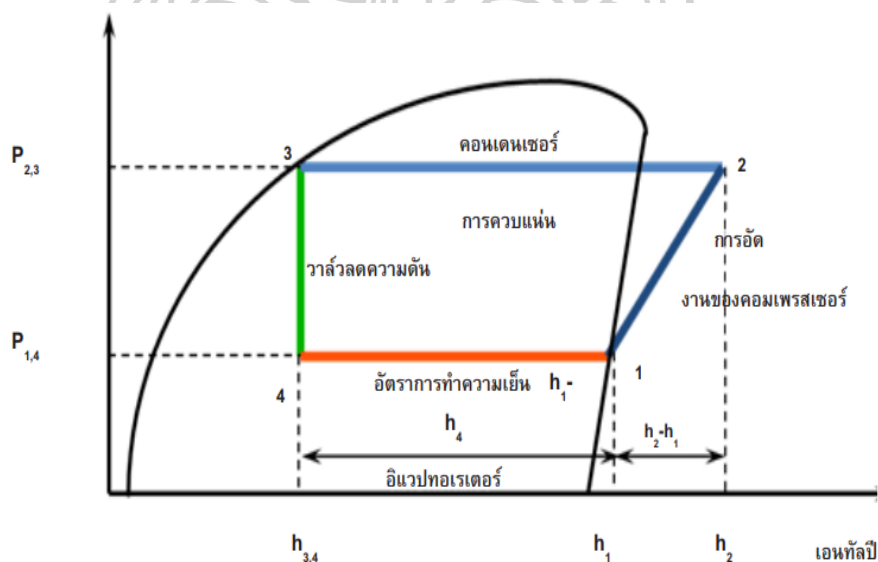
คอมเพรสเซอร์ (Compressor) เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังในการอัดสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะไอ ณ. ที่จุด 1 ในแผนภาพ ให้มีความดันสูงขึ้น อุณหภูมิของสารทำความเย็นจะสูงขึ้นตามกฎของก๊าซ (จากจุดที่ 1 เป็น จุดที่ 2)

คอนเดนเซอร์ (Condenser) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบแน่นสารทำความเย็นในสถานะไอ ที่มีอุณหภูมิและความดันสูง โดยส่งผ่านพลังงานไปให้กับน้ำ หรืออากาศ ที่เป็นสื่อการระบายความร้อนทำให้สารทำความเย็นควบแน่นเป็นของเหลว (จากจุดที่ 2 เป็น จุดที่ 3)

วาล์วลดความดัน (Expansion valve) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็น ที่ออกจากคอนเดนเซอร์ซึ่งมีความดันสูง ทำให้สารทำความเย็นมีความดันต่ำลง และอุณหภูมิจะลดต่ำลง (จากจุดที่ 3 เป็น จุดที่ 4)

เครื่องระเหย (Evaporator) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น โดยความร้อนจะถูกนำพาผ่านสารทำความเย็น ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเกิดการระเหยกลายเป็นไออยู่ในสถานะไออิ่มตัวหรือไอร้อนยวดยิ่ง (Superheat Vapor) ก่อนที่จะถูกดูดเข้าคอมเพรสเซอร์แล้วเริ่มการทำงานต่อไปอย่างต่อเนื่อง (จากจุดที่ 4 เป็น จุดที่ 1)

ประสิทธิภาพการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอขึ้นอยู่กับสารทำความเย็นที่ใช้และจุดทำงานของระบบ ซึ่งสามารถดูได้จากแผนภาพความดัน-เอนทัลปี (P-h Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 24



รูปที่ 24 แผนภาพความดัน-เอนทัลปี (P-h Diagram) และจุดทำงานของระบบทำความเย็น  
ที่มา : สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น [21]

สัมประสิทธิ์สมรรถนะพลังงานของระบบทำความเย็น (Coefficient of Performance : COP) คือการวัดความสามารถในการทำความเย็นของระบบทำความเย็นโดยระบบได้ความเย็นในช่วง  $h_1-h_4$  คือช่วงที่อยู่ในเครื่องระเหย (Evaporator) และงาน (Work) ที่ต้องใส่ให้กับสารทำความเย็น คือ ช่วง  $h_2-h_1$  คือช่วงที่อยู่ในคอมเพรสเซอร์ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$COP = \frac{h_1-h_4}{h_2-h_1} \quad (2-8)$$

กำหนดให้	$COP$	คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะพลังงานของระบบทำความเย็น
	$h_1$	คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
	$h_2$	คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นหลังเข้าคอมเพรสเซอร์ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
	$h_4$	คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องระเหย (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

#### 2.6.2 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ คือ ระบบที่ปรับและรักษาสภาพอากาศภายในอาคาร เพื่อให้มนุษย์สามารถอยู่ภายในอาคารนั้นได้อย่างสบาย ในระบบปรับอากาศจะรวมไปถึงการทำความร้อน การทำความเย็น และการระบายอากาศ

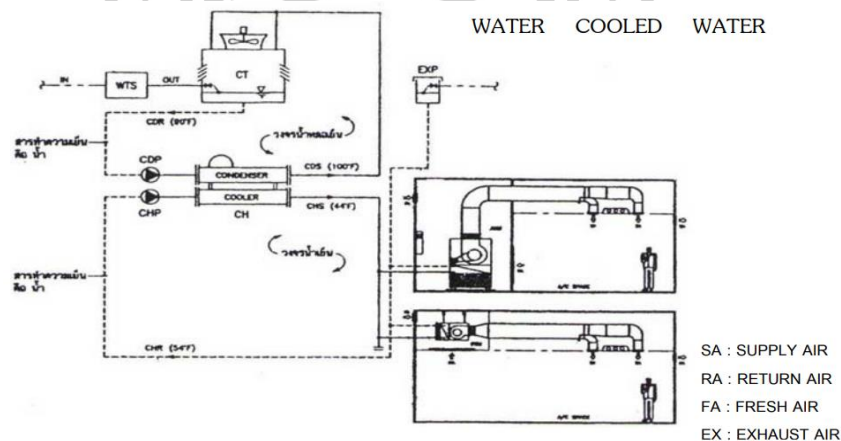
การทำความร้อน (Heating) คือการรักษาอุณหภูมิภายในอาคารนั้น ๆ ให้ได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการจากการเพิ่มความร้อนให้กับอากาศภายในอาคารโดยวิธีต่าง ๆ ในกรณีที่เกิดมีการปล่อยความร้อนจากในห้องนั้นออกไปนอกห้อง หรืออากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจากภายนอกรั่วไหลเข้ามาภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ

การทำความเย็น (Cooling) คือการให้อากาศที่มีอุณหภูมิตามที่กำหนดไหลผ่านเข้าไปในห้องหรือการลดอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ในห้องที่สูงขึ้นจากความร้อนที่ปล่อยออกมาจากห้องนั้นให้ลงมาเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ พร้อมกันนี้ ก็มักจะมีการลดความชื้นของอากาศให้เป็นไปตามที่ต้องการไปพร้อมกันโดยทั่วไป การใช้ประโยชน์จากลมเย็นของอุปกรณ์ปรับอากาศก็ช่วยให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการปรับอากาศได้ แต่ก็ยังมีอีกวิธีหนึ่งที่ใช้การทำผนังหรือเพดานเป็นต้น ให้เย็นเพื่อเป็นการดูดซับรังสีความร้อนที่ผู้อยู่ในห้องปล่อยออกมาได้โดยตรง ซึ่งจะทำให้ผู้อยู่ในห้องรู้สึกสบาย ถือเป็นวิธีการทำความเย็นแบบพิเศษวิธีหนึ่ง

การระบายอากาศ (Ventilation) เป็นการใช้ประโยชน์ของแรงจากธรรมชาติหรือแรงจากเครื่องจักรเพื่อแลกเปลี่ยนอากาศภายในและภายนอกห้อง ซึ่งรวมไปถึงการส่งอากาศไปยังอุปกรณ์เตาเผาเป็นต้นด้วย

โดยทั่วไประบบปรับอากาศที่ใช้งานมี 4 ประเภทด้วยกัน คือ ประเภททำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ประเภททำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ ประเภทเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ และประเภทแยกส่วน

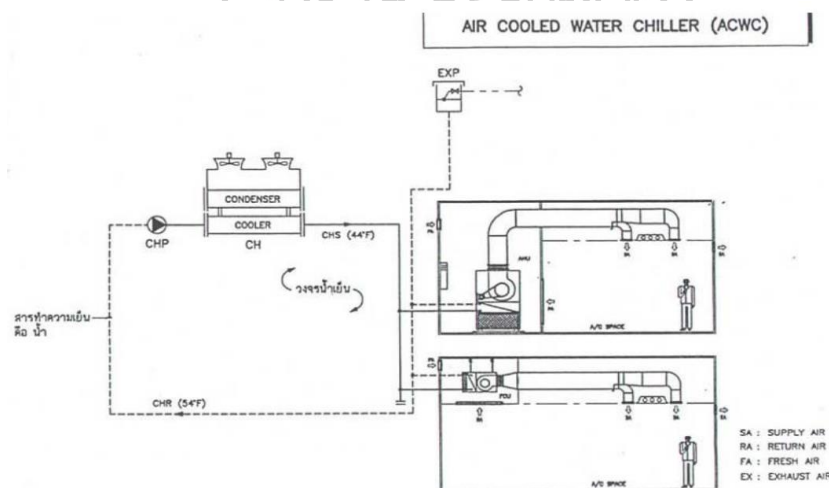
ประเภททำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller) เป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ที่สุด อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือเครื่องทำน้ำเย็น และมีอุปกรณ์ประกอบคือ ปั๊มน้ำเย็น ปั๊มน้ำระบายความร้อน หอผึ่งเย็น และอุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็น การทำงานแบ่งเป็น 2 วงจร คือ วงจรน้ำเย็น โดยเริ่มจากปั๊มน้ำเย็นส่งน้ำเข้าไปรับความเย็นจากสารทำความเย็นที่ Cooler เพื่อให้อุณหภูมิน้ำเย็นได้ตามต้องการ แล้วจึงส่งน้ำเย็นไปยังอุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็นโดยอุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็นแต่ละชุดจะมีลิ้นควบคุมปริมาณน้ำ ซึ่งได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ โดยถ้าอุณหภูมิในพื้นที่สูงจะส่งสัญญาณให้ลิ้นเปิดน้ำเข้าชุดเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น หลังจากน้ำรับความร้อนจากอากาศที่แลกเปลี่ยนแล้วจะกลับไปรับความเย็นจาก Cooler อีก โดยการดูดของปั๊มน้ำเย็น และวงจรน้ำระบายความร้อน จะเริ่มจากปั๊มน้ำระบายความร้อนส่งน้ำเข้าไปรับความร้อนจากสารทำความเย็นที่ Condenser น้ำร้อนที่ได้จะถูกส่งไประบายความร้อนที่หอผึ่งเย็น ซึ่งที่หอผึ่งเย็นนั้นน้ำจะถูกระบายความร้อนด้วยอากาศ หลังจากอุณหภูมิน้ำลดลงตามความต้องการจะถูกส่งไปเข้า Condenser โดยการดูดของปั๊มน้ำระบายความร้อน การประหยัดพลังงานในระบบนี้จะต้องเพิ่มประสิทธิภาพของแต่ละอุปกรณ์ให้สูงที่สุดและใช้งานให้สัมพันธ์กับภาระการปรับอากาศ



รูปที่ 25 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ

ที่มา : สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น [21]

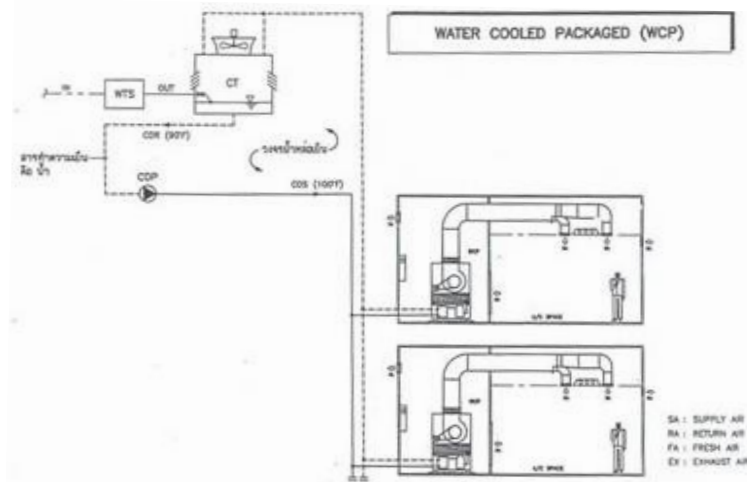
ประเภททำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooler Water Chiller) เป็นระบบที่เล็กกว่าระบบแรกโดยมีความแตกต่างกันที่การระบายความร้อนเท่านั้น ซึ่งระบบนี้จะไม่มีการของน้ำระบายความร้อนเพราะจะใช้อากาศในการระบายความร้อน ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ เครื่องทำน้ำเย็นและมีอุปกรณ์ประกอบคือ ปั๊มน้ำเย็นและอุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็น เท่านั้น การระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นจะใช้อากาศดูดหรือเป่าไปยังขดท่อความร้อน ซึ่งพัดลมอาจมีจำนวนหลายชุดใน Chiller แต่ละชุด ดังนั้นเครื่องทำน้ำเย็นระบบนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบระบายความร้อนด้วยน้ำเพราะน้ำจะมีความสามารถในการระบายความร้อนสูงกว่า อีกทั้งเมื่อพัดลมชำรุดจะเกิดการลัดวงจรของลมทำให้ประสิทธิภาพลดลงด้วย นอกจากนี้เครื่องปรับอากาศระบบนี้จะมีอายุการใช้งานสั้นเพราะจะต้องติดตั้งภายนอกอาคารซึ่งตากแดดตากฝนตลอดเวลา ดังนั้นผู้ควบคุมดูแลทำความสะอาดและหาวัสดุให้รุ่มเงาแก่ ขดท่อความร้อน ปัจจุบันมีโรงงานหลายแห่งได้ใช้น้ำช่วยระบายความร้อนโดยการสเปรย์ไปที่ขดท่อความร้อนส่งผลให้ ประสิทธิภาพสูงขึ้นประมาณ 10-20%



รูปที่ 26 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ

ที่มา : สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น [21]

ประเภทเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Package) แบบนี้จะมีขนาดเล็ก โดยทั้งชุดอยู่ภายในบริเวณปรับอากาศซึ่งจะมีคอมเพรสเซอร์อยู่ภายในด้วย แต่จะมีขดท่อระบายความร้อนด้วยน้ำแยกกันแต่ละชุด ดังนั้นปัญหาของระบบนี้คือการบำรุงรักษาหรือการทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ซึ่งมีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก ส่วนระบบปั๊มน้ำระบายความร้อนและห่อหุ้มเย็นจะเหมือนกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบอื่น ในการตรวจสอบและบำรุงรักษาคอนเดนเซอร์นั้นก็ทำเช่นเดียวกับคอนเดนเซอร์ของระบบใหญ่

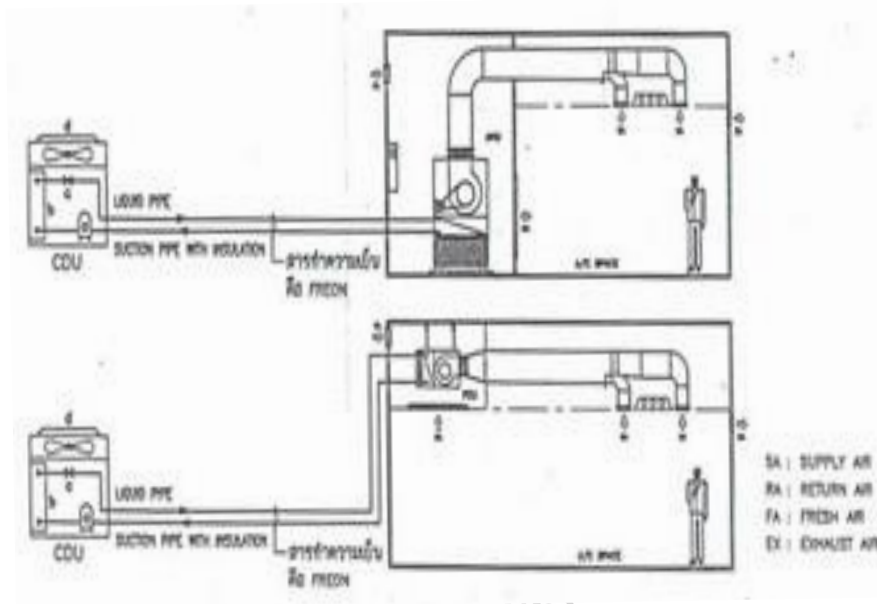


รูปที่ 27 ระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ

ที่มา : สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น [21]

ประเภทแยกส่วน (Split Type) เป็นแบบที่มีขนาดเล็กที่สุด ส่วนใหญ่ใช้กับห้องปรับอากาศในโรงงานเพราะสะดวกในการใช้งานและการดูแลรักษาไม่ยุ่งยากมากนักแต่ประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบใหญ่ ส่วนประกอบที่ใช้พลังงาน แยกเป็น 2 ส่วนคือ Condensing Unit อาจอยู่ภายนอกห้อง ซึ่งประกอบด้วยขดท่อความร้อน พัดลม และคอมเพรสเซอร์ Fan Coil Unit จะอยู่ภายในห้อง ซึ่งประกอบด้วยขดท่อความเย็นและพัดลม โดยทั้งสองส่วนจะเชื่อมต่อกันด้วยท่อทองแดง สิ่งที่สำคัญของระบบนี้จะต้องทำความสะอาดขดท่อและกรองอากาศเป็นประจำ รวมทั้งตรวจเช็คปริมาณสารทำความเย็นและฉนวนหุ้มท่อ นอกจากนั้นในการติดตั้งถ้ามีระยะห่างกันเกิน 5 เมตร จะต้องขยายขนาดท่อดูดสารทำความเย็นให้ใหญ่ขึ้นและเพิ่มปริมาณสารหล่อลื่นเข้าไปในคอมเพรสเซอร์ และถ้าติดตั้ง Condensing Unit สูงกว่า Fan Coil Unit ท่อทางดูดจะต้องทำ TAP เป็นรูปตัวยู หรือตัวเอส เพื่อจะให้น้ำมันหล่อลื่นถูกดูดกลับเข้าคอมเพรสเซอร์ได้ มิเช่นนั้นคอมเพรสเซอร์จะเกิดการไหม้ได้ นอกจากนั้นกรณีที่ล้นลดความดันอยู่ที่ Condensing Unit จะต้องทำการหุ้มฉนวนท่อทองแดงทั้งสองท่อแยกจากกัน





รูปที่ 28 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ที่มา : สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น [21]

### 2.6.3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศ

การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นให้สูงสุด ทำได้โดยการ ลดความดันด้านคอนเดนเซอร์ เลือกคอมเพรสเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ลดความร้อนสะสมที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ ลดภาระความร้อนที่ไม่จำเป็น ทำการหุ้มฉนวนกันความร้อน ลดภาระความร้อนเพิ่มเติม และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศเป็นต้น

การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ เริ่มจากการทบทวนอุณหภูมิและความชื้นที่ใช้งาน การลดระยะเวลาปรับอากาศร้อนเย็น การลดระยะเวลาปรับอากาศ การหยุดการปรับอากาศในบริเวณที่ไม่ได้ใช้งาน การจำกัดการปรับอากาศในการทำงานล่วงเวลา และการอนุรักษ์พลังงานในการนำอากาศภายนอกเข้ามาใช้ในพื้นที่เป็นต้น

## 2.7 เทคโนโลยีระบบอัดอากาศ [22]

### 2.7.1 ระบบอัดอากาศ

ระบบอัดอากาศ (Compressed Air System) เป็นระบบผลิตลมที่มีแรงดันเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ที่ใช้กันในอุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็กและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยมีเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) หรือที่เรียกกันว่า "บีมลม" เป็นตัวสร้างแรงลม หรือแรงอัดอากาศขึ้นมา



และมีอุปกรณ์อื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น กรองอากาศ ระบบทำให้ลมแห้ง เป็นต้น โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศอาจแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ประเภทปริมาตรแทนที่เชิงบวก และแบบไดนามิกส์

เครื่องอัดอากาศประเภทปริมาตรแทนที่เชิงบวก (Positive Displacement) มีหลักการทำงานคือ ให้อากาศเข้าไปในปริมาตรแล้วลดปริมาตรอากาศนี้ลงโดยใช้พลังงานจากภายนอก เมื่อปริมาตรของอากาศลดลงก็จะทำให้ความดันสูงขึ้น เครื่องอัดอากาศปริมาตรมีทั้งแบบลูกสูบและโรตารี

เครื่องอัดอากาศประเภทไดนามิกส์ (Dynamics) มีหลักการทำงานคือ ให้อากาศมีความเร็วเพิ่มขึ้นโดยผ่านโรเตอร์แล้วอาศัยรูปร่าง Casing ภายในเครื่องอัดอากาศลดความเร็วลง ทำให้พลังงานจลน์ของอากาศเปลี่ยนรูปเป็นความดัน ของอากาศ เครื่องอัดอากาศประเภทนี้ได้แก่ Centrifugal Compressor, Turbo Compressor และ Air jet เป็นต้น

เครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี และเครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง

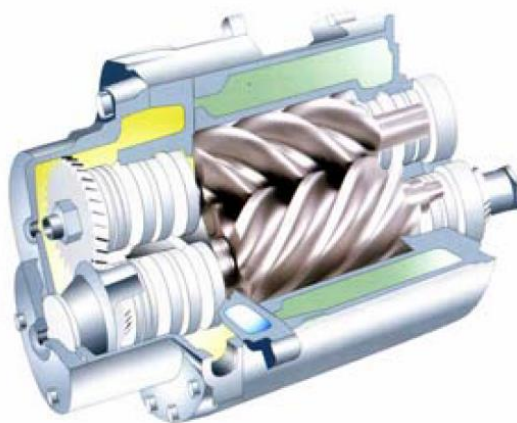
เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ (Reciprocating compressors) เครื่องอัดอากาศประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กใช้แหล่งกำลังต้นกำลังจากมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ขนาดเล็ก โดยมีสายพานเป็นอุปกรณ์ถ่ายทอดกำลังไปสู่เครื่องอัดเพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่อัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กลง และความกดดันของอากาศสูงขึ้นอากาศอัดจะถูกส่งไปเก็บไว้ในถังลมก่อนที่จะนำไปใช้งานต่อไป เครื่องอัดอากาศประเภทนี้ส่วนใหญ่จะระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังนั้นบริเวณรอบ ๆ เสื้อสูบของเครื่องอัดจึงทำเป็นแผ่นครีป (Vane) เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อนให้มากยิ่งขึ้น การเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะอัดแต่ละครั้งจะทำให้อากาศหรือแก๊สเกิดการอัดตัวขึ้น และการไหลของอากาศอัดจะมีลักษณะไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเป็นผลเสียต่อระบบท่อส่ง เพราะอาจทำให้เกิดความดันย้อนกลับ ณ จุดที่มีการหักเลี้ยวในระบบท่อส่งได้ ทำให้ท่อส่งได้รับความเสียหายในภายหลัง เนื่องจากในอากาศมีความชื้น หรือไอน้ำและฝุ่นละอองปะปนอยู่ด้วยไม่มากนักน้อย ดังนั้นอากาศที่เข้าสู่เครื่องอัดอากาศจึงมีไอน้ำและฝุ่นละอองปะปนเข้าไปด้วย เมื่ออากาศถูกอัดตัวโมเลกุลของอากาศจะเกิดการเสียดสีกันทำให้อากาศที่ถูกอัดมีความร้อนสูง ดังนั้นอากาศที่ถูกอัดก่อนที่จะถูกนำไปยังถังอัดอากาศจึงต้องมีการระบายความร้อนออกเสียก่อน เพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อนซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนภายในเครื่องอัดอากาศได้รับความเสียหายขึ้น อากาศอัดดังกล่าวเมื่อถูกนำไปเก็บในถังอัดอากาศก็ยังคงมีความร้อนเหลือบ้าง เมื่ออากาศอัดภายในถังอากาศเย็นตัวลง ก็จะทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำอยู่ในถังอัดอากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายได้ในขณะที่นำอากาศไปใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการระบายน้ำส่วนนี้ออกไปจากถังอัดอากาศ ก่อนที่จะมีการใช้งานอยู่เสมอทุกวัน



รูปที่ 29 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน ระบบอัดอากาศ ป้อนน้ำ และพัดลม [22]

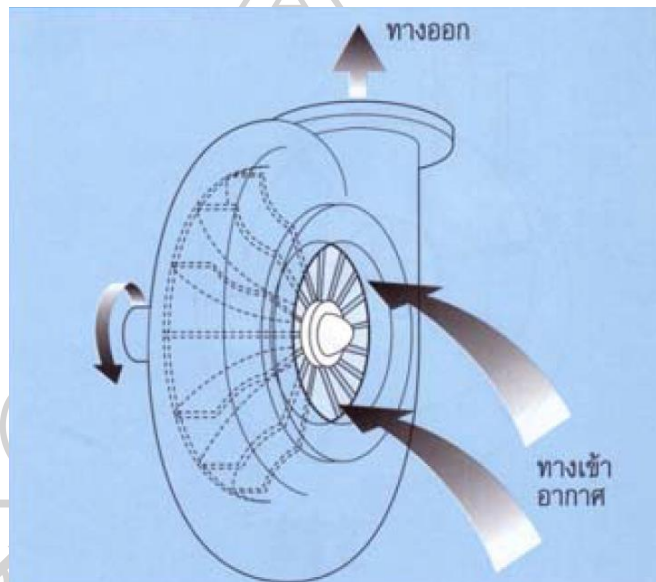
เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี (Rotary compressors) เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีหรือแบบลูกสูบหมุน การอัดอากาศจะมาจากการเคลื่อนที่หลักดันของโรเตอร์ในลักษณะการแทนที่ของอากาศ อากาศอัดที่ได้จะมีอัตราการไหลอย่างสม่ำเสมอ แต่ปริมาณอากาศอัดที่ได้จะมีค่าความกดดันค่อนข้างต่ำ การหมุนของโรเตอร์เพื่ออัดอากาศจะต้องหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูง ซึ่งจะก่อให้เกิดเสียงดังและชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในจะมีอัตราการสึกหรอค่อนข้างสูง



รูปที่ 30 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน ระบบอัดอากาศ ป้อนน้ำ และพัดลม [22]

เครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal compressors) เป็นเครื่องอัดอากาศที่ใช้หลักการทางด้านพลศาสตร์ ทำงานด้วยการเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นความกดดัน ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศอัดจะถูกเหวี่ยงตัวออกไปในแนวรัศมี ลมดูดจะเข้าสู่แกนตรงกลางเพลาใบพัดและถูกเหวี่ยงตัวออกไปในแนวรัศมีของใบพัดสู่นังเครื่องอัดและถูกส่งไปตามระบบท่อ อากาศอัดจะมีความกดดันสูงขึ้นแต่ความเร็วยังคงที่ เมื่อเราต้องการอากาศอัดที่มีค่าความกดดันสูงมากขึ้น สามารถกระทำได้โดยการใช้เครื่องอัดอากาศหลายสเตจโดยที่อากาศอัดซึ่งได้จากการอัดในสเตจแรกจะถูกส่งต่อไปยังสเตจต่อไปและอัดอากาศให้ได้ความดันที่ต้องการ อากาศที่อัดได้ในแต่ละสเตจจะมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการระบายความร้อนออกจากอากาศอัดก่อนที่จะส่งอากาศอัดไปยังสเตจต่อ ๆ ไป



รูปที่ 31 เครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานระบบอัดอากาศ ป้อน้ำ และพัดลม [22]

## 2.7.2 การอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ

แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัดที่ใช้ในงานในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถทำได้ทำได้ดังต่อไปนี้

2.7.2.1 การลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานความเย็น (Cooling Effect) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Intercooler) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงอากาศ

จะมีความหนาแน่นน้อย จึงต้องใช้พลังงานในการดูดอากาศเพื่อให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการมาก ในขณะที่อากาศเย็นความหนาแน่นจะสูงจึงใช้พลังงานในการดูดอากาศน้อยลงนั่นเอง

2.7.2.2 ปรับตั้งความดันลมของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งาน การปรับตั้งความดันที่เหมาะสมกับการใช้งานมักจะถูกละเลยอย่างมากในการใช้งาน โดยมักตั้งความดันที่สูงเกินความจำเป็น ซึ่งนอกจากเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์แล้วยังส่งผลให้ปริมาณอากาศอัดที่ผลิตได้ต่ำลงอีกด้วยดังนั้นจึงควรตรวจสอบความดันใช้งานที่ปรับตั้งไว้ที่เครื่องอัดอากาศว่าเหมาะสมกับความต้องการใช้งานหรือไม่ โดยตรวจสอบจากความดันสูงสุดของอุปกรณ์และปรับตั้งความดันให้สูงกว่าประมาณ 1 บาร์ หรือ ทดลองปรับลดความดันลดลงทีละน้อย (ประมาณ 0.5 บาร์) และตรวจสอบว่าสามารถใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ตามปกติหรือไม่จนกระทั่งได้ความดันที่ต่ำสุดที่ยังสามารถใช้งานได้อีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานได้ ในกรณีที่บางอุปกรณ์มีความต้องการความดันต่ำ คือ การติดตั้งอุปกรณ์ปรับลดความดันที่ต่ออากาศอัด ก่อนเข้าเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้น ๆ

2.7.2.3 การเลือกใช้เครื่องอัดอากาศและระบบที่มีประสิทธิภาพสูง ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ เป็นตัวแปรที่สำคัญมากต่อการใช้พลังงานในระบบอากาศอัดเนื่องจากเครื่องอัดอากาศมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวทำให้เกิดการสึกหรอตลอดเวลา และเมื่อมีอายุการใช้งานนาน อาจส่งผลให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพที่ต่ำลงได้มากกว่า 50% เมื่อเทียบกับเครื่องอัดอากาศชุดใหม่ เนื่องจากสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ ประสิทธิภาพของตัวเครื่องที่ต่ำลง และเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้น ดังนั้นจึงควรตรวจสอบประสิทธิภาพจริงของเครื่องอัดอากาศอยู่เสมอ เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการเปลี่ยนไปใช้เครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถประเมินผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปีสำหรับการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูงได้

2.7.2.4 การป้องกันการรั่วของลมจากจุดต่าง ๆ ของระบบ และจากตัวเครื่องอัดอากาศเอง ความสูญเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในระบบอากาศอัด นอกเหนือจากการสูญเสียความดันแล้ว จะเกิดจากการรั่วไหลของอากาศอัด ซึ่งแทบไม่มีระบบอากาศอัดที่ใดเลยที่จะไม่มีการรั่วไหล และโดยมาตรฐานแล้วจะยอมให้มีอากาศอัดรั่วไหลได้ไม่เกิน 5% ของปริมาณอากาศอัดที่ผลิตได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงควรตรวจสอบการรั่วไหลอย่างสม่ำเสมอ และรีบดำเนินการซ่อมแซมตามลักษณะการชำรุดที่ตรวจพบ

เนื่องจากระบบอัดอากาศมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายประเภท แต่ละโรงงานจำเป็นต้องเลือกเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งาน หมั่นตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศอัดอย่างสม่ำเสมอ เข้าใจถึงหลักการทำงานตลอดจนการใช้อากาศอัดให้เหมาะสมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ จะช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้ เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและยังเป็นการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย

## 2.8 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม [23]

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในงานโครงการโดยทั่วไปแล้วจะเป็นการวิเคราะห์การลงทุนและผลตอบแทนของโครงการหรือผลกำไรทางการเงิน นอกจากนี้ยังรวมถึงการวางแผนทางการเงินที่เหมาะสมให้กับโครงการ เพื่อทำให้เกิดความมั่นใจว่า ถ้ามีโครงการแล้วจะไม่มีปัญหาทางการเงินใด ๆ ในทุกขั้นตอนของโครงการ และรวมถึงการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินของผู้ร่วมโครงการ เพื่อให้แน่ใจว่าโครงการมีผลตอบแทนให้กับผู้ร่วมโครงการมากเพียงพอที่จะจูงใจให้เขาเหล่านั้นเข้าร่วมลงทุนในโครงการด้วย ในการพิจารณาเพื่อการตัดสินใจอาจทำได้หลายวิธี เช่น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทน (Internal Rate of Return: IRR) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio: B/C Ratio) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เป็นต้น

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นผลรวมของมูลค่าปัจจุบัน (Present Value) ของเงินลงทุนและกระแสเงินสด (Cash Flow) แต่ละปีตลอดอายุของโครงการ กรณีในการตัดสินใจคือให้ยอมรับการลงทุนที่ให้มูลค่าปัจจุบันสุทธินี้มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ หรือยอมรับการลงทุนที่มีมูลค่าปัจจุบันของรายรับสูงกว่าหรือเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายของโครงการนั้น ๆ โดยกำหนดให้อัตราส่วนลดเท่ากับอัตราผลตอบแทนที่คาดหวังว่าจะได้รับ โดยการคำนวณหาค่า NPV ทำได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{B_t \times C_t}{(1+i)^t} \quad (2-9)$$

กำหนดให้	NPV	คือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุของโครงการ
	$B_t$	คือ มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ $t$
	$C_t$	คือ มูลค่าต้นทุนในปีที่ $t$
	$i$	คือ อัตราคิดลด หรืออัตราดอกเบี้ย

ข้อดีของการตัดสินใจเลือกการลงทุนด้วยวิธีคำนวณ NPV คือ นำไปใช้ได้ง่ายและเกิดความสับสนได้น้อยในกรณีที่ต้องเปรียบเทียบหลายโครงการที่มีอายุงานเท่ากัน ส่วนข้อเสียคือ นำไปใช้ยุ่งยากกว่า ถ้าต้องเทียบกับหลาย ๆ โครงการที่มีอายุงานต่างกัน

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คืออัตราร้อยละของผลกำไรสุทธิหลังหักภาษีหรือผลตอบแทนเทียบกับเงินลงทุนตลอดอายุโครงการหรือเท่ากับอัตราส่วนลดที่ทำให้



มูลค่าปัจจุบันของรายรับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่าย อัตราผลตอบแทนที่คำนวณได้เพียงอย่างเดียวไม่สามารถบอกได้ว่าโครงการนั้น ๆ ยอมรับได้หรือไม่ มักจะต้องเทียบกับอัตราผลตอบแทนน้อยที่สุดที่น่าสนใจ โดยจะยอมรับโครงการที่ให้อัตราผลตอบแทนสูงกว่าอัตราผลตอบแทนน้อยที่สุดที่น่าสนใจ ข้อดีของการตัดสินใจเลือกการลงทุนด้วยวิธีคำนวณ IRR คือ เข้าใจได้ง่ายเพราะนำไปเทียบกับอัตราดอกเบี้ยธนาคารได้เลย ส่วนข้อเสีย คือ ค่ารวมผลยุ่งยากกว่าวิธีอื่น อัตราผลตอบแทนภายใน คือ การประเมินว่าการลงทุนให้อัตราผลตอบแทนเท่าใด เป็นการสุ่มอัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ กล่าวคือ ทำให้เงินสดสุทธิในอนาคตทอนมูลค่ากลับมาปัจจุบันแล้ว มีค่าเท่ากับเงินลงทุนก้อนแรก โดยการคำนวณหาค่า IRR ทำได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\sum_{t=0}^N \frac{B_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (2-10)$$

กำหนดให้  $B_t$  คือ มูลค่าผลตอบแทนในปีที่  $t$   
 $C_t$  คือ มูลค่าต้นทุนในปีที่  $t$   
 $i$  คือ อัตราคิดลด หรืออัตราดอกเบี้ย

เกณฑ์การพิจารณาค่า IRR ที่ได้จากการคำนวณมีดังนี้

ถ้า IRR สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืมของโครงการที่กำหนดไว้ แสดงว่าโครงการคุ้มค่าแก่การลงทุน

ถ้า IRR ต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืมของโครงการที่กำหนดไว้ แสดงว่าโครงการไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio: B/C Ratio) เป็นอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกำไรหลังหักภาษีต่อมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการที่อัตราส่วนลดที่กำหนด เกณฑ์ในการตัดสินใจคือ ยอมรับโครงการที่ให้อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนสูงกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง กล่าวคือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดตลอดอายุโครงการมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเงินลงทุนที่อัตราผลตอบแทนน้อยที่สุดที่น่าสนใจ โดยการคำนวณหาค่า B/C Ratio ทำได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้



$$B/C \text{ Ratio} = \frac{\sum_{t=0}^N \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+i)^t}} \quad (2-11)$$

กำหนดให้	<b>B/C Ratio</b>	คือ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน
	$B_t$	คือ มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ $t$
	$C_t$	คือ มูลค่าต้นทุนในปีที่ $t$
	$i$	คือ อัตราคิดลด หรืออัตราดอกเบี้ย

เกณฑ์การพิจารณาค่า B/C Ratio ที่ได้จากการคำนวณมีดังนี้

ถ้า B/C Ratio > 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการจะมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป

ถ้า B/C Ratio < 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการจะมีค่าน้อยกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป

ข้อดีของการตัดสินใจเลือกการลงทุนด้วยวิธีคำนวณ B/C Ratio คือ เข้าใจง่ายและนิยมใช้ในงานของหน่วยงานราชการ ส่วนข้อเสีย คือ เกิดความสับสนได้ง่ายถ้าต้องตัดสินใจเลือกจากหลายโครงการ

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) เป็นการพิจารณาความเหมาะสมในการลงทุนในรูปแบบของเวลาที่ใช้ในการทำกำไรสะสมหลังหักภาษีให้เท่ากับเงินลงทุนที่เสียไป เกณฑ์ในการตัดสินใจคือโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนยิ่งสั้นยิ่งดี กล่าวคือได้ทุนคืนยิ่งเร็วยิ่งดี โดยการคำนวณหาค่า PB ทำได้โดยการใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$PB = \frac{C}{M} \quad (2-12)$$

กำหนดให้	<b>PB</b>	คือ ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
	$C$	คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนที่จ่ายออกไป (บาท)
	$M$	คือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดเข้ามา (บาทต่อปี)

อย่างไรก็ตามการตัดสินใจโดยวิธีนี้ยังไม่ค่อยน่าเชื่อถือเนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลกำไรรวมทั้งโครงการและมูลค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแต่ก็สามารถใช้ประกอบการตัดสินใจได้ ข้อดีของการ

ตัดสินใจเลือกการลงทุนด้วยวิธีคำนวณ Payback Period คือ คำนวณง่าย ส่วนข้อเสียคือ ไม่ได้พิจารณาผลกำไรรวมและมูลค่าเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

วิธีการเหมาะสมที่สุดในการเลือกการลงทุน [24]

การตัดสินใจโครงการเดียว ในการตัดสินใจโครงการเดียวคือ ตัดสินใจว่าจะดำเนินการหรือปฏิเสธโครงการนั้นจะตัดสินใจโดยการพิจารณาจากข้อมูลปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทน (IRR) หรืออัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C Ratio) ก็ได้ โดยจะพิจารณาใช้อัตราส่วนลด (Discount Rate) เท่ากับอัตราผลตอบแทนน้อยที่สุดที่น่าสนใจ (MARR) และยอมรับโครงการที่ให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงกว่าหรือเท่ากับศูนย์ หรือโครงการที่ให้อัตราผลตอบแทนสูงกว่าอัตราผลตอบแทนน้อยที่สุดที่น่าสนใจหรือโครงการที่ให้อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนสูงกว่าหรือเท่ากับหนึ่งตามลำดับ

การตัดสินใจจากหลายโครงการ ในการพิจารณาเพื่อตัดสินใจเลือกจากหลายโครงการจะต้องจัดเรียงลำดับแต่ละโครงการตามข้อมูลผลตอบแทนหรือกำไรที่ได้รับจากโครงการนั้น ๆ ในการนี้อาจพิจารณาผลตอบแทนโดยวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนหรืออัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนโดยกำหนดอัตราส่วนลด (Discount Rate) เท่ากับอัตราผลตอบแทนน้อยที่สุดที่น่าสนใจ (MARR) แต่ในบางกรณีผลการเปรียบเทียบจากแต่ละวิธีอาจแตกต่างกัน ซึ่งในกรณีนี้การเปรียบเทียบโดยวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิจะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดด้วยเหตุผลนี้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) แสดงผลตอบแทนในรูปผลรวมสะสมของกำไรหลังหักค่าใช้จ่ายและภาษีในแต่ละปีเทียบมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน จึงทำให้ทราบผลกำไรรวมที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) แสดงในรูปของอัตราดอกเบี้ยเทียบกับอัตราผลตอบแทนน้อยที่สุดที่น่าสนใจ แต่ไม่บอกความแตกต่างของกำไรสุทธิจากการลงทุน ในการเปรียบเทียบหลาย ๆ โครงการซึ่งมีขนาดการลงทุนที่ต่างกัน โดยแต่ละโครงการมีค่าอัตราผลตอบแทนสูงกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่น่าสนใจ โครงการที่ให้อัตราผลตอบแทนสูงสุดอาจจะเป็นโครงการที่ได้รับกำไรสุทธิน้อยกว่าโครงการอื่นก็เป็นได้

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C Ratio) แสดงสัดส่วนของมูลค่าปัจจุบันของกำไรสะสมตลอดอายุโครงการต่อมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน และค่าใช้จ่ายสะสมตลอดอายุโครงการในการพิจารณาหลาย ๆ โครงการที่มีขนาดการลงทุนไม่เท่ากัน โครงการที่มีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนสูงกว่าหนึ่ง จะเป็นโครงการที่มีกำไรแต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าโครงการใดให้ผลตอบแทนสูงสุด จึงไม่สามารถใช้วิธีนี้ในการเปรียบเทียบเพื่อเลือกโครงการที่เหมาะสมที่สุดจากหลาย ๆ โครงการได้

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุชาติ [25] ได้ทำการศึกษาการลดการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องตีหม ทำการสำรวจและศึกษาสภาพการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องตีหมบำรุงกำลัง เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการลดใช้พลังงาน จากการศึกษาสภาพการใช้พลังงานพบว่าโรงงานสามารถแบ่งการใช้พลังงานได้ 2 ประเภท คือ พลังงานไฟฟ้าคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 19 และพลังงานความร้อนคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 81 และมีดัชนีการใช้พลังงานรวม 1,840 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ มาตรการในการลดใช้พลังงานจะแบ่งเป็น 2 แนวทางด้วยกันคือ การลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ได้แก่ มาตรการลดการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นในตอนกลางคืน และมาตรการยกเลิกการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในกระบวนการปรับอากาศในช่วงเวลาซ่อมบำรุงเครื่องจักรในวันหยุด ซึ่งมาตรการเหล่านี้สามารถลดดัชนีการใช้พลังงานจาก 382.16 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ เหลือ 359.17 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ หรือลดลงร้อยละ 6.02 และการลดการใช้พลังงานความร้อน ได้แก่ มาตรการติดตั้งเครื่องควบคุมการเผาไหม้แบบอัตโนมัติ ซึ่งมาตรการนี้สามารถลดดัชนีการใช้พลังงานจาก 1,579.99 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ เหลือ 1,312.03 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ หรือลดลงร้อยละ 16.95 จากมาตรการการลดใช้พลังงานทั้งหมดสามารถลดดัชนีการใช้พลังงานรวมจาก 1,840 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ เหลือ 1,708 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ หรือลดลงร้อยละ 7.17

ปฐวี [26] ทำการศึกษาการจัดการพลังงานเชิงบูรณาการของโรงงานผักและผลไม้อบแห้ง ตัวอย่าง โดยการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า เชื้อเพลิง และน้ำบาดาลของโรงงานผักและผลไม้อบแห้งตัวอย่างและเสนอแนวทางการประหยัดพลังงาน จากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างพบว่า โรงงานมีศักยภาพทางด้านการใช้พลังงานต่ำมาก โดยมีดัชนีการใช้พลังงานเทียบกับผลผลิตเท่ากับ 10,108.91 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกันร้อยละ 76.81 และจากการศึกษากระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนมาวิเคราะห์เพื่อหามาตรการการประหยัดพลังงานซึ่งแบ่งเป็น 2 มาตรการคือ 1. มาตรการที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน โดยการเพิ่มร้อยละของการนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ เช่น นำน้ำตาลที่จะทิ้งลงสู่ระบบบำบัดกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต การเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศก่อนและหลังใช้งาน 30 นาที และปรับปรุงพฤติกรรมในการใช้น้ำทำความสะอาดพื้น โดยมาตรการทั้งหมดสามารถลดการใช้พลังงานคิดเป็นมูลค่าได้ 4,150,855.52 บาทต่อปี มาตรการการเพิ่มร้อยละของการนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ สามารถลดค่าใช้จ่ายได้สูงที่สุดเท่ากับ 3,637,628.52 บาทต่อปี และ 2. มาตรการที่ต้องมีการลงทุน เช่น เปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงมาใช้แทนหลอดเดิม จัดหาเครื่องจักรที่ใช้ในการล้างวัตถุดิบมาใช้แทนแรงงานคน ปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรในกระบวนการอบแห้ง ปรับปรุง

ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ เปลี่ยนหม้อไอน้ำเป็นแบบใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน โดยมาตรการทั้งหมดสามารถลดการใช้พลังงานคิดเป็นมูลค่าได้ 14,090,455.75 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 3.25 ปี

มนตรี และคณะ [27] ทำการศึกษาการจัดการอนุรักษ์พลังงานเชิงบูรณาการ กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่ตัวอย่าง ทำการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานรวมถึงลักษณะการใช้พลังงานภายในกระบวนการอุตสาหกรรมเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่ตัวอย่าง เพื่อเป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ พร้อมทั้งปรับปรุงการผลิตโดยอาศัยแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตและจัดทำเป็นสมการพลังงานแสดงโรงงานอุตสาหกรรมเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่ตัวอย่าง ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย การวิเคราะห์การใช้พลังงาน การเสนอแนวทางการปรับปรุง และการหาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยนำความรู้ด้านการจัดการพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนมาใช้วิเคราะห์เครื่องจักรและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่ตัวอย่าง ผลที่ได้จากการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการแสดงความสัมพันธ์ คือ พลังงานรวม =  $54 + 29.8A + 14.6B + 12.9C$  เมื่อ A คือปริมาณการผลิตแป้ง, B คือ ปริมาณการผลิตเส้นหมี่ และ C คือ ปริมาณการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว และมีดำเนินงานด้านมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบต่าง ๆ เช่น การลดการ Blow Down ในระบบหม้อไอน้ำ มาตรการปรับปรุงรอยรั่วในระบบอัดอากาศ มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง และมาตรการประหยัดพลังงานด้วยโคมสะท้อนแสง พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 18.79 จากพลังงานรวมทั้งหมด โดยพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นมูลค่าที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 349,037 บาทต่อปี และพลังงานความร้อนคิดเป็นมูลค่าที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 2,375,322.14 บาทต่อปี รวมพลังงานที่ประหยัดได้ทั้งหมดคิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 2,724,359.14 บาทต่อปี

วิศทิกกร และคณะ [28] ทำการศึกษาการบริหารจัดการมาตรการศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ทำการรวบรวมมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ได้มีการดำเนินการไปแล้ว และเกิดผลประหยัดอย่างเป็นรูปธรรมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 มาจัดลำดับมาตรการที่ควรดำเนินการก่อนหลัง หรือมาตรการที่นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายและกรณีตัวอย่างของสถานประกอบการที่ประสบผลสำเร็จอย่างสูง โดยการลงทุนเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงานกินกระแสไฟฟ้าน้อยลงรวมไปถึงการซ่อมบำรุงเครื่องจักรให้ทำงานเต็มประสิทธิภาพ โดยจะเลือกศึกษาในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหาร จำนวน 240 แห่ง ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานมากที่สุดในประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม คือประมาณ 2,175,598.60 จิกะจูลต่อปี จากการศึกษา

พบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานหลายมาตรการที่สามารถลดการใช้พลังงานได้เป็นอย่างดี เช่น มาตรการแยกวงจรไฟฟ้าควบคุมแสงสว่าง มาตรการปรับปรุงแผ่นใสหลังคาเพื่อใช้แสงธรรมชาติ มาตรการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่างในห้องเย็น มาตรการติดตั้งสวิทช์กระตุกกับโคมไฟฟ้า มาตรการปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงพักเที่ยง มาตรการลดการรั่วไหลของอากาศเย็นในระบบปรับอากาศ มาตรการลดความดันผลิตของลมอัดก่อนการนำไปใช้งาน มาตรการลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ มาตรการลดการรั่วไหลของลมในระบบอัดอากาศ มาตรการปรับความตึงของสายพานมอเตอร์ มาตรการลดขนาดมอเตอร์ให้เหมาะกับภาระงาน มาตรการมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง มาตรการหุ้มฉนวนท่อส่งจ่ายไอน้ำและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ มาตรการลดการโบลว์ดาวน์ของหม้อไอน้ำ มาตรการนำน้ำคอนเดนเสดกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ มาตรการอุ่นน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อไอน้ำ จากปล่องก๊าซไอเสีย คิดเป็นมูลค่าเงินที่ประหยัดได้ประมาณ 83,421,250.71 บาทต่อปี

วิชาญ และ กุสกาณา [29] ทำการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน โดยการทบทวนงานวิจัย มาตรฐานและวิธีการจัดการพลังงานที่เกี่ยวข้องร่วมกับการสำรวจแนวทางการปฏิบัติงานที่ดีด้านระบบการจัดการพลังงานตามกระบวนการ PDCA ของโรงงานอุตสาหกรรมที่ประสบผลสำเร็จจำนวน 18 แห่ง จากผลการศึกษาพบว่าระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐานสากล ISO 50001 มีแนวทางในการปฏิบัติงานที่เป็นรูปแบบของกระบวนการต่าง ๆ โดยสามารถแบ่งเป็นกระบวนการย่อยตามแนวทางของ PDCA คือ กระบวนการวางแผน (Plan) กระบวนการดำเนินการ (Do) กระบวนการประเมินสมรรถนะ (Check) และกระบวนการปรับปรุง (Act) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าสถานประกอบการที่ดำเนินการจัดการพลังงาน ISO 50001 ได้ประสบผลสำเร็จและมีความยั่งยืนจะมีผลการดำเนินการกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผู้บริหารสูงสุด ในส่วนของกระบวนการปรับปรุงได้ใช้เครื่องมือหลักที่สำคัญ คือ การปฏิบัติการแก้ไข โดยกำหนดแนวทางในการบ่งชี้สาเหตุหลักของความไม่สอดคล้องที่เกิดขึ้นในระบบการจัดการพลังงาน และดำเนินการกำจัดสาเหตุหลักดังกล่าวรวมทั้งดำเนินการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำไปสู่การจัดการพลังงานที่มีประสิทธิผลและความยั่งยืนของระบบการจัดการพลังงาน

T. Markis & J.A. Paravantis [30] ทำการศึกษากาอนุรักษ์พลังงานในวิสาหกิจขนาดเล็ก ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของ 12 วิสาหกิจขนาดเล็กลงในเมืองเอพิรุส ประเทศกรีซ เพื่อประเมินการใช้พลังงานและประเมินผลการปฏิบัติงานของธุรกิจในด้านต่าง ๆ ในการอนุรักษ์พลังงาน โดยการเก็บข้อมูลและดำเนินการตรวจสอบการใช้พลังงานพลังงานเบื้องต้น เพื่อให้เข้าใจว่าการใช้พลังงานเกี่ยวข้องกับการผลิตอย่างไร จากนั้นทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมของแต่ละธุรกิจ และกำหนดมาตรการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละพื้นที่ จากการเก็บข้อมูล



ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีพบว่าแต่ธุรกิจมีการใช้พลังงานแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 20,000 ถึง 1,500,000 kWh/ปี ในขณะที่การใช้เชื้อเพลิงดีเซลมีประมาณ 40,000 ถึง 600,000 kWh ต่อปี การใช้พลังงานเมื่อเทียบกับพื้นที่ปฏิบัติงานพบว่ามีการใช้พลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 50 ถึง 300 kWh/ตรม. และในอาคารอุตสาหกรรมที่มีค่าสูงถึง 1,300 kWh/ตรม. จุดสำคัญที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานและการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานของกลุ่มธุรกิจตัวอย่างได้แก่ กรอบอาคาร แสงสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น ระบบทำน้ำร้อน อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องกล และการกระจายและการขนส่ง จากการประเมินผลการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์พลังงานพบว่ากลุ่มธุรกิจตัวอย่างให้ความสนใจในมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศเป็นอันดับแรก รองลงมาคืออุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องกล และระบบทำน้ำร้อน ส่วนการปฏิบัติตามมาตรการอนุรักษ์ในระบบแสงสว่างและระบบกรอบอาคารเป็นมาตรการที่ให้ความสนใจน้อยที่สุด ถึงแม้ว่าการอนุรักษ์พลังงานเกี่ยวกับอุปกรณ์เครื่องกลและไฟฟ้าจะต้องมีค่าใช้จ่ายสูงมากแต่กลุ่มบริษัทตัวอย่างก็ให้ความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากผลตอบแทนที่ได้มีมูลค่าสูง และในการพูดคุยกับกับเจ้าของธุรกิจพบว่าปัจจัยที่ทำให้บริษัทส่วนใหญ่ไม่นำมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาใช้คือ การขาดข้อมูล, นโยบายและโครงสร้างองค์กร และเหตุผลทางเทคนิคและทางการเงิน

Wang [31] ทบทวนเทคโนโลยีประหยัดพลังงานเพื่อการแปรรูปอาหารอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานแปรรูปอาหาร ศึกษามาตรการอนุรักษ์ในระบบสาธารณูปโภคของโรงงานแปรรูปอาหารและศึกษาเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ในการประหยัดพลังงาน จากการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานของโรงงานผลิตอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกาปี 2011 คิดเป็นมูลค่าที่ 246 ถึง 2,980 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือคิดเป็นต้นทุนด้านพลังงาน 0.86 ถึง 2.42 เซนตต่อหนึ่งดอลลาร์ของมูลค่าการส่งออก และจากการศึกษาภาพรวมของแหล่งพลังงานที่ใช้พบว่าอุตสาหกรรมอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้แหล่งพลังงานที่มาจากก๊าซธรรมชาติ 52% พลังงานไฟฟ้า 21% ถ่านหิน 16% ก๊าซปิโตรเลียม 3% และอื่น ๆ 8% และเมื่อแยกการใช้พลังงานในกระบวนการต่าง ๆ พบว่า ใช้พลังงานในระบบการทำความร้อน 59% ระบบทำความเย็น 16% ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ 12% ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง 8% และระบบอื่น 5% จากการศึกษา มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบสาธารณูปโภคพบว่ากิจกรรมการลดใช้พลังงานในระบบทำความร้อนนั้นก็มีหลายอย่าง เช่น การลดอุณหภูมิการปล่อยความร้อนออกจากปล่องหม้อไอน้ำ การลดการไหลของน้ำ การซ่อมจุดรั่วของระบบท่อไอน้ำ และการหุ้มฉนวนกันความร้อนของระบบท่อไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ก็สามารถลดการใช้พลังงานความร้อนได้ประมาณ 20% ด้านการอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ เช่น การใช้เครื่องอัดอากาศแบบมีอินเวอร์เตอร์ควบคุม การลดอุณหภูมิเข้า การซ่อมจุดรั่วไหลของท่อ และการลดแรงดันของเครื่องอัดอากาศ สามารถลดการใช้



พลังงานได้ 20-50% ส่วนทางด้านเทคโนโลยีใหม่ที่จะสามารถมาใช้ในการประหยัดพลังงานนั้นก็จะมีในเรื่องของการนำอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ มาปรับปรุงใช้ในกระบวนการ เช่น ระบบปั๊มความร้อน และระบบท่อความร้อน เป็นต้น การใช้พลังงานที่ลดลงก็จะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมลดลงด้วยเช่นกัน

Javied et al. [32] ทำการศึกษาการนำระบบการจัดการพลังงานไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศเยอรมัน จากการศึกษาพบว่าการจัดทำระบบการจัดการพลังงานสำหรับบริษัทผู้ผลิตและบริษัททั่วไป มีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อทำให้เกิดความมั่นคงด้านพลังงานที่ใช้ในการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจ และเพื่อการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม การจัดทำระบบการจัดการพลังงานในแต่ละบริษัทก็มีแนวทางที่ต่างกันไป ซึ่งในการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับมาตรการอนุรักษ์พลังงานและจัดทำระบบการจัดการพลังงานก็มีอุปสรรคมากมาย เช่น ภาระหนักของพนักงาน พฤติกรรมการใช้พลังงาน แรงจูงใจในการอนุรักษ์พลังงาน ความรู้ในการจัดการพลังงาน และแหล่งเงินทุน โดยสิ่งเหล่านี้มักจะเป็นปัญหาของบริษัทในการจัดทำระบบการจัดการพลังงาน อย่างไรก็ตามการศึกษาวិธีการจัดการพลังงานในงานวิจัยต่าง ๆ ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้เกิดการพัฒนาของบริษัทในเรื่องของแนวทางการจัดทำระบบการจัดการพลังงาน ถึงแม้ว่าในบริษัทจะยังไม่มีมาตรฐานและแนวทางปฏิบัติงานเกี่ยวกับการจัดการพลังงาน การนำแบบจำลอง Plan-Do-Check-Act ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานก็เป็นจุดเริ่มต้นอย่างหนึ่งของการจัดทำระบบการจัดการพลังงาน

Taner et al. [33] ศึกษาแบบการวิเคราะห์การใช้พลังงานกรณีศึกษาโรงงานน้ำตาลในประเทศตุรกี วัตถุประสงค์การศึกษาเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานปริมาณการผลิตและหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เหมาะสมสำหรับโรงงานน้ำตาล โดยตรวจสอบข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานในปี 2010 ถึง 2013 จากนั้นคำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากข้อมูลพลังงาน โดยใช้ Statistical package for the social sciences (SPSS) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งการใช้พลังงานของโรงงานในปี 2013 คำนวณได้เป็น 1,825,036.58 จิกะจูลต่อปี และนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้สำหรับทำแผนภูมิ Cumulative sum deviation method (CUSUM) เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างปี 2010 ถึง 2013 โดยการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้พลังงาน ต้นทุนพลังงานและความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานและการผลิตวัตถุดิบของน้ำตาล ซึ่งต้นทุนพลังงานปี 2013 คือ 16.44 ดอลลาร์ต่อจิกะจูล ซึ่งลดลงจากปี 2010 2011 และ 2012 เป็น 47.50%, 2.36% และ 6.07% ตามลำดับ โดยพบว่าการใช้พลังงานที่ลดลงนั้นเกิดจากการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของระบบต่าง ๆ จากผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า โรงงานตัวอย่างควรให้ความสนใจกับประเด็นการจัด

การพลังงาน เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Clairand et al. [34] ทบทวนแนวโน้ม อุปสรรค และโอกาสในการใช้เทคโนโลยีการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร ทำการศึกษาภาพรวมของเทคโนโลยีการผลิตอาหาร การประหยัดพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตอาหาร การจัดการของเสียในกระบวนการผลิตอาหาร การนำเทคโนโลยี 4.0 มาใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร การหาแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร และความท้าทายและอุปสรรคในการประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิตอาหารของ ฟาร์มนม ฟาร์มเนื้อ อุตสาหกรรมผลิตและแปรรูปธัญพืช อุตสาหกรรมเบเกอรี่ อุตสาหกรรมแปรรูปน้ำตาล และอุตสาหกรรมแปรรูปผักและผลไม้ จากการศึกษาพบว่าในกระบวนการแปรรูปอาหารมีการใช้พลังงาน 0.5 ถึง 100 เมกะจูลต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ ในการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ การนำระบบปั๊มความร้อน และการนำระบบท่อความร้อน มาใช้ในระบบต่าง ๆ สามารถลดการใช้พลังงานได้ประมาณ 50% การใช้เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียในอุตสาหกรรมอาหารมาเป็นพลังงาน เช่น การผลิตไบโอดีเซล ไบโอดีแก๊ส ไบโอดีแอส สามารถเพิ่มมูลค่าของของเสียได้ถึง 142 ยูโรต่อตันของเสีย การใช้เทคนิคในการอนุรักษ์พลังงาน เช่น การหุ้มฉนวนกันความร้อนในระบบทำน้ำร้อน การผลิตในช่วงเวลา Off-Peak และการใช้ระบบเปิด-ปิด ระบบปรับอากาศแบบอัตโนมัติ สามารถลดการใช้พลังงานได้ 12% ถึง 39% อุปสรรคในการประหยัดพลังงานจะแบ่งได้ 4 ด้านคือ ด้านเศรษฐศาสตร์คือการหาแหล่งเงินลงทุน ด้านความรู้ทางเทคโนโลยีใหม่ ที่จะช่วยในการประหยัดพลังงาน ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และด้านกฎหมายหรือข้อบังคับเกี่ยวกับการจัดการพลังงาน ส่วนในเรื่องของแนวโน้มการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นตามความต้องการในอนาคตนั้น การใช้แนวคิดในด้านการลงทุนหาแหล่งพลังงานทดแทนก็อาจจะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ประสบความสำเร็จทางด้านการลดการใช้พลังงานในระยะยาว และอาจจะกลายเป็นกลยุทธ์พื้นฐานขององค์กรต่าง ๆ ที่ใช้ในการลดใช้พลังงานในอนาคต

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทำวิจัย การจัดการพลังงานเชิงบูรณาการของโรงงานผลิตเครื่องตีมตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

#### 3.1 การศึกษากลุ่มประชากรที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้กำหนดประชากรที่ใช้ในการศึกษาโดยตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องตีมตัวอย่าง ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มของประชากรดังนี้

- 3.1.1 หม้อไอน้ำ จำนวน 2 หน่วย
- 3.1.2 เครื่องทำความเย็น จำนวน 5 หน่วย
- 3.1.3 เครื่องอัดอากาศ จำนวน 3 หน่วย
- 3.1.4 เครื่องปรับสภาวะอากาศ จำนวน 88 หน่วย
- 3.1.5 ไฟฟ้าแสงสว่าง จำนวน 1,247 หน่วย
- 3.1.6 เครื่องผสมผลิตภัณฑ์ จำนวน 2 หน่วย
- 3.1.7 เครื่องฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ จำนวน 12 หน่วย
- 3.1.8 เครื่องบรรจุผลิตภัณฑ์ จำนวน 10 หน่วย

#### 3.2 ข้อมูลที่นำมาศึกษาและวิเคราะห์ในงานวิจัย

##### 3.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทผลิตเครื่องตีมตัวอย่าง

บริษัทผลิตเครื่องตีมตัวอย่างประกอบธุรกิจหลักด้านการผลิตผลิตภัณฑ์จากผักผลไม้และเครื่องตีมชาคาแพ น้ำนมถั่วเหลืองในภาชนะบรรจุปิดสนิท ปัจจุบันบริษัทมีโรงงาน 2 แห่ง ตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดนครปฐม และ จังหวัดลำปาง มีพนักงานประจำจำนวน 150 คน มีกำลังเครื่องจักรรวม 8,633.84 แรงม้า และมีกำลังการผลิตรวม 30,000 ตันต่อปี

##### 3.2.2 ข้อมูลปฐมภูมิ

- ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องตีมตัวอย่าง

##### 3.2.3 ข้อมูลทุติยภูมิ

- สิ่งตีพิมพ์ เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.3 การตรวจวัดการใช้พลังงาน

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าการใช้พลังงานต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ เครื่องมือวัดด้านไฟฟ้า เครื่องมือวัดด้านความร้อน และเครื่องมือวัดอัตราการไหล แสดงในภาพดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 เครื่องมือวัดทางด้านไฟฟ้า



รูปที่ 32 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า

#### 3.3.2 เครื่องมือวัดด้านพลังงานความร้อน



รูปที่ 33 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบภาพถ่าย

### 3.3.3 เครื่องมือวัดอัตราการไหล



รูปที่ 34 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของไอน้ำ  
ที่มา : kflowmeter, Electromagnetic Flow Meter [35]



รูปที่ 35 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ  
ที่มา : testo, testo 425 - Thermal anemometer with flow probe [36]





รูปที่ 36 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ



รูปที่ 37 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศอัด

ที่มา : suto-itec, S330 / S331 DISPLAY & DATA LOGGER [37]





รูปที่ 38 เครื่องวิเคราะห์การเผาไหม้

### 3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2564 ถึง วันที่ 31 กรกฎาคม 2564

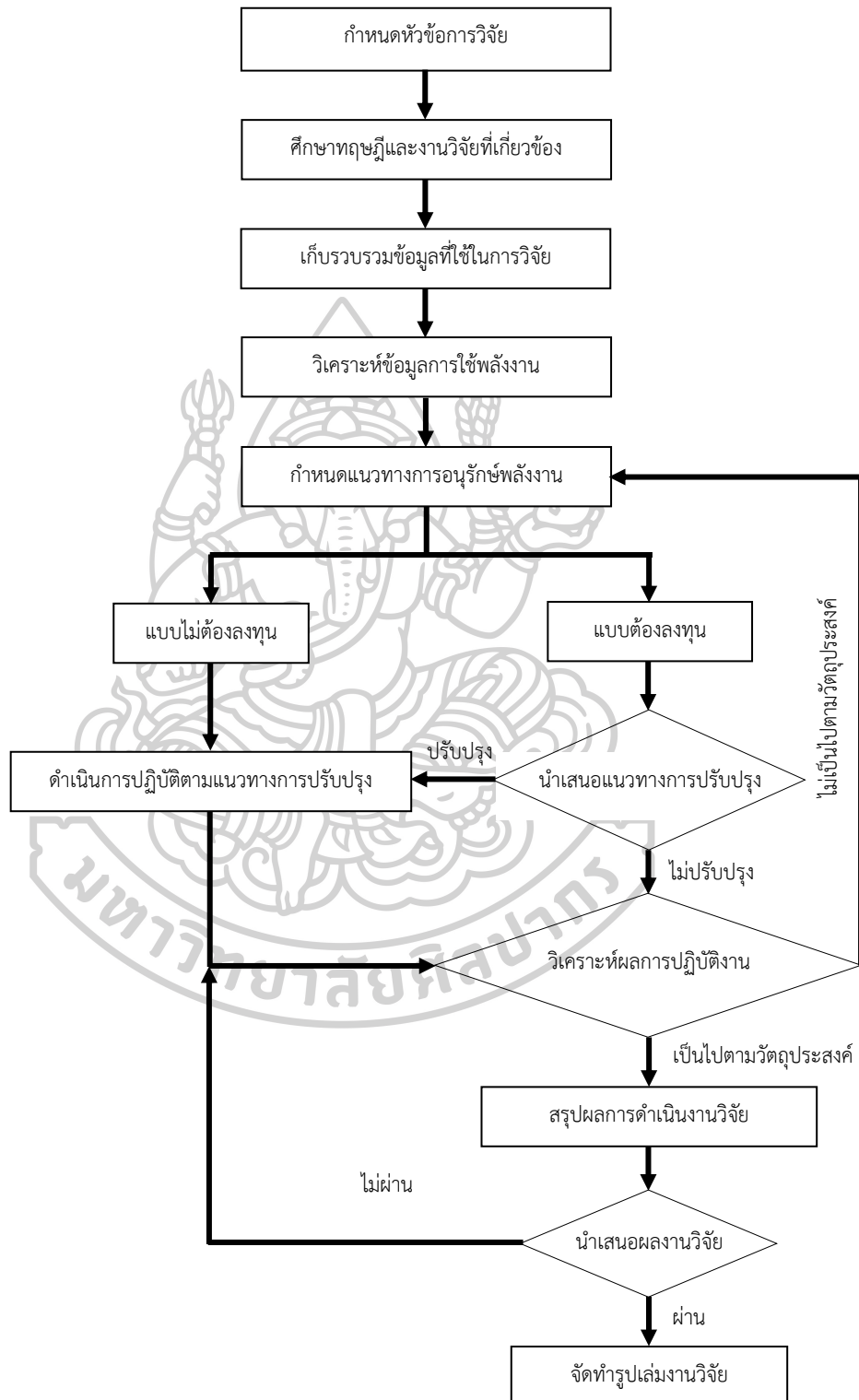
### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ด้าน ดังต่อไปนี้

3.5.1 การวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ในแต่ละเดือน และกำหนดมาตรการลดการใช้พลังงานของขั้นตอนการผลิตที่มีนัยสำคัญในการใช้พลังงานสูง

3.5.2 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาจุดคุ้มทุนและผลตอบแทนการลงทุนภายในของแนวทางการปรับปรุงในงานวิจัยนี้

### 3.6 แผนผังขั้นตอนการทำงานวิจัย



รูปที่ 39 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการวิจัยที่ได้จากการสำรวจและตรวจวัดค่าการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง และนำมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยการดำเนินการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจะแบ่งเป็น 2 แนวทางคือ แนวทางที่ไม่ต้องใช้งเงินลงทุน และแนวทางที่ต้องใช้งเงินลงทุน พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในแต่ละแนวทางที่ต้องใช้งเงินลงทุน ซึ่งรายละเอียดผลการวิจัยจะมีดังต่อไปนี้

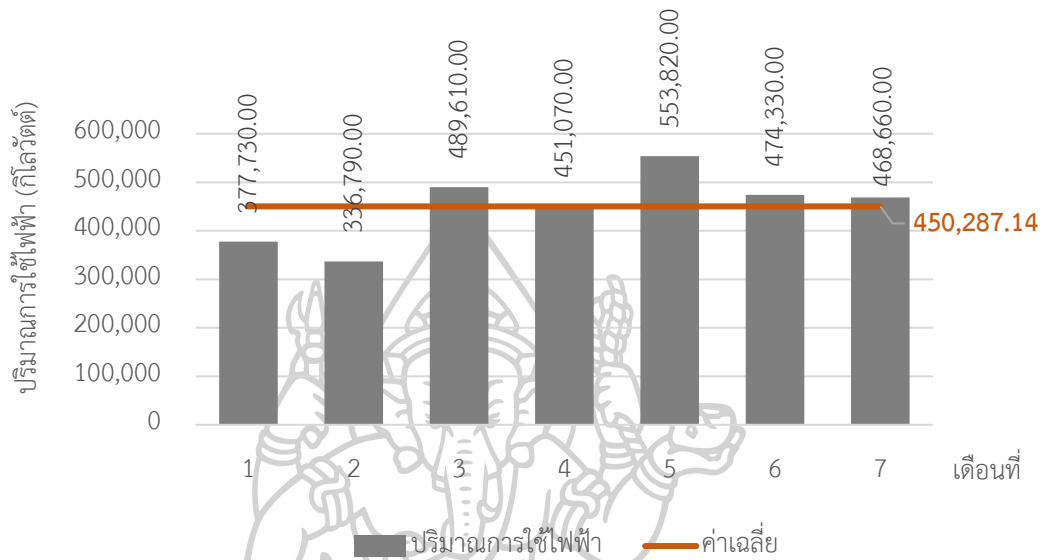
#### 4.1 การใช้พลังงานในภาพรวมของโรงงาน

จากการตรวจวัดการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง พบว่าทางโรงงานมีการใช้พลังงานหลัก 2 รูปแบบคือ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง โดยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า จากใบเสร็จค่าไฟฟ้า และพลังงานความร้อนจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของโรงงาน ในระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ถึง 5

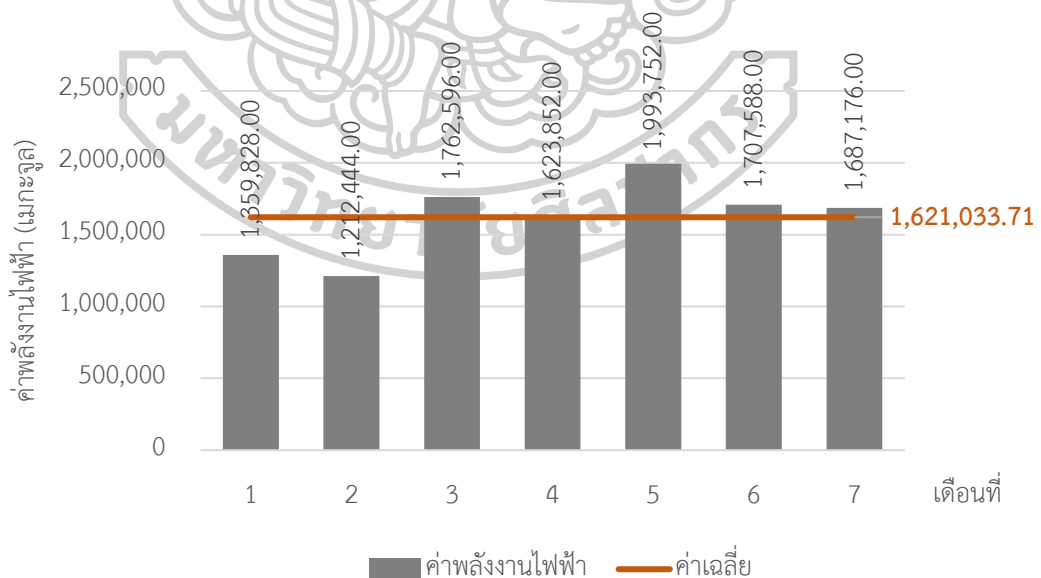
ตารางที่ 2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

เดือนที่	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (เมกะจูล)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาทต่อกิโลวัตต์)	ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยความร้อน (บาทต่อเมกะจูล)
1	377,730.00	1,359,828.00	1,409,677.59	3.73	1.04
2	336,790.00	1,212,444.00	1,255,363.94	3.73	1.04
3	489,610.00	1,762,596.00	1,755,831.36	3.59	1.00
4	451,070.00	1,623,852.00	1,639,619.47	3.63	1.01
5	553,820.00	1,993,752.00	1,989,253.83	3.59	1.00
6	474,330.00	1,707,588.00	1,701,278.97	3.59	1.00
7	468,660.00	1,687,176.00	1,712,454.46	3.65	1.01
ค่าเฉลี่ย	450,287.14	1,621,033.71	1,637,639.95	3.64	1.01

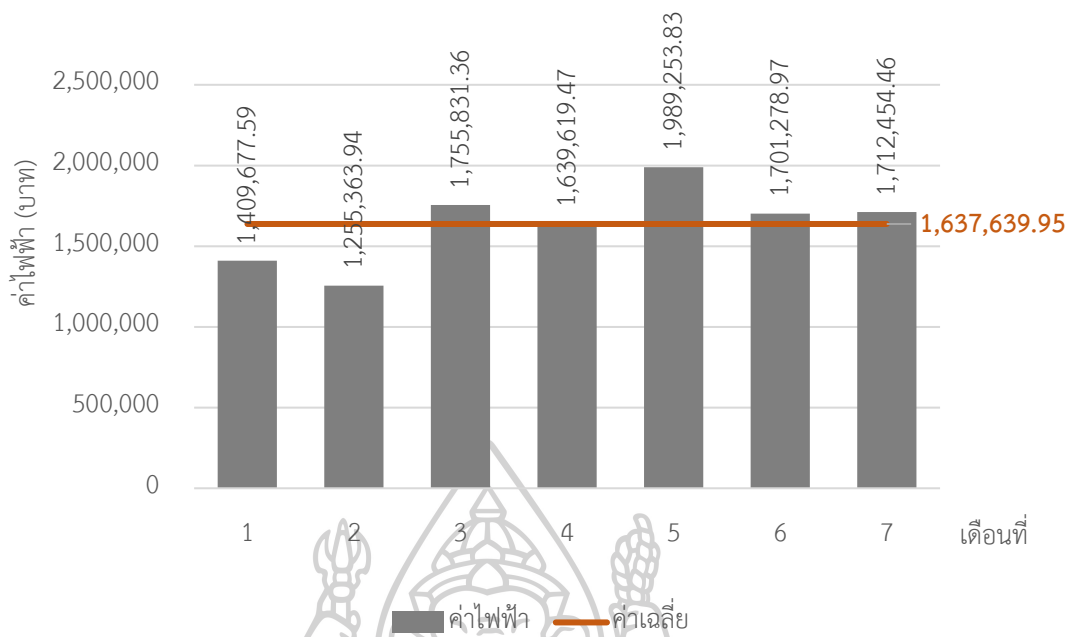
จากตารางที่ 2 พบว่าระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง โรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 450,287.14 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน หรือเทียบเท่าพลังงานความร้อน 1,621,033.71 เมกะจูลต่อเดือน และมีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1,637,639.95 บาทต่อเดือน



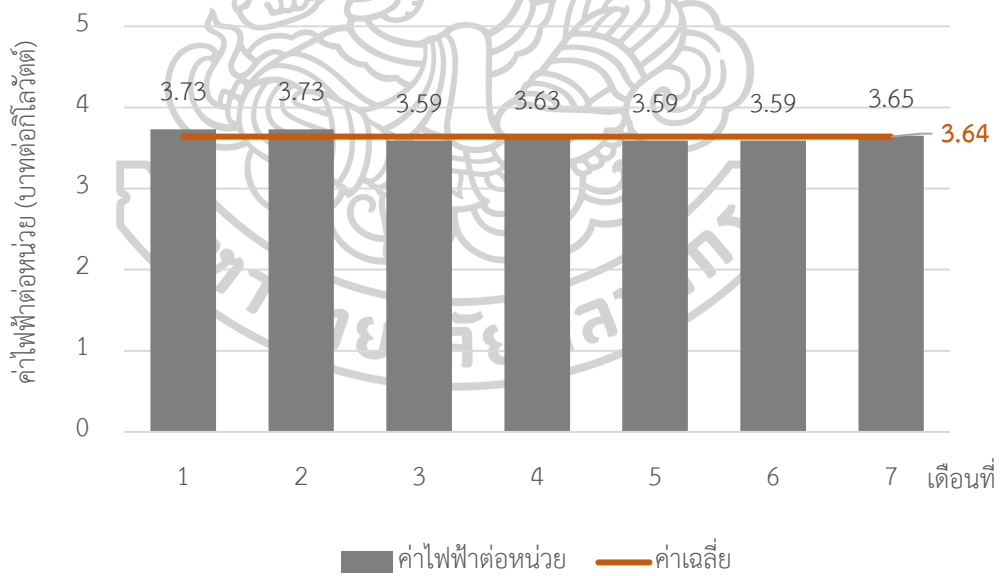
รูปที่ 40 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



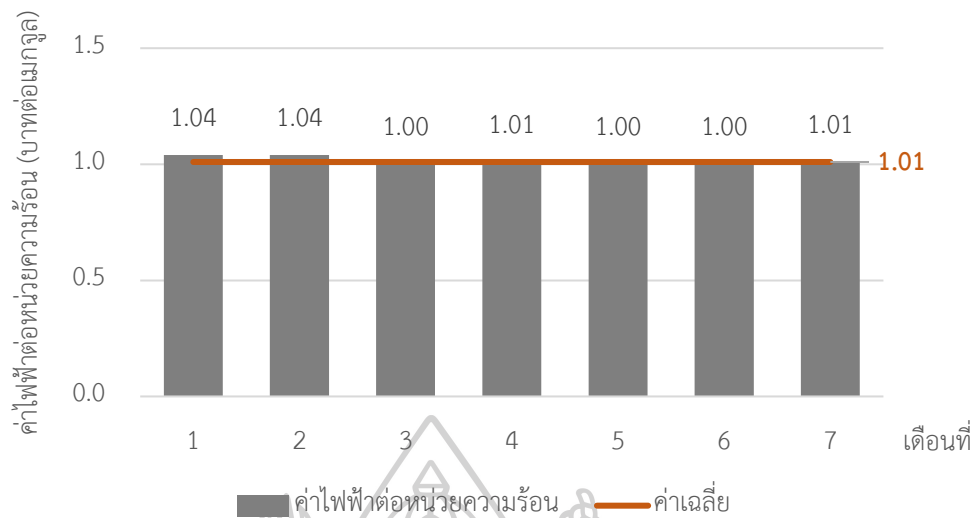
รูปที่ 41 ค่าพลังงานไฟฟ้า ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 42 ค่าไฟฟ้า ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 43 ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 44 ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยความร้อน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

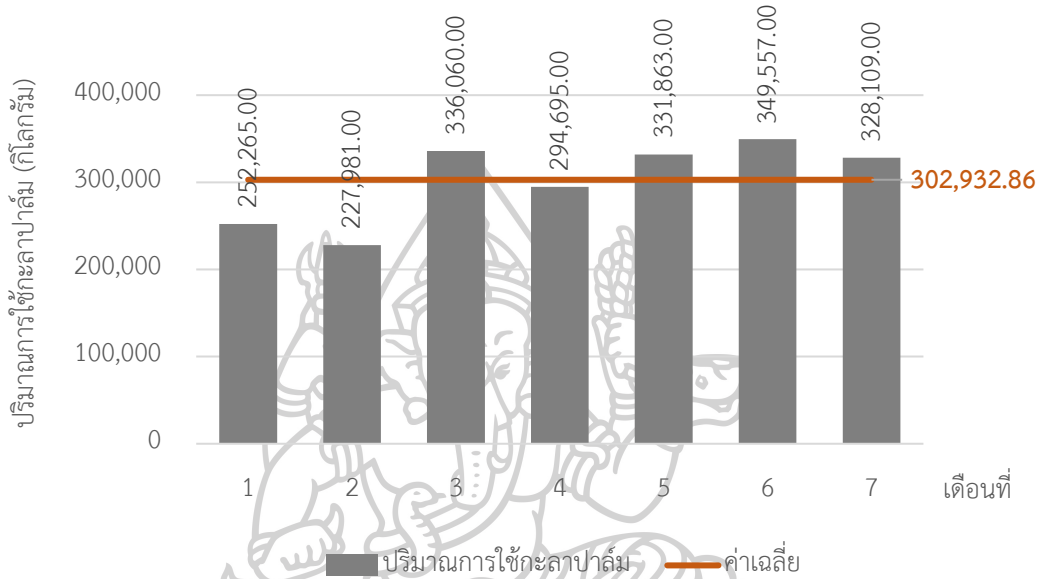
ดังนั้นค่าไฟฟ้าต่อหน่วย และค่าไฟฟ้าต่อหน่วยความร้อนเฉลี่ย ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 3.64 บาทต่อกิโลวัตต์ และ 1.01 บาทต่อเมกะจูล ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ข้อมูลการใช้กะลาปาล์ม ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

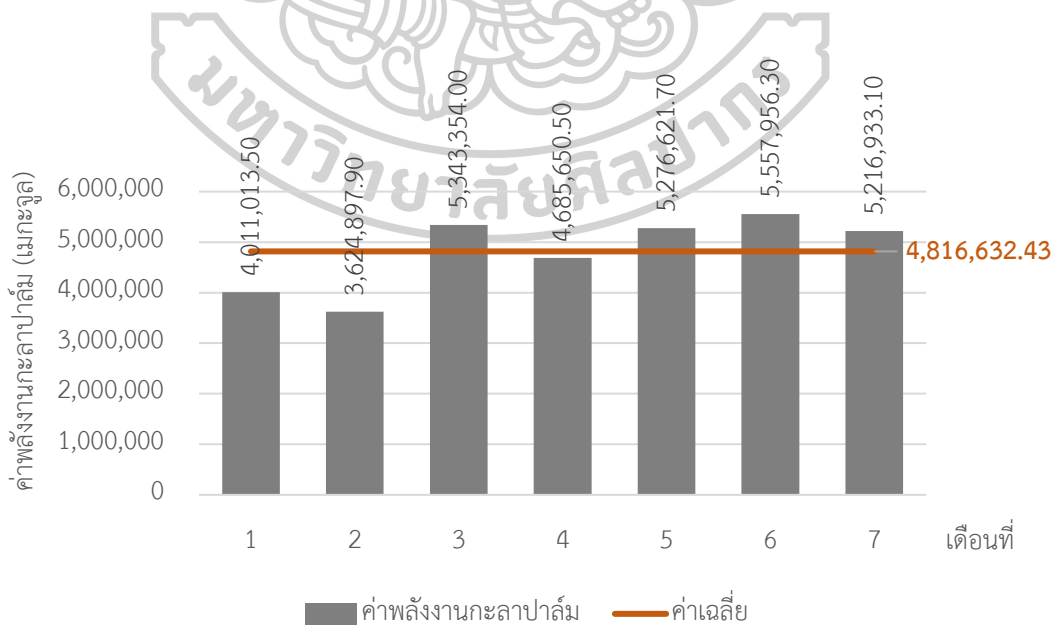
เดือนที่	ปริมาณการใช้กะลาปาล์ม (กิโลกรัม)	ค่าพลังงานกะลาปาล์ม (เมกะจูล)	ค่าใช้จ่ายกะลาปาล์ม (บาท)	ค่ากะลาปาล์มต่อหน่วย (บาทต่อกิโลกรัม)	ค่ากะลาปาล์มต่อหน่วยความร้อน (บาทต่อเมกะจูล)
1	252,265.00	4,011,013.50	948,109.86	3.76	0.24
2	227,981.00	3,624,897.90	730,532.15	3.20	0.20
3	336,060.00	5,343,354.00	1,260,268.86	3.75	0.24
4	294,695.00	4,685,650.50	1,105,112.89	3.75	0.24
5	331,863.00	5,276,621.70	1,244,486.36	3.75	0.24
6	349,557.00	5,557,956.30	1,310,838.75	3.75	0.24
7	328,109.00	5,216,933.10	1,230,408.75	3.75	0.24
ค่าเฉลี่ย	302,932.86	4,816,632.43	1,118,536.80	3.69	0.23



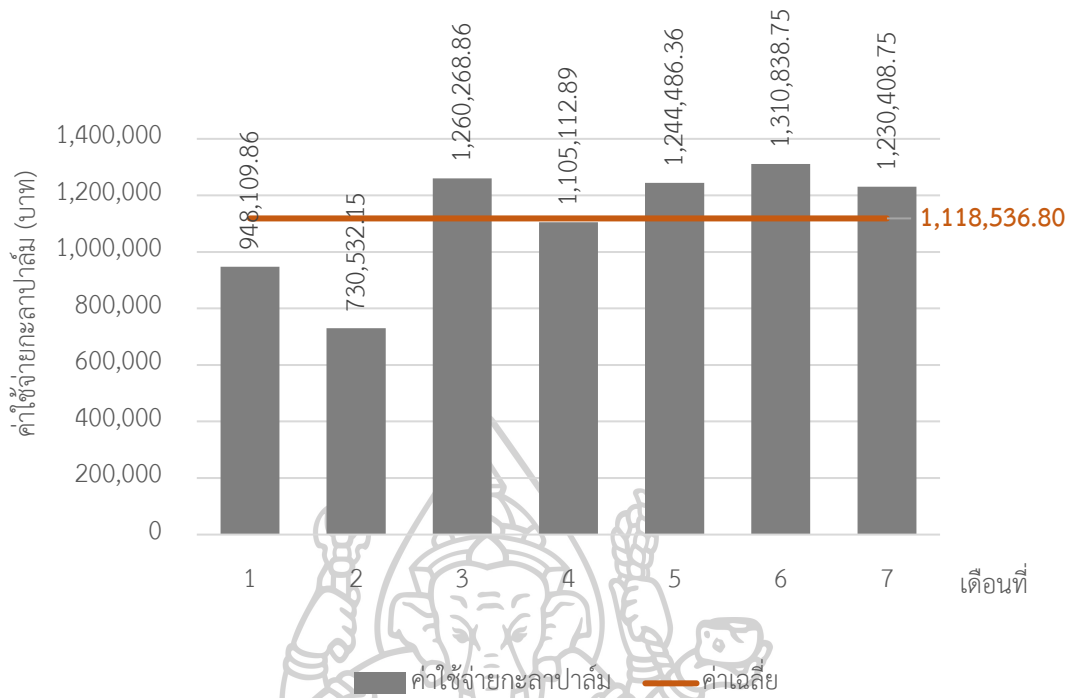
จากตารางที่ 3 พบว่าโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างมีการนำกะลาปาล์มมาผลิตเป็นพลังงานความร้อนเฉลี่ยระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง เท่ากับ 302,932.86 กิโลกรัมต่อเดือน หรือเทียบเท่าพลังงานความร้อน 4,816,632.43 เมกะจูลต่อเดือน โดยมีค่าใช้จ่ายกะลาปาล์มเฉลี่ยเท่ากับ 1,118,536.80 บาทต่อเดือน



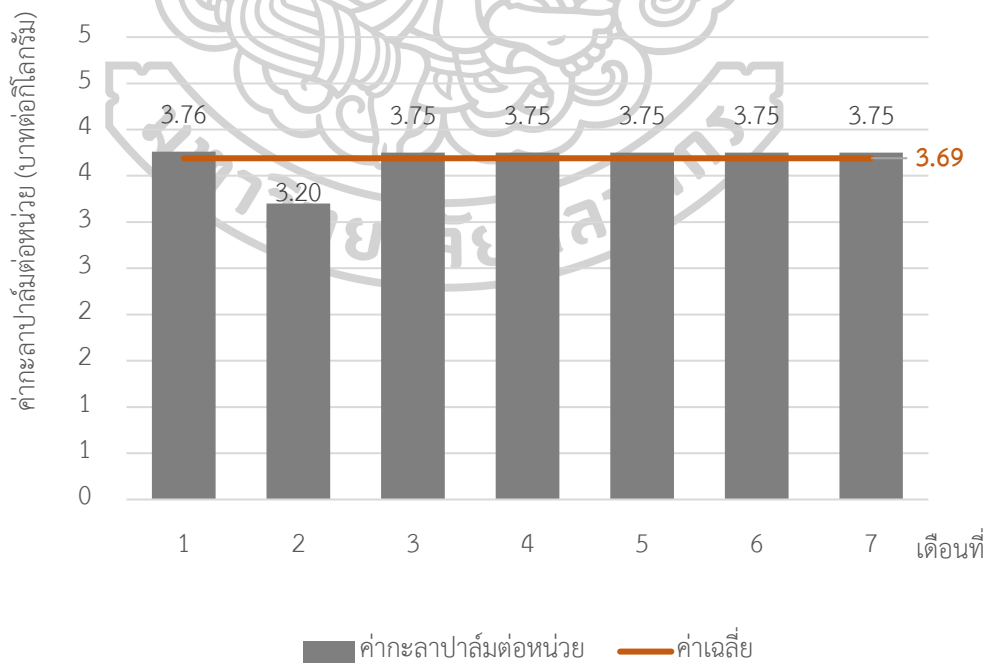
รูปที่ 45 ปริมาณการใช้กะลาปาล์ม ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



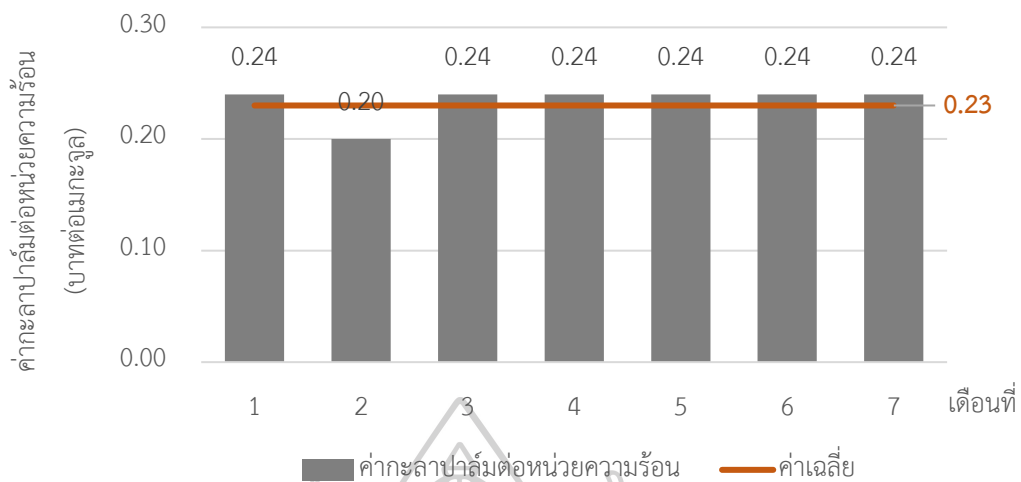
รูปที่ 46 ค่าพลังงานกะลาปาล์ม ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 47 ค่าใช้จ่ายกะลาปาล์ม ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 48 ค่ากะลาปาล์มต่อหน่วย ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



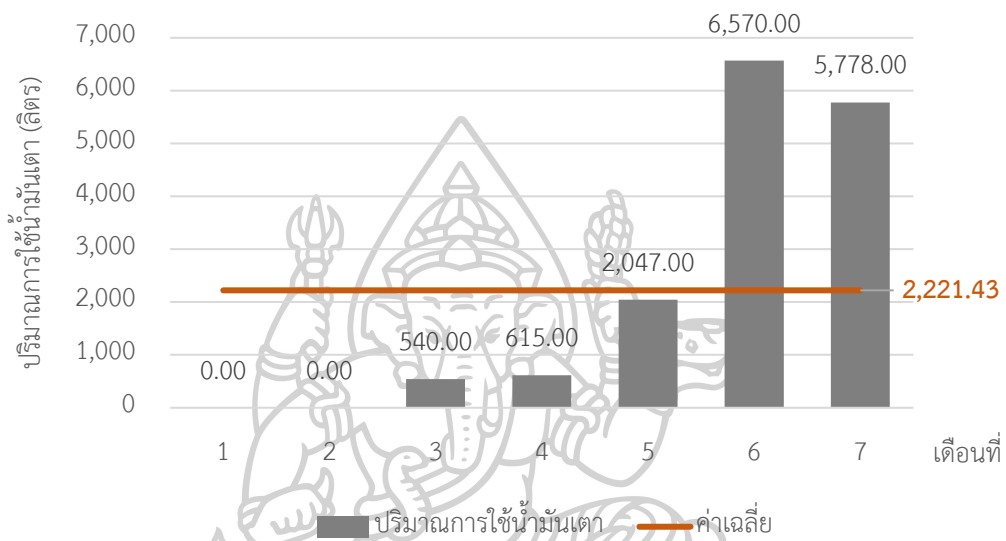
รูปที่ 49 ค่ากะลาปาล์มต่อหน่วยความร้อน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

ดังนั้นค่ากะลาปาล์มต่อหน่วย และค่ากะลาปาล์มต่อหน่วยความร้อนเฉลี่ยระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 3.69 บาทต่อกิโลกรัม และ 0.23 บาทต่อเมกะจูล ตามลำดับ

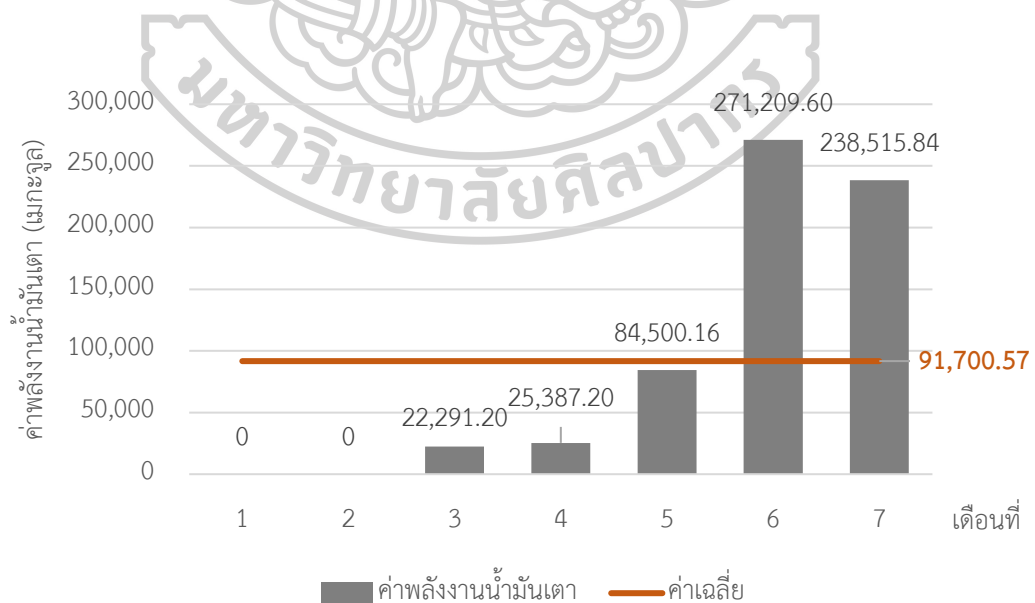
ตารางที่ 4 ข้อมูลการใช้น้ำมันเตา ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

เดือนที่	ปริมาณการใช้น้ำมันเตา (ลิตร)	ค่าพลังงานน้ำมันเตา (เมกะจูล)	ค่าใช้จ่ายน้ำมันเตา (บาท)	ค่าน้ำมันเตาต่อหน่วย (บาทต่อลิตร)	ค่าน้ำมันเตาต่อหน่วยความร้อน (บาทต่อเมกะจูล)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	540.00	22,291.20	5,483.52	10.15	0.25
4	615.00	25,387.20	6,245.11	10.15	0.25
5	2,047.00	84,500.16	20,786.60	10.15	0.25
6	6,570.00	271,209.60	79,358.25	12.08	0.29
7	5,778.00	238,515.84	54,891.00	9.50	0.23
ค่าเฉลี่ย	2,221.43	91,700.57	23,823.50	10.72	0.26

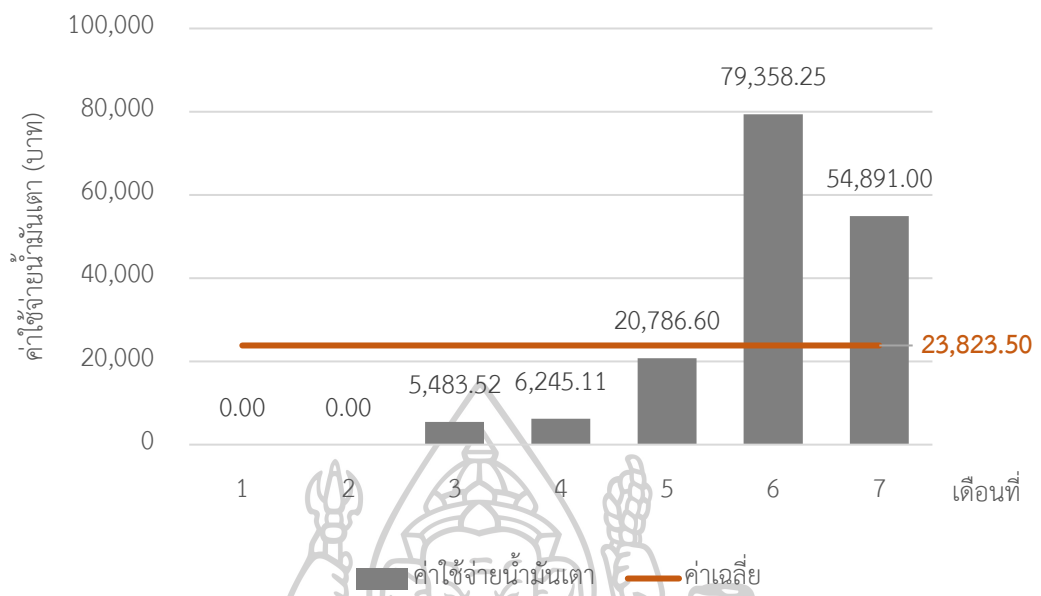
จากตารางที่ 4 พบว่าโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างมีการนำน้ำมันเตามาผลิตเป็นพลังงาน ความร้อนเฉลี่ยระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 2,221,43 ลิตรต่อเดือน หรือ เทียบเท่าพลังงานความร้อน 91,700.57 เมกะจูลต่อเดือน โดยมีค่าใช้จ่ายน้ำมันเตาเฉลี่ยเท่ากับ 23,823.50 บาทต่อเดือน



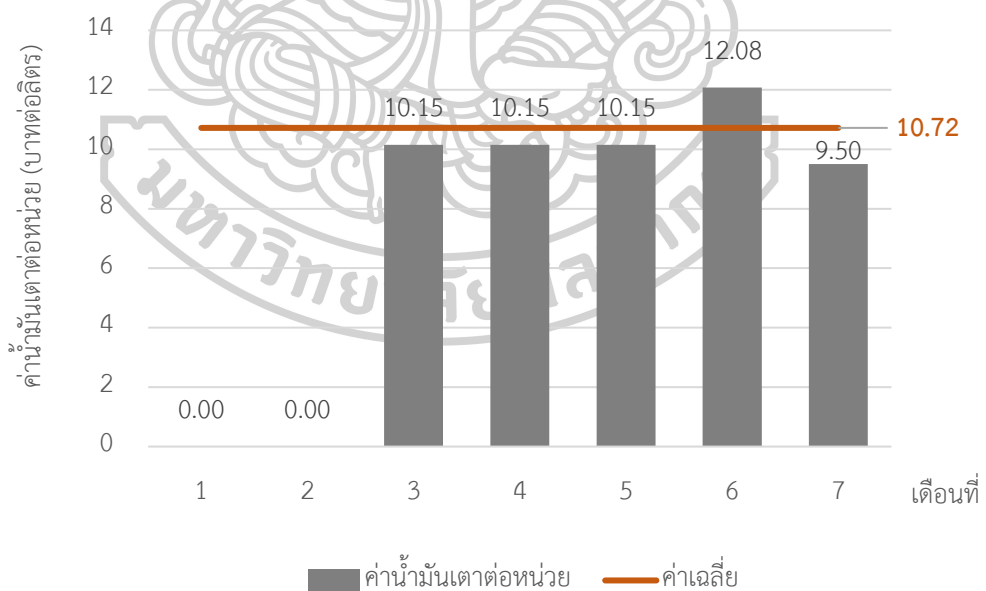
รูปที่ 50 ปริมาณการใช้ น้ำมันเตา ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



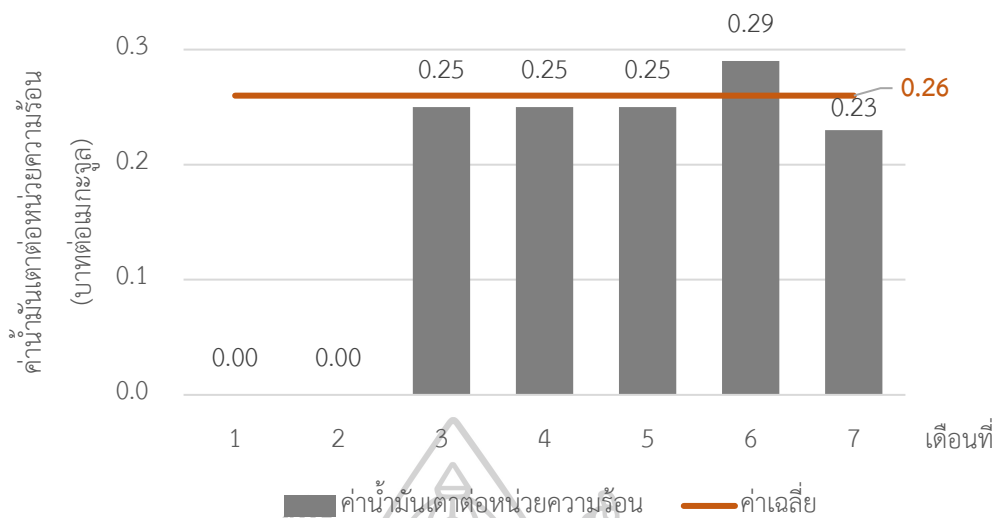
รูปที่ 51 ค่าพลังงานน้ำมันเตา ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 52 ค่าใช้จ่ายน้ำมันเตา ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 53 ค่าน้ำมันเตาต่อหน่วย ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 54 ค่าน้ำมันเตาต่อหน่วยความร้อน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

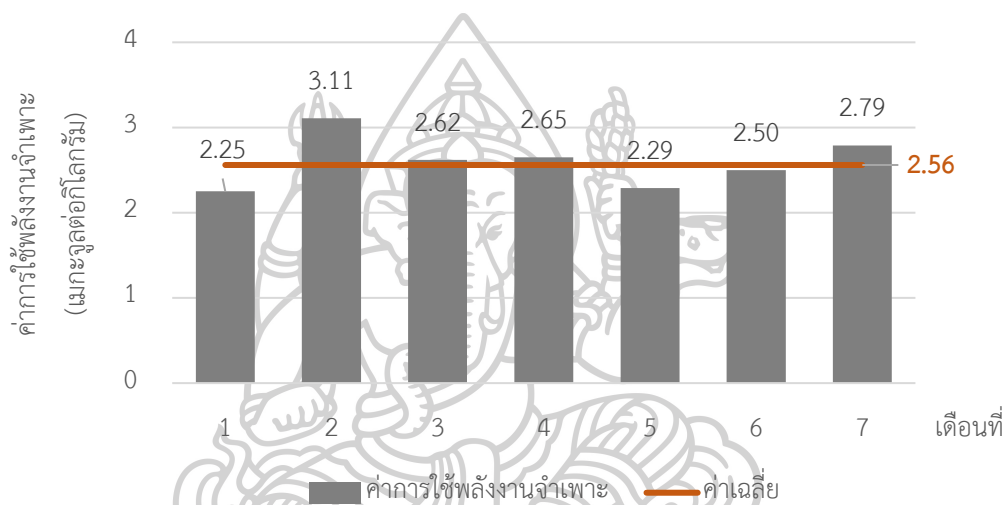
ดังนั้นค่าน้ำมันเตาต่อหน่วย และค่าน้ำมันเตาต่อหน่วยความร้อนเฉลี่ยระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 10.72 บาทต่อลิตร และ 0.26 บาทต่อเมกะจูล ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ข้อมูลการใช้พลังงาน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

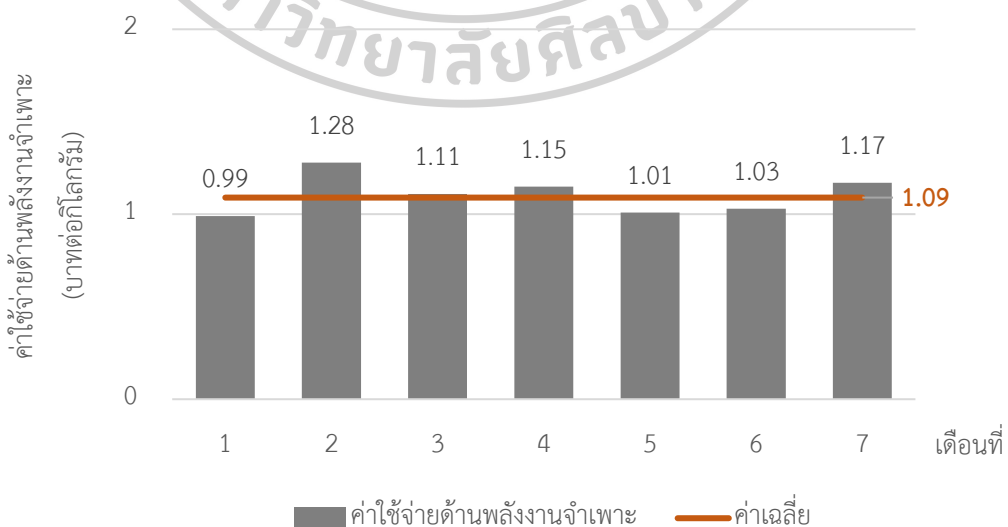
เดือนที่	ค่าพลังงาน	ค่าใช้จ่ายด้าน	ปริมาณ	ค่าการใช้	ค่าใช้จ่ายด้าน
	รวม	พลังงานรวม		พลังงาน	พลังงาน
	(เมกะจูล)	(บาท)	(กิโลกรัม)	(เมกะจูลต่อ	(บาทต่อ
				กิโลกรัม)	กิโลกรัม)
1	5,370,841.50	2,357,787.45	2,384,886.04	2.25	0.99
2	4,837,341.90	1,985,896.09	1,556,867.41	3.11	1.28
3	7,128,241.20	3,021,583.74	2,716,461.16	2.62	1.11
4	6,334,889.70	2,750,977.47	2,394,190.74	2.65	1.15
5	7,354,873.86	3,254,526.79	3,207,114.89	2.29	1.01
6	7,536,753.90	3,091,475.97	3,013,323.70	2.50	1.03
7	7,142,624.94	2,997,754.21	2,558,565.87	2.79	1.17
ค่าเฉลี่ย	6,529,366.71	2,780,000.25	2,547,344.26	2.56	1.09



จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานทั้ง 2 รูปแบบ คือพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน จากเชื้อเพลิง ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง พบว่าโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างมีการใช้พลังงานรวมเทียบเท่าพลังงานความร้อนเฉลี่ย 6,832,299.57 เมกะจูล ซึ่งมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ย 2,780,000.25บาทต่อเดือน โดยที่มีปริมาณผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 2,547,344.26 กิโลกรัม ดังนั้นค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 2.56 เมกะจูลต่อกิโลกรัม หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเท่ากับ 1.09 บาทต่อกิโลกรัม



รูปที่ 55 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

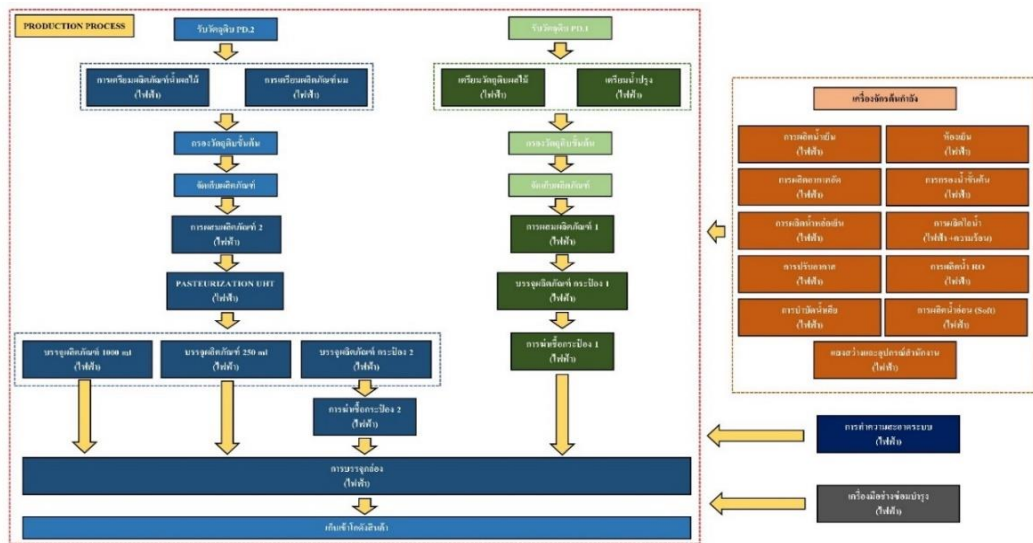


รูปที่ 56 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะ ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

## 4.2 การวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการลดการใช้พลังงาน

### 4.2.1 การวิเคราะห์เพื่อหามาตรการในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง พบว่ามีขั้นตอนการผลิตทั้งหมด 27 ขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 57



รูปที่ 57 ขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 57 แสดงขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยขั้นตอนการผลิตแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของการผลิตผลไม้บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท ส่วนของการผลิตเครื่องดื่มพร้อมดื่มบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท และส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนงานสนับสนุน

ส่วนของการผลิตผลไม้บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท โดยขั้นตอนการผลิตเริ่มจากการรับวัตถุดิบที่เป็นผลไม้สดเข้ามาในโรงงาน แล้วนำเข้าสู่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบโดยการตัดแต่งชิ้นเนื้อของวัตถุดิบและล้างทำความสะอาด ในขณะเดียวกันส่วนงานเตรียมน้ำปรุงจะทำการเตรียมน้ำปรุงเพื่อผสมกับผลิตภัณฑ์ จากนั้นวัตถุดิบที่ผ่านการล้างทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วและน้ำปรุงที่เตรียมเรียบร้อยแล้วจะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการกรองวัตถุดิบขั้นต้นเพื่อแยกขนาดของวัตถุดิบและกรองน้ำปรุง จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังพื้นที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์เพื่อรอเข้าสู่ขั้นตอนการผสมผลิตภัณฑ์ระหว่างวัตถุดิบที่เป็นผลไม้และน้ำปรุง เมื่อทำการผสมผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้วผลิตภัณฑ์จะถูกบรรจุในภาชนะที่เป็น

กระป๋องปิดสนิทและเข้าสู่ขั้นตอนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจะถูกส่งไปบรรจุลงในกล่องและนำไปจัดเก็บในคลังสินค้าเพื่อรอส่งต่อไปในลำดับถัดไป

ส่วนของการผลิตเครื่องดื่มพร้อมดื่มบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท จะแบ่งออกเป็น 2 ผลิตภัณฑ์หลัก คือผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำผลไม้ และผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำนมจากถั่วเหลือง โดยขั้นตอนการผลิตเริ่มจากการรับวัตถุดิบที่เป็นน้ำผลไม้สดเข้ามาในโรงงาน แล้วนำเข้าสู่ขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้โดยการตรวจเช็คค่าต่าง ๆ ตามมาตรฐานของโรงงาน ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำนมจากถั่วเหลืองวัตถุดิบจะมาเป็นรูปแบบของเมล็ดถั่วเหลือง แล้วนำเข้าสู่การเตรียมผลิตภัณฑ์โดยการบดเพื่อรีดน้ำถั่วเหลืองออกจากเมล็ด เมื่อผ่านขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้วจะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการกรองวัตถุดิบขั้นต้นเพื่อแยกกากของผลิตภัณฑ์ออกให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นของเหลว จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังพื้นที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์เพื่อรอเข้าสู่ขั้นตอนการผสมผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้รสชาติ สี กลิ่น และค่าต่าง ๆ ตรงตามมาตรฐานของโรงงาน จากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกส่งไปยังขั้นตอนการพาสเจอร์ไรซ์หรือขั้นตอนการถนอมอาหารเพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกส่งไปบรรจุลงในภาชนะปิดสนิท โดยการบรรจุผลิตภัณฑ์จะแบ่งออกเป็น 3 ขนาดด้วยกันคือ กล่อง 1000 มิลลิลิตร กล่อง 250 มิลลิลิตร และกระป๋อง 180 มิลลิลิตร ผลิตภัณฑ์ที่เป็นกระป๋องจะถูกส่งเข้าสู่ขั้นตอนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จากนั้นผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะถูกส่งไปบรรจุลงในกล่องและนำไปจัดเก็บในคลังสินค้าเพื่อรอส่งต่อไปในลำดับถัดไป

ส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนงานสนับสนุน จะเป็นขั้นตอนการผลิตที่ไม่ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่จะเป็นส่วนที่ทำงานเพื่อให้ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์โดยตรงสามารถทำงานได้ เช่น การผลิตน้ำเย็น ห้องเย็น การผลิตอากาศอัด การกรองน้ำขั้นต้น การผลิตน้ำหล่อเย็น การผลิตไอน้ำ การปรับอากาศ การผลิตน้ำ RO. การบำบัดน้ำเสีย การผลิตน้ำอ่อน แสงสว่างและอุปกรณ์สำนักงาน การทำความสะอาดระบบ และเครื่องมือช่าง เป็นต้น

การใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตจะมีในขั้นตอน การเตรียมวัตถุดิบผลไม้ การเตรียมน้ำปรุง การผสมผลิตภัณฑ์ผลไม้ การบรรจุผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋อง การฆ่าเชื้อกระป๋องบรรจุผลไม้ การเตรียมผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ การเตรียมผลิตภัณฑ์นม การผสมผลิตภัณฑ์น้ำ การพาสเจอร์ไรซ์ การบรรจุผลิตภัณฑ์กล่อง 1000 มิลลิลิตร การบรรจุผลิตภัณฑ์กล่อง 250 มิลลิลิตร การบรรจุผลิตภัณฑ์กระป๋อง 180 มิลลิลิตร การฆ่าเชื้อกระป๋องบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำ และการบรรจุกล่องล้าง ในขณะเดียวกันยังมีขั้นตอนการผลิตในส่วนของการสนับสนุนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ การผลิตน้ำเย็น ห้องเย็น การผลิตอากาศอัด การกรองน้ำขั้นต้น การผลิตน้ำหล่อเย็น การผลิตไอน้ำ การปรับอากาศ การผลิตน้ำ RO. การบำบัดน้ำเสีย การผลิตน้ำอ่อน แสงสว่างและอุปกรณ์สำนักงาน การทำความสะอาดระบบ และเครื่องมือช่าง ซึ่งขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างที่มีการใช้

พลังงานมีทั้งหมด 27 ขั้นตอน โดยปริมาณการใช้ไฟฟ้าและสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละขั้นตอนการผลิตที่ได้จากการตรวจวัด สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 6 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
1	การผลิตน้ำเย็น	85,887.70	76,578.83	111,326.82	102,563.65	125,926.79
2	ห้องเย็น	60,032.31	53,525.75	77,813.31	71,688.18	88,018.15
3	การผลิตอากาศอัด	44,364.61	39,556.18	57,504.98	52,978.43	65,046.48
4	การกรองน้ำขั้นต้น	36,341.25	32,402.43	47,105.17	43,397.26	53,282.79
5	การผลิตน้ำหล่อเย็น	24,824.74	22,134.12	32,177.58	29,644.70	36,397.52
6	การผลิตไอน้ำ	22,783.01	20,313.69	29,531.12	27,206.56	33,403.99
7	การปรับอากาศ	21,770.82	19,411.21	28,219.13	25,997.84	31,919.94
8	การผลิตน้ำ RO	12,231.81	10,906.07	15,854.75	14,606.73	17,934.03
9	การบำบัดน้ำเสีย	10,779.22	9,610.92	13,971.92	12,872.11	15,804.28
10	การพาสเจอร์ไรซ์	8,538.04	7,612.65	11,066.92	10,195.78	12,518.29
11	การผลิตน้ำอ่อน	8,299.99	7,400.40	10,758.37	9,911.51	12,169.27
12	บรรจุผลิตภัณฑ์ 1000 ml.	6,993.24	6,235.28	9,064.57	8,351.05	10,253.35
13	การฆ่าเชื้อกระป๋องบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำ	6,064.20	5,406.94	7,860.36	7,241.63	8,891.21
14	การเตรียมผลิตภัณฑ์นม	5,189.18	4,626.76	6,726.17	6,196.71	7,608.27
15	การบรรจุกล่องลัง	4,745.50	4,231.16	6,151.07	5,666.88	6,957.75
16	เครื่องมือช่างซ่อมบำรุง	3,093.45	2,758.17	4,009.70	3,694.07	4,535.55
17	การเตรียมผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้	2,893.60	2,579.98	3,750.65	3,455.42	4,242.53
18	การผสมผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้	2,091.11	1,864.46	2,710.47	2,497.11	3,065.94
19	บรรจุผลิตภัณฑ์ 250 ml.	1,986.94	1,771.58	2,575.45	2,372.72	2,913.20
20	การบรรจุผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋อง	1,949.13	1,737.87	2,526.44	2,327.57	2,857.77
21	การทำความสะอาดระบบ	1,620.41	1,444.79	2,100.36	1,935.03	2,375.82
22	การฆ่าเชื้อกระป๋องบรรจุผลไม้	1,253.89	1,117.99	1,625.28	1,497.35	1,838.43

ตารางที่ 6 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
23	การผสมผลิตภัณฑ์ผลไม้	1,107.28	987.27	1,435.25	1,322.27	1,623.48
24	การเตรียมน้ำปรุง	1,084.13	966.63	1,405.24	1,294.63	1,589.53
25	แสงสว่างและอุปกรณ์สำนักงาน	866.92	772.96	1,123.69	1,035.24	1,271.06
26	การเตรียมวัตถุดิบผลไม้	713.75	636.39	925.16	852.34	1,046.49
27	บรรจุผลิตภัณฑ์กระป๋อง 180 ml.	223.77	199.52	290.05	267.22	328.09
	รวม	377,730.00	336,790.00	489,610.00	451,070.00	553,820.00

ตารางที่ 6 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	มิถุนายน	กรกฎาคม	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	% การใช้พลังงานไฟฟ้า
1	การผลิตน้ำเย็น	107,852.47	106,563.24	716,699.50	102,385.64	22.74
2	ห้องเย็น	75,384.87	74,483.74	500,946.33	71,563.76	15.89
3	การผลิตอากาศอัด	55,710.33	55,044.39	370,205.40	52,886.49	11.75
4	การกรองน้ำขั้นต้น	45,635.09	45,089.58	303,253.57	43,321.94	9.62
5	การผลิตน้ำหล่อเย็น	31,173.37	30,800.73	207,152.76	29,593.25	6.57
6	การผลิตไอน้ำ	28,609.50	28,267.51	190,115.40	27,159.34	6.03
7	การปรับอากาศ	27,338.45	27,011.66	181,669.05	25,952.72	5.76
8	การผลิตน้ำ RO	15,359.95	15,176.34	102,069.68	14,581.38	3.24
9	การบำบัดน้ำเสีย	13,535.88	13,374.08	89,948.42	12,849.77	2.85
10	การพาสเจอร์ไรซ์	10,721.54	10,593.38	71,246.59	10,178.08	2.26
11	การผลิตน้ำอ่อน	10,422.61	10,298.03	69,260.19	9,894.31	2.20
12	บรรจุผลิตภัณฑ์ 1000 ml.	8,781.68	8,676.71	58,355.88	8,336.55	1.85
13	การฆ่าเชื้อกระป๋องบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำ	7,615.05	7,524.03	50,603.43	7,229.06	1.61

ตารางที่ 6 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	มิถุนายน	กรกฎาคม	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	% การใช้พลังงานไฟฟ้า
14	การเตรียมผลิตภัณฑ์นม	6,516.25	6,438.36	43,301.70	6,185.96	1.37
15	การบรรจุกล่อง	5,959.10	5,887.87	39,599.33	5,657.05	1.26
16	เครื่องมือช่างซ่อมบำรุง	3,884.56	3,838.12	25,813.61	3,687.66	0.82
17	การเตรียมผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้	3,633.60	3,590.16	24,145.93	3,449.42	0.77
18	การผสมผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้	2,625.88	2,594.49	17,449.46	2,492.78	0.55
19	บรรจุผลิตภัณฑ์ 250 ml.	2,495.07	2,465.25	16,580.21	2,368.60	0.53
20	การบรรจุผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋อง	2,447.59	2,418.33	16,264.70	2,323.53	0.52
21	การทำความสะอาดระบบ	2,034.82	2,010.49	13,521.72	1,931.67	0.43
22	การฆ่าเชื้อกระป๋องบรรจุผลไม้	1,574.56	1,555.74	10,463.24	1,494.75	0.33
23	การผสมผลิตภัณฑ์ผลไม้	1,390.46	1,373.84	9,239.84	1,319.98	0.29
24	การเตรียมน้ำปรุงรส	1,361.39	1,345.11	9,046.68	1,292.38	0.29
25	แสงสว่างและอุปกรณ์สำนักงาน	1,088.63	1,075.61	7,234.12	1,033.45	0.23
26	การเตรียมวัตถุดิบผลไม้	896.29	885.57	5,956.00	850.86	0.19
27	บรรจุผลิตภัณฑ์กระป๋อง 180 ml.	281.00	277.64	1,867.29	266.76	0.06
	รวม	474,330.00	468,660.00	3,152,010.00	450,287.14	100.00

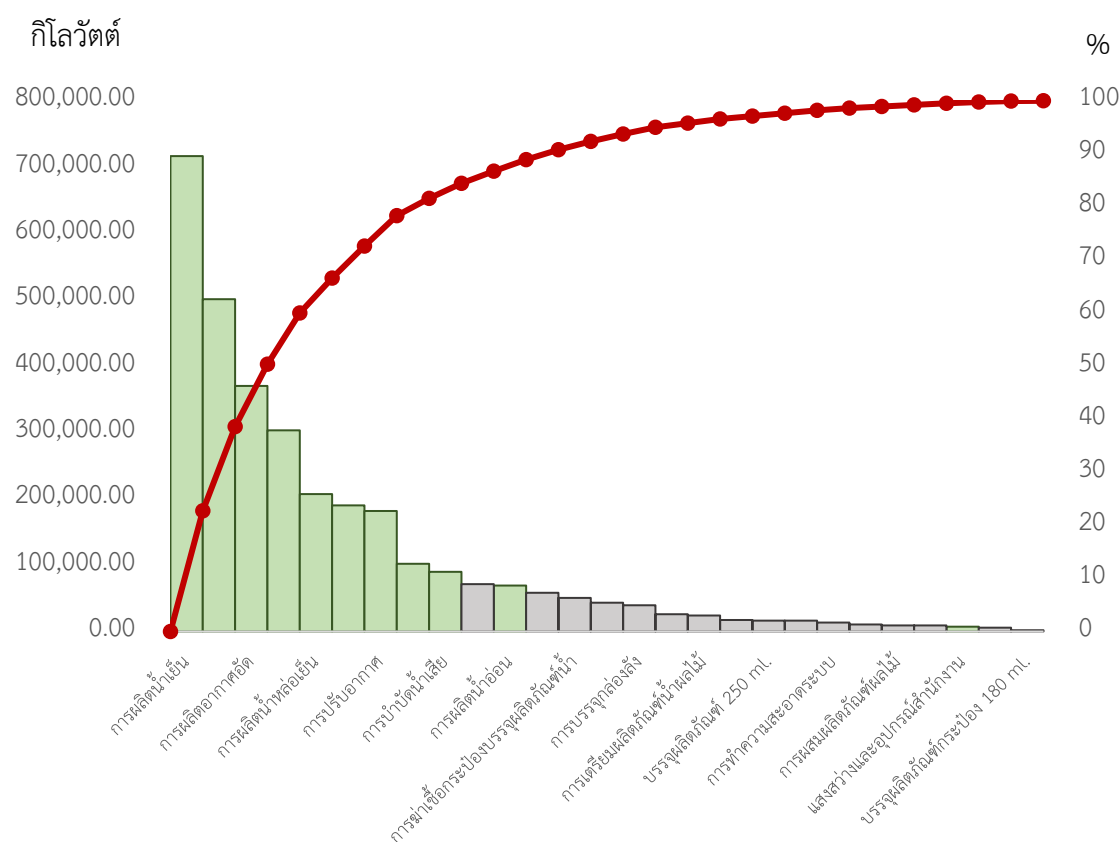
จากตารางที่ 6 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง พบว่าขั้นตอนการผลิตน้ำเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 102,385.64 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 22.74% ห้องเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 71,563.76 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 15.89% การผลิตอากาศอัด



ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 52,886.49 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 11.75% การกรองน้ำขั้นต้นใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 43,321.94 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 9.62% การผลิตน้ำหล่อเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 29,593.25 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 6.57% การผลิตไอน้ำใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 27,159.72 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 6.03% การปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 25,952.72 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5.76% การผลิตน้ำ RO. ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 14,581.38 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 3.24% การบำบัดน้ำเสียใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 12,849.77 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 2.85% การพาสเจอร์ไรซ์ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 10,178.08 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 2.26% การผลิตน้ำอ่อนใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 9,894.31 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 2.20% การบรรจุผลิตภัณฑ์กล่อง 1000 ml. ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 8,336.55 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.85% การฆ่าเชื้อกระป๋องบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 7,229.06 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.61% การเตรียมผลิตภัณฑ์นมใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 6,185.96 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.37% การบรรจุกล่องลังใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 5,657.05 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.26% เครื่องมือช่างซ่อมบำรุงใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 3,687.66 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.82% การเตรียมผลิตภัณฑ์ผลไม้ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 3,449.42 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.77% การผสมผลิตภัณฑ์ผลไม้ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 2,492.78 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.55% บรรจุผลิตภัณฑ์ 250 ml. ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 2,368.60 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.53% การบรรจุผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋องใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 2,323.53 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.52% การทำความสะอาดระบบใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1,931.67 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.43% การฆ่าเชื้อกระป๋องบรรจุผลไม้ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1,494.75 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.33% การผสมผลิตภัณฑ์ผลไม้ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1,319.98 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.29% การเตรียมน้ำปรุงใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1,292.38 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.29% แสงสว่างและอุปกรณ์สำนักงานใช้พลังงาน

ไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1,033.45 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.23% การเตรียมวัตถุดิบผลไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 850.86 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.19% และบรรจุผลิตภัณฑ์กระป๋อง 180 ml. ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 266.76 กิโลวัตต์ต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.06%

จากนั้นนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัด ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง มาจัดลำดับเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิต สามารถแสดงดังรูปที่ 58



รูปที่ 58 ลำดับการใช้ไฟฟ้าของขั้นตอนการผลิตระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 58 ลำดับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิตระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง พบว่าขั้นตอนการผลิตในส่วนงานสนับสนุนมีปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมกันที่มากถึง 2,738,554.41 กิโลวัตต์ เฉลี่ยเท่ากับ 391,222.06 กิโลวัตต์ต่อเดือน โดยคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 86.88% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด จากข้อมูลดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดที่จะลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของขั้นตอนการผลิตในส่วนงานสนับสนุน เพื่อที่จะทำให้เกิดการลด

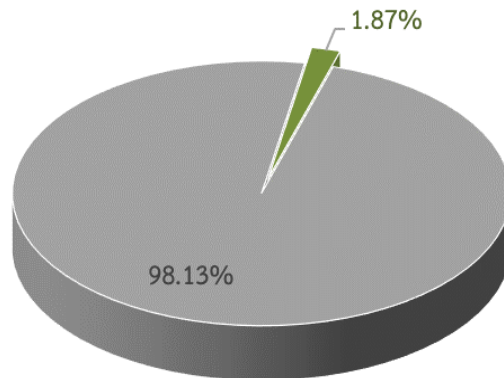
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับขั้นตอนการผลิตมากที่สุด

#### 4.2.2 การวิเคราะห์เพื่อหามาตรการในการลดการใช้พลังงานความร้อน

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงในขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง พบว่ามีขั้นตอนการผลิตทั้งหมด 1 ขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง คือขั้นตอนการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำ โดยหม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างจะมีอยู่ 2 เครื่องด้วยกันคือ หม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง ใช้น้ำมันกะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง และหม้อไอน้ำขนาด 5 ตันต่อชั่วโมง ใช้น้ำมันเตาเกรดซีเป็นเชื้อเพลิง โดยปริมาณการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง และสัดส่วนการใช้พลังงานสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

เดือนที่	ปริมาณการใช้พลังงานน้ำมันเตา (เมกะจูล)	ปริมาณการใช้พลังงานกะลาปาล์ม (เมกะจูล)	ปริมาณการใช้พลังงานรวม (เมกะจูล)	สัดส่วนการใช้พลังงานน้ำมันเตา (%)	สัดส่วนการใช้พลังงานกะลาปาล์ม (%)
1	0.00	4,011,013.50	4,011,013.50	-	100.00
2	0.00	3,624,897.90	3,624,897.90	-	100.00
3	22,291.20	5,343,354.00	5,365,645.20	0.42	99.58
4	25,387.20	4,685,650.50	4,711,037.70	0.54	99.46
5	84,500.16	5,276,621.70	5,361,121.86	1.58	98.42
6	271,209.60	5,557,956.30	5,829,165.90	4.65	95.35
7	238,515.84	5,216,933.10	5,455,448.94	4.37	95.63
ค่าเฉลี่ย	91,700.57	4,816,632.43	4,908,333.00	1.87	98.13



■ สกัดส่วนการใช้พลังงานจากน้ำมันเตาเกรดซี ■ สกัดส่วนการใช้พลังงานจากกะลาปาล์ม

### รูปที่ 59 สกัดส่วนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง

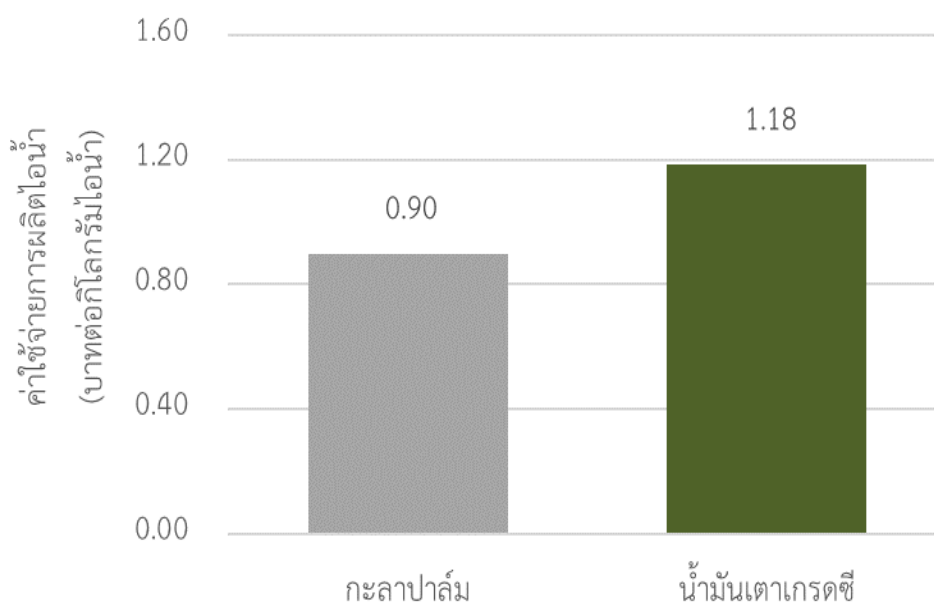
จากรูปที่ 59 เมื่อพิจารณาสัดส่วนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง พบว่าการใช้พลังงานจากกะลาปาล์มมีสัดส่วนการใช้งาน 98.13% และการใช้พลังงานจากน้ำมันเตามีสัดส่วนการใช้งาน 1.87% เนื่องจากการใช้กะลาปาล์มเพื่อผลิตไอน้ำมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าการใช้น้ำมันเตาเกรดซี โดยรายละเอียดสามารถแสดงได้ในตารางที่ 8 ถึง 9

ตารางที่ 8 ข้อมูลการผลิตไอน้ำของเชื้อเพลิงกะลาปาล์ม

เดือนที่	ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง (บาท)	ค่าใช้จ่ายด้านการเดินระบบ (บาท)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	ปริมาณการผลิตไอน้ำ (กิโลกรัมไอน้ำ)	ค่าใช้จ่ายการผลิตไอน้ำ (บาทต่อกิโลกรัมไอน้ำ)
1	948,109.86	42,869.28	990,979.14	1,156,317.26	0.86
2	730,532.15	40,106.71	770,638.86	1,081,802.06	0.68
3	1,260,268.86	56,653.15	1,316,922.01	1,528,110.97	0.82
4	1,105,112.89	49,974.77	1,155,087.66	1,347,974.21	0.82
5	1,244,486.36	56,712.10	1,301,198.46	1,529,700.99	0.81
6	1,310,838.75	40,331.95	1,351,170.70	1,087,877.59	1.20
7	1,230,408.75	50,540.87	1,280,949.62	1,363,243.84	0.90
รวม	7,829,757.62	337,188.82	8,166,946.44	9,095,026.92	0.90

ตารางที่ 9 ข้อมูลการผลิตไอน้ำของเชื้อเพลิงน้ำมันเตาเกรดซี

เดือนที่	ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง (บาท)	ค่าใช้จ่ายด้านการเดินระบบ (บาท)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิต (กิโลกรัมไอน้ำ)	ค่าใช้จ่ายการผลิตไอน้ำ (บาทต่อกิโลกรัมไอน้ำ)
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	5,483.52	3,523.50	9,007.02	7,868.36	1.14
4	6,245.11	4,012.88	10,257.99	8,961.19	1.14
5	20,786.60	13,356.68	34,143.28	29,826.93	1.14
6	79,358.25	42,869.28	122,227.53	95,731.75	1.28
7	54,891.00	37,701.48	92,592.48	84,191.49	1.10
รวม	166,764.48	101,463.82	268,228.30	226,579.72	1.18



รูปที่ 60 ค่าใช้จ่ายการผลิตไอน้ำ

จากรูปที่ 60 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายการผลิตไอน้ำ พบว่าการใช้พลังงานจากกะลาปาล์มมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 บาทต่อกิโลกรัมไอน้ำ และการใช้พลังงานจากน้ำมันเตามีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเท่ากับ 1.18 บาทต่อกิโลกรัมไอน้ำ โดยค่าใช้จ่ายการผลิตไอน้ำจากกะลาปาล์มจะถูกกว่าค่าใช้จ่ายการผลิตไอน้ำจากน้ำมันเตาเกรดซี 23.73% จึงทำให้โรงงานผลิตเครื่องต้มตัวอย่างใช้งานหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง มากกว่าใช้หม้อไอน้ำขนาด 5 ตันต่อชั่วโมง

#### 4.3 การดำเนินการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องต้มตัวอย่าง เพื่อนำไปสู่การหาขั้นตอนการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นั้นคือขั้นตอนการผลิตในส่วนงานสนับสนุน และได้แบ่งแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานออกเป็น 2 แนวทางคือ แนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน และแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ต้องใช้เงินลงทุน โดยมีรายละเอียดของแต่ละแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานดังนี้

##### 4.3.1 แนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน

###### 4.3.1.1. การลดการโบลว์ดาวน์ของหม้อไอน้ำ

จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำของหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง (ใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง) พบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลาย (Total dissolved solids: TDS) ของหม้อไอน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1200 ppm โดยที่ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องคุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อไอน้ำ พ.ศ. 2549 [20] กำหนดเกณฑ์ควบคุมค่าความเข้มข้นของสารละลายอยู่ที่ระดับไม่เกิน 3500 ppm โดยการดูแลเรื่องคุณภาพน้ำของหม้อไอน้ำเพื่อควบคุมค่าดังกล่าวให้เป็นไปตามเกณฑ์นั้น พนักงานควบคุมหม้อไอน้ำจะทำการโบลว์ดาวน์น้ำทั้งวันละ 4 ครั้ง หรือทุก 6 ชั่วโมง โดยจากการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายของหม้อไอน้ำที่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าเกณฑ์ควบคุมถึง 65.71% แสดงให้เห็นถึงจำนวนการโบลว์ดาวน์น้ำในหม้อไอน้ำทั้งหมดเกินไป ซึ่งทำให้สูญเสียน้ำและพลังงานความร้อนไปกับน้ำที่ปล่อยทิ้งไป

จึงดำเนินการปรับลดปริมาณการโบลว์ดาวน์น้ำในหม้อไอน้ำลง โดยทำการโบลว์ดาวน์วันละ 2 ครั้ง หรือทุก 12 ชั่วโมง ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารละลายของน้ำในหม้อไอน้ำให้มีค่าไม่เกิน 3500 ppm และจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำของหม้อไอน้ำหลังจากการโบลว์ดาวน์พบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายของหม้อไอน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2500 ppm ซึ่งจากการการ



ตรวจสอบแนวทางการลดปริมาณการโบลว์ดาวน์ดังกล่าว สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 582,655.39 บาทต่อปี (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก)

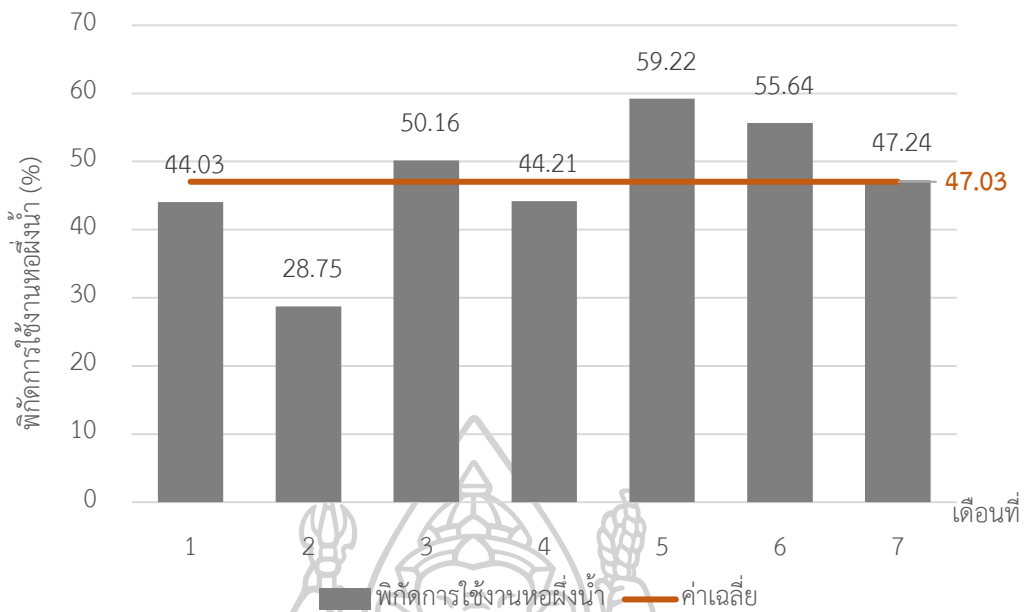
#### 4.3.1.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

ในการตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบายอากาศประจำปี 2564 ของโรงงานผลิตเครื่องตีตัวอย่าง จากการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำขนาด 5 ตันต่อชั่วโมง (ใช้น้ำมันเตาเกรดซีเป็นเชื้อเพลิง) พบว่ามีค่าปริมาณออกซิเจนในไอเสียเท่ากับ 10% โดยปริมาตร และมีอุณหภูมิไอเสีย 165 °C ซึ่งตามมาตรฐานการใช้งานหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว ควรจะมีค่าปริมาณออกซิเจนในไอเสียไม่เกิน 4% แสดงให้เห็นถึงอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงมากเกินไป ซึ่งอากาศส่วนนี้จะพาความร้อนออกไปทางปล่องไอเสีย

จึงดำเนินการควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ให้เป็นไปตามมาตรฐานการใช้งานของหม้อไอน้ำโดยการปรับอัตราส่วนการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ให้มีค่าปริมาณออกซิเจนในไอเสียอยู่ที่ 4% ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ให้อยู่ในมาตรฐานของการตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย เนื่องจาก การปรับลดปริมาณออกซิเจนในไอเสียลดลงมากเกินไปจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และอาจจะทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่องระบายเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งการตรวจสอบแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 8,130.69 บาทต่อปี (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข)

#### 4.3.1.3. การลดการใช้งานหอดึงน้ำ

จากการตรวจสอบการใช้งานของหอดึงน้ำในระบบผลิตน้ำเย็น พบว่าหอดึงน้ำมีจำนวนทั้งหมด 2 เครื่อง ได้แก่ หอดึงน้ำขนาด 300 ตันความเย็น และ 500 ตันความเย็น โดยหอดึงน้ำทั้ง 2 เครื่องจะทำงานตลอดเวลาในช่วงของการเดินเครื่องผลิตน้ำเย็น เพื่อการหล่อเย็นที่ครอบคลุมภาระการทำงานสูงสุดของระบบผลิตน้ำเย็น โดยจากการตรวจวัดพิกัดการใช้งานในระบบหล่อเย็นของเครื่องผลิตน้ำเย็นอย่างละเอียด พบว่าหอดึงน้ำมีพิกัดการใช้งานในช่วง 28.75% ถึง 59.22% ดังแสดงในรูปที่ 61 แสดงให้เห็นถึงการใช้งานของหอดึงน้ำที่สูงเกินกว่าความจำเป็น จึงทำให้หอดึงน้ำที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูง

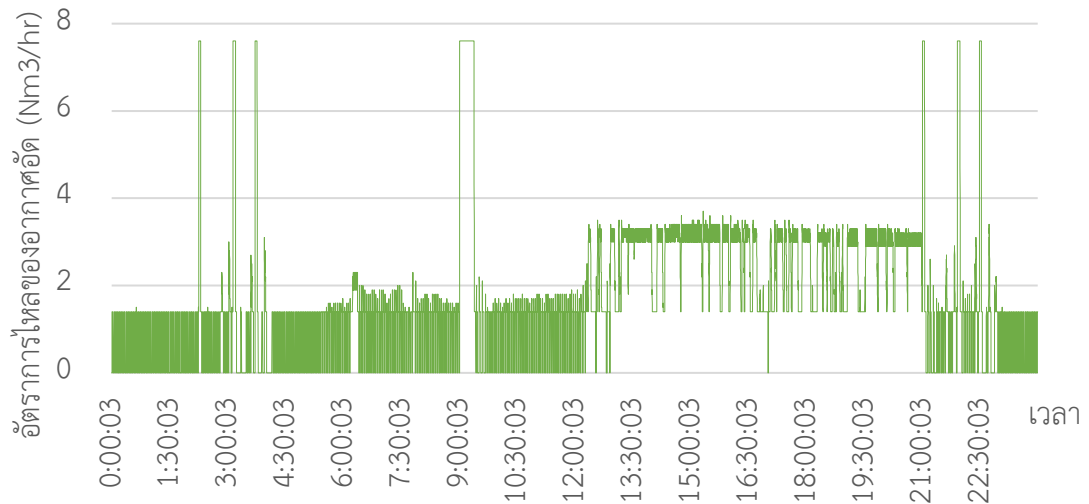


รูปที่ 61 พิกัดการใช้น้ำระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

จึงดำเนินการลดการเดินหอผึ่งน้ำขนาด 300 ตันความเย็น โดยพิจารณาอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นให้อยู่ในเกณฑ์ตามค่ามาตรฐานและไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบผลิตน้ำเย็น ซึ่งการตรวจสอบแนวทางการลดการใช้น้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 181,736.10 บาทต่อปี (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค)

#### 4.3.1.4. ลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัด

จากการตรวจสอบการใช้งานเครื่องอัดอากาศ พบว่าเครื่องอัดอากาศมีการทำงานตลอดเวลาทั้งในช่วงที่มีภาระการใช้งานและไม่มีภาระการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 62



รูปที่ 62 การทำงานของเครื่องอัดอากาศ

และจากการตรวจสอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ตามวันที่แสดงในรูปที่ 62 พบว่าเครื่องจักรที่ใช้อากาศอัดทำงานเพียงแค่ 15 ชั่วโมง จากการเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศ 24 ชั่วโมง ซึ่งโดยปกติในช่วงที่ไม่มีภาระการใช้งาน เครื่องอัดอากาศจะหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ ด้วยสาเหตุนี้จึงมั่นใจได้ว่าการรั่วไหลของอากาศอัดออกไปจากระบบ จึงทำการตรวจสอบสภาพทั่วไปของระบบอัดอากาศทั้งหมด พบว่าบริเวณข้อต่อท่อส่งจ่ายอากาศอัดที่มีลักษณะเป็นเกลียวเกิดการรั่วไหลของอากาศอัดเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 63 จึงทำให้เกิดการสูญเสียอากาศอัดออกไปจากระบบ และส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียทางด้านพลังงานไฟฟ้าในระบบอัดอากาศโดยเปล่าประโยชน์ จากการประเมินผลการสูญเสียพลังงานโดยการทดสอบการรั่วไหลของระบบอัดอากาศโดยจับเวลาการทำงานของเครื่องอัดที่สภาวะมีภาระ และสภาวะที่ไม่มีภาระการใช้งาน ขณะช่วงเวลาที่โรงงานไม่มีการผลิตหรือใช้งานอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัด พบว่ามีอากาศอัดรั่วไหลออกจากระบบเฉลี่ยร้อยละ 19.02 คิดเป็นปริมาณอากาศอัดเท่ากับ 1.45 Nm<sup>3</sup>/min หรือคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 56,864.11 กิโลวัตต์ต่อปี



รูปที่ 63 จุดรั่วไหลของอากาศอัด

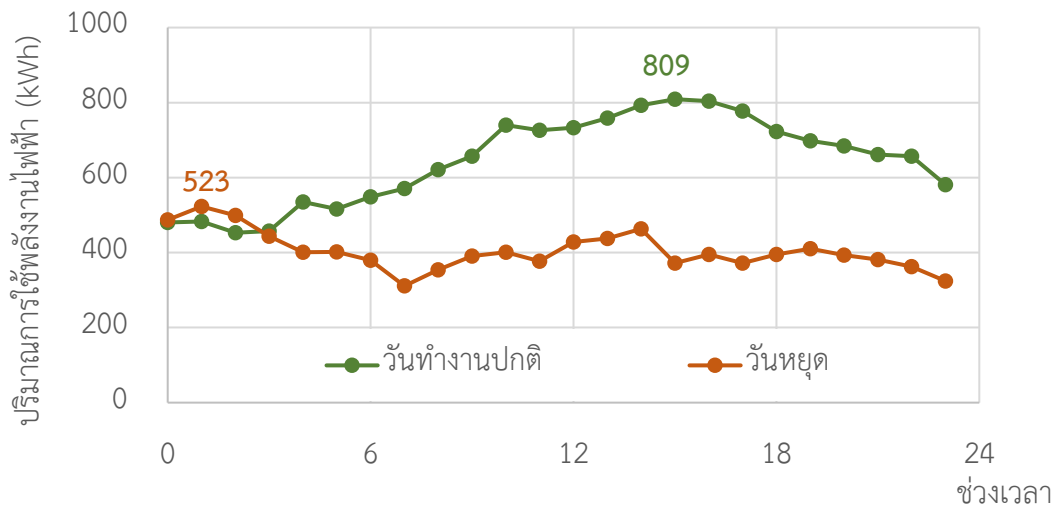
จึงดำเนินการซ่อมบริเวณจุดรั่วทั้งหมดของระบบอัดอากาศ ซึ่งจากการตรวจสอบแนวทางการลดลมรั่วของอากาศอัด สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 206,948.95 บาทต่อปี (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง)

#### 4.3.2 แนวทางการลดใช้พลังงานแบบที่ต้องใช้เงินลงทุน

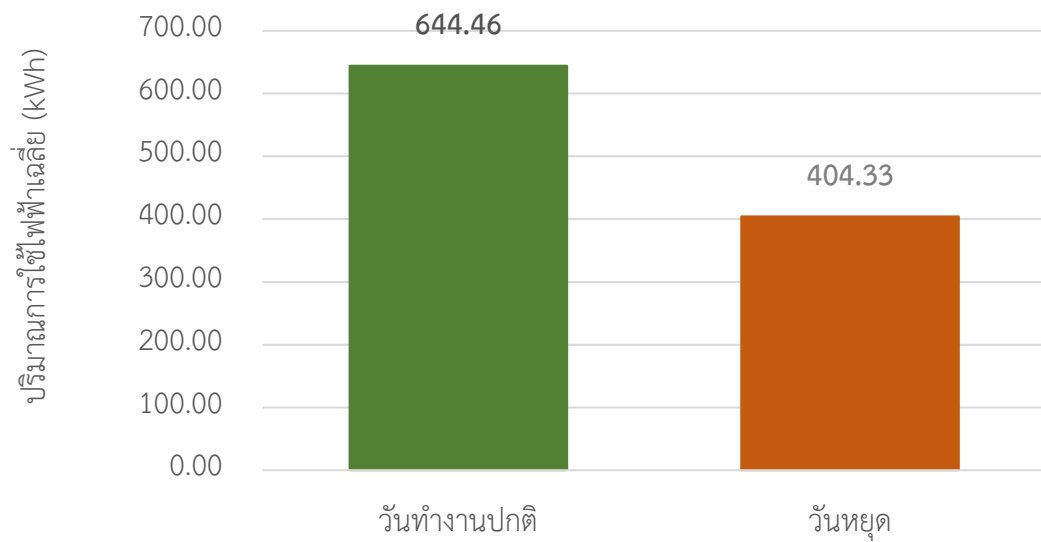
##### 4.3.2.1 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งที่ปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งหากนำมาใช้ในโรงงานผลิตเครื่องตีตัวอย่างนั้นก็ทำให้ลดการซื้อพลังงานไฟฟ้าลงได้ โดยโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและสำรวจพื้นที่ติดตั้ง พบว่าโรงงานผลิตเครื่องตีตัวอย่างมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับภาระการทำงานของขั้นตอนการผลิตในช่วงนั้น ๆ โดยช่วงเวลา 15.00 น. ของวันทำงานปกติ (วันจันทร์ ถึง วันเสาร์) จะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 809 kWh และมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 644.46 kWh และช่วงเวลา 01.00 น. ของวันหยุดซึ่งเป็นช่วงเวลาของการทำความสะอาดเครื่องจักรก่อนวันหยุด จะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 523 kWh และมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 404.33 kWh ดังแสดงในรูปที่ 64 ถึง

65



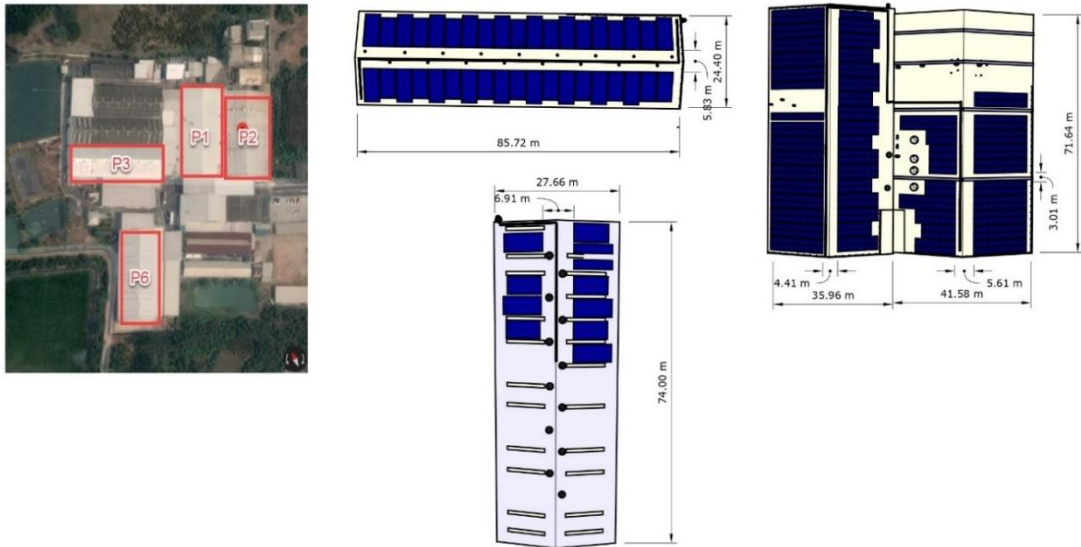
รูปที่ 64 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 65 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย

และจากการสำรวจโครงสร้างหลังคาของโรงงานเพื่อหาแนวทางในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าสามารถติดตั้งแผงเซลล์อาทิตย์ได้มากที่สุดจำนวน 2,184 แผง โดยจะทำการติดตั้งบริเวณหลังคาทั้งหมด 4 อาคารด้วยกัน ซึ่งแต่ละแผงจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่ากับ 390 วัตต์ต่อแผง ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 851.76 kWp ดังแสดงในรูปที่ 66





รูปที่ 66 แบบการติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ลักษณะการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบไฟฟ้าของโรงงานมีลักษณะการเชื่อมต่อแบบ On-Grid โดยไฟฟ้ากระแสตรงในระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกส่งมายังชุดอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วจะถูกส่งไปยังตู้ไฟฟ้าหลักของโรงงาน ในขณะเดียวกันตู้ไฟฟ้าหลักก็จะรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าด้วยอีกหนึ่งแหล่ง เพื่อลดปัญหากรณีที่ไฟฟ้าในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อความต้องการ



รูปที่ 67 การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโรงงาน แบบ On-Grid



คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการติดตั้งมีลักษณะเป็น Bifacial Dual Glass Cat Mono Module มีเซลล์แสงอาทิตย์บรรจุอยู่ทั้งหมด 72 เซลล์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดกว้าง 0.992 เมตร และยาว 1.956 เมตร ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า 19.3% พลังงานสูงสุดที่ผลิตได้ 390 วัตต์ ติดตั้งทั้งหมด 2,184 แผง และระบบอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับมีคุณสมบัติทนแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 1000 Vdc ทนกระแสไฟฟ้าสูงสุด 120 Adc แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้มากที่สุด 82.8 kVA ประสิทธิภาพการทำงาน 98.3%

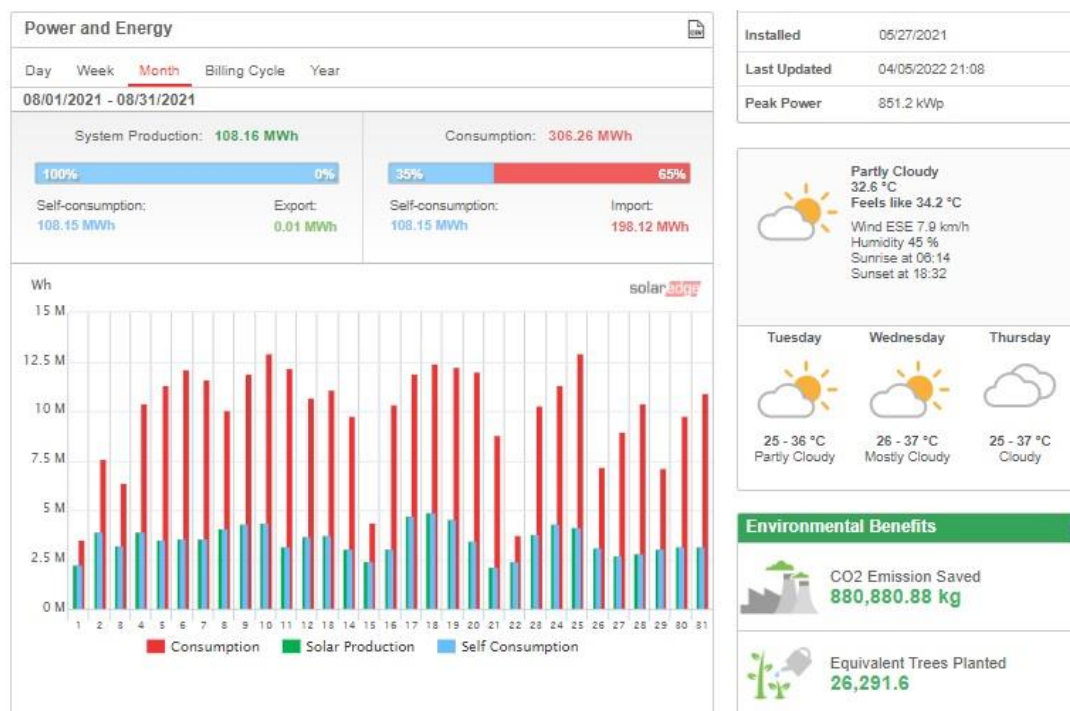


รูปที่ 68 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ Bifacial Dual Glass Cat Mono Module



รูปที่ 69 อินเวอร์เตอร์ SE82.8K

การตรวจสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำได้โดยการเข้าระบบเฝ้าสังเกตการณ์ของผู้ผลิตอินเวอร์เตอร์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งระบบจะมีหน้าจอ Dashboard ที่สามารถดูปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมในแต่ละช่วงเวลาของโรงงานผลิตเครื่องตี๋มตัวอย่างได้ อีกทั้งยังมีสัญญาณแจ้งเตือนในกรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีการทำงานผิดปกติ ซึ่งง่ายต่อการควบคุมการทำงานและการซ่อมบำรุง



รูปที่ 70 Dashboard ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาเรื่องค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับผู้รับเหมาพบว่าค่าใช้จ่ายในการลงทุนจะมี 2 ลักษณะด้วยกันคือ แบบลงทุนอุปกรณ์ทั้งหมด และแบบสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

แบบลงทุนอุปกรณ์ทั้งหมด โดยจะต้องจ่ายค่าดำเนินการทั้งหมดของโครงการ และจากการประเมินค่าใช้จ่าย พบว่าการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใช้จ่ายประมาณ 22,950,000.00 บาทต่อโครงการ หรือ 26.91 บาทต่อวัตต์ ซึ่งเป็นมูลค่าการลงทุนที่สูง ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงในการลงทุนโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทน

ภายใน โดยข้อมูลทางการเงินที่นำมาคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน แสดงตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลงทุนอุปกรณ์ทั้งหมด

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
<u>รายจ่าย</u>		
เงินลงทุนครั้งแรก ค่าการติดตั้ง	22,950,000.00 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงประจำปี		
*หลังจาก 5 ปี รวมอุปกรณ์ทุกชนิด	1,000,000.00 บาทต่อปี	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของเครื่อง	20 ปี	จากข้อมูลที่เคยใช้งานจริง
<u>รายรับ</u>		
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	6,947,623.11 บาทต่อปี	ภาคผนวก จ

จากการตรวจสอบแนวทางการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลงทุนอุปกรณ์ทั้งหมด สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 6,947,623.11 บาทต่อปี ดังนั้นจะมีระยะเวลาในการคืนทุน 3.31 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 28.89 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก จ)

แบบสัญญาซื้อขายไฟฟ้า ซึ่งผู้รับเหมาเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมดของโครงการ และจะเรียกเก็บค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าจากโรงงาน ในอัตราค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่าค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 20% เป็นเวลา 20 ปี และหลังจากสิ้นสุดสัญญาซื้อขายไฟฟ้า อุปกรณ์ทั้งหมดจะเป็นของโรงงานทันที และหากต้องการเลือกการลงทุนแบบสัญญาซื้อขายจะมีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหลังคาใหม่ประมาณ 1,000,000.00 บาท เพื่อความปลอดภัยและเพื่อให้เหมาะสมกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงในการลงทุนโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน โดยข้อมูลทางการเงินนำมาคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน แสดงตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
---------------------------	--------------------	----------------

รายจ่าย

ค่าเปลี่ยนหลังคา	1,000,000.00 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของเครื่อง	20 ปี	ตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

รายรับ

ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	1,389,524.62 บาทต่อปี	ภาคผนวก จ
-------------------------------	-----------------------	-----------

จากการตรวจสอบแนวทางการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบสัญญาเช่าซื้อไฟฟ้า สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 1,389,524.62 บาทต่อปี ดังนั้นจะมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.72 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 138.95 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก จ) และจากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ตามตารางที่ 10 และ 11 ทำให้โรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างเลือกการลงทุนแบบสัญญาเช่าซื้อไฟฟ้า เนื่องจากมีอัตราผลตอบแทนภายในที่สูง ระยะเวลาคืนทุนสั้น และเงินลงทุนที่ต่ำกว่าแบบลงทุนอุปกรณ์ทั้งหมด โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะแสดงในรูปที่ 71



รูปที่ 71 การติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



#### 4.3.2.2 การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

จากการตรวจสอบระบบส่งจ่ายไอน้ำของหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง (ใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง) พบว่ามีน้ำคอนเดนเสทที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำถูกปล่อยทิ้งไป ยังวางระบายน้ำเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นยังมีไอน้ำถูกปล่อยทิ้งมาพร้อมกับน้ำคอนเดนเสทด้วยการตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำคอนเดนเสทและไอน้ำที่ถูกปล่อยทิ้งออกมานั้น พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 145 °C ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและไอน้ำออกจากระบบและทำให้เกิดการสูญเสียทางด้านพลังงานความร้อนโดยเปล่าประโยชน์ และจากการตรวจสอบระบบส่งจ่ายน้ำเข้าหม้อไอน้ำ พบว่าน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิ 34 °C ดังแสดงในรูปที่ 72 ซึ่งหากสามารถทำให้น้ำเข้าหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้หม้อไอน้ำมีภาระการทำงานลดลง ซึ่งจะทำให้หม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงในการผลิตความร้อนลดลงด้วย



รูปที่ 72 อุณหภูมิน้ำเข้าหม้อไอน้ำก่อนการปรับปรุง

จึงดำเนินการติดตั้งระบบท่อนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาผสมกับน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำสูงขึ้น โดยหลังจากการติดตั้งระบบดังกล่าว พบว่าน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 96 °C ดังแสดงในรูปที่ 73 ซึ่งการติดตั้งระบบท่อนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาผสมกับน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1,492,800.00 บาท ซึ่งเป็นมูลค่าการลงทุนที่สูง ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงในการลงทุนโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน โดยข้อมูลทางการเงินที่นำมาคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน แสดงตามตารางที่ 12



รูปที่ 73 อุณหภูมิน้ำเข้าหม้อไอน้ำหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 12 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
<u>รายจ่าย</u>		
เงินลงทุนครั้งแรก	1,492,800.00 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของโครงการ	14 ปี	จากข้อมูลที่เคยใช้งานจริง
<u>รายรับ</u>		
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	2,265,720.42 บาทต่อปี	ภาคผนวก ฉ

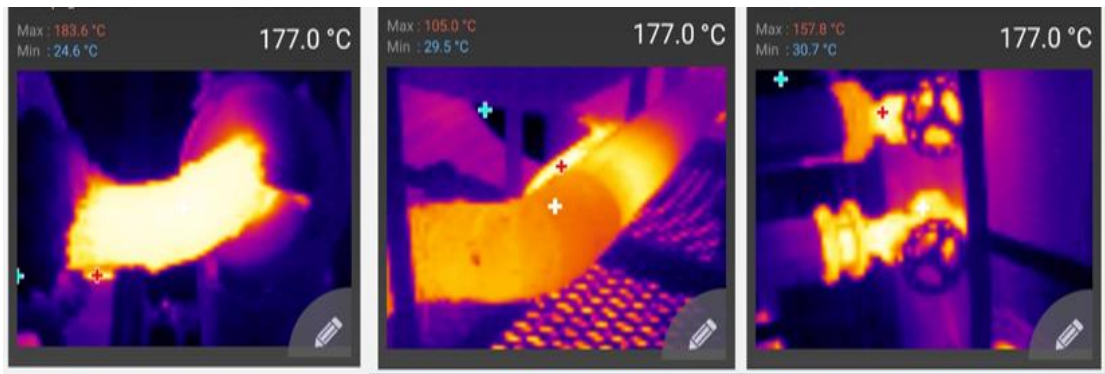
จากการตรวจสอบแนวทางการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้อุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 2,265,720.42 บาทต่อปี ดังนั้นจะมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.66 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 151.78 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ฉ)

#### 4.3.2.3 การหุ้มฉนวนท่อระบบส่งจ่ายไอน้ำ

จากการตรวจสอบท่อของระบบส่งจ่ายไอน้ำของหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง พบว่าฉนวนกันความร้อนของท่อส่งไอน้ำมีสภาพผุกร่อนชำรุดเสียหายเป็นจำนวนมาก และเมื่อตรวจสอบอุณหภูมิที่บริเวณผิวของท่อโดยการวัด พบว่าบริเวณผิวของท่อมีอุณหภูมิสูงถึง 177 °C ดังแสดงในรูปที่ 74 ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายจากการสัมผัสต่อผู้ที่ปฏิบัติงานบริเวณใกล้เคียงกับจุด



ดังกล่าว อีกทั้งยังส่งผลทำให้สูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีของท่อ และทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับผลิตพลังงานความร้อนของไอน้ำไปโดยเปล่าประโยชน์



รูปที่ 74 อุณหภูมิผิวท่อจ่ายไอน้ำก่อนการปรับปรุง

จึงดำเนินการหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ท่อส่งจ่ายไอน้ำ เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ที่ปฏิบัติงานในบริเวณใกล้เคียง และป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนโดยไม่จำเป็น โดยจากการตรวจสอบอุณหภูมิหลังจากทำการหุ้มฉนวนเรียบร้อยแล้ว พบว่าบริเวณผิวท่อที่ทำการหุ้มฉนวนมีอุณหภูมิเท่ากับ 45 °C ดังแสดงในรูปที่ 75 ซึ่งการหุ้มฉนวนท่อของระบบส่งจ่ายไอน้ำมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 704,434.50 บาท ซึ่งเป็นมูลค่าการลงทุนที่สูง ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงในการลงทุนโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน โดยข้อมูลทางด้านการเงินที่นำมาคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน แสดงตามตารางที่ 13



รูปที่ 75 อุณหภูมิผิวท่อจ่ายไอน้ำหลังการปรับปรุง

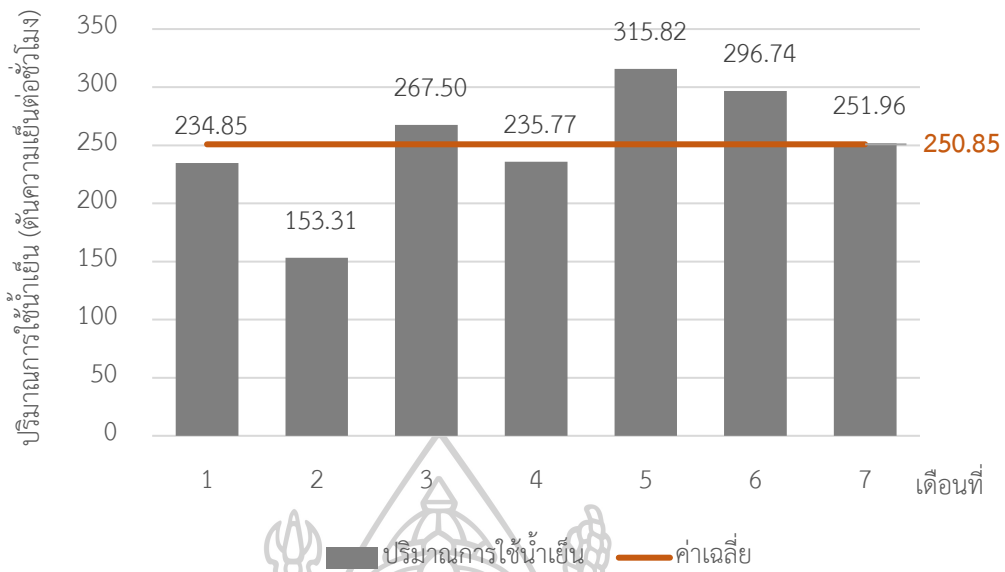
ตารางที่ 13 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการหุ้มฉนวนท่อระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
<u>รายจ่าย</u>		
เงินลงทุนครั้งแรก ค่าเครื่องจักร	704,434.50 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของเครื่อง	14 ปี	จากข้อมูลที่เคยใช้งานจริง
<u>รายรับ</u>		
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	107,308.01 บาทต่อปี	ภาคผนวก ช

จากการตรวจสอบแนวทางการหุ้มฉนวนท่อระบบส่งจ่ายไอน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 107,308.01 บาทต่อปี ดังนั้นจะมีระยะเวลาในการคืนทุน 6.56 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 12.19 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ช)

#### 4.3.2.4 การใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง

จากการตรวจสอบเครื่องจักรที่ใช้น้ำเย็นในกระบวนการผลิตพบว่าอุณหภูมิ น้ำเย็นที่เข้าเครื่องจักรไม่ตรงตามมาตรฐานที่ใช้ในการผลิตจึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเบื้องต้นได้ทำการตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น พบว่าเครื่องผลิตน้ำเย็นมีภาระการทำงาน 100% ตลอดเวลาที่มีขั้นตอนการผลิต จึงได้ทำการตรวจสอบปริมาณความต้องการ น้ำเย็นสูงสุดในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต พบว่ามีปริมาณความต้องการน้ำเย็นสูงสุดเท่ากับ 523.88 ตันความเย็นต่อชั่วโมง และมีปริมาณการใช้น้ำเย็นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 250.85 ตันความเย็นต่อ ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 76



รูปที่ 76 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

และจากการตรวจสอบเครื่องผลิตน้ำเย็น พบว่าสามารถผลิตน้ำเย็นได้สูงสุด 245.64 ตันความเย็นต่อชั่วโมง ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณน้ำเย็นไม่เพียงพอต่อกระบวนการผลิต ในขณะเดียวกันได้ทำการวัดสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็น พบว่าเครื่องผลิตน้ำเย็นมีอัตราการใช้ไฟฟ้าเทียบกับปริมาณน้ำเย็นที่ผลิตได้เท่ากับ 0.94 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันความเย็น จากการศึกษาเทคโนโลยีเครื่องผลิตน้ำเย็น พบว่าในปัจจุบันมีการใช้เครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงกันอย่างแพร่หลาย โดยลักษณะของเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงจะมีการติดตั้งชุดอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน อีกทั้งยังมีอัตราการใช้ไฟฟ้าเทียบกับปริมาณน้ำเย็นที่ผลิตได้เท่ากับ 0.64 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันความเย็น ซึ่งน้อยกว่าเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

จึงดำเนินการติดตั้งเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง ขนาดทำความเย็น 302.5 ตันความเย็นต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นจำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 77 เพื่อให้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการน้ำเย็นสูงสุด และเหมาะสมกับปริมาณความต้องการน้ำเย็นโดยเฉลี่ย ซึ่งการติดตั้งเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 4,740,100.00 บาท และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเท่ากับ 99,314.19 บาทต่อปี ซึ่งเป็นมูลค่าการลงทุนที่สูง ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงในการลงทุนโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน โดยข้อมูลทางด้านการเงินที่นำมาคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน แสดงตามตารางที่ 14



รูปที่ 77 การติดตั้งเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง

ตารางที่ 14 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
<u>รายจ่าย</u>		
เงินลงทุนครั้งแรก ค่าเครื่องจักร	3,199,300.00 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
ค่าการติดตั้ง	1,540,800.00 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงประจำปี	99,314.19 บาทต่อปี	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของเครื่อง	10 ปี	จากข้อมูลที่เคยใช้งานจริง
<u>รายรับ</u>		
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	1,823,540.01 บาทต่อปี	ภาคผนวก ซ

จากการตรวจสอบแนวทางการใช้เครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 1,823,540.01 บาทต่อปี ดังนั้นจะมีระยะเวลาในการคืนทุน 2.75 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 34.50 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ซ)

#### 4.4 ผลที่ได้หลังจากการดำเนินการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

จากการดำเนินการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แนวทางหลักด้วยกันคือ แนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน มีการดำเนินการทั้งหมด 4 รายการด้วยกันคือ การลดการโบว์ดาวน์ของหม้อไอน้ำ การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ การลดการใช้งานห่อฝิ่งน้ำ และลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัด ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 979,471.13 บาทต่อปี และแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ต้องใช้เงินลงทุน มีการดำเนินการทั้งหมด 4 รายการด้วยกันคือการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ การหุ้มฉนวนท่อระบบส่งจ่ายไอน้ำ การใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 7,937,334.50 บาท โดยที่สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 5,586,093.06 บาทต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุนรวม 1.21 ปี ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 รายการดำเนินการลดใช้พลังงานทั้งหมดในโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง

ลำดับ	รายการ	เงินลงทุน (บาท)	ค่าใช้จ่ายที่ ลดลง (บาทต่อปี)	ระยะเวลาคืน ทุน (ปี)	อัตราผลตอบแทน (IRR) (%)
แนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน					
1	การลดการโบว์ดาวน์ของหม้อไอน้ำ	-	582,655.39	-	-
2	การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ	-	8,130.69	-	-
3	การลดการใช้งานห่อฝิ่งน้ำ	-	181,736.10	-	-
4	ลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัด	-	206,948.95	-	-
	รวม	-	979,471.13	-	-
แนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ต้องใช้เงินลงทุน					
1	การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	1,000,000.00	1,389,524.62	0.72	138.95
2	การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	1,492,800.00	2,265,720.42	0.66	151.78
3	การหุ้มฉนวนท่อระบบส่งจ่ายไอน้ำ	704,434.50	107,308.01	6.56	12.19
4	การใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง	4,740,100.00	1,823,540.01	2.75	34.50
	รวม	7,937,334.50	5,586,093.06	1.42	-
	ผลรวมการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมด	7,937,334.50	6,565,564.19	1.21	-

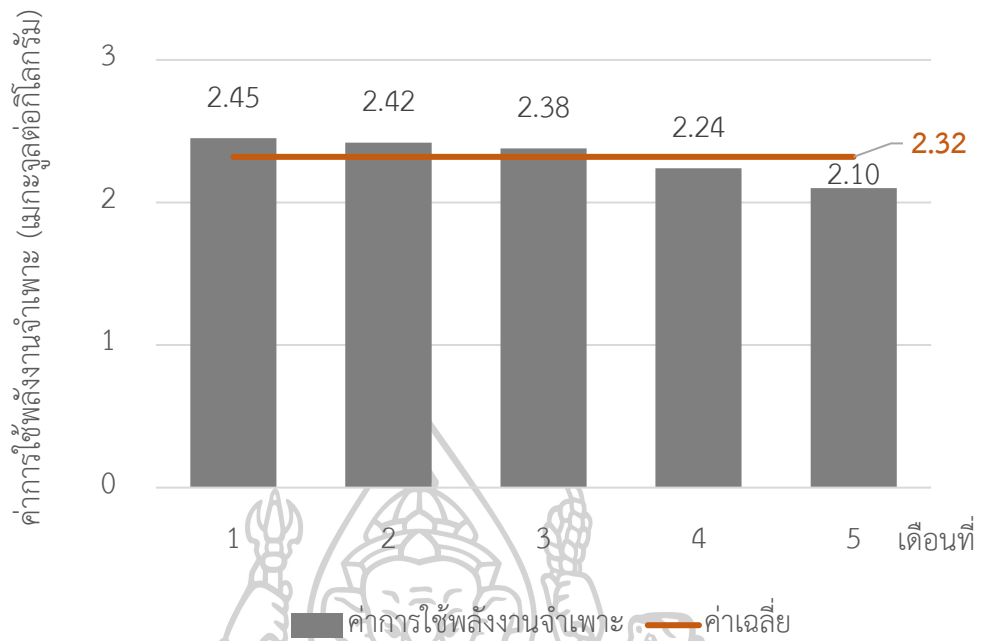


เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานทั้ง 2 รูปแบบ คือพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 5 หลังการปรับปรุง พบว่าโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างมีการใช้พลังงานรวมเทียบเท่าพลังงานความร้อนเฉลี่ย 6,017,546.46 เมกะจูลต่อเดือน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ย 2,723,664.37 บาทต่อเดือน โดยที่มีปริมาณผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 2,588,070.01 กิโลกรัม ดังนั้นค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยจะเท่ากับ 2.32 เมกะจูลต่อกิโลกรัม หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเท่ากับ 1.05 บาทต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 16

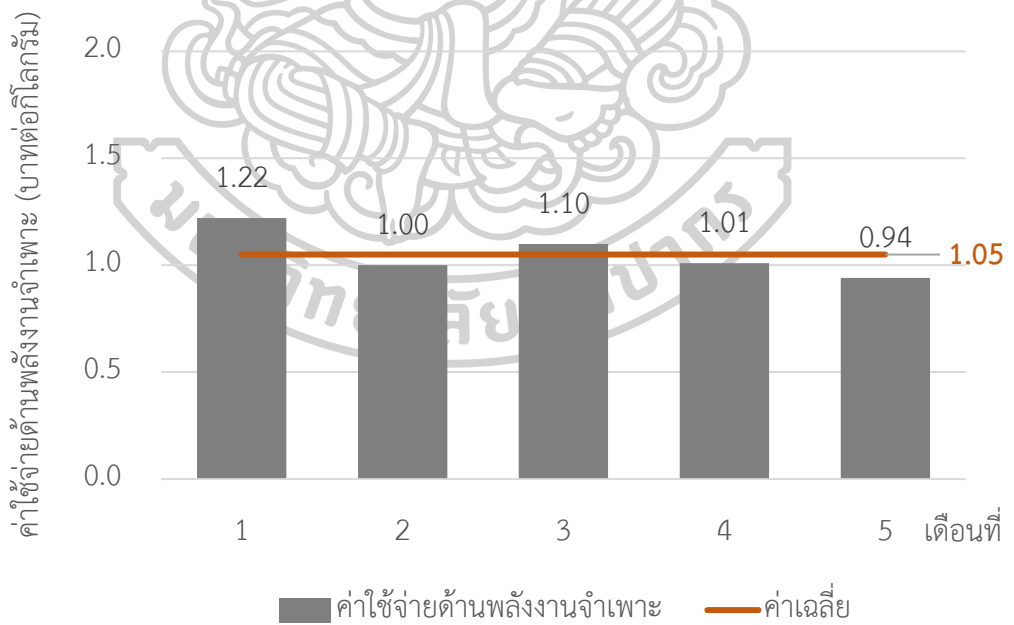
ตารางที่ 16 ข้อมูลการใช้พลังงาน ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 5 หลังการปรับปรุง

เดือนที่	ค่าพลังงานรวม (เมกะจูล)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวม (บาท)	ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัม)	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะ (บาทต่อกิโลกรัม)
1	6,477,796.90	3,223,863.96	2,647,532.38	2.45	1.22
2	7,633,964.20	3,153,719.40	3,155,519.73	2.42	1.00
3	5,345,629.70	2,468,309.98	2,241,967.60	2.38	1.10
4	5,742,912.28	2,589,058.07	2,564,627.79	2.24	1.01
5	4,887,429.22	2,183,370.46	2,330,702.56	2.10	0.94
ค่าเฉลี่ย	6,017,546.46	2,723,664.37	2,588,070.01	2.32	1.05





รูปที่ 78 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 5 หลังการปรับปรุง

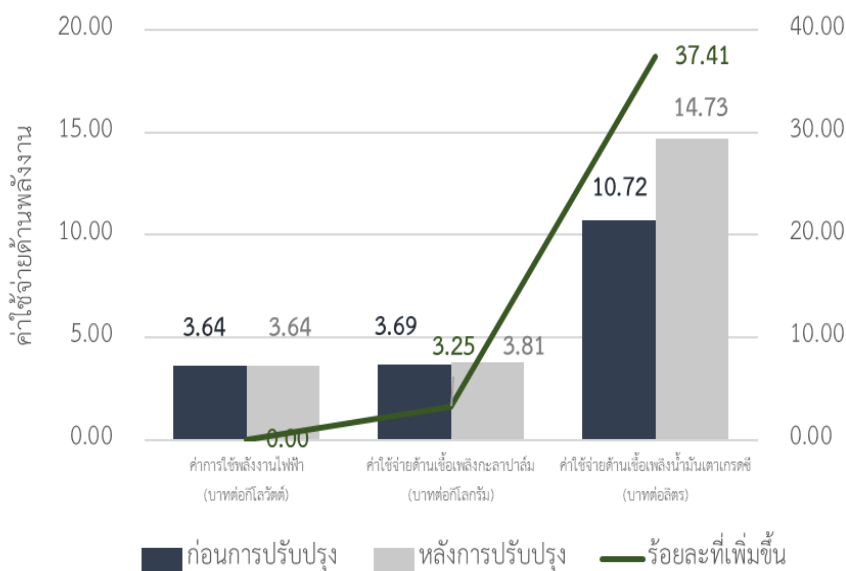


รูปที่ 79 ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะ ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 5 หลังการปรับปรุง

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง

รายละเอียด	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะ (บาทต่อกิโลกรัม)
ก่อนการปรับปรุง	2.56	1.09
หลังการปรับปรุง	2.32	1.05
ร้อยละที่ลดลง	9.59	3.52

จากตารางที่ 17 เมื่อพิจารณาการค่าการใช้พลังงานจำเพาะก่อนการปรับปรุง พบว่ามีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 2.56 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และหลังการปรับปรุงมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งลดลงร้อยละ 9.59 ในขณะที่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะก่อนการปรับปรุงเฉลี่ยเท่ากับ 1.09 บาทต่อกิโลกรัม และหลังการปรับปรุงมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 ซึ่งลดลงร้อยละ 3.52 ซึ่งที่ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดลงน้อยกว่าค่าการใช้พลังงานนั้น มีสาเหตุมาจากค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงมีการปรับราคาเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยที่ราคาเฉลี่ยของกะลาปาล์มมีการปรับเพิ่มราคาจาก 3.69 บาทต่อกิโลกรัม เป็น 3.81 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.25 และราคาเฉลี่ยของน้ำมันเตาเกรดซีมีการปรับเพิ่มราคาจาก 10.72 บาทต่อลิตร เป็น 14.73 บาทต่อลิตร ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 37.41 ดังแสดงในรูปที่ 80



รูปที่ 80 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง

#### 4.5 การวิเคราะห์ความสอดคล้องของค่าการใช้พลังงานจำเพาะระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

การวิเคราะห์ความสอดคล้องของค่าการใช้พลังงานจำเพาะระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงโดยใช้ t-test ด้วยโปรแกรม Microsoft excel 2019 จะทำการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลเท่ากันหรือไม่เท่ากัน เพื่อนำไปสู่การเลือกใช้เครื่องมือในการทดสอบค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยมีรายละเอียดการทดสอบ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 18 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ก่อนและหลังการปรับปรุง

เดือนที่	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ก่อนการปรับปรุง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ หลังการปรับปรุง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
1	2.25	2.45
2	3.11	2.42
3	2.62	2.38
4	2.65	2.24
5	2.29	2.10
6	2.50	-
7	2.79	-

##### 4.5.1 ทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

4.5.1.1 พารามิเตอร์ที่สนใจ คือ ความแปรปรวนของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเฉลี่ยระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

กำหนดให้  $\sigma_1^2$  คือ ความแปรปรวนของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง  
 $\sigma_2^2$  คือ ความแปรปรวนของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเฉลี่ยหลังการปรับปรุง

สมมติฐานหลัก คือ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเฉลี่ยระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงมีค่าความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

สมมติฐานอื่น ๆ คือ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเฉลี่ยระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงมีค่าความแปรปรวนที่แตกต่างกัน

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

#### 4.5.1.2 ทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ (Significant Level) 5 % ( $\alpha=0.05$ )

ตารางที่ 19 ผลทดสอบความแปรปรวนการใช้พลังงานจำเพาะระหว่าง ก่อนและหลังการปรับปรุง

	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ก่อนการปรับปรุง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ หลังการปรับปรุง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
Mean	2.602179889	2.317314566
Variance	0.086909556	0.021567357
Observations	7	5
df	6	4
F	4.029680452	
P(F<=f) one-tail	0.099240135	
F Critical one-tail	6.163132283	

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 19 พบว่าค่า P-value [P(F<=f) one-tail] เท่ากับ 0.099240135 ซึ่งมากกว่า 0.05 หรือพิจารณาจากค่า F เท่ากับ 4.029680452 ซึ่งน้อยกว่าค่า F Critical one-tail เท่ากับ 6.163132283 ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลัก [ $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ] ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่า ค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงมีค่าความแปรปรวนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง พบว่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงมีค่าความแปรปรวนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังนั้นในการทดสอบค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง จึงเลือกใช้เครื่องมือ Two-Sample Assuming Equal Variances

4.5.2 ทดสอบค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

4.5.2.1 พารามิเตอร์ที่สนใจ คือ ค่าความแตกต่างของค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

กำหนดให้  $\mu_1$  คือ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง

$\mu_2$  คือ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยหลังการปรับปรุง

สมมติฐานหลัก คือ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเฉลี่ยระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

สมมติฐานอื่น ๆ คือ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงมีค่ามากกว่าหลังการปรับปรุง

$$H_1: \mu_1 > \mu_2$$

4.5.2.2 ทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ (Significant Level) 5 % ( $\alpha=0.05$ )

ตารางที่ 20 ผลทดสอบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานจำเพาะระหว่าง ก่อนและหลังการปรับปรุง

	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ก่อนการปรับปรุง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ หลังการปรับปรุง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
Mean	2.602179889	2.317314566
Variance	0.086909556	0.021567357
Observations	7	5
Hypothesized Mean Difference	0	
df	10	
t Stat	1.973462158	
P(T<=t) one-tail	0.038350937	
t Critical one-tail	1.812461123	

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 20 พบว่าค่า P-value [P(F<=f) one-tail] เท่ากับ 0.038350937 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และเมื่อพิจารณาจากค่า t เท่ากับ 1.973462158 ซึ่งมากกว่าค่า t Critical one-tail เท่ากับ 1.812461123 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก [ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ] และสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานจำเพาะก่อนการปรับปรุงมากกว่าหลังการปรับปรุง [ $H_1: \mu_1 > \mu_2$ ] ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างมีการใช้พลังงานหลัก 2 รูปแบบ คือพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 24.83 ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด โดยมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานร้อยละ 58.91 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมด และพลังงานความร้อนที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 75.17 ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด โดยมีสัดส่วนค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงร้อยละ 41.09 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมด และมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยจะเท่ากับ 2.56 เมกะจูลต่อกิโลกรัม หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเท่ากับ 1.09 บาทต่อกิโลกรัม ขั้นตอนการผลิตในส่วนงานสนับสนุนที่ประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตน้ำเย็น ห้องเย็น การผลิตอากาศอัด การกรองน้ำขั้นต้น การผลิตน้ำหล่อเย็น การผลิตไอน้ำ การปรับอากาศ การผลิตน้ำ RO. การบำบัดน้ำเสีย การผลิตน้ำอ่อน แสงสว่างและอุปกรณ์สำนักงาน การทำความสะอาดระบบ และเครื่องมือใช้ในการซ่อมบำรุง มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 86.88 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด และขั้นตอนการผลิตที่มีการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง คือขั้นตอนการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำ โดยหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง ใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง มีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 98.13 ของพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงทั้งหมด และมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 บาทต่อกิโลกรัมไอน้ำ

แนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบ่งออกเป็น 2 แนวทางหลักด้วยกันคือ แนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน มีการดำเนินการทั้งหมด 4 แนวทางด้วยกันคือ การลดการโบว์ลควานซ์ของหม้อไอน้ำ การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ การลดการใช้งานห่อหุ้ม และการลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัด โดยแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุนสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมได้ 979,471.13 บาทต่อปี และแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ต้องใช้เงินลงทุน มีการดำเนินการทั้งหมด 4 แนวทางด้วยกันคือ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ การหุ้มฉนวนท่อระบบส่งจ่ายไอน้ำ และการใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง โดยแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ต้องใช้เงินลงทุนมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนรวม 7,937,334.50 บาท โดยที่สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมได้ 5,586,093.06 บาทต่อปี และมี

ระยะเวลาในการคืนทุน 1.42 ปี ดังนั้นโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมดได้ 6,565,564.19 บาทต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุนรวม 1.21 ปี

นอกจากแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ได้จากการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงาน จะเห็นได้ว่าโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างให้ความสำคัญกับการหาแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นั่นคือแนวทางการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ และเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ โดยมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการเท่ากับ 1,000,000 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 1,389,524.62 บาทต่อปี ดังนั้นจะมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.72 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 138.95 ซึ่งค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งและความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันได้การพัฒนาเรื่องคุณภาพและประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ในระบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้เป็นจำนวนมาก

เมื่อพิจารณาค่าการใช้พลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุง พบว่ามีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ลดลงร้อยละ 9.59 ในขณะที่มีค่าการใช้พลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุงเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 ลดลงร้อยละ 3.52 ซึ่งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดลงน้อยกว่าค่าการใช้พลังงานนั้น มีสาเหตุมาจากค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงมีการปรับราคาเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยที่ราคาเฉลี่ยของกะลาปาล์มมีการปรับเพิ่มราคาจาก 3.69 บาทต่อกิโลกรัม เป็น 3.81 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.25 และราคาเฉลี่ยของน้ำมันเตาเกรดซีมีการปรับเพิ่มราคาจาก 10.72 บาทต่อลิตร เป็น 14.73 บาทต่อลิตร ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 37.41

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรจัดตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน กำหนดนโยบายด้านพลังงาน ตั้งเป้าหมายในการลดใช้พลังงานภายในองค์กร และจัดฝึกอบรมเกี่ยวกับความรู้ด้านการจัดการพลังงาน เพื่อให้พนักงานทุกคนตระหนักถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรม

5.2.2 ควรจัดให้มีการศึกษาเกี่ยวกับ Benchmarking เพื่อให้ทราบถึงสถานะการณ์การใช้พลังงานของธุรกิจประเภทเดียวกัน และนำไปสู่การกำหนดเป้าหมาย รวมทั้งเป็นการสร้างแรงจูงใจให้เกิดกิจกรรมการลดค่าใช้จ่ายขององค์กร

## รายการอ้างอิง

1. พิชญ์สินี โพธิจิตติ. (2563). อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ธันวาคม. หน่วยวิเคราะห์เศรษฐกิจภาคการผลิต ส่วนเศรษฐกิจรายสาขาศูนย์วิจัยธนาคารออมสิน. เข้าถึงเมื่อ 15 กรกฎาคม 2564. เข้าถึงได้จาก [https://www.gsbresearch.or.th/wp-content/uploads/2021/01/IN\\_food\\_12\\_63.pdf](https://www.gsbresearch.or.th/wp-content/uploads/2021/01/IN_food_12_63.pdf)
2. สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1
3. "พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน 2535." (2535). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 109, ตอนที่ 33 ( 2 เมษายน 2535)
4. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. คู่มือการปฏิบัติงานการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐานสากล ISO 50001 สำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม
5. เรื่องลักษณะ บุตรเพชร, จุฑาวรรณ อันสุวรรณ และธิดาเดียว มยุรีสุวรรณ. (2560). เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7 Quality Control Tools). เข้าถึงเมื่อ 15 กรกฎาคม 2564. เข้าถึงได้จาก [http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02\\_13\\_-7-.pdf](http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf)
6. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ.) ด้านไฟฟ้า, การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า. เข้าถึงเมื่อ 27 กรกฎาคม 2564. เข้าถึงได้จาก [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file\\_handbook.html](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html).
7. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) ด้านความร้อน, การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานความร้อน. เข้าถึงเมื่อ 27 กรกฎาคม 2564. เข้าถึงได้จาก [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file\\_handbook.html](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html).
8. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า, เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2564. เข้าถึงได้จาก <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/822>
9. Energy Next. ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์, เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2564. เข้าถึงได้จาก <https://energynext.co.th/2020/06/ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์>
10. MTB Solar Energy. ชนิด และ การเลือกใช้งาน แผงโซลาร์เซลล์, เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2564. เข้าถึงได้จาก <https://www.xn--12cfio8db1e2acd2dd9ehj0d2kd5k.net>

11. IndiaMART. PWM Solar Charge Controller, เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2564. เข้าถึงได้จาก <https://www.indiamart.com/proddetail/hybrid-pwm-dc-charge-controller-19234832562.html>
12. SOLAY BESTTECH, แบตเตอรี่โซลาร์เซลล์ Deep Cycle GEL Solar battery 12V 200AH, เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2564. เข้าถึงได้จาก <https://solarbesttech.com/th/products/438155>
13. Baan Solar Cell. SolarEdge 3PH 82.8kW, เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2564. เข้าถึงได้จาก <https://www.baansolarcell.com/SolarEdge+3PH+82+8kW+แผงโซลาร์เซลล์+159030.html>
14. EU SOLARIS. Parabolic Trough, เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2564. เข้าถึงได้จาก <http://www.eusolaris.eu/technology/parabolic-trough>
15. AFRICA SURVEYORS ONLINE NEWS. Case Study: DEWA Concentrated Solar Power Tower, เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2564. เข้าถึงได้จาก <https://www.africasurveyorsonline.com/2021/02/02/case-study-dewa-concentrated-solar-power-tower>
16. Thaienergysaving. SUNSAV, เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2564. เข้าถึงได้จาก [http://www.thaienergysaving.com/products\\_detail.php](http://www.thaienergysaving.com/products_detail.php)
17. โครงการหลวงวัดจันทร์. โรงอบแห้งผลิตภัณฑ์การเกษตรพลังงานแสงอาทิตย์, เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2564. เข้าถึงได้จาก <http://www.engineo.co.th>
18. สภาวิศวกร. “ร่างมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ (Code of Practice) เรื่อง ระบบหม้อไอน้ำ”.
19. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานด้านไฟฟ้า หลักการ/การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็นและปรับอากาศ. เข้าถึงเมื่อ 27 กรกฎาคม 2564. เข้าถึงได้จาก [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file\\_handbook.html](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html).
20. "ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549." (2549). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123, ตอนพิเศษ 125ง (4 ธันวาคม 2549).
21. สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2022). "การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น." 7 กุมภาพันธ์.
22. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ.) ด้านไฟฟ้า, ระบบอัดอากาศ ป้อนน้ำ และพัดลม. เข้าถึงเมื่อ 27 กรกฎาคม 2564. เข้าถึงได้จาก [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file\\_handbook.html](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html).
23. ทัดพงษ์ อวีโรธนานนท์. (2559). "การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของธุรกิจผจญภัย." คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

24. กฤตยา ปิตรชาติ. (2540). "กรรมวิธีพิจารณาเลือกการลงทุนสำหรับอุตสาหกรรมเคมี." วิศวกรรมสาร มก เล่มที่ 31 ประจำปี 2540. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
25. สุชาติ วรรณพิสิทธิ์. (2548). "การลดการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องตี๋ม." วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
26. ปฐวี ปุยะติ. (2551). "การจัดการพลังงานเชิงบูรณาการของโรงงานผักและผลไม้อบแห้ง ตัวอย่าง." วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม การจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
27. มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์ และคณะ. (2555). "การจัดการอนุรักษ์พลังงานเชิงบูรณาการกรณีศึกษา: โรงงานอุตสาหกรรมเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่ตัวอย่าง." เอกสารการประชุมวิชาการ IE Network Conference 2012 จัดโดย มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
28. วิศทกร นิมนวล และคณะ. (2555). "การบริหารจัดการมาตรการศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก." วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 2, ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม 2555).
29. วิชาญ นาคทอง และ กุสกาณา กุบาฮา. (2564). "แนวทางการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน." วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ 28, ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน 2564):14-29
30. T. Markis, J. A. Paravantis. (2007). "Energy conservation in small enterprises." Energy and Buildings. 2007:39(4):404-15.
31. Lijun Wang. (2014). "Energy efficiency technologies for sustainable food processing." Energy Efficiency. 2014:7(5):791-810.
32. T. Javied et al. (2015). "Implementing Energy Management System to Increase Energy Efficiency in Manufacturing Companies." Procedia CIRP. 2015:26:156-61.
33. Tolga Taner et al. (2018). "A model of energy management analysis, case study of a sugar factory in Turkey." Sādhana. 2018:43(3).
34. Jean-Michel Clairand et al. (2020). "Review of Energy Efficiency Technologies in the Food Industry: Trends, Barriers, and Opportunities." IEEE Access. 2020:8:48015-29.
35. kloflowmeter. Electromagnetic Flow Meter, เข้าถึงเมื่อ 15 กรกฎาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://kloflowmeter.com/product/electromagnetic-flow-meter>.

36. testo. testo 425 - Thermal anemometer with flow probe, เข้าถึงเมื่อ15 กรกฎาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://www.testo.com/en-TH/testo-425/p/0560-4251>.
37. suto-itec. S330 / S331 DISPLAY & DATA LOGGER, เข้าถึงเมื่อ15 กรกฎาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://www.suto-itec.com/en/products/s330-s331-display-amp-data-logger>.







ภาคผนวก



ภาคผนวก ก รายการคำนวณการลดการโบลั่วดาวนซ์ของหม้อไอน้ำ



ตารางที่ ก-1 ข้อมูลการใช้งานของหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง (ใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง)

เดือนที่	ปริมาณ กะลาปาล์ม (กิโลกรัม)	ปริมาณ การผลิต ไอน้ำ (กิโลกรัม ต่อชั่วโมง)	ประสิทธิภาพ การผลิตไอน้ำ (%)	ค่าใช้จ่าย ด้าน เชื้อเพลิง (บาทต่อ กิโลกรัม)	ความ ดันของ น้ำ ภายใน หม้อไอน้ำ (barg.)	อุณหภูมิ น้ำเข้า หม้อไอน้ำ (°C)	ค่าความ เข้มข้น ของน้ำ ก่อนเข้า หม้อไอน้ำ (PPM)	ค่าความ เข้มข้นของ น้ำภายใน หม้อไอน้ำ ก่อนการ ปรับปรุง (PPM)	ค่าความ เข้มข้นของ น้ำภายใน หม้อไอน้ำ หลังการ ปรับปรุง (PPM)
1	252,265.00	3,330.97	0.76	3.76	8.00	34.00	166.55	999.29	2,185.45
2	227,981.00	3,010.32	0.79	3.34	8.00	34.00	150.52	903.10	1,975.07
3	336,060.00	4,437.42	0.75	3.75	8.00	34.00	221.87	1,331.23	2,911.40
4	294,695.00	3,891.23	0.76	3.75	8.00	34.00	194.56	1,167.37	2,553.04
5	331,863.00	4,382.00	0.76	3.75	8.00	34.00	219.10	1,314.60	2,875.04
6	349,557.00	4,615.64	0.52	3.75	8.00	34.00	230.78	1,384.69	
7	328,109.00	4,332.43	0.69	3.75	8.00	34.00	216.62	1,299.73	
ค่าเฉลี่ย	302,932.86	4,000.00	0.72	3.69	8.00	34.00	200.00	1,200.00	2,500.00

ข้อมูลทั่วไปของหม้อไอน้ำ

ปริมาณการใช้กะลาปาล์มเฉลี่ย : (V)	=	302,932.86 กิโลกรัมต่อเดือน
	=	3,635,194.32 กิโลกรัมต่อปี
อัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ย : (Q)	=	4,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงาน : (W)	=	6,657 ชั่วโมงต่อปี
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง : (LHV)	=	15.90 เมกะจูลต่อกิโลกรัม
ประสิทธิภาพการผลิตไอน้ำ : (E)	=	72
ค่าพลังงานความร้อนของน้ำ @ 8 barg : (Ho)	=	743.00 กิโลจูลต่อกิโลกรัม
ค่าพลังงานความร้อนของน้ำ @ 34 °C : (Hi)	=	142.47 กิโลจูลต่อกิโลกรัม
ค่าความเข้มข้นของน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ : (TDSb)	=	200 PPM
ค่าความเข้มข้นของน้ำในหม้อไอน้ำก่อนปรับปรุง : (TDSB)	=	1200 PPM
ค่าความเข้มข้นของน้ำในหม้อไอน้ำหลังปรับปรุง : (TDSA)	=	2500 PPM
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง : (B)	=	3.69 บาทต่อกิโลกรัม

การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณการโบลต์ดาวน์ (Qb)} &= \text{TDSb} \times \text{Q} / (\text{TDSB} - \text{TDSb}) \\
 &= 200 \times 4,000 / (1200-200) \\
 &= 800 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}
 \end{aligned}$$

การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณการโบลต์ดาวน์ (Qa)} &= \text{TDSb} \times \text{Q} / (\text{TDSA} - \text{TDSb}) \\
 &= 200 \times 4,000 / (2500-200) \\
 &= 347.83 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}
 \end{aligned}$$

การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณการโบลต์ดาวน์ที่ลดลง (Qr)} &= \text{Qb} - \text{Qa} \\
 &= 800 - 347.83 \\
 &= 452.17 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง} \\
 &= 452.17 \times 6,657 \\
 &= 3,010,095.69 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \\
 \text{ปริมาณพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ (P)} &= \text{Qr} \times (\text{Ho} - \text{Hi}) \\
 &= 3,010,095.69 \times (743.00-142.47) \\
 &= 1,807,652.77 \text{ เมกะจูลต่อปี} \\
 \text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ : (Fr)} &= \text{P} / (\text{LHV} \times \text{E}) \\
 &= 1,807,652.77 / (15.9 \times 72\%) \\
 &= 157,901.19 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดได้} &= \text{Fr} \times \text{B} \\
 &= 157,901.19 \times 3.69 \\
 &= 582,655.39 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$



ภาคผนวก ข รายการคำนวณการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ



## รายงานผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย

บริษัท อาหารสากล จำกัด (มหาชน)

ช.อ. 1121/2564

## ผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย

สถานที่ตรวจสอบ : บริษัท อาหารสากล จำกัด (มหาชน)  
 ที่อยู่ : 469/1 หมู่ 3 ตำบลดอนยายหอม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000  
 วันที่เก็บตัวอย่าง : 8 มิถุนายน 2564 วันที่รับตัวอย่าง : 11 มิถุนายน 2564  
 วันที่วิเคราะห์ : 12-15 มิถุนายน 2564 วันที่จัดทำ : 1 กรกฎาคม 2564  
 Sampling No. : H 1211A/64 เลขที่ : ช.อ. 1121/2564  
 ผู้ตรวจวัด : นายเจตต์ ศรีวรลักษณ์ เลขทะเบียน ว-152-ค-7353  
 ผู้ควบคุม/ตรวจสอบ : นายรุ่ง ฤทธิญาณ เลขทะเบียน ว-152-ค-3214  
 หน่วยงานตรวจสอบ : บริษัท เฮลท์ แอนด์ เอ็นไวเทค จำกัด เลขทะเบียน ว-152

## STACK DESCRIPTION

แหล่งกำเนิด : Boiler 5 Ton เชื้อเพลิง : น้ำมันเตาเกรด C  
 วันที่ตรวจสอบ : 08/06/64 เวลาตรวจสอบ : 10.20-11.20 น.  
 Ø ของปล่อง : 0.80 m ปริมาณออกซิเจน (O<sub>2</sub>) : 10.00 %  
 อุณหภูมิภายในปล่อง : 165 °C ปริมาตรอากาศที่ออกจากปล่อง : 246.27 m<sup>3</sup>/min  
 ความเร็วลมในปล่อง : 8.67 m/s ความชื้น (Moisture) : 0.01

รายการตรวจ	วิธีวิเคราะห์	หน่วย	<sup>1</sup> ปริมาณที่ตรวจวัดได้	<sup>2</sup> ค่ามาตรฐาน	ผลการประเมิน
ปริมาณฝุ่น (TSP)	Isokinetic, Gravimetric	mg/m <sup>3</sup>	41	240	อยู่ในเกณฑ์
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO <sub>2</sub> )	Absorption, Barium Thorin Titrimetric	ppm	2.3	950	อยู่ในเกณฑ์
ออกไซด์ของไนโตรเจน ในรูปไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO <sub>x</sub> as NO <sub>2</sub> )	Absorption, Phenoldisulfonic acid	ppm	3.6	200	อยู่ในเกณฑ์
ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	Bag, Non Dispersive Infrared	ppm	172	690	อยู่ในเกณฑ์
ค่าความทึบแสง (Opacity)	Ringelmann's Method	%	5	10*	อยู่ในเกณฑ์

<sup>1</sup>Reference condition is 25 degree Pressure 760 mm.Hg, Excess Air at 50 % or Excess Oxygen at 7.0 % and Dry Basis.

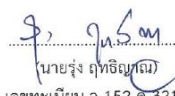
<sup>2</sup>ค่ามาตรฐาน:- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

"เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน" วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2549

\*ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องหม้อไอน้ำของโรงงาน ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนที่พิเศษ 125 ง ลงวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2549



(นายประสารณ์ เอียบแหลม)  
เลขทะเบียน ว-152-ค-3213  
ผู้จัดการทั่วไป



นายรุ่ง ฤทธิญาณ  
เลขทะเบียน ว-152-ค-3214  
กรรมการผู้จัดการ

รูปที่ ข.1 ผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบายของหม้อไอน้ำขนาด 5 ตันต่อชั่วโมง  
ก่อนการปรับปรุง



## รายงานผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย

บริษัท อาหารสากล จำกัด (มหาชน)

ช.อ. 1121/2564

## ผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย

สถานที่ตรวจสอบ : บริษัท อาหารสากล จำกัด (มหาชน)  
 ที่อยู่ : 469/1 หมู่ 3 ตำบลดอนยายหอม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000  
 วันที่เก็บตัวอย่าง : 12 มิถุนายน 2564 วันที่รับตัวอย่าง : 14 มิถุนายน 2564  
 วันที่วิเคราะห์ : 15-18 มิถุนายน 2564 วันที่จัดทำ : 1 กรกฎาคม 2564  
 Sampling No. : H 1241A/64 เลขที่ : ช.อ. 1121/2564  
 ผู้ตรวจวัด : นายจะเด็จ ศรีวรลักษณ์ เลขทะเบียน ว-152-ค-7353  
 ผู้ควบคุม/ตรวจสอบ : นายรุ่ง ฤทธิญาณ เลขทะเบียน ว-152-ค-3214  
 หน่วยงานตรวจสอบ : บริษัท เฮลท์ แอนด์ เอ็นไวเทค จำกัด เลขทะเบียน ว-152

## STACK DESCRIPTION

แหล่งกำเนิด : Boiler 5 Ton เชื้อเพลิง : น้ำมันเตาเกรด C  
 วันที่ตรวจสอบ : 12/06/64 เวลาตรวจสอบ : 11.20-12.20 น.  
 Ø ของปล่อง : 0.80 m ปริมาณออกซิเจน (O<sub>2</sub>) : 4.00 %  
 อุณหภูมิภายในปล่อง : 168 °C ปริมาตรอากาศที่ออกจากปล่อง : 276.22 m<sup>3</sup>/min  
 ความเร็วลมในปล่อง : 8.17 m/s ความชื้น (Moisture) : 1

รายการตรวจ	วิธีวิเคราะห์	หน่วย	<sup>1</sup> ปริมาณที่ตรวจวัดได้	<sup>2</sup> ค่ามาตรฐาน	ผลการประเมิน
ปริมาณฝุ่น (TSP)	Isokinetic, Gravimetric	mg/m <sup>3</sup>	46	240	อยู่ในเกณฑ์
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO <sub>2</sub> )	Absorption, Barium Thorin Titrimetric	ppm	3.3	950	อยู่ในเกณฑ์
ออกไซด์ของไนโตรเจน ในรูปไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO <sub>x</sub> as NO <sub>2</sub> )	Absorption, Phenoldisulfonic acid	ppm	3.2	200	อยู่ในเกณฑ์
ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	Bag, Non Dispersive Infrared	ppm	272	690	อยู่ในเกณฑ์
ค่าความทึบแสง (Opacity)	Ringelmann's Method	%	5	10*	อยู่ในเกณฑ์

<sup>1</sup>Reference condition is 25 degree Pressure 760 mm.Hg, Excess Air at 50 % or Excess Oxygen at 7.0 % and Dry Basis.

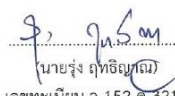
<sup>2</sup>ค่ามาตรฐาน:- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

"เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน" วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2549

\*ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องหม้อไอน้ำของโรงงาน ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนที่พิเศษ 125 ง ลงวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2549



(นายประสารณ์ เจียบแหลม)  
เลขทะเบียน ว-152-ค-3213  
ผู้จัดการทั่วไป



นายรุ่ง ฤทธิญาณ  
เลขทะเบียน ว-152-ค-3214  
กรรมการผู้จัดการ

รูปที่ ข.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบายของหม้อไอน้ำขนาด 5 ตันต่อชั่วโมง  
หลังการปรับปรุง

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลการใช้งานของหม้อไอน้ำขนาด 5 ตันต่อชั่วโมง

เดือนที่	ปริมาณน้ำมันเตาเกรดซี (ลิตร)	ปริมาณการผลิตไอน้ำ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ประสิทธิภาพการผลิตไอน้ำ (%)	ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง (บาทต่อกิโลกรัม)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	540.00	7,868.361	0.93	10.15
4	615.00	8,961.19	0.93	10.15
5	2,047.00	29,826.93	0.93	10.15
6	6,570.00	95,731.75	0.93	12.08
7	5,778.00	84,191.49	0.93	9.50
ค่าเฉลี่ย	2,221.43	32,368.53	0.93	10.72

ข้อมูลทั่วไปของหม้อไอน้ำ

ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเกรดซีเฉลี่ย (V)	=	2,221.43 ลิตรต่อเดือน
	=	26,657.16 ลิตรต่อปี
ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (D)	=	0.9371 กิโลกรัมต่อลิตร
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)	=	41.28 เมกะจูลต่อลิตร
	=	44.05 เมกะจูลต่อกิโลกรัม
ประสิทธิภาพการผลิตไอน้ำ (E)	=	93 %
ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ (C <sub>pg</sub> )	=	1.39 KJ/Nm <sup>3</sup> .°C
อุณหภูมิของบรรยากาศ (Ta)	=	36 °C
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง (B)	=	10.72 บาทต่อลิตร

การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณออกซิเจนในไอเสีย (\% O}_2\text{)} &= 10 \% \text{ (จากรูปที่ ข.1)} \\
 \text{อุณหภูมิไอเสียภายในปล่อง (Tg)} &= 165 \text{ }^\circ\text{C (จากรูปที่ ข.1)} \\
 \text{ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี (Ao)} &= (0.85 \times \text{LHV}/4.187) + 2 \\
 &= (0.85 \times 40.189/4.187) + 2 \\
 &= 10.158 \text{ Nm}^3/\text{kgfuel} \\
 \text{ปริมาณไอเสียเชิงทฤษฎี (Go)} &= 1.11 \times \text{LHV}/4.187 \\
 &= 1.11 \times 40.189/4.187 \\
 &= 10.654 \text{ Nm}^3/\text{kgfuel} \\
 \text{อัตราส่วนของอากาศ (m)} &= 21/(21 - \%O_2) \\
 &= 21/(21-10) \\
 &= 1.91 \\
 \text{ปริมาณไอเสียจริง (G)} &= G_o + (A_o \times (m-1)) \\
 &= 10.654 + (10.158 \times (1.91-1)) \\
 &= 19.897 \text{ Nm}^3/\text{kgfuel} \\
 \text{ความร้อนสูญเสียในไอเสีย (Qg)} &= V \times D \times G \times C_{pg} \times (T_g - T_a)/1000 \\
 &= 26,657.16 \times 0.9371 \times 19.897 \times 1.39 \times (165-36)/1000 \\
 &= 89,123.44 \text{ เมกะจูลต่อปี}
 \end{aligned}$$

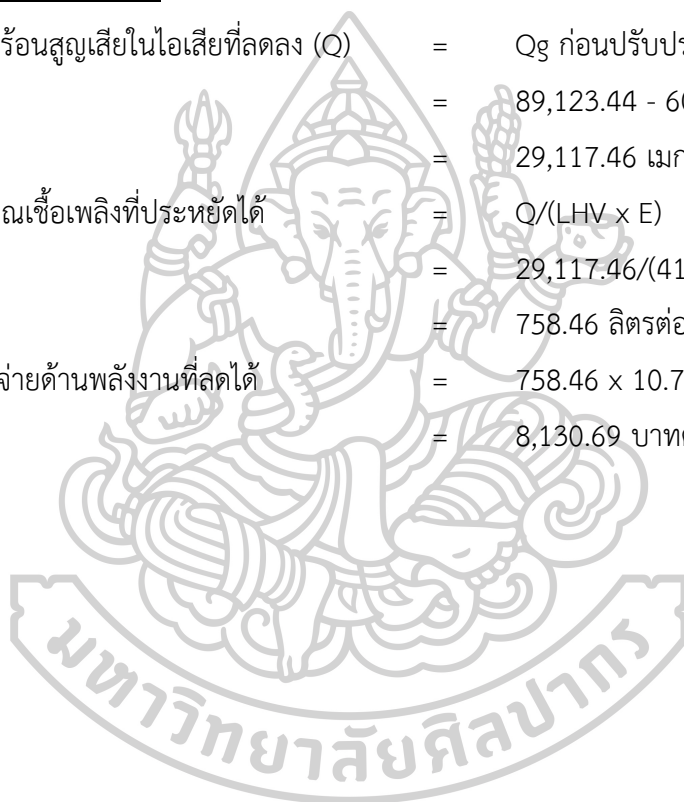
การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณออกซิเจนในไอเสีย (\% O}_2\text{)} &= 4 \% \text{ (จากรูปที่ ข.2)} \\
 \text{อุณหภูมิไอเสียภายในปล่อง (Tg)} &= 168 \text{ }^\circ\text{C (จากรูปที่ ข.2)} \\
 \text{ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี (Ao)} &= (0.85 \times \text{LHV}/4.187) + 2 \\
 &= (0.85 \times 40.189/4.187) + 2 \\
 &= 10.158 \text{ Nm}^3/\text{kgfuel} \\
 \text{ปริมาณไอเสียเชิงทฤษฎี (Go)} &= 1.11 \times \text{LHV}/4.187 \\
 &= 1.11 \times 40.189/4.187 \\
 &= 10.654 \text{ Nm}^3/\text{kgfuel} \\
 \text{อัตราส่วนของอากาศ (m)} &= 21/(21 - \%O_2) \\
 &= 21/(21-4) \\
 &= 1.24
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณไอเสียจริง (G)} &= G_o + (A_o \times (m-1)) \\
 &= 10.654 + (10.158 \times (1.24-1)) \\
 &= 13.092 \text{ Nm}^3/\text{kgfuel} \\
 \text{ความร้อนสูญเสียในไอเสีย (Qg)} &= V \times D \times G \times C_{pg} \times (T_g - T_a)/1000 \\
 &= 26,657.16 \times 0.9371 \times 13.092 \times 1.39 \times (168-36)/1000 \\
 &= 60,005.98 \text{ เมกะจูลต่อปี}
 \end{aligned}$$

#### การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

$$\begin{aligned}
 \text{ความร้อนสูญเสียในไอเสียที่ลดลง (Q)} &= Q_g \text{ ก่อนปรับปรุง} - Q_g \text{ หลังปรับปรุง} \\
 &= 89,123.44 - 60,005.98 \\
 &= 29,117.46 \text{ เมกะจูลต่อปี} \\
 \text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้} &= Q/(LHV \times E) \\
 &= 29,117.46/(41.28 \times 93\%) \\
 &= 758.46 \text{ ลิตรต่อปี} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดได้} &= 758.46 \times 10.72 \\
 &= 8,130.69 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$





ภาคผนวก ค รายการคำนวณการลดการใช้งานหอฝิ่งน้ำ



ตารางที่ ค-1 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

เดือนที่	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	ค่าใช้จ่ายไฟฟ้า (บาท)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อกิโลวัตต์)
1	377,730.00	1,409,677.59	3.73
2	336,790.00	1,255,363.94	3.73
3	489,610.00	1,755,831.36	3.59
4	451,070.00	1,639,619.47	3.63
5	553,820.00	1,989,253.83	3.59
6	474,330.00	1,701,278.97	3.59
7	468,660.00	1,712,454.46	3.65
ค่าเฉลี่ย	450,287.14	1,637,639.95	3.64

#### ข้อมูลทั่วไปของหอฝิ่งน้ำ

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหอฝิ่งน้ำ 500 ต้นความเย็น (E5)	=	11.2 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหอฝิ่งน้ำ 300 ต้นความเย็น (E3)	=	7.5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงาน (W)	=	6,657 ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า	=	3.64 บาทต่อกิโลวัตต์

#### การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหอฝิ่งน้ำ (Eb)	=	(E5 + E3) × W
	=	(11.2 + 7.5) × 6,657
	=	124,485.90 กิโลวัตต์ต่อปี

#### การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหอฝิ่งน้ำ (Ea)	=	E5 × W
	=	11.2 × 6,657
	=	74,558.40 กิโลวัตต์ต่อปี



การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง (Er)} &= \text{Eb} - \text{Ea} \\
 &= 124,485.90 - 74,558.40 \\
 &= 49,927.50 \text{ กิโลวัตต์ต่อปี} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดได้} &= 49,927.50 \times 3.64 \\
 &= 181,736.10 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$





ภาคผนวก ง รายการคำนวณลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัด



ข้อมูลทั่วไปของเครื่องอัดอากาศ

อัตราการผลิตอากาศอัด (Q)	=	7.64 Nm <sup>3</sup> /min
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจำเพาะของเครื่องอัดอากาศ (E)	=	5.89 kW/Nm <sup>3</sup> /min
ชั่วโมงการทำงาน (W)	=	6,657 ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า	=	3.64 บาทต่อกิโลวัตต์

การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ระยะเวลาในสถานะมีภาระการทำงานเฉลี่ย (Tonb)	=	105 s
ระยะเวลาในสถานะไม่มีภาระการทำงานเฉลี่ย (Tnob)	=	447 s
อัตราการรั่วของระบบอัดอากาศ (% Loss)	=	Tonb x 100/(Tonb+Tnob)
	=	105 x 100/(105+447)
	=	19.02%
ปริมาณการรั่วของระบบอัดอากาศ (Qlb)	=	Q x (% Loss)
	=	7.64 x 19.02%
	=	1.45 Nm <sup>3</sup> /min

การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

ระยะเวลาในสถานะมีภาระการทำงานเฉลี่ย (Tona)	=	0 s
ระยะเวลาในสถานะไม่มีภาระการทำงานเฉลี่ย (Tnoa)	=	28,800 s
อัตราการรั่วของระบบอัดอากาศ (% Loss)	=	Tona x 100/(Tona+Tnoa)
	=	0 x 100/(0+28,800)
	=	0%
ปริมาณการรั่วของระบบอัดอากาศ (Qla)	=	Q x (% Loss)
	=	7.64 x 0%
	=	0 Nm <sup>3</sup> /min

การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง (Qr)	=	E x W x (Qlb - Qla)
	=	5.89 x 6,657 x (1.45 - 0)
	=	56,864.11 กิโลวัตต์ต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดได้	=	56,864.11 x 3.64
	=	206,948.95 บาทต่อปี



ภาคผนวก จ รายการคำนวณติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



ข้อมูลทั่วไป

ปริมาณการผลิตไฟฟ้าสูงสุด (Qe)	=	851.12 kWp
ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (Ee)	=	76.8%
ชั่วโมงการทำงาน (เฉลี่ย 8 ชั่วโมงในช่วงที่มีแสงแดด) (W)	=	8 x 365
	=	2,920 ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า (B)	=	3.64 บาทต่อกิโลวัตต์
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าแบบสัญญาซื้อขายไฟฟ้า	=	3.64 x 20%
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (Br)	=	0.728 บาทต่อกิโลวัตต์

การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง (Qr)	=	Qe x Ee x W
	=	851.12 x 76.8% x 2,920
	=	1,908,687.67 kW/y
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดได้กรณีลงทุนอุปกรณ์ทั้งหมด	=	Qr x B
	=	1,908,687.67 x 3.64
	=	6,947,623.11 บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดได้กรณีสัญญาซื้อขายไฟฟ้า	=	Qr x Br
	=	1,908,687.67 x 0.728
	=	1,389,524.62 บาทต่อปี

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์กรณีลงทุนอุปกรณ์ทั้งหมดรายจ่าย

ค่าติดตั้ง	=	22,950,000.00 บาท
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงประจำปี		
หลังจาก 5 ปี รวมอุปกรณ์ทุกชนิด	=	1,000,000.00 บาทต่อปี

รายรับ

ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	=	6,947,623.11 บาทต่อปี
<u>ระยะเวลาในการคืนทุน</u>	=	รายจ่าย / รายรับต่อปี
	=	22,950,000.00 / 6,947,623.11
	=	3.30 ปี

## อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

Present Worth Factor P/A 3.30 @ n=20 = 28.89%

ตารางที่ จ-1 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)กรณีลงทุนอุปกรณ์ทั้งหมด

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
<u>รายจ่าย</u>		
เงินลงทุนครั้งแรก ค่าการติดตั้ง	22,950,000.00 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงประจำปี		
*หลังจาก 5 ปี รวมอุปกรณ์ทุกชนิด	1,000,000.00 บาทต่อปี	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของเครื่อง	20 ปี	จากข้อมูลการรับประกันสินค้า
<u>รายรับ</u>		
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	6,947,623.11 บาทต่อปี	ตามรายการคำนวณข้างต้น



ตารางที่ จ-2 กระแสเงินสดของโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กรณีลงทุน  
อุปกรณ์ทั้งหมด

เดือนที่	ค่าอุปกรณ์และ งานติดตั้ง (บาท)	ค่าใช้จ่ายใน การซ่อมบำรุง (บาทต่อปี)	ค่าใช้จ่ายที่ สามารถ ประหยัดได้ (บาทต่อปี)	กระแสเงินสด (บาท)
0	-22,950,000.00	-	-	-22,950,000.00
1	-	-	6,947,623.11	6,947,623.11
2	-	-	6,947,623.11	6,947,623.11
3	-	-	6,947,623.11	6,947,623.11
4	-	-	6,947,623.11	6,947,623.11
5	-	-	6,947,623.11	6,947,623.11
6	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
7	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
8	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
9	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
10	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
11	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
12	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
13	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
14	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
15	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
16	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
17	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
18	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
19	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
20	-	-1,000,000.00	6,947,623.11	5,947,623.11
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	28.89%			
ระยะเวลาในการคืนทุน	3.30			

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์กรณีสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

รายจ่าย

ค่าปรับปรุงโครงสร้างหลังคา = 1,000,000.00 บาท

รายรับ

ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ = 1,389,524.62 บาทต่อปี

ระยะเวลาในการคืนทุน = รายจ่าย / รายรับต่อปี

= 1,000,000.00 / 1,389,524.62

= 0.72 ปี

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

Present Worth Factor P/A 0.72 @ n=20 = 138.95%

ตารางที่ จ-3 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)กรณีสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
<u>รายจ่าย</u>		
ค่าเปลี่ยนหลังคา	1,000,000 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของเครื่อง	20 ปี	ตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า
<u>รายรับ</u>		
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	1,389,524.62 บาทต่อปี	ตามรายการคำนวณข้างต้น

ตารางที่ จ-4 กระแสเงินสดของโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กรณีสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

เดือนที่	ค่าอุปกรณ์และงานติดตั้ง (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (บาทต่อปี)	ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ (บาทต่อปี)	กระแสเงินสด (บาท)
0	-1,000,000.00	-	-	-1,000,000.00
1	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
2	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
3	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
4	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
5	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
6	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
7	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
8	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
9	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
10	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
11	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
12	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
13	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
14	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
15	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
16	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
17	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
18	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
19	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
20	-	-	1,389,524.62	1,389,524.62
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	138.95%			
ระยะเวลาในการคืนทุน	0.72			



ภาคผนวก ฉ รายการคำนวณการนำน้ำคอนเดนเสตกลับมาใช้ร่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ



ตารางที่ ฉ-1 ข้อมูลการใช้งานของหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง

เดือนที่	ปริมาณกะลา ปาล์ม (กิโลกรัม)	ปริมาณการ ผลิตไอน้ำ (กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพการ ผลิตไอน้ำ (%)	ค่าใช้จ่ายด้าน เชื้อเพลิง (บาทต่อ กิโลกรัม)	ความดันของน้ำ ภายในหม้อไอน้ำ (barg.)	อุณหภูมิน้ำเข้า หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิน้ำเข้า หม้อไอน้ำ (°C)
1	252,265.00	3,330.97	0.76	3.76	8.00	34.00	97.00
2	227,981.00	3,010.32	0.79	3.34	8.00	34.00	97.00
3	336,060.00	4,437.42	0.75	3.75	8.00	34.00	97.00
4	294,695.00	3,891.23	0.76	3.75	8.00	34.00	-
5	331,863.00	4,382.00	0.76	3.75	8.00	34.00	-
6	349,557.00	4,615.64	0.52	3.75	8.00	34.00	-
7	328,109.00	4,332.43	0.69	3.75	8.00	34.00	-
ค่าเฉลี่ย	302,932.86	4,000.00	0.72	3.69	8.00	34.00	97.00

ข้อมูลทั่วไป

อัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ย (Q)	= 4,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงาน (W)	= 6,657 ชั่วโมงต่อปี
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)	= 15.90 เมกะจูลต่อกิโลกรัม
ประสิทธิภาพการผลิตไอน้ำ (E)	= 72 %
อุณหภูมิน้ำป้อนก่อนการปรับปรุง (Tb)	= 34.00 °C
อุณหภูมิน้ำป้อนหลังการปรับปรุง (Ta)	= 97.00 °C
ค่าพลังงานน้ำป้อนก่อนการปรับปรุง @ 34 °C (hfb)	= 142.47 กิโลจูลต่อกิโลกรัม
ค่าพลังงานน้ำป้อนหลังการปรับปรุง @ 97 °C (hfa)	= 406.45 กิโลจูลต่อกิโลกรัม
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง (B)	= 3.69 บาทต่อกิโลกรัม

การพลังงานก่อนการปรับปรุง

ปริมาณพลังงานก่อนการปรับปรุง (Eb)	= Q x W x hfb
	= 4,000 x 6,657 x 142.47 /1000
	= 3,793,691.16 เมกะจูลต่อปี

การพลังงานหลังการปรับปรุง

ปริมาณพลังงานก่อนการปรับปรุง (Ea)	= Q x W x hfa
	= 4,000 x 6,657 x 406.45 /1000
	= 10,822,950.60 เมกะจูลต่อปี

การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ลดลง (Er)} &= E_a - E_b \\
 &= 10,822,950.60 - 3,793,691.16 \\
 &= 7,029,259.44 \text{ เมกะจูลต่อปี} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดได้} &= E_r \times B / LHV \times E \\
 &= 7,029,259.44 \times 3.69 / (15.90 \times 72\%) \\
 &= 2,265,720.42 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

$$\begin{aligned}
 \text{รายจ่าย} & \\
 \text{ค่าดำเนินการหุ้มฉนวนกันความร้อน} &= 1,492,800.00 \text{ บาท} \\
 \text{รายรับ} & \\
 \text{ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้} &= 2,265,720.42 \text{ บาทต่อปี} \\
 \text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= \text{รายจ่าย} / \text{รายรับต่อปี} \\
 &= 1,492,800.00 / 2,265,720.42 \\
 &= 0.66 \text{ ปี} \\
 \text{อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)} & \\
 \text{Present Worth Factor P/A 0.66 @ n=14} &= 151.78\%
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ฉ-2 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
<u>รายจ่าย</u>		
เงินลงทุนครั้งแรก	1,492,800.00 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของโครงการ	14 ปี	จากข้อมูลที่เคยใช้งานจริง
<u>รายรับ</u>		
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	2,265,720.42 บาทต่อปี	ตามรายการคำนวณข้างต้น



ตารางที่ ฉ-3 กระแสเงินสดของโครงการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

เดือนที่	ค่าอุปกรณ์และงานติดตั้ง (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (บาทต่อปี)	ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ (บาทต่อปี)	กระแสเงินสด (บาท)
0	-1,492,800.00	-	-	-1,492,800.00
1	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
2	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
3	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
4	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
5	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
6	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
7	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
8	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
9	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
10	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
11	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
12	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
13	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
14	-	-	2,265,720.42	2,265,720.42
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	151.78%			
ระยะเวลาในการคืนทุน	0.66			



ภาคผนวก ช รายการคำนวณการหุ้มฉนวนท่อของระบบส่งจ่ายไอน้ำ



ตารางที่ ข-1 ข้อมูลการใช้งานของหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง

เดือนที่	ปริมาณ กะลาปาล์ม (กิโลกรัม)	ปริมาณการ ผลิตไอน้ำ (กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพ การผลิตไอน้ำ (%)	ค่าใช้จ่าย ด้าน เชื้อเพลิง (บาทต่อ กิโลกรัม)	อุณหภูมิ โดยรอบของ ผิวท่อ (°C)	อุณหภูมิของผิว ท่อนก่อนการ ปรับปรุง (°C)	อุณหภูมิของผิว ท่อนหลังการ ปรับปรุง (°C)
1	252,265.00	3,330.97	0.76	3.76	35.00	177.00	45.00
2	227,981.00	3,010.32	0.79	3.34	35.00	177.00	45.00
3	336,060.00	4,437.42	0.75	3.75	35.00	177.00	45.00
4	294,695.00	3,891.23	0.76	3.75	35.00	177.00	45.00
5	331,863.00	4,382.00	0.76	3.75	35.00	177.00	45.00
6	349,557.00	4,615.64	0.52	3.75	35.00	177.00	-
7	328,109.00	4,332.43	0.69	3.75	35.00	177.00	-
ค่าเฉลี่ย	302,932.86	4,000.00	0.72	3.69	35.00	177.00	45.00

ข้อมูลทั่วไป

อุณหภูมิผิวของท่อนก่อนการปรับปรุง (Tb)	= 177 °C
อุณหภูมิโดยรอบของผิวท่อ (Ta)	= 35 °C
อุณหภูมิผิวของท่อนหลังการปรับปรุง (Tc)	= 45 °C
พื้นที่ผิวของท่อ ขนาด 50 mm. ยาว 50 m. (A)	= 7.85 m <sup>2</sup>
ค่า Emissivity ของแผ่นโลหะ (e)	= 0.5 kcal/m <sup>2</sup> .hr.°C
ชั่วโมงการทำงาน (W)	= 6,657 ชั่วโมงต่อปี
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)	= 15.90 เมกะจูลต่อกิโลกรัม
ประสิทธิภาพการผลิตไอน้ำ (E)	= 72 %
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง (B)	= 3.69 บาทต่อกิโลกรัม

การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (hcb)	= 1.5 x (Tb-Ta) <sup>0.25</sup>
	= 1.5 x (177-35) <sup>0.25</sup>
	= 5.178 kcal/m <sup>2</sup> .hr.°C
ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการพาความร้อน (Qcb)	= hcb x A x (Tb-Ta)
	= 5.178 x 7.85 x (177-35)
	= 5,771.92 kcal/hr

ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน ( $Q_{rb}$ )

$$\begin{aligned}
 &= h_{cb} \times A \times e \times [(((273.15+T_b)/100))^4 - (((273.15+T_a)/100))^4] \\
 &= 5.178 \times 7.85 \times 0.5 \times [(((273.15+177)/100))^4 - (((273.15+35)/100))^4] \\
 &= 5.178 \times 7.85 \times 0.5 \times [(((273.15+177)/100))^4 - (((273.15+35)/100))^4] \\
 &= 6,512.51 \text{ kcal/hr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียรวม (} Q_{tb} \text{)} &= Q_{cb} + Q_{rb} \\
 &= 5,771.92 + 6,512.51 \\
 &= 12,284.43 \text{ kcal/hr}
 \end{aligned}$$

#### การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (} h_{ca} \text{)} &= 1.5 \times (T_b - T_a)^{0.25} \\
 &= 1.5 \times (45 - 35)^{0.25} \\
 &= 2.667 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการพาความร้อน (} Q_{ca} \text{)} &= h_{ca} \times A \times (T_b - T_a) \\
 &= 2.667 \times 7.85 \times (45 - 35) \\
 &= 209.36 \text{ kcal/hr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน (} Q_{ra} \text{)} &= h_{ca} \times A \times e \times [(((273.15+T_c)/100))^4 - (((273.15+T_a)/100))^4] \\
 &= 2.667 \times 7.85 \times 0.5 \times [(((273.15+45)/100))^4 - (((273.15+35)/100))^4] \\
 &= 2.667 \times 7.85 \times 0.5 \times [(((273.15+45)/100))^4 - (((273.15+35)/100))^4] \\
 &= 128.55 \text{ kcal/hr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียรวม (} Q_{ta} \text{)} &= Q_{ca} + Q_{ra} \\
 &= 209.36 + 128.55 \\
 &= 337.91 \text{ kcal/hr}
 \end{aligned}$$

#### การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียรวมที่ลดลง (} Q_r \text{)} &= Q_{tb} - Q_{ta} \\
 &= 12,284.43 - 337.91 \\
 &= 11,946.52 \text{ kcal/hr} \\
 &= 50.01 \text{ MJ/hr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียรวมที่ลดลงต่อปี} &= 50.01 \times 6657 \\
 &= 332,916.57 \text{ เมกะจูลต่อปี} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดได้} &= Q_r \times B / LHV \times E \\
 &= 332,916.57 \times 3.69 / (15.90 \times 72\%) \\
 &= 107,308.01 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

### การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

#### รายจ่าย

$$\text{ค่าดำเนินการหุ้มฉนวนกันความร้อน} = 704,434.50 \text{ บาท}$$

#### รายรับ

$$\text{ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้} = 107,308.01 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= \text{รายจ่าย} / \text{รายรับต่อปี} \\
 &= 704,434.50 / 107,308.01 \\
 &= 6.56 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

#### อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

$$\text{Present Worth Factor P/A } 6.56 @ n=14 = 12.19\%$$

ตารางที่ ข-2 ค่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการหุ้มฉนวนท่อระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
<u>รายจ่าย</u>		
เงินลงทุนครั้งแรก	704,434.50 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของเครื่อง	14 ปี	จากข้อมูลที่เคยใช้งานจริง
<u>รายรับ</u>		
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	107,308.01 บาทต่อปี	ตามรายการคำนวณข้างต้น



ภาคผนวก ซ รายการคำนวณการใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง





ตารางที่ ซ-1 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และการใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็น

เดือนที่	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	ค่าใช้จ่าย ไฟฟ้า (บาท)	ค่าใช้จ่าย ด้าน พลังงาน ไฟฟ้า (บาทต่อ กิโลวัตต์)	ปริมาณ การใช้น้ำ เย็น (ตันความ เย็นต่อ ชั่วโมง)	การใช้ ไฟฟ้าของ เครื่องผลิต น้ำเย็นก่อน การ ปรับปรุง (กิโลวัตต์ ต่อตัน ความเย็น)	การใช้ ไฟฟ้าของ เครื่องผลิต น้ำเย็นหลัง การ ปรับปรุง (กิโลวัตต์ ต่อตัน ความเย็น)
1	377,730.00	1,409,677.59	3.73	234.85	0.94	0.64
2	336,790.00	1,255,363.94	3.73	153.31	0.94	0.64
3	489,610.00	1,755,831.36	3.59	267.50	0.94	0.64
4	451,070.00	1,639,619.47	3.63	235.77	0.94	0.64
5	553,820.00	1,989,253.83	3.59	315.82	0.94	0.64
6	474,330.00	1,701,278.97	3.59	296.74	0.94	-
7	468,660.00	1,712,454.46	3.65	251.96	0.94	-
ค่าเฉลี่ย	450,287.14	1,637,639.95	3.64	250.85	0.94	0.64

ข้อมูลทั่วไปของเครื่องผลิตน้ำเย็น

ปริมาณการใช้น้ำเย็นเฉลี่ย (Q)	= 250.85 ตันความเย็นต่อชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงาน (W)	= 6,657 ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า	= 3.64 บาทต่อกิโลวัตต์
การใช้ไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง (Ub)	= 0.94 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น
การใช้ไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (Ua)	= 0.64 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น

การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง (Eb)	= Q x W x Ub
	= 250.85 x 6,657 x 0.94
	= 1,569,713.94 กิโลวัตต์ต่อปี

การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง (Ea)} &= Q \times W \times Ua \\
 &= 250.85 \times 6,657 \times 0.64 \\
 &= 1,068,741.41 \text{ กิโลวัตต์ต่อปี}
 \end{aligned}$$

การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง (Qr)} &= Eb - Ea \\
 &= 1,569,713.94 - 1,068,741.41 \\
 &= 500,972.53 \text{ กิโลวัตต์ต่อปี} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดได้} &= 567,768.87 \times 3.64 \\
 &= 1,823,540.01 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

$$\begin{aligned}
 &\text{รายจ่าย} \\
 \text{ค่าเครื่องจักร} &= 3,199,300 \text{ บาท} \\
 \text{ค่าติดตั้ง} &= 1,540,800 \text{ บาท} \\
 &= 3,199,300 + 1,540,800 \\
 &= 4,740,100 \text{ บาท} \\
 \text{ค่าซ่อมบำรุงประจำปี} &= 99,314.19 \text{ บาทต่อปี} \\
 &\text{รายรับ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้} &= 1,823,540.01 \text{ บาทต่อปี} \\
 &= 1,823,540.01 - 99,314.19 \\
 &= 1,724,225.82 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= \text{รายจ่าย} / \text{รายรับต่อปี} \\
 &= 4,740,100 / 1,724,225.82 \\
 &= 2.75 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

$$\text{Present Worth Factor P/A } 2.75 \text{ @ } n=10 = 34.50\%$$

ตารางที่ ซ-2 ค่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการติดตั้งเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
<u>รายจ่าย</u>		
เงินลงทุนครั้งแรก ค่าเครื่องจักร	3,199,300.00 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
ค่าการติดตั้ง	1,540,800.00 บาท	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงประจำปี	99,314.19 บาทต่อปี	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของเครื่อง	10 ปี	จากข้อมูลที่เคยใช้งานจริง
<u>รายรับ</u>		
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้	1,823,540.01 บาทต่อปี	จากรายการคำนวณข้างต้น



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	มงคล ภู่อทองคำ
วัน เดือน ปี เกิด	13 มีนาคม 2533
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม พ.ศ. 2563 ศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการ งานวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
ที่อยู่ปัจจุบัน	18/1 หมู่3 ตำบลวังเย็น อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000

