# การจัดการพลังงานของระบบทำความเย็นในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง

วีรวัฒน์ วงษ์ภักดี

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

# การจัดการพลังงานของระบบทำความเย็นในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง

วีรวัฒน์ วงษ์ภักดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

**การจัดการพลังงานของระบบทำความเย็นในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง**

วีรวัฒน์ วงษ์ภักดี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

**พิจารณาเห็นชอบโดย** **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ดร.ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรภัทร วาฤทธิ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรภัทร วาฤทธิ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

**สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว** .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

**ชื่อเรื่อง** การจัดการพลังงานของระบบทำความเย็นในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง
**ชื่อผู้เขียน** นายวีรวัฒน์ วงษ์ภักดี
**ชื่อปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
**อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก** ดร.ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร

## บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงเป็นอันดับต้นๆ และยังคงมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความต้องการของผู้บริโภค เป็นผลทำให้ต้องมีการขยายกำลังการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้โรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น การจัดการพลังงานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการลดการใช้พลังงานในระบบการทำความเย็นของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง โดยการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตในรูปแบบการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายและวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า หาสมการตัวแทนการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มปริมาณการผลิตในช่วง Off Peak ให้มากยิ่งขึ้น และควบคุมอัตราการผลิตให้มีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละฤดูกาลผลิต ลดลง 265,865 kWh และสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวน 690,189 บาท อีกทั้งส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ลดลง 35.26 kWh/Ton (18.02 %) 54.52 บาท/Ton (10.01%) ตามลำดับ ซึ่งแนวทางในการจัดการพลังงานนี้นอกจากจะช่วยลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ แต่ยังทำให้โรงงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ, สมการถดถอย, การจัดการพลังงาน

**Title** ENERGY MANAGEMENT OF REFRIGERATION SYSTEM IN FROZEN FOOD INDUSTRY

**Author** Mr. Werawat Wongpakdee

**Degree** Master of Engineering in Food Engineering

**Advisory Committee Chairperson** Assistant Professor Dr. Chanawat Nitatwichit

## ABSTRACT

Frozen food is the food industry that utilizes the high amount of electrical energy and continuously grows with respect to an increasing demand of consumer. Therefore, energy management is extremely important. The objective of this research was to determine the methods to reduce energy usage for refrigerating system of frozen green soybean production. The research was conducted by determining the relationship between energy consumption and production using simple linear regression analysis and specific energy consumption ($SEC_E$) to explain energy usage behavior. The results showed that increasing production rate during Off-Peak period and the production control rate can reduce the energy usage in seasonal production to 265,865 kW which can save electric cost by 690,189 THB. This results in the decreases in SEC by 35.26 kWh/ton (18.02 %) and the electricity cost by 54.52 THB/ton (10.01 %). In addition. Not only electrical energy management can reduce the energy usage, but it also improves the system efficiency of frozen food industry.

Keywords : Energy management, Energy efficiency, Regression equation, Specific energy consumption

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง การจัดการพลังงานของระบบทำความเย็นในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ การดูแลเอาใจใส่ คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำงานวิจัย ตลอดจนข้อคิดต่างๆ จากบุคคลหลายท่าน

ท่านแรกขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตร์จารย์ ดร.ชนวัตน์ นิทัศนวิจิตร ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และให้กรุณาในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ให้สมบูรณ์ รวมทั้งคำแนะนำที่ดีและน่าสนใจเสมอมา ตลอดจน รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย ฟองสมุทร ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ และ รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรภัทร วาฤทธิ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการสอบวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้โอกาสนำเสนอผลงาน ในงานประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2562 ณ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล วันที่ 30 สิงหาคม 2562

ขอขอบพระคุณบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด เชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และเครื่องมือต่างๆ ในการจัดเก็บข้อมูลและทำการศึกษาโรงงานอาหารแช่แข็ง ร่วมถึงอำนวยความสะดวกในการทำงานตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณบุพการีและครอบครัว ที่คอยกำลังใจ และคอยดูแลในทุกๆ ด้านมาโดยตลอด ซึ่งเป็นแรงใจที่สำคัญที่สุด ที่ทำให้มีแรงผลักดัน ในการทำวิจัย และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อน และน้องๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ คอยแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้คงเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านไม่มากก็น้อย หากมีข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูง น้อมรับความบกพร่อง และความผิดพลาดนั้นมา ณ ที่นี้ด้วย

วีรวัฒน์ วงษ์ภักดี

# สารบัญ

**หน้า**


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... 1

สารบัญตาราง ..... 4

บทที่ 1 บทนำ ..... 5

ความสำคัญและที่มาของปัญหา ..... 5

วัตถุประสงค์ของการวิจัย ..... 9

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 9

ขอบเขตของการวิจัย ..... 10

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 11

อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง ..... 11

อัตราค่าไฟฟ้าและการคิดค่าไฟ ..... 18

การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน ..... 20

หลักการในการประหยัดพลังงาน ..... 21

แนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเบื้องต้น ..... 22

ผังแสดงเหตุและผล ..... 26

แผนภูมิการกระจาย ..... 27

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 29

สรุปกรอบแนวคิดงานวิจัย ..... 32

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ ..... 33
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ ..... 33
ข้อมูลที่ต้องศึกษาเบื้องต้น ..... 34
วิธีดำเนินงานวิจัย ..... 34
สถานที่ดำเนินงานวิจัย ..... 36
แผนการดำเนินงาน ..... 37
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ ..... 38
ผลการดำเนินงานวิจัยกรณีศึกษาเบื้องต้น ..... 38
ผลการดำเนินงานวิจัยในแต่ละฤดูกาลผลิต ..... 52
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ ..... 79
ภาคผนวก ..... 82
บรรณานุกรม ..... 93
ประวัติผู้วิจัย ..... 96

# สารบัญภาพ

**หน้า**

**ภาพที่ 1** ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในรอบ 10 ปี ..... 6

**ภาพที่ 2** แผนผังกระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง ..... 13

**ภาพที่ 3** แผนผังกระบวนการผลิตกล้วยหอมเคลือบช็อคโกแลต ..... 14

**ภาพที่ 4** แผนผังกระบวนการผลิตข้าวพะแนงผักแช่แข็ง ..... 15

**ภาพที่ 5** สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง ..... 16

**ภาพที่ 6** สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง ..... 17

**ภาพที่ 7** แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์ ..... 24

**ภาพที่ 8** แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์ ..... 25

**ภาพที่ 9** เทคนิคการลดค่าไฟฟ้า ..... 26

**ภาพที่ 10** ตัวอย่างผังก้างปลาวิเคราะห์ ..... 27

**ภาพที่ 11** แผนภาพการกระจายในลักษณะต่างๆ ..... 28

**ภาพที่ 12** แผนภาพการดำเนินงาน ..... 37

**ภาพที่ 13** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิต ปี 2560 ..... 39

**ภาพที่ 14** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ..... 39

**ภาพที่ 15** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการผลิตตลอดช่วง 42 วัน ..... 40

**ภาพที่ 16** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิต ดัชนีการใช้พลังงาน และสมการความสัมพันธ์ ..... 42

**ภาพที่ 17** ผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของการสูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็น ..... 44

**ภาพที่ 18** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของการเปรียบเทียบระยะเวลาการผลิตระหว่างเวลาที่ใช้ในการผลิตจริงกับระยะเวลาที่ได้จากการคำนวณ ..... 45

**ภาพที่ 19** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณผลผลิต และค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (การกระจายกำลังการผลิต) ..... 47

**ภาพที่ 20** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณผลผลิต และค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (การลดจำนวนวันในการผลิต) ..... 48

**ภาพที่ 21** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของแนวทางการจัดการพลังงาน (แนวทางการกระจายผลผลิตและลดจำนวนวันในการผลิต) ..... 51

**ภาพที่ 22** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของการเปรียบเทียบระยะเวลาการผลิตจริงกับแนวทางการจัดการพลังงาน (แนวทางการกระจายผลผลิตและลดจำนวนวันในการผลิต) ..... 52

**ภาพที่ 23** สัดส่วนปริมาณวัตถุดิบตามฤดูกาลเก็บเกี่ยว ..... 53

**ภาพที่ 24** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณผลผลิต ของแต่ละฤดูกาลผลิต (ก) Autumn Crop (ข) Winter Crop (ค) Spring Crop ..... 55

**ภาพที่ 25** การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของแต่ละฤดูกาลผลิต ..... 56

**ภาพที่ 26** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (ก) เครื่องแช่แข็ง IQF 1 (ข) เครื่องแช่แข็ง IQF 1+2 ..... 58

**ภาพที่ 27** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 ..... 60

**ภาพที่ 28** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 (หลังปรับแก้ไขข้อมูล) ..... 61

**ภาพที่ 29** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ..... 62

**ภาพที่ 30** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและดัชนีการใช้พลังงานของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 ..... 64

**ภาพที่ 31** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและดัชนีการใช้พลังงานของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ..... 65

**ภาพที่ 32** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของฤดูกาลผลิต Autumn Crop ..... 67

**ภาพที่ 33** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของฤดูกาลผลิต Winter Crop ..... 68

**ภาพที่ 34** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของฤดูกาลผลิต Spring Crop ..... 70

**ภาพที่ 35** การเปรียบเทียบความต้องการพลังไฟฟ้าก่อนและหลังดำเนินการ ..... 76

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

# สารบัญตาราง

**หน้า**

**ตารางที่ 1** ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในรอบ 10 ปี ..... 5

**ตารางที่ 2** การใช้ การผลิต และการนำเข้าพลังงานขั้นต้น ประจำปี 2558 ..... 7

**ตารางที่ 3** สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละสายการผลิตอาหารแช่แข็ง ..... 16

**ตารางที่ 4** ช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวถั่วแระญี่ปุ่น ประจำปี 2563 ..... 17

**ตารางที่ 5** การแบ่งช่วงเวลาสำหรับการคิดค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU ..... 18

**ตารางที่ 6** อัตราค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU ประเภทที่ 4 (TOU rate) ..... 19

**ตารางที่ 7** ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละกรณีศึกษา ..... 50

**ตารางที่ 8** ช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวถั่วแระญี่ปุ่น ..... 53

**ตารางที่ 9** การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละฤดูกาลผลิต .... 55

**ตารางที่ 10** รายละเอียดเครื่องจักรของระบบทำความเย็นในกระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง 57

**ตารางที่ 11** ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนดำเนินการจัดการพลังงาน ..... 72

**ตารางที่ 12** ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังดำเนินการ ..... 73

**ตารางที่ 13** ตัวอย่างเวลาในการเปิด-ปิดเครื่องจักร ..... 75

**ตารางที่ 14** การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลประหยัดก่อนและหลังดำเนินงาน ..... 78

# บทที่ 1
# บทนำ

## ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานถือได้ว่าเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการกำหนดการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไม่ว่าจะทางด้านเกษตรกรรมและชลประทาน การแพทย์ อุตสาหกรรมการผลิต เทคนิควิทยาศาสตร์ หรือพาณิชยกรรม ต่างต้องใช้พลังงานในการทำกิจกรรมทั้งสิ้นดังนั้นพลังงานจึงได้มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนและการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ โดยในช่วงที่ผ่านมาเศรษฐกิจของประเทศไทยมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกปี (สำนักวิจัยและสถิติ, บมจ. ไทยรับประกันภัยต่อ และคณะ 2559) อันเนื่องมาจากการสนับสนุนของภาครัฐได้มีการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมใหม่ๆ ส่งเสริมด้านการท่องเที่ยวและการบริโภคของภาคเอกชนได้มีการขยายตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เศรษฐกิจขยายตัวมากขึ้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อสถานการณ์การใช้พลังงานในประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี ดังตารางที่ 1

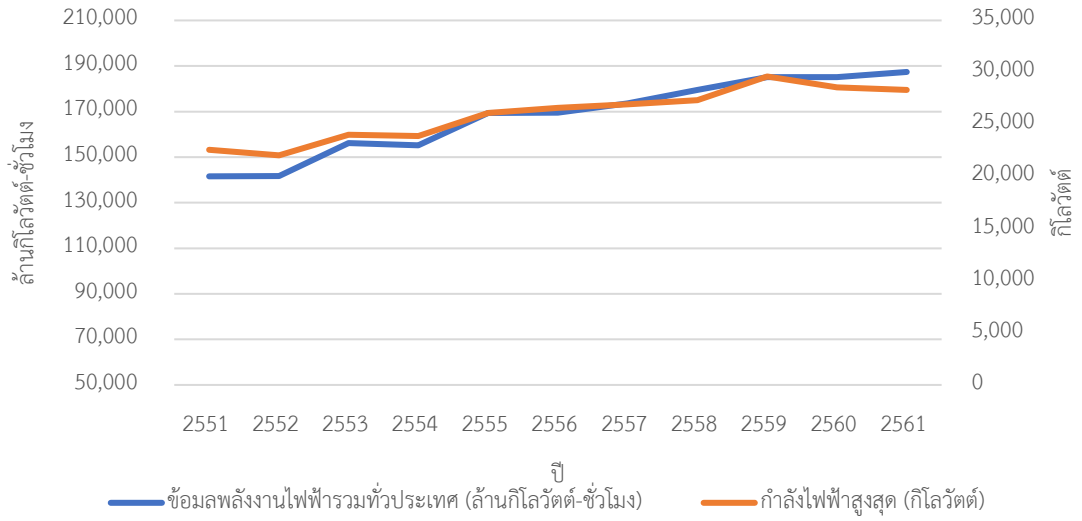
**ตารางที่ 1** ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในรอบ 10 ปี

| ปี | ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งประเทศ (ล้านกิโลวัตต์ – ชั่วโมง) | กำลังไฟฟ้าสูงสุด (เมกะวัตต์) |
|---|---|---|
| 2551 | 141,558.64 | 22,568.20 |
| 2552 | 141,692.85 | 22,044.90 |
| 2553 | 156,125.06 | 24,009.90 |
| 2554 | 155,207.26 | 23,900.21 |
| 2555 | 169,369.97 | 26,121.10 |
| 2556 | 169,530.32 | 26,598.14 |

**ตารางที่ 1** ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในรอบ 10 ปี (ต่อ)

| ปี | ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งประเทศ (ล้านกิโลวัตต์ – ชั่วโมง) | กำลังไฟฟ้าสูงสุด (เมกะวัตต์) |
|---|---|---|
| 2557 | 173,603.81 | 26,942.10 |
| 2558 | 179,537.39 | 27,345.80 |
| 2559 | 185,046.51 | 29,618.80 |
| 2560 | 185,130.89 | 28,578.40 |
| 2561 | 187,388.54 | 28,338.10 |

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2563)




**ภาพที่ 1** ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในรอบ 10 ปี

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2558)

จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 10 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมากโดยพบว่าพลังงานที่ถูกผลิตขึ้นในแต่ละวันนอกเหนือจากการถูกนำไปใช้งานทางด้านสาธารณูปโภคจะถูกนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตซึ่งสามารถคิดเป็นร้อยละ 45 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2562) ของอัตราการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศโดยพบว่าการใช้พลังงานในกลุ่มอุตสาหกรรมมีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 3.4 และคาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ หากความต้องการใช้พลังงานยังมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่าง

ต่อเนื่องเช่นนี้อาจทำให้เกิดการคลาดแคลนพลังงานได้ในอนาคต เนื่องจากข้อจำกัดในหลายๆ ด้านของการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าภายในประเทศทำให้การผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยไม่สามารถสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปีได้จึงต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศทำให้ต้องเกิดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศมากขึ้นในทุกๆ ปีดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** การใช้ การผลิต และการนำเข้าพลังงานขั้นต้น ประจำปี 2558

| รายการ | **2556** | **2557** | **2558** | **2559** | **2560** |
|---|---|---|---|---|---|
| การใช้ | 1,994 | 2,038 | 2,069 | 2,096 | 2,120 |
| การผลิต | 1,063 | 1,058 | 1,015 | 1,018 | 972 |
| การนำเข้า (สุทธิ) | 1,137 | 1,171 | 1,251 | 1,275 | 1,427 |
| การนำเข้า/การใช้ (%) | 57 | 57 | 60 | 61 | 67 |
| **อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)** | | | | | |
| การใช้ | 1.7 | 2.2 | 1.5 | 1.3 | 1.1 |
| การผลิต | 0.4 | -0.5 | -4.0 | 0.3 | -4.6 |
| การนำเข้า (สุทธิ) | 4.2 | 3.6 | 6.9 | 1.9 | 12.0 |
| GDP (%) | 7.2 | 0.9 | 2.8 | 3.2 | 3.9 |

หน่วย : พันตันต่อน้ำมันดิบ

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2561)

อุตสาหกรรมอาหารเป็นแหล่งที่นำผลผลิตจากภาคเกษตรกรรมมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าโดยอาศัยเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่น่ารับประทานหรือสะดวกต่อการนำไปใช้ตามความต้องการของผู้บริโภคซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะมีอายุการเก็บรักษารวมถึงมูลค่าที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากได้ผ่านกระบวนการแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปหรือสำเร็จรูป (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2549) แล้วที่สำคัญประเทศไทยเป็นประเทศที่อุดมสมบูรณ์เพียบพร้อมไปด้วยวัตถุดิบมากมายอุตสาหกรรมอาหารของไทยจึงมีศักยภาพในการผลิตสูงสามารถพัฒนาคุณภาพและรูปแบบของสินค้าให้เป็นที่ต้องการของตลาดโดยเทคโนโลยีแช่แข็งถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารเพราะสามารถรักษาความสด รสชาติ รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้เทียบเท่ากับอาหารสดได้มากที่สุดและในสภาวะสังคมปัจจุบันเป็นสังคมที่มีความเร่งรีบส่งผลให้ผู้บริโภคนิยมรับประทานอาหารประเภทนี้มากขึ้นทำให้อุตสาหกรรมอาหารแช่

แข็งในประเทศไทยมีการเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกๆ ปีอย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูงเป็นลำดับต้นๆ เมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมประเภทอื่นเป็นผลมาจากอุตสาหกรรมเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับเครื่องจักรที่จะต้องสามารถสร้างความเย็นได้ ซึ่งเครื่องจักรเหล่านี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง เช่น ระบบทำความเย็น เครื่องแช่แข็งแบบไอคิวเอฟ (Individual quick freezing, IQF) และระบบผลิตน้ำเย็น ฯลฯ ซึ่งพลังงานไฟฟ้ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของการใช้ไฟฟ้าในโรงงานทั้งหมดต้องสูญเสียให้กับเครื่องทำความเย็นเหล่านี้เพื่อให้สามารถดำเนินงานได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้พลังงานกลายเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดราคาต้นทุนผลิตภัณฑ์และมีผลต่อราคาของผลิตภัณฑ์ทำให้อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งเหล่านี้ได้ให้ความสำคัญต่อการจัดการพลังงานในอุตสาหกรรมเพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุดซึ่งจะส่งให้ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ลดลงและที่สำคัญยังเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับตลาดโลกได้

บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ถือได้ว่าเป็นสถานประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตอาหารแช่แข็งขนาดใหญ่ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยสูงถึง 3,250 กิโลวัตต์ต่อเดือน โดยผลิตภัณฑ์หลักของบริษัท คือ ผลิตภัณฑ์จากถั่วแระแช่แข็ง นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ ได้แก่ ผลไม้เคลือบช็อคโกแลตและอาหารแช่แข็งพร้อมรับประทานต่างๆ โดยรูปแบบการผลิตของโรงงานจะแบ่งออกเป็นสามช่วงฤดูกาลผลิตตามฤดูกาลปลูกถั่วแระ ได้แก่ ช่วงมกราคม-มีนาคม มิถุนายน-สิงหาคม และกันยายน-พฤศจิกายน ซึ่งทั้งสามช่วงจะมีการผลิตผลิตภัณฑ์ถั่วแระแช่แข็งเป็นหลัก โดยผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นจะถูกนำมาผลิตในช่วงต้นและช่วงท้ายของฤดูกาลผลิตถั่วแระรวมไปถึงในช่วงนอกฤดูกาลผลิตถั่วแระด้วย เนื่องจากในช่วงเหล่านี้เป็นช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกถั่วแระทำให้ถั่วแระที่ได้มีคุณภาพไม่ตรงตามที่โรงงานกำหนดไว้ จึงต้องมีการนำผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นเข้ามาผลิตซึ่งจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณถั่วแระที่รับเข้ามา และด้วยปัจจุบันความต้องการของผู้บริโภคถั่วแระเพิ่มสูงขึ้นทำให้โรงงานต้องมีการขยายกำลังการผลิตเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้องมีการขยายขนาดของระบบการทำความเย็นและเพิ่มจำนวนห้องแช่แข็งให้สามารถรองรับกับกำลังการผลิตที่เพิ่มมากขึ้นได้ ทำให้ในช่วงที่ผ่านมาพบว่า 65 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของบริษัทต้องสูญเสียให้แก่ระบบการทำความเย็นและเมื่อทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการผลิตนอกฤดูกาลจะมีค่าพลังงานจำเพาะสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโรงงานมีการใช้พลังงานที่ไม่สัมพันธ์ต่อปริมาณวัตถุดิบที่ได้รับเข้ามาทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มต้นทุนของผลิตภัณฑ์ให้มีค่าสูงขึ้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเอาความรู้ทางด้านการจัดการพลังงานมาประยุกต์ใช้โดยจะศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นเทียบกับปริมาณ

วัตถุดิบในแต่ละช่วงฤดูกาลเพื่อหาแนวทางในการจัดการการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับปริมาณวัตถุดิบที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงการผลิต ซึ่งจะทำให้โรงงานมีการใช้พลังงานที่คุ้มค่ามากขึ้นและยังลดต้นทุนการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์รวมถึงช่วยเพิ่มโอกาสทางการแข่งขันกับบริษัทอื่นๆ มากขึ้น

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ภาพรวมการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นที่ได้มีการขยายขนาดกำลังการผลิตใหม่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็งโดยใช้เทคนิคด้านการจัดการพลังงานเพื่อหาแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้แก่ บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์ย่อย ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเพื่อหาดัชนีการใช้พลังงาน
2. เพื่อหารูปแบบการเดินระบบเครื่องทำความเย็นที่เหมาะสมกับการผลิตในแต่ละฤดูกาลและเสนอแนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นที่มีการขยายขนาดกำลังการผลิตให้เหมาะสม

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หลังจากที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นที่ขยายขนาดของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ผลที่คาดว่าจะได้รับคือ ได้แนวทางในจัดการพลังงานที่เหมาะสมต่อปริมาณวัตถุดิบที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงการผลิตซึ่งจะช่วยลดปัญหาการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตสินค้ารวมถึงได้ส่งเสริมการจัดการพลังงานไฟฟ้าในสถานประกอบการให้เป็นรูปธรรมยิ่งขึ้นและปัจจุบันในประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากมีแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานมาปรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แช่แข็งจะสามารถช่วยให้ประเทศประหยัดพลังงานและลดการขาดแคลนพลังงานลงได้

## ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยผลผลิตในระบบทำความเย็นของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด เฉพาะส่วนการผลิตสินค้าแช่แข็งเท่านั้น ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็นในส่วนสำนักงานโดยบริษัทถูกคิดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าแบบอัตราช่วงเวลาของการใช้ หรือ TOU (Time Of Use Rate)

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็งของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการผลิต เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า พบว่า มีสัดส่วนการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้เกิดการขาดแคลนพลังงานได้ในอนาคต โดยงานวิจัยนี้ได้หาแนวทางในการจัดการพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมต่อปริมาณผลผลิต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำทฤษฎี และความรู้ด้านต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้แก่ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง การวิเคราะห์อัตราค่าไฟฟ้าและการคิดค่าไฟฟ้า หลักการประหยัดค่าไฟฟ้า แนวทางการลดค่าไฟฟ้า การควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ($SEC_E$) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และสรุปกรอบแนวคิด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง

อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารโดยได้นำเทคโนโลยีการทำความเย็นเข้ามาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปอาหารซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำจนถึงระดับที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถจะดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้หรือจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไป โดยการแช่แข็งมักจะทำการลดอุณหภูมิแกนกลางของอาหารให้ต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้น้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์กลายเป็นน้ำแข็งทำให้เนื้อเยื่อของอาหารคงลักษณะอยู่ และยังช่วยรักษาความสด รสชาติ สี รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารให้ใกล้เคียงกับอาหารสดให้มากที่สุด

บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ถือได้ว่าเป็นบริษัทแนวหน้าในภาคเหนือที่มีฐานการผลิตอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่โดยจัดเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ประเภทผัก-ผลไม้แช่แข็งและอาหารพร้อมรับประทานขนาดใหญ่อย่างครบวงจรโดยเริ่มต้นตั้งแต่การรับวัตถุดิบจากแหล่งผลิตมาเข้ากระบวนการถนอมและรักษาหรือทำให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพร้อมทั้งเก็บไว้ในห้องเย็นรวมทั้งจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ไปยังแหล่งจำหน่ายครอบคลุมทั้งในและต่างประเทศ บริษัทตั้งอยู่ที่ 106/5 หมู่ 8 ตำบลสารภี อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ มีนโยบายเพื่อผลิตสินค้าให้มีมาตรฐานระดับในสากล

มีคุณภาพสูงและสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าทั้งนี้บริษัทฯ มีการผลิตสินค้าหลากหลายชนิด เช่น ถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง ผลไม้เคลือบช็อกโกแลต และอาหารแช่แข็งพร้อมรับประทาน เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง (Frozen green soybean) ถือเป็นสินค้าหลักที่สร้างรายได้ให้แก่บริษัทมากที่สุด เนื่องจากกำลังเป็นที่นิยมในต่างประเทศและมีมูลค่าในการส่งออกสูงทั้งนี้กระบวนการผลิตอาหารในแต่ละผลิตภัณฑ์ของบริษัทมีความแตกต่างกันไม่มากจึงได้ขอยกตัวอย่าง 3 กระบวนการผลิตหลักๆ ของโรงงาน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ถั่วแระแช่แข็ง ผลไม้เคลือบช็อคโกแลต และข้าวพะแนงแช่แข็ง โดยขั้นตอนการผลิตของบริษัทฯ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนงานหลักๆ ดังนี้

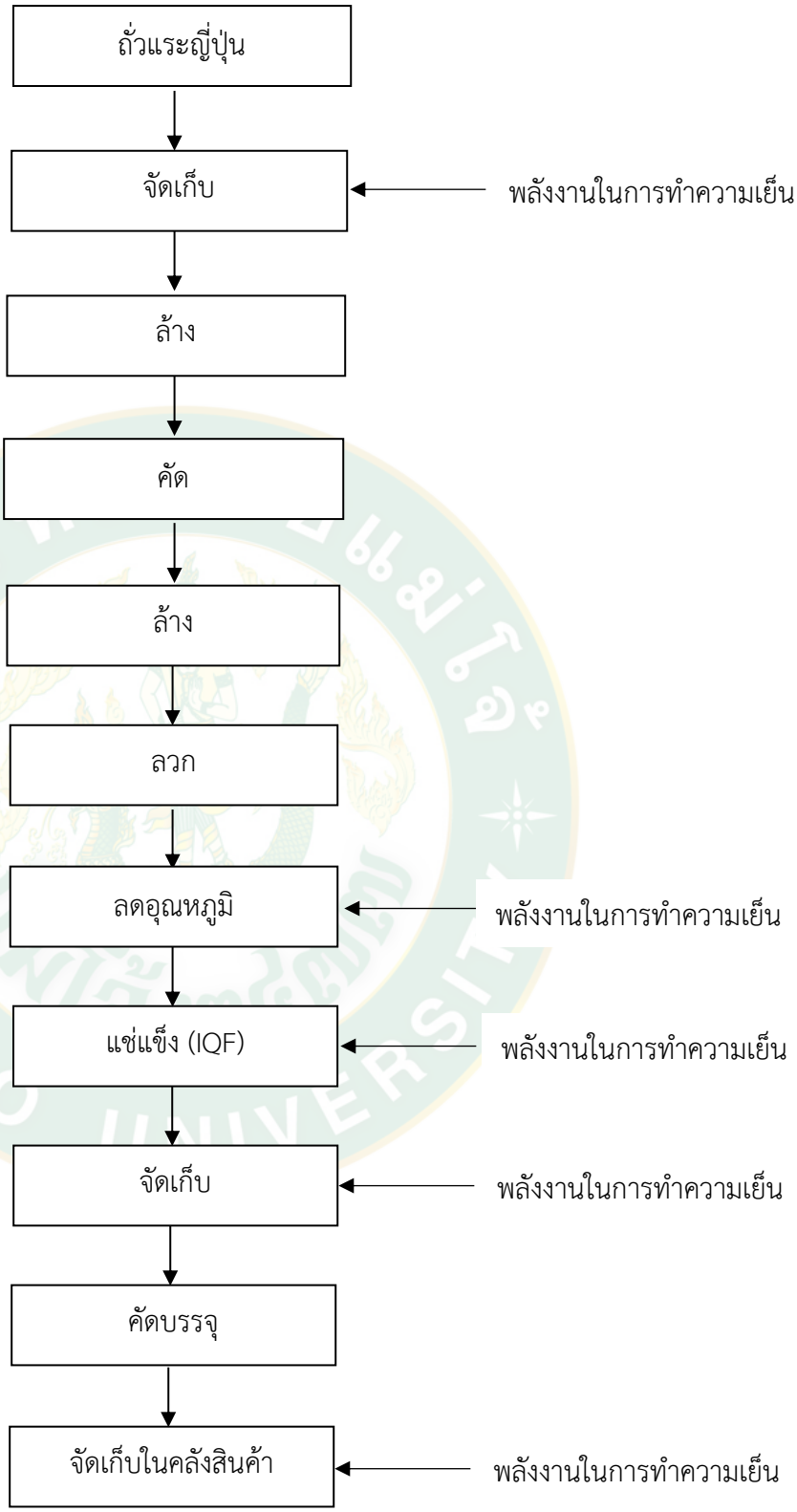
1. ขั้นตอนการรับวัตถุดิบ เป็นการตรวจรับวัตถุดิบให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ของวัตถุดิบแต่ละชนิดหากไม่ผ่านมาตรฐานจะถูกส่งกลับทันทีแต่หากวัตถุดิบผ่านตามมาตรฐานที่กำหนดไว้จะถูกโอนวัตถุดิบให้โรงงาน หลังจากวัตถุดิบถูกโอนส่งให้โรงงานแล้วพนักงานรับวัตถุดิบจะนำวัตถุดิบเหล่านี้เข้าไปเก็บไว้ในห้องเก็บวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 2-15 องศาเซลเซียส

2. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เป็นกระบวนการสำคัญเพื่อเตรียมวัตถุดิบให้พร้อมก่อนการแปรรูปหรือเป็นการเบิกวัตถุดิบจากห้องเก็บวัตถุดิบมาล้างทำความสะอาดซึ่งการล้างเป็นขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบที่สำคัญก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและสิ่งแปลกปลอมจากแหล่งปลูก เช่น เศษหิน เศษดินทราย และเศษต่างๆ เพื่อลดอันตรายในอาหารโดยเฉพาะอันตรายจากจุลินทรีย์จากนั้นวัตถุดิบจะเข้าสู่กระบวนการคัดขนาดเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ วัตถุดิบบางชนิดอาจต้องเข้าสู่กระบวนการล้างทำความสะอาดอีกครั้งเพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีสิ่งแปลกปลอมเข้าไปยังกระบวนการถัดไป

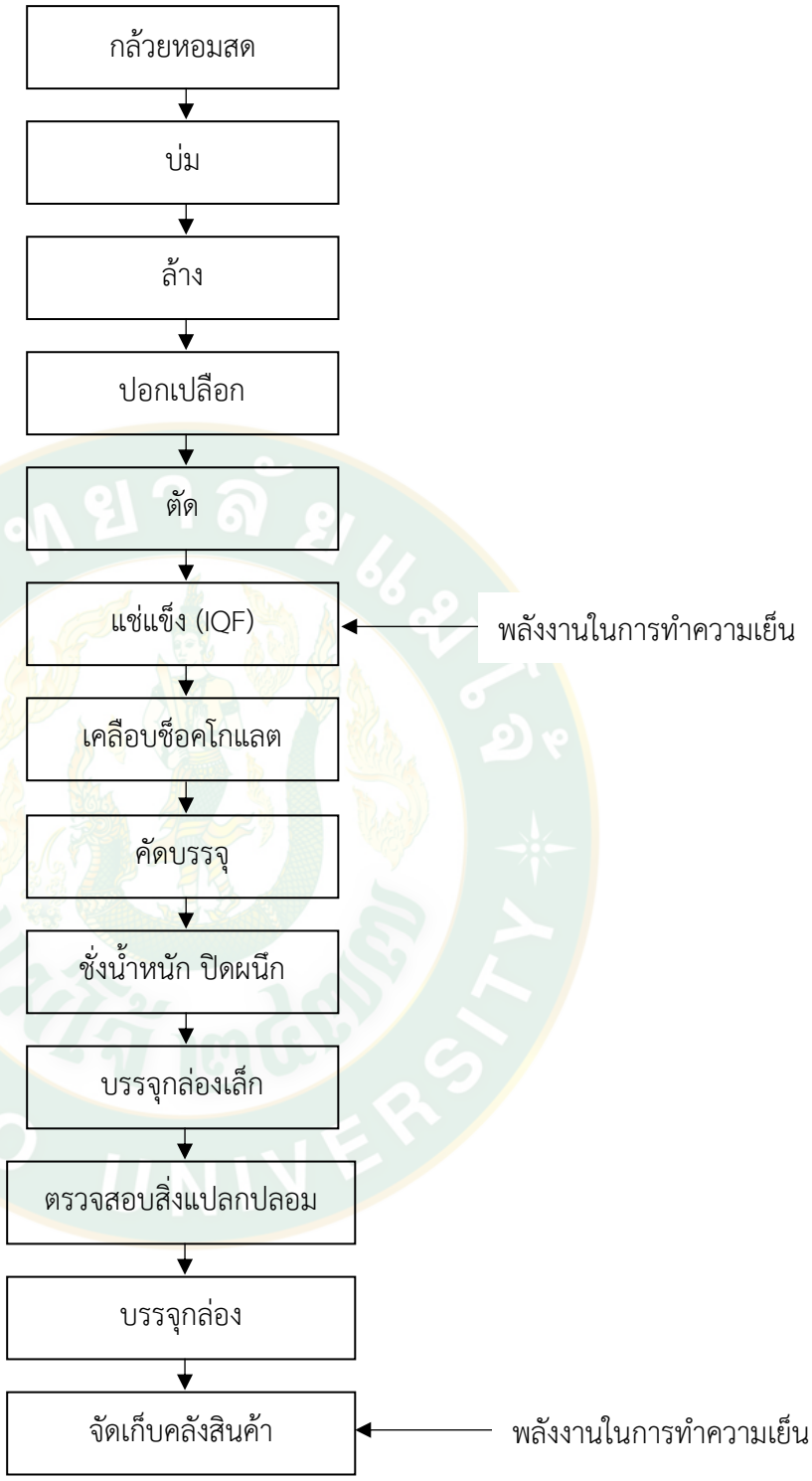
3. ขั้นตอนการแปรรูป วัตถุดิบหลังจากที่ได้ผ่านการตรวจสอบให้ได้คุณภาพตามที่กำหนดไว้ของบริษัทจะถูกนำเข้ากระบวนการแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดไว้ซึ่งวิธีการแปรรูปจะแตกต่างกันออกไปตามผลิตภัณฑ์ในแต่ละประเภท

4. ขั้นตอนการแช่แข็ง วัตถุดิบจะเข้าสู่การแช่แข็งด้วยอุณหภูมิ เวลาในการแช่แข็งตามข้อกำหนดของวัตถุดิบแต่ละชนิดโดยใช้หลักการของการแช่แข็งแบบรวดเร็ว (IQF) ซึ่งผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิแกนกลางต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส ภายใต้เวลาการแช่แข็งตามความเหมาะสมของวัตถุดิบแต่ละชนิด จากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกส่งไปสู่ขั้นตอนการบรรจุภัณฑ์และเก็บไว้ในคลังสินค้าก่อนส่งมอบให้ลูกค้าหรือรอเบิกเพื่อนำไปผลิตสินค้าแปรรูปขั้นต่อไป

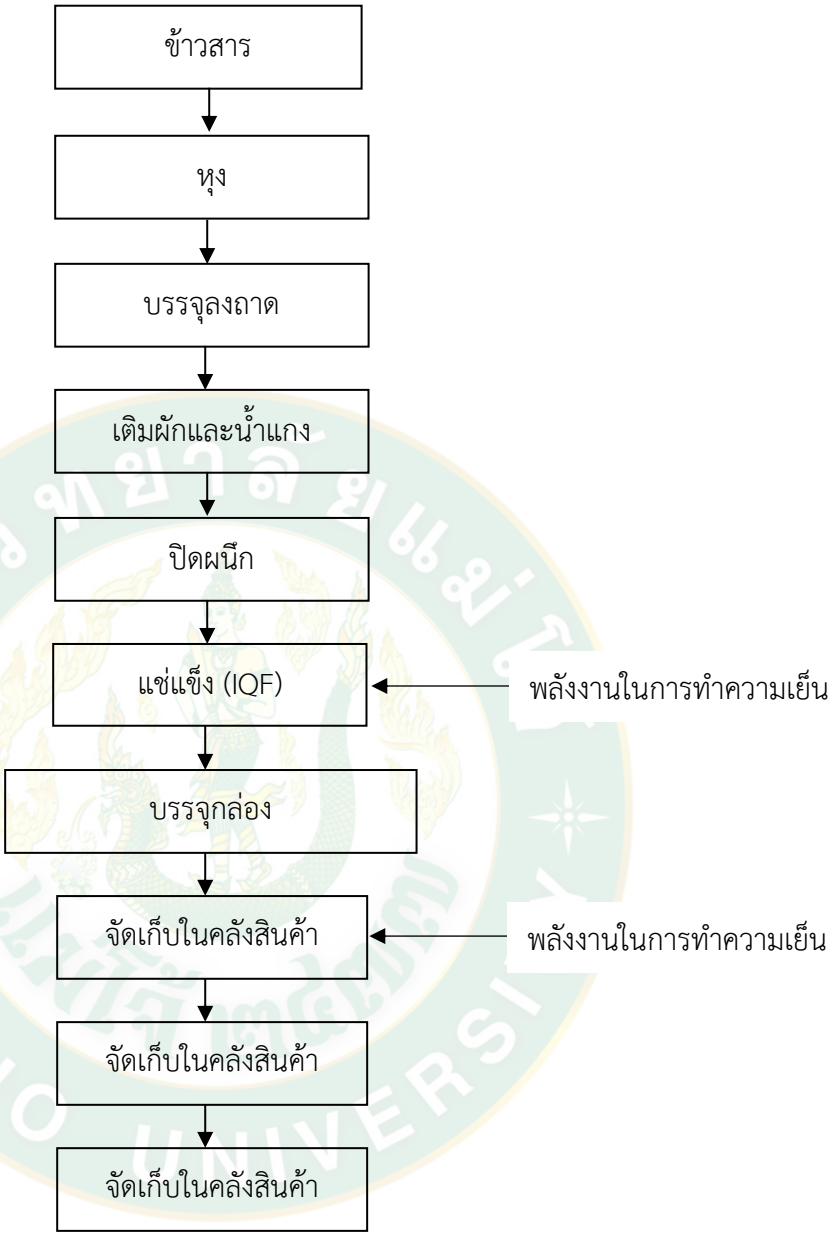
โดยขั้นตอนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง กล้วยเคลือบช็อกโกแลต และข้าวพะแนงผักแช่แข็งของบริษัทฯ สามารถอธิบายรายละเอียดลำดับขั้นในการผลิตได้ในแผนผังกระบวนการผลิตดังภาพที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ




**ภาพที่ 2** แผนผังกระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง




**ภาพที่ 3** แผนผังกระบวนการผลิตกล้วยหอมเคลือบช็อคโกแลต



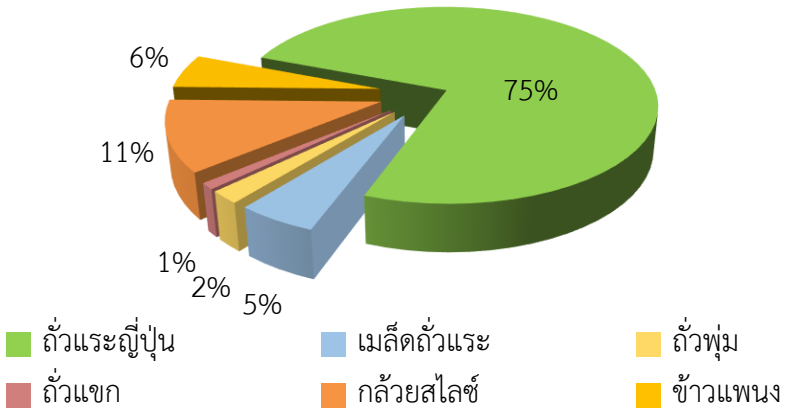

**ภาพที่ 4** แผนผังกระบวนการผลิตข้าวพะแนงผักแช่แข็ง

จากแผนภาพแสดงให้เห็นว่าทุกสายการผลิตของบริษัทมีความเกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็นทั้งสิ้นโดยกระบวนการผลิตที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง โดยมีการใช้พลังงานในการผลิตสูงถึง 74.83 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น เมล็ดถั่วแระ ถั่วพุ่ม ถั่วแขก กล้วยเคลือบช็อคโกแลต และข้าวพะแนงแช่แข็ง ดังแสดงในตารางที่ 3 และสามารถนำมาสร้างแผนภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 5

**ตารางที่ 3** สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละสายการผลิตอาหารแช่แข็ง

| ผลิตภัณฑ์ | ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) | ร้อยละ (%) |
|---|---|---|
| 1. ถั่วแระญี่ปุ่น | 185,835.74 | 74.83 |
| 2. เมล็ดถั่วแระ | 12,881.58 | 5.19 |
| 3. ถั่วพุ่ม | 5,051.60 | 2.03 |
| 4. ถั่วแขก | 2,525.80 | 1.02 |
| 5. กล้วยสไลซ์ | 28,362.00 | 11.42 |
| 6. ข้าวพะแนง | 13,676.40 | 5.51 |
| **รวม** | **248,333.12** | **100.00** |

ที่มา : เบญจพร (2559)

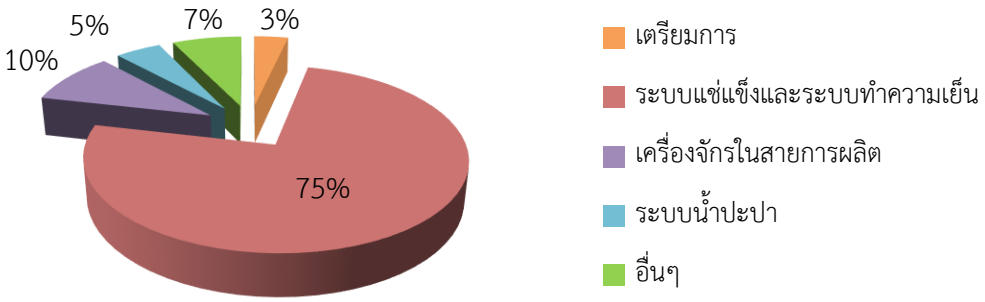



**ภาพที่ 5** สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง

ที่มา : เบญจพร (2559)

เหตุผลที่สายการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็งมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเนื่องจากมีความสามารถในการผลิตสูงมีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่จำนวนหลายเครื่องโดยแต่ละเครื่องใช้กำลังไฟฟ้าสูงซึ่งแตกต่างกับสายการผลิตอื่นๆ ที่มีการใช้กำลังคนมากกว่าทำให้มีการใช้ไฟฟ้าน้อย และเมื่อทำการสำรวจการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งพบว่า 75 เปอร์เซ็นต์ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ถูกใช้ไปกับกับระบบแช่แข็งและทำความเย็นอีก 25 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือจะประกอบ

ไปด้วย การเตรียมการ เครื่องจักรในสายการผลิต ระบบประปา และระบบอื่นๆ เช่น ระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 6




**ภาพที่ 6** สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง

ที่มา : เบญจพร (2559)

จากแผนผังและรายละเอียดข้อมูลการใช้พลังงานทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าสายการผลิตถั่วแระมีการใช้พลังงานมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตอื่นๆ โดยกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งจะมีช่วงการผลิตอยู่ 3 ช่วงดังตารางที่ 4 โดยในช่วงที่มีการผลิตมากที่สุดจะอยู่ในช่วงกลางของในแต่ฤดูกาลผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝนจะสามารถหารับปริมาณวัตถุดิบได้มากที่สุดส่วนในช่วงนอกฤดูกาลรวมถึงต้นและท้ายของแต่ละฤดูกาลผลิตจะมีการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ เข้ามา เช่น ข้าวพะแนง กล้วยเคลือบช็อคโกแลต และสตรอเบอรี่เคลือบช็อคโกแลต เป็นต้น จากการที่โรงงานไม่สามารถทำการควบคุมการผลิตให้อยู่ในปริมาณที่คงที่ได้ตลอดทั้งปี ซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณวัตถุดิบที่เข้ามาในแต่ละวันและที่สำคัญโรงงานมีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่และมีการกินไฟค่อนข้างสูงจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ต้องมีการศึกษาการใช้พลังงานเทียบกับปริมาณวัตถุดิบที่มีการผลิตในแต่ละช่วงฤดูกาลเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในแต่ละช่วงการผลิตแล้วหาเทคนิคในการจัดการพลังงานที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการลดต้นทุนการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์และทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่ามากที่สุด

**ตารางที่ 4** ช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวถั่วแระญี่ปุ่น ประจำปี 2563

| Season | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Winter | | | | | | | | | | | | |
| Spring | | | | | | | | | | | | |
| Autumn | | | | | | | | | | | | |

ที่มา: บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด (2563)

## อัตราค่าไฟฟ้าและการคิดค่าไฟ

1. การคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU (Time of use rate)

พลังงานไฟฟ้าที่ได้ว่าเป็นต้นทุนที่สำคัญของอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มของอุตสาหกรรมแช่แข็งซึ่งพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ถูกใช้ไปกับระบบทำความเย็น เช่น การแช่แข็งผลิตภัณฑ์ ห้องเย็น การผลิตน้ำเย็น เป็นต้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ไฟฟ้าของอุตสาหกรรมแช่แข็งได้แก่ ประเภทของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ระบบทำความเย็นและสารทำความเย็นที่เลือกใช้ รวมถึงสภาพการดูแลรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิตปัจจัยที่มีผลรองลงมาได้แก่ ฤดูกาลผลิต ปริมาณวัตถุดิบ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ รวมถึง โครงสร้างด้านไฟฟ้าที่สถานประกอบการเลือกใช้หรือการเลือกเวลาในผลิตช่วงกลางวันหรือกลางคืนซึ่งมีการคิดค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันดังนั้นในการประเมินความเป็นไปได้ในการลดการใช้พลังงานจึงควรนำปัจจัยเหล่านี้เข้ามาพิจารณาร่วมด้วย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้แบ่งประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าออกเป็น 8 ประเภท เพื่อใช้ในการคิดค่าไฟฟ้าระบบไฟฟ้าโดยบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ถูกจัดอยู่ในประเภทที่ 4 หรือกลุ่มกิจการขนาดใหญ่โดยมีระดับแรงดัน 12-24 กิโลโวลต์ มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จะถูกอ่านผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียวจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและเนื่องด้วยอุตสาหกรรมเหล่านี้มีการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างสูงจึงต้องมีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าเป็นแบบ TOU โดยการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU เป็นการคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่แยกค่าความต้องการพลังไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าออกจากกันทั้งนี้เพื่อให้สะท้อนถึงต้นทุนการผลิต การส่ง และการจำหน่ายไฟฟ้า โดยระยะเวลาในช่วง 1 สัปดาห์ (7 วัน) จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ On Peak และ Off Peak ดังตารางที่ 5 และอัตราการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU รายละเอียดดังตารางที่ 6

**ตารางที่ 5** การแบ่งช่วงเวลาสำหรับการคิดค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU

| ชื่อเรียกช่วงเวลา | เกิดขึ้นระหว่างเวลา | จำนวนชั่วโมง 1 สัปดาห์ |
|---|---|---|
| 1. On Peak | 09.00-22.00 น. ของวันจันทร์-ศุกร์ | 65 |
| 2. Off Peak | 22.00-09.00 น. ของวันจันทร์-ศุกร์ | 55 |
| | 00.00-24.00 น. ของวันเสาร์-อาทิตย์และวันหยุดราชการตามปกติ | 48+ |

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง (2562)

**ตารางที่ 6** อัตราค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU ประเภทที่ 4 (TOU rate)

| ระดับแรงดัน (กิโลโวลต์) | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาทต่อกิโลวัตต์) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย) | | ค่าบริการ (บาทต่อเดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | On Peak | On Peak | Off Peak | |
| 1. แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป | 74.14 | 4.1283 | 2.6107 | 312.24 |
| 2. แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์ | 132.93 | 4.2097 | 2.6295 | 312.24 |
| 3. แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์ | 210.00 | 4.3555 | 2.6627 | 312.24 |

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง (2562)

2. ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนประกอบไปด้วยค่าไฟฟ้าหลายส่วนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ซึ่งประกอบไปด้วย

2.1 ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge) ความต้องการพลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนคือความต้องการพลังไฟฟ้ามีหน่วยวัดเป็น กิโลวัตต์ ที่เป็นค่าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วง On Peak หรือ Partial Peak ในเดือนนั้นๆ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็น บาทต่อกิโลวัตต์ ซึ่งเป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงการลงทุนในและการขยายกำลังของระบบผลิต ระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามระดับแรงดัน เรียกเป็น Capacity cost

2.2 ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy charge) เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ใช้ไปในรอบเดือนนั้นๆ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็น บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือบาทต่อหน่วย เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา การดำเนินงาน และค่าเชื้อเพลิง โดยแบ่งออกไปตามระดับแรงดัน เรียกเป็น Energy cost

2.3 ค่าบริการ (Service charge) เป็นค่าบริการเกี่ยวกับเครื่องวัดทางไฟฟ้า ค่าดำเนินการจดหน่วยจัดทำใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้าและการดำเนินการจัดเก็บเงินค่าไฟฟ้ามีหน่วยเป็นบาท/เดือน เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงต้นทุนค่าบริการของผู้ใช้ไฟฟ้าให้มีความชัดเจน (Customer cost)

2.4 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power factor charge) หรือค่าปรับค่าตัวประกอบกำลังสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบล้าหลัง (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวาร์เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของ

ความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้วเฉพาะกิโลวาร์ส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์โดยมีอัตราคิดเป็นบาทต่อกิโลวาร์ (บาท/kVAR) ค่าไฟฟ้าส่วนนี้เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงการลงทุนการบำรุงรักษาเครื่องวัดทางไฟฟ้า สำหรับการติดตั้ง Capacitor ในระบบไฟฟ้าโดยกำหนดให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ ขึ้นไปมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ไม่ต่ำกว่า 0.85

2.5 ค่าไฟฟ้าต่ำสุด (Minimum charge) ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมามีหน่วยเป็น บาท/เดือน เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงการลงทุนที่การไฟฟ้าฯ ได้ลงทุนขยายระบบไฟฟ้า เพื่อให้เพียงพอกับการใช้ไฟฟ้าแต่ผู้ใช้ไฟฟ้ากลับไม่ได้ใช้ไฟฟ้าตามที่แสดงความจำนงไว้

2.6 ค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Fuel adjustment charge, Ft.) เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่อยู่ในการควบคุมของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต เช่น ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ซึ่งค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากราคาฐานที่ใช้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2543 โดยอัตราค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ มีหน่วยเป็น บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือบาทต่อหน่วย (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

2.7 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้าโดยมีอัตราร้อยละ 7

**การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน**

การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานเป็นการดำเนินงานเพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมมาใช้ในการแก้ไขปัญหาซึ่งการดำเนินงานโดยทั่วไปจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การตรวจสอบการใช้พลังงานจากข้อมูลในอดีต จะเป็นการรวบรวมข้อมูลพร้อมทั้งศึกษาการใช้พลังงานจากข้อมูลปีก่อนๆ ที่ทางโรงงานหรือการไฟฟ้าได้จดบันทึกไว้เพื่อต้องการทราบถึงปริมาณพลังงานทุกรูปแบบที่ใช้ในโรงงานรวมถึงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในแต่ละส่วนและทำการวิเคราะห์ผลผลิตที่ได้ต่อปริมาณพลังงานที่ใช้และรูปแบบของการใช้พลังงานในแต่ละช่วงการผลิต

2. การตรวจสอบการใช้พลังงานโดยการเข้าสำรวจโรงงาน โดยเริ่มจากการศึกษาผังของโรงงานเพื่อให้ทราบถึงลักษณะทั่วไปของโรงงานรวมถึงกระบวนการผลิตและการใช้เครื่องจักรภายในโรงงานทำการพิจารณากระบวนการที่มีการใช้พลังงานสูง การใช้พลังงานของเครื่องจักรแต่ละตัวในกระบวนการผลิตรวมถึงระบบการใช้พลังงานรูปแบบต่างๆ ในบริเวณที่เกี่ยวข้องหลังจากนั้นจึงเข้าสำรวจโรงงานเพื่อหาแหล่งการใช้พลังงานพร้อมทั้งหาสาเหตุของการสูญเสียพลังงานของระบบที่

เกี่ยวข้อง ทั้งในช่วงที่มีการผลิตและหยุดการผลิตรวมทั้งสำรวจมาตราวัดต่างๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้ในการบันทึกข้อมูลเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์พลังงานต่อไป

3. การจัดทำบัญชีพลังงาน (Energy auditing) เป็นการทำบัญชีพลังงานเพื่อรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสำรวจการใช้พลังงานในโรงงานเพื่อนำมาวิเคราะห์การใช้พลังงานและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่อไปซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.1. การตรวจสอบการใช้พลังงานจากใบเสร็จค่าใช้จ่ายพลังงาน (Billing audit) เป็นการรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่างๆ ภายในโรงงานจากใบเสร็จค่าใช้จ่ายเพื่อใช้เป็นแนวทางในการคำนวณหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิต

3.2. การตรวจสอบการใช้พลังงานโดยศึกษาจากการลงภาคสนาม (Field audit) เป็นการจัดทำรายละเอียดการใช้พลังงานของแต่ละระบบภายในโรงงานรวมถึงเครื่องแต่ละตัวที่ใช้ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเริ่มหลังจากที่ได้ทำการสำรวจการใช้พลังงานจากใบเสร็จ

4. การตรวจสอบและการวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด จากข้อมูลการตรวจสอบการใช้พลังงานเบื้องต้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยเริ่มจากการทำสมดุลพลังงานเพื่อหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวมถึงการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ของแต่ละระบบ ซึ่งข้อมูลที่ได้เหล่านี้จะทำให้ทราบถึงสิ่งที่ต้องทำการปรับปรุงและแก้ไขส่วนใดบ้าง พร้อมทั้งวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมทั้งในด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์

## หลักการในการประหยัดพลังงาน

หลักการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้หลากหลายวิธี ตั้งแต่วิธีง่ายๆ จนถึงส่วนที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีขั้นสูงจึงสามารถแบ่งมาตรการการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 3 กลุ่ม ดังนี้ (Doty and Turner, 2004 ; จุลละพงษ์ และ ปรีดา, 2537 ; จันจิรา, 2558)

1. มาตรการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Housekeeping) เป็นมาตรการที่ดำเนินการการได้ง่ายที่ไม่ต้องมีการลงทุนหรือมีการลงทุนที่น้อยมีระยะเวลาคืนทุนที่รวดเร็ว เช่น การตรวจสอบดูแล และการบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพดีพร้อมใช้งานให้มีสภาพที่สมบูรณ์อยู่ตลอดเวลาหรือเป็นการจัดระเบียบการบำรุงรักษาให้เป็นไปตามหมายกำหนดการหรือข้อกำหนดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้ออกแบบมาการดูแลรักษาให้อยู่ในสภาพดีและมีประสิทธิภาพสูง ปรับปรุงวิธีการทำงาน และซ่อมบำรุงเครื่องจักรหรือระบบให้ทำงานใกล้เคียงกับค่าพิกัด เช่น คอมเพรสเซอร์และปั๊ม

2. มาตรการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Process improvements) เป็นมาตรการใช้เงินลงทุนไม่สูงมาก และมีระยะเวลาคืนทุนไม่นาน โดยส่วนใหญ่จะเน้นการปรับปรุงกระบวนการทุกส่วนหรือการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ของเครื่องจักรแต่ละตัว ที่มีผลต่อการใช้พลังงานที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ หรือส่งผลให้มีการใช้พลังงานที่ไม่มีประสิทธิภาพหรือประสิทธิภาพต่ำ เช่น การหุ้มฉนวน การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ การเปลี่ยนหัวเผาของหม้อไอน้ำ และการเปลี่ยนบัลลาส์ตอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น เพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์สูงสุด หรือให้เกิดการใช้พลังงานลดลงแต่กระบวนการผลิตยังคงเดิม

3. มาตรการเปลี่ยนเครื่องจักรหนัก (Process or equipment change) เป็นมาตรการหรือวิธีการปรับปรุงใหญ่ที่มีการใช้เงินลงทุนสูงและมีระยะเวลาคืนทุนนานกว่าสองกรณีแรกโดยเป็นมาตรการเปลี่ยนกระบวนการทำงานหรือเครื่องจักรการผลิตใหม่ เช่น การใช้ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Co-Generation)

**แนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเบื้องต้น**

1. การเพิ่มค่าตัวประกอบโหลด (Load factor) ให้สูงขึ้น ค่าโหลดแฟคเตอร์เป็นดัชนีตัวหนึ่งที่สะท้อนให้ผู้ใช้ได้ทราบถึงความสม่ำเสมอของการใช้ไฟฟ้าซึ่งการคำนวณโหลดจะสามารถคำนวณได้จากบิลค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน ดังสมการที่ (1)

$$\text{ตัวประกอบโหลด} = \frac{\text{จำนวนกิโลวัตต์} - \text{ชั่วโมงที่ใช้ทั้งหมดต่อเดือน}}{\text{กิโลวัตต์สูงสุด} \times \text{จำนวนชั่วโมงในเดือนนั้น}} \times 100\ \% \qquad (1)$$

วิธีการนี้สามารถช่วยลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge) ได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมมีโหลดแฟคเตอร์เดิมอยู่ประมาณร้อยละ 70 เมื่อสามารถเพิ่มเป็นร้อยละ 80 แล้วสามารถลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 12 ซึ่งคิดเป็นเงินหลายหมื่นบาท (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2545) โดยตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้เปอร์เซ็นต์โหลดแฟคเตอร์สูงหรือต่ำคือจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์) และความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดดังนั้นวิธีการที่จะทำให้ค่าโหลดแฟคเตอร์สูงขึ้นคือการลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดโดยการปรับรูปแบบการใช้ไฟฟ้าให้มีความสม่ำเสมอและลดจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลงเพื่อให้สมดุลกับค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดซึ่งจะทำให้อัตราส่วนของค่าทั้งสองเพิ่มมากขึ้น แต่การลดจำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้าจะมีผลต่อการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดไม่มากนักแต่จะส่งผลต่อค่าไฟฟ้าที่ลดลง

2. การลดค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) เป็นค่าที่แสดงถึงการใช้พลังงานในการผลิตต่อผลผลิตที่ได้ซึ่งประโยชน์ของค่านี้จะช่วยทำให้ทราบว่าโรงงานมีการใช้พลังงานเฉลี่ยเท่าใดในการผลิตสินค้าหนึ่งหน่วยดังสมการที่ 2

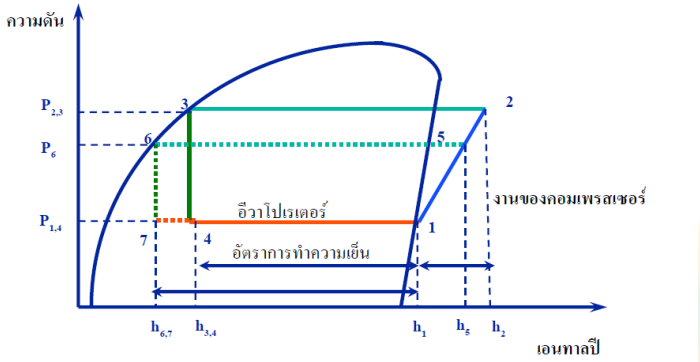
$$\text{ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในระยะเวลาหนึ่ง}}{\text{ผลผลิตที่ได้ในระยะเวลาเดียวกัน}} \qquad (2)$$

จากภาพจะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าพลังงานจำเพาะมากคือค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ยิ่งมีค่ามากขึ้นยิ่งส่งผลให้ค่าพลังงานจำเพาะมีค่าที่ลดลงตามไปด้วยเนื่องจากค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตมีอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่แปรผันตามปริมาณผลผลิต และส่วนที่คงที่ไม่ขึ้นกับผลผลิต เช่น ส่วนสำนักงานและโรงอาหาร เป็นต้น เมื่อปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยจะยิ่งลดลงดังนั้นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานจำเพาะในแต่ละเดือนคือปริมาณผลผลิต แต่จะเห็นว่าแม้บางเดือนจะมีค่าปริมาณวัตถุดิบที่ใกล้เคียงกันค่าการใช้พลังงานจำเพาะมีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ เช่น ความยากง่ายของชิ้นงานในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน คุณภาพวัตถุดิบที่นำเข้ามีความแตกต่างกันหรือมีของเสียในเดือนนั้นมาก และมีจำนวนวันหยุดที่มากกว่า เป็นต้น ดังนั้นการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้จะช่วยทำให้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะมีความสม่ำเสมอมากขึ้นหรือมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ

ประโยชน์ของการเก็บค่าพลังงานจำเพาะหากมีการเก็บค่าทุกเดือนจะสามารถนำค่าที่ได้มาระบุได้ว่าช่วงไหนมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ดีหรือช่วงไหนมีการใช้ไฟฟ้าที่ไม่ดีและหากอยู่ในกรณีที่ไม่ดีจะต้องสามารถอธิบายสาเหตุของการสิ้นเปลืองพลังงานที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งบริษัทขนาดใหญ่มากมายนิยมใช้วิธีนี้โดยเฉพาะบริษัทของญี่ปุ่นจะมีการกำหนดในแต่ละหน่วยผลิตย่อยหรือแต่ละแผนกมีเครื่องวัดการใช้พลังงานของตัวเองและคำนวณค่าการใช้พลังงานเทียบกับชิ้นงานที่ผลิตได้ โดยค่าที่เก็บจะเริ่มตั้งแต่ของแต่ละแผนกจนถึงในระดับโรงงาน ซึ่งทุกแผนกหรือหน่วยงานจะต้องมีการรายงานค่าการใช้พลังงานจำเพาะของตัวเองสำเสมอในแต่ละเดือนหากเกิดปัญหาขึ้นแต่ละแผนกจะต้องสามารถอธิบายได้ว่าสาเหตุเกิดจากอะไรและควรแก้ไขอย่างไรสิ่งที่ต้องทำไปพร้อมๆ กับการเฝ้าระวังคือ การตั้งเป้าหมายจากข้อมูลในอดีตซึ่งค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานบางเดือนที่ดีและไม่ดี หลังจากนั้นจึงทำการหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ดีมีวิธีการจัดการอย่างไรแล้วนำวิธีการไปปรับปรุงหน่วยงานที่ไม่ดีให้ได้สู่ในทิศทางการใช้พลังงานเดียวกันให้มากที่สุด จากการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะนี้จะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานซึ่งบางโรงงานหากบรรลุเป้าหมายสามารถลดการใช้พลังงาน

ต่อหน่วยลงถึง 3-5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ต้องลงทุนทั้งนี้เนื่องจากการใช้พลังงานเกิดจากองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ประสิทธิภาพเครื่องจักรและการใช้งาน

3. การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์ พิจารณาตามภาพที่ 7 เป็นภาพแสดงการควบแน่นของสารทำงานในระบบทำความเย็นจะเกิดขึ้นตามเส้นทาง 2-3 ถ้าสามารถลดอุณหภูมิและความดันที่คอนเดนเซอร์ลงได้ การควบแน่นจะเกิดขึ้นตามเส้นทาง 5-6 แทน และการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเปลี่ยนจากเส้นทาง 1-2 มาเป็น 1-5 ส่วนอัตราการทำความเย็นของอีวาโปเรเตอร์จะเปลี่ยนจากเส้นทาง 4-1 เป็น 7-1 ผลลัพธ์ที่ได้ คือ จะสามารถลดพลังงานที่ต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ลง และเพิ่มอัตราการทำความเย็นขึ้นได้ ทำให้ค่า COP ของระบบเพิ่มขึ้น

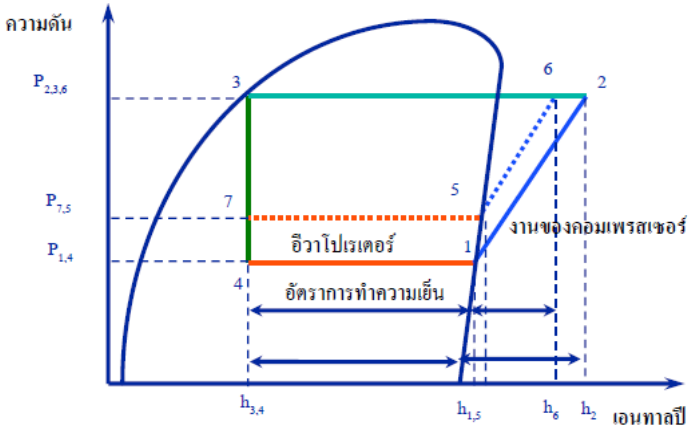



**ภาพที่ 7** แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553)

ข้อแนะนำในการลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์สามารถสรุปได้ดังนี้

- ทำการเดินพัดลมคอนเดนเซอร์และเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นให้มากตัวที่สุด เพื่อทำให้อุณหภูมิควบแน่นต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้สำหรับระบบที่มีคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์หลายชุดนั้นควรจะมีการตรวจตราการใช้พลังงานของเครื่องจักรทั้งสองอย่างสม่ำเสมอเพื่อกำหนดการใช้งานให้เหมาะสมโดยปกติคอนเดนเซอร์ควรจะใช้พลังงานน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้
- หัวฉีด (Spray Nozzle) ของคอนเดนเซอร์ต้องสะอาด
- ลดปริมาณลมเลี่ยง (Bypass) ที่ผ่านคอนเดนเซอร์ให้น้อยที่สุด
- รักษาพื้นผิวของคอนเดนเซอร์ให้สะอาดและตรวจสอบให้แน่ใจว่าน้ำหล่อเย็นที่ใช้ผ่านการปรับสภาพ (Treatment) มาอย่างดีแล้ว
- ไล่อากาศและก๊าซที่ไม่กลั่นตัวออกจากคอนเดนเซอร์ให้หมดโดยหมั่นตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

4. การเพิ่มอุณหภูมิทำงานของเครื่องทำระเหย (Evaporator) พิจารณาตามภาพที่ 8 โดยกระบวนการระเหยของสารทำความเย็นเกิดขึ้นภายในเครื่องทำระเหยตามเส้นทาง 4-1 เมื่อความร้อนถูกดูดจากผลิตภัณฑ์ สารทำความเย็นจะมีค่าเอนทาลปีสูงขึ้นโดยที่ความดันยังคงคงที่ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิและความดันในเครื่องทำระเหยให้สูงขึ้นจากเส้นทาง 4-1 เป็น 7-5 งานของคอมเพรสเซอร์ที่ทำจะเปลี่ยนจากเส้นทาง 1-2 เป็น 5-6 ผลที่ได้คือ งานที่จะต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์จะลดลงและอัตราการทำความเย็นจะสูงขึ้นเล็กน้อยมีผลทำให้ค่า COP ของระบบทำความเย็นสูงขึ้น




**ภาพที่ 8** แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553)

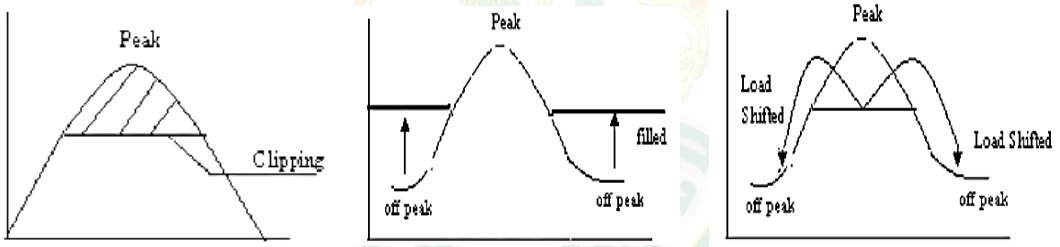
ข้อแนะนำในการเพิ่มอุณหภูมิทำงานของเครื่องทำระเหยสามารถสรุปได้ดังนี้

- ตั้งอุณหภูมิควบคุมที่เทอร์โมสตัทภายในพื้นที่ทำความเย็นให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ จะต้องไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ
- ควบคุมความร้อนภายนอกไม่ให้เข้ามาในห้องเย็นมากเกินไป
- ระวังไม่ให้เกิดสภาพความเป็นไอร้อนยิ่งยวดของสารทำความเย็นที่ทางออกของเครื่องทำระเหย (ทางเข้าของคอมเพรสเซอร์) มากเกินไป
- พื้นที่ผิวของเครื่องทำระเหยต้องมีมากเพียงพอเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนทำได้มากขึ้นซึ่งจะทำให้อุณหภูมิทำงานของเครื่องทำระเหยสูงขึ้นและช่วยลดการสูญเสียความชื้นของตัวผลิตภัณฑ์ด้วย
- ละลายน้ำแข็งที่คอยล์เย็นเป็นระยะเพราะน้ำแข็งที่เกาะที่คอยล์จะทำให้สมรรถนะของระบบลดลงซึ่งจะสังเกตได้จากอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น
- หยุดการละลายน้ำแข็งทันทีที่น้ำแข็งได้ละลายออกจากคอยล์เย็นหมดแล้ว
- ใช้พัดลมและมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในห้องเย็นและห้องแช่แข็ง

- สารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ต้องถูกต้องเหมาะสม ทั้งชนิด คุณภาพ และปริมาณ

- ป้องกันการที่น้ำมันหล่อลื่นจะถูกพาไปตกค้างในเครื่องทำระเหยได้ด้วยการบันทึกปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ถ่ายออกและใส่เข้าไปแทนที่ในระบบ

5. การเพิ่มการใช้พลังงานในช่วง Off Peak ให้มากที่สุด วิธีการนี้เป็นการรักษาระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak ไว้เท่าเดิมแต่เพิ่มการใช้ในช่วง Off Peak (Valley filling technique) หรือเน้นกิจกรรมหลักในช่วง Off Peak ของวันทำการปกติ (Ashok and Banerjee, 2000) ดังแสดงในภาพที่ 9 (ข) หรือการย้ายเวลามาทำงานในช่วง Off Peak และวันเสาร์อาทิตย์ทั้งวัน รวมทั้งวันหยุดราชการให้ได้มากที่สุด (Load shifted technique) ดังแสดงในภาพที่ 9 (ค) เพื่อให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง Off Peak รวมทั้งเดือนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยลดลง (บุญยงค์, 2530) จัดสลับสายการผลิตย่อยของโรงงานอุตสาหกรรมสบู่โดยย้ายสายการผลิตที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดบางสายไปทำงานในกะกลางคืนสามารถช่วยลดค่าไฟฟ้า 320,000 บาท/ปี




(ก) (ข) (ค)

**ภาพที่ 9** เทคนิคการลดค่าไฟฟ้า

(ก) Peak clipping technique (ข) Valley filling technique และ (ค) Load shifting technique

ที่มา: Paracha and Doulai (1998) ; Kulkarni and Katti (2010)

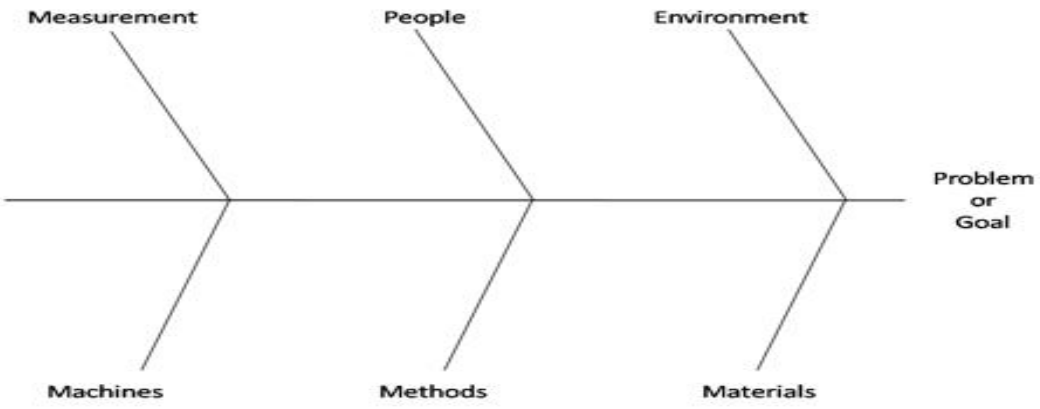
## ผังแสดงเหตุและผล

ผังแสดงเหตุและผล (Cause and effect diagram) มักถูกเรียกย่อๆ ว่า ผังก้างปลา ซึ่งหมายถึง ผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณธทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งคุณสมบัติหรือลักษณะทางกายภาพ คือ ผลที่เกิดขึ้นจากสาเหตุ ซึ่งก็คือปัจจัยต่างๆ ที่เป็นต้นเหตุของ

คุณลักษณะอันนั้นหรืออีกนัยหนึ่งว่า เป็นแผนผังที่ใช้ในการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุต่างๆ ว่ามีอะไรบ้างที่มาเกี่ยวข้องกัน สัมพันธ์ต่อเนื่องกันอย่างไรจึงทำให้ผลปรากฏตามมาในขั้นตอนสุดท้าย

ประโยชน์ของการใช้ผังก้างปลาวิเคราะห์ สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการระดมความคิดจากสมองของทุกคน เพื่อแสดงให้เห็นสาเหตุต่าง ๆ ของปัญหา ของผลที่เกิดขึ้นที่มีมาอย่างต่อเนื่องจนถึงสิ่งสำคัญที่จะนำไปปรับปรุงแก้ไข ซึ่งแผนผังนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ได้มากมายทั้งในหน้าที่ การงาน สังคม แม้กระทั่งชีวิตประจำวัน

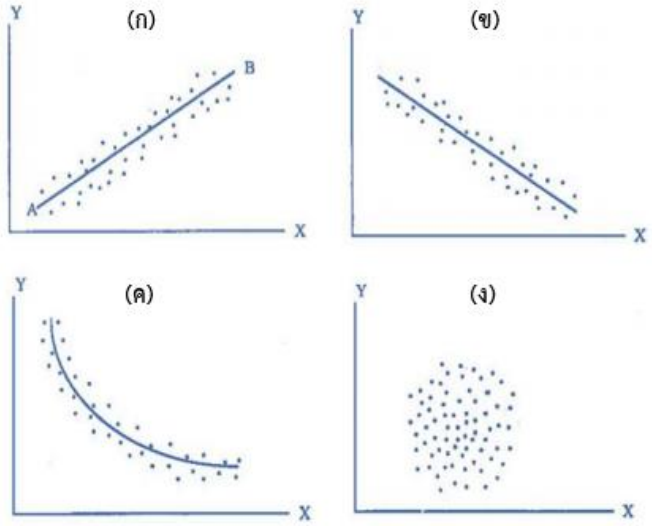
โครงสร้างของผังก้างปลาวิเคราะห์ ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา ซึ่งได้รวมปัจจัยอันเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลาที่เป็นข้อสรุปของสาเหตุที่กลายเป็นตัวปัญหา โดยส่วนใหญ่จะเขียนหัวปลาอยู่ทางขวามือและตัวปลาอยู่ทางซ้ายมือเสมอ ดังภาพที่ 10




**ภาพที่ 10** ตัวอย่างผังก้างปลาวิเคราะห์

**แผนภูมิการกระจาย**

แผนภูมิการกระจายหรือ Scatter Diagram หมายถึง แผนภูมิที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความสอดคล้องกัน (Corresponding Diagram) ซึ่งหมายถึง ข้อมูลที่ได้เก็บจากตัวอย่างเดียวกันแต่ได้ทำการวัดข้อมูลออกเป็น 2 ชนิด (Ishikawa, 1986) ซึ่งการศึกษาความสัมพันธ์บนแผนภาพการกระจาย หากเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล มักจะกำหนดพารามิเตอร์ที่แสดงถึงสาเหตุหรือตัวแปรอิสระ อยู่บนแกนนอนและให้แนวตั้งเป็นตัวแปรตามหรือพารามอเตอร์แสดงผล โดยการตีความหมายรูปแบบสหสัมพันธ์ของข้อมูลตามแผนภาพการกระจายสามารถตีความได้หลากหลายแบบดังแสดงในภาพที่ 11




**ภาพที่ 11** แผนภาพการกระจายในลักษณะต่างๆ
(ก) ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน (ข) ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม (ค) ความสัมพันธ์แบบมิใช่เส้นตรง (ง) ความไม่สัมพันธ์กัน (ก่อนจะทำการสรุปข้อมูลว่าเป็นรูปแบบประเภทนี้ควรมีการจำแนกประเภทข้อมูลเสียก่อน เพราะอาจเป็นไปได้เพราะความสัมพันธ์ข้อมูลมาจากคนละแหล่ง)

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จันจิรา (2558) ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งเพื่อหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของไฟฟ้าและระบบความร้อนในกระบวนการผลิต ทั้งหาแนวทางในการลดการสูญเปล่าโดยผลการศึกษาได้ออกแบบมาตรการ 3 มาตรการ ได้แก่ (1) การลดอุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศ โดยการติดฮู๊ดดูดอากาศและเปิดประตูห้องให้กว้างก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน 3,129.63 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นเงิน 10,077.41 บาท/ปี (2) การปรับปรุงระบบทำน้ำเย็นสำหรับบ่อพรีคูลโดยเปลี่ยนแปลงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากแบบท่อเป็นแบบแผ่นสามารถประหยัดพลังงานได้ 45,396.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นเงิน 186,578.00 บาท/ปี (3) การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำด้วยวิธีการลดปริมาณอากาศส่วนเกินโดยสามารถประหยัดเชื้อเพลิง 8,177 ลิตร/ปี คิดเป็นเงิน 204,436.00 บาท/ปี จากมาตรการทั้ง 3 ใช้การลงทุน 2,348,179.20 บาท ส่งผลทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงานจาก 3.90 เป็น 3.80 บาท/กิโลกรัมผลิตภัณฑ์

พงศธร (2556) ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานของโรงงานผลิตกุ้งแช่แข็งโดยพบว่ามีอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 991 กิโลวัตต์/ตันผลิตภัณฑ์ และพบว่าการใช้พลังงานในโรงงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ พลังงานแสงสว่างร้อยละ 15 พลังงานในการทำความเย็นร้อยละ 75 และพลังงานระบบปรับอากาศสำนักงานและอื่นๆ ร้อยละ 10 จึงได้ทำการปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยการเปลี่ยนแปลงหลอดไฟจาก T8 เป็น T5 และ LED สามารถประหยัดพลังงานได้ 45,291 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี หรือประหยัดค่าไฟฟ้า 169,886 บาท/ปี และมีการปรับปรุงระบบทำความเย็นโดยนำน้ำล้างและละลายน้ำแข็งในห้องแช่แข็งมาระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์จะประหยัดพลังงานไฟฟ้า 79,190 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี หรือประหยัดค่าไฟฟ้า 270,039 บาท/ปี

เบญจพร (2559) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตทั้งหมด เพื่อประเมินศักยภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วนำไปสู่การหาแนวทางในการลดค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิตที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูง การย้ายเวลาการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต พบว่า (1) เมื่อย้ายเวลาการเดินเครื่องจักรที่เกิดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดให้ไปทำงานช่วง Off Peak แทนจะสามารถช่วยให้ค่าไฟฟ้าลดลง 52,222.09 บาท/เดือน คิดเป็นร้อยละ 16.83 หรือ 469,998.81 บาท/ปี (ผลิต 9 เดือนต่อปี) (2) การปรับเปลี่ยนเวลาการเดินเครื่องจักร เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานพร้อมๆ กันและการควบคุมการผลิตให้มีความสม่ำเสมอ พบว่าในกรณีศึกษาสามารถย้ายความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วง On Peak ให้เกิดในช่วง Off Peak แทนและปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงส่งผลให้ค่าไฟฟ้าของกระบวนการผลิตในเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2558 ลดลง 320,323.03 และ 252,216.90 บาท ตามลำดับ

เบญจวรรณ (2554) ศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติในการตรวจติดตามการใช้พลังงานแสดงให้เห็นถึงผลประหยัดที่เกิดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยใช้ แผนภูมิการกระจาย และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทั้ง 34 โรงงานมีโรงงานที่มีผลประหยัดหรือความชั้นเป็นลบทั้งสิ้น 21 โรงงาน และอีก 13 โรงงาน มีความชันเป็นบวกหรือไม่มีผลประหยัด โดยโรงงานที่ความชั้นเป็นลบเกิดผลประหยัดร้อยละผลประหยัดเฉลี่ย 7.52 เมื่อพิจารณาโรงงานที่มีผลประหยัดตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป พบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความถี่ในการจัดทำมากที่สุด คือ กำหนดเวลาเปิด - ปิดที่เหมาะสม การใช้สวิตซ์ควบคุมการเปิดปิด และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

เป็นธิดา (2554) ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยหาค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของโรงงานควบคุมตัวอย่างใน 4 กลุ่มอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากแร่อโลหะ อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ ด้วยการหาสมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิต และประยุกต์ใช้การวิเคราะห์กราฟผลรวมสะสมของความแตกต่าง เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงาน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานของโรงงานต่อไป ผลที่ได้พบว่าโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐานมีความเสถียร แสดงถึงการจัดการพลังงานที่ดี ขณะที่กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์แร่อโรหะ และกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ ยังมีโรงงานที่ต้องเร่งพัฒนาการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ

บุญยงค์ (2530) ศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมสบู่ เนื่องจากมีการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 434 กิโลวัตต์ มีค่าประกอบภาระ 0.79 และตัวประกอบกำลัง 0.75 พบว่าสามารถจัดสลับสายการผลิตย่อย โดยย้ายสายการผลิตที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดบางสายไปทำงานในกะกลางคืน และติดตั้งคาแพคซิเตอร์ในสายการผลิตย่อยบางสายและถ้าหากดับไฟฟ้าแสงสว่างในโกดังเก็บสิ่งของยังสามารถใช้แสงแดดแทนได้ มาตรการทั้งสามสามารถเพิ่มค่าตัวประกอบภาระเป็น 0.86 ลดค่าความต้องการไฟฟ้าได้ 12,800 บาทต่อเดือน ลดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 13,750 บาทต่อเดือน รวมเป็นเงินที่ลดได้ 320,000 บาทต่อปี ซึ่งการจัดการพลังงานไฟฟ้าในงานวิจัยนี้นอกจากจะช่วยลดค่าไฟฟ้า ทำให้ประสิทธิภาพของระบบโรงงานดีขึ้นแล้วยังจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าโดยรวมของประเทศ

สุรพล (2555) ศึกษาการจัดการพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานรีดอลูมิเนียม มีการนำเสนอเทคนิคการจัดการพลังงานได้แก่ เทคนิควิธีการปรับรอบของมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังที่หม้อแปลงชุบอลูมิเนียมและวงจรหลอดฟลูออเรสต์เซนต์ โดยวิธีการติดตั้งตัวเก็บประจุและการติดตั้งเอสซีอาร์กำลัง เพื่อควบคุมการทำงานขดลวดความร้อนสำหรับเตาอบแม่พิมพ์และคอนเทนเนอร์ของเครื่องรีดอลูมิเนียม การเปลี่ยนหลอดแสงจันทร์ขนาด

400 วัตต์ เป็นหลอดกะทัดรัดแบบเกลียวขนาด 105 วัตต์ และการควบคุมการทำงานเครื่องจักรและอุปกรณ์ในช่วงเวลาที่มีการใช้โหลดมากไม่ให้ทำงานพร้อมๆ กัน สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 60 สามารถลดกระแสที่หม้อแปลงได้ร้อยละ 13.67 และวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ร้อยละ 55.37 สามารถทำให้อุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์และคอนเทนเนอร์มีค่าใกล้เคียงกับที่ตั้งไว้สามารถลดพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 8.7 และสามารถลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลงได้ร้อยละ 80

Ashok and Banerjee (2000) ศึกษาการประยุกต์ใช้การจัดการโหลดในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ การลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด การลดการสูญเสียพลังงาน การใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ และการลดค่าไฟฟ้าในส่วนของการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด โดยการเปลี่ยนแปลงหรือการขยับโหลดถือเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดของการจัดการโหลดสามารถลดค่าความต้องการในช่วงเวลาความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak) โดยทำการขยับการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่างๆ ไปทำงานในช่วงเวลาความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงบางส่วน (Partial peak) และในช่วง Off Peak แทน จึงทำให้จะเสียค่าไฟฟ้าลดลง

Kulkarni and Katti (2010) ศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก อีกทั้งมีการแนะนำเทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ การลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด การเพิ่มโหลดหรือการทำงานในช่วง Off Peak การย้ายเวลาการทำงานมาในช่วง Off Peak การปรับปรุงตัวประกอบกำลังการหลีกเลี่ยงความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดตามช่วงเวลาของวัน (TOD) และปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องมือและอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งการดำเนินงานตามเทคนิคดังกล่าว พบว่า 5 เดือนก่อนการดำเนินงานมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 50,387 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ค่าตัวประกอบโหลด 0.98 และหลังดำเนินงาน 5 เดือน มีการใช้พลังงานเฉลี่ยลดลงเหลือ 42,671 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และค่าตัวประกอบโหลดเพิ่มเป็น 0.99 จึงสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 14.7

Paracha and Doulai (1998) ศึกษาผลของเทคนิคการจัดการโหลดและวิธีการจัดการในระบบไฟฟ้า โดยเสนอเทคนิคการจัดการโหลดที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่ เทคนิคการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak clipping) เทคนิคการเพิ่มเวลาการทำงานในช่วง Off Peak (Valley filling) และเทคนิคการย้ายเวลาการทำงานที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดไปทำงานในช่วง Off Peak โดยเทคนิคเหล่านี้ สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลงได้

## สรุปกรอบแนวคิดงานวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยได้เทคนิคการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์พลังงานและแนวทางในการจัดการพลังงาในรูปแบบต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด โดยเริ่มจากการสำรวจข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า จากนั้นนำมาประเมินศักยภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อทำให้ทราบพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน จากนั้นจึงทำการสำรวจข้อมูลอย่างละเอียดและทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อดูศักยภาพที่จะสามารถลดความต้องการพลังไฟฟ้าและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ตลอดจนแนวทางในการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าในสายการผลิตดังกล่าว เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ถือเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนการผลิตของโรงงาน ในแต่ละปีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้โรงงานต้องเสียค่าไฟฟ้าแต่ละเดือนสูงตาม จึงมีการศึกษางานวิจัยอื่นๆ เพื่อนำมาเป็นแนวทางการลดค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิต โดยแนวทางที่เหมาะแก่การนำไปปฏิบัติใช้ในหน้างานจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อีกทั้งเป็นตัวเปรียบเทียบการลดค่าใช้จ่ายด้านเศรษฐศาสตร์ได้อีกด้วย

# บทที่ 3
# อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบทำความเย็นเทียบกับปริมาณวัตถุดิบในแต่ละช่วงฤดูกาลผลิตเพื่อหาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็งของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด แล้วหาแนวทางในการจัดการพลังงานที่เหมาะสมเพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านค่าไฟฟ้าที่ใช้ให้แก่โรงงานโดยมีวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ข้อมูลที่ต้องศึกษาเบื้องต้น วิธีการดำเนินงานวิจัย และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็งของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด จำเป็นจะต้องทราบถึงรูปแบบและปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงปริมาณวัตถุดิบที่เข้ามาในแต่ละช่วงซึ่งรายละเอียดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่างๆ จะถูกวัดโดยเครื่องมือวันพลังงานไฟฟ้า (Power meter) ที่ได้ติดตั้งไว้โดยค่าที่ได้จะถูกแสดงเป็นรูปแบบระบบเวลาจริง (Real time system) บนระบบคอมพิวเตอร์ที่จะเป็นตัวรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด และแสดงค่าออกมาเป็นกราฟปริมาณการใช้พลังงานส่วนปริมาณวัตถุสามารถสอบถามได้จากหัวหน้าแผนกซึ่งจะมีการจดบันทึกการรับวัตถุดิบในแต่ละวันรวมถึงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้จะประกอบไปด้วย

1. เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า
2. ข้อมูลการผลิตในแต่ละวัน
3. สมุดบันทึกข้อมูล
4. กล้องถ่ายรูป
5. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

## ข้อมูลที่ต้องศึกษาเบื้องต้น

1. ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็งในแต่ละกระบวนการ โดยได้ทำการสำรวจและสอบถามจากหัวหน้าแผนก
2. ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการผลิตและระบบทำความเย็นย้อนหลังของบริษัท ซึ่งสามารถตรวจสอบข้อมูลได้ผ่านระบบสารสนเทศของบริษัท
3. ข้อมูลปริมาณการผลิตในแต่ละช่วงที่ผ่านมาของบริษัทซึ่งสามารถขอได้จากหัวหน้าแผนกการผลิต

## วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตทั้งหมดของบริษัท โดยมุ่งเน้นกระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็นซึ่งศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนในการเริ่มรับวัตถุดิบกระบวนการผลิต ตลอดจนการบรรจุผลิตภัณฑ์จากนั้นจึงศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตเพื่อนำไปประเมินศักยภาพการใช้พลังงานของโรงงานและวางแผนการเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลเพื่อใช้ในการออกแบบมาตรการในการจัดการพลังงานและสรุปผลการดำเนินงานวิจัย โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษากระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง

การศึกษากระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง เริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตต่างๆ ตั้งแต่ขั้นตอนการรับวัตถุดิบตลอดจนถึงขั้นตอนการบรรจุภัณฑ์แล้วนำเข้าเก็บเข้าคลังสินค้าเพื่อรอจำหน่ายโดยจะทำการเข้าสำรวจและสอบถามข้อมูลเบื้องต้นจากหัวหน้างานหรือพนักงานในสายการผลิตนั้นๆ เช่น รูปแบบการทำงานและรายละเอียดต่างๆ ของเครื่องจักร ระยะเวลาและช่วงเวลาการทำงานในแต่ละสายการผลิต ปริมาณการรับวัตถุดิบรวมถึงปริมาณผลผลิตที่ได้ในแต่ละวัน เป็นต้น เพื่อให้สามารถเข้าใจกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็งในแต่ละสายการผลิต

2. การศึกษาการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง

หลังจากได้รวบรวมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการผลิต จึงทำการศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของเครื่องจักรต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อทำให้ทราบถึงสภาพการใช้พลังงานของแต่ละระบบรวมถึงพลังงานที่ใช้และแหล่งที่มาของพลังงาน ซึ่งจะทำให้รู้ถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานของแต่ละช่วงเวลาในแต่ละวันได้อย่างชัดเจน เพื่อทำให้เกิดการจัดการทางด้านไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากที่สุด พร้อมทั้งศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านระบบสารสนเทศของโรงงานเพื่อให้

เข้าใจถึงหลักการทำงานและสามารถตรวจสอบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังเพื่อมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

3. การวิเคราะห์ข้อมูลผลผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

จากการตรวจสอบและการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการรับวัตถุดิบในแต่ละช่วงฤดูกาลทั้งหมดรวมถึงข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทำความเย็นของโรงงาน จากข้อมูลที่ได้เหล่านี้จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานโดยเทียบกับปริมาณวัตถุดิบที่เข้าในแต่ละช่วงฤดูกาลเพื่อทำให้เห็นถึงปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละสายการผลิตต่อหน่วยการผลิตแล้วนำมาใช้ในการออกแบบมาตรการที่เหมาะสมในการจัดการพลังงานให้เข้ากับในแต่ละช่วงการผลิตเพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

จากการรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ตัวแปร เพื่อให้ได้สมการตัวแทนที่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต และสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.2 การวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงนั้นไม่ถือเป็นวิธีการที่ถูกต้องที่จะสามารถชี้วัดว่าในแต่ละวันมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีขึ้นหรือไม่ดีมากน้อยเพียงใด เช่น โรงงานมีการผลิตมากขึ้นย่อมมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น หรือในทางกลับกันโรงงานผลิตน้อยลงย่อมส่งผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง ซึ่งไม่ได้หมายความว่าโรงงานแห่งนั้นมีประสิทธิภาพเป็นเช่นไร ดังนั้นการหาค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานในแต่ละวัน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบแนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม

4. การหามาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน

หลังจากได้ทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและประสิทธิภาพการใช้พลังงานระบบทำเย็น จากนั้นทำการนำข้อมูลที่ได้มาทำการออกแบบมาตรการจัดการพลังงานที่เหมาะสมในแต่ละช่วงการผลิตโดยเริ่มจากการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของการสูญเสียพลังงานโดยการวิเคราะห์แบบก้างปลา (Fish born) ซึ่งจะช่วยให้สามารถออกแบบมาตรการหรือวิธีการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมและนำไปใช้ได้จริงมากที่สุดจากนั้นจึงนำเทคนิคที่ได้ออกแบบมาทดลองใช้ในหน้างานจริงเพื่อตรวจสอบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้จริงหรือไม่

5. การวิเคราะห์การลดลงของพลังงานไฟฟ้า

หลังจากเลือกแนวทางการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมที่จะนำไปปฏิบัติในโรงงานได้แล้ว จากนั้นทำการจำลองปริมาณการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าเหมาะสมตามแนวทางการจัดการพลังงานที่ได้วางไว้ โดยใช้สมการทำนายที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้เป็นตัวแทนในการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน เพื่อใช้ในการคำนวณผลประหยัดด้านพลังงานที่จะเกิดขึ้น ซึ่งหากแนวทางการจัดการที่ออกแบบไว้ไม่ได้ตามวัตถุประสงค์จะต้องหาข้อผิดพลาดแล้วทำการออกแบบมาตรการมาใช้อีกครั้ง

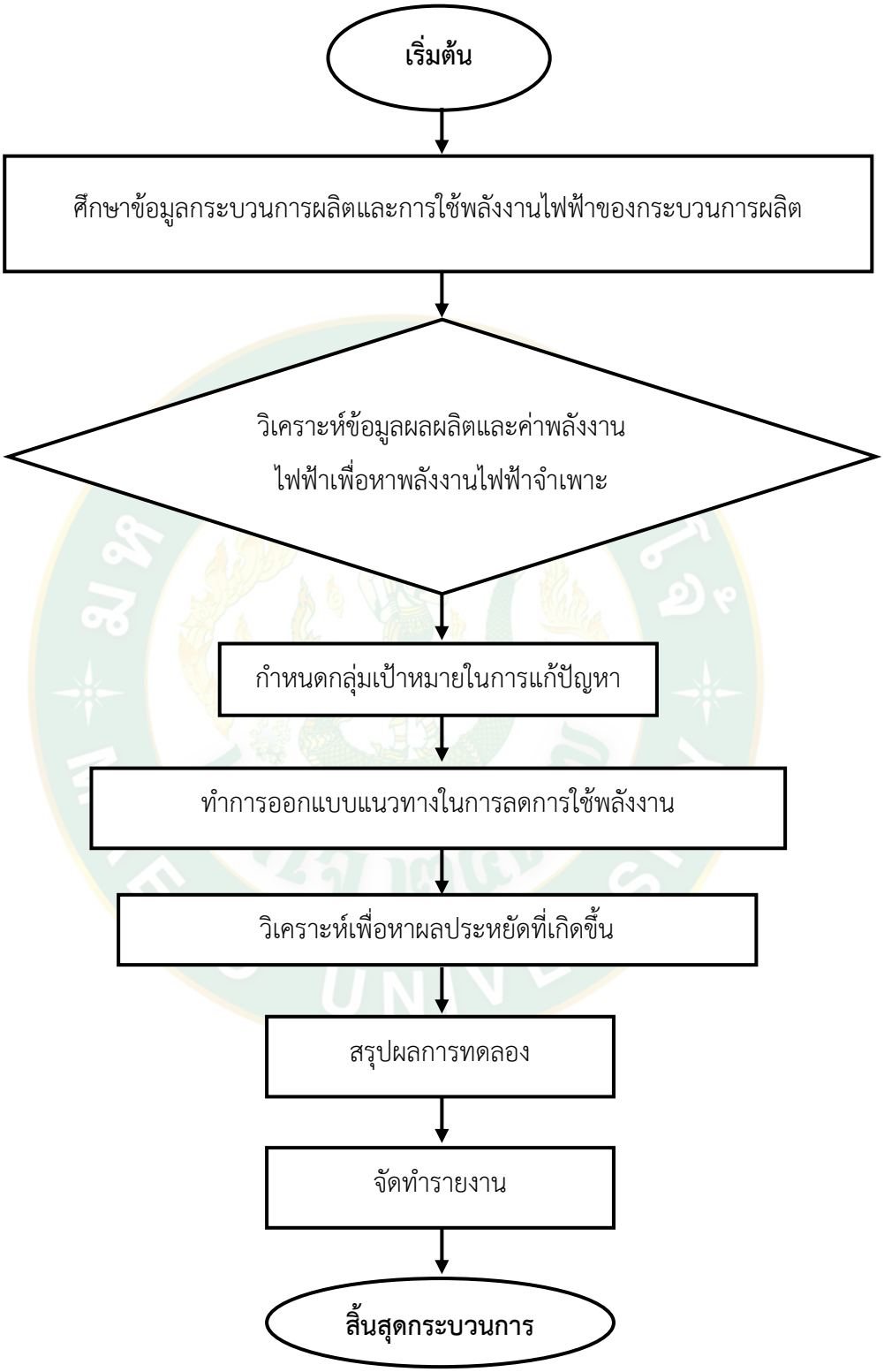
6. สรุปผลการวิเคราะห์และจัดทำรายงานการประหยัดพลังงาน

ทำการรวบรวมข้อมูลผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นหลังจากได้นำวิธีการประหยัดพลังงานที่สามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติหน้างานจริงของโรงงานได้ แล้วมาทำการสรุปผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นโดยเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานก่อนที่จะนำวิธีการลดพลังงานไปใช้ พร้อมเสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงานที่เหมาะสมแสดงหน่วยการผลิตที่มีการใช้พลังงานสูงและสาเหตุของการเกิดการสูญเสียพลังงานเพื่อให้เป็นแนวทางในการจัดการพลังงานของโรงงานต่อไป

## สถานที่ดำเนินงานวิจัย

สถานที่ใช้ในการวางแผนการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การใช้พลังงานของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด 106/5 หมู่ 8 ตำบลสารภี อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูล และการจัดทำรายงานการวิจัยดำเนินงานที่อาคารเรียนรวมสาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

**แผนการดำเนินงาน**




**ภาพที่ 12** แผนภาพการดำเนินงาน

# บทที่ 4
# ผลการวิจัยและวิจารณ์

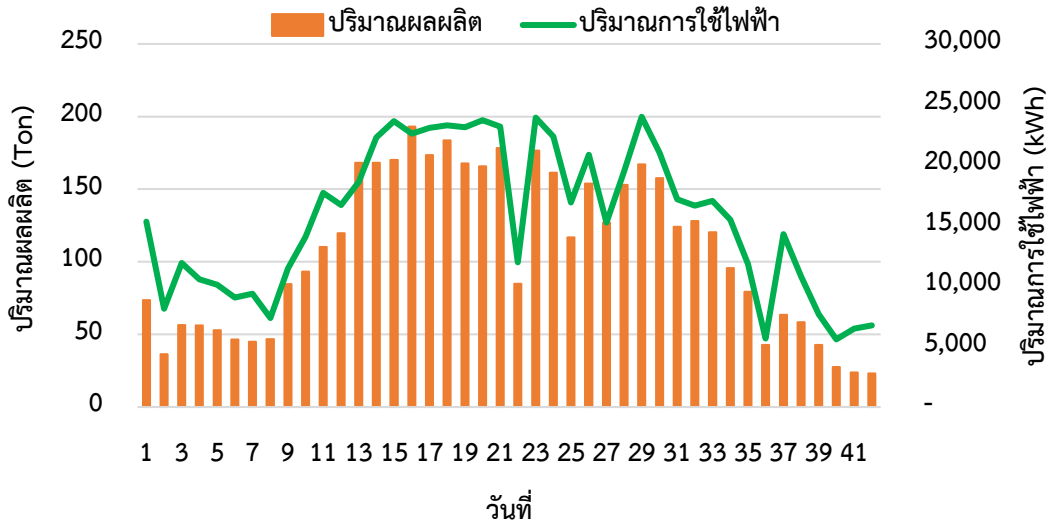
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด โดยศึกษาลักษณะการทำงานของระบบการทำความเย็น พฤติกรรมการผลิตของแต่ละวัน และตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตและปริมาณผลผลิตที่ได้ในแต่ละวัน จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเป็นดัชนีชี้วัดในแต่ละวันในส่วนของระบบการทำความเย็นที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง แล้วหาแนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการตลาดในภาคอุตสาหกรรมอาหารให้เพิ่มสูงขึ้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## ผลการดำเนินงานวิจัยกรณีศึกษาเบื้องต้น

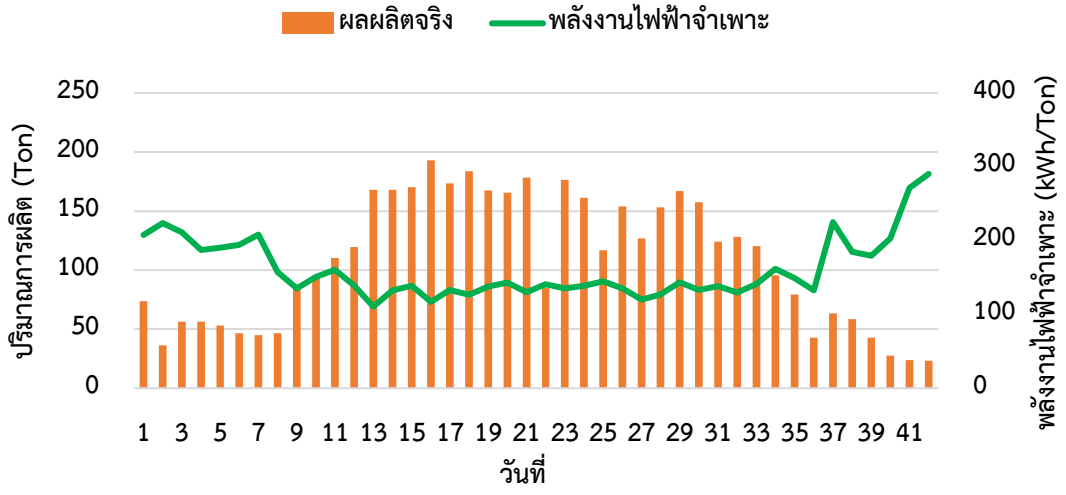
1. ผลการศึกษาพฤติกรรมการผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวันของสายการผลิตถั่วแระแช่แข็ง

ในการศึกษาเบื้องต้นเพื่อใช้หาแนวทางในการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่วันที่ ตั้งแต่วันที่ 3 ตุลาคม – 17 พฤศจิกายน 2560 ซึ่งอยู่ในช่วง Autumn Crop เป็นระยะเวลา 42 วัน โดยมีปริมาณผลผลิตที่ได้ทั้งหมดอยู่ที่ 4517.5 ตัน เพื่อนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิต ซึ่งลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตที่ได้ในแต่ละวันโดยมีรายละเอียดการเก็บข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 13 พบว่ามีลักษณะในการผลิตคล้ายรูปพาราโบร่าคว่ำบ่งชี้ให้เห็นว่าในฤดูกาลดังกล่าวนี้มีปริมาณการผลิตมากเพียงช่วงกลางฤดูกาลผลิต (ช่วง 13–32) แตกต่างกันเมื่อเทียบกับวงต้นและช่วงท้ายของฤดูกาลผลิตดังกล่าวที่มีปริมาณการผลิตน้อยกว่า (1–12 และ 33-42) ซึ่งการผลิตในรูปแบบนี้ย่อมมีต่อค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีความแตกต่างกันตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าและต้นทุนด้านพลังงาน

ของโรงงาน โดยการคำนวณหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ($SEC_E$) จากสมการที่ (2) ที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 สามารถนำมาสร้างกราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ดังแสดงในภาพที่ 14




**ภาพที่ 13** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิต ปี 2560



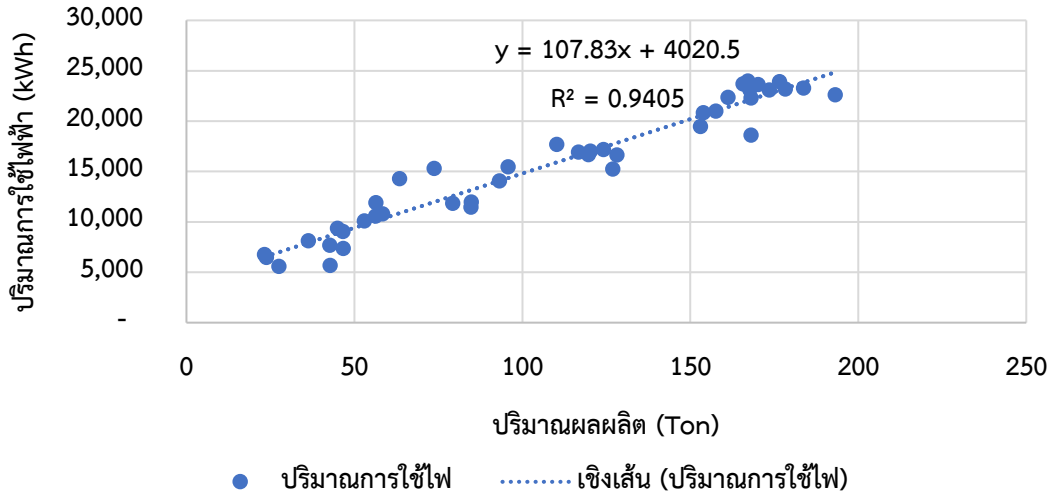

**ภาพที่ 14** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

จากภาพที่ 14 พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะในช่วงวันที่ 13-32 มีค่าที่ต่ำกว่าช่วงอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 134.1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน ส่วนช่วงอื่นๆ ที่นอกเหนือจากช่วงดังกล่าวจะมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 181.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะนี้ถูกใช้เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการ

ใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตโดยยิ่งมีค่าน้อยยิ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าโรงงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นปริมาณการผลิตจะมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง จึงสามารถสรุปได้ว่าการปริมาณการผลิตในช่วงอื่น ๆ จะเป็นตัวการสำคัญที่ช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าให้แก่กระบวนการผลิตได้

2. ผลการวิเคราะห์และการตีความข้อมูลผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำความเย็นของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง ผู้วิจัยได้ทำการนำข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมมาทำการสร้างแผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองและหาสมการตัวแทนที่สามารถนำมาใช้ในการทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณการผลิตที่ได้ในแต่วันเพื่อมาใช้ในการออกแบบมาตรการการจัดการที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พีรพงษ์ (2552) ซึ่งได้ทำการจำลองการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้สมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ซึ่งจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นที่ได้จากข้อมูลผลผลิตถั่วแระและการใช้พลังงานไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 15




**ภาพที่ 15** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการผลิตตลอดช่วง 42 วัน

จากข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาบ่งชี้ให้เห็นว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูง โดยที่ค่า $R^2$ (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หรือ R Square) มีค่าเท่ากับ 0.9405 ซึ่งมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับ 0.7 แสดงว่าสมการถดถอยนั้นมีความน่าเชื่อถือมาก เนื่องจากปริมาณความแปรปรวนของปริมาณการใช้

พลังงานเกิดจากปริมาณการผลิตไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของการใช้พลังงานไฟฟฟ้าทั้งหมด จึงสามารถนำมาใช้เป็นสมการตัวแทนสำหรับการพยากรณ์การใช้พลังงานได้ เพราะจุดข้อมูลการกระจายตัวอยู่รวบเส้นตรง หรือสามารถลากเส้นตรงผ่านจุดส่วนใหญ่ได้ แต่ถ้ากรณีที่ค่า $R^2$ ต่ำกว่า 0.7 แสดงว่าสมการถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือน้อยไม่สามารถใช้เป็นสมการตัวแทนได้ เพราะอาจมีปัจจัยอื่นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามไม่ต่ำกว่า 30 % ขึ้นไป ซึ่งจะบ่งชี้ให้เห็นว่ากระบวนการผลิตมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีความเสถียรต่ำ เนื่องจากชุดข้อมูลกระจายตัวห่างจากเส้นตรง หรือเกิดพฤติกรรมที่ไม่ดี ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าอย่างมาก จึงทำให้ข้อมูลแตกตัวเป็นกลุ่ม ๆ เพราะเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ ส่งผลให้ค่า $R^2$ ต่ำมาก ๆ ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เป็นธิดา (2554) ที่ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระเป็นเส้นตรงถึง 0.84 ซึ่งมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์กำหนดที่มีค่าเท่ากับ 0.7 จึงสามารถใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายสำหรับประเมินการใช้พลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้กรณีที่ค่า $R^2$ ต่ำมาก ๆ ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ ก็จะทำให้ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ต่อไปได้จากสมการเส้นตรงในรูปแบบทั่วไปสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3) ดังนั้นจากสมการที่ปรากฏดังแสดงในภาพที่ 16 จึงสามารถระบุได้ว่าเป็นสมการเส้นตรงและสามารถนำมาใช้เป็นสมการตัวแทนในการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งได้ดังสมการที่ (4)

$$Y = mX+C \quad (3)$$

$$Y = 107.83X + 4{,}020.5;\ R^2 = 0.9808 \quad (4)$$

เมื่อ Y คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ซึ่งแปรเปลี่ยนตามวัตถุดิบ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

X คือ ปริมาณการผลิตในแต่ละวัน (ตัน/day)

m คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน)

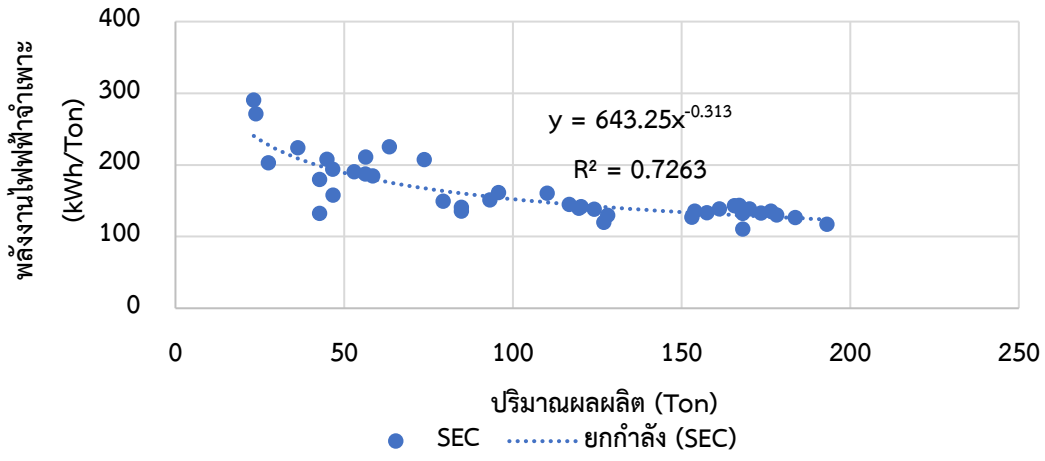
สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร (m) เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วย (Productive dependent energy consumption, PEC) หรือพลังงานแปรผัน มีค่าเท่ากับ 107.83 ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วยในช่วงผลผลิต 23.21–193.13 ตัน เท่ากับ 107. 38 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ส่วนค่าคงที่ หรือค่า C เป็นค่าพลังงานคงที่ ซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับปริมาณผลผลิตในช่วงการผลิต 23.21 – 193.13 ตัน (Unproductive energy consumption; UEC) ซึ่ง

หมายถึงพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ เช่น มอเตอร์พัดลม มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ และสายพานลำเลียง เป็นต้น รวมถึงพลังงานสูญเปล่าโดยไม่มีความจำเป็น เช่น การรั่วไหลของอากาศ และการเดินเครื่องจักรตัวเปล่า เป็นต้น โดยสมการนี้มีค่าคงที่เท่ากับ 4,020.5 แสดงว่าค่าพลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีค่าเท่ากับ 4,020.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาในภาพที่ 13 สามารถหาค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้ง 42 วัน มีค่าเท่ากับ 15,619 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังนั้นจากสมการที่ (4) จะสามารถหาค่าสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิต หรือค่า UEC (%C) เท่ากับ 25.74 % [(4,020.5/15,619) ×100] ของพลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย อธิบายได้ว่าพลังงานที่ขึ้นกับปริมาณการผลิตมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดร้อยละ 74.26 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด จึงสามารถสรุปได้ว่าปริมาณผลผลิตมีผลอย่างมากต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการทำความเย็นของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง

จากการเขียนกราฟเชิงอนุกรมเวลาระหว่างปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะดังที่ได้กล่าวมาในภาพที่ 14 ได้แสดงให้เห็นถึงค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันเพียงเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการสร้างแผนภาพการกระจายของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและปริมาณผลผลิตขึ้น เพื่อให้สามารถอธิบายการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ อันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ดังแสดงในภาพที่ 16




**ภาพที่ 16** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิต ดัชนีการใช้พลังงาน และสมการความสัมพันธ์

จากแผนภาพการกระจายพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและปริมาณผลผลิตดังภาพที่ 16 จะเห็นได้ว่าปริมาณผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีค่าลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการนำสมการทั่วไป (6) หารด้วยเทอมของ X ทุกเทอม จะได้ Y/X ซึ่งหมายถึง ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ต่อ 1 หน่วยผลผลิต หรือค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในสมการที่ (5) ทั้งนี้เส้นการถดถอยที่ใช้เป็นตัวแทนข้อมูลจะได้จากการถดถอยแบบยกกำลัง (Power regression) เพราะกราฟความสัมพันธ์ส่วนใหญ่จะไม่กระจายตัวเป็นเส้น ถ้าใช้สมการเชิงเส้นตรงจะทำให้ตัวแทนมีความคลาดเคลื่อนมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เป็นธิดา (2554) ซึ่งได้ทำการแสดงการเพิ่ม – ลดของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะกับปริมาณผลผลิต โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบยกกำลัง

$$SEC = m + C/X \quad (5)$$

เมื่อ m คือ พลังงานแปรผัน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน)

C คือ พลังงานคงที่ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

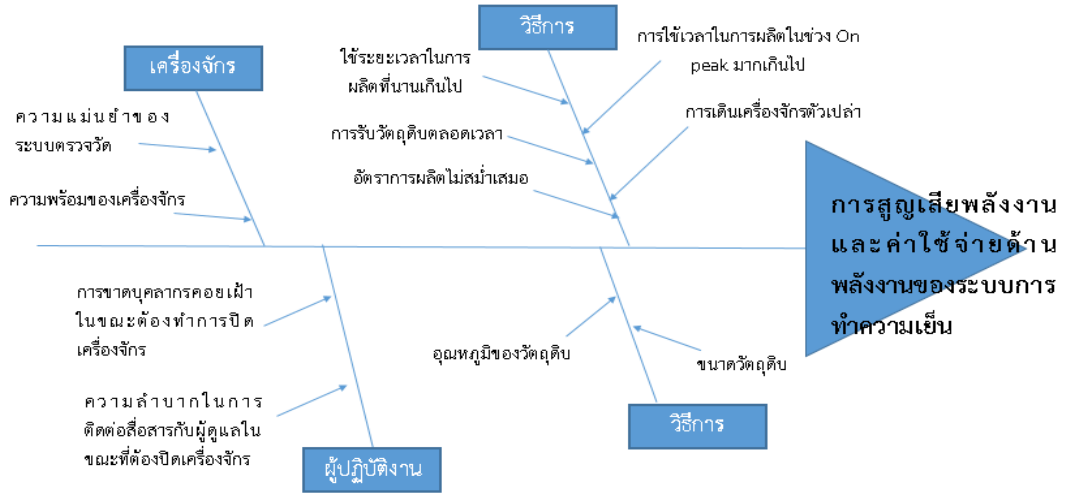
จากสมการจะสามารถอธิบายได้ว่า ค่าพลังงานคงที่หรือค่า C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะโดยพิจารณาจากสมการที่ (5) จะเห็นได้ว่าปริมาณผลผลิตมีผลต่อค่าพลังงานคงที่อย่างมาก จึงสามารถอธิบายได้ว่าหากมีการผลิตที่น้อยจะทำให้ค่าอัตราส่วนของค่าพลังงานคงที่กับปริมาณผลผลิตมีค่าสูงเป็นผลทำให้ค่าพลังงานจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากมีการผลิตที่เพิ่มมากขึ้นจะเป็นผลทำให้ค่าอัตราส่วนของค่าพลังงานคงที่กับปริมาณผลผลิตมีค่าลดลงทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีค่าลดลงตามไปด้วย

ดังนั้นจากข้อมูลทั้งหมดที่ได้กล่าวมาพบว่าปริมาณผลผลิตถั่วแระแช่แข็งมีความเหมาะสมต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นเพียงช่วงกลางฤดูกาลผลิต (ช่วงวันที่ 13-32) เท่านั้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากภาพที่ 14 ที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่าค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะค่อนข้างมีความสม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากช่วงอื่นอย่างชัดเจน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากขึ้นให้ไม่น้อยกว่า 100 ตัน/วัน จะส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น โดยสามารถสังเกตได้จากภาพที่ 16 จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณการผลิตตั้งแต่ 100 ตัน เป็นต้นไป มีการเปลี่ยนแปลงความชันของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะค่อยๆ ลดน้อยลง ดังนั้นการจัดการปริมาณผลผลิตต่อวันจะทำให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นในกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจนมากที่สุด และในส่วนวันที่มีปริมาณการผลิตมากกว่า 100 ตัน/วัน การเพิ่มปริมาณผลผลิตที่ได้ถือได้ว่าเป็นการ

ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตได้เช่นกัน แต่เนื่องจากปริมาณผลผลิตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดผลประหยัดได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ดังนั้นการหาแนวทางในการลดความสูญเสีย ปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร หรือการบริหารจัดการเพื่อลดค่าพลังงานไฟฟ้าคงที่ในกระบวนการผลิตจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3. ผลการออกแบบแนวทางการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการทำความเย็น

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบการทำความเย็นในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ตามหลักการทางสถิติเบื้องต้น พบว่าปริมาณผลผลิตในแต่ละวันมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นซึ่งสูงถึงร้อยละ 74.26 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นการจัดการปริมาณการผลิตในแต่ละวันจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่จะสามารถทำให้เกิดผลประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้าได้อย่างชัดเจนมากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการผังก้างปลาวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 17



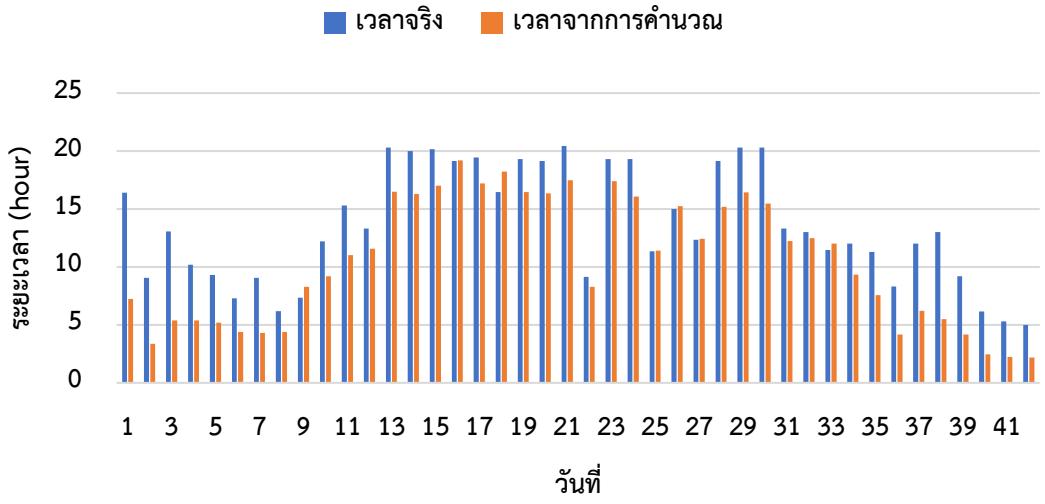

**ภาพที่ 17** ผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของการสูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็น

จากการทำผังก้างปลาวิเคราะห์ พบว่ามีตัวแปรจำนวนมากที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง จากข้อมูลที่ได้จึงสามารถสรุป

เป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็น ได้แก่ จำนวนชั่วโมงการทำงานและปริมาณการผลิต โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. จำนวนชั่วโมงการทำงาน (Operation time) จากการศึกษาพบว่าเวลาในการเริ่มการผลิตส่วนใหญ่จะเริ่มตั้งแต่เวลา 21.30 น. เป็นต้นไปโดยช่วงสิ้นสุดการผลิตในแต่ละวันจะแตกต่างออกกันไปตามปริมาณวัตถุดิบที่รับเข้ามา จากนั้นเมื่อทำการคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตตามความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตถั่วแระแช่แข็งซึ่งสามารถผลิตได้สูงถึง 10 ตันต่อชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 18 พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละวันส่วนมากจะใช้เวลามากกว่าค่าระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตที่ได้จากการคำนวณตามพิกัดของเครื่องจักร ซึ่งเกิดจากการผลิตที่ไม่สม่ำเสมอ อันเนื่องจากการรับวัตถุดิบตลอดเวลาและมีอัตราที่ไม่คงที่ทำให้มีอัตราการผลิตที่ไม่สม่ำเสมอเป็นผลให้เวลาที่ใช้ในการผลิตเพิ่มมากขึ้น

2. ปริมาณผลผลิต (Productivity) จากการศึกษาพฤติกรรมการผลิต พบว่าร้อยละ 45 ของจำนวนวันการผลิตทั้งหมดมีผลผลิตที่ได้ในแต่ละวันน้อยกว่า 100 ตัน ทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีค่าที่สูงมาก ซึ่งเกิดจากการที่ฝ่ายส่งเสริมการผลิตไม่สามารถส่งวัตถุดิบเข้ามาทำการผลิตได้เท่าที่ควร จึงทำให้ค่าอัตราส่วนค่าของค่าพลังงานคงที่กับปริมาณผลผลิตมีค่าที่สูงส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



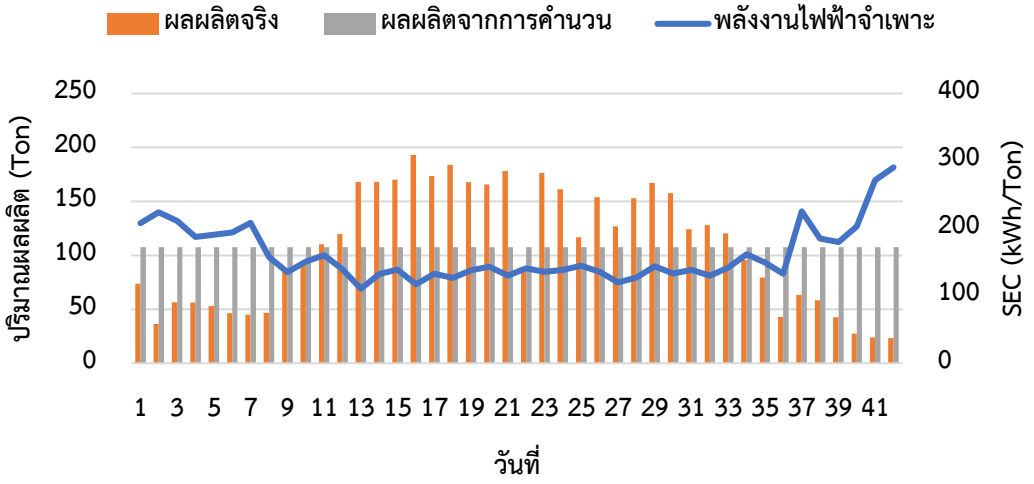

**ภาพที่ 18** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของการเปรียบเทียบระยะเวลาการผลิตระหว่างเวลาที่ใช้ในการผลิตจริงกับระยะเวลาที่ได้จากการคำนวณ

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการหาแนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบการทำความเย็นของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งโดยการมุ่งเน้นการจัดการปริมาณการผลิตและอัตราการผลิตเพื่อให้เกิดผลประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้าที่ชัดเจนมากที่สุด ซึ่งแนวทางดังกล่าวจะต้องเหมาะสมกับโครงสร้างอัตราการคิดค่าไฟฟ้าและสามารถนำไปใช้ในหน้างานจริงได้ ทั้งนี้บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด จัดเป็นกิจการขนาดใหญ่ ประเภท 4.2.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์ อัตราการใช้ไฟฟ้าแบบ TOU ซึ่งมีรายละเอียดของอัตราค่าไฟฟ้าแสดงในบทที่ 2 โดยแนวทางการจัดการด้านพลังงานไฟฟ้ามีรายละเอียดดังนี้

3.1 ผลการกระจายกำลังการผลิต

จากการศึกษาข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการทำความเย็นของบริษัทฯ ดังที่กล่าวมาในภาพที่ 13 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดช่วงฤดูกาลมีลักษณะคล้ายกับรูปพาราโบร่าคว่ำ แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณการผลิตมากเพียงช่วงกลางฤดูกาลผลิตเพียงเท่านั้น (ช่วงวันที่ 13-32) ซึ่งทำให้ช่วงดังกล่าวมีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ต่ำกว่าในช่วงอื่นๆ แต่ด้วยการที่ในแต่ละวันต้องมีปริมาณการผลิตที่มากทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการผลิตที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณผลผลิตและส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak ที่เพิ่มมากขึ้นตาม อันเนื่องจากในแต่ละวันโดยปกติจะเริ่มการผลิตในช่วงเวลาประมาณ 21:30-22:30 น. และดำเนินการต่อไปจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการซึ่งช่วงเวลาสิ้นสุดจะแตกต่างกันไปตามปริมาณวัตถุดิบในแต่ละวัน ด้วยเหตุนี้ทำให้ช่วงกลางฤดูกาลผลิตมีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak ที่สูงกว่าช่วงอื่น แต่ในทางตรงกันข้ามช่วงอื่นๆ นั้นมีปริมาณการผลิตที่น้อยเกินไปจนเป็นผลทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีค่าสูง ถึงแม้จะมีแนวโน้มค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่น้อยกว่า (ส่วนใหญ่ผลิตในช่วง Off Peak) ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบแนวทางจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็น โดยการปรับเพิ่มปริมาณการผลิตในช่วงต้นและท้ายของฤดูกาลผลิตในแต่ละวันให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น (ช่วงวันที่ 1-12 และ 33-42) ภายใต้ข้อกำหนดปริมาณการผลิตจะต้องผลิตประมาณ 110 ตัน/วัน และปริมาณผลผลิตตลอดฤดูกาลไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถนำมาเปรียบเทียบผลประหยัดที่จะเกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้การดำเนินงานในลักษณะนี้จึงทำให้ปริมาณการผลิตในช่วงกลางฤดูกาลผลิตมีค่าลดน้อย ซึ่งเป็นการช่วยให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลดน้อยลง ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตจะลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามวิธีการนี้จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในช่วงต้นและท้ายของฤดูกาลผลิตทำให้พฤติกรรมการ

ผลิตมีความสม่ำเสมอมากยิ่ง โดยการรับวัตถุดิบและการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันสามารถจำลองดังสมการที่ (4) แล้วนำมาเขียนกราฟได้ดังแสดงในภาพที่ 19

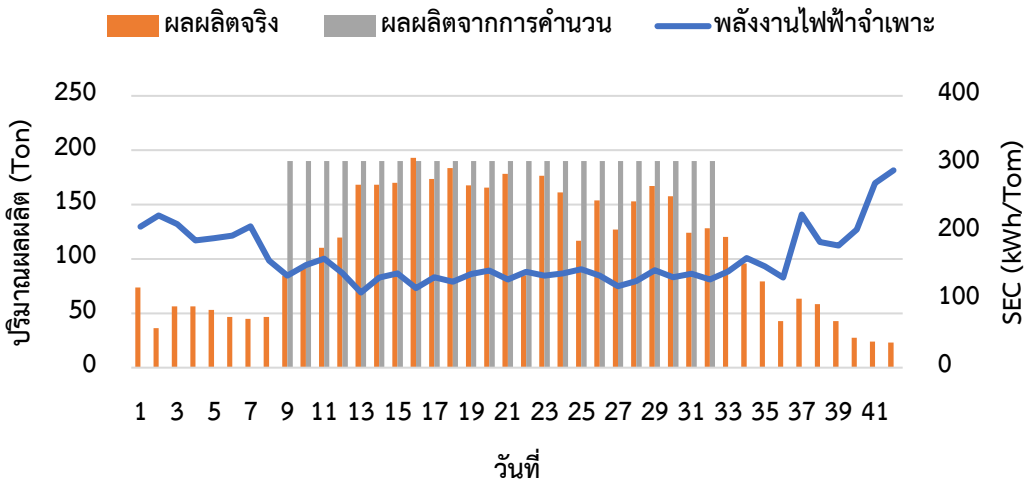



**ภาพที่ 19** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณผลผลิต และค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (การกระจายกำลังการผลิต)

จากการจำลองแนวทางการผลิตดังแสดงในภาพที่ 19 ปริมาณการผลิตในแต่ละวันจะถูกกำหนดให้ผลิต 107.56 ตัน/วัน เพื่อให้ค่าปริมาณผลผลิตทั้งหมดมีค่าเท่าเดิม เพื่อให้สามารถใช้ในการเปรียบเทียบผลประหยัดที่อย่างชัดเจนมากที่สุด อีกทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละวันจะกำหนดให้ใช้ระยะเวลา 11 ชั่วโมงต่อวัน ตามพิกัดกำลังการผลิตของเครื่องจักรที่ 10 ตันต่อชั่วโมง โดยวิธีการดังกล่าวนี้ พบว่าไม่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตลงได้ ซึ่งจากเดิมการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตตลอด 42 วัน เท่ากับ 656,001 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อทำการจำลองแนวทางการดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ พบว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 655,981 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งลดลงจากเดิมเพียงแค่ 20 กิโลวัตต์-ชั่วโมง แต่วิธีการนี้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ซึ่งโดยปกติแล้วจะสูญเสียค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 1,928,090 บาท แต่สามารถช่วยลดค่าไฟฟ้าลงได้สูงถึง 140,263 บาท คิดเป็นร้อยละ 7.27 อันเป็นผลจากการเพิ่มระยะเวลาการทำงานในช่วง Off Peak ส่งผลให้การทำงานในช่วง On Peak ลดลง ซึ่งก่อให้เกิดผลประหยัดถึง 88,730.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

3.2 ผลการลดจำนวนวันในการผลิต

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตในแต่ละวัน เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในแต่ละวัน ดังที่ได้กล่าวมาในภาพที่ 14 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าจะสูงเพียงช่วงกลางฤดูกาลผลิตเท่านั้น ซึ่งแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงอื่นๆ อันเนื่องจากค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับปริมาณผลผลิตที่ได้ ซึ่งค่ายิ่งต่ำยิ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยผลิตที่ลดน้อยลง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการหาแนวทางในการจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าโดยการลดจำนวนวันในการผลิตเพื่อส่งเสริมให้กระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็งในวันอื่นๆ มีปริมาณการผลิตที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิต ซึ่งจะช่วยให้บริษัทฯ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ โดยลักษณะการรับวัตถุดิบและการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันสามารถจำลองดังสมการที่ (4) แล้วนำมาเขียนกราฟได้ดังภาพที่ 20




**ภาพที่ 20** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณผลผลิต และค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (การลดจำนวนวันในการผลิต)

จากการจำลองแนวทางการผลิตดังแสดงในภาพที่ 20 พบว่าการเพิ่มกำลังการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็งให้ได้ไม่น้อยกว่า 190 ตัน/วัน ซึ่งเป็นปริมาณการผลิตที่สามารถผลิตได้ต่อวันมาก

ที่สุด ส่งผลให้ใช้จำนวนวันในการผลิตเพียง 24 วัน ก็สามารถผลิตถั่วแระแช่แข็งได้ 4,517.48 ตัน จากรูปแบบการผลิตจริงแต่เดิมจะต้องใช้เวลาในการผลิตถึง 42 วัน ดังนั้นการส่งเสริมให้มีกำลังการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น และควบคุมระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตให้ได้ 20 ชั่วโมงต่อวัน ตามพิกัดกำลังการผลิตของเครื่องจักรที่ 10 ตันต่อชั่วโมง จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงจากเดิม ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 656,001 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ด้วยแนวทางการเพิ่มปริมาณการผลิตต่อวันให้สูงขึ้นสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตลงเหลือเพียง 588,197 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งก่อให้เกิดผลประหยัดด้านค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 100,197.99 บาท อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตได้อีก 111.5 ชั่วโมง รวมถึงยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยผลิตจากเดิม 161.01 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน ลดลงเหลือเพียง 128.99 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาแม้จะสามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้สูง แต่กลับสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้เพียงเล็กน้อย อันเนื่องจากการส่งเสริมให้มีกำลังการผลิตต่อวันสูงถึง 190 ตัน จะส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak มากยิ่งขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 48,312.7 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak ลดลง จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเกิดผลประหยัดขึ้นเพียงเล็กน้อย

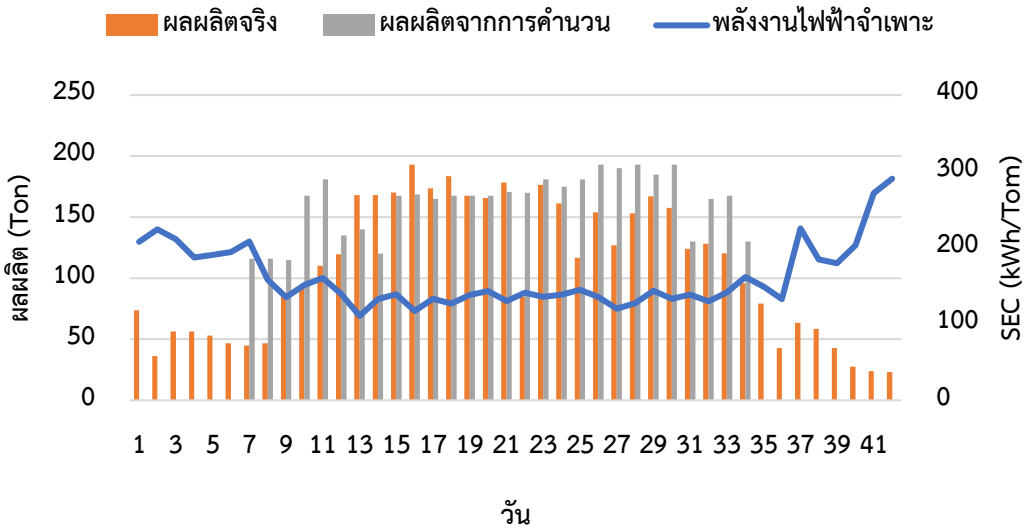
จากการศึกษาและวิเคราะห์แนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งทั้งสองกรณี พบว่าในกรณีการจัดการพลังงานไฟฟ้าทั้งสองแนวทางมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันออกไปดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่าในกรณีที่ 1 หรือแนวทางในการกระจายกำลังการผลิตในช่วงกลางฤดูกาลผลิตเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตในช่วงต้นและท้ายของฤดูกาลผลิต ส่งผลให้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า อันเนื่องมาจากผลของการส่งเสริมการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak ที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak มีค่าลดน้อยลง แต่ด้วยเหตุนี้ถึงแม้จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้กลับไม่สามารถช่วยลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตลงได้ ซึ่งแตกต่างจากกรณีที่ 2 ซึ่งเป็นการลดจำนวนวันในการผลิตช่วยทำให้ปริมาณการผลิตในแต่ละวันเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้สามารถช่วยลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตและสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ เป็นผลจากการลดการใช้พลังงานที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิต แต่แนวทางนี้ถึงแม้จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและต้นทุนต่อหน่วยการผลิตลงได้ แต่สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ไม่มากเมื่อเทียบกับกรณีที่ 1 (แนวทางการกระจายกำลังการผลิต) เนื่องจากการเพิ่มกำลังการผลิตส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาขอดีของทั้งสองแนวทางมาปรับประยุกต์ใช้ในการวาง

แผนการผลิตในแต่ละวันเพื่อทำให้เกิดการประหยัดพลังงานมากที่สุด และที่สำคัญจะสามารถนำแนวทางดังต่อไปนี้ไปใช้ในหน้างานจริงได้

**ตารางที่ 7** ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละกรณีศึกษา

| รายการ | ข้อมูลจริง | กรณีที่ 1 | กรณีที่ 2 |
|---|---|---|---|
| ปริมาณผลผลิต (ตัน) | 4,517.48 | 4,517.48 | 4,560 |
| พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) | 656,001 | 655,981 | 588,196.80 |
| ค่าไฟฟ้า (บาท) | 1,928,090 | 1,787,827.10 | 1,827,892 |
| SEC (kWh/ตัน) | 161.01 | 145.21 | 128.99 |
| ชั่วโมงทำงาน (h) | 571:55 | 452:12 | 456:00 |
| จำนวนวันผลิต (วัน) | 42 | 42 | 24 |

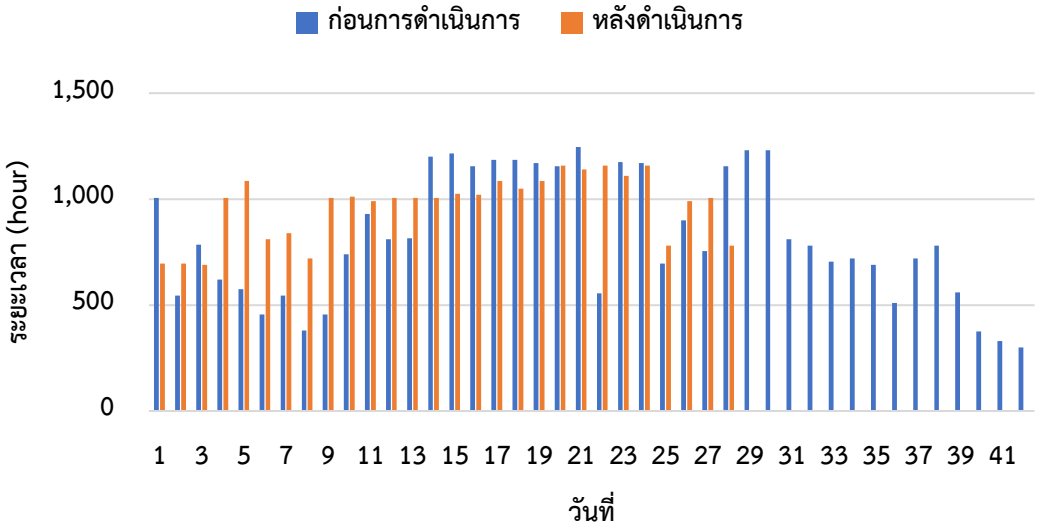
จากการศึกษาแผนการทำงานในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งของบริษัทฯ ในแต่ละวัน พบว่ากระบวนการผลิตจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาตามกะการทำงานของพนักงาน โดยในแต่ละกะทำงานเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งนับเริ่มตั้งแต่เวลา 17.00 น. ไปจนถึงเวลา 17.00 น. ของอีกวันหนึ่ง ในแต่ละวันจะเริ่มรับวัตถุดิบเพื่อเตรียมให้พร้อมก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตตั้งแต่ช่วงเย็นของวันนั้น ส่วนช่วงเวลาเริ่มกระบวนการผลิตในแต่ละวันจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบที่รับเข้ามา โดยเฉลี่ยแล้วจะเริ่มกระบวนการผลิตช่วงเวลาประมาณ 21:30 น. แต่ช่วงเวลาสิ้นสุดกระบวนการผลิตจะแตกต่างกันไปตามปริมาณวัตถุดิบที่รับเข้าและปัญหาในหน้างานจริง ส่งผลให้ในแต่ละวันใช้เวลาในการผลิตที่ไม่สม่ำเสมอ มีผลทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะแตกต่างกันไปในแต่ละวัน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบแผนการผลิตโดยนำทั้งสองแนวทางที่ได้กล่าวไปข้างต้นมาประยุกต์ใช้เพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหน้างานจริงได้ และจะช่วยให้เกิดผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าอย่างไรบ้าง โดยรูปแบบการผลิตใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทาง สามารถนำมาเขียนกราฟได้ดังแสดงในภาพที่ 21




**ภาพที่ 21** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของแนวทางการจัดการพลังงาน (แนวทางการกระจายผลผลิตและลดจำนวนวันในการผลิต)

จากการจำลองแนวทางการผลิตที่แสดงในภาพที่ 21 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการผลิตจะประกอบไปด้วยสองช่วง ช่วงแรกเป็นช่วงที่มีอัตราการผลิตสูง (วันที่ 10–30) ส่วนช่วงที่สองเป็นช่วงที่มีอัตราการผลิตน้อย (วันที่ 1–9 และ 31–42) ซึ่งการดำเนินงานในลักษณะนี้ได้ออกแบบมาเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการผลิตปกติของโรงงานให้ได้มากที่สุด โดยในส่วนช่วงที่มีอัตราการผลิตน้อยในแต่ละวันจะทำการผลิตภายใต้ข้อกำหนดคือผลิตในช่วง Off Peak ให้ได้มากที่สุดหรือต้องมีการผลิตให้ถึงเวลา 9.00 น. ในวันถัดไป และส่วนช่วงที่มีอัตราการผลิตสูงซึ่งในแต่ละวันจะถูกปรับเพิ่มปริมาณการผลิตให้ได้มากที่สุดโดยไม่ให้มีผลกระทบการทำงานในแต่ละกะ ดังนั้นแต่ละวันจะต้องสิ้นสุดกระบวนการผลิตไม่เกินเวลาประมาณ 16:30 น. ซึ่งจากการควบคุมเรื่องเวลาการสิ้นสุดกระบวนการผลิตและควบคุมกำลังการผลิตให้มีความสม่ำเสมอหรือผลิตให้ได้ตามพิกัดของเครื่องจักรนั้น ทำให้สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ ซึ่งจากการผลิตทั้งหมด 4,517 ตัน จากเดิมต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิต 656,001 กิโลวัตต์-ชั่วโมง แต่หากสามารถดำเนินการตามแนวทางการจัดพลังงานไฟฟ้าจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงเหลือ 599,696 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งก่อให้เกิดผลประหยัดด้านพลังงานเท่ากับ 56,305 กิโลวัตต์-ชั่วโมง อีกทั้งยังส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากเดิม 1,928,090 บาท เหลือ 1,758,145 บาท ซึ่งมีค่าผลประหยัดเท่ากับ 169,945 บาท ตามอัตราการคิดค่าไฟฟ้าดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 และยังสามารถ

ช่วยลดระยะเวลาที่ใช้และจำนวนวันในการผลิตลงได้จากเดิม 571.5 ชั่วโมง เหลือ 452.3 ชั่วโมง คิดเป็นเวลาที่ลดลงเท่ากับ 120.2 ชั่วโมง และลดจำนวนวันที่ใช้ลง 14 วัน ดังแสดงในภาพที่ 22




**ภาพที่ 22** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของการเปรียบเทียบระยะเวลาการผลิตจริงกับแนวทางการจัดการพลังงาน (แนวทางการกระจายผลผลิตและลดจำนวนวันในการผลิต)

**ผลการดำเนินงานวิจัยในแต่ละฤดูกาลผลิต**

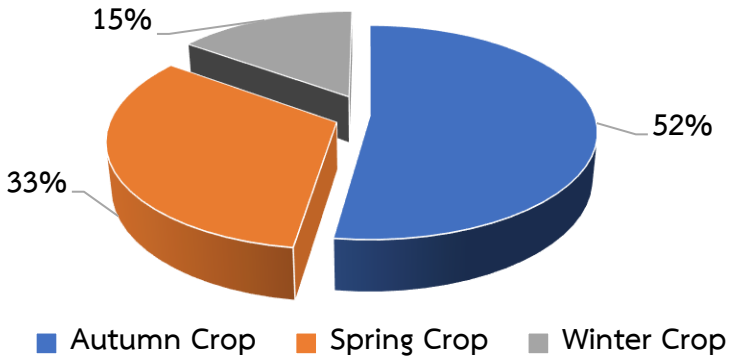
ที่ผ่านมาผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลการผลิตถั่วแระแช่แข็งในฤดูกาลผลิต Autumn Crop (2 ก.ย.-19 พ.ย.) ประจำปี 2560 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยและหาแนวทางการจัดพลังงานไฟฟ้าในระบบการทำความเย็นของกระบวนการผลิตให้เหมาะสมมากที่สุด จากนั้นจึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตถั่วแระแช่แข็งตลอดทั้งปี เพื่อหาวิธีการที่จะนำแนวทางที่วางไว้มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมที่สุดในแต่ละฤดูกาลผลิต ซึ่งได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่วันที่ 21 ก.ย. 2561 จนถึงวันที่ 19 ส.ค. 2562 โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ช่วงตามแผนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง ได้แก่ Autumn Crop (21 ก.ย. – 10 พ.ย. 2561) Winter Crop (14 ม.ค. – 26 ก.พ. 2562) และ Spring Crop (1 มิ.ย – 19 ส.ค 2562) ดังแสดงในตารางที่ 8 ซึ่งพบว่าฤดูกาล Autumn Crop เป็นฤดูกาลผลิตที่มีปริมาณการผลิตสูงที่สูง ซึ่งสูงถึงร้อยละ 52 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด รองลงมาคือฤดูกาล Spring Crop และ Winter Crop โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 33 และ 15 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 23 ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ

เบญจพร (2559) ซึ่งพบว่าฤดูกาลผลิต Spring Crop เป็นฤดูกาลที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุด รองลงมาคือ Autumn Crop และ Winter Crop มีค่าเท่ากับร้อยละ 66 29 และ 3 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลเนื่องมากจากในฤดูกาลผลิต Spring Crop ของปี 2562 พบว่ามีปัญหาการคลาดแคลนวัตถุดิบเนื่องจากสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูกถั่วแระจึงเป็นผลทำให้ในช่วงดังกล่าวมีปริมาณผลผลิตน้อยกว่า ช่วง Autumn Crop และเมื่อนำข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ และหาประสิทธิการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 8** ช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวถั่วแระญี่ปุ่น

| Season | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Winter | | | | | | | | | | | | |
| Spring | | | | | | | | | | | | |
| Autumn | | | | | | | | | | | | |

ที่มา: บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด



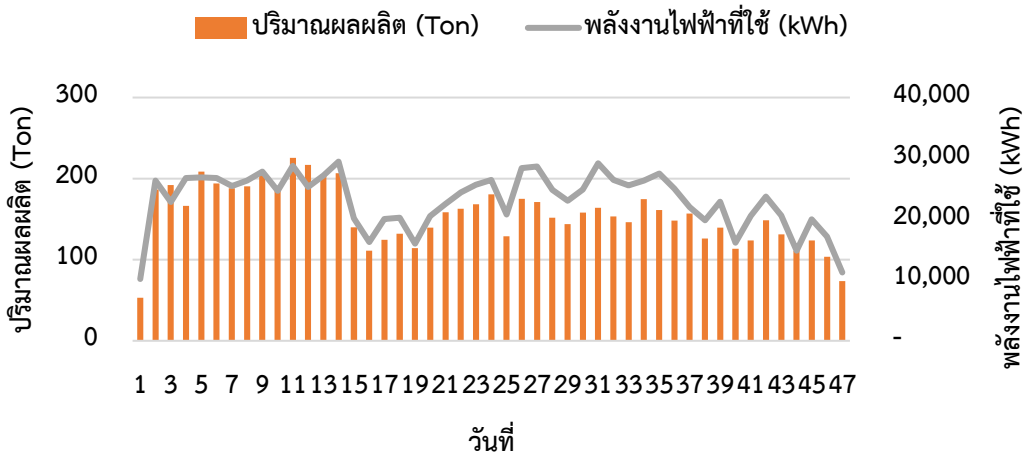

**ภาพที่ 23** สัดส่วนปริมาณวัตถุดิบตามฤดูกาลเก็บเกี่ยว

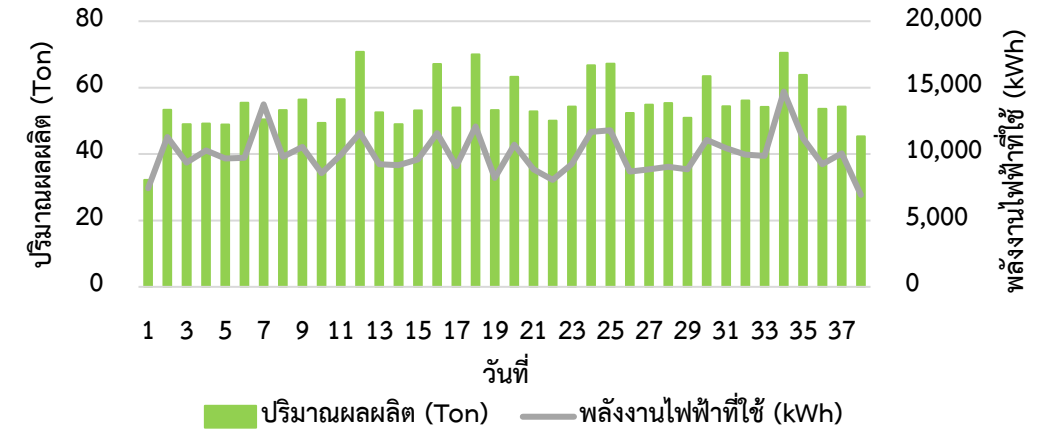
1. ผลการศึกษาพฤติกรรมการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละฤดูกาล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง พบว่าทั้ง 3 ฤดูกาลผลิตมีพฤติกรรมการผลิตที่แตกต่างกัน อันเป็นผลจากความแตกต่างของปริมาณการรับวัตถุดิบที่เข้ามาในแต่ละวัน โดยฤดูการผลิต Autumn Crop จะเป็นฤดูกาลผลิตที่มีการ

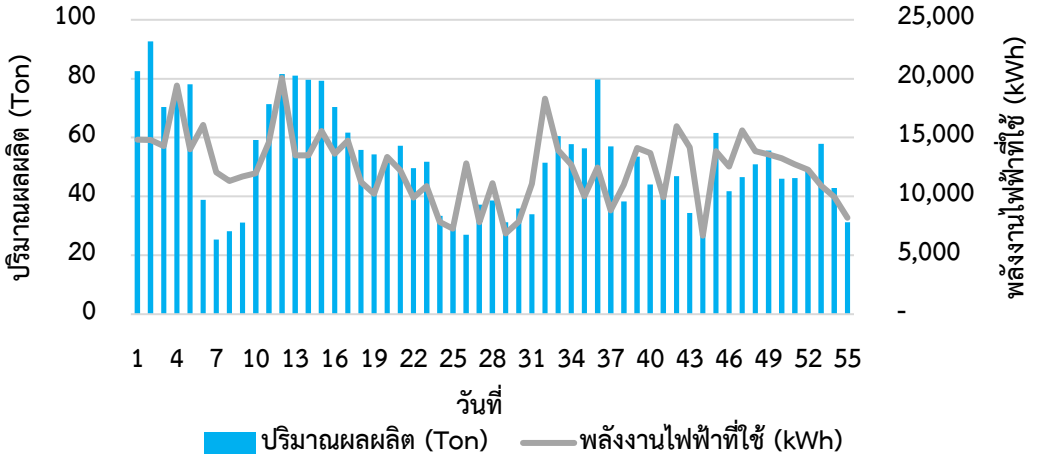
รับปริมาณวัตถุดิบเข้ามาในแต่ละวันสูง 70-200 ตัน/วัน ซึ่งแตกต่างจากอีก 2 ฤดูกาลผลิตที่จะมีปริมาณการผลิตในแต่ละวันสูงเพียง 30-90 ตัน/วัน ดังแสดงในภาพที่ 24 ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ฤดูกาลผลิต Autumn Crop เป็นฤดูกาลผลิตที่มีปริมาณผลผลิตที่สุด ซึ่งสูงถึง 2-3 เท่าเมื่อเทียบกับฤดูกาลผลิตอื่นๆ รองลงมา Spring Crop และ Winter Crop ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสอดคล้องกับหลักการสมการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าดังสมการที่ (4) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ฤดูกาลผลิต Autumn Crop มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าฤดูกาลผลิตอื่นๆ รองลงมาคือฤดูกาลผลิต Spring Crop และ Autumn Crop ตามลำดับ แต่เมื่อสังเกตในส่วนของค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของฤดูกาลผลิต Spring Crop และ Winter Crop ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ Autumn Crop เนื่องจากการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU ซึ่งเป็นการคิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วง On Peak วันจันทร์-ศุกร์ เวลา 09.00-22.00 น. และ Off Peak วันจันทร์-ศุกร์ เวลา 22.00-09.00 น. วันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการ ไม่รวมวันหยุดชดเชย เวลา 00.00-24.00 น. ทั้งนี้การไฟฟ้าฯ จะเรียกเก็บค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นเฉพาะช่วง On Peak เท่านั้น อีกทั้งมีค่าพลังงานไฟฟ้าแพงกว่าช่วง Off Peak แล้วเนื่องด้วยฤดูกาลผลิต Winter Crop จะเริ่มการผลิตในช่วงเช้าจนถึงเย็น ซึ่งแตกต่างจากฤดูกาลผลิตอื่นๆ ที่จะเริ่มผลิตในช่วงเวลากลางคืนจึงส่งผลให้ Winter Crop มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับฤดูกาลผลิตอื่นๆ

(ก) Autumn Crop






(ข) Winter Crop



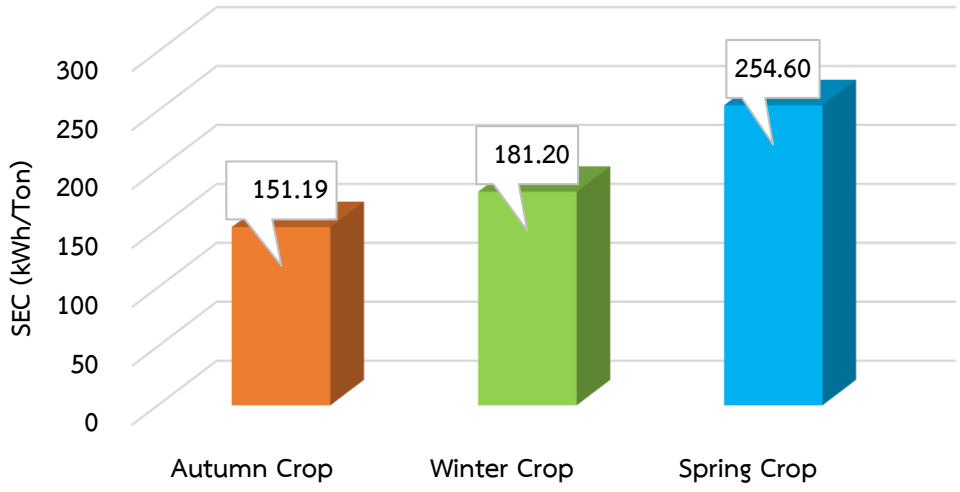

(ค) Spring Crop

**ภาพที่ 24** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณผลผลิต ของแต่ละฤดูกาลผลิต (ก) Autumn Crop (ข) Winter Crop (ค) Spring Crop

**ตารางที่ 9** การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละฤดูกาลผลิต

| รายการ | Autumn Crop | Winter Crop | Spring Crop |
|---|---|---|---|
| 1. ปริมาณผลผลิต (ตัน) | 7,287 | 2,107 | 2,996 |
| 2. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) | 1,086,258 | 380,016 | 685,162 |
| 3. ค่าไฟฟ้า (บาท) | 3,345,726 | 1,416,776 | 1,863,112 |
| 4. จำนวนวันผลิต (วัน) | 47 | 38 | 56 |

จากการศึกษาพฤติกรรมการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละฤดูกาลเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะโดยใช้สมการที่ (2) พบว่าฤดูกาลผลิตที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ฤดูกาลผลิต Spring Crop รองลงมาเป็น Winter Crop และ Autumn Crop ตามลำดับ เนื่องจากพฤติกรรมการผลิตของฤดูกาล Spring Crop จะมีช่วงการผลิตในแต่วันอยู่ระหว่าง 30-90 ตัน/วัน และมีจำนวนวันที่ใช้การผลิตเป็นจำนวนมากซึ่งสูงถึง 56 วัน ผนวกเข้ากับรูปแบบการทำงานของเครื่องจักรซึ่งบริษัทมีระบบทำความเย็นให้กับระบบปรับอากาศในกระบวนการผลิตอยู่ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบหลักประกอบไปด้วยคอมเพรสเซอร์ขนาดเครื่องละ 281.86 kW จำนวน 3 เครื่อง และระบบสำรองขนาด 380 kW จำนวน 1 เครื่อง โดยรูปแบบการทำงานปกติจะมีการเดินเครื่องระบบหลักจำนวน 2 เครื่อง สลับการทำงานทุกๆ 8 ชั่วโมงระหว่างกันทั้ง 3 เครื่อง ส่วนในระบบสำรองโดยปกติจะเดือนเครื่องเป็นบางครั้งเพื่อเป็นการทดสอบและเตรียมความพร้อมของเครื่องจักรให้พร้อมทำงานเสมอในกรณีที่คอมเพรสเซอร์ในระบบอื่นมีปัญหา แต่เนื่องด้วยในช่วงดังกล่าวนั้นพบปัญหาปั้มน้ำหล่อเย็นของคอมเพรสเซอร์ในระบบปรับอากาศมีปัญหา ผนวกกับในกระบวนการผลิตมีการใช้เครื่อง IQF 1 และ 2 ในการผลิตถั่วแระแช่แข็งทั้งที่ฤดูกาลดังกล่าวนี้มีปริมาณการผลิตในแต่ละวันไม่สูงและความสม่ำเสมอของปริมาณการรับวัตถุดิบมาทำการผลิตต่ำ จึงส่งผลให้พฤติกรรมของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะสูงและกระจายตัวกว่าปกติ ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของฤดูกาล Winter Crop จากภาพที่ 24 จะเห็นได้ว่าถึงแม้ในแต่ละวันจะมีปริมาณการผลิตที่ใกล้เคียงกัน แต่ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กลับแตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะแตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 25




**ภาพที่ 25** การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของแต่ละฤดูกาลผลิต

2. ผลการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเครื่องจักรและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากการศึกษากระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการผลิตจากหน้างานจริง ดังที่กล่าวไปในบทที่ 2 พบว่า ในสายการผลิตประกอบด้วยเครื่องจักรขนาดใหญ่จำนวนมากที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ซึ่งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิตจะแตกต่างกันตามประเภท ขนาด และจำนวนเครื่องจักร โดยมีรายละเอียดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 10

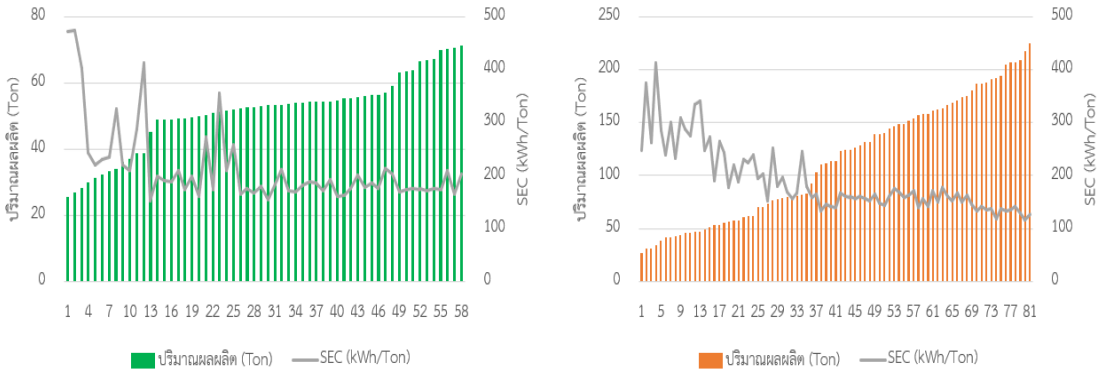
**ตารางที่ 10** รายละเอียดเครื่องจักรของระบบทำความเย็นในกระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง

| รายการ | กิโลวัตต์ (kW) | เครื่องจักร-อุปกรณ์ | ประเภทพลังงาน |
|---|---|---|---|
| 1. ระบบแช่แข็ง (IQF) | | | |
| IQF 1 | 396 | คอมเพรสเซอร์ | ไฟฟ้า |
| IQF 2 | 200 | | ไฟฟ้า |
| 2. ระบบปรับอากาศและผลิตน้ำเย็นหลัก (อุณหภูมิ -10 °C) | 945 | เครื่องปรับอากาศ | ไฟฟ้า |
| | | เครื่องลดอุณหภูมิถั่ว (Chilled) | ไฟฟ้า |
| 3. ระบบปรับอากาศและผลิตระบบผลิตน้ำเย็น (อุณหภูมิ 0 °C) | 315 | เครื่องลดอุณหภูมิถั่ว (Pre-Chilled) | ไฟฟ้า |
| 4. ระบบปรับอากาศและทำความเย็นสำรอง (อุณหภูมิ -10 °C) | 450 | เครื่องปรับอากาศ | ไฟฟ้า |
| | | เครื่องลดอุณหภูมิถั่ว (Chilled) | ไฟฟ้า |
| | | เครื่องแช่แข็ง | |

จากตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่าเครื่องแช่แข็งที่ใช้ในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งมีจำนวน 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่อง IQF 1 และ เครื่อง IQF 2 โดยทั้ง 2 เครื่องมีกำลังการผลิตที่แตกต่างกันโดยเครื่อง IQF 1 มีกำลังการผลิต 7 ตันต่อชั่วโมง ส่วน IQF 2 มีกำลังการผลิต 3 ตันต่อชั่วโมง โดยการใช้งานของเครื่องจักรสำหรับการผลิตจะถูกแบ่งตามปริมาณการผลิต ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่น้อยกว่า 100 ตัน จะใช้งานเครื่อง IQF 1 ในการผลิตเพียงเครื่องเดียว ส่วนปริมาณการผลิตที่มากกว่า 100 ตัน/วัน จะใช้เครื่อง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ในการผลิต และมีการนำไปใช้ใน

การผลิตถั่วแระที่น้อยกว่า 100 ตัน/วัน ในกรณีที่จะต้องมีการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นต่อเพื่อช่วยลดระยะในการผลิตซึ่งทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์อื่นต่อได้อย่างรวดเร็ว

จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของพฤติกรรมการผลิตของแต่ละรูปแบบ โดยอาศัยข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้ามาทำการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการสร้างแผนภาพอนุกรมเวลาของปริมาณการผลิตตั้งแต่น้อยไปหามากที่สุดของแต่ละพฤติกรรมการผลิตดังแสดงในภาพที่ 26 จะเห็นได้ว่าทั้งสองพฤติกรรม ปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่ามีบางช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติซึ่งอาจเกิดจากดำเนินงานที่ผิดปกติไปจากพฤติกรรมการผลิตที่ควรจะเป็น จึงส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตเพิ่มมากขึ้นหรือลดลงกว่าปกติ ซึ่งจากปัญหาที่พบส่วนใหญ่มักเกิดจากปัญหาในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตซึ่งเกิดจากอัตราการป้อนวัตถุดิบที่แตกต่างกันจึงทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตและพลังงานไฟฟ้ามีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิตที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการพิจารณาจากความสม่ำเสมอของพลังงานไฟฟ้าจำเพาะจะเห็นได้ว่าทั้ง 2 พฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักรที่จุดที่คล้ายคลึงกันคือ เมื่อมีการผลิตที่ถึง ณ จุดหนึ่งที่สามารถทำให้ค่าอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิตมีผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะลดลง จะส่งผลให้การกระจายของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะลดลง




(ก) (ข)

**ภาพที่ 26** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (ก) เครื่องแช่แข็ง IQF 1 (ข) เครื่องแช่แข็ง IQF 1+2

จากภาพที่ 26 จึงสามารถระบุเบื้องต้นได้ว่าพฤติกรรมการผลิตที่ใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 ตัวเดียวในการผลิตควรมีการผลิตให้มากกว่า 50 ตัน/วัน ขึ้นไป และพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ร่วมกันควรจะต้องมีการผลิตตั้งแต่ 100 ตัน/วัน ขึ้นไป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและทำให้กระบวนการผลิตมีความสม่ำเสมอของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมากขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือเป็นจุดที่ทำให้คุ้มทุนต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักรในแต่ละวัน

3. ผลการวิเคราะห์และการตีความข้อมูลการผลิตตลอดทั้งปี

จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตตลอดทั้งปี พบว่าโรงงานได้มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ประสิทธิภาพในการผลิตมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตมีค่าเพิ่มสูงมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของระบบการทำความเย็น ซึ่งจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตระหว่างการเก็บข้อมูลส่งผลให้ไม่สามารถใช้สมการทำนายค่าพลังงานเดิมดังสมการที่ (4) มาใช้เป็นตัวแทนในการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าได้อีก เนื่องจากมีพฤติกรรมการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ผนวกกับในแต่ละฤดูกาลมีพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักรที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้นอีกครั้งเพื่อทำการหาสมการตัวแทนในการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถนำมาใช้ทำนายพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งหาปริมาณขั้นต่ำที่เหมาะสมต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

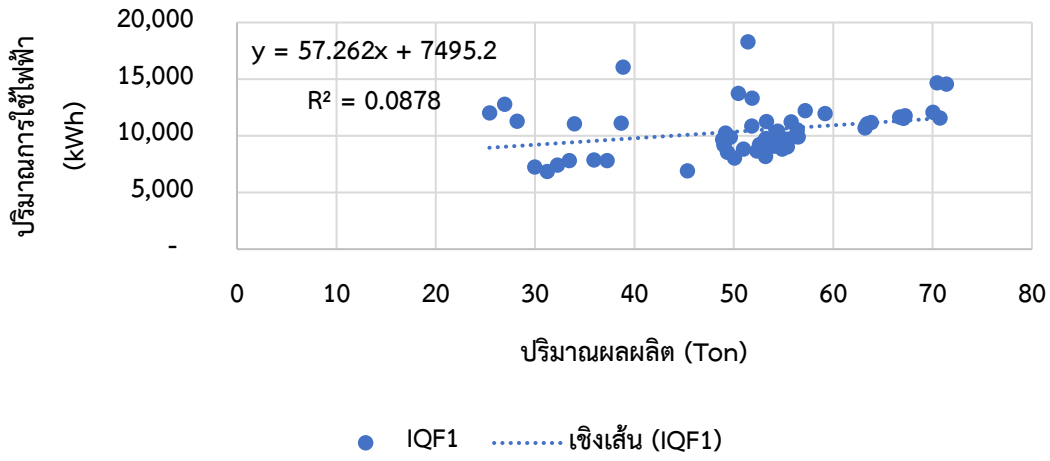
3.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานและปริมาณการผลิตของทั้ง 3 ฤดูกาล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้า รวมถึงการศึกษาพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักรในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักรในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันตามปริมาณวัตถุดิบ ซึ่งผู้วิจัยจะขอแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 รูปแบบ ตามพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักร ได้แก่ การผลิตโดยใช้ IQF 1 เพียงตัวเดียว และการผลิตโดยใช้ IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานและผลผลิตของ IQF 1

จากข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานทั้งหมด 139 วัน (รวม 3 ฤดูกาล) สามารถจำแนกวันที่มีการผลิตเฉพาะเครื่องแช่แข็ง IQF 1 ได้ทั้งหมด 58 วัน เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการสร้างแผนภาพการกระจายเพื่อใช้วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ดังแสดงในภาพที่ 27 พบว่าได้ค่า $R^2$ เท่ากับ 0.0878 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.7 แสดงว่าสมการที่ได้มามีค่าความน่าเชื่อถือที่ต่ำ ไม่สามารถนำมาใช้เป็นสมการตัวแทนในการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าของพฤติกรรมการใช้งาน

เครื่องแช่แข็งเฉพาะ IQF 1 ได้เนื่องจากอาจมีปัจจัยอื่นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามไม่น้อยกว่า 30 % ลงไป หรืออาจบ่งชี้ได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็งเฉพาะ IQF 1 มีความเสถียรน้อยมาก เนื่องจากจุดข้อมูลกระจายตัวออกจากเส้นตรง หรืออธิบายได้ว่าพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงมีความแตกต่างกันสูงมาก ซึ่งอาจเกิดจากพฤติกรรมการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งแต่เดิมมีพฤติกรรมที่ดีอยู่แล้ว แต่มีปัญหาหน้างานหรือมีการกระทำที่ก่อให้เกิดพฤติกรรมที่ไม่ดีทำให้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้น หรือเดิมมีพฤติกรรมที่ไม่ดี แต่มีการทำกิจกรรมที่ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า จึงทำให้ข้อมูลแตกตัวเป็นกลุ่มๆ แต่ในทางปฏิบัติเป็นไปไม่ได้ที่ส่งผลให้ค่า $R^2$ ต่ำมากได้ ทั้งนี้ในกรณีที่ค่า $R^2$ ต่ำมากแสดงว่าข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ จึงไม่สามารถวิเคราะห์นำไปวิเคราะห์ต่อไปได้

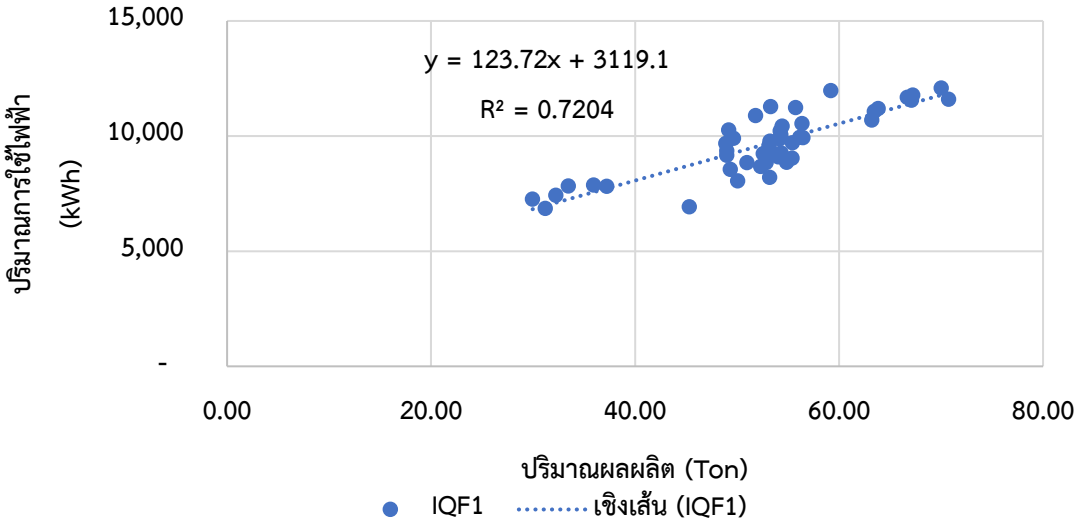



**ภาพที่ 27** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลการผลิตในแต่ละวันเพื่อหาวันใดที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะผิดปกติเมื่อเทียบวันอื่นๆ ที่มีปริมาณผลผลิตใกล้เคียงกัน ซึ่งพบว่าจากข้อมูลมีข้อมูลที่เข้าข่ายจำนวนทั้งหมด 12 วัน จึงได้ทำการตัดข้อมูลเหล่านั้นออก แล้วทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของค่าพลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิตใหม่อีกครั้งดังแสดงในภาพที่ 28 พบว่าได้ค่า $R^2$ ที่เพิ่มขึ้นกลายเป็น 0.7204 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.7 แสดงว่าสมการที่ได้มาสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนสมการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตของพฤติกรรมการใช้เครื่อง IQF 1 ในการผลิตวัตถุดิบช่วง 29.95-70.74 ตัน/วันได้เพราะข้อมูลการกระจายตัวอยู่รอบเส้นกราฟ

ทำนายหรือเส้นทำนายผ่านกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ ดังนั้นสมการตัวแทนในการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับพฤติกรรมการใช้เครื่อง IQF 1 สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (6)

$$Y = 123.72X + 3{,}119.1;\ R^2 = 0.7204 \qquad (6)$$




**ภาพที่ 28** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 (หลังปรับแก้ไขข้อมูล)

สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร X หรือ m เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วย หรือพลังงานแปรผัน มีค่าเท่ากับ 123.72 ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วยในช่วงผลผลิต 29.95-70.74 ตัน เท่ากับ 123.72 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

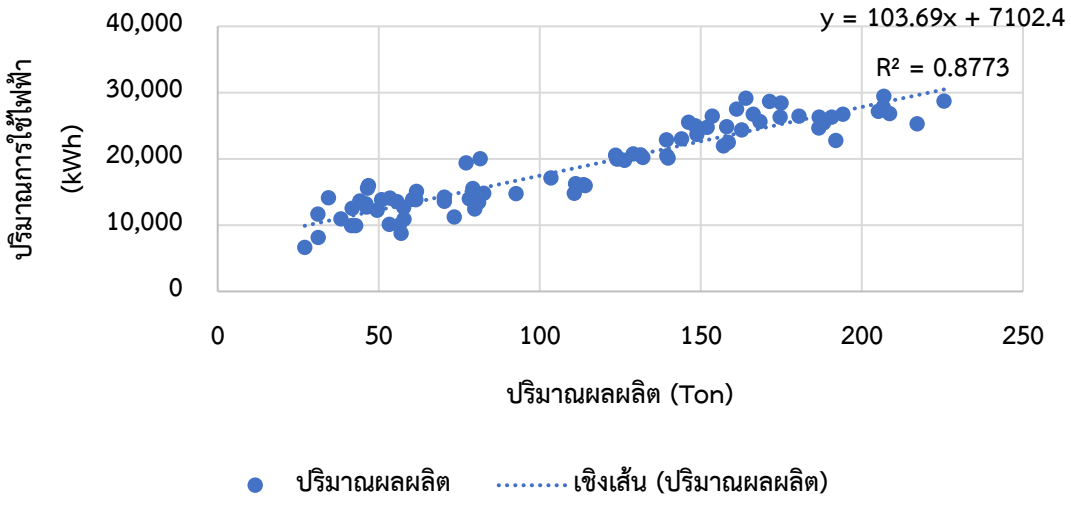
ส่วนค่าคงที่ หรือค่า C เป็นค่าพลังงานคงที่ ซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับปริมาณผลผลิตในช่วงการผลิต 29.95-70.74 ตัน โดยสมการนี้มีค่าคงที่เท่ากับ 3,119.1 แสดงว่าค่าพลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีค่าเท่ากับ 3,119.1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาในภาพที่ 24 สามารถหาค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมดที่มีการใช้ IQF 1 เพียงเครื่องเดียวในการผลิต มีค่าเท่ากับ 9,640 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังนั้นจากสมการที่ (6) จะสามารถหาค่าสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิตหรือค่า UEC (%C) เท่ากับร้อยละ 32.36 [(3,119.1/9,640) ×100] ของพลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย จึง

สามารถอธิบายได้ว่าพลังงานที่ขึ้นกับปริมาณการผลิตมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ร้อยละ 67.64 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

3.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานและผลผลิตที่ของ IQF 1 ร่วมกับ IQF 2

จากข้อมูลการผลิตจากข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานทั้งหมด 139 วัน สามารถจำแนกวันที่มีใช้งานเครื่องแช่แข็ง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ได้ทั้งหมด 81 วัน เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการสร้างแผนภาพการกระจายเพื่อใช้วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ดังแสดงในภาพที่ 29 พบว่าค่า $R^2$ เท่ากับ 0.8796 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.7 แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการผลิตที่มีการใช้งาน IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 มีความเสถียรอย่างมากของการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต สมการที่ได้มาสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนสมการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตของพฤติกรรมการใช้เครื่อง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ในการผลิตวัตถุดิบช่วง 27.01-225.52 ตัน เนื่องจากปริมาณความแปรปรวนของปริมาณการใช้พลังงานเกิดจากปริมาณการผลิตไม่น้อยกว่า 70 % จึงสามารถนำมาใช้เป็นสมการตัวแทนสำหรับการพยากรณ์การใช้พลังงานได้ เพราะข้อมูลกระจายตัวอยู่รอบเส้นกราฟทำนาย ดังนั้นสมการตัวแทนในการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับพฤติกรรมการใช้เครื่อง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (7)




**ภาพที่ 29** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2

$$Y = 103.69X + 7{,}102.4;\ R^2 = 0.8773 \qquad (7)$$

สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร X หรือ m เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วย หรือพลังงานแปรผัน มีค่าเท่ากับ 103.69 ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วยในช่วงผลผลิต 27.01 – 225.52 ตัน เท่ากับ 103.69 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ส่วนค่าคงที่ หรือค่า C เป็นค่าพลังงานคงที่ ซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับปริมาณผลผลิตในช่วงการผลิต 27.01 – 225.52 ตัน โดยสมการนี้มีค่าคงที่เท่ากับ 7,102.4 แสดงว่าค่าพลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีค่าเท่ากับ 7,102.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาในภาพที่ 24 สามารถหาค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 ฤดูกาลผลิต มีค่าเท่ากับ 18,862 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังนั้นจากสมการที่ (7) จะสามารถหาค่าสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิตหรือค่า UEC (%C) เท่ากับร้อยละ 37.42 [(7,102.4/18,862) ×100] ของพลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย จึงสามารถอธิบายได้ว่าพลังงานที่ขึ้นกับปริมาณการผลิตมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดร้อยละ 62.58 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

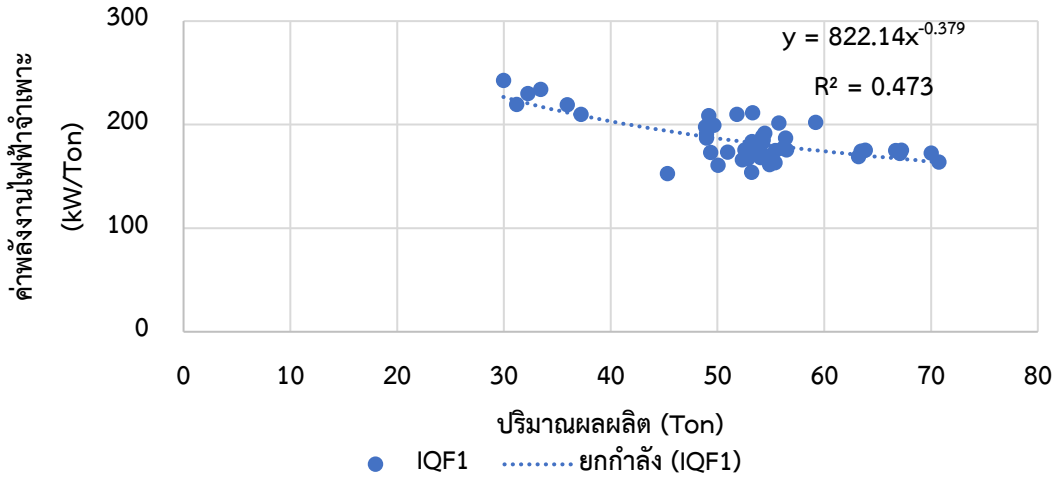
3.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและปริมาณผลผลิตของทั้ง 3 ฤดูกาล

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้นพฤติกรรมการผลิตของโรงงานสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ ตามพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักร ได้แก่ การผลิตโดยใช้ IQF 1 เพียงตัวเดียว และการผลิตโดยใช้ IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและปริมาณผลผลิตจึงได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและปริมาณผลผลิตของ IQF 1

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นของแต่ละพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักร ซึ่งได้กราฟเชิงอนุกรมเวลาระหว่างปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ที่สามารถแสดงให้เห็นถึงค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันได้เพียงเท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างแผนภาพการกระจายของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและปริมาณผลผลิตของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 เพื่อนำข้อมูลมาใช้อธิบายการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ อันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ดังแสดงในภาพที่ 30 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะลดลงตามปริมาณการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องตามหลักการ

สมการหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ต่อหนึ่งหน่วยการผลิตหรือค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าดังที่กล่าวไปในสมการที่ (5)



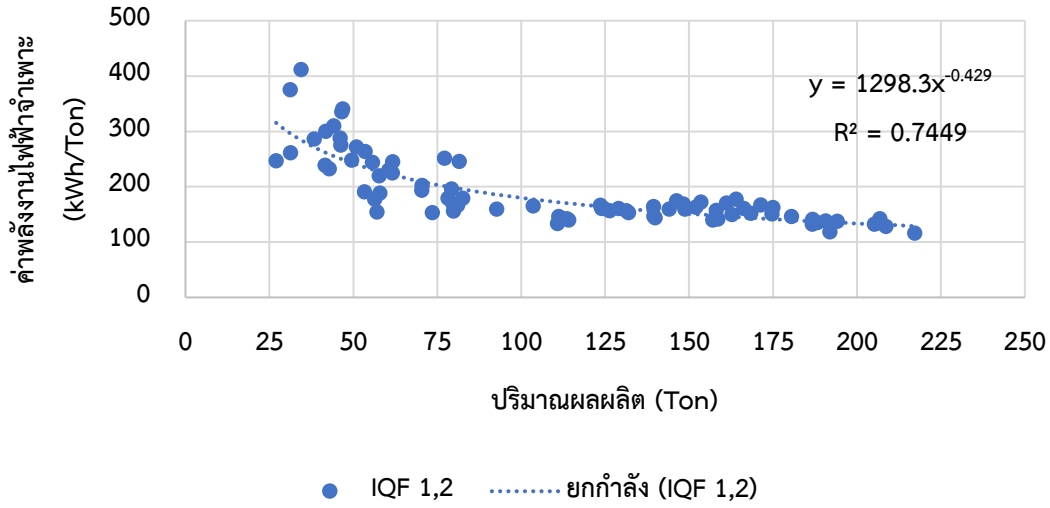

**ภาพที่ 30** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและดัชนีการใช้พลังงานของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1

จากภาพที่ 30 จะเห็นได้ว่าไม่สามารถตัดสินใจได้ว่าควรจะผลิตที่ปริมาณเท่าไรถึงจะเหมาะสมต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของ IQF 1 เพียงตัวเดียว เนื่องจากข้อมูลมีการเกาะกลุ่มในช่วงปริมาณผลผลิต 49-58 ตัน/วัน เป็นจำนวนมากและมีการกระจายตัวสูง ซึ่งแตกต่างจากช่วงอื่นๆ ที่มีการกระจายตัวที่น้อยกว่า อันเป็นผลจากข้อมูลการผลิตไม่สม่ำเสมอตลอดช่วง ซึ่งไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจได้ โดยเฉพาะในช่วงตั้งแต่ 60 ตัน/วัน เป็นต้นไป ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าควรจะมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกช่วงปริมาณการผลิตที่เหมาะสมต่อการใช้ IQF 1 เพียงตัวเดียวในการผลิต

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและปริมาณผลผลิตของ IQF 1 ร่วมกับ IQF 2

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นของแต่ละพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักร ซึ่งได้กราฟเชิงอนุกรมเวลาระหว่างปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ที่สามารถแสดงให้เห็นถึงค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันได้เพียงเท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างแผนภาพการกระจายของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและปริมาณผลผลิตของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2

เพื่อนำข้อมูลมาใช้อธิบายการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ อันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ดังแสดงในภาพที่ 31 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะจะลดลงตามปริมาณการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องตามสมการหาค่าพลังงานไฟฟ้าไฟฟ้าจำเพาะ




**ภาพที่ 31** แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและดัชนีการใช้พลังงานของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2

จากภาพที่ 31 จะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตตั้งแต่ 100 ตัน/วัน ขึ้นไป การกระจายของข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีความลดลงเมื่อเทียบกับช่วงการผลิตน้อยกว่า 100 ตัน/วัน ดังนั้นการจัดการปริมาณการผลิตในแต่ละวันให้มากกว่า 100 ตัน/วัน จะสามารถช่วยให้พฤติกรรมการผลิตที่ใช้เครื่อง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ในการผลิตมีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ลดลงและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการทำความเย็นของกระบวนการผลิตเพิ่มมากยิ่งขึ้นและที่สำคัญยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย

4. ผลการประยุกต์ใช้แนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละฤดูกาลผลิตและผลประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

จากการศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักรเพื่อหาแนวทางในการจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นของสายการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็งที่เหมาะสม พบว่า ก่อนเริ่มการผลิต เกษตรกรส่งถั่วแระญี่ปุ่นเข้าโรงงาน จากนั้นมีการชั่งน้ำหนัก แล้วพนักงานรับวัตถุดิบจะนำวัตถุดิบเข้าไปเก็บไว้ในห้องเก็บวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 2-10 องศาเซลเซียส เพื่อ

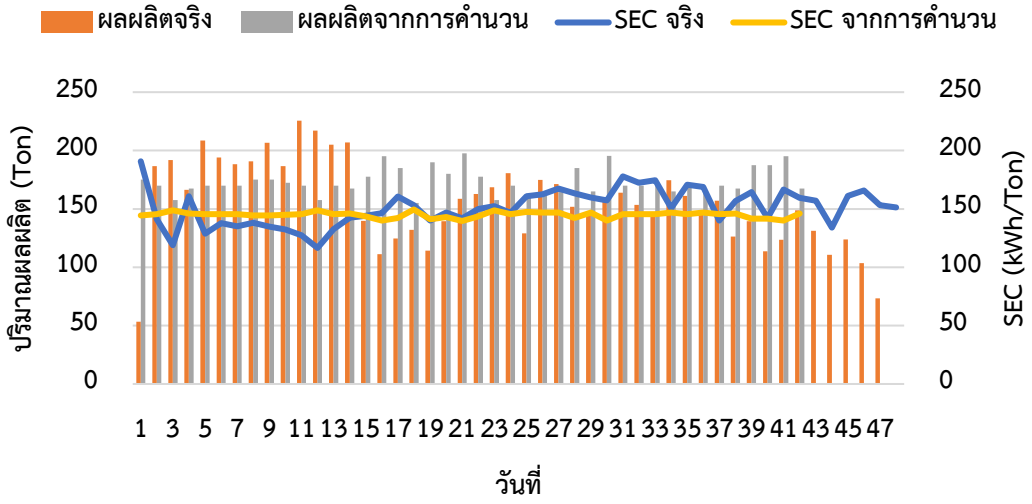
รอการผลิต โดยการเก็บเกี่ยวถั่วแระญี่ปุ่น เกษตรกรเก็บเกี่ยวในช่วงเช้าถึงบ่าย จากนั้นช่วงเย็นหรือหัวค่ำจะมีการนำถั่วแระญี่ปุ่นส่งโรงงาน โดยวัตถุดิบที่รับเข้าในแต่ละวัน มักมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หากวันใดมีปริมาณวัตถุดิบรับเข้ามาก เครื่องจักรต่างๆ ในสายการผลิตไม่สามารถผลิตได้ทันระยะเวลาในช่วง Off Peak (เกิน 09.00 น. ของวันถัดไป) เนื่องจากเครื่องจักรมีอัตราการผลิตที่จำกัดทำให้กระบวนการผลิตเสร็จสิ้นในช่วงเย็นของอีกวันหนึ่ง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นช่วง On Peak และในขณะเดียวกันเมื่อทำการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละวันพบว่า เวลาการผลิตในแต่ละวันใช้มากน้อยแตกต่างกันเมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากพนักงานมีการป้อนวัตถุดิบในปริมาณที่ไม่คงที่ โดยป้อนวัตถุดิบในปริมาณที่มากหรือน้อยกว่าอัตราการผลิตของเครื่องจักรจึงทำให้อัตราการผลิตไม่สม่ำเสมอ โดยส่วนใหญ่จะส่งผลให้กระบวนการผลิตเสร็จล่าช้า หากวันใดที่มีปริมาณวัตถุดิบรับเข้ามาก จะทำให้ระยะเวลาการผลิตเลยช่วงเวลา On Peak นานขึ้น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ค่าพลังงานไฟฟ้ามีราคาแพง จึงส่งผลให้โรงงานต้องจ่ายค่าไฟฟ้ามากขึ้น

จากปัญหาหรือพฤติกรรมการทำงานที่ไม่เหมาะสมดังที่ได้กล่าวมา ผู้วิจัยจึงได้ทำการวางแนวทางการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมมากขึ้น โดยเพิ่มปริมาณการผลิตในแต่ละวันและควบคุมอัตราการป้อนวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอเพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น อีกทั้งยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตลง และช่วยเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในระดับภาคอุตสาหกรรมอาหารได้สูงขึ้น โดยรายละเอียดการดำเนินแนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละฤดูกาล มีดังต่อไปนี้

4.1 แนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าฤดูกาลผลิต Autumn Crop

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงศึกษาพฤติกรรมการผลิตของฤดูกาลผลิต Autumn Crop ตั้งแต่วันที่ 21 ก.ย. – 10 พ.ย. 2561 พบว่าฤดูกาลผลิตดังกล่าวมีปริมาณการผลิตมากที่สุด ซึ่งมากถึง 225 ตัน/วัน โดยในแต่ละวันจะเริ่มการผลิตตั้งแต่เวลาประมาณ 21:30-22.30 น. เป็นต้นไป และเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตในแต่ละวันแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตในวันนั้น จากการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและการถดถอยเชิงเส้นของพฤติกรรมการใช้เครื่องแช่แข็ง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ในการผลิตพบว่าจะต้องผลิตตั้งแต่ 100 ตัน/วันขึ้นไป เพื่อช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ซึ่งทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น และช่วยลดต้นทุนในการผลิตลง โดยปริมาณการผลิตในแต่ละวันของฤดูกาลนี้พบว่าโดยส่วนใหญ่มีปริมาณการผลิตมากกว่า 100 ตัน/วัน มีเพียง 2 วัน เท่านั้นที่มีการผลิตน้อยกว่า ดังนั้นแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงมุ่งเน้นไปในทิศทางของการเพิ่มกำลังการผลิตในแต่ละวันให้ได้มากที่สุด ภายใต้ข้อกำหนดปริมาณการผลิตทั้งหมดไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้สามารถ

เปรียบเทียบผลประหยัดที่จะเกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนมากที่สุด (ที่ปริมาณผลผลิตทั้งหมดเท่ากับ 7,287 ตัน) โดยแนวทางการจัดการรูปแบบการผลิตดังแสดงในภาพที่ 32

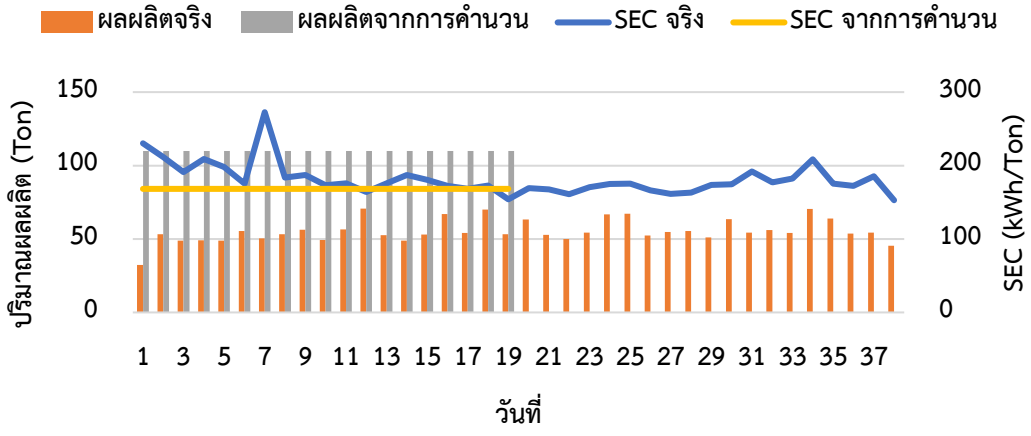



**ภาพที่ 32** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของฤดูกาลผลิต Autumn Crop

จากภาพที่ 32 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มปริมาณการผลิตให้สามารถผลิตให้ได้มากที่สุด โดยกำหนดให้ในแต่ละวันจะสิ้นสุดกระบวนการผลิต ณ เวลา 16.30 น. เพื่อลดภาระงานล่วงเวลาและแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยวิธีการดังกล่าวนี้ พบว่าสามารถทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตสูงขึ้น อีกทั้งยังสามารถช่วยลดค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะจากเดิม 151.19 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน ลงเหลือ 144.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน และผลจากการปรับปริมาณการผลิตให้เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดตลอดฤดูกาลลดลงจากเดิม 5 วัน เป็นผลทำให้สามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิต ทำให้เกิดผลประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้าขึ้น จากเดิมใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิต 1,086,258 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ลดลงเหลือ 1,045,822 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเท่ากับ 33,560.6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง อีกทั้งยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ จากเดิม 3,345,726.4 บาท ลดลงเหลือ 3,243,476.9 บาท ซึ่งก่อให้เกิดผลประหยัดเท่ากับ 102,249.53 บาท

4.2 แนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าฤดูกาลผลิต Winter Crop

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงศึกษาพฤติกรรมการผลิตของฤดูกาลผลิต Winter Crop ตั้งแต่วันที่ 14 ม.ค – 26 ก.พ. 2562 พบว่าฤดูกาลผลิตดังกล่าวเป็นฤดูกาลผลิตที่มีปริมาณการผลิตน้อยที่สุดโดยมีปริมาณการผลิตทั้งหมด 2,104 ตัน และมีพฤติกรรมการผลิตที่แตกต่างจากฤดูกาลผลิตอื่นๆ เนื่องจากฤดูกาลผลิตดังกล่าวนี้เป็นฤดูกาลที่สามารถเก็บเกี่ยวถั่วแระได้น้อย ส่งผลให้ฝ่ายส่งเสริมการผลิตสามารถจัดหาวัตถุดิบจากผู้ประกอบการแต่ละแหล่งได้ปริมาณที่ไม่มากนัก ซึ่งแต่ละแหล่งจะถูกส่งเข้าโรงงานตั้งแต่เย็นไปจนกระทั่งตอนเช้าของอีกวันหนึ่งเพื่อสะสมปริมาณถั่วแระให้ได้มากที่สุดจากนั้นจะทำการเริ่มการผลิต ซึ่งแต่ละวันจะทำการเริ่มผลิต ณ เวลาประมาณ 8.00 น. เป็นต้นไปจนกว่าวัตถุดิบจะหมด ซึ่งเวลาสิ้นสุดในแต่ละวันจะแตกต่างกันออกไปตามปริมาณและอัตราการป้อนวัตถุดิบขาเข้า โดยจากข้อมูลปริมาณกาลผลิตในแต่ละวันพบว่าปริมาณการผลิตจะอยู่ในช่วง 30-70 ตัน/วัน ซึ่งเป็นช่วงการผลิตที่น้อยกว่า 100 ตัน/วัน ส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะสูงและมีการกระจายตัวอย่างมาก ดังนั้นแนวทางการจัดการผลิตสำหรับฤดูกาลผลิตนี้จะเน้นไปในทิศทางการเพิ่มกำลังการผลิตให้มากกว่า 100 ตัน/วัน โดยในส่วนนี้ได้กำหนดให้การผลิตต่อวันจะต้องผลิตให้ถึง 110 ตัน/วัน เพื่อให้สะดวกต่อการเปรียบเทียบกับแนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าของฤดูกาล Spring Crop ที่จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป โดยข้อมูลของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของฤดูกาลผลิต Winter Crop แสดงในภาพที่ 33

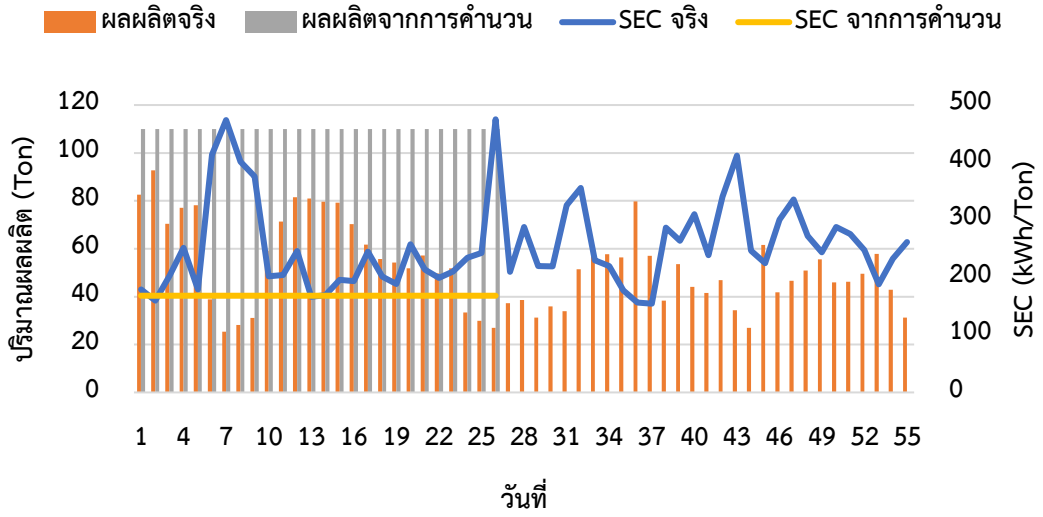



**ภาพที่ 33** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของฤดูกาลผลิต Winter Crop

จากภาพที่ 33 หากจำลองปริมาณการผลิตในแต่ละวันเป็น 110 ตัน/วัน ถึงแม้ว่าส่งผลให้เวลาเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตในแต่ละวันเพิ่มมากขึ้นโดยเสร็จสิ้นเวลาประมาณ 19.00-20.00 น. พบว่าสามารถช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะลง และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตอีกทั้งยังสามารถช่วยลดค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะจากเดิม 181.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน ลงเหลือ 168.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน และผลจากการปรับปริมาณการผลิตให้เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดตลอดฤดูกาลลดลง 19 วัน เป็นผลทำให้สามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการผลิตที่ปริมาณผลผลิต 2,107 ตัน จากเดิม 380,016 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ลงเหลือ 351,657.7 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นผลประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 28,358.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และที่สำคัญยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลง อันเนื่องมาจากผลของการเพิ่มปริมาณการผลิตทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak ของช่วงวันหยุดราชการ และวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ เพิ่มมากขึ้น และจากการลดจำนวนวันและเพิ่มปริมาณการผลิตทำให้การใช้พลังงานในช่วง On Peak ลดลง ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากเดิม 1,416,776.40 บาท ลดลงเหลือ 1,312,880.40 บาท ซึ่งสามารถคำนวณผลประหยัดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 103,896.00 บาท

4.3 แนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าฤดูกาลผลิต Spring Crop

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงศึกษาพฤติกรรมการผลิตของฤดูกาลผลิต Spring Crop ตั้งแต่วันที่ 15 มิ.ย – 17 ส.ค. 2562 พบว่าโดยปกติฤดูกาลผลิตดังกล่าวจะเป็นฤดูกาลที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุดแต่ในช่วงที่ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น มีปัญหาภัยแล้งจึงส่งผลให้ปริมาณวัตถุดิบขาเข้าน้อยกว่าทุกปี ทำให้มีปริมาณการผลิต 30-95 ตัน/วัน ซึ่งเป็นช่วงการผลิตที่น้อยกว่า 100 ตัน/วัน ดังนั้นสำหรับในฤดูกาลนี้จะเป็นการแสดงแนวทางในการจัดการกรณีที่ปริมาณการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด เพื่อทำให้กระบวนการผลิตทำงานได้งานอย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งผู้วิจัยนำแนวทางจากการจัดการเช่นเดียวกันกับของฤดูกาลผลิต Winter Crop มาใช้ ด้วยความสะดวกในการขนส่งวัตถุดิบทำให้สามารถเริ่มกระบวนการผลิตได้ตั้งแต่ตอนกลางคืนและไปเสร็จสิ้นในช่วงเช้าของอีกวันซึ่งพบว่าปกติจะเริ่มเวลาผลิตประมาณ 22.30-23.30 น. โดยข้อมูลของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของฤดูกาลผลิต Spring Crop ดังแสดงในภาพที่ 34




**ภาพที่ 34** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของฤดูกาลผลิต Spring Crop

จากภาพที่ 34 จะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตในแต่ละวันจะเพิ่มมากขึ้นโดยจะถูกกำหนดให้ผลิต 110 ตัน/วัน ส่งผลให้เวลาเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตในแต่ละวันเสร็จสิ้นประมาณเวลา 10.00-11.00 น. จากการดำเนินงานในลักษณะนี้ พบว่าสามารถช่วยลดการกระจายตัวของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต อีกทั้งยังสามารถช่วยลดค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะลงจากเดิม 254.60 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน เหลือ 168.71 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน และผลจากการปรับปริมาณการผลิตให้เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดตลอดฤดูกาลลดลงถึง 29 วัน เป็นผลทำให้สามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิตซึ่งทำให้เกิดผลประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้าขึ้นจากการผลิตเดิมจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิต 684,766 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ลดลงเหลือ 481,215 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นผลประหยัดของพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการผลิตเท่ากับ 203,946 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และที่สำคัญยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ เนื่องจากจากการดำเนินงานในลักษณะนี้นอกจากจะลดจำนวนวันในการผลิตที่มีผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไม่เกี่ยวข้องต่อปริมาณผลผลิต ยังสามารถช่วยเพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak ในแต่ละวันและช่วงวันหยุดราชการต่างๆ รวมถึงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ เพิ่มมากขึ้น และจากการลดจำนวนวันเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตยังส่งผลให้การใช้พลังงานในช่วง On Peak ลดลง ทำให้เกิดผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากเดิม 1,863,111.70 บาท ลดลงเหลือ 1,379,068.50 บาท สามารถคิดเป็นผลประหยัดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 484,043.20 บาท

จากแนวทางการจัดการพลังงานทั้ง 3 ฤดูกาล สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณการผลิตต่อวันให้เหมาะสมต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิตของ IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 สามารถช่วยลดการกระจายตัวของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะได้และที่สำคัญยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตให้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพบว่าการผลิตตั้งแต่ 100 ตัน/วัน ขึ้นไป จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นเพิ่มสูงได้อย่างชัดเจน ซึ่งจากงานวิจัยได้กำหนดให้ปริมาณการผลิตต่อวันจะต้องไม่น้อยกว่า 110 ตัน/วัน เพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak ให้ได้มากที่สุด จากการจำลองการดำเนินงานในลักษณะดังกล่าวสามารถช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่มีปริมาณการผลิตใกล้เคียงกันของวันที่ 6 กับ 9 ตุลาคม 2562 และวันที่ 3 กับ 11 พฤศจิกายน 2562 โดยในแต่ละวันมีค่าปริมาณผลผลิตเท่ากับ 111.14 114.10 113.57 และ 110.76 ตัน/วัน ตามลำดับ และมีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเท่ากับ 144.06 139.96 142.10 และ 133.88 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการทำนายของค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่มีค่าเท่ากับ 168.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน คิดเป็นผลต่างเฉลี่ยเท่ากับ 28.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน โดยสาเหตุเนื่องจากปัญหาส่วนใหญ่ที่มักพบที่ทำให้ในแต่ละวันมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แตกต่างกัน คืออัตราการป้อนวัตถุดิบของแต่ละวันที่มีความแตกต่างกันซึ่งมีผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และระยะเวลาในการผลิต และจากวันดังกล่าวที่ได้นำมาทำการเปรียบเทียบพบว่าใช้ระยะเวลาในการผลิตเพียง 12 ชั่วโมง ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าในวันนั้นมีอัตราการป้อนวัตถุดิบที่เต็มพิกัดของเครื่องจักรซึ่งแตกต่างจากวันอื่น จึงเป็นผลทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่ำกว่าค่าที่ได้จากสมการทำนาย ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของทั้ง 3 ฤดูกาลผลิต โดยในแต่ละวันมีพฤติกรรมการผลิตที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้กล่าวมาทั้งหมดวิธีการที่จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตนอกจากการเพิ่มปริมาณการผลิตที่เหมาะสมต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิต คือการควบคุมอัตราการป้อนวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของทั้ง 4 วัน มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย

5. ผลการเปรียบเทียบข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละฤดูกาลผลิต

จากผลการศึกษาข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละฤดูกาลผลิตจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกัน อันเป็นผลจากความเหมาะสมของสภาพภูมิอากาศในการเพาะปลูกถั่วแระและการขนส่งทำให้ช่วง Winter Crop นั้นมีปริมาณผลผลิตที่น้อยมากที่สุด ส่วนฤดูกาลที่มีปริมาณการ

ผลิตมากที่สุดคือ Spring Crop รองลงมาคือ Autumn Crop แต่เนื่องด้วยปัญหาทางสภาพภูมิอากาศในช่วง ปี 2562 จึงส่งผลให้ดูกาลผลิต Spring Crop มีปริมาณการผลิตที่น้อยลงกว่าปกติ และจากความแตกต่างของปริมาณการผลิตจึงส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้า จำนวนวันในการผลิต และค่าพลังงานไฟฟ้ามีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 11

**ตารางที่ 11** ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนดำเนินการจัดการพลังงาน

| รายการ | ฤดูกาลผลิต | | |
|---|---|---|---|
| | Autumn Crop | Winter Crop | Spring Crop |
| ปริมาณผลผลิต (ตัน) | 7287.2 | 2107.0 | 2875.0 |
| พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) | 1,086,258 | 380,016 | 685,162 |
| จำนวนวัน (วัน) | 47 | 38 | 55 |
| พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (kWh/ตัน) | 151.2 | 181.2 | 254.6 |
| ค่าไฟฟ้า (บาท) | 3,345,726.4 | 1,416,776.4 | 1,863,111.7 |

เมื่อพิจารณาที่ปริมาณการผลิตของ Winter Crop และ Spring Crop จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตกลับมีความแตกต่างกันมาก อันเนื่องจากพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักรและจำนวนวันที่ใช้ในการผลิตมีความแตกต่างกัน โดยในฤดูกาลผลิต Winter Crop มีพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักรเพียง IQF 1 ในการผลิตถั่วแระแช่แข็ง ส่วน Spring Crop ใช้งานเครื่องแช่แข็ง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ซึ่งทั้ง 2 ฤดูกาลผลิตมีปริมาณการผลิตในแต่ละวันไม่ถึง 110 ตัน/วัน จึงส่งผลให้ฤดูกาล Spring Crop มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่สูงกว่า Winter Crop ผนวกกับในฤดูดังกล่าวมีปัญหาเกี่ยวกับระบบปั้มของเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่ทำหน้าที่ให้กับระบบปรับอากาศและบ่อลดอุณหภูมิทำให้ต้องมีการเดินระบบคอมเพรสเซอร์สำรองเข้ามาทำหน้าที่ชดเชย ซึ่งคอมเพรสเซอร์เครื่องนี้มีขนาดใหญ่จึงทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ ดังนั้นเมื่อทำการคำนวณผลประหยัดจากการดำเนินงานการจัดการพลังงานไฟฟ้าในฤดูกาล Spring Crop จึงก่อให้เกิดผลประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ และค่าไฟฟ้าที่ลดลงอย่างมาก (ตารางที่ 12) โดยจากเดิมจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิต 685,162 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ลดลงเหลือ 481,216 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นผลประหยัดที่เกิดขึ้น

203,946 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือร้อยละ 29.8 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งส่งผลให้สามารถลดค่าไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและจำนวนวันในการผลิตได้เท่ากับ 484,043 บาท 86.46 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน และ 29 วัน ตามลำดับ

**ตารางที่ 12** ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังดำเนินการ

| รายการ | ฤดูกาลผลิต | | |
|---|---|---|---|
| | Autumn Crop | Winter Crop | Spring Crop |
| ปริมาณผลผลิต (ตัน) | 7275.5 | 2,090.0 | 2,860.0 |
| พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) | 1,052,697.4 | 351,657.7 | 481,215.8 |
| จำนวนวัน (วัน) | 42 | 19 | 26 |
| พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน) | 144.8 | 168.3 | 168.3 |
| ค่าไฟฟ้า (บาท) | 3,243,476.9 | 1,312,880.4 | 1,379,068.5 |

ส่วน Winter Crop จะเห็นได้ว่าจากผลการจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็น ถึงแม้จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตลงได้ แต่ผลประหยัดที่เกิดขึ้นถือได้ว่าน้อยมาก ถึงแม้จะสามารถช่วยลดจำนวนวันที่ใช้ในการผลิตได้มากถึง 19 วันก็ตาม ด้วยเหตุนี้จึงแสดงให้เห็นว่าการพฤติกรรมการผลิตโดยใช้เครื่อง IQF 1 เพียงตัวเดียวกับพฤติกรรมการผลิตโดยใช้เครื่อง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตถั่วแระแช่แข็งที่ปริมาณการผลิต 2,107 ตัน ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ใช้ระยะเวลาในการผลิตรวมถึงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในการผลิตแตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการผลิตโดยใช้ IQF 1 เพียงตัวเดียวจะต้องใช้ระยะเวลาในการผลิตถึง 38 วัน แต่เมื่อใช้งานเครื่อง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 จะใช้ระยะเวลาเพียง 19 วัน และด้วยจากผลของการเพิ่มปริมาณการผลิตในแต่ละวันให้เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้สามารถช่วยเพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak วันหยุดราชการ และวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ เพิ่มมากขึ้น และจากการลดจำนวนวันยังส่งผลให้การใช้พลังงานในช่วง On Peak ลดลง ดังนั้นจึงสามารถทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลดลง จากเดิมสูญเสียค่าไฟฟ้าเท่ากับ 1,416,776 บาท ลดลงเหลือ 1,312,880 บาท สามารถคิดเป็นผลประหยัดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 103,896 บาท ดังนั้นจึงสามารถ

สรุปได้ว่าที่ปริมาณการผลิตน้อยกว่า 100 ตัน/วัน สามารถจัดการโดยการใช้เครื่อง IQF 1 เพียงตัวเดียว ซึ่งให้ผลในเรื่องของพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายที่ไม่แตกต่างกัน

จากการเปรียบเทียบการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของฤดูกาลผลิต Winter Crop และ Spring Crop แสดงให้เห็นถึงผลของการเพิ่มปริมาณการผลิตให้ได้ 110 ตัน/วัน ซึ่งเป็นปริมาณการผลิตที่เหมาะสมต่อการใช้งานเครื่อง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 จากการดำเนินงานในลักษณะนี้ทำกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะด้วย และเมื่อทำการพิจารณาในส่วนของฤดูการผลิต Autumn Crop พบว่าในแต่ละวันนั้นมีปริมาณการผลิตที่มากกว่า 100 ตัน/วัน ดังนั้นเป้าหมายของการจัดการพลังงานไฟฟ้าในฤดูกาลผลิตนี้จะมุ่งเน้นการเพิ่มปริมาณการผลิตต่อวันให้ได้มากที่สุด ซึ่งจากการดำเนินงานในลักษณะนี้จะเห็นได้ว่าสามารถช่วยลดจำนวนวันในการผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลงได้ โดยเฉพาะค่าไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าถึงแม้จะลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และจำนวนวันในการผลิตได้น้อยแต่ค่าไฟฟ้ากลับลดลง อันเป็นผลจากการเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากขึ้นโดยเฉพาะในช่วง Off Peak วันหยุดราชการ และวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ จึงส่งผลให้สามารถลดค่าไฟฟ้าจากเดิม 3,345,726.40 บาท ลงเหลือ 3,243,476.90 บาท คิดเป็นผลประหยัดของค่าไฟฟ้าเท่ากับ 102,249.53 บาท

6. ผลการเปรียบเทียบการเดินเครื่องจักรในแต่ละฤดูกาลผลิต

จากผลการศึกษาข้อมูลพฤติกรรมการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละฤดูกาลผลิต พบว่า ฤดูกาลผลิต Autumn Crop และ Spring Crop มีพฤติกรรมการผลิตที่เหมือนกันคือจะเริ่มการผลิตตั้งแต่ช่วงหัวค่ำ โดยช่วงเวลาเริ่มการผลิตจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเวลาการนำเข้าวัตถุดิบซึ่งเกษตรกรมีการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ในช่วงเช้าสิ้นสุดช่วงเย็น จากนั้นช่วงหัวค่ำจะมีการนำถั่วแระส่งโรงงาน จึงทำให้การผลิตเริ่มในช่วงดังกล่าว (ช่วง On Peak) แล้วดำเนินการผลิตจนกระทั่งวัตถุดิบทั้งหมดถูกแปรรูปเป็นที่เรียบร้อย ซึ่งเวลาสิ้นสุดกระบวนการผลิตจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบที่รับเข้ามา โดยหากมีปริมาณวัตถุดิบมาก จะส่งผลให้สายการผลิตไม่สามารถดำเนินการให้เสร็จสิ้นทันในช่วงเวลา Off Peak (เกิน 09.00 น. ของวันถัดไป) เนื่องจากอัตราการผลิตที่จำกัดของเครื่องจักร จึงทำให้มีการผลิตในช่วง On Peak เพิ่มมากยิ่งขึ้น แต่ในส่วนของ Winter Crop จะมีพฤติกรรมการผลิตที่คล้ายคลึงกันกับอีก 2 ฤดูกาลที่ได้กล่าวไป แต่จะเริ่มการผลิตในช่วงเช้า เนื่องจากในช่วงฤดูกาลดังกล่าวเป็นช่วงที่สามารถปลูกถั่วแระได้ผลผลิตในปริมาณน้อยและต้องขนส่งไกล จึงทำให้ต้องเริ่มการผลิตในช่วงเช้าของวันถัดไป และในส่วนของฤดูกาลผลิต Autumn Crop เนื่องจากในแต่ละวันจะมีปริมาณการผลิตมากกว่า 110 ตัน/วัน ดังนั้นในฤดูกาลนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการเพิ่ม

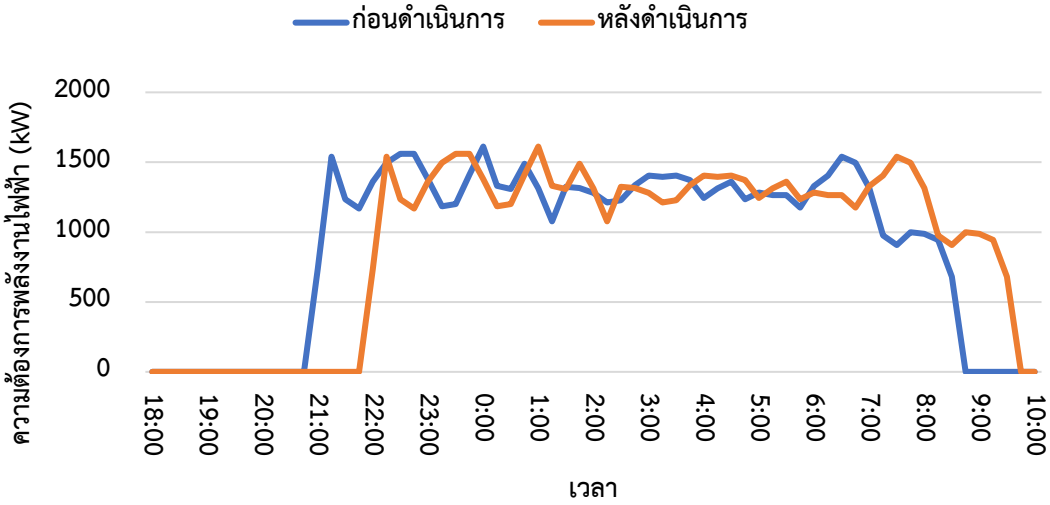
ปริมาณการผลิตในแต่ละวันให้ได้มากที่สุด โดยกำหนดให้ในแต่ละวันจะสิ้นสุดกระบวนการผลิตไม่เกินเวลา 16.30 น. ซึ่งจากการดำเนินแนวทางการจัดการพลังงานในแต่ละฤดูกาลผลิตจึงส่งผลให้มีเวลาในการเปิด-ปิดเครื่องจักรที่แตกต่างกันโดยมีรายละเอียดดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 13

**ตารางที่ 13** ตัวอย่างเวลาในการเปิด-ปิดเครื่องจักร

| | ก่อนดำเนินการ | | | หลังดำเนินการ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ฤดูกาลผลิต** | **ผลผลิต (ตัน/วัน)** | **เปิด** | **ปิด** | **ผลผลิต (ตัน/วัน)** | **เปิด** | **ปิด** |
| Autumn Crop | 131.95 | 21:00 | 11:45 | 180.00 | 21:25 | 9:00 |
| | 158.522 | 21:30 | 13:15 | 185.00 | 21:25 | 9:00 |
| | 186.644 | 23:15 | 18:30 | 162.50 | 21:25 | 9:00 |
| | 206.596 | 22:00 | 19:45 | 175.00 | 21:30 | 9:00 |
| Winter Crop | 49.17 | 7:45 | 16:30 | 110.00 | 7:45 | 19:45 |
| | 54.18 | 8:00 | 16:00 | 110.00 | 8:15 | 20:15 |
| | 63.21 | 7:45 | 16:45 | 110.00 | 7:45 | 19:45 |
| | 70.02 | 7:45 | 17:45 | 110.00 | 7:45 | 19:45 |
| Spring Crop | 54.23 | 23:15 | 7:00 | 110.00 | 23:15 | 23:15 |
| | 70.33 | 23:00 | 7:45 | 110.00 | 23:00 | 11:00 |
| | 81.02 | 23:00 | 9:15 | 110.00 | 23:00 | 11:00 |
| | 92.67 | 21:15 | 8:00 | 110.00 | 21:15 | 9:15 |

จากตารางที่ 13 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาในการผลิตส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง On Peak อีกทั้งยังมีการใช้ประโยชน์ของการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak ได้อย่างไม่เต็มที่ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตมักจะเริ่มหลังจาก 22:00 น. และเสร็จก่อนเวลา 9:00 น. ของวันถัดไป ซึ่งช่วงดังกล่าวนี้มีอัตราการคิดค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่าช่วง On Peak และที่สำคัญจะไม่ถูกคิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ดังนั้นวิธีการที่จะสามารถผลิตในช่วง Off Peak ให้มากที่สุด กระบวนการผลิตในแต่ละวันควรจะผลิตให้ได้ไม่น้อยกว่า 100-110 ตัน/วัน ตามพิกัดของเครื่องจักรในช่วง Off Peak โดยเริ่มการผลิตตั้งแต่เวลาประมาณ 22.00 น. เป็นต้นไป ซึ่งจะทำให้กระบวนการผลิตเสร็จสิ้นที่เวลาประมาณ 9.15 - 9.30 น. ของวันถัดไป โดยเหตุผลที่ควรเริ่มกระบวนการผลิตก่อนช่วง On Peak เป็นเวลาประมาณ

30 นาที เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนป้อนวัตถุดิบ ซึ่งในช่วงนี้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ายังไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับตอนเริ่มป้อนวัตถุดิบเข้าสู่สายการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 35 จะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มนำถั่วเข้าสู่การผลิตจะทำค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิม 736 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นช่วงเตรียมความพร้อมของเครื่องจักรเป็น 1,540 กิโลวัตต์ และจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามอัตราการป้อนวัตถุดิบและจะเพิ่มสูงอีกครั้งตอนใกล้สิ้นสุดกระบวนการผลิต ซึ่งจากการดำเนินงานจะทำให้ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าขณะเริ่มป้อนวัตถุดิบถูกขยับไปอยู่ในช่วง Off Peak แทน ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ถึง 106,875.72 บาท ตามอัตราการคิดค่าไฟฟ้าที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 [(1,540-736)×132.93]




**ภาพที่ 35** การเปรียบเทียบความต้องการพลังไฟฟ้าก่อนและหลังดำเนินการ

7. ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลประหยัดค่าไฟฟ้า

จากกรณีศึกษาดังกล่าวเมื่อดำเนินตามแนวทางในการลดค่าไฟฟ้าที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ ซึ่งอยู่ในช่วงวันที่ 21 ก.ย. 2561 จนถึงวันที่ 19 ส.ค. 2562 เมื่อนำข้อมูลการผลิตและข้อมูลการใช้ไฟฟ้าทั้งก่อนและหลังดำเนินการมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยคำนวณหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ($SEC_E$) จากสมการที่ (2) จึงสามารถคำนวณผลประหยัดต่างๆ ซึ่งได้แก่ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า ค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ รวมถึงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 14 จะเห็นได้ว่าหลังดำเนินการตามแนวทางการจัดการพลังงานสามารถทำให้เกิดผลประหยัดขึ้นในระบบการทำความเย็นของแต่ละฤดูกาล โดยฤดูกาล Autumn Crop, Winter Crop และ Spring Crop สามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีค่า

ลดลงจากเดิม 2,151,436 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เหลือเพียง 1,885,571 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 12.36 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ($SEC_E$) มีแนวโน้มลดลงจากเดิม 195.7 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน เหลือเพียง 160.45 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน คิดเป็นร้อยละ 18.02 ค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงจาก 540.02 บาทต่อตัน เหลือเพียง 485.50 บาทต่อตัน คิดเป็นร้อยละ 10.10 แต่เมื่อพิจารณาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้าจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak เพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมจึงส่งผลทำให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.17 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เบญจพร (2559) Kulkarni and Katti (2010) และ Paracha and Doulai (1998) ที่ได้ศึกษาผลการเพิ่มระยะเวลาการทำงานในช่วง Off Peak และการควบคุมอัตราการผลิตให้มีความสม่ำเสมอ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษานี้ และสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้

**ตารางที่ 14** การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลประหยัดก่อนและหลังดำเนินงาน

| รายการ | Autumn Crop | | Winter Crop | | Spring Crop | | ผลรวม | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ก่อน | หลัง | ก่อน | หลัง | ก่อน | หลัง | ก่อน | หลัง | ผลต่าง |
| 1. ปริมาณผลผลิต (ตัน) | 7,287.19 | 7,275.50 | 2,107.04 | 2,090.00 | 2,875.00 | 2,860.00 | 12,269 | 12,226 | 43.72 |
| 2. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) | 1,086,258 | 1,052,697 | 380,016 | 351,658 | 685,162 | 481,216 | 2,151,436 | 1,885,571 | 265,865 |
| 3. ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (kWh/ตัน) | 151.19 | 144.82 | 181.20 | 168.26 | 254.72 | 168.26 | 195.70 | 160.45 | 35.26 |
| 4. ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า (บาท/kWh) | 3.08 | 3.08 | 3.73 | 3.73 | 2.72 | 2.87 | 3.08 | 3.15 | -0.07 |
| 5. ค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ (บาท/ตัน) | 459.12 | 445.81 | 672.40 | 628.17 | 648.04 | 482.19 | 540.02 | 485.50 | 54.52 |
| 6. ค่าไฟฟ้า (บาท) | 3,345,726 | 3,243,477 | 1,416,776 | 1,312,880 | 1,863,112 | 1,379,069 | 6,625,615 | 5,935,426 | 690,189 |

# บทที่ 5
# สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการทำความเย็นของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง ณ บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของแต่ละฤดูกาลผลิตซึ่งพบว่า Spring Crop มีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะสูงที่สุด รองลงมาคือ Winter Crop และ Autumn Crop ตามลำดับ เท่ากับ 254.60 181.20 และ 151.19 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน เนื่องจากพฤติกรรมการผลิตที่แตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบแนวทางในการจัดการพลังงานให้เหมาะสมต่อปริมาณการผลิตในแต่ละฤดูกาล โดยจากการดำเนินงานก่อให้เกิดผลประหยัดในด้านต่างๆ ดังนี้

1. การปรับเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากถึงจุดที่อัตราส่วนของค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิตมีผลต่อค่าพลังงานจำเพาะน้อยลง พบว่าสามารถช่วยลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตได้มากขึ้น สามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะลง 35.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน คิดเป็นร้อยละ 18.02 ของค่าเฉลี่ยค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะทั้งหมด

2. การลดจำนวนวันที่ใช้ในการผลิตสามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิตในแต่ละวันทำให้เกิดผลประหยัดของการผลิตที่ช่วง Off Peak เพิ่มมากขึ้น พบว่า การลดจำนวนวันในการผลิตทั้งหมด 29 วัน ทำให้ลดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการผลิตลง 265,865.11 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 12.36 ของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด และลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 690,188.74 บาท คิดเป็นร้อยละ 10.42 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

3. การใช้งานเครื่องจักร (IQF 1) ที่กำลังการผลิต 7 ตันต่อชั่วโมง (ของปริมาณการผลิตช่วง 30-70 ตัน/วัน) มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่มากกว่าการเดินเครื่องจักรที่กำลังการผลิต 7 ตัน/ชั่วโมง ร่วมกับ (IQF 2) 3 ตัน/ชั่วโมง (ของปริมาณการผลิตที่ 110 ตัน/วัน) เพียงร้อยละ 7.26 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด และร้อยละ 7.33 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด แต่ใช้จำนวนวันในการผลิตมากกว่าการเดินเครื่องที่กำลังการผลิต 7 ตัน/ชั่วโมง ร่วมกับ 3 ตัน/ชั่วโมง ถึง 19 วัน คิดเป็นร้อยละ 50.00 ของจำนวนวันที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด

4. การเพิ่มปริมาณการผลิตให้เหมาะสมต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการผลิตของแต่ละวัน สามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ซึ่งจากการเพิ่มปริมาณการผลิตของ IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 ต่อวันให้ไม่น้อยกว่า 100 ตัน สามารถลดค่าพลังงานจำเพาะ 86.46 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน คิดเป็นร้อยละ 33.94 ของค่าเฉลี่ยค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะทั้งหมด และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 484,043 บาท คิดเป็นร้อยละ 25.98 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

5. การขยับช่วงเวลาการป้อนวัตถุดิบให้อยู่ในช่วง Off Peak และควบคุมเวลาเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตให้อยู่ช่วง 9:00 - 9:15 น. สามารถช่วยลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า 804 กิโลวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 52.21 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งก่อให้เกิดผลประหยัดด้านค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 106,875.72 บาท

จากการดำเนินงานทั้งหมดจึงสามารถสรุปแนวทางการผลิตที่เหมาะสมให้แก่บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ได้ว่าในการผลิตที่มีการใช้งานเครื่อง IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 จะต้องผลิตให้ไม่น้อยกว่า 100 ตัน/วัน เพื่อลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ส่วนในกรณีที่ผลิตไม่ถึง 100 ตัน/วัน ควรใช้ใช้ IQF 1 เพียงตัวเดียวในการผลิตเนื่องจากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้ด้านพลังงานที่มากกว่าการผลิตที่ 110 ตัน/วัน ของ IQF 1 ร่วมกับ IQF 2 เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้แนวทางในการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ได้กล่าวไปเป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นเพื่อให้โรงงานเห็นถึงความสำคัญในการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงกระตุ้นให้โรงงานเห็นความสำคัญต่อการจัดการปริมาณการผลิตให้เหมาะสมต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็น ซึ่งจะทำให้กระบวนการผลิตมีการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และยังเป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในการผลิตได้อีกด้วย

## ข้อเสนอแนะ

เพื่อหาแนวทางในการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง โรงงานสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบริการจัดการปริมาณการผลิตให้เหมาะสมกับหน้างานจริงในทางปฏิบัติได้ โดยไม่มีการลงทุน ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ ทั้งนี้เพื่อให้งานวิจัยเกิดการพัฒนาและเกิดประโยชน์แก่โรงงานในกรณีศึกษาต่อไป ผู้วิจัยมองเห็นการนำไปใช้และการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับงานวิจัย ดังนี้

1. โรงงานควรมีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์ในทุกสัปดาห์หรือทุกเดือน เพื่อนำมาคำนวณดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะช่วยให้โรงงานมีข้อมูลในการพิจารณาหรือตรวจติดตามด้านการจัดการพลังงานไฟฟ้าต่อไป

2. โรงงานควรมีการเก็บข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของการใช้เครื่อง IQF 1 เพียงตัวเดียวในการผลิตเพิ่มเติม โดยเฉพาะในช่วง 60 ตัน/วัน เป็นต้นไป เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้หาค่าปริมาณการผลิตที่เหมาะสมที่สามารถทำให้อัตราส่วนของค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิตมีผลต่อค่า SEC น้อยที่สุด

3. เนื่องจากกระบวนการผลิตของโรงงานมีหลากหลายประเภท ไม่เพียงแต่สายการผลิตถั่วแระแช่แข็ง ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการพลังงานกับสายการผลิตอื่นๆ ได้ เนื่องจากสายการผลิตอื่นๆ ประกอบด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเช่นกัน

# ภาคผนวก

# ESTACON 10th 2019

10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 10
เฉลิมพระเกียรติ เนื่องในโอกาสมหามงคลพระราชพิธีบรมราชาภิเษก

**30 สิงหาคม 2562**

**ณ อาคารขวัญแก้ว มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล**

## ความท้าทายด้านวิศวกรรมในอนาคต
## Engineering Challenge Future

### กลุ่มผลงานวิจัยที่นำเสนอ (รูปแบบบทความและโปสเตอร์)

**> กลุ่มวิศวกรรมโยธา : CE**

วิศวกรรมโครงสร้าง, วิศวกรรมวัสดุก่อสร้าง, วิศวกรรมการบริหารงานก่อสร้าง, วิศวกรรมเทคนิคธรณี, วิศวกรรมขนส่งจราจรและโลจิสติกส์, วิศวกรรมแหล่งน้ำ, วิศวกรรมสำรวจและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม , วิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐาน, วิศวกรรมโยธาและการศึกษา

**> กลุ่มวิศวกรรมไฟฟ้า : EE**

ไฟฟ้า, คอมพิวเตอร์, อิเล็กทรอนิกส์, โทรคมนาคม, แมคคาทรอนิกส์ทางวิศวกรรมไฟฟ้า

**> กลุ่มวิศวกรรมเครื่องกล : ME**

กลศาสตร์ประยุกต์วัสดุและกระบวนการผลิต, ระบบควบคุมและการสั่นสะเทือน, เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน, กลศาสตร์การไหลและระบบทางความร้อน, พลังงานทดแทนและการพาไหม้, แมคคาทรอนิกส์ทางวิศวกรรมเครื่องกล, วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร, วิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรสภาพ

**> กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี : ST**

เทคโนโลยีมัลติมีเดีย, วิทยาศาสตร์ประยุกต์, วิศวกรรมชีวภาพ, เทคโนโลยีนวัตกรรมเกษตร, วิทยาการคอมพิวเตอร์, สาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

**> กลุ่มวิศวกรรมอุตสาหการ : IE และสถาปัตยกรรมศาสตร์ : AR**

การจัดการงานวิศวกรรม, กรรมวิธีการผลิต, วิศวกรรมวัสดุ, โรงงานอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์, การศึกษางานและการยศาสตร์, การวางแผนการผลิตและการดำเนินงานวิจัย, สถาปัตยกรรม, สถาปัตยกรรมภายในผังเมือง, ผังเมือง

### กำหนดการ

| | |
|---|---|
| 1 เมษายน 2562 - 15 มิถุนายน 2562 | สมัคร ส่งบทคัดย่อ และบทความฉบับเต็ม |
| 20 มิถุนายน 2562 | ประกาศรายชื่อบทคัดย่อ |
| 20 มิถุนายน 2562 – 20 กรกฎาคม 2562 | ส่งบทความฉบับเต็ม |
| 31 กรกฎาคม 2562 | ส่งบทความฉบับสมบูรณ์ |
| 1 เมษายน 2562 – 31 กรกฎาคม 2562 | ลงทะเบียนและชำระเงิน |

### อัตราค่าลงทะเบียน

**> อาจารย์ และบุคคลทั่วไป**

- บทความที่ 1 : 2,500 บาท
- บทความที่ 2 : 1,500 บาท
- บทความที่ 3 ขึ้นไป : ไม่มีค่าใช้จ่าย

**> นักศึกษา และนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา**

- บทความที่ 1 : 1,500 บาท
- บทความที่ 2 : 1,000 บาท
- บทความที่ 3 ขึ้นไป : ไม่มีค่าใช้จ่าย

**> ลงทะเบียนโดยไม่นำเสนอ**

- ค่าลงทะเบียน 800 บาท ต่อคน

**สมัครและลงทะเบียน** http://eng.vu.ac.th/estacon2019


**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล**

84 หมู่ 4 ถ.มิตรภาพ ต.บ้านเกาะ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

http://eng.vu.ac.th/estacon2019

**ติดต่อสอบถามเพิ่มเติม**

โทร (044) 009711 ต่อ 247

มือถือ 081-5472923, 089-5787388

e-mail : eng_vu@vu.ac.th

ESTACON 10th

IE&AR32

# การจัดการพลังงานของระบบการทำความเย็นในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง

# Energy management of refrigeration system in frozen food industry

วิรวัฒน์ วงษ์ภักดี[1], ชนวัฒน์ นิพัศบัวจิตร[1,*], สัมเกียรติ จตุรงค์ลำเลิศ[1] และจตุพัทธ วายุฤทธิ์[1]

[1] คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ถนนเชียงใหม่-ฝาง ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

*ผู้ติดต่อ: n_chanawat@hotmail.com, Tel. 089-9975765, Fax. 053-878922

**บทคัดย่อ**

อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงเป็นอันดับต้นๆ และยังคงมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความต้องการของผู้บริโภค เป็นผลทำให้ต้องมีการขยายกำลังการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้โรงงานต่างๆ มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น การจัดการพลังงานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการลดการใช้พลังงานในระบบการทำความเย็นของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง โดยการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตในรูปแบบการวิเคราะห์สัมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายและวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า หาสัมการด้วยแทนการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มปริมาณการผลิตในช่วง Off Peak ให้มากยิ่งขึ้น และควบคุมอัตราการผลิตให้มีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม ลดลง 56,305 kWh และสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวน 169,944.83 บาท อีกทั้งส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีค่าลดลง 12.46 kWh/Ton (8.58%) ค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ลดลง 37.62 kWh/Ton (8.81%) ซึ่งแนวทางในการจัดการพลังงานนี้นอกจากจะช่วยลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ แต่ยังทำให้โรงงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** การจัดการพลังงาน, ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ, สัมการถดถอย

*Abstract*

Frozen food industry is the one of highest energy usage industry and continuously increasing according to demand of consumers. An energy management is extremely important. The objective of this research was to find the ways to reduce energy usage in refrigeration system of frozen green soybean production using simple linear regression and to find the relationship of energy consumption and production to analyze specific energy consumption ($SEC_p$) to explain energy usage behavior, energy consumption model and specific energy consumption. The result showed that the increasing of production rate to produce in Off Peak period and control production rate can reduce the energy usage in September and October to 56,305 kWh and save electric cost 169,944.83 baht. Moreover, the specific energy consumption decreased 12.46 kWh/Ton (8.58%), the electric cost per ton of product decreased

37.62 kWh/Ton (8.81%). In addition, it was not only reduce electrical energy usage but also improved the energy efficiency and energy management system of this industry.

*Keywords*: Energy management, energy efficiency, regression equation, specific energy consumption

## 1. บทนำ

ถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง (Green Soybean) เป็นผลิตภัณฑ์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนแทนเนื้อสัตว์ได้ ทำให้เป็นที่ต้องการของตลาดโดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นที่นิยมรับประทานเป็นอาหารว่างเกือบทุกครัวเรือน ส่งผลให้มีความต้องการบริโภคปีละไม่น้อยกว่า 150,000 Ton และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่องในทุกๆ ปี [1] เมื่อปริมาณการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคทำให้ต้องนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศ ซึ่งประเทศไทยจัดได้ว่าเป็นประเทศที่มีการผลิตและการส่งออกถั่วแระญี่ปุ่นมากเป็นอันดับ 3 ของโลก เนื่องจากเป็นประเทศที่มีต้นทุนในการผลิตน้อยและมีศักยภาพในการผลิตสูง โดยเทคโนโลยีที่นิยมนำมาใช้ในการแปรรูปอาหาร คือเทคโนโลยีแช่แข็ง เนื่องจากสามารถช่วยรักษาความสด รสชาติ สี รวมถึงสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้มากที่สุด อีกทั้งในสภาวะสังคมปัจจุบันเป็นสังคมที่มีความเร่งรีบสูงจึงส่งผลให้ผู้บริโภคหันมารับประทานอาหารประเภทนี้มากขึ้นทำให้อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งเติบโตมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ภาคอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยเป็นสาขาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 56.2 ของอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศและมีแนวโน้มสูงขึ้นปีละไม่ต่ำกว่าร้อยละ 3.4 [2] และยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากเป็นเช่นนี้อาจก่อให้เกิดการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าได้ในอนาคต และในแง่ของผู้ประกอบการพลังงานถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดราคาสินค้าดังนั้นการให้ความสำคัญในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมุ่งเน้นการลดและการใช้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ปริมาณงานที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง [3] จะสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มผลกำไรพร้อมเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับตลาดโลกได้มากยิ่งขึ้น

บริษัท ลาบบาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด เป็นอุตสาหกรรมการผลิตและส่งออก ผักผลไม้แช่แข็งและอาหารพร้อมรับประทานรายใหญ่ โดยถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็งถือได้ว่าเป็นสินค้าหลัก ซึ่งมีการผลิตเพื่อการส่งออกและจัดจำหน่ายภายในประเทศสูงเป็นอันดับ 2 ของประเทศ จากความต้องการบริโภคถั่วแระที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้โรงงานต้องขยายกำลังการผลิต ระบบทำความเย็นและเพิ่มจำนวนห้องแช่แข็ง ส่งผลให้ระบบทำความเย็นของโรงงานมีการใช้พลังไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 65 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด และเมื่อทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงดังกล่าวโรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่สัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตที่ได้ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าและเพิ่มต้นทุนของผลิตภัณฑ์ให้มีค่าสูงขึ้น

โรงงานแห่งนี้จัดอยู่ในข่ายการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU) ซึ่งการเข้าใจถึงการจัดการการใช้

พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และยังส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างคุ้มค่ามากขึ้น โดยที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยมากมายที่ให้ความสำคัญอาทิ [4,5] ได้ทำการศึกษาผลของเทคนิคการจัดการโหลดและวิธีการจัดการไประบบไฟฟ้า โดยเสนอเทคนิคการจัดการโหลดที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่ เทคนิคการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด เทคนิคการเพิ่มเวลาการทำงานในช่วง Off Peak และเทคนิคการย้ายเวลาการทำงานที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดไปทำงานในช่วง Off Peak โดยเทคนิคเหล่านี้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ นอกจากนี้ [6,7] ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต พบว่าการปรับเปลี่ยนเวลาในการเดินเครื่องจักรไม่ให้ทำงานพร้อมกันและควบคุมอัตราการผลิตให้มีความสม่ำเสมอสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและลดระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตได้อย่างชัดเจน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเอาความรู้ทางด้านการจัดการพลังงานมาประยุกต์ใช้โดยศึกษาและวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบการทำความเย็นเทียบกับปริมาณผลผลิตเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดเป้าหมาย อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ [8,9] จากนั้นจึงหาแนวทางในการจัดการการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับปริมาณการผลิตที่แตกต่างกันในแต่ละวัน ซึ่งจะส่งผลให้โรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่คุ้มค่ามากขึ้นและยังช่วยลดต้นทุนการผลิต รวมถึงเป็นการส่งเสริมการจัดการพลังงานอย่างเป็นรูปธรรม และเพิ่มโอกาสทางการแข่งขันกับบริษัทอื่นๆ ได้มากยิ่งขึ้น

## 2. หลุมฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU

การคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU เป็นการคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่แยกค่าความต้องการพลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าออกจากกัน โดยมีการแบ่งแยกค่าพลังงานไฟฟ้าให้มีอัตราที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาหรือช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้าโดย แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ On Peak (วันจันทร์ถึงวันศุกร์ เวลา 09.00-22.00 น.) และ Off Peak (วันจันทร์ถึงวันศุกร์ เวลา 22.00-9.00 น. และวันเสาร์ถึงวันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ ไม่รวมวันหยุดชดเชย เวลา 00.00-24.00 น.) โดยการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU จะคิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉพาะในช่วง On Peak เท่านั้น ส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าจะถูกคิดทั้งสองช่วงเวลา โดยมีรายละเอียดของอัตราค่าไฟฟ้าที่โรงงาน ถูกเรียกเก็บ ดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ที่ระดับแรงดัน 12-24 kV [10]

| ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/kW) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/kWh) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|
| On-Peak | On-Peak | Off-Peak | 312.24 |
| 132.93 | 4.2097 | 2.6295 | |

### 2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ กับตัวแปรตาม จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัว (ตัวแปรที่เป็นต้นเหตุ) กับตัวแปร

ตามหนึ่งตัว (ตัวแปรที่เป็นผล) หรือเรียกว่าการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นเดี่ยวหรือการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) การวิเคราะห์ในลักษณะนี้นอกจากจะทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองยังสามารถนำค่าของตัวแปรต้นเหตุไปทำนายหรือพยากรณ์ตัวแปรที่เป็นผลได้ พร้อมบอกขนาดของความสามารถในการทำนายหรือความสามารถในการอธิบายตัวแปรผลว่ามีมากน้อยเพียงใด

### 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

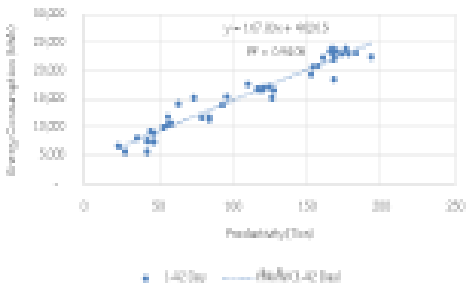
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการผลิตตั๋วแจะญี่ปุ่นแข็งและการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการทำความเย็นโดยอาศัยแนวทางของระบบการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy Monitoring and Targeting System : M&T) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการหาการจัดการพลังงานที่เหมาะสม โดยอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตเป็นตัวกำหนดและคาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคต แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการควบคุมการใช้พลังงาน และปรับปรุงพัฒนากระบวนการทำงานหรือกระบวนการผลิตให้ดียิ่งขึ้น [11] โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

3.1 การวัดผลและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการศึกษาและการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังจากนั้นจึงเข้าสำรวจเครื่องจักรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต สังเกตลักษณะการทำงาน เพื่อทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับสภาพการผลิต

3.2 การวิเคราะห์และการตีความข้อมูลการใช้พลังงาน

จากข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตที่ได้ทำการเก็บรวบรวมนำมาสร้างแผนภาพการกระจาย จะได้สมการเชิงเส้นที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูล ทั้งนี้จะให้ความสำคัญกับกรณีการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิต ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตตลอดช่วง 42 วัน

ซึ่งค่า $R^2$ มีค่าเท่ากับ 0.9405 แสดงว่าสมการถดถอยมีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากปริมาณความแปรปรวนของปริมาณการใช้พลังงานเกิดจากปริมาณการผลิตไม่น้อยกว่า 70 % จึงสามารถใช้สมการตัวแทนสำหรับการพยากรณ์การใช้พลังงานได้ โดยสมการเส้นตรงมีรูปแบบทั่วไปดังสมการที่ 1

$$y = mx+c \qquad (1)$$

เมื่อ y คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)

x คือ ปริมาณผลผลิตรายวัน (Ton)

m คือ ความชันของเส้นตรง หรือพลังงานที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วย (Productive Dependent Energy Consumption, PEC)

c คือ ค่าคงที่และจุดตัดแกน y หรือพลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิต (Unproductive Energy Consumption ; UEC)

ซึ่งสมการถดถอยเชิงเส้นที่สามารถนำมาใช้เป็นสมการตัวแทนในการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต คือ

$$y = 107.83x + 4,020.5; R^2 = 0.9808 \quad (2)$$

เมื่อ $y$ คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ซึ่งแปรเปลี่ยนตามวัตถุดิบ (kWh)

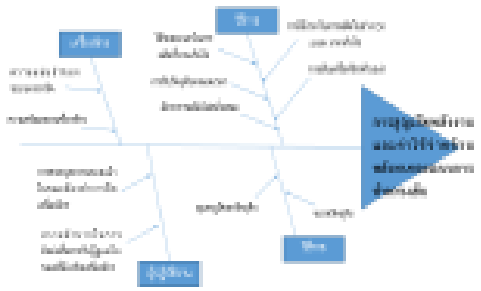
$x$ คือ ปริมาณการผลิตในแต่ละวัน (Ton)

เมื่อทำการพิจารณาสมการที่ 2 จะเห็นว่าค่า c มีค่าเท่ากับ 4,020.5 kWh ซึ่งหมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นต้องใช้ให้กับระบบทำความเย็น เช่น มอเตอร์พัดลม มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ และสายพานลำเลียง รวมถึงพลังงานไฟฟ้าสูญเปล่าโดยไม่มีความจำเป็น เช่น การรั่วไหลของอากาศ และการเดินเครื่องจักรตัวเปล่า เป็นต้น ขณะที่ค่า m [12] มีค่าเท่ากับ 107.83 kWh แสดงว่าในการผลิตหนึ่งหน่วยจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 107.83 kWh

จากข้อมูลการผลิตทั้ง 42 วัน จะได้ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยตลอดช่วงฤดูกาลมีค่าเท่ากับ 4,517 Ton เมื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ 3 จะทำให้ได้ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ยหรือค่า y เท่ากับ 15,619 kWh ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของค่า UEC (%C) จะมีค่าเท่ากับ 25.74 % (4,020.5 *100/15,619) ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าพลังงานที่ขึ้นกับปริมาณการผลิตมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอัตราส่วน 3 ต่อ 4 ซึ่งถือได้ว่ามีผลต่อต้นทุนในการผลิตอย่างเห็นได้ชัด

3.3 เทคนิคการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์สถิติและหาสาเหตุของรูปแบบการผลิตที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต โดยอาศัยหลักผังก้างปลาวิเคราะห์ดังภาพที่ 2 พบว่าอัตราการผลิตเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นคิดเป็นร้อยละ 74.26 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นการแก้ไขโดยการปรับปริมาณการผลิตในแต่ละวัน และควบคุมอัตราการผลิตให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้นจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้แก่โรงงานได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 2 ผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของการสูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็น

ในการศึกษาเบื้องต้นจึงได้ทำการจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณการผลประหยัดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยมี 2 กรณีศึกษา ดังนี้

กรณีที่ 1 การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่ว On Peak โดยการกระจายกำลังการผลิตในช่วงกลางฤดูกาลผลิตไปเพิ่มในช่วงต้นและท้ายของฤดูกาลผลิต ซึ่งช่วงดังกล่าวเป็นช่วงที่มีการผลิตในช่วง On Peak เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak ลดลง พร้อมทั้งเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak มากขึ้น ซึ่งจะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน

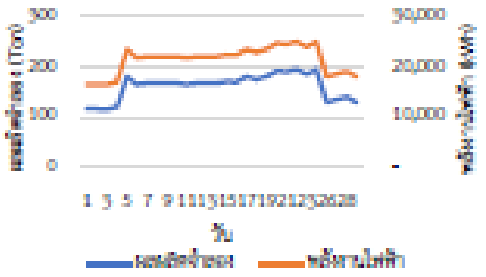
กรณีที่ 2 การลดจำนวนวันในการผลิต เป็นการลดจำนวนวันที่มีการผลิตในปริมาณน้อยจากนั้นนำไปเพิ่มปริมาณการผลิตในวันอื่นๆ ที่จะต้องทำการผลิต ซึ่งส่งผลให้สามารถช่วยลดจำนวนวันในการผลิต ช่วยลดพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิต และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันได้

จากแนวทางการจัดการทั้งสองกรณีสามารถนำมาวิเคราะห์ผลประหยัดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้จากการดำเนินการที่ 2 ได้ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานของแต่ละกรณี

| รายการ | ข้อมูลเดิม | กรณีที่ 1 | กรณีที่ 2 | หน่วย |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณผลผลิต | 4,517.48 | 4,517.48 | 4,560 | Ton |
| พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ | 654,001 | 655,901 | 588,196.80 | kWh |
| ค่าไฟฟ้า | 1,928,090 | 1,814,696 | 1,827,892 | บาท |
| SEC | 161.01 | 145.21 | 127.93 | kWh/Ton |
| ชั่วโมงทำงาน | 571.55 | 469.26 | 462.00 | Hr. |
| จำนวนวันผลิต | 40 | 40 | 24 | วัน |

จากการศึกษาทั้ง 2 กรณีพบว่ามีข้อดีที่แตกต่างกันจึงได้นำข้อดีของแต่ละกรณีมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบแนวทางการจัดการพลังงานที่เหมาะสมที่สุดให้แก่โรงงานแห่งนี้ โดยข้อดีจากกรณีที่ 1 เป็นการส่งเสริมให้มีการผลิตในช่วง Off Peak มากขึ้น ซึ่งถูกนำไปใช้ในวันที่มีการผลิตน้อยหรือช่วงต้นและท้ายของฤดูกาลผลิตอ้อยและผู้ปุ๋น โดยควบคุมปริมาณการผลิตในแต่ละวันผลิตให้ไม่น้อยกว่า 110 Ton (เมื่อกำลังการผลิตของโรงงานเท่ากับ 10 Ton/hr. และเวลาช่วง Off Peak เท่ากับ 11 hr.) เพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการผลิตในช่วง Off peak ให้ได้มากที่สุด ส่วนช่วงกลางฤดูกาลผลิตจะนำข้อดีจากกรณีที่ 2 มาใช้โดยการเพิ่มปริมาณการผลิตในแต่ละวันให้มากยิ่งขึ้น โดยควบคุมอัตราการผลิตในแต่ละวันให้สม่ำเสมอและสามารถผลิตให้ได้มากที่สุดภายใต้ขอบเขตบังคับโดยผลิตไม่เกินช่วงเวลา 14.30 น. ของแต่ละวันเพื่อช่วยลดอัตราการจ้างงานในส่วนค่าล่วงเวลาที่จะเกิดขึ้น อีกทั้งยังเป็นการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak ได้ โดยการจำลองปริมาณการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าที่จะนำไปใช้ในโรงงานแห่งนี้ซึ่งได้จากการประยุกต์ใช้การจัดการแก้ปัญหาโดยกรณีที่ 1 และ 2 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3




**ภาพที่ 3** ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละวันของการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิต

## 4. ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

### 4.1 ผลการศึกษาข้อมูลการผลิต และการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการศึกษาและการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าลักษณะของรูปแบบการผลิตอ้อยแต่ละช่วงคล้ายรูปพาราโบลาคว่ำ แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณการผลิตอ้อยแต่ละช่วงสูงเพียงช่วงกลางฤดูกาลผลิต (วันที่ 13 – 32) ส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีค่าต่ำกว่าช่วงอื่นๆ บ่งชี้ว่าในช่วงดังกล่าวมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตสูงกว่าเมื่อเทียบกับช่วงอื่นๆ ดังนั้น การเพิ่มปริมาณการผลิตในช่วงอื่นๆ จึงเป็น

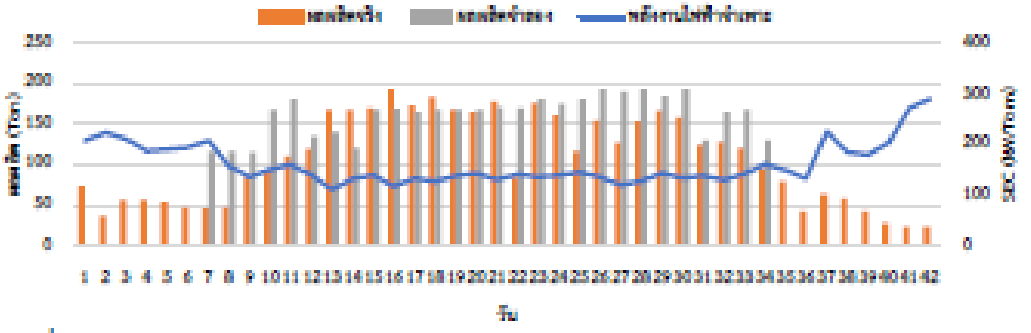
ด้วยการสำคัญที่จะช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าให้แก่โรงงานได้ซึ่งจากภาพที่ 4 เมื่อทำการนำข้อมูลมาเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างข้อมูลจริงและแบบจำลองที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ 2 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการผลิตใกล้เคียงกันการผลิตตามแบบจำลองสามารถช่วยลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า จำนวนวันในการผลิต และค่าไฟฟ้าลงได้ ดังแสดงในตารางที่ 3 เนื่องจากการเพิ่มปริมาณการผลิตของแต่ละวันพร้อมทั้งควบคุมอัตราการผลิตให้มีความสม่ำเสมอ และส่งเสริมให้มีการผลิตในช่วง Off Peak มากขึ้น สามารถช่วยลดจำนวนวันที่ใช้ในการผลิตและชั่วโมงการทำงานได้ ทำให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิตลดลง และหากมีการนำไปใช้ในหน้างานจริงจะสามารถช่วยลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในส่วนที่ขึ้นกับกระบวนการผลิตได้อีกด้วยซึ่งทำให้ผลประหยัดเพิ่มมีค่ามากยิ่งขึ้น

**ตารางที่ 3** การเปรียบเทียบข้อมูลผลผลิตและการใช้พลังงานจากข้อมูลจริงและแบบจำลอง

| รายการ | ข้อมูลจริง | แบบจำลอง | ผลต่าง |
|---|---|---|---|
| ปริมาณผลผลิต (Ton) | 4,517.48 | 4,517.50 | 0.02 |
| พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) | 656,001 | 599,696 | 56,305 |
| จำนวนวัน (วัน) | 42 | 28 | 14 |
| ค่าไฟฟ้า (บาท) | 1,928,090.04 | 1,758,145.20 | 169,944.85 |

4.2 ผลการควบคุมการผันเครื่องจักร

จากการศึกษาการทำงานของเครื่องจักรในแต่ละวันพบว่าในวันที่มีปริมาณผลผลิตน้อยกว่า 110 Ton/day โดยส่วนใหญ่จะเริ่มกระบวนการผลิต ณ เวลาประมาณ 21.30 น. และเสร็จสิ้นค่อนเวลา 9.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่ยังมีการคิดค่าไฟฟ้าแบบ Off Peak โดยมีการผลิตในรูปแบบนี้สูงถึงร้อยละ 45 ของวันการผลิตทั้งหมด ทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมีค่าสูงกว่าช่วงกลางฤดูกาลผลิตที่ปริมาณการผลิตมากกว่า อีกทั้งยังเป็นการใช้ประโยชน์จากการคิดค่าไฟในช่วง Off Peak ได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณการผลิตในช่วงการคิดค่าไฟฟ้าแบบ Off Peak ในแต่ละวัน และควบคุมอัตราการผลิตให้สม่ำเสมอมากขึ้นโดยอย่างน้อยในช่วงเวลา 22.00-9.00 น. จะต้องมีการผลิตไม่น้อยกว่า 110 Ton และในแต่ละวันจะต้องผลิตไม่เกิน 14.30 น. เพื่อลดอัตราการจ้างงานในส่วนค่าล่วงเวลา ซึ่งการผลิตในรูปแบบนี้จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะได้




**ภาพที่ 4** ข้อมูลเชิงลึกรายเวลาในแต่ละวันของปริมาณผลผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

ตารางที่ 4 ตัวอย่างเวลาในการเปิด-ปิดเครื่องจักร

| ก่อนดำเนินการ | | | หลังดำเนินการ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ผลผลิต(Ton) | เปิด | ปิด | ผลผลิต(Ton) | เปิด | ปิด |
| 46.61 | 21:25 | 5:00 | 115.83 | 21:25 | 9:00 |
| 53.01 | 21:25 | 7:00 | 115.83 | 21:25 | 9:00 |
| 84.72 | 21:25 | 5:00 | 115.83 | 21:25 | 9:00 |
| 110.20 | 21:30 | 13:00 | 115.00 | 21:30 | 9:00 |
| 153.06 | 19:15 | 14:30 | 162.50 | 19:15 | 14:30 |
| 157.58 | 19:00 | 15:30 | 165.00 | 19:00 | 14:30 |
| 167.10 | 19:30 | 16:00 | 190.00 | 19:30 | 14:30 |

4.3 ผลประหยัดการใช้พลังงานและค่าไฟฟ้าทั้งหมด

จากการจำลองแนวทางการจัดการพลังงานดังที่ผู้วิจัยได้ทำการบำเสนอมา เมื่อนำข้อมูลปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้งในอดีตและข้อมูลจากการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ($SEC_E$) จากนั้นจึงทำการคำนวณผลประหยัดต่างๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เช่น ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า ค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ และค่าไฟฟ้าของระบบการทำความเย็น ดังแสดงในตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าหลังการดำเนินการมีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะลดลง 12.46 kWh/Ton คิดเป็น 8.58 % ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้าลดลง 0.007 บาท/kWh คิดเป็น 0.25 % และค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ 37.62 บาท/Ton คิดเป็น 8.81 % และสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นทั้งสิ้น 169,944.83 บาท

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบการทำความเย็นที่ใช้ร่วมกับกระบวนการผลิตลิ้นจี่แช่แข็งโดยได้ทำการหาแนวทางในการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าตามหลักการทางทฤษฎี และได้ศึกษาต้นทุนการผลิต วิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางการแก้ไขปัญหา พบว่าการปรับเพิ่มปริมาณการผลิตและควบคุมอัตราการผลิตให้เหมาะสมต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า โดยคิดเป็นเงิน 169,943.83 บาท คิดเป็น 8.41 % และที่สำคัญยังสามารถช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ลงได้

จากเทคนิคดังกล่าวนี้หากสามารถนำไปปฏิบัติในหน้างานจริงจะช่วยให้โรงงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากขึ้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลดลง ซึ่งส่งผลให้สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มโอกาสทางการแข่งขันทางการตลาดได้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ ได้

ตารางที่ 5 ผลประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า

| รายการ | ก่อนดำเนินการ | หลังดำเนินการ | ผลต่าง | หน่วย |
|---|---|---|---|---|
| ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ | 145.21 | 132.75 | 12.46 | kWh/Ton |
| ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า | 2.939 | 2.932 | 0.007 | บาท/kWh |
| ค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ | 426.81 | 389.19 | 37.62 | บาท/Ton |
| ค่าไฟฟ้าทั้งหมดของระบบทำความเย็น | 1,928,090.04 | 1,758,145.21 | 169,944.83 | บาท |

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านทุนการศึกษา เชื้อเพลิงสถานที่และเครื่องมือในการปฏิบัติงาน

**7. เอกสารอ้างอิง**

[1] เกษตรพารวย (2559), รู้จักถั่วแระญี่ปุ่นสัญชาติไทย 'มินามิอาเมะ' บุกตลาดโลกนานกว่า 20 ปี, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา https://mgronline.com, เข้าดูเมื่อวันที่ 8/09/2561

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน (2558), การใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.dede.go.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 3/07/2560.

[3] Wayne C. Turner and Steve Doty (1998). Energy management Handbook. 6th edition. John Wiley&Sons. New York.

[4] Arhok S. and Banerjer R. (2000). Load-management application for the industrial sector, Applied Energy, Vol. 66, pp. 105-111.

[5] Paracha Z.J. and Doulai P. (1998). Load management techniques and methods in electrical power system, Proceedings of EMPD' 98 International Conference, 3-5 Mar 1998. Energy management and power delivery.

[6] สุรพล สิริบุตร (2555). การจัดการพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานรีดอลูมิเนียม, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี.

[7] เบญจพร อภิวงศ์งาม (2559). เทคนิคการลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[8] เป็นอิศา มณีโชติ, จันทนา จันทโร และ ไชยะ แซ่มน้อย (2554), การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม: TSIC 33, 36, 37 และ 38, วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 ฉบับที่ 2554/2, หน้า 12-19.

[9] บุญญารัตน์ แสงปิยะ, จันทนา จันทโร และไชยะ แซ่มน้อย (2554), ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานควบคุม, วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 ฉบับที่ 2554/2, หน้า 20-33.

[10] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2561), โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี 2558 (มีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2558 – ตุลาคม 2561), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.pea.co.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.

[11] ประพันธ์ อนาปีกกุล (2552). การประยุกต์ใช้ระบบตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน, เทคนิค 304 (สิงหาคม), หน้า 73-84.

[12] เบญจวรรณ นิรมิตวสุ, จันทนา จันทโร และ ไชยะ แซ่มน้อย (2554), การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงาน, วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 ฉบับที่ 2554/2, หน้า 35-44.

# บรรณานุกรม


กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2545). **การใช้ไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างประหยัด.**

---. (2553). "**คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_15.pdf. (9 ธันวาคม 2562)

---. (2562). "**การใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ**. [ระบบออนไลน์]. from http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42079. (5 มีนาคม 2563)

---. (2559). **รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย**.

การไฟฟ้านครหลวง (2560). "**ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.mea.or.th/profile/109/114. (3 กันยายน 2562)

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2561). "**ความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบ.** [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=76&Itemid=116. (12 มกราคม 2563)

จันจิรา จิตแสง (2558). **การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง**, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. ปริญญาโท.

บริษัทลานนาเกษตรอุตสาหกรรมจำกัด (2562). "**ฤดูกาลเก็บเกี่ยวถั่วแระแช่แข็ง**. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.lannaagro.com/oem-products/?lang=th. (5 กรกฎาคม 2562)

บุญยงค์ ลิ้มชูพรวิกุล (2530). **การประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมสบู่**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ปริญญาโท.

เบญจพร อภิวงค์งาม (2559). **เทคนิคการลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง**, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. ปริญญาโท.

เบญจวรรณ นิรมิตวสุ (2554). "**การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงาน**." วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 2554/2: 35-44.

เป็นธิดา มณีโชติ (2554). "**การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม: TSIC 33, 36, 37 และ 38**." วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 ฉบับที่ 2554/2: 12-19.

พงศธร ปียวรรณ (2556). **การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง**, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ปริญญาโท.

พีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์ (2552). ก**ารพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่า ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์**, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต.

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2549). "**อุตสาหกรรมอาหาร**. . [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.thaifta.com/thaifta/Home/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A8%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B8%B2/tabid/55/ctl/Details/mid/435/ItemID/972/Default.aspx. (18 ธันวาคม 2562)

สำนักวิจัยและสถิติ, et al. (2559). "**แนวโน้มเศรษฐกิจและธุรกิจประกันภัยของประเทศไทย ปี 2559 และ 2560**. แหล่งที่มา : www.thaire.co.th/thaire_backend/upload/.../ourleadfileth_20161221090539.pdf.

สุรพล สาริบุตร (2555). การจัดการพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานรีดอลิมิเนียม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปริญญาโท.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

# ประวัติผู้วิจัย

| | | |
|---|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | นายวีรวัฒน์ วงษ์ภักดี | |
| **เกิดเมื่อ** | 16 มิถุนายน 2537 | |
| **ประวัติการศึกษา** | พ.ศ. 2554 | มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>โรงเรียนสันทรายวิทยาคม |
| | พ.ศ. 2558 | ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต<br>สาขาวิศวกรรมอาหาร<br>มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ |