

เทคนิคการลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า ในกระบวนการผลิตถั่วกระป๋องแช่แข็ง

Techniques for Reducing Electricity cost in Production of Frozen Green Soybean

เบญจพร อภิวงค์งาม^{1*}, ชนวัฒน์ นิตน์วิจิตร¹, จาตุพงษ์ วาฤทธิ์¹ และ สมเกียรติ จตุรงค์กล้าเลิศ¹
**Benjaporn Apiwong-ngam^{1*}, Chanawat Nitatwichit¹, Jatuphong Varith¹ and
 Somkiat Jaturonglumlert¹**

¹มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ถนนเชียงใหม่-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry,
 Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand

*E-mail: b.apiwongngam@hotmail.com

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งมีการใช้พลังงานมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้การจัดการพลังงานทางด้านวิศวกรรมจึงมีความสำคัญยิ่ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาแนวทางในการลดค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วกระป๋องแช่แข็ง โดยการปรับเปลี่ยนเวลาการเดินเครื่องจักร เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานพร้อมกัน และการควบคุมอัตราการผลิตให้มีความสม่ำเสมอ จากผลการศึกษา พบว่า ในกรณีศึกษา สามารถย้ายความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา On peak ให้เกิดในช่วงเวลา Off peak แทน ซึ่งลดลง 235.37 kW (27.94%) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 2,169.03 kWh (15.24%) สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้จำนวน 9,416.92 บาท/วัน (23.88%) ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าของกระบวนการผลิตในเดือนมิถุนายนและกรกฎาคมปี พ.ศ. 2558 ลดลง 320,323.03 และ 252,216.52 บาท ตามลำดับ ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEC_E) ลดลง 0.030 kWh/kg (17.96%) และ 0.021 kWh/kg (14.09%) ตามลำดับ ค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ลดลง 0.118 บาท/kg (18.04%) และ 0.114 บาท/kg (19.69%) ตามลำดับ โดยเทคนิคดังกล่าวสามารถช่วยให้ค่าไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงานในเดือนมิถุนายนและกรกฎาคมลดลง 851,036.33 บาท (13.92%) และ 1,278,702.99 บาท (18.41%) ตามลำดับ เทคนิคดังกล่าว นอกจากจะช่วยลดค่าไฟฟ้า ยังทำให้โรงงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีขึ้น

ABSTRACT

Frozen food is an industry which continuously increases the demand of energy usage. An applying of energy conservation by energy engineering management is very important. The objective of this research is to find the ways to reduce the electricity cost in production of frozen green soybean based on the control of working time of machines in production processes to avoid the concurrent using and control the production rate to ensure consistently. The results of the case study were found that the maximum demand could move from the on-peak period to the off-peak period which could decrease 235.37 kW (27.94%). Energy consumption could decrease 2,169.03 kWh (15.24%) and could save amount of 9,416.92 baht/day (23.88%). The electricity cost of production process in June and July 2015 were decreased 320,323.03 and 252,216.90 baht, respectively. The specific energy

consumptions (SEC_E) were decreased 0.030 kWh/kg (17.96%) and 0.021 kWh/kg (14.09%), respectively. The electricity cost per unit of product were decreased at 0.118 baht/kg (18.04%) and 0.114 baht/kg (19.69%), respectively. These techniques could reduce the electricity cost in June and July which were reduced 851,036.33 baht (13.92%) and 1,278,702.99 baht (18.41%), respectively. In addition, not only these techniques could reduce the electricity cost but also improve the efficiency of energy consumption of this factory.

1. บทนำ

ถั่วเขียว (Green soybean) เป็นพืชที่รู้จักกันแพร่หลาย และมีคุณค่าทางอาหารสูง หลายประเทศนิยมบริโภค โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น ที่นิยมรับประทานเป็นอาหารว่างเกือบทุกครัวเรือน จึงมีความต้องการบริโภคประมาณปีละ 150,000 ตัน [1] เมื่อปริมาณไม่เพียงพอ จึงต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยประเทศไทยมีแหล่งเพาะปลูกถั่วเขียวในปริมาณมาก มีการนำวัตถุดิบไปแปรรูปด้วยการแช่แข็งเพื่อเพิ่มมูลค่า สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ โดยอาศัยการค้าเงินร่วมกันระหว่างภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม เนื่องด้วยมีศักยภาพสูงในการผลิต มีการส่งออกได้ปีละหลายล้านบาท และสร้างรายได้ให้กับประเทศอย่างต่อเนื่อง จึงมีการคาดการณ์ว่าในอีก 10 ปีข้างหน้า ประชากรโลกจะมีความต้องการบริโภคอาหารแปรรูปเพิ่มขึ้นมากกว่า 50% [2] ทั้งนี้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งต่างๆ จึงมีความหลากหลาย ทั้งประเภทของวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ เครื่องจักร และลักษณะการผลิต ซึ่งต้นทุนหลักในการดำเนินการของอุตสาหกรรมมีความคล้ายคลึงกัน ประกอบไปด้วย ค่าแรง ค่าวัตถุดิบ ค่าไฟฟ้า และค่าน้ำที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น โดยอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิต ซึ่งต้องอาศัยแหล่งพลังงานมาป้อน เพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ ส่วนใหญ่มาจากพลังงานไฟฟ้า

ภาคอุตสาหกรรม ถือเป็นสาขาหลักที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด คิดเป็น 44% ของการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศ [3] หากความต้องการมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาจเกิดการขาดแคลนในอนาคต และในแง่ของผู้ประกอบการยังทำให้ต้นทุนพลังงานของโรงงานสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิต และเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนการผลิต ด้วยเหตุนี้ผู้ประกอบการจึงให้ความสำคัญเรื่องการลด

หรือการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จะช่วยปรับปรุงในด้านต่างๆ ของโรงงาน ได้แก่ ราคาของสินค้า และงบประมาณรายจ่าย เป็นต้น โดยการจัดการด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า ถือเป็นวิธีการบริหารจัดการที่มุ่งเน้นการลด และการใช้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถช่วยลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มผลกำไรให้อยู่ในการแข่งขัน อาจเป็นผลมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณน้อยลงกว่าเดิม โดยที่ปริมาณงานที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง [4, 5] Kulkarni and Katti [6] ได้ศึกษาและปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เทคนิคการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยจาก 50,387 หน่วย ลดลงเหลือ 42,671 หน่วย สามารถประหยัดได้ 14.7%

บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด เชียงใหม่ ผลิตและส่งออก ผักผลไม้แช่แข็ง และผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมรับประทาน โดยถั่วเขียวแช่แข็งถือเป็นสินค้าหลัก มีสัดส่วนการผลิต เพื่อส่งออกประมาณ 65% [1] ซึ่งมีปริมาณการส่งออกมากกว่าผลิตภัณฑ์อื่นๆ ดังนั้นเมื่อกำลังการผลิตสูง และมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูง จึงทำให้เกิดผลกระทบต่อการบริหารจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าสูงขึ้น ทั้งนี้บริษัทฯ จัดอยู่ในข่ายการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate, TOU) หากผู้ใช้ไฟฟ้าไม่รู้วิธีการบริหารจัดการการใช้ให้เหมาะสมกับอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น โดย Paracha and Doulai [7] ได้มีการศึกษาเทคนิคการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงที่มีค่าไฟฟ้าแพง (On peak) เทคนิคการเพิ่มเวลาการทำงานในช่วงที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าต่ำ (Off peak) และเทคนิคการ

ย้ยเวลาการทำงานที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดไปทำงานในช่วง Off peak แทน โดยเทคนิคดังกล่าวสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ Ashok and Banerjee [8] ได้มีการศึกษาการประยุกต์ใช้การจัดการโหลดในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ การลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด การลดการสูญเสียพลังงาน การใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ และการลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในส่วนของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด จากการขยับการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงไปทำงานในช่วง Off peak แทน สามารถลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าในช่วง On peak และทำให้ค่าไฟฟ้าลดลง สุรพล [9] ได้ศึกษาการจัดการพลังงาน เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานรีดอลูมิเนียม โดยการควบคุมการทำงานในช่วงเวลาที่มีการใช้โหลดมาก โดยจัดเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ไม่ให้ทำงานพร้อมๆ กัน สามารถลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80%

เทคนิคหรือแนวทางดังกล่าวจากงานวิจัยอื่นๆ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับโรงงานจริงได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเทคนิคหรือแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของกระบวนการผลิต โดยมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับจ่ายการใช้ไฟฟ้าของสถานประกอบการ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

TOU เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่แยกค่าความต้องการพลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าออกจากกัน โดยมีการแบ่งแยกค่าพลังงานไฟฟ้าให้มีอัตราที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของวัน หรือช่วงเวลาของการใช้ 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 ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าจะคิดเฉพาะในช่วง On peak เท่านั้น สำหรับค่าพลังงานไฟฟ้าจะคิด

ทั้งช่วง On peak และ Off peak รายละเอียดของอัตราค่าไฟฟ้าที่บริษัทฯ ถูกเรียกเก็บ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU [10]

ระดับแรงดัน (kV)	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/kW)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/kWh)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On-Peak	On-Peak	Off-Peak	
แรงดัน 12-24	132.93	3.6796	2.1760	312.24

2.2 ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงาน สามารถบอกได้ว่า โรงงานใช้พลังงานเฉลี่ยเท่าใดในการผลิตสินค้า 1 หน่วย หรือเป็นค่าที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แสดงถึงต้นทุนด้านพลังงานของโรงงาน สามารถกำหนดค่า SEC ของพลังงานไฟฟ้า (SEC_E) ได้จากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่โรงงานใช้ (kWh) ต่อปริมาณผลผลิตในเวลาเดียวกัน (kg) ดังสมการที่ (1) [11]

$$SEC_E = \frac{kWh}{kg} \quad (1)$$

เมื่อ SEC_E คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (kWh/kg)

3. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต และข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต ได้แก่

1. ปริมาณผลผลิต
2. ตารางเวลาในการผลิต

ข้อมูลด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า ได้แก่

1. ข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต

2. ข้อมูลตรวจวัดกระแสไฟฟ้าของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ด้วยแคลมป์มิเตอร์แบบดิจิตอล (Digital clamp meter) ยี่ห้อ Hioki รุ่น Hioki 3282

3. ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน จากมิเตอร์ไฟฟ้าออนไลน์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (AMR)

4. ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเฉพาะเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับสายการผลิต จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Power meter)

5. ข้อมูลใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้าย้อนหลัง จากการไฟฟ้าฯ ซึ่งเป็นข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างหยาบ แสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

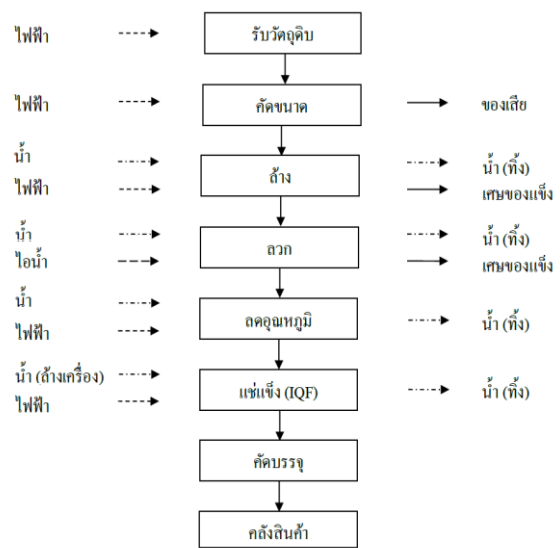
งานวิจัยนี้จะสำรวจการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็งของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด เชียงใหม่ โดยจะเน้นที่ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบเทคนิคหรือแนวทางในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ตลอดจนความเหมาะสมในการนำไปใช้กับโรงงานจริง มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

4.1 กระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง

เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนในการรับวัตถุดิบไปจนถึงขั้นตอนการบรรจุผลิตภัณฑ์เก็บเข้าคลังสินค้า เพื่อรอจำหน่าย ดังแสดงในรูปที่ 1

4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง

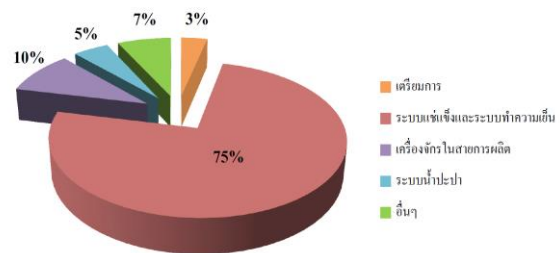
ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง จากนั้นเข้าสำรวจเครื่องจักรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตสังเกตลักษณะการทำงาน ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับสภาพการผลิต รวมถึงพลังงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังกระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง และการใช้มวลและพลังงาน

4.3 การประเมินศักยภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าเบื้องต้นของกระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง

จากการสำรวจและตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนเตรียมการผลิต ระบบแช่แข็งและระบบทำความเย็น เครื่องจักรในสายการผลิต ระบบน้ำประปา และระบบอื่นๆ เช่น ระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง เป็นต้น มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง

จากรูปที่ 2 พบว่า ระบบแช่แข็งและระบบทำความเย็น มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คิดเป็น 75% งานวิจัยนี้จึงเน้นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วน

ดังกล่าว ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าที่ลดลงอย่างชัดเจน

4.4 วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า

บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด จัดเป็นกิจการขนาดใหญ่ ประเภท 4.2.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์ คิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญอันดับแรกที่ใช้ไฟฟ้าควรทราบ เพื่อสามารถหาแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายในแต่ละเดือนได้อย่างเหมาะสม หากไม่มีวิธีการบริหารจัดการการใช้ให้เหมาะสมกับอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ จะส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นได้

ผู้วิจัยเริ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในอดีต จากข้อมูลการใช้ไฟฟ้า (AMR) การใช้ไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับสายการผลิตจากข้อมูล Power meter รวมถึงใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า เพื่อศึกษาภาพที่จะลดความต้องการพลังงานไฟฟ้า และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงานกับสายการผลิต พบว่า ลักษณะการใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน อีกทั้งยังพบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าแต่ละเดือนของโรงงานสูงขึ้นตาม จึงเกิดผลกระทบต่อการบริหารจัดการด้านพลังงาน ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการใช้ไฟฟ้าอย่างละเอียด โดยทำการสำรวจเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับสายการผลิต ตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าด้วยแคลมป์มิเตอร์ และสังเกตลักษณะการทำงาน เพื่อดูว่าเครื่องจักรทำงานในช่วงเวลาใดบ้าง มีการใช้งานพร้อมๆ กันมากน้อยเพียงใด พร้อมทั้งสังเกตลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทุกๆ 15 นาที จากข้อมูล AMR และ Power meter เพื่อดูว่าในแต่ละวันมีแนวโน้มในการใช้ไฟฟ้าแปรเปลี่ยนมากน้อยเพียงใด เพื่อสามารถหาแนวทางควบคุมความต้องการพลังงานไฟฟ้า และปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

เนื่องจากพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแต่เดิม ช่วงเวลาการผลิต ปกติจะเริ่มผลิตในช่วงเย็น ซึ่งเป็นช่วง On peak คาบเกี่ยวเวลาของอีกวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบรับเข้าในแต่ละวัน มักจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

หากวันใดที่พบว่าปริมาณวัตถุดิบรับเข้ามา เครื่องจักรต่างๆ ในสายการผลิตไม่สามารถผลิตได้เสร็จให้ทันระยะเวลาในช่วง Off peak (เกิน 09.00 น. ของวันถัดไป) เนื่องจากเครื่องจักรมีอัตราการผลิตที่จำกัด กระบวนการผลิตจึงเสร็จสิ้นในช่วงเย็นของอีกวัน ซึ่งยังคงเป็นช่วง On peak และในขณะเดียวกัน ยังพบว่า ก่อนเริ่มการผลิต จะมีการเดินเครื่องจักรขนาดใหญ่บางเครื่อง โดยเฉพาะเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็น และความร้อน เพื่อเป็นการปรับสภาวะต่างๆ เช่น ความดันและอุณหภูมิ เป็นต้น จึงจำเป็นต้องเดินเครื่องก่อนการผลิตจริง ซึ่งลักษณะการทำงานของเครื่องจักรดังกล่าว จะมีการเดินเครื่องพร้อมๆ กัน ดังนั้นการสตาร์ทมอเตอร์ที่มีแรงม้าสูง ส่งผลให้มีการใช้ไฟฟ้าสูง จนเกิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ซึ่งเป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง 15 นาทีที่มีค่าสูงขึ้นเกินกว่าค่าที่ควรจะเป็น โดยค่าดังกล่าวจะถูกการไฟฟ้าฯ นำไปคิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand charge) ส่งผลให้โรงงานต้องจ่ายค่าไฟฟ้าสูง และเมื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีการผลิตพบว่า ลักษณะการใช้ไฟฟ้ามีความไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากพนักงานมีการป้อนวัตถุดิบในปริมาณที่ไม่คงที่ โดยป้อนวัตถุดิบในปริมาณที่มากกว่าหรือน้อยกว่าอัตราการผลิตของเครื่องจักรตามเวลาที่เปลี่ยนไป จึงทำให้มีการใช้ไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ โดยส่วนใหญ่จะส่งผลให้กระบวนการผลิตเสร็จล่าช้า หากวันใดที่มีปริมาณวัตถุดิบรับเข้ามา จะทำให้ระยะเวลาการผลิตเลยช่วงเวลา On peak ยาวนานขึ้น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่กำหนดหน่วยการใช้ไฟฟ้ามีราคาแพง จึงส่งผลให้โรงงานต้องจ่ายค่าไฟฟ้าในจำนวนมาก

จากปัญหาหรือพฤติกรรมการทำงานที่ไม่เหมาะสมดังกล่าว ส่งผลให้โรงงานต้องจ่ายค่าไฟฟ้าเกินจำเป็น ผู้วิจัยจึงหาเทคนิคหรือแนวทางในการลดค่าไฟฟ้าที่เหมาะสมกับหน้างานจริง และสอดคล้องกับโครงสร้างค่าไฟฟ้า

4.5 เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ผู้วิจัยได้ออกแบบเทคนิคหรือหาแนวทางในการปรับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับ โครงสร้างค่าไฟฟ้า ซึ่งโรงงานสามารถนำไปใช้เป็นทางเลือกในการ

ปฏิบัติตามหน้างานจริง โดยเทคนิคหรือแนวทางการลดค่าไฟฟ้า เป็นวิธีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการผลิต หรือจัดเวลาการเดินเครื่องจักรใหม่ให้มีการเหลื่อมเวลากัน โดยหลีกเลี่ยงการเดินเครื่องจักรที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณสูงพร้อมๆ กันในช่วง On peak โดยประสานงานกับหัวหน้างานและผู้ควบคุมการเดินเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับสายการผลิต ให้มีการควบคุมระยะเวลาในการเดินเครื่องจักรให้เหลื่อมเวลากันหรือเดินเครื่องจักรเป็นลำดับ โดยให้เครื่องจักรบางตัวทำงานเร็วขึ้นหรือช้าลง โดยเฉพาะเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็น ทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสมของหน้างาน เนื่องจากเครื่องจักรดังกล่าวมีความต้องการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูง หากมีการเดินเครื่องพร้อมๆ กันจะส่งผลทำให้เกิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเกินกว่าค่าที่ควรจะเป็น อีกทั้งในขณะที่มีการผลิตควรมีการประสานงานกับฝ่ายผลิตของโรงงาน ให้มีการควบคุม

ปริมาณการป้อนวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอ เพื่อให้ลักษณะการใช้ไฟฟ้าในขณะที่มีการผลิตมีความสม่ำเสมอ

5. ผลการดำเนินการวิจัย

5.1 ผลการศึกษาข้อมูลการผลิต และการใช้พลังงานไฟฟ้า

การผลิตถั่วแระญี่ปุ่นแช่แข็ง แบ่งเป็น 2 สายการผลิต ซึ่งมีการผลิตตามฤดูกาลเก็บเกี่ยว จากเทคนิคหรือแนวทางการลดค่าไฟฟ้าดังกล่าว ทางโรงงานมีการนำไปปฏิบัติใช้กับหน้างานจริงในเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2558 ซึ่งในทุกๆ ปี ของช่วงเดือนดังกล่าว ถือว่าเป็นช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่มีการผลิตสูงสุดหรือมีปริมาณการผลิตมากกว่าช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวอื่นๆ

จากการศึกษาข้อมูลการผลิต และการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับสายการผลิตและทั้งหมดของโรงงาน ในเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2557 และ 2558 มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า

รายการ	มิถุนายน			กรกฎาคม			หน่วย
	2557	2558	ผลต่าง	2557	2558	ผลต่าง	
1. ปริมาณผลิตภัณฑ์	2,791	2,718	73	3,882	3,809	73	ตัน
2. ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉพาะสายการผลิต	464,884	371,156	93,728	567,881	394,312	173,569	kWh
3. ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน	1,558,194	1,420,380	137,814	1,781,880	1,556,100	225,780	kWh
4. ค่าไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน	6,111,707.29	5,260,671.96	851,036.33	6,945,469.71	5,666,766.71	1,278,703.00	บาท

จากตารางที่ 2 พบว่า ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2557 มีปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงานสูงตาม อีกทั้งเมื่อผู้วิจัยทำการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสายผลิตทุกๆ 15 นาที ในช่วงเวลาต่างๆ พบว่า ลักษณะหรือพฤติกรรม

การใช้ไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักรต่างๆ มีความคล้ายคลึงกัน และมีระยะเวลาในการผลิตแปรเปลี่ยนตามปริมาณวัตถุดิบที่รับเข้า

5.2 ผลการเดินเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการผลิต

ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำกรณีศึกษาของวันที่ 24 กรกฎาคม 2557 (ก่อนดำเนินการ) มีปริมาณวัตถุดิบจำนวน 131 ตัน และวันที่ 8 กรกฎาคม 2558 (หลังดำเนินการ) มีปริมาณวัตถุดิบจำนวน 127 ตัน ทั้งนี้ในวันดังกล่าวที่ยกมาเป็นกรณีศึกษา เป็นข้อมูลที่โรงงานนำเทคนิคหรือแนวทางดังกล่าวไปใช้หน้างานจริง โดยมีปริมาณวัตถุดิบใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ให้เห็นแนวโน้มลักษณะการใช้ไฟฟ้าในอดีตและปัจจุบันที่แตกต่างกันชัดเจนยิ่งขึ้น โดยเวลาในการเปิด-ปิดเครื่องจักรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายการผลิต ก่อนและหลังดำเนินการ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เวลาในการเปิด-ปิด เครื่องจักรในสายการผลิต

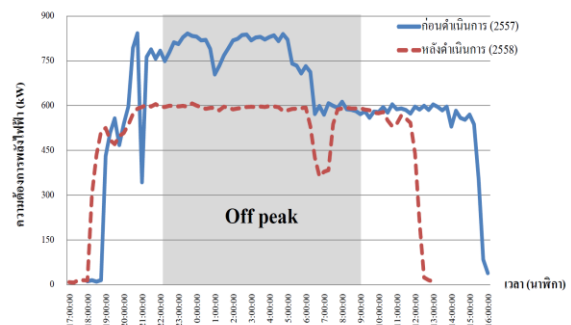
เวลา	ก่อนดำเนินการ (2557)		หลังดำเนินการ (2558)	
	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด
สายการผลิต 1	19:15 น.	14:00 น.	18:20 น.	11:00 น.
สายการผลิต 2	19:15 น.	14:00 น.	18:40 น.	11:00 น.
เครื่องลวก 1	18:00 น.	14:00 น.	17:00 น.	11:00 น.
เครื่องลวก 2	18:00 น.	14:00 น.	17:00 น.	11:00 น.
เครื่องทำน้ำเย็นไลน์ 1	18:30 น.	14:00 น.	17:10 น.	11:00 น.
เครื่องทำน้ำเย็นไลน์ 2	18:30 น.	14:00 น.	17:10 น.	11:00 น.
เครื่องแช่แข็ง (IQF1)	19:00 น.	15:00 น.	18:20 น.	12:00 น.
เครื่องแช่แข็ง (IQF2)	19:00 น.	15:00 น.	18:40 น.	12:00 น.
เครื่องแช่แข็ง (IQF3)	20:30 น.	5:00 น.	18:10 น.	12:00 น.

จากตารางที่ 3 พบว่า ก่อนดำเนินการ เครื่องจักรบางตัวก่อนเริ่มการผลิต มีการเดินเครื่องพร้อมๆ กัน โดยเครื่องจักรดังกล่าวมีความต้องการไฟฟ้าในปริมาณที่สูง เช่น เครื่องแช่แข็งแบบรวดเร็ว (IQF) และระบบทำความเย็นที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น อาจทำให้เกิดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด โดยปริมาณพลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง 15 นาทีมีค่าสูงเกินกว่าค่าที่ควรจะเป็น จึงปรับเปลี่ยนเวลาในการ

เดินเครื่องจักรตามเทคนิคหรือแนวทางที่ได้นำเสนอแก่โรงงาน หลังดำเนินการ พบว่า มีการควบคุมการเดินเครื่องจักรให้มีระยะเวลาการเดินเครื่องเหลื่อมเวลากันตามลำดับ โดยเน้นการเดินเครื่องของเครื่องแช่แข็ง เนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่มีความต้องการไฟฟ้าในปริมาณสูง เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

5.3 ผลการเปรียบเทียบความต้องการพลังไฟฟ้า

การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการเดินเครื่องจักรในสายการผลิต เพื่อหลีกเลี่ยงการเดินเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงพร้อมๆ กัน และการควบคุมกระบวนการผลิตให้มีความสม่ำเสมอ สามารถนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเฉพาะสายการผลิตมาทำวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังดำเนินการ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เปรียบเทียบความต้องการพลังไฟฟ้า

ก่อนและหลังดำเนินการตามเทคนิคการลดค่าไฟฟ้า

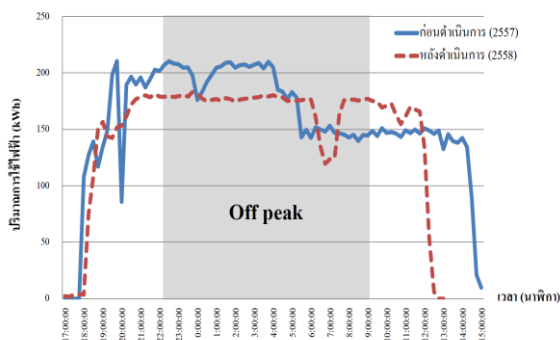
จากรูปที่ 3 พบว่า ก่อนดำเนินการ เมื่อสายการผลิตมีการเดินเครื่องจักรขนาดใหญ่พร้อมๆ กัน จากกราฟจะเห็นได้ว่า เวลาประมาณ 20.45 น. ซึ่งยังคงอยู่ในช่วงเวลา On peak โดยเกิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 842.39 kW หากค่าดังกล่าวเป็นค่าสูงสุดของเดือน กรณีนี้โรงงานจะถูกเรียกเก็บค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 111,978.90 บาท

หลังดำเนินการ พบว่า ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นเวลาประมาณ 23.15 น. มีค่า 607.02 kW

โดยลดลงจากเดิม 235.37 kW คิดเป็น 27.94% ซึ่งค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดย้ายไปเกิดในช่วงเวลา Off peak แทน การคิดค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU จะไม่นำค่าดังกล่าวที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา Off peak มาคิดค่าไฟฟ้า และจะคิดเฉพาะค่าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา On peak เท่านั้น เทคนิคหรือแนวทางดังกล่าวจึงสามารถช่วยให้โรงงานประหยัดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าได้

5.4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

การควบคุมปริมาณการผลิตตามเทคนิคหรือแนวทางที่โรงงานนำไปใช้หน้างานจริง สามารถนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเฉพาะสายการผลิต มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังดำเนินการ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ก่อนและหลังดำเนินการตามเทคนิคการลดค่าไฟฟ้า

จากรูปที่ 4 ลักษณะของกราฟมีแนวโน้มคล้ายกันกับกราฟความต้องการพลังไฟฟ้า พบว่า ก่อนดำเนินการ มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 14,231.05 kWh คิดเป็นจำนวนเงิน 39,431.46 บาท/วัน เนื่องจากพฤติกรรมการทำงาน

แบบเดิมมีการใช้ไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการป้อนปริมาณวัตถุดิบในสายการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงส่งผลให้กระบวนการผลิตเสร็จล่าช้า อยู่ในช่วง On peak นาน จึงทำให้โรงงานจ่ายค่าไฟฟ้าที่แพงขึ้น

หลังดำเนินการตามเทคนิคหรือแนวทางการลดค่าไฟฟ้าดังกล่าวที่นำไปใช้จริง พบว่า มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 12,062.02 kWh คิดเป็นจำนวนเงิน 30,014.54 บาท/วัน ซึ่งเวลาในการเริ่มเดินเครื่องจักรเร็วขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย อีกทั้งฝ่ายผลิตมีการควบคุมการใช้ไฟฟ้า โดยการป้อนวัตถุดิบในปริมาณที่สม่ำเสมอ กระบวนการผลิตเสร็จเร็ว ส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา On peak ลดลง หลังจกดำเนินการตามเทคนิคหรือแนวทางดังกล่าว ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 2,169.03 kWh คิดเป็น 15.24% ส่งผลให้กรณีศึกษา ค่าไฟฟ้าเฉพาะสายการผลิตลดลง 9,416.92 บาท/วัน คิดเป็น 23.88%

5.5 ผลประหยัดการใช้พลังงานและค่าไฟฟ้าทั้งหมด

จากกรณีศึกษาดังกล่าวที่โรงงานได้ปฏิบัติตามเทคนิคหรือแนวทางในการลดค่าไฟฟ้าที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ ซึ่งอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2558 เมื่อนำข้อมูลการผลิตและข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ทั้งในอดีตและปัจจุบัน มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยคำนวณหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEC_E) จากสมการที่ (1) จากนั้นจึงสามารถคำนวณผลประหยัดต่างๆ ซึ่งได้แก่ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า ค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ รวมถึงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลประหยัดการใช้พลังงานและค่าไฟฟ้าทั้งหมด

รายการ	มิถุนายน			กรกฎาคม			หน่วย
	2557	2558	ผลต่าง	2557	2558	ผลต่าง	
1. ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ	0.167	0.137	0.030	0.149	0.128	0.021	kWh/kg
2. ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า	3.925	3.704	0.221	3.898	3.642	0.256	บาท/kWh
3. ค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์	0.654	0.536	0.118	0.579	0.465	0.114	บาท/kg
4. ค่าไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน	6,111,707.29	5,260,670.96	851,036.33	6,945,468.71	5,666,765.71	1,278,703.00	บาท

จากตารางที่ 4 หลังดำเนินการ พบว่า เดือนมิถุนายน มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEC_E) ลดลง 0.030 kWh/kg คิดเป็น 17.96% ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า ลดลง 0.221 บาท/kWh คิดเป็น 5.63% แต่เนื่องด้วยการดำเนินงานตามเทคนิคหรือแนวทางที่โรงงานนำไปใช้จริง ในปี พ.ศ. 2558 การเปรียบเทียบผลประหยัดก่อนหลัง จึงควรใช้ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า ของปี พ.ศ. 2557 มาเปรียบเทียบ เพื่อให้ค่าไฟฟ้าอยู่ในฐานเดียวกัน ทั้งนี้ค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ลดลง 0.118 บาท/kg คิดเป็น 18.04% ผลประหยัดต่างๆ จึงส่งผลให้ค่าไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงานลดลง 851,036.33 บาท คิดเป็น 13.92%

เดือนกรกฎาคม มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEC_E) ลดลง 0.021 kWh/kg คิดเป็น 14.09% ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า ลดลง 0.256 บาท/kWh คิดเป็น 6.57% และค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ลดลง 0.114 บาท/kg คิดเป็น 19.69% ผลประหยัดต่างๆ จึงส่งผลให้ค่าไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน ลดลง 1,278,103.00 บาท คิดเป็น 18.41%

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาและวิเคราะห์รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วแปะญี่ปุ่นแช่แข็ง โดยหาแนวทางในการลดค่าไฟฟ้า พบว่า โรงงานสามารถดำเนินมาตรการโดยไม่มีการลงทุน คือ การปรับเปลี่ยนเวลาการเดินเครื่องจักรในสายการผลิต เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานพร้อมๆ กัน และการควบคุมอัตราการผลิตให้มีความสม่ำเสมอ เพื่อให้ระยะเวลาในการผลิตเสร็จเร็วขึ้น สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. เฉพาะกรณีศึกษา พบว่า ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On peak ให้เกิดในช่วง Off peak แทน ส่งผลให้ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง ทำให้ค่าไฟฟ้าเฉพาะสายการผลิต ในเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2558 ลดลง เป็นจำนวนเงิน 320,323.03 และ 252,216.90 บาทตามลำดับ

2. ผลของการปรับเปลี่ยนเวลาในการเดินเครื่องจักร และควบคุมอัตราการผลิตให้มีความสม่ำเสมอ ทำให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEC_E) และค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ลดลง

3. สามารถลดค่าไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน ในเดือนมิถุนายน จำนวน 851,036.33 บาท คิดเป็น 13.92% และในเดือนกรกฎาคม จำนวน 1,278,702.99 บาท คิดเป็น 18.41%

จากเทคนิคหรือแนวทางในการลดค่าไฟฟ้างกล่าว สามารถนำไปใช้กับหน่วยงานจริง เหมาะสมกับโครงสร้างค่าไฟฟ้าของโรงงานแบบ TOU จึงช่วยให้โรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ค่าไฟฟ้าลดลง ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตถั่วแปะญี่ปุ่นแช่แข็งลดลง อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนศึกษากันฤดู ประจำปี 2556 และขอขอบคุณบริษัท ดานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด เชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และเครื่องมือ เพื่อทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประชาชาติธุรกิจ. ถั่วแปะแช่แข็ง-เครื่องปรุงโต 1,000 ล้าน ผู้ผลิตเชียงใหม่รุกตลาดเอเชีย-กลุ่มBRICS. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1393996834, 2557.
- [2] จิต ผลิตญ และพงษ์สวัสดิ์ สวัสดิวัตน์. ปักหมุดโครงการ Thailand food valley บนเวทีเศรษฐกิจโลก. อุตสาหกรรมสาร, 2555; 54: 9-12.

- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. สถานการณ์พลังงานไทยช่วง 9 เดือนแรกของปี 2557 (รายไตรมาส). [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/info/Situation/quarterly/2014_Q3.pdf, 2557.
- [4] Turner, W.C. Energy Management Handbook. New York: John Wiley&Sons, 6th edition, 1982.
- [5] จุลละพงษ์ จุลละโพธิ์ และปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์. สถานการณ์พลังงานและการประหยัดพลังงาน. *วารสารราชบัณฑิตยสถาน*, 2537; 20(1): 70-85.
- [6] Kulkarni, V. A. and P.K. Katti. Efficient utilization of energy in Industry energy management perspective. International Conference on Power System Technology (POWERCON), Hangzhou. IEEE. 2010, 1-7.
- [7] Paracha, Z.J. and Doulai, P. Load management techniques and methods in electrical power system. Proceedings of EMPD'98 International Conference on Energy Management and Power Delivery, 3-5 Mar 1998.
- [8] Ashok, S. and Banerjee, R. Load-management applications for the industrial sector. *Applied Energy*, 2000; 66: 105-111.
- [9] สุรพล สาริบูตร. การจัดการพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานรีดอลูมิเนียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี, 2555.
- [10] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. อัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://www.pea.co.th/peawiki/Documents/Rate2012.pdf>, 2556.
- [11] ศูนย์วิศวกรรมพลังงาน. การหาค่า SEC. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.me.psu.ac.th/eec/jn4.html>, 2557.