เทคนิคการตรวจติดตาม
เพื่อควบคุม
และวิเคราะห์การใช้
พลังงานไฟฟ้า

กรณีศึกษากระบวนการคัดผัก
อาคารผลิตผล
ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง

สามารถ สาลี

คำนำ

หนังสือเล่มนี้ได้รวบรวมความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือการจัดการพลังงานในโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก โดยศูนย์ความร่วมมือมทร.ล้านนาและมจธ. เพื่อมูลนิธิโครงการหลวงและกิจกรรมวิชาการ ร่วมกับ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการตรวจติดตามและวิเคราะห์ สำหรับควบคุมปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติในรูปแบบแผนภูมิการกระจายตัว เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้กับตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน ในกระบวนการคัดผักของอาคารผลิตผล โดยข้อมูลทั้งหมดนี้เป็นกรณีศึกษาของอาคารผลิตผล ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง จังหวัดเชียงใหม่ ในระหว่าง ปี พ.ศ. 2559-2560 มาใช้ในการตรวจติดตามการใช้พลังงาน ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 ทั้งนี้เพื่อให้เจ้าหน้าที่ได้มีแนวทางการทำงานที่ชัดเจนและถูกต้อง และยังเป็นคู่มือไว้ให้ผู้สนใจเป็นเครื่องมือในการประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานต่อไป

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจเครื่องมือการจัดการพลังงานให้มีคุณภาพ ซึ่งจะได้นำความรู้จากหนังสือเล่มนี้ไปเพิ่มพูนและเสริมความรู้ได้เป็นอย่างดี

คณะผู้จัดทำ

พลังงานกับการดำรงชีวิต

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและประกอบอาชีพ ซึ่งในปี 2560 ประเทศไทยมีแนวโน้มความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการพัฒนาระบบเศษฐกิจที่เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 1.4 ในภาคธุรกิจอุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาอาชีพด้านเกษตรกรรมนั้นได้มุ่งเน้นให้เกิดการยกระดับเป็นเกษตรเชิงอุตสาหกรรมที่มีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดของแหล่งพลังงานไฟฟ้าภายในประเทศส่วนใหญ่ เป็นแหล่งพลังงานที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นภาครัฐและหน่วยงานต่างๆ จึงมีมาตรการจำนวนมาก เพื่อรณรงค์ ส่งเสริมการประหยัดพลังงาน จึงหาวิธีการจัดการพลังงานที่ประหยัดโดยเน้นการใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่ากับพลังงานที่เสียไปและลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงาน ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก ดังนั้นการอนุรักษ์พลังงานจึงเป็นเรื่องที่ทั่วโลกให้ความสนใจ

การตรวจติดตามการใช้พลังงาน
Energy monitoring

เป็นเทคนิคในการบริหารจัดการพลังงานโดยอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงาน เพื่อควบคุมระดับการใช้พลังงานให้เป็นไปตามความเหมาะสม รวมไปถึงการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตเดิมให้ดีขึ้น ระบบการจัดการพลังงานที่ดีจะสามารถลดต้นทุนการใช้พลังงานในช่วงประมาณ ร้อยละ 5-20 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด

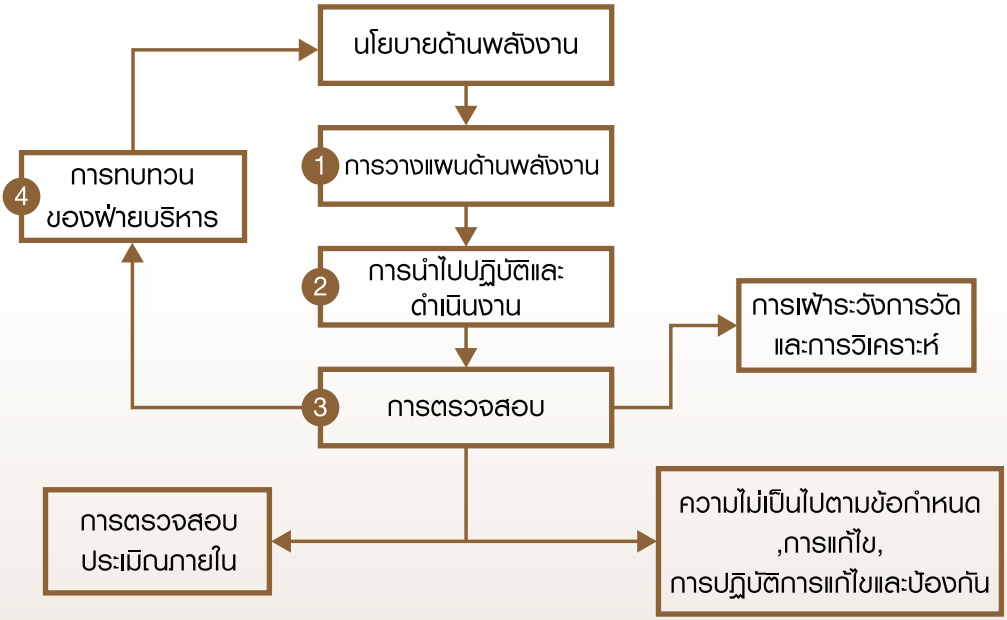
การนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานโดยทั่วไป จะนำข้อมูลปริมาณการผลิตและการใช้พลังงาน ในช่วงเวลาที่ผ่านมามาสร้างเป็นสมการเส้นตรงซึ่ง ยังไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละส่วนได้ จึงไม่สามารถระบุได้ว่าช่วงเวลาใดมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงมีแนวคิดที่นำวิธีการทางสถิติเข้ามาช่วยดังนี้

1. รูปแบบแผนภูมิการกระจายตัว (Scatter Chart) ใช้ในกระบวนการตรวจติดตามการใช้พลังงานของอาคารผลิตผลและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้กับตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

2.หลักการ CUSUM (Cumulative sum of different) สำหรับประเมินรูปแบบการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา โดยการสร้างเป็นแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (cumulative sum control chart: CUSUM chart) สำหรับแสดงการเปลี่ยนแปลงผลต่างด้านพลังงาน และแผนภาพ CUSUM จะสามารถตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นและสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพในควบคุมและลดการใช้พลังงานในกระบวนการคัดพักได้อย่างรวดเร็ว

ข้อกำหนดมาตรฐาน ระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001

การจัดทำ ISO 50001:2011 ในประเทศไทยก็คือ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน รวมถึงลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดต้นทุนด้านพลังงาน และลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ โดยระบบ ISO 50001:2011 สามารถนำไปใช้ได้กับองค์กรทุกขนาด และสามารถบูรณาการให้เข้ากับระบบอื่นๆ ได้แต่โดยต้องปฏิบัติอย่างต่อเนื่องตามหลักการ PCDA ดังรูปที่ 1 แสดงแผนภาพกระบวนการของมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO50001:2011 [4] ได้ดังนี้



แผนภาพกระบวนการของมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO50001:2011

1 การวางแผนพลังงาน (PLAN)

องค์กรดำเนินการทบทวนการใช้พลังงาน จัดทำดัชนีชี้วัดสมรรถนะขององค์กรในด้านพลังงาน และกำหนดแผนปฏิบัติการต่าง ๆ ที่จำเป็น เพื่อให้ได้ผลที่จะปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานให้เป็นไปตามนโยบายพลังงานขององค์กร โดยการวัดและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการใช้พลังงาน

2 การปฏิบัติ (DO)

องค์กรนำแผนปฏิบัติการต่าง ไปปฏิบัติ ซึ่งครอบคลุมถึงการดำเนินการในด้านอื่นๆ ที่จะทำให้ระบบการจัดการพลังงานมีความยั่งยืน ซึ่งจะต้องดำเนินการจัดทำเอกสารให้สอดคล้องกับข้อกำหนดและการควบคุมเอกสาร ดังนี้

- ด้านความสามารถ การฝึกอบรม และความตระหนัก
- ด้านพลังงานของคนในองค์กร (Competence Training and awareness)
- ด้านการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกองค์กร (Communication)
- ด้านระบบเอกสาร (Documentation) ซึ่งต้องดำเนินการจัดทำเอกสารให้สอดคล้องกับข้อกำหนดและการควบคุมเอกสาร
- ด้านการควบคุมการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา (Operational Control) เฉพาะกระบวนการหรือเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญและมีผลกระทบต่อสมรรถนะพลังงาน (SEU) ถ้ามีความจำเป็นก็ควรกำหนดวิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction) ของแต่ละอุปกรณ์ เช่น วิธีปฏิบัติงานการเริ่มเดินหม้อไอน้ำ เป็นต้น
- ด้านการออกแบบและการจัดซื้อ สำหรับกระบวนการ เครื่องจักรที่มีนัยสำคัญและมีผลกระทบต่อสมรรถนะพลังงาน (SEU) รวมถึงการบริการด้านพลังงาน

3 การตรวจสอบ (CHECK)

องค์กรเฝ้าติดตามและตรวจสอบการดำเนินการรวมถึงแผนปฏิบัติการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยการกำหนดแผนในการเฝ้าระวังและการตรวจติดตามตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะพลังงาน ซึ่งในการตรวจสอบยังรวมไปถึงการตรวจประเมินภายในระบบการจัดการพลังงานที่จะต้องทำเป็นประจำทุกปี และหากพบข้อบกพร่องหรือแนวโน้มที่จะเกิดข้อบกพร่อง จะต้องดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขและปฏิบัติการป้องกันทันที

4 การทบทวน (ACT)

องค์กรดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องที่พบ เพื่อปรับปรุงสมรรถนะขององค์กรด้านพลังงาน ซึ่งส่งผลให้ระบบมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยองค์กรจะต้องดำเนินการทบทวนโดยฝ่ายบริหารทุก ๆ ปี เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการจัดการพลังงานยังคงอยู่และมีการปรับปรุงและพัฒนาได้อย่างต่อเนื่อง

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง
อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

เป็นศูนย์พัฒนาโครงการหลวงที่มีปริมาณผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก ด้วยลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบบริเวณหุบเขา ซึ่งมีความเหมาะสมในการประกอบอาชีพเกษตรกรรม อาทิ เช่น ทำนา ปลูกผัก และมีที่ลาดไหล่เขาซึ่งเหมาะสำหรับการปลูกไม้ผลและพืชไร่ โดยศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวงได้ดำเนินพันธกิจหลักในการส่งเสริมให้ประชาชนในพื้นที่ปลูกพืชหลากหลายชนิด เพื่อทดแทนการทำไร่เลื่อนลอยและปลูกฝิ่น โดยจำหน่ายให้กับทางศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ด้วยเหตุนี้ทางศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวงจึงได้มีการจัดตั้งอาคารผลิตผลเพื่อรองรับการคัดบรรจุและจัดเก็บผลผลิตทางการเกษตรซึ่งอาคารผลิตผลดังกล่าวมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทั้งหมด 39 ศูนย์ โดยข้อมูลที่คณะวิจัยได้ลงพื้นที่เก็บข้อมูลในปี 2559-2560 พบว่ามีผลผลิตทางการเกษตรเข้าสู่ขั้นตอนและกระบวนการคัดพักเฉลี่ยต่อเดือน เท่ากับ 193.06 ตัน ส่งผลทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารผลิตผลอยู่ในเกณฑ์สูง กระบวนการทำงาน แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1 ทำการวิเคราะห์หาแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

โดยนำเอาข้อมูลผลผลิตทางการเกษตรมาวิเคราะห์และข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารผลิตผล ซึ่งเป็นวิธีการสำหรับจัดการพลังงานเบื้องต้น ควบคุมระดับการใช้พลังงานให้เป็นไปตามความเหมาะสม

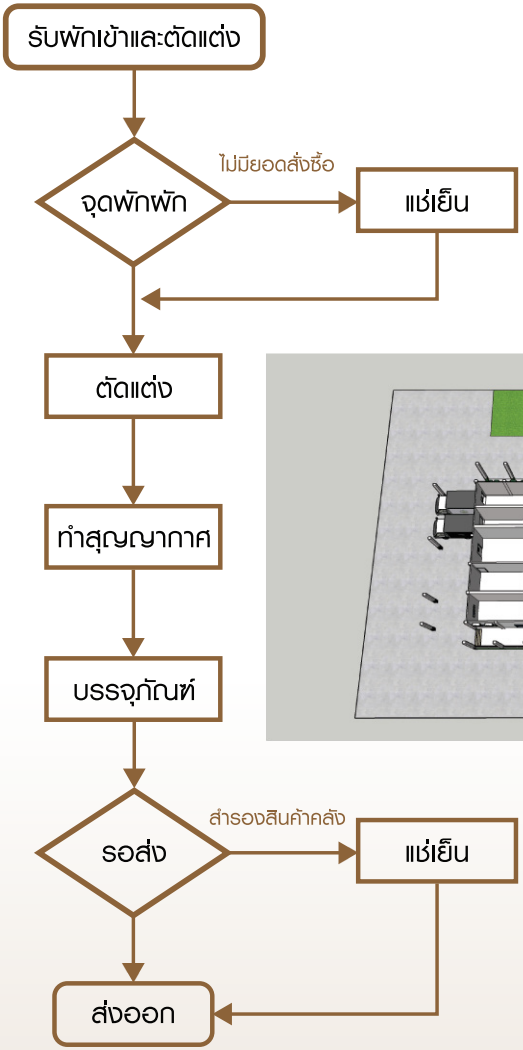
2 ปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตเดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้น

โดยได้นำเอาวิธีการตรวจติดตามการใช้พลังงานมาประยุกต์ใช้ร่วมกับCUSUM chart ซึ่งเป็นเครื่องมือทางสถิติที่แสดงผลรวมสะสมของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยข้อมูลกับค่าพิกัดเป้าหมายที่กำหนด สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแม้มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย และสามารถบอกถึงปริมาณพลังงานที่ประหยัดหรือสูญเสียได้ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้ สามารถนำมาควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารผลิตผลของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวงได้

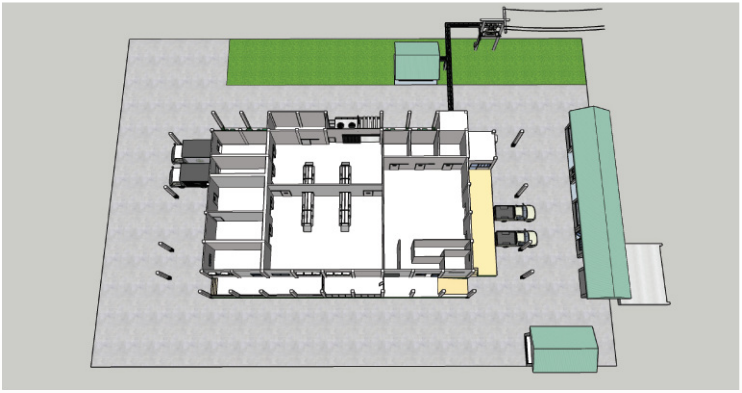
WORK INSTRUCTION (WI) คือ ผังการทำงานหรือกระบวนการผลิต ซึ่งการศึกษากระบวนการทำงานและสังเกตพฤติกรรมการทำงานจะมีผลต่อการวิเคราะห์และการหาข้อมูลเชิงลึกของอาคารผลิตผลที่สัมพันธ์ต่อการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละกระบวนการซึ่งสามารถอธิบายหลักการปฏิบัติออกเป็น 4 หัวข้อหลัก ดังนี้

1. เมื่อรับผักเข้ามาในจุดรับเข้าและตัดแต่ง จะทำการตัดแต่งเบื้องต้นแล้วนำไปเข้าเก็บยังจุดพักผัก เพื่อรอส่งไปตัดแต่งโดยละเอียด ในกรณีที่มีผักเหลือจากยอดใบสั่งซื้อในวันนั้น จะนำไปแช่เย็นไว้ก่อน
2. ผักที่ถูกเก็บไว้ในจุดพักผัก จะถูกนำเข้ามาสู่จุดตัดแต่ง เมื่อดำเนินการตัดแต่งโดยละเอียดเรียบร้อยแล้ว จึงนำไปบรรจุภัณฑ์ที่ห้องบรรจุภัณฑ์
3. เมื่อบรรจุภัณฑ์เรียบรอยจึงนำไปผ่านระบบเย็นเร็วแบบสุญญากาศ เพื่อรักษาและคงสภาพความสด ใหม่ของสินค้าเอาไว้
4. เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านระบบสุญญากาศ แล้วจึงนำไปเก็บรักษาไว้ยังจุดรอส่งในกรณีส่งไม่ทันในวันที่ทำการคัดบรรจุจะนำไปแช่เย็นเก็บรักษาไว้เพื่อรอส่ง

กระบวนการคัดบรรจุผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง ลำดับ ขั้นตอน ในกระบวนการคัดบรรจุผัก ภายในอาคารผลิตผล ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง มีทั้งสิ้น 7 ขั้นตอน ดังนี้



ขั้นตอนการคัดบรรจุของผัก



แผนผังแสดงกระบวนการคัดบรรจุ

การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้กับตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เครื่องมือที่จะนำมาวิเคราะห์ดังนี้

1 หาพฤติกรรมการใช้พลังงาน

ใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control หรือ SPC) การประยุกต์ใช้เทคนิค SPC กับการจัดการพลังงานหรือการอนุรักษ์พลังงาน จะสามารถแสดงได้ในรูปแผนภูมิการกระจายตัว (Scatter Chart) เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงาน และการผลิตอย่างชัดเจน

โดยสามารถหาความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการเส้นตรงซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสมการอ้างอิงได้ โดยสมการเส้นตรงนี้จะมีรูปแบบทั่วไปสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1

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

โดยที่

E คือ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ – ชั่วโมง)

m คือ ความชันของเส้นตรง

x คือ ปริมาณผักในอาคารผลิตผล (ตัน)

c คือ ค่าคงที่และจุดตัดแกน (พลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณสินค้า)

m (ค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร x) คือ พลังงานที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วย (Productive dependent Energy Consumption: PEC)

c (ส่วนค่าคงที่) หมายถึง ปริมาณพลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิต (Unproductive Energy Consumption: UEC) ซึ่งอาจหมายถึงพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ เช่น แสงสว่าง ระบบทำความเย็นในคลังสินค้า และพลังงานที่สูญเปล่าโดยไม่มีความจำเป็น เช่น การเสื่อมสภาพของผนังห้องเย็น การเดินเครื่องจักรเปล่า ฯลฯ

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ จะมีค่าระหว่าง 0-1 บ่งชี้ถึงการกระจายตัวของข้อมูล ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 สมการเส้นตรงที่ได้

ซึ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสามารถทำได้โดยใช้ข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตที่ผ่านมา เช่น ปริมาณการผลิตสินค้า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพและการวางแผนการใช้พลังงานต่อไปในอนาคต โดยเก็บข้อมูลในรูปแบบรายเดือนรวมทั้งสิ้น 24 เดือน

2 การตรวจติดตามการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่สนใจ

โดยแผนภาพ CUSUM เพื่อใช้คาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคต จากนั้นหาค่าความแตกต่างของปริมาณพลังงานที่ใช้จริงกับปริมาณพลังงานที่คาดคะเนไว้ (Different) และสร้างกราฟผลต่างสะสม เพื่อดูแนวโน้มการใช้พลังงานว่า มีการประหยัดหรือสิ้นเปลืองกว่าที่คาดการณ์ไว้หรือไม่

ค่าผลต่างที่เป็นค่าลบแสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า นั่นคือถือว่ามีการประหยัดพลังงาน

ค่าเป็นบวกก็จะแสดงผลว่ามีการใช้พลังงานสิ้นเปลืองเกินกว่าที่คาดการณ์ไว้ [6] และการคำนวณผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ควรจะเป็นกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง สามารถนำสมการที่ 1 มาเป็นเป็นสมการฐานอ้างอิงในการคำนวณ โดยมีตัวแปรสำคัญ และ มีสมการที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$D_i = E_u - E_i \qquad (2) \qquad S_i = \sum_{i}^{j} D_i \qquad (3)$$

โดยที่

D_i คือ ผลต่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงกับพลังงานที่คำนวณได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

S_i คือ ค่าผลต่างสะสม (CUSUM) ของแต่ละเดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

E_u คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเดือนท (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

E_i คือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการเส้นตรงที่ใช้เป็นฐานอ้างอิงในเดือนที่ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

i คือ เดือนที่ต้องการวิเคราะห์การใช้พลังงาน (i = 1, 2, ...,)

และสามารถคำนวณร้อยละของผลการประหยัดที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ดังสมการที่ 4

$$\%Saving = \frac{S_{years}}{E_{years}} \times 100 \qquad (4)$$

โดยที่

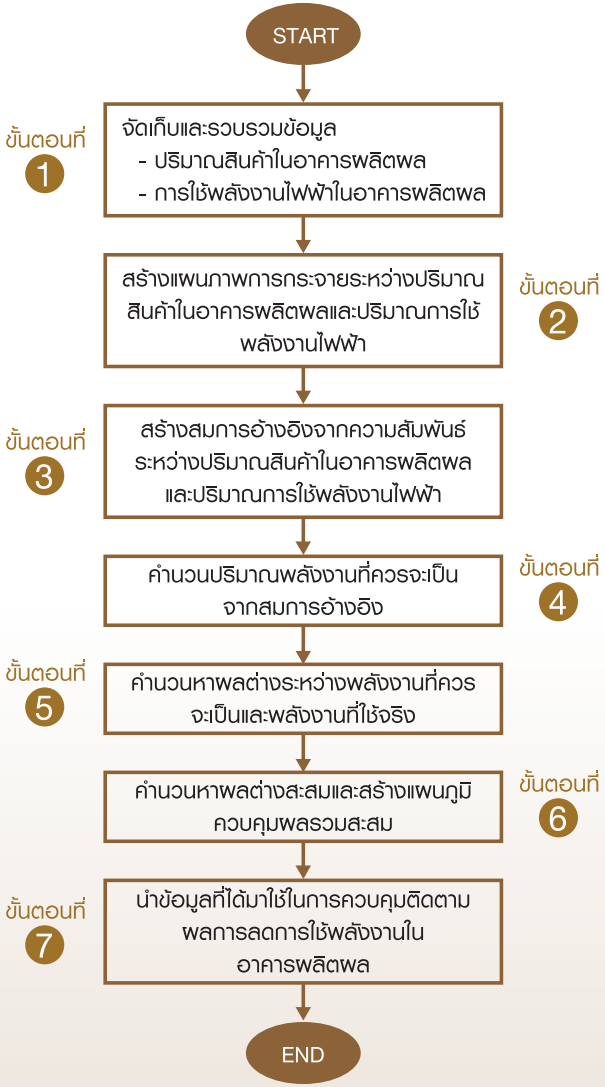
$\%Saving$ คือ ร้อยละผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า

S_{years} คือ ผลต่างพลังงานไฟฟ้าสะสมรายปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

E_{years} คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รายปี(กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน การตรวจติดตามเพื่อควบคุมและวิเคราะห์

ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 7 ขั้นตอนหลัก ดังนี้



ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณการผลิต และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบ 24 เดือนต่อเนื่อง ของโรงงานควบคุมแห่งหนึ่ง

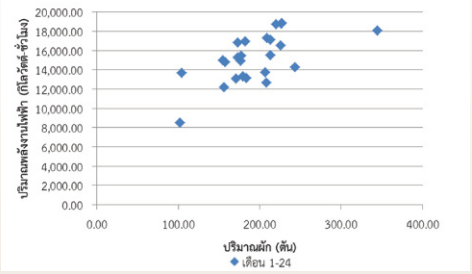
	เดือน	ปริมาณผักรวม (ตัน)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
ปี 2559	1	183.8265	13,102.06
	2	243.272	14,276.89
	3	179.692	13,312.43
	4	182.713	16,950.70
	5	104.46	13,664.27
	6	171.4965	13,057.24
	7	176.8007	14,932.54
	8	177.48	15,445.70
	9	157.91	14,799.03
	10	101.991	8,464.20
	11	155.009	14,799.03
	12	156.3455	12,160.53
ปี 2560	13	207.311	13,744.05
	14	208.2555	12,624.85
	15	213.0155	15,480.04
	16	344.8077	18,071.29
	17	227.2928	18,282.85
	18	209.2351	17,282.85
	19	226.6913	17,747.02
	20	220.2405	18,735.39
	21	173.5436	16,778.48
	22	213.1503	17,130.29
	23	173.0538	15,270.12
	24	225.9681	16,493.26

ขั้นตอนที่ 1

รวมรวมข้อมูลปริมาณผลผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน ซึ่งมีผลการเก็บข้อมูลปริมาณผลผลิตและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารผลิตผล ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง ดัง ตารางที่ 1

ขั้นตอนที่ 2

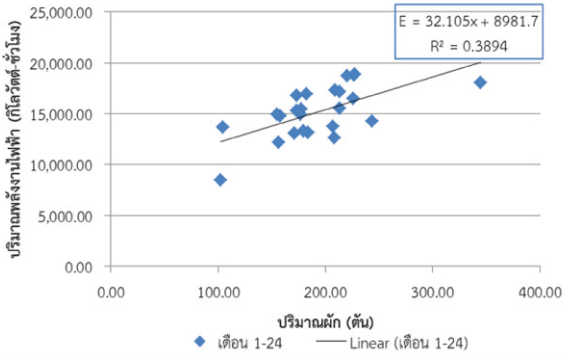
สร้างเป็นแผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 1 ซึ่งแผนภาพดังกล่าวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่จากจุดตัดบนแกน x และ y โดยมีนัยสำคัญ



รูปที่ 1 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผัก

ขั้นตอนที่ 3

จากแผนภาพในรูปที่ 1 สามารถหาความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการ E=mx+c (1) โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานแสง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผักและสมการความสัมพันธ์

จากแผนภาพการกระจาย ในรูปที่ 2 จะสามารถสร้างสมการอ้างอิงได้ สมการที่ 1

$$E = 32.105X + 8{,}981.7 \qquad (A)$$

จากสมการที่ A แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานที่ต้องใช้เมื่อมีปริมาณสินค้า 1 ตัน เท่ากับ 32.105 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และค่าพลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณสินค้า เท่ากับ 8,981.7 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และจากการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นจะได้ค่า เท่ากับ 0.3894 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่นอกเส้นแนวโน้มมาก ทำให้เห็นว่าภายในเวลา 24 เดือนที่ผ่านมานั้นมีการเปลี่ยนแปลงและแปรปรวนของการใช้พลังงานค่อนข้างมาก

ขั้นตอนที่ 4

คำนวณหาปริมาณพลังงานที่ควรจะเป็น เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางที่ 1 พบว่าปริมาณผักเฉลี่ยทั้ง 24 เดือน มีค่าเท่ากับ 193.065 ตัน เมื่อนำมาแทนค่า X ในสมการที่ A

$$E = 32.105X + 8,981.7 \qquad (A)$$

จะได้ **พลังงานไฟฟ้าหรือค่า** E เท่ากับ 15,180.054 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เปรียบเทียบกับ c เท่ากับ 8981.7 (ค่า c หรือ UEC คือ พลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิต) คิดเป็นร้อยละ 59.17 ของการใช้พลังงานทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 5

คำนวณผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ควรจะเป็นกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงจากสมการอ้างอิงที่ 2 และ 3 และ สมการที่ A ซึ่ง

$$E = 32.105X + 8,981.7 \qquad (A)$$

การคำนวณผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ควรจะเป็นกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงสามารถนำสมการที่ 1 มาเป็นเป็นสมการฐานอ้างอิงในการคำนวณ โดยมีตัวแปรสำคัญ และ มีสมการที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$D_i = E_u - E_i \qquad (2)$$

$$S_i = \sum_{i}^{j} D_i \qquad (3)$$

D_i คือ ผลต่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงกับพลังงานที่คำนวณได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

S_i คือ ค่าผลต่างสะสม (CUSUM) ของแต่ละเดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

E_u คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเดือนที่ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

E_i คือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการเส้นตรงที่ใช้เป็นฐานอ้างอิงในเดือนที่ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

i คือ เดือนที่ต้องการวิเคราะห์การใช้พลังงาน (i = 1, 2, ...,)

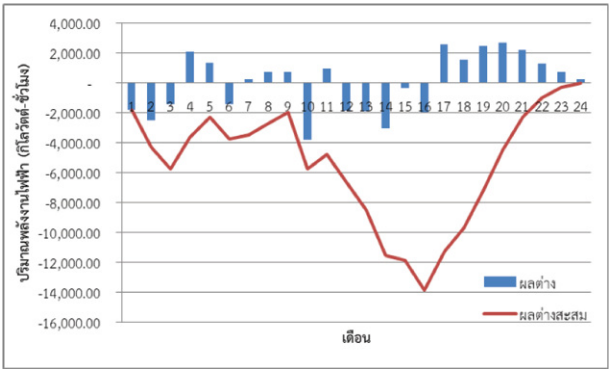
สามารถคำนวณผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ควรจะเป็นกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ผลต่าง และผลต่างสะสมจากข้อมูล 24 เดือน

เดือน	ปริมาณฝักรวม (ตัน)	E_u (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	E_i (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	D_i (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	S_i (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
1	183.8265	13,102.06	14,883.44978	-1,781.389783	-1,781.389783
2	243.2720	14,276.89	16,791.94756	-2,515.057560	-4,296.447343
3	179.6920	13,312.43	14,750.71166	-1,438.281660	-5,734.729003
4	182.7130	16,950.70	14,847.70087	2,102.999135	-3,631.729867
5	104.4600	13,664.27	12,335.38830	1,328.881700	-2,302.848168
6	171.4965	13,057.24	14,487.59513	-1,430.355133	-3,733.203300
7	176.8007	14,932.54	14,657.88647	274.6535265	-3,458.549774
8	177.4800	15,445.70	14,679.69540	766.0046000	-2,692.545174
9	157.9100	14,799.03	14,051.40055	747.6294500	-1,944.915724
10	101.9910	8,464.20	12,256.12106	-3,791.921055	-5,736.836779
11	155.0090	14,941.91	13,958.26395	983.646055	-4,753.190724
12	156.3455	12,160.53	14,001.17228	-1,840.642278	-6,593.833001
13	207.3110	13,744.05	15,637.41966	-1,893.369655	-8,487.202656
14	208.2555	12,624.85	15,667.74283	-3,042.892828	-11,530.09548
15	213.0155	15,480.04	15,820.56263	-340.5226275	-11,870.61811
16	344.8077	18,071.29	20,051.75121	-1,980.461209	-13,851.07932
17	227.2928	18,856.32	16,278.93534	2,577.384656	-11,273.69466
18	209.2351	17,282.85	15,699.19289	1,583.657115	-9,690.037549
19	226.6913	18,747.02	16,259.62419	2,487.395814	-7,202.641736
20	220.2405	18,735.39	16,052.52125	2,682.868748	-4,519.772988
21	173.5436	16,778.48	14,553.31728	2,225.162722	-2,294.610266
22	213.1503	17,130.29	15,824.89038	1,305.399619	-989.2106475
23	173.0538	15,270.12	14,537.59225	732.5277510	-256.6828965
24	225.9681	16,493.26	16,236.40585	256.8541495	0.1712830

ขั้นตอนที่ 6

นำข้อมูลทั้งหมดในตารางที่ 2 ไปสร้างเป็นแผนภูมิเชิงเส้น ในรูปแบบของแผนภูมิควบคุมผลต่างสะสม (CUSUM control chart) โดยให้แกน x เป็นเดือน 1-24 แกน y เป็นแกนของพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ดังรูปที่ 3



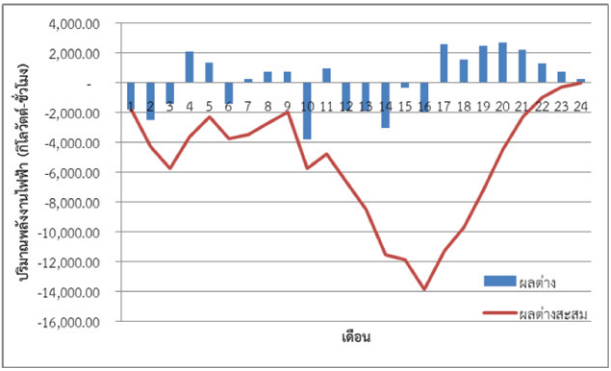
รูปที่ 3 แผนภูมิควบคุมผลต่างสะสมของข้อมูลในช่วงเวลาต่อเนื่องกัน 24 เดือน

ขั้นตอนที่ 7

นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการควบคุมติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารผลิตผล และสังเกตพฤติกรรมในการดำเนินกิจกรรมในการควบคุมและประหยัด

การวิเคราะห์พฤติกรรม
การใช้พลังงานไฟฟ้า

การติดตามและวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงาน ไฟฟ้า จากการลงพื้นที่ทดลองดำเนินกิจกรรมเพื่อควบคุมและประหยัด ข้อมูลจากแผนภูมิควบคุมผลต่างสะสมใน รูปที่ 3



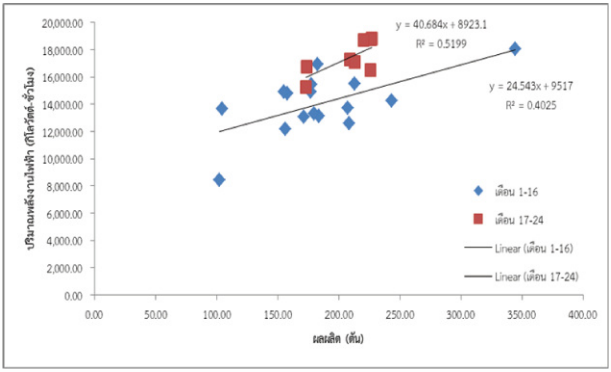
รูปที่ 3 แผนภูมิควบคุมผลต่างสะสมของข้อมูลในช่วงเวลาต่อเนื่องกัน 24 เดือน

แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ในช่วงเดือนที่ 1-16 ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในเชิงของการลดการใช้พลังงานซึ่งสามารถประเมินได้จากความชันของกราฟควบคุมผลต่างสะสมที่อยู่ในแดนลบ ลักษณะของรูปกราฟมีการแปรปรวนอยู่ตลอดเวลา แต่ยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแดนลบบ่งชี้ถึงถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินค่าฐานอ้างอิงมีน้อยกว่าในส่วนที่ต่ำ และแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า

แต่ตั้งแต่เดือนที่ 17-24 ลักษณะรูปกราฟยังอยู่ในแดนลบแต่มีทิศทางลู่เข้าสู่ด้านบวก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงดังกล่าวเกินกว่าค่าฐานอ้างอิง แสดงให้เห็นถึงการขาดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น ในระหว่างช่วงเดือน 1 ถึง 16 พบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นในเดือนที่ 4 5 7 8 9 และ 11 เนื่องจากเดือนดังกล่าวเป็นช่วงที่ดำเนินการทดลองดำเนินกิจกรรมควบคุมและประหยัดไฟฟ้า แต่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากขึ้นอย่างผิดปกติ จึงได้ใช้การวิเคราะห์แบบเปรียบเทียบพฤติกรรม (activity based) เพื่อให้เห็นถึงผลกระทบ

ในการดำเนินกิจกรรมควบคุมและประหยัดที่แท้จริง โดยการสร้างแผนภาพการกระจายและแผนภูมิเชิงเส้นขึ้นใหม่ และแบ่งข้อมูลออกแบบ 2 ช่วง คือ 1) ช่วงเดือนที่ 1-16 เป็นช่วงที่อาคารผลิตผลมีการคัดบรรจุผักตามแผนหลัก ควบคู่ไปกับการลงพื้นที่ดำเนินกิจกรรมตรวจติดตาม ควบคุม และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยคณะวิจัย และ 2) ช่วงเดือนที่ 17-24 เป็นช่วงอาคารผลิตผลมีการปรับเปลี่ยนแผนการคัดบรรจุผักและกิจกรรมตรวจติดตาม ควบคุม และลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเป็นหน้าที่บุคลากรของอาคารผลิตผลรวมทั้งสิ้น 8 เดือน เพื่อให้เห็นประสิทธิภาพและผลกระทบในการดำเนินกิจกรรมควบคุมและประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่แท้จริง คณะผู้วิจัยจึงเลือกข้อมูลในช่วงที่ 2 มาใช้ในการคำนวณสมการฐานอ้างอิง โดยสามารถสร้างแผนภาพการกระจายและสมการเส้นฐานอ้างอิง ดังรูปที่ 4

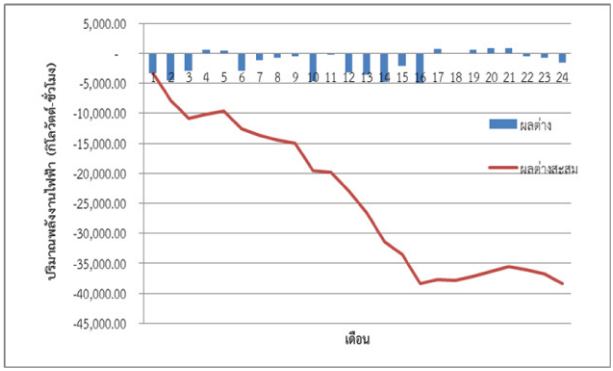


รูปที่ 4 แผนภูมิการกระจายระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณผลผลิต โดยแยกข้อมูลเป็นเดือนที่ 1-16 และเดือนที่ 17-24

จากข้อมูลในรูปที่ 8 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 = 0.5199 เมื่อนำข้อมูลปริมาณการคัดพักทั้ง 24 เดือน ไปแทนค่าในสมการข้างต้น จะสามารถสรุปข้อมูลและตัวแปรอ้างอิงที่เกี่ยวข้องได้ดังตารางที่ 3 และสามารถสร้างเป็นแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมได้ ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ผลต่าง และผลต่างสะสมแบบฐานกิจกรรม (activity based)

เดือน	ปริมาณผักรวม (ตัน)	E_u (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	E_i (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	D_i (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	S_i (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
1	183.83	13,102.06	16,401.90	-3,299.84	-3,299.84
2	243.27	14,276.89	18,820.38	-4,543.49	-7,843.33
3	179.69	13,312.43	16,233.69	-2,921.26	-10,764.58
4	182.71	16,950.70	16,356.60	594.10	-10,170.48
5	104.46	13,664.27	13,172.95	491.32	-9,679.16
6	171.50	13,057.24	15,900.26	-2,843.02	-12,522.18
7	176.80	14,932.54	16,116.06	-1,183.52	-13,705.70
8	177.48	15,445.70	16,143.70	-698.00	-14,403.70
9	157.91	14,799.03	15,347.51	-548.48	-14,952.18
10	101.99	8,464.20	13,072.50	-4,608.30	-19,560.48
11	155.01	14,941.91	15,229.49	-287.58	-19,848.06
12	156.35	12,160.53	15,283.86	-3,123.33	-22,971.39
13	207.31	13,744.05	17,357.34	-3,613.29	-26,584.68
14	208.26	12,624.85	17,395.77	-4,770.92	-31,355.60
15	213.02	15,480.04	17,589.42	-2,109.38	-33,464.98
16	344.81	18,071.29	22,951.26	-4,879.97	-38,344.95
17	227.29	18,856.32	18,170.28	686.04	-37,658.91
18	209.24	17,282.85	17,435.62	-152.77	-37,811.68
19	226.69	18,747.02	18,145.81	601.21	-37,210.47
20	220.24	18,735.39	17,883.36	852.03	-36,358.44
21	173.54	16,778.48	15,983.55	794.93	-35,563.51
22	213.15	17,130.29	17,594.91	-464.62	-36,028.13
23	173.05	15,270.12	15,963.62	-693.50	-36,721.63
24	225.97	16,493.26	18,116.39	-1,623.13	-38,344.75



รูปที่ 5 แผนภูมิควบคุมสะสมที่ใช้ฐานกิจกรรมเป็นเส้นฐานอ้างอิง (activity based)

ข้อมูล S_i จากตารางที่ 3 จะแสดงให้เห็นถึงผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าสะสม ตั้งแต่เริ่มทำกิจกรรมประหยัดควบคุม และลดการใช้ไฟฟ้า ตั้งแต่เดือนที่ 1-24 มีค่าเท่ากับ 38,344.75 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้ง 24 เดือนในการดำเนินกิจกรรมคัดบรรจุพักของอาคารผลิตผล (E_{years}) มีค่าเท่ากับ 364,321.46 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และค่าผลต่างพลังงานไฟฟ้าสะสมรายปี (S_{years}) มีค่าเท่ากับ 38,344.75 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ข้อมูลที่ได้ข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า อาคารผลิตผล ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวงมีร้อยละของผลการประหยัดไฟฟ้าระหว่างปี 2559-2560 มีค่าเท่ากับ 10.52

การติดตามและวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการคัดพักของอาคารผลิตผลของ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง ข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับการตรวจติดตามพลังงาน คือ ข้อมูลปริมาณการผลิตและข้อมูลการใช้พลังงาน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้มาจากการลงพื้นที่ดำเนินกิจกรรมของคณะวิจัยและจากการสอบถามผู้ปฏิบัติงานในอาคารผลิตผล โดยข้อมูลด้านพลังงานนั้นต้องมีสัมพันธ์กับลักษณะการผลิต เพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและหาแนวทางเพื่อลดการใช้พลังงาน ข้อมูลที่ได้สามารถแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 ช่วง ตามแผนการผลิตและลักษณะการดำเนินกิจกรรมเพื่อควบคุมและลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ช่วงแรก คือ ช่วงที่อาคารผลิตผลมีการผลิตตามแผนและมีการดำเนินกิจกรรมต่อเนื่องโดยคณะผู้วิจัย และช่วงที่ 2 คือ ช่วงที่ 1 อาคารผลิตผลรับแผนการผลิตนอกแผน เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของปริมาณการผลิตและการใช้พลังงานโดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์เชิงเส้นอย่างง่ายจากข้อมูลรวมทั้ง 24 เดือน พบว่า ค่าที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.4-0.6 เนื่องจากข้อมูลมีความแปรปรวนและมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่น้อย ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุได้แก่ เป็นช่วงแรกที่ดำเนินกิจกรรมด้านประหยัดพลังงานซึ่งสามารถสังเกตได้ในช่วงเดือนที่ 4 และ 5 มีความผิดปกติในกระบวนการคัดบรรจุพักหรือมีพฤติกรรมที่ละเลยในเดือนที่ 17 19 20 และ 21 ซึ่งส่งผลกระทบให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ด้อยลง

การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาจากข้อมูลปริมาณผลผลิตซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ซึ่งยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เช่น การกำหนดเป้าหมายและดำเนินนโยบายในการอนุรักษ์พลังงาน ฤดูกาลการผลิต ลักษณะของกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตการใช้ไฟฟ้าจากระบบสำรองไฟฟ้า ฯลฯ

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพิเชฐ ปะเสนะ และ สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ ปี 2557 เรื่อง “การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานสู่มาตรฐานสากล ISO 50001:2011 สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์” และบุญญารัตน์ แสงปิยะ, จันทนา จันทโร และ ไชยะ แช่มช้อย ปี 2554 เรื่อง “ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานควบคุม” และ ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์สำหรับคณะวิจัยและผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อต่อยอดในการศึกษาเชิงลึกในอนาคตต่อไป

บทสรุป

เทคนิคการติดตามและวิเคราะห์ผลการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการคัดผัก จำเป็นต้องอาศัยการลงพื้นที่ดำเนินกิจกรรมสร้างความรู้ความเข้าใจ และแนวทางในการปฏิบัติเพื่อควบคุมและลดการใช้พลังงาน ควบคู่ไปกับการนำเอาข้อมูลผลผลิตทางการเกษตรและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มาร่วมวิเคราะห์ โดยทางสถิติ คือ กรณีไฟฟ้าดับ และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมเพื่อตรวจติดตามพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจากการเก็บข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการดังกล่าวที่สามารถนำมาควบคุมเพื่อลดการใช้พลังงาน โดยงานวิจัยนี้มีค่ามีร้อยละของผลการประหยัดไฟฟ้าเท่ากับ 10.52 และยังสามารถบ่งชี้ถึงจุดวิกฤต ปัญหาและความผิดปกติที่เกิดขึ้นในช่วงที่ดำเนินกิจกรรมในองค์กรหรือสถานประกอบการไม่ว่าจะขนาดเล็กหรือใหญ่ จำเป็นต้องมีการติดตามปรับปรุงแก้ไขทบทวน การใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อควบคุมและเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงาน หากไม่ทำการทบทวนและติดตามผลอาจส่งผลกระทบให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการตรวจติดตามควบคู่กับการผลักดันให้เกิดนโยบายและมาตรการเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าอย่างจริงจังจะช่วยให้เกิดรูปแบบในการดำเนินนโยบายด้านการอนุรักษ์พลังงาน และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในประหยัดพลังงานได้อย่างเป็นรูปธรรม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล : สามารถ สาลี

ตำแหน่ง : วิศวกร

ความเชี่ยวชาญ : วิศวกรรมไฟฟ้า
งานประเมินคุณภาพไฟฟ้า/
การจัดการพลังงาน

สังกัด : ส่วนสนับสนุนการดำเนินงาน
มูลนิธิโครงการหลวง (สคล.)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ศูนย์ความร่วมมือ มทร.ล้านนา
และมจธ.
เพื่อมูลนิธิโครงการหลวงและกิจกรรม
วิชาการ

Royal Project Foundation & King's Recommened Project Supporting Center of RMUTL

โครงการหลวง
ROYAL PROJECT FOUNDATION

โรงงานชาขุนแม่วาก ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง

ศูนย์ความร่วมมือ มทร.ล้านนาและมจธ.

เพื่อมูลนิธิโครงการหลวงและกิจกรรมวิชาการ