การประหยัดพลังงานในหม้อเคี่ยวน้ำตาลโดยใช้มอเตอร์ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์

The Energy Saving in Crystallization Pan by Inverter Control Motor

เกียรติศักดิ์ สิงห์ศิริเจริญกุล[1]* และ ชนกนันท์ สุขกำเนิด[2]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
*ติดต่อ: E-mail keittisaks@mitrphol.com, เบอร์โทรศัพท์ 043-202845, เบอร์โทรสาร 043-202849

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าและอัตราการระเหยน้ำในการเคี่ยวน้ำตาลระบบอัตโนมัติ หลังมีการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ใบกวนเพื่อให้สัมพันธ์กับช่วงการเคี่ยวน้ำตาลในแต่ละระดับการเคี่ยว และมีการหาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุม โดยมีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและไอน้ำจำนวน 62 ลำดับการเคี่ยวและมีการเก็บข้อมูลวิเคราะห์ด้านคุณภาพของน้ำตาลและเวลาในการเคี่ยวจำนวน 185 ลำดับการเคี่ยว พบว่าหลังจากมีการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ใบกวนการเคี่ยวน้ำตาล และมีการเขียนฟังก์ชั่นควบคุมรอบของอินเวอร์เตอร์ให้สัมพันธ์กับการเคี่ยวน้ำตาลในแต่ละระดับแล้ว ระยะเวลาในการเคี่ยวน้ำตาลเร็วขึ้นโดยเฉลี่ย 5.77 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพของผลึกน้ำตาลโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกับก่อนติดตั้ง การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 9.59 เปอร์เซ็นต์ อัตราการระเหยน้ำในการเคี่ยวน้ำตาลเร็วขึ้น 27.47 เปอร์เซ็นต์ มีจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 51 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 3 ปี

คำหลัก: การเคี่ยวน้ำตาล, ลำดับการเคี่ยว, อัตราการระเหยน้ำ, อินเวอร์เตอร์

Abstract

This research aims is to study the usage of electricity and water evaporation rate in automation systems of crystallization. After installing the inverter to control motor speed of agitator is to relate to the levels of crystallization process and also had data of the breakeven point of installation. The data collection was the usage of electricity and steam of crystallization process for 62 batches. Including the quality analysis of the sugar and the time of crystallization for 185 batches. As a result of the experiment after installation inverter and using function for control speed of the inverter in relation of crystallization level already. The time of crystallization is lower as 5.77 percent. For the quality of sugar is similar to the crystallization process before installation, the electricity consumption is lower as 9.59 percent, the evaporation rate of water in crystallization is higher as 27.47 percent. Then the breakeven point which can analyze the return on investment is 51 percent and the payback period is 3 years.

Keywords: Crystallization, Batches, Evaporation Rate, Inverter.

1. บทนำ

กระบวนการผลิตน้ำตาลตั้งแต่การหีบอ้อย ต้มเพื่อเพิ่มความเข้มข้น เคี่ยวน้ำตาลให้เป็นผลึกน้ำตาล ปั่นและอบน้ำตาลจนถึงกระบวนการบรรจุน้ำตาล กระบวนการมีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องและมีความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานทั้งในส่วนของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานไอน้ำเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานให้มากที่สุด เพราะต้นทุนด้านพลังงานของการผลิตรวมทั้งไฟฟ้าและไอน้ำสูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนการผลิตทั้งหมดในการผลิตน้ำตาล

การเคี่ยวน้ำตาลในโรงงานน้ำตาลเป็นหัวใจหลักในการผลิตผลึกน้ำตาล คือ เคี่ยวน้ำเชื่อมที่ความเข้มข้น 60 บริกซ์ ให้เป็นน้ำตาลที่ความเข้มข้น 90 บริกซ์ ซึ่งมีการใช้พลังงานในการเคี่ยวน้ำตาล 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรก คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับมอเตอร์ใบกวนเป็นมอเตอร์สตาร์-เดลต้า ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมากในช่วงการเริ่มเดินเครื่องจักรและเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ และส่วนที่สอง คือ การใช้พลังงานไอน้ำในการเคี่ยวน้ำตาลโดยปกติแรงดันไอน้ำที่ใช้ในการเคี่ยว 0.4 – 0.5 บาร์ โดยใช้ไอน้ำจากหม้อต้มชุดที่ 1 และชุดที่ 2 โดยปกติการเคี่ยวน้ำตาล 110 ลบ.ม. ใช้พลังงานไอน้ำ 40 - 50 ตัน/หม้อ

ดังนั้น จึงเป็นสาเหตุให้ศึกษาทำการวิจัยเรื่องการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์ในการเคี่ยวน้ำตาลทุกขั้นตอน โดยในแต่ละขั้นตอนมีการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แตกต่างกัน ซึ่งทำให้การเข้าผลึกของเม็ดน้ำตาลมีความสม่ำเสมอ การใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเริ่มเดินเครื่อง และช่วงการเพิ่มรอบของมอเตอร์ลดลง ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานไอน้ำลดลง พร้อมทั้งส่งผลให้คุณภาพของผลึกน้ำตาลจากการเคี่ยวน้ำตาลที่ติดตั้งอินเวอร์เตอร์ดียิ่งขึ้นด้วย เช่น ค่า MA, CV และเวลาในการเคี่ยวน้ำตาลลดลง ทำให้การใช้พลังงานของกระบวนการผลิตน้ำตาลลดลงได้ต่อไป

วิษณุ กุสุมจิตร ศึกษาเรื่องการจัดการพลังงานเชิงบูรณาการในโรงงานน้ำตาลตัวอย่าง พบว่าแนวทางการประหยัดพลังงานในโรงงานน้ำตาลมี 2 ประเภท คือ มีการลงทุนและไม่มีการลงทุน โดยพิจารณาเลือกประเภทไม่มีการลงทุนเป็นอันดับแรก

จิระพันธ์ เนื่องจากนิล ศึกษาเรื่องบูรณาการพลังงานความร้อนและไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล พบว่าการจัดการใช้พลังงานในโรงงานน้ำตาลมี 3 แนวทาง คือ การเพิ่มศักยภาพการใช้ไอน้ำ การลดอัตราการใช้ไอน้ำแต่รักษากำลังการผลิตเท่าเดิม และสุดท้ายการลดอัตราการใช้ไอน้ำให้เหมาะสมกับพลังงานความร้อนที่ต้องการ

พิชัย ศิริสุวรรณ ศึกษาเรื่องการพัฒนาชุดทดลองควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า พบว่า ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างความเข้าใจในเรื่องการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า ได้มากกว่าการสอนเพียงทฤษฎี

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 ทฤษฎีการเคี่ยวน้ำตาล

การเคี่ยวน้ำตาลในโรงงานน้ำตาลแบ่งการเคี่ยวตามชนิดของผลิตภัณฑ์เป็น 2 ชนิด คือ การเคี่ยวน้ำตาลทรายดิบ และการเคี่ยวน้ำตาลทรายขาว-รีไฟน์ โดยการเคี่ยวทั้งสองมีวัตถุดิบที่ใช้ในการเคี่ยวและคุณภาพของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน โดยวัตถุดิบสำหรับการเคี่ยวน้ำตาลทรายดิบ คือ น้ำเชื่อมดิบและแม็กมา A ซึ่งทำให้คุณภาพของน้ำตาลมีค่าสีสูงและขนาดเม็ดใหญ่ ส่วนวัตถุดิบการเคี่ยวน้ำตาลทรายขาวและรีไฟน์ คือ น้ำเชื่อมรีไฟน์และเชื้อผงหรือเชื้อเหลว ทำให้คุณภาพน้ำตาลมีค่าสีต่ำและขนาดเม็ดเล็กกว่าน้ำตาลทรายดิบ โดยปกติควบคุมขนาดเม็ด 0.6 – 0.7 มม. และค่าสีน้อยกว่า 200 IU ในขณะที่น้ำตาลทรายดิบควบคุมขนาดเม็ด 0.8 – 0.9 มม. และค่าสี 1,500 – 2,000 IU โดยขั้นตอนของการเคี่ยวน้ำตาลทั้งด้านดิบและรีไฟน์ มี 9 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. Start Step หรือเรียกว่า ขั้นตอนเริ่มต้น เป็นขั้นตอนการตรวจเช็คความพร้อมของทั้งระบบจาก

เครื่องมือวัดที่ติดตั้งทั้งหมด เช่น ตรวจเช็ค Feedback ของวาล์วทุกตัวปิดสนิทหรือไม่ เป็นต้น

2. Start Vacuum หรือเรียกว่า ขั้นตอนการทำแวคคั่ม เป็นขั้นตอนการทำแวคคั่มภายในหม้อเพื่อให้สามารถพร้อมดึงวัตถุดิบเข้าหม้อเพื่อใช้ในการเคี่ยวน้ำตาลโดยปกติค่าแวคคั่ม -20 นิ้วปรอท สามารถเริ่มขั้นตอนถัดไป

3. Draw In หรือเรียกว่า ขั้นตอนการดึงน้ำเชื่อม เป็นขั้นตอนในการดึงน้ำเชื่อมเข้าหม้อหลังจากทำแวคคั่มได้ เมื่อระดับน้ำเชื่อมเข้าตัวหม้อเคี่ยวประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ จะเริ่มเดินใบกวนและปิดวาล์วน้ำเชื่อม เมื่อระดับประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

4. Concentration หรือเรียกว่า ขั้นตอนต้มเพื่อเพิ่มความเข้มข้น เป็นขั้นตอนในการต้มน้ำเชื่อมเพื่อเพิ่มความเข้มข้น 77 - 78 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ จากความเข้มข้นในขั้นตอนการดึงน้ำเชื่อม 65 - 70 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ ซึ่งขั้นตอนการต้มเพื่อเพิ่มความเข้มข้นจะทำการเปิดวาล์วไอเข้าหม้อ และในขณะต้มระเหยน้ำต้องมีการเปิดวาล์วน้ำเชื่อมเข้าหม้อเคี่ยวเพื่อรักษาระดับที่ 40 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป

5. Seeding หรือเรียกว่า ขั้นตอนการช๊อคเชื้อโดยใช้เชื้อผงหรือเชื้อเหลว 500 -1,000 มล. เติมเข้าหม้อและต้องมีการลดแรงดันไอน้ำก่อนทำการช๊อคเชื้อเพื่อป้องกันเม็ดเชื้อเกิดการติดกันเป็นก้อน เมื่อเติมเชื้อผงหรือเชื้อเหลวเข้าไปในหม้อนั้นจะไม่มีการเติมน้ำเชื่อม ความเข้มข้นในหม้อจะสูงขึ้นอัตโนมัติ เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นจากจุดช๊อคเชื้อ 1.5 – 2.0 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ จะเริ่มมีการเปิดวาล์วน้ำเชื่อมเข้าหม้อเพื่อลดเม็ดฝุ่นที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการช๊อคเชื้อจนกระทั่งความเข้มข้นในหม้อลดลงจากจุดช๊อคเชื้อ 1.5 – 2.0 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ ให้รักษาค่าเปอร์เซ็นต์บริกซ์จนครบเวลาของการทำให้ผลึกน้ำตาลแกร่งตัวซึ่งจะเริ่มนับเวลาตั้งแต่วาล์วช๊อคเชื้อเปิด โดยปกติเวลาในการทำให้ผลึกน้ำตาลแกร่งตัว 300 วินาที

6. First Boiling หรือเรียกว่า ขั้นตอนการเคี่ยวไต่ระดับ เป็นการเคี่ยวไต่ระดับตั้งแต่จบเวลาของการทำให้ผลึกน้ำตาลแกร่งตัวไปถึงน้ำตาลเต็มหม้อโดยในการเคี่ยวไต่ระดับมีการควบคุมการทำงานให้สัมพันธ์กัน 2 ส่วน คือ ระดับในหม้อเคี่ยวและความเข้มข้นของน้ำตาลในหม้อ ปกติน้ำตาลเต็มหม้อประมาณ 90 - 95 เปอร์เซ็นต์และความเข้มข้น 89 - 90 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ ซึ่งการเลี้ยงไต่ระดับจะมีการเปิดวาล์วคอนโทรลน้ำเชื่อมเข้าหม้อตลอดเวลาเพื่อรักษาความสัมพันธ์ทั้งสองส่วนจนได้ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้

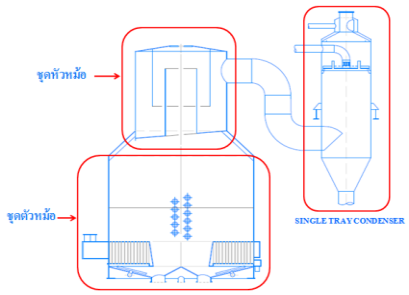
7. Second Boiling หรือเรียกว่า ขั้นตอนการเคี่ยวให้เข้มข้น โดยการเพิ่มแรงดันไอน้ำ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลหลังจากเคี่ยวถึงระดับเต็มหม้อเป็น 92 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ จาก 90 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ ในขั้นตอนการเคี่ยวไต่ระดับ การเพิ่มแรงดันของไอน้ำในการเคี่ยวโดยการเพิ่มเปอร์เซ็นต์วาล์วให้แรงดันไอน้ำ 0.6 บาร์ แตกต่างจากขั้นตอนอื่นที่ใช้แรงดันไอน้ำควบคุม 0.4 บาร์

8. Blow Vacuum and Discharge หรือเรียกว่า ขั้นตอนการลดแวคคั่มและปล่อยน้ำตาลลงรางกวน เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลได้ตามเป้าหมายของขั้นตอนการเคี่ยวให้เข้มข้นโดยหยุดใบกวนและทำการปล่อยแวคคั่มออกจากหม้อ เพื่อให้สภาวะในตัวหม้อใกล้เคียงภายนอกจากนั้นเปิดวาล์วใต้หม้อลงน้ำตาลสู่รางกวนใต้หม้อ

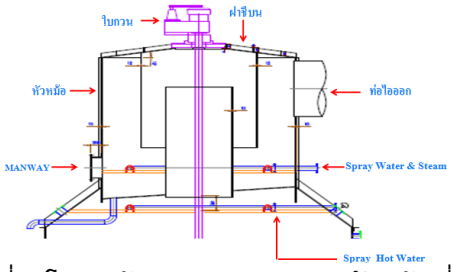
9. Steaming Out and Cleaning หรือเรียกว่า ขั้นตอนการอบล้างหม้อด้วยไอน้ำ เป็นขั้นตอนการอบล้างหม้อด้วยไอน้ำเมื่อระดับน้ำตาลในหม้อลงรางกวนเหลือ 5 เปอร์เซ็นต์เพื่อทำการอบไล่น้ำตาลลงรางไปกวนอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เวลาในการอบล้าง 150-180 วินาที จากนั้นทำการเปิดวาล์วน้ำล้างหม้อใต้หม้อพร้อมทั้งเปิดวาล์วน้ำร้อนข้างหม้อเข้าล้างน้ำตาลที่คงเหลือในหม้อลงถังน้ำล้าง ซึ่งโดยปกติใช้เวลาในการล้างหม้อด้วยน้ำร้อน 90 -120 วินาที

2.2 ส่วนประกอบของหม้อเคี่ยว

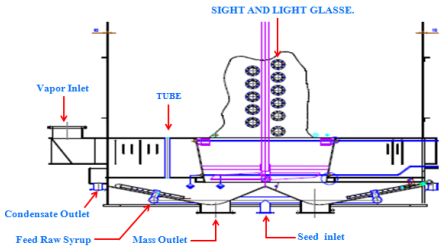
โครงสร้างและส่วนประกอบของหม้อเคี่ยวแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 4



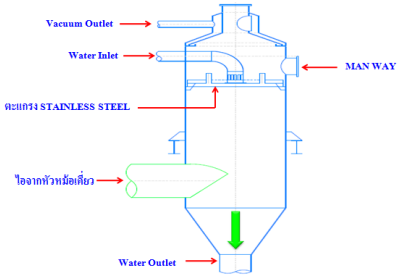
รูปที่ 1 โครงสร้างและส่วนประกอบของหม้อเคี่ยว



รูปที่ 2 โครงสร้างและส่วนประกอบหัวหม้อเคี่ยว



รูปที่ 3 โครงสร้างและส่วนประกอบตัวหม้อเคี่ยว



รูปที่ 4 โครงสร้างและส่วนประกอบ Single Tray Condenser

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำตาล โดยการวิเคราะห์ค่า Purity Drop, MA, CV และเวลาในการเคี่ยวน้ำตาล ส่วนที่สอง คือ การคำนวณหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) ของการเคี่ยวน้ำตาลแต่ละหม้อ จากสมการไฟฟ้า 3 เฟส ดังสมการที่ 1

$$W = 1.732 \times V \times I \times PF \qquad (1)$$

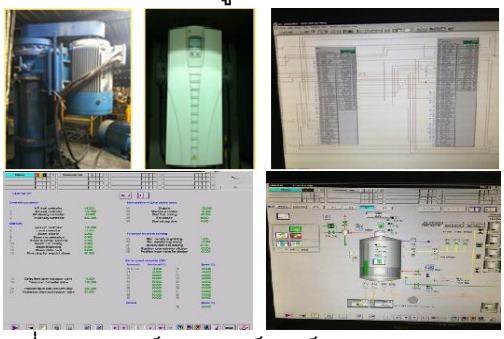
และส่วนสุดท้ายคือ การคำนวณหาอัตราการระเหยน้ำของหม้อเคี่ยวจากสมการอัตราการระเหยน้ำ (Ton/Batch) ดังสมการที่ 2

การระเหยน้ำ (Ton/Batch) = (ปริมาตร Feed In Syrup x (1-(%Brix Syrup /%Brix Masscuite))) (2)

และสามารถหาอัตราการระเหยน้ำต่อหม้อต่อชั่วโมงโดยการหารด้วยเวลาที่ใช้ในการเคี่ยว การเขียนฟังก์ชั่นโปรแกรมควบคุมของบริษัท ซีเมนส์ จำกัด ชื่อโปรแกรม PCS7 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ SIMATIC WinCC V6.0 SP3a Build : 6.1.1.0 ในการเขียนหน้าพารามิเตอร์ การคอนโทรลต่างๆ และ SIMATIC Manager ในการทำ Configure กับอุปกรณ์ต่างๆ และการทำฟังก์ชันการควบคุม

2.4 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ และการทำ Engineering Program

ชื่อการวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ ABB รุ่น ACS550-01-125A-4 ขนาด 100 HP, 55 kW, 125 A. ควบคุมมอเตอร์ใบกวนยี่ห้อ Inline 2 สปีด ขนาด 60 kW, 120/96 A. , 4/8 pole และทำ Engineering Program ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 มอเตอร์, อินเวอร์เตอร์ และ Engineering Program (PCS7)

2.5 ส่วนประกอบของหม้อเคี่ยว

วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษาการควบคุมมอเตอร์โดยวิธีการลดแรงดันขณะสตาร์ทแบบสตาร์-เดลตา [1] เพื่อสรุปหลักการ และปัญหาการทำงานของมอเตอร์ที่มีการสตาร์แบบสตาร์-เดลต้า ซึ่งสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแอมป์มอเตอร์และเวลาขณะมอเตอร์ทำงานได้

2. ศึกษาปัญหาของระบบควบคุมมอเตอร์ที่ใช้วิธีการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลตาในกระบวนการเคี่ยวน้ำตาล เพื่อสรุปปัญหาการสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้าที่ใช้ควบคุมหม้อเคี่ยวและได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความเข้มข้นเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง

3. การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมมอเตอร์แบบอินเวอร์เตอร์ในกระบวนการเคี่ยวน้ำตาล [3] คือการสรุปแนวคิดและดำเนินการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อหาความเร็วรอบของการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสมกับปริมาตรน้ำเชื่อมในหม้อเคี่ยวและความเข้มข้นของน้ำเชื่อม [7]

4. การหาความเร็วรอบการหมุนที่สัมพันธ์กับปริมาตรของน้ำเชื่อมในหม้อเคี่ยว งานวิจัยนี้ใช้วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) โดยมีแนวคิดคือให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ใบกวนปรับเพิ่มตามระดับปริมาตรน้ำเชื่อมในหม้อเคี่ยว โดยในงานวิจัยนี้แบ่งระดับปริมาตรน้ำเชื่อมในหม้อเคี่ยวเป็น 10 ระดับ ได้แก่ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% ของปริมาตรความจุหม้อเคี่ยว และทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลอง 5 ครั้ง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความสัมพันธ์ความเร็วรอบการหมุนกับปริมาตรน้ำตาลในหม้อเคี่ยวทั้ง 5 ชุด

ชุดความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์ความเร็วรอบของใบกวน สำหรับแต่ละปริมาตรของน้ำเชื่อมในหม้อเคี่ยว									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
ชุดที่ 1	40	40	45	45	75	75	75	75	75	60
ชุดที่ 2	40	40	55	55	85	85	85	85	85	60
ชุดที่ 3	40	40	55	55	75	75	75	75	75	60
ชุดที่ 4	40	40	45	45	85	85	85	85	85	60
ชุดที่ 5	40	40	50	50	80	80	80	80	80	60

ซึ่งจะประกอบด้วยชุดความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาตัวแปรที่สนใจ 6 ตัวแปรจากการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง คือ การใช้พลังงานไฟฟ้า อัตราการระเหยน้ำ เวลาในการเคี่ยว ขนาดเม็ดเฉลี่ย ค่าความหวาน และจำนวนรุ่นของผลึกน้ำตาลเมื่อได้คะแนนของทั้ง 6 ตัวแปรและถ่วงน้ำหนักจากคะแนนที่ได้ โดยมีเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าถ่วงน้ำหนักคะแนน 30%
- ค่าความหวานของน้ำตาล ถ่วงน้ำหนักคะแนน 20%
- อัตราการระเหยน้ำ ถ่วงน้ำหนักคะแนน 15%
- ระยะเวลาที่ใช้ในการเคี่ยวถ่วงน้ำหนักคะแนน 15%
- เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดน้ำตาล ถ่วงน้ำหนักคะแนน 10%
- จำนวนรุ่นของเม็ดน้ำตาลถ่วงน้ำหนักคะแนน 10%

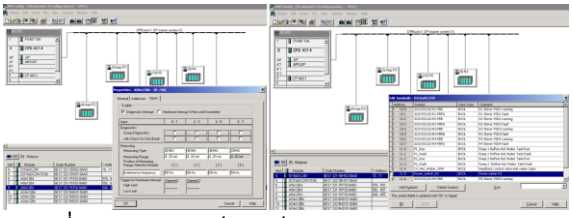
ซึ่งเมื่อรวมคะแนนหลังจากการถ่วงน้ำหนัก 6 ตัวแปร และ 5 ชุดข้อมูลจะได้ชุดข้อมูลที่ 5 มีคะแนนมากสุดที่ร้อยละ 96.217 และจะใช้พารามิเตอร์รอบของใบกวนหลังติดตั้งอินเวอร์ชุดที่ 5 ไปใช้เปรียบเทียบกับการสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า เพื่อสรุปผลต่อไป

5. การออกแบบระบบควบคุมความเร็วของใบกวนให้สัมพันธ์กับระดับน้ำตาลในหม้อเคี่ยว ระบบที่ได้ออกแบบนี้ใช้เซ็นเซอร์วัดระดับปริมาตรน้ำเชื่อมในหม้อเคี่ยว และส่งค่าไป Programmable Logic Controller (PLC) เพื่อวิเคราะห์และหาความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสม

6. แนวคิดและหลักการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงาน เริ่มจากรับค่าปริมาตรของน้ำเชื่อมผ่านทางเซ็นเซอร์ แล้วนำมาเปรียบเทียบหาช่วงของความเร็ว และสั่งอินเวอร์เตอร์มอเตอร์ให้ควบคุมความเร็วรอบตามที่กำหนดในแต่ละช่วงระดับน้ำตาลในหม้อ

7. การเขียนโปรแกรมควบคุมและการพัฒนาระบบการทำฟังก์ชั่นในโปรแกรม PCS7 มี 2 ส่วน คือ

7.1 การทำฮาร์ดแวร์คอนฟิกใน Simatic Manager เพื่อกำหนดสัญญาณของอินเวอร์เตอร์ให้กับ PLC (Programmable Logic Control) ประมวลผลและกำหนดแอดเดรสทั้งหมดของอินเวอร์เตอร์ทั้งสัญญาณอนาลอกและดิจิตอล ดังรูปที่ 6

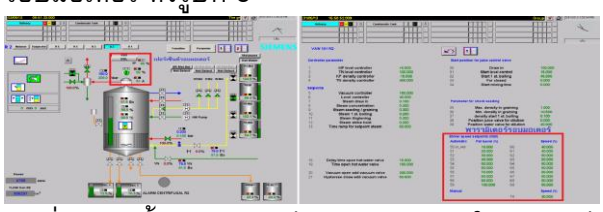


รูปที่ 6 การทำฮาร์ดแวร์คอนฟิก และการกำหนดแอดเดรสใน Programmable Logic Control

จากนั้นเขียนฟังก์ชันการควบคุมประกอบด้วย 2 ฟังก์ชั่น คือ การแบ่งสเกลสัญญาณช่วงที่เรากำหนดเพื่อทำสัญญาณไฟฟ้าเลขฐาน 16 ให้เป็นเลขฐาน 10 ในช่วง (Range) ที่กำหนด อีกฟังก์ชั่นคือการทำ PID สั่งให้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบการเดินมอเตอร์สัมพันธ์กับระดับการเคี่ยวน้ำตาลแต่ละระดับ ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 การทำโปรแกรมเพื่อควบคุมรอบการเดินมอเตอร์ให้สัมพันธ์กับระดับน้ำตาลในหม้อ

7.2 การทำ HMI (Human Machine Interface) ผ่าน WinCC Program เพื่อให้ช่างเคี่ยวน้ำตาลสามารถทราบค่าการทำงานสัญญาณต่างๆ ของอินเวอร์เตอร์ผ่านหน้าจอชุดควบคุม พร้อมทั้งสามารถปรับค่าเป้าหมาย เช่น รอบการเดินมอเตอร์และค่าพารามิเตอร์ใน PID โดยการตั้งค่าพารามิเตอร์รอบมอเตอร์ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การตั้งพารามิเตอร์ของรอบมอเตอร์ให้สัมพันธ์กับระดับการเคี่ยวน้ำตาลในหม้อเคี่ยว

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงก่อนติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์จะเดินรอบอิสระตามความเข้มข้นของน้ำตาลในหม้อเคี่ยว แอมแปร์ของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นและระดับที่เพิ่มขึ้นและตรงข้ามกับรอบของมอเตอร์ที่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง ช่วงที่สองคือ หลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ โดยการเขียนฟังก์ชันควบคุมรอบของมอเตอร์ให้การปรับรอบที่เหมาะสมในแต่ละช่วงระดับของการเคี่ยวน้ำตาล ซึ่งได้ค่าที่ดีที่สุดจากวิธีดำเนินการวิจัย และเก็บข้อมูลค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า อัตราการระเหยน้ำ และคุณภาพของน้ำตาลก่อนและหลังปรับปรุงติดตั้ง และมีการวิเคราะห์การคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

3. ผลการวิจัย

จากผลการวิจัยโดยการทดลองเก็บข้อมูลเปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์หม้อเคี่ยวและทำฟังก์ชันควบคุมรอบของมอเตอร์ให้ทำงานสัมพันธ์ในแต่ละระดับการเคี่ยวน้ำตาล โดยใช้ข้อมูลการเคี่ยวน้ำตาล 62 ลำดับ ในการเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าและอัตราการระเหยน้ำในหม้อเคี่ยว แบ่งเป็นข้อมูลก่อนติดตั้งอินเวอร์เตอร์ จำนวน 42 ลำดับ คิดเป็น 67.74 เปอร์เซ็นต์ และข้อมูลหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์ จำนวน 20 ลำดับ คิดเป็น 32.26 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของข้อมูลการเคี่ยวน้ำตาลที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาลก่อนและหลังการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ แบ่งเป็นข้อมูลก่อนติดตั้งอินเวอร์เตอร์ จำนวน 161 ลำดับ คิดเป็น 87.03 เปอร์เซ็นต์ และข้อมูลหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์ จำนวน 24 ลำดับ คิดเป็น 12.97 เปอร์เซ็นต์ โดยสรุปผลการวิจัยเปรียบเทียบด้านต่างๆ ดังนี้

3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าและอัตราการระเหยน้ำของการเคี่ยวก่อนและหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์

การวิจัยพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าติดตั้งอินเวอร์เตอร์ลดลง 11.12 kWh จากเดิม 115.91 kWh เป็น 104.79 kWh คิดเป็นลดลง 9.59 เปอร์เซ็นต์ต่อลำดับ ส่วนอัตราการระเหยน้ำในการเคี่ยวน้ำตาลจากเวลาการเคี่ยวน้ำตาลที่ลดลง 15 นาที/ลำดับ คิดเป็น 5.77 เปอร์เซ็นต์ อัตราการระเหยน้ำเพิ่มขึ้น 1.92 ตัน/ลำดับ/ชม. คิดเป็น 27.47 เปอร์เซ็นต์นั้น

ต้องพิจารณาเรื่องของวัตถุดิบและแรงดันไอน้ำในการเคี่ยวต้องเป็นฐานข้อมูลเดียวกันดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การใช้พลังงานไฟฟ้าและอัตราการระเหยน้ำของการเคี่ยวก่อนและหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์

การเปรียบเทียบพลังงาน	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	แตกต่าง	%
อัตราการระเหยน้ำในหม้อเคี่ยว (ตัน/ลำดับ/ชม.)	8.89	6.97	1.92	27.47
อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)	104.79	115.91	-11.12	9.59

3.2 คุณภาพน้ำตาลของการเคี่ยวก่อนและหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์

การวิจัยพบว่าเวลาในการเคี่ยวน้ำตาลหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์เร็วขึ้น 5.77 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการเคี่ยวน้ำตาลสูงขึ้น 0.14 หน่วย แสดงว่าการพอกผลึกน้ำตาลเมื่อใบกวนติดตั้งอินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพทำให้การพอกผลึกน้ำตาลดีขึ้น ส่วนค่า MA, CV ต้องพิจารณาในเรื่องของการเตรียมคุณภาพของเชื้อน้ำตาลให้ได้มาตรฐานทุกลำดับ ซึ่งจะส่งผลต่อขนาดของผลึก ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำตาลของการเคี่ยวก่อนและหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์

การเปรียบเทียบคุณภาพ	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	แตกต่าง	%
เวลาในการเคี่ยว (นาที)	245.00	260.00	15.00	5.77
Purity Drop (หน่วย)	1.39	1.25	0.14	11.20
ขนาดผลึกน้ำตาลเฉลี่ย (MA) (มม.)	0.61	0.70	-0.09	12.86
จำนวนรุ่นของผลึกน้ำตาล (CV)	32.34	28.25	4.09	14.48
เปอร์เซ็นต์ขนาดผลึก (0.25-1.18 มม.)	96.73	97.63	-0.90	0.92

3.3 ประเมินการลงทุนด้านเศรษฐศาสตร์

การวิจัยพบว่าการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ใบกวนหม้อเคี่ยวมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 542,820.00 บาท อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับ 51 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3 ปี ซึ่งเหมาะที่จะลงทุนจากอายุโครงการที่ตั้งไว้ 6 ปี (หม้อเคี่ยวจะเคี่ยวน้ำตาลที่ 1,000 ลำดับการเคี่ยวต่อหม้อต่อปี) ซึ่งจะสามารถแสดงข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ประเมินการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

รายการ	มูลค่า
งบประมาณลงทุน (บาท)	400,000.00
อายุโครงการ (ปี)	6.00
มูลค่าทรัพย์สินเมื่อสิ้นสุดโครงการ	0.00
ต้นทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของเงินทุน (%)	11.00
ค่าซ่อมบำรุงและตรวจเช็คระบบ (บาท/ปี)	10,000.00
รายได้ (บาท/ปี)	333,112.00
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)	542,820.00
อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (เปอร์เซ็นต์)	51.00
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	3.00

4. อภิปรายผล

จากผลการวิจัยพบว่าการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมรอบมอเตอร์ใบกวนของหม้อเคี่ยวน้ำตาลช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าอย่างชัดเจน ส่วนอัตราการระเหยน้ำในหม้อเคี่ยวน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น เกิดขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นของวัตถุดิบที่ใช้พอกผลึกน้ำตาล และแรงดันไอน้ำที่ใช้ในการเคี่ยวร่วมพิจารณา เป็นต้น จึงสามารถเปรียบเทียบการใช้พลังงานไอน้ำในการเคี่ยวน้ำตาลได้ดียิ่งขึ้น เรื่องคุณภาพน้ำตาลหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมรอบมอเตอร์ใบกวน ช่วยให้เวลาการเคี่ยวเร็วขึ้นและประสิทธิภาพการเคี่ยวดีขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีการพอกผลึกน้ำตาลที่ดีขึ้น ส่วนขนาดผลึกน้ำตาลเฉลี่ย (MA) จำนวนรุ่นของผลึกน้ำตาล (CV) ต้องพิจารณาการเตรียมเชื้อน้ำตาลที่ใช้เคี่ยวน้ำตาลให้ได้มาตรฐานที่เท่ากัน ซึ่งส่งผลต่อขนาดผลึกน้ำตาลเฉลี่ย (MA) และจำนวนรุ่นของผลึกน้ำตาล (CV) เพราะถ้าคุณภาพเชื้อน้ำตาลไม่ดีหลายขนาด ก็จะส่งผลต่อการพอกผลึกน้ำตาล เมื่อผลึกมีขนาดโตขึ้นทำให้มีขนาดผลึกน้ำตาลที่หลายขนาดตามไปด้วย เรื่องการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ งบประมาณลงทุนอยู่ที่ราคาอินเวอร์เตอร์ และสายสัญญาณในกรณีที่หม้อเคี่ยวมีการเคี่ยวแบบอัตโนมัติเดิมและมีมอเตอร์ใบกวนเป็นแบบสตาร์-เดลต้า ถ้ามีการปรับปรุงติดตั้งอินเวอร์เตอร์ที่มีการเคี่ยวน้ำตาลทั้งปีเช่น หม้อเคี่ยวน้ำตาลทรายขาวและรีไฟน์ จะคุ้มค่าการลงทุนชัดเจนจากการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ทำให้คืนทุนในอายุของ

โครงการ แต่ในกรณีที่หม้อเคี่ยวน้ำตาลที่มีการเคี่ยวไม่ตลอดทั้งปี เช่น การเคี่ยวน้ำตาลทรายดิบ ซึ่งจะเดินระบบ 100 – 120 วันต่อปี ทำให้ไม่คุ้มค่าที่จะติดตั้ง

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมรอบมอเตอร์ใบกวนในหม้อเคี่ยวน้ำตาลจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการเคี่ยวน้ำตาลและเพิ่มประสิทธิภาพการพอกผลึกน้ำตาลในหม้อเคี่ยวให้ดีขึ้น เหมาะที่จะลงทุนติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมรอบมอเตอร์ใบกวนในหม้อเคี่ยวที่เคี่ยวน้ำตาลตลอดทั้งปี เช่น หม้อเคี่ยวน้ำตาลทรายขาวและรีไฟน์ เป็นต้น

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย คือ การวัดพลังงานไอน้ำในการเคี่ยวน้ำตาล ต้องมีการควบคุมตัวแปร 2 ตัวแปรให้เท่ากันในแต่ละหม้อจะทำให้สามารถเปรียบเทียบการใช้พลังงานไอน้ำได้ดียิ่งขึ้นคือ ความเข้มข้นของวัตถุดิบที่ใช้เคี่ยวและแรงดันไอน้ำ เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบคุณภาพของผลึกน้ำตาลต้องมีการควบคุมคุณภาพหรือขนาดของเชื้อน้ำตาลให้คงที่สม่ำเสมอ จะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบในเรื่องของคุณภาพหรือขนาดเม็ดได้ดียิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณเสรี จิตรีพรต ผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัท รวมเกษตรกรอุตสาหกรรม จำกัด ได้ให้คำปรึกษาการทำสมดุลพลังงาน ตลอดจนบริษัทที่ปฏิบัติงานซึ่งมีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สิทธิ์ชัย บุญปิยทัศน์. (2547). การควบคุมระบบการคืนพลังงานสลิปเพื่อใช้ปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์ให้มีสมรรถนะสูงโดยใช้อินเวอร์เตอร์ซ็อปเปอร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[2] วิษณุ กุสุมวิจิตร. (2551). การจัดการพลังงานเชิงบูรณาการในโรงงานน้ำตาลตัวอย่าง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร

[3] ชาตรี บ้านเกาะ. (2544). การประหยัดพลังงานในเครื่องปรับอากาศโดยใช้ inverter เฟสเดียว. วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[4] พิชัย ศิริสุวรรณ. (2554). การพัฒนาชุดทดลองการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าเรื่อง การสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์เดลต้า สำหรับการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง. วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[5] จำเนียน สร้อยเสน. (2554). การศึกษาความเป็นไปได้ในการบริหารจัดการการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[6] สุชาติ ใจหาญ. (2552). การศึกษาผลกระทบด้านพลังงานของโรงงานน้ำตาล กรณีเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการหีบอ้อย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[7] สายันต์ เสาวฤกษ์. (2549). เครื่องควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า ควบคุมโดย MCS–51. รายงานการวิจัย.มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

[8] จิระพันธุ์ เนื่องจากนิล. (2542). บูรณาการระบบพลังงานความร้อนและไฟฟ้าโรงงานน้ำตาล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[9] สฤษดิ์ ป้องกันภัย. (2554). แบบจำลองกระบวนการเคี่ยวน้ำตาลเพื่อการใช้ไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[10] ไพบูรณ์ ตู้ประกาย. (2551). วิเคราะห์และออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง