



การประยุกต์ใช้พีแอลซีในการควบคุมเครื่องบดถั่วเหลืองให้ทำงานโดยอัตโนมัติ Soybean Grinding Machine for Automatic Purpose by PLC Application

น้ามนต์ โชติวิศรุต^{1*} ประพันธ์ วัฒนศิริโชติ¹ และทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์²

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

*ผู้รับผิดชอบบทความ: nammont4426409@hotmail.com โทรศัพท์ 085-866-9848

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องบดถั่วเหลืองจากเดิมที่ทำงานเป็นแบบแมนนวลให้ทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งเดิมทีเครื่องบดถั่วเหลืองแบบแมนนวลนั้นต้องใช้คนเฝ้าอยู่ตลอดเวลาเวลาที่เครื่องทำงาน การพัฒนาเครื่องบดถั่วเหลืองให้ทำงานแบบอัตโนมัตินั้นจะควบคุมการชั่งน้ำหนักถั่วเหลือง ปริมาณน้ำและเวลาในการแช่ถั่วเหลือง ปริมาณการฉีดน้ำผสมในขณะที่บดถั่วเหลือง การหมุนของมอเตอร์หินบดให้ทำงานและหยุดด้วยตัวเองเมื่อถึงเวลาที่กำหนด ตลอดจนการฉีดน้ำล้างทำความสะอาดหน้าหินบด เครื่องบดถั่วเหลืองที่พัฒนาขึ้นมานี้จะควบคุมอัตราส่วนระหว่างเม็ดถั่วเหลืองตั้งต้นกับน้ำที่ใช้ผสมในกระบวนการบดอยู่ที่ 1.0 กิโลกรัมต่อ 5.0 กิโลกรัม เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการผลิตถั่วเหลืองบด โดยได้มีการชั่งน้ำหนักเม็ดถั่วเหลืองตั้งต้นก่อนบดและถั่วเหลืองที่ผ่านการบดแล้วเพื่อทำการคำนวณหาอัตราส่วนดังกล่าวเป็นการพิสูจน์ยืนยันความเชื่อถือได้ของระบบควบคุมอัตโนมัติ เครื่องบดถั่วเหลืองนั้นใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส ขนาด 0.5 แรงม้า เป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง โดยใช้ล้อยางพานอัตราทด 1:1 ส่งกำลังงานโดยใช้สายพานลิ้มเพื่อใช้ขับเคลื่อนหินบดขนาดของหินบดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร โดยใช้ปั้มน้ำและถังเก็บน้ำเป็นตัวจ่ายน้ำให้กับระบบซึ่งควบคุมด้วยสวิทซ์ความดันและมีโซลินอยด์วาล์ว 3 ตัว คอยควบคุมการจ่ายน้ำ การควบคุมจะเป็นการควบคุมระบบการทำงานด้วยพีแอลซีทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลและสั่งการไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มปล่อยถั่วเหลืองจนกระทั่งได้ถั่วเหลืองบดในที่สุด จากการทดสอบการทำงานของเครื่องเมื่อใส่เม็ดถั่วเหลืองโดยบดเม็ดถั่วเหลืองจากปริมาณ 1.0 กิโลกรัม ถึง 5.0 กิโลกรัม โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 กิโลกรัมนั้นพบว่าเมื่อจับเวลาที่ใช้ในแต่ละการทดสอบแล้วนำมาคำนวณคิดเป็นอัตราการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 7.14 กิโลกรัมของถั่วเหลืองตั้งต้นต่อชั่วโมง โดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.7% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการผลิตถั่วเหลืองบดมีค่าเท่ากับ 0.004 กิโลกรัม เครื่องบดเม็ดถั่วเหลืองมีอัตราส่วนระหว่างเม็ดถั่วเหลืองตั้งต้นกับน้ำที่ใช้ผสมในกระบวนการบดอยู่ที่ 1:5.04 ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปผลิตน้ำเต้าหู้เพื่อบริโภค โดยหากใช้เครื่องบดเม็ดถั่วเหลืองนี้ทำงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน จะสามารถคืนทุนได้ในเวลา 457 วัน

คำสำคัญ พีแอลซี อัตโนมัติ บด ถั่วเหลือง

Abstract

This project aimed to develop soybean grinding process. An ordinary manual grinding machine was modified to be working automatically. An ordinary soybean grinding machine needed an operator to operate it almost every process. Automatic processes such as soybean weight controlling, soaking water supply and soybean soaking time, grinding water supply, grinding controlling and rinsing water supply for grinding unit were applied for automatic purpose. This unit would control raw soybean to mixing water ratio at desired value to be around 1.0 kg: 5.0 kg in order to maintain the quality of the product. The weight of raw soybean and grinded soybean was monitored to find that ratio to prove reliability of automatic system. Soybean grinding machine had a 1 phase, 0.5 HP. motor as primary driving component. The driving wheel belt ratio was 1:1 to drive a 150 mm. grinding unit. Electric water pump and water tank were used for supplying water during all process. Three solenoid valves were used to control supply water. An automatic process was archived by using Programmable Logic Controller (PLC). The process started from loading soybean until getting raw soy milk at the end of the process. The testing result when this unit to grind soybean in the amount of 1.0 to 5.0 kg. with 0.5 kg. increment showed that the grinding rate was around 7.14 kg. of raw soybean an hour with error around 0.7% and standard deviation of 0.004 kg. of grinded soybean. The grinded soybean have average raw soybean to mixing water ratio of about 1:5.04 which was appropriate for consumption. To operate this automatically grinding machine in full capacity, 6 working hours per day, would get the breakeven point in 457 days.

Keywords: PLC, Automatic, Grinding, Soybean

1. บทนำ

ถั่วเหลือง (Soybean) [1] เป็นพืชเศรษฐกิจที่เหมาะสมสำหรับปลูกสลับกับการปลูกข้าว การปลูกถั่วเหลืองในประเทศไทยจะปลูกแถบภาคเหนือและภาคกลางตอนบน คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองนั้นมีทั้งโปรตีน เลซิทีน ไขมัน กรดอะมิโน แคลเซียม ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก ไนอะซิน วิตามินบี 1, วิตามินบี 2, วิตามิน A และวิตามิน E ทำให้ถั่วเหลืองสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของกระดูก ป้องกันการขาดแคลเซียมในกระดูกและบำรุงระบบประสาทในสมอง และหากรับประทานเป็นประจำจะช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดแข็งตัว โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจและโรคเบาหวาน ถั่วเหลืองจึงได้รับการขนานนามว่า "ราชาแห่งถั่ว"

การแปรรูปถั่วเหลือง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลายขึ้น ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่จำหน่ายในท้องตลาดแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักและไม่ผ่านการหมัก ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมัก เช่น ถั่วเน่า ซอสถั่วเหลือง เต้าเจี้ยว เป็นต้น ส่วนผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองไม่ผ่านการหมัก เช่น น้านมถั่วเหลือง ถังอกและน้ำเต้าหู้ เป็นต้น น้ำเต้าหู้หรือนมถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาการเทียบเท่านม แต่สัดส่วนของเหล็กในน้ำเต้าหู้มากกว่านมถั่วเหลืองถึง 1.6 เท่า นอกจากนั้นน้ำเต้าหู้ยังมีโปรตีน 1.8 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพดีมาก และจากผลการทดลองพบว่าร่างกายสามารถย่อยและดูดซึมน้ำเต้าหู้ได้กว่า 90% ซึ่งสูงกว่าถั่วเหลืองต้มถึง 25% น้ำเต้าหู้จึงเป็นแหล่งโปรตีนชั้นดีสำหรับผู้ที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์ ส่วนผู้ที่บริโภคเนื้อสัตว์ก็สามารถดื่มน้ำเต้าหู้เป็นอาหารเสริมได้ เพราะถั่วเหลืองที่นำมาทำน้ำเต้าหู้นั้นมีโปรตีนสูง และมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ปัจจุบันการผลิตน้ำเต้าหู้มีกรรมวิธีในการผลิตอยู่ 2 ลักษณะ คือ เครื่องที่ใช้ใบมีดในการทำให้เม็ดถั่วเหลืองละเอียด และเครื่องที่ใช้หินในการบดทำให้เม็ดถั่วเหลืองละเอียด เครื่องที่ใช้ใบมีดนั้นจะมีข้อเสีย คือ ถั่วเหลืองที่ได้จากการปั่นจะมีความละเอียดไม่เท่ากัน ต้องใช้น้ำในการปั่นมาก และใช้ความเร็วรอบสูงในการปั่น (2,500-3,000 รอบ/นาที) ในขณะที่เครื่องที่ใช้หินในการบดนั้น ดังแสดงในรูปที่ 1 ถั่วเหลืองที่ได้จากการบดจะมีความละเอียดเท่ากัน และสามารถปรับตั้งความละเอียดได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนความเร็วรอบของตัวแผ่นหินหรือมอเตอร์ นอกจากนี้ยังใช้น้ำในการบดน้อยและใช้ความเร็วรอบในการบดไม่สูง (1,450-2,000 รอบ/นาที)

แต่เครื่องที่ใช้หินในการบดนั้นมีข้อเสียคือ จะมีเม็ดถั่วเหลืองติดอยู่ตามขอบกรวยที่อยู่ด้านบนของหินบด ดังแสดงในรูปที่ 2 ในการทำให้เม็ดถั่วเหลืองที่ติดอยู่ตามขอบกรวยไหลลงไปยังหินบด ผู้ควบคุมเครื่องจะต้องใช้น้ำราดบริเวณขอบด้านในของกรวยเพื่อทำการชะล้างลงไป นอกจากนี้เครื่องที่ใช้หินในการบดยังพบปัญหาการไหลของน้ำไม่เหมาะสม ทำให้เม็ดถั่วเหลืองติดอยู่ตรงหน้าของหินบด ดังแสดงในรูปที่ 3 ทำให้

ต้องคอยควบคุมปริมาณการไหลของน้ำให้เหมาะสม โดยการปรับปริมาณการไหลของน้ำที่ออกจากแท่งน้ำด้วย



รูปที่ 1 เครื่องที่ใช้หินในการบดทำให้เม็ดถั่วเหลืองละเอียด



รูปที่ 2 เม็ดถั่วเหลืองติดอยู่ตามขอบของกรวย



รูปที่ 3 เศษถั่วติดอยู่ตรงหน้าหินบด



จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ธนากรและอนุชา [2] ได้สร้างเครื่องทำน้ำดื่มที่ แม้เครื่องจะทำงานได้เป็นอย่างดี แต่ยังไม่มึระบบควบคุมโดยอัตโนมัติ โดยธนบูรณ์, สุรวีทย์และอนุชิต [3] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องหยอดข้าวกล้องอัตโนมัติที่ยังต้องใช้แรงงานมนุษย์ในการควบคุมเครื่องจักรอยู่ และพงษ์ศิริและพลรัตน์ [4] ได้นำพีแอลซีมาใช้ควบคุมเครื่องอัดกระดาษอัตโนมัติซึ่งทำงานด้วยระบบนิวเมติกส์ ซึ่งแม้ว่าเครื่องจะทานได้เป็นอย่างดีแต่ก็ยังคงมีการปรับตั้งค่าของไทเมอร์ของโปรแกรมอยู่ จะเห็นได้เครื่องจักรที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังมีจำนวนมากที่ไม่เป็นอัตโนมัติ หรือแม้จะเป็นอัตโนมัติก็ยังคงปรับตั้งค่าไทเมอร์ในตัวโปรแกรมอยู่ ดังนั้นโครงการนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาเม็ดแก้วเหลืองที่ติดอยู่ตามขอบกรวยและการไหลของน้ำที่ไม่เหมาะสม โดยกรณีเม็ดแก้วเหลืองที่ติดอยู่ตามขอบกรวยจะใช้ พีแอลซี ควบคุมการฉีดน้ำไปที่ผิวด้านในของกรวย เพื่อให้เม็ดแก้วเหลืองไหล ส่วนการแก้ปัญหากรณีการไหลของน้ำที่ไม่เหมาะสมนั้นจะปรับเปลี่ยนโดยจากเดิมที่ใช้แท่งน้ำที่ติดอยู่ด้านบนของเครื่องเป็นการต่อน้ำจากก๊อกน้ำโดยตรงโดยใช้ พีแอลซีในการควบคุมปริมาณการฉีดน้ำจากการแก้ปัญหาเม็ดแก้วเหลืองที่ติดตามขอบกรวยและการไหลของน้ำที่ไม่เหมาะสม ทำให้เครื่องบดเม็ดแก้วเหลืองที่มีการทำงานแบบแมนนวลเป็นการทำงานแบบอัตโนมัติซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการทำงาน และไม่ต้องปรับตั้งค่าไทเมอร์ของระบบควบคุมแต่อย่างใด

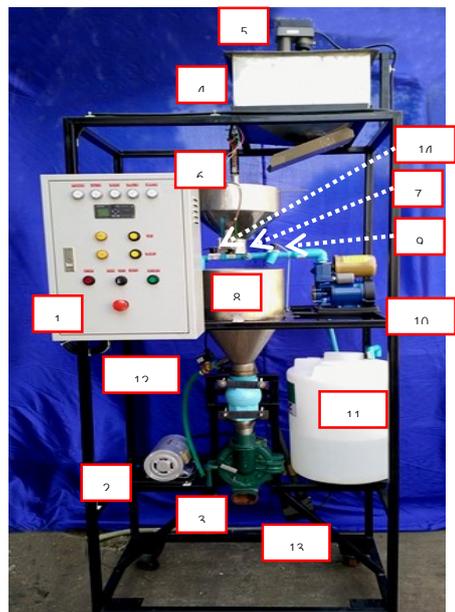
2. ทฤษฎีการทำงานของเครื่องบดแก้วเหลืองที่ทำการประยุกต์ใช้พีแอลซี (Programmable Logic Controller, PLC) เพื่อควบคุมให้ทำงานโดยอัตโนมัติ

โครงการวิจัยนี้เลือกใช้พีแอลซียี่ห้อ Siemens ในรุ่น LOGO series, มอเตอร์ไฟฟ้ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น SC-KR 1/2 HP 4P และใช้โซลินอยด์วาล์วยี่ห้อ ASCO แบบ2/2 DC24V จำนวน 3 ตัว สำหรับการควบคุมโดยอัตโนมัติ ซึ่งสำหรับ Diagram ของระบบควบคุมอัตโนมัติและรายละเอียดการเดินสายควบคุม นั้น สามารถติดต่อขอ ข้อมูลได้จาก Corresponding author

หลักการการทำงานของเครื่องบดแก้วเหลืองที่ประยุกต์นำพีแอลซีเข้ามาควบคุมให้ทำงานโดยอัตโนมัติมีดังนี้ คือ

จากรูปที่ 4 เครื่องบดแก้วเหลืองจะควบคุมการทำงานด้วยตู้ควบคุมซึ่งมีพีแอลซีเป็นอุปกรณ์หลัก (หมายเลข 1) โดยอาศัยการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการบดแก้วเหลือง (หมายเลข 2) โดยส่งกำลังผ่านชุดสายพานเพื่อไปขับเพลลาที่ใช้ขับชุดหินบดแก้วเหลือง (หมายเลข 3) ถั่วเหลืองจะถูกปล่อยลงมาจากถังเก็บ (หมายเลข 4) โดยมอเตอร์ปล่อยถั่วเหลือง (หมายเลข 5) ลงมายังกรวยที่เป็นชุดตาชั่ง (หมายเลข 6) เมื่อได้น้ำหนักตามที่เลือกไว้แล้วมอเตอร์ (หมายเลข 7) ก็จะปล่อยถั่วลงไปยังกรวยแช่ถั่วเหลือง (หมายเลข 8) ขณะเดียวกันโซลินอยด์วาล์ว (หมายเลข 9) ก็จะเปิดเพื่อทำ

การเติมน้ำในการแช่ถั่วเหลือง โดยที่ปั้มน้ำ (หมายเลข 10) จะดูดน้ำจากถังน้ำ (หมายเลข 11) เพื่อเติมน้ำในการแช่ถั่วเหลือง หลังจากการแช่ 2 ชั่วโมงแล้วโซลินอยด์วาล์ว (หมายเลข 12) จะเปิดเพื่อปล่อยน้ำที่แช่ถั่วเหลืองทิ้ง หลังจากนั้นมอเตอร์ (หมายเลข 13) จะเปิดบดวาล์วเพื่อปล่อยถั่วเหลืองลงไปยังชุดบดถั่วเหลืองโดยที่มอเตอร์บดถั่วเหลืองเริ่มทำการบดและโซลินอยด์วาล์ว (หมายเลข 14) จะเปิดเพื่อฉีดน้ำบนถั่วเหลือง ในขณะที่บดเป็นจังหวะๆ โดยหลังจากบดเสร็จแล้วโซลินอยด์วาล์ว (หมายเลข 9) จะเปิดอีกครั้งเพื่อปล่อยน้ำลงมายังหน้าหินบดเป็นอันเสร็จสิ้น เมื่อได้ถั่วเหลืองที่บดเสร็จแล้วก็นำเข้าสู่กระบวนการถัดไปตามขั้นตอนการผลิตต่อไป



รูปที่ 4 เครื่องบดแก้วเหลืองที่นำพีแอลซีเข้ามาประยุกต์เพื่อให้งานโดยอัตโนมัติ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

สำหรับการทดสอบนั้นมึวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการผลิตถั่วเหลืองบด และตรวจสอบความแม่นยำของการควบคุมการปล่อยน้ำของชุดพีแอลซีและโซลินอยด์วาล์ว โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- 1) ปรับตั้งระยะห่างของหน้าหินบดเป็น 0.5 มิลลิเมตร ความเร็วรอบของหินบดอยู่ที่ 1450 รอบต่อนาที
- 2) จัดเตรียมถั่วเหลืองซีกเบอร์ 1 บรรจุในถังเก็บถั่วเหลือง
- 3) ทำการเดินเครื่องทั้งระบบ โดยทำการปรับตั้งค่าปริมาณต่างๆที่ต้องการดังนี้คือ

3.1 ในแต่ละการทดสอบนั้นปริมาณเม็ดแก้วเหลืองที่ตกลงมาในกรวยแช่ถั่วเหลืองคือ 1.0 - 5.0 กิโลกรัม โดยเริ่มตั้งแต่



1.0 กิโลกรัม และเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 กิโลกรัม ในแต่ละการทดสอบ คือ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 จนสิ้นสุดที่ 5.0 กิโลกรัม

3.2 น้ำที่ใช้ผสมในขณะบดเม็ดถั่วเหลือง 5.0 ลิตรต่อถั่วเหลือง 1.0 กิโลกรัม เพื่อรวมกันเป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นในการผลิตนมถั่วเหลือง

3.3 น้ำที่ใช้ในการล้างหน้าหินบดหลังจากบดเสร็จ 1.0 ลิตรต่อครั้ง

4) บันทึกเวลาที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้งพร้อมทั้งนำถั่วเหลืองที่ได้จากการบดไปชั่งน้ำหนัก

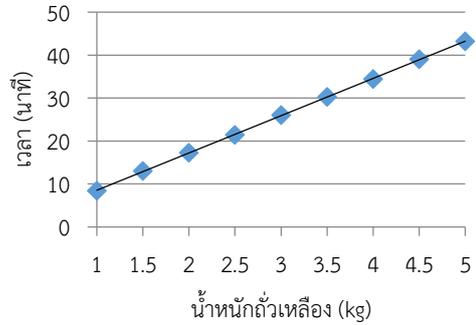
5) คำนวณหาอัตราการผลิตถั่วเหลืองบด และคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ผสมระหว่างกระบวนการบดโดยคิดจากส่วนต่างของน้ำหนักระหว่างถั่วเหลืองบดกับเม็ดถั่วเหลืองตั้งต้น



รูปที่ 5 ผังการทำงานของเครื่องบดถั่วเหลืองที่นำฟีดแอลซีเข้ามาประยุกต์เพื่อให้ทำงานโดยอัตโนมัติ

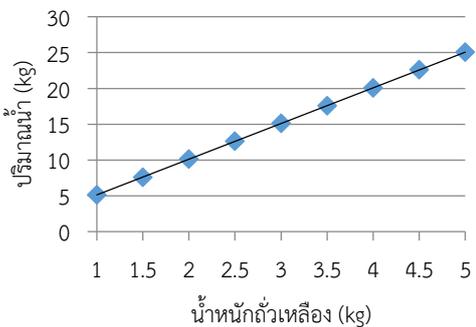
4. ผลการทดสอบและอภิปราย

สำหรับผลการทดสอบที่ได้นั้น สามารถนำเสนอในลักษณะกราฟได้ดังรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 เวลาที่ใช้ในการผลิตถั่วเหลืองบดกับค่าน้ำหนักถั่วเหลืองเริ่มต้น

โดยในรูปที่ 6 นั้นเป็นการแสดงผลของค่าเวลาที่ใช้ในการผลิตถั่วเหลืองบดกับค่าน้ำหนักถั่วเหลืองเริ่มต้น ซึ่งสามารถนำไปสู่การคำนวณค่าอัตราการผลิตถั่วเหลืองบดสำหรับผลิตนมถั่วเหลืองต่อไป



รูปที่ 7 ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในกระบวนการบดกับค่าน้ำหนักถั่วเหลืองเริ่มต้น

ในรูปที่ 7 นั้นเป็นการแสดงถึงปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในกระบวนการบดกับค่าน้ำหนักถั่วเหลืองเริ่มต้นซึ่งสามารถแสดงถึงสมรรถนะการทำงานของระบบการทำงานที่ควบคุมด้วยพีแอลซีเพื่อการทำงานโดยอัตโนมัติ

จากการดำเนินการทดสอบการบดเม็ดถั่วเหลืองจากเครื่องบดถั่วให้ทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งทำการทดสอบการบดโดยเริ่มจากเม็ดถั่วเหลืองตั้งต้นที่ 1.0 กิโลกรัม และเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 กิโลกรัม จนสิ้นสุดที่ 5.0 กิโลกรัม คือ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 พบว่าได้ถั่วเหลืองที่ผ่านการบดและพร้อมนำไปผลิตนมถั่วเหลืองต่อไปคือ 6.10, 9.09, 12.12, 15.11, 18.09, 21.09, 24.08, 27.11 และ 30.08 กิโลกรัมตามลำดับ โดยเมื่อจับเวลาที่ใช้ในแต่ละการทดสอบ



แล้วนำมาคำนวณคิดเป็นอัตราการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 7.14 กิโลกรัมของถั่วเหลืองตั้งต้นต่อชั่วโมง และอัตราส่วนเมล็ดถั่วเหลืองตั้งต้นกับน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมมีอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกันอยู่ที่ 1:5.10, 1:5.06, 1:5.06, 1:5.04, 1:5.03, 1:5.02, 1:5.02, 1:5.02 และ 1:5.01 ตามลำดับการบด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของเมล็ดถั่วเหลืองตั้งต้นกับน้ำที่ใช้ผสมในกระบวนการบดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1:5.04

จากผลการทดสอบ เมื่อคำนวณหาอัตราการผลิตถั่วเหลืองบดจากกราฟในรูปที่ 6 จะพบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตถั่วเหลืองบดคือ 7.14 กิโลกรัมของถั่วเหลืองตั้งต้นต่อชั่วโมง โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.7% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการผลิตถั่วเหลืองบดมีค่าเท่ากับ 0.004 กิโลกรัม และจากรูปกราฟที่ 6 นั้นกราฟแสดงตัวในลักษณะเป็นเส้นตรงอย่างยิ่ง โดยมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงและมีอัตราส่วนในการเพิ่มหรือลดลงเกือบคงที่

ส่วนการวิเคราะห์ผลการทดสอบจากกราฟในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นปริมาณการใช้ก็จะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่คงที่ ซึ่งอัตราการเพิ่มของน้ำหนักถั่วเหลืองตั้งต้นนั้นอยู่ในเกณฑ์ของสมการเส้นตรง เนื่องจากกรวยที่เป็นชุดตวงน้ำหนักนั้นมีสปริงมาตรฐานเป็นส่วนประกอบหลัก ส่วนน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมนั้นไหลผ่านการควบคุมโดยพีแอลซีและโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งในการนี้จะเห็นได้ว่า การควบคุมการไหลของน้ำโดยใช้พีแอลซีและโซลินอยด์วาล์วสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจากรูปกราฟที่ 7 จะเห็นได้ว่าเป็นเส้นตรงอย่างสมบูรณ์ โดยมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตรง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของเมล็ดถั่วเหลืองตั้งต้นกับน้ำที่ใช้ผสมในกระบวนการบดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1:5.04 โดยมีค่ามากที่สุดคือ 1:5.10 ที่น้ำหนักถั่วเหลืองตั้งต้น 1.0 กิโลกรัม และมีค่าน้อยที่สุด คือ 1:5.01 ที่น้ำหนักถั่วเหลืองตั้งต้น 5.0 กิโลกรัม

- เมื่อทำการวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุนทางเศรษฐศาสตร์โดยอาศัยปัจจัยดังนี้คือ [5]

- เงินลงทุนค่าเครื่องบดเมล็ดถั่วเหลือง 18,000 บาท
- เงินลงทุนค่าระบบควบคุมอัตโนมัติ 12,636 บาท
- ค่าบำรุงรักษารายปีคิดเป็น 10 % ของเงินลงทุนสร้างเครื่อง
- ไม่คิดมูลค่าซากของเครื่องที่สร้าง
- ค่าจ้างแรงงาน 300 บาทต่อวันต่อคน
- ค่าจ้างแรงงานต่อชั่วโมง 37.5 บาทต่อชั่วโมงต่อคน
- ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 4.16 บาทต่อหน่วย
- ค่าไฟฟ้าผันแปร (ft) 0.5896 บาทต่อหน่วย
- เครื่องทำงานวันละ 6 ชั่วโมง

โดยเครื่องบดถั่วเหลืองระบบเดิมนั้นมีค่าใช้จ่ายที่ กิโลกรัมละ 6.500 บาท ส่วนเครื่องบดถั่วเหลืองที่ทำงานโดยอัตโนมัติมีค่าใช้จ่ายที่ กิโลกรัมละ 3.735 บาท จะคิดเป็นส่วนต่างของค่าใช้จ่ายคือ กิโลกรัมละ 2.765 บาท ซึ่งเมื่อคิดค่าผลิต

ถั่วเหลืองบดวันละ 10 กิโลกรัมตามความต้องการของตลาดชุมชนขนาดเล็ก ตลอด 6 ชั่วโมงทำงาน จะคิดเป็นส่วนต่างของค่าใช้จ่ายคือวันละ 27.65 บาท โดยเมื่อนำไปหารกับค่าลงทุนค่าระบบควบคุมอัตโนมัติแล้ว จะสามารถคืนทุนได้ภายในเวลา 457 วัน

5. สรุป

เครื่องบดถั่วสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติโดยราบรื่นคือสามารถทำการชั่งน้ำหนักของเมล็ดถั่วเหลืองตั้งต้น สามารถเติมน้ำสำหรับแช่เมล็ดถั่วเหลือง และสามารถฉีดน้ำได้เองโดยอัตโนมัติในขณะที่เริ่มทำการ จากการดำเนินการทดสอบการบดเมล็ดถั่วเหลืองจากเครื่องบดถั่วให้ทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งทำการทดสอบการบดโดยเริ่มจากเมล็ดถั่วเหลืองตั้งต้นที่ 1.0 กิโลกรัม และเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.5 กิโลกรัม จนถึง 5.0 กิโลกรัม โดยเมื่อจับเวลาที่ใช้ในแต่ละการทดสอบแล้วนำมาคำนวณคิดเป็นอัตราการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 7.14 กิโลกรัมของถั่วเหลืองตั้งต้นต่อชั่วโมง โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.7% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการผลิตถั่วเหลืองบดมีค่าเท่ากับ 0.004 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของเมล็ดถั่วเหลืองตั้งต้นกับน้ำที่ใช้ผสมในกระบวนการบดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1:5.04 โดยการประมาณระยะเวลาคืนทุนสำหรับกรณีการใช้เครื่องบดเมล็ดถั่วเหลืองนี้ทำงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน จะสามารถคืนทุนได้ในเวลา 457 วัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน ประจำปี 2557 ทางคณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อภิพรณ พุกภักดี, (2546), ถั่วเหลือง พืชทองของคนไทย, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] ธนากร เอื้ออัมพร และ อนุชา วงศ์จันทร์สม, (2547), เครื่องทำน้ำเต้าหู้, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [3] ธนบูรณ์ โรจนวงศ์, สุรวิทย์ ต.ประยูร และ อนุชิต ลา บุตตี, (2547), เครื่องบรรจุข้าวสารกึ่งอัตโนมัติ, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [4] พงษ์ศิริ กาญจนาลัย และ พลรัตน์ วงศ์สุวรรณ, (2537), การนำ PLC มาควบคุมเครื่องอัดกระดาษ



- อัตโนมัติซึ่งทำงานด้วยระบบนิวเมติกส์, ปรินญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [5] คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
(2558), เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, [ออนไลน์],
แหล่งที่มา
[http://fmectt.lecturer.eng.chula.ac.th/210336
1/Chapter9.pdf](http://fmectt.lecturer.eng.chula.ac.th/2103361/Chapter9.pdf) เข้าดูเมื่อวันที่ 30/10/2558