ศึกษาและพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟกะลา

Development of Mucilage Removing Machine for Coffee

พิมล วุฒิสินธุ์ นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล
วิบูลย์ เทเพนทร์ ปรีชา อนันต์รัตนกุล สุภัทร หนูสวัสดิ์

บทคัดย่อ

การแปรรูปกาแฟโดยกรรมวิธีเปียก (Wet Method or Parchments Method) ทำให้ได้สารกาแฟที่มี คุณภาพดีกว่าแบบแห้ง (Dry Method or Natural Method) ในการแปรรูปกาแฟโดยกรรมวิธีเปียก การใช้เครื่องขัดล้างเมือกสามารถลดการเน่าเสียของน้ำในบ่อหมักลดแรงงานและเวลาในการหมักลงได้และกาแฟที่ได้มีคุณภาพดีงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟกะลาแบบแกนหมุนในแนวตั้งตัวเครื่องประกอบด้วยซี่แกนหมุนและเสื้อตะแกรงแกนหมุนแบบแกนกลวงติดซี่รอบแกน เป็นซี่กลวงให้น้ำไหลผ่านสลับกับซี่ตัน จำนวน ๖๖ ซี่ แกนหมุนมีขนาดส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๕๐ มิลลิเมตร ยาว ๖๘๐ มิลลิเมตร ใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ๓ แรงม้า ผลการทดสอบพบว่า ความเร็ว รอบ หมุนแกนขัดล้างเมือกที่ เหมาะสมที่ ๕๘๐ รอบ/นาที มีอัตราการทำงาน ๘๙๘ กิโลกรัม/ชั่วโมง ใช้ปริมาณน้ำ ๓ ลิตร/กิโลกรัมกาแฟ สิ้นเปลืองพลังงาน ๓๑ วัตต์/กิโลกรัมกาแฟ มีระยะเวลาการคืนทุนที่ ๔.๗ ปี อัตราผลตอบแทนเงินทุน ๒๑.๑๗ เปอร์เซ็นต์/ปี ที่ราคาเครื่อง ๖๕,๐๐๐ บาท

คำสำคัญ: กาแฟ การแปรรูปสด เครื่องขัดล้างเมือกกาแฟ

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

๑. คำนำ

กาแฟที่ปลูกกันอยู่ในประเทศไทยมี ๒ พันธุ์คือ กาแฟอาราบิก้า เจริญเติบโตได้ดีบนพื้นที่สูง พื้นที่ปลูกที่เหมาะสมคือ ภูเขาสูงทางภาคเหนือในจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ แพร่ และน่าน เป็นต้น กาแฟโรบัสต้า เจริญเติบโตดีบนพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมอยู่ทางภาคใต้ บริเวณจังหวัดชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ นครศรีธรรมราช และพังงา การผลิตกาแฟของไทยร้อยละ ๙๘ เป็นพันธุ์โรบัสต้า มีเพียงร้อยละ ๒ เป็นพันธุ์อาราบิก้า ทั้งนี้ไทยผลิตกาแฟโรบัสต้าได้ปีละประมาณ ๗๕,๐๐๐ – ๘๕,๐๐๐ ตัน ในจำนวนนี้ใช้บริโภคภายในประเทศร้อยละ ๓๐ ส่งออกร้อยละ ๗๐ อย่างไรก็ตามปริมาณต้องการใช้เมล็ดกาแฟสำหรับอุตสาหกรรมกาแฟผลสำเร็จรูป และกาแฟคั่วบดภายในประเทศมีแนวโน้นเพิ่มสูงขึ้นจาก ๒๐,๐๐๐ ตัน ในปี ๒๕๓๙ เป็น ๓๕,๐๐๐ – ๓๘,๐๐๐ ตัน ในปี ๒๕๔๕ โดยเฉพาะปัจจุบันธุรกิจร้านกาแฟสดเติบโต และขยายตัวอย่างรวดเร็ว เชื่อว่าปริมาณความต้องการผลผลิตกาแฟภายในประเทศมีเพิ่มมากขึ้น (เอกสารวิชาการกาแฟ กรมวิชาการเกษตร, ๒๕๔๗)

การผลิตกาแฟวิธีแห้งเป็นวิธีทำสารกาแฟที่ง่าย มีขั้นตอนน้อยประหยัดแรงงาน และไม่ต้องการเครื่องมือที่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือ อาจเกิดกกลิ่นจากการหมักที่เกิดจากเมือกหุ้มรอบกะลา (Mucilage) ได้เปลือกกาแฟ ซึ่งมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ทำให้รสชาติ และกลิ่นของสารกาแฟที่ได้ผิดไปจากปกติ สารกาแฟที่ได้จึงมีคุณภาพต่ำและผลกาแฟตากแห้งไม่สามารถเก็บไว้ได้นานต้องสีกะเทาะเปลือกทันทีก่อนที่จะเกิดการหมัก วิธีเปียกเป็นวิธีที่นิยมในการผลิตสารกาแฟอาราบิก้า เพราะสามารถผลิตสารกาแฟที่มีกลิ่น และรสชาติดีกว่าวิธีแห้ง แต่ต้องการแรงงานมากกว่า มีขั้นตอนมากกว่าและต้องมีน้ำในการทำความสะอาดอย่างพอเพียง (เพิ่มพูน ๒๕๓๑ : พงษ์ศักดิ์และบัณฑูรย์ ๒๕๔๒)

Vincent. ๑๙๘๙.Gitimu ๑๙๙๕. Bui Hai Nhi ๑๙๙๗. พบว่า การผลิตเมล็ดกาแฟโรบัสต้านิยมใช้การผลิตแบบแห้งคือ นำผลกาแฟที่เก็บเกี่ยวได้มาตากแดดให้แห้ง ซึ่งอาจใช้เวลาประมาณ ๑๕-๒๐ วัน ขึ้นกับสภาวะอากาศ และปริมาณแสงแดด เมื่อผลกาแฟแห้งดีมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ ๑๓ นำมากะเทาะเปลือกนอกออกจะได้เมล็ดกาแฟ ในขณะที่ผลิตแบบเปียกนั้นใช้สำหรับกาแฟอาราบิก้า ซึ่งจะทำได้โดยการกำจัดเปลือก และเยื่อที่หุ้มเมล็ดออกโดยใช้เครื่องสีสดกาแฟ จากนั้นอาศัยปฏิกิริยาการหมักโดยเอนไซม์ภายในผลกาแฟ และจุลินทรีย์ภายนอกเพื่อย่อยสลายเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟ ซึ่งจะใช้เวลา ๓๖ - ๗๒ ชั่วโมง ล้างทำความสะอาด ทำให้แห้ง สีกะลาออกจะได้เมล็ดสารกาแฟ การผลิตแบบเปียกมีขั้นตอนที่ยุ่งยากมากกว่า แต่เป็นที่ยอมรับว่าการผลิตแบบเปียกทำให้ได้สารกาแฟที่มีคุณภาพดีกว่าแบบแห้ง

Silvetz and Desrosier (๑๙๗๙) ได้ศึกษาพบว่า การหมักโดยใช้เวลาสั้นลงจะสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของสารกาแฟได้ (การหมักแบบธรรมชาติจะทำให้สูญเสียน้ำหนัก ๒-๕ เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้งใน ๔๘ ชั่วโมง) ซึ่งจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายที่ลดลงอย่างมากในขบวนการผลิตสารกาแฟ

การขัดล้างเมือกกาแฟเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของการผลิตเมล็ดสารกาแฟในกระบวนการผลิตแบบเปียก ปัจจุบันเกษตรกรใช้วิธีการหมักกาแฟในบ่อหมักเพื่อสลายเมือก ซึ่งเป็นวิธีการที่จำเป็นต้องได้รับการปฏิบัติที่ถูกต้อง หากหมักไม่ถูกวิธีหรือใช้เวลาในการหมักนานเกินไป จะทำให้กาแฟเกิดกลิ่นจากการหมัก ความหอมและรสชาติของกาแฟเสียไป การออกแบบและพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟเป็นส่วนหนึ่งในการนำเครื่องจักรกลเข้ามาประยุกต์ใช้แทนการล้างเมือกแบบวิธีหมักธรรมชาติ ช่วยลดต้นทุนการผลิต เช่นเวลาในการหมัก แรงงานและอุปกรณ์ ลดขั้นตอนในการปฏิบัติงานและได้กาแฟที่มีคุณภาพ

๒. อุปกรณ์และวิธีการ

การลอกเปลือกสดและล้างเมือกเป็นขั้นตอนหนึ่งของการผลิตสารกาแฟแบบวิธีเปียก การออก แบบและพัฒนาเครื่องลอกเปลือกสดพร้อมล้างเมือกเป็นส่วนหนึ่งในการนำเครื่องจักรกลการเกษตรมาประยุกต์ใช้แทนวิธีการหมักตามธรรมชาติในบ่อหมัก ซึ่งต้องใช้เวลาหมักนานประมาณ ๓๖-๗๒ ชั่วโมง เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดขั้นตอนในการปฏิบัติงานและได้สารกาแฟที่มีคุณภาพ ได้ทำการสำรวจศึกษาเครื่องลอกเปลือกสด เครื่องขัดล้างเมือกที่มีใช้กับกาแฟ จากนั้นทำการออกแบบพัฒนาสร้างต้นแบบเครื่องขัดล้างล้างเมือกและทำการทดสอบเบื้องต้น ปรับปรุงแก้ไข หาจุดบกพร่องและประสิทธิภาพการขัดล้างเมือกกาแฟ ทำการทดสอบในพื้นที่ปลูกกาแฟที่จังหวัดชุมพรสำหรับกาแฟโรบัสต้า และจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่สำหรับกาแฟอาราบิก้า ในการทดลองใช้ผลกาแฟที่แก่จะออกสีแดง ทำการลอยน้ำเพื่อคัดแยกเมล็ดเสีย เมล็ดที่จมน้ำเป็นเมล็ดดีทำการชั่งและเก็บตัวอย่างเพื่อหาประสิทธิภาพด้านการแตกหักเสียหายทั้งก่อนและหลังผ่านเครื่องต้นแบบเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาเครื่องต้นแบบให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ระหว่างการทดสอบมีการจับเวลาการทำงานของเครื่องในแต่ละตัวอย่างเพื่อหาความสามารถในการทำงาน ตรวจบันทึกปัจจัยอื่นๆ เช่นปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับเครื่องลอกเปลือกสดและเครื่องขัดล้างเมือก พลังงานไฟฟ้า ทุกการทดสอบจะทำซ้ำไม่ต่ำกว่า ๓ ครั้ง เก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ผลการด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและรายงานผล

ระยะเวลาดำเนินการ ๑ ปี เริ่มต้น ตุลาคม ๒๕๕๓ สิ้นสุด กันยายน ๒๕๕๖

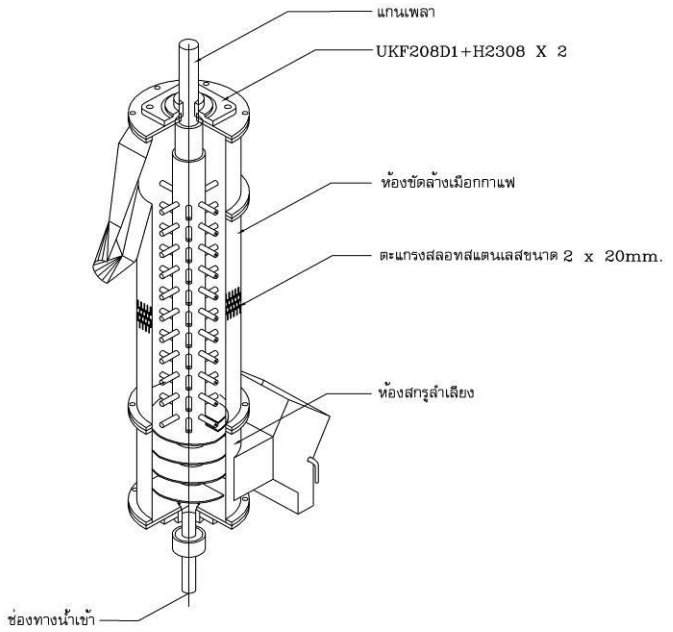
สถานที่ดำเนินการ

- กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ปทุมธานี
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรที่สูงเชียงราย จ. เชียงราย

๓. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาเอกสารและสำรวจการใช้เครื่องขัดล้างเมือกกาแฟ ไม่พบเครื่องขัดล้างเมือกที่ใช้กับกาแฟ ในพื้นที่ปลูกกาแฟโรบัสต้าเพราะเป็นการผลิตแบบแห้ง นอกจากที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร ซึ่งมีเครื่องลอกเปลือกสด พร้อมขัดล้างเมือกจากเวียดนาม ส่วนกาแฟอาราบิก้าส่วนใหญ่เป็นการผลิตแบบเปียกโดยการลอกเปลือกผลสด (สีสด) แล้วทำการหมักในบ่อหมักกับน้ำ หรือหมักในถุงปุ๋ยเพื่อย่อยสลายเมือก ๒-๓ วัน แล้วจึงทำการล้างน้ำกำจัดเมือกอีกครั้งก่อนนำออกตากแห้ง ไม่พบว่ามีการใช้เครื่องขัดล้างเมือกกาแฟทั่วไป ในระดับเกษตรกร กลุ่มเกษตรกร และผู้ประกอบการแปรรูปกาแฟ นอกจากโรงผลิตของดอยตุงและเนสเล่ย์ จากข้อมูลงานวิจัยพบว่า พุทธธินันท์ (๒๕๔๖) ได้ทำการพัฒนาเครื่องขัดเมือกกาแฟอาราบิก้าศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีการหมักกาแฟธรรมชาติในบ่อหมักทั่วไป หลักการทำงานให้เมล็ดเคลื่อนขึ้นในแนวตั้งโดยสกรูลำเลียง ระหว่างการเคลื่อนที่จะเกิดการขัดสีกันระหว่างเมล็ดกาแฟกับผนังเครื่องและเมล็ดกาแฟด้วยกัน จากแรงเหวี่ยงของแกนเพลาซึ่งมีซี่เหล็กติดอยู่ที่แกน ผลการทำงานได้ความสามารถในการขัดล้างเมือกเมล็ดกาแฟ ๔๖๘.๑๑ กิโลกรัม/ชั่วโมง การแตกหักของเมล็ดหลังการขัดล้าง ๕.๙๐ เปอร์เซ็นต์ และทำการตรวจสอบคุณภาพด้วยวิธีการชิม (cup test) พบว่ามีคุณภาพใกล้เคียงกับการหมักธรรมชาติและเป็นที่ยอมรับของโรงงานผู้ผลิตกาแฟคั่วสด น้ำที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้ ในขณะที่น้ำจากวิธีการหมักธรรมชาติมีกลิ่นเหม็นไม่สามารถใช้ได้ พิมลและคณะ (๒๕๕๓) ได้พัฒนาเครื่องลอกเปลือกสดพร้อมขัดล้างเมือกกาแฟ โรบัสต้า หลักการทำงานของชุดขัดล้างเมือกคล้ายกันแต่พ่วงต่อเครื่องลอกเปลือกสดด้วยกัน แตกต่างกันที่ซี่ สแตนเลสติดแกนหมุนและผนังตัวเครื่องที่เป็นตะแกรงสแตนเลสแทนกรงเหล็กทำจากเหล็กเส้นหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผลการทดสอบได้ความสามารถในการลอกเปลือกและขัดล้างเมือก ๔๒๓.๖๘ กิโลกรัม/ชั่วโมง การแตกของกะลาก่อนและหลังการขัดล้าง ๒.๕๖ และ ๗.๒๔ เปอร์เซ็นต์

จึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพโดยการลดความเสียหายจากการแตกหักของเมล็ดและกะลาที่ทำให้คุณภาพสารกาแฟด้อยลง ตัวเครื่องขัดล้างเมือกพัฒนาจากเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟโรบัสต้า ใช้หลักการให้เกิดการขัดสีกันเองที่ผิวของกาแฟกะลาที่มีเมือก และขัดสีกับผนัง ซึ่งเป็นตะแกรงเหล็กทำให้เมือกที่หุ้มเมล็ดหลุดออก โดยใช้น้ำเป็นตัวช่วยในการขัดและล้างเมือกใช้สกรูลำเลียงด้านล่างเพื่อดันเมล็ดกาแฟขึ้นตามแนวแกน เพื่อขัดล้างและลำเลียงออก น้ำที่ขัดล้างจะพาเศษเมือกหลุดออกทางรอบ ๆ ผนังตะแกรงและไหลลงทางด้านล่าง ส่วนประกอบเครื่องลอกเมือกแสดงในรูปที่ ๑



รูปที่ ๑ แบบภาพตัดเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟและแกนขัดล้าง

- ห้องสกรูลำเลียงกาแฟ ทำหน้าที่ลำเลียงเมล็ดกาแฟที่ป้อนเข้าเครื่องเข้าสู่ห้องลอกเมือกกาแฟในแนวตั้งทำจากท่อสแตนเลสหนา ๒ มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๖๕ มิลลิเมตร สูง ๑๘๐ มิลลิเมตร
- สกรูลำเลียงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบสกรู ๑๕๕ มิลลิเมตร ระยะห่างของใบสกรูเท่ากับ ๖๐ มิลลิเมตร จากทฤษฎีการลำเลียงในแนวที่เอียงมากกว่า ๒๐ องศา ขึ้นไประยะห่างที่ใช้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางในสกรูลำเลียง ระยะห่างระหว่างขอบใบสกรูกับผนังห้องลำเลียงประมาณ ๕ มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าขนาดความหนาของเมล็ดกาแฟ เพื่อป้องกันการไหลลงกลับของเมล็ดกาแฟ
- ห้องลอกเมือกกาแฟ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับห้องลำเลียงกาแฟ เมล็ดกาแฟที่ถูกลำเลียงผ่านห้องลอกเมือกจะถูกซี่สแตนเลสที่ติดอยู่กับแกนสแตนเลสที่หมุน ทำให้เกิดการขัดสีกันของระหว่างเมล็ดกาแฟ และขัดสีกับผนังตะแกรงสแตนเลส ซึ่งเป็นตะแกรงรูยาว (slot) ขนาด กว้างxยาว (๒x๒๐ มิลลิเมตร) แกนสแตนเลส เป็นท่อกลวงเส้นผ่าศูนย์กลาง ๕๐.๘ มิลลิเมตร ต่อกับแกนเพลาด้านล่างที่เจาะรู สำหรับตัวท่อน้ำมาใช้ในการขัดล้างเมือก ความยาวแกนสแตนเลสรวม ๘๐๐ มิลลิเมตร ความยาวในช่วงห้องลอกเมือก ๖๒๐ มิลลิเมตร
- ซี่สแตนเลสที่ติดกับแกนเป็นสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๙ มิลลิเมตร ยาว ๔๐ มิลลิเมตร จำนวน ๖๖ ซี่ เจาะรูทะลุความยาวซี่สลับซี่ เพื่อพ่นน้ำผ่านจากแกนกลางสำหรับหล่อลื่น และล้างเมือกกาแฟออก ซี่สแตนเลสติดรอบแกนในลักษณะเดียวกับในสกรู เพื่อช่วยในการพากาแฟออกสู่ทางออกด้านบน

เครื่องขัดล้างเมือกใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ๓ แรงม้า ๑ เฟส สามารถใช้งานได้ทั่วไป นำมาประกอบต่อกับเครื่องลอกเปลือกผลสด เครื่องลอกเปลือกผลสดมีการผลิตขึ้นมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยโรงงานท้องถิ่นที่จังหวัดชุมพร ซึ่งเป็นที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันแล้ว ลักษณะเครื่องตัวลอกเปลือกผลสดเป็นลูกทรงกระบอก วางแนวนอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๙๕ มิลลิเมตร ยาว ๒๗๕ มิลลิเมตร ปั้มให้เป็นรอยนูนครึ่งเลี้ยว สำหรับขัดเปลือกนอกผลกาแฟ เปลือกและกาแฟกะลาที่ยังมีเมือก อยู่จะถูกรีดออกคนละด้านของตัวเครื่องที่ กระบะบรรจุผลกาแฟมีกลไกการป้อนเป็นครีบยาวตลอดความยาวกระบะหมุน จะต้องใช้น้ำเป็นตัวช่วยในการลอกเปลือก เพื่อให้ไหลลื่น และทำงานได้ประสิทธิภาพการลอกเปลือกดีขึ้น ใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ขนาด ๑ แรงม้า รอบลูกเหล็กลอกเปลือกประมาณ ๒๐๐ รอบ/นาที

โดยผลกาแฟที่ผ่านการลอกเปลือกแล้วจะไหลลงสู่ห้องลำเลียง สารกาแฟ รูปที่ ๑ ชุดห้องลำเลียงจะมีลิ้นเปิด – ปิด สำหรับให้กาแฟลำเลียงไปห้องล้างเมือกหรือปล่อยกาแฟที่ค้างออก เมื่อเสร็จสิ้นการล้างเมือกไม่ให้มีกาแฟค้างอยู่ภายในเครื่อง

รูปที่ ๒ เครื่องขัดล้างเมือกกาแฟและแกนขัดล้าง

ได้ทำการทดสอบเบื้องต้นที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรที่สูงเชียงราย (วาวี) และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเชียงใหม่พบว่าขนาดซี่สแตนเลสเส้นผ่าศูนย์กลาง ๙ มิลลิเมตรยาว ๔๐ มิลลิเมตร จำนวน ๖๖ ซี่และรอบหมุนแกน ๗๕๐ รอบ/นาที ที่อัตราการป้อนผลกาแฟเฉลี่ย ๔๑๗.๘๓ กิโลกรัม/ชั่วโมง การแตกหักกะลาหลังการขัดล้าง ๓.๗๘ เปอร์เซ็นต์ อัตราการใช้น้ำและพลังงาน ๐.๐๑๑ ลบ.ม./กิโลกรัม และ ๐.๐๕๗ กิโลวัตต์/กิโลกรัม (ตารางที่ ๑) เห็นว่าการแตกหักและอัตราการใช้น้ำยังค่อนข้างสูง ผลจากอัตราการป้อนกาแฟช้าเกินไปกาแฟขัดสีอยู่ในเครื่องนานจึงยังแตกค่อนข้างมาก จึงได้ทำการลดแรงที่ใช้ในการขัดล้างโดยลดขนาดความยาวของซี่สแตนเลสที่ติดกับแกนหมุนลงจาก ๔๐ มิลลิเมตร เหลือ ๒๕ มิลลิเมตร จำนวน ๓๓ ซี่ วางสลับกับซี่ที่มีความยาวเดิม ทำการทดสอบอีกครั้งที่ความเร็วรอบแกนขัดล้างเดิมคือ ๗๕๐ รอบ/นาที พบว่าสามารถลดอัตราการแตกของกะลาหลังการขัดล้างลงได้ที่เฉลี่ย ๑.๒๑ เปอร์เซ็นต์ แต่ความสามารถยังน้อยและปริมาณการใช้น้ำค่อนข้างมากคือ ๔๐๗.๙๗ กิโลกรัม/ชั่วโมง และ ๐.๐๑ ลบ.ม./กิโลกรัม (ตารางที่ ๒)

ตารางที่ ๑ ผลการทดสอบต้นแบบเครื่องขัดล้างเมือก รอบหมุนแกนขัดล้าง ๗๕๐ รอบ/นาที
ซี่สแตนเลส เส้นผ่าศูนย์กลาง ๙ มม. ยาว ๔๐ มม.จำนวน ๖๖ ซี่

ครั้งที่	นน. ผลกาแฟ กิโลกรัม	เวลา นาที	นน. กะลาหลังล้าง กิโลกรัม	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./ กิโลกรัม	% กะลาแตกหลังล้าง	ความสามารถ กิโลกรัม/ ชั่วโมง	พลังงาน kw/กิโลกรัม
๑	๔๑.๒	๗.๔๕	๑๖.๘	๐.๐๑๕	๒.๔๑	๓๓๑.๘๑	๐.๐๕๔
๒	๓๙.๒	๖.๐๘	๑๕.๖	๐.๐๑๒	๕.๕๖	๓๘๖.๘๔	๐.๐๕๘
๓	๔๒.๓	๖.๙๙	๑๘.๔	๐.๐๑๑	๑.๙๓	๓๖๓.๐๙	๐.๐๕๔
๔	๓๙	๔.๘๕	๑๖.๘	๐.๐๑๐	๓.๘๘	๔๘๒.๔๗	๐.๐๕๙
๕	๔๐	๔.๗๕	๑๕.๒	๐.๐๐๘	๔.๐๑	๕๐๕.๒๖	๐.๐๕๙
๖	๔๑.๒	๕.๖๕	๑๗	๐.๐๑๐	๕.๔๔	๔๓๗.๕๒	๐.๐๕๗
เฉลี่ย	๔๐.๕	๕.๙๕	๑๖.๖๓	๐.๐๑๑	๓.๘๗	๔๑๗.๘๓	๐.๐๕๗

ตารางที่ ๒ ผลการทดสอบต้นแบบเครื่องขัดล้างเมือก รอบหมุนแกนขัดล้าง ๗๕๐ รอบ/นาที
ซี่สแตนเลส เส้นผ่าศูนย์กลาง ๙ มม. ยาว ๔๐ มม.จำนวน ๓๓ ซี่สลับกับยาว ๒๕ มม.จำนวน ๓๓ ซี่

ครั้งที่	นน. ผลกาแฟ กิโลกรัม	เวลา นาที	นน. กะลาหลังล้าง กิโลกรัม	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./ กิโลกรัม	% กะลาแตกหลังล้าง	ความสามารถ กิโลกรัม/ ชั่วโมง	พลังงาน kw/กิโลกรัม
๑	๓๙	๕.๔๑	๑๕	๐.๑๐	๐.๙๘	๔๓๒.๕๓	๐.๐๕๙
๒	๔๒	๖.๖๖	๑๖.๖	๐.๐๑๑	๒.๑๑	๓๗๘.๓๘	๐.๐๕๗
๓	๓๖.๒	๕.๙๑	๑๔.๕	๐.๑๑	๐.๘๗	๓๖๗.๕๑	๐.๐๖๖
๔	๔๖.๘	๖.๗๕	๑๙.๖	๐.๐๑๐	๐.๔๕	๔๑๖.๐๐	๐.๐๕๑
๕	๔๙	๖.๔๕	๒๑.๔	๐.๐๐๙	๑.๑๕	๔๕๕.๘๑	๐.๐๕๑
๖	๔๓.๖	๖.๕๘	๑๘.๒	๐.๐๑๑	๑.๖๘	๓๙๗.๕๗	๐.๐๕๘
เฉลี่ย	๔๒.๘	๖.๒๙	๑๗.๖	๐.๐๑๐	๑.๒๑	๔๐๗.๙๗	๐.๐๕๖

ทำการปรับปรุงเครื่องอีกครั้งเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานโดยการปรับเพิ่มความกว้างของใบสกรูเป็นเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๖๑ มิลลิเมตร ทำให้ระยะห่างระหว่างใบสกรูกับผนังห้องลำเลียงข้างละ ๒ มิลลิเมตร และทำการทดสอบที่ความเร็วรอบหมุนแกนขัดล้าง ๗๕๐ และ ๕๘๐ รอบ/นาที (ตามตารางที่ ๓) พบว่าสามรถเพิ่มอัตราการทำงานเป็นเฉลี่ย ๘๑๗.๓๔ และ ๘๙๘.๕๔ กิโลกรัม/ชั่วโมง ลดการแตกของกะลาหลังขัดล้างเฉลี่ย ๒.๗๓ เปอร์เซ็นต์ และ ๑.๕๕ เปอร์เซ็นต์ การใช้พลังงานเฉลี่ย ๐.๐๕๙ กิโลวัตต์/กิโลกรัม และ ๐.๐๓๑ กิโลวัตต์/กิโลกรัม อัตราการใช้น้ำ ๐.๐๐๕ ลบ.ม./กิโลกรัม และ ๐.๐๐๓ ลบ.ม./กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบหมุนแกนขัดล้าง ๗๕๐ และ ๕๘๐ รอบ/นาที ตามลำดับ จากการตรวจสอบด้วยสายตา สัมผัสด้วยมือได้รับการยอมรับโดยเจ้าหน้าที่ประจำงานแปรรูปกาแฟและมีความชำนาญในการล้างเมือกกาแฟ เมื่อนำไปตากแดดกาแฟกะลาจะมีสีค่อนข้างขาวเหมือนการล้างเมือกด้วยการหมักในบ่อหมัก

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟที่พัฒนาขึ้นได้ประเมินราคาเครื่องที่ ๖๕,๐๐๐ บาท อายุการใช้งาน ๑๐ ปี ใช้แรงงานปฏิบัติงาน ๒ คน ระยะเวลาการเครื่อง ๖๐ วัน/ปี พบว่า ระยะเวลาในการคืนทุน ๔.๗ ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน ๒๑.๑๗ เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ๓ ผลการทดสอบต้นแบบเครื่องขัดล้างเมือก รอบหมุนแกนขัดล้าง ๗๕๐ รอบ/นาที
ซี่สแตนเลส เส้นผ่าศูนย์กลาง ๙ มม. ยาว ๔๐ มม.จำนวน ๓๓ ซี่สลับกับยาว ๒๕ มม.จำนวน ๓๓ ซี่
(ปรับระยะห่างใบสกรูกับผนังเป็น ๒ มม.)

ครั้งที่	นน. ผลกาแฟ กิโลกรัม	เวลา นาที	นน. กะลาหลังล้าง กิโลกรัม	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./กก.	เปอร์เซ็นต์ กะลาแตกหลังล้าง	ความสามารถ กก./ชม.	พลังงาน กิโลวัตต์/ กิโลกรัม
๑	๓๗.๐	๒.๖๖	๑๕.๐	๐.๐๐๕	๓.๓๒	๘๓๔.๕๙	๐.๐๖๔
๒	๓๗.๕	๒.๘๓	๑๖.๐	๐.๐๐๖	๑.๖๑	๗๙๕.๐๕	๐.๐๖๒
๓	๓๓.๓	๒.๕๐	๑๓.๕	๐.๐๐๖	๓.๔๒	๗๙๙.๒๐	๐.๐๗๑
๔	๔๐.๔	๒.๙๕	๑๗.๐	๐.๐๐๖	๒.๒๙	๘๒๑.๖๙	๐.๐๕๖
๕	๓๓.๓	๒.๕๕	๑๔.๐	๐.๐๐๖	๓.๗๔	๗๘๓.๕๓	๐.๐๖๖
๖	๔๙.๓	๓.๔๐	๑๙.๖	๐.๐๐๕	๑.๙๙	๘๗๐.๐๐	๐.๐๔๕
เฉลี่ย	๓๘.๕	๒.๘๒	๑๕.๙	๐.๐๐๕	๒.๗๓	๘๑๗.๓๔	๐.๐๕๙

รอบหมุนแกนขัดล้าง ๕๘๐ รอบ/นาที

ครั้งที่	นน. ผลกาแฟ กิโลกรัม	เวลา นาที	นน. กะลาหลัง ล้าง	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./กก.	เปอร์เซ็นต์ กะลาแตกหลังล้าง	ความสามารถ กก./ชม.	พลังงาน กิโลวัตต์/กก.
๑	๕๔.๐	๓.๕๕	๒๓.๘	๐.๐๐๔	๑.๐๑	๙๑๒.๖๘	๐.๐๓๙
๒	๖๐.๔	๔.๐๑	๒๖.๐	๐.๐๐๔	๑.๘๑	๙๐๓.๒๙	๐.๐๓๕
๓	๘๘.๗	๖.๐๐	๓๘.๘	๐.๐๐๓	๑.๘๓	๘๘๗.๐๐	๐.๐๒๔
เฉลี่ย	๖๗.๗	๔.๕๒	๒๙.๕	๐.๐๐๓	๑.๕๕	๘๙๘.๕๔	๐.๐๓๑

๔. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เครื่องขัดล้างเมือกกาแฟที่ออกแบบพัฒนาขึ้นมีความสามารถและประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุดคือ ๘๙๘ กิโลกรัม/ชั่วโมง การแตกของกะลากาแฟหลังการขัดล้างเฉลี่ย ๑.๕๕ เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบแกนขัดล้าง ๕๘๐ รอบ/นาที ใช้พลังงานไฟฟ้า ๐.๐๓๑ กิโลวัตต์/กิโลกรัม (๓๑ วัตต์/กิโลกรัม) และปริมาณน้ำ ๐.๐๐๓ ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม (๓ ลิตร/กิโลกรัม) สามารถขัดล้างได้สะอาดเมื่อตรวจด้วยสายตาและสัมผัสด้วยมือเป็นที่ยอมรับได้ เมื่อนำมาตากแดดจะไม่มีคาบสีน้ำตาลให้เห็นชัด จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า ระยะเวลาในการคืนทุน ๔.๗ ปี เมื่อใช้แรงงานปฏิบัติงาน ๒ คน ระยะเวลาในการใช้เครื่อง ๖๐ วัน/ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน ๒๑.๑๗ เปอร์เซ็นต์

แต่จากที่ได้ดำเนินการทดสอบในพื้นที่ผลิตกาแฟเกษตรกรเก็บผลกาแฟเสร็จในตอนเย็นจึงสะดวกที่จะลอกเปลือกหรือสีสดแล้วหมักในบ่อหมัก ๑ คืน จึงทำการขัดล้างในช่วงเช้าแล้วนำออกตากแดดในวันถัดไป เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องขัดล้างที่ใช้แรงในการขัดล้างน้อยลงโดยสามรถลดต้นกำลังลงและรูปแบบของแกนขัดล้าง เพราะเมือกกาแฟได้มีการย่อยสลายไปบ้างแล้วส่วนหนึ่ง

๕. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้เครื่องขัดล้างเมือกที่มีประสิทธิภาพ นำไปทดสอบ สาธิต ใช้งานสำหรับเกษตรกร กลุ่มเกษตรกร ผู้ประกอบการ ช่วยลดขั้นตอนและต้นทุนหมักล้างเมือกในกระบวนการแปรรูปสดกาแฟ

๖. คำขอบคุณ

เจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ปทุมธานี สร้างและประกอบต้นแบบและช่วยดำเนินการทดสอบ ปรับปรุง เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรที่สูงเชียงราย จ. เชียงรายให้ข้อมูล อนุเคราะห์วัสดุคือผลกาแฟ และอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดีในระหว่างการทดสอบ

๗. เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ๒๕๔๗.เอกสารวิชาการ “กาแฟ” ลำดับที่ ๑๗ ปี พ.ศ. ๒๕๔๗. ๘๐ หน้า.

พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ และบัณฑูรย์ วาฤทธิ์. ๒๕๔๒. การปลูกและผลิตกาแฟอาราบิก้าที่สูง. ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. ๒๒๙ หน้า.

เพิ่มพูน ศักดิ์เกษม. ๒๕๓๑. กาแฟ. ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร, กรุงเทพฯ. ๔๖ หน้า

พุทธธินันทร์ จารุวัฒน์ ๒๕๔๖. การออกแบบและพัฒนาเครื่องลอกเมือกกาแฟ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ,มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พิมล วุฒิสินธุ์ ๒๕๕๓.การพัฒนาเครื่องลอกเปลือกสดพร้อมขัดเมือกขนาดที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการ,กรมวิชาการเกษตร,กรุงเทพฯ.

Bui Hai Nhi. ๑๙๙๗. Coffee Quality Improvement in LamdongProvince. Vietnam. inLamdongProvince.Vietnam.M.S.thesis.Asian Institute of Technology School of Environment,

Gitimu, C.W. ๑๙๙๕. Better coffee farming. Coffee processing. J. Kenya – Coffee. ๖๐(๗๐๓) : ๑๙๙๗ – ๑๙๙๘

Vincent ๑๙๘๙ Green coffee processing. pp. ๑ – ๓๓ In Coffee Volume ๒ Technology Clarke. R.J. and Macrae. R (eds). Elsevier Applied Science Pubishers Ltd.

Sivetz, M., and Desrosier, N.W.. ๑๙๗๙. Coffee Technology. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ๗๑๖ pp.

๘. ภาคผนวก

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ วิศวกรรมเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟ

<u>การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่าย</u>

คิดระยะเวลาในการใช้เครื่องประมาณ ๒ เดือน (๖๐ วัน)

ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

มูลค่าเครื่องขัดล้างเมือก ๖๕,๐๐๐ บาท

อายุการใช้งาน ๑๐ ปี

มูลค่าเครื่องเมื่อหมดอายุการใช้งาน ๐ บาท

คิดต้นทุนเป็นค่าเสื่อมราคาของเครื่อง แบบเส้นตรง (Straight tine Depreciation)

ต้นทุนค่าเสื่อมราคา = (P-L)

= (๖๕,๐๐๐ – ๐) บาท/ปี

= ๖,๕๐๐ บาท/ปี

ค่าเสียโอกาสเงินทุน (ที่ดอกเบี้ย ๕%/ปี)

ต้นทุนค่าเสียโอกาสเงินทุน = [(P+L)/๒] x i

= [(๖๕,๐๐๐x๐)/๒] x ๐.๐๕ = ๑,๖๒๕ บาท/ปี

ดังนั้น ต้นทุนคงที่รวม = ๖๕,๐๐๐ + ๑,๖๒๕ บาท/ปี

= ๖๖,๖๒๕ บาท/ปี

ต้นทุนผันแปร (Variable Cost)

- **ค่าจ้างแรงงาน** ๒ คน วันละ ๒๐๐ บาท/คน ระยะเวลา ๖๐ วัน/ปี

ต้นทุนค่าแรงงาน = ๒x๖๐x๒๐๐ บาท/ปี

= ๒๔,๐๐๐ บาท/ปี (๑)

- **ค่าน้ำ**

เครื่องขัดล้างเมือกใช้น้ำ ๐.๐๐๓ $ม^{๓}$/กิโลกรัม ทำงานได้ ๘๙๘ กิโลกรัม/ชั่วโมง คิดค่าน้ำ ๑๔ บาท/$ม^{๓}$

ต้นทุนค่าน้ำ = ๐.๐๐๓ $ม^{๓}$/กก.x๘๙๘ กก./ชม.x๘ ชม./วันx๖๐ วัน/ปีx๑๔ บาท/$ม^{๓}$

= ๑๘,๑๐๓.๖๘ บาท/ปี (๒)

- **ค่าไฟฟ้า** ใช้พลังงานไฟฟ้าขณะทำงานเฉลี่ย ๙.๖๗ แอมป์ ๒๒๐ โวลท์

จากความสัมพันธ์ P = IV

ใช้พลังงาน = ๙.๖๗x๒๒๐/๑๐๐๐ กิโลวัตต์

วันละ ๘ ชั่วโมง = ๒.๑๒๗x๘ กิโลวัตต์xชั่วโมง/วัน

= ๑๗.๐๒ กิโลวัตต์xชั่วโมง/วัน

คิดค่าไฟหน่วยละ ๓ บาท ๑๒๐ วัน/ปี

ต้นทุนค่าไฟฟ้า = ๑๗.๐๒x๖๐๐x๓ บาท/ปี

= ๓,๐๖๓.๖ บาท/ปี (๓)

- ค่าซ่อมบำรุง คิดคงที่เท่ากับร้อยละ ๕ ของมูลค่าเครื่องตลอดอายุการใช้งาน

การใช้งาน = ๐.๐๕x๖๕,๐๐๐ บาท/ปี

= ๓,๒๕๐ บาท/ปี

(๔)

ดังนั้น ต้นทุนผันแปรรวม = ๒๔,๐๐๐+๑๘,๑๐๓.๖๘+๓,๐๖๓.๖+๓,๒๕๐ บาท/ปี

= ๔๘,๔๑๗.๒๘ บาท/ปี

ต้นทุนรวม (คงที่+ผันแปร) = ๔๘,๔๑๗.๒๘+๖๖,๖๒๕ บาท/ปี

= ๑๑๕,๐๔๒.๒๘ บาท/ปี

ระยะเวลา ๑ ปี สามารถทำงานได้ = ๘๙๘ กิโลกรัม/ชั่วโมงx๘x๖๐

= ๔๓๑,๐๔๐ กิโลกรัม/ปี

ดังนั้น ต้นทุนค่าใช้จ่ายของการใช้เครื่อง = $\frac{\text{บาท/ปี}}{\text{กิโลกรัม/ปี}}$ = $\frac{๑๑๕,๐๔๒.๒๘}{๔๓๑,๐๔๐}$ บาท/ปี

= ๐.๒๗ บาท/กิโลกรัม

การคำนวณจุดต้นทุน ระยะเวลาต้นทุนและอัตราผลตอบแทนเงินลงทุน

คิดการใช้เครื่องลอกเปลือกสดพร้อมขัดเมือกกาแฟโรบัสต้า ๐.๕ บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนค่าใช้จ่าย = ๐.๒๗ บาท/กิโลกรัม

มูลค่าเพิ่ม = ๐.๕-๐.๒๗ บาท/กิโลกรัม

= ๐.๒๓ บาท/กิโลกรัม

หาจุดคุ้มทุนของเครื่องจากความสัมพันธ์ รายรับ = รายจ่าย

ดังนั้น ๐.๕xN = บาท/กิโลกรัมx กิโลกรัม/ปี

= ๐.๒๗x๔๓๑,๐๔๐

N = $\frac{๐.๒๗x๔๓๑,๐๔๐}{๐.๕}$

โดยที่ N คือปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุน (กิโลกรัม/ปี)

= ๒๓๒,๗๖๑.๖ กิโลกรัม/ปี

ดังนั้น จะคุ้มทุนเมื่อเครื่องทำงาน = ๒๓๒,๗๖๑.๖ กิโลกรัม/ปี

มูลค่าเพิ่มในการทำงานของเครื่อง = (๔๓๑,๐๔๐-๒๓๒,๗๖๑.๖๐)x๐.๒๓

กิโลกรัม/ปี

= ๔๕,๖๐๔ บาท/ปี

หาระยะเวลาคืนทุนจากความสัมพันธ์

ระยะเวลาคืนทุนเครื่อง = ราคาเครื่อง/มูลค่าเพิ่ม

= ๖๕,๐๐๐ บาท/๔๕,๖๐๔ ปี

= ๑.๔๓ ปี

หาอัตราผลตอบแทนเงินทุนจากความสัมพันธ์ = (มูลค่าเพิ่มสุทธิ/มูลค่าเครื่อง)x๑๐๐%

= (๔๕,๖๐๔/๖๕,๐๐๐)x๑๐๐%

= ๗๐.๑๖ %/ปี