

เครื่องจักรกลเกษตรในการผลิตเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม

Agricultural Machinery for Product Macadamia Nut at Industry Level

สนอง อมฤกษ์ ชัยวัฒน์ เผ่าสันหัตตพานิชย์ สถิตย์พงศ์ รัตนคำ
ประพัฒน์ ทองจันทร์ สมเดช ไทยแท้ และ ปรีชา ชมเชียงคำ

ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

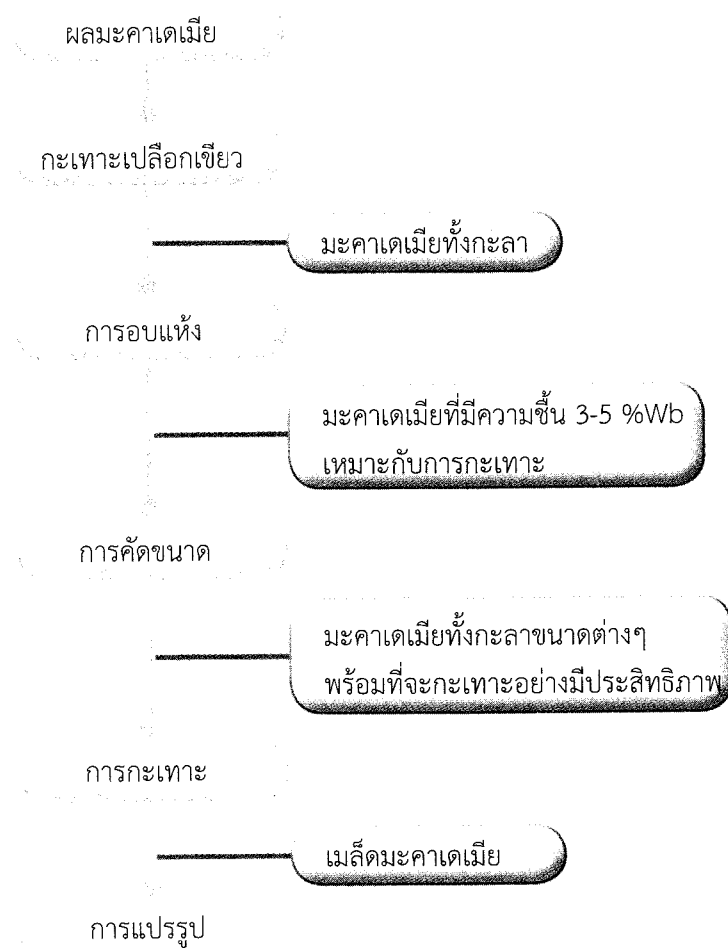
การศึกษาวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องมือแปรรูปเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม ประกอบไปด้วย 3 กิจกรรม ได้แก่กิจกรรมที่ 1 การวิจัยและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกเขียว ซึ่งประกอบด้วยชุดเกลียวกะเทาะ ชุดแผ่นกดอัดเมล็ดและชุดถ่ายทอดกำลัง กิจกรรมที่ 2 การศึกษาทดสอบการอบแห้งกะลามะคาเดเมีย โดยใช้เครื่องแบบกระบะสลับทิศทางลมร้อนซึ่งประกอบด้วยห้องบรรจุเมล็ด ชุดหัวเตา หัวพัดลม และชุดระบบสลับทิศลมร้อนพร้อมท่อกระจายลม กิจกรรมที่ 3 ประกอบด้วยกิจกรรมที่ 3.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม ประกอบด้วยชุดคัดขนาด ชุดกะเทาะเมล็ด และชุดถ่ายทอดกำลัง กิจกรรมที่ 3.2 เครื่องกะเทาะแบบ 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการคัดขนาด ประกอบด้วยชุดลำเลียงและชุดแผ่นคัดขนาด ส่วนขั้นตอนการกะเทาะ ประกอบด้วยชุดเพลากะเทาะ ชุดรองกะเทาะ และชุดถ่ายทอดกำลัง ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ระหว่างเดือนมิถุนายน 2551 ถึง มิถุนายน 2553 ผลการศึกษา กิจกรรมที่ 1 พบว่ามีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 634.77 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เมล็ดเต็ม 99.50 เปอร์เซ็นต์ โดยมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่การทำงาน 5,181 กิโลกรัมต่อปี ในกิจกรรมที่ 2 พบว่าการอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้น 8 เปอร์เซ็นต์เหลือความชื้นสุดท้าย 3 เปอร์เซ็นต์ ใช้อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เวลา 48 ชั่วโมง ความสิ้นเปลืองแก๊สหุงต้ม 1.40 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความสิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.75 หน่วยต่อชั่วโมง กิจกรรมที่ 3.1 พบว่ามีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 190 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เมล็ดเต็ม 61.50 เปอร์เซ็นต์ โดยมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่การทำงาน 2,334 กิโลกรัมต่อปี กิจกรรมที่ 3.2 พบว่ามีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 29.88 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เนื้อในเต็ม 53.07 เปอร์เซ็นต์ โดยมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่การทำงาน 1,090 กิโลกรัมต่อปี

คำนำ

มะคาเดเมีย (macadamia) เป็นไม้พื้นเมืองของออสเตรเลีย และเป็นไม้ไม่ผลัดใบ (evergreen tree) ทำให้เป็นป่าสีเขียวตลอดปี แหล่งปลูกมะคาเดเมียที่เป็นอุตสาหกรรมใหญ่ที่สุดคือประเทศออสเตรเลียและรัฐฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา รองลงมาได้แก่ประเทศ เคนยา อาฟริกาใต้ มาลาวี กัวเตมาลา คอสตาริกา บราซิล และซิมบับเว ตามลำดับ ผลผลิตเมล็ดทั้งกะลา (nut in shell) ของออสเตรเลียประมาณ 40,000 ตัน ในปี พ.ศ. 2548 ผลผลิตของทั้งโลกประมาณ 59,000 - 64,000 ตัน ในปี พ.ศ. 2543 แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยความต้องการของผู้บริโภคจะมีมากขึ้นถึงประมาณ 71,200 ตัน สำหรับในประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 15,000-20,000 ไร่ ในเขตจังหวัดเชียงใหม่ เชียงรายและเลย โดยมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกปีละ 1,500-2,000 ไร่ นับว่าเป็นพืชที่มีอนาคตทางเศรษฐกิจซึ่งมีราคาสูง ภาครัฐให้ผลผลิตนานกว่า 50 ปี (นิรนาม, 2009)

คุณค่าทางอาหารและประโยชน์ เนื้อในมะคาเดเมียประกอบด้วยน้ำมัน ซึ่งเป็นไขมันไม่อิ่มตัวเฉลี่ย 76 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีโคเรสเตอรอล ช่วยลดอัตราการเป็นโรคหัวใจ นอกจากนี้มะคาเดเมียยังอุดมไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม โพแทสเซียม ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย ช่วยบำรุงสุขภาพให้แข็งแรง สมบูรณ์ (จำลอง, 2544) มะคาเดเมียเมื่อแก่จะร่วงลงพื้น เกษตรกรต้องเก็บมารวมไว้ก่อนการกะเทาะเปลือกเขียว ออก (dehusking) โดยนำผลสดของมะคาเดเมียใส่ลงในถุงไนลอน แล้วตีด้วยท่อนไม้ ให้เปลือกเขียวแตกและหลุด จากกะลา จากนั้นเทออกจากถุง ทำการแยกเปลือกเขียวออกจากเมล็ดทั้งกะลาซึ่งมีความชื้นประมาณ 20 - 23.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำเมล็ดทั้งกะลาไปอบเหลือความชื้นอยู่ระหว่าง 3-5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เนื้อในหดตัว ส่วนใหญ่จะ หลุดจากกะลา แต่ยังมีเนื้อในที่ติดกับผนังกะลา ซึ่งต้องทำให้เนื้อในหลุดจากกะลาโดยการกระแทกถุงเมล็ดกับ หินแข็ง เพื่อให้เมล็ดกับกะลาคลอนแล้วจึงทำการกะเทาะกะลาออก (ภาพที่ 1) เนื่องจากลักษณะจำเพาะของกะลา มะคาเดเมียที่มีความแข็งมากเป็นพิเศษ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่า Young's Modulus ของกะลาประมาณ 5.2 Mpa ค่า tensile strength ของกะลา 57 Mpa และค่า Poisson's ratio ประมาณ 0.3 ซึ่งเทียบเท่ากับความแข็งของ Ceramic หรือแก้ว (Roung Liu *et al.*, 1999) กระบวนการแปรรูปมะคาเดเมียมีหลายขั้นตอน เริ่มจากการเก็บ รวบรวมผลมะคาเดเมียที่หล่นจากต้น การกะเทาะเปลือกเขียว การอบลดความชื้น การคัดขนาดเมล็ดทั้งกะลา การกะเทาะกะลา และการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 1)

กระบวนการแปรรูปมะคาเดเมีย



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการแปรรูปเมล็ดมะคาเดเมีย

ประเด็นปัญหา

1. การกะเทาะเปลือกเชียวมะคาเดเมีย

การกะเทาะเปลือกเชียว ปัจจุบันเกษตรกรรายย่อยจะเป็นผู้ขายเมล็ดมะคาเดเมียซึ่งต้องทำการกะเทาะเปลือกเชียวออกก่อนแล้วขายให้แก่ผู้ประกอบการรายใหญ่ กิโลกรัมละ 50 - 60 บาท กลุ่มเกษตรกรประสบปัญหาขาดเครื่องกะเทาะเปลือกเชียว ซึ่งต้องใช้ไม้ทุบ ทำให้ทำงานได้ช้าและเกิดความเมื่อยล้า ถ้าหากเก็บผลสดไว้นานเกิน 24 ชั่วโมงโดยไม่กะเทาะเปลือกเชียว ก็จะทำให้เมล็ดเสื่อมคุณภาพ ในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรม มีเครื่องกะเทาะเปลือกที่ซื้อมาจากต่างประเทศแต่มีราคาแพง (ประมาณ 5,000 ดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 150,000 บาท) ไม่มีอะไหล่ขายในเมืองไทย(กรณีชำรุด) ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกเชียวมะคาเดเมียจึงมีความจำเป็น ทำให้ได้เมล็ดมะคาเดเมียที่มีคุณภาพ และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรและกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตมะคาเดเมีย

สำหรับแนวทางในการดำเนินการวิจัยและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกเชียวมะคาเดเมียต้นแบบ โดยอาศัยหลักการกะเทาะแบบเกลียวกะเทาะเป็นแนวคิดและประดิษฐ์เครื่องขึ้นมา ได้มีการทดสอบหลายขั้นตอน เพื่อให้ได้เครื่องกะเทาะที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดได้เมล็ดมะคาเดเมียที่มีคุณภาพ

2. การอบแห้งมะคาเดเมีย

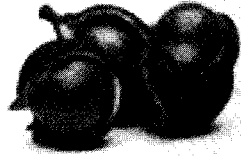
สภาพบนพื้นที่สูงของประเทศไทยในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณฝนตกชุกตลอด ทำให้อากาศมีสภาพความชื้นสูง ฟ้ามีรุ้งและปริมาณแสงแดดน้อยซึ่งตรงกับช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวผลมะคาเดเมีย ในปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกมะคาเดเมียบนพื้นที่สูงประสบปัญหาขาดเครื่องอบลดความชื้นมะคาเดเมียที่มีประสิทธิภาพและความรู้ความเข้าใจในการอบลดความชื้นเมล็ดเชียวมะคาเดเมียที่ถูกต้องเพื่อให้ได้คุณภาพดีก่อนการกะเทาะ โดยวิธีปฏิบัติทั่วไปในปัจจุบันการลดความชื้นเมล็ดเชียวใช้วิธีการผึ่งแดด ซึ่งไม่สามารถทำการลดความชื้นเมล็ดอย่างต่อเนื่องได้ และใช้วิธีการอบในตู้อบหรืออบกลางแจ้งได้สะดวก ก็ใช้เวลานานตั้งแต่ 1 สัปดาห์ หรืออาจถึง 6 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับสภาพของปริมาณความชื้นในเมล็ด และสภาพของอากาศในขณะนั้น ซึ่งเป็นการลดความชื้นในสภาพธรรมชาติ (Natural air drying) จะได้ความชื้นในเมล็ดเหลือประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่สามารถทำให้เนื้อในเมล็ดเกิดการหดตัวและล่อนไม่ติดผนังกะลาได้ ดังนั้นการหาวิธีการในการลดความชื้นในเมล็ดลงให้เหลือความชื้นเมล็ดไม่เกิน 3-5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เนื้อในเมล็ดเกิดการล่อน และเสร็จสิ้นภายใน 2-3 สัปดาห์ ก่อนที่จะนำไปเก็บรักษาหรือกะเทาะกะลาต่อไป ในส่วนของการดำเนินงานในระดับอุตสาหกรรมนั้นต้องนำเข้าเครื่องอบแห้งจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพง(ทั้งชุดอบแห้งและชุดกะเทาะราคาไม่ต่ำกว่า 10 ล้านบาท) การที่จะช่วยให้กลุ่มเกษตรกรหรือระดับอุตสาหกรรมในประเทศสามารถที่จะพัฒนากรรมวิธี ลดต้นทุนการผลิตในขั้นตอนการอบแห้งโดยการปรับใช้เครื่องมืออยู่ในประเทศ จึงมีความจำเป็นและต้องการในการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบลดความชื้นมะคาเดเมีย ที่ผลิตในประเทศมีราคาไม่สูงมาก เพื่อให้ได้เมล็ดมะคาเดเมียที่มีคุณภาพก่อนการกะเทาะกะลา และเป็นทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรในการผลิตเมล็ดมะคาเดเมียที่มีคุณภาพเพื่อการแปรรูประดับอุตสาหกรรมในครัวเรือน นอกจากนี้แล้วในขั้นตอนของการอบลดความชื้นนี้ก็ยังไม่มีผลงานวิจัยยืนยันว่ากรรมวิธีการอบลดความชื้นเมล็ดแบบใด และต้องใช้อุณหภูมิความร้อนและระยะเวลาเท่าใด จึงจะได้เนื้อในเต็มเมล็ดที่มีคุณภาพดีและเมล็ดไม่แตกในปริมาณมากที่สุดซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องศึกษา

3. การคัดขนาดเมล็ดมะคาเดเมีย

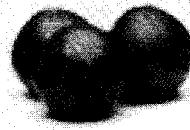
การคัดขนาดเมล็ดมะคาเดเมียก่อนการกะเทาะกะลา มีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้ประสิทธิภาพการกะเทาะได้เมล็ดเนื้อในสูงขึ้น



ผลมะคาเดเมีย



ผลมะคาเดเมียที่หล่นจากต้น



เมล็ดทั้งกะลา



เมล็ด

ภาพที่ 2 ลักษณะของผลมะคาเดเมียตั้งแต่เริ่มเก็บจากแปลง และเมล็ดที่ได้จากขั้นตอนต่างๆของการแปรรูป

4. การกะเทาะกะลามะคาเดเมีย

การกะเทาะกะลามะคาเดเมียมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากถ้ากะเทาะไม่ดีจะทำให้ได้เนื้อในเต็มเมล็ดน้อย ราคาเมล็ดแตกต่างกับเมล็ดผ่าซีกต่างกันมาก เครื่องกะเทาะที่มีใช้กันเป็นเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาแพง อะไหล่หายาก ได้เมล็ดเต็มไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเครื่องกะเทาะแบบใช้ต้นกำลังหรือระดับอุตสาหกรรม จะช่วยลดต้นทุนในการแปรรูปมะคาเดเมีย เครื่องต้นแบบที่วิจัยจะใช้วัสดุภายในประเทศ และจะปรับปรุงและพัฒนาให้ได้เมล็ดเต็มไม่น้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบการกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียให้มีประสิทธิภาพ เพิ่มมูลค่าของผลผลิต และลดต้นทุนในการผลิต โดยการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือ 4 แบบ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียให้มีคุณภาพโดยมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

1. เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกเขียวมะคาเดเมีย
2. เพื่อศึกษาการอบแห้งมะคาเดเมียด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน
3. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดเมล็ดมะคาเดเมีย
4. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม ให้ได้เมล็ดเต็มไม่น้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

- 1) เหล็กรูปพรรณขนาดต่างๆ ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด (เช่น เหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว หนา 2 มม เหล็กเพลลา ขนาด 1 นิ้ว เหล็กแผ่นดำ ฯลฯ) เพื่อนำมาใช้สร้างต้นแบบเครื่องฯ ทั้ง 4 เครื่อง
- 2) นาฬิกาจับเวลา
- 3) เครื่องวัดรอบ
- 4) ผลมะคาเดเมีย

วิธีการ

กิจกรรมที่ 1 พัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องลอกเปลือกเขียวมะคาเดเมีย

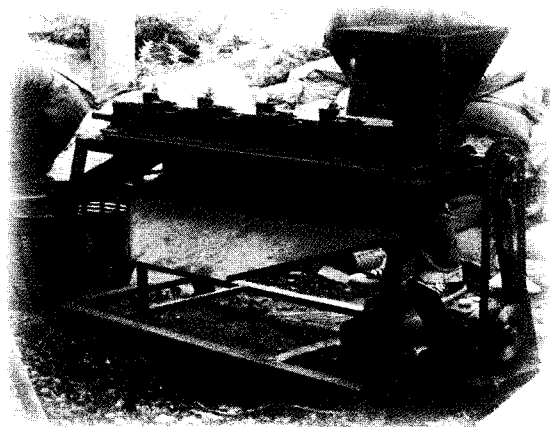
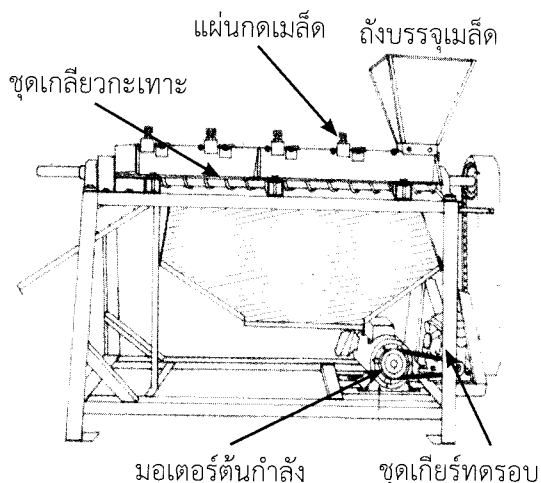
1.1 เครื่องกะเทาะเปลือกเขียวมะคาเดเมียได้พัฒนาจากเครื่องของโครงการหลวงที่นำเข้ามาจากประเทศออสเตรเลีย โดยได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะเปลือกมะคาเดเมีย ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ชุดเกลียวกะเทาะเปลือกเขียว ชุดแผ่นกดอัดผลมะคาเดเมียและชุดถ่ายทอดกำลัง (ภาพที่ 3)

สำหรับหลักการทำงานของเครื่องกะเทาะเปลือกมะคาเดเมีย เริ่มจากการป้อนผลมะคาเดเมียใส่ใน hopper ซึ่งตั้งอยู่บนชุดเกลียวลำเลียง ผลมะคาเดเมียจะถูกลำเลียงเข้ามาในเครื่องกะเทาะ โดยในเครื่องมีชุดเกลียวกะเทาะยาวประมาณ 1 เมตร เกลียวกะเทาะทำหน้าที่ 2 อย่างคือ ทำหน้าที่ลำเลียงผลมะคาเดเมียพร้อมกับกะเทาะเปลือก มีชุดแผ่นกดผลมะคาเดเมียอัดติดกับชุดเกลียวลำเลียง เมื่อโดนแรงแผ่นกดผลมะคาเดเมียให้อัดกับเกลียวกะเทาะทำให้เปลือกแตกร่วงลงด้านล่าง ส่วนผลมะคาเดเมียซึ่งมีขนาดโตกว่าช่องทางออกเปลือกจะถูกลำเลียงออกยังด้านท้ายของเครื่อง ซึ่งหัวใจสำคัญของเครื่องกะเทาะก็คือ ชุดเกลียวลำเลียง ซึ่งทำหน้าที่ 2 อย่างพร้อมกัน

1.1.1 ชุดเกลียวกะเทาะมีระยะพิทซ์ 68 มิลลิเมตร ตัวเกลียวกะเทาะยาว 1,150 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร ทำงานที่ความเร็วรอบ 330 รอบต่อนาที

1.1.2 ส่วนชุดแผ่นกดอัดมีจำนวน 4 ชุด วางอยู่ด้านบนของชุดเกลียวกะเทาะ ทำจากเหล็กแบนขนาดกว้าง×ยาว×หนา 36×195×6 มิลลิเมตร มีหน้าที่กดอัดผลมะคาเดเมียโดยมีตัวสปริงเป็นตัวกดแผ่นอัด เมล็ด ให้เปลือกของมะคาเดเมียสัมผัสกับชุดเกลียวกะเทาะเปลือก

1.1.3 ชุดถ่ายทอดกำลัง โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลังขับผ่านเกียร์ทดรอบ อัตราทด 1:10 และส่งผ่านกำลังต่อดำด้วยเฟืองโซ่ขนาด 20 เซนติเมตร ไปขับเฟืองโซ่ขนาด 15 เซนติเมตร ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบ 300, 310, 320, 330, 340 และ 350 รอบต่อนาที ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การกะเทาะที่ได้ เมล็ดที่สมบูรณ์และกะเทาะได้ทันเวลา และได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการกะเทาะเปลือกที่ 330 รอบต่อนาที



ภาพที่ 3 ต้นแบบเครื่องกะเทาะเปลือกมะคาเดเมีย

1.2 นำไปทดสอบในพื้นที่โดยทดสอบที่ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ดอยขุนวาง) ตำบลแม่วาง อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ได้บันทึกข้อมูลความสามารถในการกะเทาะ เปอร์เซ็นต์การกะเทาะไม่หมด เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม และเปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่ถูกกะเทาะ ใช้ความเร็วรอบที่ 330 รอบ โดยทำการทดสอบ 3 ซ้ำ ซ้ำละ

100 กิโลกรัม (เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวผลผลิตที่เก็บรวบรวมได้ 300 กิโลกรัม) หลังจากทำการทดสอบแล้วพบข้อบกพร่องหลายจุดจึงได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาชุดทดสอบ ต้องขันยึดให้แน่น กันน็อตที่ทดสอบคลายตัว รับความยาวของแผ่นกดให้เหมาะสม และเนื่องจากตัวกดเมล็ดสั้นเกินไปทำให้เมล็ดเกาะไม่หมด จึงได้ทำให้ยาวขึ้น และปรับสปริงให้มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้มีแรงกดเพียงพอสำหรับอัดผลมะคาเดเมียให้เกาะเปลือกออกได้หนา จากนั้นได้ทำการทดสอบที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจังหวัดเชียงราย (วาวี) อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย

กิจกรรมที่ 2 ศึกษาการอบแห้งมะคาเดเมียด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน

2.1 ได้นำเครื่องอบลำไยทั้งเปลือกแบบสลับทิศทางลมร้อนขนาดบรรจุลำไย 2 ตัน มาศึกษาทดลองอบแห้งมะคาเดเมีย โดยเครื่องดังกล่าวประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ชุดสลับทิศทางลมร้อน ชุดท่อกระจายลมร้อน และชุดฝาครอบกระบะ รวมทั้งดัดแปลงเพิ่มช่องทางเปิด-ปิดระบายอากาศร้อนขึ้นออกทางด้านล่างของกระบะ

2.1.1 ชุดสลับทิศทางอากาศร้อน ติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งแบบกระบะขนาด $2.4 \times 2.4 \times 1.90$ เมตร โดยอยู่ทางด้านหน้าเครื่องอบต่อจากหัวพัดลมเป่าแบบไหลตามแกน ขนาดปริมาตร 1.72 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ภายในมีแผ่นวาล์วลักษณะปีกผีเสื้อ ขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร ใช้โยกเปิด-ปิดเพื่อสลับทิศทางไหลของอากาศร้อนให้ไหลผ่านท่อกระจายลมทางด้านบนและทางด้านล่างของกระบะ

2.1.2 ชุดท่อกระจายลม ลักษณะเป็นปล่องลม เจาะรูรอบปล่อง 3 ด้าน รูขนาด 50 มิลลิเมตร จำนวน 13 รู โดยปล่องลมมีทั้งหมด 4 ท่อ ติดตั้งส่วนด้านบนกระบะ 2 ท่อ และติดตั้งส่วนด้านล่างกระบะ 2 ท่อ เพื่อให้สามารถกระจายลมได้ทั่วถึงและสม่ำเสมอทั้งกระบะ

2.1.3 ชุดฝาครอบกระบะ ลักษณะแบบปิดกระบะให้อากาศร้อนไหลวนอยู่ภายในได้ และมีช่องทางเปิด-ปิดได้สำหรับระบายอากาศร้อนขึ้นออกทางด้านบนของกระบะ

2.2 ทดสอบเบื้องต้นในการใช้งานของต้นแบบเครื่องลดความชื้นเมล็ดมะคาเดเมีย ได้ข้อพิจารณาและดำเนินการแก้ไขปรับปรุงจุดบกพร่องของต้นแบบ ให้สามารถใช้งานได้ตามต้องการ

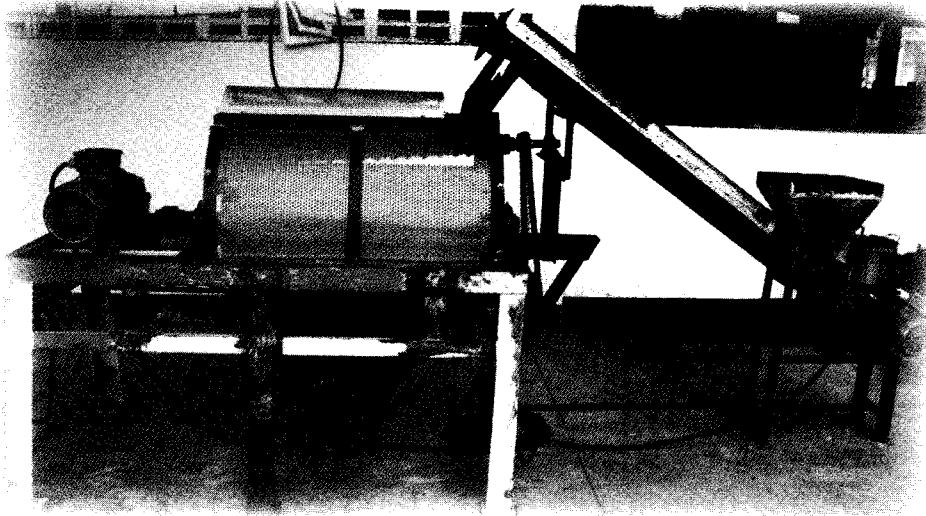
2.3 จากนั้นนำไปทดสอบในพื้นที่กลุ่มเกษตรกรดอยหล่อ อำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่ บรรจุเมล็ดมะคาเดเมีย 1,500 กิโลกรัม อบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 50 องศาเซลเซียส โดยการสลับทิศทางลมร้อนทุก 6 ชั่วโมงต่อครั้ง ใช้เวลานาน 48 ชั่วโมงสำหรับเมล็ดมะคาเดเมียพันธุ์กะลาบาง และใช้เวลานาน 60 ชั่วโมงสำหรับเมล็ดมะคาเดเมียพันธุ์กะลาหนา จากนั้นได้ทำการทดสอบที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านดอยช้าง อำเภอดอยช้าง จังหวัดเชียงราย อบแห้งเมล็ดมะคาเดเมียที่น้ำหนักเริ่มต้น 1,000 กิโลกรัม อบแห้งลดความชื้นเมล็ดจากความชื้นเริ่มต้น 8 เปอร์เซ็นต์ เหลือความชื้นสุดท้าย 3 เปอร์เซ็นต์ เหลือน้ำหนักสุดท้าย 930 กิโลกรัม ใช้อุณหภูมิและเวลาการอบแห้งที่เหมาะสมอยู่ที่ 50-55 องศาเซลเซียส และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการสลับทิศทางลมร้อน 6 ชั่วโมงต่อครั้ง

กิจกรรมที่ 3 พัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะและคัดขนาดเมล็ดมะคาเดเมีย

3.1 เครื่องกะเทาะมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม

ได้ทำการสร้างและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับเมล็ดมะคาเดเมียครบวงจร สำหรับเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรมนี้ เนื่องจากการกะเทาะมะคาเดเมียจำเป็นต้องคัดขนาดเมล็ดก่อนจะทำให้ได้เมล็ดเต็มหลังการกะเทาะเพิ่มมากขึ้น จึงได้ทำการออกแบบเครื่องคัดขนาดจนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถที่จะนำมาติดตั้งบนชุดกะเทาะกะลาได้จึงได้ออกแบบชุดคัดขนาดและชุดกะเทาะกะลาอยู่ในเครื่องเดียวกันช่วยลดขั้นตอนการทำงานของเครื่องลงไปด้วย (ภาพที่ 5)

การกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมีย (macadamia cracker) การกะเทาะกะลาเมล็ดมะคาเดเมียด้วยเครื่องที่ใช้ต้นกำลังขับเคลื่อนซึ่งส่วนใหญ่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า มีความสามารถในการทำงานได้เร็วและต่อเนื่องกว่าเครื่องกะเทาะแบบใช้แรงคน แต่การควบคุมการแตกของเนื้อในเมล็ดมะคาเดเมียทำได้ยากกว่า สำหรับเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรมที่สร้างขึ้นนี้ ใช้หลักการของการกด (press) และฉีก (split) กะลา



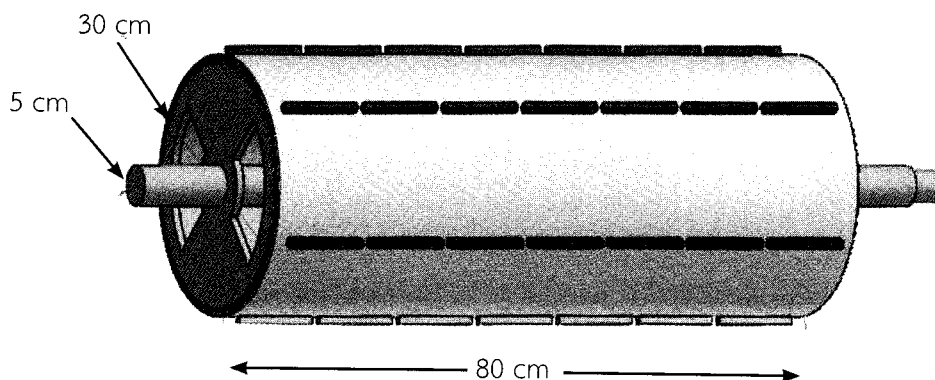
ภาพที่ 5 เครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรมมีชุดคัดขนาดบนชุดกะเทาะ

3.1.1 เครื่องกะเทาะมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม ดำเนินการออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรมโครงสร้างหลัก ประกอบด้วย

1) ชุดใบมีดเคลื่อนที่ ประกอบด้วยใบมีดสำหรับกะเทาะ จำนวน 42 ชิ้น ทำจากเหล็กคาร์บอนสูง ขนาดหน้าตัด 1x1 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ติดตั้งอยู่บนผิวท่อนเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร หนา 9 มิลลิเมตร แกนกลางเป็นเหล็กเพลลาตัน เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร มีแผ่นเหล็กกลมปิด 2 ด้าน ภายในหล่อปูนซีเมนต์เพิ่มน้ำหนักเหวี่ยงและลดเสียงดังขณะใบมีดกระทบกะลามะคาเดเมีย

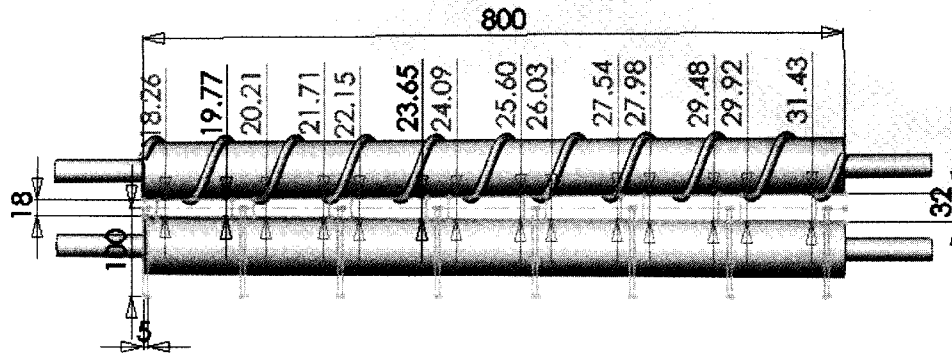
2) ชุดใบมีดอยู่กับที่ ใบมีดเป็นเหล็กคาร์บอนสูง ขนาด 1x1 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร เชื่อมติดกับโครงสร้างเป็นเหล็กฉากรูปตัว L หนา 1 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร

3) ชุดต้นกำลังขับเคลื่อน เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 2 แรงม้า 1,400 รอบต่อนาที ขับผ่านชุดทดรอบที่อัตราทด 1 ต่อ 10 รอบ ขับเพลลาตรับชุดใบมีดเคลื่อนที่ที่ความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที



ภาพที่ 6 ชุดใบมีดติดตั้งบนดรัมหมุน (rotor) ด้วยความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที

3.1.2 ชุดคัดขนาดเม็ล็ด ใช้หลักการคัดด้วยแรงดึงดูด (gravity separaty) ชุดคัดทำด้วยเหล็ก เหล็กกล้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.35 เซนติเมตร 2 เพลลา เพลลาเรียบ 1 เพลลา เพลลาเกลียว 1 เพลลา ความยาว 80 เซนติเมตร วางมุมเอียง 3.5 องศา ระยะห่างเพลลา 18-32 เซนติเมตร (ภาพที่ 11 12 และ 13) โดยชุดคัดขนาดแบ่ง ช่องคัดเกอร์ออกเป็น 7 ช่องด้วยกัน โดยช่องที่ 1 มีระยะห่างระหว่างลูกคัดขนาดทั้งสองเฉลี่ย 19.02 มิลลิเมตร ช่องที่ 2 3 4 5 6 และ 7 มีระยะห่างระหว่างลูกคัดขนาดทั้งสองเฉลี่ย 20.96 22.90 24.85 26.79 28.73 และ 30.68 มิลลิเมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ระยะห่างระหว่างเพลลาเรียบและเพลลาเกลียวด้านมุมยก 18 เซนติเมตร ท้ายเพลลา 32 เซนติเมตร

3.1.3 ทดสอบเบื้องต้น ได้ทำการทดสอบการกะเทาะที่ความเร็วรอบตัมหมุนที่ 120 130 140 150 และ 160 รอบต่อนาที ขนาด คละ ทดลอง 3 ซ้ำๆละ 50 เมล็ด ได้บันทึกข้อมูลความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ได้เนื้อในเต็มเม็ล็ดและการทดสอบความเร็วรอบ ชุดคัดขนาด ที่ 80 90 100 110 และ 120 รอบต่อนาที ขนาด คละ ทดลอง 5 ซ้ำๆละ 100 เมล็ด ได้บันทึกข้อมูลความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยความไม่แตกต่างกันทางสถิติ จึงกำหนดให้เป็นความเร็วรอบการทำงานของเครื่องจากนั้นนำไปทดสอบในพื้นที่โดยทดสอบที่ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวง ตำบลแม่เหี้ยะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ได้บันทึกข้อมูลความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ได้เนื้อในเต็มเม็ล็ด เปอร์เซ็นต์เนื้อในแตก เปอร์เซ็นต์กะเทาะบางส่วน และเปอร์เซ็นต์เม็ล็ดไม่ถูกกะเทาะ ใช้ความเร็วรอบที่ 140 รอบต่อนาที โดยทำการทดสอบ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1,000 กิโลกรัม

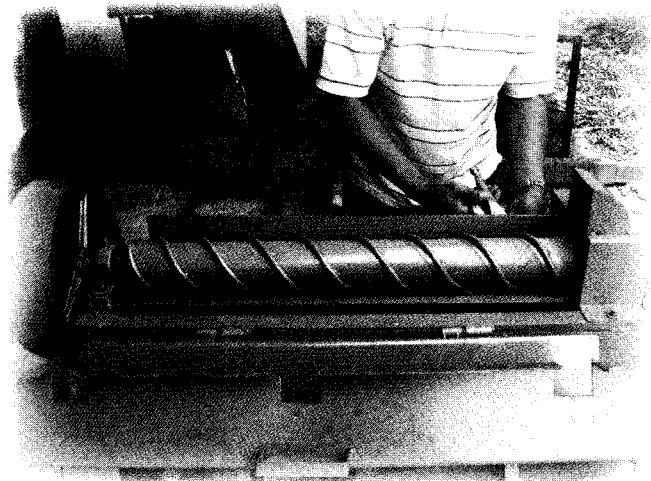
3.2 เครื่องกะเทาะมะคาเดเมียแบบ 2 ขั้นตอน

3.2.1 ดำเนินการออกแบบและพัฒนาและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกะเทาะเม็ล็ดมะคาเดเมีย 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการคัดขนาด และขั้นตอนการกะเทาะ

1) ขั้นตอนการคัดขนาดประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ชุดเกลียวลำเลียง ชุดแผ่นคัดขนาด และชุดถ่ายทอดกำลัง

1.1) ชุดเกลียวลำเลียงมีระยะพิทซ์ 73 มิลลิเมตร ตัวเกลียวกะเทาะยาว 1,000 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 76.3 มิลลิเมตร ทำงานที่ความเร็วรอบ 130 รอบต่อนาที

1.2) ชุดแผ่นคัดขนาด วางอยู่ด้านข้างของชุดเกลียวลำเลียง ทำจากเหล็กฉากขนาดกว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ 50×50×4 มิลลิเมตร ยาว 685 มิลลิเมตร ทำหน้าที่คัดขนาดเม็ล็ดมะคาเดเมียโดยระยะห่างเป็นตัวกำหนดขนาด



ภาพที่ 8 ต้นแบบเครื่องฯ และชุดเกลียวลำเลียงและชุดแผ่นคัดขนาดของเครื่องกะเทาะเมล็ด

1.3) ชุดถ่ายทอดกำลัง โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลังขับผ่านพูลี่ ขนาด 2 นิ้ว ไปขับพูลี่ขนาด 12 นิ้ว และส่งกำลังด้วยพูลี่ ขนาด 5 นิ้ว ไปขับพูลี่ขนาด 10 นิ้ว

2) ขั้นตอนการกะเทาะเมล็ดประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ชุดเพลากะเทาะ ชุดรองกะเทาะ และชุดถ่ายทอดกำลัง

2.1) ชุดเพลากะเทาะมีใบมีดกะเทาะ 3 ชุด แต่ละชุดมี 4 ใบมีด ใบมีดขนาดกว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ 9.6×9.6×100 มิลลิเมตร วางอยู่บนเพลานขนาด 50.8 มิลลิเมตร ระยะห่าง 140 มิลลิเมตร

2.2) ชุดรองกะเทาะมีใบมีดกะเทาะ 3 ชุด แต่ละชุดมีใบมีดเดี่ยว ใบมีดขนาดกว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ 9.6×9.6×100 มิลลิเมตร วางอยู่บนตัวโครงของเครื่อง ระยะห่าง 140 มิลลิเมตร

2.3) ชุดถ่ายทอดกำลังโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลังขับผ่านพูลี่ขนาด 2 นิ้ว ไปขับพูลี่ขนาด 12 นิ้ว ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบ 240, 250, 260, 270 และ 280 รอบต่อนาที ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การกะเทาะที่ได้เนื้อในเต็มมากที่สุด ได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการกะเทาะเปลือกที่ 260 รอบต่อนาที

3.2.2 ทดสอบเครื่องต้นแบบที่กลุ่มเกษตรกร ตำบลดอยหล่อ อำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่ และที่ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

เวลาและสถานที่

เริ่มต้น มิถุนายน 2551 สิ้นสุด มิถุนายน 2553

สถานที่ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่(ดอยขุนวาง) ตำบลแม่วาง อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรที่สูงเชียงราย (วาริ) อำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงราย

ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

กลุ่มเกษตรกรดอยหล่อ อำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านดอยช้าง ตำบลดอยช้าง อำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงราย

กลุ่มเกษตรกร ตำบลดอยหล่อ อำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

กิจกรรมที่ 1 พัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะเปลือกเขียวมะคาเดเมีย

1.1 การทดสอบเบื้องต้น นำเครื่องต้นแบบไป ทดสอบที่ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่(ดอยขุนวาง) ตำบลแม้วาง อำเภอแม้วาง จังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบเครื่องกะเทาะเปลือกเขียวมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 660.86 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เมล็ดเต็มเฉลี่ย 88.63 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดไม่ถูกกะเทาะเฉลี่ย 5.37 เปอร์เซ็นต์ กะเทาะไม่หมดเฉลี่ย 6.0 เปอร์เซ็นต์ เครื่องดังกล่าวสามารถทำงานได้ดีในระดับหนึ่งแต่ยังมีจุดที่สามารถปรับปรุงและพัฒนาหลายจุดด้วยกัน

1.2 การทดสอบหลังจากการปรับปรุงเครื่อง

ได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาชุดทดสอบ ชันยึดให้แน่น กันน็อตที่กดสริงคลายตัว ปรับความยาวของแกนทำให้เหมาะสม เนื่องจากตัวกดเมล็ดสั้นเกินไปทำให้เมล็ดกะเทาะไม่หมด จึงได้ทำให้ยาวขึ้น และปรับสปริงให้มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้มีแรงกดเพียงพอสำหรับอัดผลมะคาเดเมียให้กะเทาะเปลือกออกได้หนา จึงได้นำไปทดสอบอีกครั้ง

ทดสอบที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรที่สูงเชียงราย (วาวิ) ตำบลวาวิ อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย สามารถกะเทาะเปลือกออกได้ดียิ่งขึ้น มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 634.77 ± 28.35 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เมล็ดเต็ม 99.5 ± 0.55 เปอร์เซ็นต์ กะเทาะไม่หมด 0.5 ± 0.54 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเทียบกับเครื่องที่มีใช้อยู่ในกลุ่มของหน่วยงานราชการ และโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าราคาเครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศราคาประมาณ 150,000 บาท (หนึ่งแสนห้าหมื่นบาท) อะไหล่หายาก ต้องตัดแปลงความสามารถในการทำงานเท่ากัน แต่เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเปลือก ได้ 85 เปอร์เซ็นต์ (เนื่องจากเครื่องทำงานมา มากกว่า 10 ปี อาจมีการสึกหรอของเหล็กทำให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะต่ำ) ในขณะที่เครื่องที่ดำเนินงานวิจัยและพัฒนามีราคา 30,000 บาท(สามหมื่นบาท) ขึ้นส่วนทุกอย่างหาซื้อได้ตามท้องตลาด เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเปลือก ได้ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เกษตรกรหรือโรงงานอุตสาหกรรมคงตัดสินใจได้ไม่ยากว่าจะเลือกเครื่องใด

กิจกรรมที่ 2 พัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งมะคาเดเมีย

2.1 นำเครื่องอบลำไยแบบสลับทิศทางลมร้อนมาทดลองอบมะคาเดเมียทั้งกะลา ในพื้นที่กลุ่มเกษตรกรดอยหล่อ อำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าต้นแบบเครื่องลดความชื้นเมล็ดมะคาเดเมีย ทดสอบที่น้ำหนัก 1,500 กิโลกรัม อบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 50 องศาเซลเซียส โดยการสลับทิศทางลมร้อน 6 ชั่วโมงต่อครั้ง ใช้เวลานาน 48 ชั่วโมง สำหรับเมล็ดมะคาเดเมียพันธุ์กะลาบาง และใช้เวลานาน 60 ชั่วโมงสำหรับเมล็ดมะคาเดเมียพันธุ์กะลาหนา อัตราการสิ้นเปลืองแก๊สประมาณ 1.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายแก๊สอยู่ที่ 0.88 บาทต่อกิโลกรัมสำหรับกะลาบาง และ 1.10 บาทต่อกิโลกรัมสำหรับกะลาหนา ส่วนเครื่องอบแห้งแบบกระบะครึ่งเต็มทีกลุ่มเกษตรกรดอยหล่อใช้อยู่ มีความสามารถในการบรรจุเมล็ดมะคาเดเมีย 2,000 กิโลกรัม อบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 50 องศาเซลเซียส โดยการสลับตำแหน่งเมล็ดมะคาเดเมีย ใช้เวลานาน 96 ชั่วโมงสำหรับเมล็ดมะคาเดเมียพันธุ์กะลาบาง และใช้เวลานาน 108 ชั่วโมงสำหรับเมล็ดมะคาเดเมียพันธุ์กะลาหนา อัตราการสิ้นเปลืองแก๊สประมาณ 2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายแก๊สอยู่ที่ 1.88 บาทต่อกิโลกรัมสำหรับกะลาบาง และ 2.11 บาทต่อกิโลกรัมสำหรับกะลาหนา

2.2 จากผลทดสอบเบื้องต้นในการใช้งานของต้นแบบเครื่องลดความชื้นเมล็ดมะคาเดเมีย ได้ข้อพิจารณาและดำเนินการแก้ไขปรับปรุงจุดบกพร่องของต้นแบบ ให้สามารถใช้งานได้ตามต้องการ ได้แก่

- เปลี่ยนขนาดรูพื้นตะแกรง จากเดิมขนาดรู 3 มิลลิเมตร เป็น 7 มิลลิเมตร เพื่อให้มีปริมาณลมไหลได้มากขึ้นเพียงพอกับการอบแห้งเมล็ดมะคาเดเมีย

- เปลี่ยนขนาดพู่ล้อยตัวขับ จากเดิมขนาด 3 นิ้ว เปลี่ยนเป็น 4 นิ้ว เพื่อให้อัตราการไหลของลมร้อนเพิ่มมากขึ้น 1.3 เท่า
- เพิ่มจำนวนรูของปล่องลม รอบปล่อง 3 ด้าน จากเดิมมีจำนวนรูด้านละ 13 รู เปลี่ยนเพิ่มจำนวนรูเป็นด้านละ 14 รู เพื่อแก้ปัญหาการกระจายลมร้อนได้ไม่ทั่วถึงที่บริเวณระยะส่วนหัวและท้ายปล่อง
- ติดแผ่นยางกันลมซึมรอบขอบบานปิกผีเสื้อ เพื่อแก้ปัญหาในปล่องลมมีแรงดันลมตกจากการรั่วซึมที่บานปิกผีเสื้อ

ทดสอบและประเมินผลหลังการปรับปรุงที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านดอยช้าง อำเภอดอยช้าง จังหวัดเชียงราย ผลการทดสอบ พบว่า การอบแห้งเมล็ดมะคาเดเมียที่น้ำหนักเริ่มต้น 1,000 กิโลกรัม อบแห้งลดความชื้นเมล็ดจากความชื้นเริ่มต้น 8 เปอร์เซ็นต์ เหลือความชื้นสุดท้าย 3 เปอร์เซ็นต์ เหลือน้ำหนักสุดท้าย 930 กิโลกรัม ใช้อุณหภูมิและเวลาการอบแห้งที่เหมาะสมอยู่ที่ 50-55 องศาเซลเซียส และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการสลับทิศทางลมร้อนทุก 6 ชั่วโมงต่อครั้ง ความสิ้นเปลืองแก๊สสูงต้มและความสิ้นเปลืองไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.40 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 0.75 หน่วยต่อชั่วโมง ตามลำดับ

กิจกรรมที่ 3 พัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะและคัดขนาดเมล็ดมะคาเดเมีย

3.1 เครื่องกะเทาะมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม

3.1.1 การทดสอบเบื้องต้น

เครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม เป็นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาหลักการทำงานจากเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียของโรงงานแปรรูปมะคาเดเมีย โครงการพระราชดำริดอยตุง ซึ่งนำเครื่องมาจากประเทศออสเตรเลีย ในการทดสอบเบื้องต้น ได้ทำการทดสอบการกะเทาะที่ความเร็วรอบ 120 130 140 150 และ 160 รอบต่อนาที พบว่าการทำงานของชุดกะเทาะที่ความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที จะได้เมล็ดเนื้อในเต็มสูงสุด 49.33 ± 6.11 เปอร์เซ็นต์

การทดสอบเบื้องต้นทำโดยการหยอดเมล็ดด้วยคนลงในช่องกะเทาะของชุดกะเทาะ เมล็ดคละขนาด ทำที่ละช่องทั้ง 7 ช่อง ที่ความเร็วรอบ 120 130 140 150 และ 160 รอบต่อนาที พบว่า ที่ความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที ได้เนื้อในเต็มเมล็ด 49.33 เปอร์เซ็นต์ สูงที่สุด จึงกำหนดให้เป็นความเร็วรอบที่จะใช้ในการทดสอบครั้งต่อไป

นอกจากเรื่องการเตรียมเมล็ดที่เหมาะสมแล้ว ในการกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมีย ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การป้อนเมล็ดเข้าไปยังชุดกะเทาะเมล็ดของเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรมนี้ กำหนดให้มีชุดคัดขนาดเมล็ดก่อนการกะเทาะเมล็ด ชุดคัดขนาดได้สร้างและติดตั้งอยู่บนชุดกะเทาะเมล็ด โดยเมล็ดจะถูกลำเลียงจากชุดป้อนเกลียวลำเลียงขึ้นไปตกลงในรางคัดขนาด รายละเอียดการทดสอบชุดคัดขนาด

ผลการทดสอบชุดคัดขนาด พบว่าความสามารถในการคัดทั้ง 7 ช่อง ใน 5 ความเร็วรอบ คือ 80 90 100 110 และ 120 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 88.10 เปอร์เซ็นต์ จึงกำหนดให้ชุดคัดขนาดใช้ความเร็วในการทำงานที่ 120 รอบต่อนาที (อุปกรณ์ในการทดสอบทาง่าย) ที่ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 190 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

3.1.2 ทดสอบเครื่องกะเทาะมะคาเดเมีย ที่ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ ตำบลแม่เหิยะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าผลการทดสอบเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม ทั้ง 2 ครั้ง โดยทดสอบครั้งละ 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 1 ได้ความสามารถในการกะเทาะได้เมล็ดเนื้อในเต็มเฉลี่ย 60.94 เปอร์เซ็นต์ ครั้งที่ 2 ได้ 62.16 เปอร์เซ็นต์ รวมเฉลี่ยจาก 2 ครั้ง 61.50 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบเบื้องต้นของชุดกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียและชุดคัดขนาดเมล็ด จึงได้กำหนดให้ทำการทดสอบซ้ำอีก 2 ครั้ง ๆ ละ 5 ชั่วโมง ๆ ละ 1 กิโลกรัม โดยใช้เมล็ดคละขนาด ความเร็วรอบชุดกะเทาะ 140

รอบรอบนาที่ ความเร็วชุดคัตขนาด 120 รอบต่อนาที ได้ความสามารถในการกะเทาะเมล็ดเนื้อในเต็มเฉลี่ย 61.68 ± 5.72 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดแตก 11.97 ± 2.19 เปอร์เซ็นต์ กะเทาะบางส่วน 11.64 ± 4.39 เปอร์เซ็นต์ ไม่ถูกกะเทาะ 4.99 ± 2.21 เปอร์เซ็นต์ และมีความสามารถในการทำงาน 191.87 ± 18.07 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

3.2 เครื่องกะเทาะมะคาเดเมียแบบ 2 ขั้นตอน

เป็นเครื่องที่พัฒนาจากเครื่องกะเทาะมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม เพิ่มจากโครงการที่เสนอไป นำระบบเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมีย 2 ขั้นตอน ทดสอบที่กลุ่มเกษตรกร ตำบลดอยหล่อ อำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 6 ผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบเครื่องกะเทาะเมล็ดมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 31.25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เนื้อในเต็ม 48.67 เปอร์เซ็นต์ เนื้อในแตก 28.67 เปอร์เซ็นต์ กะเทาะไม่หมด 22.67 เปอร์เซ็นต์ เครื่องดังกล่าวสามารถทำงานได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ยังมีจุดที่สามารถปรับปรุงและพัฒนาต่อยอดด้วยกัน เช่นชุดกะเทาะต้องปรับระยะห่างระหว่างชุดเพลากะเทาะและชุดรองกะเทาะให้เหมาะสมกับขนาดเมล็ดมะคาเดเมีย

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบเบื้องต้นการกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมีย ซึ่งเป็นเมล็ดมะคาเดเมียที่มีขนาดเล็ก ขนาด $16-20$ มิลลิเมตร และไม่ได้เก็บในถุงที่ปิดสนิทหลังจากอบ ทำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้น เห็นว่าเครื่องต้นแบบมีความสามารถในการกะเทาะเมล็ดได้ผลดี คือได้เนื้อในเต็ม 48.67 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากระยะห่างระหว่างชุดเพลากะเทาะกับชุดรองกะเทาะไม่เหมาะสม จึงได้ปรับระยะให้เหมาะสมยิ่งขึ้น จากนั้นพัฒนาเครื่องต้นแบบแล้วทดสอบที่ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบเครื่องกะเทาะเมล็ดมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 29.88 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เนื้อในเต็ม 53.07 เปอร์เซ็นต์ เนื้อในแตก 41.45 เปอร์เซ็นต์ กะเทาะไม่หมด 5.47 เปอร์เซ็นต์ เครื่องดังกล่าวสามารถทำงานได้ดีในระดับหนึ่ง

สรุปผลการทดลอง

กิจกรรมที่ 1 พัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องลอกเปลือกเขียวมะคาเดเมีย

เครื่องกะเทาะเปลือกที่ได้รับการออกแบบและพัฒนานี้ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้นแบบเครื่องประกอบด้วยชุดเกลียวกะเทาะและชุดแผ่นกอดอัดเมล็ด โดยตัวเกลียวกะเทาะมีระยะพิทช์ 68 มิลลิเมตร ยาว $1,150$ มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร ทำงานที่ความเร็วรอบ 330 รอบต่อนาที โดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ส่วนชุดแผ่นกอดอัดเมล็ดมีจำนวน 4 ชุด วางอยู่ด้านบนของชุดเกลียวกะเทาะ ทำจากเหล็กกล้าขนาดกว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ $36 \times 195 \times 6$ มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่ามีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 34.77 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เมล็ดเต็ม 99.50 เปอร์เซ็นต์ กะเทาะไม่หมด 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่การทำงาน $5,181$ กิโลกรัมต่อปี ขณะนี้กำลังทดสอบการใช้งานระยะยาวที่วิสาหกิจชุมชนบ้านดอยช้าง อำเภอดอยช้าง จังหวัดเชียงราย สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีได้

กิจกรรมที่ 2 พัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งมะคาเดเมีย

เครื่องลดความชื้นมะคาเดเมียที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดเวลาการอบแห้งได้ และลดจำนวนแรงงานเหลือเพียงคนเดียว เป็นเครื่องอบลำไยแบบกระบะที่สามารถสลับทิศทางการลมร้อนได้นำมาปรับใช้อบมะคาเดเมีย ตัวเครื่องประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ชุดสลับทิศทางการลมร้อน ชุดกระจายลม และชุดภาครอบกระบะ โดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ขับพัดลมเป่าลมร้อน ผลการทดสอบพบว่า ที่ความสามารถในการอบแห้งเมล็ดมะคาเดเมีย $1,000$ กิโลกรัม สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมใช้อุณหภูมิลมร้อน $50-55$ องศาเซลเซียส โดยการสลับทิศทางการลมร้อนทุก 6 ชั่วโมงครั้ง ใช้เวลานาน 48 ชั่วโมง ความสิ้นเปลืองแก๊สสูงต้มและความสิ้นเปลือง

ใช้กำลังหมุน 1.21 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเพลา 0.75 หน่วยต่อชั่วโมง ตามลำดับ ประเมินค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น เป็นเงิน 1,623.73 บาท หรือ 1.62 บาทต่อกิโลกรัมส่ว ได้แก่ ค่าแก๊สสูงต้มรวม 1315.78 บาท ค่าจ้างเหมาแรงงาน 1 คน รวม 210 บาท และค่าไฟฟ้ารวม 108 บาท สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีได้

กิจกรรมที่ 3 พัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะและคัดขนาดเมล็ดมะคาเดเมีย

3.1 เครื่องกะเทาะมะคาเดเมียขนาดใหญ่

ต้นแบบเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม ประกอบด้วยชุดคัดขนาดและกะเทาะเมล็ดอยู่ในเครื่องเดียวกัน ชุดคัดขนาดประกอบด้วยเพลากลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.35 เซนติเมตร 2 เพลา เพลาเรียบ 1 เพลา เพลากลีเยว 1 เพลา ความยาว 80 เซนติเมตร วางมุมเอียง 3.58 องศา ระยะห่างเพลา 18-32 เซนติเมตร ทำงานที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า ชุดกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมีย ประกอบด้วยใบมีดเคลื่อนที่และใบมีดอยู่กับที่ ใบมีดเคลื่อนที่ จำนวน 42 ชิ้น ติดตั้งบนผิวท่อเหล็กกลมยาว 80 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร หนา 10 มิลลิเมตร ทำงานที่ความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที โดยใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า ผลการทดสอบพบว่า ได้เมล็ดเต็มเฉลี่ย 61.68 ± 5.72 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดแตกเฉลี่ย 11.97 ± 2.19 เปอร์เซ็นต์ กะเทาะบางส่วนเฉลี่ย 11.64 ± 4.39 เปอร์เซ็นต์ ไม่ถูกกะเทาะเฉลี่ย 4.99 ± 2.21 เปอร์เซ็นต์ และมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 191.87 ± 18.07 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่การทำงาน 2,334 กิโลกรัมต่อปี สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีได้

3.2 เครื่องกะเทาะมะคาเดเมียแบบ 2 ขั้นตอน

ต้นแบบเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการคัดขนาด และขั้นตอนการกะเทาะ โดยขั้นตอนการคัดขนาดประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ชุดเกลียวกลิ้งเรียงมีระยะพิทช์ 73 มิลลิเมตร ตัวเกลียวกะเทาะยาว 600 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 มิลลิเมตร ทำงานที่ความเร็วรอบ 130 รอบต่อนาที ชุดแผ่นคัดขนาด วางอยู่ด้านบนของชุดเกลียวกลิ้งเรียง ทำจากเหล็กฉากขนาดกว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ $50 \times 50 \times 4$ มิลลิเมตร ยาว 685 มิลลิเมตร ทำหน้าที่คัดขนาดเมล็ดมะคาเดเมียโดยระยะห่างเป็นตัวกำหนดขนาด และชุดถ่ายทอดกำลัง ส่วนขั้นตอนการกะเทาะเมล็ดประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ชุดเพลากะเทาะมีใบมีดกะเทาะ 3 ชุด แต่ละชุดมี 4 ใบมีด ใบมีดขนาดกว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ $9.6 \times 9.6 \times 100$ มิลลิเมตร วางอยู่บนเพลาขนาด 50.8 มิลลิเมตร ระยะห่าง 140 มิลลิเมตร ชุดรองกะเทาะมีใบมีดกะเทาะ 3 ชุด แต่ละชุดมีใบมีดเดียว ใบมีดขนาดกว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ $9.6 \times 9.6 \times 100$ มิลลิเมตร ระยะห่าง 140 มิลลิเมตร วางอยู่บนตัวโครงของเครื่อง ผลการทดสอบพบว่าเปอร์เซ็นต์การกะเทาะที่ได้เนื้อในเต็มมากที่สุด คือ 260 รอบต่อนาที มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 29.88 ± 0.67 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เนื้อในเต็ม 53.07 ± 3.55 เปอร์เซ็นต์ เนื้อในแตก 41.45 ± 3.85 เปอร์เซ็นต์ กะเทาะไม่หมด 5.47 ± 2.43 เปอร์เซ็นต์โดยมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่การทำงาน 1,090 กิโลกรัมต่อปี สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีได้

การนำไปใช้ประโยชน์

๑ เครื่องกะเทาะเปลือกเขียวมะคาเดเมีย

1. มีโรงงานผลิตจำหน่ายแล้ว 1 ราย ผลิตจำหน่ายแล้ว 3 เครื่อง กำลังดำเนินการสร้างจำหน่ายอีก ๒ เครื่อง
2. ทดลองใช้งานระยะยาวที่ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านดอยช้าง อำเภอดอยช้าง จังหวัดเชียงราย ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรที่สูงเพชรบูรณ์
3. เผยแพร่ในวารสาร
มติชนบท เทคโนโลยีชาวบ้าน ปีที่ 23 ฉบับที่ 493: 15 ธันวาคม 2553
น.ส.พ. กสิกร ปีที่ 83 ฉบับที่ 2: กันยายน-ธันวาคม 2553
วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 28 ฉบับที่ 3: กันยายน-ธันวาคม 2553
เอกสารวิชาการ การประชุมวิชาการสมาคม วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 8
วันที่ 1-3 กันยายน 2553

๒ เครื่องอบแห้งมะคาเดเมีย

1. ทดลองใช้งานระยะยาวที่ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านดอยช้าง อำเภอดอยช้าง จังหวัดเชียงราย ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรที่สูงเพชรบูรณ์ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์
2. เผยแพร่ในวารสาร
เอกสารวิชาการ การสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 8
วันที่ 1-3 กันยายน 2553

๓ เครื่องกะเทาะมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม

1. ทดลองการใช้งานระยะยาวที่ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่
2. เผยแพร่ในวารสาร
เอกสารวิชาการ การสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 8
วันที่ 1-3 กันยายน 2553

๔ เครื่องกะเทาะมะคาเดเมียแบบ 2 ขั้นตอน

1. ทดลองการใช้งานระยะยาวที่ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่
2. เผยแพร่ในวารสาร
เอกสารวิชาการ การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12
วันที่ 31 มีนาคม - 1 เมษายน 2554

เอกสารอ้างอิง

- จำรอง ดาวเรือง .2544. มะคาเดเมีย.หน้า 133-141.ใน:ผลงานวิชาการประจำปี 2544 เล่ม 2 สถาบันวิจัยพืชสวน
กรมวิชาการเกษตร
- จำรอง ดาวเรือง, 2541 เอกสารวิชาการเรื่อง มะคาเดเมีย. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 เชียงใหม่
กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- จำรอง ดาวเรือง, 2541. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2541-2542. เรื่องการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการลด
ความชื้นเมล็ดมะคาเดเมีย. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 เชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- ฉัตรนาม. 2009. มะคาเดเมีย. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. available
: [http://210.246.186.28/hort/operation/hortResponse/industry%20section/
IndustrialCrop/MacadamiaNut/macadamiahrp01.htm\(25/03/2010\)](http://210.246.186.28/hort/operation/hortResponse/industry%20section/IndustrialCrop/MacadamiaNut/macadamiahrp01.htm(25/03/2010)
- สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. โครงการวิจัยมะคาเดเมีย [online]
available : [http://210.246.186.28/hort/operation/hortResponse/industry%20section/
IndustrialCrop/MacadamiaNut/macadamiahrp01.htm](http://210.246.186.28/hort/operation/hortResponse/industry%20section/IndustrialCrop/MacadamiaNut/macadamiahrp01.htm)
- Foung Lu, C.-H. Wang, R.G. Bathgate. 1999. Crack Closure in Spherical Shells. [online] available:
www.springerlink.com/index/M015G66WP2442G4G.pdf -