

## การพัฒนาและทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด Development and test Macadamia Nut Cracker

เกรียงศักดิ์ นักผูก<sup>1</sup> และ ชวนชื่น เตียววิลัย<sup>2</sup>  
Kiangsak nukpook<sup>1</sup> and Chuancheun diawwilia<sup>2</sup>

### Abstract

Physical fracture and physical characteristic of macadamia nut cracking under compressive force exerted between two solid plates were studied in this experiment. Results of this study were used in the design and construction of manually operated macadamia nut cracker. Examination of the macadamia nut found average moisture content of 3-5%wb, spherical ratio of 0.96, average thickness of nutshell 2-5 mm, proportion of meat per nut 32% Result of the compressive force applied of macadamia nut showed that the cracking started from the points where compressive force applied and the shell was broken along circumference of the nut. This cracking behavior was due to maximum tension stress exerted at the plane perpendicular to the applied force (2,230N). In this study the nutcracker used two slotted steel plates mounted or frame having linkage mechanism for applying compressive force on macadamia nut. 101.67 N force was applied on handle bar of the cracker for cracking the nut. Out put of the cracker was 3.1 kg per hour per man having 69 % perfect kernels, 31% fractured kernels.

**Keywords:** Macadamia, Machinery to fracture macadamia nutshells, Macadamia nutshells of cracking

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของการแตกที่เกิดจากการกดเมล็ดมะคาเดเมียระหว่างแผ่นเหล็ก ที่ความชื้น 3-5 % เพื่อออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคน พบว่ามะคาเดเมียมีความกลมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.96 มีความหนาของกะลาเฉลี่ย 2-5 มม. มีสัดส่วนเนื้อในต่อเมล็ดเฉลี่ย 32 % สัดส่วนกะลาต่อเมล็ดเฉลี่ย 68 % รอยแตกที่เกิดจากการกดเป็นแนวยาวเชื่อมระหว่างจุดสัมผัสกับแผ่นเหล็กด้านล่างกับด้านบน พฤติกรรมการแตก เกิดเนื่องจากความเค้นดึงสูงสุดในแนวเส้นรอบวงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแรงกด จึงออกแบบสร้างเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด โดยใช้แรงกดสูงสุดเฉลี่ยที่ทำให้เมล็ดมะคาเดเมียแตก 2,230 N ในการออกแบบทางทฤษฎี มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.8 วัสดุที่ใช้ทำเป็นเหล็กเหนียว แรงกดที่ต่ำสุดเท่ากับ 101.67 N ผลการกะเทาะกะลามะคาเดเมีย หนึ่งคนสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยเฉลี่ย 3.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง ได้เมล็ดสมบูรณ์เฉลี่ย 69 % เมล็ดแตกเฉลี่ย 31 %

**คำสำคัญ:** มะคาเดเมีย เครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมีย การแตกของกะลามะคาเดเมีย

### คำนำ

มะคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia maiden & Betche*) เป็นไม้พื้นเมืองของออสเตรเลีย ได้นำไปปลูกพัฒนาเป็นพืชอุตสาหกรรมในรัฐฮาวายประเทศสหรัฐอเมริกา มะคาเดเมียเป็นพืชที่มีอนาคตทางเศรษฐกิจเพราะผลผลิตราคาสูง อายุการให้ผลผลิตนานกว่า 50 ปี และเป็นไม้ไม่ผลัดใบ (evergreen tree) ทำให้เป็นป่าสีเขียวตลอดปี แหล่งปลูกมะคาเดเมียที่เป็นอุตสาหกรรมใหญ่ที่สุดคือประเทศออสเตรเลีย และรัฐฮาวายประเทศสหรัฐอเมริกา รองลงมาได้แก่ เคนยา แอฟริกาใต้ มาลาวี กัวเตมาลา คอสตาริกา บราซิล และซิมบับเว ตามลำดับ Rong et al. (1999) ได้ศึกษาพฤติกรรมการแตกของกะลามะคาเดเมีย โดยการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นที่ขยายรอยแตกที่ปลายรอยแตกให้ยาวขึ้น โดยรอยแตกเริ่มแรกจะเกิดจาก Thermal stress เมื่อลดความชื้นเมล็ดให้อยู่ในช่วงไม่เกิน 5 % เมล็ดของมะคาเดเมียประมาณ 80 % มีรอยแตกเล็กๆเกิดขึ้นที่กะลามะคาเดเมีย การศึกษานี้ใช้ทฤษฎี shell theory ซึ่งมีสมมติฐานให้มะคาเดเมียเป็นทรงกลมกลวงบางความหนาสม่ำเสมออยู่ภายใต้แรงกดระหว่างแผ่นเหล็กให้รอยแตกอยู่ในแนวตั้งและแนวขวาง มีค่า shallowness parameter up to 0.25 เป็น biological material มีลักษณะเป็น Isotropic โครงสร้างเป็นเส้นใยเนื้อไม้ มีความหนาแน่นต่ำ ความแข็งแรงสูง มีค่า Tensile

<sup>1</sup> ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

<sup>1</sup> Department of Agricultural, Agricultural Engineering Research Institute, Chiang Mai of Agricultural Engineering Research Center

<sup>2</sup> สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 กรมวิชาการเกษตร

<sup>2</sup> Department of Agricultural, Office of Agricultural and Development Region 1 Chiang Mai

Strength ของกะลา 57 MPa ค่ายังโมดูลัส 5.2 GPa และค่าอัตราส่วนพัชของ 0.3 การศึกษานี้ทำการยืนยันผลเฉลยด้วยวิธีทาง finite element analysis ซึ่งให้คำตอบที่สอดคล้องกับวิธีของ shell theory อย่างแม่นยำในช่วงรอยแตกเล็ก ๆ และขยายออกไปไม่เกิน 12 มิลลิเมตร แต่หารอยแตกยาวมากขึ้นเกินกว่า 12 ม.ม. ผลจากทั้งสองวิธีจะไม่สอดคล้องกัน สำหรับประเทศไทยมะคาเดเมียเป็นพืชที่ยังใหม่และไม่แพร่หลายนัก ในปี พ.ศ.2544 มีพื้นที่ปลูกทั้งหมดมากกว่า 9,000 ไร่ หรือประมาณ 244,000 ตัน ให้ผลผลิตแล้วประมาณ 3,000 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยต่อต้นประมาณ 13-25 กิโลกรัม (จำรอง และคณะ ,2544) ในปัจจุบันผลผลิตเมล็ดทั้งกะลาที่ความชื้นประมาณ 10-20 % กิโลกรัมละประมาณ 50-60 บาท ส่วนเนื้อในเกรด 1 ราคา กิโลกรัมละ 300-500 บาท ขึ้นอยู่กับคุณภาพ สุเนตร (2536) ได้ทดสอบและประเมินผลเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียแบบใช้แรงคน 5 แบบ โดยเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานและคุณภาพเนื้อในหลังการกะเทาะ และการประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยใช้เมล็ดมะคาเดเมียคละไม่แยกเกรด พบว่า เครื่องกะเทาะที่มีแนวโน้มเหมาะสมมาก คือ แบบเกลียววัด แบบคีมลัด อัตรากะเทาะ 130.2,151.1 เมล็ด/ชั่วโมง ปริมาณเนื้อในเต็มเมล็ด 41.0,44.0 % ปริมาณเนื้อในแตกครึ่ง 51.5,46.2% ปริมาณเนื้อในแตกหลายชิ้น 7.5, 9.8 %. ราคาเมล็ดทั้งกะลาที่จำหน่ายในประเทศไทยประมาณ 50 บาทต่อกิโลกรัม และราคาเนื้อในเต็มเมล็ด 400 บาทต่อกิโลกรัม ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการเตรียมเมล็ดและค่าใช้จ่ายปลีกย่อยอื่น ๆ เครื่องกะเทาะแบบเกลียววัดและแบบคีมลัด มีจุดคุ้มทุนในการกะเทาะต่ำกว่า 7.7 กิโลกรัมต่อปี มีระยะคืนทุนภายใน 3.5 เดือน เกียรติศักดิ์และวิวัฒน์ (2549) ได้วิเคราะห์ลักษณะการแตกของกะลามะคาเดเมียภายใต้แรงกด โดยพิจารณาพฤติกรรมของแรงกดสูงสุดที่ทำให้กะลามะคาเดเมียแตก เนื่องจากแรงกดอัดด้วยทฤษฎีของ Membrane Stress in Shell พบว่าค่าแรงกดที่คำนวณจากทฤษฎี มีค่าสูงกว่าแรงกดจริงที่ทดสอบโดยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine เมื่อคูณค่าแก้ไข 0.17 กับสมการที่ได้จากทฤษฎีทำให้ค่าที่คำนวณผิดจากค่าจริง โดยเฉลี่ยประมาณ 6 % จากผลการทดลองได้สร้างสมการเอมไพริคัล ทำนายค่าแรงกดให้มีความสัมพันธ์กับค่าความหนาเฉลี่ยและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย พบว่าสมการสามารถทำนายค่าแรงกดสูงสุดคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยประมาณ 4 % ในการศึกษานี้ได้ควบคุมให้มะคาเดเมียที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นมาตรฐาน เปียกอยู่ในช่วง 2-5 % ปัญหาสำคัญของกระบวนการผลิตมะคาเดเมีย คือ การกะเทาะกะลามะคาเดเมีย เพื่อเอาเนื้อในออกมาทำการแปรรูป ในปัจจุบันการกะเทาะกะลามะคาเดเมีย มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักสูง ทำให้ราคาขายต่ำ จึงต้องทำการศึกษา คุณสมบัติทางกายภาพของผลมะคาเดเมียที่ปลูกในประเทศไทย ออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด เพื่อรองรับความต้องการของผู้ประกอบการรายย่อยที่มีความต้องการเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพการกะเทาะกะลามะคาเดเมีย เพื่อการค้าในปัจจุบันและอนาคต

### อุปกรณ์และวิธีการ

สำรวจเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลทั้งทางด้านสถิติ และด้านวิศวกรรม รวมทั้งงานออกแบบสร้างชิ้นส่วน เพื่อพัฒนาเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานได้อย่างเหมาะสม มีขั้นตอน คือ

1) ศึกษาเทคโนโลยีวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ที่ทำกันอยู่ในปัจจุบัน โดยการสำรวจสอบถามจากกลุ่มเกษตรกร และตรวจเอกสาร

2) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลมะคาเดเมียที่ปลูกในประเทศไทย โดยพิจารณาด้วยตาเปล่าและวัดขนาดมิติต่างๆ คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสามแนวตั้งฉากกัน หาความหนาเฉลี่ยของกะลา ทดสอบค่าแรงกด ค่าสัดส่วนของเนื้อในและกะลาต่อเมล็ดเฉลี่ยโดยมวล ที่ระดับความชื้น 3-5 %

3) ทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมีย ที่มีอยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลักการทำงานของเครื่องแบบต่างๆ

4) ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด

4.1) พิจารณาให้มะคาเดเมียเป็นทรงกลมกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 25 ม.ม. อยู่ภายใต้แรงกดระหว่างแผ่นแบนสองแผ่น แรงกดสูงสุดเฉลี่ย 2,230 N

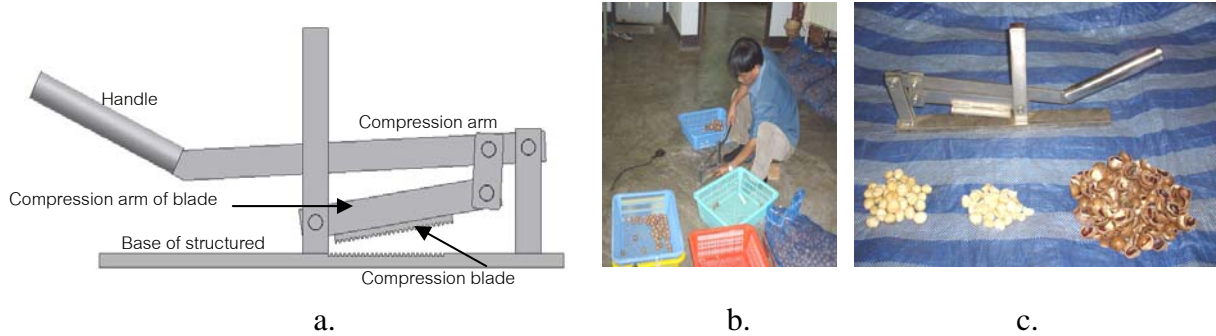
4.2) ในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆได้คำนึงถึงสภาพภาวะของชิ้นส่วน ในการเลือกใช้ทฤษฎี และใช้สมบัติของวัสดุหลักเหนียว ในการออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด

5) ทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะมะคาเดเมีย โดยใช้คนกะเทาะเป็นผู้ชาย 3 คน คนละ 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 50 เมล็ด ให้ทำการกะเทาะติดต่อกันจนเสร็จทุกตัวอย่าง จับเวลาในการกะเทาะและแยกเมล็ดที่สมบูรณ์กับเมล็ดแตกออกจากกัน

## ผล

เมื่อมะคาเดเมียแก่ร่วงลงพื้น เกษตรกรต้องเก็บมารวมกัน เพื่อทำการกะเทาะเปลือกเขียวออก (Dehusking) โดยใส่ผลสดของมะคาเดเมียลงในถุงไนลอนแล้วตีด้วยท่อนไม้ให้เปลือกเขียวแตกและหลุดจากกะลา จากนั้นเทออกจากถุง ทำการแยกเปลือกเขียวออกจากเมล็ด มะคาเดเมียที่กะเทาะเปลือกเขียวออกแล้วมีความชื้นประมาณ 20-23.2 % ต้องนำไปตากหรือผึ่งในที่ที่มีลมพัดผ่านสะดวกประมาณ 3-7 วัน ความชื้นจะลดลงเหลือประมาณ 10-15 % ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและฤดูกาล จากนั้นเกษตรกรนำไปขายให้ผู้ประกอบการแปรรูปมะคาเดเมีย ปัจจุบันการรับซื้อผลผลิตเมล็ดทั้งกะลา กิโลกรัมละประมาณ 50-60 บาท ผู้ประกอบการแปรรูปมะคาเดเมียต้องนำเมล็ดไปลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบกระบะโดยลดความชื้นที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง เพิ่มอุณหภูมิเป็น 40 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 45 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง รวมเวลาเป็น 72 ชั่วโมง เมล็ดมะคาเดเมียมีความชื้นประมาณ 3-5 % ทำให้เนื้อในของมะคาเดเมียแห้งและหลุดตัวหลุดจากกะลา ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดมะคาเดเมีย มีความกลมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.96 ความหนาของกะลาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2-5 มม. ความหนาไม่สม่ำเสมอ จุดชี้ผลเป็นจุดที่หนาที่สุด รองลงมาเป็นท้ายผลและจุดที่บางที่สุดคือตรงกลางด้านข้างของผล มีสัดส่วนเนื้อในต่อเมล็ดเฉลี่ย 32 % สัดส่วนกะลาต่อเมล็ดเฉลี่ย 68 % การทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ทุกลูกที่เกิดในแนวซั้วและการกดแนวตั้งฉากกับแนวซั้วผล รอยแตกเป็นแนวยาวเชื่อมระหว่างจุดสัมผัสเมล็ดกับแผ่นเหล็กด้านล่างและบน ซึ่งเป็นพฤติกรรมการแตกที่เกิดเนื่องจากความเค้นดึงสูงสุดในแนวเส้นรอบวงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแรงกด

เครื่องกะเทาะที่มีใช้ในปัจจุบันนั้น มีเครื่องกะเทาะแบบกึ่งอัตโนมัติ นำเข้าจากต่างประเทศมีลักษณะทรงกรวยสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยไม่ต้องคัดขนาดก่อน ผลการทดสอบ ความสามารถในการกะเทาะกะลามะคาเดเมีย 199 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หากคิดรวมเวลาในการคัดแยกด้วย ความสามารถในการกะเทาะกะลามะคาเดเมียลดลงมาเท่ากับ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลที่ได้จากการกะเทาะกะลา คือ ได้เมล็ดเต็มสมบูรณ์เฉลี่ย 55 % เมล็ดที่ถูกกะเทาะไม่สมบูรณ์ (เนื้อในไม่หลุดจากกะลา) 21 % ไม่กะเทาะ 17 % เมล็ดแตกเป็นชิ้น 7 % สำหรับเครื่องกะเทาะแบบคีมลือคินิยมใช้กะเทาะเมล็ดที่กะเทาะแตกไม่สมบูรณ์ จากการกะเทาะด้วยเครื่องกึ่งอัตโนมัติมาก่อน ลักษณะคือกะลาแตกแล้วแต่เนื้อในยังไม่หลุดออกจากกะลา ต้องนำมาปิบให้กะลาแตกมากขึ้นโดยเครื่องกะเทาะแบบคีมลือคินิยมใช้กะเทาะเมล็ดที่กะเทาะแตกแล้ว เมื่อวิเคราะห์การทำงานของเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบต่างๆ พบว่า หลักการที่ใช้ในการกะเทาะเป็นการปิบให้เมล็ดมะคาเดเมียผ่านช่องแคบระหว่างใบมีดสองใบ คือ ใบปิบกดกับใบมีดรับ หรือกดให้บุบตัวลงระหว่างใบมีดกดกับผิวหยาบ พฤติกรรมการแตกเกิดขึ้น จากการพองของเมล็ดมะคาเดเมีย ทำให้เกิดพฤติกรรมกรีกขาด เนื่องจากความเค้นดึงสูงสุดในแนวเส้นรอบวง ดังนั้น จึงได้นำหลักการดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะแบบใช้แรงคนกด โดยแนวคิดในการออกแบบให้ผลมะคาเดเมียถูกกดอยู่ระหว่างแผ่นเหล็กแบนสองแผ่น เพื่อป้องกันการลื่นไถล จึงได้ออกแบบให้ผิวของแผ่นแบนด้านที่ต้องกดสัมผัสกับกะลามะคาเดเมีย เป็นผิวหยาบสามแบบคือ เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. เจาะเป็นเทเปอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. ทั้งสองแบบลึก 2 มม. แต่ละวัดจากจุดกึ่งกลางมีระยะห่างจากกัน 10 มม. และทำเป็นร่องพื้นเพื่อสะพาน ขนาดพื้นเพื่อและร่องโต 2 มม. (7 พื้นนิ้ว) ยาว 110 มม.ตามแนวขวางด้านยาวของแผ่นกดบนและล่างพบว่าแบบที่ทำงานได้ดีคือแบบร่องพื้นเพื่อสะพาน จึงออกแบบให้เป็นผิวของแผ่นกดและแผ่นรองรับ ได้ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องกะเทาะต้นแบบ ประกอบด้วย โครงสร้างฐาน ชุดแขนกด และแขนยึดแผ่นกด (Figure 1 a) โดยออกแบบทางทฤษฎีให้มีค่าความปลอดภัยไว้ที่ระดับ 2.8 ขนาดเมล็ดมะคาเดเมียเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 25 มม. สภาวะแรงกดสูงสุดเฉลี่ยที่เมล็ดมะคาเดเมียแตก 2,230 N วัสดุที่ใช้ในการออกแบบเป็นเหล็กเหนียว คำนวณแรงกดที่ด้ามกดได้เท่ากับ 101.67 N (10.36 กิโลกรัม) ผลการทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกดต้นแบบ (Figure 1 b) โดยก่อนทำการกะเทาะต้องอบลดความชื้นเมล็ดให้อยู่ในช่วง 3-5 % และทำให้คลอนก่อน ทำการกะเทาะโดยเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด หนึ่งคนสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยเฉลี่ย 3.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง ได้เมล็ดเต็มสมบูรณ์เฉลี่ย 69 % เมล็ดแตกเฉลี่ย 31 % (Figure 1 c) ราคาเครื่องกะเทาะที่โครงสร้างเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม 2,000 บาทต่อเครื่อง และโครงสร้างเหล็กเหนียว ราคา 1,300 บาทต่อเครื่อง เมื่อพิจารณาให้เครื่องโครงสร้างเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ในการรับจ้างกะเทาะกะลามะคาเดเมียราคา 10 บาทต่อกิโลกรัม หนึ่งวันคิดเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง คิดความสามารถในการกะเทาะกะลามะคาเดเมียเฉลี่ยวันละ 25 กิโลกรัมต่อคน ดังนั้น การตัดสินใจใช้เครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคน ทำให้คุ้มทุนภายในเวลาการทำงาน 8 วัน



**Figure 1** a. Macadamia Nut Cracker b. Macadamia nutshell cracked test c. Results of cracked macadamia nutshell

### วิจารณ์ผล

เครื่องกะเทาะแบบกึ่งอัตโนมัติ สามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยไม่ต้องคัดขนาดก่อน ได้ 199 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดรวมเวลาในการคัดแยกได้ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เมล็ดเต็มสมบูรณ์เฉลี่ย 55 เปอร์เซ็นต์ ไม่สมบูรณ์ 21 เปอร์เซ็นต์ ไม่กะเทาะ 17 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดแตกเป็นชิ้น 7 เปอร์เซ็นต์ เครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด หนึ่งคนสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยเฉลี่ย 3.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง ได้เมล็ดเต็มสมบูรณ์เฉลี่ย 69 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดแตกเฉลี่ย 31 เปอร์เซ็นต์ จากผลการกะเทาะแสดงให้เห็นว่า แม้การกะเทาะด้วยเครื่องกึ่งอัตโนมัติสามารถกะเทาะได้เนื้อที่ดีและแตกรวมกันแล้วได้ผลการกะเทาะจริง 62 เปอร์เซ็นต์ อีก 21 เปอร์เซ็นต์ ต้องนำไปทำการกะเทาะต่อด้วยเครื่องกะเทาะแบบคีมลือค และอีก 17 เปอร์เซ็นต์ ต้องนำกลับไปทำการกะเทาะใหม่ ต่างจากการกะเทาะด้วยเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด ที่ให้ผลการกะเทาะสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ หากไม่ติดขัดในเรื่องการขาดแรงงานการใช้เครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด นับว่ามีความเหมาะสมในการใช้งานในการแปรรูปมะคาเดเมียทั้งในระดับเกษตรกรรายย่อยและอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

### สรุป

เมล็ดมะคาเดเมียมีความกลมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.96 ความหนาของกะลาเฉลี่ย 2-5 มม. มีสัดส่วนเนื้อในต่อเมล็ดเฉลี่ย 32 % สัดส่วนกะลาต่อเมล็ดเฉลี่ย 68 % การกะเทาะมะคาเดเมียต้องลดความชื้นเมล็ดมะคาเดเมียให้มีความชื้น 3-5 % และก่อนทำการกะเทาะต้องกะเทาะถุงเมล็ดกับพื้นแข็งเพื่อให้เนื้อในหลุดจากกะลา เครื่องกะเทาะที่มีใช้ในปัจจุบัน มีเครื่องกะเทาะแบบกึ่งอัตโนมัติ นำเข้าจากต่างประเทศมีลักษณะทรงกรวย สามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยไม่ต้องคัดขนาด ความสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลที่ได้จากการกะเทาะกะลา คือ ได้เมล็ดเต็ม 55 % ไม่สมบูรณ์ 21 % ไม่กะเทาะ 17 % เมล็ดแตกเป็นชิ้นเล็ก 7 % และใช้เครื่องกะเทาะแบบคีมลือคกะเทาะเมล็ดที่แตกไม่สมบูรณ์ เพื่อขยายรอยแตกให้กว้างจนทำให้เนื้อในหลุดออกมาจากกะลาได้ จากการทดลองและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบต่างๆ พบว่า หลักการที่ใช้ในการกะเทาะคือการบีบเมล็ดมะคาเดเมียผ่านช่องแคบระหว่างใบมีดสองใบ คือ ใบบีบกดกับใบมีดรับ หรือกดให้ยุบตัวลงระหว่างใบกดกับผิวหยาบ การแตกเกิดขึ้นจากความเค้นดึงสูงสุดในแนวเส้นรอบวง จึงได้นำหลักการดังกล่าวมาออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะแบบใช้แรงคนกด โดยออกแบบทางทฤษฎีให้มีค่าความปลอดภัย 2.8 ในสภาวะแรงกดสูงสุดเฉลี่ย 2,230 N เมล็ดมะคาเดเมียเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 มม. วัสดุที่ใช้ทำเป็นเหล็กเหนียว คำนวณแรงกดที่ด้ามกดได้เท่ากับ 101.67 N จากการทดลองกะเทาะกะลามะคาเดเมียโดยเครื่องกะเทาะแบบใช้แรงคนกด หนึ่งคนสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยเฉลี่ย 3.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง ได้เมล็ดสมบูรณ์เฉลี่ย 69 % เมล็ดแตกเฉลี่ย 31 % เครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกดนี้ทำงานให้คุ้มทุนภายในเวลา 8 วัน

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คุณ บุญช่วย น้อยยะ คุณ วรวิทย์ ยะกลิ่ง และทีมช่างทุกคนของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ที่มีส่วนช่วยในการดำเนินงานสร้างต้นแบบและทดลองจนงานนี้แล้วเสร็จ

### เอกสารอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ นักผูก และวิวัฒน์ คลองพานิช. 2549. การวิเคราะห์ลักษณะการแตกของกะลามะคาเดเมียภายใต้แรงกด. รายงานการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 7 ภาคบรรยาย ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่. 472 น.
- จำรอง ดาวเรือง และคณะ. 2544. มะคาเดเมีย. ผลงานวิชาการประจำปี 2544 เล่ม 2. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 133-141 น.
- สุนทร โหม่งปรานีต. 2536. การประเมินผลเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียแบบใช้แรงคน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 124 น.
- Rong L., C.H. Wang, and R.G. Bathgate. 1999. Fracture Analysis of Cracked Macadamia Nutshells Under Contact Load Between Two Rigid Plates J. Agric. Engng Res. 74 : 243-450.