การพัฒนาและทดสอบเครื่องมือกะเทาะกะลามะคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) แบบใช้แรงคนกด

Development and Testing of Macadamia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) Nutshell Cracker

เกรียงศักดิ์ นักผูก[1/] ชวนชื่น เดี่ยววิไล[2/]
Kiangsak Nukpook[1/] Chuancheun Diawwilia[2/]

ABSTRACT

Macadamia was not only a new plant in Thailand but also lack of physical properties data. Major problem of the production process is high percentage of broken kernels from macadamia crackers breakage. This study in this experiment was analyzed the physical fracture and physical characteristic of macadamia nut cracking under compressive force which was exerted between two solid plates. Results of this study were manipulated in the design and construction of manually operated macadamia nut, cracker. Examination of the macadamia nut was found average moisture content of 3-5%wb, spherical ratio of 0.96, average thickness of nutshell 3.5±1.5 mm, proportion of kernels per nut 32%. According to the compressive force applied to 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 behaviour was due to maximum tension stress exerted at the plane perpendicular to the applied force (2,230 N). In this study the nut cracker used two slotted steel plates mounted or frame having linkage mechanism for applying compressive force on macadamia nut. The force of 101.67N 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.

Key words: macadamia, macadamia nutshell cracker

[1/] ศูนย์วิจัยการเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50520

[1/] Chiang Mai of Agriculture Engineening Research Centre, Agricultural Engineening Research Institute, Department of Agricultural, Mueang district, Chiang Mai province 50520

[2/] สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 กรมวิชาการเกษตร อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50520

[2/] Office of Agricultural and Development Region 1, Department of Agriculture, Mueang district, Ching Mai province 50520

บทคัดย่อ

มะคาเดเมียเป็นพืชที่ยังใหม่สำหรับประเทศไทย ยังขาดข้อมูลในเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ปัญหาสำคัญของกระบวนการผลิตมะคาเดเมียคือ การกะเทาะกะลามะคาเดเมียเพื่อเอาเนื้อในออกมาทำการแปรรูป มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักสูง งานวิจัยนี้จึงดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และพฤติกรรมการแตกที่เกิดจากการกดเมล็ดมะคาเดเมีย ระหว่างแผ่นเหล็กที่ความชื้น 3–5% เพื่อออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคน พบว่ามะคาเดเมียมีความกลมโดยเฉลี่ย 0.96 มีความหนาของกะลาเฉลี่ย 3.51.5 มม. มีสัดส่วนเนื้อในต่อเมล็ดเฉลี่ย 32% สัดส่วนกะลาต่อเมล็ดเฉลี่ย 68% รอยแตกที่เกิดจากการกดเป็นแนวยาวเชื่อมระหว่างจุดสัมผัสกับแผ่นเหล็กด้านล่างกับด้านบน พฤติกรรมการแตกเกิดเนื่องจากความเค้นดึงสูงสุดในแนวเส้นรอบวงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแรงกด จึงออกแบบสร้างเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด โดยใช้แรงกดสูงสุดเฉลี่ยที่ทำให้เมล็ดมะคาเดเมียแตก 2,230 นิวตัน ในการออกแบบทางทฤษฎีมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.8 วัสดุที่ใช้ทำเป็นเหล็กเหนียว โดยมีแรงกดที่ด้ามกด 101.67 นิวตัน ผลการกะเทาะกะลามะคาเดเมีย หนึ่งคนสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยเฉลี่ย 3.1 กก. ได้เมล็ดสมบูรณ์ เมล็ดแตกเฉลี่ย 69 และ 31%

คำหลัก: มะคาเดเมีย เครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมีย การแตกของกะลามะคาเดเมีย

คำนำ

มะคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) เป็นไม้พื้นเมืองของออสเตรเลีย ได้นำมาปลูก และพัฒนาเป็นพืชอุตสาหกรรมในรัฐฮาวายประเทศสหรัฐอเมริกา มะคาเดเมียเป็นพืชที่มีอนาคตทางเศรษฐกิจเพราะผลผลิตราคาสูง อายุการให้ผลผลิตนานกว่า 50 ปี และเป็นไม้ไม่ผลัดใบ (evergreen tree) ทำให้เป็นป่าสีเขียวตลอดปี แหล่งปลูกมะคาเดเมีย ที่เป็นอุตสาหกรรมใหญ่ที่สุดคือประเทศออสเตรเลียและรัฐฮาวายประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับประเทศไทยมะคาเดเมียเป็นพืชชนิดใหม่และยังไม่แพร่หลายนัก ในปี พ.ศ.2544 มีพื้นที่ปลูกมากกว่า 9,000 ไร่ หรือประมาณ 244,000 ต้น ให้ผลผลิตประมาณ 3,000 ไร่ โดยเฉลี่ยต่อต้น 13-25 กก. ในปัจจุบันผลผลิตเมล็ดทั้งกะลาที่ความชื้น 10-20 % ราคาประมาณ 50-60 บาท/กก. ส่วนเนื้อในเกรด 1 ราคา 300-500 บาท/กก. ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพ (จำรอง, 2544)

ปัญหาสำคัญของกระบวนการผลิตมะคาเดเมียคือ การกะเทาะกะลามะคาเดเมียเนื่องจากกะลามะคาเดเมียมีความแข็งมาก จึงต้องมีการอบแห้งก่อนการกะเทาะทำให้เกิดรอยแตกที่กะลาทำให้เนื้อในสัมผัสกับอากาศ หากทิ้งไว้นานเนื้อในจะมีกลิ่นหืน ในปัจจุบันการกะเทาะกะลามะคาเดเมีย เพื่อเอาเนื้อในออกมาทำการแปรรูป มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักสูงทำให้ราคาขายต่ำ เนื่องจากเป็นพืชที่ยังใหม่จึงขาดความรู้ความเข้าใจ ในเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล

ของผลมะคาเดเมีย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ต้องใช้ออกแบบเครื่องมือกะเทาะกะลามะคาเดเมีย Rong และคณะ (1999) ได้ศึกษาพฤติกรรมการแตกของกะลามะคาเดเมีย โดยการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นที่ขยายรอยแตกที่ปลายรอยแตกให้ยาวขึ้น โดยรอยแตกเริ่มแรกจะเกิดจาก thermal stress เมื่อลดความชื้นเมล็ดให้อยู่ในช่วงไม่เกิน 5 % เมล็ดของมะคาเดเมียประมาณ 80 % มีรอยแตกเล็กๆเกิดขึ้นที่กะลามะคาเดเมีย การศึกษานี้ใช้ทฤษฎี Shell theory ซึ่งมีสมมติฐานให้มะคาเดเมียเป็นทรงกลมกลวงบาง ความหนาสม่ำเสมอ อยู่ภายใต้แรงกดระหว่างแผ่นเหล็กให้รอยแตกอยู่ในแนวตั้งและแนวขวาง มีค่า Shallowness parameter up to 0.25 เป็น biological material มีลักษณะเป็น isotropic โครงสร้างเป็นเส้นใยเนื้อไม้ มีความหนาแน่นต่ำ ความแข็งสูง มีค่า tensile strength ของกะลา 57 เมกะปาสคัล ค่ายังโมดูลัส 5.2 กิกะปาสคัล และค่าอัตราส่วนพัวชอง 0.3 การศึกษานี้ทำการยืนยันผลเฉลยด้วยวิธีทาง Finite element analysis ซึ่งให้คำตอบที่สอดคล้องกับวิธีของ Shell theory อย่างแม่นยำในช่วงรอยแตกเล็กๆและขยายออกไปไม่เกิน 12 มม. แต่หากรอยแตกยาวมากขึ้นเกินกว่า 12 มม. ผลจากทั้งสองวิธีจะไม่สอดคล้องกัน เกรียงศักดิ์และวิวัฒน์ (2549) ได้วิเคราะห์ลักษณะการแตกของกะลามะคาเดเมียภายใต้แรงกด โดยพิจารณาพฤติกรรมของแรงกดสูงสุดที่ทำให้กะลามะคาเดเมียแตก เนื่องจากแรงกดอัดด้วยทฤษฎีของ Membrane stress in shell พบว่าค่าแรงกดที่คำนวณจากทฤษฎี มีค่าสูงกว่าแรงกดจริงที่ทดสอบโดยเครื่องทดสอบ universal testing machine เมื่อคูณค่าแก้ไข 0.17 กับสมการที่ได้จากทฤษฎีทำให้ค่าที่คำนวณผิดจากค่ากดจริง โดยเฉลี่ยประมาณ 6 % จากผลการทดลองได้สร้างสมการเอมไพริคเคิล ทำนายค่าแรงกดให้มีความสัมพันธ์กับค่าความหนาเฉลี่ยและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย พบว่าสมการสามารถทำนายค่าแรงกดสูงสุดคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยประมาณ 4 % ในการศึกษานี้ได้ควบคุมให้มะคาเดเมีย ที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นมาตรฐานเปียกอยู่ในช่วง 2-5% และสุเนตร (2536) ได้ทดสอบและประเมินผลเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียแบบใช้แรงคน 5 แบบ โดยเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานและคุณภาพเนื้อในหลังการกะเทาะ และการประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยใช้เมล็ดมะคาเดเมียคละไม่แยกเกรด พบว่าเครื่องกะเทาะที่มีแนวโน้มเหมาะสมมากคือ แบบเกลียวอัดและแบบคีมล็อค อัตราการกะเทาะ 130.2 และ 151.1 เมล็ด/ชม. ปริมาณเนื้อในเต็มเมล็ด 41.0 และ 44.0 % ปริมาณเนื้อในแตกครึ่ง 51.5 และ 46.2 % ปริมาณเนื้อในแตกหลายชิ้น 7.5 และ 9.8 %. ราคาเมล็ดทั้งกะลาที่จำหน่ายในประเทศไทยประมาณ 50 บ./กก. และราคาเนื้อในเต็มเมล็ด 400 บ./กก. ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการเตรียมเมล็ดและค่าใช้จ่ายปลีกย่อยอื่น ๆ เครื่องกะเทาะแบบเกลียวอัดและแบบคีมล็อค มีจุดคุ้มทุนในการกะเทาะ 7.7 กก./ปี มีระยะคืนทุนภายใน 3.5 เดือน

ในปัจจุบันมีการนำเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียเข้ามาจากต่างประเทศแต่ก็มีราคาสูง (150,000 บ./เครื่อง) และไม่อะไหล่ที่ใช้ในการซ่อมแซม และเครื่องกะเทาะกะลาแบบใช้แรงคนมีความสามารถในการกะเทาะต่อต่ำ และมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเนื้อในสูง ส่งผลให้ราคาขายตกต่ำ ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาออกแบบสร้าง และทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด โดยมีเป้าหมายเป็นเครื่องมือขนาดเล็ก น้ำหนักเบาและสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย โครงสร้างไม่ยุ่งยาก ซ่อมบำรุงได้ง่าย เกษตรกรสามารถจ้างช่างในท้องถิ่นสร้างให้ได้ มีราคาถูก ความสามารถในการกะเทาะสูง และเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเนื้อในต่ำ เพื่อรองรับความต้องการของผู้ประกอบการรายย่อยที่มีความต้องการเพิ่มคุณภาพ และประสิทธิภาพการกะเทาะกะลามะคาเดเมีย เพื่อการค้าในปัจจุบันและอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

สำรวจเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลทั้งทางด้านสถิติ และด้านวิศวกรรม รวมทั้งงานออกแบบสร้างชิ้นส่วน เพื่อพัฒนาเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานได้อย่างเหมาะสม โดยมีขั้นตอนคือ

1. ศึกษาเทคโนโลยีวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ที่ปฏิบัติกันอยู่ในปัจจุบัน

โดยการสำรวจสอบถามจากกลุ่มเกษตรกรที่ จ.เชียงใหม่ เชียงรายและลำปาง พร้อมทั้งการตรวจเอกสาร

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลมะคาเดเมียที่ปลูกในประเทศไทย

โดยพิจารณาด้วยตาเปล่าและวัดขนาดมิติต่างๆ คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยสามแนวตั้งฉากกัน (Dx, Dy และ Dz) ความกลมคือเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด (Figure 1 a) และความหนาเฉลี่ยของกะลาโดยวัดความหนาตรงขั้วผลท้ายผลและกึ่งกลางระหว่างขั้วผลกับท้ายผล ค่าสัดส่วนของเนื้อในและกะลาต่อเมล็ดเฉลี่ยโดยมวลที่ระดับความชื้น 3-5%

3. ประเมินผลเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียที่มีอยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลักการทำงานของเครื่องแบบต่างๆ คือ เครื่องกะเทาะแบบกึ่งอัตโนมัติ เครื่องกะเทาะแบบคีมล็อค

4. ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด

4.1 พิจารณาให้มะคาเดเมียเป็นทรงกลมกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 25 มม. (Figure 1 b) อยู่ภายใต้แรงกดระหว่างแผ่นแบนสองแผ่น แรงกดสูงสุดเฉลี่ย 2,230 นิวตัน (เกรียงศักดิ์และวิวัฒน์, 2549)

4.2 ในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆได้คำนึงถึงสภาพภาระของชิ้นส่วน ในการเลือกใช้ทฤษฎี และใช้สมบัติของวัสดุเหล็กเหนียวในการออกแบบ steel ASTM–A36 , s_{yt} = 250 MPa, E = 200 GPa (Ugural and Fenster, 1995) ชิ้นส่วนที่รับภาระแบบคาน มีโมเมนต์ดัด ทำการวิเคราะห์แรง ดีเฟล็กชันของคานได้จากวิธีการ

อินทิเกรตสองชั้น สมการเชิงอนุพันธ์ของเส้นโค้งยืดหยุ่นของคาน หาค่าความเค้นที่เกิดขึ้น ใช้ทฤษฎีการออกแบบเสาสำหรับชิ้นส่วนที่รับแรงกดในแนวแกน ใช้สมการออกแบบเสาสั้นของจอนห์สัน (เดช, 2538) และทฤษฎีความเค้นเฉือนอ๊อดตาฮีดรัล (จำลอง, 2534) ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกหัก เพื่อประเมินค่าความปลอดภัยของชิ้นส่วนในการออกแบบ

4.3 สร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด

5. ทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกดต้นแบบ

โดยทดสอบผิวหยาบสามแบบ (Figure 1 c) คือแบบที่หนึ่งเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. แบบที่สองเจาะเป็นเทเปอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. ทั้งสองแบบลึก 2 มม. แต่ละรูมีระยะห่างจากกัน 10 มม. และแบบที่สามเป็นร่องฟันเฟืองสะพาน ขนาดฟันเฟืองและร่องโต 2 มม. (7 ฟัน/2.5 ซม.)

6. ทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะมะคาเดเมีย

โดยใช้คนกะเทาะเป็นผู้ชาย 3 คน คนละ 5 ตัวอย่างๆ ละ 50 เมล็ด สุ่มจากเมล็ดมะคาเดเมียพันธุ์ผิวเรียบที่อบลดความชื้นแล้วโดยไม่ต้องคัดขนาด ให้ทำการกะเทาะติดต่อกันจนเสร็จทุกตัวอย่าง และแยกเมล็ดสมบูรณ์ (เมล็ดที่ไม่แตก) กับเมล็ดแตก (เมล็ดที่แตกเป็น 2 ชิ้น หรือแตกเป็นชิ้นเล็กๆหลายชิ้น) ออกจากกัน จับเวลาในการกะเทาะทุกตัวอย่าง จากนั้นคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์เมล็ดสมบูรณ์กับเมล็ดแตก พร้อมทั้งควณความสามารถในการกะเทาะ

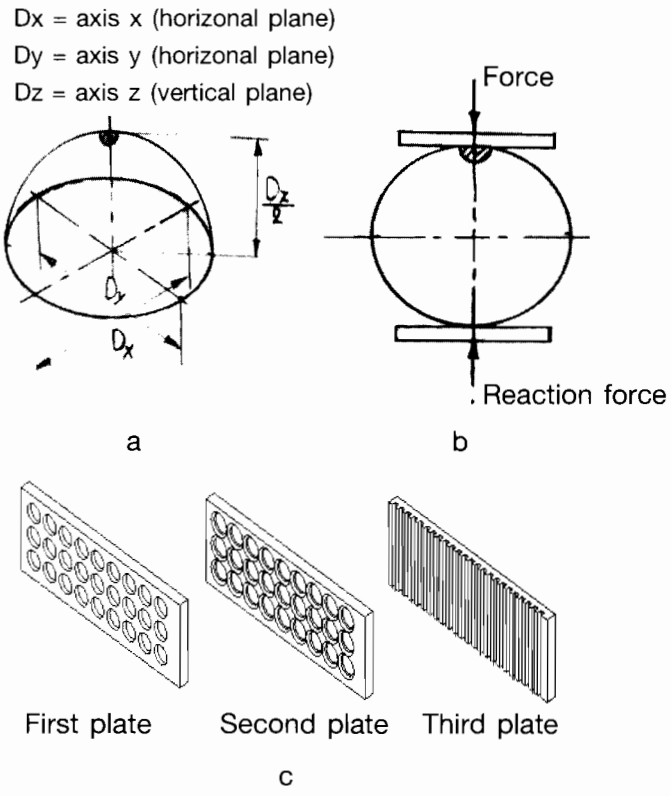


Figure 1 a. Nutshell with cartesian diameters (a), nutshell compressed between two rigid plates (b) and three typea of surface rigid plates (c)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลมะคาเดเมีย

เมื่อมะคาเดเมียแก่ร่วงลงพื้น เกษตรกรต้องเก็บมารวมกัน เพื่อทำการกะเทาะเปลือกเขียวออก (dehusking) โดยใส่ผลสดของมะคาเดเมียลงในถุงไนล่อน แล้วตีด้วยท่อนไม้ให้เปลือกเขียวแตกและหลุดจากกะลา จากนั้นเทออกจากถุง ทำการแยกเปลือกเขียวออกจากเมล็ด มะคาเดเมียที่กะเทาะเปลือกเขียวออกแล้วมีความชื้นประมาณ 20-23.2 % ต้องนำไปตากหรือผึ่งในที่

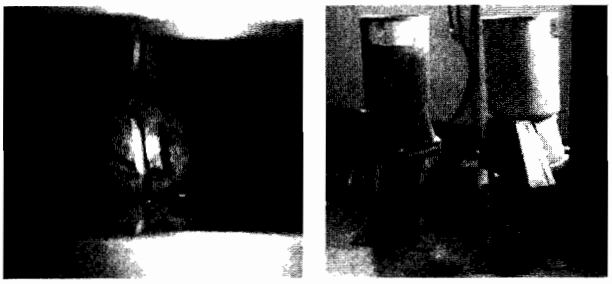
มีลมพัดผ่านสะดวกประมาณ 3-7 วัน ความชื้นจะลดลงเหลือประมาณ 10-15 % ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและฤดูกาล จากนั้นเกษตรกรนำไปขายให้ผู้ประกอบการแปรรูปมะคาเดเมีย ปัจจุบันการรับซื้อผลผลิตเมล็ดทั้งกะลา กก.ละประมาณ 50-60 บาท ผู้ประกอบการแปรรูปมะคาเดเมียต้องนำเมล็ดไปลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบกระบะโดยลดความชื้นที่อุณหภูมิ 35 °ซ. เป็นวลา 12 ชม. เพิ่มอุณหภูมิเป็น 40 °ซ. เป็นเวลา 12 ชม. จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 45 °ซ. เป็นเวลา 24 ชม. และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50 °ซ. เป็นเวลา 24 ชม. รวมเวลาเป็น 72 ชม. เมล็ดมะคาเดเมียมีความชื้นประมาณ 3–5 % ทำให้เนื้อในของมะคาเดเมียแห้งและหดตัวหลุดจากกะลา (จำรอง, 2544)

2. ลักษณะทางกายภาพของผลมะคาเดเมีย

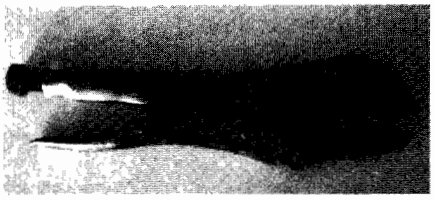
สำหรับลักษณะทางกายภาพของเมล็ดมะคาเดเมีย มีความกลมโดยเฉลี่ย 0.96±0.2 ความหนาของกะลาเฉลี่ย 3.5±1.5 มม. ความหนาไม่สม่ำเสมอ จุดขั้วผลเป็นจุดที่หนาที่สุดรองลงมาเป็นท้ายผลและจุดที่จะบางที่สุดคือตรงกลางด้านข้างของผล มีสัดส่วนเนื้อในต่อเมล็ดเฉลี่ย 32% สัดส่วนกะลาต่อเมล็ดเฉลี่ย 68% (Figure 2 a) การทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง Universal testing machine ทุกลูกที่กดในแนวขั้วและการกดแนวตั้งฉากกับแนวขั้วผล รอยแตกเป็นแนวยาวเชื่อมระหว่างจุดสัมผัสเมล็ดกับแผ่นเหล็กด้านล่างและบน ซึ่งเป็นพฤติกรรมการแตกที่เกิดเนื่องจากความเค้นดึงสูงสุดในแนวเส้นรอบวงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแรงกด (เกรียงศักดิ์และวิวัฒน์, 2549)

3. ปริมาณเครื่องกะเทาะผลมะคาเดเมีย

เครื่องกะเทาะที่มีใช้ในปัจจุบันนั้น มีเครื่องกะเทาะแบบกึ่งอัตโนมัติ นำเข้าจากต่างประเทศมีลักษณะทรงกรวย สามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยไม่ต้องคัดขนาดก่อน ผลการทดสอบ ความสามารถในการกะเทาะกะลามะคาเดเมีย 199 กก./ชม. หากคิดรวมเวลาในการคัดแยกด้วย ความสามารถในการกะเทาะกะลามะคาเดเมียลดลงมา 8 กก/ชม. ผลที่ได้จากการกะเทาะกะลาคือ ได้เมล็ดเต็มสมบูรณ์เฉลี่ย 55 % เมล็ดที่ถูกกะเทาะไม่สมบูรณ์ (เนื้อในไม่หลุดจากกะลา) 21 % ไม่กะเทาะ17 % เมล็ดแตกเป็นชิ้น 7 % (Figure 2 b) สำหรับเครื่องกะเทาะแบบคีมล็อคนิยมใช้กะเทาะเมล็ดที่กะเทาะแตกไม่สมบูรณ์ จากการกะเทาะด้วยเครื่องกึ่งอัตโนมัติมาก่อน ลักษณะคือกะลาแตกแล้วแต่เนื้อในยังไม่หลุดออกจากกะลา ต้องนำมาบีบให้กะลาแตกมากขึ้นโดยเครื่องกะเทาะแบบคีมล็อค (Figure 2 c) เพื่อขยายรอยแตกให้กว้างมากขึ้นจนทำให้เนื้อในหลุดออกมาจากกะลา เมื่อวิเคราะห์การทำงานของเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบต่างๆ พบว่าหลักการที่ใช้ในการกะเทาะเป็นการบีบให้เมล็ดมะคาเดเมียผ่านช่องแคบระหว่างใบมีดสองใบคือ ใบบีบกดกับใบมีดรับ หรือกดให้ยุบตัวลงระหว่างใบมีดกดกับผิวหยาบ การแตกเกิดขึ้น จากการพองของเมล็ดมะคาเดเมีย ทำให้เกิดพฤติกรรมการฉีกขาด



a b



c

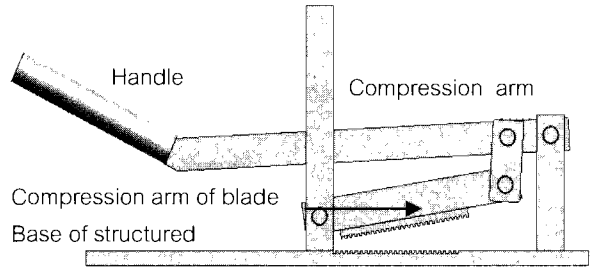
Figure 2 Definition of crack orientation in a nutshell compressed between two rigid plates (a), macadamia nutshell cracker (b), macadamia nutshell cracker of locking clamp type (c).

4. การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะมะคาเดเมียแบบกดแรงคนกด

นำหลักการดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบ และสร้างเครื่องกะเทาะแบบใช้แรงคนกด โดยแนวคิดในการออกแบบให้ผลมะคาเดเมียถูกกดอยู่ระหว่างแผ่นเหล็กแบนสองแผ่น เพื่อป้องกันการลื่นไถล จึงได้ออกแบบให้ผิวของแผ่นแบนด้านที่ต้องกดสัมผัสกับกะลามะคาเดเมียเป็นผิวหยาบสามแบบคือ เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. เจาะเป็นเทเปอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. ทั้งสองแบบลึก 2 มม. แต่ละรูวัดจากจุดกึ่งกลางมีระยะห่างจากกัน 10 มม. และทำเป็นร่องฟันเฟืองสะพาน ขนาดฟันเฟืองและร่องโต 2 มม.ยาว 110 มม.ตามแนวขวางด้านยาวของแผ่นกดบนและล่าง พบว่าแบบที่ทำงานได้ดีคือแบบร่องฟันเฟืองสะพาน จึงออกแบบให้เป็นผิวของแผ่นกดและแผ่นรองรับ ได้ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องกะเทาะต้นแบบประกอบด้วย โครงสร้างฐานชุดแขนกด และแขนยึดแผ่นกด (Figure 3 a) โดยออกแบบทางทฤษฎีให้มีค่าความปลอดภัยไว้ที่ระดับ 2.8 ขนาดเมล็ดมะคาเดเมียเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 25 มม. สภาวะแรงกดสูงสุดเฉลี่ยที่เมล็ดมะคาเดเมียแตก 2,230 นิวตัน วัสดุที่ใช้ในการออกแบบเป็นเหล็กเหนียว คำนวณแรงกดที่ด้ามกดได้ 101.67 นิวตัน ผลการทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกดต้นแบบโดยก่อนทำการกะเทาะต้องอบลดความชื้นเมล็ดให้อยู่ในช่วง 3-5 % และทำให้คลอนก่อนทำการกะเทาะโดยเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด (Figure 3 b) พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด หนึ่งคนสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยเฉลี่ย 3.1 กก./ชม. ได้เมล็ดเต็มสมบูรณ์เฉลี่ย 69 % เมล็ดแตกเฉลี่ย 31 % (Figure 3 c, Table 1)

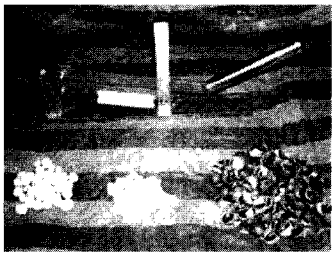
5. ทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด

ในการทดสอบเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกดต้นแบบร่วมกับกลุ่มผู้แปรรูปสุรีย์แมคคาเดเมีย ที่ ต.ดอยหล่อ อ.ดอยหล่อ จ.เชียงใหม่ พบว่าแรงงานส่วนใหญ่เป็นแม่บ้านสามารถกะเทาะกะลาได้เนื้อในสมบูรณ์ (ไม่แตก) ในระดับสูงประมาณ 70% (Figure 4)



a

b



c

Figure 3. Macadamia nutshell cracker. (a) testing of macadamia nutshell cracker. (b) and results of cracked macadamia nutshell (c)

สอดคล้องกับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด ในระยะแรกที่เริ่มใช้งานหนึ่งคนสามารถกะเทาะได้เฉลี่ยได้ 30 กก./วัน (8 ชม.) และเมื่อใช้จนชำนาญแล้วสามารถกะเทาะได้สูงสุด 50 กก./วัน (มะคาเดเมีย 1 กก. มีเมล็ดทั้งกะลา 120-150 เมล็ด) เมื่อประเมินราคาเครื่องกะเทาะที่โครงสร้างเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม 2,000 บาท/เครื่อง และโครงสร้างเหล็กเหนียว ราคา 1,300 บาท/เครื่อง หากพิจารณาให้เครื่องโครงสร้างเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ในการรับจ้างกะเทาะกะลามะคาเดเมีย ราคา 10 บาท/กก. หนึ่งวันคิดเวลาทำงาน 8 ชม. ความสามารถในการกะเทาะกะลามะคาเดเมียคิดเฉลี่ยวันละ 25 กก./คน. ดังนั้น การใช้เครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคน จะคุ้มทุนภายในเวลาการทำงาน 8 วัน

Figure 4. Coframer tested of macadamia nutshell cracker

6. ประสิทธิภาพเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมีย

เครื่องกะเทาะแบบกึ่งอัตโนมัติ สามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยไม่ต้องคัดขนาดก่อนได้ 199 กก./ชม. คิดรวมเวลาในการคัดแยก

Table 1. Results of cracked macadamia nutshell

Sample no	Perfect kernel (%)	Fractured kernel (%)	Efficiency of macadamia nut cracker	
			(kg/h)	Nutshell/h
1	72	28	3.02	362
2	68	32	2.57	308
3	72	28	2.92	350
4	70	30	2.85	342
5	68	32	2.63	316
6	62	38	3.22	386
7	70	30	2.75	330
8	60	40	2.86	344
9	68	32	3.51	421
10	72	28	3.08	370
11	72	28	4.29	515
12	68	32	2.83	340
13	64	36	2.77	332
14	76	24	3.19	382
15	68	32	4.50	540
Average	**69±4.2**	**31±4.2**	**3.13±0.57**	**376±68**

ได้ 8 กก/ชม ได้เมล็ดเต็มสมบูรณ์เฉลี่ย 55% ไม่สมบูรณ์ 21% ไม่กะเทาะ17% เมล็ดแตกเป็นชิ้น 7% เครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด หนึ่งคนสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยเฉลี่ย 3.1 กก. ได้เมล็ดเต็มสมบูรณ์เฉลี่ย 69 % เมล็ดแตกเฉลี่ย 31% จากผลการกะเทาะแสดงว่า แม้การกะเทาะด้วยเครื่องกึ่งอัตโนมัติสามารถกะเทาะได้เนื้อที่ดี และแตกรวมกันแล้วได้ผลการกะเทาะจริง 62% ที่เหลือ 21% ต้องนำไปทำการกะเทาะต่อด้วยเครื่องกะเทาะแบบคีมล็อค และส่วนที่ไม่กะเทาะ 17% ต้องนำกลับไปทำการกะเทาะใหม่ ต่างจากการกะเทาะด้วยเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกด ที่ให้ผลการกะเทาะสมบูรณ์ 100% พิจารณาในเรื่องของราคาเครื่องมือ พบว่าราคาถูกมาก โครงสร้างขนาดเล็กทำให้มีน้ำหนักเบาประมาณ 2 กก ทำให้สามารถจัดการกับพื้นที่ในการทำงานได้สะดวก โครงสร้างไม่มีความยุ่งยากทำให้ดูแลรักษาง่ายและเก็บรักษาก็ใช้พื้นที่น้อย หากไม่ติดขัดในเรื่องการขาดแรงงานการใช้เครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมียแบบใช้แรงคนกดนับว่ามีความเหมาะสมในการใช้งานในการแปรรูปมะคาเดเมีย ทั้งในระดับเกษตรกรรายย่อยและอุสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

สรุปผลการทดลอง

1. การกะเทาะมะคาเดเมียต้องนำเมล็ดไปลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นเพื่อให้เมล็ดมะคาเดเมียมีความชื้นในระดับ 3–5 % และก่อนทำการกะเทาะต้องกระแทกถุงเมล็ดกับพื้นแข็งเพื่อให้เนื้อในหลุดจากกะลา เมล็ดมะคาเดเมียมีความกลมโดยเฉลี่ย 0.96±0.2 ความหนาของกะลาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.5±1.5 มม. มีสัดส่วนเนื้อในต่อเมล็ดเฉลี่ย 32% สัดส่วนกะลาต่อเมล็ดเฉลี่ย 68%

2. การประเมินผลเครื่องกะเทาะกะลามะคาเดเมีย พบว่าเครื่องกะเทาะที่มีใช้ในปัจจุบันนั้น เป็นเครื่องกะเทาะแบบกึ่งอัตโนมัติ นำเข้าจากต่างประเทศมีลักษณะทรงกรวย สามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยไม่ต้องคัดขนาดก่อน ความสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้ 8 กก./ชม. ผลที่ได้จากการกะเทากะลาคือ ได้เมล็ดเต็ม 55% ไม่สมบูรณ์ 21% ไม่กะเทาะ 17% เมล็ดแตกเป็นชิ้นเล็ก 7%

3. เครื่องกะเทาะแบบคีมล็อคใช้กะเทาะเมล็ดที่แตกไม่สมบูรณ์ จากการกะเทาะด้วยเครื่องกึ่งอัตโนมัติมาก่อน เพื่อขยายรอยแตกให้กว้างมากขึ้นจนทำให้เนื้อในหลุดออกมาจากกะลาของมะคาเดเมียได้

4. หลักการที่ใช้ในการกะเทาะคือ การบีบให้เมล็ดมะคาเดเมียผ่านช่องแคบระหว่างใบมีดสองใบคือ ใบบีบกดกับใบมีดรับ หรือกดให้ยุบตัวลงระหว่างใบมีดกดกับผิวหยาบ การแตกเกิดขึ้นจากความเค้นดึงสูงสุดในแนวเส้นรอบวง

ในการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะแบบใช้แรงคนกด โดยออกแบบทางทฤษฎีให้มีค่าความปลอดภัยไว้ที่ระดับ 2.8 ในสภาวะแรงกดสูงสุดเฉลี่ย 2,230 นิวตัน เมล็ดมะคาเดเมียเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 มม. วัสดุที่ใช้ทำเป็นเหล็กเหนียว คำนวณแรงกดที่ด้ามกดได้ 101.67 นิวตัน จากการทดลองกะเทาะกะลามะเดเมียโดยเครื่องกะเทาะแบบใช้แรงคนกดหนึ่งคนสามารถกะเทาะกะลามะคาเดเมียได้โดยเฉลี่ย 3.1 กก./ชม. ได้เมล็ดสมบูรณ์เฉลี่ย 69% เมล็ดแตกเฉลี่ย 31% โครงสร้างเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม 2,000 บาท/เครื่อง โครงสร้างเหล็กเหนียว ราคา 1,300 บาท/เครื่อง และทำงานให้คุ้มทุนภายในเวลา 8 วัน

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณบุญช่วย น้อยยะ คุณวรวิทย์ ยะกลิ้ง และทีมช่างทุกคนของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ที่มีส่วนช่วยในการดำเนินงานสร้างต้นแบบและทดลองจนงานนี้แล้วเสร็จ

เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ นักผูก และวิวัฒน์ คลองพานิช 2549. *การวิเคราะห์ลักษณะการแตกของกะลามะคาเดเมียภายใต้แรงกด.* รายงานการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 7 ภาคบรรยาย ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชา

การการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่. 472 หน้า.

จำรอง ดาวเรือง. 2544. *มะคาเดเมีย.* สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 จ.เชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 71 หน้า.

จำลอง ลิ้มตระกูล. 2534. *การออกแบบเครื่องจักรกล.* ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 420 หน้า.

สุเนตร โม่งปราณีต. 2536. *การประเมินผลเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียแบบใช้แรงคน.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 124 หน้า.

เดช พุทธเจริญทอง. 2538. *กลศาสตร์ของแข็งขั้นสูง.* ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 368 หน้า.

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. Eng. Res.* 74: 243-450.

Ugural A.C.and S.K. Fenster. 1995. *Advanced Strength and Applied Elasticity.* Third Edition PTR Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 570 p.