ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)

ปริญญา

เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว — **สาขา**

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา — **ภาควิชา**

เรื่อง การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกหมาก

Development of Betel Nut Husking Machine

นามผู้วิจัย นายสุทธิพร เนียมหอม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(ศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D.)

กรรมการ .....

(Professor Pictiaw (Paul) Chen, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ศาสตราจารย์สายชล เกตุษา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกหมาก

Development of Betel Nut Husking Machine

โดย

นายสุทธิพร เนียมหอม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)
พ.ศ. 2551

สุทธิพร เนียมหอม 2551: การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกหมาก ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว) สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc. 74 หน้า

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะ ก) ศึกษาสมบัติทางกายภาพเชิงกลของผลหมากสงตากแดด และ ข) พัฒนาเครื่องปอกเปลือกหมากแห้ง วิธีการศึกษาประกอบด้วย การหาการกระจายความชื้น มิติ น้ำหนักผลหมาก กับเวลาที่ตากแดด และออกแบบ สร้าง ทดสอบ และประเมินผลเครื่องปอกเปลือกหมากแห้งต้นแบบ แนวคิดในการออกแบบเครื่องปอกเปลือกคือ การทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้นที่เปลือกหมากแห้งด้วยแรงเสียดทานจลน์ที่เกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามจากแรงกดปกติที่กระทำตรงกันข้ามของผลหมาก เครื่องปอกเปลือกหมากแห้งนี้ประกอบด้วย ถังป้อน ชุดปอกเปลือกหมากแห้ง และระบบส่งกำลัง ชุดปอกเปลือกประกอบด้วย ล้อยาง 2 ล้อ วางอยู่บนโครงสร้างเหล็กให้อยู่ใกล้กัน และหมุนตามกัน ด้านใต้ของขอบล้อยางทั้งสองจะมีตะแกรงเหล็กอยู่ การปอกเปลือกเริ่มจากป้อนผลหมากแห้งเข้าไปในถังป้อน ล้อยางจะหมุนดึงผลหมากแห้งเข้าบีบอัดกับตะแกรงเหล็ก เนื่องจากแรงเสียดทานจลน์ที่แตกต่างกันกระทำกับเปลือกหมากที่จุดสัมผัสระหว่างล้อยางกับผลหมาก และผลหมากกับตะแกรงเหล็ก จะเกิดแรงเฉือนและแรงบีบทำให้เปลือกหมากแตกในช่วงล้อยางแรก และแรงเหวี่ยงของล้อแรกจะส่งลงมายังล้อยางที่สองที่ออกแบบให้ทำงานเหมือนกันทำการปอกเปลือกอีกครั้งเพื่อให้เปลือกแตกและแยกออกจากเมล็ดโดยสมบูรณ์ ผลการวิจัยพบว่า ก) ความชื้น มิติ และน้ำหนักผลหมากลดลงกับระยะเวลาตากแดด ซึ่งอธิบายได้ด้วยแบบจำลองรีเกรสชั่น แรงกดแตกของผลหมากและเมล็ดหมากเพิ่มขึ้นกับระยะเวลาตากแดด ข) สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องคือ ใช้แรงดัน 138 กิโลพาสกาล รอบหมุนของล้อยาง 440 รอบต่อนาที และช่องว่างระหว่างตะแกรงกับล้อยาง 15 มิลลิเมตร ค) สภาวะของผลหมากแห้งที่เหมาะสมในการปอกเปลือกคือ มีความชื้น 6.31% มาตรฐานเปียก สมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ได้กำหนดตามปัจจัยที่กล่าวแล้ว สามารถปอกเปลือกผลหมากแห้งแบบคละขนาดได้เมล็ดหมากเต็ม 64.4% มีเมล็ดหมากแตก 15.2% และผลหมากแห้งที่ปอกไม่ออก 20.5% ที่ประสิทธิภาพการผลิต 76.9%.

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Suttiporn Niamhom 2008: Development of Betel Nut Husking Machine. Doctor of Philosophy (Postharvest Technology), Major Field: Postharvest Technology, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Professor Bundit Jarimopas, D.Sc. 74 pages.

The research was to a) determine physical and mechanical properties of dry betel nut and b) develop a prototype betel nut husking machine. Methodology comprised of a) determination of moisture, dimension, weight, rupture forces of dry betel nut and b) design, construct, test and evaluate a prototype betel nut husking machine. Design concept was that husking was obtained by tearing out the husk of the dry nut fruit with different dynamic friction forces existing on the opposite sides of the nut under the normal pressure. The prototype featured hopper feeding dry betel nut fruit, husking mechanism and power drive. The husking mechanism was composed of two rubber tires hinged under and adjacently parallel to the sieve which made of steel rods. In operation, betel nut fruit was fed into the space between running tire surface and the sieve surface of the husking mechanism. Because of different friction forces at the contacts between fruit surface and sieve surface, and fruit surface and tire surface, shearing occurred to crack the fruit husk at the first tire. Husk and nut were further separated by rehusking at the second tire. Results showed that a) The moisture, dimension and weight of dry betel nut fruit decreased with respect to, sun drying time. Their associated relationship could be expressed by regression models. The rupture force of dry betel nut and fruit increased with the drying time. b) the proper machine conditions were characterized by tire pressure of 138 KPa, tire speed of 440 rpm, spacing between the tire surface and the sieve surface of 15 mm, c) the proper betel nut fruit moisture content was 6.31% wb. Performance test of the prototype based on the optimum settings revealed that husking mixed size fruit could produce the full nut of 64.4%, the broken nut of 15.2%, the unhusked fruit of 20.5% at the production efficiency of 76.9%.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศ. ดร. บัณฑิต จริโมภาส ที่คอยให้คำปรึกษาชี้แนะตลอดระยะเวลาทำวิจัยอย่างไม่รู้จักเบื่อ และเหน็ดเหนื่อย ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, รศ. ดร. อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ กรรมการทั้งสามท่านที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และมีค่ายิ่งกับผู้เขียน

ขอขอบพระคุณ Professor Pictiaw (Paul) Chen, Professor Emeritus, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of California at Davis ที่ได้กรุณาชี้แนะแนวทาง และเปิดโลกทัศน์ผู้เขียนให้กว้างขึ้น และให้คำแนะนำในการเสนอผลงานวิจัยในระดับนานาชาติให้กับผู้เขียน

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงิน ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการวิจัย

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่สนับสนุนและส่งเสริมให้ลูกมีวันนี้

สุทธิพร เนียมหอม

ตุลาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	59
ภาคผนวก	62
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	74

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แหล่งเพาะปลูกหมาก 10 อันดับแรกของไทย	1
2	รายละเอียดของเครื่องกะเทาะข้าวโพดชนิดซี่	16
3	อัตราการปอกเปลือกหมากโดยใช้แรงงานคนในการปอก	38
4	สมการความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับระยะเวลาตากแดด	39
5	สมการความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับระยะเวลาตากแดด	40
6	ขนาดของผลหมากแห้งสำหรับการตากแดดบนลานปูนในช่วงระยะเวลาการตากแดด 4 สัปดาห์	42
7	ขนาดของผลหมากแห้งสำหรับการตากแดดบนแผ่นสังกะสีในช่วงระยะเวลาการตากแดด 4 สัปดาห์	42
8	แรงกดแตกของเมล็ดหมากและเปลือกที่ตากแดดเป็นระยะเวลา 2-7 สัปดาห์	46
9	ผลของความชื้นที่มีต่อประสิทธิภาพการปอกเปลือกหมาก	48
10	ผลของขนาดและระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การปอกได้เมล็ดเต็ม (PF)	49
11	ผลของขนาดและระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตก(PB)	49
12	ผลของขนาดและระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ปอกไม่ออก(PU)	50
13	ผลของขนาดและระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การผลิต (PS)	50
14	ผลของความเร็วและแรงดันลมยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การปอกได้เมล็ดเต็ม (PF)	51
15	ผลของความเร็วและแรงดันลมยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตก (PB)	52
16	ผลของความเร็วและแรงดันลมยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ปอกไม่ออก (PU)	52
17	ผลของความเร็วและแรงดันลมยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การผลิต (PS)	52
18	ผลการทดสอบเครื่องปอกเปลือกหมากกับผลหมากแบบคละขนาดแบบต่อเนื่อง	53
19	การคิดระยะการคืนทุนของเครื่องปอกเปลือกหมาก	55

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การทำหมากแห้งในประเทศไทย	11
2	ภาพเปรียบเทียบลักษณะผลและเนื้อผลของหมากสงและหมากดิบ	12
3	ภาพตัดของผลหมากที่ตากแห้งดีแล้ว	13
4	เครื่องกะเทาะข้าวโพดชนิดก้านตี	15
5	เครื่องกะเทาะข้าวโพดชนิดซี่	17
6	เครื่องกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมมะพานต์ของกองเกษตรวิศวกรรม	18
7	เครื่องสีข้าวตราเสือ ของ หจก. อุบลกรุงไทยกลการ	21
8	ภาพสามมิติของเครื่องกะเทาะผลหมากต้นแบบ	29
9	ภาพของผลหมากที่อยู่ภายใต้แรงกดปกติและและแรงเฉือนด้วยแรงเสียดทาน	31
10	ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นและระยะเวลาในการตากแดดของผลหมาก	39
11	ความสัมพันธ์ของน้ำหนักและระยะเวลาในการตากแดดของผลหมาก	40
12	ผลหมากและเมล็ดหมาก แห้งภายใต้การทดสอบแบบ Flat Plate Contact Loading	45
13	กราฟแรงและการเปลี่ยนรูปของผลหมากแห้งและเมล็ดหมากแห้ง ภายใต้การทดสอบแบบ Flat Plate Contact Loading ในแนวตั้งฉากกับขั้วผล	45
14	ความสัมพันธ์ของแรงกดบนเมล็ดหมากแห้งกับระยะเวลาในการตากแดด	46
15	ความสัมพันธ์ของแรงกดบนเปลือกของผลหมากแห้งกับระยะเวลาในการตากแดด	46

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

PF	การกะเทาะได้เต็มเมล็ด	(เปอร์เซ็นต์)
PB	เมล็ดหมากแตก	(เปอร์เซ็นต์)
PU	ผลหมากที่ปอกไม่ออก	(เปอร์เซ็นต์)
PS	เปอร์เซ็นต์การผลิต	(เปอร์เซ็นต์)

การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกหมาก

Development of Betel Nut Husking Machine

คำนำ

หมากมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Betel Nut บางคนเรียกว่า Arecanut หรือ Arecanut Palm มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Areca catechu Linn.* เป็นไม้ยืนต้นตระกูลปาล์ม เช่นเดียวกับมะพร้าว ถิ่นกำเนิดของหมากปรากฏหลักฐานไม่เด่นชัด แต่มีการแพร่กระจาย ในหลายประเทศ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินเดีย ปัจจุบันแหล่งปลูกหมากที่เป็นเชิงการค้าของโลก ได้แก่ อินเดีย ศรีลังกา พม่า มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน อินโดนีเซีย ไทย แหล่งปลูกในประเทศไทย ส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้และภาคกลาง พื้นที่ปลูกหมากของไทยมีประมาณ 116,756 ไร่ ผลผลิตรวม 437,010 ตัน (ศูนย์สารสนเทศ, 2547) จังหวัดที่มีการปลูกหมากมากที่สุด คือจังหวัดชุมพร รองลงมาคือจังหวัดนครศรีธรรมราช ระนอง ฉะเชิงเทรา พัทลุง ตรัง พังงา ระยอง สุราษฎร์ธานี และนครปฐม ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แหล่งเพาะปลูกหมาก 10 อันดับแรกของไทย

ลำดับที่	จังหวัด	พื้นที่ปลูก(ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย(กก./ไร่)	ผลผลิตรวม(กก.)
1	ชุมพร	24,516	6,700	107,849.9
2	นครศรีธรรมราช	18,408	6,091.84	99,461.5
3	ระนอง	13,556	3,430.74	31,230.04
4	ฉะเชิงเทรา**	9,583	1958.4	17,641.3
5	พัทลุง**	6,451	6,700	34,786.4
6	ตรัง	4,649	6,700	28,387.9
7	พังงา	4,282	5,362.81	14,683.36
8	ระยอง	4,048	2,089.88	7,026.19
9	สุราษฎร์ธานี	3,427	4,705.38	11,509.36
10	นครปฐม	3,409	3,172.3	10,697.01

ที่มา: ฝ่ายประมวลผล กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร ข้อมูลสถิติการปลูกหมาก ปี 2545

หมายเหตุ ** ข้อมูลจากปี 2544

หมากจะเริ่มเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม หมากทะวายจะเก็บเกี่ยวตั้งแต่กุมภาพันธ์ - พฤษภาคม หมากทะวายราคาแพงกว่าหมากปี บางครั้งขึ้นถึงผลละ 3-5 บาท คนไทยบางคนโดยเฉพาะ ผู้เฒ่าและชาวเขาบางเผ่ายังกินหมากอยู่ หมากเป็นสินค้าส่งออกในรูปของหมากสดและหมากแห้ง หมากสดส่วนใหญ่จะขายเป็นหมากอ่อน (ส่งไต้หวัน) หรือทิ้งไว้ให้สุกเพื่อทำหมากแห้งต่อไป การบริโภคหมากภายในประเทศสูงถึง 88 % ที่เหลือ 12 % เป็นการส่งออกในรูปของหมากสดและหมากแห้ง

ส่วนของหมากที่มนุษย์นำไปใช้ประโยชน์มากที่สุดคือเนื้อในผล โดยนำไปเคี้ยวร่วมกับพลูและปูนแดง (คนไทยใช้ปูนแดงซึ่งทำมาจากปูนขาวผสมขมิ้น) การเคี้ยวหมาก (คนไทยเรียก "กินหมาก" เป็นกิจกรรมเก่าแก่ที่สุดอย่างหนึ่งของมนุษยชาติ โดยเฉพาะมนุษย์แถบที่มีหมากขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ)

ปัจจุบันราคาหมากในประเทศจำหน่ายกันในราคาผลละ 3 บาท (ทะวาย) ส่วนหมากแห้งจำหน่ายในราคาขีดละ 40-60 บาท แต่ความนิยมในการกินหมากลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากค่านิยมแบบตะวันตกแผ่ขยายเข้ามาสู่ประเทศ จึงทำให้ความสำคัญของหมากในเชิงวัฒนธรรมลดน้อยลง แต่ด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม หมากได้เข้ามามีบทบาทและมีความสำคัญในแง่อุตสาหกรรม โดยมีการนำหมากไปใช้ในอุตสาหกรรมยาและสี และมีการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ สำหรับตลาดต่างประเทศนั้นจะสั่งซื้อหมากแห้งเมล็ดที่มีการบรรจุกระสอบๆ ละ 30 กิโลกรัม ซึ่งตัวเลขการส่งออกในปี 2543 มีการส่งออกหมากแห้งและสดรวมกันถึง 23,963 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 709 ล้านบาท (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2545) ประมาณว่าในแต่ละปีจะมีการส่งออกอยู่ระหว่าง 600 - 1,200 ล้านบาท และมีการคาดการณ์กันว่าถ้าอุตสาหกรรมเครื่องหนังขยายตัวมากตลาดการค้าหมากของไทยก็จะสดใสตามไปด้วย ดังนั้นหมากจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่ง

ในการทำหมากแห้ง ต้องนำหมากแก่หรือหมากสง (สีของจีวรพระสงฆ์) ไปตากให้แห้ง จากนั้นจะใช้แรงงานในการปอกเปลือกโดยใช้มีดเฉาะที่ก้นผลให้แตกก่อน แล้วจึงดึงเปลือกออกจะได้เมล็ดแห้งที่อยู่ภายใน ซึ่งเหตุผลดังกล่าว ทำให้ต้องใช้แรงงานมากในการปอกเปลือกหมาก การเพิ่มกำลังในการผลิตก็ทำได้ยาก เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องความชำนาญ และจำนวนแรงงานในการปอกเปลือกหมาก นอกจากนี้ยังทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นอีกด้วย

โครงการดุษฎีนิพนธ์เรื่องการพัฒนาเครื่องปอกเปลือกหมากนี้ ประกอบด้วย การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลหมากและเมล็ดหมากที่ตากแดดบนลานซีเมนต์และบนแผ่นสังกะสี ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำไปใช้ในการออกแบบ สร้าง ทดสอบ และปรับปรุงเพื่อให้ได้เครื่องปอกเปลือกหมากที่มีสมรรถนะสูงและมีประสิทธิภาพดี มีการสูญเสียน้อย และมีจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาด้านแรงงานในการผลิต, ต้นทุนการผลิต และช่วยพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตหมากแห้งส่งออก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของผลหมากสงระหว่างการตากแห้งบนลานซีเมนต์และแผ่นสังกะสี

2. เพื่อออกแบบ สร้าง ทดสอบ ปรับปรุง และประเมินผลเครื่องกะเทาะผลหมากแห้ง โดยทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องปอกเปลือกหมากซึ่งได้แก่ อัตราการกะเทาะผลหมาก (กิโลกรัม/ชั่วโมง), เปอร์เซ็นต์ เมล็ดหมากดีเต็มเมล็ด, เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตก, เปอร์เซ็นต์หมากที่ปอกไม่ออก และเปอร์เซ็นต์เปลือกและฝุ่นผง

3. ทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในด้านค่าใช้จ่าย, ระยะเวลาคืนทุน และการใช้งานคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบ

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหมาก

พิสมัย และพิมพ์ใจ (2543) กล่าวถึงลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหมากไว้ดังนี้

ราก

หมากมีระบบรากฝอยเช่นเดียวกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป ไม่มีรากแก้ว จำนวนรากจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอายุ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ตลอดจนสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในกรณีที่หมากถูกน้ำท่วมขังชั่วคราว จะสามารถสร้างรากอากาศขึ้นได้ที่โคนของลำต้น ทำให้หมากไม่ตาย อย่างไรก็ตามไม่ควรปล่อยน้ำให้ท่วมขังเป็นเวลานาน เนื่องจากรากหมากไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ในน้ำได้นาน

ลำต้น

หมากเป็นไม้ยืนต้นที่มีลำต้นเดี่ยว ไม่มีแก่น และไม่แตกกอ การเจริญเติบโตในระยะแรกลำต้นจะขยายออกทางด้านกว้างและด้านสูง จนลำต้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 นิ้ว หลังจากนั้นจะหยุดการเจริญเติบโตทางด้านกว้าง มีแต่การเจริญเติบโตทางด้านความสูงหรือด้านยอดเท่านั้น รูปทรงต้นหมาก จึงเป็นทรงกระบอกและตั้งตรง โดยส่วนโคนต้นเหนือผิวดินซึ่งเรียกว่าสะโพก (bole) จะมีลักษณะใหญ่กว่าลำต้นตอนส่วนบนเล็กน้อย

หมากมีจุดเจริญหรือตาสำหรับการเจริญเติบโตเพียงตาเดียว อยู่ที่ปลายยอดสุดของลำต้น เรียกว่า ตายอด ถ้าตายอดของหมากตายหรือถูกทำลาย ต้นหมากก็จะตาย ตายอดนี้เป็นที่เกิดของใบ เมื่อใบแก่ร่วงหล่นจะทิ้งรอยแผลเป็นไว้ตรงส่วนของลำต้นที่เรียกว่าข้อ ซึ่งมองเห็นได้ชัดเจนรอบ ๆ ลำต้น ระหว่างข้อแต่ละคู่เรียกว่าปล้อง จำนวนข้อของหมากสามารถใช้คำนวณอายุของต้นได้โดยคำนวณจากการเจริญเติบโตของต้นหมาก ต่อระยะเวลา 1 ปี ต้นหมากจะมีจำนวนข้อเพิ่มขึ้นประมาณ 5 ข้อ เช่น ถ้าเรานับข้อของต้นหมากได้ 50 ข้อ หมากต้นนั้นก็จะมีอายุประมาณ 10 ปี โดยทั่วไปหมากจะมีอายุประมาณ 10–30 ปีขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการดูแลรักษา

สำหรับเนื้อไม้ของต้นหมากจะเป็นเสี้ยนยาว ๆ จับตัวกันแน่น เสี้ยนไม้นี้จะแข็งแรงและเหนียวไม่หักง่าย ในเวลาเก็บผลหมากจึงสามารถปีนขึ้นไปเก็บได้ เมื่อเก็บต้นหนึ่งเสร็จแล้วก็สามารถโยกต้นหมากให้เอนไปหาต้นถัดไป แล้วกระโดดขึ้นไปเกาะต้นใหม่ที่อยู่ติด ๆ กันได้ โดยต้นหมากไม่หัก หมากที่มีอายุน้อย ต้นเล็ก ลำต้นจะเป็นสีเขียว เมื่ออายุมากขึ้นเป็นต้นหมากแก่ ลำต้นจะเปลี่ยนเป็นสีเทาๆ

ใบ

ใบเกิดจากเนื้อเยื่อเจริญตรงส่วนปลายยอด โดยแตกเป็นกระจุกที่ปลายลำต้น ประกอบด้วย โคนก้านใบหรือกาบหมาก ก้านทางใบ และใบย่อยซึ่งเรียงเป็นแถวทั้ง 2 ข้างของก้านทางใบ กาบหมากมีลักษณะเป็นแผ่นใหญ่หุ้มติดอยู่กับลำต้น เมื่อหมากออกดอก ดอกหรือจั่นหมากจะถูกหุ้มอยู่ในกาบหมาก เมื่อกาบหมากร่วงจึงจะเห็นดอกหมากหรือจั่นหมากติดอยู่กับลำต้น

ดอก

ดอกหมากหรือจั่นหมากจะเกิดที่ซอกโคนก้านใบหรือกาบหมาก ดอกออกรวมกันเป็นช่อใหญ่ประกอบด้วย แกนกลางหรือโคนจั่นยึดติดอยู่ข้อของลำต้น และก้านช่อดอกเป็นเส้นยาวๆ จำนวนมากแตกออกจากแกนกลาง ก้านช่อดอกแต่ละเส้นจะมีดอกหมากติดอยู่ทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย โดยดอกตัวผู้จะอยู่ที่ส่วนปลายและดอกตัวเมียจะอยู่ที่ส่วนโคน เมื่อกาบหุ้มจั่นแตกออก ดอกตัวผู้จะบานจากปลายกิ่งแขนงไปหาโคนแขนงหรืออาจจะบานก่อนกาบหุ้มจั่นแตกออกก็ได้ ดอกตัวผู้จะใช้เวลาบานประมาณ 21 วันจึงหมด หลังจากนั้นอีกประมาณ 5 วัน ดอกตัวเมียจะเริ่มบานเป็นเวลาประมาณ 3-5 วัน ดอกตัวเมียที่ได้รับการผสมละอองเกสรแล้วจะเจริญเติบโตเป็นผลหมากต่อไป จะเห็นได้ว่าดอกตัวผู้และดอกตัวเมียบานไม่พร้อมกัน ในการผสมเกสรดอกตัวเมียจะได้รับละอองเกสรตัวผู้จากจั่นอื่น เช่นจากจั่นน้องหรือจากต้นอื่น ๆ ที่บานพร้อมกัน หมากจึงเป็นพืชผสมข้าม ทั้งนี้จำนวนจั่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความอุดมสมบูรณ์ของดินและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

ผล

ผลหมากมีลักษณะกลมหรือกลมรี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5.0 – 6.2 เซนติเมตร ผลอยู่รวมกันเป็นทะลาย ใน 1 ทะลายมีผลประมาณ 100–150 ผล ผลอ่อนจะมีสีเขียวเรียกว่า หมากดิบ หรือหมากสด เมื่อผลแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลืองหรือสีเหลืองอมส้มทั้งผล เรียกว่าหมากสุก หรือหมากสง(สีของจีวรพระสงฆ์) สีของผลหมากที่แก่จัดชาวบ้านเรียกว่า สีหมากสุก ผลหมากประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นนี้จะบางกว่าเปลือกชั้นกลาง มีเส้นใยละเอียด เหนียวและแข็ง ผิวเปลือกมีความมัน

เปลือกชั้นกลาง เปลือกชั้นนี้มีเส้นใยหนา หยาบมองเห็นได้ชัด เมื่อเป็นผลดิบอ่อนเส้นใยจะมีสีขาวและอ่อนนุ่ม เมื่อเป็นผลแก่เส้นใยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและแข็งขึ้น

เปลือกชั้นใน เป็นเยื่อบางละเอียด ไม่เป็นเส้นใย ลักษณะใสเป็นมันติดอยู่กับเนื้อหมาก

เมล็ด เมล็ดคือส่วนที่เราเรียกว่าเนื้อหมาก มีเปลือกชั้นในเป็นเยื่อบาง ๆ หุ้มอยู่ เมื่อผลอ่อนเนื้อหมากจะนิ่ม มีลายเส้นสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลแดง สามารถเอาออกจากเปลือกได้ง่าย แต่เมื่อผลแก่เนื้อหมากจะแข็ง ลายเส้นเป็นสีน้ำตาลแดงจนถึงสีแดงเข้ม เฉาะเปลือกออกยาก ต้องนำไปตากแดด เนื้อหมากจะแห้งแข็งหลุดออกจากเปลือกง่ายขึ้น ถ้าผ่าเมล็ดหมากตามยาวของผลจะเห็นว่าด้านบนสุดของเมล็ดจะมีจุดเล็ก ๆ สีขาวฝังอยู่ในเนื้อหมากเรียกว่าจุดเจริญ เมื่อนำผลหมากไปเพาะจุดเจริญนี้จะงอกเป็นต้นอ่อนต่อไป

ผลหมากประกอบด้วยสารอัลคาลอยด์ต่างๆ ประมาณ 3 ชนิด ประมาณร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเมล็ด และในจำนวนสารอัลคาลอยด์ดังกล่าวนี้ประกอบด้วยสารแทนนินถึงร้อยละ 18 ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดรสฝาดเวลาเคี้ยว

พันธุ์หมาก

ในปัจจุบันแบ่งพันธุ์หมากตามลักษณะได้ 2 ลักษณะคือ

1 แบ่งตามลักษณะของผล

ผลกลมแป้น หมากชนิดนี้ส่วนมากจะมีผลใหญ่ รูปทรงของผลมีลักษณะกลมหรือกลมแป้น ขนาดของเมล็ดใหญ่ มีลักษณะกลมหรือกลมแป้นเช่นเดียวกับลักษณะผล เปลือกมีความหนาค่อนข้างสม่ำเสมอกัน

ผลกลมรี หมากชนิดนี้จะมีขนาดเล็กกว่าผลกลมแป้น รูปทรงของผลจะมีลักษณะยาวหรือยาวรี เมล็ดมีลักษณะไม่แน่นอน อาจจะกลมแป้น หรือกลมรีก็ได้ เปลือกมีความหนาไม่ค่อยสม่ำเสมอ ส่วนใหญ่เปลือกทางด้านขั้วผลจะหนากว่าส่วนอื่นๆ

โดยทั่วไปเกษตรกรนิยมปลูกหมากพันธุ์ผลกลมแป้นมากกว่าพันธุ์ผลรีเนื่องจากขนาดเมล็ดของพันธุ์ผลกลมจะมีขนาดใหญ่กว่าพันธุ์ผลรี

2 แบ่งตามลักษณะทรงของลำต้น

พันธุ์ต้นสูง ลักษณะลำต้นสูง ต้นค่อนข้างเล็ก ปล้องห่าง ใบยาว จั่นยาว ให้ผลผลิตสูง เมื่ออายุมากการเก็บเกี่ยวลำบาก ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

พันธุ์ต้นเตี้ย ลักษณะลำต้นเตี้ย ต้นอวบใหญ่ ปล้องถี่ ข้อเกือบจะติดกัน ใบสั้น จั่นสั้น ออกจั่นน้อย ให้ผลผลิตต่ำ เหมาะที่จะใช้เป็นไม้ประดับ หรือใช้ในการปรับปรุงพันธุ์

พันธุ์กลาง มีลักษณะลำต้นสูงปานกลาง ต้นอวบใหญ่ ปล้องห่างปานกลาง ใบสั้นปานกลาง จั่นอวบใหญ่ แต่ค่อนข้างสั้น ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง หมากพันธุ์นี้เข้าใจว่าเป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์ต้นสูงกับพันธุ์ต้นเตี้ย

การเก็บเกี่ยว

การให้ผลผลิตของหมากแบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ หมากปีและหมากทะวาย ซึ่งหมากจะให้ผลผลิตเกือบตลอดปี ขึ้นอยู่กับอายุของต้นหมากและความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม ต้นหมากที่มีอายุมากส่วนใหญ่จะเก็บเกี่ยวได้เฉพาะหมากปี ช่วงระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวหมากมีดังนี้

หมากปี จะเริ่มเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-ตุลาคม ช่วงที่มีหมากชุกมากคือเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม ซึ่งหมากจะมีราคาถูก

หมากทะวาย จะเริ่มเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม หมากทะวายจะมีราคาแพงกว่าหมากปี เนื่องจากมีจำนวนผลผลิตน้อย

ดังนั้นช่วงที่มีหมากน้อยที่สุด หรือหมากขาดตลาด คือ ช่วงเดือนพฤศจิกายน-มกราคม

ลักษณะผลหมากที่ควรเก็บเกี่ยว

1. หมากดิบหรือหมากสด ผลหมากสดที่ใช้รับประทาน มีอายุนับตั้งแต่เริ่มผสมติดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 5-6 เดือน เปลือกสีเขียวเข้ม เนื้อในแก่พอจะรับประทานสดได้ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ หมากหน้าอ่อน ซึ่งมีเนื้อนิ่มคล้ายเนื้อกุ้ง และหมากหน้าแก่ เนื้อจะเริ่มแข็งหรือเรียกว่า หน้ากะเตอะ เวลารับประทานต้องใช้ตะบันตำหมากเสียก่อน ทั้งหมากหน้าอ่อนและหมากหน้าแก่ นิยมรับประทานสด ในฤดูที่มีผลผลิตมากนิยมทำเป็นหมากแห้งเพื่อเก็บไว้บริโภคนอกฤดูในช่วงที่หมากขาดตลาด

2. หมากแก่หรือหมากสง หมากแก่คือผลหมากที่มีอายุนับตั้งแต่เริ่มผสมติดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 7-8 เดือน แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

2.1 หมากสงที่มีเปลือกสีเหลืองปนเขียว เป็นช่วงที่ผลหมากมีอายุประมาณ 7 เดือน เนื้อจะหนาและเริ่มแข็ง แต่ยังไม่แข็งมากนัก เฉาะเปลือกออกแล้วเอาเนื้อมาหั่นเป็นชิ้นบางๆ ทำเป็นหมากแห้งได้ เช่น หมากแว่นหรือหมากอีแปะ หมากซอยหรือหมากหั่น

2.2 หมากสงที่มีเปลือกสีเหลืองทั้งผล เป็นหมากอายุ 8 เดือนขึ้นไป เนื้อจะหนาและแข็งเต็มที่ ติดกับเปลือกแน่น แกะหรือเฉาะเปลือกออกยากต้องนำไปตากแดด เพื่อให้เปลือกล่อนออกจากเนื้อ แล้วจึงเอาเนื้อไปทำให้เป็นหมากแห้งทั้งเมล็ด หมากแห้งผ่าสองหรือผ่าซีก หรือนำไปเพาะเพื่อขยายพันธุ์

โดยทั่วไปแล้วหมากดิบจะมีราคาสูงกว่าหมากแก่ แต่ในปีใดถ้าหมากดิบมีราคาตกต่ำมาก เกษตรกรก็จะนำหมากดิบไปทำเป็นหมากแห้ง หรือปล่อยไว้เป็นหมากแก่เพื่อทำเป็นหมากแห้งจำหน่ายต่อไป

การทำหมากแห้ง

ผลผลิตของหมากเมื่อเก็บมาแล้ว อาจนำไปขายหรือเก็บไว้ใช้บริโภคเองในรูปหมากสดก็ได้ ถ้าหมากสดมีราคาถูก หรือมีปริมาณมากเกิน สามารถนำหมากเหล่านี้มาทำเป็นหมากแห้ง เพื่อเอาไว้ขายในช่วงที่มีราคาสูง หรือเอาไว้บริโภคในช่วงที่หมากขาดแคลน (พิสมัย และพิมพ์ใจ, 2543)

การทำหมากแห้งในประเทศไทย

หมากแห้งที่จำหน่ายอยู่ในตลาดมีหลายชนิดและหลายลักษณะ (ภาพที่ 1) แต่สามารถแบ่งหมากแห้งออกเป็นประเภทได้ 2 ประเภท คือ

1. หมากแห้งที่ทำจากหมากดิบ มี 5 ชนิด ได้แก่ หมากซอย หมากกลีบส้ม หมากเจียน หรือหมากเสี้ยว หมากจุก และหมากป่น ทำได้โดยการนำหมากดิบหรือหมากสดมาเฉาะเปลือกออก แล้วผ่าเป็นรูปทรงต่าง ๆ แล้วจึงนำไปตากแดด ประมาณ 2-5 แดด

2. หมากแห้งที่ทำจากหมากแก่หรือหมากสง มี 4 ชนิด กลุ่มแรก ได้แก่ หมากแว่น หมากผ่าสอง และหมากผ่าสี่ ทำโดยการนำหมากแก่หรือหมากสง ที่สุกแล้วมาผ่าเป็นแว่น เป็นซีก แล้วนำไปตากแดด จากนั้นจึงแกะเปลือกออก แล้วนำไปตากแดดอีกครั้งให้แห้งสนิท ชนิดสุดท้ายคือหมากแห้งทั้งเมล็ด ทำโดยนำหมากสงที่สุกจัด ไปตากแดด จนเมล็ดล่อนแยกจากเปลือก เฉาะเปลือกที่ก้นผลแกะเอาเนื้อออกไปตากแดดอีก 2-3 แดด จนแห้งสนิทจึงนำไปเก็บไว้ ประมาณว่าถ้าใช้หมากแก่หรือหมากสง 1,000 ผล จะสามารถทำหมากแห้งได้ 14-15 กิโลกรัม

ภาพที่ 1 การทำหมากแห้งในประเทศไทย (พิสมัย และพิมพ์ใจ, 2543)

การทำหมากแห้งของประเทศมาเลเซีย

1. การทำหมากแห้งผ่าซีกทั้งเปลือก

โดยการนำหมากที่สุกคาต้นมาผ่าซีกแล้วนำไปตากในลานกว้างๆ โดยเอาด้านที่ผ่าซีกขึ้นข้างบน ถ้าหากมีแดดดี ตากเพียง 2-3 วัน หมากก็จะร่อนออกจากเปลือก เมื่อแกะหมากออกจากเปลือกแล้วต้องนำไปตากแดดอีก 2-3 วัน เพื่อให้หมากแห้งสนิทดี แล้วจึงรวบรวมนำส่งตลาดต่อไป

2. การทำหมากแห้งทั้งเมล็ด มีวิธีการอยู่หลายวิธี คือ

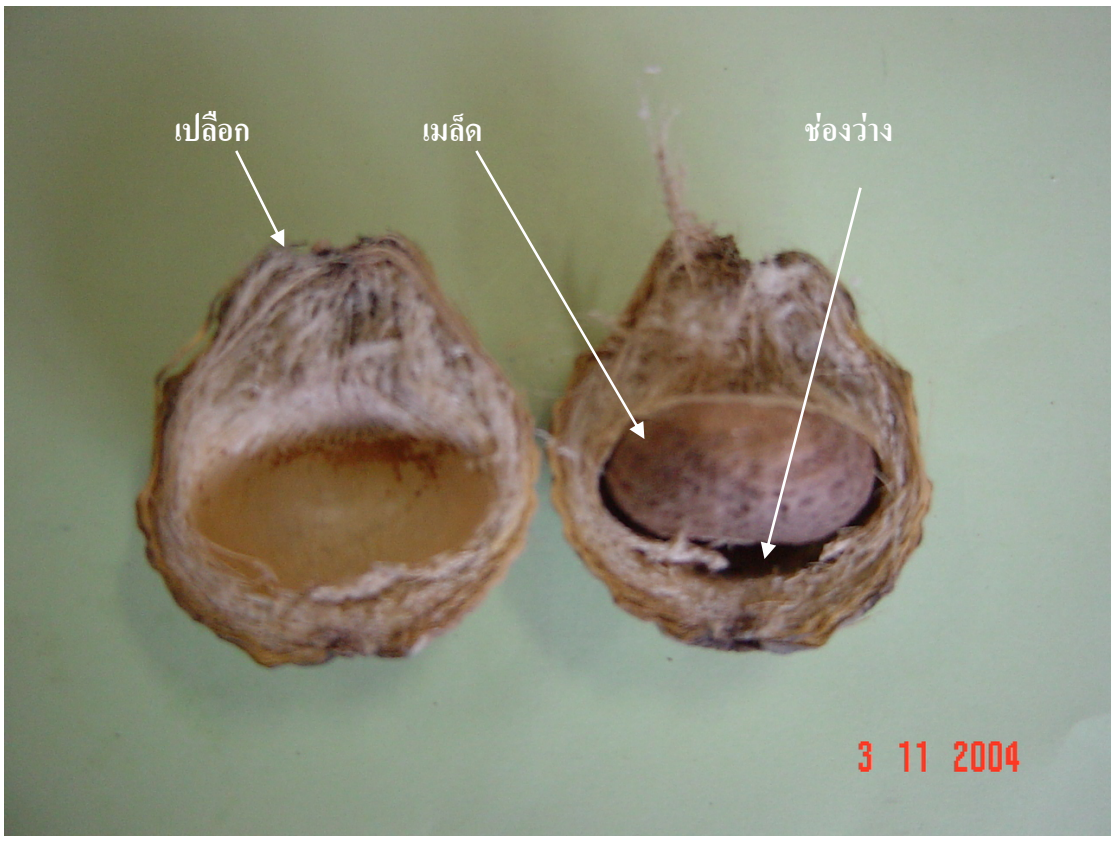
2.1 เก็บหมากที่สุกคาต้นมาตากทั้งผล โดยการเก็บหมากที่สุกมาตากบนลานกว้างๆ และต้องคอยหมั่นกลับหมากอยู่เสมอ ทำอยู่เช่นนี้ประมาณ 3 เดือน หมากจึงจะร่อนเอาเปลือกออกได้ (ภาพที่ 3) เมื่อเอาเปลือกออกแล้วต้องตากเมล็ดหมากต่อไปอีก 2-3 วัน หรืออาจมากกว่านี้ จนเห็นว่าหมากแห้งสนิทดี แล้วจึงนำส่งตลาดต่อไป

2.2 เก็บหมากสุกมารมควัน การทำหมากแห้งวิธีนี้จะต้องมีอุปกรณ์ในการรมควัน ได้แก่ เตาที่มีความยาวประมาณ 2.5 เมตร สูง 1.5 เมตร และใช้ตะแกรงวางบนเตา เมื่อนำหมากสุกมาแล้วก็ให้เอาหมากวางบนตะแกรง จากนั้นให้หาเปลือกหมากเก่าๆ มาสุมเพื่อให้เกิดควัน การรมควันใช้เวลาประมาณ 4-5 วัน หมากจะร่อนเอาเปลือกออกได้ง่าย และเมื่อเอาเปลือกออกแล้วต้องนำเมล็ดไปตากแดดอีกประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้เมล็ดหมากแห้งสนิทดี แล้วจึงรวบรวมนำส่งตลาดต่อไป

2.3 เก็บหมากก่อนสุกหรือหมากใกล้สุกคลุกเกลือ การทำหมากแห้งวิธีนี้เมื่อคลุกเกลือเสร็จแล้วก็ให้นำมาหมักไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด เช่น โอ่งปากแคบ โดยหมักไว้ประมาณ 1-2 เดือน เปลือกจะร่อนออกได้ง่าย เมื่อเอาเมล็ดออกแล้วต้องนำไปตากแดดเช่นเดียวกับการทำหมากแห้งวิธีแรก ๆ จนเห็นว่าเมล็ดแห้งสนิทดีแล้วจึงเก็บรวบรวมเพื่อนำส่งตลาดต่อไป

ก) ลักษณะของผลหมากสงและผลหมากดิบ ข) หน้าตัดของผลหมากสงและหมากดิบ

ภาพที่ 2 ภาพเปรียบเทียบลักษณะผลและเนื้อผลของหมากสงและหมากดิบ



ภาพที่ 3 ภาพตัดขวางของผลหมากที่ตากแห้งดีแล้ว

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สมบัติทางกายภาพผลิตผลเกษตรที่สัมพันธ์กับการแปรสภาพ

มีผลิตผลเกษตรหลายชนิดที่เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ ต้องถูกนำมาแปรสภาพเพื่อนำเอาส่วนของวัสดุภายนอกที่เป็นตัวหุ้มออกไป ทำให้สามารถเข้าถึงส่วนในและนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การสีข้าว การกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ การกะเทาะเปลือกผลโพฮาเบอรี่ เพื่อเอาเปลือกออก ทำให้สามารถเข้าถึงตัวข้าวสาร ตัวเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และเนื้อผลโพฮาเบอรี่ เป็นต้น Mohsenin (1996) กล่าวว่า การจะพัฒนา ออกแบบ ทดสอบ ประเมินผล เครื่องจักรกลแปรสภาพ แปรรูป การพัฒนากระบวนการผลิตการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้และข้อมูลทางสมบัติทางกายภาพผลิตผลเกษตรเป็นพื้นฐาน Wang (1963) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์การกะเทาะของผลโพฮาเบอรี่ด้วยแรงเสียดทานของลูกกลิ้ง 2 อัน หมุนเข้าหากัน กระทำต่อผลโพฮาเบอรี่ที่อยู่ระหว่างกลาง เขาได้สร้าง Inequality ทำนายสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผล

โพฮาเบอรี่ เป็นฟังก์ชั่นของมิติของผลโพฮาเบอรี่และลูกกลิ้งกะเทาะ ซึ่งได้ถูกนำไปใช้คำนวณหาแรงกดผลโพฮาเบอรี่ให้แตกต่อไป

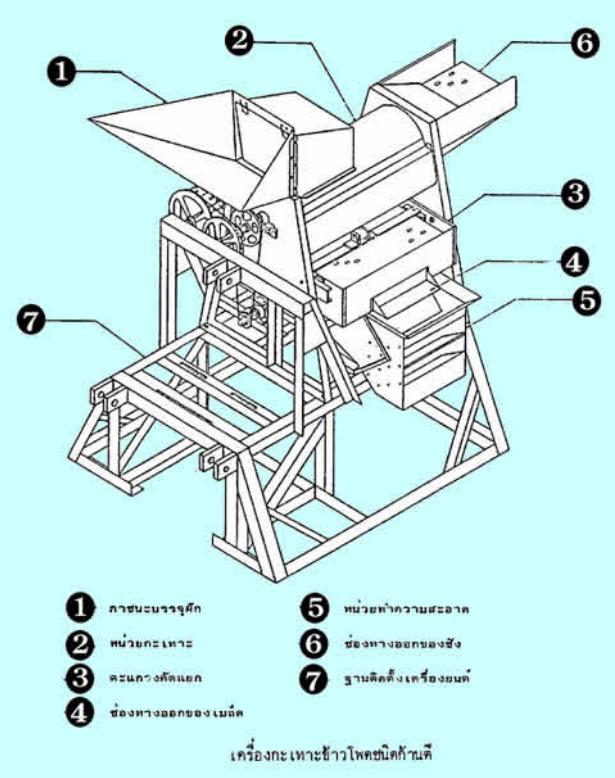
สำหรับผลหมากแห้ง Balasubramanian และ Panwar (1986) ได้ศึกษาหาสมบัติทางกลของหมากแห้งที่สัมพันธ์กับการปอกเปลือก ด้วยวิธีการทดสอบแรงกด แรงกระแทก และแรงเฉือน ในด้านแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแกนขั้วของผลหมากแห้ง Balasubramanian และ Panwar (1986) พบว่าการกดในแนวแกนจะประหยัดพลังงาน 58.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการกดในแนวตั้งฉากกับขั้วผล ที่ระยะกดเท่าๆ กัน และถ้าเป็นการกระแทกและการเฉือนควรจะกระทำในแนวตั้งฉากกับขั้วผลซึ่งจะประหยัดพลังงานถึง 65.1 และ 55.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการกระทำในแนวแกนในระยะกดที่เท่ากัน หมากที่ถูกตากแห้งจนระดับความชื้น 5-6 %wb จะปอกได้ง่าย ประหยัดพลังงาน และหลีกเลี่ยงการแตกของเมล็ดหมากได้

2. กลไกการแปรสภาพผลิตผลเกษตรและเครื่องจักรกลที่สัมพันธ์กัน

จากรายงานของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2537. การแกะหรือการกะเทาะเมล็ดข้าวโพดออกจากฝักนั้นกระทำได้ หลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้มือแกะ ใช้เครื่องมือขนาดเล็ก และใช้เครื่องกะเทาะขนาดใหญ่ในระดับอุตสาหกรรม เครื่องกะเทาะข้าวโพดที่ผลิตโดย โรงงานภายในประเทศที่เกษตรกรนิยมใช้นั้นมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่อง กะเทาะชนิดก้านตีและชนิดซี่

ลูกกะเทาะของเครื่องกะเทาะข้าวโพดชนิดก้านตีนี้มีลักษณะโปร่ง และมีก้านตี 4 อัน วางตัวอยู่ในตำแหน่งตรงข้ามบนโครงเหล็กหล่อ 3 อัน ที่ยึดติดกับเพลาประกอบเป็นลูกกะเทาะ บนก้านตีแต่ละอันมีซี่เหล็ก 7 ซี่เชื่อมติดในลักษณะเอียงทำมุมกับก้านตี ตะแกรงโค้งทำจากเหล็กแผ่นเจาะเป็นรู รูปวงรีและตัดโค้งอยู่ด้านล่างลูกกะเทาะเป็นตะแกรงที่ผู้ผลิตทำขึ้นเอง วัสดุ ผสมที่ได้จากการกะเทาะจะไหลผ่านรูตะแกรงโค้งและตกสู่ตะแกรงคัดแยก การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของตะแกรงก่อให้เกิดการแยกตัวระหว่างซัง และเมล็ดข้าวโพดในทิศทางตรงกันข้าม เมล็ดข้าวโพดจะตกผ่านรูตะแกรงคัดแยกและร่วงสู่ชุดทำความสะอาดซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กเรียงตัวเป็น ขั้นบันได เพื่อให้เมล็ดและฝุ่นผงแยกตัวออกจากกัน เนื่องจากการกระแทก กับชุดแผ่นเหล็กดังกล่าว โดยมีพัดลมดูดอากาศชนิดใบตรง 5 ใบดูดสิ่งเจือ ปนออกทิ้งไป ช่องปรับปริมาณอากาศของพัดลมดูดอากาศ

อยู่ทางด้านข้าง เพื่อควบคุมปริมาณอากาศให้เหมาะสมตามความต้องการ เมล็ดข้าวโพด สะอาดจะตกสู่ช่องทางออกหลักเพื่อเก็บรวบรวมต่อไป (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 เครื่องกะเทาะข้าวโพดชนิดก้านตี

ที่มา: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2537

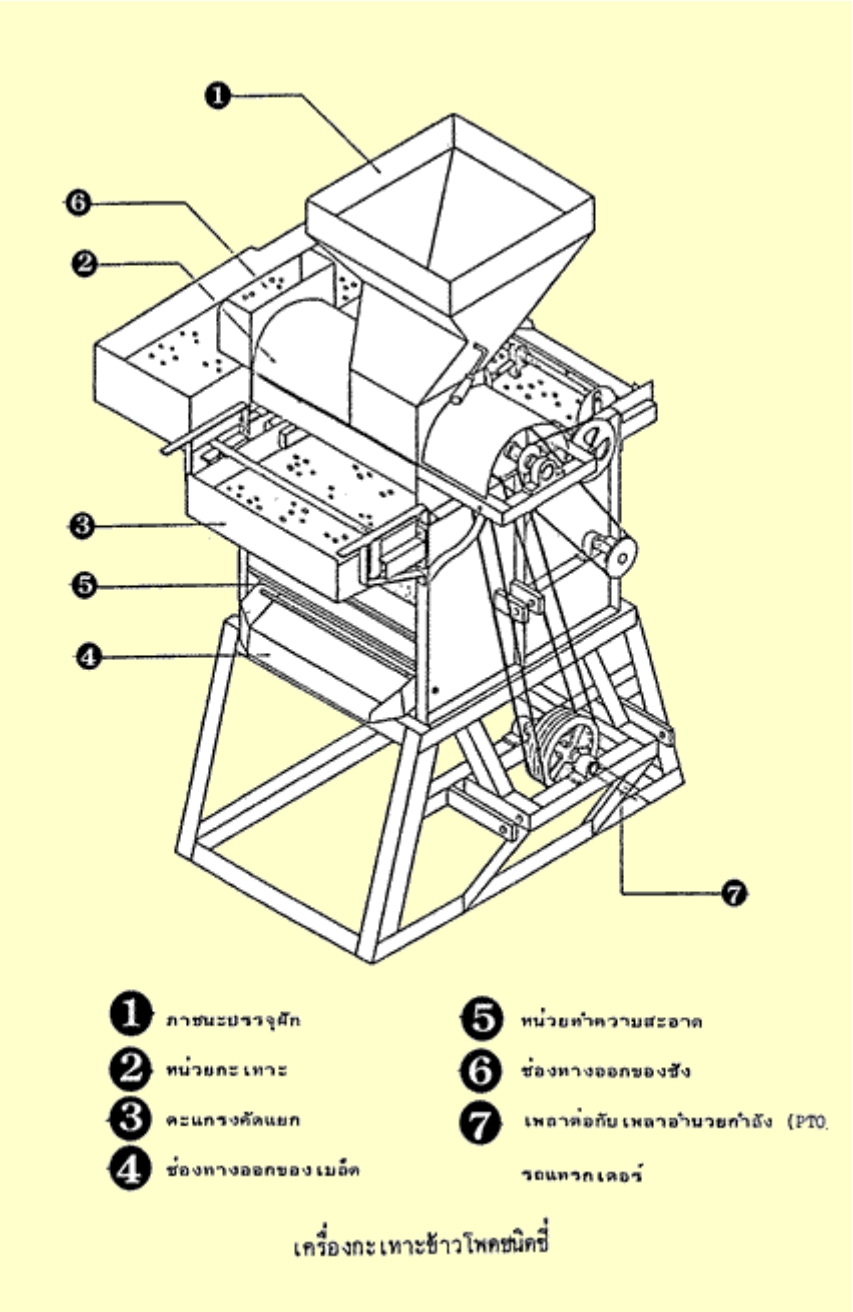
เครื่องกะเทาะข้าวโพดชนิดซี่ มีรายละเอียด คือ ลูกกะเทาะของเครื่องกะเทาะชนิดซี่นี้มีลักษณะทึบ มีซี่จำนวน 5 แถวเรียงตัวอยู่บนผิวของลูกกะเทาะ แบ่งเป็นแถวละ 6 ซี่ จำนวน 2 แถว และ 7 ซี่ 3 แถว แต่ละแถวจะมีซี่ซึ่งยาวกว่าซี่อื่น ๆ อยู่ 1 ซี่ การเรียงตัวของซี่ที่ด้านใกล้ภาชนะใส่ฝักมีลักษณะเป็นเกลียวเพื่อพาฝักออกไปยังปลายอีก ด้านหนึ่งขณะกะเทาะ ซี่ของลูกกะเทาะที่อยู่ถัดจากซี่ซึ่งยาวกว่าซี่อื่น ๆ ในแต่ละแถวจะวางตัวขนานกับแกนของลูกกะเทาะ ตะแกรงโค้งทำด้วยแผ่นเหล็กเจาะเป็นรูรูปวงรีเป็นตะแกรงชนิดสำเร็จรูป ตะแกรงคัดแยกมีลักษณะเป็นรูกลม การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างซังและเมล็ดไปในทิศทางตรงกันข้าม เมล็ดจะหล่นผ่านรูตะแกรงคัดแยกและตกลง บนชุดทำความสะอาด ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กเรียงตัวเป็นขั้นบันได เพื่อให้เมล็ดและฝุ่นผงแยกตัวออกจากกัน เนื่องจากการกระแทกกับชุดเหล็กดังกล่าวโดยมีพัดลมดูดอากาศชนิดใบตรง 5 ใบ ดูดสิ่งเจือปนออกทิ้งไป เช่นเดียวกับเครื่องกะเทาะชนิดก้านตี

ช่องปรับปริมาณอากาศของพัดลมดูด อากาศมี 2 ช่อง อยู่ทางด้านข้างเพื่อควบคุมปริมาณอากาศให้เหมาะสม เมล็ดข้าวโพดสะอาดจะตกลงสู่ช่องทางออกของเมล็ดเพื่อเก็บรวบรวมต่อไป (ตารางที่ 2 และภาพที่ 5)

ตารางที่ 2 รายละเอียดของเครื่องกะเทาะข้าวโพดชนิดซี่

หัวข้อ	รายละเอียด
1. ต้นกำลัง	รถแทรกเตอร์ขนาด 50-70 กำลังม้า
2. มิติ	159 x 186 x 265 ซม.
3. ลูกกะเทาะ	ชนิดซี่และมีลักษณะทึบ
- เส้นผ่าศูนย์กลาง	16.51 ซม.
- ความยาว	79.0 ซม.
- ลักษณะของซี่	เป็นซี่เหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1.27 x 3.18 x 2.86 ซม. จำนวน 5 แถว เรียงอยู่บนผิวของลูกกะเทาะ แถวที่มีซี่ 6 ซี่ มี 2 แถว ที่เหลือมี 7 ซี่ ในแต่ละแถวซี่เอียงเป็นมุม 30° กับแนวแกนลูกกะเทาะ ในแต่ละแถวมีซี่ที่ยาวที่สุดอยู่ 1 ซี่ เอียงเป็นมุม 30° เรียงเป็นเกลียว
- ระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะและตะแกรงโค้ง	4.7 ซม.
4. ตะแกรงโค้ง	เป็นตะแกรงรูปครึ่งวงกลม อยู่ด้านล่างลูกกะเทาะเจาะเป็นรูรูปวงรีขนาด 1.11 x 6.35 ซม. เป็นตะแกรงสำเร็จรูป ระยะห่างระหว่างรูข้างเคียง 1.9 ซม. และระหว่างแนวแกนของรู 2.38 ซม.
5. ตะแกรงคัดแยก	เป็นตะแกรงรูกลมทำด้วยเหล็กแผ่นบาง 1 อัน เส้นผ่าศูนย์กลางของรูมีขนาด 1.67 ซม. และเอียงเป็นมุม 1.42°
6. พัดลมดูดสิ่งเจือปน	เป็นพัดลมชนิดใบตรง 5 ใบ ขนาด 1.70 x 24.0 ซม.
7. ส่วนประกอบที่ปรับได้	ความเร็วรอบลูกกะเทาะ และปริมาณลมทำความสะอาดเมล็ด
8. จำนวนผู้ปฏิบัติงาน	6 – 8 คน

ที่มา: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2537



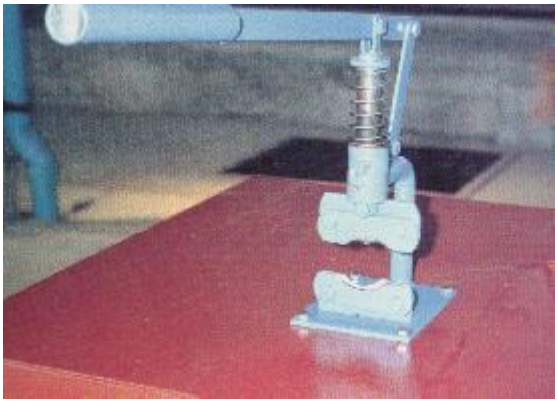
ภาพที่ 5 เครื่องกะเทาะข้าวโพดชนิดขี่

ที่มา: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2537

จากการทดสอบและการประเมินผลการทำงานของเครื่องกะเทาะข้าวโพดชนิดก้านตีและชนิดขี่ซึ่งผลิตโดยโรงงานในประเทศพบว่าอยู่ในระดับ น่าพอใจ ประสิทธิภาพการกะเทาะและการทำความสะอาดของเครื่องกะเทาะทั้งสองชนิดมีค่าร้อยละ 99 การสูญเสียเมล็ดเนื่องจากการกะเทาะ

ไม่หมด การสูญเสียเมล็ดจากช่องทางออกของสิ่งเจือปน และการสูญเสียเมล็ด จากการแตกหัก รวมกันน้อยกว่าร้อยละ 1.5 ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดเท่า กับร้อยละ 14.50 (มาตรฐานเปียก) และเมล็ดข้าวโพดที่ได้จากการกะเทาะ โดยใช้เครื่องกะเทาะทั้งสองประเภทได้มาตรฐานของเมล็ดข้าวโพดสำหรับ การส่งออกของกระทรวงพาณิชย์

การกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในประเทศไทย เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แรงงานคน เนื่องจากเครื่องกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระบบอัตโนมัติทั้งระบบมีราคาสูง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักก็ยังสูงมาก กองเกษตรวิศวกรรมจึงได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้แรงงานคน หลักการทำงานของเครื่องมือ คือ เมื่อกดใบมีดลง ใบมีดบนจะผ่าตรงเมล็ดที่วางอยู่บนใบมีดล่าง ทั้งนี้ต้องอาศัยความชำนาญในการกะเทาะ เพื่อควบคุมระยะการกดเพื่อผ่าเปลือกบน และเปลือกล่างของเมล็ด โดยที่ใบมีดไม่ทำให้เมล็ดเสียหาย แล้วบิดให้มีดบนง้างเปลือกออกเพื่อเพิ่มความสะดวกในการแยกเมล็ดในออกจากเปลือก(ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 เครื่องกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมมะพานต์ของกองเกษตรวิศวกรรม
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, 2544

เครื่องกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ออกแบบและพัฒนาโดยกองเกษตรวิศวกรรม มีความเร็วในการกะเทาะ 5-10 กิโลกรัม (เมล็ดใน) ต่อวัน เปอร์เซ็นต์เมล็ดสมบูรณ์ 70-95% ความสามารถใน การทำงานจะแตกต่างกันไป ตามขนาดของเมล็ดพันธุ์ และความชำนาญของผู้กะเทาะ

คันโยกสามารถปรับความสูงต่ำได้ โดยเลื่อนรูยึดน๊อตตามความถนัดของผู้ปฏิบัติงาน ใบมีดและบ่าสามารถถอดมาปรับแต่งให้เหมาะสมกับขนาดของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และสามารถสลับใบมีดและบ่าบนล่างได้ สามารถเปลี่ยนสปริงเพื่อเพิ่มหรือลดความแข็งในการกดได้

สุชาติ (2536) ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาปรับปรุงเครื่องกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ แบบกึ่งอัตโนมัติ และทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ แบบกึ่งอัตโนมัติ วศก. (มข.) ก1 โดยใช้ค่าชี้ผลการทำงาน คือ อัตราการป้อนเมล็ด ประสิทธิภาพการป้อนเมล็ด ประสิทธิภาพการกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มประกอบซีกที่กะเทาะได้ อัตราการแยกเมล็ดเนื้อในออกจากเปลือก ได้ดำเนินการปรับปรุงกลไกต่าง ๆ ของเครื่องกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แบบกึ่งอัตโนมัติใหม่ ดังนี้

1) ออกแบบปรับปรุงกลไกขับเคลื่อนหลัก ให้เป็นกลไกขับเคลื่อนจานลำเลียงเมล็ด ที่มีช่วงเวลาหยุดนิ่ง สำหรับการป้อนเมล็ดมากขึ้นกว่าเดิม 17.5% ที่ทุกระดับอัตราการลำเลียงเมล็ดโดยกลไก มีความแม่นยำในการขับเคลื่อนมากขึ้น และมีจำนวนชิ้นส่วนน้อยลง

2) ออกแบบปรับปรุงอุปกรณ์จับประคองเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยเปลี่ยนแปลงจากกลไกซึ่งการป้อนเมล็ดกระทำ ในขณะที่อุปกรณ์จับประคองเมล็ดอยู่ในลักษณะแคบสุด ให้เป็นกลไกที่ขับเคลื่อนให้อุปกรณ์จับประคองเมล็ดเปิดกว้างอยู่ สำหรับการป้อนเมล็ดแล้ว จึงเคลื่อนตัวให้แคบเข้าเพื่อจับประคองเมล็ด เป็นการเคลื่อนตัวเข้า-ออกแทนการเคลื่อนตัวแบบบิดตัว ไปด้านข้างเพื่อช่วยขจัดปัญหาระหว่างการป้อนสำหรับเมล็ดที่มีความหนาแตกต่างกัน

3) ออกแบบปรับปรุงชุดมีดบนและล่าง โดยเปลี่ยนแกนเพลาของชุดมีดบนและล่างเป็นเพลาสี่เหลี่ยมแทนเพลากลม ซึ่งเป็นผลทำให้การเคลื่อนที่ขึ้นลงเพื่อผ่าและฉีกเปลือกแม่นยำขึ้นและปรับปรุงกลไกการเคลื่อนที่ให้เป็นกลไกกดชุดมีดบน และยกชุดมีดล่าง ทำให้ลดจำนวนชุดมีดล่างจากจำนวน 3 ชุด เหลือเพียง 1 ชุด

4) ออกแบบปรับปรุงอุปกรณ์การลำเลียงเมล็ดออกจากจานลำเลียงเมล็ดหลังการผ่าและปีดฉีกเปลือก โดยออกแบบให้กลไก และอุปกรณ์บนจานลำเลียงเมล็ด สามารถลำเลียงเมล็ดให้หล่นออกจากจานลำเลียงได้เอง โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์กวาดปัดเมล็ดบนจานลำเลียง ซึ่งมีปัญหาความแม่นยำในการทำงาน

จากผลของการปรับปรุงกลไกต่าง ๆ ดังกล่าว และจากการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องที่ปรับปรุงใหม่และเครื่อง วศก. (มข.) ก1 สามารถสรุปผลการทำงานของเครื่องได้ดังนี้

1) อัตราการป้อนเมล็ดและประสิทธิภาพการป้อนเมล็ด พบว่าอัตราการป้อนเมล็ดของเครื่องปรับปรุงใหม่ สูงกว่าเครื่อง วศก. (มข.) ก1 27 - 34 % และประสิทธิภาพการป้อนเมล็ดสูงกว่า 16 - 19 % ในช่วงอัตราการลำเลียงเมล็ดของเครื่อง

2) ประสิทธิภาพการกะเทาะ พบว่าเครื่องปรับปรุงใหม่มีประสิทธิภาพการกะเทาะ 96.27 % และเครื่อง วศก. (มข.) ก1 เป็น 86.84 %

3) คุณภาพเมล็ดที่กะเทาะได้ พบว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดเนื้อในเต็มประกบซีกเฉลี่ยของเครื่องปรับปรุงใหม่เป็น 87.38 % และเครื่อง วศก. (มข.) ก1 เป็น 50.20 %

4) อัตราการแยกเมล็ดเนื้อในออกจากเปลือก พบว่าอัตราแยกเมล็ดเนื้อในออกจากเปลือกเฉลี่ยของเครื่องปรับปรุงใหม่เป็น 14.03 เมล็ด/นาที และเครื่อง วศก. (มข.)ก1 เป็น 9.51 เมล็ด/นาที

Henderson & Perry (1976) ได้เขียนไว้ว่า การกะเทาะเอาเปลือกข้าวออกทำได้โดย ปล่อยเมล็ดข้าวเปลือกผ่านลูกกลิ้งที่หมุนเข้าหากัน 2 อัน แรงเสียดทานจะเฉือนเปลือกออกทำให้ได้ข้าวกล้องออกมาใช้ประโยชน์ได้

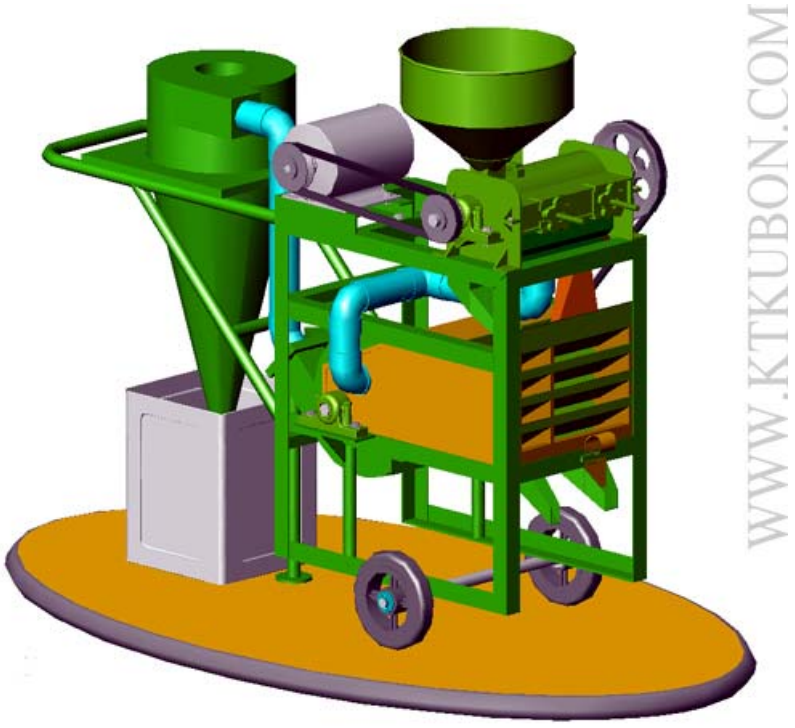
การสีข้าวของหัวสีข้าว จะใช้หินกากเพชรที่หล่อขึ้นรูปเป็นหินขัดข้าว โดยใช้ยางขัดข้าวมาทำหน้าที่เป็นตัวบีบบังคับให้ข้าวไปขัดสีกับหินขัดข้าว และระบบการขัดสีของหินขัดข้าวในปัจจุบันที่มีใช้กันอยู่ 2 ระบบด้วยกันคือ

1. หัวสีข้าวระบบใช้หินขัดสีข้าวในหินตั้ง (แกนตั้ง) เหมาะสำหรับขัดข้าวให้ขาว เป็นระบบการสีข้าวที่ไม่เป็นที่นิยมแล้วเนื่องจากได้เปอร์เซ็นต์เมล็ดข้าวต่ำ

2. หัวสีข้าวระบบใช้หินขัดสีข้าวในหินนอน (แกนนอน)จะมีความสามารถพิเศษกว่าหินตั้ง คือ หัวสีข้าวระบบนี้สามารถนำมาเป็นหินกะเทาะเปลือกข้าว หรือใช้เป็นหินขัดข้าวให้ขาวก็ได้ และที่เหนือไปกว่านั้นคือ สามารถทำการสีข้าวเปลือกออกมาเป็นข้าวสารในรอบเดียวได้เลย หมายถึง

หัวสีข้าวนี้สามารถทำหน้าที่ถึง 2 หน้าที่พร้อมๆ กันในรอบเดียว โดยกะเทาะเปลือกข้าวและขัดข้าวให้ขาวไปพร้อมๆ กันแบบรอบเดียวจบ ดังนั้นการสีข้าวในระบบนี้จะช่วยทำให้ได้รำมากเป็นพิเศษ เพราะหัวสีข้าวระบบนี้จะทำการบดแกลบบางส่วนให้เป็นรำไปในตัว โดยไม่ทำให้ข้าวที่ผ่านการสีนั้นเกิดความเสียหายแต่อย่างใด

หจก. อุบลกรุงไทยกลการ ได้สร้างเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก กำลังผลิตสามารถสีได้ชั่วโมงละ 30 - 40 กิโลกรัม สำหรับเกษตรกรไว้ใช้ในครัวเรือน ส่วนประกอบของเครื่องมีดังนี้คือ ขนาดลูกหิน 12 x 4 นิ้ว 1 ลูก (สีครั้งเดียว), ลูกยางขัดข้าวขนาด 12 x 4 นิ้ว 1 เส้น, ตู้สีฝัดแบบมาตรฐาน 1 ตู้ 2 ช่อง, พัดลมดูดรำ Turbo 1 ชุด, ไซโคลนรำ 1 ลูก, ใช้มอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า 1 ตัว มีแผงสวิทควบคุมมอเตอร์ 1 ชุด มีระบบแยกรำแบบโรงสีใหญ่ ช่วยทำให้ข้าวขาวสะอาด ได้เปอร์เซ็นต์หรือคุณภาพข้าวสูง เล็กกระทัดรัด ผลงานการสีข้าวของหัวสีข้าวระบบเทอร์โบชาร์จ จากข้าวเปลือกหอมมะลิความชื้นที่ 15 % ได้ข้าวสาร ปลายข้าว รำ และแกลบ เท่ากับ 66.66, 1.34, 21.15 และ 10.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 เครื่องสีข้าวตราเสือ ของ หจก. อุบลกรุงไทยกลการ

Wang (1963) ได้นำเอาหลักการกะเทาะผลโพฮาเบอรี่ด้วยลูกกลิ้ง 2 อัน หมุนเข้าหากันไป สร้างเป็นเครื่องกะเทาะและพบว่า ความเร็วของลูกกลิ้งมีอิทธิพลต่อความเสียหายของผลเบอรี่ สำหรับผลหมากแห้ง BaBoo (1981) ได้สร้างเครื่องปอกเปลือกหมากแห้ง ซึ่งประกอบด้วย ส่วนใบมีดซึ่งจะทำหน้าที่ เจาะเปลือกหมากลงไปจนถึงเมล็ดหมาก แต่ไม่ทำลายเมล็ด แล้วใช้มือโยกคันบิดเพื่อเปิดเปลือกออกทำให้เข้าถึงเมล็ดได้ มีการทำงานโดยถ่ายทอดกำลังจากการใช้เท้าเหยียบบนแป้นเพื่อส่งแรงมายังมีดกรรไกรให้เจาะเข้าไปในเปลือกหมากที่ก้นผล แล้วจึงบิดใบมีดด้านหนึ่งก็จะทำให้เปลือกหลุดออก การทำงานของเครื่องนี้สามารถปอกทีละผลได้ 60 กิโลกรัมต่อวัน เครื่องนี้ยังเป็นเครื่องที่มีสมรรถนะต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการกะเทาะด้วยมือ เฉลี่ยประมาณ 3.3 กิโลกรัม/ชั่วโมง (สมศักดิ์, 2547) สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรไทยปัจจุบันน้อย จนอาจไม่เป็นที่ยอมรับ เมื่อได้ค่าปอกกิโลกรัมละ 3 บาท ไม่พบรายงานผลหมากที่ปอกไม่ออกและความเสียหายของเมล็ดหมาก Balasubramanian และ Panwar (1986) ได้แนะนำว่าเพื่อลดปัญหาการแตกของเมล็ดหมาก การกะเทาะผลหมากแห้งควรใช้ล้อยางเป็นส่วนประกอบ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

วัสดุ

1. หมากสงเก็บใหม่ จำนวน 3,000 กก.

อุปกรณ์

1. ลานซีเมนต์ แผ่นสังกะสี ผ้าใบคลุมป้องกันฝน
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ AND (วัดได้ละเอียด 0.01 กรัม)
3. เวอร์เนียร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ MITZUTOYO (วัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร
4. เครื่องทดสอบแรงกดแรงดึง SHIMATZU ขนาด 10 ตัน
5. เครื่องวัดความเร็วรอบแบบใช้แสง ความละเอียด 0-9999 รอบต่อนาที
6. นาฬิกาจับเวลา ความละเอียด 0.01 วินาที
7. เกจวัดแรงดันลมยาง วัดได้ละเอียด 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
8. เครื่องอบแห้งเพื่อหาความชื้น
9. เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
10. ตะแกรงใส่ผลหมากที่ตากแห้ง

วิธีการ

1. การหาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลหมากและเมล็ดหมาก

ศึกษา สำรวจ และรวบรวมข้อมูลต่างๆ ทางกายภาพของหมาก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ ได้แก่ เส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่และเล็ก ความยาว และน้ำหนักของผลหมากตากแห้งทั้งผล ต่อไปเป็นการเฉาะที่ก้นผลแล้วแยกเปลือกออกเป็นสองซีกเท่าๆ กัน ดึงเมล็ดออกจากเปลือก เพื่อหาเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่และเล็ก ความยาว และน้ำหนักของเมล็ดหมาก และความหนาของเปลือก

ช่องว่างระหว่างเปลือกและเมล็ด และน้ำหนักของเปลือก โดยการเปรียบเทียบกับระยะเวลาตากแดดซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 7 สัปดาห์ มีรายละเอียดดังนี้

ก. หาคุณลักษณะทางกายภาพของผลหมากสงที่ตากบนลานซีเมนต์และแผ่นสังกะสี

ก.1 สุ่มผลหมากสงที่ซื้อมาจากเกษตรกร 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (30-40 กรัม) ขนาดกลาง (>40 - 50 กรัม) และขนาดใหญ่ (>50 - 60 กรัม) ขนาดละ 200 ผล ผลหมากตัวอย่างแต่ละขนาดแบ่งเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน ส่วนละ 100 ผล ใส่ขนาดและหมายเลขกำกับแต่ละผล ส่วนหนึ่งสำหรับตากบนลานตากซึ่งเป็นพื้นซีเมนต์ และส่วนที่สองสำหรับตากบนแผ่นสังกะสี

ก.2 ชั่งน้ำหนัก วัดความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่และเล็กของผลหมาก เป็นข้อมูลของวันเริ่มตากแห้ง (0 วัน) แล้วนำผลหมากสงทั้งสองส่วนไปตากแดด พร้อมติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ คอยดูแลไม่ให้หมากที่ตากแดดถูกฝนตลอดการทดสอบ

ก.3 บันทึกข้อมูล ตามข้อ ก.2 เมื่อเวลาผ่านไป ทุกๆ 7 วัน จนครบกำหนด 7 สัปดาห์

ก.4 นำผลหมากแห้งทั้งหมดไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง (หรือจนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง) เพื่อหาน้ำหนักแห้ง และนำค่าน้ำหนักนี้ไปคำนวณหาค่าความชื้นของผลหมากในแต่ละสัปดาห์ได้

นำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ของความชื้น น้ำหนัก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่และเล็ก และความยาวของผลหมาก เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ตากแห้งเป็นสัปดาห์

ข. การหาสมบัติเชิงกลของผลหมากสงที่เก็บมาใหม่ และที่ตากบนลานซีเมนต์

ข.1 สุ่มผลหมากสงที่ซื้อมาจากเกษตรกร 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (30-40 กรัม) ขนาดกลาง (>40 - 50 กรัม) และขนาดใหญ่ (>50 - 60 กรัม) ขนาดละ 140 ผล มาตากบนลานซีเมนต์ 140 ผล และบนแผ่นสังกะสี 140 ผล

ข.2 นำผลหมากสงขนาดละ 20 ผล มาทำ Quasi-static compression test แบบ Flat Plate Loading กับเครื่อง UTM เพื่อหาค่าแรงกดแตกหัก (Rupture Force) ของผลหมากสงที่เก็บมาใหม่ทันที โดยกดในแนวตั้งฉากกับแกนขั้วของผลและเมล็ดหมาก อย่างละ 10 ผล

ข.3 นำผลหมากที่ผ่านการตากบนลานปูนในทุก ๆ สัปดาห์ มาทดสอบ Quasi-static compression กับเครื่อง UTM เช่นเดียวกับข้อ ข.2 ขนาดละ 20 ผล อีก 7 ครั้ง สำหรับระยะเวลาตากแดด 7 สัปดาห์

ข.4 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแรงกดแตกหักของเปลือกและเมล็ดหมาก เปรียบเทียบกับระยะเวลาตากแดด

2. การออกแบบเครื่องปอกเปลือกหมาก

การออกแบบเครื่องปอกเปลือกหมากเป็นการออกแบบระบบการปอกด้วยวิธีการใช้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมุนของล้อยางทำให้ผลหมากแห้งถูกแรงกดจนเปลือกแตกแต่แรงกดนี้จะไม่เกินจุดแตกหักของเมล็ดหมาก และเปลือกจะถูกฉีกออกเพื่อให้เมล็ดสามารถหลุดออกจากเปลือกได้เมื่อเคลื่อนที่ผ่านแท่งเหล็กกลมขนาด 9.5 มม. ที่เชื่อมเรียงกันเป็นทุกระยะ 15 มม. เพื่อให้เกิดแรงเสียดทาน แรงกดและแรงเฉือนนี้จะสามารถเพิ่มหรือลดได้โดยการบีบหรือคลายตะแกรงเหล็กที่สร้างไว้รอบขอบล้อยาง และเพื่อให้การปอกเปลือกกระทำได้ดีขึ้นจึงได้ออกแบบให้มีล้อยางสองชุดวางเรียงกันโดยใช้มอเตอร์ตัวเดียวขับส่งกำลังผ่านสายพานและมู่เลย์ ซึ่งสามารถแบ่งส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นมา เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ถังใส่ผลหมากแห้ง ชุดปอกเปลือกหมาก และชุดต้นกำลัง มีรายละเอียดของการออกแบบดังต่อไปนี้

2.1 ถังใส่ผลหมากแห้ง

ถังป้อนมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมปากกว้างและสอบลงมาเพื่อส่งผลหมากแห้งเข้าสู่ชุดปอกเปลือก ทำด้วยเหล็กแผ่น หนา 1.2 มม. และสามารถบรรจุผลหมากได้ 2 กก.

2.2 ชุดปอกเปลือกหมากแห้ง

เลือกใช้วัสดุที่ยืดหยุ่นได้ คือล้อยางรถตุ๊ก ๆ ขนาด 155-10 จำนวน 2 ล้อ เรียงต่อกันในแนวดิ่งต่อจากถังป้อน เมื่อลากเส้นระหว่างจุดศูนย์กลางของล้อทั้งสองจะทำมุม 42 องศากับแนวระนาบ มีตะแกรงซึ่งทำจากแท่งเหล็กกลมทำหน้าที่ในการสร้างแรงฉีกเปลือก ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

เมื่อสมมติให้เพลากลมรับแรงกดผลหมากในแนวดิ่งที่บริเวณกึ่งกลางเพลา โดยมีความยาวของเพลากลม 15 ซม และต้องการให้รับแรงกดจากล้อยางไม่น้อยกว่า 1,000 นิวตัน คานจะยุบตัวพร้อมๆ กับล้อยางก็ยุบตัวด้วย ความเค้นดัด (bending stress) ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

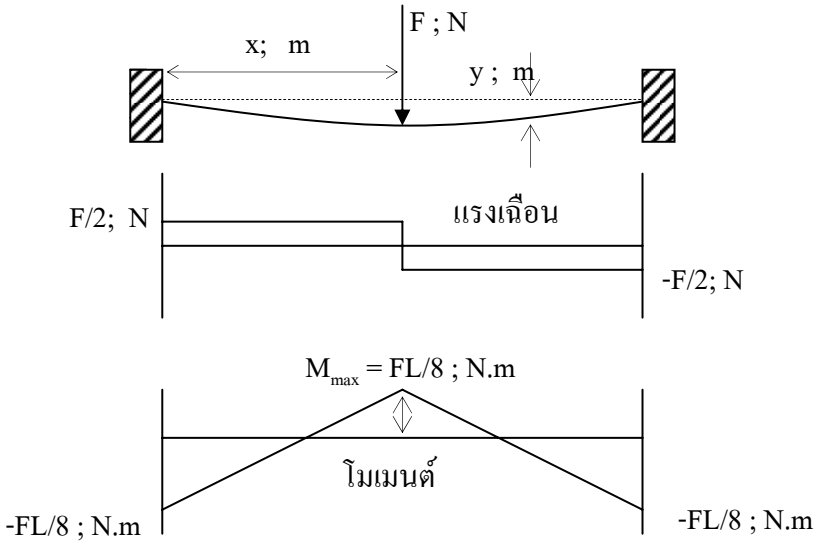
$$\sigma_b = Mc/I = 32\ M/\pi d^3$$ (วริทย์ และชาญ, 2538)

โดยที่ M = โมเมนต์ดัด

c = ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis) ไปยังผิวนอกสุด

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของเพลา



สมมติเลือกใช้เพลาที่ทำจากวัสดุ AISI 1030 CD ซึ่งมีค่า σy = 76 ksi หรือ 524.02 N/mm^2 และเลือกใช้ Safety Factor = 2 ดังนั้น σ_b = 524.02/2 = 262.01 N/mm^2

ดังนั้น ความเค้นดัด $\sigma_b = Mc/I = 32\ M/\pi d^3$

$= (32 \times 1000 \times (150/8)) / (3.1416\ d^3)$

$= 190.986 \times 10^3 / d^3$ N/mm^2

แทนค่า $262.01 = 190.986 \times 10^3 / d^3$

เพราะฉะนั้น d = 9.0 mm

เลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลาซึ่งมีขายตามท้องตลาดขนาด 9.5 มม. ยาว 15 ซม. จำนวน 76 อัน มีระยะระหว่างแท่งเหล็กแต่ละอันเท่ากับ 15 มม. ระยะระหว่างตะแกรงกับล้อยางจะโค้งตามเส้นรอบวงของล้อยางล้อแรก และเชื่อมต่อลงมาจนถึงล้อยางล้อที่สอง โดยออกแบบให้สามารถปรับระยะระหว่างล้อยางกับตะแกรงได้เพื่อเพิ่มหรือลดแรงบีบผลหมากที่แต่ละล้อยางทั้งสอง

2.3 ชุดถ่ายทอดกำลังและต้นกำลัง

สมมติว่าชุดปอกเปลือกหมากเริ่มจากสภาวะหยุดนิ่งและเมื่อใช้เวลาประมาณ 2 วินาที ล้อยางหมุนด้วยรอบคงที่ และให้ล้อยางหมุนด้วยความเร่งเชิงมุมคงที่

จากสมการ $\omega = \omega_0 + \alpha t$

เมื่อ ω = ความเร็วเชิงมุมใช้งานที่ 2 วินาที (rad/sec)

ω_0 = 0 (เริ่มจากหยุดนิ่ง)

α = ความเร่งเชิงมุมของล้อยาง (rad/sec^2)

t = เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนความเร็วเชิงมุมจาก ω_0 เป็น ω

จากการทดสอบเครื่องปอกเปลือกหมากของเกษตรกร ต้องการความเร็วรอบของล้อยาง (ω) = 508 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นรอบที่ใช้ในการทดสอบสูงสุด หรือเท่ากับ 2π x 508/60 = 53.2 rad/sec

ดังนั้น $\alpha = \omega/t = 53.2/2 = 26.6$ rad/sec^2

จากสมการคำนวณหาค่าโมเมนต์รอบเพลาชุดปอกเปลือกได้

$$M = I\alpha$$

เมื่อ $I = \frac{1}{2} \times m \times r^2 = 0.5 \times$ (น้ำหนักของชุดล้อยาง+มู่เลย์ขนาด 12 นิ้ว) $\times 0.248^2$

$= 0.5 \times (15.32+2.67) \times 0.248^2 = 0.55$ Kg.m^2

$\alpha = 26.6$ rad/sec^2

ดังนั้น $M = 0.55 \times 26.6 = 14.72$ kg.m^2/sec^2 หรือ N.m

จากสมการคำนวณหาค่ากำลังที่ใช้ขับชุดปอกเปลือกได้ (ให้ประสิทธิภาพการถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ามาสู่ชุดปอกเปลือกเท่ากับ 0.90 เปอร์เซ็นต์ ผ่านสายพานวี 1 เส้น)

$$0.90\ P_1 = M \times \omega$$

แทนค่า จะได้ $P_1 = (1/0.90) \times 14.72 \times 53.2 = 870.11$ วัตต์

จากการทดสอบแรงกดเปลือกหมากแตกสูงสุดเท่ากับ 142 นิวตัน และสมมติให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) เท่ากับ 0.1 ดังนั้น ค่ากำลังที่ใช้ในการปอกเปลือก เท่ากับ

$$P_1 = Fv = \mu \times N \times r \times \omega$$

$= 0.1 \times 142 \times 0.248 \times 53.2 = 187.35$ วัตต์

เนื่องจากเครื่องปอกเปลือกหมากมีล้อยาง 2 ล้อ จึงต้องการพลังงานเป็น 2 เท่า คิดเป็น $2 \times (870.11 + 187.35) = 2{,}114.92$ วัตต์

เลือกต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งมีขายตามท้องตลาด คือ 3 แรงม้า คิดเป็นกำลัง $3 \times 746 = 2{,}238$ วัตต์ ซึ่งมากเพียงพอต่อการใช้งาน

3. หลักเกณฑ์ในการออกแบบ

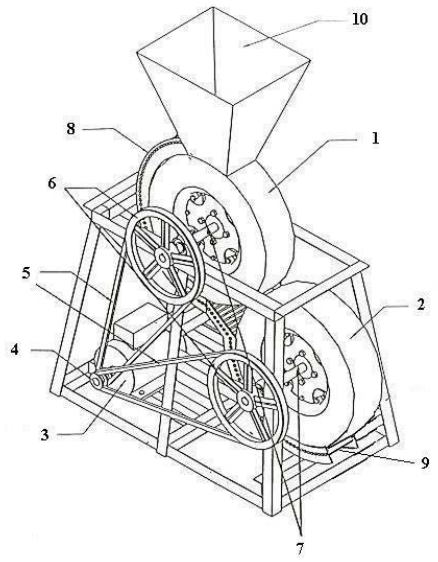
เพื่อให้การออกแบบบรรลุวัตถุประสงค์ที่ต้องการ จึงได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการออกแบบเครื่องปอกเปลือกหมาก ดังนี้

1. ประหยัดเวลาและแรงงานในการปฏิบัติงาน

2. เครื่องปอกเปลือกหมากที่ออกแบบ ต้องสามารถใช้ได้กับหมากทุกขนาดและมีเปอร์เซ็นต์เม็ดดีแตกไม่เกิน 10% โดยน้ำหนัก

3. เครื่องปอกเปลือกหมากควรมีการทำงานไม่ซับซ้อน สามารถบำรุงรักษาง่าย และมีความปลอดภัย

4. การปอกเปลือกหมากเป็นแบบการใช้คนป้อนผลหมากแห้งทีละผลต่อเนื่อง หลังจากเครื่องปอกเปลือกแล้ว ใช้คนแยกเมล็ดหมากที่ได้ และแกะเมล็ดหมากที่อยู่ในเปลือกหมากที่แตกแล้วที่เหลือ



หมายเลข รายละเอียด

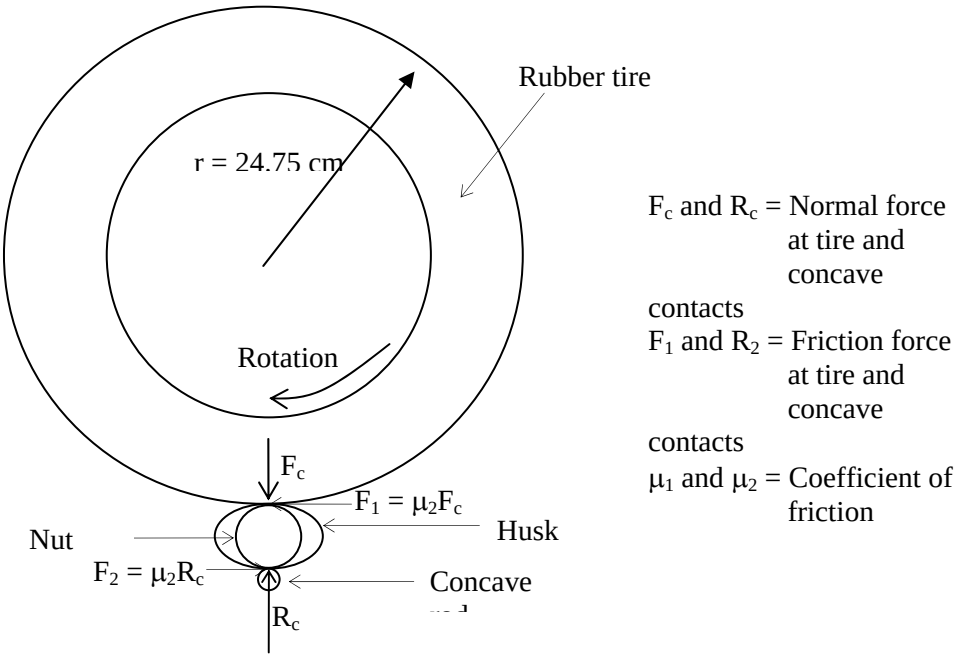
1. ล้อยางขนาด 155-10 ล้อที่ 1
2. ล้อยางขนาด 155-10 ล้อที่ 2
3. มอเตอร์ไฟฟ้า 220 โวลต์ ขนาด 3 แรงม้า.
4. มู่เลย์ขับ ขนาด 3 ½ นิ้ว
5. สายพานวี ขนาด 68 และ 69 นิ้ว
6. มู่เลย์ตาม ขนาด 12 นิ้ว
7. เพลาล้อ ขนาด 1 นิ้ว
8. ตะแกรง
9. เพลาตะแกรงขนาด 9.5 มม.
10. ถังป้อนขนาด 2 กิโลกรัม

ภาพที่ 8 ภาพสามมิติของเครื่องกะเทาะผลหมากต้นแบบ

จากภาพที่ 8 แสดงรายละเอียดของเครื่องกะเทาะผลหมากต้นแบบ มีความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 92, 107 และ 128 เซนติเมตร ตามลำดับ มีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ ก) ถังใส่ผลหมากแห้ง, ข) ชุดกะเทาะผลหมากแห้ง และ ค) ต้นกำลัง ถังป้อนมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมปากกว้างและสอบลงมาเพื่อส่งผลหมากแห้งเข้าสู่ชุดกะเทาะ ทำด้วยเหล็กแผ่น หนา 1.2 มม. และสามารถบรรจุผลหมากได้ 10 กก. ชุดกะเทาะผลหมากแห้ง ทำด้วยล้อยางรถตุ๊ก ๆ ขนาด 10-5.00 จำนวน 2 ล้อ เรียงต่อกันในแนวดิ่งต่อจากถังป้อน เมื่อลากเส้นระหว่างจุดศูนย์กลางของล้อทั้งสองจะทำมุม 42 องศากับแนวระนาบ มีตะแกรงซึ่งทำจากแท่งเหล็ก กลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 มม. ยาว 15 มม. จำนวน 76 อัน มีระยะระหว่างแท่งเหล็กแต่ละอันเท่ากับ 15 มม. ระยะระหว่างตะแกรงกับล้อยางจะโค้งตามเส้นรอบวงของล้อยางล้อแรก และเชื่อมต่อลงมาจนถึงล้อยางล้อที่สอง โดยออกแบบให้สามารถปรับระยะระหว่างล้อยางกับตะแกรงได้เพื่อเพิ่มหรือลดแรงบีบผลหมากที่แต่ละล้อยางทั้งสอง สำหรับส่วนสุดท้ายจะเป็นต้นกำลังที่ใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า 220 โวลต์ 50 เฮิรต์ ส่งกำลังผ่านมู่เลย์และสายพานไปยังเพลาของล้อยางทั้งสอง การเปลี่ยนความเร็วรอบใช้วิธีการเปลี่ยนอัตราทดรอบโดยใช้มู่เลย์

4. หลักการทำงานของเครื่องปอกเปลือกหมาก

เมื่อป้อนผลหมากแห้งที่ละผลลงในถังบรรจุ (Hopper) การหมุนของล้อยางและแรงโน้มถ่วงจะทำการดึงผลหมากแห้งเข้าสู่ชุดกะเทาะ ผลหมากแห้งจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างที่แคบลงเรื่อยๆ ในภาพที่ 9 ที่จุดสัมผัสระหว่างผลหมากแห้งกับล้อยางด้านหนึ่งและอีกด้านหนึ่งจะเป็นจุดสัมผัสของผลหมากกับแท่งเหล็กตะแกรงจะเกิดแรงบีบขึ้นมาทั้งสองจุดเข้าหากัน เมื่อล้อยางหมุนจะเกิดแรงเสียดทานที่มีขนาดต่างกันและทิศทางตรงกันข้าม แรงเสียดทานนี้จะทำการเฉือนเปลือกและทำให้กะลาแตก แต่เมล็ดหมากซึ่งอยู่ภายในกะลามีความแข็งสูงกว่ากะลามาก (Niamhom and Jarimopas, 2005) จึงทำให้เมล็ดหมากหลุดจากเปลือกได้ และด้วยการหมุนของล้อยางทั้งสองจึงส่งเมล็ดและเปลือกหมากออกมาที่ช่องเปิดด้านหน้าของล้อที่สอง แต่จากการทดสอบเครื่องของเกษตรกรแล้วทำให้ทราบว่าจะต้องทำการป้อนซ้ำอย่างน้อยสองรอบ จึงได้ทำการสร้างเป็นล้อยางสองล้อต่อเนื่องกันโดยใช้การออกแบบให้รอบหมุนเท่ากัน (Jarimopas and Niamhom, 2004)



ภาพที่ 9 ภาพของผลหมากที่อยู่ภายใต้แรงกดปกติและและแรงเฉือนด้วยแรงเสียดทาน

5. การทดสอบการปอกเปลือกหมากโดยใช้แรงงานคน

ทดสอบปอกเปลือกหมากโดยใช้แรงงานคนเพื่อทราบเวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกหมาก ค่าใช้จ่ายในการปอกเปลือก

1. อุปกรณ์

1.1 หมากแห้งทั้งผล
1.2 มีดที่ใช้ในการปอกเปลือกหมาก
1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก
1.4 นาฬิกาจับเวลา

2. วิธีการทดสอบ

2.1 เตรียมหมากแห้งสำหรับใช้ในการทดสอบ

2.2 ปอกเปลือกหมากโดยใช้แรงงานที่มีความชำนาญและจับเวลาขณะทำการปอกเปลือก

2.3 ทดสอบโดยใช้คนงาน จำนวน 5 คน จับเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดหมากแห้งที่ได้ภายหลังการปอกเสร็จไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาอัตราการปอก

6. วิธีการทดสอบและประเมินผลเครื่องปอกเปลือกหมาก

1. การหาความชื้นของผลหมากที่เหมาะสมกับการปอกหมากเชิงกล

ความชื้นในผลหมากแห้งมีค่าแปรเปลี่ยนตามระยะเวลาในการตากแดด และส่งผลกระทบต่อการกะเทาะให้ได้เมล็ดเต็ม ซึ่งได้ทำการทดสอบประเมินผลดังนี้

นำผลหมากสงที่เก็บมาใหม่จากจังหวัดชุมพร มาตากบนพื้นที่ลาดด้วยยางแอสฟัสระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ และมีนาคม 2550 เมื่อได้ระยะเวลา 4 สัปดาห์แล้ว เริ่มเก็บตัวอย่างผลหมาก (ขนาดกลาง: น้ำหนักประมาณ 15 – 20 กรัม) จำนวน 6 ถุง ๆ ละ 60 ผล นำไปหาความชื้นด้วยเตาอบ 1 ถุง (ISOTHERM, USA ที่อุณหภูมิ 105 ^{o}C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) ตามสมการดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักหมากก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหมากหลังอบ}}{\text{น้ำหนักหมากก่อนอบ}} \times 100 \qquad (1)$$

นำไปทดสอบด้วยเครื่องกะเทาะผลหมากแห้งต้นแบบ 5 ถุง บันทึกและคำนวณหาตัวแปร การปอกได้เมล็ดเต็ม เมล็ดหมากแตก ผลหมากที่ปอกไม่ออก และประสิทธิภาพการทำงาน โดยตั้งค่าการทำงานของเครื่องที่สภาวะที่เหมาะสมจากรายงานของ สุทธิพร และคณะ (2007) ที่แรงดันของลมยาง และรอบการหมุนของล้อยาง เท่ากับ 138 KPa และ 440 รอบต่อนาที ทดสอบซ้ำแบบเดียวกันทุกสัปดาห์ต่อเนื่องอีก 5 ครั้ง การจำแนกและการคำนวณค่าตัวแปร กระทำตามสมการดังนี้

การจำแนก

นำหมากที่ได้จากการปอกด้วยเครื่องทั้ง 60 ผล มาจำแนกและชั่งน้ำหนักแยกเป็น จำนวนและน้ำหนักของเมล็ดหมากเต็มหลังการปอกโดยเครื่อง (F, w_m), จำนวนและน้ำหนักของหมากแตก (B, w_b),

จำนวนและน้ำหนักของหมากที่เมล็ดไม่หลุดออกจากเปลือก(U, w_{uh}) และ น้ำหนักของเปลือกรวมสิ่งเจือปนอื่นๆ (w_h)

การคำนวณ

ร้อยละของเมล็ดเต็ม PF = จำนวนเมล็ดหมากเต็มเมล็ด, F* 100/ 60 (2)

ร้อยละผลหมากที่ปอกไม่ออก PU = จำนวนผลหมากที่ปอกไม่ออก, U * 100 /60 (3)

ร้อยละของเมล็ดหมากแตก PB = 100 – PF – PU (4)

ประสิทธิภาพการทำงาน

PS = (F + 0.15 B + 0.5 U)/ Number of fruits x 100 (5)

เมื่อ PS = ประสิทธิภาพการผลิตเมล็ดหมากแห้ง เป็นร้อยละ

F = จำนวนเมล็ดหมากเต็มเมล็ดที่ปอกได้โดยเครื่อง (เมล็ดหลุดออกจากเปลือกแล้ว)

B = จำนวนเมล็ดหมากแตกซึ่งจะมีมูลค่าเทียบกับเมล็ดหมากเต็มเพียง 15% เนื่องจากต้องขายในประเทศไม่สามารถส่งออกได้

U = จำนวนเมล็ดหมากที่ปอกไม่ได้(เมล็ดที่ต้องใช้คนดึงเมล็ดออกจากเปลือก) จะมีมูลค่าเทียบกับเมล็ดหมากเต็ม 50% เนื่องจากสามารถนำไปขายในราคาเดียวกับ F แต่ต้องเสียค่าแรงงาน 50%

2. การหาขนาดของผลหมากแห้งและช่องว่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางที่เหมาะสม

การศึกษาหาผลกระทบของขนาดของผลหมากแห้งต่อประสิทธิภาพการปอกผลหมากแห้ง ทำได้โดยสุ่มตัวอย่างผลหมากแห้งที่ความชื้นที่เหมาะสมจากข้อ 1 มาทดสอบโดยแบ่งผลหมากแห้งเป็น 3 ขนาด (เล็ก= 10 - 15 กรัม, กลาง =>15 - 20 กรัม และ ใหญ่ =>20 - 25 กรัม) ปอกผลหมากด้วยเครื่องต้นแบบซึ่งใช้สภาวะที่เหมาะสม (จากการทดสอบข้อ 1) จำนวน 60 ผล/การทดสอบ ทำ

การทดสอบ 5 ซ้ำ สำหรับแต่ละขนาด วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการทำงานด้วยวิธีการ LSD และ DMRT

3. การหาแรงดันลมยางและรอบหมุนของล้อยางที่เหมาะสม

การศึกษาหาผลกระทบของแรงดันลมยางและรอบหมุนของล้อยางที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปอกผลหมากแห้งทำได้โดยเลือกทดสอบกับขนาดของผลหมากและระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวของล้อยางที่เหมาะสมตามข้อ 2 โดยสุ่มตัวอย่างผลหมากแห้งที่ความชื้นที่เหมาะสมจากข้อ 1 จากนั้นนำมาทำการทดสอบโดยมีปัจจัยควบคุม 2 ตัว คือ ความเร็ว (ω) ของลูกนวดล้อยาง 5 ระดับ (320 370 440 508 และ 645 รอบต่อนาที) และแรงดันลมยาง 5 ระดับ (0 69 138 207 และ 276 KPa) ใช้ตัวอย่าง 5 ซ้ำสำหรับแต่ละ combination ของปัจจัยควบคุม และ 60 ผลต่อซ้ำ จำแนกและคำนวณค่าตัวแปรตามข้อ 1 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการทำงานด้วยวิธีการ LSD และ DMRT

4. การทดสอบการปฏิบัติงานของเครื่องที่สภาวะเครื่องเหมาะสมและสภาวะหมากที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง

ในสภาพความเป็นจริงแล้วเกษตรกรจะทำการกะเทาะผลหมากแห้งแบบคละขนาดกันไปทั้งหมดอย่างต่อเนื่อง จึงต้องทดสอบโดยเลือกใช้สภาวะของเครื่องที่เหมาะสมและสภาวะของหมากที่เหมาะสมจากการทดสอบทั้ง 3 ข้อที่แล้ว มาเป็นปัจจัยคงที่ แล้วดำเนินการทดสอบ 5 ซ้ำ ๆ ละ 10 กิโลกรัม คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การกะเทาะได้เต็มเมล็ด เมล็ดแตก และกะเทาะไม่ได้ และประสิทธิภาพการผลิต และวิเคราะห์ทางสถิติ

7. การวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

วันชัย และชอุ่ม (2538) กล่าวว่าเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกโครงการหรือบริการ ซึ่งมีความมุ่งหมายเพื่อประหยัดทรัพยากร โดยเน้นความคุ้มค่าและก่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เป็นการประเมินต้นทุนเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน การประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องปอกเปลือกหมากในที่นี้คิดเฉพาะราคาที่จัดซื้อหรือสร้าง ไม่คิดค่าที่ดิน โรงเรือน ค่าประกันโรงเรือน และอื่นๆ

1. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First Cost) ต้นทุนเริ่มแรก คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับลงทุนเริ่มต้น เช่น เครื่องจักร ที่ดิน เป็นต้น

2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost) คือต้นทุนในการดำเนินการ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไปเพื่อให้เกิดผลผลิต

2.1 ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) คือค่าที่คงที่ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเสียโอกาสของทุนในเครื่องปอกเปลือกหมาก

2.2 ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) คือค่าใช้จ่ายที่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามปริมาณหมากแห้งที่นำมาปอก

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการปอกเปลือกหมาก หาได้จาก

$$AC = FC + VC \quad (6)$$

เมื่อ AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการปอกเปลือกหมาก (บาท/ปี)
FC = ค่าเสื่อมราคาของเครื่องปอกเปลือกหมาก (D) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)
VC = ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M)

ค่าเสื่อมราคา (คิดวิธีเส้นตรง)

$$DP = (P - S)/L \quad (7)$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$I = ((P + S)/2) \times i/100 \quad (8)$$

โดยที่ P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องปอกเปลือกหมาก (บาท)

L = อายุการใช้งานเครื่องปอกเปลือกหมาก= 10 ปี

S = ราคาเครื่องเมื่อใช้งานครบ 10 ปี = 0.1 P (บาท)

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี (บาท/ปี)

I = ค่าเสียโอกาสในการลงทุนต่อปี (บาท/ปี)

i = อัตราดอกเบี้ยต่อปี

ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมีสมมติฐานของการลงทุนคือ

1. ราคาผลิตภัณฑ์คงที่ เพราะฉะนั้นรายได้จากการวิเคราะห์จะเป็นเส้นตรง
2. ผลิตภัณฑ์สามารถขายได้หมดไม่ว่าจะผลิตเท่าไร
3. อัตราดอกเบี้ยคงที่
4. ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันแยกออกจากกันได้ชัดเจน
5. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเศรษฐกิจไม่มีผลต่อราคาผลิตภัณฑ์
6. นโยบายระดับบริหาร วิทยาการ และประสิทธิภาพของการดำเนินงานไม่เปลี่ยนแปลง

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD โดยการทดสอบข้อที่ 2 ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ รอบการหมุนของล้อยางทั้งสองล้อ และ แรงดันลมยาง โดยที่ปัจจัยรอบการหมุนของล้อยางทั้งสองล้อ ทดสอบที่ความเร็วรอบ 320, 370, 440 508 และ 645 รอบต่อนาที และแรงดันลมยางทดสอบที่แรงดัน 0, 69 138 207 และ 276 KPa การวิเคราะห์วัดความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD) ซึ่งมีแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของการทดสอบดังนี้คือ

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad (9)$$

เมื่อ y_{ijk} = ค่าสังเกตของหน่วยทดลอง k ที่ได้รับทรีทเมนต์ของระดับที่ i ของปัจจัย α และระดับที่ j ของปัจจัย β

μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของค่าสังเกต

α = อิทธิพลของรอบการหมุนของล้อยางทั้งสองที่ระดับ i (i = 1,2, . . . ,n)

β = อิทธิพลของแรงดันของล้อยางทั้งสองที่ระดับ j (j = 1,2, . . . ,m)

$\alpha\beta$ = อิทธิพลร่วมระหว่างรอบการหมุนและแรงดันของล้อยางทั้งสอง

ε = ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบ

โดยที่ i_1 = 320 rpm, i_2 = 370 rpm, i_3 = 440 rpm, i_4 = 508 rpm และ i_5 = 645 rpm

j_1 = 0 KPa , j_2 = 69 KPa, j_3 = 138 KPa, j_4 = 207 KPa และ j_5 = 276 KPa

สถานที่ทำการวิจัย

ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ระยะเวลาในการวิจัย

เริ่มต้น มกราคม 2547 สิ้นสุด ธันวาคม 2549

ผลและวิจารณ์

จากตารางที่ 3 การทดสอบโดยใช้แรงงานคน คนงานสามารถปอกหมากได้เฉลี่ย 3.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในการปอกเปลือกหมากจะจ้างแรงงานในการปอกราคากิโลกรัมละ 3 บาท

ตารางที่ 3 อัตราการปอกเปลือกหมากโดยใช้แรงงานคนในการปอก

คนที่	อัตราการปอกเปลือก (กก./ชั่วโมง)
1	3.5
2	3.4
3	3.1
4	3.3
5	3.2
ค่าเฉลี่ย	3.3

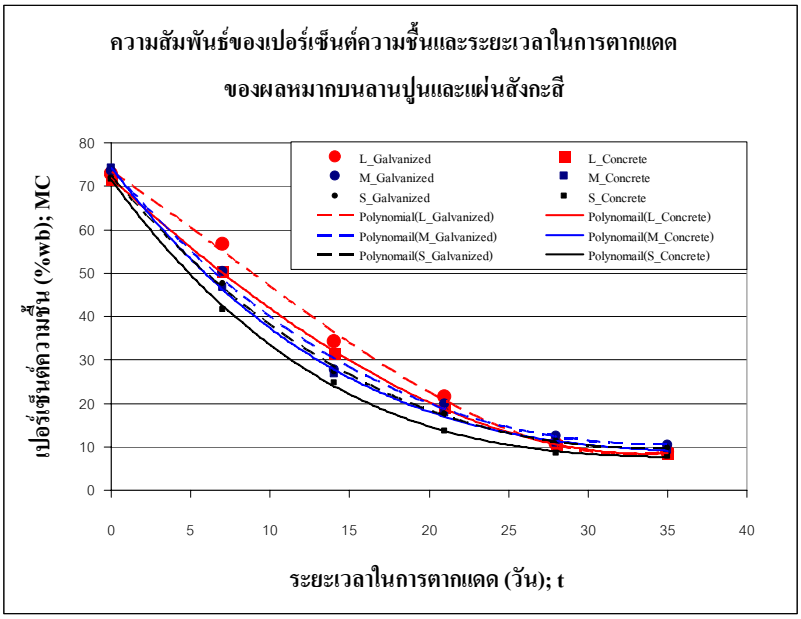
การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลหมากและเมล็ดหมาก

ความชื้น

ภาพที่ 10 แสดงการกระจายความชื้นของผลหมาก 3 ขนาด ที่ตากบนลานปูนและแผ่นสังกะสี เป็นเวลา 35 วัน โดยความชื้นเริ่มต้นอยู่ประมาณ 73 %wb และความชื้นสุดท้ายหลังจากตรวจสอบด้วยการอบในเตาอบ ได้ว่า การตากบนลานปูน ผลหมากขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ความชื้น เป็น 7.84, 9.20 และ 8.52 ตามลำดับ การตากบนแผ่นสังกะสีความชื้นเป็น 9.68, 10.46 และ 8.78 สำหรับผลหมากขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ตามลำดับ การลดลงของความชื้นกับเวลาอธิบายเป็นสมการความสัมพันธ์และโพลิโนเมียล (r^2) มากกว่า 0.99 ตามตารางที่ 4 อัตราการลดลงของความชื้นมีแนวโน้มในขนาดเล็ก สูงกว่าขนาดกลาง และสูงกว่าขนาดใหญ่ และสำหรับผลหมากแห้งขนาดหนึ่งๆ ที่ระดับความชื้นเดียวกัน การตากบนลานปูนน่าจะทำให้ผลหมากแห้งเร็วกว่าบนพื้นสังกะสี

น้ำหนักผลหมากแห้ง

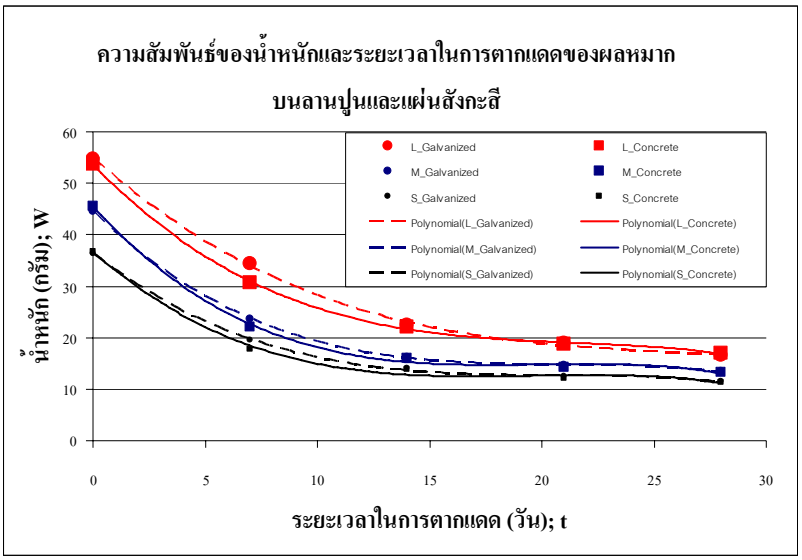
ภาพที่ 11 แสดงการกระจายของน้ำหนักผลหมากแห้งกับเวลาการตากผลหมาก น้ำหนักผลหมากแห้งลดลง ซึ่งมีการกระจายที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล (r^2) มากกว่า 0.991 กับเวลาตากแห้ง (ตารางที่ 5) สอดคล้องกับภาพที่ 12 สำหรับพื้นตากแห้ง และขนาดผลหมากแตกต่างกัน น้ำหนักผลหมากลดลงมากในสัปดาห์แรกเฉลี่ย 34.29 , 35.07 และ 32.14 % สำหรับขนาด เล็ก กลาง และใหญ่ ตามลำดับ



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นและระยะเวลาในการตากแดดของผลหมาก

ตารางที่ 4 สมการความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับระยะเวลาตากแดด

ขนาดและลานตาก	สมการความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับระยะเวลาตากแดด	r^2
S_ลานปูน	$MC= -0.0012t^3 + 0.1318t^2 - 5.01t + 71.512$	0.9994
S_สังกะสี	$MC= -0.0005t^3 + 0.0876t^2 - 4.2424t + 72.187$	0.9991
M_ลานปูน	$MC= -0.001t^3 + 0.1191t^2 - 4.785t + 74.271$	0.9992
M_สังกะสี	$MC= -0.0005t^3 + 0.0864t^2 - 4.2346t + 74.061$	0.9961
L_ลานปูน	$MC=0.0004t^3 + 0.031t^2 - 3.346t + 71.826$	0.9998
L_สังกะสี	$MC=0.0014t^3 - 0.0318t^2 - 2.4772t + 73.393$	0.9974



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักและระยะเวลาในการตากแดดของผลหมาก

ตารางที่ 5 สมการความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับระยะเวลาตากแดด

ขนาดและลานตาก	สมการความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับระยะเวลาตากแดด	r^2
S_ลานปูน	$W= -0.0034t^3 + 0.1985t^2 - 3.8175t + 36.625$	0.9956
S_สังกะสี	$W= -0.0026t^3 + 0.1619t^2 - 3.3757t + 36.375$	0.9992
M_ลานปูน	$W= -0.0041t^3 + 0.2423t^2 - 4.7455t + 45.386$	0.9983
M_สังกะสี	$W= -0.0032t^3 + 0.1985t^2 - 4.1828t + 44.467$	0.9999
L_ลานปูน	$W= -0.0031t^3 + 0.2011t^2 - 4.4829t + 53.599$	0.9995
L_สังกะสี	$W= -0.0018t^3 + 0.1392t^2 - 3.8708t + 54.841$	0.9995

มิติขนาด

เมื่อพิจารณาที่เส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ (Max. Diameter) จะได้ว่าขนาดจะลดลงจากวันเริ่มตากจนถึงสัปดาห์ที่ 4 สำหรับขนาดเล็ก ลดลงจาก 44.26 เป็น 37.54 มม. ของลานปูน และลดลงจาก 44.25 เป็น 38.02 ของสังกะสี สำหรับขนาดกลาง ลดลงจาก 47.06 เป็น 39.98 มม. ของลานปูน และลดลงจาก 47.02 เป็น 40.05 ของสังกะสี และสำหรับขนาดใหญ่ ลดลงจาก 50.01 เป็น 43.47 มม. ของลานปูน และ

ลดลงจาก 49.95 เป็น 43.34 ของสังกะสี การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ลดลงเฉลี่ย 3.61 และ 3.51 เปอร์เซ็นต์ต่อสัปดาห์ สำหรับลานปูนและสังกะสี

เมื่อพิจารณาที่เส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก (Min. Diameter) จะได้ว่าขนาดจะลดลงจากวันเริ่มตากจนถึงสัปดาห์ที่ 4 สำหรับขนาดเล็ก ลดลงจาก 43.38 เป็น 36.48 มม. ของลานปูน และลดลงจาก 43.41 เป็น 36.88 ของสังกะสี สำหรับขนาดกลาง ลดลงจาก 46.40 เป็น 38.91 มม. ของลานปูน และลดลงจาก 46.33 เป็น 38.98 ของสังกะสี และสำหรับขนาดใหญ่ ลดลงจาก 49.18 เป็น 42.44 มม. ของลานปูน และลดลงจาก 49.22 เป็น 42.25 ของสังกะสี การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก ลดลงเฉลี่ย 3.81 และ 3.76 เปอร์เซ็นต์ต่อสัปดาห์ สำหรับลานปูนและสังกะสี

การเปลี่ยนแปลงความยาวของผลส่วนใหญ่ลดลงน้อยมาก สำหรับผลหมากขนาดเล็กและกลาง ความยาวลดลงประมาณ <0.6% สำหรับผลใหญ่ประมาณ 2 % การลดลงของขนาดผลหมากอาจอธิบายได้ว่า ในตัวผลหมากแก่สดมีเซลอยู่มากมายซึ่งเต็มไปด้วยน้ำ ความร้อนจากแดดในการตากทำให้โมเลกุลของน้ำหนีหลุดลอยออกจากเซลหมากไป เปรียบเสมือนลูกโป่งที่ใส่น้ำเต็มมีขนาดใหญ่ เมื่อน้ำถูกเอาออกไป ลูกโป่งจะแฟบ เซลของเปลือกผลหมากก็เช่นกัน เมื่อแห้งก็จะยุบตัวลง ทำให้เนื้อเยื่ออันประกอบด้วยเซลมาก ก็ยุบตัวและมีขนาดลดลงตามไปด้วย การแห้งจะเกิดทั่วทั้งผลหมากที่เปลือก กะลา และเนื้อผลหมาก แต่การหดตัวของแต่ละส่วนไม่เท่ากัน ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเมล็ดหมากกับกะลาซึ่งส่งผลให้ปอกเปลือกผลหมากได้ง่าย แต่ถ้ากะลาแห้งติดกับเมล็ดหมากจะทำให้ปอกเปลือกได้ยาก

ขนาดความยาว เส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่และเล็ก ของผลหมากระหว่างการตากแดดบนลานปูนและสังกะสีได้ถูกวิเคราะห์ทางสถิติและแสดงไว้ในตารางที่ 6 และ ตารางที่ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ขนาดของผลหมากแห้งสำหรับการตากแดดบนลานปูนในช่วงระยะเวลาการตากแดด 4 สัปดาห์

Time		Length(mm)			Max. Diameter(mm)			Min Diameter (mm)		
(weeks)		Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
0	Mean	46.31	45.01	49.59	44.26	47.06	50.01	43.38	46.40	49.18
	CV(%)	5.86	4.36	6.92	3.71	3.09	2.85	3.50	2.93	2.93
	Max.	52.63	49.29	55.02	47.96	49.45	54.01	46.83	49.14	53.26
	Min.	40.10	39.43	41.39	39.31	43.14	46.49	39.07	42.91	46.37
1	Mean	45.94	44.74	48.59	38.24	41.11	44.96	37.21	40.11	43.74
	CV(%)	5.90	4.29	7.22	4.57	4.82	3.91	4.39	4.93	3.67
	Max.	51.00	49.60	55.91	44.59	46.01	50.98	41.41	45.13	47.75
	Min.	38.59	39.64	38.54	33.59	34.86	41.64	32.79	33.40	39.98
2	Mean	46.07	44.91	48.80	37.32	39.95	43.66	36.28	38.79	42.60
	CV(%)	5.80	4.52	7.58	4.43	4.70	3.57	4.81	5.30	3.53
	Max.	50.97	49.70	55.82	41.85	44.28	47.82	40.79	43.91	47.15
	Min.	38.22	38.40	39.00	32.48	34.71	39.79	31.57	33.43	39.19
3	Mean	46.00	44.87	48.42	37.13	39.57	43.23	36.12	38.53	42.26
	CV(%)	5.68	4.73	7.64	4.61	4.90	4.04	4.84	5.22	3.85
	Max.	51.00	49.53	55.78	42.35	44.64	47.52	39.61	43.59	46.60
	Min.	38.12	39.12	40.01	31.89	34.33	39.58	31.32	32.77	38.29
4	Mean	46.04	44.95	48.54	37.54	39.98	43.47	36.48	38.91	42.44
	CV(%)	5.79	4.76	7.77	4.40	4.70	3.79	4.74	5.21	3.86
	Max.	50.93	49.53	54.91	42.59	44.08	47.56	41.04	43.40	47.20
	Min.	38.25	38.41	38.14	32.15	34.23	39.21	31.81	33.03	37.41

ตารางที่ 7 ขนาดของผลหมากแห้งสำหรับการตากแดดบนแผ่นสังกะสีในช่วงระยะเวลาการตากแดด 4 สัปดาห์

Time		Length(mm)			Max. Diameter(mm)			Min Diameter (mm)		
(weeks)		Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
0	Mean	45.82	44.75	51.20	44.25	47.02	49.95	43.41	46.33	49.22
	CV(%)	6.73	5.01	5.95	3.49	3.38	3.03	3.39	3.30	2.77
	Max.	50.55	52.85	56.51	47.94	50.18	53.86	46.72	49.64	52.66
	Min.	35.57	40.03	42.79	40.19	43.07	46.99	39.07	41.92	45.87
1	Mean	45.96	44.11	50.37	39.43	41.70	45.93	38.29	40.60	44.74
	CV(%)	7.01	5.26	7.31	4.60	4.56	3.67	4.26	4.29	3.54
	Max.	50.27	51.81	55.56	43.49	45.60	51.38	42.09	44.84	51.00
	Min.	34.85	39.05	41.18	35.16	36.47	42.31	34.20	36.07	41.21
2	Mean	45.85	44.43	50.61	37.51	39.60	43.19	36.64	38.53	42.19
	CV(%)	7.41	5.59	6.71	4.01	5.19	3.68	4.15	5.29	3.55
	Max.	50.78	52.47	56.65	42.41	44.53	46.86	41.15	43.86	46.70
	Min.	34.04	38.99	41.09	33.94	35.81	39.72	32.98	35.11	39.24
3	Mean	45.77	44.05	50.37	37.42	39.65	43.23	36.40	38.48	42.07
	CV(%)	7.53	6.46	6.77	4.06	5.47	3.76	4.20	5.39	3.79
	Max.	50.48	52.32	56.18	41.89	45.31	47.52	41.43	44.37	47.26
	Min.	33.87	36.58	40.87	33.97	35.71	39.71	32.91	35.02	38.84
4	Mean	46.05	44.65	50.39	38.02	40.05	43.34	36.88	38.98	42.25
	CV(%)	7.41	5.84	6.68	4.02	5.31	3.57	4.31	5.61	3.52
	Max.	50.60	52.15	55.92	42.45	46.09	47.37	42.16	45.05	46.54
	Min.	33.95	38.87	41.07	34.44	36.02	40.72	33.21	35.28	39.07

Quasi-static compression test

เมื่อแรงกดกระทำแบบ Flat Plate Contact Loading ในแนวตั้งฉากกับแกนผลหมาก (ภาพที่ 12) ด้วยความเร็วหัวกด 25 mm/min กดผลหมากแห้งทั้งผล และเมล็ดหมากที่ปอกเปลือกออกแล้ว การตอบสนองเชิงกลของผลหมากและเมล็ดหมาก เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงและการเปลี่ยนรูป (ภาพที่ 13) เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น ผลหมากและเมล็ดจะเปลี่ยนรูปเพิ่มขึ้น จนถึงจุดๆ หนึ่ง คือ จุดแตก (Rupture, R) จุดแตกของเมล็ดที่เนื้อเยื่อของเมล็ดหมากฉีกขาดออกจากกันอย่างรวดเร็ว ทำให้การต้านทานการกดของเมล็ดหมากลดลงอย่างฉับพลันเป็นผลให้กราฟตกลง (ภาพที่ 13 ข) สำหรับผลหมากการแตกของเปลือกสังเกตได้จากการเกิด discontinuity ในกราฟ แรง-การเปลี่ยนรูป ณ จุดที่เกิดการเพิ่มขึ้นในการเปลี่ยนรูป แต่แรงไม่เพิ่ม (ภาพที่ 13 ก จุด R) บางครั้งจะได้ยินเสียงดังของการแตกของกะลา หรือของเมล็ดหมาก

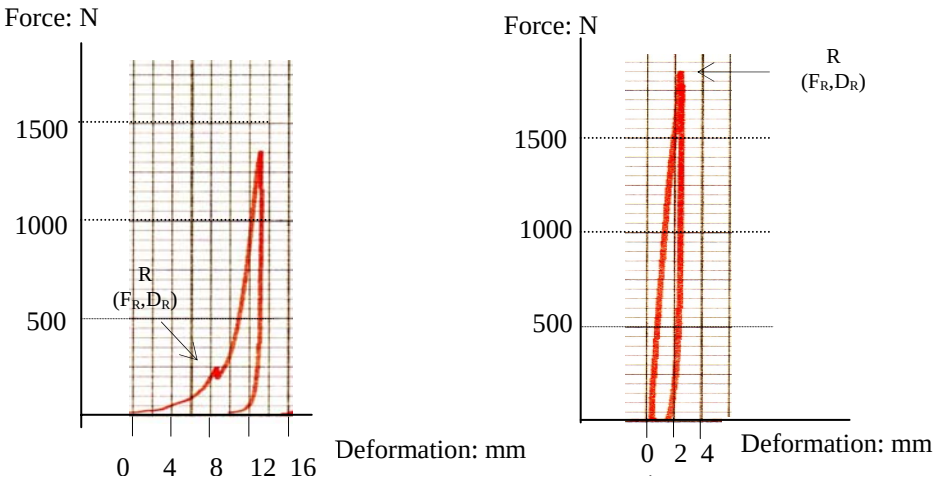
ผลของการกดเฉพาะเมล็ดหมากและการกดทั้งผลหมาก ได้ค่าแรงกด F_R เฉลี่ยของเมล็ดหมากมีค่าอยู่ระหว่าง 825 – 2,569 นิวตัน และแรงกดเปลือกเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 55 – 142 นิวตัน (ตารางที่ 8)

ค่า F_R เพิ่มขึ้นสำหรับเมล็ดหมากที่มีระยะเวลาตากแดด (t) นานขึ้น น่าจะเนื่องมาจากความหนาแน่นของเนื้อหมากที่เป็นของแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำหายไป ความสัมพันธ์ระหว่าง F_R กับเวลาเป็นสมการเชิงเส้นของทุกขนาดผล ซึ่งได้ค่า r^2 ของผลเล็ก กลาง และใหญ่ มากกว่า 0.98 , 0.94 และ 0.97 ตามลำดับ (ภาพที่ 14)

ทำนองเดียวกันแรงกดเปลือก F_R จะเพิ่มขึ้นสำหรับผลหมากที่มีระยะเวลาตากแดด (t) นานขึ้น มีความสัมพันธ์เป็นสมการเป็นโพลิโนเมียลของทุกขนาดผล ซึ่งได้ค่า r^2 ของผลเล็ก กลาง และใหญ่ มากกว่า 0.65, 0.63 และ 0.98 ตามลำดับ (ภาพที่ 15) r^2 ในขนาดเล็ก และกลางมีค่าไม่สูงนัก อาจเนื่องมาจาก ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองน้อยเกินไป ทำให้เกิดความแปรปรวนสูง

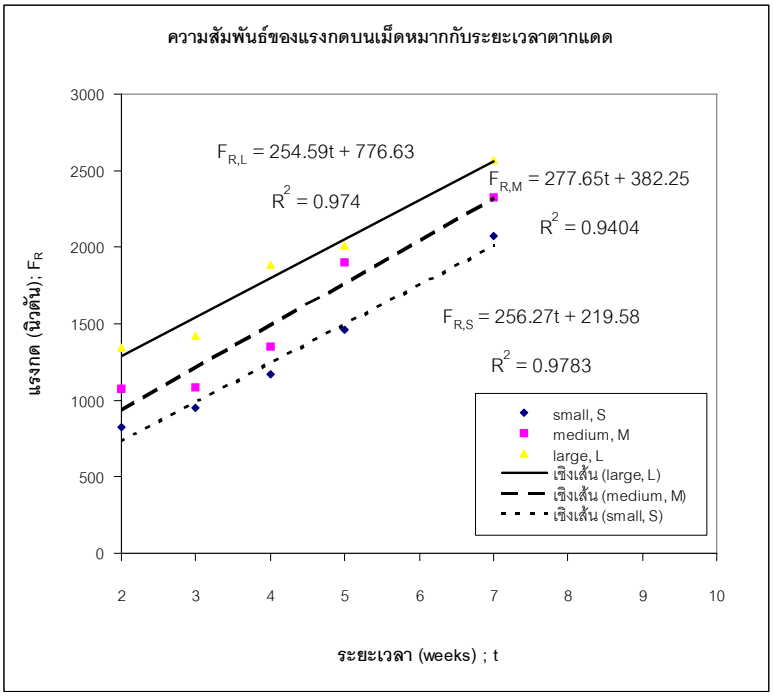
ก) ผลหมากแห้ง **ข) เมล็ดหมากแห้ง**

ภาพที่ 12 ผลหมากและเมล็ดหมาก แห้งภายใต้การทดสอบแบบ Flat Plate Contact Loading

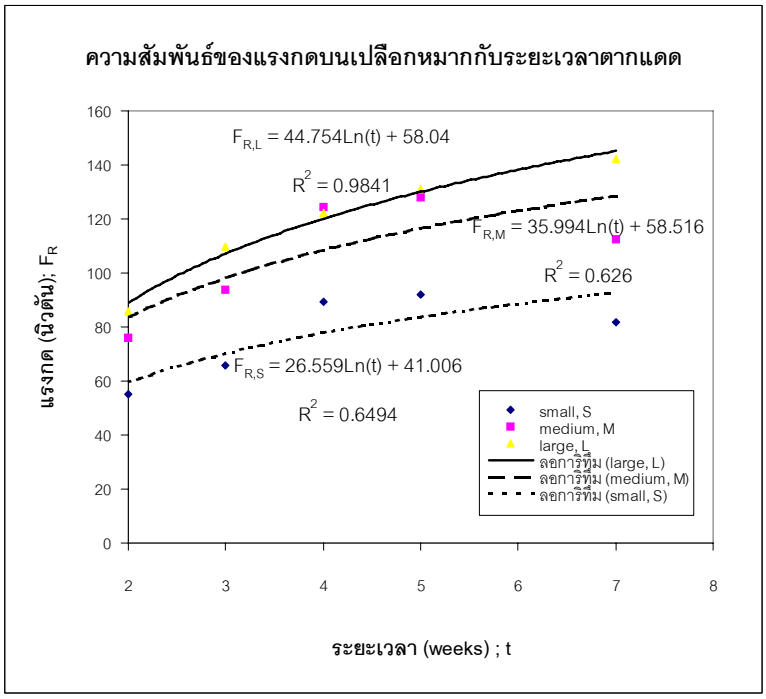


ก. ผลหมากแห้ง ข. เมล็ดหมาก

ภาพที่ 13 กราฟแรงและการเปลี่ยนรูปของผลหมากแห้งและเมล็ดหมากแห้ง ภายใต้การทดสอบแบบ Flat Plate Contact Loading ในแนวตั้งฉากกับขั้วผล



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ของแรงกดบนเมล็ดหมากแห้งกับระยะเวลาในการตากแดด



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ของแรงกดบนเปลือกของผลหมากแห้งกับระยะเวลาในการตากแดด

ตารางที่ 8 แรงกดแตกของเมล็ดหมากและเปลือกที่ตากแดดเป็นระยะเวลา 2-7 สัปดาห์

Time		Rupture point of kernel (N.)			Rupture point of husk (N.)		
(weeks)		Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
2	Mean	825	1073	1340	55	76	86
	CV (%)	28.06	10.22	32.98	48.53	15.00	48.36
	Max.	1220	1200	1820	100	90	150
	Min.	670	1010	950	35	60	50
3	Mean	950	1083	1425	66	94	110
	CV (%)	36.93	57.52	30.91	55.52	78.39	45.15
	Max.	1340	1800	1890	125	220	170
	Min.	660	670	830	30	50	50
4	Mean	1169	1354	1884	89	124	122
	CV (%)	53.15	54.65	23.94	22.45	28.41	32.87
	Max.	1895	2535	2435	112	165	172
	Min.	385	500	997	60	82	65
5	Mean	1458	1902	2012	92	128	131
	CV (%)	33.03	41.39	34.50	49.77	46.95	43.60
	Max.	2080	2715	2720	155	200	217
	Min.	777	487	602	20	25	50
7	Mean	2077	2328	2569	82	113	142
	CV (%)	35.73	45.90	43.19	48.60	48.32	38.82
	Max.	3047	3382	4427	162	200	217
	Min.	965	1080	1272	35	50	70

การหาความชื้นของผลหมากที่เหมาะสมกับการกะเทาะผลหมากเชิงกล

Table 9 แสดงให้เห็นว่าความชื้นมีผลต่อประสิทธิภาพการกะเทาะที่ $p<0.05$. ยิ่งตากแดดผลหมากให้แห้งจะมีแนวโน้มที่จะได้เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม (PF) และประสิทธิภาพการผลิต (PS) สูงขึ้น การกะเทาะผลหมากแห้งที่มีความชื้นเท่ากับหรือน้อยกว่า 6.31% wb สามารถทำให้เปลือกและ

กะลาของผลหมากแตกได้ลดลงประมาณ 12% จาก 5 ถึง 7 สัปดาห์ที่ทำการตากแดด (Niamhom and Jarimopas, 2005). เมื่อพิจาณาถึงประสิทธิภาพการปอกเปลือกผลหมากแห้งที่ความชื้น 6.31% กับความชื้น 5.45%, จะได้เปอร์เซ็นต์เมล็ดหมากเต็มสูงกว่า 4% เปอร์เซ็นต์เมล็ดหมากแตกเพิ่มขึ้น 1.7% แต่มีเปอร์เซ็นต์ผลหมากที่ปอกไม่ออกลดลง 6% ทำให้ค่าเปอร์เซนต์การผลิตลดลง 0.5% ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจะเสียเวลาในการตากแดดน้อยกว่าถึงสองสัปดาห์ ดังนั้นความชื้นที่เหมาะสมคือ 6.31% wb. ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Balasubramanian and Panwar (1986) ที่ว่าความชื้นของผลหมากแห้งที่จะกะเทาะได้ดีที่สุดควรมีค่า 5-6% wb.

ตารางที่ 9 ผลของความชื้นที่มีต่อประสิทธิภาพการปอกเปลือกหมาก

เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%wb)	เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม (PF)	เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตก (PB)	เปอร์เซ็นต์ปอกไม่ออก (PU)	เปอร์เซ็นต์การผลิต (PS**)
12.67	*13.00±3.80[a]	7.67±3.84[a]	79.33±6.93[e]	53.82±1.45 [a]
9.88	24.67±5.58 [b]	7.67±5.22 [a]	67.67±9.40 [d]	59.65±2.42 [b]
7.57	38.67±5.19 [c]	5.33±3.61 [a]	56.00±6.41 [c]	67.47±2.85 [c]
6.31	54.67±6.60 [d]	8.00±2.17 [a]	37.33±6.08 [ab]	74.53±3.67 [d]
5.78	56.67±5.40 [d]	9.67±3.80 [a]	33.67±2.47 [a]	74.95±3.95 [d]
5.45	50.67±7.13 [d]	6.33±2.98 [a]	43.00±5.45 [b]	73.11±4.36 [d]

* Means in the same column with different letters are significantly different at $p<0.05$

** Full score = 100

การหาขนาดของผลหมากแห้งและช่องว่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางที่เหมาะสม

ขนาดและช่องว่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางมีผลต่อประสิทธิภาพการปอกหมากที่ $p<0.05$. (ตารางที่ 10-13). สำหรับการตั้งระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางค่าหนึ่งๆ เมื่อเพิ่มขนาดของผลหมากจากผลเล็กถึงผลใหญ่ จะทำให้เปอร์เซ็นต์การปอกได้เมล็ดเต็มสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะผลหมากแห้งขนาดใหญ่ย่อมมีการกระชับแน่นกับช่องกะเทาะได้ดีกว่าผลขนาดเล็ก ดังนั้นค่า PF ของผลหมากขนาดใหญ่มีค่าสูงกว่าของผลขนาดเล็ก (ตารางที่ 10) เปอร์เซ็นต์การปอกได้เมล็ดเต็มสูงสุดเกิดขึ้นกับผลขนาดกลางและตั้งระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวของล้อยางที่ 15 มิลลิเมตร จากผลการทดลองแต่ละช่องว่างจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขนาดของผลหมากจะทำให้

เปอร์เซ็นต์การปอกไม่ออกลดลง (ตารางที่ 12) ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ระยะช่องว่างน้อยแต่ผลหมากขนาดใหญ่จะกระชับกับผิวล้อยางและตะแกรงทำให้ได้เปอร์เซ็นต์การปอกไม่ออกน้อยที่สุด ตรงกันข้ามกับผลขนาดเล็กเมื่อมีช่องว่างขนาดใหญ่ จะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์การปอกไม่ออกมากที่สุดเพราะผลหมากไม่กระชับกับผิวล้อยางและตะแกรง จากผลการทดลองที่ช่องว่าง 20 มิลลิเมตร ผลขนาดเล็กไม่กระชับกับตะแกรงและผิวของล้อยางทำให้เปอร์เซ็นต์การปอกไม่ออกสูงถึง 42.7%. สำหรับเปอร์เซ็นต์หมากแตกนั้น (ตารางที่ 11) ผลหมากขนาดเล็กจะมีเปอร์เซ็นต์การแตกน้อยเพียง 6% ในทุกๆ ช่องว่าง และเปอร์เซ็นต์การแตกจะเพิ่มเป็น 12.7 % สำหรับผลขนาดกลางและใหญ่เมื่อใช้ช่องว่างขนาด 15 และ 20 มิลลิเมตร และจะมีเปอร์เซ็นต์หมากแตกสูงขึ้นมากเมื่อใช้ช่องว่าง 10 มิลลิเมตร กับผลหมากขนาดใหญ่และกลาง ที่ 27.33% และ 29.33% เมื่อพิจารณาดูถึงเปอร์เซ็นต์การผลิต PS (ตารางที่ 13) จะได้ค่าสูงสุดเมื่อตั้งค่าระยะห่าง 15 มิลลิเมตร และใช้กับผลหมากขนาดใหญ่และขนาดกลาง ทำให้พิจารณาเลือกผลหมากขนาดกลางซึ่งจะมีมากที่สุดในผลผลิตตามธรรมชาติและเลือกใช้ช่องว่างขนาด 15 มิลลิเมตรเป็นค่าที่เหมาะสมในการทดสอบข้อต่อไป

ตารางที่ 10 ผลของขนาดและระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การปอกได้เมล็ดเต็ม (PF)

ขนาด	ระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยาง (mm)		
	10	15	20
ผลเล็ก	*58.00±1.39 [b]	56.67±1.18 [b]	51.33±3.20 [a]
ผลกลาง	61.33±2.17 [c]	73.00±1.39 [e]	68.67±3.61 [d]
ผลใหญ่	66.00±3.03 [d]	76.33±2.74 [f]	72.00±1.39 [e]

* Means in the same column with different letters are significantly different at $p<0.05$

ตารางที่ 11 ผลของขนาดและระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตก(PB)

ขนาด	ระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยาง (mm)		
	10	15	20
ผลเล็ก	*6.00±0.91 [a]	6.00±0.91 [a]	6.00±0.91 [a]
ผลกลาง	29.33±2.53 [d]	13.00±0.74 [b]	12.67±0.91 [b]
ผลใหญ่	27.33±0.91 [c]	12.67±1.49 [b]	12.67±1.49 [b]

* Means in the same column with different letters are significantly different at $p<0.05$

ตารางที่ 12 ผลของขนาดและระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ปอกไม่ออก(PU)

ขนาด	ระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยาง (mm)		
	10	15	20
ผลเล็ก	*36.00±1.90 [e]	37.33±1.90 [e]	42.67±3.03 [f]
ผลกลาง	9.33±0.91 [ab]	14.00±1.49 [c]	18.67±3.80 [d]
ผลใหญ่	6.67±2.64 [a]	11.00±1.49 [b]	15.33±2.47 [c]

* Means in the same column with different letters are significantly different at $p<0.05$

ตารางที่ 13 ผลของขนาดและระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การผลิต (PS)

ขนาด	ระยะห่างระหว่างตะแกรงกับผิวล้อยาง (mm)		
	10	15	20
ผลเล็ก	*76.90±0.67 [c]	76.23±0.45 [c]	73.57±1.74 [b]
ผลกลาง	70.40±1.94 [a]	81.95±0.77 [ef]	79.90±1.81 [d]
ผลใหญ่	73.43±1.71 [b]	83.73±1.86 [ef]	81.57±0.64 [de]

* Means in the same column with different letters are significantly different at $p<0.05$

การหาแรงดันลมยางและรอบหมุนของล้อยางที่เหมาะสม

ความเร็วรอบของล้อยาง (s) และแรงดันลมยาง (p) มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์การปอกเปลือกหมากได้เมล็ดหมากเต็ม (PF) ที่ $p<0.05$ (ตารางที่ 14-17). การปอกได้เมล็ดหมากเต็มเมล็ดสูง จะทำให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตสูงตาม เพราะเมล็ดหมากเต็มเมล็ดมีราคาสูงกว่าเมล็ดหมากแตกมาก เมื่อพิจารณาที่แต่ละความเร็วรอบของล้อยาง (ตารางที่ 14) เมื่อใช้ลมยางแข็งขึ้นจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์เมล็ดหมากเต็ม PF มากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าเมื่อใช้ลมยางแข็งขึ้น จะทำให้ยางยุบตัวน้อยลงและมีแรงเฉือนเปลือกหมากมากขึ้นตาม และเมื่อพิจารณาที่แต่ละแรงดันลมยางก็จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ความเร็วสูงขึ้นจะได้เปอร์เซ็นต์การปอกได้เมล็ดหมากเต็มมากขึ้นตามไปด้วย เพราะการเพิ่มรอบหมุนของล้อยางจะเป็นการเพิ่มแรงในการเฉือนเปลือกหมากให้มากขึ้นตาม ที่รอบการหมุน 440 รอบต่อนาที และแรงดันลมยางระหว่าง 69 ถึง 276 กิโลปาสคาล จะได้

เปอร์เซ็นต์การปอกได้เมล็ดหมากเต็มมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มแรงดันลมยางขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์หมากแตกเพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย (ตารางที่ 15) การใช้ลมยางที่แข็งจะเป็นสาเหตุให้เมล็ดหมากที่แห้งมากสามารถแตกได้ เพราะฉะนั้นที่แต่ละแรงดันลมยางการเพิ่มรอบการหมุนก็จะเพิ่มเปอร์เซ็นต์การแตกด้วย เมื่อพิจารณาในช่วงของรอบการหมุน 440 รอบต่อนาทีขึ้นไป และแรงดันลมยาง 69 กิโลพาสคาลขึ้นไป จะได้เปอร์เซ็นต์เมล็ดหมากแตกน้อยที่สุดคือ 11.7% ที่รอบการหมุน 440 รอบต่อนาที และ 138 กิโลพาสคาล

ที่ความเร็วรอบเท่า ๆ กัน เมื่อพิจาณาถึงเปอร์เซ็นต์การปอกไม่ออก (ตารางที่ 16) แล้วพบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันลมยางจะทำให้เปอร์เซ็นต์การปอกไม่ออกลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$. และความเร็วรอบหมุนและแรงดันของล้อยางมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการผลิต PS อย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$. (ตารางที่ 17) ซึ่งจะทำให้ได้กำไรสูงสุดหากได้ค่า PS สูงที่สุด ที่รอบการหมุน 440 รอบต่อนาที และแรงดันลมยาง 138 กิโลพาสคาล จะได้ PS เท่ากับ 82.08 ในขณะที่ถ้าเพิ่มแรงดันลมยางขึ้นเป็น 207 กิโลพาสคาล ค่า PS จะเท่ากับ 81.85 ซึ่งจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากการทดลองค่าแรงดันลมยางที่ใช้จะเพิ่มจนถึงค่าสูงสุดที่บริษัทที่ผลิตยางได้กำหนดไว้ว่าให้ไม่เกิน 276 กิโลพาสคาล ดังนั้นพิจารณาดูแล้วว่าควรใช้ที่แรงดันลมยาง 138 กิโลพาสคาล จะปลอดภัยกว่าและใช้ที่ความเร็วรอบ 440 รอบต่อนาที จะเป็นการประหยัดพลังงานมากกว่าความเร็วรอบสูงๆ

โดยสรุปแล้วเงื่อนไขที่จะใช้เครื่องกะเทาะผลหมากต้นแบบที่เหมาะสมคือ ความเร็วรอบล้อยาง 440 rpm, แรงดันลมยาง 138 KPa และระยะห่างระหว่างล้อยางและตะแกรงเท่ากับ 15 mm.

ตารางที่ 14 ผลของความเร็วและแรงดันลมยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การปอกได้เมล็ดเต็ม (PF)

ความเร็ว (rpm)	แรงดันลมยาง (KPa)				
	0	69	138	207	276
320	*26.00±1.90 ^{a}	42.00±2.47 ^{c}	51.33±2.17 ^{d}	55.00±2.64 ^{def}	57.33±4.50 ^{efg}
370	26.67±2.64 ^{a}	54.33±4.35 ^{de}	59.00±3.25 ^{fgh}	60.00±2.64 ^{gh}	62.33±0.91 ^{hi}
440	28.00±3.61 ^{a}	66.00±6.30 ^{ijk}	72.33±2.53 ^{mn}	74.67±2.98 ^{n}	73.67±1.39 ^{mn}
508	36.00±5.08 ^{b}	65.33±2.17 ^{ij}	69.67±2.17 ^{klm}	69.67±2.17 ^{klm}	71.33±1.39 ^{mn}
645	41.00±2.79 ^{c}	66.67±1.67 ^{jkl}	70.67±1.90 ^{lmn}	70.33±4.15 ^{lmn}	73.00±1.39 ^{mn}

* Means with different letters are significantly different at $p<0.05$

ตารางที่ 15 ผลของความเร็วและแรงดันลมยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตก (PB)

ความเร็ว (rpm)	แรงดันลมยาง (KPa)				
	0	69	138	207	276
320	*4.67±1.39 [a]	10.00±2.64 [bc]	11.00±1.49 [bcd]	11.33±1.39 [bcd]	21.67±4.25 [hi]
370	5.00±1.18 [a]	14.33±1.90 [defg]	13.00±2.17 [cdef]	12.00±1.39 [bcd]	23.33±1.67 [hi]
440	5.33±3.61 [a]	15.33±5.70 [efg]	11.67±1.18 [bcd]	15.67±1.90 [fg]	22.00±0.75 [hi]
508	8.67±2.17 [b]	16.00±1.90 [fg]	15.67±1.90 [fg]	20.67±1.90 [h]	23.67±1.83 [hi]
645	14.33±1.49 [defg]	17.00±1.39 [g]	16.33±2.17 [fg]	24.33±3.65 [i]	22.67±2.79 [hi]

* Means with different letters are significantly different at $p<0.05$

ตารางที่ 16 ผลของความเร็วและแรงดันลมยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การปอกไม่ออก (PU)

ความเร็ว (rpm)	แรงดันลมยาง (KPa)				
	0	69	138	207	276
320	*69.33±3.25 [l]	48.00±2.98 [j]	37.67±1.49 [i]	33.67±3.61 [hi]	21.00±0.91 [f]
370	68.33±3.73 [l]	31.33±4.62 [gh]	28.00±5.06 [g]	28.00±2.74 [g]	14.33±1.49 [de]
440	66.67±6.67 [l]	18.67±5.32 [ef]	16.00±1.90 [de]	9.67±2.17 [bc]	4.33±1.49 [a]
508	55.33±7.11 [k]	18.67±2.17 [ef]	14.67±2.74 [de]	9.67±1.39 [bc]	5.00±1.18 [a]
645	44.67±2.47 [j]	16.33±1.39 [de]	13.00±3.42 [cd]	5.33±2.74 [ab]	4.33±1.49 [a]

* Means with different letters are significantly different at $p<0.05$

ตารางที่ 17 ผลของความเร็วและแรงดันลมยางที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การผลิต (PS)

ความเร็ว (rpm)	แรงดันลมยาง (KPa)				
	0	69	138	207	276
320	*61.37±0.52 [a]	67.50±1.76 [c]	71.82±1.51 [d]	73.53±1.12 [def]	71.08±3.72 [d]
370	61.58±0.97 [a]	72.15±2.31 [d]	74.95±1.19 [efg]	75.80±1.49 [fgh]	73.00±0.89 [de]
440	62.13±1.29 [a]	77.63±4.65 [ghij]	82.08±1.58 [l]	81.85±2.01 [kl]	79.13±0.78 [ij]
508	64.97±1.88 [b]	77.07±1.50 [ghij]	79.35±1.33 [ijk]	77.60±1.66 [ghij]	77.38±1.25 [ghij]
645	65.48±1.70 [bc]	77.38±1.19 [ghij]	79.62±0.95 [jkl]	76.65±3.16 [ghi]	78.57±1.66 [hij]

* Means with different letters are significantly different at $p<0.05$

การทดสอบการปฏิบัติงานของเครื่องที่สภาวะเครื่องเหมาะสมและสภาวะหมากที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 18 แสดงถึงการทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลหมากแห้งต้นแบบด้วยวิธีการป้อนผลหมากแห้งอย่างต่อเนื่องแบบคละขนาด โดยกำหนดรอบการหมุนของล้อยางคงที่ 440 รอบต่อนาที แรงดันลมยาง 138 KPa และระยะห่างของล้อยางกับตะแกรง 15 มิลลิเมตร ปรากฏผลว่า ก) PF เท่ากับ 64.4%, ข) PB เท่ากับ 15.2% และ ค) มีผลหมากที่ปอกไม่ได้ 20.15% เมื่อประเมินผลจากประสิทธิภาพการผลิตจะได้ ง) เปอร์เซนต์การผลิต PS เท่ากับ 76.9% ที่สมรรถนะการทำงาน 110 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

เครื่องต้นแบบที่ได้ทำการพัฒนาแล้วได้มีการนำไปให้เกษตรกรทำหมากแห้งที่ อ.เขาชะเมา จ.ระยอง ใช้งานแล้วและเป็นที่ยอมรับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่กลุ่มพ่อค้าหมากแห้งให้ข้อมูลว่าผู้รับจ้างกะเทาะหมากแห้งคนหนึ่งจะสามารถกะเทาะผลหมากแห้งได้วันละ 30 กิโลกรัม ได้เมล็ดหมากเต็ม 60% มีหมากแตก ประมาณ 4.5% และมีหมากที่เปลือกติดแน่นปอกไม่ได้ประมาณ 5% โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบเครื่องปอกเปลือกหมากกับผลหมากแบบคละขนาดแบบต่อเนื่อง

ขนาด	เปอร์เซ็นต์ เมล็ดเต็ม (PF)	เปอร์เซ็นต์ เมล็ดแตก (PB)	เปอร์เซ็นต์ ปอกไม่ออก (PU)	เปอร์เซ็นต์ การผลิต (PS**)
คละขนาด	64.36±3.22	15.15±0.96	20.49±2.35	76.87±1.93

ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากการทดสอบเครื่องปอกเปลือกหมาก ใช้แรงงานในการปฏิบัติงาน 2 คน สามารถปอกเปลือกหมากได้เมล็ดหมากเฉลี่ย 110 x 0.64 = 70.64 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง เมื่อกำหนดให้ใช้งานเครื่องวันละ 8 ชั่วโมง ปีละ 120 วัน สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม) และระยะเวลาคืนทุนของเครื่องปอกเปลือกหมากได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน

1. ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

1.1 ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคา (DP) แบบ Straight-line method DP = (P – S)/L โดยราคาของเครื่องปอกเปลือกหมาก (P) เท่ากับ 25,000 บาท มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 10% ของราคาเครื่อง

ดังนั้น มูลค่าซากเครื่อง (S) = (10/100)x25,000=2,500 บาท

ค่าเสื่อมราคา (DP) = (25,000-2,500)/10 = 2,250 บาท

1.2 ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest on investment) คิดค่าเสียโอกาส I = (P + S)/2 x i/100 โดยที่กำหนดให้อัตราดอกเบี้ยต่อปี (i) เท่ากับ 4% ต่อปี

ดังนั้น ค่าเสียโอกาสต่อปี = (25,000+2,500)/2 x 4/100 = 550 บาท

รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (Fixed cost) = ค่าเสื่อมราคา (DP) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (I)

= 2,250 + 550 = 2,800 บาทต่อปี

2. ต้นทุนผันแปร (Variable cost)

2.1 ค่าบำรุงรักษา (Repair and maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 10 บาท ทำงาน 120 วัน ค่าบำรุงรักษา = 10 x 120 = 1,200 บาทต่อปี

2.2 ค่าไฟฟ้า ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง สิ้นเปลืองไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าไฟหน่วยละ 3 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 120 วัน วันละ 8 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า เท่ากับ 1 x 3 x 8 x 120 = 2,880 บาท/ปี

2.3 ค่าจ้างแรงงาน อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 200 บาท จำนวน 2 คน ทำงาน 120 วัน คิดเป็นค่าแรงงานเท่ากับ 200 x 2 x 120 = 48,000 บาท/ปี

รวมต้นทุนผันแปร= 1,200 + 2,880 + 48,000 = 52,080 บาท/ปี

คิดต้นทุนในการใช้งานเครื่องปอกเปลือกหมาก โดยรวมต้นทุนคงที่กับต้นทุนผันแปร เท่ากับ 2,800 + 52,080 = 54,880 บาท/ปี

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม) ของเครื่องปอกเปลือกหมาก ที่ทำการปอกเปลือกหมาก เฉลี่ยใน 1 ปี เท่ากับ 960 ชั่งโมง ความสามารถในการทำงาน 70.64 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้เท่ากับ 54,880/(70.64 x 960) = 0.81 บาทต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์และประเมินระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจะลดลง เมื่อจำนวนชั่วโมงทำงานต่อปีเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 19 ถ้าใน 1 ปี สามารถทำงานได้ 960 ชั่วโมง รับจ้างปอกเปลือกหมากกิโลกรัมละ 3 บาท จะมีระยะเวลาในการคืนทุนจะเท่ากับ 0.17 ปี

ตารางที่ 19 การคิดระยะการคืนทุนของเครื่องปอกเปลือกหมาก

ชั่วโมงทำงาน (ช.ม./ปี)	ดอกเบี้ย (บาท/ปี)	ต้นทุนผันแปร (บาท/ปี)	ต้นทุนรวม (บาท/ปี)	ผลประโยชน์ที่ได้รับ (บาท/ปี)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท/ปี)	ระยะเวลา (ปี)
360	550	19,530	20,080	76,291.2	56,211.2	0.44
480	550	26,040	26,590	101,721.6	75,131.6	0.33
600	550	32,550	33,100	127,152.0	94,052.0	0.27
720	550	39,060	39,610	152,582.4	112,972.4	0.22
840	550	45,570	46,120	178,012.8	131,892.8	0.19
960	550	52,080	52,630	203,443.2	150,813.2	0.17
1080	550	58,590	59,140	228,873.6	169,733.6	0.15
1200	550	65,100	65,650	254,304.0	188,654.0	0.13

หมายเหตุ ต้นทุนผันแปร คือ ค่าผลรวมของค่าบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า และค่าจ้างแรงงาน

ต้นทุนรวม คือ ต้นทุนผันแปรรวมกับดอกเบี้ย

ผลประโยชน์ที่ได้รับ คิดจากอัตราค่าจ้างในการปอกเปลือกหมาก คูณกับชั่วโมงการทำงานต่อปี

ผลประโยชน์สุทธิ คือ ผลต่างระหว่างผลประโยชน์ที่ได้รับกับต้นทุนรวม

ระยะเวลาคืนทุน คือ ผลหารระหว่างราคาซื้อเครื่องกับผลประโยชน์สุทธิ

ผลการวิเคราะห์และประเมินการใช้งานคุ้มทุน

การใช้งานคุ้มทุน = ค่าใช้จ่ายคงที่ / (อัตราค่าจ้าง – ค่าใช้จ่ายในการทำงาน)

ค่าใช้จ่ายคงที่ = 2,800 บาทต่อปี

อัตราค่าจ้างในการปอกเปลือกหมาก โดยใช้แรงงานคนในการปอกเปลือกหมาก เท่ากับ 3 บาทต่อกิโลกรัม เปรียบเทียบที่อัตราการทำงานของเครื่องปอกเปลือกหมาก 70.64 กิโลกรัม/ชั่วโมง จะได้อัตราค่าจ้างต่อชั่วโมง เท่ากับ 3 x 70.64 = 211.92 บาทต่อชั่วโมง

ค่าใช้จ่ายในการทำงานด้วยเครื่องเท่ากับ 0.81 บาทต่อกิโลกรัม เปรียบเทียบที่อัตราการทำงาน 70.64 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้ค่าใช้จ่ายในการทำงานเท่ากับ 0.81 x 70.64 = 57.22 บาทต่อชั่วโมง

ดังนั้น การใช้งานคุ้มทุน = 2,800/(211.92-57.22)

= 18.10 ชั่วโมงต่อปี

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาสมบัติทางกายภาพเชิงกลของผลหมากสงตากแดด ได้ผลว่า ความชื้น มิติ และน้ำหนักผลหมากลดลงกับระยะเวลาตากแดด ซึ่งอธิบายได้ด้วยแบบจำลองรีเกรสชั่น แรงกดแตกของผลหมากและเมล็ดหมากเพิ่มขึ้นกับระยะเวลาตากแดด

การพัฒนาเครื่องกะเทาะผลหมากแห้งต้นแบบนี้ได้ดำเนินการออกแบบ สร้าง ทดสอบ และประเมินผล ได้สภาวะที่เหมาะสมในการกะเทาะผลหมากแห้งแบบคละขนาด โดยใช้รอบของล้อยาง 440 rpm, แรงดันลมยาง 138 KPa และ ระยะห่างของล้อยางกับตะแกรง 15 มิลลิเมตร ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการกะเทาะดังนี้ ก) ได้เปอร์เซ็นต์เมล็ดหมากเต็มเมล็ด 64.4% ข) ได้เมล็ดหมากแตก 15.2% ค) มีผลหมากที่ปอกไม่ออก 20.5% และ ง) มีเปอร์เซ็นต์การผลิตเท่ากับ 76.9%. สามารถปอกผลหมากแห้งได้ 110 kg/hr

เครื่องปอกเปลือกหมากมีค่าใช้จ่ายในการสร้าง 25,000 บาท ในการทดสอบที่รอบของล้อยาง 440 rpm, แรงดันลมยาง 138 KPa และ ระยะห่างของล้อยางกับตะแกรง 15 มิลลิเมตร ได้อัตรา 62.31 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยใช้แรงงานปฏิบัติงาน 2 คน ใช้พลังงานไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง เมื่อกำหนดให้ใช้งานเครื่องวันละ 8 ชั่วโมง ปีละ 120 วัน ค่าใช้จ่ายในการทำงาน 0.92 บาท/กิโลกรัม มีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.20 ปี และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 21.60 ชั่วโมงต่อปี

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะผลหมากแห้งโดยเปลี่ยนเป็นล้อยางหมุนในแนวดิ่งคล้ายกับลูกยางสีข้าว ซึ่งอาจจะทำให้การกะเทาะมีมากขึ้นได้

2. ควรมีการทดลองทำการวิจัยและพัฒนาโดยใช้ลูกกลิ้งขนแปรงลวดแทนล้อยางและล้อที่มีซี่ฟันเหล็ก อาจจะทำให้การกะเทาะดีขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2545. **สถิติการส่งออกและนำเข้าสินค้าเกษตร**. กระทรวงพาณิชย์. ปี 2543-2544

กองเกษตรวิศวกรรม. 2544. **คู่มือซื้อ-ขาย เครื่องจักรกลและอุปกรณ์การเกษตร** สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 61

พิสมัย พึ่งวิกรัย และ พิมพ์ใจ พัฒนศิริพงศ์. 2543. **การปลูกหมากเพื่อการค้า**. เอกสารวิชาการ ของกลุ่มไม้ยืนต้นอุตสาหกรรม กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร 54 หน้า

เดชา ศิริภัทร. 2544. **พืชพันธุ์พื้นบ้าน : ความสุขชั่วชีวิตที่เราปลูกได้** พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ กองบรรณาธิการวารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ 128 หน้า

วริทธิ์ อึ๊งภากร และ ชาญ ถนัดงาน. 2521. **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1.** บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. 386 หน้า.

วันชัย ริจิรวนิช และ ชอุ่ม พลอยมีค่า. 2541. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม**. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ 5, 350 หน้า

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2547. **สถิติการปลูกไม้ผลยืนต้น ปี 2544**. เอกสารวิชาการของ กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 414

สุชาติ แจ้งเจริญกุล. 2536. **การศึกษาปรับปรุงเครื่องกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แบบกึ่งอัตโนมัติ**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สมศักดิ์ ทองคำธรรมชาติ. 2547. **เครื่องปอกเปลือกหมาก** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 108 หน้า

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2537. **รายงานการวิจัยการทดสอบและประเมินผล เครื่องกะเทาะข้าวโพด** เสนอต่อ ASEAN Crops Post-Harvest Programme

Balasubramanian, M. & J. S. Panwar. 1986. **Mechanical properties of arecanut (Areca catechu linn) as related to dehusking.** J. Agric. Engng (ISAE). 23(1): 82-88.

Baboo, B. 1981. **A device for dehusking arecanut. Journal of Agricultural Engineering** (ISAE). 19(1):63-65.

Jarimopas, B., & Niamhom, S. 2004. **Development of Dry Betel Nut Fruit husking Machine.** Unpublished Research Report. Kasetsart University Research and Development Institute, Kasetsart University, Bangkok, 46 p.

Niamhom, S., Jarimopas, B., & Sukcharoen, A. 2007. **Testing of the improved betel nut husking machine.** Proceeding of the International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, January 21-24, Sofitel Racha Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand.

Niamhom, S., Jarimopas, B., & Sukcharoen, A. 2006a. **Development of a betel nut husking machine.** Proceeding of the 7th National Seminar on "Research Enhancing Thai Agricultural Commodities to the World Market", organized by Thai Society of Agricultural Engineering and Facutly of Engineering, Mahasarakam University, 23-24 January, 2006, Mahasarakam, Thailand. p 275- 281 (in Thai)

Mohsenin, N.N. 1996. **Physical Properties of Plant and Animal Materials.** Gordon and Breach, Science Publishers, Inc, New York, USA. 742 p.

Niamhom, S., Jarimopas, B., & Sukcharoen, A. 2006b. **Testing of the improved betel nut husking machine.** Proceeding of the 4th National Technical Seminar on Postharvest/ Post Production Technology, 8-9 June, Empress Hotel, Chiangmai, Thailand. p 244-247.

Niamhon, S. and Jarimopas, B. 2005. **Some physical and mechanical properties of sun-dry betel nut.** Proceedings of the 6th National Seminar on "Toward Kitchen of the World by Agricultural Engineering", organized by Thai Society of Agricultural Engineering and Faculty of Engineering and Agricultrual Technology, Rachamangkala University of Technology, Tanyaburee, 30-31 March 2005, Grand Miracle Hotel, Bangkok.

Office of Agricultural Economics 2004. **Agricultural statistics of Thailand crop year 2003/04.** Bangkok. Thailand: Idea Square Partnership. 123 p.

Jaw-Kai Wang. 1963. **Design of a ground Berry Husking Machine.** Transactions of the ASAE. P 311-312

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การปอกได้เมล็ดเต็ม (PF)

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F Value	Pr>F
Treatment	24	29663.230	1235.968	133.698	.000**
PRESSURE	20	23411.492	1170.575	126.624	.000**
RPM	0	.000			
PRESSURE*RPM	0	.000			
Error	100	924.450	9.244		
Corrected Total	124	30587.680			
CV	6.37				

** = significant at 1% level; * = significant at 5% level; ns = not significant

หมายเหตุ PRESSURE = แรงดันลมของล้อยาง, RPM = รอบการหมุนของล้อยาง

ตารางผนวกที่ 2 การจำแนกกลุ่มของเปอร์เซ็นต์เมล็ดหมากเต็ม (PF) โดยวิธี Duncan[a]

แรงดัน	รอบหมุน	N	Subset													
KPa	rpm		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	320	5	26.00													
0	370	5	26.67													
0	440	5	28.00													
0	508	5		36.00												
0	645	5			41.00											
69	320	5			42.00											
138	320	5				51.33										
69	370	5				54.33	54.33									
207	320	5				55.00	55.00	55.00								
276	320	5					57.33	57.33	57.33							
138	370	5						59.00	59.00	59.00						
207	370	5							60.00	60.00						
276	370	5								62.33	62.33					
69	508	5									65.33	65.33				
69	440	5									66.00	66.00	66.00			
69	645	5										66.67	66.67	66.67		
207	508	5											69.67	69.67	69.67	
138	508	5											69.67	69.67	69.67	
207	645	5												70.33	70.33	70.33
138	645	5												70.67	70.67	70.67
276	508	5													71.33	71.33
138	440	5													72.33	72.33
276	645	5													73.00	73.00
276	440	5													73.67	73.67
207	440	5														74.67
	Sig.		.332	1.00	.604	.074	.144	.051	.195	.104	.074	.518	.084	.065	.078	.053

ตารางผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์เมล็ดหมากแตก (PB)

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F Value	Pr>F
Treatment	24	4217.693	175.737	30.183	.000**
PRESSURE	20	3392.032	169.602	29.130	.000**
RPM	0	.000			
PRESSURE*RPM	0	.000			
Error	100	582.232	5.822		
Corrected Total	124	4799.924			
CV	16.07				

** = significant at 1% level; * = significant at 5% level; ns = not significant

หมายเหตุ PRESSURE = แรงดันลมของล้อยาง, RPM = รอบการหมุนของล้อยาง

ตารางผนวกที่ 4 การจำแนกกลุ่มของเปอร์เซ็นต์เมล็ดหมากแตก (PB) โดยวิธี Duncan[a]

แรงดัน	รอบหมุน	N	Subset								
KPa	rpm		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	320	5	4.67								
0	370	5	5.00								
0	440	5	5.33								
0	508	5		8.67							
69	320	5		10.00	10.00						
138	320	5		11.00	11.00	11.00					
207	320	5		11.33	11.33	11.33					
138	440	5		11.67	11.67	11.67					
207	370	5		12.00	12.00	12.00	12.00				
138	370	5			13.00	13.00	13.00	13.00			
0	645	5				14.33	14.33	14.33	14.33		
69	370	5				14.33	14.33	14.33	14.33		
69	440	5					15.33	15.33	15.33		
138	508	5						15.67	15.67		
207	440	5						15.67	15.67		
69	508	5						16.00	16.00		
138	645	5						16.33	16.33		
69	645	5							17.00		
207	508	5								20.67	
276	320	5								21.67	21.67
276	440	5								22.00	22.00
276	645	5								22.67	22.67
276	370	5								23.33	23.33
276	508	5								23.67	23.67
207	645	5									24.33
	Sig.		.684	.057	.088	.061	.053	.064	.142	.088	.131

ตารางผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การปอกไม่ออก (PU)

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F Value	Pr>F
Treatment	24	51535.040	2147.293	188.355	.000**
PRESSURE	20	40720.027	2036.001	178.593	.000**
RPM	0	.000			
PRESSURE*RPM	0	.000			
Error	100	1140.025	11.400		
Corrected Total	124	52675.065			
CV	4.85				

** = significant at 1% level; * = significant at 5% level; ns = not significant

หมายเหตุ PRESSURE = แรงดันลมของล้อยาง, RPM = รอบการหมุนของล้อยาง

ตารางผนวกที่ 6 การจำแนกกลุ่มของเปอร์เซ็นต์การปอกไม่ออก (PU) โดยวิธี Duncan[a]

แรงดัน	รอบหมุน	N	Subset											
KPa	rpm		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
276	440	5	4.33											
276	645	5	4.33											
276	508	5	5.00											
207	645	5	5.33	5.33										
207	508	5		9.67	9.67									
207	440	5		9.67	9.67									
138	645	5			13.00	13.00								
276	370	5				14.33	14.33							
138	508	5				14.67	14.67							
138	440	5				16.00	16.00							
69	645	5				16.33	16.33							
69	440	5					18.67	18.67						
69	508	5					18.67	18.67						
276	320	5						21.00						
138	370	5							28.00					
207	370	5							28.00					
69	370	5							31.33	31.33				
207	320	5								33.67	33.67			
138	320	5									37.67			
0	645	5										44.67		
69	320	5										48.00		
0	508	5											55.33	
0	440	5												66.67
0	370	5												68.33
0	320	5												69.33
	Sig.		.676	.057	.144	.170	.078	.308	.144	.277	.064	.122	1.00	.243

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การผลิต (PS)

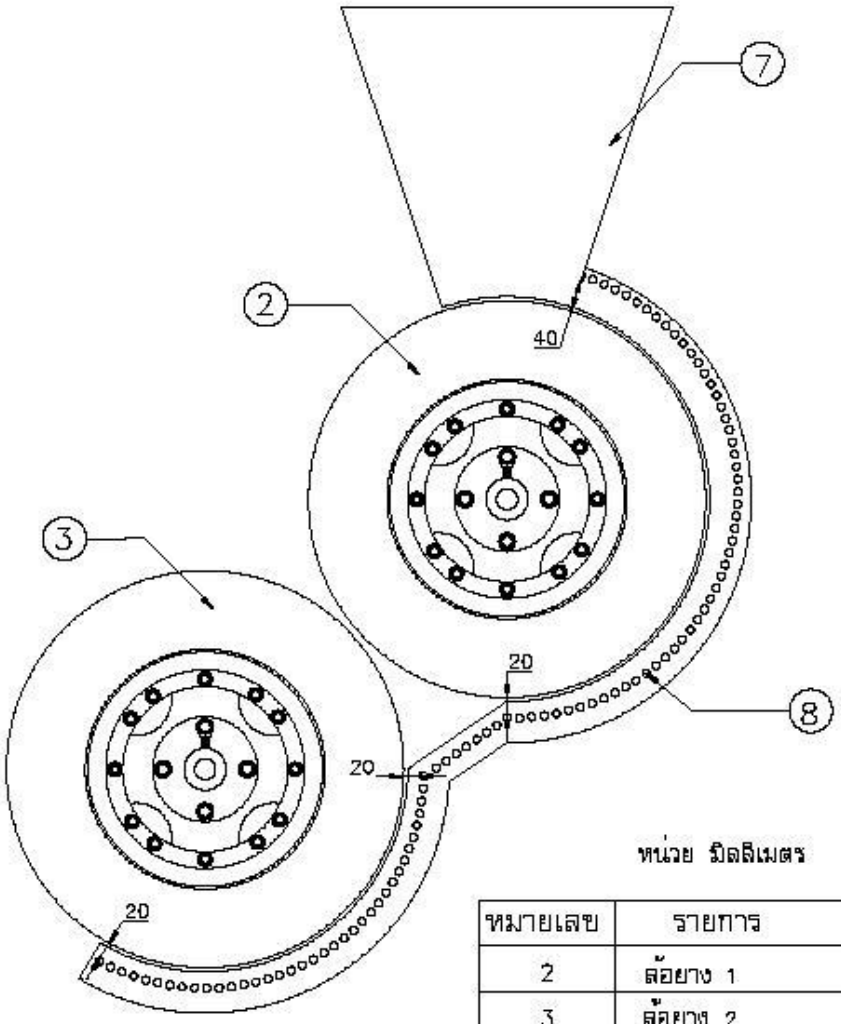
Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F Value	Pr>F
Treatment	24	4842.997	201.792	55.045	.000**
PRESSURE	20	3832.999	191.650	52.278	.000**
RPM	0	.000			
PRESSURE*RPM	0	.000			
Error	100	366.595	3.666		
Corrected Total	124	5209.592			
CV	15.43				

** = significant at 1% level; * = significant at 5% level; ns = not significant

หมายเหตุ PRESSURE = แรงดันลมของล้อยาง, RPM = รอบการหมุนของล้อยาง

ตารางผนวกที่ 8 การจำแนกกลุ่มของเปอร์เซ็นต์การผลิต (PS)โดยวิธี Duncan[a]

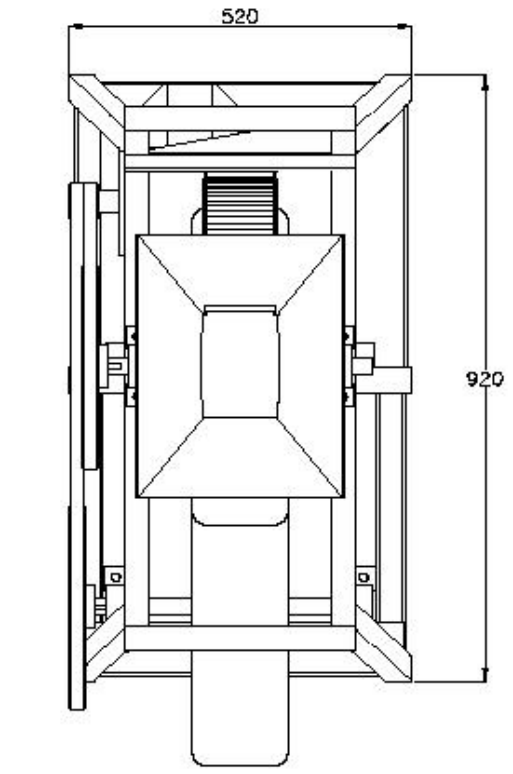
แรงดัน	รอบหมุน	N											
KPa	rpm		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	320	5	61.37											
0	370	5	61.58											
0	440	5	62.13											
0	508	5		64.97										
0	645	5		65.48	65.48									
69	320	5			67.50									
276	320	5				71.08								
138	320	5				71.82								
69	370	5				72.15								
276	370	5				73.00	73.00							
207	320	5				73.53	73.53	73.53						
138	370	5					74.95	74.95	74.95					
207	370	5						75.80	75.80	75.80				
207	645	5							76.65	76.65	76.65			
69	508	5							77.07	77.07	77.07	77.07		
69	645	5							77.38	77.38	77.38	77.38		
276	508	5							77.38	77.38	77.38	77.38		
207	508	5							77.60	77.60	77.60	77.60		
69	440	5							77.63	77.63	77.63	77.63		
276	645	5								78.57	78.57	78.57		
276	440	5									79.13	79.13		
138	508	5									79.35	79.35	79.35	
138	645	5										79.62	79.62	79.62
207	440	5											81.85	81.85
138	440	5												82.08
	Sig.		.555	.671	.099	.073	.132	.079	.060	.052	.061	.077	.053	.056



หน่วย มิลลิเมตร

หมายเลข	รายการ
2	ล้อยาง 1
3	ล้อยาง 2
7	ถังป้อน
8	คะแกรง

ภาพผนวกที่ 1 ชุดกะเทาะผลหมากแห้ง

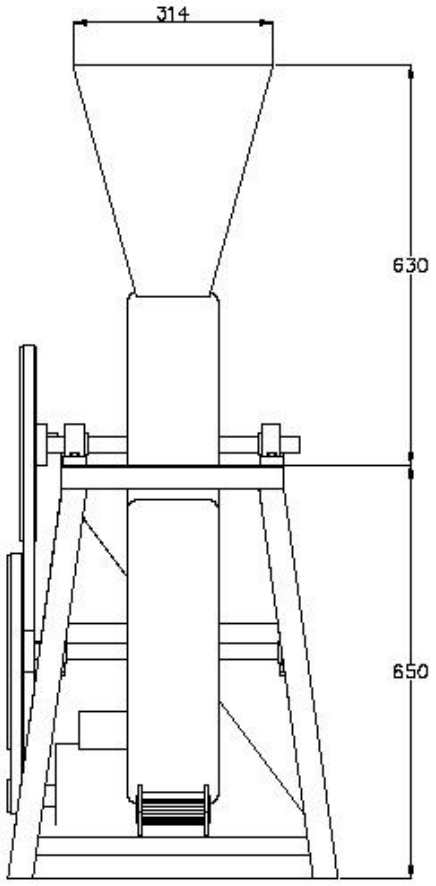


TOP VIEW

เครื่องปอกเปลือกหมาก

มาตราส่วน 1 : 8 หน่วย มิลลิเมตร

ภาพผนวกที่ 2 แบบแสดงรายละเอียดเครื่องปอกเปลือกหมากด้านบน

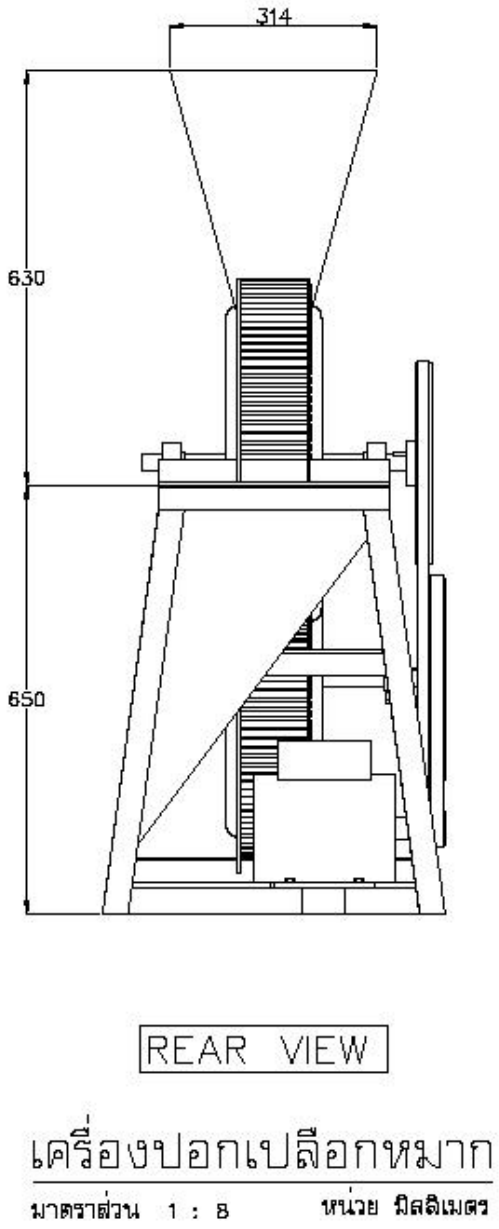


FRONT VIEW

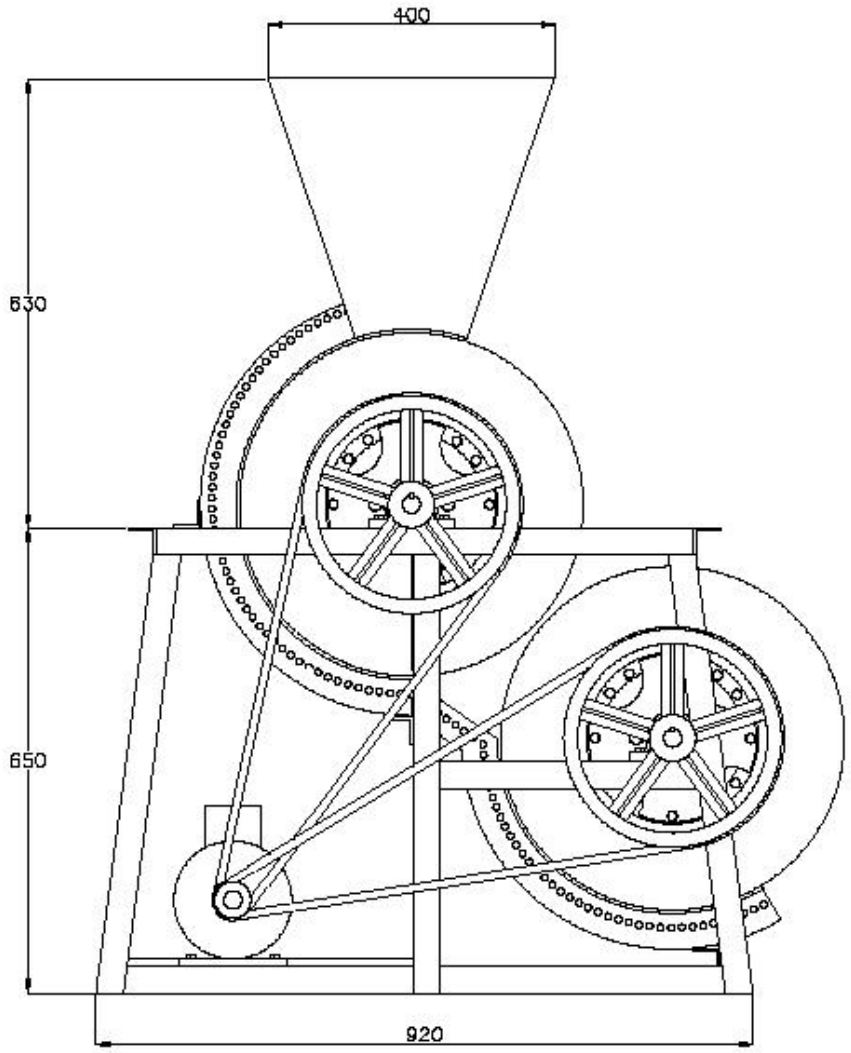
เครื่องปอกเปลือกหมาก

มาตราส่วน 1 : 8 หน่วย มิลลิเมตร

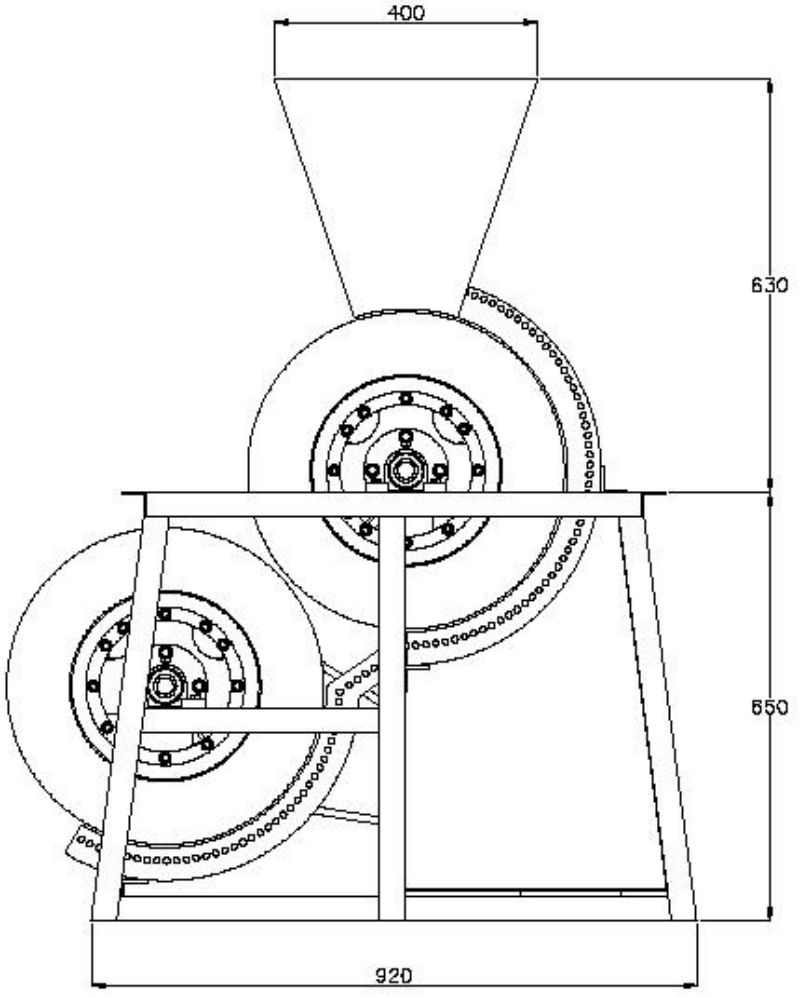
ภาพผนวกที่ 3 แบบแสดงรายละเอียดเครื่องปอกเปลือกหมากด้านหน้า



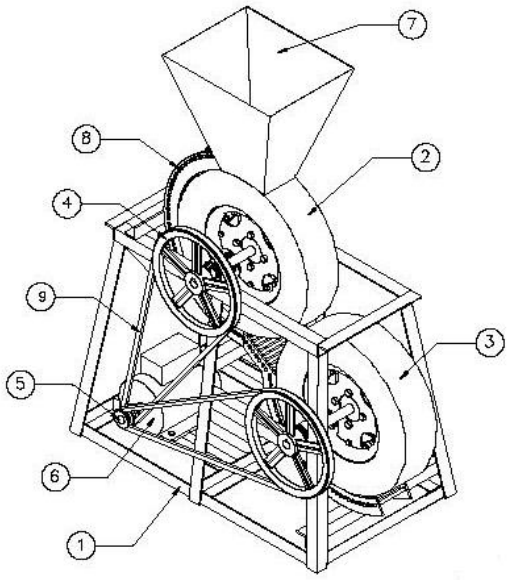
ภาพผนวกที่ 4 แบบแสดงรายละเอียดเครื่องปอกเปลือกหมากด้านหลัง



ภาพผนวกที่ 5 แบบแสดงรายละเอียดเครื่องปอกเปลือกหมากด้านข้างซ้าย

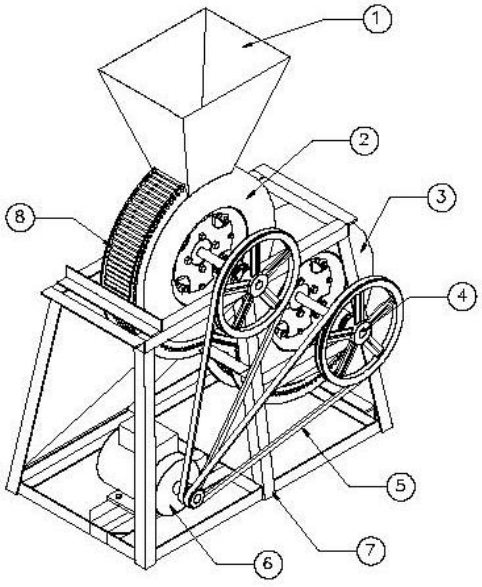


ภาพผนวกที่ 6 แบบแสดงรายละเอียดเครื่องปอกเปลือกหมากด้านข้างขวา



หมายเลข	รายการ
1	โครงสร้าง
2	ล้อยาง 1
3	ล้อยาง 2
4	พูลเลย์ 12 นิ้ว
5	พูลเลย์ 3 นิ้ว
6	มอเตอร์
7	ถังป้อน
8	ตะแกรง
9	สายพานวี

ภาพผนวกที่ 7 แบบแสดงรายละเอียดเครื่องปอกเปลือกหมาก 3 มิติ ด้านหน้า



หมายเลข	รายการ
1	ช่องป้อน
2	ล้อ 1
3	ล้อ 2
4	พูลเลย์
5	สายพาน
6	มอเตอร์
7	โครงสร้าง
8	ตะแกรง

ISOMETRIC VIEW

เครื่องปอกเปลือกหมาก

ภาพผนวกที่ 8 แบบแสดงรายละเอียดเครื่องปอกเปลือกหมาก 3 มิติ ด้านหลัง

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสุทธิพร เนียมหอม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันอังคารที่ 18 พฤษภาคม พศ.2508
สถานที่เกิด	กาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2531) ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2543)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรการเกษตร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนบัณฑิตศึกษา โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์