

พฤติกรรมทางกลเมล็ดกระบอกภายใต้แรงอัด

สมนึก ชูศิลป์

สมโภชน์ สุตาจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

เมล็ดกระบอกนาฬิร่วนและกระบอกคอนกรีตนำมาทดสอบการอัดกะเทาะใน 2 ระบายหลักที่ความเร็วการอัด 4 ระดับ เพื่อหาแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เมล็ดกระบอกทั้งเปลือกถูกกะเทาะ และศึกษาพฤติกรรมการกะเทาะภายใต้แรงอัดซึ่งสัมพันธ์กับการออกแบบและการพัฒนาการกะเทาะกระบอก จากการศึกษาสรุปได้ดังนี้

แรงอัดสูงสุดในแนวแกนและแนวขวางที่ทำให้เปลือกกระบอกนาฬิร่วนถูกกะเทาะ 1,499 และ 2,912 นิวตัน ตามลำดับ การอัดเมล็ดกระบอกนาในแนวแกนเมล็ดต้องการแรงอัดเฉลี่ยต่ำกว่าการอัดตามแนวขวางประมาณ 32% แรงอัดสูงสุดที่ใช้กะเทาะกระบอกคอนในแนวแกนและแนวขวางของเมล็ด 1,421 และ 1,868 นิวตัน ตามลำดับ โดยมีแรงอัดเฉลี่ยในแนวแกนมากกว่าในแนวขวางและแตกต่างกันทางสถิติในช่วงความเร็วการอัด 0.83 ถึง 2.92 มม./วินาที ระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดกระบอกจนกระทั่งเปลือกแตกของกระบอกนาและกระบอกคอนอยู่ระหว่าง 1.5–3.5 และ 1.0–2.0 มม. ตามลำดับ การกะเทาะเปลือกกระบอกควรกระทำในแนวแกนและที่ตำแหน่งปลายของเมล็ด

Mechanical Behaviour of *Irvingia Malayana* Nut Under Compressive Loading

Somnuk Chusilp

Somposh Sudajan

Department of Agricultural Engineering

Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Abstract

Smooth-shell lowland and upland varieties of *Irvingia Malayana* nut were subjected to compressive loading along two major planes at four loading speeds to determine the force application and investigate the behaviour of the nut in relation to the design and development of nut shelling machine. Test results are concluded as follows:

The maximum compressive forces required to crack nuts axially and laterally were 1,499 N and 2,912 N for the lowland variety. The mean compressive force for axial compression was lower than lateral compression with a saving in load of 32%. The maximum compressive forces required to crack nuts axially and laterally were 1,421 N and 1,868 N for the upland variety. The mean compressive forces for axial compression was higher than lateral compression, and both were significantly different in the range of 0.83 to 2.92 mm/s loading speeds. The deformation values of shelled rupture were between 1.5–3.5 mm. for lowland variety and 1.0–2.0 mm. for upland variety. The shelling of nut at the tip position by using an axial compression is recommended.

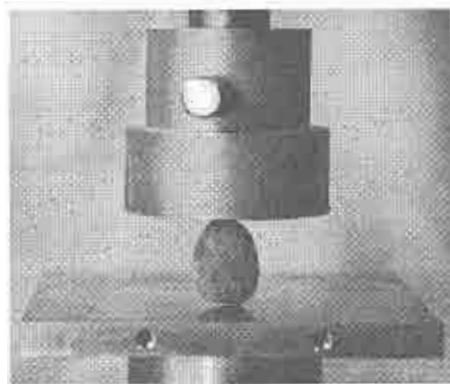
บทนำ

กระบกเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ มีผลมาก ทนความแห้งแล้งได้ดี และมีอายุยืนยาว (อำนวย, 2528) กระบกเริ่มออกดอกประมาณเดือนพฤษภาคมของทุกปี เมื่อผลกระบกสุกแก่จะร่วงลงสู่พื้นดิน เกษตรกรบางท้องถิ่นจะเก็บผลกระบกมาตากแดดให้แห้งหรือเก็บเมล็ดผิวนอกแห้งจากเปลือกย่อยสลายแล้ว เมล็ดกระบกมีรูปร่างคล้ายไข่แต่แบนกว่า มีเปลือกหนาและแข็งหุ้ม เมื่อกะเทาะเปลือกนอกออกจะมีเปลือกชั้นในสีเทาหรือสีเลือดหมูหุ้มเมล็ดเนื้อในอีกชั้นหนึ่ง เมื่อปอกเปลือกส่วนนี้ออกจะเห็นเนื้อในสีขาว สามารถนำมาทำอาหาร ของขบเคี้ยว และมีรสชาติมันอร่อย โดยมีปริมาณเปลือกชั้นนอก เยื่อหุ้มเมล็ดเนื้อใน และเมล็ดเนื้อในเฉลี่ย 77.4% 6.5% และ 16.1% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (สมนึก และ สมโภชน์, 2544) นอกจากนี้ยังสามารถนำเมล็ดเนื้อในมาสกัดน้ำมันใช้เป็นส่วนประกอบในการทำสบู่ และเทียนไขได้ด้วย (อำนวย, 2528) นอกจากนี้คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกระบกที่ต้องใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบการผลิตกระบกแล้ว (สมนึก และ สมโภชน์, 2544) คุณสมบัติทางกลของเมล็ดพืชเช่น การกดอัด การกระแทก และการเฉือน เป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรกลสำหรับการกะเทาะกระบก และเป็นประโยชน์ในการหาวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ผลผลิตที่ได้มีทั้งคุณภาพและปริมาณ (Mohesenin, 1970) การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อหาแรงอัดที่ทำให้เมล็ดกระบกทั้งเปลือกถูกกะเทาะ และศึกษาพฤติกรรมการกะเทาะภายใต้แรงอัดในทิศทางการอัดเมล็ดกระบกต่างกัน จากการตรวจสอบเอกสารยังไม่พบว่ามีการศึกษาคุณสมบัติดังกล่าวของเมล็ดกระบกแต่อย่างใด

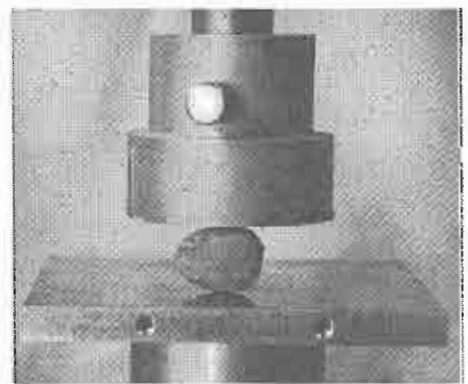
วิธีดำเนินการศึกษา

เมล็ดกระบกที่ใช้ในการศึกษามาจาก 2 แหล่งได้แก่ กระบกนาผิวนอก และกระบกดอน เมล็ดกระบกนาผิวนอกจะมีความชื้นเปลือกและความชื้นเมล็ดในเฉลี่ย 9.75% w.b. และ 5.44% w.b. ตามลำดับ ส่วนกระบกดอนมีความชื้นเปลือกและความชื้นเมล็ดในเฉลี่ย 11.56% และ 7.38% w.b. ตามลำดับ (ASAE, 1983) กระบกนาผิวนอกและกระบกดอน มีลักษณะ รูปร่าง และคุณสมบัติทางกายภาพดังรายงานการศึกษาของ สมนึก และ สมโภชน์ (2544)

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามี 2 ปัจจัยได้แก่ ความเร็วที่ใช้ในการอัด และตำแหน่งการอัด เมล็ดกระบอกหรือลักษณะการวางเมล็ดกระบอกเพื่ออัดกะเทาะ ความเร็วที่ใช้ในการอัดมี 4 ระดับ ได้แก่ 0.83 2.92 5.00 และ 7.08 มม./วินาที ส่วนตำแหน่งการอัดเมล็ดกระบอกกระทำใน 2 ทิศทางคือ ให้แรงอัดในแนวแกนของเมล็ดหรือตามแนวความยาวของเมล็ด และให้แรงอัดในแนวขวางของเมล็ดหรือตามแนวความกว้างของเมล็ด ดังแสดงในรูปที่ 1 การทดสอบการอัดกระทำโดยใช้เครื่อง LLOYD Universal Testing Machine (รุ่น LR 50K) เมล็ดกระบอกถูกจับวางระหว่างหัวอัดกับแผ่นรองอัดซึ่งมีหน้าตัดขนานกัน การทดสอบนี้ใช้ Load Cell ขนาด 50 กิโลนิวตัน การควบคุม บันทึกข้อมูล และวิเคราะห์ผลผ่านระบบการทำงานของ Microsoft Windows' 95 (คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, มปป.) แรงอัดสูงสุดที่ทำให้เมล็ดกระบอกถูกกะเทาะ และความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดกระบอกตั้งแต่เริ่มต้นอัดจนกระทั่งเมล็ดถูกกะเทาะสมบูรณ์ถูกบันทึก การทดสอบการอัดในแต่ละวิธีดเมนต์ (treatment) ใช้เมล็ดกระบอก 20 เมล็ด (ซ้ำ) ต่อชนิดของเมล็ดกระบอก โดยใช้เมล็ดกระบอกทั้งหมด 320 เมล็ด ซึ่งได้มาโดยการสุ่ม การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้ SPSS For Windows V 7.5



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) การอัดเมล็ดกระบอกในแนวแกนหรือตามความยาวเมล็ด

(ข) การอัดในแนวขวางหรือตามความกว้างเมล็ด

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงในตารางที่ 1 ถึง 5 และ รูปที่ 2 ถึง 5 โดยมีรายละเอียดดังนี้

แรงอัดสูงสุดที่ทำให้เมล็ดกระบอกนาฬิรอนทั้งเปลือกถูกกะเทาะจะมีค่าอยู่ในช่วง 800.66–2,539.13 นิวตัน 773.23–2,756.37 นิวตัน 475.13–2,911.61 นิวตัน และ 691.74–2,849.57 นิวตัน เมื่อใช้ความเร็วในการอัด 0.83 2.92 5.00 และ 7.08 มม./วินาที ดังแสดงในรูปที่ 2 และตารางที่ 1 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 3 พบว่าการอัดเมล็ดกระบอกในแนวแกนและในแนวขวางจะใช้แรงอัดกะเทาะสูงสุดแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 1% และความเร็วในการอัดกะเทาะในช่วง 0.83 ถึง 7.08 มม./วินาที ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีแรงอัดเฉลี่ยในแนวแกนและแนวขวางของเมล็ดเป็น 1,158 และ 1,528 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งการกะเทาะเมล็ดกระบอกในแนวแกนจะใช้แรงอัดเฉลี่ยต่ำกว่าประมาณ 32% เนื่องจากเปลือกของเมล็ดด้านนี้มีความหนาและมีพื้นที่รับแรงมากกว่า จึงมีแรงต้านทานมาก ในขณะที่ด้านปลายของเมล็ดซึ่งอยู่ในแนวแกนหรือในแนวความยาวของเมล็ดมีเปลือกบางกว่าและมีรูปร่างแหลมจนทำให้มีพื้นที่รับแรงอัดน้อย มีแนวร่องผ่าที่ตำแหน่งปลายเมล็ด และระยะระหว่างปลายเมล็ดทั้งเปลือกกับเมล็ดในแคบสุด จึงทำให้การกะเทาะเปลือกด้านนี้ง่ายกว่า จากการสังเกตขณะทดสอบพบว่า เปลือกกระบอกจะเริ่มแตกที่ตำแหน่งปลายของเมล็ดก่อนทั้งกรณีการอัดในแนวแกนและอัดในแนวขวางเมล็ด

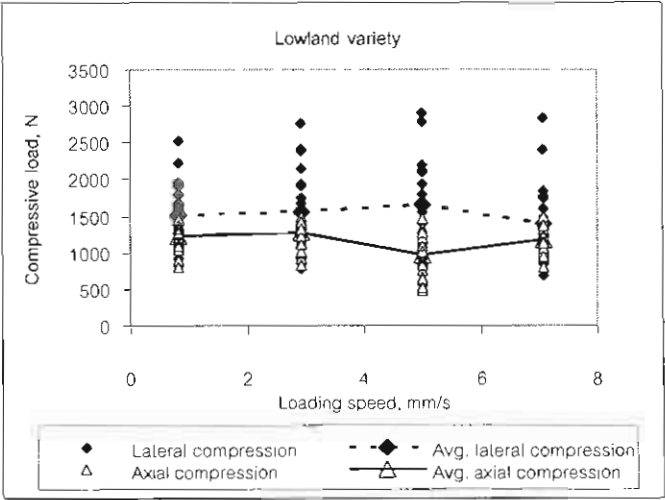
ผลการทดสอบแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เมล็ดกระบอกดอนทั้งเปลือกถูกกะเทาะจะอยู่ในช่วง 338.66–1,476.3 นิวตัน 432.36–1,476.01 นิวตัน 567.15–1,480.51 นิวตัน และ 527.78–1,867.91 นิวตัน ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3 เมื่อใช้ความเร็วในการอัดกะเทาะในช่วงเดียวกันกับการกะเทาะกระบอกนาฬิรอน จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ตำแหน่งการอัดกะเทาะและความเร็วในการอัดมี Interaction กัน ที่ระดับนัยสำคัญ 1% การกะเทาะกระบอกดอนในแนวแกนและในแนวขวางเมล็ดจะใช้แรงอัดสูงสุดเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติในช่วงความเร็วการอัดกะเทาะ 0.83 ถึง 2.92 มม./วินาที และไม่แตกต่างกันทางสถิติในช่วงความเร็วการอัด 5.00 ถึง 7.08 มม./วินาที โดยมีค่าแรงอัดสูงสุดเฉลี่ยของกระบอกดอนอยู่ระหว่าง 852.76–1,152.12 นิวตัน (ตารางที่ 4 และ 5) ซึ่งค่าแรงอัดดังกล่าวต่ำกว่าแรงที่ใช้อัดกะเทาะ

กระบอกนา และตำแหน่งเริ่มแตกของเปลือกกระบอกนอนอยู่ที่ตำแหน่งปลายของเมล็ดเช่นเดียวกับการกะเทาะกระบอกนาฝักร้อน

ตารางที่ 1
แรงอัดสูงสุดที่ทำให้กระบอกนาฝักร้อนถูกกะเทาะ

ความเร็วในการอัด กะเทาะ (มม./วินาที)	ตำแหน่งการอัด เมล็ดตกระบอก	แรงอัดสูงสุดที่ทำให้เมล็ดตกระบอก (นิวตัน)				
		Min	Max	Mean ⁽¹⁾	SD ⁽²⁾	CV ⁽³⁾ (%)
0.83	อัดในแนวขวาง	824.08	2,539.13	1,517.78	446.09	29.39
	อัดในแนวแกน	800.66	1,460.21	1,226.02	178.00	14.52
2.92	อัดในแนวขวาง	773.23	2,756.37	1,556.80	538.76	34.61
	อัดในแนวแกน	830.33	1,496.77	1,266.79	192.15	15.17
5.00	อัดในแนวขวาง	715.98	2,911.61	1,645.08	591.13	35.93
	อัดในแนวแกน	475.13	1,461.97	960.87	315.61	32.85
7.08	อัดในแนวขวาง	691.74	2,849.57	1,393.33	519.61	37.29
	อัดในแนวแกน	813.61	1,499.23	1,178.60	175.49	14.89

หมายเหตุ: (1) ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 20 ซ้ำ
(2) SD = Standard deviation
(3) CV = Coefficient of variation



รูปที่ 2 ผลของความเร็วในการอัดที่มีต่อแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เปลือกกระบอกนาฝักร้อนถูกกะเทาะ

ตารางที่ 2

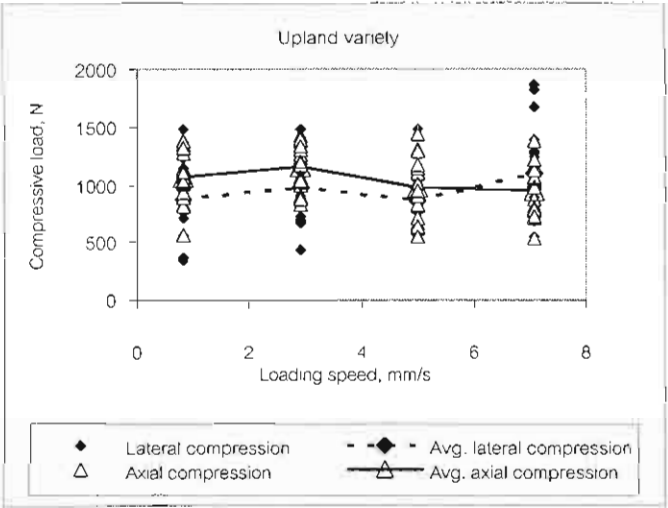
แรงอัดสูงสุดที่ทำให้กระบอกคอนกรีตหัก

ความเร็วในการอัด กะเทาะ (มม./วินาที)	ตำแหน่งการอัด เมื่อลัดกระบอก	แรงอัดสูงสุดที่ทำให้เมื่อลัดถูกกะเทาะ (นิวตัน)				
		Min	Max	Mean ⁽¹⁾	SD ⁽²⁾	CV ⁽³⁾ (%)
0.83	อัดในแนวขวาง	338.66	1,476.30	879.81	278.49	31.65
	อัดในแนวแกน	568.25	1,373.43	1,062.11	190.81	17.97
2.92	อัดในแนวขวาง	432.36	1,476.01	972.71	320.43	32.94
	อัดในแนวแกน	823.04	1,420.85	1,151.12	189.30	16.44
5.00	อัดในแนวขวาง	567.15	1,480.51	852.76	225.57	26.45
	อัดในแนวแกน	625.37	1,303.49	974.96	245.82	25.21
7.08	อัดในแนวขวาง	551.52	1,867.91	1,094.44	372.32	34.02
	อัดในแนวแกน	527.78	1,376.34	943.86	201.96	21.40

หมายเหตุ: (1) ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 20 ซ้ำ

(2) SD = Standard deviation

(3) CV = Coefficient of variation



รูปที่ 3 ผลของความเร็วในการอัดที่มีต่อ แรงอัดสูงสุดที่ทำให้เปลือกกระบอกคอนกรีตหัก

รูปที่ 4 และ 5 แสดงตัวอย่างกราฟของแรงอัดกะเทาะกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดกระบอกตันและกระบอกนาฬิการ่อนที่ความเร็วในการอัด 10 มม./นาที และ 480 มม./นาที ซึ่งเป็นช่วงความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วต่ำสุดและสูงสุดของการทำงานของเครื่อง LLOYD Universal Testing Machine (รุ่น LR 50K) ตามลำดับ

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า พฤติกรรมของแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดกระบอกตันที่ถูกอัดในแนวแกนอาจแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงเริ่มต้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเล็กน้อย โดยมีลักษณะเป็นเส้นโค้งและไม่อยู่ในลักษณะ elastic (non-elastic) ในช่วงที่สองพฤติกรรมของแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดที่ถูกอัดเป็นลักษณะ primary resistance หรือ elastic stage ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะเป็นสัดส่วนค่อนข้างคงที่จนถึงจุดเริ่มแตก (first crack) จากนั้นค่าแรงอัดจะลดลงอย่างรวดเร็วและมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากจนกระทั่งเมล็ดกระบอกถูกกะเทาะสมบูรณ์ ระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดกระบอกตันตั้งแต่เริ่มอัดจนกระทั่งเปลือกกระบอกแตกอยู่ระหว่าง 1.0–2.0 มม.

รูปที่ 5 แสดงพฤติกรรมของแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดกระบอกนาฬิกาที่ถูกอัดในแนวแกนอาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ในช่วงเริ่มต้นและช่วงที่สองมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเช่นเดียวกับการกะเทาะกระบอกตัน ส่วนในช่วงที่สามหรือช่วงสุดท้าย (เมื่อพิจารณาที่ความเร็วการอัด 480 มม./นาที) กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งโดยมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากในขณะที่แรงอัดน้อยลงและลดลงเรื่อยๆ จากนั้นค่าแรงอัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว ระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดกระบอกนาฬิการ่อนตั้งแต่เริ่มอัดจนกระทั่งเปลือกกระบอกแตกอยู่ระหว่าง 1.5–3.5 มม.

สรุปผล

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) แรงอัดสูงสุดที่ใช้กะเทาะกระบอกนาฬิกาในแนวแกนและแนวขวางของเมล็ดประมาณ 1,499 และ 2,912 นิวตัน ตามลำดับ โดยมีแรงอัดสูงสุดเฉลี่ยในแนวแกนและแนวขวางของเมล็ด 1,158 และ 1,528 นิวตัน ตามลำดับ แรงอัดสูงสุดเฉลี่ยตามแนวแกนต่ำกว่าการอัดกะเทาะตามแนวขวางประมาณ 32%

- 2) แรงอัดสูงสุดที่ใช้กะเทาะเมล็ดกระบอกตอนในแนวแกนและแนวขวางของเมล็ด 1,421 และ 1,868 นิวตัน ตามลำดับ โดยมีแรงอัดสูงสุดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 852.76–1,152.12 นิวตัน
- 3) แรงอัดสูงสุดเฉลี่ยกระบอกตอนในแนวแกนมากกว่าในแนวขวางและแตกต่างกันทางสถิติในช่วงความเร็วการอัด 0.83–2.92 มม./วินาที และไม่แตกต่างกันทางสถิติในช่วงความเร็วการอัด 5.00–7.08 มม./วินาที
- 4) ระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดกระบอกตั้งแต่เริ่มต้นอัดกะเทาะจนกระทั่งเปลือกแตกของกระบอกและกระบอกตอนอยู่ในช่วง 1.5–3.5 และ 1.0–2.0 มม. ตามลำดับ
- 5) เปลือกกระบอกจะเริ่มแตกที่ตำแหน่งปลายของเมล็ดเมื่อให้แรงอัด
- 6) การกะเทาะเปลือกกระบอกควรกระทำในแนวแกนและที่ตำแหน่งปลายของเมล็ด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และสภามหาวิทยาลัยแห่งชาติด้านสนับสนุนให้ทุนอุดหนุนทั่วไปปี 2543 บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องกะเทาะกระบอก

เอกสารอ้างอิง

1. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มปป. คู่มือปฏิบัติการการใช้เครื่อง LLOYD UNIVERSAL TESTING MACHINE (รุ่น LR 50K). ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
2. สมนึก ชูศิลป์ และ สมโภชน์ สุดาจันทร์. 2544. คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกระบก. การประชุมวิชาการ ประจำปี 2544 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย เรื่อง วิศวกรรมเกษตรกับวิชาการสร้างสรรค์แห่ง สหสวรรษใหม่ จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

และสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 25-26 มกราคม 2544 ณ โรงแรมเจริญธานีปริมินเชส ขอนแก่น.

3. อำนวย คอวนิช. 2528. ชนิดพันธุ์ไม้ที่เหมาะสมกับงานวนศาสตร์ชุมชน. หนังสือวนศาสตร์ชุมชน.

4. ASAE .1983. Moisture Measurement-Peanuts. ASAE standard: ASAE S410,

5. Agricultural Engineers Handbook, pp.329-330. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers.

6. Mohsenin, N.N. 1970. Physical Properties of Plant and Animal Materials. New York, McGraw-Hall.

ตารางที่ 3

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เปลือกกระบอกนาฬิร่อนถูกกะเทาะ

Source	df	SS	MS	F-value	p-value
ตำแหน่งการอัดกะเทาะ (A)	1	5,481,329	5,481,329	31.855 **	0.000
ความเร็วในการอัด (B)	3	416,888	138,963	0.808 ns	0.491
AB	3	1,353,581	451,194	2.622 ns	0.053
Error	152	26,154,473	172,069		

** : แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 1% ns : ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เปลือกกระบอกดอนถูกกะเทาะ

Source	df	SS	MS	F-value	p-value
ตำแหน่งการอัดกะเทาะ (A)	1	199,233	199,233	2.367 ns	0.117
ความเร็วในการอัด (B)	3	561,048	187,016	2.329 ns	0.077
AB	3	1,003,027	334,342	4.164 **	0.007
Error	152	12,203,320	80,285		

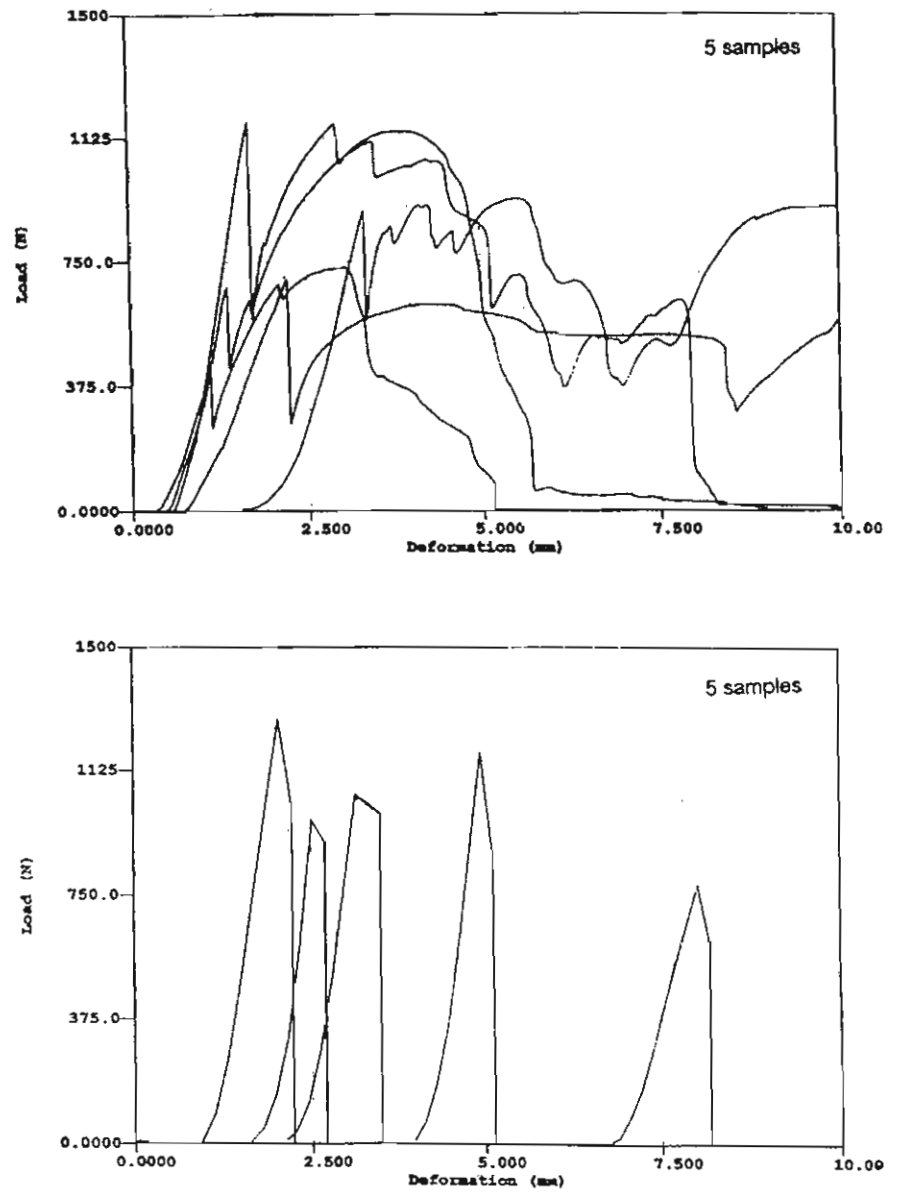
$LSD_{0.05} = 176\text{ N}$; $LSD_{0.01} = 231\text{ N}$ ** : แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 1% ns : ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 5

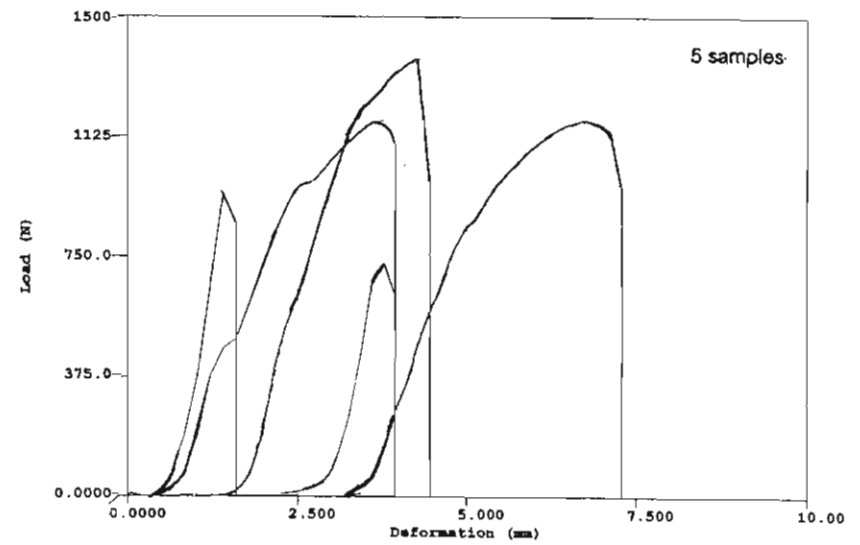
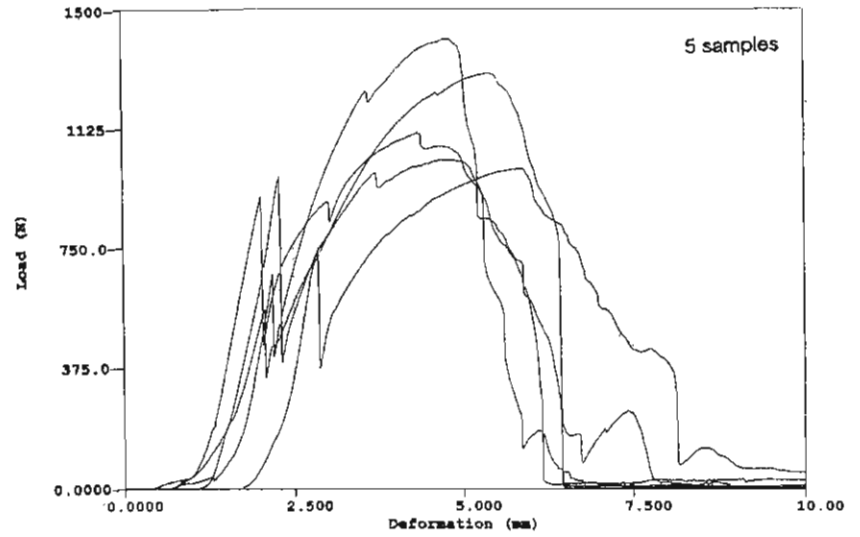
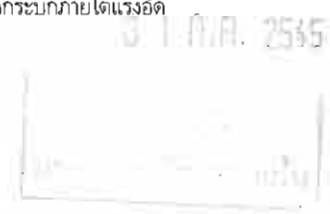
การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุดที่ใช้กะเทาะกระบอกคอน

ความเร็วในการอัดกะเทาะ (มม./วินาที)	ตำแหน่งการอัดกะเทาะเมล็ดกระบอก		ผลต่างของแรงอัดที่ตำแหน่ง การอัดต่างกัน
	อัดในแนวขวาง	อัดในแนวแกน	
0.83	879.81 b	1062.11 ab	182.30 *
2.92	972.71 ab	1152.12 a	179.41 *
5.00	852.76 b	974.96 b	122.20 ns
7.08	1094.44 a	943.86 b	150.58 ns

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละตำแหน่งการอัดกะเทาะ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5%
** : แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 1%
* : แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5%
ns : ไม่แตกต่างกันทางสถิติ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดสูงสุดและลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดกระบอกตอน
เมื่ออัดในแนวแกนด้วยความเร็วในการอัด 10 มม./นาที (บน) และ 480 มม./นาที (ล่าง)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดสูงสุดและลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดกระบอกนาฬิกาเมื่ออัดในแนวแกนด้วยความเร็วในการอัด 10 มม./นาที (บน) และ 480 มม./นาที (ล่าง)