อิทธิพลการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าวต่อปริมาณการแตกหักของข้าวหอมมะลิ 105 ด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

รังสรรค์ ไชยเชษฐ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

EFFECT OF VIBRATION OF THE RICE POLISHING CYLINDER ON THE PERCENTAGE OF BROKEN HOM-MALI 105 RICE IN A SMALL RICE MILL

RUNGSAN CHAIYACHET

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

MAJOR IN INDUDTRAIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

YEAR 2011

COPY RIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง อิทธิพลการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าวต่อปริมาณการแตกหักของข้าวหอมมะลิ 105 ด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

ผู้วิจัย นายรังสรรค์ ไชยเชษฐ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ลี)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์)

..... กรรมการ

(ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนนาถ กฤตวรกาญจน์)

..... คณบดี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2554

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ลี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษาและให้ความรู้ด้านวิชาการซึ่งเป็นแนวทางการทำวิจัยและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนเป็นแบบอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัยมาตลอด รวมถึงการให้ความเอาใจใส่ดูแล ช่วยเหลือจัดหาเครื่องมือในการทำวิจัยและช่วยตรวจสอบการดำเนินงานการทำวิทยานิพนธ์อย่างสม่ำเสมอ ทางผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ บุคลากร และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ตลอดจนเจ้าหน้าที่งานบัณฑิตศึกษาของหลักสูตรและคณะ รวมทั้ง นักศึกษาปริญญาโท เอก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออภินันท์ ไชยเชษฐ์ คุณแม่สมร ไชยเชษฐ์ ซึ่งเป็นครอบครัวที่ให้การสนับสนุนตลอดมาและเป็นกำลังใจอันใหญ่ยิ่ง ให้การศึกษาครั้งนี้เพื่อให้สำเร็จด้วยดี

ท้ายสุดนี้ หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น และผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้ คงมีประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อย สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนผู้สนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับ “การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนและการแตกหักของข้าวสารจากการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวในการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก” ต่อไป

(นายรังสรรค์ ไชยเชษฐ์)
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : อิทธิพลการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าวต่อปริมาณการแตกหักของข้าวหอมมะลิ 105 ด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

โดย : รังสรรค์ ไชยเชษฐ์

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ลี

ศัพท์สำคัญ : สมดุล ลูกหินขัดข้าว เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ ศึกษาอิทธิพลการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าวต่อปริมาณการแตกหักของข้าวหอมมะลิ 105 ด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ซึ่งปัจจุบันเครื่องสีข้าวขนาดเล็กนิยมใช้กันมากในชุมชน เนื่องมาจากการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน ราคาถูก การบำรุงรักษาที่ง่าย แต่อย่างไรก็ตาม การสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กมีปริมาณการแตกหักของข้าวสารจำนวนมาก ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของข้าวสาร การดำเนินงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการแตกหักของข้าวสารและการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าวโดยทำการติดตะกั่วถ่วงเพื่อเพิ่มน้ำหนักในลูกหินขัดข้าวจาก 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 กรัม ลูกหินปกติมีการสั่นสะเทือนประมาณ 1.70 มิลลิเมตรต่อวินาที มีการแตกหักของข้าวสารเฉลี่ยร้อยละ 28.27 จากการทดลองพบว่าการสั่นสะเทือนแปรผันตรงกับน้ำหนักตะกั่วที่เพิ่มขึ้น การสั่นสะเทือนมากที่สุดประมาณ 2.23 มิลลิเมตรต่อวินาที (30 กรัม) ทำให้เกิดการแตกหักมากที่สุดเฉลี่ยร้อยละ 31.57 จากนั้น ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างลูกหินขัดที่ปรับสมดุลย์และไม่ปรับสมดุลย์ โดยใช้ลูกหินที่ขึ้นรูปด้วยมือและขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงมาปรับสมดุลย์ด้วยเทคนิคการสมดุลย์แบบสถิตย์ ผลการทดลองพบว่า ลูกหินขัดข้าวที่หล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์ มีการสั่นสะเทือนที่ต่ำที่สุดร้อยละ1.28 มิลลิเมตรต่อวินาที และให้ปริมาณการแตกหักต่ำที่สุดในการทดลองเฉลี่ยร้อยละ 15.34 จึงสรุปได้ว่า หากปริมาณของการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น การแตกหักจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปหล่อด้วยมือสามารถลดการสั่นสะเทือนได้สูงสุดร้อยละ 13.63 และหล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงลดได้สูงสุดร้อยละ 11.40 อย่างไรก็ตาม ลูกหินขัดข้าวที่หล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์จะมีการสั่นสะเทือนต่ำกว่าลูกหินที่หล่อด้วยมือปรับสมดุลย์ และมีการแตกหักของข้าวสารต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 24 นอกจากนี้ยัง

พบว่า ความเร็วรอบของลูกหิน มีอิทธิพลต่อการสั่นสะเทือน กล่าวคือ เมื่อเมื่อความเร็วรอบสูง การสั่นสะเทือนจะสูงขึ้น แต่ความเร็วรอบที่ให้ปริมาณข้าวหักต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1420 รอบต่อนาที

ABSTRACT

TITLE : EFFECT OF VIBRATION OF THE RICE POLISHING CYLINDER ON THE PERCENTAGE OF BROKEN HOM-MALI 105 RICE IN A SMALL RICE MILL

BY : RUNGSAN CHIYACHET

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF. SUKANGKANA LEE, Ph.D.

KEYWORDS : BALANCING / RICE POLISHING CYLINDER / SMALL RICE MACHNE

This research aimed to study the effect of vibration of the rice polishing cylinder on the amount of broken Hom-Mali 105 rice in a small rice mill. Nowadays, a small rice mill is widely used in the communities because it is ease to use, cheap, and easy to maintenance. However, the amount of broken rice after milling is relatively high affected the quality of rice. The relationship between quantity of broken of rice and vibration of the rice polishing cylinder were studied using the lead weight from 5, 10, 15, 20, 25 and 30 gram attached to cylinder during milling. It was found that the initial vibration of cylinder was 1.70 mm/s which having the broken rice of 28.27%. Vibration was direct proportion to weight of lead. Amount of broken rice was also direct proportion to vibration. The maximum percentage broken rice of 31.57% obtained of the maximum vibration of 2.23 mm/s (30 grams). The technique used in balancing cylinder was called "Static balancing" that could reduce the vibration. In a comparison between the hand spun forming and by centrifugal forming, it was found that the balanced and centrifugal forming rice polishing cylinder had the lowest vibration of 1.28 mm/s and the broken rice was 15.34%. The result shown that vibration of the hand spun forming cylinder could be reduced at maximum of 13.63 percent and that of the rice polishing cylinder formed by centrifugal machine could be reduced at maximum of 11.40. However, the rice polishing cylinder formed by centrifugal machine exhibited lower vibration that the hand spun forming cylinder and exhibited 24 percent lower in amount of broken rice. Furthermore, it was found that velocity of cylinder also has an

effect on vibration ie, vibration increased with increasing of velocity. The lowest amount of broken rice obtained from velocity of 1420 rpm.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ง**
สารบัญ	**ฉ**
สารบัญตาราง	**ฌ**
สารบัญรูปภาพ	**ญ**
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.7 สถานดำเนินการวิจัย	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	6
2.2 โรงสีข้าว	9
2.3 กรรมวิธีการแปรสภาพข้าวหรือการสีข้าว	10
2.4 เครื่องสีข้าวระดับหมู่บ้าน	21
2.5 หินขัดข้าว	23
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกหักของข้าว	26
2.7 การสั่นสะเทือนและการปรับสมดุลย์	31
2.8 การออกแบบการทดลอง	39
2.9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก 48

3.2 การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวและแท่นช่วยในการวัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว 59

3.3 การศึกษาเปรียบเทียบการปรับสมดุลย์ลูกหินที่ขึ้นรูปต่างชนิดที่ส่งผลต่อความแตกต่างการสั่นสะเทือน 63

3.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนกับการแตกหักของข้าวสารและความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิของห้องขัดจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก 66

4 ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก 68

4.2 การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวและแท่นช่วยในการวัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว 70

4.3 ศึกษาเปรียบเทียบการปรับลดการสั่นสะเทือน จากวิธีการรูปลูกหินขัดข้าวและจำนวนชิ้นของชุดปรับสมดุลย์ 72

4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก 73

5 การวิเคราะห์ผลและอภิปรายผล

5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 78

5.2 อภิปรายผล 88

6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย 93

6.2 ข้อเสนอแนะ 95

เอกสารอ้างอิง **97**

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ก ตารางแสดงผลการทดลอง 104

ข ข้อมูลในส่วนตกค้างการทดสอบ 129

ค งานวิจัย 134

ประวัติผู้วิจัย **149**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ขนาดเม็ดหินขัดขาว	24
2.2	คุณภาพการสีจากข้าวเปลือกที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่างๆ กัน	27
2.3	แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกหินขัดขาวและปริมาณลมที่ใช้ในการขัดขาว	30
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหินขัดขาวกับอัตราการป้อน	31
3.1	ปัจจัยควบคุม	48
3.2	ปัจจัยคงที่	49
3.3	ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้	50
3.4	การแสดงค่า α ในแต่ละจำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	51
3.5	ลำดับการทดลองที่ได้จากการออกแบบ โดยโปรแกรม Minitab Release 14 ในการทดสอบ 2 ปัจจัย	53
3.6	ลำดับการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยโปรแกรม Minitab Release 14.ในการทดสอบ 2 ปัจจัย	64
4.1	ตารางอุณหภูมิจากการปรับสมดุลย์ของลูกหินที่ขึ้นรูปต่างกัน	77
5.1	ผลการประมวลอัตราการแตกหักในการเพิ่มน้ำหนักลูกหินขัดข้าว	78
5.2	ผลการประมวลการสั่นสะเทือนจากการปรับสมดุลย์	80
5.3	ผลการประมวลความสัมพันธ์เชิงเส้นการสั่นสะเทือนและการแตกหัก	82
5.4	ผลการประมวลความสัมพันธ์เชิงเส้นการสั่นสะเทือนและการแตกหัก	83
5.5	รายได้และปริมาณร้อยละของมูลค่าการขายผลิตภัณฑ์ที่สีด้วยลูกหินปกติ	85
5.6	ต้นทุนทางตรงของการผลิต (Direct Cost) จากการสีข้าวด้วยลูกหินปกติ	85
5.7	ต้นทุนทางอ้อมหรือค่าใช้จ่ายคงที่ (Indirect Cost)	86
5.8	รายได้และปริมาณร้อยละของมูลค่าการขายผลิตภัณฑ์จากการสีข้าว ด้วยลูกหินปรับสมดุลย์	86
5.9	ต้นทุนทางตรงของการผลิต (Direct Cost) จากการสีข้าวด้วยลูกหินปรับสมดุลย์	87
5.10	เปรียบเทียบจุดคุ้มทุนของการสีข้าวด้วยลูกหินทั้งสองชนิด	87
ก.1	ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อ การแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.2	ผลการทดลองเปรียบเทียบการปรับสมดุลลูกหินที่ขึ้นรูปต่างชนิด ที่ส่งผลต่อความแตกต่างการสั่นสะเทือน	115
ก.3	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือน จากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	117

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	5
2.1	โครงสร้างของเมล็ดข้าว	8
2.2	กรรมวิธีสีข้าว	12
2.3	เครื่องกะเทาะแบบลูกยางหมุน	13
2.4	ขบวนการขัดขาว	14
2.5	เครื่องขัดขาวแบบลูกหินกรวยแกนตั้ง	16
2.6	ลักษณะของตะแกรงขัดขาว	17
2.7	ลักษณะของแท่งยางขัดขาว	17
2.8	การปรับแท่งยางขัดขาว	18
2.9	เครื่องกะเทาะสีข้าว แบบเองเกิ้ลบอร์ด	19
2.10	เครื่องสีข้าวแบบอพอลโล่	20
2.11	เครื่องขัดข้าวแบบลมแรงดันสูง	20
2.12	ลูกหินขัดข้าวแกนนอนที่นิยมใช้ทั่วไปในชนบท	26
2.13	การสั่นสะเทือนแบบฮาร์โมนิคอย่างง่าย	33
2.14	สัญญาณเป็นคาบเวลาแบบฮาร์โมนิค แบบผสม (f+2f)	33
2.15	การแยกส่วนประกอบของสัญญาณ	34
2.16	จุดที่หนักที่สุดจะลงต่ำเมื่อทำการสมดุลทางสถิตย์ศาสตร์ (A) เครื่องปรับสมดุลย์แบบสถิตย์ (B) ความไม่สมดุลย์แบบสถิตย์	34
2.17	จุดที่หนักที่สุดจะลงต่ำเมื่อทำการสมดุลย์ทางสถิตย์ศาสตร์	37
2.18	แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ	38
2.19	การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	44
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	47
3.2	การปรับตั้งความเร็วรอบด้วยชุดควบคุม INVERTER	49
3.3	การเพิ่มน้ำหนักในลูกหินขัดข้าว	49
3.4	เครื่องวัดความชื้นแบบดิจิตอล	54
3.5	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตาชั่ง	54
3.6	เครื่องวัดความชื้นแบบดิจิตอล ยี่ห้อ G-WON รุ่น GMK-303	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.7	เครื่องวัดความเร็วรอบแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Tacho Meter รุ่น DM	55
3.8	เครื่องวัดการสั่นสะเทือน ยี่ห้อ INSPEX รุ่น IPX-602	56
3.9	ฟิวเลอร์เกท ยี่ห้อ HK รุ่น 15SM	56
3.10	เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ ยี่ห้อ Lutron รุ่น TM-958	56
3.11	เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบแกนนอน รุ่นตราเสือ ห.จ.ก. อุบลกรุงไทยกลการ	57
3.12	Inverter ยี่ห้อ Haitec รุ่น H2000 (A) มอเตอร์ 3 เฟส ยี่ห้อ Mitsubishi Electric Corporation รุ่น SF-JR (B)	57
3.13	พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 สหกรณ์การเกษตร	58
3.14	เครื่องคัดแยกข้าวหัก	58
3.15	แบบลูกหินขัดข้าวที่เพิ่มอุปกรณ์ปรับสมดุลย์แล้ว	59
3.16	ด้านหน้าและด้านข้างของลูกหินขัดข้าวที่เพิ่มอุปกรณ์ปรับสมดุลย์	59
3.17	ส่วนประกอบของชุดปรับสมดุลย์ ลูกหินที่เพิ่มชุดปรับสมดุลย์	60
3.18	ชุดแท่นวัดแรงสั่นสะเทือน	60
3.19	แบบด้านหน้าและด้านข้างของแท่นวัดแรงสั่นสะเทือน	61
3.20	แท่นช่วยวัดแรงสั่นสะเทือน	61
3.21	ขั้นตอนการเปรียบเทียบการปรับสมดุลย์ลูกหินที่ขึ้นรูปต่างชนิด ที่ส่งผลต่อความแตกต่างการสั่นสะเทือน	62
3.22	ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวต่อการสั่นสะเทือน	67
3.23	ขั้นตอนการทดสอบการสีข้าวโดยลูกหินขัดข้าวที่ปรับสมดุลย์	68
4.1	ค่าเฉลี่ยการแตกหักจากการเพิ่มน้ำหนักของลูกหิน	68
4.2	ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนจากการเพิ่มน้ำหนักของลูกหิน	70
4.3	ชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลย์	71
4.4	แท่นช่วยในการวัดการสั่นสะเทือน	71
4.5	การสั่นสะเทือนของลูกหินที่ได้จากการปรับสมดุลย์	72
4.6	ลูกหินขัดข้าวบนแท่นปรับสมดุลย์	73
4.7	การแบ่งจุดกึ่งกลางในบริเวณด้านข้างของลูกหินขัดข้าว	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.8	การทำเครื่องหมายและการแบ่งเส้นเพื่อช่วยในการปรับสมดุลย์	74
4.9	การปรับตำแน่งชุดเคลื่อนที่เพื่อปรับสมดุลย์	74
4.10	ค่าเฉลี่ยร้อยละการแตกหักของข้าวสาร	75
4.11	ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนจากการทดลองสีข้าว	76
5.1	ค่าเฉลี่ยของการทดลองการเพิ่มน้ำหนักถูกหินขัดข้าว	79
5.2	ค่าเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนในการขึ้นรูปทั้ง 2 วิธี จากการปรับสมดุลย์	81
5.2	ค่าเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนในการขึ้นรูปทั้ง 2 วิธี จากการปรับสมดุลย์	81
5.4	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการแตกหักและการสั่นสะเทือน	82
5.5	สมการเชิงเส้นของการแตกหักและการสั่นสะเทือน	82
5.6	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ	83
5.7	สมการเชิงเส้นของอุณหภูมิและการสั่นสะเทือน	83

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Oryzae Sativa และข้าวเป็นพืชที่นับว่ามีความสำคัญต่อมนุษย์มานานนับเป็นพันปี ซึ่งประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของโลกนั้นบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะในทวีปเอเชีย มีพื้นที่ปลูกข้าว ประมาณร้อยละ 90 ของพื้นที่ปลูกข้าว ทั้งหมดของโลก สำหรับ ประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกข้าว มากเป็นอันดับ 5 ของโลก (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2545) ซึ่งข้าวนั้นเป็นพืชที่เป็นอาหารหลักประจำชาติไทยและเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทยซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า คนไทยมีการใช้ข้าวในการประกอบพิธีกรรมต่างๆ ตั้งแต่มีการเกิดจนถึงเวลาเสียชีวิต ดังนั้นข้าวจึงมีความสำคัญต่อคนไทยเป็นอย่างยิ่ง ดังพระราชดำรัสของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช "ข้าพเจ้ามีโอกาสได้ศึกษาและทดลองทำนามาบ้างและทราบดีว่าการทำนามีความยากลำบากเป็นอุปสรรคอยู่มิใช่น้อยจำเป็นต้องอาศัยพันธุ์ข้าวที่ดีและต้องใช้วิชาการต่างๆด้วยจึงจะได้ผลเป็นล่ำเป็นสัน" (พระราชดำรัสของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช, 2508) ดังนั้นงานวิจัยนี้ ได้น้อมนำพระราชดำรัสเป็นแนวทางการวิจัย จากความห่วงใยถึงการทำนา การปลูกข้าวให้ได้ข้าวปริมาณที่มาก นั้นก็มีความสำคัญ แต่กระบวนการแปรรูปข้าวนั้นก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการแปรรูปข้าวหรือการสีข้าว ยังคงมีประสิทธิภาพที่ต่ำ หมายความว่า สีข้าวเปลือกแล้วได้ปริมาณข้าวสารน้อย ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาหลักของโรงสีขนาดเล็ก จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าโรงสีข้าวในประเทศไทยทั้งหมดมีจำนวนประมาณ 45,991 โรง ซึ่งมี โรงสี ขนาดใหญ่ ประมาณ 1,500 โรง และโรงสีข้าวขนาดกลางและเล็ก มีจำนวนทั้งหมดมากกว่าที่ 40,000 โรง ซึ่งใช้ลูกหินขัดข้าวเป็นส่วนในการกะเทาะและขัดขาวอยู่ โดยโรงสีข้าวขนาดกลางและเล็กนั้นกระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่การเพาะปลูกข้าวในประเทศ (สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม, 2534) และในปัจจุบันกิจการโรงสีข้าวของประเทศไทยนั้นกำลังประสบ ปัญหาอย่างมาก จนทำให้ โรงสีข้าว หลายแห่ง ต้องปิดกิจการลง ปัญหาของโรงสีข้าวมีทั้งปัญหาภายนอก และปัญหาจากภายในกิจการ โรงสีเอง ซึ่งปัญหาภายนอกก็ประกอบไปด้วย การขาดแคลนแรงงาน อันเนื่องมาจากการทำงานในโรงสีข้าวเป็นงานที่หนัก คนไทยจึงไม่นิยมทำงานในโรงสีข้าว จึงต้องจ้างแรงงานต่างด่าว มาทำงาน จากความเข้มงวดในการจ้างแรงงาน จึงประสบปัญหานี้อย่างมาก และปัญหาจากนโยบายของรัฐบาลที่มีมาตรการ จำนำ

ข้าวเปลือก กับเกษตรกร จึงได้ทำให้ โรงสีมีหน้าที่ เป็นเพียงคนกลางรับสีข้าวให้รัฐบาลเท่านั้น จาก ปัญหาเหล่านี้ได้ทำให้โรงสีข้าวได้ปิดกิจการจำนวนมากถึง 300-400 แห่ง ในส่วนของปัญหาภายใน ก็ได้แก่ ปัญหาเงินทุนหมุนเวียน ในการซื้อข้าวเปลือก เนื่องจากการส่งออก การขายจะมีรูปแบบ เป็น เครดิตและปัญหาสุดท้ายของโรงสีข้าวคือปัญหาจากการที่ผลผลิตในการสีข้าวที่ต่ำมีข้าวหักและของ เสียที่มากจึงทำให้มีต้นทุนในการสีข้าวสูงขึ้นตามไปด้วย (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2550) โรงสีขนาดเล็ก ได้ทำหน้าที่ในส่วนการบริการเกษตรกร โดยที่เกษตรกร นำข้าวเปลือก มาสีให้เป็นข้าวสาร สำหรับ บริโภคในครัวเรือน และโรงสีข้าว ก็จะได้ส่วนรำข้าว ข้าวปลายและแกลบ เป็นของแลกเปลี่ยน ซึ่ง โรงสีข้าวขนาดเล็กนั้นมีความสำคัญ มากในวิธีชีวิตของเกษตร แบบชนบท แต่อย่างไรก็ตามผลผลิต ข้าวจากโรงสีข้าวขนาดเล็ก นั้นข้าวที่ได้ออกมาจะเป็นข้าวเกรดต่ำคือข้าวที่มีปริมาณข้าวหักปะปน อยู่มาก จากงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบปริมาณข้าวหักด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ที่ผลิต ภายในประเทศ พบว่า ปริมาณข้าวหักในการสีข้าวร้อยละ 34.50 (กุศล ประกอบการ, 2542) จาก งานวิจัยการสีข้าวเปลือก นั้นจะให้ผลผลิต จากการสีข้าว นั้นประกอบด้วย แกลบร้อยละ 23 ข้าว กล้องร้อยละ 77 เมื่อนำข้าวกล้อง ไปขัดจะได้รำร้อยละ 8 และได้ข้าวสารรวมข้าวปลายเล็กร้อยละ 68 (Harry Th and L.van Ruiten, 1981) ซึ่งปัญหาของปริมาณการแตกหักของข้าวนั้นได้ทำให้เกณฑ์ คุณภาพ ของข้าวลดลง กล่าวคือเป็นข้าวคุณภาพต่ำ ซึ่งมีการปะปน ของข้าวหักมากกว่า ร้อยละ 15 จึงได้ทำให้ราคาลดลง กว่าครึ่งหนึ่ง ปริมาณการแตกหักของข้าวในการสีนั้น อาจจะเกิดมาจาก ตัว ข้าวเปลือกเอง ที่ก่อนนำเข้ามาในกระบวนการสีเอง และในส่วนวิธีการสีเอง กระบวนการสีข้าว ขั้นตอนที่ทำให้การแตกหัก มี 2 ขั้นตอน คือ การขัดขาว และการกะเทาะเปลือก ซึ่งเครื่องสีข้าว ขนาดเล็ก ทั้งสองขั้นตอน จะอยู่ในกระบวนการเดียว โดยใช้ลูกหินขัดข้าว เป็นตัวขัดและกะเทาะ การกะเทาะและขัดขาวนั้น จะต้องมีช่องว่างในการกะเทาะและขัดขาวที่สม่ำเสมอ หากลูกหินขัดขาว มีความไม่สมดุลย์ ในเนื้อวัสดุจึงทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและมีเสียงที่ดังขณะสีข้าวการสั่นสะเทือน นั้น ได้ทำให้ระยะห่าง ระหว่างลูกหินขัดข้าวและยางขัดขาว นั้นไม่ระยะห่างสม่ำเสมอตลอดแนว การขัดขาวและกะเทาะจึงมีประสิทธิภาพที่ลดลง จึงทำให้เกิดการแตกหัก ที่มากซึ่งระยะห่างลูกหิน ขัดขาวกับยางขัดขาวในการสีข้าว ด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กระยะห่างที่เหมาะสมคือ 1.5 มิลลิเมตร ตลอดความยาวของลูกหินขัดข้าว (ธิติกานต์ บุญแข็ง, 2549) การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเกิดมา จากการหนีศูนย์ ของวัตถุและการสั่นสะเทือนนั้นได้ทำให้เกิดการเสียหายต่อเครื่องสีข้าวเกิดความ สูญเสียประสิทธิภาพของเครื่องจักรกล และต้องเสียค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรสูงขึ้น ดังนั้น โครงการวิจัย นี้จึงเป็น ส่วนหนึ่ง ที่ช่วยให้กลุ่มเกษตรกรผู้ประกอบการโรงสีข้าวขนาดเล็กตลอดจน สถานประกอบการเอกชนที่รับจ้างขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวได้ทราบถึงความสัมพันธ์กันระหว่างการ

สั่นสะเทือน และการแตกหัก อันจะเป็นการช่วยปรับปรุงปัญหาการแตกหักของข้าวสารที่เกิดขึ้นในการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าว และสามารถพัฒนา คุณภาพของลูกหินขัดข้าว ให้ดียิ่งขึ้นได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนและการแตกหักของข้าวหอมมะลิ 105

1.2.2 เพื่อศึกษาข้อมูลและวิธีการในการลดการแตกหักจากการควบคุมการสั่นสะเทือนในการสีข้าวข้าวหอมมะลิ 105

1.3 ขอบเขตการศึกษาค้นคว้า

1.3.1 ใช้เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบแกนนอนตราเสือบริษัทอุบลกรุงไทยกลการในการสีข้าว เนื่องจากเป็นเครื่องสีข้าวที่ได้มาตรฐานได้รับรองจากสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม

1.3.2 ใช้ลูกหินขัดข้าวแกนนอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว และความยาว 12 นิ้ว ซึ่งนิยมใช้กันในท้องตลาดทั่วไป และตามชนบท

1.3.3 ใช้วิธีการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวด้วยวิธีสมดุลย์แบบสถิต ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนเหมาะกับเทคโนโลยีชนบท

1.3.4 ปัจจัยในการศึกษา ได้ทำการศึกษาเฉพาะปัจจัยการแตกหักของข้าวและการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสีข้าว

1.3.5 ใช้พันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 เนื่องจากเป็นพันธุ์ข้าวตามมาตรฐาน มอก.888-2532 ในการทดสอบกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก เป็นพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกกันแพร่หลายตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย โดยนำมาจากสหกรณ์การเกษตร อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งได้รับรองคุณภาพ ว่าได้มาตรฐานจากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าว จังหวัดอุบลราชธานี

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 ข้าว หมายถึง เมล็ดข้าวที่สีเอาเปลือกออกแล้ว รวมถึงข้าวกล้อง ข้าวขาว ข้าวเหนียว และข้าวนึ่ง ทั้งที่เป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักใหญ่ ข้าวหัก และปลายข้าว

1.4.2 ข้าวเปลือก หมายถึง เมล็ดข้าวที่ยังมีเปลือกห่อหุ้มอยู่ ซึ่งยังไม่สามารถบริโภคได้

1.4.3 ระยะพลับพลึง หมายถึง ระยะการเก็บเกี่ยวข้าวที่ โดยนับจากวันที่ข้าวออกดอกไปแล้ว 28-30 วัน

1.4.4 โรงสีข้าว หมายถึง สถานที่ที่แปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสารและผลิตภัณฑ์

1.4.5 ต้นข้าว หมายถึง เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวมากกว่าข้าวหัก แต่ไม่ถึงความยาวของข้าวเต็มเมล็ดและให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ตั้งแต่ ร้อยละ 80 ของเมล็ด

1.4.6 ข้าวหัก หมายถึง เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าวและให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด

1.4.7 DF (Degree of Freedom) หมายถึง ระดับของความอิสระ

1.4.8 P หมายถึงตัวทดสอบสมมุติฐานที่ตั้งไว้ต่อการมีนัยสำคัญ

1.4.9 S หมายถึง ค่าประมาณการของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1.4.10 R-Sq หมายถึง สัมประสิทธิ์ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูล

1.4.11 R-Sq(adj) หมายถึง การทำนายเปรียบเทียบเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูล

1.4.12 SS (Sum of Square) หมายถึง ผลรวมกำลังสอง

1.4.13 MS (Mean of Square) หมายถึง ค่าเฉลี่ยกำลังสอง

1.4.14 F หมายถึง ตัวทดสอบในการตัดสินใจจากอิทธิพลของปัจจัยต่อการมีนัยสำคัญ

1.4.15 P-Value หมายถึง ค่าความน่าจะเป็น เพื่อยอมรับหรือปฏิเสธสมมุติฐาน

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้าว การสีข้าว การสั่นสะเทือนและการปรับสมดุลย์ในลักษณะต่างๆ จากแหล่งข้อมูลทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ รวมถึงเว็บไซต์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 การศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

1.5.3 ออกแบบชุดอุปกรณ์ในการลดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าวและอุปกรณ์ในการช่วยวัดแรงสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว

1.5.4 การศึกษาอิทธิพลการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวต่อการสั่นสะเทือน

1.5.5 การศึกษาอิทธิพลของการสั่นสะเทือนต่อปริมาณการแตกหักและอุณหภูมิ

1.5.6 ประมวลผลของข้อมูลจากการทดลองและทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab R.14

1.5.7 ศึกษาการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว

1.5.8 สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงานการวิจัย

ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เกิดองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว

1.6.2 ได้ทราบถึงความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนกับปริมากการแตกหักข้าว เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการใช้งานลูกหินขัดข้าวอย่างเหมาะสม

1.6.3 สามารถนำผลการวิจัยไปศึกษาต่อยอดในการพัฒนาคุณภาพของลูกหินขัดข้าวได้

1.7 สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือบางส่วนและการเก็บรวบรวมข้อมูลใช้สถานที่ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

2.2 โรงสีข้าว

2.3 กรรมวิธีการแปรสภาพข้าวหรือการสีข้าว

2.4 เครื่องสีข้าวระดับหมู่บ้าน

2.5 หินขัดข้าว

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกหักของข้าว

2.7 การสั่นสะเทือนและการปรับสมดุลย์

2.8 การออกแบบการทดลอง

2.9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

คุณสมบัติ ของเมล็ดข้าวและโครงสร้างภายใน นั้นเป็นสิ่งจำเป็น ที่ผู้ทำวิจัย เกี่ยวข้องกับข้าว ควรทราบอย่างละเอียด เพื่อตอบคำถามถึงสาเหตุการที่เมล็ดข้าวจึงแตกหักง่าย จากการผ่านกระบวนการเก็บเกี่ยว การนวด การลดความชื้น การสีหรือการแปรสภาพให้เป็นข้าวสาร ผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติต่อเมล็ดข้าว (Naphire, 1997) โดยเบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษารายละเอียดของข้าวว่าข้าวเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลหญ้ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Oryza sativa เมล็ดข้าวหรือข้าวเปลือก (Rough rice or Paddy) เป็นส่วนผลของต้นข้าวซึ่งอาจจำแนกเป็นส่วนต่างๆดังนี้

2.1.1 เปลือกนอกหรือแกลบ (Hull or Husk)

เปลือกนอกเป็นส่วนนอกสุดของเมล็ด ทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ เปลือกนอกจะมี 2 ซีก คือ Palea คืออยู่ทางด้านหลังของเมล็ดข้าว และ Lemma คืออยู่ด้านท้องของเมล็ดข้าว

2.1.2 ส่วนที่บริโภคได้หรือข้าวกล้อง (Caryopsis or Brown Rice)

2.1.2.1 เยื่อหุ้มผล (Pericarp)

เยื้อหุ้มผลเป็นชั้นไฟเบอร์ ที่อยู่ถัดจากเปลือกนอก ซึ่งปกติ จะมีสีเทา และมีความเลื่อมมัน อีกประเภทคือเมล็ดข้าว จะจัดเป็นข้าวเมล็ดแดง เปลือกนี้จะหลุดออกง่าย เมื่อผ่านกระบวนการขัดสีข้าวเพื่อจะนำข้าวสารไปบริโภคหน้าที่ของเยื่อหุ้มผล หรือเปลือกในจะช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราและการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดข้าวจากกระบวนการOxidation และเอนไซม์ซึ่งมีสาเหตุมาจาก ออกซิเจนคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ

2.1.2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat or Tegment)

เป็นเซลล์ชั้นเดียวหนา 0.5 ไมครอน ส่วนนี้ส่วนนี้อุดมด้วยโปรตีนไขมัน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

2.1.2.3 ชั้นแอลูโรน (Aleurone layer)

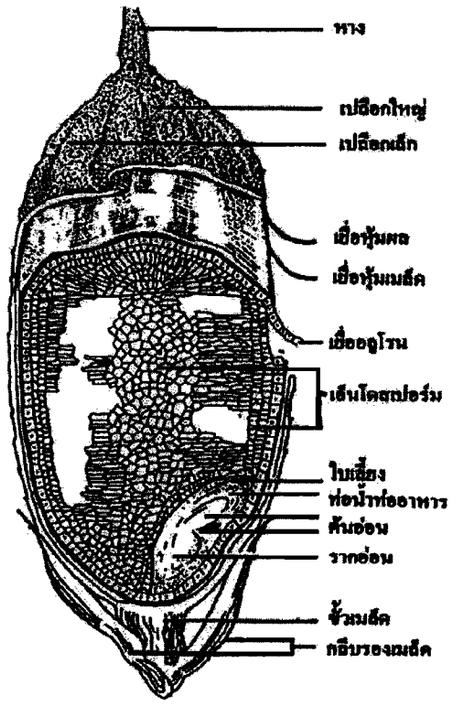
ชั้นแอลูโรนประกอบด้วยเซลล์ที่มีความหนา 1-7 ชั้น ข้าวเมล็ดที่มีลักษณะสั้นและป้อม มักมีจำนวนชั้นแอลูโรนมากกว่า เมล็ดข้าวที่มีลักษณะเรียวยาว และ ด้านหลังของเมล็ดที่ตรงข้ามกับ คัพภะ มักมีจำนวนชั้น ของแอลูโรนมากกว่าด้านท้องของเมล็ดภายใน เซลล์แอลูโรน อุดมด้วยโปรตีน และไขมัน ผนังเซลล์ประกอบ ด้วยโปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเมื่อบริโภค ข้าวกล้อง จึงรู้สึกว่ากระด้างกว่าข้าวสาร

2.1.2.4 คัพภะ (Embryo or Germ)

คัพภะเป็นหน่วยเล็กๆอยู่บริเวณส่วนโคน ด้านท้องเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นจุดติดกับก้านช่อดอก (Panicle) ส่วนของ คัพภะจะเป็นส่วนที่มีชีวิต และสามารถงอกขึ้นไปเป็นใบเลี้ยงของต้นข้าวใหม่ คัพภะสามารถหายใจเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนรวมทั้งใช้อาหารประเภทแป้งที่มีอยู่ในเอ็นโดสเปิร์ม(Endosperm)ขณะเดียวกันก็จะปล่อยความชื้นและความร้อนออกมาด้วยเหตุผลที่ว่าทำไมเมล็ดข้าวเมื่อถูกเก็บรักษานานจะมีน้ำหนักลดลงขณะทำการสี คัพภะจะหลุดไปและเกิดจุดเว้าตรงปลายเมล็ด ที่เรียกว่า จมูกข้าว นอกจากนี้คัพภะยังอุดมไปด้วยวิตามิน เช่น ไรโบฟลาวิน (Ribofravin) ไทอะมีน (Thiamin) และไนอะซิน (Niacin) เป็นต้น

2.1.2.5 เอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm)

เป็นส่วนสำคัญของเมล็ดข้าวที่เหลืออยู่และจะเป็นอาหารมนุษย์ หลังจากเปลือกนอกหรือแกลบ เปลือกใน รำ และคัพภะได้ถูกกำจัดออกไปหมดแล้ว เอ็นโดสเปิร์ม จะประกอบด้วยแป้ง เป็นหลัก คือร้อยละ 80 และโปรตีน อยู่เล็กน้อยเพียงร้อยละ 6 ส่วน เกลือแร่ วิตามิน ตลอดจนไขมัน มีอยู่น้อยมาก โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่มากจึงทำให้ เอ็นโดสเปิร์ม เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (ชาญพิทยา ฉิมพาลี, 2548)

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเมล็ดข้าวนั้น ได้ทำให้ทราบถึงส่วนประกอบของเมล็ดข้าว เพื่อตอบปัญหาของแตกหักของข้าวจากกระบวนการแปรรูป และส่วนประกอบในเมล็ดข้าวนั้นได้ทำทราบว่าเมล็ดข้าวนั้นจะมีส่วนการแตกหักโดยเมื่อเปลือกหุ้มเมล็ดข้าวถูกขัดเอาเปลือกหุ้มออกจึงได้ทำให้เกิดปัญหา การแตกหักของข้าวสารขัด เพราะต้องการให้เมล็ดข้าว มีความขาวน่ารับประทาน จะต้องมีการขัดสี เยื่อเปลือกหุ้มออกจนเกือบหมด จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมในเมล็ดข้าวและจึงทำให้แตกหัก แต่การสีข้าวขาวนั้นเป็นการ เป็นการขัดสารอาหารที่เป็นประโยชน์ออกไปด้วย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสีข้าวหรือลูกหินขัดข้าวควรให้ความสำคัญของส่วนประกอบของข้าวและกระบวนการในการแปรรูปข้าว เพื่อจะได้ทราบถึงสาเหตุของการแตกหักจากสีข้าวว่าเกิดขึ้นเพราะเหตุใด เพื่อที่จะได้หาแนวทางในการลดการแตกหักของข้าวสารได้

2.2 โรงสีข้าว

โรงสีข้าว เป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนการแปรรูปข้าวเปลือก ให้เป็นข้าวสาร ด้วยเครื่องจักรซึ่งโรงสีข้าว เป็นอุตสาหกรรม ที่มีมานานแล้ว ในประเทศไทย และเป็นอุตสาหกรรม ที่มีขนาดใหญ่เพราะมีจำนวน โรงสีมากมาย คุณภาพของข้าวของโรงสีข้าวขนาดเล็กนั้นยังด้อยกว่าโรงสีข้าวขนาดใหญ่ อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีกระบวนการสีข้าว และโรงสีข้าวที่ทำการสีข้าวในปัจจุบันมีขนาดแตกต่างกันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขนาด คือโรงสีข้าวขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ การแบ่งขนาดของโรงสี มาตรฐานที่ใช้จำแนกซึ่งมีอยู่ 2 มาตรฐาน คือ (ฉัตรชาย ศุภจารีรัตน์, 2553)

2.2.1 จำแนกตามกำลังการผลิตต่อวัน

เป็นการจำแนกจากกำลังการผลิตที่สามารถผลิตได้ โดยสามารถจำแนก ดังนี้

2.2.1.1 โรงสีข้าวขนาดเล็ก

โรงสีข้าวขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตไม่เกินวันละ 5 ตันข้าวเปลือกหรือวันละ 5 เกวียนต่อวัน การสีข้าวส่วนใหญ่จะเป็นการสีเพื่อนำมาใช้บริโภคในท้องถิ่น

2.2.1.2 โรงสีข้าวขนาดกลาง

โรงสีข้าวสีข้าวขนาดกลางกำลังการผลิตวันละ 6-20 ตันข้าวเปลือกหรือ 6-20 เกวียนต่อวัน การสีข้าวจะทำการสีเพื่อบริโภคและการจำหน่ายในท้องถิ่น

2.2.1.3 โรงสีข้าวขนาดใหญ่

โรงสีข้าวที่มีกำลังการผลิตเกินวันละ 20 ตันข้าวเปลือกต่อวัน การสีข้าวจะเป็นการสีเพื่อการจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ

2.2.2 จำแนกตามจำนวนคนงาน

2.2.2.1 โรงสีข้าวขนาดเล็ก หมายถึง โรงสีที่ใช้คนงานไม่เกิน 5 คน

2.2.2.2 โรงสีขนาดกลาง หมายถึง โรงสีที่ใช้คนงานไม่เกิน 10 คน

2.2.2.3 โรงสีขนาดใหญ่ หมายถึง โรงสีที่มีคนงานเกิน 10 คน

2.2.3 เครื่องต้นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนที่สีข้าว

2.2.3.1 เครื่องจักรกลไอน้ำ

ใช้แกลบจากการสีข้าวเป็นเชื้อเพลิง การลงทุนติดตั้งในระยะเริ่มต้นค่อนข้างสูง แต่ค่าใช้จ่ายภายหลังการติดตั้งแล้วจะถูกที่สุด เครื่องต้นกำลังแบบนี้เหมาะสำหรับโรงสีข้าวขนาดกลางและขนาดใหญ่

2.2.3.2 เครื่องยนต์ดีเซล

ใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เหมาะกับโรงสีข้าวขนาดกลางและขนาดเล็ก ค่าติดตั้งจะถูกกว่าเครื่องต้นกำลังชนิดอื่นแต่ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงค่อนข้างสูง

2.2.3.3 มอเตอร์ไฟฟ้า

ใช้กระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อนมอเตอร์ เมื่อเริ่มเดินเครื่องจะใช้กระแสมาก แต่มอเตอร์ทำงานและขับเคลื่อนเครื่องสีข้าวแล้วการใช้กระแสไฟฟ้าจะลดลง ซึ่งโรงสีข้าวในประเทศไทยนั้นมีอยู่หลายประเภทด้วยกัน แต่ปัญหาของการสีข้าว ในโรงสีข้าวทุกขนาดคือการสีข้าว แล้วมีปริมาณการแตกหักของข้าวมากด้วยเช่นกัน หมายความว่าปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวจำนวนที่น้อยในการสีข้าว ซึ่งจะเป็นข้าวปลาย ซึ่งข้าวปลายนั้นเมื่อเปรียบเทียบราคาแล้วมีราคาต่ำกว่าข้าวสารเต็มเมล็ดหลายเท่าตัว และในปัจจุบันโรงสีขนาดใหญ่ในปัจจุบันโรงสีข้าวในประเทศไทยมีรวมทั้งสิ้นประมาณ 40,000 โรง แต่เป็นโรงสีขนาดเล็กประมาณร้อยละ 70 ซึ่งโรงสีขนาดเล็กเหล่านี้ ตั้งกระจัดกระจายทั่วไปในท้องที่ที่มีการปลูกข้าว เพื่อทำหน้าที่บริการชาวนาที่นำข้าวเปลือกมาสีให้เป็นข้าวสารสำหรับบริโภคในครัวเรือน ส่วนโรงสีขนาดกลางและโรงสีขนาดใหญ่มักตั้งอยู่ในแหล่งเพาะปลูกข้าวที่สำคัญ เช่น ภาคกลาง ภาคะวันออกเฉียงเหนือ และจังหวัดที่เป็นศูนย์กลางการค้า เพื่อแปรรูปข้าวเปลือกสำหรับบริโภคในประเทศหรือส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ (ถนอม ตะนา, 2527) โรงสีขนาดใหญ่จึงได้มีการปรับตัวพัฒนาการสีข้าว โดยนำเอาเทคโนโลยีชั้นสูง มาใช้ในกระบวนการสีข้าว เพื่อให้ธุรกิจสามารถอยู่รอดได้ ในสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบัน แต่ทางตรงข้ามกันนั้นโรงสีข้าวขนาดเล็กตามชนบทที่ยังใช้การสีข้าวรูปแบบเดิมๆ ซึ่งไม่ได้รับการพัฒนา อันเนื่องมาจากเงินทุนที่จำกัดของเกษตรกรที่ทำการสีข้าว ซึ่งงานวิจัยนี้ก็หวังว่าจะเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรในชนบทได้อีกทางหนึ่ง

2.3 กรรมวิธีการแปรสภาพข้าวหรือการสีข้าว

การแปรสภาพหรือการสีข้าว หมายถึง การทำให้เปลือก รำ และ ตัพภะออกจากเมล็ดข้าวเปลือก โดยให้มีคุณภาพการสีที่ดีคือ ข้าวสารที่ได้มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว มากที่สุด หรือมีปริมาณข้าวหักที่น้อย (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2541)

2.3.1 ขั้นตอนการแปรสภาพหรือสีข้าว

ในการที่จะเปลี่ยนข้าวเปลือกเป็นข้าวสารสำหรับหุงต้ม หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วเกษตรกรจะทำการนวดข้าว ซึ่งหมายถึง การกะเทาะเอาเมล็ดข้าวออกจากรวง แล้วทำความสะอาดเพื่อแยกเมล็ดข้าวลีบและเศษฟางออกไป เหลือไว้เฉพาะเมล็ดข้าวที่ต้องการเท่านั้น เมล็ดที่เกี่ยวมาใหม่ๆ จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 20-25 หลังจากการตากข้าวให้แห้งเป็นเวลา 5-7 วัน เมล็ดข้าวเปลือกจะมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 14 ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมในการสีข้าวและเก็บรักษา การนวดมีหลายวิธี เช่นการนวดแบบฟาดกำข้าว การนวดแบบใช้สัตว์ย่ำ และการนวดโดยใช้

เครื่องทุ่นแรงต่ำ จากนั้นจะเก็บข้าวเปลือกไว้ในยุ้งฉากที่แห้ง อากาศถ่ายเทสะดวกขั้นตอนการสีข้าวมีกรรมวิธีการต่างๆ ทั้งหมด 5 ขั้นตอน (จักร จักกะพาก, 2528)

2.3.1.1 การทำความสะอาดข้าวเปลือก

เป็นกรรมวิธีไม่ให้มีเศษฟาง เศษผง ฝุ่น มีอยู่ด้วยกันหลายวิธีเช่น

1) การสาดข้าว ทำได้โดยใช้พลั่วตักเมล็ดข้าสาดลอยขึ้นไปในอากาศเพื่อให้สิ่งเจือปนที่เบาลอยกว่าออกไป ส่วนเมล็ดข้าวเมล็ดข้าวเปลือกที่ดีจะหนักก็จะตกมารวมกันที่พื้น

2) การใช้กระด้งฝัด สามารถทำกับข้าวที่มีปริมาณน้อย สามารถใช้กระด้งไม้ไผ่แยกข้าวเปลือกดีและสิ่งเจือป่นให้อยู่คนละด้านของกระด้ง แล้วฝัดเอาสิ่งเจือปนทิ้ง

3) การใช้เครื่องสีฝัดเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการให้ลมพัดเอาสิ่งเจือปนออกไป วิธีนี้เป็นวิธีทำความสะอาดเมล็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง

2.3.1.2 การกะเทาะข้าวเปลือก

เป็นกรรมวิธี แยกเปลือกออกจากเมล็ดข้าวกล้อง ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ในโรงสีขนาดเล็กส่วนมากใช้แบบลูกยาง 2 ลูก บางชนิดก็ใช้แบบเหวี่ยงข้าวเปลือกกระทบฝาผนัง

2.3.1.3 การแยกข้าวเปลือกกับข้าวกล้อง

เป็นกรรมวิธีแยกข้าวเปลือกที่หลงเหลือปนอยู่กับข้าวกล้อง ข้าวเปลือกจะถูกส่งไปเข้าเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกใหม่ และข้าวกล้องจะถูกแยกไปเข้าเครื่องสีขัดข้าว ในโรงสีขนาดใหญ่มีเครื่องแยกข้าว แต่ในโรงสีขนาดเล็ก กรรมวิธีนี้อาจไม่ต้องใช้ก็ได้

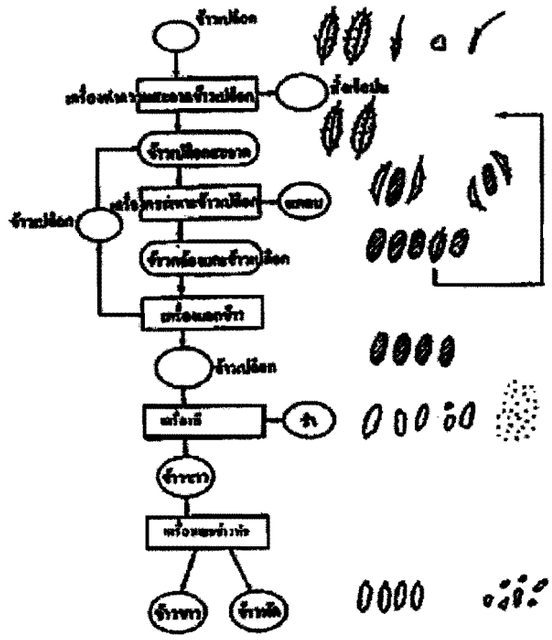
2.3.1.4 การขัดขาว

การขัดขาวเป็นกรรมวิธีการขัดเอารำออกจากเมล็ดข้าวกล้อง เพื่อให้ข้าวกล้องขาวด้วยเครื่องขัดขาว ตัวอย่างเครื่องขัดขาวในโรงสีขนาดใหญ่เป็นแบบเพลาตั้งตรง ดังภาพที่ 2.2 มักมี 3-4 เครื่องทำงานต่อกัน เครื่องขัดขาวพบได้ใน ญี่ปุ่น อเมริกา อินโดนีเซีย มาเลเซีย การขัดขาวในโรงสีขนาดเล็ก เครื่องสีข้าวจะทำการกะเทาะและขัดขาวในเวลาเดียวกัน เช่น เครื่องสีข้าวที่เรียกว่า เองเกิ้ลบอร์ค หรือ อพอลโล่ ซึ่งบางครั้งก็มีตะแกรงช่วยเสริมแยกข้าวหักด้วย

2.3.1.5 การแยกข้าวหัก

การแยกข้าวหัก เป็นกรรมวิธีแยกข้าวหักออกจากข้าวเต็มเมล็ด (ข้าวขาว) จากการขัดข้าว โดยข้าวหักจะถูกแยกเป็นขนาดต่างๆ เครื่องแยกข้าวหัก ใช้ตะแกรงขนาดต่างๆ ทำงานร่วมกัน โดยมีส่วนประกอบ เช่น เครื่องขนถ่ายแบบต่างๆ ถัง สิ้น เป็นต้น เพื่อให้การทำงานเป็นขั้นตอนต่อเนื่อง เป็นระเบียบเรียบร้อย จนถึงขั้นสุดท้ายคือการบรรจุถุงการแปรรูปข้าวหรือการสีข้าวจะดีหรือไม่ดีนั้น จะขึ้นอยู่กับคุณภาพการสี โดยประเมินจากปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวข้าวที่ออกมา ถ้าคุณภาพการสีดีคือเมื่อผ่านกระบวนการขัดสีแล้วจะได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง มี

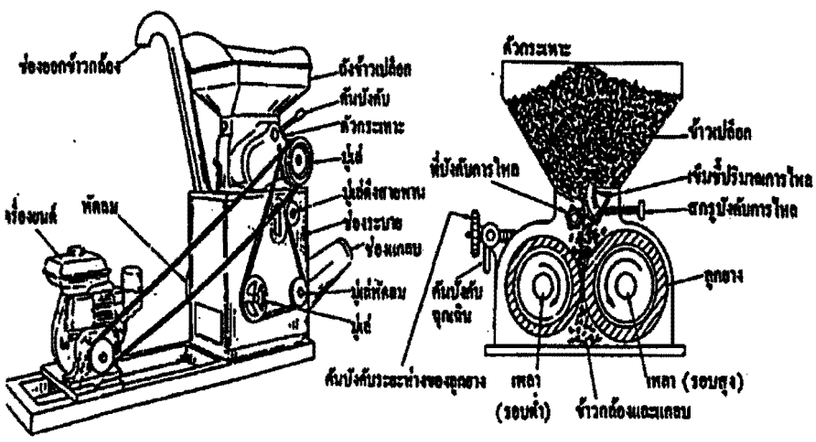
ปริมาณข้าวหักน้อย การประเมินคุณภาพการสีของข้าวจึงเกี่ยวข้องกับการแปรสภาพข้าว หรือการสีข้าวนั้นมีส่วนสำคัญในการแตกหักของข้าวและการแปรรูปข้าวที่มีการขัดขาวในไม่มีส่วนที่จะทำให้ความหอมในเมล็ดข้าวลดลง (ชุติ ม่วงประเสริฐ และคณะ, 2539) แต่จะมีผลต่อการแตกหักของข้าวสารซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้คุณค่าและราคาของข้าวนั้นลดลง เพราะการสีข้าวนั้นยังจำเป็นที่จะต้องขัดข้าวสารให้ขาวเพราะคนส่วนใหญ่ยังนิยมบริโภคข้าวขาว ในกระบวนการขัดขาวการแตกหักของข้าวนั้น ได้เกิดจากความร้อน ของกระบวนการ โดยมีข้อแนะนำ ควรใช้เวลา ในการขัดขาว ไม่เกิน 2 นาที เพื่อลดการแตกหักและการขัดข้าวที่ดีและควรมีการลดความร้อนด้วยอากาศเป็นการช่วยลดการแตกหักอีกทาง (มนตรี รุมาคม, 2500)



ภาพที่ 2.2 กรรมวิธีสีข้าว (จักร จักกะพาก, 2528)

การเกิดการเสียหาย ในกระบวนการสีข้าว คือการแตกหักของข้าวสาร ซึ่งที่มีผลต่อราคาข้าวสาร คือการแตกหักของ ข้าวสาร โดยที่ข้าวสารที่มีปริมารข้าวหักมาก จะขายได้ในราคาที่ต่ำกว่า ข้าวสารที่มีปริมาณการแตกหักน้อยโดยขั้นตอน ในกระบวนการสีข้าว ที่มีผลต่อการแตกหัก ของข้าวสารคือ ขั้นตอนการขัดขาว และขั้นตอนการกะเทาะเปลือก (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2541) สาเหตุของการแตกหักของข้าวในกระบวนการสีข้าว อาจจะเกิดมาจาก การแตกร้าวภาย ในของเมล็ดข้าว ที่มีอยู่แล้ว จากกรรมวิธี ใดๆ ก่อนหน้า กระบวนการสี เช่น ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวลักษณะการ

เก็บเกี่ยว และการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมเป็นต้น เหตุผลดังกล่าวอาจส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกหักสูงขึ้นในกระบวนการสีข้าว โดยสมมุติ ให้ข้าวที่จะต้องผ่าน กระบวนการสีข้าวเป็น ข้าวคุณภาพดีเลิศ คือมีความชื้นภายในเมล็ดที่ร้อยละ 14 และเป็นข้าวที่ไม่มีการแตกร้าวภายในเมล็ดข้าว และเป็นเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์เต็มที่ จะถือว่าเป็นข้าวที่เหมาะแก่การแปรรูปและถ้าแต่ถ้ามีการแตกร้าวก่อนกระบวนการสี จะทำให้ปริมาณของต้นข้าวที่ได้รับลดลง นอกจากปริมาณข้าวที่เกิดการแตกร้าวภายในเมล็ดข้าวก่อนกระบวนการสีข้าว ที่มีผลทำให้เกิดการแตกหัก ของเมล็ดข้าวที่มากขึ้นแล้ว ปัจจัยในด้านความชำนาญของผู้ปฏิบัติการในกระการสีข้าว ก็มีผลการแตกหักข้าวด้วยเช่นกัน ซึ่งปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวเนื่องจากกระบวนการสีข้าวที่ขั้นตอนการกะเทาะเปลือก และขั้นตอนการขัดขาว ในโรงสีข้าวขนาดใหญ่ ในจังหวัดขอนแก่น ที่สีข้าว โดยใช้ข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่ามีการแตกหัก ของเมล็ดข้าวที่ขั้นตอน การกะเทาะเปลือก และขั้นตอนที่การขัดขาว มีการแตกหักร้อยละ 3.62 และ ร้อยละ 25.34 ตามลำดับ (ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, 2544) กระบวนการสีข้าว จะประกอบด้วย แกลบร้อยละ 23 ข้าวกล้องร้อยละ 77 เมื่อนำข้าวกล้อง ไปขัดจะได้รำ ประมาณที่ร้อยละ 8 และได้ข้าวสาร รวมข้าวปลายเล็กที่ร้อยละ 68



ภาพที่ 2.3 เครื่องกะเทาะแบบลูกยางหมุน (จักร จักกะพาก, 2528)

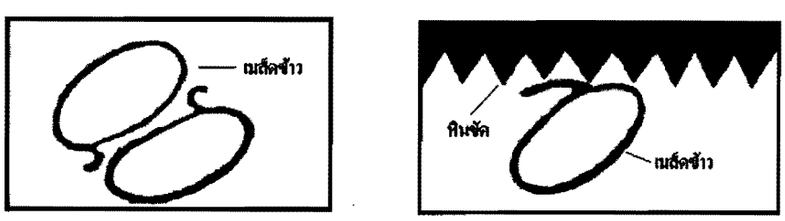
2.3.2 การกะเทาะเปลือก

การกะเทาะเปลือกของข้าวเปลือกนั้นจะถูกกะเทาะเปลือกออกโดยหลักการทำงานช่องว่างของเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวและแรงเสียดสีเป็นตัวกะเทาะ เครื่องกะเทาะเปลือกข้าวที่ได้รับความนิยมมี 2 แบบคือ เครื่องกะเทาะข้าวแบบโม่หิน (Abrasive disc) และเครื่องกะเทาะข้าวแบบลูกยาง (Rubber rolls) เครื่องกะเทาะเปลือกแบบโม่หินจะกะเทาะเปลือกโดยใช้ลักษณะปลายเมล็ดข้าว

ทั้งสองด้านที่มีช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและเปลือกและลักษณะการทำงานโดยที่ปลายเมล็ดข้าวขบกันของเปลือกของอีกเมล็ดหนึ่งในระหว่างการกะเทาะเมล็ดข้าวนั้น เปลือกจะถูกกดที่ปลายทั้งสองด้าน ทำให้เปลือกที่ขบกันอยู่แตกออกจากกัน และทำให้เมล็ดข้าวกล้อง หลุดออกจากเปลือกการกะเทาะเปลือก ลักษณะนี้จะต้นอ่อนและจมูกข้าวส่วนปลายของเมล็ดที่ติดกับต้นอ่อนจะหลุดติดออกมากับแกลบ ส่วนหลักการทำงานของเครื่องกะเทาะ ทำการกะเทาะด้วยลูกยางเป็นตัวกะเทาะ ดังเช่นภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า หากมีการปล่อยข้าวเปลือก ลงไปในช่องระหว่างลูกยางขัดข้าว ที่หมุนตรงกันข้ามและมีความเร็วรอบหมุนที่ต่างกัน เปลือกข้าวจะถูกขบตัวและฉีกออกด้วยแรงเฉือน การกะเทาะเปลือกแบบนี้เมล็ดข้าวจะไม่มีจมูกข้าวและต้นอ่อนหลุดติดมากับเปลือกซึ่งแบบนี้เป็นแบบที่การทำงานมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 95 สามารถกะเทาะข้าวเปลือกได้เร็ว และข้าวไม่ค่อยแตกหัก แต่ข้อเสียเครื่องแบบและลูกยางมีราคาค่อนข้างสูง และมีการสึกหรอในอัตราที่สูงโดยทำมาจากยางสังเคราะห์คุณสมบัติของยางชนิดนี้จะไม่ขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน

2.3.3 การขัดขาว

การขัดขาวข้าว เป็นขบวนการในการขัดเนื้อเยื่อ ที่เป็นชั้นรำของข้าวกล้องออกไป ซึ่งมีอยู่ ประมาณ 8-10 ร้อยละของปริมาณทั้งหมดข้าวเปลือก การขัดขาวเป็นการขัดเอาเนื้อเยื่อชั้นนอกที่ติดกับเมล็ดข้าวออกไป การขัดขาวนั้นมีอยู่ 2 ขบวนการคือ ขบวนการเสียดสี (Friction process) ขบวนการเสียดสี จะอาศัยการเสียดสี กันเองของเมล็ดข้าวกล้อง จะถูกอัดตัวกันภายในเครื่องขัดขาวทำให้ข้าวกล้องเบียดเสียดกัน และมีการหมุนของหินขัดขาวจึงได้ทำให้ชั้นเนื้อเยื่อชั้นนอกของเมล็ดข้าวถูกขัดออกมาเป็นรำข้าว จนข้าวกล้องนั้นออกมาเป็นข้าวขาวและขบวนการขัดสี (Abrasive process) จะเป็นการขัดขาวที่ใช้หลักการขัดสี โดยอาศัยหลักการขัดสีจากความคมของหินขัดขาว ที่ทำจากหินกากเพชรและหินกากแก้วที่ผสมในลูกหินขัดขาว ซึ่งชั้นเปลือกหุ้มของข้าวกล้องจะถูกขัดจากความคมของลูกหินขัดขาว ออกมาที่ละชั้นเรื่อยๆ จนหมด ออกมาเป็นรำข้าว ดังภาพที่ 2.4 (พรทิพย์ อาระรัตน์, 2533)



(1) ขบวนการเสียดสี (Friction) (2) ขบวนการขัดสี (Abrasive)

ภาพที่ 2.4 ชนิดขบวนการขัดขาว

จากภาพที่ 2.4 หลักการทำงานของเครื่องขัดขาว ที่มีอยู่ในปัจจุบัน มี 3 แบบ คือ ลูกหินขัดขาว แบบกรวยแกนตั้ง ลูกหินขัดขาวแนวนอน และลูกเหล็กขัดขาว แกนนอน ซึ่งเครื่องขัดขาว แบบลูกเหล็กขัดขาว นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่น เพราะข้าวญี่ปุ่น ที่เมล็ดมีลักษณะป้อมสั้น ส่วนเครื่องขัดขาว แบบลูกหินขัดขาว แนวนอนนั้น นิยมใช้ในประเทศไทยเพราะเนื่องมาจากเมล็ดข้าวไทยเป็นข้าวเมล็ดค่อนข้างยาว

2.3.3.1 เครื่องขัดขาวข้าวแบบลูกหินกรวยแกนตั้ง

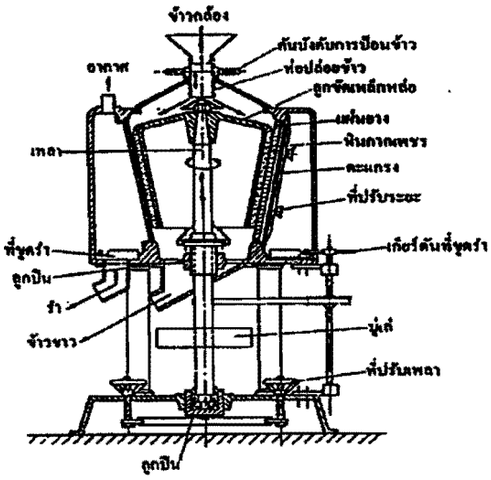
เครื่องขัดขาวแบบลูกหินกรวยแกนตั้งเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ดังภาพที่ 2.5 เครื่องขัดขาว ชนิดนี้ประกอบ ด้วยเหล็กหล่อ รูปกรวยที่เคลือบด้วยหินกากเพชร ติดอยู่บนเพลา ที่อยู่ในแนวดิ่ง รอบลูกหินขัดขาว จะเป็นตะแกรง ซึ่งตะแกรง ถูกแบ่งเป็นส่วนๆ โดยแท่งยางขัดขาว และจำนวนของแท่งยาง ขึ้นอยู่กับขนาดของลูกหินขัดขาวตามความสัมพันธ์สมการที่ (2.1) และ (2.2) (Harry Th and L. van Ruiten, 1981)

$$\text{จำนวนแท่งยางขัดขาว} = \frac{\text{ขนานเส้นผ่าศูนย์กลางของหินขัดขาว (มิลลิเมตร)}}{100} \qquad (2.1)$$

สมการที่ 2.1 เป็นสมการของเครื่องที่ทำมาจากประเทศอิตาลี แต่ถ้าเป็นเครื่องที่ทำมาจากประเทศเยอรมันจะต้องทำการลบด้วย 2 ซึ่งได้ความสัมพันธ์ดังสมการ 2.2

$$\text{จำนวนแท่งยางขัดขาว} = \frac{\text{ขนานเส้นผ่าศูนย์กลางของหินขัดขาว (มิลลิเมตร)}}{100} - 2 \qquad (2.2)$$

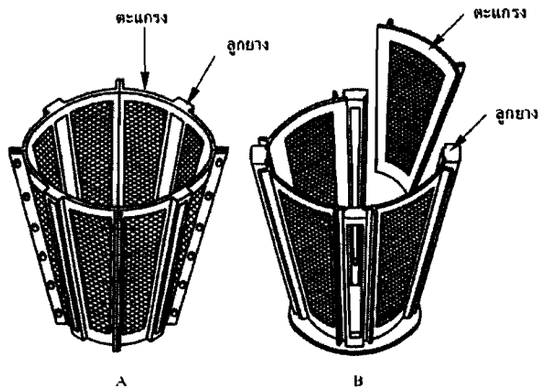
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขัดขาว พบว่าการขัดขาวด้วยเครื่องสีข้าว แบบกรวยหินแกนตั้ง นั้นในการขัดขาวข้าวกล้องนั้นควรใช้เวลาในการขัดขาวไม่ควรเกิน 2 นาที และความเร็วเชิงเส้นที่ผิวขอบด้านบนของหินขัดขาวที่เหมาะสม หากมีความเร็วเชิงเส้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจะทำให้การแตกหักของข้าว มากตามไปด้วย ความเร็วเชิงเส้นที่ผิวหินขัดข้าวขอบด้านบนที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 12-15 เมตรต่อนาที และปัจจัยที่สำคัญต่อการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวแบบกรวยหินแกนตั้งคืออัตราการ ป้อนข้าวเปลือก ซึ่งอัตราการป้อนที่เหมาะสม ต่อการสีข้าวด้วย เครื่องสีข้าวแบบกรวยหินจะอยู่ที่ 400 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, 2544) เครื่องสีข้าว แบบกรวยหิน แกนตั้งนั้นจะมีส่วนประกอบหลักในการทำงานดังนี้



ภาพที่ 2.5 เครื่องขัดขาวแบบลูกหินกรวยแกนตั้ง (E.V. Araullo et al, 1976)

1) ตะแกรงขัดขาว

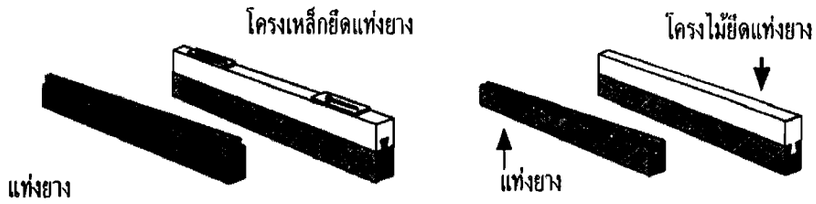
ตะแกรงขัดขาว ทำหน้าที่อัดให้เมล็ดข้าว สัมผัสกับผิวของลูกหินขัดขาวเพื่อทำการขัด เอาเนื้อเยื่อ ส่วนที่เป็นรำ ออกจากเมล็ด และทำหน้าที่ แยกส่วนของรำ ออกจากชั้นเมล็ดโดยรำ จะลอดผ่าน รูตะแกรงออกไปด้านนอก และร่วงลงตรง ส่วนล่างด้านนอก ของตะแกรง ส่วนข้าวลอดผ่านไม่ได้จะค่อยๆ ไหลลงสู่ ส่วนล่างด้านในของตะแกรง นอกจากนั้นลักษณะรู ของตะแกรงยังช่วยในการขัดขาว โดยแรงเสียดสี (Friction action) อีกด้วยตะแกรงขัดขาวส่วนใหญ่ ถูกออกแบบให้แบ่งเป็น 3 ส่วน หรือมากกว่า โดยมีช่องสำหรับใส่แท่งยางขัดขาว อยู่ระหว่างกลาง ของตะแกรง แต่ละแผ่น โดยตะแกรง จะติดอยู่กับโครงเครื่องสีข้าว ดังภาพที่ 2.6A แต่ตะแกรง บางรุ่น แบบจะประกอบ ด้วยช่องสำหรับใส่ แท่งยางขัดขาว ซึ่งอยู่กับโครงเครื่องทั้งด้านบนและด้านล่างของเครื่องสีข้าว ส่วนตะแกรงนั้นจะถูกสอดไว้ระหว่างช่องใส่แท่งยางขัดขาว โดยการเลื่อนขึ้นทางด้านบน ดังภาพที่ 2.6B (ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2535)



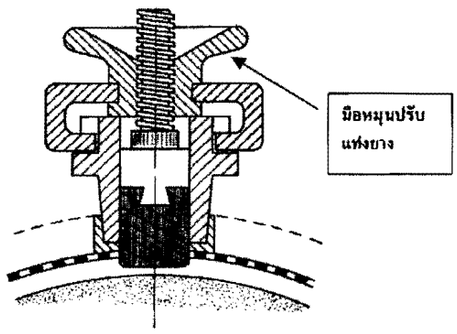
ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะของตะแกรงขัดขาว

2) ตะแกรงขัดขาว

ตะแกรงขัดขาว นั้นจะใช้งานร่วมกับ แท่งยางขัดขาวซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ ชะลอการไหล ของเมล็ดข้าวกล้อง ขณะที่ข้าวกล้องหมุนเพื่อขัดขาว ไปตามแรงหมุนของลูกหินขัดขาว ไปรอบแกนขัด แท่งยางขัดขาวนั้นทำขึ้นจากยางหรืออีลาสโตเมอร์ เพื่อป้องกันการแตกหักของเมล็ดข้าวและเพิ่มแรงเสียดสี เมื่อเคลื่อนที่ผ่านระหว่างแท่งยางขัดขาวกับลูกหินขัดขาว โดยปกติเครื่องขัดขาวนั้น ตะแกรงจะสามรถเลื่อนที่ขึ้นลงได้ โดยจะมีจำนวนแท่งยางขัดขาวในห้องขัดขาว ขณะเดียวกันข้าวกล้องสามารถจะมีการพลิกตัวกลับได้ และหากมีจำนวนแท่งยางขัดขาวมากกว่าทำให้เมล็ดข้าวถูกขัดสีดีขึ้น แท่งยางขัดขาว ที่มีความหนาที่เหมาะสม จะมีพื้นที่หน้าตัด เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และอีกด้านหนึ่งด้านหนึ่งของ แท่งยางให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูหงายขึ้น เพื่อสอดเข้าในช่องของแท่งโลหะ ที่ทำจากไม้หรือเหล็ก ภาพที่ 2.7 แท่งยางติดอยู่กับตะแกรง สามารถเคลื่อนเข้าและออกได้โดยมีมือหมุนปรับภาพที่ 2.8 แท่งยางแต่ละแท่งจะมีมือหมุนปรับ 2 ถึง 3อัน ซึ่งทำหน้าที่ปรับระยะห่างและแนวขนานของลูกหินขัดขาว (ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2535)



ภาพที่ 2.7 ลักษณะของแท่งยางขัดขาว



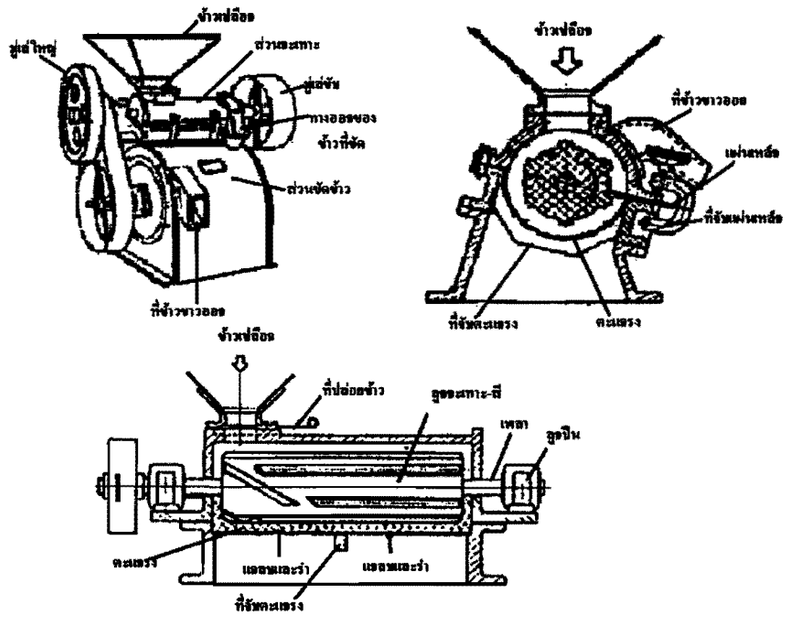
ภาพที่ 2.8 การปรับแท่งยางขัดขาว

2.3.3.2 เครื่องขัดขาวแบบลูกหินแกนนอน

เครื่องขัดขาวแบบลูกหินแกนนอน เป็นเครื่องขัดขาวที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยอีกชนิดหนึ่ง โดยการขัดขาวนั้นอาจจะทำการขัดด้วย แกนเหล็ก ลูกหินขัดข้าว ปริมาณการปล่อยข้าวเข้าและออกจากห้องขัด ซึ่งมีดังนี้ในประเทศไทย

1) เครื่องกะเทาะ สีข้าวแบบเองเกิ้ลบอร์ค (The Engleberg type)

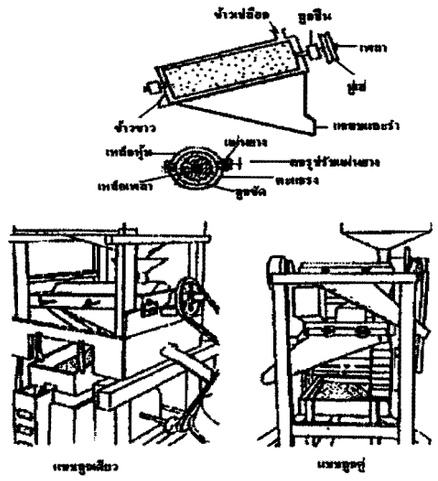
เครื่องกะเทาะ สีข้าวแบบเองเกิ้ลบอร์ค เป็นเครื่องที่ทำด้วยเหล็กหล่อทั้งหมด ข้าวเปลือกที่ใส่เข้าไปจะถูกกะเทาะและขัดข้าวด้วยการเสียดสี ดังภาพที่ 2.9 แกลบหักและรำจะออกมาทางตะแกรงด้านล่าง ข้าวขาวจะออกอีกทางหนึ่ง ที่สามารถอัตราการไหลได้ อัตราการป้อนข้าวเปลือก บังคับด้วยลิ้นใต้ถังใส่ข้าวเปลือกหากจะกะเทาะและขัดขาวภายในครั้งเดียว ข้าวจะหักมาก โดยปกติควรใส่ผ่านเครื่อง 2 หรือ 3 ครั้ง เครื่องสีข้าวแบบนี้ บางครั้งมีเครื่องขัดข้าวขาวติดอยู่ด้านล่าง เป็นลูกหมุนติดแผ่นผนังเพื่อขัดขาวเครื่องมีขนาด 3-10 แรงม้า สีข้าวได้ประมาณ 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อแรงม้า เมื่อมีเครื่องกะเทาะแยกต่างหากเครื่องนี้เป็นเครื่องใช้คัดข้าวได้ เครื่องสีข้าวแบบนี้ ไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทย แต่จะพบมากใน ประเทศบังคลาเทศ และอินเดีย



ภาพที่ 2.9 เครื่องกะเทาะสีข้าวแบบ เองเกิ้ลบอร์ด (จักร จักกะพาก, 2528)

2) เครื่องสีข้าวแบบอพอลโล

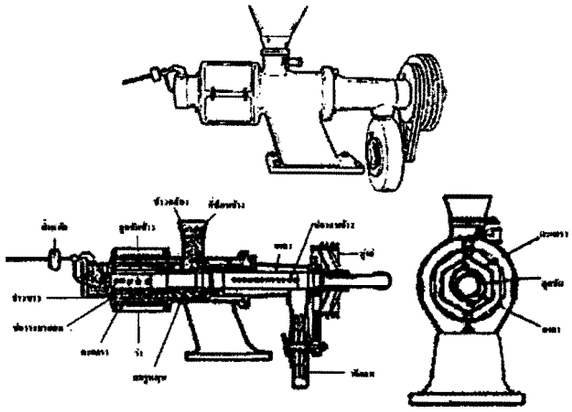
เครื่องสีข้าวแบบอพอโล เป็นเครื่องสีข้าว แบบขัดสี โดยใช้ลูกหินขัดข้าวที่มีส่วนผสมของหินกากเพชร ซึ่งตัวของหินกากเพชรนี้ความคม สามารถใช้ในการขัดข้าวและมีส่วนประกอบคือแผ่นยางขัดขาว ดังภาพที่ 2.10 เครื่องสีข้าวแบบอพอโลบางเครื่องไม่มีสกรูช่วยในการเคลื่อนของเมล็ดข้าวในแนวขนานจึงได้ออกแบบสร้างเครื่องสีข้าวอพอลโลให้มีมุมลาดเอียง ระบบการทำงานจะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับเครื่องสีข้าวแบบเองเกิ้ลเบอร์ค แต่ปริมาณของข้าวจะหักน้อยกว่า และเป็นที่นิยมใช้กันมากในประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งแผ่นยางขัดขาวนั้นสามารถหาซื้อและเปลี่ยนได้สะดวกราคาไม่แพงมากนักและลูกหินขัดข้าวที่พอกหุ้มด้วยหินกากเพชรก็สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ เมื่อลูกเดิมมีการสึกหรอ โดยการกะเทาะหินเดิมออกแล้วทำการหินพอกใหม่เข้าไปในแกนเหล็กเดิม การทำงานของอพอโลนั้นจะเป็นเครื่องสีข้าวที่ต่อเนื่องถึงการขัดขาวโดยทำการป้อนข้าวเปลือกเพียง กะเทาะเปลือกและขัดขาวต่อเนื่องกันไป และมักมีมักมีตะแกรงร่อนอยู่ที่ส่วนท้ายของเครื่องหลังจากการขัดขาวแล้วเครื่องก็จะทำหน้าที่แยกข้าวสารที่หักเพื่อแยกข้าวสารเต็มเมล็ดและข้าวปลายออกจากกัน



ภาพที่ 2.10 เครื่องสีข้าวแบบอพอลโล่ (จักร จักกะพาก, 2528)

3) เครื่องขัดขาวแบบแรงดันสูง

เครื่องขัดข้าวแบบแรงดันสูงเป็นเครื่องขัดขาวระบบการทำงานจะไม่มีแผ่นเหล็กในการขัดขาว แต่จะมีห้องขัดขาวรูป 6 เหลี่ยมและ 8 เหลี่ยม เป็นตะแกรงที่สามารถปรับระยะในการเพิ่มการขัดขาวได้โดยหลักการในการทำงานจะทำการปล่อยข้าวสารออกจากห้องขัดมากหรือน้อยตามความต้องการขัดขาวมากหรือน้อย หากต้องการขัดขาวมากก็จะปล่อยข้าวเข้าสู่ห้องขัดมากและปล่อยข้าวออกจากห้องขัดขาวน้อยก็จะทำให้เกิดการขัดสีกันของเมล็ดข้าว ดังภาพที่ 2.11 ข้าวจะหักน้อยจะขัดครั้งเดียวก็ได้ แต่ถ้าหากขัด 2 ครั้ง ข้าวหักจะน้อยกว่า ในประเทศอเมริกา ซึ่งใช้แต่เครื่องสีข้าวเครื่องใหญ่แบบนี้มา 20 ปีแล้วเครื่องสีข้าวแบบแรงดันสูงนั้นนิยมใช้ในประเทศเพื่อนบ้านคือ ประเทศมาเลเซีย และอินโดนีเซีย และจะนำมาใช้แทน แบบเองเกิ้ลเบอร์ค



ภาพที่ 2.11 เครื่องขัดข้าวแบบลมแรงดันสูง (จักร จักกะพาก, 2528)

จากการค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวข้องกับกรรมวิธีการแปรรูปข้าวหรือสีข้าวแล้วได้ทำให้ทราบถึงกระบวนการที่แยกเปลือกข้าวและกระบวนการอันเป็นวิธีการที่ทำให้ข้าวเปลือกเป็นข้าวสารที่พร้อมนำไปหุงต้มในกระบวนการสีข้าวนั้นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการแตกหักมากที่สุดคือขั้นตอนการขัดขาว ซึ่งข้าวได้ถูกหินขัดให้เปลือกหุ้มหรือส่วนที่เป็นข้าวกล้องออกไปจึงได้ทำให้เกิดความร้อนและเกิดการแตกร้าวและหักในที่สุดการขัดขาวที่ดีนั้นควรมีการขัดจำนวนครั้งที่เหมาะและน้ำหนักในการขัดขาวไม่มากนัก เพื่อลดการแตกหักและควบคุมให้อุณหภูมิให้เหมาะสมไม่ร้อนเกินไป แต่ที่สำคัญมากที่สุดในการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวที่ใช้ลูกหินกากเพชรคือความแข็งของลูกหินขัดข้าวเองต้องมีความแข็งไม่แข็งมากจนเกินไปและอ่อนเกินไปเพื่อทำให้การขัดขาวนั้นเกิดประสิทธิภาพมากที่สุดคือแตกหักน้อยทางผู้วิจัย จึงได้เล็งเห็นความสำคัญของลูกหินขัดข้าว ว่าเป็นส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการแตกหักในกระบวนการสีข้าวหากจะลดการแตกหักของข้าวสารก็ควรพิจารณาลูกหินขัดข้าวเป็นอันดับแรก ของกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกให้กลายเป็นข้าวสาร

2.4 เครื่องสีข้าวระดับหมู่บ้าน

เป็นเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ซึ่งเกษตรกรตามหมู่บ้านในชนบทจะนิยมนำข้าวเปลือกไปสีกับโรงสีประเภทนี้ เพราะสามารถสีได้ตามต้องการกล่าวคือเกษตรกรได้ข้าวสารจากข้าวเปลือกของตนเองและยังได้ปลายข้าวและรำด้วย แต่เกษตรกรต้องจ่ายเงินหรือข้าวให้กับเจ้าของโรงสีตามที่ตกลงกันแต่ถ้าเป็น โรงสีขนาดใหญ่เกษตรกรจะได้ข้าวสารประมาณร้อยละ50-60จากทั้งหมดของปริมาณข้าวเปลือก ผู้ประกอบการ ธุรกิจ โรงสีข้าว ได้จำแนกชนิด และลักษณะ ของเครื่องสีข้าวสามารถจำแนกได้ดังนี้ (จักร จักกะพาก, 2528)

2.4.1 แบบลูกหินแนวนอนลูกเดียว (Horizontal Abrasive)

เครื่องสีข้าวแบบนี้จะมีหนึ่งลูกหินขัดข้าวจะทำหน้าที่กะเทาะข้าวเปลือกและขัดขาวข้าวตัวลูกหินจะเป็นเหล็กหล่อทรงกระบอก ปิดหัวท้ายติดอยู่กับแกนเพล ซึ่งจะหมุนขนานกับพื้นระนาบรอบๆผิว เหล็กทรงกระบอกจะถูกพอกด้วยหินกากเพชร เพื่อให้มีความคมในการกะเทาะเปลือกและขัดขาว ลูกหินจะหมุนอยู่ภายในเหล็กทรงกระบอกที่ด้านล่างเป็นตะแกรงรูกลมหรือยาวรีเพื่อให้รำหยาบและรำละเอียดแยกออกจากเมล็ดข้าวด้านข้างของลูกหินกะเทาะมีลูกยางวางในแนวขนานตลอดความยาวลูกหิน ลูกยางดังกล่าวมีจำนวน 2 หรือ 3 แท่ง สามารถปรับระยะห่างจากลูกหินได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน เครื่องสีข้าวแบบลูกหินแนวนอนลูกเดียวนั้น ห้องขัดจะถูกดูดรำโดยพัดลมดูดอากาศส่วนของปลายข้าวและข้าวดีนั้นจะถูกคัดแยกออกจากกันโดยตะแกรงร่อน

2.4.2 แบบลูกหินแนวนอน 2 ลูกแยกส่วน (2-Horizontal Abrasive)

เครื่องสีข้าวแบบนี้จะมีลูกหินขัดข้าวจำนวน 2 ลูก คือ ลูกหินกะเทาะ และลูกหินขัดขาวโดยมีพัดลมดูดอากาศซึ่งจะทำการแยกแกลบข้าวออกจากข้าวกล้องที่กะเทาะแล้ว ก่อนถูกขัดขาวส่งไปยังลูกหินขัดขาวเมื่อผ่านลูกหินขัดขาวแล้วปลายข้าวจะถูกแยกออก โดยตะแกรงร่อนต่อไป

2.4.3 แบบลูกหินแนวนอน 2 ลูกในเครื่องเดียวกัน (2-Horizontal Abrasive Compact)

เครื่องสีข้าวแบบนี้จะมีลูกหิน 2 ลูก คือ ลูกหินกะเทาะ และลูกหินขัดขาว โดยมีพัดลมดูดอากาศซึ่งจะทำการแยกแกลบออกจากข้าวที่กะเทาะแล้ว ก่อนถูกส่งไปยังลูกหินขัด

2.4.4 แบบลูกหินแนวนอน 3 ลูก (3-Horizontal Abrasive)

ลูกหินตัวแรงเป็นตัวกะเทาะ ส่วนลูกหินอีก 2 ตัว จะเป็นลูกหินขัดขาวเพื่อให้ข้าวมีความขาวตามต้องการ การขัดข้าวแบบจะทำให้ข้าวที่ได้ มีคุณภาพที่ดีขึ้นและการแตกหักที่น้อยลง

2.4.5 แบบโม่หินแนวนอน (Horizontal Dies Double Pass)

เครื่องสีแบบนี้จะมีจานกะเทาะแบบโม่ 2 ลูก วางตัวในแนวดิ่งบนเพลาที่หมุนในแนวนอน จากตัวกะเทาะตัวแรกบริเวณผิวกะเทาะจะพอกด้วยหินกากเพชร ส่วนจานที่ 2 จะหุ้มด้วยยาง ข้าวเปลือกจะไหลผ่านช่องระหว่างจานทั้งสอง การไหลผ่านของข้าวเปลือกครั้งแรกจะเป็นการกะเทาะเอาเปลือกออกซึ่งจะได้ข้าวกล้องและนำข้าวกล้องไหลผ่านเป็นครั้งที่ 2 เป็นการขัดขาว โดยมีพัดลมดูดอากาศทำหน้าที่แยกแกลบออกไปและมีตะแกรงร่อนในการแยกรำและปลายข้าว

2.4.6 แบบลูกยางกะเทาะเปลือกและลูกหินขัดขาวในแนวนอน (Rubber roll Huller and Horizontal abrasive)

เครื่องแบบนี้จะมีลูกยางทรงกระบอกหมุนในทิศทางตรงกันข้ามและความเร็วที่ต่างกันและจะมีลูกหินขัดขาวอยู่ในระนาบ โดยมีพัดลมดูดอากาศใช้ในการแยกแกลบก่อนที่จะส่งไปยังลูกหินขัดขาวและมีตะแกรงร่อนในการแยกรำและปลายข้าวออกจากข้าวสาร

2.4.7 แบบลูกเหล็กแนวนอน (Engelberg)

เครื่องแบบนี้จะประด้วยลูกเหล็กทรงกระบอกติดตั้งบนเพลาที่หมุนในแนวนอนภายในทรงกระบอกบริเวณด้านล่างจะเป็นตะแกรงเพื่อแยกรำ การกะเทาะเปลือกจะใช้วิธีปรับแผ่นที่วางอยู่ด้านข้างตลอดความยาวเพื่อทำให้เกิดแรงเสียดทางระหว่างข้าวเปลือกกับผนังของลูกเหล็กกะเทาะ การกะเทาะและการขัดจะกระทำพร้อมกัน ข้าวสารที่ได้จะเป็นข้าวรวม

2.4.8 แบบลูกเหล็กแนวนอนและลูกเหล็กมีริ้วยาง (Engelberg and Horizontal rubber lined)

เครื่องแบบนี้จะมีลูกเหล็กแนวนอนทำหน้าที่ในการกะเทาะเปลือก และมีลูกเหล็กมีริ้วยางทำหน้าทีในการขัดขาว ด้านล่างของลูกเหล็กทั้งสองจะมีตะแกรงทำหน้าที่ในการแยกรำ เมื่อข้าวผ่านชุดขัดขาว แล้วแกลบจะถูกแยกโดยพัดลมดูดอากาศ ก่อนที่ข้าวจะผ่านไปคัดแยกข้าวหักและปลายข้าวออกโดยตะแกรงร่อนต่อไป

จากการจำแนกชนิด ของโรงสีข้าวทั้งหมดแล้ว โรงสีข้าวที่มีอยู่ในชนบทนั้นส่วนใหญ่ใช้ลูกหินขัดขาวทำหน้าที่ทั้งตัวกะเทาะและขัดขาว ในปัจจุบันโรงสีข้าวขนาดเล็กได้ทยอยปิดตัวไปจำนวนมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากโรงสีข้าวขนาดเล็กที่ไม่สามารถแข่งขันกับโรงสีขนาดกลางกับโรงสีขนาดใหญ่ได้ ปัญหาหลักของโรงสีขนาดเล็กยังมีข้อด้อยด้านประสิทธิภาพในการสีข้าวจึงทำให้มีข้าวหักปริมาณที่สูง และอีกปัญหาหนึ่งคือโรงสีขนาดเล็ก คือปัญหาในเรื่องของทุนและโกดังเก็บสินค้า ในการซื้อและเก็บข้าวเปลือก เพื่อจะได้นำข้าวมาสีแล้วจำหน่ายนอกช่วงฤดูการผลิต จึงเป็นสาเหตุหนึ่งของการปิดกิจการโรงสีขนาดเล็ก(สุจินต์ คงดี, 2537) จึงสามารถกล่าวได้ว่าปัญหาหลักของโรงสีข้าวคือการสีข้าวได้คุณภาพต่ำ คือมีปริมาณข้าวหักมาก ซึ่งปัญหานี้ได้เกิดจากสภาพของอุปกรณ์ที่สำคัญในการสีข้าวคือ ลูกหินขัดข้าว ดังนั้นเราควรทราบถึงส่วนประกอบและการทำงานของหินขัดข้าวด้วย

2.5 หินขัดข้าว

ลูกหินขัดข้าวของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบแกนนอนที่ใช้ในระดับหมู่บ้าน โดยจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ผงขัด (Abrasive Material) และตัวประสานอนุภาค (Binder) เป็นซีเมนต์ก็คือ แมกนีเซียม ออกซิคลอไรด์ (Magnesium Oxychloride) (พรทิพย์ อาระรัตน์, 2533) วัสดุหินขัดขาวนั้นทำจาก หินกากเพชร ขนาดของเมล็ดเกรนเบอร์ 12 14 16, และ 18 กับปูนแมกนีเซียมออกไซด์ในอัตราส่วน 17 ต่อ 3 โดยน้ำหนักผสม ด้วยตัวประสาน คือน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ความเค็ม 30 ดีกรีของปรอท ผสมให้เข้ากันแล้วนำมาพอกบนโครงแกนเหล็ก ทำให้แห้งด้วยการผึ่งแดด จากนั้นกลึงให้ได้ขนาดตามต้องการ (สาธิป รัตนภาสกร, 2529) วัสดุและส่วนผสมลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในประเทศฟิลิปปินส์ มีการใช้ หินกากเพชรเบอร์ 16 ที่ 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ผสมกับปูนขาวอีก 20 ส่วน และน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ 30 ดีกรีที่ 20 ส่วน ในบางครั้งจะมีการใช้หินกากเพชร ผสมกันระหว่างเบอร์ 16 และเบอร์ 18 อย่างละ 50 ส่วนในการพอกหินสำหรับเครื่องขัดขาวกรวยแกนตั้ง (E.V. Araullo et al, 1976) สำหรับการพอกหินในประเทศไทยที่ใช้กันทั่วไปใช้หินกากเพชรเบอร์ 16 จำนวน 1 ส่วน หินกากเพชรเบอร์ 18 จำนวน 1-2 ส่วน ปูนซีเมนต์ขาวหรือปูนขาว

1 ส่วนต่อหินกากเพชร 6.3-6.5 ส่วน และน้ำเกลือ 29-30 ดีกรี ตามสูตรแต่ละคนของผู้หล่อลูกหินขัดขาว และไม่มีส่วนการเคลือบผิวหินขัดขาว สำหรับการผลิตลูกหินขัดข้าวแกนนอนในชนบทของประเทศไทยยังผลิตลูกหินขัดข้าวที่มีคุณภาพต่ำ อันเนื่องมาจากกรรมวิธีการผลิตลูกหินขัดในประเทศนั้นการควบคุมคุณภาพของลูกหินได้ยากและมักมีลูกหินขัดเสียหายจากขั้นตอนการผลิต ซึ่งวัสดุของลูกหินขัดข้าวโดยทั่วไป มีดังนี้ (สุขอังคณา ลี, 2547) แต่อย่างไรก็ตามการผลิตหินขัดข้าวในชนบทนั้นยึดหลักตามความชำนาญของช่างหล่อลูกหินและแตกต่างกันออกไป ในการเลือกขนาดเม็ดหินและสัดส่วนปริมาณหินกากเพชร กากแก้ว ในการผสมลูกหินขัดขาว หากสัดส่วนหินกากเพชรมีหินกากเพชรขนาดเม็ดใหญ่ในสัดส่วนที่มาก การกะเทาะข้าวเปลือกจะสามารถกะเทาะได้ดี แต่จะมีข้าวหักมากกว่าลูกหินที่มีขนาดเมล็ดหินที่เล็กกว่า ในทางกลับกันหากลูกหินขัดข้าวมีสัดส่วนหินกากเพชรที่มีขนาดใหญ่ในการสีข้าวนั้นการกะเทาะเปลือกจะกะเทาะได้ช้า แต่การขัดขาวจะขัดขาวได้ละเอียดข้าวหักน้อยในขั้นตอนขั้นขาว ซึ่งกระบวนการขัดขาวเป็นขั้นตอนต่อมาจากการกะเทาะเปลือก ทั้งขั้นตอนกะเทาะและขัดขาวนั้นต้องมีความสัมพันธ์กับอัตราการป้อนข้าวเปลือกเพื่อปล่อยข้าวเปลือกลงสู่ลูกหินขัดขาวและห้องขัด ให้ลูกหินขัดข้าวกะเทาะเปลือกเสียก่อน ถ้าป้อนมากเกินไปจะทำให้การกะเทาะเปลือกและการขัดขาวประสิทธิภาพต่ำตามไปด้วย ขนาดของเม็ดนั้นมีส่วนสำคัญในการขัดสีข้าวซึ่งขนาดของเม็ดหินควรมีความสัมพันธ์กับช่องเปิดข้าว ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 ขนาดเม็ดหินขัดขาว (Grain or Grit Sizes) (พรทิพย์ อาระรัตน์, 2533)

ขนาดเม็ดหินขัดขาว (เบอร์)	ช่องเปิด (มิลลิเมตร)	ขนาดเม็ดหินขัดขาว (เบอร์)	ช่องเปิด (มิลลิเมตร)
10	2.39	60	0.28
12	2.01	70	0.25
14	1.68	80	0.20
16	1.40	90	0.18
20	1.91	100	0.15
24	0.84	120	0.13
30	0.71	150	0.10
36	0.58	180	0.089
46	0.41	220	0.074
54	0.36	-	-

2.5.1 หินกากเพชร (Emery)

หินกากเพชรเป็นหินขัดธรรมชาติที่เป็นสารประกอบระหว่าง Corundum (Aluminum oxide (Al_2O_2)) และ Iron oxide เช่น Magnetile (Fe_3O_4) หรือ Magnetile (Fe_2O_3) ซึ่งจะมีความแข็งที่สูงมากจะมีความแข็งอยู่ที่อยู่ที่ 8 โมห์ส ซึ่งต่ำกว่า Corundum บริสุทธิ์ซึ่งมีความแข็งอยู่ที่ 9 โดยเป็นแร่ที่มีความแข็งรองจากเพชร คุณสมบัติของหินกากเพชรคือความหนาแน่นสูง และไม่เกิดปฏิกิริยากับกรดหรือสิ่งแวดล้อม โดยธรรมชาติของหินกากเพชรแล้วเป็นก้อนสีน้ำตาลคล้ายกับเหล็กออกไซด์ หินกากเพชรเป็นแร่ที่ขุดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขัดสีโดยเฉพาะ หินกากเพชรส่วนใหญ่จะพบเป็นก้อนไม่มีรูปร่างที่แน่นอน ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะไม่มีผลึกหรือมีส่วนผสมของผลึกขนาดเล็กของสารอินทรีย์ ในประเทศญี่ปุ่นและจีน มีการใช้หิน Carborundum (Silicon carbide) และ Corundum (Fused aluminum oxide) ขนาดต่างๆ ในเครื่องสีข้าว ทั้งแบบแนวนอนและแนวตั้งเป็นจำนวนมาก เช่นเดียวกันกับอุตสาหกรรมบดแป้งก็นิยมทำหินขัดด้วยหินกากเพชร ผสมกับปูนแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxychloride) และน้ำเกลือ (Magnesium Chloride) ทำเป็นหินบดแป้งให้มีความละเอียดเหมาะกับการนำไป แปรรูปเป็นอย่างอื่นต่อไป

2.5.2 หินกากแก้ว (Silicon carbide)

หินกากแก้วเป็นหินที่มีความแข็ง สูงมากมีค่าความแข็งระดับ 9 หรือประมาณ 2800-3300 HV แต่ข้อด้อยของหินกากแก้วนั้นคือความเปาะแตกง่าย ซึ่งการแตกง่ายจะทำให้เกิดคมช่วยในการขัดสี การแตกและหลุดนั้นได้ทำให้ อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนที่มีส่วนผสมหินกากแก้วนั้นมีคมใหม่ เกิดขึ้น ตลอดเวลา จึงนิยม นำมาเป็นส่วนประกอบ ของอุปกรณ์ เกี่ยวกับการขัดสี เช่น กระดาษทรายขัด และหินเจียระไน เป็นต้น

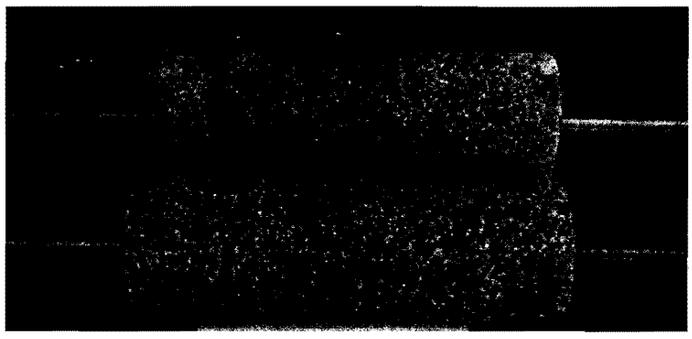
2.5.3 ปูนขาว (Calcined magnesite)

ปูนขาวใช้ในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว คือ แคลเคลย์แมกนีไซต์เป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของ MgO เป็นหลักและ SiO_2 กับ CaO เล็กน้อยมีลักษณะคล้ายแป้งทนความร้อนสูง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร และก่อสร้างเมื่อผสมกับสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ จะได้ปูนออกซิคลอไรด์ ที่เหมาะกับการก่อและฉาบ

2.5.4 เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2.6H_2O$)

น้ำเกลือ เป็นเกลือที่ได้จากน้ำทะเล หรือน้ำเกลือ มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวการใช้งาน เช่นเป็นตัวประสานใช้ละลายหิมะเป็นต้นมีข้อดีคือ มีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะน้อยกว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ และเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ไม่ระคายเคืองผิวหนังไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อมและไม่ทำปฏิกิริยากับพืชจึงมีความปลอดภัยในการนำมาทำเป็นลูกหินขัดข้าวที่เรานำมารับประทาน ในกระบวนการหล่อลูกหินขัด ทำได้โดยนำเพลาล้อหินที่ทำด้วยเหล็กหล่อพอกหุ้มโดย

ผสมปูนขาวและหินกากเพชรกากแก้ว ในอัตราส่วน 1ต่อ 5 โดยน้ำหนัก และผสมน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ที่มีดีกรีความเค็มที่ 30 ดีกรี วัดโดยปรอทวัดความเค็ม ผสมทุกอย่างให้เข้ากันจนเหนียวได้ที่ คือนำส่วนผสมบางส่วนมาปั้นลักษณะเป็นแท่งแล้วไม่มีการแตกก็ถือว่าได้ที่แล้ว จากนั้นจึงนำส่วนผสม ที่มีความเหนียวปั้นขึ้นรูปได้นี้ ไปพอกหุ้มแกนเหล็กให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว ทิ้งไว้ให้แห้งอาจจะใช้เวลาประมาณ 1 วันพอรอให้ลูกหินขัดข้าวแห้งได้ที่ เมื่อแห้งได้ที่แล้วจึงนำมากลึงแต่งผิว และให้ได้ตามขนาด ก็สามารถนำไปใช้งานได้ ถึงอย่างไรก็ดีจากกระบวนการขึ้นรูปลูกหินดังกล่าวขั้นตอนที่ใช้ความระมัดระวัง คือการผสมปูนกับน้ำเกลือ ให้ได้ความเหนียวของส่วนผสม ที่พอเหมาะต่อการขึ้นรูป โดยกระบวนการนี้ ใช้ความชำนาญและประสบการณ์ในการผสมและขึ้นรูป (สุขอังคณา ลี, 2547) เนื่องจากถ้าลูกหินมีความแข็งมากเกินไปจะทำให้การสีข้าวมีปริมาณข้าวหักที่สูง และถ้าลูกหินมีอ่อนเกินไปจะส่งผลทำให้เม็ดหินหลุดออกมาปะปนกับข้าสารและมีการสึกหรออย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้าลูกหินขัดข้าวที่หมดสภาพแล้ว ส่วนที่พอกหุ้มลูกหินนั้นจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ปัญหาที่กล่าวมานี้นั้นเกิดขึ้นในร้านรับขึ้นรูปลูกหินหรือในกลุ่มเกษตรกรที่ทำลูกหินขัดข้าวใช้เองจึงเป็นเหตุที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงในการผลิต



ภาพที่ 2.12 ลูกหินขัดข้าวแกนนอนที่นิยมใช้ทั่วไปในชนบท

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกหักของข้าว

การแตกหักของข้าวสารในกระบวนการขัดขาวนั้นเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในการสีข้าวซึ่งการแตกหักของข้าวเป็นตัวบ่งชี้ถึง คุณภาพของการสีข้าวของโรงสีข้าว การแตกหักของข้าวนั้น เกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น การตั้งระยะห่าง ระหว่างหินขัดขาวกับแท่งยาง ถ้าชิดมากไปข้าวจะหักมาก เนื่องจากเกิดแรงเสียดทาน กับเมล็ดข้าวจะทำให้เกิดความร้อน และทำให้ข้าวหักในที่สุด อัตราการหมุน ของหินขัดข้าว ก็มีผลต่อการแตกหัก เช่นกัน อัตราการไหล สู่ห้องขัดสี ซึ่งทั้งหมดที่

กล่าวมานี้ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการแตกหักของข้าว ซึ่งสามารถจำแนกปัจจัยการแตกหักได้ดังนี้

2.6.1 ปัจจัยการแตกหักก่อนกระบวนการสีข้าว

การแตกหักในส่วนก่อนกระบวนการสีข้าวนั้นจะเป็นส่วนในการเก็บเกี่ยวข้าว ซึ่งมีผลโดยตรงกับสภาพของเมล็ดข้าว เพราะหากเมล็ดข้าวถูกปฏิบัติอย่างไม่เหมาะสม จึงทำให้เกิดร้อยราวในเมล็ดข้าว จึงเป็นสาเหตุของการแตกหักในกระบวนการสีข้าวต่อไป

2.6.1.1 ความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกก่อนสี

ความชื้นเมล็ดที่เหมาะสมในการสีข้าวคือร้อยละ 14 แต่จากศึกษางานวิจัยพบว่าหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวในระยะพลับพลึง และนำไปทำการนวดและลดความชื้น โดยการตากแดดให้เมล็ดเหลือความชื้นระดับต่างๆ การสีข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำที่ร้อยละ 9-10 ซึ่งปริมาณร้อยละของข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าว จะสูงกว่าการสีข้าวที่มีความชื้นที่มากกว่า (กิติยา กิจดวรดี และคณะ, 2539) จึงกล่าวได้ว่าหากเกษตรกรเก็บเกี่ยวข้าวในระยะพลับพลึงนั้นควรทำให้มีความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 9-10 เพราะจะทำให้ร้อยละการสีมีปริมาณสูงกว่าความชื้นที่มากกว่า

ตารางที่ 2.2 คุณภาพการสีจากข้าวเปลือกที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่างๆ กัน

ความชื้นเมล็ด (ร้อยละ)	คุณภาพการสี (ร้อยละ)		
	หอมมะลิ 105	กข 1	กข 27
9-10	57.51	62.60	58.52
11-12	52.24	59.62	51.08
13-14	35.44	52.88	48.86
15-16	23.46	51.34	46.32
17-18	13.80	33.32	19.96

2.6.1.2 ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว

คุณภาพการสีของข้าว 15 พันธุ์ ในสถานีทดลองข้าวต่างๆ 9 แห่ง การเก็บเกี่ยวที่ระยะ 30 วัน 37 วัน และ 44 วัน หลังข้าวออกดอกได้ร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว 44.27, 36.80 และ 28.71 ตามลำดับ (ประสูติ สิทธิสรวง และคณะ, 2526)

2.6.1.3 การตากข้าว

ศึกษาการตากข้าวไว้ในนาหลังการเก็บเกี่ยวข้าวเสร็จแล้วเป็นระยะเวลาต่างๆ กันที่มีผลต่อคุณภาพข้าว พบว่า หลังการเก็บเกี่ยวข้าวเสร็จแล้ว ถ้านำข้าวไปนวดทันที แล้วลดความชื้นในภายหลัง โดยไม่มีการตากข้าวทิ้งไว้ในนา จะทำให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพการสีดีที่สุด การตากข้าวทิ้งไว้ในนามีผลทำให้คุณภาพการสีของข้าวลดลง ยิ่งตากทิ้งไว้ในนาเป็นระยะเวลามากขึ้นจะยิ่งมีผลทำให้คุณภาพการสีของข้าวลดลง ทั้งข้าวไทย (Indica rice) และข้าวญี่ปุ่น (Japonica rice) (กิติยา กิจควรดีและคณะ, 2539)

2.6.2 ปัจจัยภายในกระบวนการสีข้าว

2.6.2.1 ความเร็วเชิงเส้นที่ผิวของลูกหินขัดขาว

การขัดขาวข้าวด้วยเครื่องขัดข้าวแบบกรวยหิน พบว่าความเร็วเชิงเส้นที่ผิวหินขอบด้านบนของหินขัดขาวที่เหมาะสมสำหรับเครื่องขัดขาวแบบลูกหินกรวยแกนตั้งอยู่ในช่วง 12-15 เมตรต่อวินาที ถ้าความเร็วสูงกว่า 15 เมตรต่อวินาที ทำให้ระดับการสีและร้อยละข้าวหักมีค่าเพิ่มสูงขึ้น (ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, 2544) ได้มีงานวิจัยที่กล่าวถึงเครื่องสีข้าวแกนนอนขนาดเล็ก ที่ทำการสีข้าวขาวดอกมะลิ 105 ความเร็วการหมุนของลูกหินขนาด 4 นิ้ว ความเร็วที่ดีที่สุดนั้นต้องมีความเร็วเชิงเส้นที่ผิว 9.46 เมตรต่อวินาทีหรือมีความเร็วที่ 1,420 รอบต่อนาที ที่ทำให้การอัตราการแตกหักน้อยที่สุด (ธิติกานต์ บุญแข็ง, 2549)

2.6.2.2 ระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับตะแกรงขัดขาว

ได้มีงานวิจัยที่กล่าวถึงระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับตระแกรงขัดขาวในเครื่องขัดขาวแบบกรวยหินสอดคล้องกันว่าระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับตะแกรงขัดขาวของเครื่องขัดขาวแบบกรวยหินแกนตั้งควรมีระยะห่างเท่ากับ 10 มิลลิเมตร (ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2535) โดยตะแกรงในเครื่องขัดขาวจะทำหน้าเป็นตัวแยกรำและเม็ดข้าวออกจากกันและความคมของตะแกรงก็ยังทำหน้าที่ขัดขาวพร้อมกันไปด้วย งานวิจัยที่กล่าวถึงระยะห่างระหว่างหินขัดข้าวกับตะแกรงขัดขาวนั้นส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในเครื่องขัดขาวที่สามารถปรับระยะตะแกรงได้ เช่น เครื่องขัดขาวกรวยหิน เป็นต้น

2.6.2.3 จำนวนครั้งการขัดขาว

จำนวนครั้งในการขัดขาวมีส่วนในการแตกหักของข้าว เนื่องมากจากการขัดขาวเพื่อให้ขาวน่ารับประทานมีความอ่อนนุ่มไม่แข็งกระด้าง จึงจำเป็นต้องทำการขัดเอารำที่ผิวนอกของเมล็ดข้าวออก ถ้าทำการขัดให้ขาวภายในครั้งเดียวจะทำให้เกิดการแตกหักของข้าว อันเนื่องมาจากแรงขัด ความร้อนที่เกิดจากการขัดสี มีงานวิจัยที่ทำการขัดขาวการขัดขาวที่เหมาะสมการขัดขาวหลายครั้งช่วยลดปริมาณการแตกหักเมล็ดข้าวได้

(Efferson Norman J. and Klaus Singelmann, 1969) และยังมีงานวิจัยสนับสนุนจำนวนครั้งการขัดขาว หน่วยขัดสีถ้ามีหลายหน่วย แต่ละหน่วยขัดเบาๆ ก็จะทำให้คุณภาพการสีดีขึ้น (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะกุล, 2534) เช่นเดียวกันการขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาวแบบลูกหินแกนนอน SATAKE RMB10G โดยใช้ข้าวเปลือก 2 พันธุ์คือ ข้าวเปลือกหอมมะลิ และข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 60 พบว่าจำนวนครั้งการขัดขาวที่เหมาะสม ควรขัดขาว 3 ครั้ง ถ้าขัดเกิน 3 ครั้ง จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง เมล็ดมีแนวโน้มแตกหักมากขึ้น มีค่าดัชนีความขาวมากขึ้น (ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2542)

2.6.2.4 อุณหภูมิในกระบวนการขัดขาว

การขัดขาวในห้องขัดที่ทำการขัดสีเอารำออก การขัดสีนั้นได้ทำให้เกิดความร้อน ความร้อนจะสะสมในห้องขัดเมื่อเพิ่มสูงขึ้นได้ส่งผลให้เกิดการแตกหักของข้าว จากความร้อนในห้องขัดทำให้ผิวของเมล็ดขาวมีความชื้นน้อยกว่า ข้างในเมล็ด ส่งผลทำให้เกิดการร้าวของเมล็ด และเป็นเหตุของการแตกหัก ได้มีศึกษาปริมาณแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการขัดขาวที่อุณหภูมิต่างกันพบว่าช่วงอุณหภูมิของลมที่ใช้ในการดูดรำที่ท่อทางเข้าที่เหมาะสมที่ทำให้ร้อยละข้าวหักมีค่าต่ำสุด อุณหภูมิที่ทำให้ร้อยละข้าวหักของเมล็ดข้าวมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 25.90 องศาเซลเซียส และมีอัตราข้าวหักร้อยละ14.69 (บัณฑิต สุริยวงศ์พงศา, 2547) จึงเห็นได้ว่าอุณหภูมิก็มีส่วนในการแตกหักของข้าวเช่นกัน

2.6.2.5 ระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับแท่งยางขัดข้าว

แท่งยางขัดข้าวในเครื่องขัดขาวแบบต่างๆนั้นทำหน้าที่ชะลอความเร็วเมล็ดข้าวเพื่อทำให้เกิดการขัดสีกับลูกหินขัดข้าว การขัดสีอย่างมีประสิทธิภาพนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของยางขัดขาวและระยะห่างระหว่างยางขัดข้าวและลูกหินขัดขาวเป็นสำคัญ การสีข้าวในเครื่องขัดขาวกรวยหิน ระยะห่างระหว่างหินขัดข้าวกับแท่งยางนั้นควรมีระยะห่างที่น้อยกว่าความกว้างของเมล็ดข้าว เล็กน้อยควรอยู่ ประมาณ 2-3 มิลลิเมตรเพื่อให้การสีข้าว มี ประสิทธิภาพสูง (Harry Th and L. van Ruiten, 1981) ได้มีงานวิจัยที่ศึกษาในเรื่องของระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับแท่งยางขัดข้าวกล่าวคือการปรับระยะระหว่างหินขัดขาวกับแท่งยางขัดข้าว 2 มิลลิเมตร นั้นมีอัตราข้าวหัก น้อยกว่า การปรับระยะห่างระหว่างหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว 1 มิลลิเมตร(ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, 2544) แต่การสีข้าวในเครื่องสีข้าวแกนนอน ที่มีการทำงานคือกะเทาะเปลือกและขัดขาวข้าวพร้อมกัน จะมีค่าระยะห่างแตกต่างออกไปคือ แท่งยางขัดข้าวและลูกหินขัดข้าวระยะห่างเหมาะสมคือ 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งได้ข้าวหักเฉลี่ยน้อยที่สุดร้อยละ 14.5 (ธิติกานต์ บุญแข็ง, 2549)

2.6.2.6 รูปร่างของช่องปล่อยข้าวเปลือกในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับช่องปล่อยข้าวเปลือกในเครื่องสีข้าวขนาดเล็กนั้นได้กล่าวถึง ขนาดและรูปร่างที่ได้ทำให้การแตกหักของข้าวสารนั้นมีการลดลงโดยขนาดของช่องปล่อยข้าวเปลือกนั้นจะมีผลต่ออัตราการไหลของข้าวเปลือกสู่ห้องขัด และขนาดของช่องปล่อยข้าวนั้นขนาดที่เหมาะสมคือ 1,125 ตารางมิลลิเมตร และรูปร่างที่เหมาะสมคือ รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนานกับลูกหินขัดข้าว โดยมีประสิทธิ์ภาพของการสีข้าวที่ ร้อยละ 68.73 (รวีวรรณ รัตนเดช และคณะ, 2552)

2.6.2.7 ลมดูดรำ

จากผลสืบเนื่องมาจากการพลิกตัวและการบีบตัว ทำให้เมล็ดข้าวเกิดความร้อน และเกิดการสูญเสียความชื้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เพิ่มการแตกหักและทำให้ไขมันที่ผิวละลาย ความร้อน ความชื้น และไขมันที่ละลายออกมา ทำให้รำจับกันเป็นก้อนอุดตันในท่อส่งและตะแกรงขัดขาว ซึ่งจะเป็นการลดสมรรถนะการทำงานของเครื่องให้น้อยลง เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งนี้เกิดขึ้นในขณะเดียวกันเพื่อให้ห้องขัดปราศจากฝุ่น จึงจำเป็นต้องมีลมดูดจากภายในเครื่องในปริมาณที่เหมาะสมดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกหินขัดขาวและปริมาณลมในการขัดขาว (Gariboldi, 1974)

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกหินขัดขาว (มิลลิเมตร)	อัตราการไหลของลมดูดรำ (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)
500	8
600	10
800	12
1,000	15
1,250	20
1,500	25

หมายเหตุ : เมื่อใช้ในการขัดข้าวนึ่ง จะต้องใช้ปริมาณลมมากกว่านี้สองเท่า

2.6.2.8 อัตราการป้อน

อัตราการป้อนที่เหมาะสมสำหรับเครื่องขัดขาวแบบกรวยหินแกนตั้งมีค่าแตกต่างกันไปตามขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางหินขัดขาวดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหินขัดขาวกับอัตราการป้อน (James E. Wimberly, 1983)

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกหินขัดขาว (มิลลิเมตร)	อัตราการไหลของลมดูดรำ (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)
500	680
600	1050
800	1460
1,000	1900
1,250	2600
1,500	3200

จากตารางที่ 2.2 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนที่เหมาะสมสำหรับหินขัดขาวแต่ละขนาดเพื่อให้การสีข้าวเกิดประสิทธิภาพมากที่สุดกล่าวคือให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดหรือต้นข้าวมากการสูญเสียน้อย ได้ดังสมการที่ 2.3

$$m = 2.4704D_c - 511.3 \qquad (2.3)$$

หมายเหตุ : m = อัตราการป้อน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

D_c = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหินขัดขาวแบบกรวยแกนตั้ง (มิลลิเมตร)

จากการค้นคว้างานวิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกหักของข้าวที่ได้นำมาเพื่อประยุกต์เข้ามาในงานวิจัยในส่วนที่สามารถปรับได้ไม่ซับซ้อนมากนัก เช่น ความเร็วรอบการสี ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวและลูกยาง ปริมาณการไหลของข้าวเปลือก และปัจจัยหนึ่งที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้คือการไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวซึ่งลูกหินขัดข้าวหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงแล้วนั้น ได้ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่มาก เมื่อพิจารณาข้าวสารแล้วนั้น การแตกหักของข้าวมีปริมาณที่มากด้วยดังนั้น การไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวนั้นจัดเป็นหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการแตกหัก

2.6.2.9 ขนาดช่องปล่อยข้าวเปลือก

ในการสีข้าวปัจจัยที่ต้องมีความสอดคล้องกับความเร็วรอบของเครื่องสีข้าวนั้นคือ อัตราการปล่อยข้าวเปลือกเข้าสู้ห้องขัด ซึ่งมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับขนาดและรูปร่างของช่องปล่อยข้าวเปลือก ขนาดของช่องปล่อยข้าวเปลือกนั้นควรมีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนานกับลูกหินขัดข้าว ขนาด 1,125 ตารางมิลลิเมตร จะทำให้การสีข้าวมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 68.43 (รวีวรรณ รัตนเดช และคณะ, 2552)

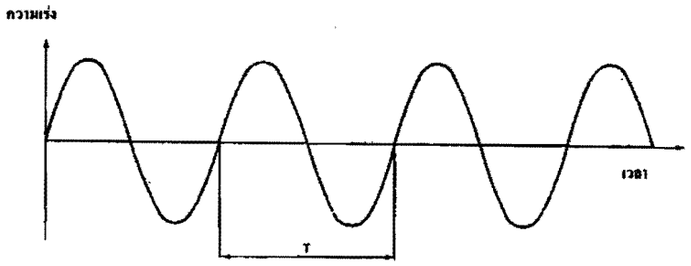
2.7 การสั่นสะเทือนและการปรับสมดุลย์

การศึกษาทฤษฎีด้านกลศาสตร์เพื่อจุดประสงค์ในการออกแบบสร้างเครื่องมือถ่วงดุล จะประกอบด้วยทฤษฎีที่สำคัญ คือ ธรรมชาติของการสั่นสะเทือนและทฤษฎีการถ่วงสมดุลย์ นับตั้งแต่ประมาณ ค.ศ. 1900 เป็นต้นมา ได้มีการตื่นตัวในการปรับสมดุลย์เครื่องจักรหมุนเพื่อการลดการสั่นสะเทือน ซึ่งทำให้งานเสียหายและได้เน้นหนักไปทางด้านเครื่องปรับสมดุลย์โดยหลักการพลศาสตร์ จำนวนระนาบตั้งฉากกับแกนหมุนเพื่อใช้ถ่วงให้ได้สมดุลย์ขนาดที่ต้องการ และความละเอียดของงานเป็นตัวกำหนดในการออกแบบเครื่องปรับสมดุลย์ โรเตอร์จานหมุน เช่น มู่เล่ กังหัน ปั๊มน้ำ มีมิติด้านระนาบตั้งฉากค่อนข้างน้อย สามารถถ่วงสมดุลย์ได้ในระนาบเดียวโดยเลือกระนาบที่ใกล้หรือผ่านจุดศูนย์กลาง ของมวลโรเตอร์ สำหรับโรเตอร์ ที่มีความยาวตามแกนหมุนมาก หรือโรเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วสูง จำเป็นต้องมีการถ่วงสมดุลย์ ในระนาบถ้าโรเตอร์เป็นวัตถุแกร่งไม่เสียทรง ที่ทุกความเร็วของการหมุน การถ่วงสมดุลย์ในระนาบตั้งฉาก 2 ระนาบนับว่าเพียงพอ ถ้าโรเตอร์ ทำงานที่ความเร็วระหว่าง ความเร็ววิกฤติ ตัวแรกและตัวที่สองก็จะต้องถ่วงแก้ไขถึง 3 ระนาบ ฯลฯ หลักการพื้นฐานที่กล่าวมานี้ยังคงเป็นหลักการที่ใช้ได้ และนำมาเป็นหลักการทำงานของเครื่องถ่วงอยู่จนถึงปัจจุบันนี้ วิวัฒนาการของเครื่องกล่าวได้ว่าเกิดจากการพัฒนาวิธีการการวัดขนาดของการเสียสมดุลย์และตำแหน่งของการเสียสมดุลย์ให้ได้ถูกต้องและละเอียดเพียงพอวิธีการดั้งเดิมนั้นได้ใช้เครื่องมือวัดทางกลล้วน เช่น วัดตำแหน่งหนักของโรเตอร์โดยจับชิ้นหมุนบนแท่นที่มีการแกว่งเคลื่อนที่ในระนาบอันหนึ่ง แล้วค่อยๆ เคลื่อนดินสอดำอ่อนๆ หรือพู่กันจุ้มสีเข้าหาโรเตอร์จนเกิดการสัมผัสเฉพาะจุดหรือแกนแคบๆบนโรเตอร์ส่วนที่แกว่งออกมามากที่สุดเพื่อแสดงจุดหนัก และวัดขนาดของการเคลื่อนที่โดยใช้ ไดอัลเกจ (Mechanical Dial Gauge) การพัฒนาเครื่องในระยะหลังๆ ได้นำอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิคส์เข้ามาใช้วัดขนาดความไม่สมดุลย์ เช่น Force Transducer, Velocity Pick-up หรือ Acceleration Pick-up ฯลฯ เพื่อวัดและป้อนสัญญาณเข้าสู่เครื่องคำนวณหามวลไม่สมดุลย์ อุปกรณ์เหล่านี้มีราคาแพง ไม่สามารถผลิตในประเทศได้ และจำเป็นต้อง

นำไปประกอบกับอุปกรณ์อ่าน คำนวณ และแปลงสัญญาณอื่นๆ ทำให้ราคาเครื่องถ่วงสมดุลย์จากต่างประเทศมีราคาที่แพงมาก

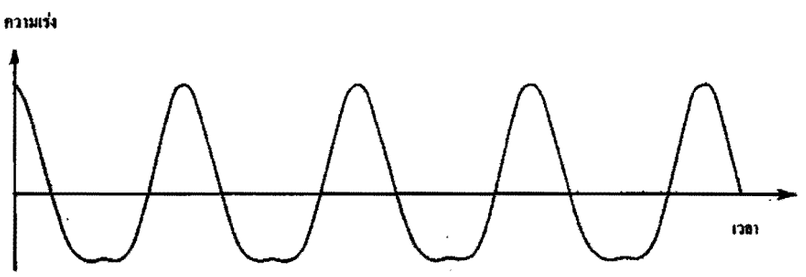
2.7.1 ธรรมชาติการสั่นสะเทือน (Natural of Vibration)

การสั่นสะเทือน อาจพิจารณาเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Particle) ลักษณะแกว่งไปแกว่งมา เมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงการเคลื่อนที่เป็นคาบเวลา (Periodic) แบบสุ่ม (Random) แบบชั่วครู่ (Transient) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการเคลื่อนที่เป็นคาบเวลา



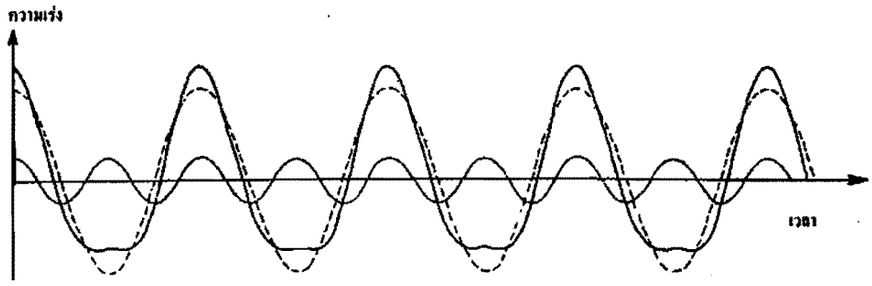
ภาพที่ 2.13 การสั่นสะเทือนแบบฮาร์โมนิคอย่างง่าย

สัญญาณรูปไซน์ (Sinusoidal) ของภาพที่ 2.13 จะเป็นความถี่แยกความถี่เดี่ยว (One discrete frequency) ซึ่งถูกกำหนดโดย F=1/T และมีหน่วยเป็น เฮิรทซ์ (Hz)



ภาพที่ 2.14 สัญญาณเป็นคาบเวลาแบบฮาร์โมนิค แบบผสม (f+2f)

จากรูปที่ 2.14 สัญญาณยังคงเป็นคาบเวลาเพราะว่าสัญญาณยังคงซ้ำรูปร่างและคาบเวลาเดิมแต่มี ฮาร์โมนิค เข้ามา ตัวอย่างนี้เป็นการผสมสัญญาณรูปไซน์ 2 รูปคลื่น

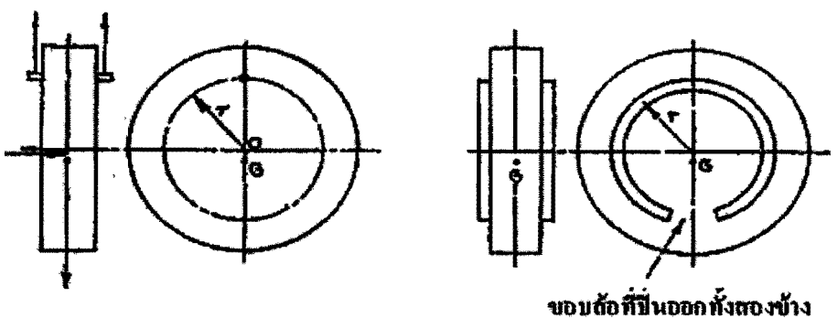


ภาพที่ 2.15 การแยกส่วนประกอบของสัญญาณ

จุดประสงค์ของการถ่วงสมดุลบนอุปกรณ์ที่มีการหมุน (Rotating bodies) ก็เพื่อแก้ปัญหาการเกิดความสั่นสะเทือน (Vibration) ของเครื่องจักรกล ผลการเกิดไม่สมดุลย์ในขณะที่โรเตอร์ หมุนด้วยความเร็ว เป็นผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรลดลง เป็นต้นเหตุให้อุปกรณ์รองรับ (Bearing) และอุปกรณ์ส่วนอื่นๆ บนเครื่องจักรชำรุดเสียหายก่อนเวลาอันสมควร

2.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความไม่สมดุลย์ และความสั่นสะเทือน

ความไม่สมดุลย์ (Unbalance) คือ มวลที่ไม่สมดุลย์รอบแกนเพลา เป็นเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือน เพราะแรงหนีศูนย์จะมี ทิศทางเดียวกับทิศทางของการเกิดไม่สมดุลย์ ดังเช่นตัวอย่างชิ้นงาน



ภาพที่ 2.16 ความไม่สมดุลย์แบบสถิตย์ (วินัย ซุนหมุกดา, 2533)

จากสมการ $F = rm\omega^2 = \frac{rq\omega^2}{g}$ (2.4)

จากภาพที่ 2.11 $\frac{2q\omega^2 r}{g} = \frac{W\omega^2 e}{g}$

$2qr = We$ (kg/m)

$$e = \frac{2qr}{w} \quad (2.5)$$

เมื่อ q = น้ำหนักถ่วงดุลย์ (kg)

r = รัศมีของ น้ำหนักถ่วงดุลย์ (m)

e = ระยะจุดศูนย์กลางของมวลที่เปลี่ยนแปลง (m)

W = น้ำหนัก (kg)

สรุป จะเห็นได้ว่าระยะจุดศูนย์กลาง ของมวลที่เปลี่ยนแปลงมากนั้นทำให้น้ำหนักไม่สมดุลย์มาก และจะเกิดแรงหนีศูนย์กลางมากขึ้น ผลก็คือมีการสั่นสะเทือนมากขึ้น

2.7.3 สาเหตุของความไม่สมดุลย์ (Unbalance)

การไม่สมดุลย์ คือการที่ศูนย์ของมวล (CG) ไม่ได้อยู่ในแนวแกนหมุนซึ่งมีสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดมวลที่ไม่สมดุลย์นี้ขึ้น คือ

2.7.3.1 การออกแบบที่ทำให้เกิดการไม่สมมาตรรอบแกนหมุน

2.7.3.2 พิกัดความเผื่อ (Tolerance) ในกระบวนการผลิตต่างๆ

2.7.3.3 เกิดจากความหนาแน่นของเนื้อวัสดุไม่เท่ากัน เช่นมีสิ่งสกปรกหรือมีโพรงอากาศในเนื้อเหล็กทำให้เกิดน้ำหนักที่แตกต่างกันในแต่ละจุด

2.7.3.4 เกิดจากการใช้งาน เช่นเพลาที่เกิดการโก่งตัวอย่างถาวรการบิดตัวของการหล่อขึ้นรูป (Casting) การคลอนตัวของชิ้นส่วนบางชิ้น เช่น แผ่นประกับใบพัด ใบพัดที่ใช้ในความเร็วสูง อันเนื่องจากรับแรงมากเกิดไป

2.7.4 ผลเสียที่เกิดจากการไม่สมดุลย์

เนื่องจากการสมดุลย์นั้นได้ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนและเหตุนี้ได้ทำให้ชิ้นส่วนหมุนเองนั้นเกิดความเสียหายทำให้มีผลเสียตามมา

2.7.5 ชนิดของความไม่สมดุลย์

ตามมาตรฐานของ ISO No.1925ได้กำหนดการไม่สมดุลย์

2.7.5.1 การไม่สมดุลย์แบบสถิต (Static unbalance)

2.7.5.2 การไม่สมดุลย์แบบคู่ควบ (Couple Unbalance)

2.7.5.3 การไม่สมดุลย์แบบกึ่งคู่ควบ (Quasi-Static Unbalance)

2.7.5.4 การไม่สมดุลย์แบบพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance)

2.7.6 ผลเสียที่เกิดจากการไม่สมดุลย์

เนื่องจากการสมดุลย์นั้นได้ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนและเหตุนี้ได้ทำให้ชิ้นส่วนหมุนเองนั้นเกิดความเสียหายทำให้มีผลเสียตามมา

2.7.6.1 เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งเป็นอันตรายต่อการทำงาน

2.7.6.2 อายุการใช้ของตลับลูกปืน (Bearing) น้อยลง

2.7.6.3 เกิดความเค้นของวัสดุขณะใช้งาน

2.7.6.4 เกิดความสูญเสียประสิทธิภาพของเครื่องจักรกล

2.7.6.5 เกิดเสียงดังรบกวนในการทำงาน

2.7.6.6 ลดความเชื่อถือได้ของการทำงานของเครื่องจักร

2.7.6.7 เสียค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรสูง ลดเวลาการทำงาน

2.7.7 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนและวิเคราะห์เพื่อการถ่วงสมดุลย์

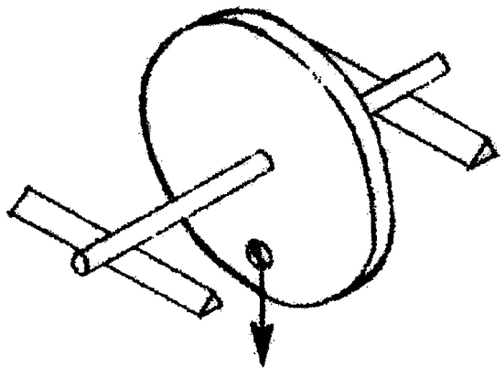
เครื่องมือชนิดนี้มีการใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศทั้งยุโรปและอเมริกา แต่ในประเทศไทยมีการใช้เครื่องมือชนิดนี้น้อยมาก เนื่องจากมีราคาแพงและเจ้าของเครื่องมักมองข้ามปัญหาความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการไม่สมดุลย์ หรือแก้ปัญหาโดยวิธีการกลึงที่ต้องใช้ผู้ชำนาญการ เครื่องมือวัดชนิดนี้มักมีใช้งานอยู่ในเฉพาะโรงงานที่มีขนาดใหญ่ๆ หรือ องค์การขนาดใหญ่ๆเท่านั้น ส่วนมากผลิตจากยุโรปแทบทั้งสิ้นมีผู้ผลิตดังนี้ Hofmann, Bruel & Kjaer และSchenck

2.7.8 หลักการถ่วงสมดุลย์ เครื่องจักรกลหมุน

การถ่วงสมดุลย์เครื่องจักรหมุนทำได้โดยอาศัยหลักการ 2 หลักการคือ

2.7.8.1 การถ่วงสมดุลย์แบบสถิตศาสตร์

ทำได้โดยการหาจุดหนักและขนาดน้ำหนักไม่สมดุลย์ของโรเตอร์ ใช้หลักการของสถิตย์ศาสตร์ ทำให้ใช้งานค่อนข้างสะดวกไม่ซับซ้อน เนื่องจากไม่ต้องใช้อุปกรณ์มาก



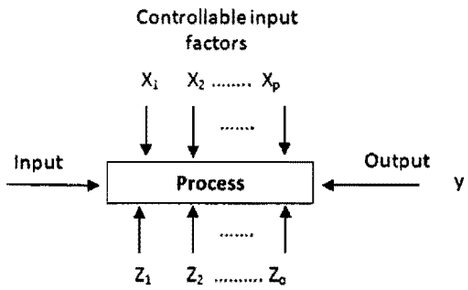
ภาพที่ 2.17 จุดที่หนักที่สุดจะลงต่ำเมื่อทำการสมดุลย์ทางสถิตย์ศาสตร์

2.7.8.2 การถ่วงสมดุลย์แบบพลศาสตร์

ทำได้โดยการตรวจหาขนาดแรงเฉื่อยของการเสียสมดุลย์ โดยอุปกรณ์วัดต่างๆ ทางพลศาสตร์ เช่นการวัดแรง การวัดความเร่ง หรือขนาดการเคลื่อนที่ เป็นต้น ความละเอียดอ่อน ถูกต้องของการวัดขึ้นอยู่กับความละเอียดในการวัดของเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ หลายชิ้น นิยมใช้กันมากกับงานวิศวกรรมที่ต้องการเครื่องจักรกลที่ต้องการเครื่องจักรกลหมุนที่มีความเร็วสูงการสั่นสะเทือนนั้นเป็นปัญหาของเครื่องจักรตลอดมา รวมทั้งเครื่องสีข้าวที่มีลูกหินที่หมุนให้เกิดการกะเทาะและการขัดสีของข้าวเปลือก การหมุนที่ไม่สมดุลย์นั้นได้ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนซึ่งหากมีการลดการสั่นสะเทือนนั้นได้แล้วการแตกหักก็อาจจะมีแนวโน้มที่ต่ำลงก็เป็นได้และการปรับสมดุลย์ชนิดที่มีราคาที่เหมาะสมกับเครื่องจักรที่มีสูงมาก ก็คงช่วยให้เกษตรกรมีรายได้ที่เพิ่มขึ้น อธิบายทำไมถึงเลือกการปรับสมดุลย์แบบ static และงานวิจัยในการถ่วงสมดุลย์

ได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนเพื่อการถ่วงดุลแบบ Centrifugal Balancing machine ผลวิจัยปรากฏ สามารถนำไปใช้กับแท่นรองรับแบบเคลื่อนที่ soft bearing และระบบแท่นแบบไม่เคลื่อนที่ Hard bearing ได้อีกโดยการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์และระบบรองรับวัตถุ ผลการพัฒนานี้จะสามารถนำไปใช้ได้ทั่วไป เช่นเดียวกันกับระบบที่สั่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ เครื่องมือวัดนี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดสนามได้ เช่นกัน (วินัย ซุนมุกดา, 2533) ส่วนงานวิจัยในการใช้งานเครื่องจักรสั่นสะเทือนได้มีการศึกษาการสั่นสะเทือนของรถไถพรวนขนาดเล็ก มีการวัดค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ขณะเครื่องจักรอยู่กับที่ ขณะเคลื่อนที่โดยไม่มีภาระและขณะทำการไถจริง ในแปลงทดสอบ ทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร่ง ใน 3 ตำแหน่ง คือ คันจับ แท่นวางเครื่องและแกนเพลาล้อ ในการทดสอบจะทำการวัดค่าความเร่ง ใน 3 ทิศทาง คือ แนวดิ่ง แนวรัศมีและแนวแกน ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ใช้ในการทดสอบ คือ 2,500, 3,000 และ 3,500 รอบต่อนาที ตามลำดับ ผลการทดสอบ ค่าการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งเกียร์ทำงานเกียร์ 2 พบว่า

ค่าความเร่งสูงสุด เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที ความถี่มีค่าเท่ากับ 4 เฮิรทซ์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,500 รอบต่อนาที (รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, 2548) ได้มีงานวิจัยออกแบบอุปกรณ์วัดและทดสอบหาคุณสมบัติการสั่นสะเทือนของผลส้มเขียวหวาน ซึ่งประกอบด้วย ถังเหล็กขนาด 0.4×0.6×0.6 เมตร สามารถบรรจุตะกร้าพลาสติกที่บรรจุผลส้มเขียวหวานได้ 25 กิโลกรัม กลไกในการสั่นสะเทือนประกอบ ไปด้วยลูกเบี้ยวขนาด 2 และ 4 มิลลิเมตร พร้อมด้วยแขนที่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า เป็นชนิดปรับรอบและกล่องควบคุมเวลาการทำงานของมอเตอร์ สามารถทดสอบการสั่นสะเทือน ทั้งแนวดิ่งและแนวระดับ ปัจจัยที่เหมาะสมในการทำงานประกอบด้วย แอมพลิจูด 2 มิลลิเมตร ความถี่ 10 เฮิรทซ์ และระยะเวลาในการสั่นสะเทือน 5 วินาที ให้คุณสมบัติการสั่นสะเทือน ในแนวดิ่ง ค่าดัชนีการทรงตัว เท่ากับ 2.10 เปอร์เซ็นต์การยุบตัวเท่ากับ 3.19 และร้อยละความช้ำเท่ากับ 0.48 ในแนวระดับ ค่าดัชนีการทรงตัวเท่ากับ2.08 ร้อยละของการยุบตัวเท่ากับ 1.99 และร้อยละความช้ำเท่ากับ 0 คุณสมบัติการสั่นสะเทือนของผลส้มเขียวหวานที่หาได้เป็นตัวช่วยในการสร้างเครื่องทำให้ผลไม้เต็มแบบสั่นสะเทือนและยังสามารถลดการเสียหายของส้มเขียวหวานในการขนส่งทางบก (ณพวีร์ พุ่มโต, 2543) งานวิจัยศึกษาผลของมุมใบล้อซึ่งกระทำแกนล้อที่มีต่อการสั่นสะเทือน และผลของยางลดการสั่นสะเทือน ผลการศึกษาพบว่าเมื่อจัดใบล้อให้ใบทำมุมกับแกนล้อเพิ่มขึ้นทำให้การสั่นสะเทือนลดลง มุมที่เหมาะสม คือ 30 และ 45 องศา และที่ทุกระดับเกียร์กำลังของรถไถเดินตามที่ติดตั้งยางลดการสั่นสะเทือนแตกต่างกันกับกำลังของรถไถเดินตามที่ไม่ติดตั้งยางลดการสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (คำนึง วาทโยธา, 2545)



ภาพที่ 2.18 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ

2.8 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การจำลองสภาพความเป็นจริงให้มาอยู่ในสภาพที่เราสามารถควบคุมได้ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงอันเป็นผลจากการปฏิบัติในการศึกษาทดลองการทดลองแบ่งได้เป็น

(1) การทดลองเบื้องต้น เป็นการทดลองเพื่อให้ทราบผลอย่างกว้างๆ ผลการทดลองที่ได้จะนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

(2) การทดลองขั้นตัดสินใจ เป็นขั้นตอนการนำสิ่งที่คัดเลือกได้จากการทดลองเบื้องต้นมาทำการทดลองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบหรือหาสิ่งที่ดีที่สุดในกลุ่ม โดยจะมีการใช้แผนการทดลองแบบต่างๆ

2.8.1 ส่วนประกอบของการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยทรีทเมนต์ (Treatment) ปริมาณ สิ่งของ วัสดุ หรือวิธีการต่างๆ ที่ต้องการทดสอบในการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

2.8.1.1 หน่วยทดลอง (Experimental Unit) คือ หน่วยของสิ่งทดลองที่จะได้รับทรีทเมนต์ เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หนึ่งหน่วยทดลองจะหมายถึงหน่วยที่เล็กที่สุดที่จะทำการวัดผลหน่วย ทดลองมีขนาดได้ไม่จำกัด ขนาดของหน่วย ทดลองจะขึ้น อยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ลักษณะของการทดลอง วิธีปฏิบัติทดลอง ขนาด ของการ ทดลอง จำนวน ทรีทเมนต์ งบประมาณ ความแปรปรวน ภายใน หน่วยทดลอง เดียวกัน และความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลอง

2.8.1.2 หน่วยตัวอย่าง (Sampling Unit) คือ ส่วนหนึ่งของหน่วยทดลองหรืออาจจะเป็น ทั้งหน่วยทดลอง

2.8.1.3 ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (Experimental Error) คือ ความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน ความคลาดเคลื่อนของการทดลองนี้ก็คือความแปรปรวนภายในของแต่ละทรีทเมนต์ ถ้าค่าที่วัดได้จากหน่วยทดลองที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกันแตกต่างกันมากความคลาดเคลื่อนของการทดลองจะสูงแสดงว่าน่าจะมีอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกอื่น ที่ส่งผลกระทบต่อการทดลองนอกเหนือไป จาก ทรีทเมนต์ ในการทำการทดลอง ควรพยายามควบคุมให้มีความคลาดเคลื่อนของการทดลองน้อยที่สุด ความคลาดเคลื่อนของการทดลองเกิดขึ้นจาก 2 สาเหตุใหญ่ คือ

1) ความคลาดเคลื่อนที่มีมาก่อนการทดลอง (Inherent Variability) มักจะเกิดจากวัตถุหรือสิ่งที่นำมาทดลองมีความแตกต่างอยู่ในตัวเองสามารถควบคุมได้ลำบาก

2) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง (Extraneous Variability) เกิดจากการปฏิบัติระหว่างการทดลองไม่สม่ำเสมอ หรืออาจเกิดจากการบันทึกผลระหว่าง การทดลองผิดพลาดซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้

3) การทำซ้ำ (Replication) คือ การที่หน่วยทดลองมากกว่าหนึ่งหน่วยได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน หรือเป็นการที่ ทรีทเมนต์ใด ทรีทเมนต์หนึ่ง ปรากฏในหน่วยทดลองมากกว่าหนึ่งหน่วยสาเหตุที่ต้องมีการทำซ้ำในการทดลอง

4) ประมาณความคลาดเคลื่อนของการทดลอง เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลองเป็นความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน ดังนั้น การทดลองที่ไม่มีซ้ำจะไม่สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้

5) ความเที่ยงตรงของการประมาณค่า เพิ่มความแม่นยำ ค่าประมาณ ที่ได้จะใกล้เคียงค่าความเป็นจริงการทดลองโดยทั่วไป ถ้าขนาดของการทดลอง ใหญ่เกินไป การควบคุมดูแลระหว่างทดลอง อาจทำได้ยาก ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ของการทดลองขึ้น แต่ถ้าขนาดเล็กเกินไปการทดลอง จะไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นจำนวน หน่วยทดลอง ควรจะเพียงพอเพื่อจะใช้ประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้อย่างน่าเชื่อถือ แต่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลองประมาณจากการทำซ้ำของทรีทเมนต์ในการทดลอง จำนวนซ้ำและขนาดของการทดลองจึงมีผลกระทบซึ่งกันและกัน

2.8.2 ปัจจัยในกระบวนการผลิต ที่สามารถแบ่งปัจจัยออกได้เป็น คือ

2.8.2.1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการเป็นผลดีต่อการทดลอง เพราะว่าการทดลองผู้ที่ทดลองจะต้องกำหนดค่าต่างๆที่คาดว่าจะมีผลตอบสนองตามต้องการ

2.8.2.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดปัจจัยนั้นๆ ได้ในกระบวนการ ทั้งนี้เกิดจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัย ต้นทุนในการควบคุมสูง หรือความรู้ไม่เพียงพอ สิ่งต่างๆเหล่านี้อาจเป็นผลต่อกระบวนการ ผู้ทำการทดลองจึงต้องพยายามกำจัดปัจจัยลักษณะแบบนี้ เพื่อให้เปลี่ยนปัจจัยลักษณะแบบนี้ เพื่อเปลี่ยนปัจจัยควบคุมได้ สำหรับการศึกษาปัจจัยและความสัมพันธ์ของปัจจัยในการทดลองนั้นโดยทั่วไปจะวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองได้จากฟังก์ชั่น ANOVA (Analysis of Variance) ซึ่งมีหลายประเภทเช่น One way ANOVA, Two way ANOVA, Fully Netted ANOVA, และ Balance ANOVA ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับรูปแบบและจำนวนปัจจัยที่ทำการศึกษาด้วย ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดในแต่ละประเภทได้ดังนี้

2.8.3 ชนิดของการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง

2.8.3.1 One way ANOVA

เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 1 ปัจจัย โดยปกติแล้วปัจจัยดังกล่าวมี 3 ระดับ หรือมากกว่า สำหรับกรณีมี 2 ระดับก็สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้เหมือนกับฟังก์ชั่น T-test โดยทั่วไปแล้วในแต่ ระดับ (Level) ของปัจจัยก็คือการทดลอง (Treatment) หนึ่งๆที่ทำการศึกษา ยกตัวอย่างเช่น วิศวกรในโรงงานต้องการศึกษาความเชื่อมั่นในการวัดความทนทานของสินค้าที่ผลิตขึ้น ด้วยวิธีการทั้งสิ้น 3 วิธีการ ในแต่ละวิธีการก็คือ ระดับของปัจจัยที่เกิดขึ้น โดยกระบนการ One way ANOVA จะเป็นการทดสอบค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับโดยเปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละส่วนที่เกิดขึ้น

2.8.3.2 Two way ANOVA

เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 2 ปัจจัย โดยข้อมูลที่จะทำการวิเคราะห์ต้องมีการแบ่งระดับของปัจจัยให้เท่ากัน ยกตัวอย่างเช่น เจ้าหน้าที่วิจัยและพัฒนาจะทำการศึกษาว่าอุณหภูมิและเวลาในการอบแผ่น CD มีผลต่อรอยร้าว ที่เกิดขึ้นในแผ่น CD หรือไม่

2.8.3.3 Full Nested ANOVA

เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีลักษณะเป็นกลุ่มในแต่ละชั้น ปัจจัยทั้งหมดจะมาจากการสุ่มเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ในการทดลอง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลตอบไม่มากกว่า 50 ค่า กับปัจจัย 9 ปัจจัย ในการประมวลผลข้อมูล 1 ครั้ง ยกตัวอย่างเช่นบริษัทแห่งหนึ่งที่ซื้อวัตถุดิบในแต่ละชุดจาก Supplier ที่แตกต่างกัน 3 แห่งความแข็งของวัตถุดิบจะเป็นปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการที่จะส่งผลต่อการผลิตสินค้า บริษัทต้องการศึกษาว่าความแปรปรวนของความแข็งของวัตถุดิบสืบเนื่องจากความแตกต่างของ Supplier ทั้ง 3 แห่ง

2.8.3.4 Balance ANOVA

เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีลักษณะเป็นกลุ่ม ซึ่งมีข้อมูลที่มีปริมาณมากและมีความแตกต่างกันในแต่ละกระบวนการ โดยในแต่ละขบวนการก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบการทดลองและค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้น การออกแบบการทดลองจึงไปเกี่ยวข้องกับสิ่งที่จะทำการศึกษาและข้อกำหนดในการทดลองและลำดับในการทดลอง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้มากกว่า 31 ปัจจัย

สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาในเชิงเปรียบเทียบที่ใช้ในการศึกษาไว้เช่น งานวิจัยเรื่องการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการสึกหรอของลูกหินขัดขาวที่ขึ้นรูปด้วยมือกับลูกหินขัดขาวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อ

เหวี่ยง โดยใช้ Two Way ANOVAในระดับนัยสำคัญ α= 0.05 พบว่า ทั้งสองปัจจัยมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และมีความเชื่อมั่นของข้อมูลคือ R-Sq = ร้อยละ 95.48 R-Sq (adj) = ร้อยละ 94.93 ดังนั้น แสดงว่าระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน และความเร็วรอบ ต่างมีผลต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าว คือ ระยะห่างยางกับลูกหินน้อยและความเร็วรอบต่ำ อัตราการสึกหรอจะเกิดขึ้นสูงจากการพิจารณาค่า P-Value ซึ่งมีค่าต่ำกว่า ค่า α 0.05 จึงสามารถบอกถึงสองปัจจัยนั้นมีความแตกต่างกัน (ธิติกานต์ บุญแข็ง, 2549) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการของการทดสอบในการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเมื่อประสิทธ์การถดถอยมีค่าไม่เท่ากัน โดยจะเปรียบเทียบวิธีทดสอบ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการทดสอบของฮอลลิงค์เวิทธ์เอฟ Hollingsworth F- Test Statistic (วิธี HF) และวิธีทดสอบของจอห์นสันและเนย์แมนJonhson-Neyman Test Statistic (วิธี JN) โดยศึกษาเปรียบความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 และอำนาจของการทดสอบของวิธีการทั้ง 2 วิธี และเกณฑ์ที่เป็นส่วนประกอบการตัดสินใจ คือค่าสัมพัทธ์ของค่าอำนาจการทดสอบ สถานการณ์ที่ศึกษาคือ กำหนดจำนวนสิ่งทดลองเท่ากับสอง จำนวนตัวแปรร่วมเท่ากับหนึ่ง และสามารถสรุปได้ดังนี้ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 วิธีการทั้ง 2 วิธีสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ครบทุกกรณี ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 เพิ่มขึ้นเมื่อ สัมประสิทธ์การถดถอยและขนาดของตัวอย่างมีค่าเพิ่มมากขึ้น วิธีการทั้งสองสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ดี เมื่อระดับนัยสำคัญ (α) มีค่าเพิ่มขึ้น อำนาจการทดสอบ ค่าอำนาจการทดสอบทั้งสองวิธี จะแปรผันตามค่าของขนาดตัวอย่าง สัมประสิทธ์การถดถอย ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของสิ่งทดลอง และระดับนัยสำคัญ ส่วนค่า ส่วนค่าสัมพัทธ์ของอำนาจการทดสอบของวิธี JN จะแปรผันตามค่าของสัมประสิทธ์การถดถอย และจะแปรผกผันกับ ขนาดตัวอย่าง ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของสิ่งทดลอง และระดับนัยสำคัญ (มานะชัย รอดชื่น, 2547) ได้มีงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของสารเคลือบฟันขาวในห้องทดลองและการใช้งานจริงในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา 2 ปัจจัยคือ ความแข็งแรงของสารเคลือบฟันและความแข็งแรงของธาตุปูนในฟัน ซึ่งมีเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ Two Way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 และมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 4 กลุ่ม คือ กลุ่ม OX, OQ ใช้ในห้องทดลอง OF และ O ใช้ในการใช้งานจริง ผลการศึกษาพบว่า เกิดการลดความแข็งแรงสารเคลือบฟันและธาตุปูนในฟันอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดหลังจากที่มีการเคลือบฟันขาว โดยพบว่าเกิดการลดความแข็งแรงของสารเคลือบฟันปริมาณร้อยละ 25 และเกิดการลดความแข็งแรงของธาตุปูนในฟันปริมาณร้อยละ 22 หลังจากมีการใช้สารเคลือบฟันขาวไปแล้ว 35 นาที ในกลุ่ม OX เกิดการลดความแข็งแรงของสารเคลือบฟันปริมาณร้อยละ 13 และเกิดการลดความ

แข็งแรงของธาตุปูนในฟันปริมาณร้อยละ 10 หลังจากมีการใช้สารเคลือบฟันขาวไปแล้ว 35 นาที ในกลุ่ม OQ เกิดการลดความแข็งแรงของสารเคลือบฟันปริมาณร้อยละ 14 และเกิดการลดความแข็งแรงของธาตุปูนในฟันปริมาณร้อยละ 9 หลังจากมีการใช้สารเคลือบฟันขาวไปแล้ว 14 ชั่วโมง ในกลุ่ม O เกิดการ ลดความแข็งแรงของสารเคลือบฟันปริมาณร้อยละ 18 และเกิดการลดความแข็งแรงธาตุปูนในฟันปริมาณร้อยละ 13 หลังจากมีการใช้สารเคลือบฟันขาวไปแล้วเมื่อเทียบในช่วงเวลาเดียวกัน โดยสรุปคือ การใช้สารเคลือบฟันในห้องทดลองมีการลดความแข็งแรงสารเคลือบฟันและธาตุปูนในฟันที่มากกว่าการใช้สารเคลือบฟันในการใช้งานจริง (Lewinstein et al, 2004)

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนั้นได้มีความสำคัญเพื่อช่วยในการลดค่าใช้จ่ายและเป็นการทดลองอย่างมีหลักการ การลดค่าใช้จ่ายนั้นจำเป็นในการสีข้าวเนื่องจากราคาข้าวเปลือกนั้นมีราคาที่สูง หากมีการใช้ปริมาณที่มากนั้นก็ย่อมทำให้การทดลองเป็นไปได้ด้วยความยากลำบากจึงต้องมีการออกแบบการทดลองก่อนการทดลองเพื่อความแม่นยำของข้องมูลและน่าเชื่อถือในเชิงวิชาการ และงานวิจัยของผู้วิจัยได้นำหลักการออกแบบการทดลองมาใช้ในการทดลองเพื่อให้เกิดความเข้าใจปัญหาของการแตกหักของข้าวสารด้วยการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็กได้อย่างชัดเจน

2.8 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง รายได้ ต้นทุนการผลิต และผลกำไร เพื่อกำหนดปริมาณการผลิตที่เหมาะสม หรือจุดที่ทำให้รายได้รวมเท่ากับต้นทุนรวม หรือจุดที่กำไรเท่ากับศูนย์ ในการวิเคราะห์ จุดคุ้มทุน จะแบ่งต้นทุนและค่าใช้จ่ายออกเป็น 2 ลักษณะคือ ต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร (สุมล ประสงค์สุข, 2006)

2.8.1 ความหมายต้นทุน

ต้นทุน (Cost) หมายถึง จำนวนเงิน หรือสิ่งแลกเปลี่ยนอย่างอื่น เพื่อให้ได้มาซึ่งทรัพย์สินหรือการบริการ แต่ต้นทุนนั้นจะมีความหมายใกล้เคียงกับคำว่า ค่าใช้จ่าย (Expense) คือ จำนวนเงินที่เราจ่ายไปในการบริการหรือดำเนินงาน ซึ่งในความหมายดังกล่าวของทั้งสองคำ จึงไม่แตกต่างกันมากนัก (อิสรา ธีระวัฒน์สกุล และคณะ, 2539)

2.8.2 ทฤษฎีต้นทุนการผลิต

2.8.2.1 ต้นทุนผันแปร (Variable Cost)

เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการผลิตที่อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ผลิตเป็นสำคัญ ซึ่งผู้ผลิตสามารถควบ คุมขนาดของการผลิตระยะสั้น โดยทั่วไปต้นทุนผันแปรนั้นจะแปรผันตามขนาดการผลิต กล่าวคือ ถ้าผลิตมากต้นทุนในส่วนนี้ก็จะมาก ถ้าผลิตน้อยต้นทุนในส่วนนี้ก็จะน้อยตามไปด้วย เช่น ในการผลิตสัตว์ต้นทุนผันแปร หมายถึง

ค่าใช้จ่ายจำพวก อาหารสัตว์ ค่าแรงงาน และค่ายารักษาสัตว์ เป็นต้น ส่วนในการผลิตพืชต้นทุนผันแปร หมายถึง ค่าเมล็ดพันธุ์ ค่าปุ๋ย ค่าน้ำมัน ค่าเชื้อเพลิง และค่าแรงงาน เป็นต้น ซึ่งหาก รวมค่าใช้จ่ายแต่ละรายการ ดังกล่าว เข้าด้วยกันก็จะได้ต้นทุนผันแปรทั้งหมด (Total Variable Cost: TVC) จากการผลิต

2.8.2.2 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

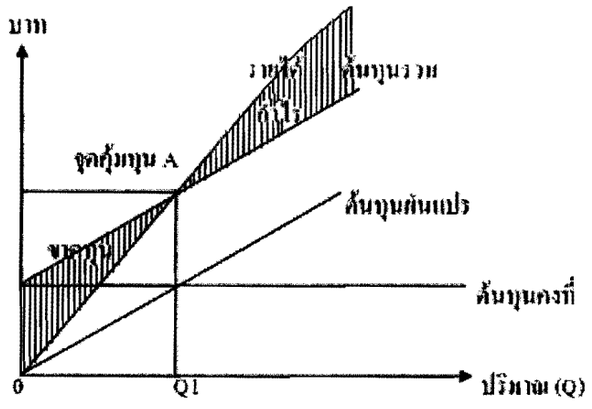
เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เกิดจากปัจจัยคงที่ในกระบวนการผลิต จะเกิดขึ้นเสมอไม่ว่าปัจจัยคงที่ดังกล่าวจะถูกใช้ หรือไม่ก็ตาม โดยไม่ว่าผู้ผลิตจะผลิตมากหรือน้อย หรือไม่ผลิตเลย ผู้ผลิตจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ ในจำนวนที่คงที่จำนวนหนึ่งเสมอ จะไม่เปลี่ยนแปลงตามขนาดการผลิต ทั้งนี้ในการผลิตระยะสั้นเท่านั้น ส่วนในระยะยาวต้นทุนคงที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดการผลิต ต้นทุนคงที่ทั้งหมด (Total Fixed Cost: TFC) ทุกรายการรวมเข้าด้วยกัน เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าภาษีที่ดิน ค่าเช่าที่ดิน เป็นต้น

2.8.2.3 ต้นทุนที่เป็นเงินสด (Cash Cost)

เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น และผู้ผลิตได้จ่ายไปจริงจากการซื้อหรือจัดหาปัจจัยการผลิตต่างๆ มาใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งต้นทุนที่เป็นเงินสดนี้จะเกิดขึ้นได้ทั้งในส่วนของต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร

2.8.2.4 ต้นทุนที่ไม่เป็นเงินสด (Non Cash Cost)

เป็นต้นทุน หรือค่าใช้จ่าย ที่เกิดจาก การใช้ปัจจัย การผลิต ต่างๆ ในกระบวนการผลิต แต่เป็นค่าใช้จ่ายที่ผู้ผลิตไม่ได้จ่ายไปจริงในทำนองเดียวกันต้นทุนที่ไม่เป็นเงินสดก็จะเกิดขึ้นได้ทั้งในส่วนของต้นทุนผันแปรและต้นทุนคงที่ซึ่งเป็นต้นทุนที่มีความสำคัญค่อนข้างสูง



ภาพที่ 2.19 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

ถ้าวาดเส้นรายได้จากการจำหน่ายสินค้า ซึ่งเป็นจุดเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางเช่นเดียวกัน เพราะได้กำหนดให้ราคาสินค้าต่อคงที่ตลอดเส้นรายได้ และเส้นต้นทุนการผลิตตัดกัน ณ จุด A ระดับปริมาณการผลิตเท่ากับ Q1 ซึ่งเป็นจุดคุ้มทุน เพราะรายได้เท่ากับต้นทุนการผลิตพอดี สำหรับปริมาณที่ต่ำกว่า Q1 ต้นทุนการผลิตจะสูงจะสูงกว่ารายได้ ทำให้เกิดการขาดทุน และเมื่อการผลิตที่สูงกว่า Q1 รายได้จะสูงกว่าต้นทุนการผลิตทำให้เกิดผลกำไรดังนั้นการผลิตจำนวน Q1 จึงเป็นปริมาณการผลิตที่เป็นไปได้ในการทำกำไรวิธีการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนอาจทำได้โดยอาศัยคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ สมมติว่าราคาสินค้าต่อหน่วยเท่ากับ P บาท และปริมาณการผลิตจำหน่ายเท่ากับ Q หน่วย ต้นทุนการผลิตคงที่เท่ากับ TFC บาท และต้นทุนการผลิตผันแปรเฉลี่ยต่อหน่วยเท่ากับ AVC สามารถคำนวณปริมาณการผลิตจำหน่ายคุ้มทุน Q ได้ดังนี้คือ

$$TR = TC \qquad (2.6)$$

หรือ $P \times O = TFC + (AVC \times Q)$

จะได้ $(P - AVC) \times Q = TFC \qquad (2.7)$

หรือ $$Q = \frac{TFC}{(P - AVC)}$$

$$Q = \frac{TFC}{d} \qquad (2.8)$$

โดยที่ TFC คือ ต้นทุนคงที่รวม

AVC คือ ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย

P คือ ราคาสินค้าต่อหน่วย

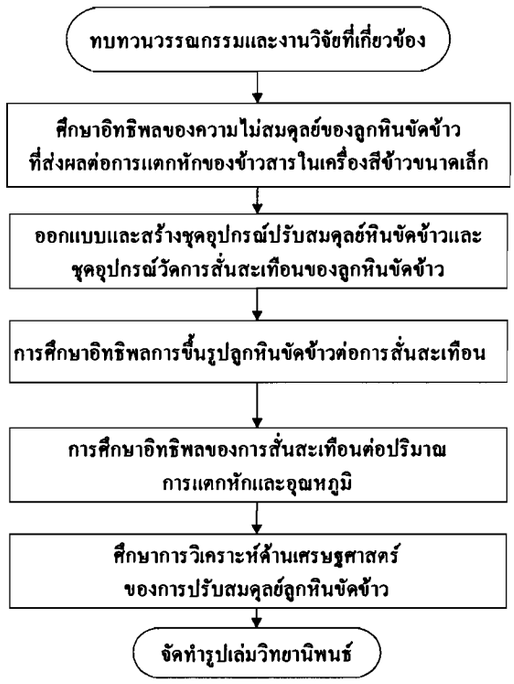
d คือ กำไรเบื้องต้นต่อหน่วย หรือ ส่วนต่าง คือ P – AVC

จะเห็นว่าปริมาณจุดคุ้มทุนก็คือ การผลิตที่ทำให้ผลกำไรเบื้องต้นเท่ากับ ต้นทุนการผลิตคงที่นั่นเอง หรือ d × Q = TFC (ดวงดี สิทธิศักดิ์, 2548) ศึกษาเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ทางธุรกิจในการผลิตเครื่องดื่มน้ำมะเขือเทศโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อความเป็นไปได้ทางด้านธุรกิจในการผลิตเครื่องดื่มมะเขือเทศ เป็นจุดเริ่มต้นของการเห็นโอกาสด้านธุรกิจ โดยการศึกษาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านต่างๆ ที่จำเป็น เพื่อเพิ่มโอกาสและลดความเสี่ยง ในการทำธุรกิจที่จะทำในอนาคต ผลการศึกษาพบว่า โครงการใช้เงินทุน 5,370,000 บาทโดยการกู้ยืมเงินทุนหมุนเวียนในกิจกรรมขั้นต่ำ 900,000 บาท อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ร้อยละ 7 จุดคุ้มทุน (Breakeven point) 979,533 หน่วยโดย

กำหนดราคาขาย 12.50 บาทต่อกล่อง มีระยะคืนทุน (Payback period) 2.2 ปี โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ณ อัตราคิดลดร้อยละ 7 เท่ากับ 3,333,979.47 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.66 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) มีค่าเท่ากับร้อยละ 20.9 ซึ่งมากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืม (MLR) ที่ร้อยละ 7 และมากกว่าอัตราดอกเบี้ยขั้นต่ำของโครงการที่กำหนดร้อยละ 15 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า โครงการนี้เป็นไปได้ทางธุรกิจ (พรชัย ตันติวีรสุต, 2528) ผู้แทนบริษัทไร้ซ์ เอ็นจิเนียริง จำกัดได้นำเสนอประมาณการต้นทุนและผลตอบแทน ในการดำเนินธุรกิจ โรงสีข้าว (กำลังการผลิต 70 เกวียนต่อวัน) ต่อที่ประชุมคณะกรรมการ พิจารณาความเป็นไปได้ ในการสร้างโรงสี กองทัพเรือ โดยสรุปประมาณการค่าเครื่องจักร รวมการติดตั้ง 4,000,000 บาท ค่าอาคารและสิ่งก่อสร้าง 2,000,000 บาท ค่ารถบรรทุกเครื่องทุ่นแรง และรถตักล้อยาง 2,000,000 บาท ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด 1,000,000 บาท รวมต้นทุนคงที่ประมาณ 9,000,000 บาท ประมาณการจ่าย ในการสีข้าวเปลือก 1เกวียน มีค่าข้าวเปลือก 3,200 บาท ค่าไฟฟ้า 50 บาท ค่ากระสอบ 150 บาท ค่ากรรมกร 10 บาท ค่าเสื่อมราคาและดอกเบี้ย 100 บาท รวมต้นทุนแปรผันประมาณ 3,500 บาท ต่อการสีข้าวเปลือก 1 เกวียน และมีประมาณการรายได้จากการสีข้าวเปลือก 1 เกวียน คือต้นข้าว 2,750 บาท ปลายข้าว 880 บาท รำละเอียด 300 บาท รำหยาบ 30 บาท รวมประมาณการ รายได้ต่อเกวียน 3,910 บาท เมื่อคิดกำไรต่อ 1 เกวียน ประมาณ 400 บาท ทำการสีข้าว วันละ 40 เกวียน และทำการสี เดือนละ 20 วัน ใน 1 ปี จะทำกำไรประมาณ 3,840,000 บาท ดังนั้น มีระยะเวลา คืนทุนประมาณ 3 ปี จากงานวิจัยที่กล่าวมา ต้นทุนนั้นมีส่วนสำคัญ ต่อการประกอบธุรกิจ ไม่ว่าจะเป็น ขนาดเล็กกลาง หรือ ใหญ่ ต้องคำนึง ถึงความสำคัญ ของต้นทุน โดยเฉพาะ เกษตรกร ที่ทำธุรกิจ ที่ไม่ประสบความสำเร็จ นั้นไม่ได้มีการวางแผน ในการทำธุรกิจอย่างชัดเจน จึงไม่ทราบว่ารายได้ประจำ ที่เข้ามา นั้นจะสามารถคืนทุน ภายในกี่ปี ที่เห็นได้ชัดเจนคือธุรกิจโรงสีขนาดเล็ก ตามชุมชนที่มีการสีข้าว ให้เกษตรกรแล้วนำผลพลอยได้คือ รำ ข้าวปลายแกลบ มาจำหน่ายแต่มักประสบปัญหา การขาดทุน จากค่าไฟฟ้า ค่าซ่อมบำรุง และค่าแรงที่เกษตรกรผู้ประกอบ โรงสีขนาดเล็กเองลืมคำนึง การคำนวณจุดคุ้มทุนนั้นจะทำให้ทราบถึง รายจ่ายหรือต้นทุนนั้นมีอะไรบ้าง รายได้ที่เข้ามานั้นจะสามารถทำกำไรได้เท่าไร ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นปัญหานี้ จึงได้นำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์มาบรรจุในงานวิจัยนี้หวังว่าจะเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยเหลือเกษตรกรที่มีอาชีพเกี่ยวข้องกับเรื่องที่ผู้วิจัยศึกษาอยู่ ทั้งโรงสีข้าว หรือส่วนของผู้ผลิตลูกหินขัดข้าว

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงการดำเนินงานวิจัย ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในการดำเนินงานนั้น จะประกอบด้วย ขั้นตอนการทดลอง และรายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ในการทดลองได้ทดลองในอาคารปฏิบัติการโลหะการ (EN5) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยจะเป็นไปตาม ภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

การศึกษาน้ำหนักในการถ่วงลูกหินขัดข้าวและความเร็วรอบที่มีผลต่อการแตกหักของข้าวสารในกระบวนการสีข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ปัจจัยต่อการแตกหักของข้าวสาร โดยใช้ฟังก์ชั่น One Way ANOVA ใน โปรแกรม Minitab Release 14 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ และนำสมการความสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย เป็นแนวทางในการปรับปรุงการแตกหักของสารในกระบวนการสีข้าว ซึ่งการทดสอบการแตกหักของข้าวในกระบวนการสีข้าวนั้นจะใช้ลูกหินที่นิยมใช้กันในท้องตลาดทั่วไปโดยกระบวนการขึ้นรูปด้วยมือ มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.1.1 การกำหนดปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ดังนี้

3.1.1.1 คุณสมบัติของผลตอบ (Response Characteristic) ในการวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงร้อยละการแตกหักของข้าวที่สี โดยกำหนดให้ตัวแปรผลตอบ (Response Variable: Y)

3.1.1.2 ปัจจัยควบคุม (Control Factors) เป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษา คือ ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวและปริมาณน้ำหนักที่เพิ่มเพื่อความไม่สมดุลย์ เป็นไปตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยควบคุม

ปัจจัยควบคุม (Control Factors)	ระดับต่ำ	ระดับสูง
Velocity : ความเร็วรอบในการสีข้าวของเครื่องสีข้าว (rpm)	1,260	1,500
Weight : น้ำหนักในการถ่วงลูกหินขัดข้าว (g)	0	30

1) ปัจจัยความเร็วรอบในการสีข้าวหมายถึง การปรับตั้งความเร็วรอบด้วยชุดควบคุม INVERTER เพื่อควบคุมความเร็วในการสีข้าวเปลือก ดังภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 การปรับตั้งความเร็วรอบด้วยชุดควบคุม Inverter

2) ปัจจัยน้ำหนักในการถ่วงลูกหินขัดข้าว หมายถึงการเพิ่มน้ำหนักเข้าไปในลูกหินขัดข้าว โดยใช้ตะกั่วถ่วงล้อรถยนต์ในการเพิ่มน้ำหนัก ดังภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3 การเพิ่มน้ำหนักในลูกหินขัดข้าว

3) ปัจจัยคงที่ (Held – Constant Factors) เป็นปัจจัยที่ไม่ได้สนใจในการทดลองครั้งนี้ ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยคงที่

ปัจจัยคงที่ (Held – Constant Factors)	การควบคุมในการทดลอง
ข้าวเจ้าสำหรับการทดลอง	ข้าวเจ้าพันธุ์ดอกมะลิ 105
การเก็บตัวอย่าง	เก็บข้าวเจ้าจากแหล่งปลูกเดียวกัน
เครื่องสีข้าว	เครื่องสีข้าวที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน
ผู้ปฏิบัติการทดลอง	ผ่านการฝึกการใช้งานเครื่องสีข้าว

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยคงที่ (ต่อ)

ปัจจัยคงที่ (Held – Constant Factors)	การควบคุมในการทดลอง
ระยะห่างระหว่างหินขัดข้าวกับยาง	1.5 มิลลิเมตร (ธิติกานต์ บุญแข็ง,2549)
ขนาดช่องปล่อยข้าวเปลือก	1,125 ตารางมิลลิเมตร (รวีวรรณ รัตนเดช และคณะ, 2552)

4) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Nuisance Factors) เป็นปัจจัยที่อาจมีผลแต่น้อยหรือไม่ได้สนใจในการทดลอง โดยการทดลองลองนี้ผู้วิจัยทำการควบคุมปัจจัยควบคุมไม่ได้ เพื่อขจัดความแปรผันที่เกิดจากปัจจัยรบกวนซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อขจัดผลที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างการทดลอง ตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้(Nuisance Factors)	วิธีป้องกัน
ความชื้นในเมล็ดข้าว	ควบคุมไม่ให้เกินร้อยละ 14
อุณหภูมิในการทดลอง	ทดลองในอุณหภูมิห้อง

3.1.2 การหาช่วงระดับของปัจจัย

ในการหาช่วงระดับของปัจจัยนั้นจะพิจารณาจากความสามารถของเครื่องจักรและการทำงานทดลองเพื่อหาช่วงระดับของปัจจัยที่ควบคุมดังนี้

3.1.2.1 ปัจจัยความเร็วรอบจะทำการทดลองโดยการปรับตั้งค่าที่ระดับต่างๆตามความสามารถของเครื่อง ซึ่งในการทดลองจะพิจารณาถึงความเร็วต่ำสุดและความเร็วสูงสุดตามความสามารถของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ค่าระดับของปัจจัยความเร็วรอบหาได้จากสมการ 3.1 และ 3.2 (MINITAB Release 14) ดังนี้

$$\text{Low level setting} = \frac{(\alpha-1)\max+(\alpha+1)\min}{2\alpha} \qquad (3.1)$$

$$\text{High level setting} = \frac{(\alpha-1)\min+(\alpha+1)\max}{2\alpha} \qquad (3.2)$$

ตารางที่ 3.4 ค่า α ในแต่ละจำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

Number of Factors	Factorial portion	Scaled Value for α Relate to $\pm$ 1
2	2^2	$2^{2/4}$= 1.414
3	2^3	$2^{3/4}$= 1.682
4	2^4	$2^{4/4}$= 2.000
5	2^{5-1}	$2^{4/4}$= 2.000
5	2^5	$2^{5/4}$= 2.378
6	2^{6-1}	$2^{5/4}$= 2.378
6	2^6	$2^{6/4}$= 2.828

ดังนั้นเมื่อกำหนดค่า α สำหรับ การออกแบบ ส่วนประสมกลาง เท่ากับ 1.414 จึงหาช่วงปัจจัยได้ดังนี้

$$\text{Low level setting} = \frac{(1.414-1)1{,}500+(1.414+1)1{,}260}{2(1.414)} = 1{,}295 \approx 1{,}300$$

$$\text{High level setting} = \frac{(1.414-1)1{,}260+(1.414+1)1{,}500}{2(1.414)} = 1{,}465 \approx 1{,}500$$

จึงกำหนดช่วงระดับความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว โดยมีค่ากลางของเครื่องสีข้าว คือ 1,420 รอบต่อนาที โดยเป็นค่าที่เหมาะสมกับการสีข้าวที่สุด จึงเพิ่มครั้งละ 40 รอบต่อนาที และลดครั้งละ 40 รอบต่อนาที เพื่อให้ได้ระดับในการทดลองจึงเท่ากับ 1,340 -1,500 รอบต่อนาที

3.1.2.2 ปัจจัยน้ำหนักในการถ่วงลูกหินขัดข้าว ในการศึกษาถึงปริมาณน้ำหนักที่เพิ่มในลูกหินขัดข้าว ใช้น้ำหนักจากตะกั่ว ซึ่งจะใช้น้ำหนักอยู่ที่ 0-30 กรัมการเพิ่มน้ำหนักนั้นสามารถเพิ่มได้โดยเพิ่มเข้าในส่วนด้านข้างของลูกหินขัดข้าว ซึ่งการทดลองจะพิจารณาถึงน้ำหนักในการถ่วงที่ทำให้การแตกหัก จากการสีข้าวด้วยลูกหินที่ไม่สมดุลย์

3.1.3 การทดสอบการแตกหักของข้าวกับปัจจัยที่ทำการศึกษา

นำลูกหินขัดข้าวมาสีเพื่อทำการทดสอบการแตกหักของข้าวสารโดยการทดสอบจริงผ่านกระบวนการสีข้าว โดยใช้ลูกหินขัดข้าว ถ่วงน้ำหนักลูกหิน คือ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 กรัม โดยลูกหินนั้นต้องทดลองกับความเร็วรอบทั้ง 5 ระดับด้วยเช่นเดียวกันและทำการคำนวณหาร้อยละการการแตกหักของข้าวสารจากการสีข้าวด้วยสมการ ดังนี้

$$\text{ร้อยละการแตกหัก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวทั้งหมด} - \text{น้ำหนักต้นข้าว}}{\text{น้ำหนักของข้าวทั้งหมด}} \times 100 \qquad (3.3)$$

3.1.3.1 การทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัย มีแนวทางปฏิบัติดังนี้

1) กำหนดการออกแบบการทดลองในฟังก์ชั่น DOE (Design of Experiment) ของโปรแกรม Minitab Release 14 สำหรับการออกแบบที่มี 2 ปัจจัย ปัจจัยความเร็วรอบของลูกหินมีจำนวนทั้งสิ้น 5 ระดับ และปัจจัยของน้ำหนักที่เพิ่มมีจำนวนทั้งสิ้น 7 ระดับ การทดลองซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 105 Runs ตามตารางที่ 3.5 สำหรับบันทึกผลการทดลอง

2) ทำการทดลองในแต่ละลำดับตามตารางข้างต้นซึ่งได้ออกแบบจากโปรแกรม โดยเตรียมตะกั่ว ที่จะทำการทดสอบแล้วชั่งน้ำหนัก เพื่อเพิ่มในลูกหินขัดข้าว

3) นำตะกั่วที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาเพิ่มเข้าในด้านข้างลูกหินขัดข้าวดังเช่นภาพที่ 3.3 แล้วประกอบ ลูกหินขัดข้าวใส่ในเครื่องสีข้าว ปรับความเร็วรอบให้เป็นไปตามตารางที่ 3.5 และทำการเปิดเครื่องสีข้าวให้ทำงาน

4) นำข้าวที่ได้จากการเก็บข้อมูล โดยทำการสุ่มเก็บข้าวจากการสีให้ทุกครั้งในการสุ่มเก็บนั้นมีปริมาณเท่ากัน แล้วมาชั่งน้ำหนักแยกทำการแยกข้าวหักด้วยเครื่องคัดแยกชั่งน้ำหนักข้าวแล้วทำการบันทึกผล

5) นำข้อมูลที่ได้จากการแยกข้าวหักมาคำนวณเพื่อหาร้อยละการแตกหักจากสูตรที่ (3.3) คำนวณค่าจากสูตรและจดบันทึกไว้

6) ทำตามวิธีการทดลองข้างต้นจากข้อ 2 – 5 จนครบทั้ง 105 Runs ตามที่ออกแบบไว้

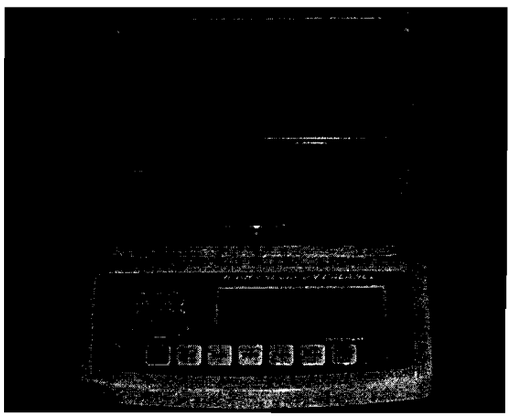
หมายเหตุ : ในการทดลองจะสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวที่ผ่านการสีในปริมาณ 200 กรัมทุกๆ 20 วินาที และทำการคัดแยกข้าวหักเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการสีข้าว

ตารางที่ 3.5 ลำดับการทดลองที่ได้จากการออกแบบ โดยโปรแกรม Minitab Release 14 ในการทดสอบ 2 ปัจจัย

StdOrder	RunOrder	Velocity	Weight
13	1	1380	25
38	2	1340	10
91	3	1420	30
99	4	1500	0
34	5	1500	25
87	6	1420	10
72	7	1340	5
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
100	95	1500	5
46	96	1380	15
18	97	1420	15
48	98	1380	25
102	99	1500	15
41	100	1340	25
96	101	1460	20
39	102	1340	15
79	103	1380	5
54	104	1420	20
35	105	1500	30

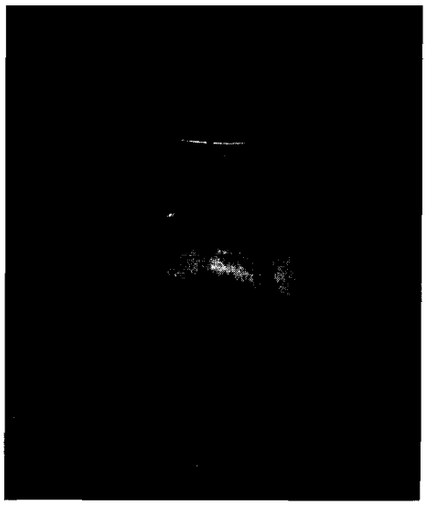
3.1.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

3.1.4.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก แบบดิจิตอล ความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง เพื่อใช้ในการชั่งน้ำหนักของข้าวที่เก็บตัวอย่าง



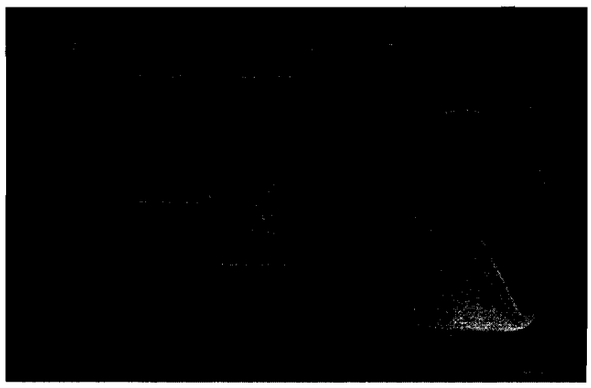
ภาพที่ 3.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ยี่ห้อ ADAM EQUIPMENT รุ่น ACH-3

3.1.4.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก แบบตาชั่งทั่วไปเพื่อใช้ในการชั่งน้ำหนักปริมาณข้าวที่สี



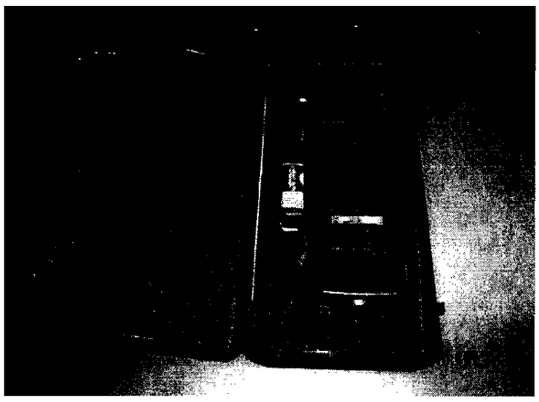
ภาพที่ 3.5 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตาชั่ง หมายเลข 35466-41

3.1.4.3 เครื่องวัดความชื้นแบบดิจิตอลใช้ในการชั่งความชื้นข้าวเปลือกที่นำมาสี



ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดความชื้นแบบดิจิตอล ยี่ห้อ G-WON รุ่น GMK-303

3.1.4.4 เครื่องวัดความเร็วรอบแบบดิจิตอล ใช้วัดความเร็วรอบของเครื่องสีข้าว

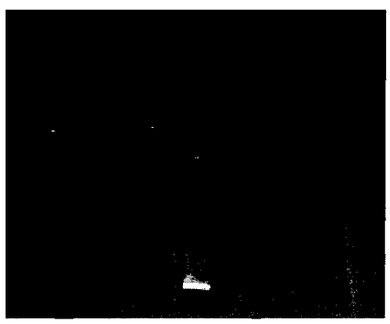


ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดความเร็วรอบแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Tacho Meter รุ่น DM

3.1.4.5 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน เป็นเครื่องวัดการสั่นสะเทือนในเครื่องจักร

ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน ยี่ห้อ INSPEX รุ่น IPX-602

3.1.4.6 ฟิวเลอร์เกท เป็นเครื่องมือวัดระยะห่างระหว่างยางกับลูกหินขัดข้าว



ภาพที่ 3.9 ฟิวเลอร์เกท ยี่ห้อ HK รุ่น 15SM

3.1.4.7 เครื่องวัดอุณหภูมิ เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิของห้องขัดของเครื่องสีข้าว

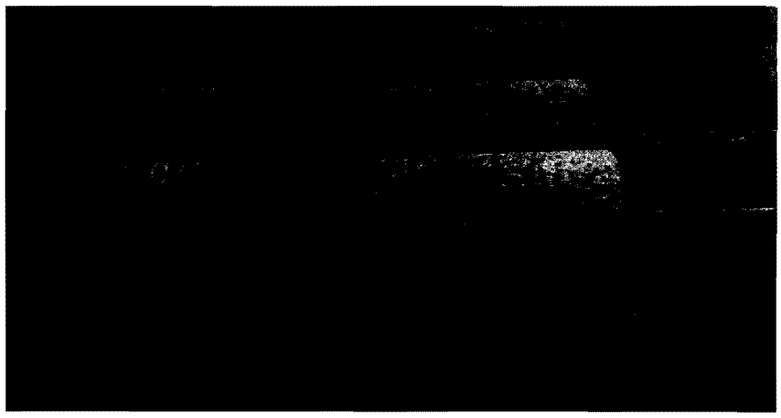
ภาพที่ 3.10 เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ Lutron รุ่น TM-958

3.1.5 อุปกรณ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

3.1.5.2 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบแกนนอน

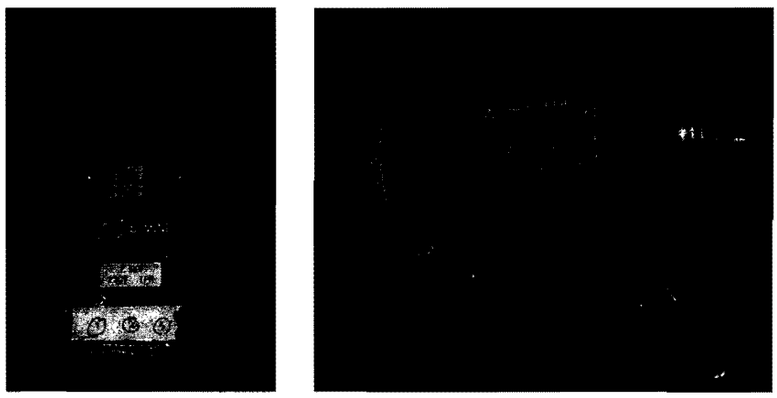
ภาพที่ 3.11 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบแกนนอน รุ่นตราเสือ ห.จ.ก. อุบลกรุงไทยกลการ

3.1.5.3 ลูกหินขัดข้าว โดยเป็นลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในท้องตลาดทั่วไป ขนาด 12 นิ้ว



ภาพที่ 3.12 ลูกหินขัดข้าวแกนนอน ขนาด 12 นิ้ว

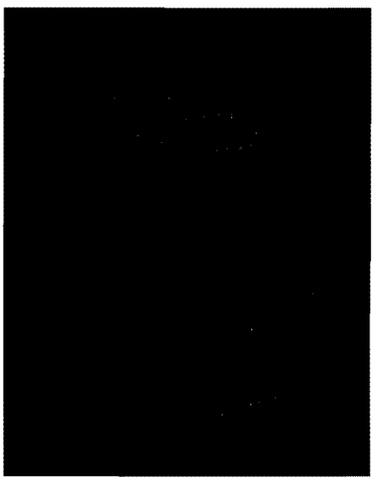
3.1.5.4 Inverter เป็นอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบทำงานร่วมกับมอเตอร์ 3 เฟส



(A) (B)

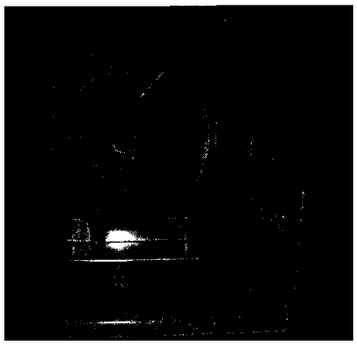
ภาพที่ 3.13 Inverter ยี่ห้อ Haitec รุ่น H2000 (A) มอเตอร์ 3 เฟส ยี่ห้อ Mitsubishi Electric Corporation รุ่น SF-JR (B)

3.1.5.5 ข้าวหอมมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวในการทดสอบสีในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก



ภาพที่ 3.14 พันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 จากสหกรณ์การเกษตร อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

3.1.5.6 เครื่องคัดแยกข้าว ใช้ในการคัดแยกต้นข้าว ข้าวหัก ข้าวปลาย

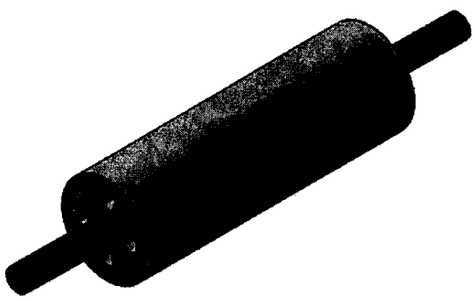


ภาพที่ 3.15 เครื่องคัดแยกข้าวหัก

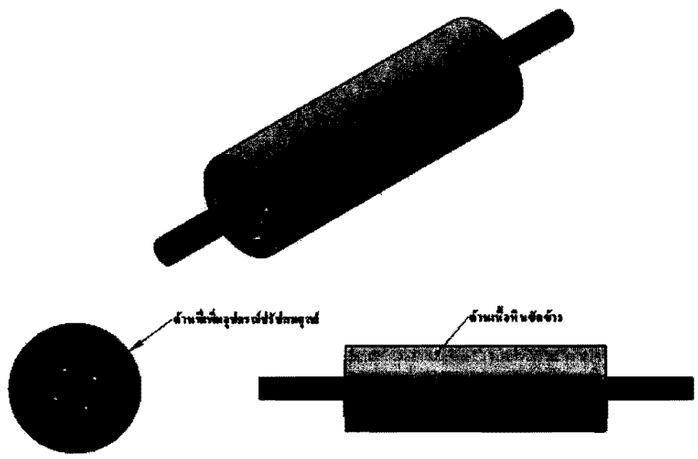
3.2 การออกแบบอุปกรณ์ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวและแท่นช่วยในการวัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว

3.2.1 อุปกรณ์ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว

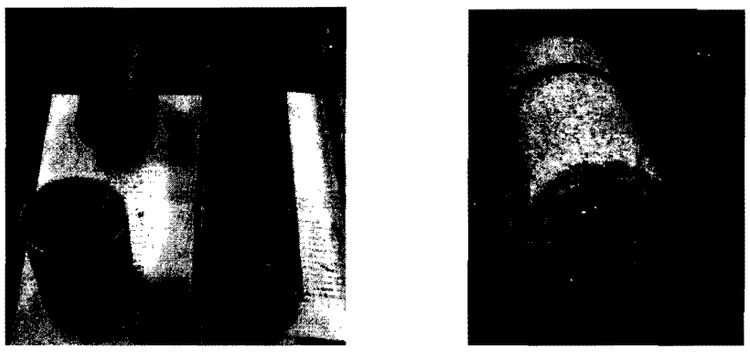
ในการออกแบบอุปกรณ์ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว ได้คำนึงถึงวิธีการที่จะสามารถปรับสมดุลย์แก่ลูกหินขัดข้าวเพื่อไม่ให้ลูกหินขัดข้าวสั่นสะเทือน ดังนั้นจึงได้ใช้ประกับเหล็กเป็นตัวปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว โดยมีชุดน้ำหนักที่สามารถปรับตำแหน่งภายในชุดปรับสมดุลย์(ประกับ) โดยจะมีทั้ง 2 ด้าน เพื่อกระจายน้ำหนักที่ไม่สมดุลย์ การกระจายน้ำหนัก เพื่อให้ถ่ายเทน้ำหนักที่เกินไปยังจุดต่างๆที่น้ำหนักน้อยกว่า ในเนื้อของลูกหินขัดข้าว เพื่อให้ลูกหินขัดข้าวสมดุลย์ โดยชุดปรับสมดุลย์ นั้น ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เหล็กทรงกระบอก ที่มีร่องด้านข้าง เพื่อเคลื่อนที่น้ำหนักไปยังตำแหน่งต่างๆ ของลูกหินขัดข้าว และชุดชิ้นน้ำหนัก ดังแสดงในรูปภาพ 3.14



ภาพที่ 3.16 แสดงแบบลูกหินขัดข้าวที่เพิ่มอุปกรณ์ปรับสมดุลย์แล้ว



ภาพที่ 3.17 ด้านหน้าและด้านข้างของลูกหินขัดข้าวที่เพิ่มอุปกรณ์ปรับสมดุลย์



(A) (B)

ภาพที่ 3.18 (A) ส่วนประกอบของชุดปรับสมดุลย์ (B) ลูกหินที่เพิ่มชุดปรับสมดุลย์

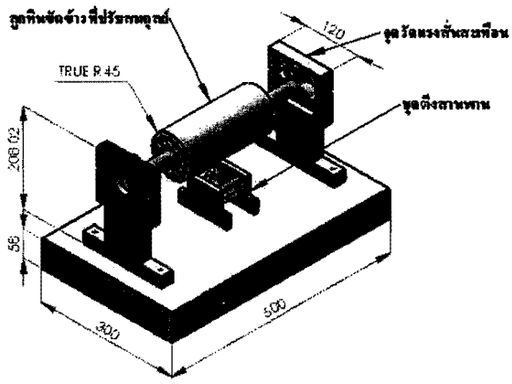
3.2.1.1 การทำงานของชุดปรับสมดุลย์

แกนเหล็กลูกหินขัดข้าว นั้นจะเพิ่มชุดปรับสมดุลย์ ก่อนการหล่อขึ้นรูปหินขัดข้าวที่มีส่วนปรักอบด้วยปูนโรงสี หินกากเพชร หินกากแก้ว เมื่อแห้งได้ที่แล้ว จึงนำมากรีดหินให้เรียบตลอดความยาว จึงนำหินที่เพิ่มชุดปรับสมดุลย์มาทำการปรับสมดุลย์ โดยทำงานร่วมกับ Balancing Stand หลักทำงานนั้นจะใช้แรงโน้มถ่วงของโลกเป็นตัวปรับสมดุลย์ หรือ การปรับสมดุลย์แบบสถิต ซึ่งหากในเนื้อของลูกหินขัดข้าวมีส่วนใดหรือจุดใดที่หนักจุดอื่นๆ ในลูกหินขัดข้าวจุดนั้นจะทำให้เกิดการไม่สมดุลย์ ซึ่งการไม่สมดุลย์นั้นจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน และทำให้เกิดผลเสียหลายชนิดตามมา การปรับสมดุลย์คือการนำจุดที่หนักกว่าออกไปจากลูกหินขัดข้าว โดยกระจายน้ำหนักในชุดปรับสมดุลย์ออกไปจุดต่างๆ โดยเคลื่อนตำแหน่งของชุดน้ำหนัก หากกระจาย

เรียบร้อยแล้วลูกหินที่ปรับสมดุลย์ใน Balancing Stand นั้นจุดต่ำสุดของลูกหินนั้นจะไม่ซ้ำจุดเดิมในทุกการปรับสมดุลย์ หากปรับแล้วจุดต่ำสุดยังเป็นตำแหน่งเดิมแปลว่าลูกหินนั้นยังไม่สมดุลย์ จึงต้องทำการปรับสมดุลย์อีกครั้ง

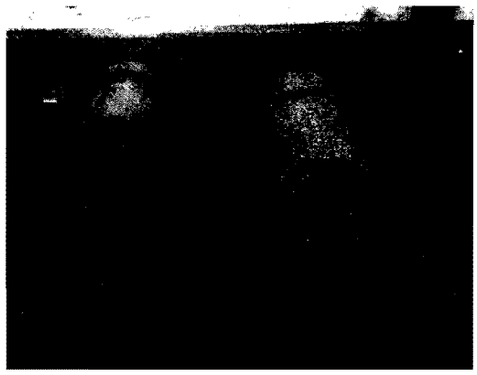
3.2.2 ชุดอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว

ชุดอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนนี้เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่จะช่วยในการวัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว เนื่องมาจากแรงสั่นสะเทือนในการสีข้าว แรงสั่นสะเทือนจะเกิดมาจากอุปกรณ์มาปะปนกันทำให้ไม่ทราบถึงการสั่นสะเทือนที่แท้จริงของลูกหินขัดข้าว หลักการทำงานของแท่นช่วยวัดแรงสั่นสะเทือนนั้นให้กำลังด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส 2 แรงม้า สามารถปรับความเร็วรอบได้ ด้วย Inverter รองรับลูกหินขัดข้าวด้วยตลับลูกปืน (แบริ่ง) และทำการวัดแรงสั่นสะเทือนด้วยเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนแบบพกพา



ภาพที่ 3.19 ชุดอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน

ภาพที่ 3.20 แสดงแบบด้านหน้าและด้านข้างของชุดอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน



ภาพที่ 3.21 ชุดอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน

3.2.2.1 ส่วนประกอบของชุดวัดการสั่นสะเทือน

ชุดอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนนั้น มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 คือ

1) ชุดฐานรองรับ ทำหน้าที่ในการรับแรงในการปรับสมดุลย์และส่วนของขาตั้งในการวัดแรงสั่นสะเทือน

2) ชุดตึงสายพาน มีหน้าที่ในการตึงสายพานที่ดึงให้ลูกหินขัดข้าวหมุนเพื่อวัดความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น เพราะหากสายพานไม่กระชับกับลูกหินขัดข้าว ความเร็วรอบที่ได้จะต่ำกว่าค่าจริงจากการปรับค่า ใน Inverter

3) ชุดขาตั้งในการวัดการสั่นสะเทือน เป็นส่วนในการรองรับแกนเพลาของลูกหินขัดข้าวเพื่อวัดแรงสั่นสะเทือน โดยใช้ตลับลูกปืนที่มีความลื่นสูงในการรองรับแกนเพลาเพื่อให้หมุนตามและรับค่าการสั่นสะเทือนเพื่อง่ายต่อการวัดการสั่นสะเทือนได้ง่ายขึ้น

3.2.2.2 การทำงานของชุดวัดการสั่นสะเทือน

จากลูกหินขัดข้าวปรับสมดุลย์เรียบร้อยนั้น ในการทดสอบถึงความสมดุลย์ในตัวของลูกหินขัดข้าวเองนั้นต้องทำการทดสอบด้วยการวัดแรงสั่นสะเทือนหากลูกหินนั้นยังไม่สมดุลย์ลูกหินขัดข้าว เมื่อหมุนจะมีการสั่นสะเทือนอัน แท่นช่วยวัดแรงสั่นสะเทือนนี้ จะเป็นตัวช่วยในการวัดแรงสั่นสะเทือน เพื่อให้ทราบถึงการสั่นจากลูกหินขัดข้าวโดยตรง ไม่มีแรงสั่นสะเทือนอื่นมารบกวน เช่นในการสีข้าวในเครื่องสีข้าวที่อาจมีแรงสั่นสะเทือนจาก อุปกรณ์อื่นมารบกวน ซึ่งแท่นช่วยวัดแรงสั่นสะเทือนให้กำลังโดยมอเตอร์ไฟฟ้า 2 แรงม้า ปรับความเร็วรอบด้วย Inverter ให้ความเร็วรอบ ตั้งแต่ 0-1,500 รอบต่อนาที และวัดแรงสั่นสะเทือนด้วยเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน

3.3 การศึกษาอิทธิพลการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวต่อการสั่นสะเทือน

การศึกษาอิทธิพลการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวต่อการสั่นสะเทือน ได้ใช้ลูกหินขัดข้าวทั้ง 2 แบบ ด้วยกันคือ ลูกหินที่หล่อด้วยมือและลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง โดยทั้งสองนั้นทำการปรับสมดุลย์ด้วยวิธี Static Balancing มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบ การสั่นสะเทือนของลูกหินจากลูกหินต่างชนิดจะส่งผลต่อร้อยละการแตกหักของข้าวสาร โดยพิจารณา 2 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ ชนิดของการขึ้นรูป จะทำการทดสอบวัดความสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว ในสภาวะจำลองการทำงานของเครื่องสีข้าว ที่ระดับความเร็วต่ำสุดและสูงสุด คือ 1,360 และ 1,500 rpm โดยลูกหินทั้ง 2 ชนิดจะถูกปรับสมดุลย์แบบสถิต เก็บข้อมูลในรูปของการสั่นสะเทือน และนำผลการทดลองมาประมวลผล จาก Minitab Release 14 ในฟังก์ชั่น One way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบความแตกของการสั่นสะเทือนจากการขึ้นรูปทั้ง 2 ชนิด สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวต่างชนิดกันนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรไม่ใช้พารามิเตอร์ โดยฟังก์ชั่น Mann-Whitney เพื่อทดสอบความแตกต่างของประชากร

3.3.1 การทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัย มีแนวทางปฏิบัติดังนี้

3.3.1.1 เพิ่มชุดอุปกรณ์ในการปรับสมดุลย์ที่จะเพิ่มเข้าไปในแกนเหล็กลูกหินขัดข้าวที่จะทำการทดสอบ

3.3.1.2 นำแกนเหล็กลูกหินขัดข้าวที่เพิ่มอุปกรณ์เรียบร้อย ไปพอกเนื้อหินด้วยทั้งสองวิธีการ ทั้งหล่อด้วยมือและหล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง

3.3.1.3 นำลูกหินทั้งสองไปผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำมากรีดหน้าหินให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 4 นิ้ว(ขนาดมาตรฐานใช้ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก) และทำให้หินนั้นมีความคม

3.3.1.4 ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว ด้วยวิธีการปรับสมดุลย์แบบสถิตโดยใช้ Balancing Stand ปรับสมดุลย์ให้ลูกหินหมุนอยู่บน Balancing Stand แล้วหยุดตำแหน่งล่างสุดไม่ซ้ำจุดเดิม ถือว่าลูกหินขัดข้าวนั้นสมดุลย์

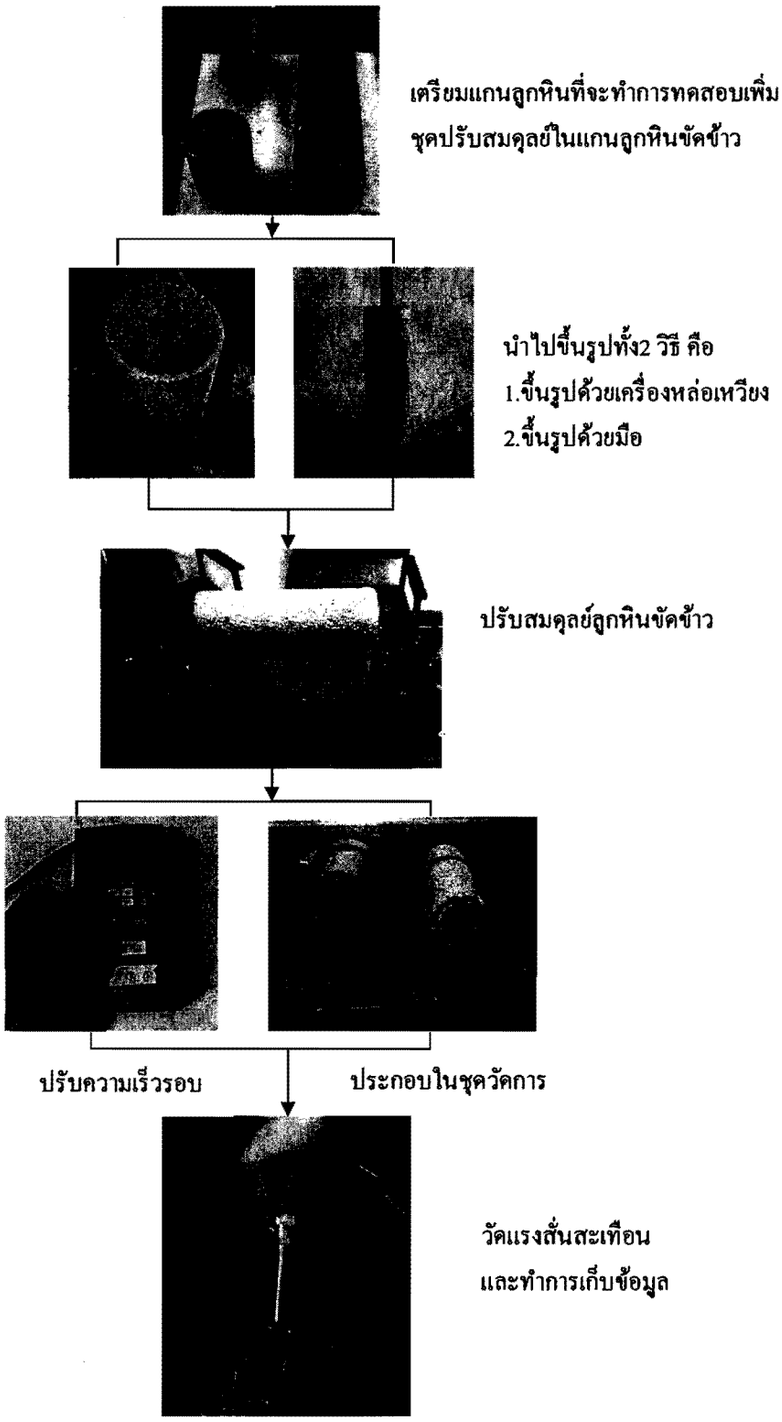
3.3.1.5 นำข้าวนำลูกหินมาประกอบเข้าไปในแท่นช่วยวัดแรงสั่นสะเทือน ปรับความเร็วด้วย Inverter ตามตารางที่ 3.6 ทำเหมือนกันทั้งลูกหินขัดข้าวที่หล่อด้วยมือและลูกหินขัดข้าวเครื่องหล่อเหวี่ยง

3.3.1.6 ทำการบันทึกผล โดยทำการเก็บข้อมูลการสั่นสะเทือนโดยใช้เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนดังภาพที่ 3.8 โดยใช้หัวเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนสัมผัสกับชุดรองรับแกนหินขัดข้าว

3.3.1.7 ทำตามวิธีการทดลองข้างต้นจากข้อ 3.3.1.4 ถึง 3.3.1.6 จนครบทั้งหมด 30 Runs ตามที่ได้ออกแบบไว้

ตารางที่ 3.6 ลำดับการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยโปรแกรม Minitab Release 14 ในการทดสอบ 2 ปัจจัย

StdOrder	RunOrder	Process Type	Velocity (rpm)
24	1	By Machine	1460
22	2	By Machine	1380
26	3	By Hand	1340
21	4	By Machine	1340
30	5	By Hand	1500
25	6	By Machine	1500
27	7	By Hand	1380
28	8	By Hand	1420
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
16	25	By Hand	1340
19	26	By Hand	1460
13	27	By Machine	1420
12	28	By Machine	1380
20	29	By Hand	1500
18	30	By Hand	1420



ภาพที่ 3.22 ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวต่อการสั่นสะเทือน

3.4 การศึกษาอิทธิพลของการสั่นสะเทือนต่อปริมาณการแตกหักและอุณหภูมิ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ทำการทดลองโดยนำลูกหินทั้ง 2 ชนิด ที่ปรับสมดุลย์ด้วยวิธี Static Balancing มาทำการสีข้าวเพื่อเปรียบเทียบร้อยละการแตกหัก อุณหภูมิ และการสั่นสะเทือน ในสภาวะปกติของเครื่องสีข้าวที่ระดับความเร็ว 1,420 รอบ/นาที และระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน 1.5 มิลลิเมตร และทำการเก็บข้อมูลร้อยละการแตกหักของข้าวสาร อุณหภูมิในการวัดอุณหภูมินั้นใช้เทอร์โมมิเตอร์ และการสั่นสะเทือนนั้นเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนแบบพกพา และนำผลการทดลองมาประมวลผล โปรแกรม Minitab Release 14 ใช้ฟังก์ชั่น Correlation เพื่อหาว่ามีความสัมพันธ์ และมาทำการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยใช้ฟังก์ชั่น Regression

3.4.1 วิธีการทดลอง มีแนวทางปฏิบัติดังนี้

3.4.1.1 เพิ่มชุดอุปกรณ์ในการปรับสมดุลย์ที่จะเพิ่มเข้าไปในแกนเหล็กลูกหินขัดข้าวที่จะทำการทดสอบ

3.4.1.2 นำแกนเหล็กลูกหินขัดข้าวที่เพิ่มอุปกรณ์เรียบร้อย และนำไปพอกเนื้อหินด้วยทั้งสองวิธีคือหล่อด้วยมือและหล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง

3.4.1.3 นำลูกหินทั้งสองไปผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำมากรีดหน้าหินให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 4 นิ้ว(ขนาดมาตรฐานใช้ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก) และทำให้หินนั้นมีความคม

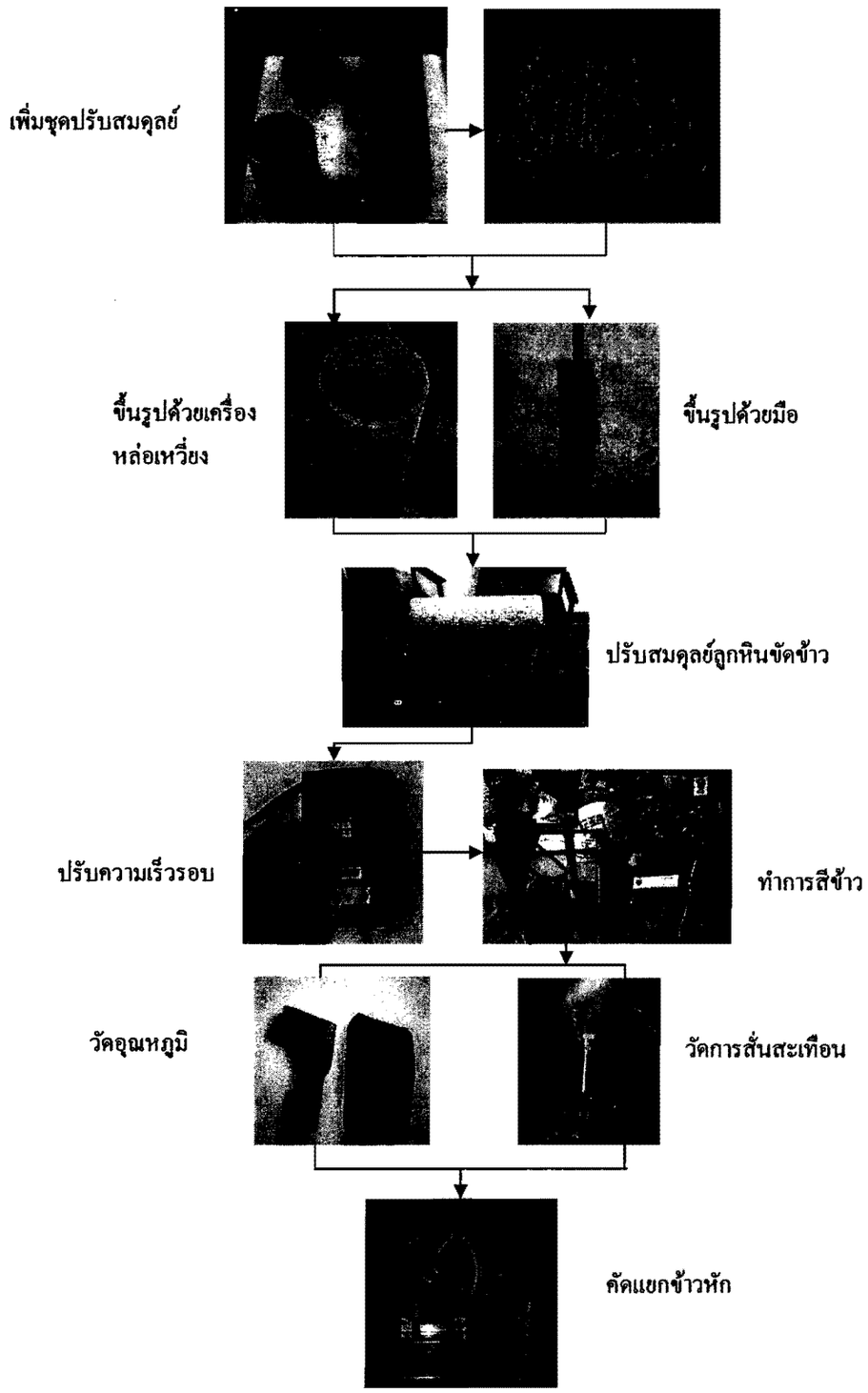
3.4.1.4 ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว ด้วยวิธีการปรับสมดุลย์แบบสถิตโดยใช้ Balancing Stand ปรับสมดุลย์ให้ลูกหินหมุนอยู่บน Balancing Stand แล้วหยุดเอง หากตำแหน่งล่างสุดไม่ซ้ำจุดเดิม ถือว่าลูกหินขัดข้าวนั้นสมดุลย์ แล้วประกอบในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

3.4.1.5 ปรับระยะห่างระหว่างลูกยางกับลูกหินที่ 1.5 mm และ ความเร็วรอบ 1,420 rpm และทำการเปิดเครื่องสีข้าวให้ทำงานทำการสีข้าวเปลือกปริมาณ 25 กิโลกรัม

3.4.1.6 เก็บข้อมูลตัวอย่างข้าว การสั่นสะเทือนโดยทำการวัดแรงสั่นสะเทือนจากแกนเพลาของลูกหินขัดข้าว และทำการวัดอุณหภูมิจากห้องขัดข้าวในช่วงสีข้าว โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวที่ผ่านการสีในปริมาณ 200 กรัมทุกๆ 20 วินาที หาร้อยละการการแตกหักของลูกหินขัดข้าว จากสูตรที่ (3.3) คำนวณค่าจากสูตรและจดบันทึกไว้

3.4.1.7 ทำการทดลองกับลูกหินที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงที่ปรับสมดุลย์เช่นเดียวกัน ตามขั้นตอนที่ 3.4.1.1 ถึง 3.4.1.7

3.4.1.8 นำผลการทดลองไปประมวลผล ในโปรแกรม Minitab Release 14 ในฟังก์ชั่น Correlation เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ และนำไปทำการวิเคราะห์เชิงในฟังก์ชั่น Regression



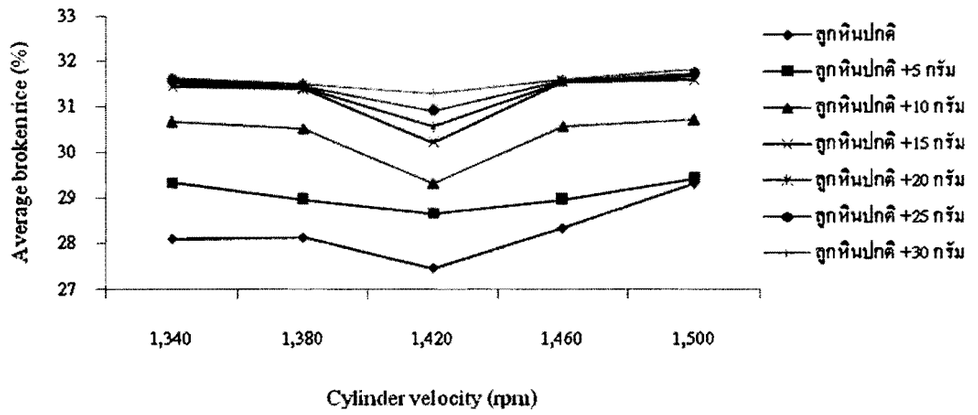
ภาพที่ 3.23 ขั้นตอนการทดสอบการสีข้าวโดยลูกหินขัดข้าวที่ปรับสมดุลย์

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงผลการทดลองต่างๆ ซึ่งเริ่มตั้งแต่ อิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสาร หลังจากนั้นก็จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว สุดท้ายจะกล่าวถึง การเปรียบเทียบการสมดุลย์ลูกหินจากวิธีการขึ้นรูปลูกหินต่างชนิด ซึ่งผลการทดลองที่กล่าวมา มีดังนี้

4.1 การศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

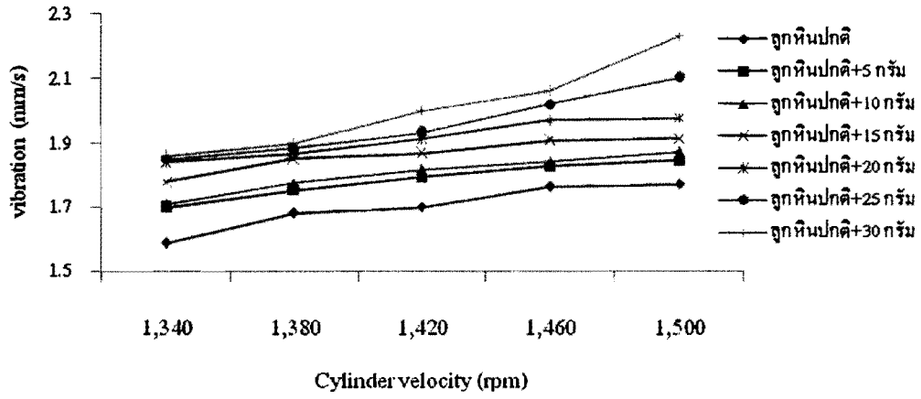
การศึกษาการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสำคัญของการไม่สมดุลย์ในลูกหินขัดข้าว ซึ่งการทดลองได้ทำการสีข้าว โดยนำลูกหินขัดข้าวมาทำการเพิ่มน้ำหนัก เพื่อสร้างความไม่สมดุลย์ในลูกหินขัดข้าว โดยเริ่มจากลูกหินปกติที่ไม่เพิ่มน้ำหนัก แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักลูกหินครั้งละ 5 กรัม จนถึง 30 กรัม และระดับความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวนั้นได้เริ่มตั้งแต่ 1,340 รอบ/นาที เพิ่มขึ้นครั้งละ 40 รอบ/นาที จนถึง 1,500 รอบ/นาที ซึ่งมีผลการทดลอง แสดงในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1 และมีค่าเฉลี่ยของการแตกหักดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยการแตกหักจากการเพิ่มน้ำหนักของลูกหิน

จากรูปภาพที่ 4.1 ได้แสดงถึงร้อยละการแตกหักของข้าว กรณีเพิ่มน้ำหนักเพื่อให้เกิดความไม่สมดุลย์ และทำการสีข้าว ตามเงื่อนไขที่กำหนด ผลปรากฏว่า ลูกหินปกติให้ค่าเฉลี่ยการแตกหักต่ำที่สุดในการทดลองร้อยละ 28.27 สาเหตุมากการการสีข้าวที่มีแรงสั่นสะเทือนที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับลูกหินขัดข้าวที่มีการเพิ่มน้ำหนัก จึงทำให้ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับยางขัดข้าวมีการเคลื่อนที่น้อยจึงทำให้การแตกหักนั้นมีปริมาณน้อยตามไปด้วย ส่วนลูกหินที่มีการเพิ่มน้ำหนัก 30 กรัมนั้นได้ทำให้การแตกหักมากที่สุดร้อยละ 31.57 หากเปรียบเทียบกับลูกหินปกตินั้นการแตกหักของข้าวสารนั้นมีการเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 11.67 การแตกหักของข้าวนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับคือจาก 5-10 กรัม การแตกหักมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นที่คงที่ ส่วนน้ำหนัก 15-30 กรัมนั้นมีการแตกหักมีการเพิ่มขึ้นในระดับที่น้อยลงสาเหตุเนื่องมาจากความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวนั้นมีหลายประเภทด้วยกัน เมื่อถึงความไม่สมดุลย์ระดับหนึ่งรูปแบบการสั่นสะเทือนจะเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบอื่นจากการหมุนที่มีลักษณะคล้ายลูกเบี้ยว ก็เปลี่ยนเป็นการหมุนที่มีการหมุนแบบบิดส่าย และปัจจัยหนึ่งที่ได้พิจารณาคือ ปัจจัยความเร็วรอบ ในส่วนของความเร็วรอบนั้นความเร็วรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักมากที่สุดคือ 1,500 รอบ/นาที ค่าเฉลี่ยการแตกหักที่ร้อยละ 30.90 และความเร็วรอบที่ให้อัตราการแตกหักน้อยที่สุดคือ 1,420 รอบ/นาที ให้ค่าค่าเฉลี่ยการแตกหักอยู่ที่ร้อยละ 29.78 หากเปรียบเทียบการแตกหักของข้าวในความเร็วรอบที่ 1,420 รอบ/นาที ลูกหินขัดข้าวปกติกับลูกหินขัดข้าวที่เพิ่มน้ำหนัก 30 กรัม มีความแตกต่างของข้าวหักที่ร้อยละ 13.98 สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความเร็วรอบของหินขัดข้าวที่เหมาะสมให้การสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็กคือ งานวิจัยเรื่อง “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก” ได้ทำการศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ที่ทำให้เกิดการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวต่ำที่สุดและมีการแตกหักของข้าวสารน้อยที่สุด พบว่าความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กนั้นควรอยู่ที่ความเร็วรอบ 1,420 รอบ/นาที จึงจะทำให้การสึกหรอและการแตกหักของข้าวต่ำที่สุด (ธิติกานต์ บุญแข็ง, 2549)

การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในกระบวนการสีข้าวจากการเพิ่มน้ำหนักนั้นได้แสดงในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1 และได้แสดงค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนในรูปภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนจากการเพิ่มน้ำหนักของลูกหิน

จากรูปภาพที่ 4.2 ได้แสดงค่าเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าว ในการเพิ่มน้ำหนักจากลูกหินปกติ ถึง 30 กรัม พบว่าค่าการสั่นสะเทือนจากลูกหินขัดข้าว ที่มีการเพิ่มน้ำหนัก 30 กรัม นั้นได้ทำให้การสั่นสะเทือนมากที่สุดที่ 2.23 มิลลิเมตร/วินาที และลูกหินขัดข้าวปกตินั้น มีการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดที่ 1.70 มิลลิเมตร/วินาที หากเปรียบเทียบกันในทุกระดับของน้ำหนักนั้น พบว่าลูกหินที่เพิ่มน้ำหนักมีการสั่นสะเทือนมากกว่าร้อยละ 4.89, 6.02, 9.61, 12.52, 15.10, 18.23 ตามลำดับ และความเร็วรอบที่ทำให้การสั่นสะเทือนมากที่สุดคือ 1,500 รอบ/นาที การสั่นสะเทือนอยู่ที่ 1.96 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วรอบในการสีข้าวที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ต่ำที่สุดคือความเร็วรอบ 1,340 รอบ/นาที ค่าการสั่นสะเทือนที่ 1.76 มิลลิเมตร/วินาที

4.2 ผลการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวและแท่นช่วยในการวัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว

จากการทดลองการเพิ่มน้ำหนักในลูกหินขัดข้าวแล้วนั้น ได้ทำให้ทราบถึงความสำคัญของการไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวทางผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ในการปรับสมดุลย์ โดยออกแบบตามหลักการการปรับสมดุลย์ ชิ้นส่วนที่หมุน และเช่นเดียวกันหลังการปรับสมดุลย์แล้วจำเป็นต้องมีการวัดการสั่นสะเทือน โดยทำการออกแบบและสร้างแท่นช่วยในการวัดแรงสั่นสะเทือนเพื่อให้ทราบถึงการสั่นสะเทือนจากการทำงานของลูกหินขัดข้าวลูกหินขัดข้าว

4.2.1 ผลการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว

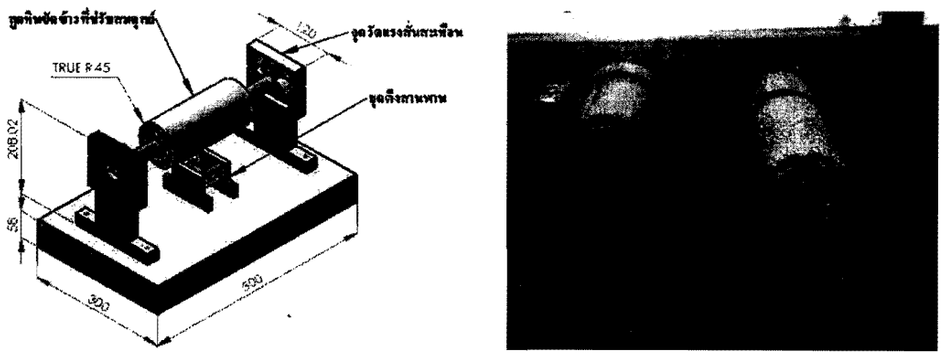
การสร้างชุดปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว ได้ทำการออกแบบสร้าง จำนวน 2 ชุดเพื่อประกอบเข้าไปใน ด้านซ้ายและขวาของลูกหินขัดข้าว ในแต่ละชุดนั้นจะประกอบด้วย ชิ้นส่วนที่

เคลื่อนที่ได้จำนวน 4 ชิ้น การเคลื่อนที่เพื่อกระจายน้ำหนักส่วนเกินในลูกหิน การปรับสมดุลย์ด้วยการกระจายน้ำหนักส่วนเกินไปยังตำแหน่งน้ำหนักน้อยกว่า โดยใช้แรงโน้มถ่วงการปรับสมดุลย์แบบนี้ เรียกว่าการปรับสมดุลย์แบบสถิต ปรับสมดุลย์ร่วมกับ Balancing Stand ซึ่งขั้นตอนในการปรับสมดุลย์นั้นแสดงในหัวข้อ 4.4

ภาพที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลลูกหินขัดข้าว

4.2.2 ผลการออกแบบและสร้างแท่นช่วยในการวัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว

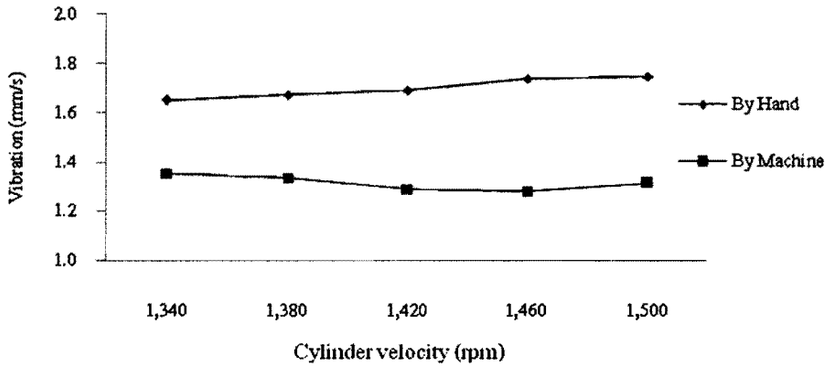
ชุดอุปกรณ์วัดแรงสั่นสะเทือน ได้ทำการสร้างแท่นช่วยวัดแรงสั่นสะเทือนนั้น ส่วนของฐานทำจากเหล็กหล่อ เพื่อยึดขาตั้งสำหรับรองรับแกนเพลาของลูกหินขัดข้าว สำหรับวัดการสั่นสะเทือน ซึ่งความยาวของลูกหินขัดข้าวยาว 12 นิ้ว ชุดขาตั้งสำหรับวัดการสั่นสะเทือนนั้น ใช้ตลับลูกปืน เนื่องจากตลับลูกปืนจะหมุนตามแกนเพลาและรับแรงสั่นสะเทือนตามแนวแกนเข้ามาด้วย จึงสามารถวัดค่าการสั่นสะเทือนนั้นได้



ภาพที่ 4.4 ชุดอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน

4.3 การศึกษาอิทธิพลการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวต่อการสั่นสะเทือน

ในการทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยของชนิดการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว เป็นปัจจัยหลัก และความเร็วรอบในการหมุนของลูกหินขัดข้าว ปัจจัยรอง โดยทำการทดลองปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวทั้ง 2 แบบ คือจากวิธีการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยมือและลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง ส่วนปัจจัยความเร็วรอบนั้น ได้จำลองการทำงานของเครื่องสีข้าวโดยมีความเร็วตั้งแต่ 1,340 รอบ/นาที ถึง 1,500 รอบ/นาที และนำผลการทดลองมาในรูปแบบของค่าการสั่นสะเทือน ผลการทดลองมีค่าดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.5 การสั่นสะเทือนของลูกหินที่ได้จากการปรับสมดุลย์

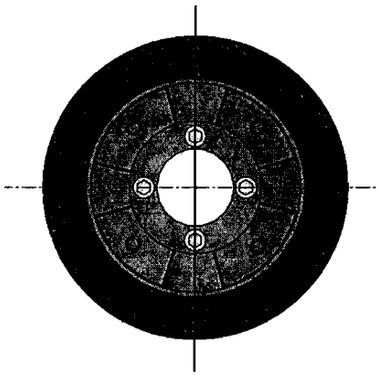
จากการเก็บข้อมูลในการทดลอง ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยด้วยมือและขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงนั้น ได้ให้ค่าการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน ดังรูปภาพที่ 4.2 ซึ่งการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยมือให้ค่าเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนที่สูงกว่า การปรับสมดุลย์ ลูกหินที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง ลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยมือที่ปรับสมดุลย์นั้นให้ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนอยู่ที่ 1.7 มิลลิเมตร/วินาที เป็นค่าเฉลี่ยทุกความเร็วรอบของการหมุน และการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงนั้นมีค่าการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1.31 มิลลิเมตร/วินาที เปรียบเทียบกันแล้วพบว่าลูกหินหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์นั้นมีค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนต่ำกว่าที่ร้อยละ 24.81 ในทุกความเร็วรอบ หากเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมในการสีข้าวนั้นการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยมือนั้น มีค่าการสั่นสะเทือนที่ 1.69 มิลลิเมตร/วินาที และลูกหินที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงมีค่าการสั่นสะเทือน 1.28 มิลลิเมตร/วินาที ซึ่งแนวโน้มของการสั่นสะเทือนสำหรับลูกหินที่ขึ้นรูปด้วยมือพบว่า การสั่นสะเทือนจะสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ส่วนลูกหินที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงจะมีการสั่นสะเทือนต่ำ

4.4 การศึกษาอิทธิพลของการสั่นสะเทือนต่อปริมาณการแตกหักและอุณหภูมิ

การศึกษาเปรียบเทียบอัตราการแตกหักจากการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าว ที่หล่อด้วยมือและลูกหินขัดข้าวที่หล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง โดยทั้งลูกหินทั้งสองนั้นทำการปรับสมดุลย์ ด้วยวิธี Static Balancing เพื่อนำมาสีข้าวเพื่อเปรียบเทียบกับลูกหินขัดข้าวปกติที่ไม่ทำการปรับสมดุลย์ ในสภาวะปกติของเครื่องสีข้าว ที่ระดับความเร็วรอบ 1,420 รอบ/นาที และระยะห่างระหว่างยางขัดข้าวกับลูกหินขัดข้าวที่ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร และในการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวนั้นมีขั้นตอนการปรับสมดุลย์ดังนี้

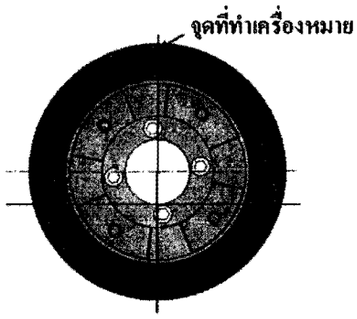
4.4.1 นำลูกหินขั้นข้าวที่เพิ่มชุดอุปกรณ์การปรับสมดุลเรียบร้อยแล้วนั้น มาวางบนแท่นปรับสมดุลย์ (Balancing stand) เพื่อให้ทราบถึงจุดลูกหินขัดข้าวมีน้ำหนักเกิน ดังภาพที่ 4.6 และพิจารณาชุดเคลื่อนที่เพื่อกระจายน้ำหนักในบริเวณด้านข้างของลูกหินขัดข้าวเพื่อแบ่งเส้นกึ่งกลางและเส้นขอบล่างเพื่อช่วยในการปรับสมดุลย์ให้ง่ายขึ้นแสดงในภาพที่ 4.7

ภาพที่ 4.6 ลูกหินขัดข้าวบนแท่นปรับสมดุลย์ (Balancing stand)



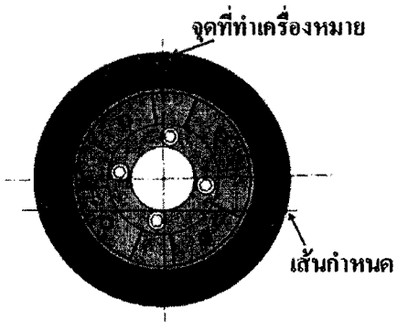
ภาพที่ 4.7 การแบ่งจุดกึ่งกลางในบริเวณด้านข้างของลูกหินขัดข้าว

4.4.2 จากนั้นใช้มือหมุนลูกหินขัดข้าวเพื่อให้เกิดการหมุน ในการหมุนบนแท่นปรับสมดุลย์นั้น การหมุนจะมีความเสียดทานที่ต่ำจึงทำให้จุดที่มีน้ำหนักส่วนเกินจะหยุดในส่วนที่ต่ำที่สุด แล้วจึงทำเครื่องหมายที่จุดที่สูงสุดเพื่อความสะดวกในการปรับสมดุลย์ ในการปรับสมดุลย์นั้นทำได้โดยการเคลื่อนที่ชุดน้ำหนักในบริเวณด้านข้างของลูกหิน และใช้เส้นกึ่งกลางและเส้นขอบด้านล่างของแกนเพลาเป็นเส้นแนวในการปรับสมดุลย์ แสดงในภาพที่ 4.8 และทำการปรับสมดุลย์ทั้ง 2 ด้านของลูกหินขัดข้าว เพื่อกระจายน้ำหนักส่วนเกินไปยังตำแหน่งอื่น ในลูกหิน



ภาพที่ 4.8 การทำเครื่องหมายและการแบ่งเส้นเพื่อช่วยในการปรับสมดุลย์

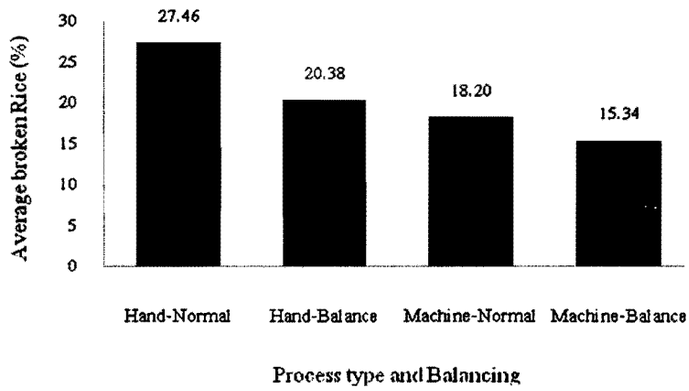
4.4.3 การปรับตำแหน่งของชุดเคลื่อนที่นั้นใช้เส้นขอบด้านล่างของแกนเพลา โดยให้ทั้งสองชิ้นอยู่เหนือเส้นเท่ากันและในส่วนบนนั้นใช้เส้นกึ่งกลางเป็นตัวแบ่งและปรับให้ระยะเท่ากันด้วยเช่นกัน แสดงในภาพที่ 4.9 การปรับตำแหน่งของชุดเคลื่อนที่เพื่อปรับสมดุลย์



ภาพที่ 4.9 การปรับตำแน่งชุดเคลื่อนที่เพื่อปรับสมดุลย์

4.4.4 เมื่อทำการปรับสมดุลย์เรียบร้อยทั้งสองด้านแล้ว จึงนำมาวางบนแท่นปรับสมดุลย์อีกครั้งเพื่อทดสอบความสมดุลย์ของลูกหินขัดข้าว ถ้าลูกหินขัดข้าวมีความสมดุลย์แล้ว นั้น ตำแหน่งบนสุดของลูกหินเปลี่ยนแปลงไปในทุกการหมุนทดสอบ หากยังมีตำแหน่งที่หยุดตำแหน่งเดิมแล้วนั้นจะทำการปรับสมดุลย์ซ้ำตามขั้นตอน 4.4.1ถึง 4.4.4 อีกครั้ง

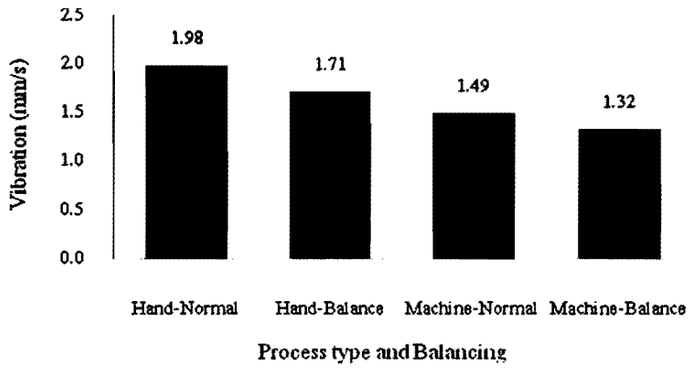
เมื่อทำการปรับสมดุลย์เรียบร้อยแล้วจึงทำการประกอบแล้วทดลองสีข้าวเพื่อเก็บข้อมูลอัตราการแตกหักและการสั่นสะเทือน ซึ่งผลของการทดลองแสดงในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.2 และค่าเฉลี่ยการทดลองได้แสดงดังรูปภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยร้อยละการแตกหักของข้าวสาร

จากการทดลองสีข้าวเพื่อเปรียบเทียบอัตราการแตกหักของข้าว จากการสีข้าวด้วย ลูกหินขัดข้าว ที่ขึ้นรูปด้วยมือ กับลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง ที่ทำการปรับสมดุลย์ ในส่วนแรกนั้น ได้ทำการสีข้าวโดยใช้ลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยมือโดยไม่ปรับสมดุลย์และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวสารในทุก 20 วินาที ในจำนวน 200 กรัมและผลการทดลองนี้ได้แสดงในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.3 และค่าเฉลี่ยของการสีข้าวด้วยลูกหินปกติ มีการแตกหักร้อยละ 27.46 ± 0.03 ซึ่งเป็นจำนวนอัตราการแตกหักที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับลูกหินชนิดอื่น แต่เมื่อนำลูกหินขัดข้าวปกติปรับสมดุลย์มาทดลองสีข้าว พบว่า อัตราการแตกหักเท่ากับร้อยละ 20.38 ± 0.02 เมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 2 แบบ แล้วพบว่าอัตราการแตกหักของข้าวที่ได้นั้นมีการลดลงถึงร้อยละ 25.78 ส่วนการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงที่ไม่ปรับสมดุลย์นั้น ค่าเฉลี่ยการแตกหักของข้าวสารเท่ากับร้อยละ 18.20 ± 0.04 และเมื่อนำลูกหินขัดข้าวหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์แล้วนั้นอัตราการแตกหักของข้าวเท่ากับร้อยละ 15.34 ± 0.08 เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วนั้น อัตราการแตกหักของ

ข้าวสารลดลงร้อยละ 15.74 ลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อปรับสมดุลย์นั้น สีข้าวแล้วการแตกหักต่ำที่สุดในการทดลองนี้ และการลดลงของการสั่นสะเทือนนั้นได้สั่นผลโดยตรงกับการแตกหัก เพราะจากการคงที่ของระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับยางขัดข้าว ทำให้การแตกหักนั้นลดลง ในการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าวนั้นการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในกระบวนการสีข้าวที่ลดลงนั้น ความสามารถในการสีข้าวนั้นอาจจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความคงที่ของระยะห่าง การกะเทาะและขัดสีนั้นสามารถทำได้ง่ายขึ้น จึงอาจทำให้เกษตรกรนั้นสีข้าวได้มากขึ้นก็เป็นได้ แต่การทดลองในครั้งนี้เรายังพิจารณา ข้อมูลในส่วนของการสั่นสะเทือนในการสีข้าวจากลูกหินชนิดต่างๆ ซึ่งมีผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนจากการทดลองสีข้าว

จากรูปภาพที่ 4.5 เป็นข้อมูลของค่าเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าวปกติ และลูกหินที่ปรับสมดุลย์ พบว่าค่าการสั่นสะเทือนจากลูกหินที่ขึ้นรูปด้วยมือไม่ปรับสมดุลย์นั้นมีค่าการสั่นสะเทือนมากที่สุดที่ 1.98 ± 0.03 มิลลิเมตร/วินาที และลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์มีค่าการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดที่ 1.32 ± 0.06 มิลลิเมตร/วินาที การทดลองในครั้งพบว่าการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มเดียวกันกับอัตราการแตกหักของข้าวสาร อันเนื่องมากจากหากพิจารณาค่าการสั่นสะเทือนที่ต่ำลงแล้วนั้น อัตราการแตกหักก็จะมีแนวโน้มที่จะลดลงด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม หากต้องการเปรียบเทียบเพื่อหาความเกี่ยวข้องกันระหว่างปัจจัยทั้งสองนั้นต้องนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างผลของการสั่นสะเทือน

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิของห้องขัดขาวจากการปรับสมดุลย์ของลูกหินที่ขึ้นรูปต่างกัน

ชนิดขึ้นรูป	อุณหภูมิ (∘c)	การสั่นสะเทือน (mm/s)
หล่อมือ-ปกติ	41.98	1.98
หล่อมือ-ปรับสมดุลย์	41.88	1.49
หล่อเหวี่ยง-ปกติ	41.83	1.71
หล่อเหวี่ยง-ปรับสมดุลย์	42.07	1.32

จากตารางที่ 4.1 เป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากการห้องขัดขาวในระยะที่มีการขัดขาวโดยเปรียบเทียบจากการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าวปรับสมดุลย์ และไม่ปรับสมดุลย์ พบว่าอุณหภูมิจากลูกหินหล่อเหวี่ยงมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่ 42.07 องศาเซลเซียส และลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยมือไม่ปรับสมดุลย์มีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด 41.83 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของการทดลองทั้งหมดคือ 41.94 องศาเซลเซียส หากเปรียบเทียบอุณหภูมิของทั้งหมดหมดพบว่า อุณหภูมิของการขัดสีข้าวจากห้องขัดนั้นมี ค่าที่แตกต่างกันน้อยมาก และสามารถกล่าวว่าอุณหภูมิของการขัดสีข้าวในเครื่องสีข้าวจากลูกหินต่างชนิดกันมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน หากต้องการทราบถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยในด้านอุณหภูมิด้วย จึงได้ข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เพิ่มเติม ดังรายละเอียดในบทที่ 5 จะได้อธิบายถึงผลของการวิเคราะห์ข้อมูล

บทที่ 5
วิเคราะห์ผลและอภิปรายผล

ในบทที่ 5 ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองและอภิปรายผล ซึ่งเริ่มตั้งแต่ อิทธิพลของความไม่สมดุลย์ ของลูกหินขัดข้าว ที่ส่งผลต่อการแตกหัก ของข้าวสาร หลังจากนั้นจะกล่าวถึง การเปรียบเทียบการสมดุลย์ลูกหินจากวิธีการขึ้นรูปต่างชนิดกันและสุดท้ายจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของชุดปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว ซึ่งรายละเอียดที่กล่าวมา มีดังนี้

5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

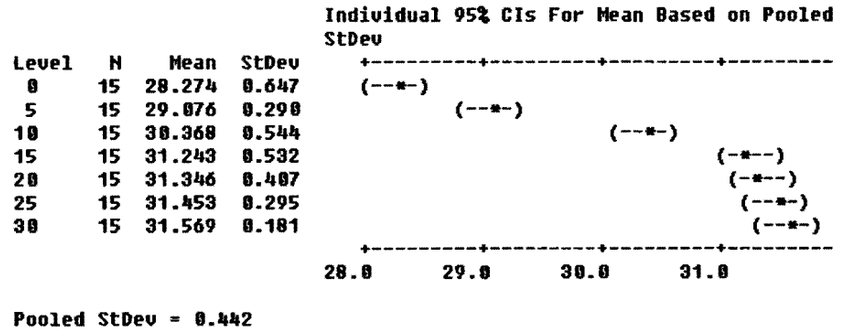
5.1.1 การวิเคราะห์ความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

การศึกษาการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสำคัญของการไม่สมดุลย์ในลูกหินขัดข้าว ซึ่งการทดลองได้ทำการสีข้าว ได้นำลูกหินขัดข้าวมาทำการเพิ่มน้ำหนักเพื่อให้เกิดความไม่สมดุลย์ โดยเริ่มจากลูกหินปกติที่ไม่เพิ่มน้ำหนัก แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักลูกหิน โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 กรัม จนไปถึง 20 กรัม และระดับความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว เริ่มตั้งแต่ 1,340 รอบ/นาที เพิ่มขึ้นครั้งละ 40 รอบ/นาที จนถึง 1,500 รอบต่อนาที และได้ทำการเก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab Release 14 ฟังก์ชั่น One Way ANOVA ซึ่งการวิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ผลการประมวลอัตราการแตกหักในการเพิ่มน้ำหนักลูกหินขัดข้าว

Source	DF	SS	MS	F	P
Weight	6	154.694	25.782	131.99	0.000
Error	98	19.142	0.195		
Total	104	173.836			

S = 0.4420 R-Sq = 88.99% R-Sq(adj) = 88.31%



ภาพที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยของการทดลองการเพิ่มน้ำหนักลูกหินขัดข้าว

จากการประมวลผลข้อมูลตามตารางที่ 5.1 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้ One Way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จะเห็นจะได้ว่าลูกหินที่มีการเพื่อน้ำหนักให้ผลการแตกหักของข้าว แตกต่างจากลูกหินขัดข้าวปกติ เนื่องมาจากการพิจารณาค่า P-Value น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญหรือซึ่งเท่ากับ 0.05 และจากค่าการประมวลผล จะเห็นได้ว่าการทดลองสีข้าวโดยเปรียบเทียบลูกหินธรรมดาและลูกหินที่เพิ่มน้ำหนัก ได้ส่งผลต่อปริมาณการแตกหักของข้าว โดยมีการทดลองอย่างน้อย 1 การทดลองที่แตกต่างเนื่องจากจากค่า P-Value เท่ากับ 0.000 และค่าสัมประสิทธิ์ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูลเท่ากับร้อยละ 88.99 และค่าการทำนายเปรียบเทียบเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูลเท่ากับร้อยละ 88.31 ซึ่งทั้งสองดังกล่าวมีค่าประมาณเกินร้อยละ 80 ขึ้นไป แสดงว่าการทดลองนั้นมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำข้อมูลไปใช้ได้ (Minitab release 14, 2004) จากรูปภาพที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยของการแตกหักของข้าวสาร พบว่าลูกหินที่ได้เพิ่มน้ำหนักเข้าไปนั้น จะให้ค่าเฉลี่ยอัตราการแตกหักสูงกว่าลูกหินที่ไม่มีการเพิ่มน้ำหนักเข้าไป ซึ่งค่าเฉลี่ยของการแตกหักของข้าวสารที่ต่ำที่สุดคือการสีข้าวด้วยลูกหินปกติ มีค่าเฉลี่ยอัตราการแตกหักที่ 28.27 และลูกหินที่เพิ่มน้ำหนักนั้น ค่าเฉลี่ยอัตราการแตกหัก ก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณน้ำหนัก ที่เพิ่มเข้าไปได้แก่ 29.07, 30.36, 31.24, 31.34,31.45 และ 31.56 ตามลำดับ

5.1.2 การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวและแท่นช่วยในการวัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว

จากการวิเคราะห์การเพิ่มน้ำหนักในลูกหินขัดข้าวในหัวข้อ 5.1.1 แล้วนั้น ทำให้ทราบถึงความสำคัญของความไม่สมดุลย์จากมวลส่วนเกินที่สามารถทำให้การแตกหักของข้าวมีการเพื่อปริมาณที่เพิ่มขึ้นจำนวนมาก ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ในการปรับสมดุลย์เพื่อทำให้การสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าวลดลงโดยออกแบบตามหลักการการปรับสมดุลย์ชิ้นส่วนที่หมุนซึ่งการปรับสมดุลย์แบบสถิตย์ต้องมีการวัดค่าการสั่นสะเทือนเพื่อให้ทราบถึง

ความสามารถในการปรับลดการสั่นสะเทือน จากแท่นช่วยในการวัดแรงสั่นสะเทือน ในแท่นวัดการสั่นสะเทือนนั้น ในการวัดการสั่นสะเทือนนั้น จะเป็นค่าการสั่นสะเทือนจากความไม่สมดุลย์เฉพาะลูกหินขัดข้าว โดยไม่มีการสั่นสะเทือนจากชิ้นส่วนอื่นมาเกี่ยวข้องในการทำงาน แต่อย่างไรก็ตาม การปรับสมดุลย์แบบสถิตย์นั้นยังคงมีข้อจำกัด กล่าวคือ ความเที่ยงตรงระดับพอใช้ เนื่องจากความไม่สมดุลย์นั้นเป็นมวลเพียงจุดหนึ่งในเนื้อของหินขัดข้าว ซึ่งการกระจายน้ำหนักส่วนเกินนั้นจึงสามารถทำได้เพียงบางส่วนเท่านั้น แต่ในส่วนข้อดีของการปรับสมดุลย์แบบสถิตนั้นคือ ขั้นตอนการปรับสมดุลย์นั้นสามารถทำได้อย่างสะดวกและไม่ซับซ้อน มีการใช้อุปกรณ์น้อยและสิ่งที่สำคัญเกี่ยวกับงานเทคโนโลยีชนบทคือ มีราคาต้นทุนในการปรับสมดุลย์นั้นต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการปรับสมดุลย์ที่ใช้เครื่องปรับสมดุลย์

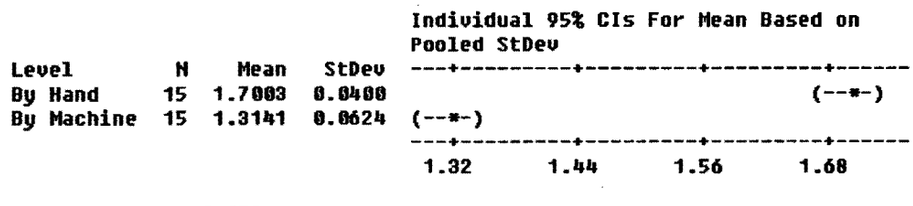
5.1.3 การศึกษาเปรียบเทียบการปรับสมดุลย์ลูกหินที่ขึ้นรูปต่างชนิดที่ส่งผลต่อความแตกต่างของการสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวต่างชนิดกันนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนจากลูกหินขัดข้าว โดยทำการทดลองปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวทั้ง 2 แบบ คือจากวิธีการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยมือและลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง ความเร็วรอบนั้นใช้ ความเร็วตั้งแต่ 1,340 รอบต่อนาที ถึง 1,500 รอบต่อนาที และนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม Minitab Release 14 ในฟังก์ชั่น One–ANOVA และนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรที่ไม่ใช้พารามิเตอร์โดยฟังก์ชั่น Mann-Whitney เพื่อทดสอบความแตกต่างของประชากร ระหว่างการขึ้นรูปด้วยมือกับการขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

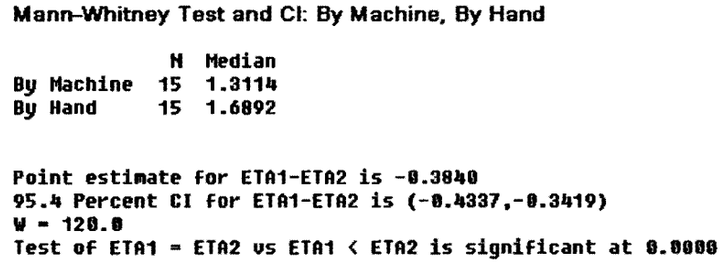
ตารางที่ 5.2 ผลการประมวลการสั่นสะเทือนจากการปรับสมดุลย์

Source	DF	SS	MS	F	P
Process Type	1	1.11875	1.11875	407.40	0.000
Error	28	0.07689	0.00275		
Total	29	1.19564			

S = 0.05 R-Sq = 93.57% R-Sq(adj) = 93.34%



ภาพที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนในการขึ้นรูปทั้ง 2 วิธี จากการปรับสมดุลย์



ภาพที่ 5.3 ค่าเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนในการขึ้นรูปทั้ง 2 วิธี จากการปรับสมดุลย์

จากการประมวลผลการทดลองโดยใช้ One Way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ข้อมูลตามตารางที่ 5.2 พบว่า ลูกหินขัดข้าวเมื่อนำมาปรับสมดุลย์แล้ว ความสามารถปรับลดการสั่นสะเทือนมีความแตกต่างกันตามชนิดของการขึ้นรูป เนื่องมาจากการพิจารณาค่า P-Value จากการวิเคราะห์ผล ซึ่งมีน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และจากค่าการประมวลผลพบว่าค่า สัมประสิทธิ์ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูลเท่ากับร้อยละ 93.57 และค่าการทำนายเปรียบเทียบเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูลเท่ากับร้อยละ 93.34 จากการวิเคราะห์การขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวนั้น ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 หมายความว่าวิธีการทั้งสองวิธีนั้นมีความแตกต่าง จากภาพที่ 5.2 พบว่าค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนของการปรับสมดุลย์ลูกหินที่ขึ้นรูปด้วยมือจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์ที่ร้อยละ 22.94 ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากร โดยไม่ใช้พารามิเตอร์ โดยฟังก์ชั่น Mann-Whiney นั้น ผลปรากฏว่า ลูกหินขัดข้าวขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงที่ปรับสมดุลย์นั้น ให้ค่าการสั่นสะเทือนน้อยกว่า ลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยมือปรับสมดุลย์พิจารณาจากรูปภาพที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างคือ ETA1<ETA2 หมายความว่า ลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงที่ปรับสมดุลย์นั้น มีค่าการสั่นสะเทือนที่ต่ำกว่า ลูกหินขัดข้าวขึ้นรูปด้วยมือที่ปรับสมดุลย์ โดยแสดงในรูปภาพที่ 4.3 ซึ่งลูกหินขัดข้าวหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์มีค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนต่ำกว่าลูกหินขัดข้าวที่หล่อมือปรับสมดุลย์

อยู่ที่ร้อยละ 24.81 ดังนั้นสามารถกล่าวถึงความสามารถปรับสมดุลย์ให้ค่าการสั่นสะเทือนที่ต่ำกว่าอย่างชัดเจน

5.1.4 การศึกษาอิทธิพลของการสั่นสะเทือนต่อปริมาณการแตกหักและอุณหภูมิ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวกับการสั่นสะเทือนและความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิของห้องขัดนั้น เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ทั้งสองปัจจัย ซึ่งทั้งคู่เป็นปัจจัยที่อิสระ จึงได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ โดยโปรแกรม Minitab Release 14 ใช้ฟังก์ชั่น Correlation เพื่อหาว่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในลักษณะใดและมาทำการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยใช้ฟังก์ชั่น Regression ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

```
Correlations: อัตราการแตกหัก, การสั่นสะเทือน

Pearson correlation of อ˜'ราการแตกห˜n and การส˜'นสะเท˜อน = 0.935
P-Value = 0.000
```

ภาพที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการแตกหักและการสั่นสะเทือน

```
The regression equation is
Broken = - 7.30 + 17.4 Vibration
```

ภาพที่ 5.5 สมการเชิงเส้นของการแตกหักและการสั่นสะเทือน

ตารางที่ 5.3 ผลการประมวลความสัมพันธ์เชิงเส้นการสั่นสะเทือนและการแตกหัก

Predictor	Coef SE	Coef	T	P
Constant	-7.2959	0.8117	-8.99	0.000
Vibration	17.3773	0.4721	36.81	0.000

S = 1.42734 R-Sq = 93.3% R-Sq (adj) = 93.2%

จากภาพที่ 5.4 พบว่า ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์นั้น มีค่าเท่ากับ 0.935 ซึ่งค่าดังกล่าวหากมีค่าเป็นบวก นั้นหมายความว่า ความสัมพันธ์กันทั้งสองปัจจัยมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเป็นบวก กล่าวคือ หากมีการเพิ่มขึ้นของการสั่นสะเทือน การแตกหักของข้าวก็มีทิศทางที่

เพิ่มขึ้นเช่นกัน และค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 เป็นการยอมในสมมุติฐานรอง ซึ่งกำหนดให้ระหว่างการสั่นสะเทือนและการแตกหักนั้นมีความแตกต่างกัน จากตารางที่ 5.3 ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นของการสั่นสะเทือนและการแตกหักนั้นพบว่า ค่า P-Value และสัมประสิทธิ์ของการสั่นสะเทือน มีค่าน้อยกว่า 0.05 ทำให้ยอมรับความสัมพันธ์ของทั้งคู่ เมื่อพิจารณา สัมประสิทธิ์ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูลและค่า สัมประสิทธิ์ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูลซึ่งก็ผ่านเกณฑ์ทั้งคู่ จึงสามารถกล่าวได้ว่าตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ในการทดลองครั้งนี้มีความสัมพันธ์ต่อกัน แน่นอน และจากสมการทำนายของทั้งสองตัวแปร หากพิจารณาสมการทำนายทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากค่า สัมประสิทธิ์ที่คูณกับการสั่นสะเทือนมีค่าไม่เป็นศูนย์และสามารถนำไปคำนวณหาอัตราการแตกหักจากความสั่นสะเทือนของลูกหินได้ ซึ่งพบว่าหากการสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้การแตกหักของข้าวตามไปด้วย

```
Correlations: Vibration, Temperature

Pearson correlation of Vibration and Temperature = -0.041
P-Value = 0.688
```

ภาพที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ

```
Regression Analysis: Temperature versus Vibration

The regression equation is
Temperature = 42.2 - 0.164 Vibration
```

ภาพที่ 5.7 สมการเชิงเส้นของอุณหภูมิและการสั่นสะเทือน

ตารางที่ 5.4 ผลการประมวลความสัมพันธ์เชิงเส้นการสั่นสะเทือนและการแตกหัก

Predictor	Coef SE	Coef	T	P
Constant	42.2092	0.6697	63.03	0.000
Vibration	-0.1637	0.4070	-0.40	0.688

S = 1.04838 R-Sq = 0.2% R-Sq(adj) = 0.0%

จากการผลประมวลข้อมูลตามรูปภาพที่ 5.6 และ 5.6 เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ฟังก์ชั่น Correlation พบว่าค่าความสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยมีความสัมพันธ์ในเชิงลบ แต่อย่างไรก็ตามค่าความสัมพันธ์ของทั้งคู่ต้องพิจารณาค่า P-Value ด้วยและผลที่ได้คือ P-Value มีค่าเท่ากับ 0.688 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่เท่ากับ 0.05 สามารถสรุปได้ว่าทั้งตัวแปร 2 ไม่มีความสัมพันธ์กัน จากนั้นได้นำข้อมูลทั้ง 2 มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นด้วยฟังก์ชั่น Regression และพบว่าสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น

$$\text{อุณหภูมิ} = 42.2 - 0.164 \times \text{การสั่นสะเทือน} \qquad (5.1)$$

แต่อย่างไรก็ตามการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน เนื่องจาก การพิจารณาจากค่า P-Value ที่มากกว่าระดับนัยสำคัญและค่าแตกต่างจากลูกหินขัดข้าวปกติ เนื่องมาจากการพิจารณาค่า ค่าสัมประสิทธิ์ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูลซึ่งเท่ากับ ร้อยละ 0.2 และค่าการทำนายเปรียบเทียบเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูลซึ่งเท่ากับร้อยละ 0.0 ซึ่งทั้งสองดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 80 แสดงได้ว่าการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดไม่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับอุณหภูมิของห้องขัดข้าวจากกระบวนการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

5.1.5 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการปรับสมดุลย์หินขัดข้าว

การวิเคราะห์ความคุ้มทุนในการปรับสมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวนั้นได้ใช้แนวคิดกำไรส่วนเกิน ซึ่งเป็นวิธีที่คำนวณปริมาณของข้าวที่สีในการคุ้มทุน และวิธีการนี้เกษตรกรสามารถคำนวณได้เนื่องจากเป็นการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน โดยคำนวณจากสมการ ที่ 2.7 ดังต่อไปนี้

5.1.5.1 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าวปกติ

1) กำลังการผลิตด้วย เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้
   (1) ขนาดกำลังการผลิต 25 กิโลกรัม/ชั่วโมง
   (2) ชั่วโมงการทำงานของโรงสี 8 ชั่วโมง/วัน
   (3) จำนวนวันทำการสีข้าว 20 วัน/เดือน
2) ราคาจำหน่ายข้าวสารในท้องตลาด (สมาคมโรงสีข้าวไทย, 2554)
   (1) ราคาข้าวสารหอมมะลิ 100% 30,000 บาท/ตัน
   (2) ราคาข้าวหัก 22,000 บาท/ตัน
   (3) ราคาปลายข้าว 17,000 บาท/ตัน
   (4) ราคารำข้าว 8,700 บาท/ตัน

(5) ราคาแกลบ 1,000 บาท/ตัน

3) ต้นทุนการผลิตของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก แยกออกเป็น

(1) ต้นทุนทางตรง (Direct Cost) ประกอบด้วย

(1.1) ข้าวเปลือก 15,000 บาท/ตัน

(1.2) ค่าใช้จ่ายในการซื้อข้าวเปลือก 40 บาท/ตัน

(1.3) ค่าแรงงานกรรมกรขนข้าว 50 บาท/ตัน

(1.4) ค่าไฟฟ้า 150 บาท/ตัน

(2) ต้นทุนทางอ้อม (Indirect Cost) ประกอบด้วย

(2.1) เงินเดือนผู้ปฏิบัติการ 6,000 บาท/เดือน

(2.2) ค่าใช้จ่ายอื่นๆ 1,000 บาท/เดือน

4) รายได้ ต้นทุนของกระบวนการผลิตข้าว

ตารางที่ 5.5 รายได้และปริมาณร้อยละของมูลค่าการขายผลิตภัณฑ์ที่สีด้วยลูกหินปกติ

ผลิตภัณฑ์	มูลค่า(บาท)	ร้อยละ
ข้าวสาร	36,543.42	60.52
ข้าวหัก	10,564	17.50
ปลายข้าว	10,189.8	16.87
รำ	2,317.68	3.83
แกลบ	765.90	1.26
รายได้รวม	60,380.80	100.00

ตารางที่ 5.6 ต้นทุนทางตรงของการผลิต (Direct Cost) จากการสีข้าวด้วยลูกหินปกติ

ผลิตภัณฑ์	มูลค่า(บาท)	ร้อยละ
ค่าข้าวเปลือก	50,490	
ค่าใช้จ่ายในการซื้อ	132	
ค่าแรงงานกรรมกร	50	
ค่าไฟฟ้า	165	
ต้นทุนทางตรงจากการผลิต 1 เดือน	50,837.00	84.19
กำไรขั้นต้น	9543.80	15.80
รายได้รวม	60,380.80	100.00

ตารางที่ 5.7 ต้นทุนทางอ้อมหรือค่าใช้จ่ายคงที่ (Indirect Cost)

ค่าใช้จ่ายคงที่	มูลค่า(บาท)
เงินเดือนพนักงาน	6,000
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	1,000
รวมต้นทุนทางอ้อมจากการผลิต 1 เดือน	7,000

จากตารางที่ 5.5, 5.6 และ 5.7 รายละเอียดการคำนวณและรายละเอียดข้อมูลการผลิตของการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าวปกติแสดงในภาคผนวก ก.4 ซึ่งนำมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการสีข้าวจากลูกหินปกติ ซึ่งสามารถแทนค่าตามสูตรจากสูตรที่ 5.1, 5.2 และ5.3 ในการการคำนวณซึ่งมีผลดังนี้

จุดคุ้มทุนของลูกหินปกติ 44,303.79 บาท ซึ่งแสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ก โดยมีมูลค่าข้าวเปลือกที่ใช้สีมีค่าเท่ากับ 18.13 บาท/กิโลกรัม และในการสีข้าวให้ถึงจุดคุ้มทุนนั้นต้องสีข้าวเปลือกจำนวน 2.44 ตัน เพื่อจะเพียงพอกับค่าใช้จ่ายต่างๆการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก มีจุดคุ้มทุนในการสีข้าวต่อเดือนที่ระดับการผลิต 2.44 ตัน/เดือน จึงจะทำให้รายได้ที่ได้รับจากการสีข้าว มีมูลค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนรวมการผลิตพอดีกัน ในส่วนการหาจุดคุ้มทุนของการสีข้าวด้วยลูกหินที่ปรับสมดุลย์นั้นมีปริมาณเท่าไร คำนวณได้ดังนี้

5.1.5.2 การคำนวณจุดคุ้มทุนจากการสีข้าวด้วยลูกหินปรับสมดุล

ตารางที่ 5.8 รายได้และปริมาณร้อยละของมูลค่าการขายผลิตภัณฑ์จากการสีข้าวด้วยลูกหินปรับสมดุลย์

ผลิตภัณฑ์	มูลค่า(บาท)	ร้อยละ
ข้าวสาร	43,136.82	69.41
ข้าวหัก	5,728.93	9.21
ปลายข้าว	10,189.8	16.39
รำ	2,317.68	3.72
แกลบ	765.90	1.23
รายได้รวม	62,139.13	100

ตารางที่5.9 ต้นทุนทางตรงของการผลิต (Direct Cost) จากการสีข้าวด้วยลูกหินปรับสมดุลย์

ผลิตภัณฑ์	มูลค่า(บาท)	ร้อยละ
ค่าข้าวเปลือก	50,490	
ค่าใช้จ่ายในการซื้อ	132	
ค่าแรงงานกรรมกร	50	
ค่าไฟฟ้า	165	
ต้นทุนทางตรงจากการผลิต 1 เดือน	50,837	81.81
กำไรขั้นต้น	11302.13	18.18

จากตารางที่ 5.8 และ 5.9 รายละเอียดในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก.4 ซึ่งเป็นข้อมูลของการสีข้าวโดยใช้ลูกหินขัดข้าวปรับสมดุลย์ นั้นสามารถนำมาคำนวณหาจุดคุ้มทุนตามจากสูตรที่ 5.1, 5.2 และ5.3 ในการสีข้าวซึ่งมีค่าดังดังนี้ จุดคุ้มทุนของลูกหินขัดข้าวที่ปรับสมดุลย์ 38,503.85 บาท ซึ่งแสดงการคำนวณทั้งหมดไว้ในภาคผนวกที่ ก ตาราง ก.4.2 ซึ่งมีมูลค่าข้าวเปลือกที่ใช้สีมีค่าเท่ากับ 18.66 บาท/กิโลกรัม และในการสีข้าวให้ถึงจุดคุ้มทุนนั้นต้องสีข้าวเปลือกจำนวน 2.12 ตัน เพื่อจะถึงจุดคุ้มทุนการสีข้าวด้วยลูกหินที่ปรับสมดุลย์ จากข้อมูลของการสีข้าวในการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก เต็มกำลังการผลิตอยู่ที่ 3.33 ตัน/เดือน มีต้นทุนคงที่ 7,000 บาท/เดือน และมีต้นทุนผันแปรที่ 50,837 บาท/เดือน เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นอย่างชัดเจน จึงได้ทำการเปรียบเทียบในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบจุดคุ้มทุนของการสีข้าวด้วยลูกหินทั้งสองชนิด

รายการ	ลูกหินปกติ	ลูกหินปรับสมดุลย์
จุดคุ้มทุน (บาท)	44,303.79	38,503.85
มูลค่าข้าวเปลือกที่ใช้สี (บาท/ตัน)	18,132.37	18,660.39
ปริมาณข้าวเปลือก ณ จุดคุ้มทุน (ตัน)	2.44	2.12

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบจำนวนเงินของการคุ้มทุนของการสีข้าวนั้นจะพบว่าการสีข้าวด้วยลูกหินที่ปรับสมดุลย์นั้นจะมีจุดคุ้มทุนที่ต่ำกว่า แสดงว่าการสีด้วยลูกหินปรับสมดุลย์ กำไรขั้นต้นที่มากกว่า จากข้อมูลภาคผนวก ก พบว่ากำไรขั้นต้นของการสีข้าวด้วยลูกหินปรับสมดุลย์อยู่ที่ร้อยละ 18.18 และการสีข้าวแบบเดิมนั้นจะมีกำไรขั้นต้นอยู่ที่

ร้อยละ 15.80 การเปรียบเทียบในส่วนของมูลค่านั้น พบได้ว่ามูลค่าของการสีข้าวด้วยลูกหินแบบปรับสมดุลย์นั้นมีค่าที่ต่ำกว่า อันเนื่องมาจาก รายได้ส่วนที่มาจากผลผลิตที่สูงกว่าจึงทำให้มูลค่าของข้าวที่ใช้นั้นสูงตามขึ้นด้วย และปริมาณการสีข้าวต่อเดือนนั้น ลูกหินที่ปรับสมดุลย์นั้นมีปริมาณที่ต่ำกว่าการสีข้าวด้วยลูกหินแบบเดิมอยู่ที่ 0.32 ตัน/เดือน แสดงว่าการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าวหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์นั้น สามารถถึงจุดคุ้มทุนก่อนการสีข้าวด้วยลูกหินปกติ และมีกำไรเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 9,600 บาท/เดือน

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 การศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวกับการแตกหักของข้าวสาร โดยการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก พบการเพิ่มน้ำหนักในลูกหินขัดข้าวนั้นได้ทำให้การสีข้าว มีการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของน้ำหนักที่เพิ่มเข้าไป อันเนื่องมาจากความไม่สมดุลย์ของลูกหิน เกิดการเหวี่ยงตัวเองออกจากศูนย์กลางของการหมุน ซึ่งการเหวี่ยงในลักษณะนั้น ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน โดยขนาดของการสั่นสะเทือนจะขึ้นอยู่กับมวลที่ไม่สมดุลย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการสร้างเครื่องจักรเพื่อการปรับสมดุลย์ชิ้นส่วนหมุน ได้กล่าวเกี่ยวกับการเกิดการสั่นสะเทือน โดยเกิดจากมวลที่ไม่สมดุลย์รอบแกนเพลา เป็นเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือน เพราะแรงหนีศูนย์เพื่อเหวี่ยงมวลที่ไม่สมดุลย์ออกจากแกนหมุน โดยทิศทางเดียวกับทิศทางของการเกิดไม่สมดุลย์(วินัย ซุนมุกดา, 2533) การสั่นสะเทือนขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำหนักส่วนเกินและความเร็วในการหมุน และถ้าหากการสีข้าวมีการสั่นสะเทือน ลูกหินขัดข้าวที่ทำหน้าที่ขัดสีและกะเทาะเปลือก ลูกหินจะมีหมุนที่มีเคลื่อนที่เข้าออกกับยางขัดข้าวตลอดเวลาจากเดิมที่หมุน คงที่ตามเส้นแนวเพียงอย่างเดียว และได้ทำให้ระยะห่างระหว่างลูกหินกับยางขัดข้าวนั้นมีระยะแคบและห่างเกินไปไม่เหมาะสมกับการสีข้าว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวแกนนอนขนาดเล็ก ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากระยะห่างและความเร็วรอบต่อการแตกหักของข้าวสาร จากการทำงานของเครื่องสีข้าวแกนนอน การกะเทาะเปลือกและขัดขาวข้าว รวมอยู่ในขั้นตอนเดียว ความสำคัญของระยะห่างแท่งยางขัดข้าวและลูกหินขัดข้าวจึงมีความสำคัญมาก ซึ่งระยะห่างเหมาะสมคือ 1.5 มิลลิเมตร(ธิติกานต์ บุญแข็ง, 2549) สาเหตุนี้เองจึงทำให้การสีข้าวมีปริมาณการแตกหักของข้าวสารมีปริมาณที่สูงกว่าปกติ อันเนื่องมาจากการสีข้าวด้วยลูกหินแกนนอนที่ใช้หินกากเพชรเป็นส่วนประกอบนั้นนั้นต้องอาศัยการระยะห่างระหว่างหินกับยางขัดข้าวเพื่อให้มีช่องให้เมล็ดข้าวได้ถูกขัดสีจากหินกากเพชรเพื่อให้ทั้งเปลือกและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออก

แต่ถ้าระยะห่างนั้นมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาก็ทำให้การขัดสีนั้นทำได้ยากลำบากขึ้น จากข้อมูลที่ผ่านมาก็พบว่าการสั่นสะเทือนในการสีข้าวนั้นมีความสำคัญต่อการแตกหักของข้าว แต่อย่างไรก็ตามการแตกหักของข้าวนั้นก็มีหลายสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกหัก ซึ่งคุณภาพของข้าวนั้นก็มีส่วนสำคัญมากในการแตกหัก ความยาว ความกว้างของเมล็ดข้าวล้วนมีผลต่อการแตกหัก(Francisco L. Tua, 1983) จะพบได้ว่า การสั่นสะเทือนในการสีข้าวนั้นมีส่วนกับการแตกหักของข้าวสาร สาเหตุของการแตกหักนั้นก็สามารถอธิบายการเกิดขึ้นอย่างคร่าวๆได้ดังนี้ การแตกหักของข้าวสารนั้นสามารถเริ่มแตกหักได้ตั้งแต่การเก็บเกี่ยวเพราะถ้าหากทำการเก็บเกี่ยวข้าวก่อนหรือหลังระยะ พลับพลึง ซึ่งระยะนี้ เมื่อนำมาสีแล้วการแตกหักน้อย เนื่องมาจากช่วงระยะพลับพลึงข้าวสารในเมล็ดนั้นมีความอ่อนตัวสามารถทนแรงเสียดสีจากการขัดสีได้ดี หากเกษตรกรเกี่ยวก่อนหรือหลังระยะนี้ก็ส่งผลให้ข้าวมีการแตกหักได้ แล้วเมื่อเก็บเกี่ยวหากเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกไม่เหมาะสมนั้นก็สามารถทำให้ข้าวแตกหักได้ เนื่องจากหากเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ความชื้นที่ต่างกันในที่เดียวกัน นั้นจะทำให้ความที่มีความชื้นต่ำได้รับความชื้นจากข้าวที่มีความชื้นสูง ทำให้มีร้อยร้าวในเมล็ดและเมื่อนำมาสีข้าวก็ทำให้เกิดการแตกหัก ในกระบวนการสีข้าวนั้นเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการแตกหักของเมล็ดข้าว เนื่องจากข้าวนั้นจะขัดสี เพื่อให้ข้าวนั้นมีความขาวน่ารับประทาน หากปัจจัยในการสีข้าวนั้นไม่เหมาะสมก็จะทำให้ข้าวนั้นเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่ากระบวนการอื่น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการขัดสีอย่างมากคือปัจจัยความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว หากความเร็วรอบสูง การขัดสีนั้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงได้ทำให้เกิดความร้อนสะสมในเมล็ดข้าว สุดท้ายเมื่อเมล็ดข้าวนั้นสะสมความร้อนไว้มาก ก็จะทำให้ข้าวมีการแตกหักที่สูง และอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการแตกหักด้วยเช่นกันคือปัจจัยของระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับยางขัดข้าว เพราะปัจจัยนี้เป็นส่วนในการกะเทาะเปลือกเมล็ดข้าว หากระยะห่างก็จะกะเทาะข้าวได้น้อยข้าวเปลือกต้องอยู่ในห้องขัดนานขึ้นเมล็ดข้าวเปลือกก็จะทำการสะสมความร้อนจากห้องขัดและเกิดการแตกหักในที่สุด และการสีข้าวที่ลูกหินขัดข้าวมีการสั่นสะเทือนก็จะทำให้การแตกหักเพิ่มขึ้นเนื่องจากเพราะหากการเคลื่อนของหินขัดข้าวกับยางขัดข้าว เนื่องการมวลที่ไม่สมดุลย์นั้นจะพยายามเหวี่ยงตัวออกจากศูนย์กลางของแกนหมุน จึงจะทำให้ระยะห่างระหว่างทั้ง 2 มีระยะที่ไม่คงที่ หากระยะห่างที่น้อยจะเกิดการบีบเมล็ดข้าวในขณะขัดขาว จะทำให้เกิดรอยร้าวแตกหักได้ง่าย ดังนั้นการสั่นสะเทือนจึงเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดการแตกหักของข้าวในกระบวนการสีข้าวที่ใช้ลูกหินขัดข้าวและยางขัดข้าว

5.2.2 การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวและชุดอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว

จากการทดลองเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าว ในการสร้างอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ลดการสั่นสะเทือนนั้นต้องควบคุมความสมดุลย์ของลูกหิน

ขัดข้าว และเมื่อปรับสมดุลย์แล้วก็มีการวัดผลโดยการวัดการสั่นสะเทือนที่มีค่าลดลง การวัดการสั่นสะเทือนจากการทำงานของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก จะมีการสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักที่เพิ่มเข้ามาในลูกหิน ซึ่งมาจากสาเหตุที่เครื่องสีข้าวก็มีชิ้นส่วนอื่นที่มีการสั่นสะเทือนด้วย และการปรับสมดุลย์แบบสถิตย์ หรือการใช้แรงโน้มถ่วงในการปรับสมดุลย์นั้น มีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น ในด้านความแม่นยำหรือเที่ยงตรงหากเปรียบเทียบกับการปรับสมดุลย์แบบพลศาสตร์ แต่อย่างไรก็ตาม การปรับสมดุลย์แบบสถิตย์ยังมีข้อดีมากกว่าข้อเสีย โดยมีความเหมาะสมกับงานเกี่ยวของกับเกษตรกรรมอย่างยิ่งเนื่องจาก ใช้งานได้หลากหลาย สะดวก ไม่ซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูง และในการปรับสมดุลย์งานที่มีการใช้งานแล้วงานที่ปรับสมดุลย์มีการสึกหรอ เมื่อใช้งานหินขัดข้าวไประยะเวลาหนึ่งแล้วนั้น ควรมีการปรับสมดุลย์ซ้ำลูกหินนั้นซ้ำอีกครั้ง เนื่องจากมีเนื้อหินขัดจะมีการหลุดออกจากการสึกหรอเพื่อทำการขัดสีเมล็ดข้าวนั้นเอง และการสึกหรอนั้นจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งการสั่นสะเทือนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ โดยมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนได้กล่าวถึงที่มาของการสั่นสะเทือน สาเหตุการสั่นสะเทือนนั้นอาจจะเกิดมาจาก การออกแบบที่ทำให้เกิดการไม่สมมาตรรอบแกนหมุน หรือความหนาแน่นของเนื้อวัสดุไม่เท่ากัน เช่นการสึกหรอจากการใช้งาน ชิ้นส่วนงานนั้น (วินัย เวชวิทยาขลัง, 2552) ก็สามารถเกิดความไม่สมดุลย์อีกครั้งจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนอีกก็เป็นได้ ดังนั้น จึงควรมีการปรับสมดุลย์ซ้ำหลังจากการใช้งานไปสักระยะหนึ่ง

5.2.3 การศึกษาอิทธิพลการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวต่อการสั่นสะเทือน

จากการศึกษาอิทธิพลการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวต่อการสั่นสะเทือน มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการลดขนาดของสั่นสะเทือน จากลูกหินขัดข้าว ให้ลดลงเพื่อเปรียบเทียบ ผลของการแตกหักของข้าว จากการสีข้าว เพื่อเปรียบเทียบ วิธีการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว ระหว่างการขึ้นรูปด้วยมือกับลูกหินขัดข้าวขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง ว่าจะมีอิทธิพลต่อการสั่นสะเทือนหรือไม่อย่างไร โดยปรับสมดุลย์จากแรงโน้มถ่วงหรือปรับสมดุลย์แบบสถิตย์ พบว่าการหล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงเมื่อนำมาปรับสมดุลย์แล้ว ขนาดของการสั่นสะเทือนต่ำที่สุด เนื่องจากเนื้อของหินขัดข้าวมีความละเอียดจากการ ขึ้นรูปด้วยการเหวี่ยงเนื้อวัสดุให้ได้ขนาดตามแบบ จุดบกพร่องจึงน้อยกว่าการขึ้นรูปด้วยมือ เมื่อนำมาปรับสมดุลย์แล้วขนาดของการสั่นสะเทือนจึงต่ำกว่าลูกหินที่ขึ้นรูปด้วยมือ ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปด้วยมือนั้น การขึ้นรูปลูกหินจะทำการผสมส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นทำการพอกเข้าไปในแกนเหล็ก โดยเริ่มจากส่วนล่างแกนเหล็กแล้วจึงพอกให้ทั่วทั้งแกนเหล็ก ซึ่งการขึ้นรูปด้วยมือนั้นจะเกิดจุดบกพร่องในเนื้อหินหินขัดข้าวมากลูกหินที่หล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง(สุขอังคณา ลี, 2547) จึงทำให้เกิดกว่าสันสะเทือนมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวนั้น ก็สามารถลดการสั่นสะเทือนได้ในระดับหนึ่ง ขึ้นอยู่กับเนื้อวัสดุของลูกหินเอง และวิธีการปรับสมดุลย์ด้วย การ

ปรับสมดุลย์ด้วยแรงโน้มถ่วงนั้น ความเที่ยงตรงหรือความแม่นยำในการปรับสมดุลย์นั้นมีประสิทธิภาพที่จำกัด อันเนื่องมาจากการไม่สมดุลย์ของวัตถุนั้นเกิด จากมวลที่มีน้ำหนักเกิน เมื่อแบ่งครึ่งสมมาตรแล้วมีข้างที่หนักกว่า ซึ่งมวลนั้นจะเป็นเพียงจุด จุดเดียวในวัตถุนั้น และการปรับสมดุลย์แบบแรงโน้มถ่วง จะใช้หลักการกระจายมวลที่มีอยู่ในชุดอุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก จึงสามารถปรับน้ำหนักส่วน ให้เกิดความสมดุลย์ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้การปรับสมดุลย์วิธีการนี้เนื่องจากใช้อุปกรณ์ไม่มากและใช้ง่ายเหมาะสมกับเทคโนโลยีชนบท หากเลือกใช้การปรับสมดุลย์วิธีการแบบพลศาสตร์ ข้อดีของวิธีการนี้คือ มีความเที่ยงตรงแม่นยำสูง สามารถปรับสมดุลย์ได้ดี แต่ข้อเสียของการปรับสมดุลย์แบบนี้คือ ราคาเครื่องปรับสมดุลย์แบบนี้ราคาสูงและผู้ใช้งานต้องมีความรู้ความสามารถในการใช้งานเป็นอย่างดี จึงค่อนข้างไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งาน

5.2.4 การศึกษาอิทธิพลของการสั่นสะเทือนต่อปริมาณการแตกหักและอุณหภูมิ

การศึกษาอิทธิพลของการสั่นสะเทือนต่อปริมาณการแตกหักและอุณหภูมิ ผลที่จากการวิเคราะห์พบว่าความสัมพันธ์ของการแตกหักและการสั่นสะเทือนนั้นมีลักษณะเชิงบวก ซึ่งเกิดมาจากการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าวมีการเคลื่อนที่เข้าออกระหว่างยางขัดข้าว จึงทำให้ระยะห่างระหว่างลูกลูกหินขัดข้าวและยางขัดขาวจึงมีความระยะไม่คงที่ ตลอดความยาวของแนวหินขัดข้าว ซึ่งระยะห่างของทั้งสองมีความสำคัญอย่างมากในการขัดสีข้าวสาร หากระยะห่างไม่เหมาะสมก็จะทำให้เกิดการแตกหักของข้าวสารในปริมาณที่สูง ซึ่งเกิดจากระยะห่างของลูกหินกับยางขัดข้าวแคบ จะเกิดการบีบเมล็ดข้าวการขัดสีจะสูงมากจนทำให้เกิดเมล็ดข้าวเกิดร้อยร้าวและเกิดการแตกหักในที่สุด แต่หากมีการลดการสั่นสะเทือนในการสีข้าว การสั่นสะเทือนที่ลดลงจะทำให้ระยะห่างให้มีความคงที่เหมาะสมกับการสีข้าว สามารถสรุปเป็นสมการเชิงเส้น โดยจากการวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยโปรแกรม Minitab release 14 ฟังก์ชั่น Regression ซึ่งได้อัตราการแตกหักนั้นจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของการสั่นสะเทือน ดังสมการ ต่อไปนี้

$$\text{การแตกหัก (ร้อยละ)} = 17.4 \times \text{การสั่นสะเทือน} - 7.30 \text{ (mm/s)} \qquad (5.3)$$

การลดลงของการแตกหักเนื่องมาจากการเคลื่อนที่หรือสั่นไหวของลูกหินเข้าออกจากยางขัดข้าวน้อยลง การสีข้าวจะเกิดการขัดสีเมล็ดข้าวไม่ถูกบีบและขัดสีมากจนเกินไป การแตกหักก็จะน้อยลงตามไปด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนและการแตกหักนั้น จากสมการ 5.3 ซึ่งเป็นสมการเชิงเส้นพบว่า หากปริมาณของการสั่นสะเทือนนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้น การแตกหักของข้าวสารก็จะมีการเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกัน หากเราต้องการที่จะเพิ่มผลิตของการสีข้าว ผลผลิตของการสีข้าวที่ดีนั้นคือข้าวสารที่มีการแตกหักที่ต่ำ ดังนั้นเราก็ควรปรับลดการสั่นสะเทือน

ให้มีปริมาณที่ลดลงก็สามารถลดการแตกหักลดได้อีกหนทางหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามต้องควบคุมปัจจัยอื่นๆพร้อมกันไปด้วย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการลดการแตกหัก

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนกับอุณหภูมิของห้องขัดข้าวนั้นพบว่า ทั้งสองตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กันเนื่องจาก การวิเคราะห์ความสัมพันธ์กันระหว่างการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิโดยพิจารณาจากค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญมากกว่า 0.05 และทั้งการสั่นสะเทือนนั้นไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันโดยทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยโปรแกรม Minitab release 14 ฟังก์ชั่น Regression ซึ่งได้อัตราการแตกหักนั้นจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของการสั่นสะเทือน ดังสมการ ต่อไปนี้

$$\text{อุณหภูมิ(เซลเซียส)} = 42.2 - 0.16 \times \text{การสั่นสะเทือน (mm/s)} \qquad (5.4)$$

จากการวิเคราะห์พบว่าการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิไม่มีความสัมพันธ์กันเนื่องจาก การเกิดความร้อนหรืออุณหภูมินั้น เกิดจากการเสียดสีกันของเมล็ดข้าวจึงได้ทำให้อุณหภูมิของห้องขัดเพิ่มขึ้น ซึ่งการสั่นสะเทือนนั้นส่งผลกระทบต่อระยะห่างลูกหินขัดข้าวกับยางขัดข้าวเท่านั้น จึงไม่ผลกระทบต่อการเสียดสีของเมล็ดข้าว หรือกล่าวได้ว่าการสั่นสะเทือนนั้นไม่มีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิของความร้อนที่เกิดขึ้นในห้องขัดจากการสีข้าว

5.2.5 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการปรับสมดุลย์หินขัดข้าว

จากการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการสีข้าวด้วยลูกหินที่ปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวการสีข้าวในการสีข้าวของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กพบว่าการสีข้าวด้วยลูกหินที่ปรับสมดุลย์นั้นมีจุดคุ้มทุนที่ต่ำกว่าลูกหินขัดข้าวที่ไม่มีการปรับสมดุลย์โดยให้กำไรขั้นต้นที่มากกว่าอยู่ที่ร้อยละ 13.09 หากเปรียบเทียบในส่วนของมูลค่าของการสีข้าวนั้นจะพบได้ว่า มูลค่าของการสีข้าวด้วยลูกหินแบบปรับสมดุลย์นั้น มีมูลค่าการสีข้าวที่สูงกว่าลูกหินขัดข้าวที่ไม่ปรับสมดุลย์จะอยู่ที่ร้อยละ 2.91 สุดท้ายเมื่อเปรียบเทียบในปริมาณการสีข้าวต่อหนึ่งเดือนนั้นลูกหินที่ปรับสมดุลย์นั้นมีปริมาณการสีข้าวถึงจุดคุ้มทุน ที่ต่ำกว่าด้วยลูกหินแบบเดิมที่ร้อยละ 13.11 จากการสรุปผลของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ของการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าวที่ปรับสมดุลย์นั้นพบว่าการสีข้าวด้วยลูกหินที่ปรับสมดุลย์จะทำให้มีรายได้ที่มีเพิ่มมากขึ้นและหากใช้งานลูกหินขัดข้าวแบบหินที่ปรับสมดุลย์เกษตรกร ก็จะมีรายได้เพิ่มจากผลต่างของราคาข้าวสารในส่วนข้าวหักและข้าวดีเพราะปริมาณข้าวหักจำนวนจะลดลงและปริมาณข้าวดีที่ราคาสูงกว่านั้นเพิ่มขึ้นจึงทำให้รายได้เพิ่มขึ้น

บทที่ 6
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 การศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในการเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

จากการทดลองการเพิ่มน้ำหนักลูกหินเพื่อทำให้เกิดความไม่สมดุลย์นั้น ได้ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของการแตกหักของข้าวที่ได้จากกระบวนการสี อิทธิพลของปัจจัยนั้นสามารถพิจารณาได้จากปริมาณของสั่นสะเทือนหากมีการเพิ่มขึ้น การแตกหักก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในการทดลองในการเพิ่มน้ำหนักนั้น การสั่นสะเทือนนั้นจะสัมพันธ์กับอีกปัจจัยความเร็วรอบหากความเร็วรอบ หากความเร็วรอบเพิ่มขึ้นก็สามารถทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการแตกหักด้วยเช่นกัน เพราะธรรมชาติของการสั่นสะเทือนนั้นขนาดการสั่นสะเทือนจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและขนาดมวลที่ไม่สมดุลย์ และเมื่อมีความไม่สมดุลย์มวลที่เกินนั้นจะพยายามเหวี่ยงตัวเองออกจากแนวแกน คล้ายการทำงานของลูกเบี้ยว ที่มวลไม่สมดุลย์จึงได้ทำให้มีการสั่นไหวตามแนวแกน กล่าวคือ มีการเคลื่อนที่ขยับเข้าออกอย่างรวดเร็ว การขยับเข้าตามแนวแกนต่างนี้เองเป็นสาเหตุ ของการแตกหักของข้าว

6.1.2 การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลย์หินขัดข้าวและแท่นช่วยในการวัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าว

สำหรับในส่วนการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ปรับสมดุลย์หินขัดข้าวและแท่นช่วยในการวัดการสั่นสะเทือนของลูกหินขัดข้าวนั้น เป็นการช่วยในการกระจายน้ำหนักที่ไม่สมดุลย์ในลูกหินขัดข้าว เนื่องจากพื้นที่ลดมวลที่ไม่สมดุลย์นั้นทำได้ลำบาก เพราะเนื้อของลูกหินเป็นวัสดุผสม หากจะทำการลดน้ำหนักส่วนเกิน ทำได้การเจาะเอาเนื้อวัสดุออก แต่การทำอย่างนำจะกระทบต่อผิวหินขัดข้าวซึ่งมีความสำคัญต่อการกะเทาะ และขัดขาวเป็นอย่างยิ่ง จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยลดมวลที่ไม่สมดุลย์และไม่ทำให้ผิวลูกหินขัดข้าวเสียหาย จึงได้สร้างชุดอุปกรณ์ลักษณะสวมเข้าไปในแกนก่อนการหล่อลูกหิน เพื่อตรียมในการปรับสมดุลย์ต่อไป หลังจากขั้นตอนการกรีดหน้าลูกหินเรียบร้อยแล้ว ส่วนการสร้างแท่นช่วยวัดการสั่นสะเทือนเพื่อ ทำหน้าที่วัดการสั่นสะเทือนของลูกหินเพียงอย่างเดียว ไม่มีแรงสั่นสะเทือนจากชิ้นส่วนของเครื่องสีข้าวเข้าปะปน เพื่อใช้ในการทดลอง

การเปรียบเทียบการปรับลดการสั่นสะเทือนจากปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว ที่ขึ้นรูปด้วยมือและเครื่องหล่อเหวี่ยงต่อไป

6.1.3 การศึกษาเปรียบเทียบการปรับสมดุลย์ลูกหินที่ขึ้นรูปต่างชนิดที่ส่งผลต่อความแตกต่างการสั่นสะเทือน

จากการศึกษาเปรียบเทียบการปรับสมดุลย์ลูกหินที่ขึ้นรูปต่างชนิดที่ส่งผลต่อความแตกต่างการสั่นสะเทือนนั้น ได้ใช้ลูกหินที่มีอยู่ตามท้องตลาด คือ ลูกหินที่หล่อด้วยมือ และลูกหินชนิดใหม่ คือ ลูกหินที่หล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง และได้ทำการเปรียบเทียบการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าว เพื่อหาคุณสมบัติของลูกหินชนิดใดสามารถลดการสั่นสะเทือนได้มากกว่ากัน เพื่อนำไปทดลองการสีข้าวจริง ผลการทดลองที่ได้คือ ลูกหินหล่อเหวี่ยงที่ปรับสมดุลย์มีการสั่นสะเทือนต่ำกว่าลูกหินปกติเมื่อ สาเหตุเนื่องมาจากกระบวนการหล่อเหวี่ยงลูกหินขัดข้าวนั้น คุณภาพของเนื้อหินขัดข้าวจะละเอียดกว่า อันเนื่องมาแรงเหวี่ยงจะทำการเหวี่ยงให้เม็ดหินขัดเรียงตัวอย่างหนาแน่นมากกว่าและจุดรูพรุนในเนื้อหินจึงมีปริมาณที่น้อยกว่าลูกหินขัดข้าวปกติ และเมื่อนำมาปรับสมดุลย์แล้วจึงได้ทำให้การสั่นสะเทือนต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามลูกหินปกติเมื่อนำมาปรับสมดุลย์แล้วก็สามารถลดการสั่นสะเทือนด้วยเช่นกัน ซึ่งเกษตรกรตามชนบทยังนิยมลูกหินแบบเดิม(หล่อด้วยมือ) ก็สามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้งาน กับลูกหินขัดข้าวแกนนอนขนาดต่างๆได้เช่นกัน ซึ่งโรงสีข้าวที่ใช้ลูกหินแกนนอนนั้นมีปริมาณที่มากหากเปรียบเทียบกับจำนวนโรงสีข้าวทั้งหมด

6.1.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนนั้น ได้ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของของทั้ง 2 ปัจจัยว่ามีความสัมพันธ์กันลักษณะแปรผันตรงคือ เมื่อปัจจัยการสั่นสะเทือนเพิ่มปัจจัยการแตกหักจะมีเพิ่มขึ้น และถ้ามีการลดลงของปัจจัยการสั่นสะเทือนปัจจัยการแตกหักก็ลดลงเช่นกัน จากความสัมพันธ์ นี้เราสามารถนำไปปรับใช้ ในการสีข้าวที่มีปริมาณแตกหักของข้าวสารที่สูง เพื่อลดปัญหาดังกล่าว หากปรับลดการสั่นสะเทือนแล้วการแตกหักยังมีค่าที่สูงเช่นเดิมควรทำการตรวจสอบว่าเกิดจากปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกหักของข้าวหรือไม่ เช่น ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก ชนิดการขึ้นรูปลูกหิน และระยะห่างของลูกหินเป็นต้น แล้วนั้น จึงควรคำนึงถึงปัจจัยในด้านการสั่นสะเทือนของเครื่องสีข้าวด้วย เพราะการสั่นสะเทือนไม่เพียงแต่ทำให้เกิดการแตกหักของข้าวสารเท่านั้น ยังทำให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรลดลงด้วยเช่นกัน หากมีการลดการสั่นสะเทือนจะสามารถลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักรได้ด้วย ซึ่งการลดการสั่นสะเทือนนั้นสามารถนั้นไปใช้กับชิ้นส่วนเครื่องจักรทางเกษตร

ได้เช่นกัน โดยชิ้นส่วนนั้น ต้องมีการหมุนรอบแกน และมีรูปร่างที่สมมาตร ก็สามารถปรับสมดุลย์ได้ เมื่อทำการปรับสมดุลย์ชิ้นส่วนนั้นแล้วปัญหาการสั่นสะเทือนที่รบกวนนั้นจะลดลง

6.1.5 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการปรับสมดุลย์หินขัดข้าว

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ได้ทำให้ทราบว่า ในการสีข้าวในแต่ละเดือนนั้น การสีข้าวปริมาณเท่าไรถึงจะคุ้มทุนกับค่าใช้จ่ายเพื่อนำไปกำหนดปริมาณของข้าวในการสีเพื่อให้การสีข้าวในชุมชน สหกรณ์ ต่างๆ ที่มีการสีข้าวทราบถึงความสำคัญของต้นทุน กำไร ขาดทุน เพื่อลดปัญหาการขาดทุนของโรงสีข้าวขนาดเล็กและกลางที่ประสบปัญหาการขาดทุนเป็นอย่างมาก จนทำให้ปิดกิจการไปจำนวนมาก และการลดของเสียในกระบวนการสีข้าว ก็เป็นแนวทางในการเพิ่มกำไร อีกทางหนึ่ง เนื่องจากราคาดี และราคาข้าวที่แตกหักนั้น ต่างกันมาก หากลดการแตกหักก็จะทำให้มีกำไรได้เพิ่มขึ้น ในทดลองการสีข้าวโดยลูกหินขัดข้าวทั้งสองชนิดที่ปรับสมดุลย์นั้น พบว่าลูกหินขัดข้าวที่หล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง จุดคุ้มทุนที่ต่ำกว่า อันเนื่องมาจากการแตกหักจากการสั่นสะเทือน การลดลง จึงทำให้มีกำไรขั้นต้นที่มากกว่า ดังนั้นการลดแตกหักของข้าวสารในปริมาณที่น้อยก็จะทำให้มีกำไรเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เห็นอย่างชัดเจนถ้าหากมีการสีข้าววันวันหนึ่งละหลายตัน เช่นโรงสีข้าวชุมชนขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ และหวังจะสามารถเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยใช้โรงสีข้าว

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 จากงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวต่อการแตกหัก ได้ใช้ลูกหินขนาด 4 นิ้ว เพียงขนาดเดียวหากมี งานวัยที่เกี่ยวข้องควรมีการทดสอบลูกหินขัดข้าวขนาดอื่นๆ เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวและการแตกหักของข้าวสารได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งปัญหาความไม่สมดุลย์นั้นส่วนหนึ่งมาจากการขึ้นรูป ดังนั้นจึงควรศึกษาชนิดการขึ้นรูปหินเพิ่มเติมด้วย

6.2.2 ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้หลักการปรับสมดุลย์แบบสถิต ซึ่งแบบสถิตย์นั้น มีความแม่นยำในระดับหนึ่ง หากมีงานวิจัยที่ทำการปรับสมดุลย์ของลูกหินขัดข้าว ควรนำลูกหินขัดข้าวมาปรับสมดุลย์ทั้งสองคือแบบสถิตย์ศาสตร์และการปรับสมดุลย์แบบพลศาสตร์ ว่าประสิทธิภาพของการปรับสมดุลย์แบบสถิตย์นั้นมีมากน้อยเพียงใด และเพื่อหาระยะเวลาในการปรับสมดุลย์เนื่องจากวิธีแบบสถิตย์นั้นใช้เวลาในการปรับสมดุลย์ที่มากพอสมควร หากมีการศึกษาในการลดเวลาในการปรับสมดุลย์ลูกหินก็จะสามารถช่วยได้อีกทางหนึ่ง และการนำลูกหินไปใช้งานลูกหินจึงเกิดการสึกหรอ การสึกหรอนี้เองจะเป็นส่วนในการเกิดความไม่สมดุลย์ จึงควรหาระยะเวลาในการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวหลังการใช้งานว่าควรมีระยะการทำงานทำใดควรปรับสมดุลย์อีกครั้ง

6.2.3 การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการแตกหักของข้าวนั้น ระยะห่างระหว่างลูกหินกับยางขัดข้าวเนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญเกี่ยวกับการแตกหัก เป็นปัจจัยต้นๆ ดังนั้นหากมีการวิจัยเกี่ยวกับการปรับสมดุลย์ นั้นควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของลูกหินกับยางขัดข้าวกับการสั่นสะเทือนของลูกหิน เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการลดการแตกหักจากกระบวนการสีข้าวอีกทางหนึ่งก็เป็นได้

6.2.4 ในการทดลอง ที่มีการสีข้าว นั้นปริมาณข้าวเปลือกที่นำสีนั้นต้องใช้จำนวนมากในแต่ละการทดลอง และข้าวที่ผ่านมามาตรฐาน มอก.888-2532 ซึ่งมีราคาที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับราคาข้าวทั่วไป จึงมีการออกแบบการทดลองที่สามารถลดปริมาณการใช้ข้าวเปลือกที่ลดลง นั้นคือวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถลดปริมาณการใช้ข้าวเปลือกในการทดลอง

6.2.5 การทดลองปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวนั้น ศึกษาผลของการสีข้าว คือ ปริมาณการแตกหักและการสั่นสะเทือน เท่านั้น หากมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลย์ลูกหินขัดข้าวนั้นควรศึกษาปริมาณข้าวที่ ลูกหินที่ปรับสมดุลย์ที่สีได้ นั้นสามารถทำให้มีปริมาณการสีเพิ่มขึ้นได้หรือไม่เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาลูกหินขัดข้าวต่อไป

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กัญญา เชื้อพันธุ์. "คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ", ใน เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตข้าวหอมมะลิคุณภาพดี. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตรและกรมส่งเสริมสหกรณ์, 2541.

กิติยา กิจควรดี และคณะ. "วิธีการตากข้าวโดชิฮิการิที่มีผลต่อความงอกและคุณภาพการสี การประชุมกลุ่มข้าวและธัญพืชเมืองหนาว", การประชุมวิชาการสถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร วันที่ 27-29 มีนาคม 2539. น. 11. ณ โรงแรมเซาท์เทิร์น บี เอ็ม จังหวัดนครศรีธรรมราช, 2539.

กิติยา กิจควรดี และคณะ. "ระยะเวลาที่ตากข้าวในนาก่อนนวดที่มีผลต่อคุณภาพการสีและความงอก", การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตรประจำปี 2541 วันที่ 17-19 มีนาคม 2541. น. 170-178. ณ ห้องประชุมกรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร, 2539.

กุศล ประกอบการ. การทดสอบเปรียบเทียบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2542.

คำนึง วาทโยธา และคณะ. การลดการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม. รายงานการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2545

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะกุล. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ และการแปรสภาพเมล็ด. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2534.

จักร จักกะพาก. เครื่องกลการเกษตร. กรุงเทพฯ : ดวงกมล, 2528.

ฉัตรชาย ศุภจารีรัตน์. เครื่องเกี่ยวนวด. ภาคเกษตรกลวิธาน คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลชลบุรี, 2535.

ชาญพิทยา ฉิมพาลี. "คุณภาพข้าว คุณภาพชีวิตชาวนา", วารสารส่งเสริมการเกษตร. 22(56) : 4-9, 2535.

ชุติ ม่วงประเสริฐ และคณะ. ศึกษาผลกระทบของเครื่องสีข้าวต่อความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ : สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2539.

ฐิติโชติ มงคล. การเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มและผลการเปรียบเทียบภายหลังระหว่างเทคนิคการวิเคราะห์แบบทางเดียวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ณพวีร์ พุ่มโต. การศึกษาคุณสมบัติการสั่นสะเทือนของส้มเขียวหวาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

ถนอม ตะนา. กิจการโรงสีข้าวในที่ราบภาคกลางของประเทศไทย พ.ศ. 2401-2481. วิทยานิพนธ์ปริญญาอักษรศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาศิลปากร, 2527.

ธิติกานต์ บุญแข็ง. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2549.

บัณฑิต สุริยวงศ์พงศา. อิทธิพลของอัตราการไหลและอุณหภูมิของลมดูดร่ำในห้องขัดขาวที่มีต่อการแตกหักของข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547.

ประสันต์ ชุ่มใจหาญ. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขัดขาวข้าวด้วยเครื่องขัดขาวแบบกรวยหินแกนตั้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2544.

ประสูติ สิทธิสรวง กิติยา กิจควรดี และ ไพฑูรย์ อุไรรงค์. รายงานการวิจัย การศึกษาเบื้องต้นความสูญเสียของข้าวขณะเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว. สถาบันวิจัยข้าว : กรมวิชาการเกษตร, 2526.

ผดุงศักดิ์ วานิชชัง. การจัดการโรงสีข้าว. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลบางพระ, 2535.

พระราชดำรัสของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช. พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวกับการพัฒนาข้าวไทย. พระราชดำรัส พระราชทานแก่ผู้นำกลุ่มชาวนา เมื่อ พฤษภาคม, 2504.

พรทิพย์ อาระรัตน์. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับสารขัดถูบางชนิดเพื่อการขัดสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2533.

พรชัย ตันติวีรสุต. โรงสีข้าวเก่าและระบบใหม่: คู่มือซื้อขายเครื่องจักรกลและอุปกรณ์การเกษตร. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย, 2542.

มานะชัย รอดชื่น. การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เมื่อสัมประสิทธิ์การถดถอยไม่เท่ากัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

มนตรี รุมาคม. เวลาที่ใช้ในการขัดข้าวกับอุณหภูมิของข้าวที่ได้จากการขัด เวลาที่ใช้ในการขัดข้าวกับเปอร์เซ็นต์ของข้าวหัก. วิทยานิพนธ์ปริญญากสิกรรมและสัตวบาลบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2500.

รวีวรรณ รัตนเดช และคณะ. "อิทธิพลของรูปร่างและขนาดช่องปล่อยข้าวเปลือกต่อประสิทธิภาพเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก", เอกสารการประชุมวิชาการ ม.อบ. วิจัย ครั้งที่ 3 (UBRC 3). โรงแรมสุนีย์ แกรนด์แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดอุบลราชธานี, 28-29 กรกฎาคม, 2552.

รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์ และ เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์. การศึกษาค่าการสั่นสะเทือนของรถไถพรวนขนาดเล็ก. คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2548.

วิชัย รวิพันธ์. การออกแบบการทดลองและการควบคุมการผลิตในแผนกบรรจุภัณฑ์ กรณีศึกษาบริษัท ฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์(ประเทศไทย) จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

วินัย ซุนหมุกดา. เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนเพื่อการถ่วงดุลย์แบบ Centrifugal Balancing. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2533.

วินัย เวชวิทยาขลัง. เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่องานบำรุงรักษา. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี, 2552.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. "ธุรกิจโรงสีข้าว : ปัญหาที่ต้องเร่งแก้ไข", วารสารงานวิจัยศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 13(2035), 2550.

สมาคมโรงสีข้าวไทย. รายงานราคาข้าวขายส่งตลาดกรุงเทพฯ ราคาข้าวประจำเดือน มกราคม. กรุงเทพฯ : สมาคมโรงสีข้าวไทย, 2555.

สาธิป รัตนภาสกร. "การพอกลูกหินกะเทาะและขัดขาว", วารสารวิศวกรรมเกษตร. 6(1) : 21-27, 2529.

สุจินต์ คงดี. "โรงสีข้าว", เศรษฐกิจรายเดือน : สหธนาคาร. 7(6) : 6-10; กรกฎาคม, 2537.

สุขอังคณา ลี. "การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุผสมที่ใช้ทำลูกหินขัดข้าวในโรงสีขนาดเล็ก", รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ : สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2547.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สุมล ประสงค์สุข. การศึกษาโครงสร้างการตลาด ประสิทธิภาพการแปรข้าวเปลือกและจุดคุ้มทุนของโรงสีข้าว สหกรณ์การเกษตร คลองหลวง จำกัด จังหวัดปทุมธานี. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2549.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. แผนกลยุทธ์ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปี 2544-2549. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2545.

สำนักงานปลัดกรวงอุตสาหกรรม. ทำเนียบโรงงานอุตสาหกรรม ปี 2530-2534. สำนักงานปลัดกระทรวงฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2534.

อิสรา ธีระวัฒน์สกุล และคณะ. การวิเคราะห์ต้นทุนและงบประมาณ (Industrial Cost Analysis and Budgeting). คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2539.

Efferson, Norman J. and Klaus Singelmann. "An Appraisal of the rice drying,Storing, Processing and Marketing in the Philippines", A Technical Report. 1969.

E.V. Araullo, D.B. de Padua, and Michael Graham. "Rice post harvest technology", International development research centre. Ottawa Canada, 1976.

Gariboldi, F. Rice Milling Equipment Operation and Maintenance. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome: Italy, 1974.

Harry Th and L. van Ruiten. "Rice Milling. In Southeast Asia cooperative post-harvest research& development Grain post-harvest processing technology", Southeast Asia cooperative post-harvest research & development. 148-235, 1981.

Lewinstein, I., et al. "Effect of different peroxide bleaching regimens and subsequent fluoridation on the hardness of human enamel and dentin", J. Prosthet Dent. 92(4): 337-42, 2004.

Minitab release 14. Statistical Software. Product Licenese to Joey UCWIN1413pp. WEB Minitab Inc., 2004.

Naphire. Technical guide on grain postharvest operation. Philippines: National Post-harvest Institute for Research and Extension (NAPHIRE), 1997.

James E. Wimberly. Paddy rice post-harvest industry in developing countries. Philippines: International rice research institute, 1983.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Ruben E. Manalabe Dante B. de and Ernesto P. Lozada. Milling Parameters for Maximum Milling Yield and Quality of Milled Rice. Philippines: Grain Post-HarvestTechnology, 1978.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลย์ของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณข้าวทั้งหมด(กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
0	13.76	13.74	13.94	13.81	1,340	198.01	28.60	28.60	1.60
0	13.80	13.96	14.04	13.93	1,340	199.63	27.74	27.74	1.61
0	13.96	13.54	13.42	13.64	1,340	200.13	27.97	27.97	1.56
5	13.79	13.99	13.73	13.84	1,340	198.63	29.37	29.37	1.71
5	13.91	13.85	13.65	13.80	1,340	198.79	29.39	29.39	1.73
5	13.84	13.75	13.82	13.81	1,340	198.96	29.29	29.29	1.66
10	13.89	13.83	13.72	13.81	1,340	200.08	30.70	30.70	1.72
10	13.77	13.47	13.62	13.62	1,340	200.01	30.65	30.65	1.69
10	13.89	13.94	13.47	13.77	1,340	199.48	30.67	30.67	1.71
15	13.68	13.78	13.93	13.80	1,340	199.47	31.41	31.41	1.86
15	13.95	13.67	13.85	13.82	1,340	197.72	31.44	31.44	1.81

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ระยะห่างระหว่างลูกยางกับลูกหินขัดข้าว (1.5 mm) และใช้พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณข้าวทั้งหมด(กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
15	14.22	13.62	14.00	13.95	1,340	198.06	31.48	31.56	1.79
20	13.60	13.94	13.95	13.83	1,340	198.97	31.56	31.51	1.88
20	14.08	13.56	13.70	13.78	1,340	197.08	31.51	31.49	1.82
20	13.73	13.85	13.86	13.81	1,340	202.16	31.49	28.16	1.67
25	14.22	13.97	13.95	14.05	1,340	199.13	62.89	31.58	1.87
25	14.00	13.84	13.99	13.94	1,340	202.54	64.03	31.62	1.84
25	14.06	14.15	13.94	14.05	1,340	201.71	63.64	31.55	1.85
30	14.03	14.01	14.08	14.04	1,340	198.42	62.73	31.62	1.84
30	14.06	13.95	13.79	13.93	1,340	199.77	63.20	31.64	1.85
30	13.93	13.81	14.10	13.95	1,340	198.98	62.89	31.60	1.88
0	13.86	13.78	13.87	13.83	1,380	199.05	28.16	28.14	1.66

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ระยะห่างระหว่างลูกยางกับลูกหินขัดข้าว (1.5 mm) และใช้พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณข้าวทั้งหมด(กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
0	13.83	13.44	13.77	13.68	1,380	200.21	28.14	28.11	1.71
0	13.49	13.70	13.93	13.71	1,380	198.50	28.11	28.99	1.75
5	13.99	13.81	13.58	13.79	1,380	200.49	28.99	28.97	1.79
5	13.76	13.73	13.84	13.78	1,380	198.35	28.97	28.94	1.71
5	13.72	13.95	14.05	13.91	1,380	200.40	28.94	30.58	1.80
10	13.72	13.98	14.04	13.91	1,380	192.46	30.58	30.49	1.77
15	14.12	13.92	13.61	13.88	1,380	201.89	30.49	31.36	1.84
15	13.90	13.80	13.69	13.80	1,380	201.73	30.52	31.44	1.88
15	13.67	13.42	13.61	13.57	1,380	199.63	31.36	31.37	1.83
20	13.62	13.65	13.83	13.70	1,380	198.98	31.44	31.38	1.85
20	13.79	13.69	13.67	13.72	1,380	199.17	31.37	31.42	1.85

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ระยะห่างระหว่างลูกยางกับลูกหินขัดข้าว (1.5 mm) และใช้พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณข้าวทั้งหมด(กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
20	13.96	13.89	13.96	13.94	1,380	196.84	31.38	31.45	1.89
25	13.82	13.98	13.95	13.92	1,380	201.34	63.29	31.44	1.90
25	14.11	13.94	13.94	14.00	1,380	199.30	62.71	31.47	1.89
25	13.87	13.96	13.87	13.90	1,380	201.35	63.32	31.45	1.86
30	14.00	14.10	13.88	14.00	1,380	202.60	63.78	31.48	1.94
30	14.06	14.00	14.01	14.02	1,380	198.61	62.62	31.53	1.88
30	13.96	14.03	14.03	14.01	1,380	202.78	63.88	31.50	1.95
0	13.84	13.64	13.76	13.75	1,420	201.66	31.42	27.43	1.71
0	14.16	13.94	13.69	13.93	1,420	197.58	31.45	27.42	1.69
0	13.73	13.85	13.91	13.83	1,420	199.17	27.43	27.53	1.70
5	14.26	13.67	13.54	13.82	1,420	198.96	27.42	28.65	1.77

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ระยะห่างระหว่างลูกยางกับลูกหินขัดข้าว (1.5 mm) และใช้พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณข้าวทั้งหมด(กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
5	13.83	13.84	13.57	13.75	1,420	200.95	27.53	28.67	1.82
10	13.77	13.82	13.93	13.84	1,420	198.78	28.65	29.33	1.81
10	13.85	13.79	13.79	13.81	1,420	199.69	28.67	29.34	1.81
10	14.20	13.75	13.86	13.94	1,420	201.96	28.68	29.31	1.83
15	13.88	13.90	13.85	13.88	1,420	203.06	29.33	30.23	1.87
15	13.56	13.94	13.99	13.83	1,420	196.72	29.34	30.22	1.88
15	13.71	13.93	13.49	13.71	1,420	202.94	29.31	30.23	1.85
20	13.59	13.98	13.67	13.75	1,420	200.10	30.23	30.57	1.92
20	13.93	13.66	13.79	13.79	1,420	204.21	30.22	30.58	1.87
20	13.78	13.87	13.70	13.78	1,420	203.65	30.23	30.58	1.94
25	14.08	13.83	13.96	13.96	1,420	199.19	61.51	30.88	1.91

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ระยะห่างระหว่างลูกยางกับลูกหินขัดข้าว (1.5 mm) และใช้พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณข้าวทั้งหมด(กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
25	13.96	14.04	14.14	14.05	1,420	197.49	61.09	30.93	1.93
25	14.18	13.83	14.16	14.06	1,420	200.18	61.92	30.93	1.95
30	14.00	14.06	13.95	14.00	1,420	199.15	62.26	31.26	1.99
30	13.98	14.08	13.75	13.94	1,420	199.57	62.52	31.33	1.99
30	13.89	14.16	13.89	13.98	1,420	197.35	61.77	31.30	1.97
0	14.01	13.67	13.74	13.81	1,460	198.64	30.57	28.38	1.79
0	13.99	13.56	14.21	13.92	1,460	198.37	30.58	28.30	1.78
0	13.77	13.82	13.93	13.84	1,460	200.17	30.58	28.36	1.72
5	13.85	13.79	13.79	13.81	1,460	203.96	28.38	28.97	1.84
5	14.20	13.75	13.86	13.94	1,460	198.51	28.30	28.94	1.82
5	13.88	13.90	13.85	13.88	1,460	197.07	28.36	29.00	1.81

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ระยะห่างระหว่างลูกยางกับลูกหินขัดข้าว (1.5 mm) และใช้พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณข้าวทั้งหมด(กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
10	13.56	13.94	13.99	13.83	1,460	200.01	28.97	30.56	1.84
10	13.71	13.93	13.49	13.71	1,460	201.00	28.94	30.60	1.82
10	13.59	13.98	13.67	13.75	1,460	200.02	29.00	30.61	1.82
15	13.93	13.66	13.79	13.79	1,460	198.45	30.56	31.59	1.91
15	13.78	13.87	13.70	13.78	1,460	195.79	30.60	31.53	1.90
15	14.01	13.67	13.74	13.81	1,460	198.94	30.61	31.55	1.91
20	13.99	13.56	14.21	13.92	1,460	199.34	31.59	31.57	1.95
20	13.64	14.13	13.69	13.82	1,460	199.40	31.53	31.53	2.00
20	13.66	14.00	13.85	13.83	1,460	198.24	31.55	31.55	1.96
25	13.98	14.10	13.98	14.02	1,460	202.93	64.12	31.60	2.03
25	13.95	13.98	13.97	13.97	1,460	199.50	62.99	31.58	1.98

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณข้าวทั้งหมด(กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
25	14.08	14.01	13.86	13.98	1,460	200.61	63.30	31.55	2.03
30	14.11	14.08	13.89	14.03	1,460	198.96	62.89	31.61	2.07
30	13.88	14.07	13.97	13.97	1,460	200.47	63.33	31.59	2.06
30	14.05	14.04	13.95	14.01	1,460	199.22	62.89	31.57	2.09
0	13.86	13.77	13.88	13.84	1,500	200.07	31.57	29.32	1.76
0	13.91	13.50	13.51	13.64	1,500	198.26	31.53	29.31	1.76
0	13.66	13.90	13.80	13.79	1,500	197.62	31.55	29.34	1.79
5	14.19	13.76	13.77	13.91	1,500	194.44	29.32	29.43	1.85
5	14.17	13.62	14.15	13.98	1,500	200.16	29.31	29.41	1.86
5	13.36	13.54	13.48	13.46	1,500	198.22	29.34	29.44	1.82
10	13.55	13.97	13.83	13.78	1,500	202.16	29.43	30.76	1.87

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ระยะห่างระหว่างลูกยางกับลูกหินขัดข้าว (1.5 mm) และใช้พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณข้าวทั้งหมด(กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
10	13.60	13.84	13.98	13.81	1,500	194.61	29.41	30.70	1.92
10	13.83	13.74	13.67	13.75	1,500	199.91	29.44	30.70	1.92
15	13.63	13.63	13.63	13.63	1,500	201.89	30.76	31.60	1.89
15	14.14	14.14	14.14	14.14	1,500	201.73	30.70	31.59	1.92
15	13.92	13.92	13.92	13.92	1,500	199.63	30.70	31.60	1.93
20	13.92	13.92	13.92	13.92	1,500	198.98	31.60	31.65	1.98
20	13.64	13.64	13.64	13.64	1,500	199.17	31.59	31.66	1.98
20	13.67	13.67	13.67	13.67	1,500	196.84	31.60	31.69	1.97
25	14.22	14.10	13.88	14.07	1,500	200.93	63.79	31.75	2.06
25	13.93	14.11	13.87	13.97	1,500	200.95	63.69	31.69	2.11

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ระยะห่างระหว่างลูกยางกับลูกหินขัดข้าว (1.5 mm) และใช้พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความไม่สมดุลของลูกหินขัดข้าวที่ส่งผลต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณข้าวทั้งหมด(กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
25	13.80	14.16	14.09	14.02	1,500	201.27	63.95	31.77	2.09
30	13.90	13.96	14.09	13.98	1,500	200.36	63.81	31.85	2.21
30	13.91	14.04	14.06	14.00	1,500	196.89	62.64	31.82	2.24
30	13.92	14.12	14.21	14.08	1,500	201.30	64.08	31.83	2.24

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ระยะห่างระหว่างลูกยางกับลูกหินขัดข้าว (1.5 mm) และใช้พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบการปรับสมดุลย์ลูกหินที่ขึ้นรูปต่างชนิดที่ส่งผลต่อความแตกต่างการสั่นสะเทือน

ลำดับที่	ชนิดการขึ้นรูป	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	การสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
1	By Hand	1340	1.65
2	By Hand	1500	1.76
3	By Hand	1380	1.68
4	By Hand	1420	1.69
5	By Hand	1460	1.73
6	By Hand	1460	1.76
7	By Hand	1420	1.68
8	By Hand	1380	1.67
9	By Hand	1340	1.64
10	By Hand	1500	1.74
11	By Hand	1380	1.66
12	By Hand	1340	1.67
13	By Hand	1460	1.73
14	By Hand	1500	1.75
15	By Hand	1420	1.71
16	By Machine	1460	1.38
17	By Machine	1380	1.27
18	By Machine	1340	1.23
19	By Machine	1500	1.37
20	By Machine	1340	1.65

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบการปรับสมดุลย์ลูกหินที่ขึ้นรูปต่างชนิดที่ส่งผลต่อความแตกต่างการสั่นสะเทือน (ต่อ)

ลำดับที่	ชนิดการขึ้นรูป	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	การสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)
21	By Machine	1420	1.31
22	By Machine	1420	1.30
23	By Machine	1340	1.24
24	By Machine	1500	1.40
25	By Machine	1380	1.28
26	By Machine	1460	1.35
27	By Machine	1460	1.38
28	By Machine	1500	1.41
29	By Machine	1340	1.22
30	By Machine	1420	1.32

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
1	13.44	14.13	14.09	13.89	163.74	36.32	18.15	1.42	41.26
2	14.11	14.04	14.01	14.06	163.46	36.52	18.26	1.48	42.18
3	13.96	14.13	14.23	14.11	163.52	36.40	18.21	1.50	42.41
4	14.06	13.95	14.34	14.12	163.61	36.40	18.20	1.56	41.38
5	14.10	13.92	14.10	14.04	163.54	36.38	18.20	1.41	41.22
6	14.06	14.44	13.90	14.13	163.59	36.34	18.18	1.42	40.76
7	14.12	14.37	14.35	14.28	163.43	36.51	18.26	1.52	42.80
8	13.80	14.22	13.79	13.93	163.59	36.46	18.23	1.51	41.71
9	13.76	14.05	14.20	14.00	163.74	36.32	18.15	1.42	41.26
10	13.83	13.93	14.33	14.03	163.46	36.52	18.26	1.48	42.18

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงไม่ปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
11	14.06	13.72	13.69	13.82	163.62	36.35	18.18	1.51	41.84
12	14.23	13.75	13.96	13.98	163.56	36.50	18.24	1.47	43.33
13	13.67	13.83	13.87	13.79	163.82	36.16	18.08	1.48	41.51
14	13.89	14.32	14.06	14.09	163.39	36.63	18.31	1.46	40.38
15	14.53	14.00	14.05	14.19	163.63	36.40	18.20	1.60	41.05
16	13.94	14.01	13.93	13.96	163.63	36.40	18.20	1.43	40.34
17	13.74	14.17	14.14	14.02	163.74	36.27	18.13	1.40	42.90
18	13.95	13.53	14.08	13.85	163.55	36.42	18.21	1.54	42.52
19	13.86	13.91	14.11	13.96	163.69	36.35	18.17	1.53	42.86
20	14.13	14.35	13.80	14.09	163.80	36.10	18.06	1.45	41.70

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงไม่ปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
21	13.69	13.93	14.06	13.89	163.53	36.41	18.21	1.54	42.87
22	14.02	14.15	14.23	14.14	163.75	36.32	18.16	1.45	44.85
23	13.96	14.37	14.16	14.16	163.54	36.46	18.23	1.62	41.82
24	13.92	13.94	14.27	14.04	163.74	36.27	18.13	1.54	41.84
25	14.06	13.92	13.97	13.98	163.44	36.50	18.26	1.42	40.06

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงไม่ปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
1	13.82	14.29	14.37	14.16	166.68	30.25	15.36	1.25	40.66
2	13.85	14.09	13.87	13.93	166.87	30.35	15.39	1.27	43.52
3	13.99	13.70	13.89	13.86	170.49	30.91	15.35	1.30	42.54
4	13.74	13.89	14.16	13.93	168.57	30.68	15.40	1.32	43.46
5	13.99	13.90	13.93	13.94	165.62	30.27	15.45	1.34	41.89
6	14.04	13.75	14.34	14.05	171.45	31.08	15.34	1.30	42.60
7	14.32	13.97	13.64	13.98	170.12	30.63	15.26	1.29	42.64
8	13.79	13.45	13.65	13.63	164.69	30.02	15.42	1.31	42.15
9	13.98	13.64	13.84	13.82	166.68	30.25	15.36	1.25	40.66
10	13.87	14.15	14.32	14.11	166.87	30.35	15.39	1.27	43.52

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
11	13.93	13.89	14.03	13.95	169.06	30.90	15.45	1.28	43.25
12	13.89	13.50	14.07	13.82	167.90	30.61	15.42	1.29	43.49
13	13.81	13.97	13.96	13.91	167.13	30.07	15.25	1.28	41.96
14	13.82	14.53	14.17	14.17	169.31	30.34	15.20	1.30	41.98
15	13.82	13.96	14.11	13.96	171.42	30.88	15.27	1.33	42.25
16	13.86	14.28	14.14	14.09	172.64	31.16	15.29	1.31	40.26
17	13.65	14.20	13.95	13.94	174.69	31.67	15.35	1.29	41.22
18	13.97	13.63	13.77	13.79	171.59	30.78	15.21	1.29	42.91
19	14.05	14.14	13.73	13.97	168.49	30.39	15.28	1.31	40.51
20	14.00	14.01	13.91	13.97	170.64	30.66	15.23	1.30	44.06

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
21	13.69	14.06	13.75	13.84	170.99	30.81	15.27	1.27	41.44
22	13.37	13.86	13.92	13.72	174.45	31.80	15.42	1.29	40.75
23	14.16	13.92	13.83	13.97	169.19	30.88	15.44	1.30	42.32
24	14.20	13.66	14.24	14.03	165.24	30.01	15.37	1.28	41.79
25	13.77	14.10	14.24	14.04	167.88	30.79	15.50	1.33	40.33

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
1	13.79	14.18	14.08	14.02	146.27	55.35	27.45	1.98	43.15
2	14.11	14.23	14.18	14.17	146.70	55.59	27.48	1.94	40.99
3	14.29	13.94	13.91	14.05	143.16	54.19	27.46	1.95	42.43
4	13.88	14.25	14.16	14.10	145.89	55.24	27.47	2.00	42.02
5	13.79	14.05	13.86	13.90	143.47	54.35	27.47	2.00	41.63
6	13.91	14.41	14.10	14.14	144.90	54.92	27.49	2.01	42.73
7	14.11	13.94	14.13	14.06	142.37	53.87	27.45	1.97	42.93
8	13.96	14.16	14.07	14.06	142.84	54.05	27.45	1.95	41.06
9	14.11	13.94	13.93	13.99	148.49	56.25	27.48	1.99	41.68
10	14.00	14.36	14.03	14.13	145.56	55.21	27.50	1.96	42.95

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยมือไม่ปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวคอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
11	14.33	13.82	13.75	13.97	146.53	55.36	27.42	1.98	41.83
12	13.82	14.26	13.99	14.02	143.96	54.51	27.47	2.01	39.99
13	13.97	13.73	13.70	13.80	144.04	54.39	27.41	1.97	42.90
14	13.96	14.23	13.84	14.01	142.29	53.81	27.44	2.02	41.59
15	14.23	14.20	14.13	14.19	145.35	54.96	27.44	1.90	41.82
16	13.48	14.12	13.74	13.78	147.76	55.96	27.47	1.95	42.81
17	13.97	14.31	14.31	14.19	141.85	53.76	27.48	1.96	41.64
18	14.21	13.90	14.29	14.13	143.60	54.36	27.46	1.97	42.22
19	14.10	14.28	14.12	14.17	146.53	55.36	27.42	1.98	41.83
20	14.13	13.97	13.73	13.94	143.96	54.51	27.47	2.01	39.99

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยมือไม่ปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
21	14.18	13.94	14.04	14.05	145.77	55.19	27.47	1.96	43.00
22	13.63	14.38	14.14	14.05	144.50	54.76	27.48	1.98	41.54
23	13.96	14.26	13.95	14.06	139.90	53.10	27.51	2.02	41.87
24	14.27	14.33	14.13	14.24	141.38	53.42	27.43	2.01	43.05
25	13.81	13.99	14.09	13.96	141.07	53.27	27.41	1.98	42.22

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยมือไม่ปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
1	14.01	13.86	13.93	13.93	156.27	39.95	20.36	1.69	41.52
2	14.05	14.03	14.00	14.02	155.52	39.82	20.39	1.67	42.14
3	14.00	13.86	13.94	13.93	151.62	38.80	20.37	1.75	40.61
4	14.02	13.79	14.21	14.00	158.61	40.59	20.38	1.66	44.26
5	14.31	13.96	13.71	13.99	157.14	40.21	20.37	1.71	39.82
6	14.09	14.23	13.83	14.05	159.62	40.81	20.36	1.71	42.61
7	14.18	13.91	14.16	14.09	155.10	39.79	20.42	1.72	44.51
8	13.89	14.13	13.72	13.91	159.02	40.70	20.38	1.70	42.77
9	13.90	13.79	14.11	13.93	156.27	39.95	20.36	1.69	41.52
10	13.89	14.14	13.85	13.96	155.52	39.82	20.39	1.67	42.14

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยมือปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
11	14.00	14.08	13.97	14.01	154.88	39.69	20.40	1.72	41.52
12	14.28	14.06	14.04	14.13	160.85	41.13	20.36	1.74	42.99
13	13.81	13.80	14.08	13.90	154.30	39.46	20.37	1.66	40.59
14	14.23	14.08	13.92	14.08	161.52	41.32	20.37	1.76	40.36
15	14.26	14.11	13.94	14.10	158.51	40.59	20.39	1.73	41.12
16	13.63	14.38	13.99	14.00	162.33	41.55	20.38	1.73	42.05
17	13.98	14.17	13.96	14.04	163.51	41.83	20.37	1.65	41.92
18	14.08	13.65	13.60	13.78	156.81	40.25	20.43	1.69	41.65
19	14.28	14.07	14.24	14.19	159.83	40.87	20.36	1.69	41.38
20	13.80	14.11	14.00	13.97	154.15	39.45	20.38	1.70	41.83

ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยมือปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

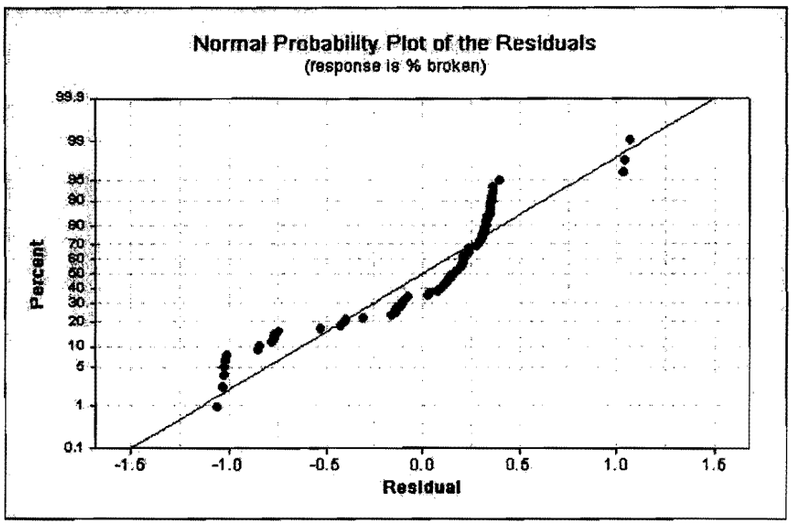
ตารางที่ ก.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักของข้าวสารกับการสั่นสะเทือนจากการสีข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับที่	ความชื้นข้าวเปลือก (ร้อยละ)			ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	อัตราการแตกหัก (ร้อยละ)	ความสั่นสะเทือน (มิลิเมตร/วินาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
21	14.24	14.01	13.67	13.97	161.09	41.24	20.38	1.72	41.77
22	13.85	13.84	13.89	13.86	157.41	40.31	20.39	1.66	42.61
23	14.22	13.92	14.02	14.05	159.83	40.77	20.32	1.75	41.21
24	13.69	14.11	14.44	14.08	155.59	39.84	20.39	1.75	42.20
25	14.41	14.09	14.09	14.20	161.06	41.17	20.36	1.73	39.78

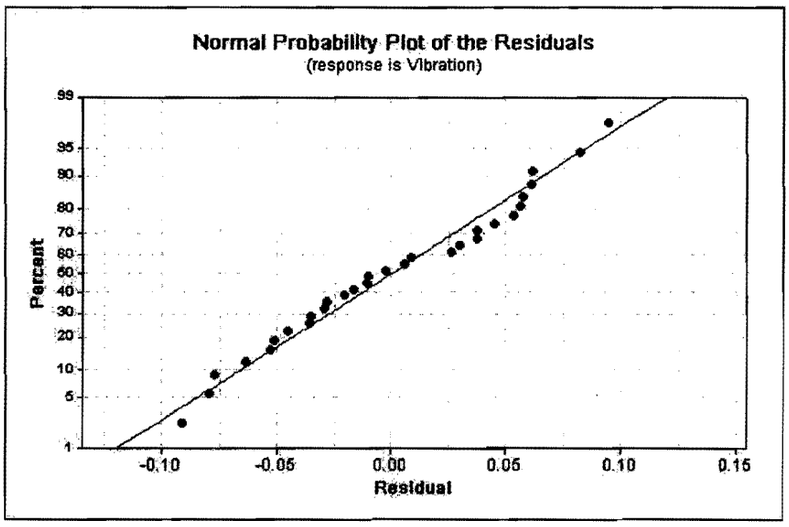
ตัวแปรที่ทำการควบคุม : ขึ้นรูปด้วยมือปรับสมดุลย์ ความเร็วรอบในการทำงาน (1,420 rpm) และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ภาคผนวก ข
ข้อมูลในส่วนตกค้างการทดสอบ

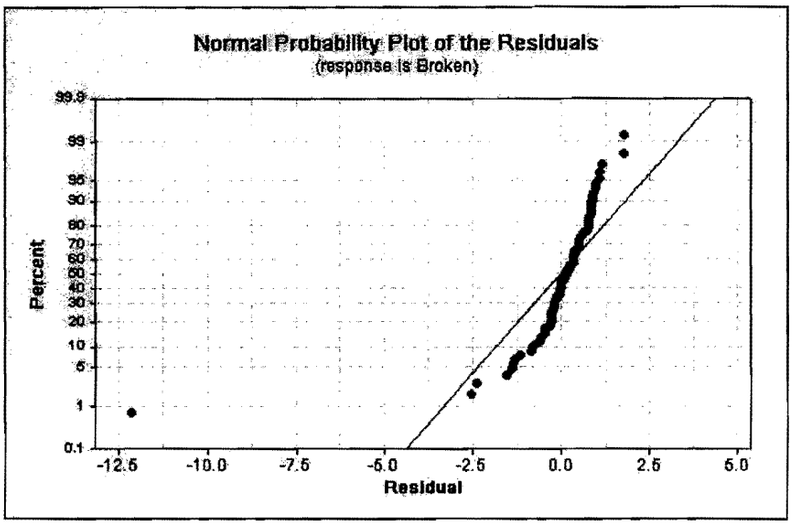
ข้อมูลในส่วนตกค้างการทดสอบ



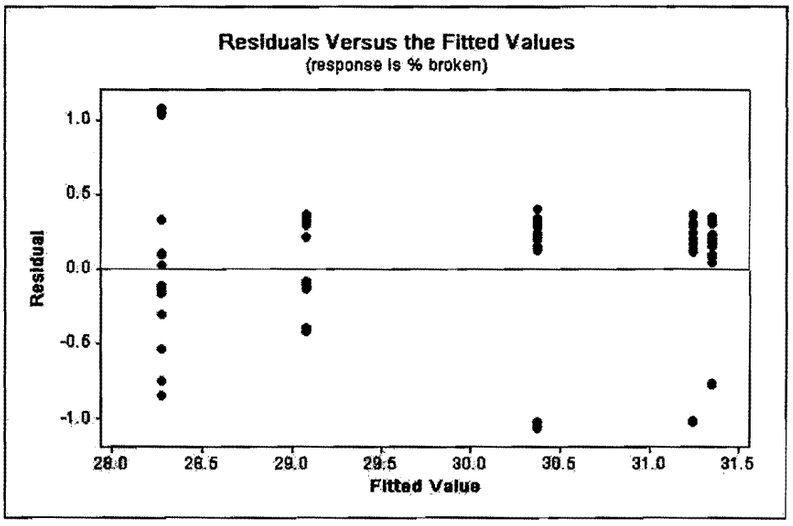
ภาพที่ ข.1 Normal Probability Plot ของส่วนที่ตกค้างในอัตราอัตราแตกหัก



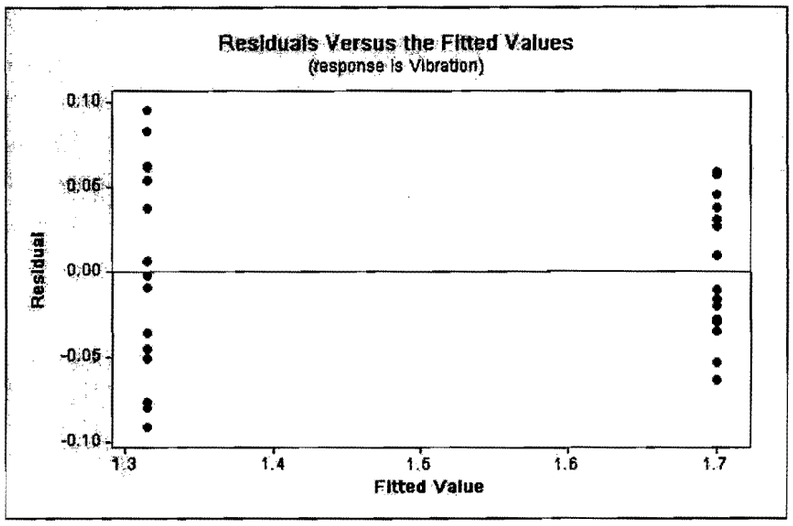
ภาพที่ ข.2 Normal Probability Plot ของส่วนที่ตกค้างในอัตราอัตราแตกหัก

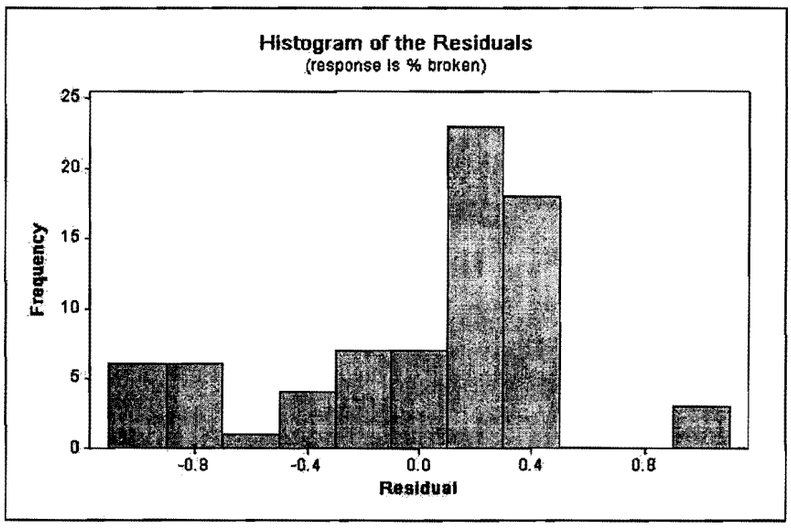


ภาพที่ ข.3 Normal Probability Plot ของส่วนที่ตกค้างในอัตราอัตราแตกหัก

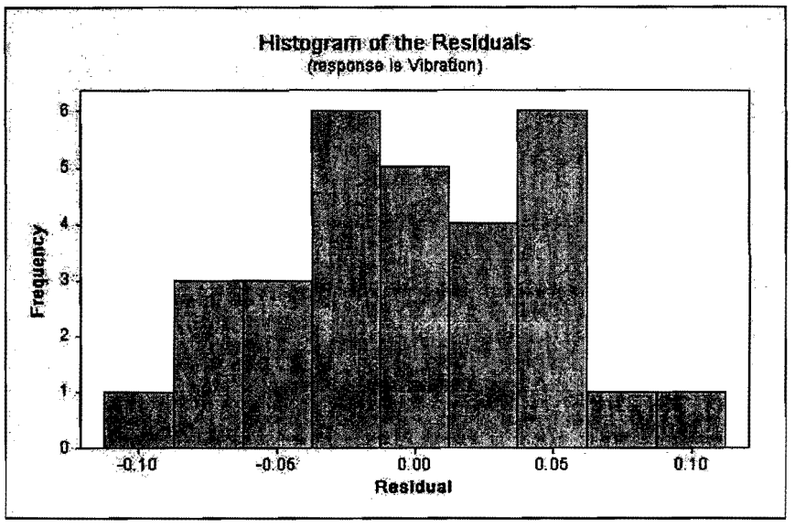


ภาพที่ ข.4 ส่วนที่ตกค้างในอัตราอัตราแตกหัก

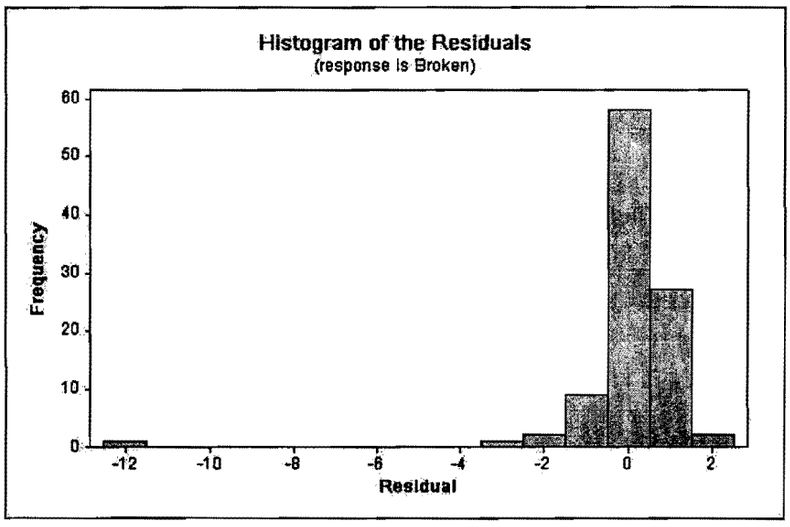




ภาพที่ ข.5 ส่วนที่ตกค้างในอัตราอัตราแตกหัก



ภาพที่ ข.6 Histogram ของส่วนที่ตกค้างในอัตราอัตราแตกหัก



ภาพที่ ข.7 Histogram ของส่วนที่ตกค้างในอัตราแตกหัก

ภาคผนวก ค
งานวิจัย

IENET 2010

อิทธิพลของสมดุลการหมุนของลูกหินขัดข้าวต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

EFFECT OF THE RICE POLISHING CYLINDER BALANCING DURING MILLING ON PERCENTAGE OF BROKEN RICE IN A SMALL RICE MILL

รังสรรค์ ไชยเชษฐ์* และ ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี
วิศวกรรมศาสตร์/สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
E-mail: rungsan_48131289@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหาแนวทางเลือกการปรับสมดุลการหมุนของลูกหินขัดข้าวและหาความสัมพันธ์ ของการหักของข้าวสารในการสีข้าวโดย เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยพบว่าในปัจจุบัน เครื่องสีข้าวขนาดเล็กเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในชุมชนท้องถิ่น การหักข้าวส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการขัดสี การสั่นสะเทือนของลูกหินส่งผลให้ระยะห่างของลูกยางและหินขัดข้าวไม่สม่ำเสมอซึ่งทำให้เกิดการหักของข้าว การผลิตลูกหินขัดข้าวใช้วิธีการหล่อจึงทำให้ลูกหินที่ไม่สมดุล และเป็นเหตุทำให้เกิดการเสียหายของเครื่องสีข้าวก่อนเวลาอันควรในการบำรุงรักษา งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของข้าวกระบวนการสีข้าว ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกหักและได้ทำการสีข้าวเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสีข้าวเมื่อเกิดการสั่นสะเทือน การทำให้เกิดการสั่นสะเทือนโดยเพิ่มน้ำหนักจากตะกั่วที่ลูกหินขัดข้าวน้ำหนักที่ 5, 10 และ 15 กรัม ที่ปลายด้านหนึ่งของลูกหิน และทดลองสีข้าว พบว่ามีลูกหินมีค่าเฉลี่ยแรงสั่นสะเทือนที่ 6.04, 4.02 และ 4.69 มิลลิเมตรต่อวินาที ได้ค่าการแตกหักที่สูงกว่าลูกหินปกติอยู่อัตราร้อยละ 10.68, 4.94 และ 3.51 ตามลำดับ เมื่อเกิดแรงสั่นสะเทือนมากขึ้น จะทำให้การแตกหักข้าวมากขึ้นด้วย

คำสำคัญ : การสมดุลการหมุน, การแตกหัก, เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

Abstract

This research is aimed to study the implementation of balancing of the rice-polishing cylinder relating to fracture of the small rice mill. Generally, the small rice mill has been widely used in rural communities. The cause of broken rice is mainly from the polishing process. Vibration of rice-polishing cylinder causes rice fracture due to a space between rubber bung and rice–polishing cylinder is altered. This unbalanced and vibrated may have been the result from the hand-cast manufacture of rice-polishing cylinder. As a result, the excessive vibration reduces working life time of the cylinder. The milling process was investigated. The vibration was done by adding weight of 5, 10 and 15 grams on one side of rice-polishing cylinder to create unbalancing turning. The average vibration was 6.04, 4.02 and 4.69 mm per second caused the broken rice increased by 10.68, 4.94 and 3.51, respectively.

Keywords: Balance the rotation, broken rice, Small rice mill.

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชหลักของประเทศและมีพื้นที่เพาะปลูกเมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะปลูกพืชต่างๆ จะมีมากที่สุดในอดีตการปลูกข้าวแต่ละปีประเทศไทยมีการเพาะปลูกข้าว 58 ถึง 60 ล้านไร่ได้ผลผลิตประมาณ 20 ล้านตันข้าวเปลือกสามารถส่งออกไปจำหน่าย ในตลาดต่างประเทศกว่าปีละ 7 ถึง 8 ล้านตัน ข้าวสารคำนวณเป็นเงินรายได้เข้าประเทศกว่าปีละ 80,000 ล้านบาท (ชาญพิทยา, 2548) แต่ปัจจุบันมีปัญหาส่วนหนึ่งของการแปรรูปข้าวให้เป็นข้าวสารได้ทำให้เกิดการแตกหักในปริมาณที่มากเช่นกันจากการสูญเสียข้าวในกระบวนการสีข้าวที่มีผลต่อราคาข้าวสาร คือการแตกหักของข้าวสาร ข้าวสารที่มีปริมาณการแตกหักมาก จะขายได้ในราคาที่ต่ำกว่าข้าวสารที่มีปริมาณการแตกหักน้อยกว่า สาเหตุของการแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าวน่าจะเกิดจากการแตกร้าวภายในของเมล็ดข้าว การแตกร้าวภายในของเมล็ดข้าวที่มีอยู่แล้วอาจเกิดจากกรรมวิธีใดๆ ก่อนกระบวนการสีข้าว เช่น การปฏิบัติการเก็บรักษาก่อนการเก็บเกี่ยว ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยว การลดความชื้นข้าว การนวดข้าว และการเก็บรักษาข้าวที่ไม่เหมาะสม (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545)

การสีข้าวนั้นมีกระบวนการหลายขั้นตอนส่วนที่ทำให้เกิดการแตกหักนั้นเกิดจากส่วนของกระบวนการสีข้าวที่ขั้นตอนการกะเทาะเปลือก และขั้นตอนการขัดขาว ในโรงสีข้าวขนาดใหญ่ในเขตจังหวัดขอนแก่น ที่สีข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า มีการแตกหักของเมล็ดข้าวที่ขั้นตอนการกะเทาะเปลือกอัตราร้อยละ 3.62 และขั้นตอนการขัดขาวมีการแตกหักอัตราร้อยละ 25.34 (ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, 2542) การแตกหักจากการขัดสีนั้นลูกหินขัดข้าวนั้นมีส่วนสำคัญโดยมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการขึ้นรูปของหินขัดข้าวแกนนอนนั้นมีส่วนกับการแตกหักของข้าวสารที่มีการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวด้วยมือและการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อเหวี่ยง การขึ้นรูปด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบใหม่นี้สามารถลดการแตกหักของข้าวสารเมื่อเปรียบเทียบกับการขึ้นรูปด้วยมือนั้นได้ในอัตราร้อยละ 28.72 (ธิติกานต์ บุญแข็ง, 2549) การขึ้นรูปด้วยวิธีการทั้งสองนั้นได้ทำให้เกิดความแตกต่างในส่วนผิวหินขัดที่เหมาะสมในการขัดข้าวและทำให้เกิดการแตกหักที่น้อยลงดั้งเช่นงานวิจัยที่ศึกษาถึงผิวของลูกหินขัดข้าวส่งผลต่อการขัดสีและการแตกหักที่น้อยลงในการเลือกความละเอียดของวัสดุหินขัดส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ (จรัญ มงคลวัย, 2548)

และสิ่งหนึ่งที่ผู้วิจัยได้มีแนวความคิดที่ว่าน่าศึกษาคือการแตกหักจากการไม่สมดุลการหมุนของลูกหินขัดข้าวเนื่องจากการสั่นสะเทือนของการสีข้าวของโรงสีนั้นอาจเกิดได้หลายสาเหตุเช่น การไม่สมดุลของเครื่องจักรที่หมุน การเลื่อนของชิ้นส่วนของเครื่องจักรตามแนวเส้นตรง การขัดสีหรือถูกันระหว่างชิ้นส่วนสองชิ้น การหลุดหลวมของชิ้นส่วนของเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งการสั่นสะเทือนเหล่านี้ของเครื่องสีข้าวมักมีผลต่อสมรรถนะและคุณภาพของข้าวที่สีออกมาด้วยเช่นกัน ดังนั้นต้องมีความเข้าใจถึงพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนเพื่อจะได้สามารถจำกัดขนาดการสั่นสะเทือนให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ส่วนที่สำคัญคือส่วนของการขัดสีเมล็ดข้าวโดยลูกหินที่ทำการหมุนเพื่อขัดให้ข้าวมีความขาวเพื่อให้น่ารับประทานซึ่งการสั่นสะเทือนมีส่วนที่ทำให้เกิดการแตกหักของข้าว การศึกษาในครั้งนี้จะพิจารณาการลดการสั่นสะเทือนจากการหมุนของลูกหินขัดข้าวเพื่อลดการแตกหักของข้าวและถ้าสามารถลดการแตกหักของข้าวให้ลดน้อยลงได้ก็เป็นการช่วยเกษตรกรหรือประเทศได้อีกหนทางหนึ่งก็เป็นได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการสีข้าว การสีข้าวจะมีหลักการอยู่ 2 แบบ

1.การสีข้าวแบบใช้แรงเสียดสี (Friction type)

2.การสีข้าวแบบใช้การขัดสี (Abrasive type)

ส่วนกระบวนการในการสีก็หลายรูปแบบ แตกต่างกันไปตามท้องที่ต่างๆ โดยเครื่องสีข้าวมีอยู่ 4 แบบ ใหญ่ๆ คือ แบบหินโคนแกนตั้งและลูกยาง แบบขัดสีลูกหินกากเพชรทรงกระบอก แบบการใช้การเสียดสีของแกนเหล็กเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท Schule ประเทศเยอรมัน แบบเครื่องขัดที่ใช้หรือไม่ใช้ไอน้ำ เป็นเครื่องสีข้าวที่ใช้ไอน้ำในการขัดเงาเมล็ดข้าวร่วมด้วย (Dante de Padua, 1998)

2.2 กรรมวิธีการผลิตและการสีข้าว โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการทำความสะอาด(Cleaning) หรือขั้นข้าวเปลือก ข้าวเปลือกจะถูกส่งเข้าอุปกรณ์ทำความสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออก เช่น แกลบ ข้าวลีบ เศษฟาง ดิน หิน และสิ่งที่เจือปนอื่นๆ ข้าวเปลือกที่สะอาดแล้วจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการสีต่อไป

2. ขั้นตอนการสีข้าว (Hulling) หรือขั้นข้าวกล้องขั้นตอนนี้ข้าวเปลือกที่สะอาดแล้วจะถูกส่งเข้าอุปกรณ์กะเทาะเปลือก สิ่งที่ได้ออกมาคือ ข้าวกล้องและแกลบ แกลบถูกดักแยก โดยอุปกรณ์คัดแยก ส่วนข้าวกล้องจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการขัดขาวต่อไป อุปกรณ์ที่ใช้กะเทาะเปลือกหรือเครื่องสีข้าว (Hulling) มี 2 ชนิด คือ เครื่องสีข้าวแบบแผ่นกลม (Disc huller) หรือโม่หินและเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้ง (Roller huller)

3. ขั้นตอนการขัดขาว (Polishing) หรือขั้นข้าวสาร ข้าวกล้อง (Brown Rice) ที่ได้จากการกะเทาะเปลือกมักมีชั้นของรำข้าว (Bran Layer) เคลือบอยู่เมื่อนำเข้าอุปกรณ์ขัดขาว ส่วนนี้จะถูกขัดออกเป็นรำ (Bran) ทำให้ได้ข้าวสาร (Milled Rice) ที่ขาวน่ารับประทาน อุปกรณ์ขัดขาวมี 2 ประเภท คือ เครื่องขัดขาวแบบกรงกรวยวางแนวตั้ง (Vertical Cone Type) และเครื่องขัดขาวแบบแนวนอน (Horizontal Type)

4. ขั้นตอนการแยกเมล็ดข้าว (Grading) หรือขั้นทำอัตราร้อยละข้าวสารที่ได้จากการสี และขัดขาวแล้วนั้นมีทั้งข้าวเต็มเม็ด ข้าวหัก และปลายข้าว ดังนั้นจึงต้องนำไปคัดแยกโดยอุปกรณ์คัดแยกเพื่อแยกส่วนเหล่านี้ออกจากกัน อุปกรณ์คัดแยกข้าวออกมาเป็น ต้นข้าว (ข้าวเต็มเม็ด) ข้าวหัก และปลายข้าว

2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสีข้าว

ความสูญเสียข้าวในกระบวนการสีข้าวที่มีผลต่อราคาข้าวสาร ปริมาณการแตกหักมากจะขายได้ในราคาที่ต่ำกว่า สาเหตุของการแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าว

1. ระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับแท่งยาง ถ้าชิดมากไปข้าวจะหักมาก อัตราการหมุนของหินขัดขาวถ้าเร็วมากข้าวจะหักมาก อัตราการไหลลงของข้าวสู่เครื่องกะเทาะเปลือกถ้าสูงมากจะหักมาก และระยะเวลาการขัดสีถ้านานมาก ข้าวจะขาวมาก ปริมาณรำมากและข้าวหักมากซึ่งทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการแตกหักของเมล็ดข้าวในขั้นตอนการขัดขาวนอกจากนี้ยังขึ้นกับจำนวนหน่วยขัดสีถ้ามีหลายหน่วยแต่ละหน่วยขัดเบาๆก็จะทำให้คุณภาพการสีดีขึ้นจากที่กล่าวข้างต้นสามารถสรุปถึงปัจจัยที่มีผลต่อการขัดขาว (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะกุล, 2534)

2.ระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับตะแกรงขัดขาวHarry Th., L. van Ruiten, 1981; Ruben E. *et al.*, 1978และ ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2535 แนะนำไว้สอดคล้องกันคือควรตั้งระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับตะแกรงขัดขาวของเครื่องขัดขาวแบบกรวย หินแกนตั้งเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

3. ระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับแท่งยางขัดขาวปรับแท่งยางเข้า ระยะทางระหว่างหินขัดขาวกับแท่งยางกว้างเล็กกว่าความกว้างของเมล็ดข้าวเล็กน้อย (ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2535) การปรับระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับแท่งยางขัดขาวควรอยู่ประมาณ 2-3 มิลลิเมตร (Harry Th., L. van Ruiten, 1981) และ (ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2535) ปัจจัยที่มีผลต่อการขัดขาวข้าวด้วยเครื่องขัดขาวแบบกรวยหิน ระยะห่างระหว่างหินขัดขาวกับแท่งยางขัดขาวเท่ากับ 2 มิลลิเมตรเหมาะสมที่สุด (ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, 2542)

4.จำนวนครั้งการขัดขาว พบว่าการขัดขาวหลายครั้งช่วยลดปริมาณการแตกหักเมล็ดข้าวได้ (Efferson, Norman J. and Klaus Singelmann, 1969) ค่าอัตราร้อยละข้าวหักนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งและ ระดับการสีก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นไปตามจำนวนครั้งเช่นกัน (ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, 2542) พบว่าจำนวนครั้งการขัดขาวที่เหมาะสม ควรขัดขาว 3 ครั้งถ้าขัดเกิน 3 ครั้ง จะทำให้ประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดลง เมล็ดมีแนวโน้มแตกหักมากขึ้น (ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2535)

5. อุณหภูมิในกระบวนการขัดขาว ปริมาณแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการขัดขาวที่อุณหภูมิต่างกันพบว่าช่วงอุณหภูมิของลมที่ใช้ในการ

ดูดร่ำที่ท่อทางเข้าที่เหมาะสมที่ 33.70 และ 25.90 องศาเซลเซียสและมีอัตราร้อยละข้าวหักอัตราร้อยละ 15.99 และ14.69

(บัณฑิต สุริยวงศ์พงศา, 2547)

2.4 วัสดุหินขัดข้าว

ลูกหินขัดข้าวของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบแกนนอน ใช้วัสดุหินขัดที่ทำขึ้นจากหินกากเพชรหรือซิลิกา ขนาดเมล็ดเกรน 12, 14, 16 และ 18 กับปูนแมกนีเซียมออกไซด์ใน อัตราส่วน 17 ต่อ 3 โดยน้ำหนักผสมด้วยตัวประสานคือ น้ำเกลือแมกนีเซียคลอไรด์ มาพอกบน โครงเหล็ก ตากแห้ง กลางแจ้ง และกลึงให้ได้ขนาด (สาทิป รัตนภาสกร, 2529) วัสดุของหินขัดข้าวซึ่งประกอบด้วย

1.หินกากเพชร หรือ Emery เป็นหินธรรมชาติที่เป็นสารประกอบระหว่าง Corundum (Aluminum oxide (Al_2O_2)) และ Iron oxide เช่น magnetile (Fe_3O_4) หรือ magnetile (Fe_2O_3) ซึ่งจะมีความแข็งอยู่ที่ 8 โมห์ส ซึ่งต่ำกว่า Corundum บริสุทธิ์ซึ่งมีแข็งอยู่ที่ 9 โมห์ส โดยเป็นแร่ที่มีความแข็งรองจากเพชร ความหนาแน่นสูง และไม่เกิดปฏิกิริยากับกรดหรือสิ่งแวดล้อม มีการใช้ ในเครื่องสีข้าวแบบการขัดสีแบบแนวตั้ง และแนวแกนนอน ในอุตสาหกรรมบดแป้งก็นิยมทำลูกหินขัดด้วยหินกากเพชร

2.หินกากแก้ว หรือ Silicon carbide, SiC เป็นสารที่มีความแข็งสูงเท่ากับ 9 โมห์สหรือประมาณ 2800-3300 HV และความเปาะ มีความคมมันวาวมีขนาดแตกต่างกันนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมขัดสี เช่นกระดาษทรายขัด และหินเจียระไน เป็นต้น

3.ปูนขาว (Calcined magnesite) ที่ใช้ในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว คือ Calcined magnesite เป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของ MgO เป็นหลักและ SiO_2 กับ CaO เล็กน้อยมีลักษณะคล้ายแป้งทนความร้อนสูง ทนไฟนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร และก่อสร้างเมื่อผสมกับสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ จะได้ปูน Oxychloride ที่เหมาะกับการก่อและฉาบ

4.น้ำเกลือ ($MgCl_26H_2O$) หรือเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ เป็นเกลือที่ได้จากน้ำทะเล หรือน้ำเกลือ มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวการใช้งาน เช่นเป็นตัวประสาน ใช้ละลายหิมะ เป็นต้น มีข้อดีคือมีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะน้อยกว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ไม่ระคายเคืองผิวหนังไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อมและไม่ทำปฏิกิริยากับพืชใน

2.5 กระบวนการหล่อลูกหินขัดข้าว

ทำได้โดยนำเพลาล้อหินที่ทำด้วยเหล็กหล่อไปกะเทาะวัสดุหุ้มที่ชำรุดออก และพอกหุ้มใหม่โดยผสมปูนและหินในอัตราส่วน 1ต่อ 5 โดยน้ำหนัก และผสมน้ำเกลือแมกนีเซียคลอไรด์ที่มีดีกรีความเค็มที่ 30 ดีกรี วัดโดยปรอทวัดความเค็ม ผสมทุกอย่างให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำส่วนผสมที่มีความเหนียวปั้นขึ้นรูปได้นี้ ไปพอกหุ้มแกนเหล็กให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว เมื่อแห้งแล้วประมาณ 1 วัน จึงนำมากลึงแต่งผิวและให้ได้ตามขนาดที่ต้องการเมื่อกลึงเสร็จแล้วก็สามารถนำไปใช้งานได้ ถึงอย่างไรก็ดีจากกระบวนการขึ้นรูปลูกหินดังกล่าว มีขั้นตอนที่ต้องใช้ความระมัดระวังคือ การผสมปูนกับน้ำเกลือ ให้ได้ความเหนียว ที่เหมาะสม โดยกระบวนการนี้ใช้ความชำนาญและประสบการณ์ในการผสม

2.6 คุณสมบัติหินขัดข้าวที่ดี หินขัดข้าวที่ได้ดีนั้นต้องมีการหลุดร่วงของหินกากเพชรบ้างเล็กน้อย คือให้หินกากเพชรส่วนที่ถูกขัดสีจนหมดคมแล้วหลุดออกไปบ้าง เพื่อเปลี่ยนให้หินกากเพชรชั้นที่ติดกันขึ้นมาเป็นพื้นผิวของการขัดสีใหม่ ถ้าลูกหินที่ขึ้นรูปแล้วมีความแข็งมากเกินไปจะทำให้ข้าวหัก และถ้าลูกหินมีอ่อนเกินไป หรือคุณภาพไม่ดี จะทำให้เม็ดหินหลุดและมีการสึกหรอย่างรวดเร็วก่อนเวลาอันควร ซึ่งถ้าลูกหินขัดที่หมดสภาพแล้วหรือมีคุณภาพไม่ดีก็จะไม่สามารถนำมาใช้ได้อีก กรรมวิธีการผลิตหินขัดข้าวแบบเดิมหรือการขึ้นรูปด้วยมือนั้นขัดข้าว การควบคุมคุณภาพ ของลูกหิน นั้นทำได้ลำบากหมาย ความว่าจำนวนของหินขัดข้าว ที่เสียหาย จากการผลิตจำนวนมาก (สุขอังคณา ลี, 2547) ดังนั้นทางผู้ประกอบการโรงสีข้าวขนาดใหญ่ต่อมาได้มีการพัฒนา กรรมวิธี การขึ้นรูปวัสดุหินขัดในงานอุตสาหกรรม ต่างๆ โดยเฉพาะ อย่างยิ่งกลุ่ม ซิลิกอนคาร์ไบด์ มีกรรมวิธี ขึ้นรูปได้ 4 แบบ คือ Reaction-

sintered, Hot-pressed, Sintered และ Composite sintered

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการสีข้าว

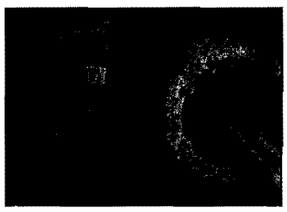
การสีข้าวในที่นี้เพื่อการทดสอบการไม่สมดุลการหมุนของหินขัดข้าวโดยการเพิ่มน้ำหนักจากตะกั่วถ่วงล้อรถยนต์เพื่อให้เกิดการสั่นสะเทือนว่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการแตกหักของข้าวหรือไม่ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของหินขัดข้าวที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไปในชุมชน โดยนำหินขัดข้าวแกนนอนขนาดเล็กที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาเพิ่มน้ำหนัก และใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มาจากแหล่งปลูกเดียวกัน โดยมาจากสหกรณ์การเกษตร อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งได้ผ่านการทำความสะอาดและลดความชื้นโดยการตากแดดพันธุ์ข้าวชนิดนี้ได้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.888-2532 การใช้งานเครื่องสีข้าวขนาดเล็กได้ใช้งานตามสภาพปกติที่ระดับความเร็ว 1,420 รอบต่อนาที โดยมีลำดับการสีข้าว

1) นำหินขัดข้าวที่มีขายตามท้องตลาดมาเตรียมในการเพิ่มน้ำหนักโดยมีการใช้ตะกั่วถ่วงล้อรถยนต์ที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 5 กรัม 10 กรัม 15 กรัม

2) ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็กมาทำความสะอาดภายในด้วยวิธีลมเป่า เพื่อลีฝุ่นที่เกาะบริเวณตะแกรงที่เป็นตัวขัดสีเมล็ดข้าว

3) ทำการปรับระยะระหว่างลูกหินขัดข้าวกับยางขัดข้าวให้มีระยะห่างที่ 1.5 มิลลิเมตร

4) ทำการสีข้าวโดยเริ่มตั้งแต่หินขัดข้าวน้ำหนักปกติ 5, 10 และ 15 กรัม ทำการการสุ่มตัวอย่างข้าวสารที่สีและวัดแรงสั่นสะเทือนของแต่ละลูกหิน การเพิ่มน้ำหนักของลูกหินขัดข้าวเพื่อทำให้เกิดความสั่นสะเทือนตั้งแต่ 5, 10 และ15 กรัม โดยติดข้างเดียวและระยะที่เท่ากัน



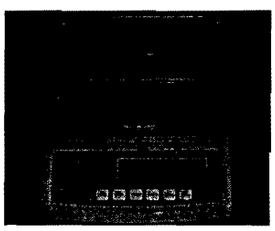
รูปที่ 1 ลูกหินขัดข้าวที่มีการเพิ่มน้ำหนักเพื่อทำให้เกิดการสั่นสะเทือนด้วยตะกั่วถ่วงล้อรถยนต์

4.2 เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย

4.2.1 เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวหัก ทำการแยกข้าวหักที่มีขนาดเล็กจะไม่ตกลงไปในหลุมที่ส่วนหมุนของเครื่องทำให้เมล็ดที่หักร่วงลงมา

รูปที่ 1 เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวหัก

3.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ที่มีทศนิยม 3 ตำแหน่งเพื่อทำการชั่งน้ำหนักของข้าวสารที่หัก และข้าวเต็มเมล็ด



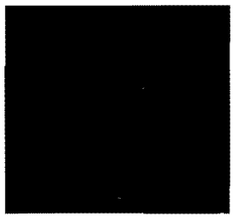
รูปที่ 2 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ยี่ห้อ ACUรุ่น HJ-600H

4.2.3 เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน เพื่อหาอิทธิพลของแรงสั่นสะเทือนต่อการสีข้าว

รูปที่ 3 เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน ยี่ห้อ INSPEX รุ่น IPX-602

3.3 อุปกรณ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กลูกหินแกนนอน รุ่นตราเสือ บริษัทอุบลกรุงไทยกลการ

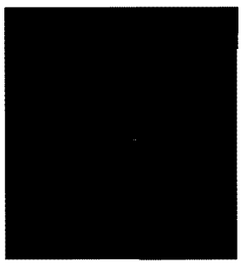


รูปที่ 4 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแกนนอน

3.3.2 ลูกหินขัดข้าวที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด มีขนาด 12 นิ้ว

รูปที่ 5 ลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.3 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธ์ข้าวในการทดสอบกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก



รูปที่ 6 ข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ของสหกรณ์การเกษตรวารินชำราบ จำกัด สถานที่ปลูก ตำบลคูเมือง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

3.4 การหาอิทธิพลของการสั่นสะเทือนและการแตกหัก

1. ทำการตั้งสมมุติฐานของการสั่นสะเทือนกับการส่งผลถึงการแตกหักของข้าวสาร โดยสมมุติฐานว่าการสั่นสะเทือนจากการเพิ่มน้ำหนักของลูกหินขัดขาวไม่มีผลต่อการแตกหักของข้าวสาร

H0: $\mu 1=\mu 2$

แต่ถ้าการสั่นสะเทือนมีผลต่อการแตกหักให้ทำการปฏิเสธ และยอมรับสมมุติฐานรอง ที่ว่าการแตกหักจากการเพิ่มมีผลที่แตกต่างกันกับไม่มีการเพิ่มน้ำหนักเพื่อทำให้เกิดการสั่นสะเทือน

HA: $\mu 1\neq\mu 2$

เมื่อ $\mu 1$=ค่าเฉลี่ยของการแตกหักของข้าวสารจากลูกหินขัดข้าวที่ไม่มีการเพิ่มน้ำหนักเพื่อทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือน $\mu 2$= ค่าเฉลี่ยของการแตกหักของข้าวสารจากลูกหินขัดข้าวที่มีการเพิ่มน้ำหนักเพื่อทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือน

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{\sum x_1^2+\sum x_2^2}{n_1+n_2-2}\left(\frac{n_1+n_2}{n_1 n_2}\right)}} \qquad (1)$$

$$S^2d = \frac{\sum d^2-(\sum d)^2/n}{n-1} \qquad (2)$$

$$S\bar{d} = \sqrt{(S^2d)/n} \quad (3)$$

$$t = \bar{d} / S\bar{d} \quad (4)$$

เมื่อ S^2d = ค่าความแปรปรวน

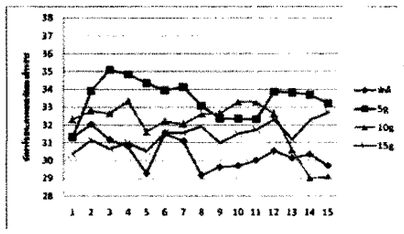
d = ผลต่างระหว่างตัวอย่าง

n = จำนวนตัวอย่าง

$S\bar{d}$ = Standard error of difference

t = ค่า t-test จากการคำนวณ

4. ผลของการวิจัย



รูปที่ 7 แผนภูมิอัตราร้อยละการแตกหักของข้าวสาร

การวิเคราะห์ค่าที่ได้จากแผนภูมิช่วงแรกของการสุ่มข้าวสารที่ได้ออกมาจะมีการแตกหักที่สูงอาจจะเนื่องมาจากการที่ข้าวไหลลงไปในห้องขัดสีชุดแรกที่ยังไม่มีข้าวในห้องขัดสีจะทำให้เกิดการกระแทกของเมล็ดข้าวก็เป็นได้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบอัตราการแตกหักและแรงสั่นสะเทือนกับลูกหินขัดข้าวที่ปกติ

น้ำหนัก (กรัม)	อัตราแตกหักที่เพิ่มขึ้น(ร้อยละ)	การสั่นเทือนที่เพิ่มขึ้น(ร้อยละ)
5	10.69	6.04
10	4.94	4.02
15	3.51	4.69

เป็นค่าที่เป็นอัตราร้อยละการแตกหักของข้าวที่สีในเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างลูกหินที่มีความสมดุลในการหมุนและลูกหินขัดข้าวที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนผลที่ได้ออกมาการเพิ่มน้ำหนักมีอัตราการแตกหักที่สูงกว่าลูกหินธรรมดาที่อัตราร้อยละ 10.69, 4.94 และ 3.51 และมีค่าเฉลี่ยแรงสั่นสะเทือนที่ 6.04, 4.02 และ 4.69

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองสีข้าว พบว่า การเพิ่มน้ำหนักเพื่อให้เกิดแรงสั่นเทือนในลูกหินมีค่าเฉลี่ยของการแตกหักเพิ่มขึ้น การสั่นสะเทือนในเครื่องสีข้าวขนาดเล็กก็มีหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน แต่ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการสั่นที่เกิดขึ้นกับการหมุนของลูกหินขัดข้าว ส่วนแตกหักของข้าวสารนั้นระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับลูกยางมีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการแตกหักของข้าว เนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุลทำให้ลูกหินขัดข้าวเกิดการหมุนที่มีแรงหนีศูนย์กลาง ทำให้ระยะห่างระหว่างลูกหินกับยางขัดข้าวไม่เท่ากันทั้งแนวของการขัดสีดังนั้นส่วนที่มีระยะที่เหมาะสมก็สามารถทำการสีข้าวได้ดี ส่วนที่มีระยะห่างที่มากก็ไม่สามารถกะเทาะเปลือกและขัดสีได้ และส่วนที่มีระยะห่างที่แคบจะทำให้การขัดสีที่มากจนทำให้เกิดความร้อนสะสมในเมล็ดข้าวจนทำให้เกิดการแตกหักจำนวนที่มาก และการลดการสั่นสะเทือนในการะบวนการสีข้าวนั้นก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ควรแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรและลดของเสียที่เกิดจากการีสีข้าว การวิจัยในครั้งต่อไปนั้นควรเป็นการหาวิธีการปรับสมดุลของหินของข้าวเพื่อลดปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี บุคลากรที่เกี่ยวข้องที่ได้นำทฤษฎีและข้อมูลมาใช้ในการอ้างอิง จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. บรรณานุกรม

กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545. คุณภาพข้าวทางกายภาพ,น.1-7. คุณภาพข้าวและการตรวจสอบ

ข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร และสำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะกุล, 2534 คุณภาพเมล็ดข้าว ทางกายภาพ และการแปรสภาพเมล็ด. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.

จรัญ มงคลวัย, 2548. การศึกษาผิวหินขัดที่มีผลต่อการขัดขาวข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตรบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธิติกานต์ บุญแข็ง, 2549. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึก หรอของลูกหินขัดข้าว ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

บัณฑิต สุริยวงศ์พงศา 2547 วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, 2542. การศึกษาปริมาณการแตกหัก ของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าว. เอกสารประกอบการสัมมนารายวิชา สัมมนา 2. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

2544. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขัดขาวข้าวด้วยเครื่องขัดขาวแบบกรวยแกนตั้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2535. การจัดการโรงสีข้าว. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตรศาสตร์บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.2538.

การศึกษาสภาวะการขัดสีที่มีผลกระทบต่อการขัดขาวข้าว. ในรายงานการวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2538. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

2541. อิทธิพลของความเร็วรอบลูกหินขัดขาวที่มีผลต่อคุณภาพการขัดขาว. ในเอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. (หน้า 148-157).เชียงใหม่: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพายัพ.

2542. อิทธิพลของจำนวนครั้งการขัดขาวต่อคุณภาพการขัดขาว. ในเอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลขอนแก่น ครั้งที่ 16. (หน้า 198-209). : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น.

สาทิป รัตนภาสกร, 2529. การพอกลูกหินกะเทาะและขัดข้าว. วารสารวิศวกรรมเกษตร, มกราคม ถึง มีนาคม 2529

สุขอังคณา ลี, 2547.การศึกษาสมบัติทางกายภาพทางและกลของวัสดุผสมที่ใช้ทำลูกหินขัดข้าวในโรงสีขนาดเล็ก.รายงานการวิจัย.สำนักคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติประจำปีงบประมาณ 2547

Efferson, Norman J. and Klaus Singelmann. 1969. An Appraisal of the rice drying, Storing, Processing and Marketing in the Philippines. A Technical Report..

Harry Th., L. van Ruiten, 1981. Rice Milling. In Southeast Asia cooperative post-harvest research & development. 1981. Grain post-harvest processing technology. (pp. 148-235). Southeast Asia cooperative post-harvest research & development.

Ruben E. et al.,1978 ; Milling Parameters for Maximum Milling Yield and Quality of Milled Rice .Grain Post-Harvest Technology. (pp. 27-100).

Dante de Padua, 1998. Rice Post-harvest e-mail conference draft summary – V.1.2 (online). Available URL:http//www.fao.org

IENET 2011

การปรับปรุงประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวด้วยวิธีการหล่อเหวี่ยงเพื่อลดการแตกหักของข้าวสารในการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

Performance improvement the rice polishing cylinder with Spun-Cast methods to reduce broken rice in Small rice mill

รังสรรค์ ไชยเชษฐ์[1]* ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี[2] สุรเจษฐ์ ก้อนจันทร์[3] และปรุฬห์ มะยะเฉี่ยว[4]
[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
[4]ภาควิชาเครื่องกล-อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส รหัสไปรษณีย์ 96000
E-mail: rungsan3692@gmail.com*

บทคัดย่อ

ข้าวนับว่าเป็นพืชที่สำคัญของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากคนไทยนิยมรับประทานข้าวเป็นหลัก แต่กว่าจะได้มาเป็นข้าวสารที่บริโภคได้นั้นต้องผ่านกรรมวิธีหลายขั้นตอนด้วยกัน การแปรรูปข้าวที่มีปัจจุบันนั้นมีปัญหาอยู่หลายอย่างด้วยกันแต่ที่สำคัญที่สุดนั้นคือการแตกหักของข้าวสาร ซึ่งการแตกหักของข้าวนั้นได้ทำให้ราคาของข้าวต่ำเป็นอย่างมากเนื่องจากคนทั่วไปไม่นิยมรับประทานข้าวหัก ทางผู้วิจัยได้ทำการหาแนวทางลดการแตกหักของข้าวสาร โดยพิจารณาส่วนของลูกหินขัดข้าว เนื่องจากการสีข้าวในชนบทนั้นยังใช้เครื่องสีข้าวที่ใช้ลูกหินขัดที่หล่อมือ จึงต้องการพัฒนาการหล่อลูกหินจึงนำวิธีการหล่อเหวี่ยงมาประยุกต์ใช้ โดยหลักการการหล่อเหวี่ยงคือให้เนื้อวัสดุของลูกหินขัดข้าวกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ขณะที่เนื้อหินมีการกระจายตัวให้สม่ำเสมอนั้นการหล่อเหวียงจะช่วยในการรีบน้ำออกจากปูนจึงทำให้การหล่อเหวียงนั้นแห้งเร็วขึ้นและลดการเสียหายจากการป่มหินขัดข้าว จึงได้ทำการทดลองหาความเร็วรอบที่เหมาะสมของการหล่อที่ทำให้ลูกหินเหมาะสมกับการสีข้าวมากที่สุด เนื่องมาจากการหล่อเหวี่ยงลูกหินนั้นยังต้องมีการผสมปูนให้เข้ากันดีก่อนที่จะนำเข้าไปในแบบที่เป็นลักษณะท่อถ้าความเร็วต่ำจะทำให้ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและถ้าความเร็วมากไปก็จะทำให้ปูนหลุดออกมา จึงได้กำหนดความเร็วรอบที่ที่เหมาะสมที่สุดคือ 20 รอบต่อนาที ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยของต้นข้าวที่ 81.80 เปอร์เซ็นต์ โดยเพิ่มขึ้นจากการขึ้นรูปแบบเดิมถึง 11.32 เปอร์เซ็นต์ ในการสีข้าวด้วยลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยมือนั้นมีค่าเฉลี่ยของต้นข้าวที่ 72.54 ถ้าเปรียบเทียบให้การสีข้าวจำนวนมากแล้วจะสามารถช่วยลดความสูญเสีย

คำหลัก การหล่อเหวี่ยง, การแตกหัก, เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาของการแปรรูปข้าวหรือการนั้นได้มีส่วนของการทำให้คุณภาพของข้าวลดลงก็คือการเกิดข้าวหักในกระบวนการสีข้าวในปริมาณที่มาก ซึ่งมีผลต่อราคาข้าวสารราคาต่ำ ขายได้ราคาที่ต่ำ สาเหตุของการแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าวนั้นเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การปฏิบัติการเก็บรักษาก่อนการเก็บเกี่ยว ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยว การลดความชื้นข้าว การนวดข้าว และการเก็บรักษาข้าวที่ไม่เหมาะสม [1] และขั้นตอนที่มีการแตกหักมากที่สุดคือกระบวนการ

สีข้าว ซึ่งการสีข้าวในปัจจุบันมีอยู่ 2 ลักษณะคือ การสีข้าวเชิงพาณิชย์ และการสีข้าวเพื่อบริโภคในชุมชน ปัญหาข้าวหักนี้เป็นปัญหาหลักของการสีข้าวเพื่อบริโภคในชุมชนเนื่องจากการสีข้าวเพื่อบริโภคนั้นยังไม่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัย ดังนั้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาชุมชนด้วยความยั่งยืนจึงได้หาแนวทางที่จะพัฒนาลูกหินที่ทางโรงสีข้าวชุมชนใช้งานให้มีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น เพื่อช่วยเหลือเกษตรกรอีกทางก็เป็นได้

กระบวนการการสีข้าวนั้นมีหลายขั้นตอน ส่วนที่ทำให้เกิดการแตกหัก นั้นเกิดจากกระบวนการสีข้าว ในขั้นตอนการกะเทาะเปลือกและขั้นตอนการขัดขาว ซึ่งได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโรงสีข้าวในเขตจังหวัดขอนแก่น ซึ่งได้ทำการสีข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า มีการแตกหักของเมล็ดข้าวที่ขั้นตอนการขัดขาวมีการแตกหักอัตราร้อยละ 25.34 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงเมื่อเปรียบเทียบจากการสีข้าวปริมาณมาก [5] การแตกหักจากการขัดขาวนั้น เกิดจากลูกหินขัดข้าวได้ทำการขัดเอารำข้าวออกจากเมล็ดข้าว ได้ทำให้เกิดความร้อนในเมล็ดและเกิดการแตกหักของข้าว ดังนั้นลูกหินขัดข้าวมีส่วนสำคัญในการแตกหักของข้าวเป็นอย่างยิ่ง โดยมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปของหินขัดข้าว ปัจจุบันมีการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวจะทำขึ้นรูปด้วยมือ การขึ้นรูปด้วยมือนั้น ได้ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอกันในส่วนเนื้อของหินขัดข้าว การไม่สม่ำเสมอกันของผิวหินขัดข้าวนั้นได้ส่งผลต่อการขัดสีและการแตกหักและความละเอียดของวัสดุหินขัดส่งผลให้การแตกหัก ลดลง [2]

ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าเพื่อลดการแตกหักของข้าวจากการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวเพื่อให้เนื้อของหินขัดข้าวมีความสม่ำเสมอกัน แต่ปัญหาของการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว คือเนื้อวัสดุที่นำมาทำเป็นลูกหินขัดข้าวเป็นวัสดุเนื้อผสม และประสานกันด้วยปูนโรงสีกับน้ำเกลือที่มีความเค็มที่ 30 ดีกรี แล้วค่อยมาพอกบนแกนเหล็ก [3] การพอกลูกหินขัดข้าวจะทำการพอกโดยตั้งแกนเหล็กขึ้นในแนวดึงและเริ่มจากส่วนล่างก่อนการทำเช่นนี้จึงทำให้เนื้อหินขัดข้าวมีการแห้งตัวที่ไม่เท่ากันและจึงทำให้เกิดการไม่สม่ำเสมอกัน และการทำงานของหินขัดข้าวจะมีลักษณะการทำงานเป็นคมตัดอิสระ คือจะมีการหลุดร่วงของหินขัดข้าวเพื่อทำให้เกิดคมตัดใหม่ ความไม่สม่ำเสมอของเนื้อหินนั้นได้ทำให้การหลุดร่วงของหินขัดข้าวนั้นเกิดขึ้นอย่างไม่เหมาะสมจึงทำให้เกิดการแตกหัก หินขัดข้าวที่ได้ดีนั้นต้องมีการหลุดร่วงของหินกากเพชรบ้างเล็กน้อย เพื่อเปลี่ยนให้หินกากเพชรชั้นที่ติดกันขึ้นมาเป็นพื้นผิวของการขัดสีใหม่ ถ้าลูกหินที่ขึ้นรูปแล้วมีความแข็งมากเกินไปจะทำให้ข้าวหัก และถ้าลูกหินมีอ่อนเกินไป หรือคุณภาพไม่ดีจะทำให้เม็ดหินหลุดและมีการสึกหรอย่างรวดเร็วก่อนเวลาอันควร ซึ่งทำให้ความสิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ และปัจจุบันลูกหินขัดข้าวที่หมดสภาพแล้วนั้นไม่สามารถนำมาใช้ได้อีก และกรรมวิธีการผลิตหินขัดข้าวแบบเดิมนั้น การควบคุมคุณภาพของลูกหินนั้นทำได้ลำบาก และจำนวนของหินขัดข้าวที่เสียหายจากการผลิตจำนวนมาก [4] ทางผู้วิจัยและผู้ประกอบธุรกิจรับขึ้นรูปหินขัดข้าวได้หาแนวทางขึ้นรูปหินขัดข้าววิธีการใหม่ เพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของเนื้อหินขัดข้าวและลดของเสียที่เกิดจากการขึ้นรูปแบบเดิม วิธีการดังกล่าวคือวิธีการหล่อด้วยการเหวี่ยงเพื่อทำให้เนื้อวัสดุเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ จึงได้มีการวิจัยถึงลักษณะของการหล่อเหวี่ยงลูกหินขัดข้าวและความเร็วของการหล่อที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวแกนนอนขนาดเล็ก

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว

สำหรับการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวในประเทศฟิลิปปินส์นั้นได้มีการส่วนผสมใช้ Emery เบอร์ 16 ที่ 100 ส่วนโดยน้ำหนักผสมกับปูนแมกนีไซต์ 20 ส่วน และน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ 30 ดีกรี และบางท้องถิ่นใช้ Emery ผสมกันระหว่างเบอร์ 16 และเบอร์ 18 อย่างละ 50 ส่วนในการพอกหินสำหรับเครื่องขัดขาวกรวยแกนตั้ง [6] สำหรับการพอกหินในประเทศไทยที่ใช้กันทั่วไปใช้หินกากเพชรเบอร์ 16 จำนวน1 ส่วน หินกากเพชรเบอร์ 18 จำนวน 1-2 ส่วน ปูนซีเมนต์ขาว 1 ส่วน ต่อหินกากเพชร 6.3-6.5 ส่วน และน้ำเกลือ 29-30 ดีกรี ตามความชำนาญ

ของผู้ใช้ และไม่มีส่วนการเคลือบผิวหินขัดสำหรับการผลิตลูกหินขัดข้าวแกนนอนในชนบทของประเทศไทย

2.2 หลักการสีข้าว การสีข้าวจะมีหลักการอยู่ 2 แบบคือ

การสีข้าวแบบใช้แรงเสียดสี และการสีข้าวแบบใช้การขัดสี ส่วนกระบวนการในการสีก็หลายรูปแบบแตกต่างกันไปตามท้องที่ต่างๆ โดยเครื่องสีข้าวมีอยู่ 4 แบบใหญ่ๆ คือ แบบหินโคนแกนตั้งและลูกยาง แบบขัดสีลูกหินกากเพชรทรงกระบอกแบบการใช้การเสียดสีของแกนเหล็กเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท Schule ประเทศเยอรมัน แบบเครื่องขัดที่ใช้หรือไม่ใช้ไอน้ำ เป็นเครื่องสีข้าวที่ใช้ไอน้ำในการขัดเงาเมล็ดข้าวร่วมด้วย แต่ในตามชนบทของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นเครื่องสีข้าวแบบขัดสีโดยลูกหินกากเพชรทรงกระบอก

2.3 กรรมวิธีการผลิตและการสีข้าว เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกหักของข้าวมีขั้นตอนนี้

1. ขั้นตอนการทำความสะอาด(Cleaning) หรือขั้นข้าวเปลือก ข้าวเปลือกจะถูกส่งเข้าอุปกรณ์ทำความสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออก เช่น แกลบ ข้าวลีบ เศษฟาง ดิน หิน และสิ่งที่เจือปนอื่นๆ ข้าวเปลือกที่สะอาดแล้วจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการสีต่อไป

2. ขั้นตอนการสีข้าว หรือขั้นข้าวกล้องขั้นตอนนี้ข้าวเปลือกที่สะอาดแล้วจะถูกส่งเข้าอุปกรณ์กะเทาะเปลือก สิ่งที่ได้ออกมาคือ ข้าวกล้องและแกลบ แกลบถูกดักแยก โดยอุปกรณ์คัดแยก ส่วนข้าวกล้องจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการขัดขาวต่อไป อุปกรณ์ที่ใช้กะเทาะเปลือกหรือเครื่องสีข้าว มี 2 ชนิด คือ เครื่องสีข้าวแบบแผ่นกลม หรือโม่หินและเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้ง

3. ขั้นตอนการขัดขาว หรือขั้นข้าวสาร ข้าวกล้อง ที่ได้จากการกะเทาะเปลือกมักมีชั้นของรำข้าวเคลือบอยู่เมื่อนำเข้าอุปกรณ์ขัดขาว ส่วนนี้จะถูกขัดออกเป็นรำทำให้ได้ข้าวสารที่ขาวน่ารับประทาน อุปกรณ์ขัดขาวมี 2 ประเภท คือ เครื่องขัดขาวแบบกรงกรวยวางแนวตั้งและเครื่องขัดขาวแบบแนวนอน

4. ขั้นตอนการแยกเมล็ดข้าว หรือขั้นทำอัตราร้อยละข้าวสารที่ได้จากการสี และขัดขาวแล้วนั้นมีทั้งข้าวเต็มเม็ด ข้าวหัก และปลายข้าว ดังนั้นจึงต้องนำไปคัดแยกโดยอุปกรณ์คัดแยกเพื่อแยกส่วนเหล่านี้ออกจากกัน อุปกรณ์คัดแยกข้าวออกมาเป็น ต้นข้าวหรือข้าวเต็มเม็ด ข้าวหัก และปลายข้าว

จะเห็นได้ว่าส่วนของการขัดขาวหรือขั้นข้าวสารการขัดชั้นรำนั้นได้ทำให้เป็นขาวขาวแล้วยังได้ทำให้เกิดความร้อนในกระบวนการนี้ด้วย ความร้อนในกระบวนการนี้ได้ทำให้เกิดร้อยร้าวในเมล็ดข้าวและเกิดการแตกหักในเวลาต่อมา

2.4 วิธีการขึ้นรูปหินขัดข้าวและสีข้าว

การขึ้นรูปหินขัดข้าวจะมีขั้นตอนอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของการผสมวัสดุที่นำมาทำเป็นหินขัดข้าวให้เข้ากันดีก่อน แล้วจึงนำส่วนผสมที่มีลักษณะคล้ายปูนซีเมนต์มาเข้าในเครื่องที่สามารถหมุนให้เนื้อวัสดุเข้ากันได้ เช่นเดียวกับการขึ้นรูปท่อที่หล่อด้วยซีเมนต์ เพื่อให้เนื้อหินสม่ำเสมอกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหินขัดข้าว โดยใช้ขนาดเดียวกันกับลูกหินขัดข้าวแกนนอนขนาดเล็กที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและได้มีการใช้งานอยู่ทั่วไปในชุมชน

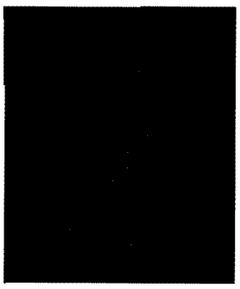
3. วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองด้วยโปรแกรม MinitabR.14 เพื่อออกแบบการหล่อด้วยความเร็วที่ต่างกันเมื่อลูกหินแข็งตัวเสร็จแล้วจะนำมาสีข้าวเพื่อหาค่าความเร็วที่เหมาะสมและ อัตราการแตกหักของข้าว และการทดลองสีข้าวได้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มาจากแหล่งปลูกเดียวกัน โดยมาจากสหกรณ์การเกษตร อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งได้ผ่านการทำความสะอาดและลดความชื้นโดยการตากแดด พันธุ์ข้าวชนิดนี้ได้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.888-2532 การใช้งานเครื่องสีข้าวขนาดเล็กได้ใช้งานตามสภาพปกติที่ระดับความเร็ว 1,420 รอบ

ต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับยางขัดข้าวที่ 1.1 มิลลิเมตรและอัตราการไหลของข้าวอยู่ที่อัตราร้อยละ 50 ของพื้นที่รูเท

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

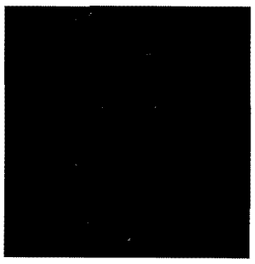
3.3.3 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธ์ข้าวในการทดสอบกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก



รูปที่ 1 ข้าวสายพันธุ์หอมมะลิ 105 ของ สหกรณ์การเกษตรวารินชำราบจำกัด

3.2 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

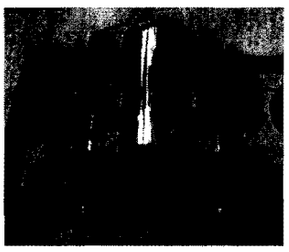
3.1.1 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กลูกหินแกนนอน ตราเสือ บริษัทอุบลกรุงไทยกลการ



รูปที่ 2 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแกนนอน

3.1.2 เครื่องหล่อเหวี่ยงลูกหินขัดข้าว ให้กำลังด้วยมอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์เพื่อปรับความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการหล่อเหวี่ยงลูกหินขัดข้าว

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

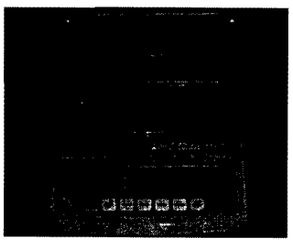


รูปที่ 3 เครื่องหล่อเหวี่ยงลูกหินขัดข้าว

3.1.3 เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวหัก โดยมีหลักการทำงานโดยข้าวหักที่ขนาดเล็กร่วงลงมาโดยไม่ตกลงไปในหลุมที่ส่วนหมุนของเครื่องแยกข้าวหัก

รูปที่ 5 เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวหัก

3.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ที่มีทศนิยม 3 ตำแหน่งเพื่อทำการชั่งน้ำหนักของข้าวสารที่หัก และข้าวเต็มเมล็ด



รูปที่ 4 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ยี่ห้อ ACUรุ่น HJ-

ตารางที่ 1 การทดลองสีข้าวโดยใช้ลูกหินขัดข้าว

ที่ขึ้นรูปด้วยมือ

4.1 ผลจากการออกแบบการทดลอง เมื่อนำหินขัดข้าวที่หล่อด้วยวิธีการหล่อ

ลำดับที่	น้ำหนักข้าวรวม	ข้าวหัก	เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว
1	65.73	18.40	72.01
2	72.94	19.47	73.31
3	54.68	13.19	75.88
4	40.00	11.89	70.28
5	27.44	6.98	74.56
6	40.23	11.80	70.67
7	65.29	19.05	70.82
8	68.76	19.12	72.19
9	74.38	20.13	72.94
10	68.72	18.73	72.52
ค่าเฉลี่ย	-	-	72.54

มือ ในปัจจัยที่ดีที่สุดคือ ขนาดปริมาตรของรูเทที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ระยะห่างที่ 1.1 มิลิเมตร ความเร็วรอบในการสีข้าวที่ 1,420 รอบต่อนาทีโดยใช้ข้าวหอมดอกมะลิ ที่มาจากแหล่งปลูกเดียวกัน และมีความชื้นที่ 14 เปอร์เซ็นต์ได้ผลออกมาดังนี้

จากการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab R.14 ในส่วนของ Box - Benchken ได้ให้ค่าที่ดีที่สุดของการหล่อลูกหินขัดเปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยของลูกหินที่หล่อด้วยมือมีค่าเฉลี่ยที่ 72.54 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวที่หล่อด้วยความเร็วที่ 20 รอบ/นาที มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นที่ 11.32 เปอร์เซ็นต์

5. สรุป

จากการศึกษาถึงการแตกหักของข้าวสารในการสีข้าวที่มีอยู่ในโรงสีข้าวในชุมชนของประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่จะมีคุณภาพของการสีนั้นต่ำกว่าโรงสีข้างเชิงพาณิชย์เป็นอย่างมาก นั้นอาจจะเกิดข้าวในความเร็วรอบการหล่อที่ 20 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกหินกับยางขัดข้าวที่ 1.1 มิลลิเมตร ในความเร็วการสีข้าวที่ 1,420 รอบต่อนาที ผู้วิจัยจึงนำมาทดลองซ้ำ โดยใช้ ความเร็วในการหล่อลูกหินที่ 20 รอบ/นาที และระยะห่างระหว่างยางกับลูกหินที่ 1.1 มิลลิเมตร ที่ความเร็วในการสีข้าวที่ 1420 รอบ/นาที และได้มีผลสอดคล้องกับการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 2 ตารางการทดลองการสีข้าวจากปัจจัยที่ออกแบบ

ลำดับที่	น้ำหนัก	ข้าวหัก	เปอร์เซ็นต์
1	68.75	12.79	81.40
2	63.18	11.68	81.51
3	74.22	13.72	81.51
4	66.76	12.92	80.65
5	68.57	12.76	81.39
6	68.67	12.10	82.38
7	65.29	11.67	82.13
8	68.76	12.05	82.48
9	74.38	13.52	81.82
10	68.72	11.88	82.71
ค่าเฉลี่ย	-	-	81.80

เมื่อนำผลจากการทดลองสีข้าวทั้งสองลูกหินมาเปรียบเทียบกับผลปรากฏออกมาค่าเฉลี่ยของต้นข้าวที่ได้จากการสีข้าวด้วยลูกหินที่หล่อด้วยความเร็วที่ 20 รอบ/นาที มีค่าเฉลี่ยที่ 81.80

มาจากเทคโนโลยีที่ด้อยกว่า ทุนในการปรับปรุงโรงสีที่ที่น้อยกว่าก็ยังเป็นปัญหาของโรงสีข้าวชุมชน แต่การวิจัยนี้เพื่อหาแนวทางที่จะสามารถความสูญเสียจากแตกหักจากการขึ้นรูปหินขัดข้าวโดยการขึ้นรูปแบบหล่อเหวี่ยงสามารถลดการแตกหักของข้าวให้มีผลผลิตที่มากขึ้นที่ 11.32 เปอร์เซ็นต์จากหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยมือ โดยมีค่าเฉลี่ยของต้นข้าวที่ 81.80 เปอร์เซ็นต์จากเดิมลูกหินที่ขึ้นรูปด้วยมือมีค่าเฉลี่ยของต้นข้าวที่ 72.54 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และบุคลากรที่เกี่ยวข้องที่ได้นำทฤษฎีและข้อมูลมาใช้ในการอ้างอิง จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

วารสารภาษาไทย

[1] กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545. คุณภาพข้าวทางกายภาพ,น.1-7. คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตรและสำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม

[2] จรัญ มงคลวัย, 2548. การศึกษาผิวหินขัดที่มีผลต่อการขัดขาวข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[3] สาทิป รัตนภาสกร, 2529. การพอกลูกหินกะเทาะและขัดข้าว. วารสารวิศวกรรมเกษตร, มกราคม ถึง มีนาคม 2529

[4] สุขอังคณา ลี, 2547.การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุผสมที่ใช้ทำลูกหินขัดข้าวในโรงสีขนาดเล็ก.รายงานการวิจัย.สำนักคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2547

ประชุมวิชาการภาษาไทย

[5] ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, 2542. การศึกษาปริมาณการแตกหัก ของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าว. เอกสารประกอบการสัมมนารายวิชาสัมมนา 2. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

English Conference

[6] Dante de Padua, 1998. Rice Post-harvest e-mail conference draft summary – V.1.2 (online). Available URL:http//www.fao.org

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายรังสรรค์ ไชยเชษฐ์
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, พ.ศ.2548-2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ
ประวัติการวิจัย	"อิทธิพลของสมดุลการหมุนของลูกหินขัดข้าวต่อการแตกหักของข้าวสารในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก", 2553 "การปรับปรุงประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวด้วยวิธีการหล่อเหวี่ยงเพื่อลดการแตกหักของข้าวสารในการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก", 2554
ทุนการวิจัย	ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์บางส่วน ประจำปีการศึกษา 2552 จากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2553-ปัจจุบัน ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	ช่างเทคนิค ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี โทรศัพท์ 089-2748847