ผลความแกร่งของเมล็ดข้าวสารต่อคุณภาพการสี

พลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๗
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

The Mechanical Strength of White Rice Kernel Related to Milling Quality

PONLAKRIT KUMKLAM

This Research is Funded by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon,Fiscal Year 2014

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) ผลความแกร่งของเมล็ดข้าวสารต่อคุณภาพการสี

(ภาษาอังกฤษ) The Mechanical Strength of White Rice Kernel Related to Milling Quality

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยประจำปี 2557

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

หัวหน้าโครงการวิจัย นายพลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ

บทคัดย่อ

กระบวนการขัดสีข้าวเปลือกเพื่อให้ได้ปริมาณข้าวสารที่สูงสุดขึ้นกับปัจจัยหลายชนิด ความแกร่งของเมล็ดเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณข้าวสารที่ได้หลังการขัดสี รายงานการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า คุณภาพการสีวัดได้จากปริมาณข้าวสารที่ได้และความแข็งของเมล็ดข้าวเปลือกมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับปริมาณข้าวสารหลังการขัดสี โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการทดสอบความแกร่งเมล็ดข้าวสาร ด้วยวิธีการทดสอบแรงดัดโค้งและนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความแกร่งกับปริมาณข้าวสารที่ได้จากการขัดสี พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยพันธุ์ ปทุมธานี1 กข41 กข31 และกข49 ผลการทดลองพบว่า ปริมาณข้าวกล้องและข้าวสารมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงค่า สัมประสิทธิ์การถดถอยเท่ากับ 0.81 ปริมาณข้าวกล้องมากว่าข้าวสาร 20% โดยน้ำหนัก ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของความแกร่งกับปริมาณข้าวสารเท่ากับ 0.16 แสดงถึงความสัมพันธ์ที่น้อยมาก

Title The Mechanical Strength of White Rice Kernel Related to Milling Quality

Fiscal Year 2014

Period of research 1 Year

Head of Project Mr. Ponlakrit Kumklam

Abstract

The processes of rough rice milling for increase head rice yield are depending on several factors. The paddy rigidities are the one of these is effect to head rice yield. In the past, research papers were showed that the qualities of milling were measuring from head rice yield and rigidities of rough rice were rerated to head rice yields. In this research, aim to test the rigidities of the white rice with the bending test and showing the relation between white rice rigidities and head rice yield. The PTT1, RD41, RD31, and RD49 rice varieties were used in the experiment. The result showed that the high relation between the brown rice yield and head rice yield with determination coefficient was 0.81and the brown rice yield was heavy weight more than the head rice yield about 20%. The determination coefficient between the white rice rigidities and head rice yield was 0.16 showed that the less relation.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์และดำเนินงานจนสำเร็จ โดยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย คณะวิจัยขอแสดงความขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับทำการวิจัย การวิจัยนี้ครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กรรมวิธีการสีข้าว	3
2.2 คุณภาพการสีข้าว	5
2.3 ความแกร่งเมล็ดข้าวกับคุณภาพการสี	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	10
3.1 การทดสอบคุณภาพการสี	10
3.2 การทดสอบความแกร่งเมล็ดข้าวสาร	12
บทที่ 4 ผลการทดลอง	15
4.1 คุณภาพการสี	15
4.2 ความสัมพันธ์ของความแกร่งเมล็ดข้าวกับปริมาณข้าวสาร	15
4.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวกล้องกับปริมาณข้าวสาร	18
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	20
5.1 สรุปผลการวิจัย	20
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	20

5.3 ข้อเสนอแนะ 20

บรรณานุกรม 21

ประวัติผู้วิจัย 23

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงส่วนข้าวหักและขนาดข้าวหัก 3
ภาพที่ 2.2 โมดูลัสความแกร่ง (ก) วัสดุเปราะ (ข) วัสดุเหนียว 6
ภาพที่ 2.3 การวัดความแกร่งของเมล็ดข้าว 6
ภาพที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนรูปของเมล็ดข้าว 7
ภาพที่ 2.5 แสดงการวัดค่าความยืดหยุ่นของเมล็ดข้าว 7
ภาพที่ 2.6 การทดสอบความแกร่งเมล็ดข้าวด้วยการออกแรงกด 3 จุด 8
ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการแตกของข้าวจากการขัดสี กับความชื้นสัมพัทธ์ 9
ภาพที่ 3.1 เครื่องชั่งดิจิตอล 10
ภาพที่ 3.2 เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดข้าว 11
ภาพที่ 3.3 เครื่องขัดขาวเมล็ดข้าวกล้อง 11
ภาพที่ 3.4 เครื่องแยกข้าวหัก 11
ภาพที่ 3.5 ฐานรองเมล็ดข้าวและหัวทดสอบ 12
ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดความแกร่งเมล็ดข้าว 13
ภาพที่ 3.7 ผังงานแสดงขั้นตอนการทดลอง 14
ภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 16
ภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของข้าวพันธุ์ กข41 16
ภาพที่ 4.3 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของข้าวพันธุ์ กข31 17
ภาพที่ 4.4 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของข้าวพันธุ์ กข49 17
ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณข้าวสารกับแรงดัดโค้งสูงสุด 18
ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณข้าวกล้องกับปริมาณข้าวสาร 19

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 คุณภาพการสีข้าวเปลือก 15

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีความเข้มแข็งด้านการเกษตร โดยเฉพาะการปลูกข้าว ทั้งนี้เนื่องจาก ความพร้อมในเชิงองค์ประกอบทางชีวภาพ และกายภาพ ที่เกื้อหนุนส่งผลให้เกิดความได้เปรียบสูงด้านผลิตผลจากข้าวทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ จึงสามารถส่งออกจนเป็นรายได้หลักของประเทศ และเป็นอันดับต้นๆ ของโลก อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตเมล็ดข้าวเพื่อการค้า มีเมล็ดข้าวจำนวนมากเกิดการแตกหัก หรือเกิดเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ และการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวที่ส่งผลต่อคุณภาพการสี ยังมีน้อยมาก โดยเฉพาะปัจจัยอันเกี่ยวเนื่องกับความแกร่งของเมล็ดข้าว ซึ่งสามารถบอกได้ด้วยปริมาณเชิง กลศาสตร์ในทางฟิสิกส์ ตัวอย่างเช่น แรง ความเค้น และ ความเครียด ที่มีต่อเมล็ดข้าว ทั้งที่ปริมาณเหล่านี้ ไม่เพียงแต่เป็นปริมาณที่สามารถบอกคุณสมบัติ และคุณภาพของเมล็ดข้าวได้เท่านั้น แต่การศึกษาวิจัยปริมาณเหล่านี้ ยังสามารถช่วยพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยวได้อีกด้วย

โครงการวิจัยนี้ มุ่งเน้นการทดสอบแรงดัดโค้ง (Bending Test) ของเมล็ดข้าวสารที่ผ่านกระบวนการขัดสีแล้ว ค่าความแกร่งของเมล็ดข้าวเปลือกได้จากการวัดแรงดัดโค้งสูงสุด (Bending Force) ที่ทำให้เมล็ดเกิดการแตกหัก และนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความแกร่งของเมล็ดข้าวสารกับปริมาณข้าวสาร (Head Rice Yield) หลังการขัดสี โดยมีสมมติฐานที่ว่า ปริมาณข้าวสาร ที่ได้จากการขัดสี มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกับความแกร่งของเมล็ดข้าว (Siebenmorgen and Qin, 2005) ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยจะเป็นส่วนหนึ่ง ในการพัฒนากระบวนการผลิตข้าว เพื่อลดการแตกหัก และเป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมในการเกษตรต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบความแกร่งของเมล็ดข้าวสาร โดยใช้หลักการทดสอบการดัดโค้ง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแกร่งเฉลี่ยของเมล็ดข้าวสารกับปริมาณข้าวสารหลังการขัดสี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การทดสอบการดัดโค้งของเมล็ดข้าวสาร จะเป็นแบบใช้แรงกดกระทำที่กึ่งกลางเมล็ด โดยทดสอบทีละ 1 เมล็ด ในการศึกษาจะใช้พันธุ์ข้าวจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ประกอบด้วย ปทุมธานี1 กข41 กข31 และ กข49 ที่ความชื้นไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของความแกร่งเมล็ดข้าวสารกับ ปริมาณข้าวสารหลังการขัดสี จะเป็นข้อมูลในการพัฒนากระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ลดการแตกหักของเมล็ดข้าวหลังการขัดสี

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

ความแกร่ง (Rigidity) หมายถึง ค่าความแข็งของเมล็ดข้าวสารที่ได้จากการทดสอบแรงดัดโค้ง

แรงดัดโค้ง (Bending Force) หมายถึง ค่าแรงกระทำบริเวณกึ่งกลางเมล็ดข้าวสารที่วางอยู่บนฐานรองและทำให้เมล็ดเกิดการแตกหัก

ข้าวขัด (Mill Rice) หมายถึง เมล็ดข้าวที่ได้รับการขัดขาว และยังไม่ผ่านกระบวนการแยกข้าวหัก

ข้าวสาร **(Head Rice)** หมายถึง เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวมากกว่าร้อยละ 80 ของเมล็ด

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรรมวิธีการสีข้าว

นิยาม

1) ข้าวเปลือก (Paddy) คือ ข้าวที่ยังไม่ผ่านการกะเทาะเปลือก

2) ต้นข้าว (Head rice) คือ เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวมากกว่าข้าวหัก แต่ไม่ถึงความยาวของข้าวเต็มเมล็ด และให้รวมถึงเมล็ดแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ตั้งแต่ร้อยละ 80 ของเมล็ด

3) ข้าวหัก (Broken rice) คือ ข้าวเมล็ดหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้ออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด

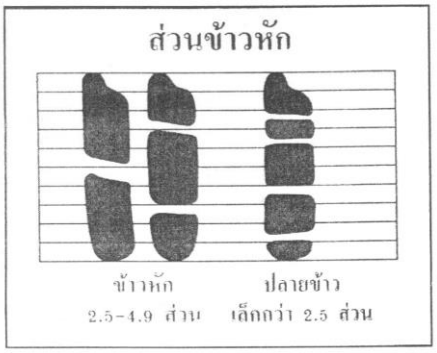
4) ข้าวกล้อง (Brown rice, Husked rice, Cargo rice) คือ ข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกเท่านั้น

5) ข้าวขาว (White rice) คือข้าวที่ได้จากการนำข้าวกล้องไปขัดเอารำออกแล้ว

6) ระดับการสี (Milling degree) คือ ระดับของการขัดสีข้าว

7) ข้าวเต็มเมล็ด (Whole kernel) คือ เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ดไม่มีส่วนใดหัก และให้รวมถึงเมล็ดข้าวตั้งแต่ 9 ส่วนขึ้นไป

(a)



ภาพที่ 2.1 แสดงส่วนข้าวหักและขนาดข้าวหัก

การสีข้าว

การสีข้าว เป็นการแปรสภาพข้าวเปลือก ด้วยการบดให้เปลือกแตกออกเหลือแต่ข้าวสาร ในการที่จะเปลี่ยนข้าวเปลือกเป็นข้าวสารสำหรับหุงรับประทานนั้น เริ่มจากเมื่อเก็บเกี่ยว เกษตรกรจะทำการนวดข้าว ซึ่งหมายถึง การกะเทาะเอาเมล็ดข้าวออกจากรวง แล้วทำความสะอาดเพื่อแยกเมล็ดข้าวลีบและเศษฟางข้าวออกไปเหลือไว้เฉพาะเมล็ดข้าวเปลือกที่ต้องการเท่านั้น เมล็ดที่เกี่ยวมาใหม่ๆ จะมีความชื้นที่ 20-25% จึงต้องนำมาตากให้แห้งเป็นเวลา 5-7 วัน เมล็ดข้าวเปลือกจึงมีความชื้นลดลงเหลือ 13-15% ซึ่งเป็นความชื้นที่เมาะสมในการสีข้าวและการเก็บรักษา

ขั้นตอนการสีข้าวมีกรรมวิธีต่างๆ ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การทำความสะอาดข้าวเปลือก

เป็นขั้นตอนการแยกเศษฟาง เศษผง ข้าวลีบ ฝุ่น และสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่ติดมากับข้าวเปลือกในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว การทำความสะอาดนี้มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น 1. การสาดข้าว โดยใช้พลั่วสาดเมล็ดข้าวขึ้นไปในอากาศ เพื่อให้สิ่งเจือปนที่เบาลอยออกไป ส่วนเมล็ดข้าวเปลือกที่ดีและหนักก็จะตกมารวมกันที่พื้น 2. การใช้กระด้งฝัด หากข้าวมีปริมาณน้อย สามารถใช้กระด้งไม้ไผ่แยกเมล็ดข้าวเปลือกดีและสิ่งเจือปนให้อยู่คนละด้านของกระด้งและฝัดเอาสิ่งเจือปนทิ้ง และ 3. การใช้เครื่องสีฝัด เป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการให้ลมพัดเอาสิ่งเจือปนออกไป วิธีการนี้เป็นวิธีทำความสะอาดเมล็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง

1. การกะเทาะข้าวเปลือก

เป็นกรรมวิธีแยกเปลือกออกจากเมล็ดข้าวกล้อง ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ในโรงสีเล็กส่วนมากใช้แบบลูกยาง 2 ลูก บางชนิดก็ใช้แบบเหวี่ยงข้าวเปลือกกระทบผนัง

2. การแยกข้าว

เป็นกรรมวิธีแยกข้าวเปลือกที่ปนอยู่กับข้าวกล้อง ข้าวเปลือกจะถูกส่งกลับไปเข้าเครื่องกะเทาะใหม่ และข้าวกล้องจะถูกแยกไปเข้าเครื่องขัดข้าว ในโรงสีขนาดใหญ่จะมีเครื่องแยกข้าง แต่ในโรงสีขนาดเล็ก กรรมวิธีนี้อาจไม่ต้องใช้ก็ได้

3. การขัดข้าว

เป็นกรรมวิธีการขัดเอารำออกจากเมล็ดข้าวเพื่อให้ข้าวขาว เครื่องขัดขาว มี 2 แบบคือ แบบหินขัด และแบบแรงเสียดทาน เครื่องขัดขาวของโรงสีข้าวแบบดั้งเดิมเป็นแบบหินขัด ลักษณะของหินขัดประกอบด้วย โลหะรูปกรวยตัดเคลือบด้วยหินกากเพชร กรวยจะหมุนอยู่รอบแกนเหล็กตามแนวดิ่ง ล้อมรอบด้วยตะแกรงที่มีแท่งยางติดอยู่ เมื่อข้าวกล้องผ่านเข้ามากรวยที่หมุนด้วยอัตราเร็วที่เหมาะสม จะทำให้ข้าวเกิดการหมุนและขัดสีกันเอง รวมทั้งการขัดสีกับตะแกรงด้วย ทำให้รำหลุดออกจากเมล็ดข้าว

4. การแยกข้าวหัก

เป็นกรรมวิธีการแยกข้าวหักออกจากข้าวสารรวมที่สีและขัดมาแล้วให้ได้เป็นข้าวต้น ข้าวหักใหญ่ ข้าวหัก และปลายข้าว เครื่องแยกขนาดเมล็ดข้าวประกอบด้วย ตะแกรง แบบต่างๆ ทำงานร่วมกัน

2.2 คุณภาพการสีข้าว

อัตราการสีข้าว (Milling recovery) หรือ อัตราการแปรสภาพข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร สามารถหาได้จาก ร้อยละโดยน้ำหนักของข้าวสารที่ได้ทั้งหมดจากน้ำหนักของข้าวเปลือก เป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการวัดหาประสิทธิภาพของโรงสีได้ อัตราการสีข้าวที่ดีจะอยู่ที่ร้อยละ 69-70 สำหรับเครื่องสีข้าวแบบชาวบ้านจะอยู่ที่ร้อยละ 55-56 ทั้งนี้อัตราการสีข้าวยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น คุณภาพข้าวเปลือก ความชื้นเมล็ดข้าว ความชื้นและอุณหภูมิอากาศขณะสีข้าว และคุณภาพเครื่องสีข้าวด้วย (ศุอังคณา ลี, 2547)

ในกระบวนการสีข้าวจะได้ผลผลิตจากข้าวเปลือกดังนี้ (อรอนงค์, 2547)

ข้าวเปลือกสะอาด 100%
แกลบ 20-30%
รำ 8-11%
ข้าวสารรวม 66-72%

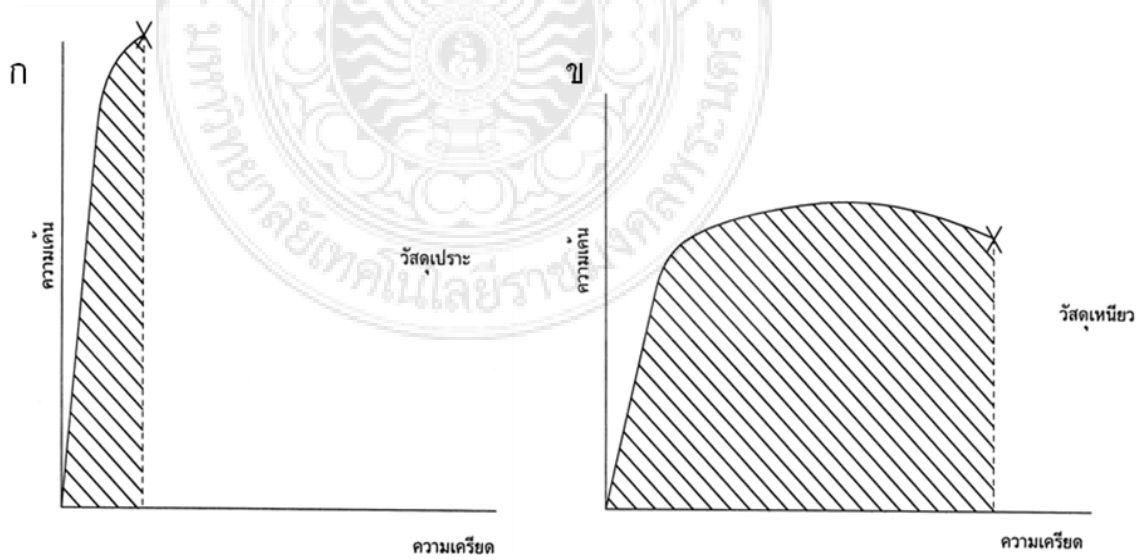
โดยส่วนข้าวสารรวมประกอบด้วย ข้าวเต็มเมล็ด, ต้นข้าว, ข้าวหักใหญ่, ข้าวหัก และปลายข้าว

ขนาดของโรงสีและสภาพของเครื่องสี มีผลต่ออัตราการสีข้าวโดยโรงสีขนาดใหญ่มีแนวโน้มการสีได้ปริมาณต้นข้าวมากกว่าโรงสีข้าวขนาดเล็ก และยังขึ้นอยู่กับการควบคุมดูแลสภาพเครื่องจักรให้เหมาะสมกับสภาพข้าวเปลือกที่นำมาสี ส่วนคุณภาพของข้าวเปลือกที่นำมาสี อันได้แก่ พันธุ์ข้าว ความแกร่งเมล็ด ความชื้น เป็นปัจจัยที่ทำให้อัตราการสีข้าวแตกต่างกันไป

ปัจจัยอื่นๆ ได้แก่สภาพแวดล้อมการสี ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิอากาศ ถ้าทำการสีข้าวในตอนบ่ายซึ่งอุณหภูมิอากาศสูงกว่าตอนเช้า จะได้ข้าวต้นต่ำกว่าการสีในตอนเช้า

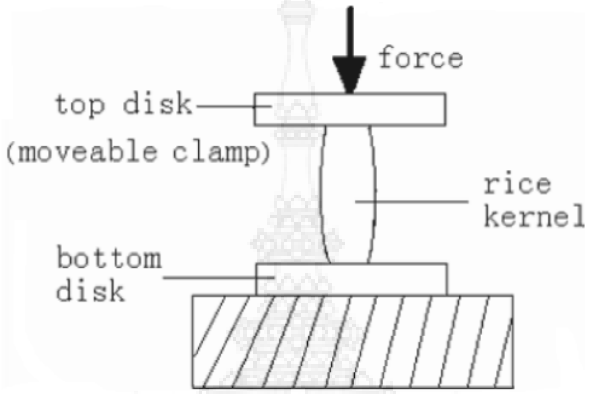
2.3 ความแกร่งเมล็ดข้าวกับคุณภาพการสี

ความแกร่ง (Strength) หมายถึง ความสามารถของวัสดุที่จะดูดซึมพลังงานไว้ได้โดยไม่เกิดการแตกหัก หรือความสามารถของวัสดุที่รับแรงได้สูงสุดโดยไม่เกิดการแตกหัก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและความเหนียว โดยกำหนดว่าโมดูลัสของความแกร่ง เท่ากับพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดที่ได้จากการทดสอบแรงดึง ดังภาพที่ 2.2 ค่า โมดูลัสของความแกร่งนี้ จะแสดงถึงงานต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุที่ต้องใช้จนทำให้เกิดการแตกหักด้วย ข้อกำหนดนี้จะแสดงให้เห็นถึงข้อแตกต่างระหว่างวัสดุเหนียวที่มีความแกร่งสูงและวัสดุเปราะที่มีความแกร่งต่ำด้วย ภาพที่ 2.2 (ก) และ 2.2 (ข)



ภาพที่ 2.2 โมดูลัสความแกร่ง (ก) วัสดุเปราะ (ข) วัสดุเหนียว

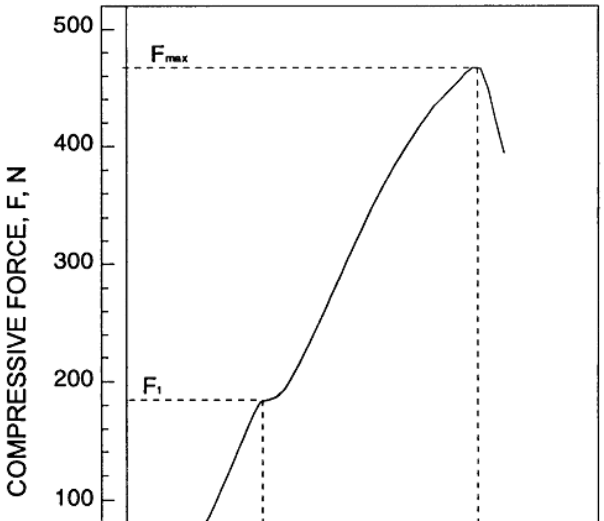
สำหรับการศึกษาเมล็ดข้าวในเชิงกลศาสตร์ จะนิยมใช้ DMA (Dynamic Mechanical Analysis) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งรูปแบบการศึกษาในแบบ DMA นี้จะมีการส่งแรงมากระทำต่อวัตถุหรือเมล็ดข้าวในแนวใดแนวหนึ่ง ดังแสดงตามภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การวัดความแกร่งของเมล็ดข้าว (ที่มา Ke-cheng Chen et al, 2007)

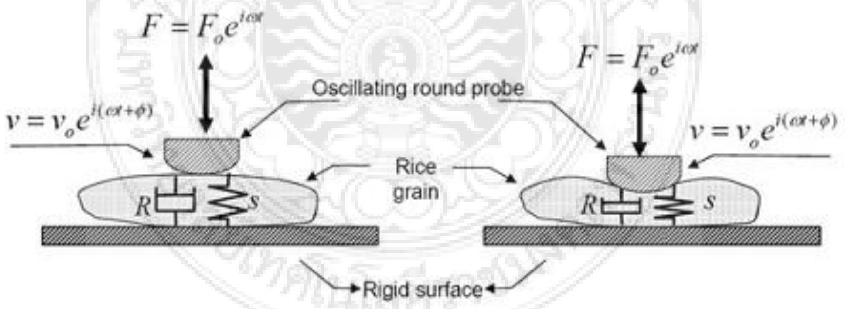
รูปแบบการศึกษาในทำนองนี้ ได้มีการประยุกต์ใช้ในการศึกษากับเมล็ดพืชชนิดอื่นๆเช่น Saiedirad (2008) ทำการทดสอบความแกร่งของเมล็ดคัมมิน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความชื้นของเมล็ดมีผลต่อความแกร่ง โดยค่าความชื้นที่ 8.20% ทำให้เมล็ดแกร่งมากที่สุด

สำหรับการศึกษาคุณลักษณะด้านความแกร่งของเมล็ดข้าว Szot B. (1998) ได้ทำการทดสอบผ่านแรงที่ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเกิดการเปลี่ยนรูป จนกระทั่งเกิดการแตกหัก โดยเมล็ดข้าวที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้าวอิตาลี จำนวน 7 พันธุ์ (Baldo, Cripto, Loto, Lido, Panda, Roma และ Strella) แล้วนำแรงที่ได้มาเฉลี่ยกัน ผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพที่ 2.4 ซึ่ง F_1 เป็นแรงที่ทำให้เมล็ดข้าวเริ่มผิดรูป และ F_{max} เป็นแรงที่ทำให้เมล็ดข้าวแตกหัก สำหรับ D_1 และ D_2 เป็นระยะขจัดที่แรง F_1 และ F_{max} ตามลำดับ



ภาพที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนรูปของเมล็ดข้าว
(ที่มา Szot B., 1998)

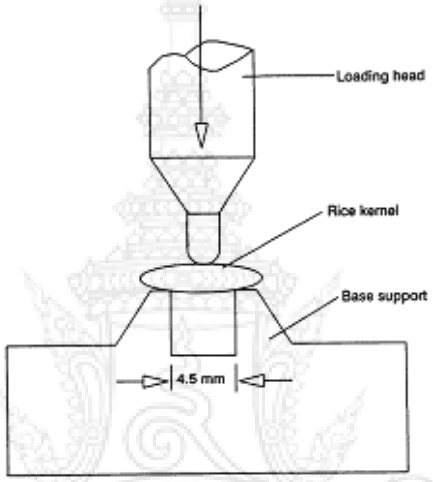
ในทำนองเดียวกัน Gupta, Das (2000) ได้ใช้วิธีดังกล่าวข้างต้นวัดแรง เพื่อหาความแกร่งของเมล็ดทานตะวัน และ Ke-cheng Chen (2007) ใช้วิธีเดียวกันในการวัดคุณสมบัติความยืดหยุ่นของเมล็ดข้าว แต่เมื่อไม่นานมานี้ Mert Behic (2008) วัดความยืดหยุ่นของเมล็ดข้าวด้วยการตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือนจากการออกแรงกดบริเวณพื้นผิวของเมล็ดข้าวพบว่าค่าความยืดหยุ่นของเมล็ดข้าวลดลงเมื่อความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงการวัดค่าความยืดหยุ่นของเมล็ดข้าว
(ที่มา Mert Behic, 2008)

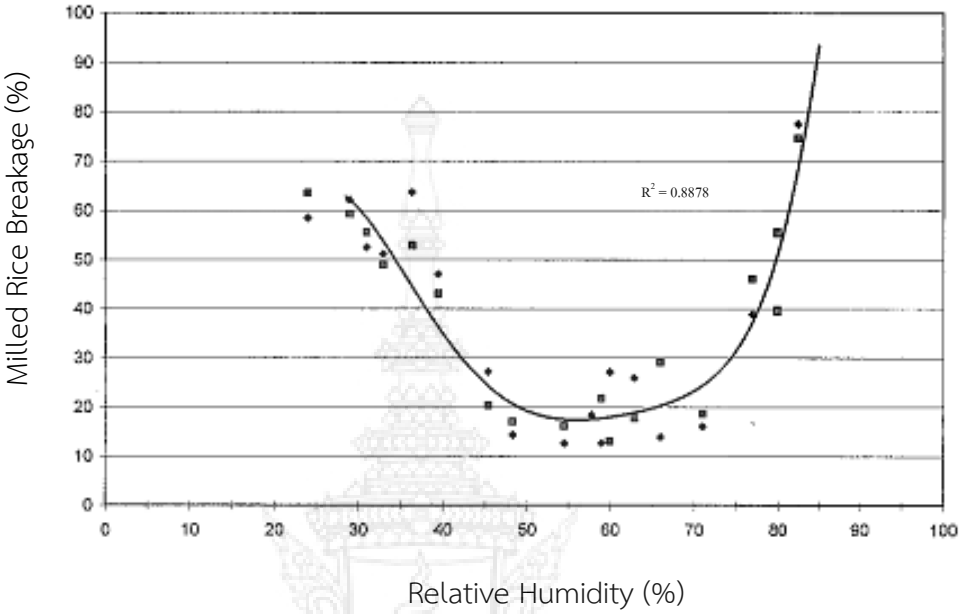
เนื่องจากเมล็ดข้าวที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในแต่ละครั้งมีจำนวนมาก การนำทฤษฎีทางสถิติมาใช้ จะช่วยให้การวิเคราะห์ผลการทดลองมีความชัดเจนยิ่งขึ้น การหาความสัมพันธ์ระหว่างความแกร่งของเมล็ดข้าวเปลือก กับปริมาณต้นข้าว (Head rice) ที่ได้จากการสี Lu และ Siebenmorgen

(1995) นำเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ Lemont และ Tebonnet มาทดสอบ โดยออกแรงกระทำกับเมล็ด 3 จุด (three point bending test) ดังภาพที่ 2.6 จากการวิเคราะห์การถดถอย แรงเฉลี่ยที่กระทำกับเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณต้นข้าวที่ได้จากการสีที่ r = 0.979 (Lemont) และ r = 0.932 (Tebonnet) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient Correlation) ในข้าวกล้องและต้นข้าวมีค่า r = 0.920 และ 0.787 ตามลำดับ การคาดการณ์คุณภาพการสี จากการทดสอบการดัดโค้ง (bending test) ของเมล็ดต้นข้าว มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r = 0.989 (Lemont) และ 0.941 (Tebonet) ในทางสถิติค่า r เข้าใกล้ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กัน



ภาพที่ 2.6 การทดสอบความแกร่งเมล็ดข้าวด้วยการออกแรงกด 3 จุด
(ที่มา Lu และ Siebenmorgen, 1995)

คุณภาพการสีข้าวขึ้นกับหลายปัจจัย Siebenmorgen et al., (2007) ทดลองสีข้าวเปลือกพันธุ์ Bengal, Huells และ CL161 ที่ความชื้นเมล็ดพันธุ์ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และอุณหภูมิขณะสีข้าวต่างๆ กัน พบว่าการแตกหักของข้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ โดยความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่เหมาะสมอยู่ที่ 45% - 70 % สอดคล้องกับการศึกษาของ Brian et al., (1999) ที่ให้ผลการทดลองดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการแตกของข้าวจากการขัดสี กับความชื้นสัมพัทธ์ (ที่มา Brian et al., 1999)

การศึกษาวิจัยแรงกระทำกับเมล็ดข้าวพันธุ์ของประเทศไทยนั้น ได้มีการศึกษากับพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ขามเหนี่ย ปทุมธานี1 สุพรรณบุรี สันป่าตอง และกข2 (Sumpun Chaitep et al., (2008)) ผลการศึกษาวิจัยแสดงถึง แรงเฉือน (shear force) ที่กระทำกับเมล็ดข้าวสัมพันธ์กับการวิเคราะห์การถดถอย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปพัฒนากระบวนการสีข้าวได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การทดสอบคุณภาพการสี

เมล็ดข้าวเปลือกตัวอย่างจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี พันธุ์ปทุมธานี1 กข41 กข31 และกข49 ตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม นำมาสุ่มเลือก 125 กรัม เพื่อนำมาหาคุณภาพการสี โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สุ่มตัวอย่างข้าวเปลือก 125 กรัม จากตัวอย่าง 1 กิโลกรัม และนำมาวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้น
2. นำข้าวเปลือกที่สุ่มได้มากะเทาะ เปลือกด้วยเครื่องกะเทาะแบบลูกยาง
3. นำข้าวกล้องที่ได้จากการกะเทาะเปลือกมาชั่งและบันทึกผล
4. ขัดขาวข้าวกล้องด้วยเครื่องขัดขาว ใช้เวลาในการขัดขาว 20 วินาที
5. นำข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวมาเข้าเครื่องแยกข้าวหัก และนำข้าวสารที่ได้จากเครื่องแยกมาชั่งและหาเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร จากสมการ

   (น้ำหนักข้าวสาร / 125) x 100 %
6. นำข้าวสารที่ได้จากการขัดสี ไปทดสอบหาความแกร่ง

อุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการสีข้าว

ภาพที่ 3.1 เครื่องชั่งดิจิตอล

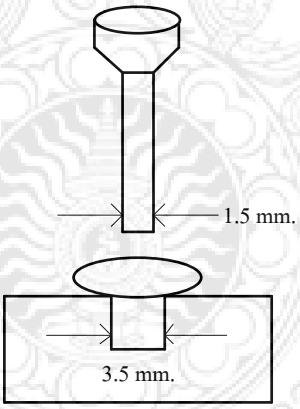
ภาพที่ 3.2 เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดข้าว

ภาพที่ 3.3 เครื่องขัดขาวเมล็ดข้าวกล้อง

ภาพที่ 3.4 เครื่องแยกข้าวหัก

3.2 การทดสอบความแกร่งเมล็ดข้าวสาร

เมล็ดข้าวสารตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการขัดสี จะถูกนำมาทดสอบความแกร่ง ด้วยเครื่องทดสอบแรงดัดโค้ง (Bending Test) ที่ระยะห่างของฐานรอง 3.5 มิลลิเมตร และหัวทดสอบมีความหนา 1.5 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ฐานรองเมล็ดข้าวและหัวทดสอบ

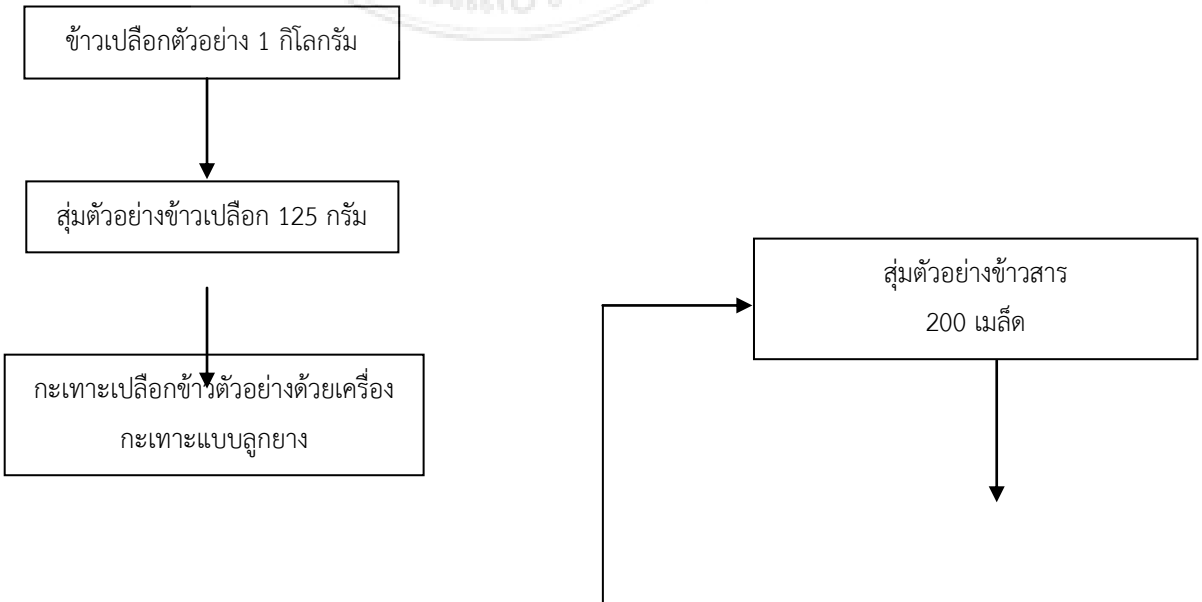
หลักการทำงานของเครื่องวัดเมื่อผู้ทดลองโยกสวิทซ์ลง มอเตอร์จะหมุนทำให้เกจวัดแรงและหัวทดสอบเลื่อนลงออกแรงกระทำที่กึ่งกลางเมล็ดข้าว เมื่อเมล็ดข้าวแตก หัวทดสอบจะหยุดเองโดยอัตโนมัติ จากการควบคุมด้วยลิมิตสวิทซ์ (Limited switch) เครื่องวัดแรงจะบันทึกค่าแรงทดสอบการดัดโค้งสูงสุดไว้ ฐานรองเมล็ดข้าวมีช่องสำหรับใส่เมล็ดจำนวน 5 ช่อง สามารถเลื่อนฐานรองให้เมล็ด

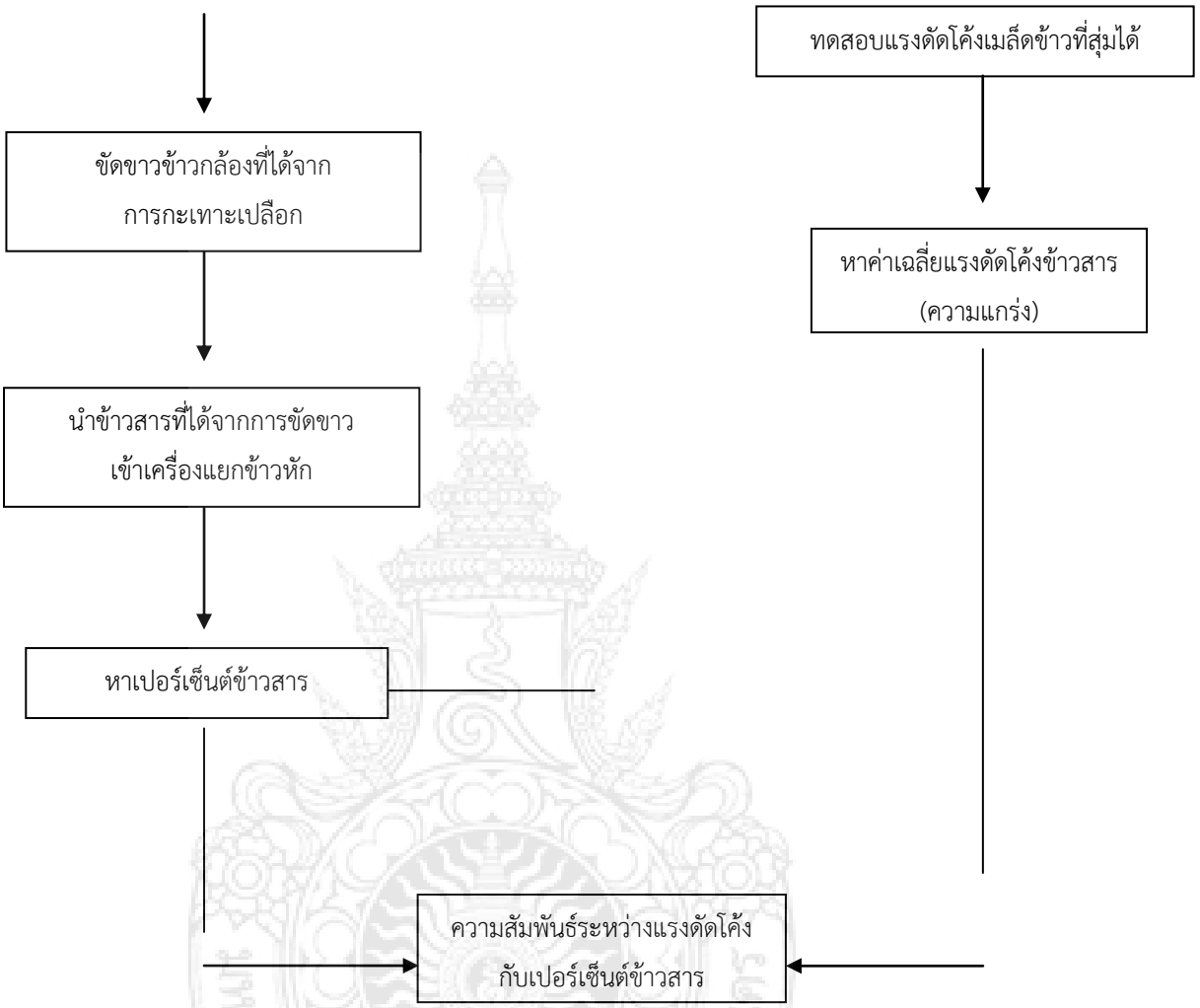
ข้าวถูกกดได้ครั้งละ 1 เมล็ด โดยหัวทดสอบเมล็ดจะเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงที่ 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่วนประกอบของเครื่องแสดงดังภาพที่ 3.6

ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดความแกร่งเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวสารในแต่ละตัวอย่างจะถูกสุ่มมาทดสอบจำนวนตัวอย่างละ 100 เมล็ด ค่าความแกร่งที่ได้ จะนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับคุณภาพการสี

ขั้นตอนการศึกษาวิจัย





ภาพที่ 3.7 ผังงานแสดงขั้นตอนการทดลอง

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 คุณภาพการสี

การประเมินคุณภาพการสีข้าวหาได้จากการทดลองวัดปริมาณแกลบ รำ ต้นข้าว และข้าวหัก (อรอนงค์, 2547) ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการสีมี 3 ปัจจัยหลักคือ พันธุ์ข้าว การปฏิบัติการทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว และกระบวนการสีข้าว ในทดลองได้ทำการสีข้าวเปลือกพันธุ์ละ 125 กรัม ได้ปริมาณ ข้าวกล้อง ข้าวขัด และข้าวสาร ต่างกันไปในแต่ละตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.1

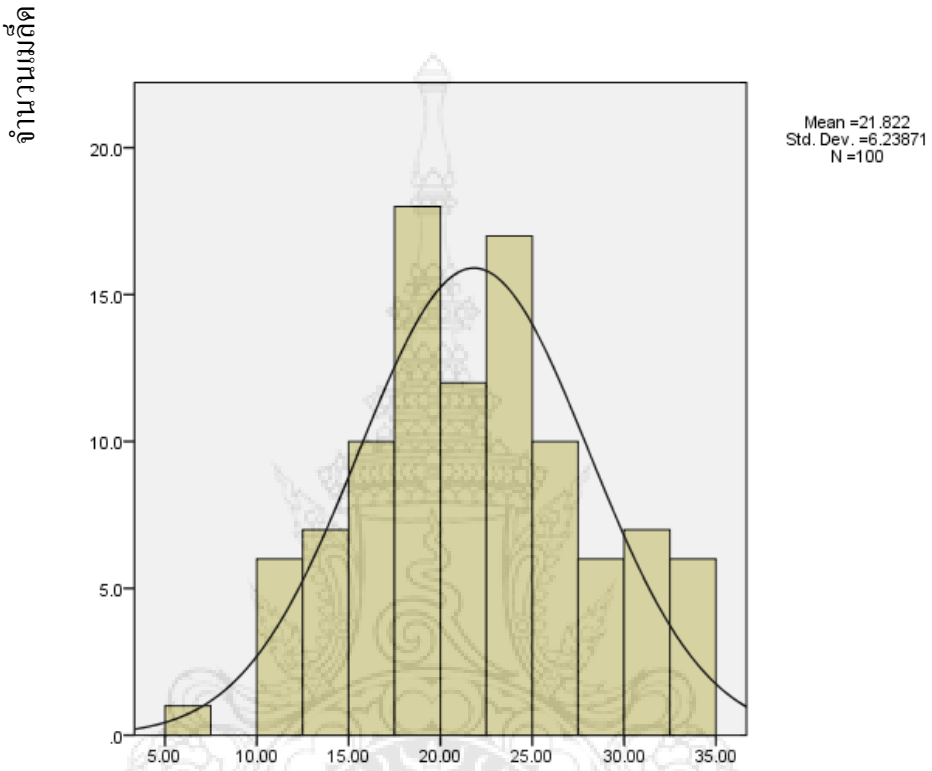
ตารางที่ 4.1 คุณภาพการสีข้าวเปลือก

พันธุ์ข้าว	ความชื้น (%)	ข้าวกล้อง (%)	ข้าวขัด (%)	ข้าวสาร (%)	แรงดัดโค้งเฉลี่ย (N)
ปทุมธานี1	12.8	74.77	67.45	47.09	21.82
กข41	13.4	75.68	69.76	55.69	25.96
กข31	14.1	78.35	71.62	60.16	26.21
กข49	13.6	75.79	68.54	52.00	29.97
เฉลี่ย	**13.7**	**76.14**	**69.97**	**55.95**	**27.38**

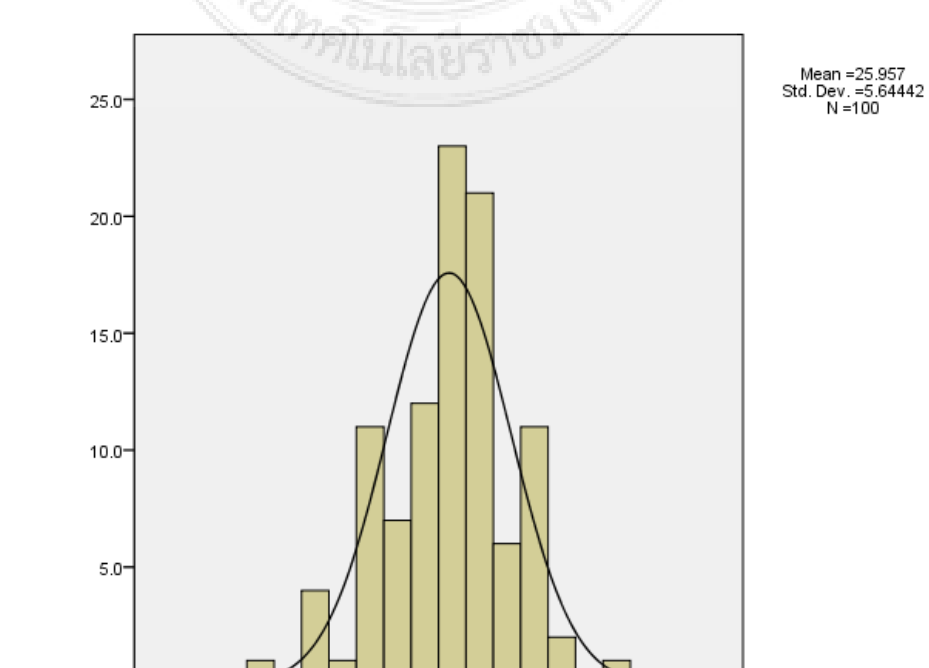
ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าในพันธุ์เดียวกันข้าวกล้องมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณข้าวสาร กลับต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าเมล็ดข้าวส่วนใหญ่เกิดการแตกหักในระหว่างการขัดขาวมากกว่ากระบวนการกะเทาะเปลือก

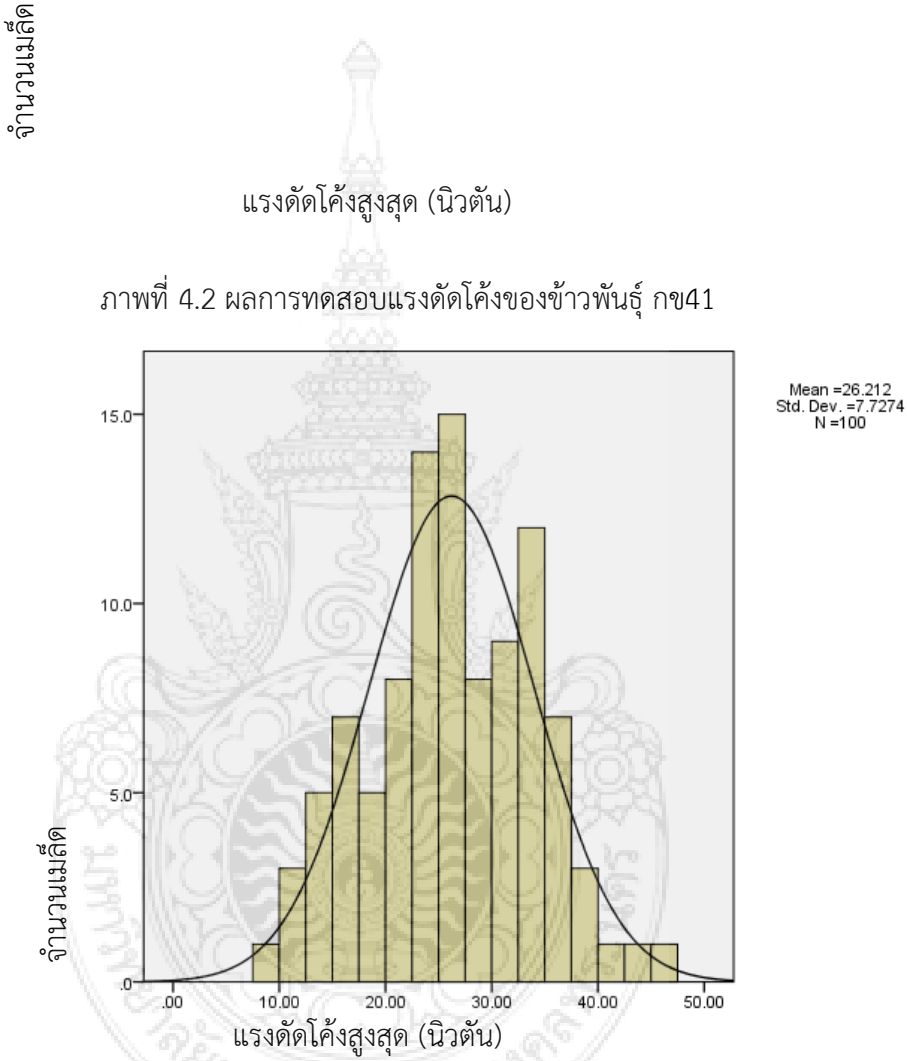
4.2 ความสัมพันธ์ของความแกร่งเมล็ดข้าวกับปริมาณข้าวสาร

ความสัมพันธ์ระหว่างความแกร่งกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ใช้ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวที่เก็บเกี่ยวในฤดูนาปี 2557 สุ่มเมล็ดข้าวตัวอย่างพันธุ์ละ 100 เมล็ด ผลการทดลองแสดงดังนี้



ภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของข้าวพันธุ์ปทุมธานี1





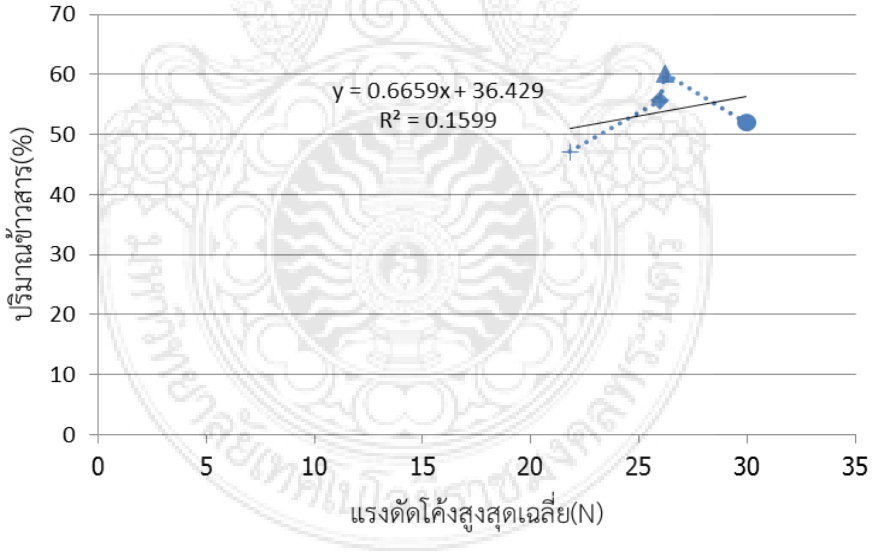
ภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของข้าวพันธุ์ กข41

ภาพที่ 4.4 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของข้าวพันธุ์ กข31

ภาพที่ 4.3 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของข้าวพันธุ์ กข31

แรงดัดโค้งสูงสุด(นิวตัน)

ภาพที่ 4.4 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของข้าวพันธุ์ กข49



ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณข้าวสารกับแรงดัดโค้งสูงสุด

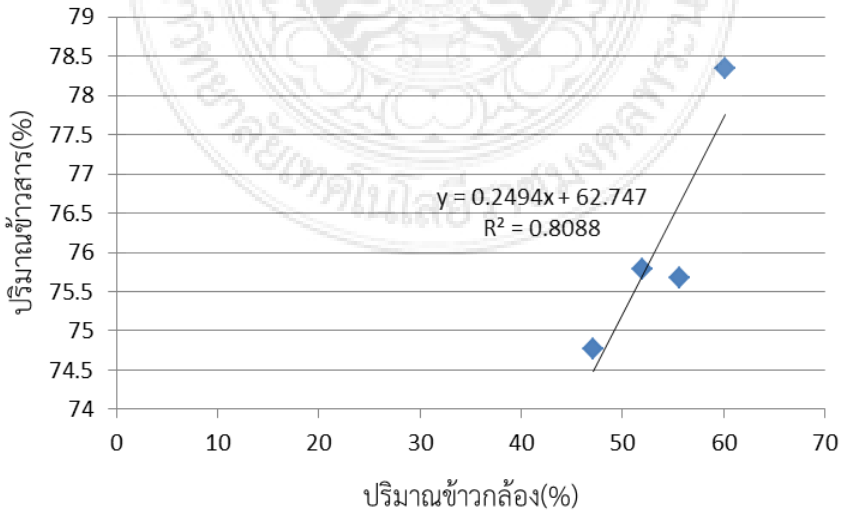
จากภาพที่ 4.5 สัมประสิทธิ์การถดถอยระหว่างปริมาณข้าวสารกับ แรงดัดโค้งสูงสุดเฉลี่ย เท่ากับ 0.16 แสดงถึงคุณภาพการสี มีความสัมพันธ์กับความแกร่งของเมล็ดข้าวสารน้อยมาก ข้อมูล

จากการทดลองครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมา Sibenmorgen (1995) ได้ศึกษาปริมาณข้าวสารหลังการขัดสีกับความแกร่งของเมล็ดข้าวเปลือก มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ดังนั้นความแกร่งหรือความแข็งของข้าวสารมีผลต่อคุณภาพการสีน้อยมาก การทำนายปริมาณข้าวสารจากความแข็งของข้าวสารจึงไม่สามารถทำได้ แต่สามารถทำนายได้จากปริมาณข้าวเปลือก

ตารางที่ 4.1 ปริมาณข้าวกล้องที่ได้จากการกะเทาะเปลือกมีค่าเฉลี่ยที่ 76.14% ความแปรปรวน (Sd.) เท่ากับ 1.78 และปริมาณข้าวสารที่ได้จากการขัดสีมีค่าเฉลี่ยที่ 55.95% ความแปรปรวน (Sd.) เท่ากับ 5.54 ปริมาณดังกล่าวที่ค่าที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก แสดงถึงมีการแตกหักในระหว่างขั้นตอนการขัดขาว

4.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวกล้องกับปริมาณข้าวสาร

ปริมาณข้าวกล้องกับปริมาณข้าวสารมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ดังแสดงในภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์กันดังกล่าวแสดงถึง รำข้าวที่ถูกขัดออกจากบริเวณส่วนนอกของข้าวกล้องของข้าวในแต่ละพันธุ์มีปริมาณสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากกระบวนการขัดขาวเมล็ด เครื่องขัดข้าวใช้เวลาในการขัดที่เท่ากันในทุกตัวอย่าง การทดสอบคุณภาพการสีได้ปริมาณข้าวกล้องและข้าวสารสูงสุดในพันธุ์กข31 และต่ำสุดในพันธุ์ปทุมธานี1



ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณข้าวกล้องกับปริมาณข้าวสาร

เมื่อเปรียบเทียบ ปริมาณข้าวกล้องกับปริมาณข้าวสารเฉลี่ย จะพบว่ามีความแตกต่างที่ 20.19% แสดงว่าปริมาณข้าวที่แตกหักในการบวนการขัดสีมีค่าประมาณ 20% หรือเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณข้าวเริ่มต้น (ข้าวเปลือก) ในกระบวนการสีข้าว จะได้ปริมาณข้าวสาร 55.95% ดังนั้น น้ำหนักหรือปริมาณข้าวทีเสียหายในกระบวนการสีจะอยู่ที่ประมาณ 44% จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อลดการแตกหักของเมล็ดข้าว

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดโค้งของเมล็ดข้าวสารกับเปอร์เซ็นต์ข้าวสารที่ได้หลังการขัดสี พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของข้าวตัวอย่างที่นำมาทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.16 ซึ่งแสดงถึงการสัมพันธ์กันที่น้อยมาก การแตกหักของเมล็ดข้าวเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการขัดขาว ทำให้ปริมาณข้าวสารน้อยกว่าข้าวกล้องถึง 20% ปริมาณข้าวสารที่ได้จากข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 กข41 กข 31 และกข49 เท่ากับ 47.09, 55.69, 60.16 และ 52.00% ตามลำดับ ค่าแรงดัดโค้งหรือค่าความแกร่งของเมล็ดข้าวสารเฉลี่ยรวมทุกตัวอย่างเท่ากับ 27.38 นิวตัน และมีความสัมพันธ์กับปริมาณข้าวสารน้อยมาก จึงสรุปได้ว่าความแกร่งของข้าวสารไม่มีผลต่อปริมาณข้าวสารหลังผ่านกระบวนการขัดสี

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณข้าวสารกับแรงดัดโค้งของเมล็ดข้าวสาร ได้ค่าความสัมพันธ์ที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับรายงานการวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณข้าวสารกับแรงดัดโค้งของเมล็ดข้าวเปลือกซึ่งได้ค่าความสัมพันธ์กันในระดับสูง ((Lu and Siebenmorgen, 1995), (Qin and Siebenmorgen, 2005), (Siebenmorgen and Qin, 2005), (Siebenmorgen et al., 2005)) เนื่องจากเมล็ดข้าวสารเมื่อเข้าสู่กระบวนการขัดสีทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไป เกิดการแตกร้าวภายในเมล็ด จึงไม่สามารถทำนายปริมาณข้าวสารจากความแกร่งของเมล็ดข้าวสารเองได้ ซึ่งต่างจากเมล็ดข้าวเปลือกที่คุณสมบัติทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว การเพาะปลูก และการเก็บเกี่ยว เท่านั้น การทำนายปริมาณข้าวสารจากความแกร่งเมล็ดข้าวเปลือกจึงสามารถทำได้ ดังรายงานการวิจัยที่ผ่านมา

5.3 ข้อเสนอแนะ

การสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวในการทดลองนี้เป็นวิธีการสุ่มอย่างง่าย จำนวน 100 เมล็ดต่อตัวอย่างพันธุ์ข้าว การสุ่มควรคัดเลือกเมล็ดที่ไม่มีการแตกร้าวภายใน อาจทำได้โดยการคัดเลือกจากการนำแสงจากหลอดไฟส่องผ่านเมล็ดข้าวสาร และคัดเฉพาะเมล็ดที่ไม่มีการแตกร้าวภายใน จะทำให้ได้เมล็ดข้าวที่สมบูรณ์มากขึ้นมาใช้ในการทดลอง

บรรณานุกรม

สุขอังคณา ลี, หมิงฟุก ลี, สุริยา โชคสวัสดิ์. (2547). การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพทางกลของวัสดุผสมที่ใช้ทำลูกหินขัดเมล็ดข้าวขาวสำหรับโรงสีขนาดเล็ก. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Brian J., Loyd L. and Seibenmorgen T.J. (1999). Environmental Conditions Causing Milled Rice Kernel Breakage in Medium-Grain Varieties. Cereal Chem. 76(3), 426–427.

Fan J., Siebenmorgen T.J., Yang W. (2000). A study of head rice yield reduction of long and medium grain rice varieties in relation to various harvest and drying conditions. American Society of Agricultural Engineers, 43(6), 1709-1714.

Gupta R.K., Das S.k. (2000). Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. Journal of Food Engineering, 46, 1-8.

Ke-cheng Chen, Dong Li, LW. Wang, N. Ozkan, X.D. Chen, Zhi Mao. (2007). Dynamic Viscoelastic Properties of Rice Kernels Studied by Dynamic Mechanical Analyzer. International Journal of Food Engineering, 3, 1-14.

Lu R., Seibenmorgen T.J. (1995). Correlation of head rice yield to selected physical and mechanical properties of rice kernels. American Society of Agricultural Engineers, 38(3), 889-894.

Mert Behic. (2008). Characterization of Viscoelastic Properties of Individual Rice Grain by Measuring Mechanical Impedance. Journal of Texture Studies, 40, 66-81.

Qin G., Seibenmorgen T.J. (2005). Harvest location and moisture content effects on rice kernel to kernel breaking force distributions. American Society of Agricultural Engineers, 26(1), 1011-1016.

Saiedirad M.H., Tabatabaeefar A., Borghei A., Mirsalehi M., Badii F., Ghasemi M., Varnamkhasti. (2008). Effects of moisture content, seed size, loading rate and seed orientation on force and energy required for fracturing cumin seed (Cuminum cyminum Linn.) under quasi-static loading. Journal of Food Engineering, 86, 565-572.

Seibenmorgen T.J., Qin G. (2005). Relating rice kernel breaking force distribution to milling quality. American Society of Agricultural Engineers, 48(1), 223-228.

Seibenmorgen T.J., Qin G., Jia C. (2005). Influence of drying on rice fissure formation rates and mechanical strength distributions. American Society of Agricultural Engineers, 48(5), 1835-1841.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Siebenmorgen T.J., Cooper N.T.W., Estorninos L.E. and Bautista. (2007). Kinetics of Milled Rice Fissure Formation. Rice Quality and Processing, 275-282,

Sumpun Chaitep, Chaiy Rungsiyakull and Pipatpong Watanawanyoo. (2008). Compressive Load Resistance Characteristics of Rice Grain. American Journal of Agricultural and Biological Science.3(1), 325-329.

Szot B., Ferrero A., Molenda M. (1998). Binding Force and Mechanical Stretch of Rice Grain. International Journal of Agrophysics, 12, 227-230.

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นายพลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ

   ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Ponlakrit Kumklam

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

3. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

   - คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

     โทรศัพท์ 0-2913-2424 โทรสาร 0-2913-2424 ต่อ 105

     E-mail: kumklam@yahoo.com

4. ประวัติการศึกษา

   - 2544 วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยนเรศวร
   - 2547 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) มหาวิทยาลัยนเรศวร

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

   - Linear Integrated Circuit, Array Theory, Acoustic Beam Steering

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

   - ความคาดหวังในด้านบริการวิชาการและกิจการนักศึกษาของนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

     ปีที่เผยแพร่ : 2551

   - ความตระหนักทางจริยศาสตร์สิ่งแวดล้อมของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครต่อปัญหาการทิ้งขยะ

     ปีที่เผยแพร่ : 2551

   - การสร้างสัญญาณไซน์นูซอยดอลด้วยออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์

     ปีที่เผยแพร่ : 2552