

### ใบรับรองปัญหาพิเศษ

### เรื่อง

การศึกษาคุณสมบัติของข้าวเจ้า และข้าวเหนียว เพื่อใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่  
( A Study on the Quality of Rice and Sticky Rice for Snack Production from Twin-Screw Extruder)

### โดย

นางสาวนิศา ตรีภัทรชยากร  
นางสาวสุภาพร จิตรประภาภรณ์

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

*รุ่งนง พลวิทยานุกูล* ๒๑, ๓, ๖๕  
(ศษ. อ.ร. รุ่งนง พลวิทยานุกูล)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

*[Signature]*

( ศศ.ดร. วรารุณี ครูส่ง )  
หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ ๓๑ เดือน ๒๕ พ.ศ. ๖๕

๒๖ ๖๕๖ ๗  
๒๕๖๗



การศึกษาคุณสมบัติของข้าวเจ้า และข้าวเหนียว เพื่อใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่  
A Study on the Quality of Rice and Sticky Rice for Snack Production from Twin-Screw Extruder



T097121

นางสาวนิตา ตรีภัทรชยากร  
นางสาวสุภาพร จิตรประภากรณ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2538

ร.พ.  
๙๖๘๔ ก  
๒๕๓๘

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน ๙๗๑๒๑

วันเดือนปี - 5 JUN 1995



บทคัดย่อ

นิตา ตรีภัทรชยากร และ สุภาพร จิตรประภากรณ. 2538. : การศึกษาคุณสมบัติของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวเพื่อใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่ (A Study on the Quality of Rice and Sticky Rice for Snack Production from Twin-Screw Extruder). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 106 หน้า

คุณสมบัติของข้าวมีผลต่อการแปรรูป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว จากการทดลองหาคุณสมบัติของข้าวเจ้าพันธุ์ กข 23 สุพรรณบุรี 90 และเหลืองประทิว 123 ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 กข 8 และเหนียวสันป่าตอง รวมทั้งปลายข้าว พบว่าค่า L/W Ratio ของข้าวเจ้า จะมีค่าสูงกว่าข้าวเหนียว ความชื้นของเมล็ดข้าวประมาณ 10.29 - 10.76% และปลายข้าวมีความชื้นสูงสุด 11.97% ค่าการดูดซึมน้ำของข้าวเจ้าและปลายข้าว รวมทั้งค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้นมีค่ามากกว่าของข้าวเหนียว ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในต่าง และค่า Water Uptake ของข้าวเจ้าและปลายข้าวน้อยกว่าของข้าวเหนียว เมื่อนำเมล็ดข้าวไปบดผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น และอไมโลสในข้าวเจ้า และปลายข้าวมีปริมาณมากกว่าข้าวเหนียว รวมทั้งอุณหภูมิของการเจลาติไนซ์เซชันที่สูงกว่าด้วย นอกจากนี้โปรตีนในข้าวเจ้าก็มีปริมาณน้อยกว่าในข้าวเหนียว ยกเว้นพันธุ์ กข 23 เมื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อคุณภาพของเอ็กซ์ทรูดเดอร์ พบว่าที่ระดับความชื้น 20% เกิดการฟองตัวมากกว่าที่ระดับความชื้น 25% แต่มีค่า Bulk Density ต่ำกว่า ส่วนค่าแรงกดทะลุในเอ็กซ์ทรูดเดอร์ที่เตรียมจากความชื้น 20% มีค่ามากกว่าที่เตรียมจากความชื้น 25% ส่วนระดับการเจลาติไนซ์จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น

.....  
ลายมือชื่อนักศึกษา

.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
วัน เดือน ปี

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผศ.ดร. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ได้สละเวลาให้ความรู้ ความเข้าใจ คำปรึกษา และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง รวมทั้งได้กรุณาตรวจแก้ไขหนังสือปัญหาพิเศษจนสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. กิตติชัย บรรจง และ ผศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา ที่ให้คำปรึกษา ให้ข้อมูลการทำปัญหาพิเศษ และกรุณามาเป็นกรรมการสอบปัญหาพิเศษในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง รวมทั้งได้กรุณาตรวจแก้ไขหนังสือปัญหาพิเศษจนสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาตลอดเวลากการแก้ปัญหาพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ธุรการและเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเป็นอย่างยิ่ง ที่ได้อำนวยความสะดวกสบายในการทำปัญหาพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการ และเจ้าหน้าที่สถานีทดลองข้าว บางเขน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์พันธุ์ข้าวเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณเพ็ญศิริ ชำรงลักษณะ หัวหน้าห้องปฏิบัติการทางเคมี และเจ้าหน้าที่บริษัท ไทยวา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือเพื่อทำการทดลอง และอำนวยความสะดวกสบายตลอดการทดลอง

ขอขอบพระคุณโรงงานขนมสากล ที่อนุญาตให้ใช้เครื่อง Hammer mill และอำนวยความสะดวกสบายตลอดการทำงาน

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร อาจารย์ผู้ควบคุมเครื่อง และเจ้าหน้าที่ ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องเอ็กซ์ทราคเตอร์แบบสกรูคู่ เพื่อทำการทดลองในปัญหาพิเศษ

ขอขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องสีข้าว และอำนวยความสะดวกสบายตลอดการทำปัญหาพิเศษ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ ความช่วยเหลือ และถ่ายภาพในการทำปัญหาพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว ที่ได้ดูแลเอาใจใส่และให้กำลังใจ จนปัญหาพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้

.....  
.....  
.....

(นางสาวนิตา ตริภักทรชยากร)

.....  
.....  
.....

(นางสาวสุภาพร จิตรประภาภรณ์)

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์	
2.1 ข้าว.....	3
2.2 องค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีและ กายภาพบางประการของข้าว.....	6
2.3 ผลิตภัณฑ์จากข้าว.....	9
2.4 เครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์.....	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 วัตถุประสงค์.....	21
3.2 อุปกรณ์.....	21
3.3 วัสดุและสารเคมี.....	22
3.4 วิธีการทดลอง.....	22
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 คุณสมบัติของข้าวเจ้า ข้าวเหนียวและปลายข้าว.....	32
4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ของข้าวเจ้า ข้าวเหนียวและปลายข้าวที่ผ่านการบด.....	36
4.3 การเอ็กซ์ทรูดชั้นของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่บดผ่าน Hammer mill และปริมาณความชื้นหลังการบด.....	40
4.4 คุณภาพของเอ็กซ์ทรูดเดท.....	41

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	48
ภาคผนวก.....	52
ประวัติผู้เขียน.....	106

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ขนาดเมล็ดจําแนกตามความยาวของเมล็ด.....	7
2.2.	ขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าวจําแนกตามอัตราส่วน ระหว่างความยาวกับความกว้าง.....	7
3.1	การกำหนดคะแนนตามลักษณะของเมล็ดข้าว .....	25
3.2	น้ำหนักของข้าวและน้ำหนักของน้ำที่ใช้ใน การหาอุณหภูมิเจลาตินไนซ์เซชัน.....	29
4.1	ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (L/W Ratio).....	32
4.2	ค่าความชื้นของเมล็ดข้าว.....	33
4.3	ค่า Alkali Test .....	33
4.4	ค่า Water Uptake.....	34
4.5	ค่าแสดงคุณภาพการหุงต้มในด้านปริมาณการดูดซึมน้ำ ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้น .....	35
4.6	ปริมาณความชื้น.....	36
4.7	ปริมาณอไมโลส.....	37
4.8	ปริมาณโปรตีน.....	38
4.9	อุณหภูมิเจลาตินไนซ์เซชัน.....	39
4.10	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของข้าวเพื่อใช้ในการเอ็กซ์ทรูด .....	40
4.11	ปริมาณความชื้นของข้าวก่อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์.....	41
4.12	อัตราส่วนการพองตัวของเอ็กซ์ทรูดเดท .....	42
4.13	ค่า Bulk Density ของเอ็กซ์ทรูดเดท .....	43
4.14	ค่าระดับการเจลาตินไนซ์ .....	44
4.15	แรงที่ใช้กดทะลุเอ็กซ์ทรูดเดท .....	45

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพชนิดของนมขบเคี้ยว.....	12
3.1 แผนภูมิของชั้นการทดลอง .....	23

## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีปัญหาในการส่งออกข้าว ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ ข้าวคุณภาพสูง( ข้าว 95-100% ) คุณภาพปานกลาง และข้าวคุณภาพต่ำ จากข้อมูลปริมาณการส่งออกในปีที่ผ่านมา พบว่า ไทยส่งออกได้เป็นอันดับ 1 ของโลก ในขณะที่ประเทศอเมริกาและเวียดนามสามารถส่งออกได้เป็นอันดับต่อมา จากเดิมที่อเมริกาไม่มีบทบาทเลยในเรื่องการปลูกและส่งออกข้าว แต่ปัจจุบันสามารถส่งออกข้าวแข่งกับไทยได้ รวมทั้งเวียดนามก็เช่นกัน ดังนั้นจึงเป็นที่น่าวิตกอย่างยิ่ง ถ้านโยบายการเพิ่มประสิทธิภาพของข้าวและระบบการผลิตยังไม่ดีเท่าควร การผลิตข้าวของไทยในอนาคตจะต้องเกิดปัญหาอย่างแน่นอน โดยเฉพาะข้าวคุณภาพต่ำ

วิธีทางหนึ่งที่จะสามารถแก้ปัญหาการส่งออกข้าวได้คือ การนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวต่างๆ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดการแข่งขันทางการตลาดแล้ว ยังช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวให้สูงขึ้นอีกด้วย สำหรับการแปรรูปข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ นั้น มีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ข้าวกล้องสำเร็จรูปหรือข้าวปรุงรสต่างๆ แป้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ขนมอบกรอบ และผลิตภัณฑ์หมักดองจากข้าว จำพวกเบียร์ ไวน์ เป็นต้น โดยเฉพาะยอดขายของผลิตภัณฑ์ประเภทขนมขบเคี้ยวได้เพิ่มขึ้นอย่างมากในตลาด ดังนั้นจึงไม่เป็นที่น่าสงสัยเลยว่า หลายบริษัทรวมทั้งหน่วยงานของรัฐบาลก็ได้ให้ความสนใจในการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่นั้นๆ หรือปรับปรุงขบวนการ

และแม้ว่าเนื่องจาก จวบจนถึงปัจจุบันจะมีการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวออกมาจำนวนมากแล้วก็ตาม แต่การศึกษาดังกล่าวส่วนใหญ่ก็จะมุ่งไปทางพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยมีได้มีการวิจัยศึกษาถึงปัจจัยพื้นฐานทางด้านกายภาพ หรือเคมีของข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ทำให้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ในแต่ละครั้ง จำเป็นต้องมีการใช้ตัวอย่างแป้งชนิดใหม่ๆ ในการทดลองเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ

การใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ในการแปรรูป นับเป็นเทคโนโลยีใหม่อีกอย่างหนึ่งในการผลิตขนมขบเคี้ยว อาหารเข้าจากรัฐพิธี ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน การเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วรอบของสกรู อุณหภูมิในแต่ละช่วงภายในเครื่องอิเล็กทรอนิกส์เป็นต้น หรือปัจจัยทางด้านคุณภาพของวัตถุดิบเช่น ปริมาณความชื้น ขนาดของอนุภาคในมวลของวัตถุดิบ หรือชนิดของแป้งเหล่านี้ ล้วนมีผลต่อคุณภาพสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสิ้น

ดังนั้น ถ้าเราสามารถจะทราบคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมีของข้าวเจ้า และข้าวเหนียวแล้ว การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ สามารถกระทำได้รวดเร็วขึ้น อีกทั้งเกิดความประหยัดอีกด้วย อนึ่ง ในอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวนี้ ข้าวที่ใช้มักจะเป็นปลายข้าว เนื่องจากมีราคาถูกกว่ามากสามารถลดต้นทุนในการผลิต ในการทดลองจึงมีการศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของปลายข้าวที่มีจำหน่ายในท้องตลาดร่วมด้วย

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวเจ้า และข้าวเหนียวพันธุ์ที่มีปลูกอยู่ในประเทศไทย รวมทั้งปลายข้าว
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และปลายข้าวที่ผ่านการบด
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อคุณภาพของอิเล็กทรอนิกส์

## บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

### 2.1 ข้าว

#### 2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

ข้าว(*Oryza sativa* L.) เป็นพืชสกุลเดียวกับหญ้า โดยธรรมชาติแล้ว ถ้าพื้นดินอุดมสมบูรณ์ ภูมิอากาศพอเหมาะ ข้าวก็จะเจริญงอกงามให้ผลผลิตดีมาก โดยที่ไม่ต้องทำอะไรเลย ถ้าหากไม่มีโรคหรือแมลง วัชพืชรบกวน ข้าวมีคาร์โบไฮเดรตมากแต่มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำ และองค์ประกอบที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวจะประกอบด้วยสตาร์ช 80% โปรตีน 6.8-8% ความชื้น 11% ไขมัน 2% เยื่อใย 0.2% เถ้า 0.5% และให้พลังงาน 3998 แคลอรี (Ihekoronye และ Ngoddy, 1985), (เบญจมาศ, 2526), (วิโรจน์และอัมมาร, 2533) เมล็ดข้าวมีความยาว 5 - 10 มม. กว้าง 1.5 - 5 มม. Marion Bennion (1980)

มีการปลูกข้าวในหลายทวีปของโลก ทั้งในอเมริกา ยุโรป ออสเตรเลีย แอฟริกา และเอเชีย แต่พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในเอเชียแถบประเทศอินเดีย พม่า ไทย เวียดนาม ญี่ปุ่น ไต้หวัน และเกาหลี เป็นต้น แต่ละประเทศมีภูมิประเทศ ภูมิอากาศ วิธีการเพาะปลูก และความชอบในการบริโภคข้าวแตกต่างกัน ดังนั้นข้าวที่ปลูกอยู่ในแต่ละแห่งจึงมีลักษณะ รูปร่างเมล็ดแตกต่างกันด้วย ขนาดรูปร่างเมล็ด หมายถึงความยาว(length) ความกว้าง(width) ความหนา(thickness) และความป้อม หรือเรียวยว(shape)ของเมล็ด

ข้าวเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญของประเทศมาช้านาน ระหว่างปี พ.ศ. 2530 - 2535 ชาวนาสามารถผลิตข้าวได้ 17.2 - 21.3 ล้านตันข้าวเปลือก หรือ 11.5 - 14.2 ล้านตัน ข้าวสาร ในส่วนนี้ประมาณ 2 ใน 3 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 22,703 - 45,462 ล้านบาท ข้าวส่งออกส่วนใหญ่เป็นข้าวสารหรือข้าวเจ้าและมีข้าวเหนียวอยู่บ้าง (งามชื่น, 2532)

## 2.1.2 ประเภทของข้าว

สามารถแบ่งประเภทของข้าวได้ 4 ประเภทคือ

### 2.1.2.1 แบ่งตามชนิดของข้าวได้แก่

2.1.2.1.1 ข้าวเจ้า เช่น กข 1,7 หรือ 11 (ข้าว กข ที่เป็นเลขคี่ทั้งหมด)  
ข้าวปิ่นแก้ว ข้าวตาแห้ง เป็นต้น

2.1.2.1.2 ข้าวเหนียว เช่น ข้าวกข 6 , ข้าวเหนียวสันป่าตอง , ข้าวเหนียว  
เจียวงู

### 2.1.2.2 แบ่งตามพื้นที่ปลูก

2.1.2.2.1 ข้าวไร่ ได้แก่ ข้าวที่ปลูกในที่ดอน น้ำไม่ขัง ส่วนใหญ่มัก  
อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ปลูกมากในเขตป่าเขาตอนภาคเหนือ และตอนบนของภาคตะวันออกเฉียง  
เหนือ

2.1.2.2.2 ข้าวนาสวน ได้แก่ ข้าวที่ปลูกทั่วไป ทั้งในและนอกเขตชล  
ประทาน ปลูกในพื้นที่น้ำลึกไม่เกิน 1 เมตร

2.1.2.2.3 ข้าวขึ้นน้ำ เป็นข้าวที่ปลูกในพื้นที่น้ำลึกเกิน 1 เมตรขึ้นไป อาจ  
ลึกถึง 3 เมตร ต้องใช้ข้าวพันธุ์เฉพาะ เช่น ข้าวปิ่นแก้ว , กข 17 , กข 19

### 2.1.2.3 แบ่งตามช่วงแสง

2.1.2.3.1 ข้าวไวแสง ได้แก่ ข้าวที่มีอายุการออกดอก สามารถกำหนด  
ได้ตามวัน และเดือนที่แน่นอน เช่น ข้าวขาวมะลิ กำหนดการเก็บเกี่ยววันที่ 25 พฤศจิกายน  
ไม่ว่าจะปลูกช้าหรือเร็วเท่าใดก็ต้องเก็บเกี่ยวในระยะกำหนดเวลานั้นๆ

2.1.2.3.2 ข้าวไม่ไวแสง ได้แก่ พันธุ์ข้าวที่ออกดอกตามอายุ คือ ถ้าอายุ  
150 วัน ถ้าปลูกวันนี้นับไปอีก 150 วันก็เก็บเกี่ยวได้ เช่น พันธุ์ กข 7 และ กข 21 เป็นต้น

#### 2.1.2.4 แบ่งตามภูมิศาสตร์

2.1.2.4.1 พวก JAPONICA เป็นข้าวที่ปลูกมากในเขตอบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี และจีน เป็นข้าวเมล็ดสั้นป้อม คุณภาพในการหุงต้มไม่ดี คือจะค่อนข้างแข็ง

2.1.2.4.2 พวก INDICA เป็นข้าวที่ปลูกมากในแถบร้อน เช่น ไทย พม่า อินเดีย เมล็ดยาวเรียวยาว ต้นสูง

2.1.2.4.3 พวก JAVANICA เป็นข้าวที่ปลูกในเขตเส้นศูนย์สูตร เช่น อินโดนีเซีย (เบญจมาศ, 2526)

#### 2.1.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวที่ศึกษา

##### 2.1.3.1 กข 23

ข้าวพันธุ์กข 23 เป็นข้าวเจ้า ช่วงอายุโดยประมาณ 120 - 130 วัน ต้นเตี้ย มีน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกต่อถัง 11.33 กิโลกรัม เมล็ดยาว 7.3 มม. รูปร่างเรียวยาวการเป็นท้องไข่น้อย ปริมาณไมโลส 26 - 30% อุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง ความคงตัวของแป้งอ่อน ข้าวสุกค่อนข้างนุ่ม

##### 2.1.3.2 สุพรรณบุรี 90

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 เป็นข้าวเจ้า เมล็ดยาว 7.4 มม. ปริมาณไมโลส 26 - 28 %

##### 2.1.3.3 เหลืองปะทิว 123

ข้าวพันธุ์เหลืองปะทิว 123 เป็นข้าวเจ้าเก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 19 ธันวาคม ต้นสูง น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกต่อถัง 11.50 กิโลกรัม เมล็ดยาว 7.4 มม. รูปร่างเรียวยาวการเป็นท้องไข่น้อย ปริมาณไมโลส 28 - 32% อุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง ความคงตัวของแป้งอ่อน ข้าวสุกร่วน

##### 2.1.3.4 กข 6

ข้าวพันธุ์กข 6 เป็นข้าวเหนียวหอมได้จากการชักนำ ให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ทางกรรมพันธุ์ เป็นพันธุ์ข้าวที่ได้มาจากการชักนำพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกรรมพันธุ์ โดยเอาเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไปอาบรังสีแกมมา 15, 20, 25 และ 30 กิโลเรด โดยใช้อัตรา 5 กิโลเรดต่อนาที่ พันธุ์ข้าว กข 6 ยังคงลักษณะที่สำคัญของพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไว้คือเป็นพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง มีคุณภาพการหุงต้มดีมีกลิ่นหอม มีความทนแล้งดี นอกจากนี้ก็มีคุณสมบัติที่ดีกว่าพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 คือมีผลผลิตสูง ต้านทานโรคไหม้และใบจุดสีน้ำตาลดีกว่า เมล็ดข้าวเปลือกของพันธุ์ กข 6 มีสีเหลืองเข้ม เมล็ดที่หนึ่งได้นุ่มนวลมีกลิ่นหอม เก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 21 พฤษภาคม ต้นสูงน้ำหนักข้าวเปลือกต่อถัง 10.48 กิโลกรัม เมล็ดยาว 7.3 มม. รูปร่างเรียวยาว ปริมาณโมลอส  $3.65 \pm 0.95\%$  อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ

#### 2.1.3.5 กข 8

ข้าวพันธุ์ กข 8 เป็นข้าวเหนียว เก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 23 พฤศจิกายน ต้นสูง น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกต่อถัง 10.54 กิโลกรัม เมล็ดยาว 7.1 มม. รูปร่างค่อนข้างป้อม ปริมาณโมลอส  $3.22 \pm 0.16\%$  อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ข้าวสุกนุ่ม

#### 2.1.3.6 เหนียวสันป่าตอง

ข้าวเหนียวสันป่าตองเป็นข้าวเหนียวเก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 26 พฤศจิกายน ต้นสูง น้ำหนักข้าวเปลือกต่อถัง 10.16 กิโลกรัม เมล็ดยาว 7.3 มม. รูปร่างเรียวยาว อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ข้าวสุกนุ่ม (วรวิทย์, 2530), (อัมมารและวิโรจน์, 2533), (ละม้ายมาศ, 2525)

## 2.2 องค์ประกอบ และคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการของข้าว

### 2.2.1 ขนาด และรูปร่างเมล็ด

รูปร่างและความยาวต่อความกว้างของเมล็ดนั้นจะแตกต่างกันไปตามลักษณะทางธรรมชาติของแต่ละพันธุ์ข้าวเอง ในการกำหนดมาตรฐานข้าวไทยโดยกระทรวงพาณิชย์นั้น จะแบ่งข้าวออกเป็นข้าวเปอร์เซ็นต์ต่างๆ (เช่น 100% , 5%, 10%, 25%, 35%) และข้าวขาวหักหรือปลายข้าวชนิดต่างๆ (วิโรจน์ และอัมมาร, 2533)

ขนาดเมล็ดจำแนกตามความยาวของเมล็ดเป็น 4 พวกคือ

ขนาดเมล็ด	ความยาว (มม.)
ยาวมาก	ยาวกว่า 7.50
ยาว	6.61 - 7.50
ยาวปานกลาง	5.51 - 6.60
สั้น	ตั้งแต่ 5.50 ลงไป

ตารางที่ 2.1 ขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว จำแนกตามความยาวของเมล็ด

รูปร่างเมล็ด จำแนกตามอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเป็น 3 พวกคือ

รูปร่างเมล็ด	ความยาว / ความกว้าง
เรียวยาว	มากกว่า 3.0
ปานกลาง	2.1 - 3.0
ป้อม	น้อยกว่า 2.1

ตารางที่ 2.2 ขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว จำแนกตามอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง

ข้าวเจ้าของไทยที่ส่งออกส่วนใหญ่ มีเมล็ดยาว ส่วนข้าวเหนียวมีทั้งเมล็ดยาวหรือปานกลาง เมล็ดข้าวเจ้าจะโปร่งแสง ส่วนเมล็ดข้าวเหนียวจะมีความโปร่งแสงต่ำ (Juliano, 1990) ข้าวเมล็ดยาวมีความเหนียวน้อยกว่าเมล็ดปานกลางหรือสั้น (Hamaker และ Griffin, 1990) และมีระดับของการดูดซึมน้ำสูงกว่าข้าวเมล็ดกลมหรือสั้น (Halick และ Keneaster, 1965) นอกจากนี้ข้าวเมล็ดยาวจะมีปริมาณอไมโลสสูง (William และคณะ, 1958) และอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันสูง เมื่อหุงต้มแล้วลักษณะจะแข็งและฟู เมล็ดไม่เกาะติดกัน ส่วนข้าวเมล็ดปานกลางและสั้น จะมีปริมาณอไมโลสและอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันต่ำกว่า เมื่อนำไปหุงต้ม เมล็ดจะเกาะติดกันและนุ่ม (Jane, 1972)

### 2.2.2 อุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชัน (Gelatinization Temperature)

อุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชัน หมายถึง อุณหภูมิซึ่งเมล็ดแป้ง (Starch Granule) เริ่มพองในน้ำร้อน ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชัน 55-79 °C ค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันสามารถแบ่งได้เป็นช่วงต่ำ คือ 69.5 °C หรือต่ำกว่า ช่วงปานกลาง 70 - 74 °C และสูงคือมากกว่า 74 °C (Juliano, 1979) สามารถวัดได้จากระดับการแตกตัวของเมล็ดข้าว 6 เมล็ดใน 1.7% KOH 10 มล. นาน 23 ชั่วโมงที่ 30°C โดยให้คะแนนเป็น 1-7 ข้าวที่มีค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันสูงจะใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีเมล็ดยาว และข้าวที่มีอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันปานกลาง (Halick และ Kelly, 1959) ข้าวเหนียวและข้าวที่มีปริมาณอไมโลสต่ำ จะมีค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันสูง (Juliano, 1985) ข้าวไทยส่วนใหญ่จะมีค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันต่ำถึงปานกลาง ยกเว้นข้าวเหนียวพันธุ์ กข 4 ซึ่งมีอุณหภูมิแป้งสูงมาก ทำให้ไม่สามารถหุงหรือนึ่งให้สุกได้โดยวิธีการปกติ (อัมมารและวิโรจน์, 2533) จากค่าการสลายตัวในต่างแสดงให้เห็นว่า ข้าวที่ไม่มิกลิ้นหอมมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันปานกลาง ข้าวหอมและข้าวเหนียวมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันต่ำ (Juliano, 1990)

### 2.2.3 สัดส่วนของอไมโลส และอไมโลเพคตินในแป้ง

แป้งในเมล็ดข้าวประกอบด้วยอไมโลสและอไมโลเพคติน ถ้าข้าวพันธุ์ใดมีอไมโลสสูง ก็จะมีอไมโลเพคตินต่ำ ข้าวที่มีอไมโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวอไมโลสต่ำ และทำให้ข้าวสุกมีลักษณะที่บวม ไม่เลื่อมมัน ข้าวสุกจะแข็งและร่วนเป็นตัว ข้าวจะหุงขึ้นหม้อ ส่วนข้าวเหนียวซึ่งแป้งมักเป็นอไมโลเพคตินทั้งหมดจะดูดน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวเจ้า ข้าวสุกที่ได้จะเหนียวเกาะกันและนุ่มกว่า (Juliano และคณะ, 1964) ปริมาณอไมโลสเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดในการตรวจคุณภาพเมล็ด ข้าวเจ้าจะมีปริมาณของอไมโลสในสัดส่วนต่างๆกัน ข้าวเจ้าในประเทศไทยมีส่วนประกอบของแป้งที่เป็นอไมโลสอยู่ระหว่างร้อยละ 12 - 31 โดยข้าวที่มีความอ่อนนุ่มเช่น ข้าวหอมมะลิ มักจะมีอไมโลสประมาณร้อยละ 12 - 18 ในอดีตข้าวพันธุ์ IR 8 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุดของ IRRI มีสัดส่วนของอไมโลสในแป้งสูงถึงร้อยละ 35 เมื่อหุงเสร็จ เมล็ดข้าวจึงแข็งมาก (อัมมารและวิโรจน์, 2533), (ละม้ายมาศ, 2525)

สตาร์ชต่างๆจะมีปริมาณอไมโลสต่างกันคือ ข้าวเหนียวมี 1-2%, ต่ำมากที่สุด 2-10 %, ต่ำ 10 - 20 %, ปานกลาง 20 - 25 % และสูง 25 - 33 % (Marcraec และคณะ, 1960) นอกจากนี้สามารถแบ่งปริมาณอไมโลสเป็นอไมโลสในข้าวเหนียว 1 - 2 %, ต่ำ 7 - 20 %, ปานกลาง 20 - 25 % และสูง คือ มากกว่า 25 % (Juliano, 1979) ข้าวเหนียวมีปริมาณอไมโลส 0.8-1.3% ส่วนข้าวเจ้า

มีอไมโลส 7-33 % ถึง 8-37 % ข้าวเหนียวให้สีแดง หรือน้ำตาลกับไอโอดีน ขณะที่ข้าวเจ้าให้สีม่วง น้ำเงินถึงน้ำเงิน โดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ blue - amylose - iodine

ข้าวชนิดต่าง ๆ ที่มีสัดส่วนของปริมาณอไมโลส และปริมาณอไมโลเพคตินต่าง ๆ กัน นำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์จากข้าวชนิดต่าง ๆ ข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักของประเทศลาว ภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Kongseree, 1979) มักใช้ข้าวเหนียวมาทำขนมหวาน อาหารว่าง และสลัดในสหรัฐอเมริกา นำข้าวที่มีปริมาณอไมโลสต่ำ (12-20%) นำมาทำอาหารเช้า, breakfast cereal และขนมปัง ข้าวในประเทศญี่ปุ่น เกาหลี กลุ่ม ECC และจีนตอนเหนือเป็นข้าวที่มีปริมาณอไมโลสต่ำ ข้าวที่มีอไมโลสปานกลาง (20-25 %) มักนำมาทำ fermented rice cake ในฟิลิปปินส์ และ ชุปกระป๋อง ในสหรัฐอเมริกา ข้าวเมล็ดสั้นและปานกลางมีอไมโลสต่ำ และข้าวเมล็ดยาวมีอไมโลสปานกลาง ข้าวอไมโลสสูง (> 25%) นิยมนำมาใช้ทำ extruded rice noodles (Juliano, 1979)

## 2.2.4 โปรตีน

ข้าวเหนียวจะมีโปรตีนสูงกว่าข้าวเจ้า แต่โปรตีนในข้าวเหนียวเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำ ข้าวเจ้าที่มีปริมาณโปรตีนสูง ได้แก่ ข้าวพันธุ์นางพญา นางมล หอมกระดุกช้าง หอมแดงน้อย ข้าวราวขาว ส่วนข้าวเหนียวได้แก่ ข้าวเหนียวดำ ข้าวเหนียวสันป่าตองและกช 2 (วิโรจน์ และ อัมมาร, 2533) ข้าวที่ให้โปรตีนสูง เมล็ดข้าวสารจะมีสีคล้ำ และเมื่อนำมาหุงต้มจะได้ข้าวที่ค่อนข้างแข็ง (Onate และคณะ, 1964) ปริมาณโปรตีนของข้าวไทยส่งออกประมาณ 7.45 % (Unnevehr และคณะ, 1964)

ปริมาณโปรตีนในข้าวคำนวณได้จาก  $N \times 5.95$  (Juliano, 1985), (Hoseney, 1986) แต่รายงานอีกฉบับกล่าวว่า โปรตีน =  $N \times 6.31$  (AOAC, 1976) โปรตีนในแป้งข้าวเจ้าขาวมีประมาณ 6 % (Jane, 1972)

## 2.3 ผลิตภัณฑ์จากข้าว

### 2.3.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าว

เนื่องจากข้าวไทยมีปริมาณอไมโลสแตกต่างกัน ทำให้สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย อาจแบ่งผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากข้าวในรูปแบบต่าง ๆ ได้เป็นกลุ่มดังนี้

### 2.3.1.1 กลุ่มข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวสาร

ต้องเน้นคุณภาพและ คุณค่าทางอาหารพร้อมทั้งความสะดวกในการเตรียม ก่อนบริโภคในลักษณะหุงสุกเร็ว หรือกึ่งสำเร็จรูป เช่น การผลิตข้าวกล้อง และข้าวหนึ่งหุงสุกเร็วเป็น ข้าวที่ดีมีคุณค่าทางอาหารสูงในด้านวิตามินและแร่ธาตุ ข้าวเสริมคุณค่าทางอาหารหุงสุกเร็ว ข้าวต้ม กึ่งสำเร็จรูป ข้าวหุงสุกพร้อมกับข้าวในลักษณะบรรจุกระป๋องหรือกล่อง แล้วแช่เยือกแข็งใน ลักษณะที่อุ่นได้ในเตาไมโครเวฟ ส่วนข้าวคุณภาพดี ประเภทข้าวหอมมะลิ ข้าวบัสมาติ ก็พัฒนาให้ อยู่ในลักษณะหุงสุกเร็ว หรือกึ่งสำเร็จรูปได้เช่นกัน

### 2.3.1.2 กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารเส้น

ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ เส้นหมี่ ก๋วยเตี๋ยว กวยจั๊บ แป้งแผ่น เก๋ยมือ และ ขนมจีน ต้องปรับปรุงคุณภาพและความสะดวกในการเตรียมก่อนบริโภค เช่นกัน อาจทำใน ลักษณะแห้งกึ่งสำเร็จรูป หรือทำเส้นให้สุกอยู่ในน้ำพร้อมปรุงบรรจุในภาชนะบรรจุอย่างเหมาะสม หรือทำเป็นอาหารปรุงสำเร็จแช่เยือกแข็ง ซึ่งอุ่นบริโภคโดยเตาไมโครเวฟได้

### 2.3.1.3 กลุ่มผลิตภัณฑ์ข้าวที่ใช้ระบบของเครื่องเอ็กซ์ทราซันในการแปรรูป

ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ได้แก่ อาหารเสริมเพื่อสุขภาพสำหรับเด็กอ่อนและผู้สูงอายุ อาหารว่าง อาหารหวาน ประเภทขนมขบเคี้ยวทำจากแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว ซึ่ง ประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนากระบวนการผลิตสู่ระบบอุตสาหกรรมจนเป็นที่นิยมทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น เซ็นเบิ (senbei) ทำจากข้าวเจ้า และอะราเร (arare) โดยในกระบวนการผลิตมีการใช้ ระบบเครื่องเอ็กซ์ทราซัน ซึ่งเป็นเพียงส่วนหนึ่งของขั้นตอนการแปรรูปเท่านั้น ยังมีขั้นตอนอื่นๆอีก มากมายที่ปรับปรุงจากวิธีการดั้งเดิม ให้ใช้กระบวนการผลิตที่ทันสมัยขึ้นและควบคุมคุณภาพให้ สม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งเป็นตัวอย่างในความพยายามที่จะปรับปรุง และพัฒนาการผลิตขนมหวาน และอาหารว่างแบบดั้งเดิมของไทยให้เข้าสู่ระบบอุตสาหกรรมได้เช่นเดียวกัน

### 2.3.1.4 กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารหมักดองจากข้าว

เป็นกลุ่มที่ได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนจากทั้งรัฐบาลและนักวิชาการน้อย มาก ขนมจีนแป้งหมักเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่รัฐบาลและนักวิชาการให้ความสนใจปรับปรุงและ พัฒนามากกว่าผลิตภัณฑ์อื่น เนื่องจากวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมอาจเป็นไปได้โดยไม่ถูกสุขลักษณะ ทำ

ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคได้รับประทานแล้วเกิดอาการท้องเสีย ท้องร่วงได้ และสภาพการผลิตมีผลต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการปรับปรุงสุขลักษณะของโรงงาน จนสามารถพัฒนาเป็นโรงงานผลิตขนมจีนขนาดกลางได้ ส่วนผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยเฉพาะเครื่องคั่วที่มีแอลกอฮอล์ มีการผลิตเป็นวิสกี้ในปริมาณไม่มากนัก และควรส่งเสริมและสนับสนุนในการทำข้าวแดงให้เป็นสึผสมอาหารที่ปลอดภัย และการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากข้าวเพื่อใช้ปรุงรสอาหาร

2.3.1.5 กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งข้าวเป็นวัตถุดิบโดยตรง หรือ ด้วยการปรับปรุงคุณสมบัติ องค์ประกอบทางเคมีของแป้งด้วยวิธีทางกายภาพ เคมี และเทคโนโลยีชีวภาพ แล้วจึงนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ (การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2532)

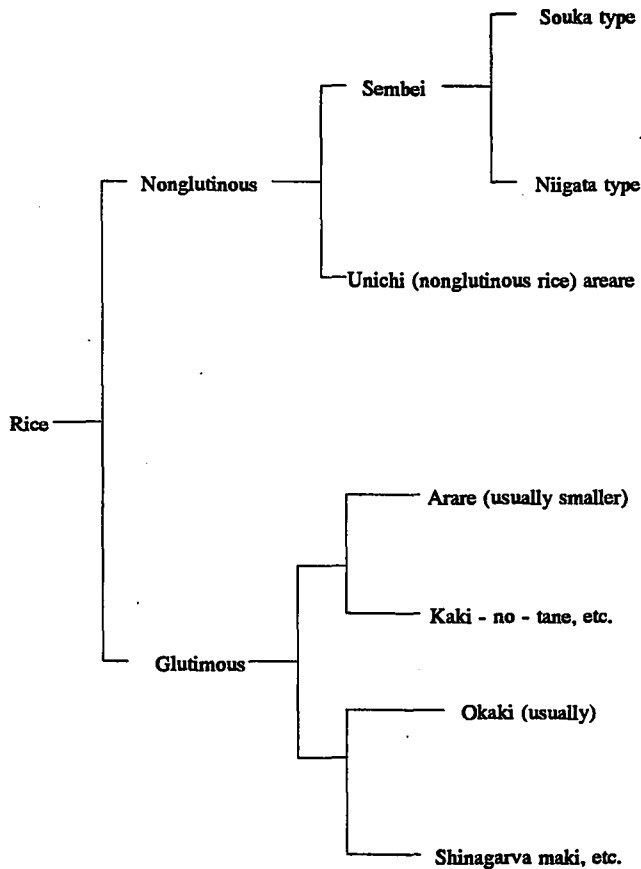
### /2.3.2 อาหารขบเคี้ยวจากข้าว ในประเทศทางด้านตะวันออก ( Rice Snacks in the Orient )

ประเทศสหรัฐอเมริกา มีการบริโภคอาหารขบเคี้ยวเป็นอาหาร หรือ เครื่องดื่มระหว่างมื้ออาหาร อย่างน้อย 60% และมีรายงานการขายอาหารขบเคี้ยวประจำปีมีมูลค่ามากถึง 29.1 พันล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา อาทิเช่น ขนมหวาน คุกกี้ หรือขนมปังกรอบ และมันฝรั่งแผ่น(—, 1990) ส่วนประเทศทางด้านตะวันออก การบริโภคข้าวมีใช้เป็นการรับประทานเพื่อเป็นอาหารหลัก แต่ใช้เป็นอาหารขบเคี้ยวด้วย ซึ่งทำมาจากข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียว บางชนิดทำมาจากข้าวเจ้าผสมข้าวเหนียวเหตุผลในการเลือกใช้ข้าวแตกต่างกันเนื่องจาก คุณลักษณะในการเกาะตัวของข้าวเหนียว ข้าวเหนียวจะนำมาทำอาหารขบเคี้ยวแบบอบ หรือ popped snack เนื่องจากข้าวเหนียวจะขยายตัวได้เต็มที่ และเกิดเนื้อสัมผัสที่มีรูพรุนมากกว่า

อาหารขบเคี้ยวจากข้าวของประเทศทางด้านตะวันออกมีดังนี้ ขนมปังกรอบข้าว(rice cracker), เส้นก๋วยเตี๋ยว (instant rice noodles), oriental rice cake, ข้าวห่อใบไผ่ (bamboo leaf - wrapped rice), popped or fried rice snacks ซึ่งจะขอกกล่าวถึงชนิดที่น่าสนใจ ดังนี้ คือ

### 2.3.2.1 Rice Cracker

rice cracker เป็นอาหารขบเคี้ยวแบบอบที่ทำจากข้าวของชาวญี่ปุ่น ที่สำคัญและมีมาแต่ดั้งเดิม คือ อะราเร (arare) และ เซ็นเบ (senbei) โดย rice crackers ที่ทำจากข้าวเหนียวจะเรียกว่า อะราเร่ หรือ โอากิ (okaki) ซึ่งสามารถละลายได้ง่ายในปาก ส่วน rice crackers ที่ทำจากข้าวเจ้าจะเรียกว่า เซ็นเบ จะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งและหยาบ ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของ rice crackers ได้ดังต่อไปนี้



แผนภาพที่ 2.1 ชนิดของขนมขบเคี้ยว

ที่มา : Li และ Luh, 1980

ทางด้านการผลิต เวลาที่เหมาะสมสำหรับการนวดมีผลต่อเนื้อสัมผัสของ rice cracker โดยมีอิทธิพลต่อข้าวเหนียวมากกว่าข้าวเจ้า แป้งข้าวที่นวดไว้นานกว่าจะขยายตัวได้มากกว่าแป้งที่นวดน้อยกว่า

### 2.3.2.2 อาหารขบเคี้ยวจากข้าวโดยการเอ็กซ์ทรูด ( Extruded Rice Snacks )

extruded rice snacks เป็น popped or fried rice snacks ชนิดหนึ่ง ใช้กระบวนการที่มีอุณหภูมิสูงและเวลาสั้น ซึ่งกลายเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุด สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายมีรูปร่าง,เนื้อสัมผัสต่างกัน และมีคุณสมบัติการคืนรูป(rehydration characteristics) ในกระบวนการนี้ส่วนของความชื้น ความสามารถในการขยายตัว ส่วนของแป้ง และส่วนของโปรตีนในผลิตภัณฑ์ จะถูกทำให้ผสมกันในท่อและมีการใช้ความร้อน ความดัน และแรงเฉียร์ ( mechanical shear ) ร่วมด้วย

ความยืดหยุ่นและความชื้น มีผลต่อการพองตัวของเอ็กซ์ทรูดเตท คุณสมบัติที่สำคัญของอาหารที่ใช้การเอ็กซ์ทรูด คือ การพองตัวของเอ็กซ์ทรูดเตท ซึ่งสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ การให้ความร้อนและการเกิดแรงเฉียร์ในเครื่องเอ็กซ์ทรูดเตทกับส่วนผสม และการแตกตัวของน้ำในส่วนโครงสร้างโมเลกุล จะส่งผลถึงการเกิดเป็นเจลของสตาร์ช และอาจทำให้โมเลกุลของวัตถุดิบแตกตัว และเมื่อถูกแรงดันทำให้ออกจากหัว die วัตถุดิบจะขยายตัวอย่างรวดเร็ว และได้มีการสร้างโมเดลเพื่อทำนายเกี่ยวกับการขยายตัวของเอ็กซ์ทรูดเตท พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการขยายตัวของเอ็กซ์ทรูดเตทที่สำคัญมี 2 ประการ คือ ความหนืดของวัตถุดิบ และความชื้นที่มีอยู่ในวัตถุดิบ (Padmanabhan และ Bhattacharya, 1989)

## 2.4 เครื่อง Extruder

### 2.4.1 หลักการและกลไกการทำงานของเครื่อง Extruder

Extruder เป็นเครื่องมือที่พัฒนามาเป็นเครื่องมือในอุตสาหกรรมอาหาร โดยการดัดแปลงมาจากเครื่องมือในอุตสาหกรรมการผลิตโลหะและอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก โดยใช้หลักการเดียวกันคือ "การสร้างรูปร่างของวัตถุดิบโดยกระบวนการ บด การอัด แล้วให้ผ่านช่องเปิดที่กำหนดรูปร่างไว้" โดยได้เริ่มเข้ามาเป็นที่รู้จักในอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อบดและการผลิต Pasta ส่วนในปัจจุบันนิยมใช้ในโรงงานผลิตพวก อาหารเข้าจากรัฐพีชและ snack food เนื่องจากมีกำลังผลิตสูง เสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อย และยังสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบผลิตภัณฑ์หรือส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ได้ง่ายตามความต้องการของตลาด

Extruder ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นเครื่องมือที่บังคับอาหารซึ่งเป็นวัตถุดิบ ให้เคลื่อนที่หรือไหลไปภายใต้สภาวะต่างๆของการผสม การให้ความร้อนและแรงเฉือนผ่านช่องเปิด ที่ออกแบบให้มีรูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ

การทำงานของเครื่อง Extruder จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

#### 1. Feed zone หรือ Mixing section

ทำหน้าที่รับวัตถุดิบจาก Hopper และลำเลียงอย่างสม่ำเสมอไปยัง Kneading Zone โดยในช่วงนี้สกรูจะมีร่องลึก และระยะเกลียวห่าง จึงมีการบดอัดเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และมีความดันเกิดเพียงเล็กน้อย อาจมีการฉีดน้ำเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส

#### 2. Kneading zone หรือ Transition section

ต่อจากช่วงแรก โดยจะเป็นขบวนการบดอัดวัตถุดิบ ในช่วงนี้จะทำให้เกิดการผสมและแรงเฉือนที่ค่อนข้างรุนแรง การเปลี่ยนแปลงความดัน อุณหภูมิ และอัตราแรงเฉือนของวัตถุจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในตอนท้ายของช่วงนี้วัตถุดิบใน barrel จะมีอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ  $100^{\circ}\text{C}$  ภายในจะเปลี่ยนรูปจาก granular form ไปเป็น viscomorphic mass

#### 3. Cooking zone หรือ Metering section

ช่วงนี้อาหารได้รับอัตราแรงเฉือน ความดัน และอุณหภูมิสูงมากที่สุด เนื่องจากการออกแบบของสกรูให้มีแกนใหญ่ หรือให้มีความลึกของเกลียวสกรูน้อยสุด และมี die plate กั้นขวางไว้ ดังนั้นจะมี leakage flow สูงสุดด้วย ในช่วงนี้สกรูจะบดอัดอาหารจนได้ลักษณะหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน และในที่สุดอาหารจะถูกอัดผ่าน die ออกมา

### 2.4.2 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่อง Extruder

#### 2.4.2.1 Feed Hopper

เป็นส่วนที่รับวัตถุดิบเข้าไปในเครื่องรูปร่างเป็นกรวยแบบง่าย ๆ บางครั้งอาจมีท่อต่าง ๆ มาเปิด อาจจะเป็นท่อน้ำเพื่อการ precondition ของวัตถุดิบ อาจต้องมีระบบการกวนถ้าวัตถุดิบมีความหนืด เพื่อช่วยให้วัตถุเคลื่อนที่ไปยังสกรูได้ง่ายขึ้น ช่วงนี้จะต้องมีการควบคุมอัตราเร็วและความสม่ำเสมอในการป้อนวัตถุดิบ เพื่อป้องกันการทำให้เครื่องติดขัด

#### 2.4.2.2 Barrel

มีรูปร่างเป็นทางกระบอกครอบอยู่ตามความยาวของสกรู ถอดออกเป็นตอนๆได้เพื่อให้มีความยาวตามที่ต้องการ ที่ผิวด้านในจะมีการเซาะร่องหรือมีสันเป็นแนวเพื่อลดการสั่นไหลดของอาหารขณะเคลื่อนที่อยู่ภายในและช่วยเพิ่มแรงดันหรือแรงเฉือนอีกด้วยจากการที่มีแรงเฉือนสูงมาก จึงมีการออกแบบให้มีความแข็งแรงและทนทานต่อการขูดข่วนระหว่างการใช้งานจะต้องมีการดูแล เพื่อให้ระยะห่างระหว่างสกรูกับผิวด้านในของ barrel มีความกว้างน้อยที่สุดและมีขนาดเท่าเดิมตลอดเวลา เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของ Barrel ขนาดมาตรฐานคือ 2.54 3.81 5.08 6.35 8.89 11.43 15.24 และ 20.32 เซนติเมตร ส่วนความยาวจะต่างๆกันไป ถ้ายิ่งยาวมาก พื้นที่ในการทำงานและเวลาที่วัตถุติดถูกบีบอัดก็จะเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L : D) จะมีค่าต่างๆกันตั้งแต่ 1 - 3 : 1 ไปจนถึง 15 - 25 : 1 ส่วนแรงดันภายในระหว่างการใช้งานปกติจะอยู่ในช่วง 15 - 70 บรรยากาศ การใช้งานกับของที่แห้งมาก หรือในสถานะที่การไหลภายในถูกขัดขวาง แรงดันภายในอาจสูงกว่า 700 บรรยากาศ

#### 2.4.2.3 Jacket

ห่อหุ้มอยู่รอบ Barrel เพื่อให้ น้ำเย็นหรือน้ำร้อนไหลอยู่ภายใน และเพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะใช้เครื่อง ซึ่งจะแบ่งเป็นช่วงๆ ตามความยาวของ Barrel โดยบางช่วงอาจต้องการน้ำเย็นเพื่อให้ความเย็น หรือต้องการน้ำร้อนเพื่อให้ความร้อน

#### 2.4.2.4 Screw

ลักษณะของสกรูจะเป็นแกน และมีเกลียวอยู่โดยรอบแกนของสกรู อาจจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่หรือค่อยๆเพิ่มขึ้นก็ได้ เกลียวบนตัวสกรูอาจมีระยะระหว่างเกลียวและความลึกของร่องเกลียวคงที่หรือ ไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ใช้และหน้าที่ในการทำงานในส่วนต่างๆ

นอกจากนั้นบนสกรูอาจจะมีแผ่นกั้น เพื่อลดอัตราการเคลื่อนที่และเพิ่มแรงอัดซึ่งเรียกว่า restriction เข้าไปเป็นช่วงๆ คล้ายกับการออกแบบสกรูและ barrel ให้มีลักษณะต่างๆกัน จะทำให้เกิดแรงเฉือนและแรงอัดต่ออาหารที่มีขนาดต่างๆกัน

สกรูในเครื่องมือจะมีหน้าที่ 3 อย่างคือ

1. รับและขนถ่ายมวลสารในเครื่องมือ
2. อัดและเพิ่มแรงเฉือนให้กับวัตถุดิบให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตามต้องการ
3. ทำให้เกิดการผสมและผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะสม่ำเสมอ

#### 2.4.2.5 Die

ส่วนนี้จะอยู่ที่ส่วนปลายของเครื่องมือ รูปร่างของdieนี้จะมีหลายรูปร่าง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างต่างๆกัน เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านช่องเปิดนี้จะเกิดการขยายตัว เนื่องจากการลดความดันสู่ความดันบรรยากาศอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็ว เพราะผลิตภัณฑ์มักจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ

#### 2.4.3 เปรียบเทียบลักษณะการทำงานของเครื่องExtruder แบบสกรูคู่ และ สกรูเดี่ยว

โดยปกติอาหารจะถูกให้ความร้อนภายในเครื่องมือจนสุก ความร้อนที่ให้อาจทำได้โดยป้อนไอน้ำเข้าสู่แกนด้านในของสกรู หรือป้อนไอน้ำเข้าสู่อาหารโดยตรงหรือบางครั้งอาจใช้ไฟฟ้าในการให้ความร้อน ความร้อนส่วนหนึ่งอาจเกิดจากแรงเสียดทาน ซึ่งเกิดจากการหมุนของสกรู และในร่องหรือลิ้นของ Barrel

แรงดันใน Barrel เกิดขึ้น โดย

1. การขยายขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู และลดระยะห่างระหว่างเกลียว
2. การใช้ tapered barrel กับสกรูที่ลดระยะห่างระหว่างเกลียว
3. การเพิ่มหรือติดแผ่นกั้นในสกรู

ถ้ามีการออกแบบเครื่องมือให้มีแรงอัดสูง ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากช่องเปิดจะมีการพองตัว แต่ถ้าความดันภายในต่ำ และ die มีขนาดใหญ่ ผลิตภัณฑ์จะสุกและอัดตัวกันแน่นขึ้น ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะถูกนำไปทอดหรือผ่านกระบวนการอื่นเพื่อให้เกิดการพองตัวอีกครั้ง

##### 2.4.3.1 Single screw extruder

สกรูในเครื่องมือจะมีเพียงอันเดียว และมีการแบ่งช่วงเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ต่างๆ เช่นการป้อนวัตถุดิบ การอัด การนวด การผสม การเคลื่อนที่ของมวลภายในเครื่องมือจะขึ้นกับแรงเสียดทานที่ผิวด้านในของ barrel อาหารภายในจะมีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจากการ

หมุนของสกรู และบางส่วนจะเคลื่อนที่ถอยหลังกลับเนื่องจากแรงดันกลับ ที่ผนังของ barrel อาจมีการเซาะร่อง เครื่องมือแบบนี้ มีราคา ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการความชำนาญของผู้ควบคุมเครื่องและการบำรุงรักษาน้อยกว่า Twin screw extruder

#### 2.4.3.2 Twin screw extruder

ในเครื่องมือจะเพิ่มสกรูขึ้นตัวหนึ่ง เพื่อพัฒนาให้เครื่องมือมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เครื่องมือประเภทนี้จะมีการอัดซ้อนของเกลียวและทิศทางการหมุนของสกรูต่างๆ คือ เกลียวของสกรูอาจจะไม่ซ้อนกันบางส่วนหรือซ้อนกันเต็มที่ นอกจากนั้นสกรูทั้งสองตัวอาจจะหมุนในทิศทางเดียวกันหรือสวนทางกัน

โดยสรุปแล้วเครื่องแบบสกรูเดี่ยวและสกรูคู่ จะมีข้อแตกต่างกันคือ

##### 1. ความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง

แบบสกรูคู่ จะมีการทำความสะอาดตัวเองได้ดีกว่าให้วัสดุที่ป้อนเข้าไปไม่ติดค้างที่ร่องสกรู ทำให้สามารถควบคุมเวลาที่วัตถุดิบจะอยู่ในเครื่องมือได้แน่นอนและใช้ได้ดีกับวัตถุดิบที่เหนียว ลื่น หรือมีความชื้นสูงมากได้ดีกว่าเครื่องมือสกรูเดี่ยว สามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันไม่เกิน 4% น้ำตาลไม่เกิน 10% และความชื้นไม่เกิน 30% แต่สกรูคู่สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันไม่เกิน 20% น้ำตาลไม่เกิน 40% และความชื้นไม่เกิน 65% จึงมีความยืดหยุ่นในการทำงานมากกว่า

##### 2. การลำเลียงวัตถุดิบ

การลำเลียงวัตถุดิบในเครื่องมือแบบสกรูเดี่ยว จะขึ้นกับแรงเสียดทานที่ผิวของทรงกระบอกที่หุ้มสกรู ซึ่งอาจเพิ่มแรงเสียดทานโดยการเซาะร่องที่ผนังด้านใน barrel แต่เครื่องมือแบบสกรูคู่ แบบที่มีเกลียวซ้อนและหมุนทางเดียวกัน วัสดุจะไหลอยู่ในร่องโดยการอัดอาหารออกมา จะไม่ขึ้นกับอัตราการป้อนวัตถุดิบนั่นคือ เครื่องมือแบบนี้สามารถทำงานได้ไม่ว่าจะมีวัสดุอยู่เต็มหรือไม่ ในขณะที่แบบสกรูเดี่ยวจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อ มีวัสดุอยู่เต็ม และมีการป้อนวัสดุอยู่ตลอดเวลาเท่านั้น การใช้เครื่องมือแบบสกรูคู่ยังช่วย ลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ที่ตกค้างอยู่ในเครื่องมือ เมื่อเลิกผลิตอีกด้วย

##### 3. ความดันภายใน

แบบสกรูคู่จะเพิ่มความดันภายในได้ดีกว่าแบบสกรูเดี่ยว ขนาดของเครื่องมือที่ใช้จะสั้นกว่า เพื่อให้เกิดแรงดันเท่ากัน

#### 4. การควบคุมอัตราการถ่ายเทความร้อน

แบบสกรูจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า และสามารถควบคุมการกระจายของอุณหภูมิภายในได้ดีกว่า จึงใช้ได้ดีกับวัตถุดิบที่ไม่ทนความร้อนและยังช่วยลดการสูญเสียกลิ่น รส ได้ดี

#### 5. ขนาดของวัสดุหรือวัตถุดิบ

ระบบสกรูสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีขนาดผสมกัน ตั้งแต่ขนาดเล็กจนใหญ่ได้ แต่ระบบสกรูเดี่ยว จะใช้ได้จำกัดสำหรับวัตถุดิบที่มีขนาดในช่วงหนึ่งเท่านั้น

### 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

De Mosqueda และคณะ (1986), Chinnaswamy และHanna (1988) กล่าวว่าค่าExpansion Ratio(ER)เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณโมลอสเพิ่ม จากการทดลองข้าวเจ้าและปลายข้าวมีปริมาณโมลอสมากกว่าข้าวเหนียว โดยข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 มีปริมาณโมลอสสูงที่สุด และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณโมลอสต่ำที่สุด พบว่า เมื่อปรับความชื้นเป็น 20% ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีค่า ER สูงที่สุด และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 มีค่า ERต่ำที่สุด และเมื่อปรับความชื้นเป็น25% จะพบว่า ปลายข้าวมีค่า ER สูงที่สุด และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 มีค่า ER ต่ำที่สุด ซึ่งจะเห็นว่าผลการทดลองไม่เป็นไปตามงานวิจัย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นมีค่าไม่เหมาะสม ความชื้นที่เหมาะสมที่จะทำให้การฟองตัวสูงที่สุดคือ 13-14%db (Chinnaswamy และHanna, 1988)และที่ความชื้น25% ข้าวเจ้ามีค่า ER มากกว่าข้าวเหนียว ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าข้าวเจ้ามีปริมาณโมลอสสูงด้วย

Peri และคณะ (1983) รายงานว่า ค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (Volumn Expansion)ลดลง เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่า ข้าวเจ้ามีค่าปริมาตรเพิ่มขึ้น (Volumn Expansion)สูงกว่าปลายข้าวและข้าวเหนียวมีค่าต่ำสุด โดยข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 มีค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้นต่ำสุด ส่วนข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงสุดคือ ข้าวเจ้าพันธุ์ กข 23 และปลายข้าวมีค่าโปรตีนต่ำสุด แต่ถ้าหากพิจารณาโดยไม่แยกพันธุ์ จะเห็นว่า ข้าวเหนียวซึ่งมีค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้นต่ำ จะมีปริมาณโปรตีนสูง

Chinnaswamy และ Hanna(1988) รายงานว่า ค่า Bulk Density ลดลง เมื่อปริมาณโมลอสเพิ่มขึ้น ทำให้เอ็กซ์ทรูเดทแข็งขึ้นจากการทดลอง เมื่อปรับความชื้นเป็น 20% จะพบว่าปลายข้าวและข้าวเหนียวมีค่า Bulk Density มากกว่าข้าวเจ้า โดยปลายข้าวมีค่า Bulk Density สูงสุด และข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 มีค่า Bulk Density ต่ำสุด ซึ่งพบว่าข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 มีปริมาณโมลอสสูงสุดด้วย ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัย ดังนั้นข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ควรจะมีความแข็งแรงสูงสุด แต่จากการทดลอง เมื่อปรับความชื้นเป็น 20% ข้าวเจ้าพันธุ์ กข 23 มีความแข็งแรงสูงสุด รองลงมาคือข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 มีความแข็งแรงต่ำสุด เมื่อปรับความชื้นเป็น 25% พบว่าข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 มีความแข็งแรงสูงสุด ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 มีความแข็งแรงต่ำสุด ซึ่งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 ก็เป็นข้าวที่มีปริมาณโมลอสต่ำ ดังนั้นจึงสอดคล้องกับงานวิจัย

Juliano และคณะ (1990) รายงานว่า ค่าการสลายตัวของเมล็ดในต่าง จะแสดงให้เห็นว่าข้าวเจ้ามีค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันปานกลาง ส่วนข้าวเหนียวมีค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันต่ำ จากการทดลองพบว่า ข้าวเจ้ามีค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันปานกลาง ยกเว้นข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 มีค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันต่ำ และข้าวเหนียวมีค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันต่ำ ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัย

Julino และคณะ (1964) รายงานว่า ค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันแปรผันตามปริมาณโมลอสอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ Beachell และ Stansel (1961) รายงานว่าค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันไม่ขึ้นกับปริมาณโมลอส จากการทดลองพบว่า ข้าวเจ้ามีค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันสูงกว่าปลายข้าวและข้าวเหนียวมีอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันต่ำ โดยข้าวเจ้าพันธุ์ กข 23 มีอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันสูงสุด และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 มีอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์เซชันต่ำสุด ส่วนข้าวที่มีปริมาณโมลอสสูงสุดคือ ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณโมลอสต่ำสุด จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามที่ Beachell และ Stansel รายงาน

Halick และ Keneaster (1956) รายงานว่า ข้าวเมล็ดยาวมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าข้าวเมล็ดกลมหรือสั้น จากการทดลองพบว่า ข้าวเจ้ามีค่า L/W Ratio สูงกว่าข้าวเหนียว โดยข้าวเจ้าพันธุ์ กข 23 มีค่า L/W Ratio สูงสุด และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 มีค่า L/W Ratio ต่ำสุด ส่วนค่าการดูดซึมน้ำของข้าวเจ้า และปลายข้าวมีค่าสูงกว่าข้าวเหนียว จะเห็นว่าข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และ กข 8 มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด

Robert และ Elwood ( 1991 ) รายงานว่า ค่า Bulk Density มีผลต่อการพองตัว จากการทดลองเมื่อปรับความชื้นเป็น 20 % จะพบว่าปลายข้าวมี Bulk Density สูงกว่าข้าวเหนียว และ

ข้าวเหนียวมีค่า Bulk Density สูงกว่าข้าวเจ้า ซึ่งจะพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับการพองตัว แต่จะเห็นว่าข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 มีการพองตัวมากที่สุดเมื่อปรับความชื้นเป็น 25 % จะพบว่าข้าวเจ้ามีค่า Bulk Density สูงกว่าข้าวเหนียว และปลายข้าว แต่จะพบว่าปลายข้าวและข้าวเจ้ามีการพองตัวมากกว่าข้าวเหนียว และกล่าวว่าปริมาณอไมโลสสัมพันธ์กับค่าการดูดซึมน้ำและค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่า ข้าวเจ้าและปลายข้าว ซึ่งมีปริมาณอไมโลสสูงกว่าข้าวเหนียว จะมีค่าการดูดซึมน้ำและค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าด้วย จะเห็นว่าสอดคล้องกับผลการวิจัย โดยข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ซึ่งมีปริมาณอไมโลสสูงสุดจะมีค่าการดูดซึมน้ำและค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้นสูงสุดด้วย และให้ผลเช่นเดียวกับข้าวเหนียวพันธุ์กข6 ที่มีปริมาณอไมโลส ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้นต่ำสุดด้วย

Barrett และ Peleg ( 1992 ) รายงานว่าเอ็กซ์ทรูคเตทที่มีความชื้นมากกว่า จะมีความแข็งมากกว่า จากการทดลองพบว่าเอ็กซ์ทรูคเตทที่ได้จากข้าวที่มีความชื้นมากกว่าจะใช้แรงกดทะลุในเอ็กซ์ทรูคเตทมากกว่า ซึ่งสอดคล้องตามงานวิจัย

**บทที่ 3**  
**อุปกรณ์และวิธีการทดลอง**

**3.1 วัสดุดิบ**

ตัวอย่างข้าวที่ใช้ได้แก่ ข้าวเจ้า 3 พันธุ์คือ กข 23 สุพรรณบุรี 90 เหลืองประทิว 123 และข้าวเหนียว 3 พันธุ์คือ กข 6 กข 8 เหนียวสันป่าตอง แหล่งปลูกจากสถานีทดลองข้าวบางเขน และปลายข้าวจากท้องตลาด

**3.2 อุปกรณ์**

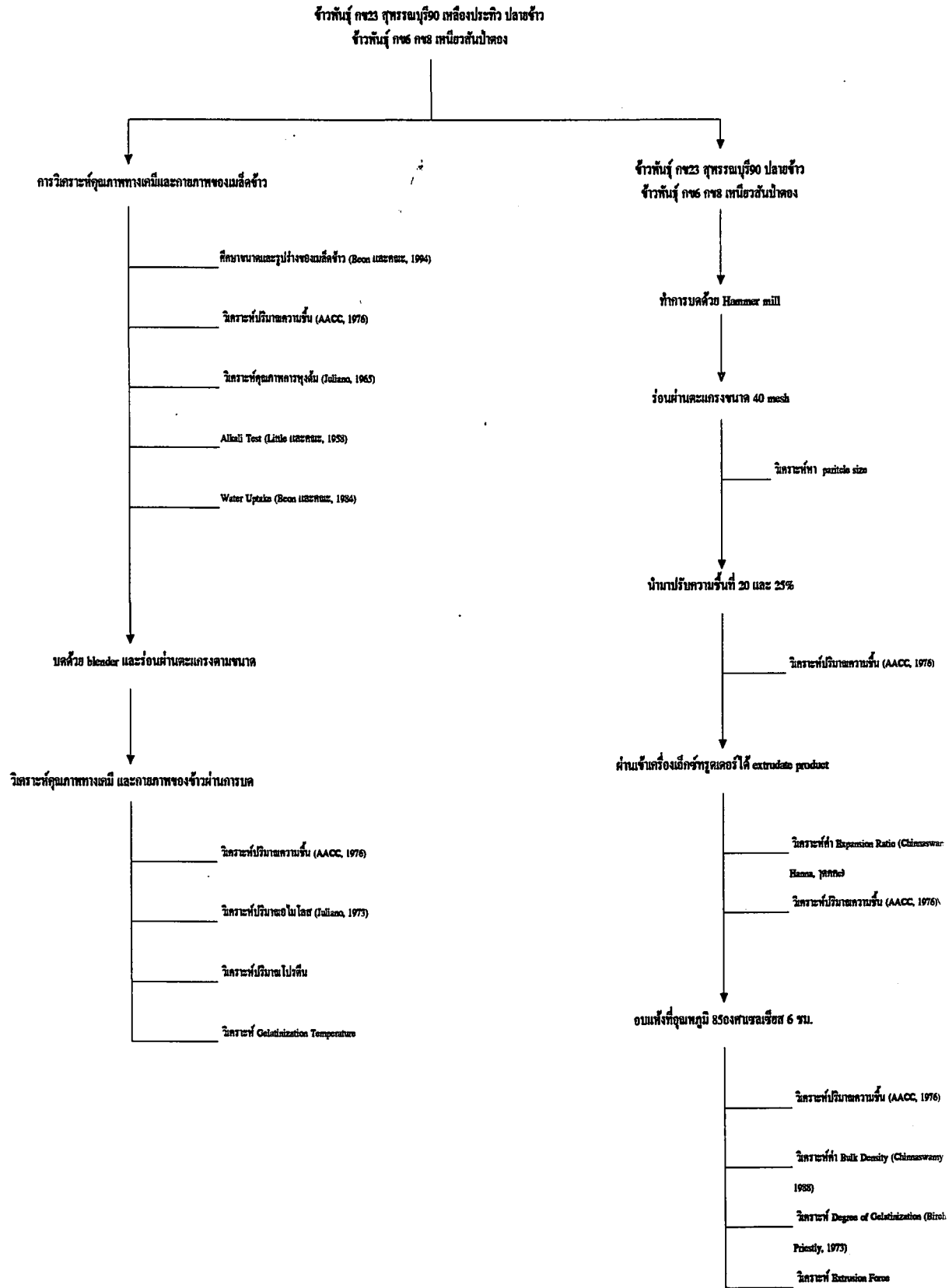
1. Twin screw extruder (Berstorff ZE 25)
2. Hammer mill
3. Spectrophotometre (CECIL , CE 202)
4. Sealer
5. Hot air oven (Memmert 854)
6. Desiccator
7. Hot plate
8. C.W. Barbender Amylograph (PT-100)
9. Buchi (321)
10. Water bath
11. เครื่องชั่งละเอียด (Mettler AE 240)
12. เครื่องสีข้าว (Jica PM 400)
13. เครื่องร่อนแป้ง (FRITSCH 03.502 NO.7813)
14. เวอร์เนียแคลิเปอร์ (Mitutoyo SK type)

### 3.3 วัสดุและสารเคมี

1. ซ้อนตักสาร
2. มุ้งลวด และผ้าขาวบาง
3. กระจกบอกรน้ำกลั่น
4. เครื่องแก้ว
5. อะลูมิเนียมแกน
6. กระดาษกรอง whatman no.4
7. Conc. Acetic
8. Sodium hydroxide (Analytical Reagent , Univar)
9. 95% Ethyl alcohol
10. Iodine (Laboratory Reagent)
11. Potassium Iodide (Analytical Reagent , Univar)
12. Potassium Sulphate (Codex Erba)
13. Boric acid (pro analysi , Merck)
14. Coppersulphate
15. Sulfuric Acid (Actual analysis , Baker Analyzed)
16. Bromocresol Green
17. Methyl Red
18. Hydrochloric Acid (Actual analysis , Baker Analyzed)
19. Potassium Hydroxide

### 3.4 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองโดยสรุปได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดวิธีการทดลองแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพของขั้นตอนการทดลอง

### 3.3.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมี และกายภาพของข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และปลายข้าว

นำข้าวเจ้าพันธุ์ กข23 สุพรรณบุรี 90 และเหลืองประทิว 123 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 กข 8 และเหนียวสันป่าตอง แห่ลงปลุกจากสถานีทดลองข้าว บางเขน และปลายข้าวเจ้า ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ทำการศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพ ดังนี้

#### 3.3.1.1 ศึกษาขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว (Bean และคณะ, 1984)

ใช้เวอร์เนียร์แคลิเปอร์วัดความยาว ความกว้างของเมล็ดข้าวแต่ละชนิด จำนวน 15 เมล็ด แล้วคำนวณหาอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (L / W Ratio) ของข้าว ในแต่ละชนิด

หมายเหตุ ความยาวของเมล็ด หมายถึง ระยะทางที่ยาวที่สุด  
ความกว้างของเมล็ด หมายถึง ระยะทางที่กว้างที่สุด

#### 3.3.1.2 การหาปริมาณความชื้น (AACC, 1976)

อบอะลูมิเนียมแค่น ที่ 130 °C 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน 4 ตำแหน่ง (a) บดข้าวด้วย blender ด้วยความเร็วและเวลาสม่ำเสมอในทุก ๆ พันธุ์ ข้าวบดชั่งในอะลูมิเนียมแค่น ประมาณ 10 กรัม แล้วชั่งน้ำหนักอะลูมิเนียมแค่นพร้อมข้าวบด 10 กรัม (b) อบในตู้อบลมร้อน ที่ 130 °C นาน 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วอบต่อจนมีน้ำหนักคงที่ (c) คำนวณหา %ความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{การคำนวณ \%ความชื้น} = \frac{(b - c)}{(b - a)} * 100$$

โดย a = น้ำหนักอะลูมิเนียมแค่นที่แน่นอนทศนิยม 4 ตำแหน่ง (กรัม)

b = น้ำหนักอะลูมิเนียมแค่น + น้ำหนักข้าวก่อนอบ ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (กรัม)

c = น้ำหนักอะลูมิเนียมแค่น + น้ำหนักข้าวหลังอบทศนิยม 4 ตำแหน่ง (กรัม)

ทุกตัวอย่างทำ 2 ซ้ำ

#### 3.3.1.3 การทดสอบคุณภาพการหุงต้ม (Cooking Quality Test) ในด้านการหา

ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (Volumn Expansion) และปริมาณการดูดซึมน้ำ

(Water Absorption) ปรับปรุงจากวิธีของ Juliano (1965)

ชั่งเมล็ดข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และปลายข้าวในอะลูมิเนียมแค่น ตามอัตราส่วนของน้ำหนักข้าวต่อน้ำหนักน้ำเป็นดังนี้ คืออัตราส่วนของข้าวเจ้าต่อน้ำ เป็น 1:1.6 , 1:1.8

และ 1:2 ( อัตราส่วนของปลายข้าวต่อน้ำเป็นเช่นเดียวกับข้าวเจ้า ) อัตราส่วนของข้าวเหนียวต่อน้ำเป็น 1:1.1 , 1:1.3 และ 1:1.5 ก่อนเติมน้ำให้ชั่งน้ำหนักข้าวและวัดส่วนสูงด้วยเวอร์เนียสแคลิเปอร์ก่อน จากนั้นจึงเติมน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วนำไปนึ่งในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาทีทุกตัวอย่าง ทิ้งให้เย็นในห้องปรับอากาศ 20 นาที ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน และวัดส่วนสูงของข้าวหลังนึ่ง นำข้าวที่นึ่งแล้วไปหาความชื้นต่อตามวิธีของ AACC (1976) คำนวณหาปริมาณที่เพิ่มขึ้น และปริมาณการดูดซึมน้ำ โดยใช้สูตร ( ทำอัตราส่วนละ 3 ซ้ำ )

$$\text{การคำนวณ ปริมาณที่เพิ่มขึ้น} = \frac{\text{ความสูงของข้าวหลังนึ่ง 30 นาที}}{\text{ความสูงของข้าวก่อนนึ่ง 30 นาที}}$$

$$\text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของข้าวหลังนึ่ง 30 นาที}}{\text{น้ำหนักของข้าวก่อนนึ่ง 30 นาที}}$$

ในกรณีของข้าวเหนียวก่อนนึ่ง ต้องแช่ข้าวเหนียวในน้ำด้วยอัตราส่วนที่กำหนดไว้เป็นเวลา 4 - 6 ชั่วโมงก่อน เนื่องจากข้าวเหนียวดูดซึมน้ำยาก และน้ำหนักของอลูมิเนียมแคดที่ทราบค่าแน่นอน ต้องเป็นสภาวะเดียวกับตัวอย่าง คือนำไปนึ่งในน้ำเดือด 30 นาที และทิ้งให้เย็นในห้องปรับอากาศ 20 นาที

#### 3.3.1.4 Alkali Test (Little และคณะ, 1958)

แช่เมล็ดข้าว 10 เมล็ดในสารละลาย 1.7% KOH โดยชั่ง KOH 4.2553 กรัม และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 250 มิลลิลิตร ปริมาณ 27 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 23 ชั่วโมง ให้คะแนนตามลักษณะที่ปรากฏ บันทึกเป็นค่าการสลายเมล็ดในต่างตั้งแต่ 1-7 แล้วหาค่าเฉลี่ยของ ข้าว 10 เมล็ด

ตารางที่ 3.1 การกำหนดคะแนนตามลักษณะของเมล็ดข้าวที่เปลี่ยนแปลงไป ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชัน

ลักษณะของเมล็ดข้าว	คะแนน	อุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชัน ( °C )
ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ	1	74.5 - 80
ลักษณะสีขาวขุ่นบางส่วนรอบเมล็ด	2	74.5 - 80

ลักษณะสีข้าวขุ่นโดยรอบเมล็ด ไม่มีรอยแตก	3	70.0 - 74
ลักษณะสีข้าวขุ่นโดยรอบเมล็ด เมล็ดมีรอยแตก	4	70.0 - 74
เมล็ดสลาย ยังคงเห็นรูปร่าง เมล็ด	5	70.0 - 74
เมล็ดสลายสีข้าวขุ่น ไม่เห็นเป็น รูปร่างเมล็ด	6	น้อยกว่า 70
เมล็ดสลายหมดเป็นแป้งใส	7	น้อยกว่า 70

### 3.3.1.5 การหาค่า Water Uptake (Bean และคณะ, 1984)

ชั่งข้าว 20 กรัมทศนิยม 4 ตำแหน่งแช่ในน้ำกลั่น 100 มล. ตั้งทิ้งไว้ที่ 22-24 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เอน้ำออก โดยกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.4 นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนักข้าวหลังแช่ แล้วรายงานผลเป็นน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่อข้าว 20 กรัม ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

### 3.3.2 การศึกษาคุณภาพทางเคมี และกายภาพของข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และปลายข้าวที่ผ่านการบด

การเตรียมตัวอย่างข้าวบดทำโดย บดข้าวด้วย blender แล้วผ่านเครื่องร่อนแป้งที่มีตะแกรงขนาด 50,70 และ 100 mesh ทำให้ได้ข้าวบดที่มีขนาดดังนี้คือ ข้าวบดที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 mesh, ข้าวบดที่มีขนาดผ่าน 50 - 70 mesh ,ข้าวที่มีขนาดผ่าน 70 mesh -100 mesh และข้าวขนาดเล็กกว่า 100 mesh แล้วจึงนำข้าวบดดังกล่าวมาวิเคราะห์หาคุณภาพทางเคมี และกายภาพดังต่อไปนี้

#### 3.3.2.1 การหาปริมาณความชื้น (AACC, 1976)

ข้าวที่มีขนาดเล็กกว่า 100 mesh นำไปหาความชื้นตามวิธีการทดลองข้อ

#### 3.3.1.2 ( ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)

### 3.3.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณอไมโลส (Juliano, 1971)

#### 3.3.2.2.1 การเตรียมกราฟอไมโลสมาตรฐาน (Juliano, 1971)

ชั่งอไมโลสบริสุทธิ์ 0.0400 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติม 95% ethyl alcohol 1 มิลลิลิตร และสารละลาย NaOH 1 N 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ต้มใน water bath 100 ° C พร้อมเขย่านาน 10 นาที ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยใส่น้ำกลั่นลงไปปริมาณหนึ่งก่อนแล้วผสมให้เข้ากัน แล้วจึงปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตวงสารละลายอไมโลสมาตรฐานใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตรจำนวน 1,2,3,4 และ 5 มิลลิลิตรตามลำดับ เติมสารละลายกรดอะซิติก 1N จำนวน 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิลิตรตามลำดับ เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 20 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร ซึ่งได้ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของแบลนค์แล้ว นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของอไมโลส

#### 3.3.2.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณอไมโลสในตัวอย่างข้าว

ชั่งข้าวบดที่มีขนาดเล็กกว่า 100 mesh ปริมาณ 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติม 95% ethyl alcohol 1 มิลลิลิตร และ 1 N NaOH 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ต้มใน water bath ( 100 ° C ) พร้อมกับเขย่าด้วยนาน 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร จากนั้นใส่น้ำกลั่นล้างให้ทั่ว แล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตวงสารละลายแป้งที่ได้ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรอีกใบหนึ่ง เติมสารละลายกรดอะซิติก 1 N ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร เทน้ำกลั่นลงไปส่วนหนึ่ง เขย่าให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 20 นาที นำไปอ่านค่าดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)

- หมายเหตุ 1. แบลนค์ เตรียมโดยใช้ส่วนผสมและวิธีการทุกอย่างตามข้อ 3.3.2.2 แต่ไม่ใส่ข้าวบด
2. สารละลาย 1 N NaOH เตรียมโดยชั่ง NaOH 40.0000 กรัม ปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

3. สารละลาย 1 N กรดอะซิติก โดยตวงกรดอะซิติกเข้มข้น 57 มิลลิลิตร  
ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตรด้วย  
น้ำกลั่น
4. สารละลายไอโอดีนเตรียมโดยชั่ง 0.2 กรัม ไอโอดีน ผสมกับ  
โปแตสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำ  
กลั่น

### 3.3.2.3 การหาปริมาณโปรตีนโดยใช้เครื่อง Buchi

ชั่งข้าวบดที่มีขนาดผ่าน 50 mesh - 70 mesh ปริมาณ 1 กรัม ทศนิยม 4  
ตำแหน่ง ลงในขวด Kjeldahl flask เติมกะตะลิสต์ 7 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15  
มิลลิลิตร นำใส่ลงในเตาของชุดย่อยในตู้ดูดควัน ให้ความร้อนจนได้สารละลายสีฟ้าใส (เขียว  
ใส) ประมาณ 1 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้เข้าเครื่อง Buchi ที่มีกรดบอริก 2% ผสมกับ mixed  
indicator 3 หยด ซึ่งใช้เป็นตัวจับแอมโมเนียวางไว้ที่ส่วนรองรับแอมโมเนียของเครื่อง Buchi  
เติมน้ำกลั่นที่ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ โดยนำน้ำกลั่นไปต้มไล่คาร์บอนไดออกไซด์ก่อน  
ปริมาณ 50 มิลลิลิตร และ NaOH 32% ปริมาณ 70 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวด Kjeldahl ที่มีสาร  
ละลายอยู่ เริ่มกลั่น รอนจนได้สารละลายบอริก เปลี่ยนสีจากม่วงน้ำเงินเป็นสีเขียว น้ำเงิน นำ  
สารละลายกรดบอริก 2% ไตรเทรทกับสารละลายกรด HCl ความเข้มข้นประมาณ 0.1 N จน  
เปลี่ยนสีจากเขียวน้ำเงินเป็นสีชมพู นำค่าปริมาตรของสารละลาย HCl ที่ใช้มาคำนวณ %  
โปรตีน โดยใช้สูตร (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)

#### การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{\text{ปริมาตรสารละลาย HCl} * \text{Conc HCl} * F * 1400}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} * 6.25$$

- หมายเหตุ
1. ทำแบลงค์โดยใช้ น้ำกลั่น ในที่นี้ค่าแบลงค์เป็น 0
  2. แต่ละครั้งที่เปลี่ยนตัวอย่าง จะใช้น้ำกลั่นล้างเครื่อง Buchi ทุกครั้ง
  3. mixed indicator เตรียมได้จาก 0.1% Bromocresol green ใน 95% ethyl alcohol และ 0.1 % methyl red ใน 95% ethyl alcohol โดย  
นำ Bromocresol green 10 มล. ผสมกับ methyl red 2 มล. ในขวดหยด
  4. กะตะลิสต์เตรียมได้โดยผสม  $\text{CuSO}_4 * 5\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ในอัตราส่วน  
1 ต่อ 8

5. ค่า F คือ ค่าแฟคเตอร์ หาได้เท่ากับ 0.875 ซึ่งมาจากการทดลอง
6. ความเข้มข้นที่แน่นอนของ HCl ที่ใช้เท่ากับ 0.1155 N ซึ่งได้ทำการ standardize ด้วย NaOH 0.1000 N แล้ว

3.3.2.4 Gelatinization temperature โดยใช้เครื่อง Viskograph Brabender Model PT100 ตามวิธีของไทยวา

ซึ่งข้าวบดที่มีขนาดเล็กกว่า 100 mesh โดยใช้ข้าว 6%db สามารถคำนวณน้ำหนักของข้าวและน้ำหนักของน้ำที่ใช้ดังตารางที่ 3.2 รวมปริมาตรทั้งหมดเป็น 500 มิลลิลิตร ผสมข้าวบด และน้ำกลั่นให้เข้ากัน เทใส่ภาชนะสแตนเลสทรงกระบอกที่บรรจุอยู่ในเครื่อง Viskograph Brabender ตั้งจุดเริ่มต้นบนกระดาษกราฟ amylograph เปิดเครื่องโดยให้เครื่องเริ่มทำงานที่อุณหภูมิ 30 °C จนกระทั่งเกิดจุดที่แป้งเริ่มเป็นเจล ให้เครื่องเริ่มทำงานต่อไปอีกแล้ว ปิดเครื่อง นำกราฟมาอ่านค่า gelatinization temperature ( ทำ 1 ซ้ำ )

ตารางที่ 3.2 น้ำหนักของข้าวและน้ำหนักของน้ำที่ใช้ในการหาอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชัน

พันธุ์	น้ำหนักข้าว (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)
กข 23	35.82	464.18
สุพรรณบุรี 90	33.64	466.36
เหลืองประทิว 123	33.70	466.30
กข 6	33.71	466.29
กข 8	33.72	466.28
เหนียวสันป่าตอง	33.60	466.40
ปลายข้าว	34.02	465.98

### 3.3.3 การทดสอบอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อคุณภาพของเอ็กซ์ทรักเตด

นำข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และปลายข้าว จำนวน 3 กก. ที่ผ่านการบดด้วยเครื่อง Hammer mill 4 เที้ยว ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh ปรับให้มีความชื้นเป็น 20 % ปริมาณ 1.5 กก. และ 25 % ปริมาณ 1.5 กก. นำข้าวที่ปรับความชื้นแล้วบรรจุในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เก็บที่อุณหภูมิห้องเย็นประมาณ 5 °C เป็นเวลา 12 ชม. เพื่อให้เกิดความสมดุล นำมาตั้งทิ้งไว้

ที่อุณหภูมิห้องก่อนป้อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์ด้วยอัตราหนึ่ง ณ สถานะการที่เอ็กซ์ทรูดชั่นเดียวกันที่ความเร็วรอบ 300 rpm ขั้วที่ผ่านการบด และเอ็กซ์ทรูดเตที่ที่ได้จากการทดลองนำไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

### 3.3.3.1 การวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคของขั้วบด โดยการทำ Sieve Analysis

นำขั้วบดที่มีขนาดผ่าน 40 mesh มาหาค่า Particle Size Distribution โดยชั่งขั้ว 100 กรัม แล้วร่อนผ่านชุดของตะแกรงซึ่งผ่านการอบและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว ที่มีขนาดตามลำดับดังต่อไปนี้ คือ 30, 50, 70, 100 และ 200 mesh เป็นเวลา 15 นาที ที่ Amplitude ระดับ 6 ชั่งน้ำหนักขั้วที่มีอยู่ในแต่ละตะแกรง แล้ววิเคราะห์หาขนาดของอนุภาค โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและเปอร์เซ็นต์ที่ละเอียดกว่า(% finer than)

### 3.3.3.2 การหาความชื้นของขั้วบดซึ่งผ่านการปรับความชื้น

หาความชื้นของแป้งที่บดแล้วตาม 3.3.1.2

### 3.3.3.3 การหา Expansion Ratio (ER) ของเอ็กซ์ทรูดเต

ค่า Expansion Ratio หาได้จาก

$$ER = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเอ็กซ์ทรูดเต (cm.)}}{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง Die (cm.)}}$$

ทำการทดลองตัวอย่างละ 10 ขั้ว

### 3.3.3.4 การวิเคราะห์หา Bulk Density (Chinnaswamy และ Hanna, 1988)

บดเอ็กซ์ทรูดเตให้มีขนาด 20 - 30 mesh ค่อยๆเทเอ็กซ์ทรูดเตที่บดนี้ลงกระบอกตวงที่ทราบน้ำหนักแน่นอนขนาด 10 มิลลิลิตร โดยให้ตัวอย่างตกอย่างอิสระ จนกระทั่งถึงขีดปริมาตร 10 มล. ชั่งน้ำหนักเอ็กซ์ทรูดเตและกระบอกตวง และคำนวณหา Bulk Density

การคำนวณ

$$\text{Bulk Density} = \frac{\text{น้ำหนักของเอ็กซ์ทรูดเตในกระบอกตวง 10 มล.}}{\text{ปริมาตรกระบอกตวง ( 10 มล.)}}$$

### 3.3.3.5 การหาระดับการเจลาตินไนซ์เซชัน (Degree of Gelatinization) (Birch และ Priestley,1973)

บดเอ็กซ์ทราคต์ให้มีขนาดผ่าน 30 - 50 mesh ซึ่งตัวอย่างปริมาณ 0.04 กรัม ละลายในสารละลาย 0.060 M KOH 50 มล. คนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 15 นาที นำไปเหวี่ยงในเครื่องเซนติฟิวส์ 10 นาที นำส่วนใสมา 1 มล. ผสมกับสารละลาย 0.00667 M HCl 9 มล. เติมไอโอดีน 0.1 มล. (เตรียมโดยผสมไอโอดีน 1 กรัมกับ KI 4 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มล.) ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm. ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ให้ค่าที่อ่านได้เป็น  $a_1$  จากนั้นหาค่า  $a_2$  โดยใช้สารละลาย 0.4 M KOH 50 มล. และสารละลาย 0.0445 M HCl 9 มล. แทนตามลำดับ และคำนวณหา degree of gelatinization ค่าที่รายงานเป็นค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

$$\text{การคำนวณ Degree of Gelatinization} = a_1 / a_2$$

- หมายเหตุ
1. KOH 0.060 M เตรียมได้โดยชั่งน้ำหนัก KOH 3.3668 กรัม ละลายในน้ำ 1,000 ลบ.ซม.
  2. KOH 0.40 M เตรียมได้โดยชั่งน้ำหนัก KOH 22.4440 กรัม ละลายในน้ำ 1,000 ลบ.ซม.
  3. HCl 0.00667 M เตรียมจาก 6 M HCl ปีเปตมา 1.1 ลบ.ซม. ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ลบ.ซม.
  4. HCl 0.0445 M เตรียมจาก 6 M HCl ปีเปตมา 7.42 ลบ.ซม. ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ลบ.ซม.

### 3.3.3.6 การหาแรงกดทะลุในเอ็กซ์ทราคต์ (Penetration Force)

วางเอ็กซ์ทราคต์ที่อบจนแห้งแล้วยาวประมาณ 4 ซม. บนแท่นวางที่ปรับระยะห่างไว้ 3 ซม. โดยวางตามขวาง ดันคันโยกให้ระบบไฮดรอลิกทำงาน หัววัดชนิดหกเหลี่ยม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.560 ซม. ซึ่งต่อกับ load cell ของ KMITL Food Texture Measuring Instrument จะถูกปล่อยให้เคลื่อนที่ลงมาด้วยความเร็ว 10 ซม./นาที กดทะลุเอ็กซ์ทราคต์ ค่าความแข็งของเอ็กซ์ทราคต์จะปรากฏเป็นเส้นกราฟที่จอคอมพิวเตอร์ และจะถูกบันทึกลงบนแผ่นบันทึกข้อมูล เพื่อนำมาอ่านค่าแรงที่ใช้ หรืออาจจะดูค่าแรงจากจอคอมพิวเตอร์ทันทีก็ได้ ซึ่งทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ

**บทที่ 4**  
**ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง**

**4.1 คุณสมบัติของข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และปลายข้าว**

**4.1.1 อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง ( L/W ratio )**

ข้าวเจ้าพันธุ์ กข 23 สุพรรณบุรี 90 และเหลืองประทิว 123 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 กข 8 และเหนียวสันป่าตอง รวมทั้งปลายข้าวหรือข้าวหักที่ซื้อจากตลาด พบว่ามีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของข้าวเจ้ามากกว่าข้าวเหนียว โดยมีพันธุ์ กข 23 ซึ่งเป็นข้าวเจ้าที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างมากที่สุดคือ 3.37 ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 90 และเหลืองประทิว 123 มีอัตราส่วนเท่ากับ 3.21 และ 3.22 ตามลำดับ และสำหรับข้าวเหนียวพบว่า พันธุ์ กข 6 มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างมากที่สุดคือ 3.18 ส่วนพันธุ์ กข 8 และเหนียวสันป่าตอง มีอัตราส่วนเท่ากับ 2.67 และ 3.06 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง ( L/W Ratio )**

พันธุ์	L/W Ratio
กข 23	3.37
สุพรรณบุรี 90	3.21
เหลืองประทิว 123	3.22
กข 6	3.18
กข 8	2.67
เหนียวสันป่าตอง	3.06
ปลายข้าว	-

#### 4.1.2 ความชื้นของเมล็ดข้าว ( %Moisture Content )

ส่วนความชื้นของเมล็ดข้าวพันธุ์ต่างๆพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ระหว่าง 10.29 ถึง 10.76 % ส่วนปลายข้าวมีความชื้น 11.97 % ( ตารางที่ 4.2 )

ตารางที่ 4.2 ค่าความชื้นของเมล็ดข้าว

พันธุ์	% Moisture Content
กข 23	10.29
สุพรรณบุรี 90	10.47
เหลืองประทิว 123	10.70
กข 6	10.45
กข 8	10.35
เหนียวสันป่าตอง	10.76
ปลายข้าว	11.97

#### 4.1.3 ค่า Alkali Test

จากตารางที่ 4.3 ค่า Alkali Test เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับการ degradation ของเมล็ดข้าวโดยการใช้ค่า ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับอุณหภูมิเจลตินไนซ์เซชัน (Juliano และคณะ, 1964) ข้าวทั้งหมดมีค่า Alkali Test เท่ากับ 3.90, 7.00, 5.90, 6.30, 6.30, 6.00 และ 6.90 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่า Alkali Test

พันธุ์	Alkali Score	Gel. Temp. ( °C)
กข 23	3.9	70.0 - 74
สุพรรณบุรี 90	7	< 70
เหลืองประทิว 123	5.9	ประมาณ 70
กข 6	6.3	< 70
กข 8	6.3	< 70

เหนียวสันป่าตอง	6	< 70
ปลายข้าว	6.9	< 70

#### 4.1.4 Water Uptake

จากตารางที่ 4.4 ค่า Water Uptake ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนน้ำที่อุณหภูมิห้อง สำหรับข้าวเจ้าและปลายข้าว จะอยู่ในช่วง 25.48 - 39.43 % (w/w) ขณะที่ข้าวเหนียว จะมีค่า Water Uptake ใกล้เคียงกันมากทั้ง 3 พันธุ์ คือประมาณ 40.73 - 44.81 % (w/w) ซึ่งผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับค่า Alkali Test ที่ทำการทดลองได้ (Juliano และคณะ, 1964 a, b) คือข้าวเหนียว จะมีค่า Alkali Test นับว่าสูงด้วย แต่เมื่อพิจารณาในแต่ละพันธุ์ พบว่าพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ซึ่งมีค่า Water Uptake มากที่สุดคือ 44.81 % (w/w) น่าจะมีค่า Alkali Test สูงสุดด้วย แต่จากการทดลองพบว่าข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตองมีค่า Alkali Test ต่ำสุดในจำนวนข้าวเหนียวทั้งหมด และเมื่อพิจารณาในแต่ละพันธุ์ในข้าวเจ้า ก็พบว่าคลาดเคลื่อนเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อค่า Alkali Test นอกเหนือจากค่า Water Uptake

ตารางที่ 4.4 ค่า Water Uptake

พันธุ์	Water Uptake
กข 23	39.43
สุพรรณบุรี 90	30.82
เหลืองประทิว 123	25.48
กข 6	41.64
กข 8	40.73
เหนียวสันป่าตอง	44.81
ปลายข้าว	31.41

#### 4.1.5 ค่าคุณภาพการหุงต้ม (Cooking Quality)

จากตารางที่ 4.5 สำหรับคุณภาพการหุงต้ม ควรพิจารณาผลการทดลองที่ได้จากการใช้อัตราส่วนน้ำในปริมาณที่มากเกินไป แต่เป็นปริมาณที่แน่นอน (Batcher และคณะ, 1963) ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาที่อัตราส่วน 1 ต่อ 2.0 สำหรับข้าวเจ้า และที่ 1 ต่อ 1.5 สำหรับข้าวเหนียว

โดยปกติแล้วค่าความสัมพัทธ์ของค่า Water Absorption ค่า Volume Expansion และปริมาณความชื้นของข้าวที่ผ่านการทดสอบคุณภาพการหุงต้ม ควรจะเป็นไปในทางเดียวกัน ซึ่งผลการทดลองก็ปรากฏว่าสอดคล้องกัน กล่าวคือ ข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีค่า Water Absorption สูงสุด และมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดก็คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 90 ซึ่งปรากฏว่ามีค่า Volume Expansion สูงสุดด้วย ส่วนในข้าวเหนียว พันธุ์ที่มีค่า Water Absorption และปริมาณความชื้นสูงสุด ก็คือพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ก็ปรากฏว่ามีค่า Volume Expansion สูงสุดเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.5 ค่าแสดงคุณภาพการหุงต้มในด้านปริมาณการดูดซึมน้ำ ปริมาตรที่เพิ่มขึ้นและปริมาณความชื้น

พันธุ์	อัตราส่วน (น้ำหนักข้าว : น้ำหนักน้ำ)	Water Absorption	Volume Expansion	% Moisture Content
กข 23	1 : 1.6	2.55	3.39	60.45
	1 : 1.8	2.74	4.04	67.31
	1 : 2.0	2.94	4.42	ND
สุพรรณบุรี 90	1 : 1.6	2.39	2.82	61.00
	1 : 1.8	2.75	3.06	67.32
	1 : 2.0	2.97	4.69	ND
เหลืองประทิว123	1 : 1.6	2.58	3.10	65.00
	1 : 1.8	2.76	3.22	67.53
	1 : 2.0	2.92	4.12	ND
กข 6	1 : 1.1	2.08	2.04	56.77
	1 : 1.3	2.16	2.05	56.45
	1 : 1.5	2.27	2.11	60.41
กข 8	1 : 1.1	2.08	2.17	56.99
	1 : 1.3	2.18	2.20	58.94
	1 : 1.5	2.27	2.31	60.57
เหนียวสันป่าตอง	1 : 1.1	2.06	2.00	57.00
	1 : 1.3	2.27	2.08	61.11
	1 : 1.5	2.49	2.50	64.16
ปลายข้าว	1 : 1.6	2.58	3.48	65.99
	1 : 1.8	2.77	3.62	68.23
	1 : 2.0	2.94	3.80	ND

## 4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และ ปลายข้าวที่ผ่านการบด

### 4.2.1 ปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 4.6 พบว่าข้าวที่ผ่านการบดแล้ว จะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากก่อนบด โดยปลายข้าวจะมีความชื้นมากที่สุดคือ 11.83 % (wb) และข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 มีความชื้นน้อยที่สุดคือ 10.72 % (wb)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณความชื้น

พันธุ์	% Moisture Content
กข 23	11.12
สุพรรณบุรี 90	10.72
เหลืองประทิว 123	10.80
กข 6	10.96
กข 8	11.00
เหนียวสันป่าตอง	11.03
ปลายข้าว	11.83

### 4.2.2 ปริมาณอไมโลส

กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณอไมโลส ดังแสดงในภาคผนวก ก. และจากตารางที่ 4.7 ปริมาณอไมโลสพิจาณาจากข้าวที่บดผ่าน 100 mesh (Juliano, 1971) พบว่าข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 มีปริมาณอไมโลสสูงสุดคือ 29.35% กข 23 และเหลืองประทิว 123 มีปริมาณอไมโลส 20.90 และ 28.09 %ตามลำดับ ข้าวเหนียวมีปริมาณอไมโลสต่ำกว่าข้าวเจ้า มีค่าเท่ากับ 4.65, 5.25 และ 8.58 สำหรับพันธุ์กข 6 กข 8 และเหนียวสันป่าตองตามลำดับ และปลายข้าวมีปริมาณอไมโลส 21.68 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณอไมโลสพบในข้าวเจ้ามาก

กว่าข้าวเหนียว (Juliano และคณะ, 1965) และพบมากที่สุดในการหุงต้มในข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 และเนื่องจากปริมาณอไมโลสเป็นตัวที่มีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพการหุงต้ม ดังนั้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของปริมาณอไมโลส และคุณภาพการหุงต้มจึงแปรผันตามกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าสอดคล้องกับแนวโน้ม กล่าวคือ ค่าการดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิสูง และค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของข้าวเจ้ามีมากกว่าข้าวเหนียวเช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ปริมาณอไมโลส และข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ก็มีค่าคุณภาพการหุงต้มสูงสุด เช่นเดียวกับที่มีปริมาณอไมโลสสูงสุด สำหรับปลายข้าวซึ่งพบว่ามีความสามารถในการหุงต้มสูงกว่าข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90 แต่มีค่าปริมาณอไมโลสต่ำกว่านั้น อาจเนื่องมาจากปัจจัยตัวอื่นที่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มเช่นเดียวกัน

#### ตารางที่ 4.7 ปริมาณอไมโลส

พันธุ์	% Amylose Content	
	50 -70 ( mesh)	below 100 ( mesh )
กข 23	19.74	20.90
สุพรรณบุรี 90	24.45	29.35
เหลืองประทิว 123	25.71	28.09
กข 6	4.87	4.65
กข 8	4.70	5.25
เหนียวสันป่าตอง	1.81	8.58
ปลายข้าว	16.71	21.68

#### 4.2.3 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีน ที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยปลายข้าวจะมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด คือที่ขนาดอนุภาคของข้าว 50 - 70 mesh เท่ากับ 6.81 % และที่ขนาดอนุภาคของข้าว 70 - 100 mesh เท่ากับ 6.35 % ข้าวเจ้าที่มีปริมาณโปรตีนสูงสุดคือ พันธุ์กข 23 มีปริมาณโปรตีน 10.78 % พันธุ์สุพรรณบุรี 90 และเหลืองประทิว 123 มีปริมาณโปรตีน 8.81 และ 9.36 % ตามลำดับ ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์ที่มีโปรตีนสูงสุดคือ พันธุ์เหนียวสันป่าตอง 9.87 % พันธุ์กข 6 และกข 8 มีปริมาณโปรตีน 9.63 และ 9.62 % ตามลำดับดังตารางที่ 4.8 และจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนและคุณภาพการหุงต้ม พบว่าปริมาณโปรตีนที่ทำกรวิเคราะห์ในข้าวที่ผ่านการบดทั้งหมด

ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกันและปลายข้าวมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด โดยเมื่อโปรตีนได้รับความร้อนในสถานะที่มีน้ำจะสามารถเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวขึ้นได้ ทำให้ค่าคุณภาพการหุงต้มลดน้อยลงดังนั้นจึงอธิบายได้ว่าเหตุใดปลายข้าวจึงมีคุณภาพการหุงต้มสูงที่สุด สำหรับข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกัน ปริมาณอไมโลสจึงมีผลโดยตรงต่อคุณภาพการหุงต้มมากกว่า (Juliano และคณะ, 1965)

#### ตารางที่ 4.8 ปริมาณโปรตีน

พันธุ์	% Protein Content	
	50 -70 ( mesh)	70 - 100 ( mesh )
กข 23	10.78	11.56
สุพรรณบุรี 90	8.81	8.99
เหลืองประทิว 123	9.36	9.00
กข 6	9.63	10.09
กข 8	9.62	9.07
เหนียวสันป่าตอง	9.87	10.27
ปลายข้าว	6.81	6.35

#### 4.2.4 Gelatinization Temperature

อุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันที่วิเคราะห์ จากการใช้เครื่อง Barbender Amylograph พบว่าข้าวเจ้าอยู่ระหว่าง 87.3 - 89.8 °C และข้าวเหนียวอยู่ระหว่าง 63.5 - 68 °C ส่วนปลายข้าวอ่านค่าได้ 83.5 °C จากตารางที่ 4.6 และ 4.8 แสดงผลการศึกษาคูสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวเจ้าทั้ง 3 พันธุ์ คือ กข 6 กข 8 เหนียวสันป่าตอง และปลายข้าว พบว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันที่เทียบผลจากค่าการสลายตัวของเมล็ดในต่าง สำหรับข้าวเจ้าจะมีค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันปานกลาง ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี 90 จะมีค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันต่ำคือน้อยกว่า 70 °C ข้าวเหนียวและปลายข้าวพบว่ามีอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันต่ำใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาเทียบกับอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันที่วิเคราะห์ได้จาก Barbender Amylograph พบว่าช่วงอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันของข้าวเจ้าที่ได้จาก 2 วิธีนี้ มีช่วงแตกต่างกัน โดยเมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์จาก Barbender Amylograph จะได้ค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันสูงกว่า และสำหรับข้าวเหนียวไม่ปรากฏความแตกต่าง กล่าวคือค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันที่ได้จาก 2 วิธี

นี้มีค่าอยู่ในช่วงน้อยกว่า 70 °C ส่วนปลายข้าวมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันที่ได้จากการวิเคราะห์จาก Barbender Amylograph พบว่าสูงมาก ซึ่งสาเหตุความคลาดเคลื่อนนี้ อาจเกิดจากการเลือกใช้ความเข้มข้นของค่างในการวิเคราะห์ไม่เหมาะสม (Palmiano และ Juliano, 1972) แต่โดยสรุปแล้วค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันของข้าวเหนียว จะต่ำกว่าข้าวเจ้าและปลายข้าว ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณอไมโลสของข้าวเจ้า ซึ่งมากกว่าข้าวเหนียวและปลายข้าว (Bhattacharya, 1972) แต่เมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้ว ในขณะที่ข้าวเจ้าเหมือนกันแต่คนละพันธุ์ ค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชัน และปริมาณอไมโลสจะไม่สอดคล้องกัน กล่าวคือสำหรับข้าวเจ้าพันธุ์กข 23 จะมีค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันสูงที่สุดและข้าวเหนียวพันธุ์กข 8 จะมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันต่ำสุด แต่เมื่อพิจารณาปริมาณอไมโลสข้าวเจ้าที่มีปริมาณอไมโลสสูงสุดคือพันธุ์สุพรรณบุรี 90 และข้าวเหนียวคือ พันธุ์กข 6 ที่มีปริมาณอไมโลสต่ำสุด จึงทำให้คิดได้ว่าความสัมพันธ์นี้อาจจะให้ผลถูกต้องได้ สำหรับข้าวที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันและปริมาณอไมโลสที่มีค่าต่างกันมาก ๆ เท่านั้น (Juliano, 1964)

#### ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชัน

พันธุ์	Gelatinization Temperature ( °C )
กข 23	89.80
สุพรรณบุรี 90	87.30
เหลืองประทิว 123	87.70
กข 6	63.50
กข 8	69.60
เหนียวสันป่าตอง	68.00
ปลายข้าว	83.50

### 4.3 การเอ็กซ์ทรักชันของข้าวพันธุ์ต่างๆที่บดผ่านHammer millและปริมาณความชื้นหลังการบด

#### 4.3.1 ขนาดอนุภาคของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่บดผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh

จากตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบขนาดอนุภาค โดยเฉลี่ยก่อนข้างใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 0.139 - 0.174 cm.

#### ตารางที่ 4.10 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของข้าว ที่ใช้ในการเอ็กซ์ทรัก

พันธุ์	ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย
กข 23	0.139
สุพรรณบุรี 90	0.142
กข 6	0.139
กข 8	0.152
ปลายข้าว	0.174

#### 4.3.2 ปริมาณความชื้นที่แน่นอนของข้าวชนิดต่างๆ ก่อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรักเตอร์

จากตารางที่ 4.11 พบว่าค่าปริมาณความชื้นของข้าวปรับความชื้นที่ต้องการโดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก

ตารางที่ 4.11 ปริมาณความชื้นของข้าวก่อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

พันธุ์	% Moisture Content
กข 23	20.04
	25.08
สุพรรณบุรี 90	20.58
	25.39
กข 6	20.62
	25.21
กข 8	21.30
	26.08
ปลายข้าว	20.33
	25.29

#### 4.4 คุณภาพของเอ็กซ์ทรูเดท

##### 4.4.1 ศักยภาพส่วนการพองตัว

จากตารางที่ 4.12 ปริมาณความชื้นของข้าวที่ผ่านการบด ก่อนป้อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ก็มีผลต่อระดับการพองตัวแตกต่างกัน โดยจากการทดลองได้ปรับปริมาณความชื้นไว้ 2 ระดับ คือ 20 และ 25 % พบว่าปริมาณความชื้นที่ 25 % ให้ระดับการพองตัว (cm./cm.) ของข้าวต่าง ๆ พันธุ์ได้ค่าน้อยกว่าข้าวที่มีปริมาณความชื้น 20 % และพันธุ์ที่ให้ระดับการพองตัวสูงสุดก็คือข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 ที่ปริมาณความชื้น 20 % มีค่าเท่ากับ 3.86 (cm./cm.) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองของ (Juliano, 1985) และจากปริมาณอโมไลสซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อค่าการพองตัวของเอ็กซ์ทรูเดท (Chinnaswamy และ Hanna, 1988) ซึ่งพบว่าข้าวเจ้ามีปริมาณอโมไลสมากกว่าข้าวเหนียว และที่ระดับความชื้น 25% ข้าวเจ้ามีค่าการพองตัวของเอ็กซ์ทรูเดทน้อยลง เนื่องจากปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นในข้าวก่อนเข้าเอ็กซ์ทรูเดอร์ จะมีผลให้ความหนืดของ dough ลดน้อยลง แรงดันต่ำ ทำให้เอ็กซ์ทรูเดทภายหลังออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีการพองตัวน้อยลง (พิเชฐ, 2536) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ และที่ระดับความชื้น 20% พบว่าข้าวพันธุ์ที่ให้เอ็กซ์ทรูเดทที่พองตัวมากที่สุด ก็คือ พันธุ์กข 6 พองตัว 3.86 ซึ่งสาเหตุอาจเกิดขึ้น



ตารางที่ 4.13 ค่าBulk Density ของเอ็กซ์ทราคเตด

พันธุ์	% Moisture Content ก่อนเข้าเครื่อง	Bulk Density ( Kg./m <sup>3</sup> )
กข 23	20.04	0.55
	25.08	0.74
สุพรรณบุรี 90	20.58	0.52
	25.39	0.65
กข 6	20.62	0.60
	25.21	0.62
กข 8	21.30	0.63
	26.08	0.61
ปลายข้าว	20.33	0.63
	25.29	0.61

#### 4.4.2.2 ค่าระดับการเจลาติไนซ์ของเอ็กซ์ทราคเตด

จากตารางที่ 4.14 ค่าระดับการเจลาติไนซ์ของเอ็กซ์ทราคเตดที่ระดับความชื้นที่เพิ่มมากขึ้น พบว่าค่าระดับการเจลาติไนซ์จะมีค่าลดลง (Birch และ Priestly, 1973) โดยเอ็กซ์ทราคเตดของข้าวพันธุ์กข 6 ปรากฏว่ามีค่าระดับการเจลาติไนซ์สูงที่สุด โดยที่ 20% ความชื้น มีค่าระดับการเจลาติไนซ์ 0.79 และพบว่าเอ็กซ์ทราคเตดของข้าวพันธุ์กข 23 มีระดับการเจลาติไนซ์ที่ 20% ความชื้นเท่ากับ 0.07 และที่ความชื้น 25% มีค่าระดับการเจลาติไนซ์ 0.06 ซึ่งนับว่าเป็นข้าวพันธุ์ที่เกิดการเจลาติไนซ์น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.14 ค่าระดับการเจลาติไนซ์

พันธุ์	% Moisture	Degree of Gelatinize
กข 23	20.04	0.12
	25.08	0.06
สุพรรณบุรี 90	20.58	0.21
	25.39	0.13
กข 6	20.62	0.79
	25.21	0.51
กข 8	21.30	0.74
	26.08	0.78
ปลายข้าว	20.33	0.10
	25.29	0.08

## 4.4.2.3 แรงกดทะเลือ็กซ์ทรูคเตท

ค่าแรงที่ใช้ในการกดทะเลือ็กซ์ทรูคเตท เป็นค่าแรงที่สามารถบ่งบอกถึงความแข็งของเอ็กซ์ทรูคเตทได้ ซึ่งจากตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าสำหรับข้าวเหนียวจะใช้แรงในการกดทะเลือ็กซ์ทรูคเตทน้อยกว่าข้าวเจ้า โดยที่ระดับความชื้นที่เพิ่มมากขึ้นพบว่า ต้องใช้แรงในการกดทะเลือ็กซ์ทรูคเตทน้อยลง (Barrett และ Peleg, 1992) โดยสำหรับเอ็กซ์ทรูคเตทพันธุ์ กข 23 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.31 กก. ที่ระดับความชื้น 20 % และที่ระดับความชื้น 25 % มีค่า 2.90 กก. ส่วนพันธุ์ที่ต้องใช้แรงกดทะเลือ็กซ์ทรูคเตทน้อยสุด คือข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 โดยที่ระดับความชื้น 20 % มีค่าเท่ากับ 1.80 และที่ 25% มีค่าเท่ากับ 0.49 และจากค่าแรงที่ใช้สามารถบอกถึงความแข็งได้ และความแข็งของเอ็กซ์ทรูคเตทนี้สัมพันธ์กับค่า Bulk Density คือถ้า Bulk Density มากความแข็งของเอ็กซ์ทรูคเตทนั้นควรจะมีค่าน้อย (Chinnaswamy และ Hanna, 1988) เมื่อพิจารณาค่า Bulk Density พบว่าที่ระดับความชื้นเดียวกันคือ 25 % ข้าวเจ้าจะมีค่า Bulk Density สูงกว่าข้าวเหนียว แต่ข้าวเจ้ามีความแข็งมากกว่าข้าวเหนียวด้วย และเมื่อพิจารณาค่า Bulk Density ที่ระดับความชื้น 20 % พบว่าข้าวเจ้ามีค่า Bulk Density ต่ำกว่าข้าวเหนียว และมีความแข็งมากกว่าซึ่งสอดคล้องกัน ปลายข้าวมีค่า Bulk Density สูงกว่าข้าวเหนียว แต่มีความแข็งกว่าข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 ซึ่งไม่สอดคล้องกัน

ตารางที่ 4.15 แรงที่ใช้กดทะลุเอ็กซ์ทรูดเดท

พันธุ์	% Moisture	Force (Kg.)
กข 23	20.04	5.31
	25.08	2.90
สุพรรณบุรี 90	20.58	3.83
	25.39	2.92
กข 6	20.62	2.77
	25.21	0.55
กข 8	21.30	1.80
	26.08	0.49
ปลายข้าว	20.33	2.15
	25.29	1.52

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และปลายข้าว

- ข้าวเจ้ามีค่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง ( L/W Ratio ) สูงกว่าข้าวเหนียว
- ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีความชื้นใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 10.29 - 10.76% ส่วนปลายข้าวมีความชื้นสูงสุดคือ 11.97 %
- ข้าวเจ้ามีค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่างต่ำกว่าข้าวเหนียว และปลายข้าว ยกเว้นข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90
- ข้าวเหนียวมีค่า Water Uptake สูงกว่าข้าวเจ้าและปลายข้าว
- เมื่ออัตราส่วนของข้าวเจ้าต่อน้ำเป็น 1:2 , อัตราส่วนของข้าวเหนียวต่อน้ำเป็น 1:1.5 พบว่าข้าวเจ้าและปลายข้าวมีค่าการดูดซึมน้ำ และค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าข้าวเหนียว

##### 5.1.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และปลายข้าวที่ผ่านการบด

- ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีความชื้นเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 10.72 -11.12% ส่วนปลายข้าวมีค่าใกล้เคียงกับปลายข้าวที่ยังไม่ผ่านการบดเท่ากับ 11.83 %
- ข้าวเจ้าและปลายข้าวมีปริมาณอไม โลส ค่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชันสูงกว่าข้าวเหนียวแต่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าข้าวเหนียว ยกเว้น ข้าวเจ้าพันธุ์กข 23 จะมีปริมาณโปรตีนสูงสุด

### 5.1.3 ผลของความชื้นในส่วนผสมที่มีผลต่อคุณภาพของเอ็กซ์ทรูคเตด

- ระดับความชื้น 20% เกิดการพองตัวมากกว่าที่ระดับความชื้น 25 % แต่มีค่า Bulk Density ต่ำกว่า ยกเว้นข้าวเหนียวและปลายข้าวมีค่าใกล้เคียงกัน, ค่าระดับการเจลาติไนซ์จะมีค่ามากกว่า และค่าแรงกดทะเลดูในเอ็กซ์ทรูคเตดมีค่ามากกว่า

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการแปรรูปข้าวชนิดต่างๆ จะต้องใช้ข้าวที่มีคุณสมบัติต่างๆกัน ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของข้าวนี้ จึงสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน และจะสามารถทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวชนิดต่างๆ เป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่ควรจะมีการศึกษาคุณสมบัติ และความสัมพัทธ์อื่นๆอีกเช่น วิเคราะห์หาค่า WAI (Water Absorption Index), ค่า WSI (Water Solubility Index) เป็นต้น เพื่อความสมบูรณ์ของการแปรรูปข้าวชนิดต่างๆ

5.2.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยต่างๆเช่น อุณหภูมิและเวลาที่อยู่ในเครื่องเอ็กซ์ทรูคเตดอร์ ความเร็วรอบของสกรู ขนาดของdie และชนิดของส่วนประกอบต่างๆ เนื่องจากมีผลต่อต่อคุณภาพของเอ็กซ์ทรูคเตด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูคเตดที่เหมาะสมต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32. 2532. ศักยภาพข้าวไทยทิศทางใหม่สู่อุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. งามชื่น คงเสรี. 2532. ศักยภาพข้าวไทย - ทิศทางใหม่สู่อุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เบ็ญจมาศ ศิริภัทร. 2526. การตรวจสอบและเก็บรักษาคุณภาพข้าว. กรุงเทพมหานคร:สถาบันฝึกอบรมสหกรณ์การเกษตรแห่งชาติ.
- พิเชฐ วัชรศักดิ์ไพศาล. 2536. การใช้เครื่องเอ็กซ์ทราuderในอุตสาหกรรมอาหาร. รายงานสัมมนา สาขาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ละม้ายมาศ ขาวไชยมหา. 2525. การเปรียบเทียบองค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของข้าว กข บางพันธุ์ที่ปลูกในแหล่งต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรวิทย์ พาณิชพัฒน์. 2530. ข้าวหอม ข้าวดอกมะลิ 105 บัสมतीและอื่น. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 45 หน้า.
- วิโรจน์ ณ ระนอง และ อัมมาร สยามวาลา. 2533. ประมวลความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. 436 หน้า.
- \_\_\_\_\_. 1990. 22nd Annual State of the Snack Food Industries Report. USA.: Macmillan Publishers.
- AACC. 1976. American Association of Cereal Chemists, Approval Method. USA: Association of Official Chemist, Inc.
- Adair, C.R., et.al. 1966. Agriculture Handbook. USA. : Agriculture Research Service U.S. Department of Agriculture. 124 pp.
- AOAC. 1983. Association of Official Analytical Chemists, 13th ed. Washington, D.C. : Association of Official Chemist, Inc.
- Asean - Thailand. 1986. Food Technology Research and Development Project 1982 - 1985. Bangkok : Institute of Food Research and Product Development. Kasetsart University.
- Barrett, A.H., and Peleg, M. 1992. Extrudate cell Structure - Texture Relationship. J. Food Sci. 57(5):1253 -1257.

- Beachell,H.M.,and Stansel,J.W. 1961. Abstr. Symp. Papers. 10th Pacific Sci. Congr. pp. 23.
- Bean,M.M.,et.al. 1984. Some Physicochemical and Food Application Characteristics of California Waxy Rice Varieties. Cereal Chem. 61(6):475 - 480.
- Bennion, M. 1980. The Science of Food. USA: Library of Congress Cataloging in Publication Data. 589 pp.
- Bhattacharya,K.R.,et.al. 1972. Interrelationship between Certain Physicochemical Properties of Rice. J. Food Sci. 37:733 -735.
- Bowers, J. 1972. Food Theory and Applications. New York : John wiley & Sons. 177 pp.
- Cai,W.,and Diosady,L.L. 1993. Model for Gelatinization of Wheat Starch in a Twin-Screw Extruder. J. Food Sci. 58(4):872 -875.
- Chiang,B.Y.,and Jhonson,J.A. 1977. Gelatinization of Starch in Extruded Products. Cereal Chem. 54(3):436 - 443.
- Chinnaswamy,R.,and Hanna,M.A. 1988. Relationship between Amylose Content and Extrusion - Expansion Properties of Corn Starches. Cereal Chem. 65(2):138 -143.
- Corbin,D.D.,et.al. 1972. Process for Preparing a Low Calorie Snack. U.S.Patent. 3,682,652.
- De Mosqueda., M.B. 1986. Varietal Differences in Properties of Extrusion-Cooked Rice Flour. Food Chem. 19:173.
- Halick,J.V.,et.al. 1960. A Note on the Determination of Gelatinization Temperatures of Rice Varieties. Cereal Chem. 37: 670 -672.
- Halick,J.V.,and Kelly,V.J. 1959. Ibid. 36:91
- Halick,J.V.,and Keneaster,K.K. 1956. Ibid. 33:315.
- Hamaker,B.R.,and Griffin,V.K. 1990. Changing the Viscoelastic Propertis of Cooked Rice Through Protein Disruption. Cereal Chem. 67(3):261 - 264.
- Hoseney,R.C. 1986. Principle of Cereal Science and Technology. USA:American Association of Cereal Chemists. 327 pp
- Ihekoronye,A.I.,and Ngoddy,P.O. 1985. Integrated Food Science and Technology for the Tropics. USA : Macmillan Publishers. 386 pp.
- Juliano,B.O.,et.al. 1964. Studies on the Physicochemical Properties of Rice. J. Agr. Food Chem. 12(2):131 - 138.

- Juliano, B.O., et al. 1965. Relation of Starch Composition, Protein Content, and Gelatinization Temperature to Cooking and Eating Qualities of Milled Rice. Food Technology. 1006-1010.
- Juliano, B.O. 1971. A Simplified Assay for Milled - Rice Amylose. Cereal Science Today. 16(10):334 - 360.
- Juliano, B.O. 1979. The Chemical Basis of Rice Grain Quality. In: Proc. Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality. pp.69 - 90.
- Juliano, B.O. 1985. Rice: Chemistry and Technology. USA : American Association of Cereal Chemists. 774 pp.
- Juliano, B.O., et al. 1990. Grain Quality Characteristics of Export Rices in Selected Markets. Cereal Chem. 67(2):192 - 197.
- Kongseree, N. 1979. Quality Tests for Waxy (Glutinous) Rice . In: Proc. Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality , pp.69 - 90. Philippines: Int. Rice Res. Inst.
- Landers, P.S., et al. 1991. Comparison of Two Models to Predict Amylose Concentration in Rice Flours as Determined by Spectrophotometer Assay. Cereal Chem. 68(5):545-548.
- Li, C.F., and Luh, B.S. 1980. Rice Snack Foods. In: Rice: Production and Utilization, pp. - B.S.Luh(ed.). Westport, CT: AVI.
- Macrae, R., et al. 1960. Encyclopaedia of Food Science Food Technology and Nutrition. New York: Academic Press.
- Onate, L.U., et al. 1964. Relationship between Protein Content and Eating Quality of Milled Rice . Philipp. Agric . 47:441 - 444.
- Padmanabhan, M., and Bhattacharya, M. 1989. Extrudate Expansion During Extrusion Cooking of Foods. Cereal Food World. 34(11):945 - 949.
- Palmiano, E.P., and Juliano, B.O. 1972. Physicochemical Properties of Niigata Waxy Rice. Agric. Biol Chem. 36: 157
- Peri, C., et al. 1983. Physical, Chemical and Nutrition Quality of Extruded Corn Germ Flour and Milk Protein Blends . J. Food Technol. 18:43.
- Robert, B.F., and Elwood, F.C. 1991. Breakfast Cereals and How They Are Made. USA: American Association of Cereal Chemists.
- Schaeder, W.E., et al. 1969. Evolving Snack Technology. Cereal Science Today. 14(6):203 - 204.

- Urnevehr,L.J.,et.al. 1985. Consumer Demand for Grain Quality in Thailand, Indonisia and the Philippines. Philippines:Int. Rice Res. Inst.
- Vargas - Lopez,J.M.,et.al. 1991. Physicochemical Properties of Starch in Extruded Products. Cereal Chem. 68(6)610 - 613.
- Williams,V.R.et.al. 1985. Varietal Differences in Amylose Content of Rice Starch . Agricultural and Food Chemistry. 6(1):47 - 48.

**ภาคผนวก**

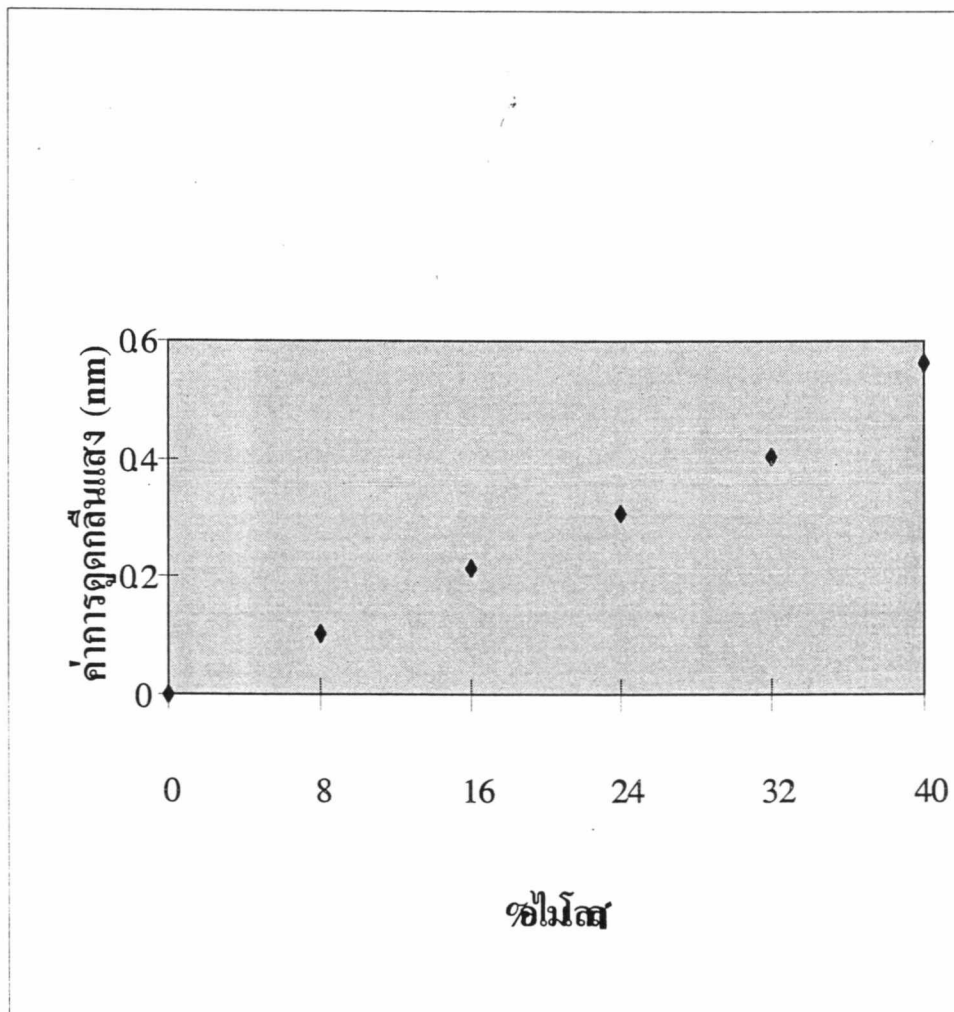
ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานในการหาปริมาณไมโลส

ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงและกราฟมาตรฐานในการหาปริมาณไมโลส (Juliano, 1972)

ตารางผนวกที่ ก1 ค่าการดูดกลืนแสง

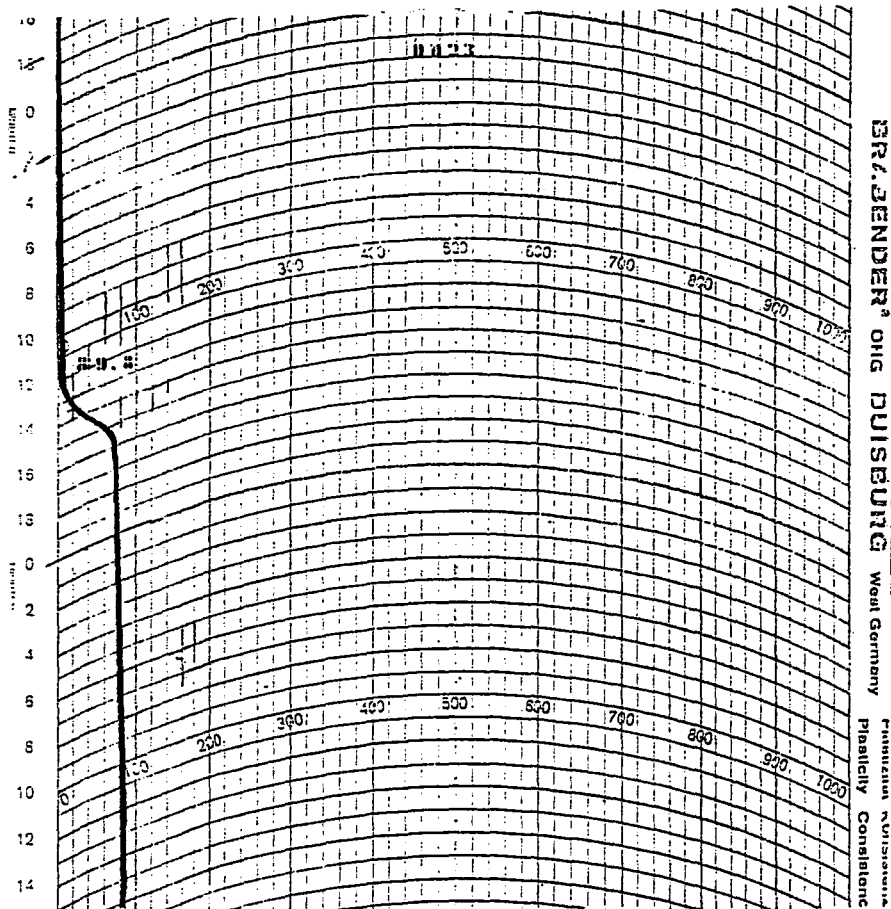
ค่าการดูดกลืนแสง กราฟไมโลสมาตรฐาน	
%ไมโลส	ค่าการดูดกลืนแสง (nm)
0	0
8	0.104
16	0.213
24	0.305
32	0.405
40	0.562



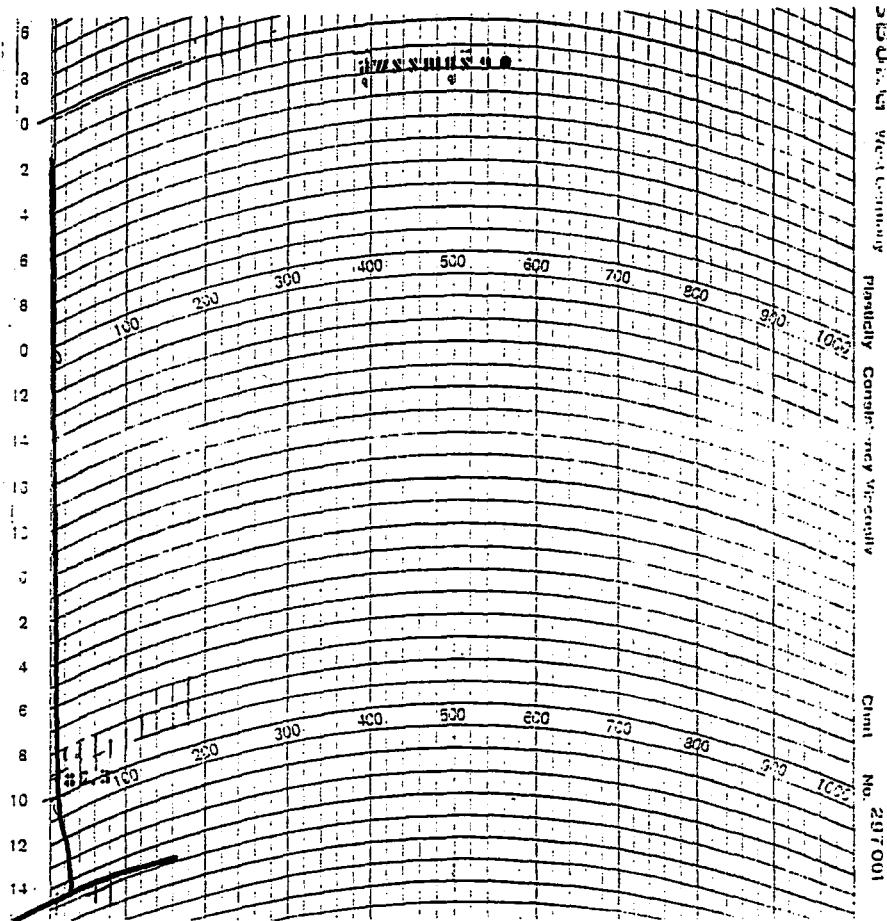
รูปผนวกที่ ก1 กราฟอไมโลสมมาตรฐาน

ภาคผนวก ข

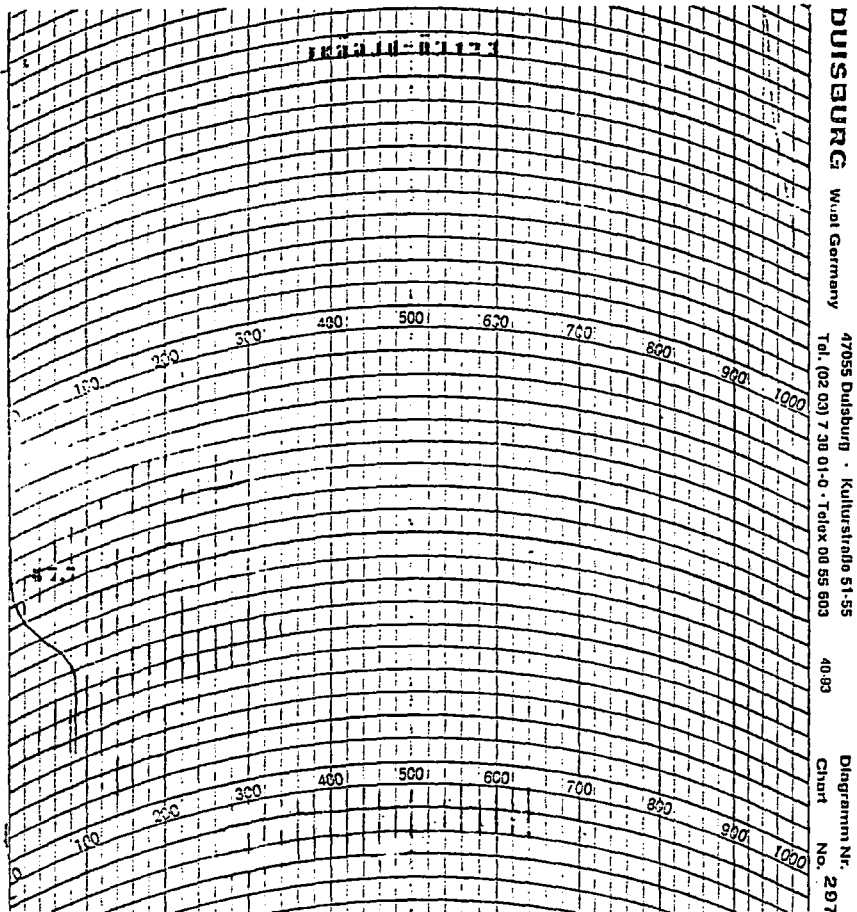
กราฟแสดงอุณหภูมิเจลาคีโนซเซชันจากเครื่อง Viskograph Barbender



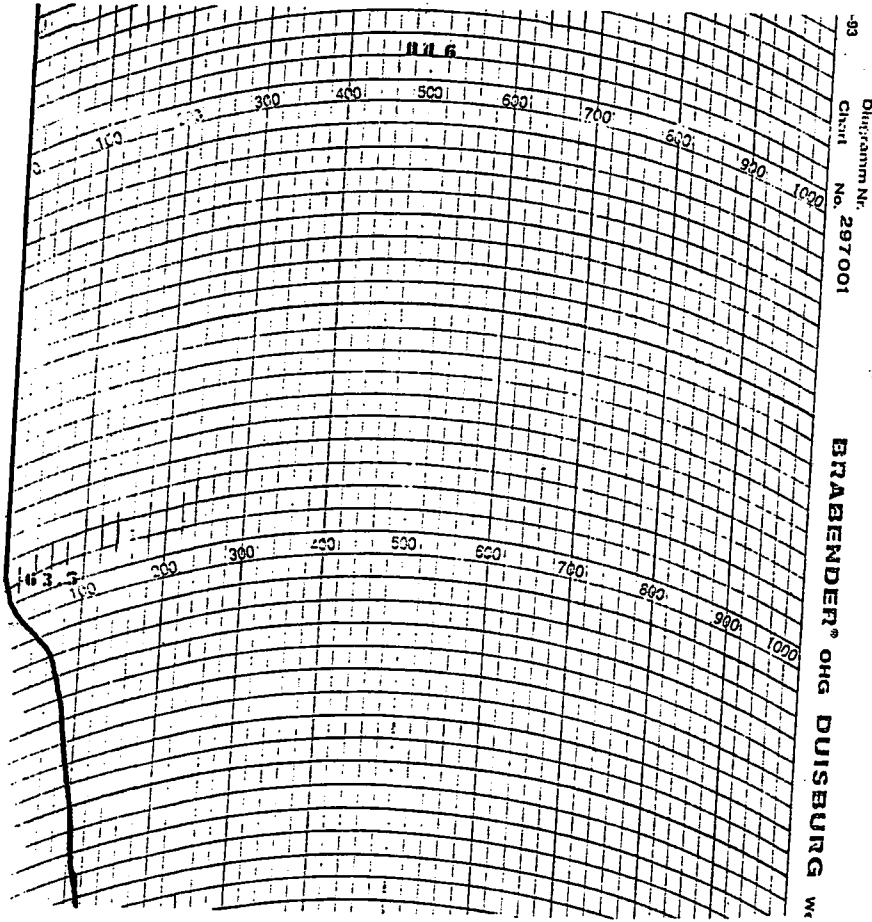
รูปผนวกที่ ข1 อุณหภูมิเจลาคีโนซเซชันของข้าวพันธุ์ กข 23



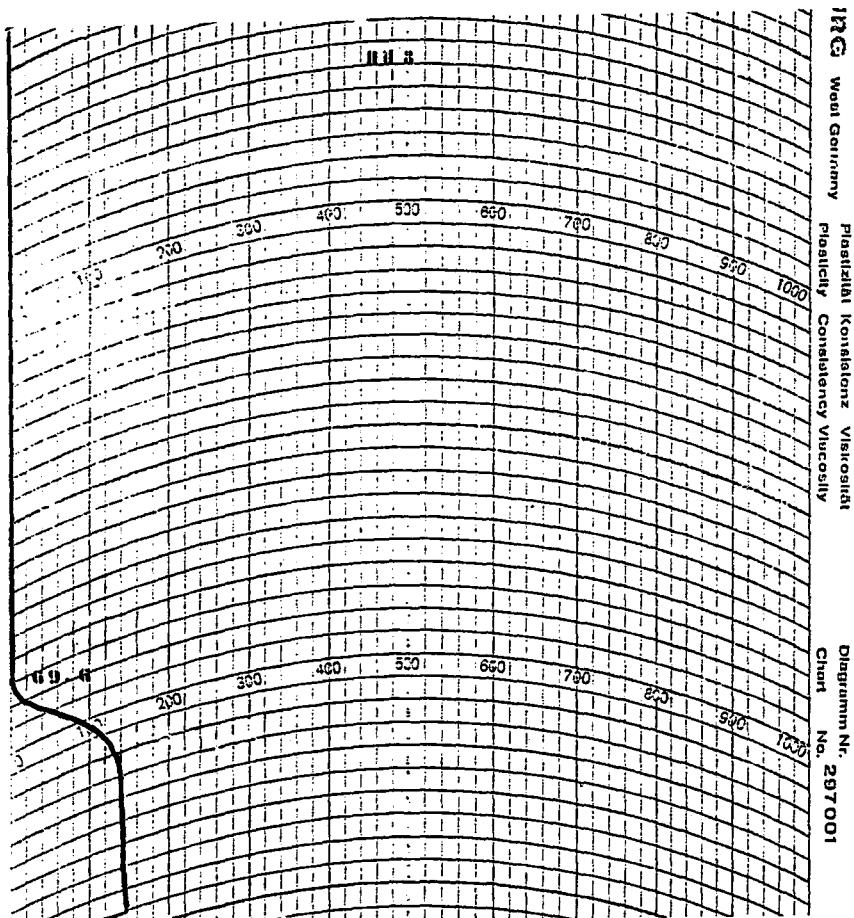
รูปผนวกที่ ข2 อุณหภูมิเจลาติไนเซชันของข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี 90



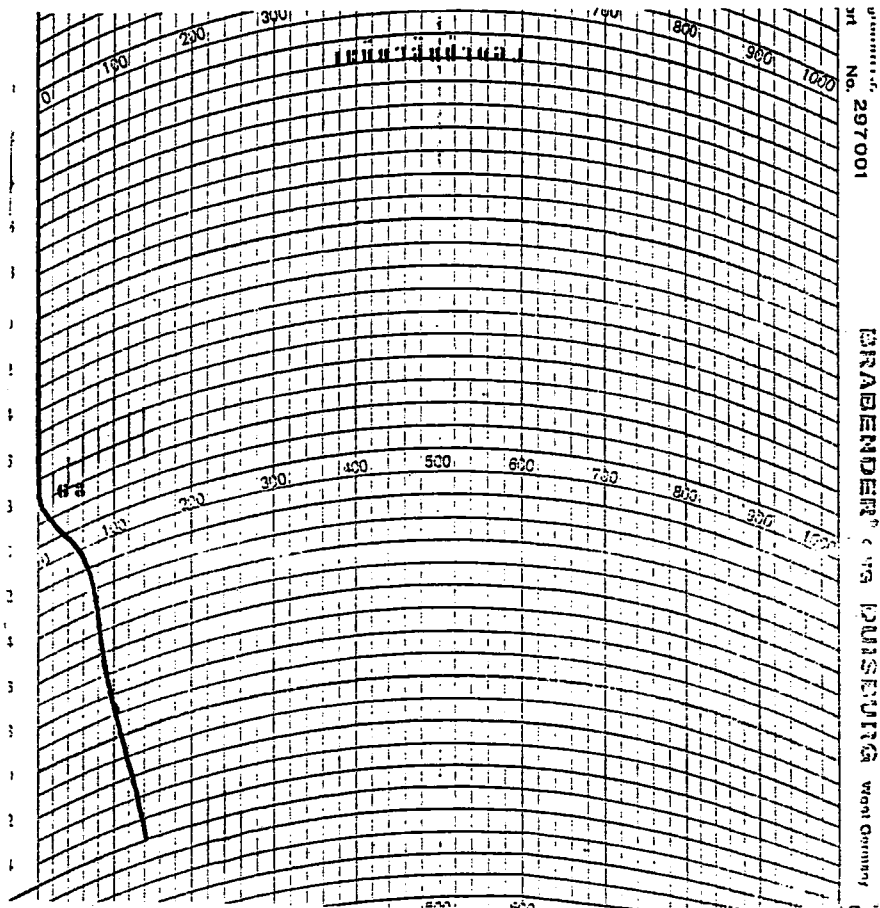
รูปผนวกที่ ข3 อุณหภูมิผลาติในเซชั่นของข้าวพันธุ์ เหลืองประทิว 123



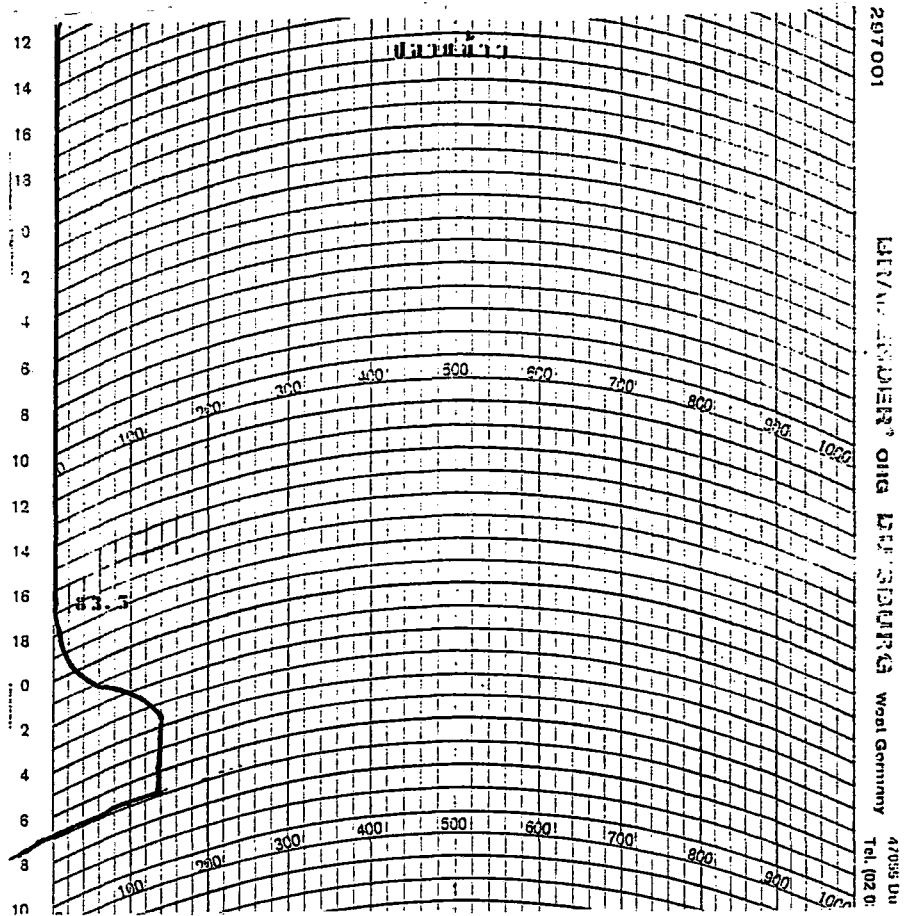
รูปผนวกที่ ข4 อุณหภูมิเจลาติในเซชันของข้าวพันธุ์ กข 6



รูปผนวกที่ ข5 อุณหภูมิละลายในเซชันของข้าวพันธุ์ กข 8



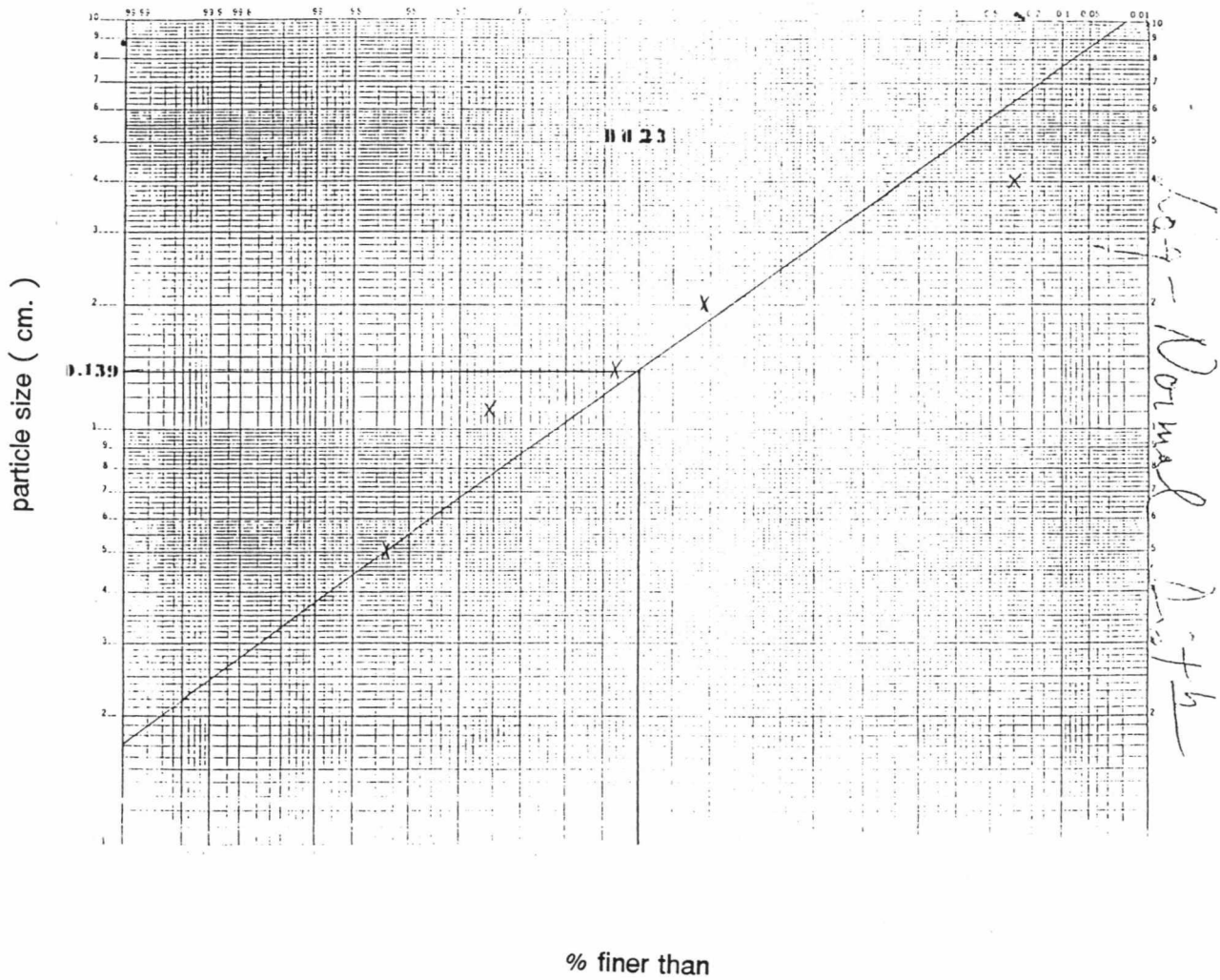
รูปผนวกที่ ข6 อุณหภูมิเจลาตินในเซชันของข้าวพันธุ์ เหนียวสันป่าตอง



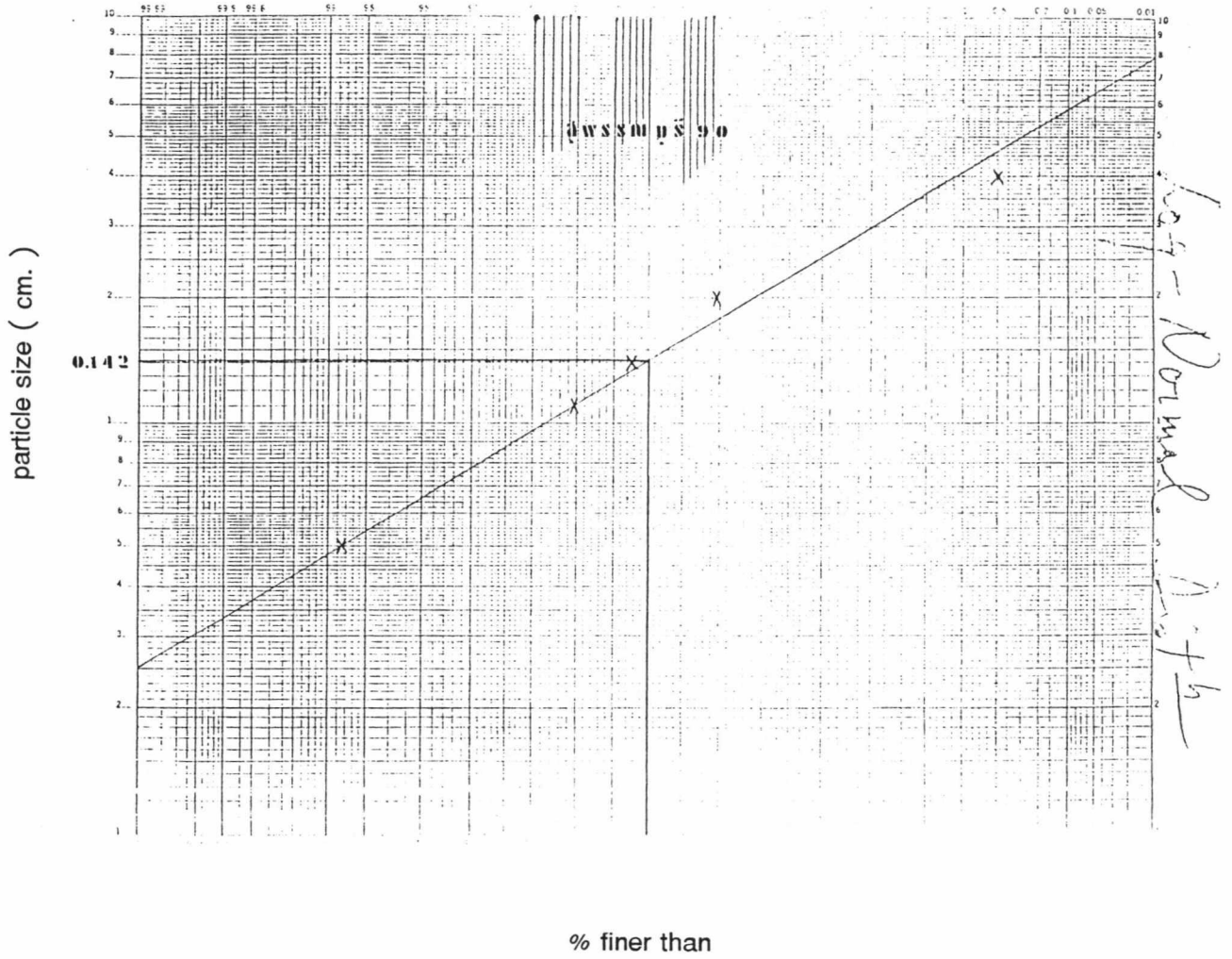
รูปผนวกที่ ข7 อุณหภูมิเจลาตินในเซชันของ ปลาช่อน

ภาคผนวก ก

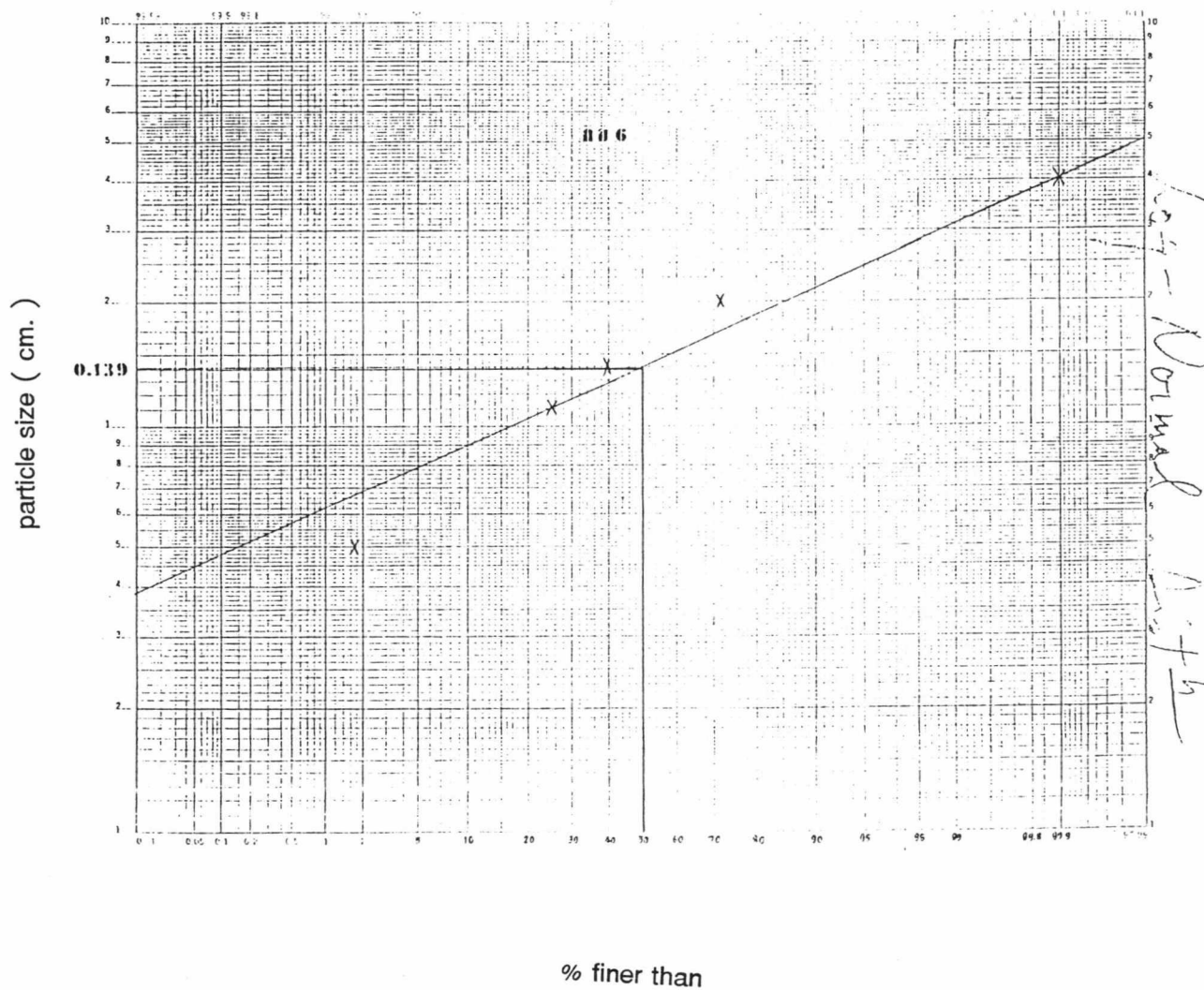
กราฟแสดงการหาขนาดอนุภาคของข้าวที่บดผ่านตะแกรง 40 mesh  
โดยวิธี Sieve Analysis



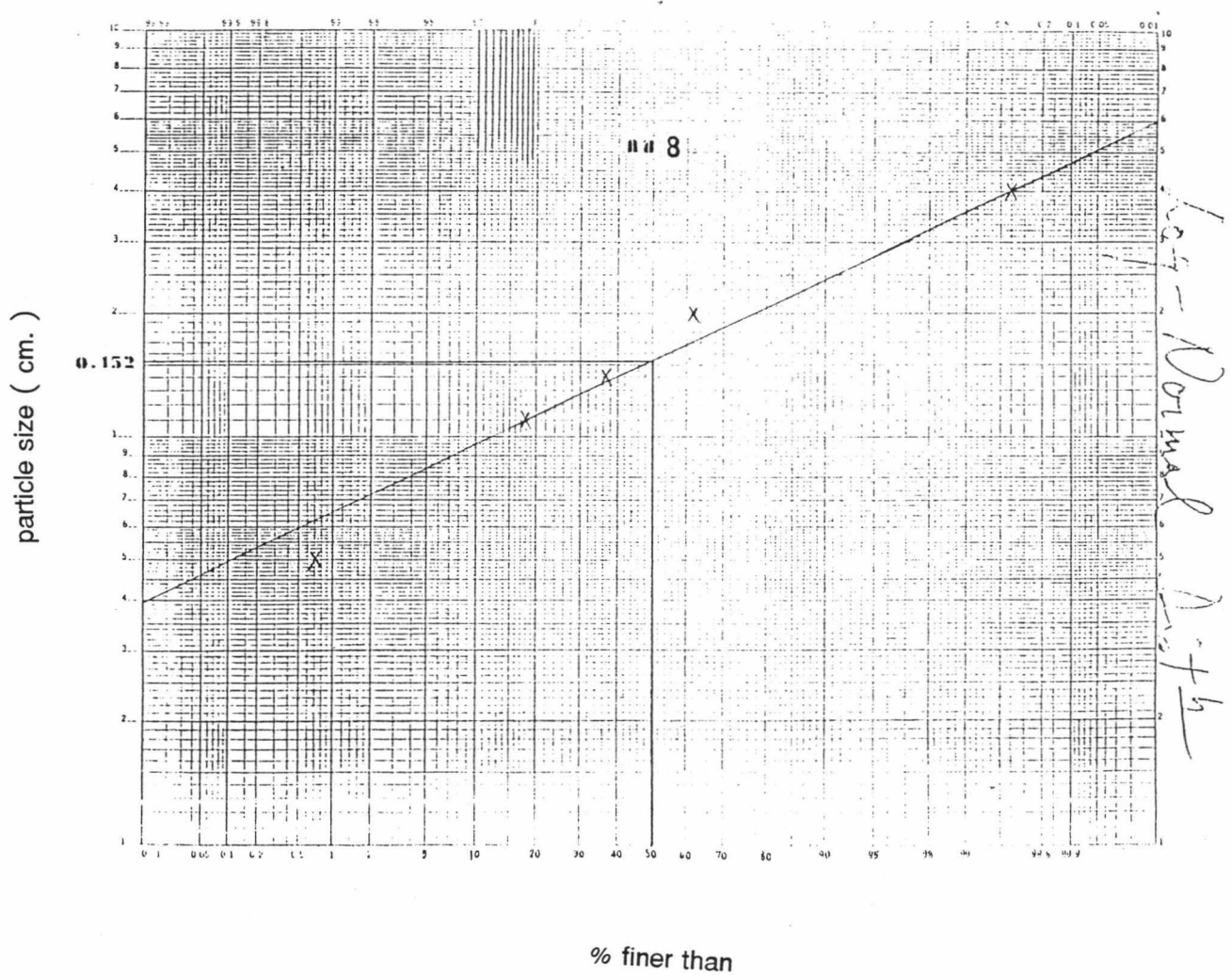
รูปผนวกที่ ค1 ขนาดของอนุภาคข้าวพันธุ์ กข 23



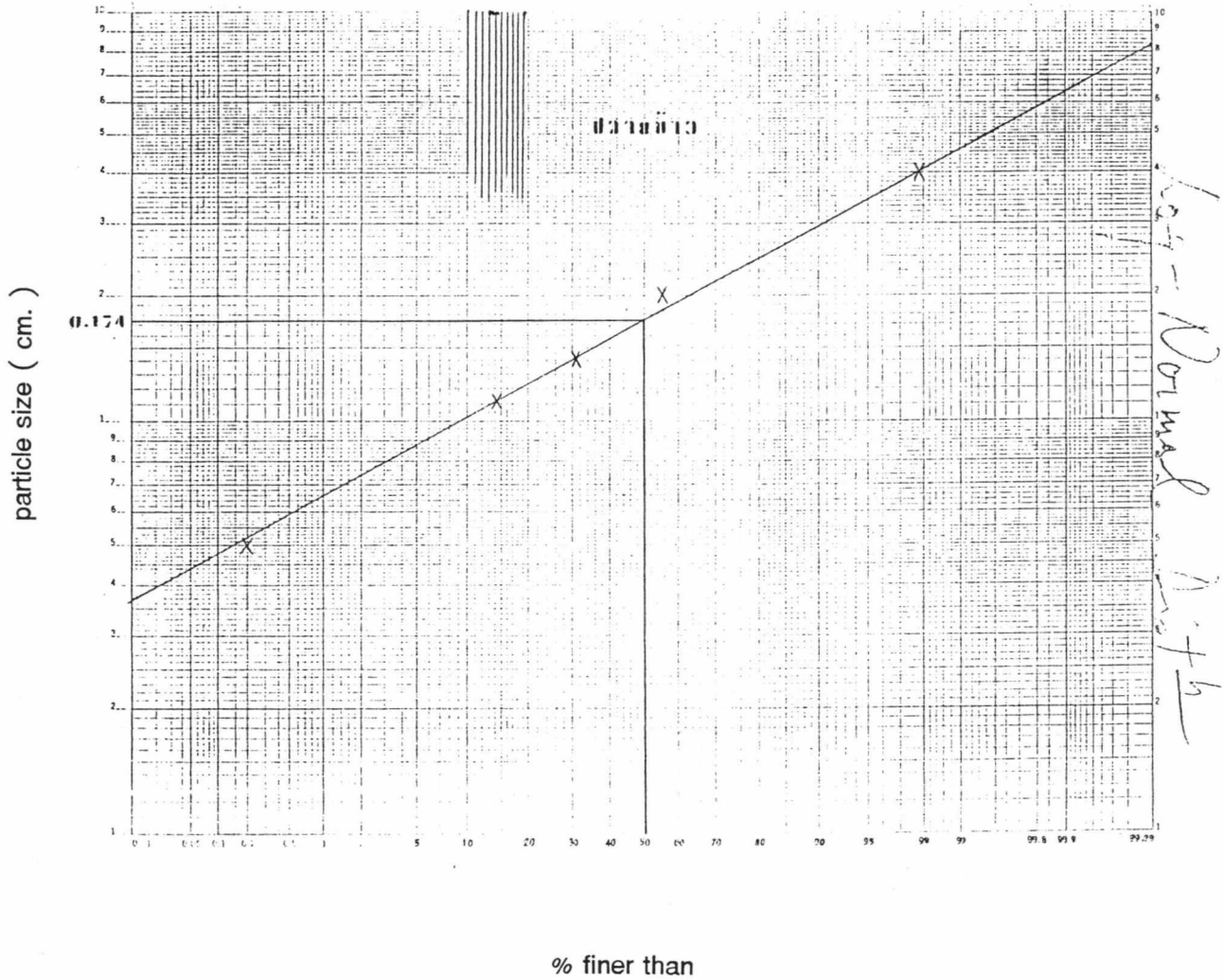
รูปผนวกที่ ค2 ขนาดของอนุภาคข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี 90



รูปผนวกที่ ค3 ขนาดของอนุภาคข้าวพันธุ์ กข 6



รูปผนวกที่ ค4 ขนาดของอนุภาคข้าวพันธุ์ กข 8



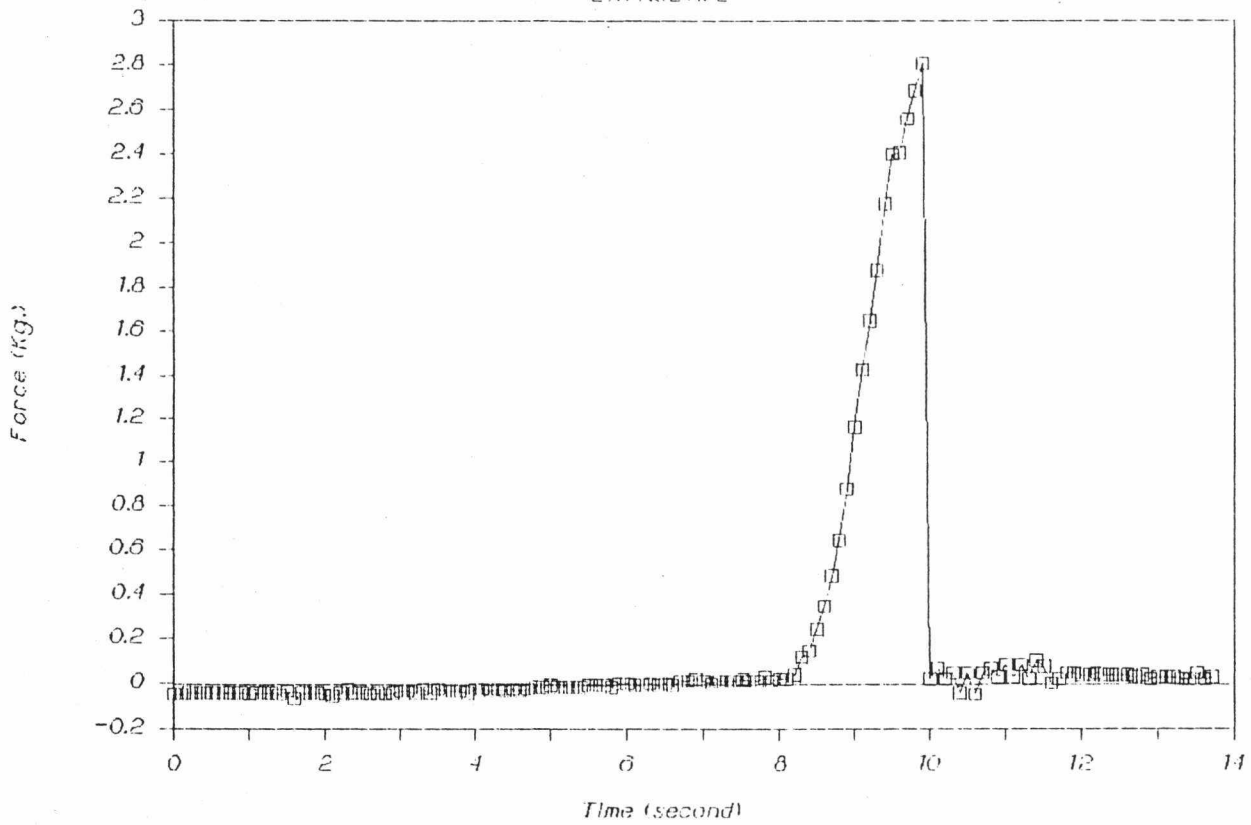
รูปผนวกที่ ค5 ขนาดอนุภาคของ ปลายนข้าว

ภาคผนวก ง

กราฟแสดงการหาแรงที่ใช้กดทะลุในเอ็กซ์ทรูเดท  
โดยเครื่อง KMITL Food Texture Measuring Instrument

TEXTURE ANALYSIS

EXTRUDATE



รูปผนวกที่ ง1 แรงที่ใช้กดทะลุเอ็กซ์ทรูเดทพันธุ์ สุพรรณบุรี 90 25%

ภาคผนวก จ

ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางผนวกที่ จ1 ข้อมูลขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าวเจ้า พันธุ์ กข 23 สุพรรณบุรี 90  
 เหลืองปะทิว 123 และข้าวเหนียว พันธุ์ กข 6 กข 8 เหนียวสันป่าตอง

พันธุ์ กข23			
เมล็ดที่	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ความยาว/ความกว้าง
1	0.72	0.205	3.51
2	0.725	0.21	3.45
3	0.71	0.21	3.38
4	0.67	0.21	3.19
5	0.73	0.21	3.48
6	0.72	0.215	3.35
7	0.695	0.215	3.23
8	0.7	0.195	3.59
9	0.665	0.215	3.09
10	0.71	0.22	3.23
11	0.705	0.205	3.44
12	0.73	0.21	3.48
13	0.695	0.215	3.23
14	0.7	0.195	3.59
15	0.72	0.215	3.35
		เฉลี่ย	3.37
		SD	0.15
		CV	4.47

## ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

พันธุ์ สุพรรณบุรี 90			
เมล็ดที่	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ความยาว/ความกว้าง
1	0.73	0.22	3.40
2	0.76	0.21	3.60
3	0.73	0.22	3.40
4	0.70	0.25	2.86
5	0.68	0.23	3.02
6	0.71	0.22	3.28
7	0.71	0.21	3.46
8	0.71	0.22	3.23
9	0.72	0.22	3.25
10	0.73	0.23	3.17
11	0.70	0.23	3.02
12	0.71	0.22	3.20
13	0.70	0.24	2.90
14	0.74	0.24	3.08
15	0.73	0.23	3.24
		เฉลี่ย	3.21
		SD	0.21
		CV	6.47

## ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

พันธุ์เหลืองประทิว 123			
เมล็ดที่	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ความยาว/ความกว้าง
1	0.73	0.18	4.14
2	0.68	0.22	3.09
3	0.67	0.19	3.59
4	0.74	0.21	3.50
5	0.75	0.23	3.31
6	0.70	0.22	3.16
7	0.66	0.22	3.07
8	0.66	0.23	2.91
9	0.66	0.24	2.79
10	0.69	0.19	3.61
11	0.73	0.22	3.37
12	0.64	0.22	2.89
13	0.67	0.23	2.89
14	0.70	0.22	3.16
15	0.66	0.23	2.87
		เฉลี่ย	3.22
		SD	0.37
		CV	11.49

## ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

พันธุ์ กข6			
เมล็ดที่	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ความยาว/ความกว้าง
1	0.70	0.22	3.18
2	0.69	0.22	3.14
3	0.65	0.20	3.33
4	0.67	0.24	2.85
5	0.72	0.21	3.40
6	0.67	0.23	2.98
7	0.72	0.22	3.25
8	0.65	0.21	3.07
9	0.64	0.21	3.10
10	0.69	0.22	3.19
11	0.66	0.21	3.14
12	0.70	0.19	3.76
13	0.69	0.22	3.14
14	0.68	0.21	3.21
15	0.64	0.22	2.95
		เฉลี่ย	3.18
		SD	0.21
		CV	6.71

## ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

พันธุ์ กข8			
เมล็ดที่	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ความยาว/ความกว้าง
1	0.66	0.26	2.59
2	0.70	0.25	2.80
3	0.71	0.28	2.58
4	0.72	0.25	2.92
5	0.74	0.25	2.94
6	0.68	0.26	2.65
7	0.63	0.24	2.60
8	0.65	0.26	2.53
9	0.68	0.26	2.60
10	0.67	0.26	2.56
11	0.74	0.27	2.72
12	0.69	0.27	2.54
13	0.68	0.26	2.65
14	0.69	0.25	2.82
15	0.70	0.27	2.57
		เฉลี่ย	2.67
		SD	0.14
		CV	5.10

## ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

พันธุ์ เหนียวสันป่าตอง			
เมล็ดที่	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ความยาว/ความกว้าง
1	0.71	0.23	3.13
2	0.72	0.21	3.49
3	0.66	0.23	2.91
4	0.67	0.24	2.85
5	0.69	0.24	2.94
6	0.67	0.22	3.02
7	0.70	0.22	3.18
8	0.69	0.22	3.21
9	0.70	0.22	3.18
10	0.68	0.22	3.09
11	0.70	0.23	3.09
12	0.66	0.23	2.91
13	0.69	0.23	3.04
14	0.65	0.24	2.77
15	0.67	0.22	3.02
		เฉลี่ย	3.06
		SD	0.18
		CV	5.77

ตารางผนวกที่ ๑๒ ข้อมูลการหาปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าว

ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าว							
พันธุ์	น้ำหนักข้าว+can ก่อนอบ (g)	น้ำหนักข้าว+can หลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวเริ่มต้น (g)	% ความชื้น	เฉลี่ย	SD	CV
กข 23	27.7929	26.7499	10.0085	10.42	10.29	0.18	1.74
	27.856	26.8393	9.9998	10.17			
สุพรรณบุรี 90	27.6208	26.5829	10.0039	10.37	10.47	0.13	1.28
	28.4758	27.4184	10.0091	10.56			
เหลืองประทิว 123	27.9502	26.874	10.0013	10.76	10.70	0.09	0.82
	27.8607	26.7961	10.0091	10.64			
กข 6	27.9345	26.9081	10.0026	10.26	10.45	0.26	2.53
	27.803	26.7374	10.0202	10.63			
กข 8	29.4561	28.4204	10.0082	10.35	10.35	0.00	0.03
	29.448	28.4132	10.0035	10.34			
เหนียวสันป่าดอง	30.0076	28.9197	10.0096	10.87	10.76	0.15	1.42
	27.6465	26.5807	10.0057	10.65			
ปลายข้าว	30.5607	29.3603	10.0072	12.00	11.97	0.03	0.27
	27.539	26.343	10.008	11.95			

ตารางผนวกที่ ๑3 ข้อมูลการวิเคราะห์หาค่า Alkali Test

Alkaline test													
พันธุ์	Score										เฉลี่ย	SD	CV
กข 23	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	3.9	0.74	18.91
สุพรรณบุรี 90	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0	0
เหลืองประทิว 123	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5.9	0.32	5.36
ปลายข้าว	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6.9	0.32	4.58
กข 6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	6.3	0.48	7.67
กข 8	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	6.3	0.48	7.67
เหนียวสันป่าตอง	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0

ตารางผนวกที่ ๑4 ข้อมูลการวิเคราะห์หาค่า Water Uptake

Water uptake							
พันธุ์	ครั้งที่	นน.ข้าวเริ่มต้น(g.)	นน.ข้าวหลังแช่(g.)	%absorbed	เฉลี่ย	SD	CV
กข 23	1	20.0083	27.9089	39.49	39.43	0.08	0.20
	2	20.0034	27.8798	39.38			
สุพรรณบุรี 90	1	20.0054	26.2517	31.22	30.82	0.56	1.83
	2	20.0023	26.088	30.43			
เหลืองประทิว 123	1	20.0055	25.0703	25.32	25.48	0.23	0.89
	2	20.002	25.1299	25.64			
กข 6	1	20.0015	28.262	41.30	41.64	0.49	1.17
	2	20.0041	28.4035	41.99			
กข 8	1	20.003	28.121	40.58	40.73	0.21	0.51
	2	20.0049	28.1819	40.87			
เหนียวสันป่าตอง	1	20.0045	28.9661	44.80	44.81	0.02	0.04
	2	20.0049	28.9722	44.83			
ปลายข้าว	1	20.003	26.4318	32.14	31.41	1.03	3.29
	2	20.0049	26.1424	30.68			

ตารางผนวกที่ ๑5 ข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพการหุงต้ม

พันธุ์ข้าวเจ้า	อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนนึ่ง (g)	น้ำหนักหลังนึ่ง (g)	ค่าการดูดซึมน้ำ	เฉลี่ย	SD	CV.
กข 23	1:1.6	1	10.0005	25.5766	2.56	2.55	0.01	0.30
		2	10.0045	25.4507	2.54			
		3	10.0064	25.4677	2.55			
	1:1.8	1	10.0044	27.3256	2.73	2.74	0.01	0.30
		2	10.0042	27.4249	2.74			
		3	10.0084	27.498	2.75			
	1:2.0	1	9.969	29.4574	2.95	2.94	0.02	0.58
		2	10.0052	29.308	2.93			
		3	9.9896	29.1946	2.92			
สุพรรณบุรี 90	1:1.6	1	10.0087	25.6938	2.57	2.39	0.15	6.35
		2	10.0014	23.1452	2.31			
		3	10.001	22.9513	2.29			
	1:1.8	1	10.009	27.5519	2.75	2.75	0.01	0.34
		2	10.0044	27.424	2.74			
		3	10.0053	27.6115	2.76			
	1:2.0	1	9.7412	29.1266	2.99	2.97	0.02	0.68
		2	9.915	29.3752	2.96			
		3	10	29.5032	2.95			
เหลืองประทิว 123	1:1.6	1	10.008	26.1494	2.61	2.58	0.16	6.01
		2	10.0054	24.1513	2.41			
		3	10.0045	27.2096	2.72			
	1:1.8	1	10.0099	27.6463	2.76	2.76	0.00	0.16
		2	10.0081	27.6238	2.76			
		3	10.0095	27.5622	2.75			
	1:2.0	1	9.997	29.2312	2.92	2.92	0.01	0.20
		2	9.9852	29.1268	2.92			
		3	9.9882	29.087	2.91			

## ตารางผนวกที่ ๑๕ (ต่อ)

พันธุ์ข้าวเจ้า	อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนนึ่ง (g)	น้ำหนักหลังนึ่ง (g)	ค่าการดูดซึมน้ำ	เฉลี่ย	SD	CV.
กข 6	1:1.1	1	10.0076	20.7932	2.08	2.08	0.00	0.13
		2	10.0046	20.7754	2.08			
		3	10.0037	20.7345	2.07			
	1:1.3	1	10.0023	21.7028	2.17	2.16	0.02	0.84
		2	10.0053	21.3911	2.14			
		3	10.0023	21.6974	2.17			
	1:1.5	1	10.0066	22.7292	2.27	2.27	0.00	0.10
		2	10.006	22.6936	2.27			
		3	10.0011	22.6766	2.27			
กข 8	1:1.1	1	10.0057	20.7625	2.08	2.08	0.01	0.26
		2	10.0064	20.808	2.08			
		3	10	20.8579	2.09			
	1:1.3	1	10.0026	21.7918	2.18	2.18	0.00	0.09
		2	10.0088	21.7792	2.18			
		3	10.0083	21.8145	2.18			
	1:1.5	1	10.0029	22.7302	2.27	2.27	0.01	0.36
		2	10.0072	22.6481	2.26			
		3	10.0014	22.7978	2.28			

## ตารางผนวกที่ ๖5 (ต่อ)

พันธุ์ข้าวเจ้า	อัตรา ส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนนึ่ง (g)	น้ำหนักหลังนึ่ง (g)	ค่าการดูดซึมน้ำ	เฉลี่ย	SD	CV.
เหนียวสันป่าตอง	1:1.1	1	10.0055	20.6952	2.07	2.06	0.02	0.86
		2	10.004	20.3948	2.04			
		3	10.0035	20.7095	2.07			
	1:1.3	1	10.0024	22.7543	2.27	2.27	0.01	0.28
		2	10.0028	22.766	2.28			
		3	10.0081	22.6628	2.26			
1:1.5	1	10.0089	25.2045	2.52	2.49	0.03	1.08	
	2	10.0063	24.7263	2.47				
	3	10.0038	24.7294	2.47				
ปลายข้าว	1:1.6	1	10.0055	25.6782	2.57	2.58	0.01	0.31
		2	10.0051	25.7841	2.58			
		3	10.0016	25.8265	2.58			
	1:1.8	1	10.0043	27.7572	2.77	2.77	0.01	0.28
		2	10.0048	27.7832	2.78			
		3	10.0023	27.632	2.76			
1:2.0	1	9.9928	29.4746	2.95	2.94	0.01	0.39	
	2	9.9946	29.2754	2.93				
	3	9.993	29.2842	2.93				

## ตารางผนวกที่ ๑๕ (ต่อ)

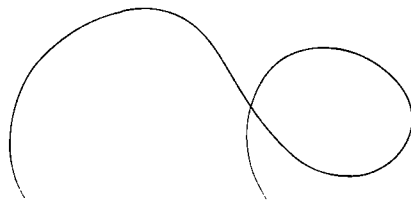
พันธุ์ข้าวเจ้า	อัตราส่วน	ครั้งที่	ความสูงก่อนนึ่ง (cm)	ความสูงหลังนึ่ง (cm)	ค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้น	เฉลี่ย	SD	CV.
กข 23	1:1.6	1	0.54	1.95	3.61	3.39	0.21	6.30
		2	0.59	1.99	3.37			
		3	0.54	1.72	3.19			
	1:1.8	1	0.483	1.855	3.84	4.04	0.33	8.06
		2	0.463	1.785	3.86			
		3	0.45	1.985	4.41			
	1:2.0	1	0.438	1.928	4.40	4.42	0.05	1.14
		2	0.447	2.003	4.48			
		3	0.457	2.005	4.39			
สุพรรณบุรี 90	1:1.6	1	0.632	1.762	2.79	2.82	0.04	1.45
		2	0.652	1.867	2.86			
		3	0.63	1.763	2.80			
	1:1.8	1	0.65	1.99	3.06	3.06	0.01	0.47
		2	0.652	1.982	3.04			
		3	0.627	1.923	3.07			
	1:2.0	1	0.42	1.97	4.69	3.94	0.67	16.96
		2	0.54	1.85	3.43			
		3	0.45	1.66	3.69			
เหลืองประทิว 123	1:1.6	1	0.618	1.932	3.13	3.10	0.03	1.08
		2	0.615	1.882	3.06			
		3	0.6	1.862	3.10			
	1:1.8	1	0.658	1.985	3.02	3.22	0.18	5.49
		2	0.622	2.085	3.35			
		3	0.625	2.05	3.28			
	1:2.0	1	0.52	2.17	4.17	4.12	0.30	7.25
		2	0.48	2.11	4.40			
		3	0.56	2.13	3.80			

## ตารางผนวกที่ ๖๕ (ต่อ)

พันธุ์ข้าวเจ้า	อัตราส่วน	ครั้งที่	ความสูงก่อนนึ่ง (cm)	ความสูงหลังนึ่ง (cm)	ค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้น	เฉลี่ย	SD	CV.
กข 6	1:1.1	1	0.573	1.195	2.09	2.04	0.04	1.98
		2	0.555	1.13	2.04			
		3	0.575	1.153	2.01			
	1:1.3	1	0.555	1.208	2.18	2.05	0.11	5.43
		2	0.598	1.178	1.97			
		3	0.613	1.227	2.00			
	1:1.5	1	0.617	1.233	2.00	2.00	0.11	5.63
		2	0.642	1.208	1.88			
		3	0.592	1.247	2.11			
กข 8	1:1.1	1	0.618	1.315	2.13	2.17	0.03	1.56
		2	0.583	1.275	2.19			
		3	0.597	1.305	2.19			
	1:1.3	1	0.517	1.45	2.80	2.50	0.39	15.43
		2	0.638	1.402	2.20			
		3	0.632	1.32	2.09			
	1:1.5	1	0.577	1.33	2.31	2.13	0.17	7.89
		2	0.607	1.29	2.13			
		3	0.64	1.26	1.97			
เหนียวสันป่าตอง	1:1.1	1	0.627	1.263	2.01	2.00	0.06	2.84
		2	0.605	1.237	2.04			
		3	0.658	1.273	1.93			
	1:1.3	1	0.633	1.347	2.13	2.08	0.11	5.46
		2	0.673	1.313	1.95			
		3	0.602	1.302	2.16			
	1:1.5	1	0.6	1.427	2.38	2.50	0.11	4.34
		2	0.542	1.4	2.58			
		3	0.563	1.432	2.54			

## ตารางผนวกที่ ๑๕ (ต่อ)

พันธุ์ข้าวเจ้า	อัตราส่วน	ครั้งที่	ความสูงก่อนนึ่ง (cm)	ความสูงหลังนึ่ง (cm)	ค่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้น	เฉลี่ย	SD	CV.
ปลายข้าว	1:1.6	1	0.403	1.755	4.35	4.48	0.30	6.59
		2	0.368	1.773	4.82			
		3	0.413	1.763	4.27			
	1:1.8	1	0.508	1.84	3.62	3.86	0.25	6.52
		2	0.483	1.85	3.83			
		3	0.465	1.917	4.12			
	1:2.0	1	0.54	1.61	2.98	3.25	0.47	14.51
		2	0.45	1.71	3.80			
		3	0.57	1.7	2.98			



## ตารางผนวกที่ ๑5 (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเน้										
พันธุ์	อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนัก can (g)	น้ำหนักข้าวเน้หลังอบ + can (g)	น้ำหนักข้าวเน้หลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวเน้ก่อนอบ (g)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเน้	เฉลี่ย	SD	CV
กข23	1:1.6	1	17.7831	26.753	8.9699	20.4507	56.1389	60.45	6.10	10.09
		2	17.7218	26.6953	8.9735	25.4677	64.76517314			
	1:1.8	1	15.3639	24.3307	8.9668	27.4249	67.30416519	67.31	0.01	0.01
		2	20.339	29.3262	8.9872	27.498	67.31689577			
สุพรรณบุรี90	1:1.6	1	17.6196	26.6025	8.9829	23.1452	61.18892902	61.00	0.26	0.43
		2	17.5353	26.5286	8.9933	22.9513	60.81572721			
	1:1.8	1	19.0918	28.0838	8.992	27.424	67.21120187	67.32	0.16	0.24
		2	15.3716	24.3624	8.9908	27.6115	67.4382051			
เหลืองปะทิว123	1:1.6	1	17.9517	26.9067	8.955	24.1513	62.92125062	65.00	2.94	4.53
		2	19.4497	28.4062	8.9565	27.2096	67.08330883			
	1:1.8	1	20.0293	28.982	8.9527	27.6238	67.59062837	67.53	0.09	0.13
		2	19.7514	28.7192	8.9678	27.5622	67.46341003			
ปลายข้าว	1:1.6	1	17.7875	26.5603	8.7728	25.7841	65.9759309	65.99	0.02	0.02
		2	19.9992	28.7809	8.7817	25.8265	65.99732833			
	1:1.8	1	17.8962	26.7134	8.8172	27.7837	68.26484593	68.23	0.04	0.06
		2	17.6348	26.421	8.7862	27.632	68.20280834			
กข6	1:1.1	1	17.5565	26.5372	8.9807	20.7754	56.77243278	56.77	0.00	0.00
		2	17.7508	26.7135	8.9627	20.7345	56.77397574			
	1:1.3	1	17.1516	26.9302	9.7786	21.3911	54.28659583	56.45	3.06	5.43
		2	18.2457	27.2216	8.9759	21.6914	58.62000609			
	1:1.5	1	17.8528	26.8369	8.9841	22.6936	60.41130539	60.41	0.00	0.01
		2	17.8571	26.8355	8.9784	22.6766	60.40676292			

## ตารางผนวกที่ ๑๕ (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวนี้้ง										
พันธุ์	อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนัก can (g)	น้ำหนักข้าวนี้้งหลังอบ + can (g)	น้ำหนักข้าวนี้้งหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวนี้้งก่อนอบ (g)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวนี้้ง	เฉลี่ย	SD	CV
กข8	1:1.1	1	20.6238	29.5982	8.9744	20.808	56.87043445	56.99	0.17	0.30
		2	17.9689	26.9144	8.9455	20.8579	57.11217333			
	1:1.3	1	20.7702	29.7186	8.9484	21.7792	58.91309139	58.94	0.04	0.07
		2	19.444	28.3936	8.9496	21.8145	58.97407688			
	1:1.5	1	20.5535	29.5271	8.9736	22.6481	60.37813327	60.57	0.28	0.46
		2	17.6437	26.5875	8.9438	22.7978	60.76902157			
เหนียวสันป่าตอง	1:1.1	1	17.806	26.6393	8.8333	20.3948	56.68846961	57.00	0.44	0.77
		2	15.1051	23.9469	8.8418	20.7095	57.30558439			
	1:1.3	1	17.9337	26.7608	8.8271	22.766	61.22682948	61.11	0.17	0.28
		2	17.9404	26.7827	8.8423	22.6628	60.98319713			
	1:1.5	1	18.0683	26.9259	8.8576	24.7263	64.17741433	64.16	0.02	0.04
		2	17.8384	26.7055	8.8671	24.7294	64.14348913			

ตารางผนวกที่ ๑๖ ข้อมูลการหาปริมาณความชื้นของข้าวที่ผ่านการบด

% ความชื้นข้าวบดผ่าน 100 mesh											
พันธุ์	ครั้งที่	น้ำหนัก เริ่มต้น	นน.เริ่ม ต้น(g.)	น้ำหนักca n	นน.หลัง อบ+can	นน.หลัง อบ	น้ำหนักหลัง อบ (g.)	% ความชื้น	AVG	SD	CV
กข 23	1	2.5004	10.0016	19.0918	21.3047	2.2129	8.8516	11.50	11.12	0.53	4.76
	2	2.5005	10.002	18.0122	20.2439	2.2317	8.9268	10.75			
สุพรรณบุรี 90	1	4.0024	10.006	19.9992	23.573	3.5738	8.9345	10.71	10.72	0.02	0.20
	2	4.0058	10.0145	17.8528	21.4284	3.5756	8.939	10.74			
เหลืองประทิว 123	1	4.0041	10.01025	20.7702	24.345	3.5748	8.937	10.72	10.80	0.12	1.08
	2	2.5005	10.002	17.8571	20.0854	2.2283	8.9132	10.89			
กข 6	1	4.0019	10.00475	15.1051	18.6694	3.5643	8.91075	10.93	10.96	0.03	0.26
	2	4.0026	10.0065	17.8384	21.4017	3.5633	8.90825	10.98			
กข 8	1	4.0039	10.00975	17.9337	21.503	3.5693	8.92325	10.85	11.00	0.21	1.93
	2	4.0035	10.00875	17.7875	21.3444	3.5569	8.89225	11.16			
เหนียวสันป่าตอง	1	4.0054	10.0135	17.7831	21.3497	3.5666	8.9165	10.96	11.03	0.10	0.93
	2	2.5008	10.0032	19.7514	21.9746	2.2232	8.8928	11.10			
ปลายข้าว	1	4.0035	10.00875	20.0293	23.5592	3.5299	8.82475	11.83	11.83	0.00	0.03
	2	4.0043	10.01075	17.728	21.2588	3.5308	8.827	11.82			

ตารางผนวกที่ ๑๗ ข้อมูลการหาปริมาณอไมโลส

% Amylose											
พันธุ์	ครั้งที่	ข้าวบดขนาด 50-70 mesh					ข้าวบดขนาดผ่าน 100 mesh				
		Absorbance value (nm)	%Amylose	เฉลี่ย	SD	CV	Absorbance value (nm)	% Amylose	เฉลี่ย	SD	CV
กข 23	1	0.2685	20.11	19.74	0.53	2.69	0.278	20.82	20.90	0.11	0.51
	2	0.2585	19.36				0.28	20.97			
สุพรรณบุรี 90	1	0.371	23.74	24.45	1.00	4.08	0.392	29.35	29.35	0.00	0.00
	2	0.3358	25.15				0.392	29.35			
เหลืองประทิว 123	1	0.3555	26.62	25.71	1.29	5.03	0.374	28.01	28.09	0.11	0.38
	2	0.331	24.79				0.376	28.16			
กข 6	1	0.065	4.87	4.87			0.061	4.57	4.65	0.11	2.28
	2						0.063	4.72			
กข 8	1	0.062	4.64	4.70	0.08	1.81	0.069	5.17	5.25	0.11	2.02
	2	0.0635	4.76				0.071	5.32			
เหนียวสันป่าตอง	1	0.079	5.92	6.03	0.16	2.58	0.115	8.61	8.58	0.05	0.58
	2	0.082	6.14				0.114	8.54			
ปลายข้าว	1	0.218	16.32	16.17	0.22	1.36	0.289	21.64	21.68	0.06	0.26
	2	0.2138	16.01				0.29	21.72			

ตารางผนวกที่ ๑๘ ข้อมูลการหาปริมาณโปรตีน

% โปรตีนของข้าวขนาด 50-70 MESH								
พันธุ์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าว	ปริมาตร HCl ที่ใช้	% ไนโตรเจน	% โปรตีน	เฉลี่ย	SD	CV
กข 23	1	1.0068	12.2	1.72	10.76	10.78	0.03	0.25
	2	1.0074	12.25	1.72	10.8			
สุพรรณบุรี 90	1	1.0047	9.6	1.35	8.49	8.81	0.45	5.13
	2	1.0025	10.3	1.46	9.13			
เหลืองประทิว 123	1	1.0017	10.22	1.45	9.06	9.36	0.42	4.48
	2	1.0027	10.9	1.54	9.66			
กข 6	1	1.0031	10.9	1.54	9.65	9.63	0.3	0.3
	2	1.0028	10.85	1.54	9.61			
กข 8	1	1.0032	10.8	1.53	9.56	9.62	0.08	0.86
	2	1.0002	10.9	1.55	9.68			
เหนียวสันป่าตอง	1	1.0024	11.2	1.59	9.93	9.87	0.08	0.82
	2	1.0068	11.12	1.57	9.81			
ปลายข้าว	1	1.0089	7.4	1.04	6.52	6.81	0.41	6.04
	2	1.0013	8	1.14	7.1			

ตารางผนวกที่ ๑๙ ข้อมูลการหาอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันจาก Viskograph Barbender

Gelatinization temperature	
พันธุ์	Gel. temperature (c)
กข 23	89.8
สุพรรณบุรี 90	87.3
เหลืองประทิว 123	87.7
กข 6	63.5
กข 8	69.6
เหนียวสันป่าตอง	68
ปลายข้าว	83.5

ตารางผนวกที่ ๑10 ข้อมูลการวิเคราะห์หาขนาดของอนุภาคของข้าวที่บดผ่าน 40 mesh

พันธุ์	Sieving Size	สารบนตะแกรง (g)	% final than	พันธุ์	Sieving Size	สารบนตะแกรง (g)	% final than
กข 23	0.4	0.3	99.7	กข 8	0.4	0.4	99.6
	0.2	31.5	68.2		0.2	37.6	62
	0.14	24.7	43.5		0.14	25.6	36.4
	0.112	14.1	29.4		0.112	18.5	17.9
	0.05	25.9	3.5		0.05	17.2	0.7
	Pan	3.5			Pan	0.7	
สุพรรณบุรี 90	0.4	0.5	99.5	ปลายข้าว	0.4	2.2	97.8
	0.2	30.1	69.4		0.2	42.3	55.5
	0.14	24.4	45		0.14	24.6	30.9
	0.112	16.1	28.9		0.112	16.6	14.3
	0.05	27.6	1.3		0.05	14.1	0.2
	Pan	1.3			Pan	0.2	
กข 6	0.4	0.1	99.9				
	0.2	27.8	71.8				
	0.14	31.7	39.75				
	0.112	14.5	25.05				
	0.05	23.1	1.7				
	Pan	1.7					

ตารางผนวกที่ ๑1 ข้อมูลการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวบดซึ่งผ่านการปรับความชื้น

การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวที่ผ่านการปรับความชื้น									
Sample	ครั้งที่	น้ำหนัก can (g)	น้ำหนัก can+Sampleหลัง อบ (g)	น้ำหนักSample ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก Sample หลังอบ (g)	%ความ ชื้น	เฉลี่ย	SD	CV
กข 23 20%	1	17.5561	25.5585	10.0093	8.0024	20.05	20.04	0.01	0.06
	2	17.7484	25.7461	10.0014	7.9977	20.03			
กข 23 25%	1	17.8936	25.4077	10.0176	7.5141	24.99	25.08	0.13	0.52
	2	17.9497	25.4454	10.0175	7.4957	25.17			
สุพรรณบุรี 90 20%	1	18.2442	26.1902	10.0123	7.946	20.64	20.58	0.08	0.39
	2	17.6335	25.5904	10.0116	7.9569	20.52			
สุพรรณบุรี 90 25%	1	17.7227	25.1958	10.0228	7.4731	25.44	25.39	0.06	0.26
	2	17.9387	25.4175	10.0181	7.4788	25.35			
กข 6 20%	1	17.6193	25.5631	10.0025	7.9438	20.58	20.62	0.05	0.26
	2	18.1359	26.0712	10.0015	7.9353	20.66			
กข 6 25%	1	17.5354	25.0126	10.004	7.4772	25.26	25.21	0.07	0.27
	2	18.4644	25.9504	10.0028	7.486	25.16			
กข 8 20%	1	20.0286	27.9016	10.0027	7.873	21.29	21.30	0.01	0.04
	2	18.0108	25.8856	10.0067	7.8748	21.30			
กข 8 25%	1	17.8365	25.2461	10.0169	7.4096	26.03	26.08	0.07	0.26
	2	19.7503	27.1643	10.0361	7.414	26.13			
ปลายข้าว 20%	1	19.4435	27.4235	10.0181	7.98	20.34	20.33	0.03	0.12
	2	19.998	27.9802	10.0164	7.9822	20.31			
ปลายข้าว 25%	1	17.6423	25.11578	10.0397	7.47348	25.56	25.29	0.38	1.51
	2	20.5523	28.0585	10.0112	7.5062	25.02			

ตารางผนวกที่ ๑12 ข้อมูลการหาค่า Expansion Ratio ของเอ็กซ์ทรูดเต

Expansion Ratio									
Die diameter = 0.35 cm.									
พันธุ์	ครั้งที่	ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	เฉลี่ย	เฉลี่ย(เฉลี่ย)	SD	CV	ER
กข 23 20%	1	1.23	1.13	1.27	1.21	1.20	0.03	2.72	3.44
	2	1.27	1.13	1.20	1.20				
	3	1.23	1.28	1.22	1.24				
	4	1.25	1.22	1.20	1.22				
	5	1.20	1.14	1.24	1.19				
	6	1.20	1.12	1.07	1.13				
	7	1.13	1.23	1.25	1.20				
	8	1.22	1.27	1.24	1.24				
	9	1.21	1.12	1.25	1.19				
	10	1.22	1.21	1.24	1.22				
กข 23 25%	1	1.08	0.92	1.11	1.03	1.07	0.09	8.86	3.05
	2	1.20	1.26	1.17	1.21				
	3	1.02	1.00	0.90	0.97				
	4	1.04	1.06	1.18	1.09				
	5	0.94	1.00	1.00	0.98				
	6	1.05	0.90	1.00	0.98				
	7	1.06	1.03	1.03	1.04				
	8	1.45	1.07	1.16	1.23				
	9	1.00	1.18	1.02	1.07				

## ตารางผนวกที่ จ12 (ต่อ)

Expansion Ratio									
Die diameter = 0.35 cm.									
พันธุ์	ครั้งที่	ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	เฉลี่ย	เฉลี่ย(เฉลี่ย)	SD	CV	ER
สุพรรณบุรี 90 20%	1	1.33	1.26	1.25	1.28	1.28	0.04	3.41	3.65
	2	1.24	1.25	1.25	1.25				
	3	1.39	1.16	1.27	1.27				
	4	1.17	1.20	1.25	1.20				
	5	1.26	1.20	1.30	1.25				
	6	1.25	1.30	1.21	1.25				
	7	1.28	1.36	1.33	1.32				
	8	1.39	1.27	1.36	1.34				
	9	1.26	1.29	1.28	1.27				
	10	1.31	1.42	1.29	1.34				
สุพรรณบุรี 90 25%	1	0.91	0.92	0.84	0.89	0.88	0.06	6.32	2.50
	2	0.94	0.90	0.99	0.94				
	3	0.79	0.82	0.84	0.81				
	4	0.90	0.63	0.99	0.84				
	5	0.96	0.86	0.98	0.93				
	6	1.20	0.84	0.86	0.97				
	7	0.89	0.85	0.78	0.84				
	8	0.88	0.76	0.87	0.83				
	9	0.91	0.85	0.79	0.85				

## ตารางผนวกที่ จ12 (ต่อ)

Expansion Ratio									
Die diameter = 0.35 cm.									
พันธุ์	ครั้งที่	ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	เฉลี่ย	เฉลี่ย(เฉลี่ย)	SD	CV	ER
กข 6 20%	1	1.47	1.30	1.47	1.41	1.35	0.07	5.35	3.87
	2	1.55	1.25	1.52	1.44				
	3	1.44	1.14	1.14	1.24				
	4	1.38	1.06	1.34	1.26				
	5	1.42	1.20	1.47	1.36				
	6	1.44	1.16	1.34	1.31				
	7	1.36	1.40	1.29	1.35				
	8	1.60	1.18	1.60	1.46				
	9	1.44	1.20	1.37	1.34				
	10	1.51	1.31	1.37	1.39				
กข 6 25%	1	0.72	0.69	0.76	0.72	0.67	0.04	5.42	1.92
	2	0.78	0.62	0.74	0.71				
	3	0.78	0.61	0.70	0.69				
	4	0.69	0.60	0.68	0.66				
	5	0.64	0.70	0.66	0.67				
	6	0.64	0.75	0.59	0.66				
	7	0.76	0.62	0.75	0.71				
	8	0.66	0.64	0.61	0.63				
	9	0.57	0.75	0.55	0.62				
	10	0.74	0.71	0.79	0.74				

## ตารางผนวกที่ จ12 (ต่อ)

Expansion Ratio									
Die diameter = 0.35 cm.									
พันธุ์	ครั้งที่	ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	เฉลี่ย	เฉลี่ย(เฉลี่ย)	SD	CV	ER
กข 8 20%	1	1.32	1.04	1.35	1.23	1.19	0.09	7.25	3.41
	2	1.25	1.28	1.12	1.22				
	3	1.36	1.19	1.33	1.29				
	4	1.26	1.17	1.28	1.23				
	5	1.10	1.25	1.07	1.14				
	6	1.30	1.28	1.06	1.21				
	7	1.23	1.14	1.26	1.21				
	8	1.03	0.86	1.03	0.97				
	9	1.31	1.03	1.31	1.21				
	10	1.21	1.23	1.22	1.22				
กข 8 25%	1	0.53	0.54	0.58	0.55	0.60	0.04	6.00	1.72
	2	0.54	0.56	0.56	0.55				
	3	0.56	0.62	0.65	0.61				
	4	0.61	0.62	0.59	0.60				
	5	0.66	0.57	0.56	0.60				
	6	0.68	0.65	0.69	0.67				
	7	0.64	0.53	0.71	0.62				
	8	0.56	0.70	0.58	0.61				
	9	0.56	0.65	0.55	0.59				
	10	0.70	0.52	0.66	0.63				

## ตารางผนวกที่ ๑12 (ต่อ)

Expansion Ratio									
Die diameter = 0.35 cm.									
พันธุ์	ครั้งที่	ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	เฉลี่ย	เฉลี่ย(เฉลี่ย)	SD	CV	ER
ปลายข้าว 20%	1	1.28	1.30	1.29	1.29	1.32	0.04	3.14	3.76
	2	1.22	1.32	1.24	1.26				
	3	1.25	1.40	1.25	1.30				
	4	1.24	1.27	1.33	1.28				
	5	1.30	1.41	1.40	1.37				
	6	1.41	1.21	1.23	1.28				
	7	1.37	1.33	1.27	1.32				
	8	1.34	1.45	1.23	1.34				
	9	1.41	1.40	1.30	1.37				
	10	1.36	1.30	1.42	1.36				
ปลายข้าว 25%	1	1.34	1.13	1.20	1.22	1.14	0.10	9.03	3.25
	2	1.06	1.12	1.09	1.09				
	3	1.25	1.16	1.29	1.23				
	4	1.04	1.00	1.03	1.02				
	5	1.24	1.31	1.33	1.29				
	6	1.34	1.09	1.35	1.26				
	7	1.12	1.01	1.08	1.07				
	8	1.02	0.99	1.07	1.02				
	9	1.11	1.00	1.10	1.07				
	10	1.06	1.14	1.07	1.09				

ตารางผนวกที่ ๑13 ข้อมูลการวิเคราะห์หา Bulk Density

Bulk density							
น้ำหนักกระบอกตวง 1 = 24.7132 (g)							
น้ำหนักกระบอกตวง 2 = 23.7752 (g)							
พันธุ์	ครั้งที่	ml	น้ำหนักข้าว (g)	เฉลี่ย (db)	SD	CV	Bulk density ( kg/m <sup>3</sup> )
กข 23 20%	1	30.2656	5.5524	5.51	0.16	2.91	0.55
	2	30.4116	5.6984				
	3	30.4923	5.7791				
	4	30.5316	5.8184				
	5	30.7019	5.9887				
กข 23 25%	1	31.4934	7.7182	7.35	0.05	0.74	0.74
	2	31.3735	7.5983				
	3	31.3558	7.5806				
	4	31.3824	7.6072				
	5	31.4031	7.6279				
สุพรรณบุรี 90 20%	1	29.3873	5.6121	5.24	0.18	3.34	0.52
	2	29.4416	5.6664				
	3	29.29	5.5148				
	4	28.9942	5.219				
	5	29.3428	5.5676				
สุพรรณบุรี 90 25%	1	31.0033	6.2901	6.46	0.25	3.85	0.65
	2	31.4872	6.774				
	3	31.5304	6.8172				
	4	31.6541	6.9409				
	5	31.469	6.7558				

ตารางผนวกที่ ๑13 (ต่อ)

พันธุ์	ครั้งที่	ml	น้ำหนักข้าว (g)	เฉลี่ย (db)	SD	CV	Bulk density ( kg/m <sup>3</sup> )
กข 6 20%	1	30.308	6.5328	6.00	0.22	3.70	0.60
	2	30.1112	6.336				
	3	29.8389	6.0637				
	4	29.916	6.1408				
	5	30.3268	6.5516				
กข 6 25%	1	31.2979	6.5847	6.17	0.12	1.87	0.62
	2	31.2921	6.5789				
	3	31.2747	6.5615				
	4	31.1359	6.4227				
	5	31.0388	6.3256				
กข 8 20%	1	30.3706	6.5954	6.26	0.03	0.52	0.63
	2	30.3369	6.5617				
	3	30.3198	6.5446				
	4	30.3354	6.5602				
	5	30.3997	6.6245				
กข 8 25%	1	30.1647	6.3895	6.07	0.05	0.76	0.61
	2	30.1836	6.4084				
	3	30.1361	6.3609				
	4	30.1399	6.3647				
	5	30.0628	6.2876				

## ตารางผนวกที่ ๑13 (ต่อ)

Bulk density							
น้ำหนักกระบอกตวง 1 = 24.7132 (g)							
น้ำหนักกระบอกตวง 2 = 23.7752 (g)							
พันธุ์	ครั้งที่	ml	น้ำหนักข้าว (g)	เฉลี่ย (db)	SD	CV	Bulk density ( kg/m <sup>3</sup> )
ปลายข้าว 20%	1	30.3442	6.569	6.34	0.12	1.84	0.63
	2	30.2811	6.5059				
	3	30.4814	6.7062				
	4	30.5546	6.7794				
	5	30.5141	6.7389				
ปลายข้าว 25 %	1	31.5089	7.7337	6.39	0.13	2.07	0.64
	2	31.8143	8.0391				
	3	31.7002	7.925				
	4	31.6148	7.8396				
	5	31.8171	8.0419				
ml = น้ำหนักข้าว + น้ำหนักกระบอกตวง							

ตารางผนวกที่ ๑14 ข้อมูลการหาระดับการเจลาติไนซ์เซชัน

DEGREE of Gelatinized																																																																																																
วิเคราะห์หาค่า a 1 และ a 2																																																																																																
พันธุ์	%ความชื้น	absorbance 1	absorbance 2	a1/a2	เฉลี่ย	SD	CV																																																																																									
กข 23	20	0.102	0.8	0.13	0.12	0.00	0.00																																																																																									
		0.098	0.8	0.12				สุพรรณบุรี 90	25	0.046	0.81	0.06	0.06	0.01	17.51	0.059	0.81	0.07	20	0.199	0.84	0.24	0.21	0.04	17.67	0.164	0.89	0.18	กข6	25	0.11	0.86	0.13	0.13	0.00	2.62	0.106	0.86	0.12	20	0.269	0.335	0.80	0.79	0.02	1.90	0.265	0.339	0.78	กข8	25	0.162	0.31	0.52	0.51	0.02	3.12	0.165	0.33	0.50	20	0.243	0.305	0.80	0.74	0.08	10.81	0.229	0.335	0.68	ปลายข้าว	25	0.266	0.326	0.82	0.78	0.04	5.69	0.262	0.348	0.75	20	0.06	0.64	0.09	0.10	0.01	7.75	0.068	0.65	0.10	25	0.051	0.7	0.07	0.08
สุพรรณบุรี 90	25	0.046	0.81	0.06	0.06	0.01	17.51																																																																																									
		0.059	0.81	0.07					20	0.199	0.84	0.24	0.21	0.04	17.67	0.164	0.89	0.18	กข6	25	0.11	0.86	0.13	0.13	0.00	2.62	0.106	0.86		0.12	20	0.269	0.335	0.80	0.79	0.02	1.90	0.265	0.339	0.78	กข8	25	0.162	0.31	0.52	0.51	0.02	3.12	0.165		0.33	0.50	20	0.243	0.305	0.80	0.74	0.08	10.81	0.229	0.335	0.68	ปลายข้าว	25	0.266	0.326	0.82	0.78	0.04	5.69		0.262	0.348	0.75	20	0.06	0.64	0.09	0.10	0.01	7.75	0.068	0.65	0.10	25	0.051	0.7	0.07	0.08	0.01	10.05	0.052	0.619	0.08		
	20	0.199	0.84	0.24	0.21	0.04	17.67																																																																																									
		0.164	0.89	0.18				กข6	25	0.11	0.86	0.13	0.13	0.00	2.62	0.106	0.86	0.12		20	0.269	0.335	0.80	0.79	0.02	1.90	0.265	0.339	0.78	กข8	25	0.162	0.31	0.52	0.51	0.02	3.12	0.165	0.33	0.50		20	0.243	0.305	0.80	0.74	0.08	10.81	0.229	0.335	0.68	ปลายข้าว	25	0.266	0.326	0.82	0.78	0.04	5.69	0.262	0.348	0.75		20	0.06	0.64	0.09	0.10	0.01	7.75	0.068	0.65	0.10	25	0.051	0.7	0.07	0.08	0.01	10.05	0.052	0.619	0.08													
กข6	25	0.11	0.86	0.13	0.13	0.00	2.62																																																																																									
		0.106	0.86	0.12					20	0.269	0.335	0.80	0.79	0.02	1.90	0.265	0.339	0.78	กข8	25	0.162	0.31	0.52	0.51	0.02	3.12	0.165	0.33	0.50		20	0.243	0.305	0.80	0.74	0.08	10.81	0.229	0.335	0.68	ปลายข้าว	25	0.266	0.326	0.82	0.78	0.04	5.69	0.262	0.348	0.75		20	0.06	0.64	0.09	0.10	0.01	7.75	0.068	0.65	0.10	25	0.051	0.7	0.07	0.08	0.01	10.05	0.052	0.619	0.08																								
	20	0.269	0.335	0.80	0.79	0.02	1.90																																																																																									
		0.265	0.339	0.78				กข8	25	0.162	0.31	0.52	0.51	0.02	3.12	0.165	0.33	0.50		20	0.243	0.305	0.80	0.74	0.08	10.81	0.229	0.335	0.68	ปลายข้าว	25	0.266	0.326	0.82	0.78	0.04	5.69	0.262	0.348	0.75		20	0.06	0.64	0.09	0.10	0.01	7.75	0.068	0.65	0.10	25	0.051	0.7	0.07	0.08	0.01	10.05	0.052	0.619	0.08																																			
กข8	25	0.162	0.31	0.52	0.51	0.02	3.12																																																																																									
		0.165	0.33	0.50					20	0.243	0.305	0.80	0.74	0.08	10.81	0.229	0.335	0.68	ปลายข้าว	25	0.266	0.326	0.82	0.78	0.04	5.69	0.262	0.348	0.75		20	0.06	0.64	0.09	0.10	0.01	7.75	0.068	0.65	0.10	25	0.051	0.7	0.07	0.08	0.01	10.05	0.052	0.619	0.08																																														
	20	0.243	0.305	0.80	0.74	0.08	10.81																																																																																									
		0.229	0.335	0.68				ปลายข้าว	25	0.266	0.326	0.82	0.78	0.04	5.69	0.262	0.348	0.75		20	0.06	0.64	0.09	0.10	0.01	7.75	0.068	0.65	0.10	25	0.051	0.7	0.07	0.08	0.01	10.05	0.052	0.619	0.08																																																									
ปลายข้าว	25	0.266	0.326	0.82	0.78	0.04	5.69																																																																																									
		0.262	0.348	0.75					20	0.06	0.64	0.09	0.10	0.01	7.75	0.068	0.65	0.10	25	0.051	0.7	0.07	0.08	0.01	10.05	0.052	0.619	0.08																																																																				
	20	0.06	0.64	0.09	0.10	0.01	7.75																																																																																									
		0.068	0.65	0.10				25	0.051	0.7	0.07	0.08	0.01	10.05	0.052	0.619	0.08																																																																															
25	0.051	0.7	0.07	0.08	0.01	10.05																																																																																										
	0.052	0.619	0.08																																																																																													

ตารางผนวกที่ 15 ข้อมูลการหาแรงกดทะลุในเอ็กซ์ทรูดเตท

Extrusion force							
พันธุ์	ครั้งที่	Diameter (cm.)	Peak force (kg.)	พันธุ์	ครั้งที่	Diameter (cm.)	Peak force (kg.)
กข 23 20%	1	1.265	5.79	กข 23 25%	1	1.12	2.69
	2	1.205	5.26		2	1.01	4.89
	3	1.335	5.15		3	1	2
	4	1.115	6.09		4	1.06	4.43
	5	1.205	5.14		5	1.04	2.51
	6	1.29	4.85		6	1.09	4.8
	7	1.22	4.19		7	0.985	2.46
	8	1.105	5.62		8	1.045	1.93
	9	1.185	4.6		9	1.12	2.49
	10	1.145	6.4		10	1.18	2.24
					11	1.13	2.27
					12	0.935	4.08
	เฉลี่ย	1.21	5.31	เฉลี่ย	1.06	2.9	
	SD	0.07	0.68	SD	0.07	1.02	

## ตารางผนวกที่ จ15 (ต่อ)

Extrusion force							
สุพรรณบุรี 90 20%	1	1.265	2.98	สุพรรณบุรี 90 25%	1	1.105	1.18
	2	1.195	3.79		2	1.08	1.62
	3	1.155	4.29		3	1.165	2.61
	4	1.27	3.43		4	0.995	2.62
	5	1.155	5.19		5	1.06	2.81
	6	1.35	2.99		6	1.115	3.06
	7	1.215	4.58		7	1.115	4.41
	8	1.2	4.11		8	1.185	3.82
	9	1.225	4.54		9	1.07	3.79
	10	1.34	3.32		10	1.14	1.68
	11	1.33	3.02		11	1.1	2.52
	12	1.23	3.77		12	1.12	4.67
	เฉลี่ย	1.24	3.83		เฉลี่ย	1.1	2.92
	SD	0.07	0.72		SD	0.05	1.15
กข 6 20%	1	1.275	4.38	กข 6 25%	1	0.665	0.43
	2	1.1225	2.98		2	0.635	0.61
	3	1.215	3.3		3	0.705	0.55
	4	1.25	2.97		4	0.705	0.8
	5	1.2725	2.28		5	0.75	0.66
	6	1.26	1.89		6	0.795	0.64
	7	1.2325	1.78		7	0.805	0.69
	8	1.285	3.32		8	0.725	0.64
	9	1.2	3.94		9	0.735	0.22
	10	1.335	1.62		10	0.76	0.42
	11	1.31	3.05		11	0.76	0.48
	12	1.2775	1.84		12	0.735	0.47
	13	1.25	2.62				
	เฉลี่ย	1.25	2.77		เฉลี่ย	0.73	0.25
SD	0.05	0.86	SD	0.05	0.16		

## ตารางผนวกที่ ๑15 (ต่อ)

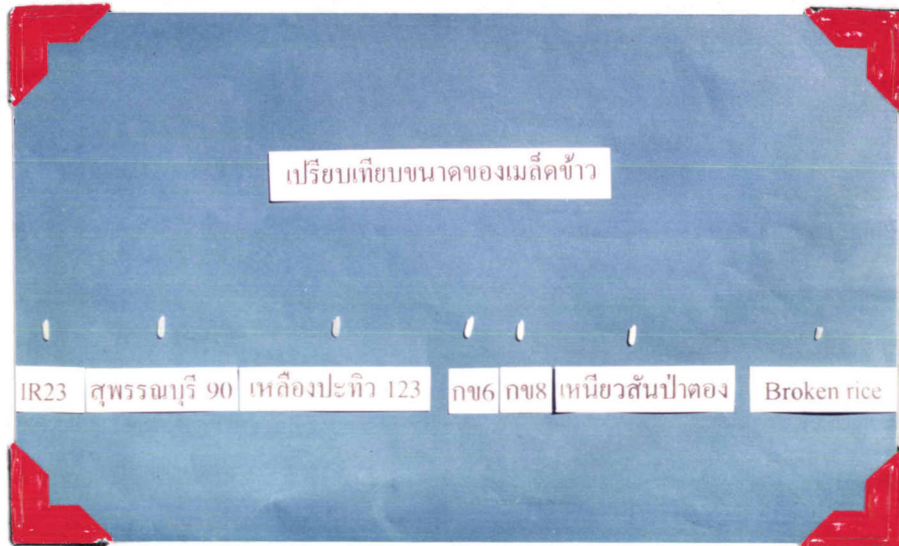
Extrusion force							
กข 8 20%	1	1.135	2.86	กข 8 25%	1	0.6	0.44
	2	1.205	1.73		2	0.69	0.32
	3	1.255	1.34		3	0.6	1
	4	1.485	1.1		4	0.675	0.13
	5	1.31	0.81		5	0.695	0.72
	7	1.13	1.14		6	0.665	0.24
	8	1.23	2.24		7	0.701	0.4
	9	1.26	2.02		8	0.665	0.45
	10	1.38	1.81		9	0.71	0.56
	11	1.11	2.88		10	0.7	0.41
	12	1.27	1.72		11	0.565	0.89
	13	1.27	1.95		12	0.555	0.3
	เฉลี่ย	1.25	1.8		เฉลี่ย	0.65	0.49
	SD	0.11	0.65		SD	0.06	0.26
ปลายข้าว 20%	1	1.355	2.21	ปลายข้าว 25%	1	1.135	1.23
	2	1.4	1.91		2	1.11	1.02
	3	1.465	1.97		3	1.385	1.36
	4	1.315	3.65		4	1.215	1.59
	5	1.59	1.11		5	1.07	1.94
	6	1.485	2.72		6	1.015	1.4
	7	1.565	2.42		7	1.19	1.84
	8	1.475	2		8	1.045	1.96
	9	1.41	0.97		9	1.005	1.47
	10	1.415	2.06		10	1	1.42
	11	1.4	2.06				
	12	1.445	2.94				
	13	1.35	1.97				
	เฉลี่ย	1.44	2.15		เฉลี่ย	1.12	1.52
SD	0.08	0.7	SD	0.12	1.91		

Diameter หัววัด No. 5 = 0.560

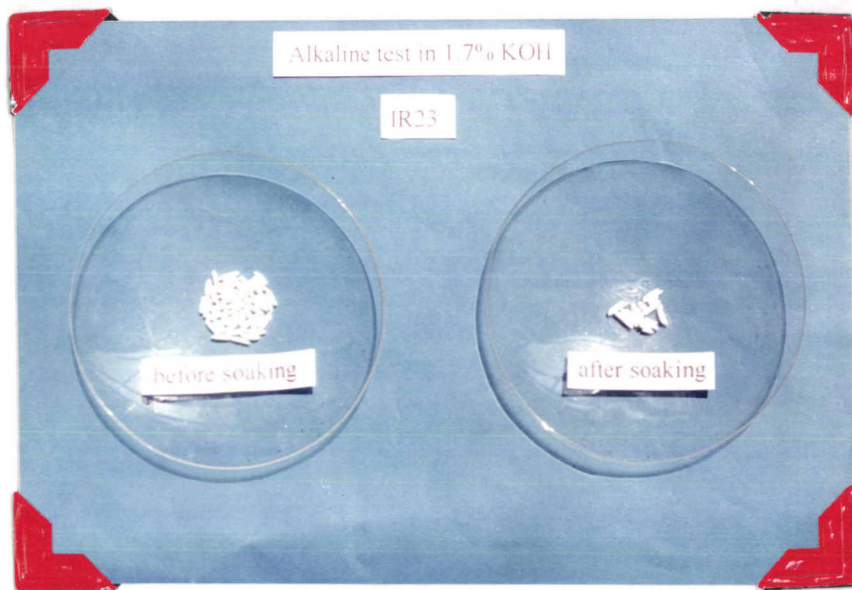
(เท่ากันทั้ง 3 ด้าน)

## ภาคผนวก ฉ

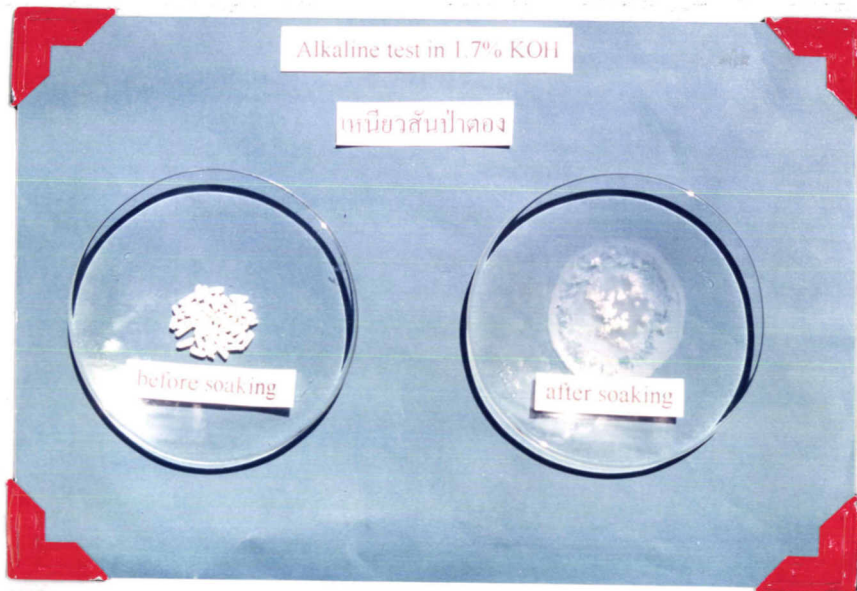
## รูปแสดงผลการทดลอง



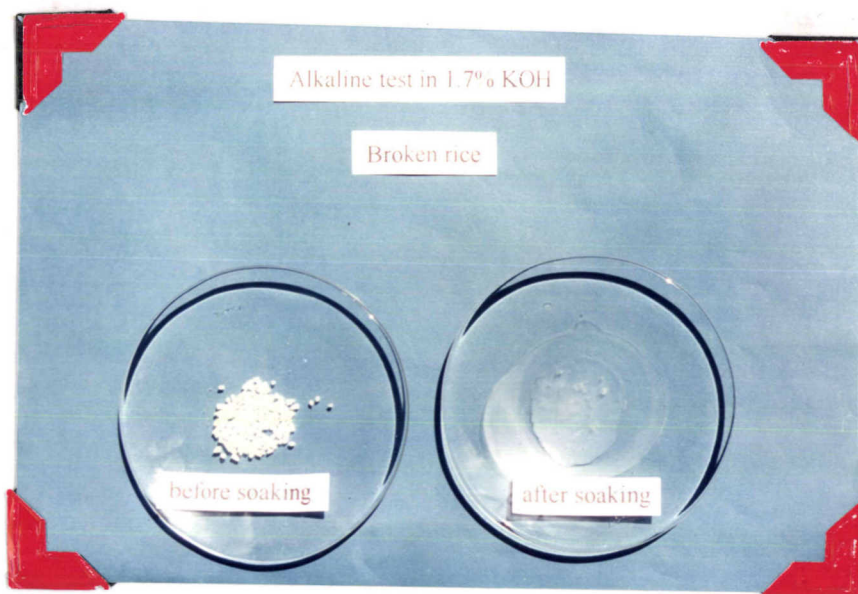
รูปผนวกที่ ฉ1 การเปรียบเทียบขนาดของเมล็ดข้าว



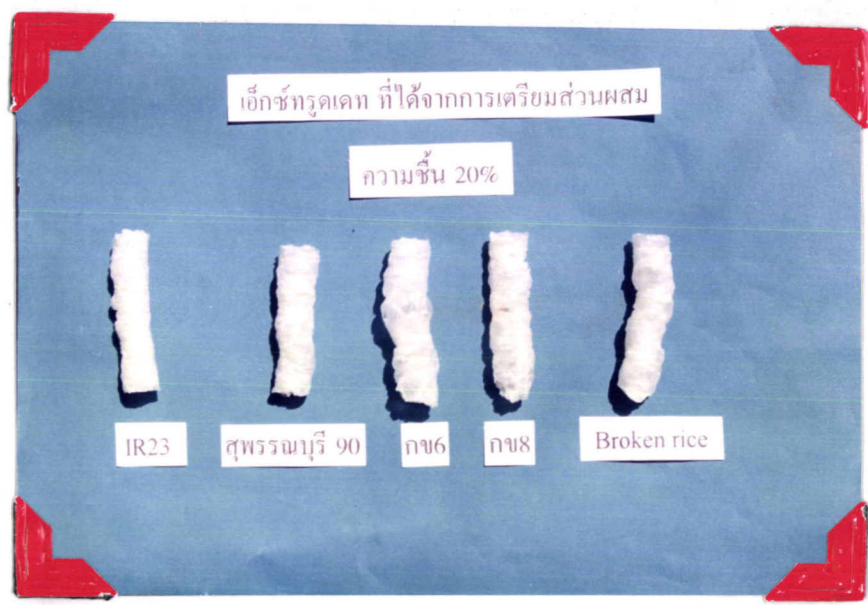
รูปผนวกที่ ฉ2 การทดลอง Alkali Test ของข้าวเจ้าพันธุ์ กข 23



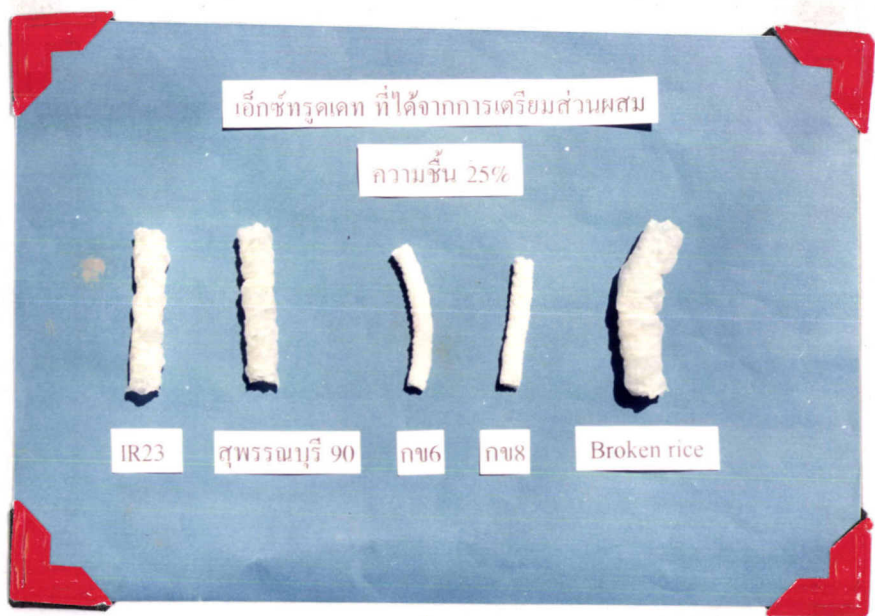
รูปผนวกที่ ๓ การทดลอง Alkali Test ของ ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง



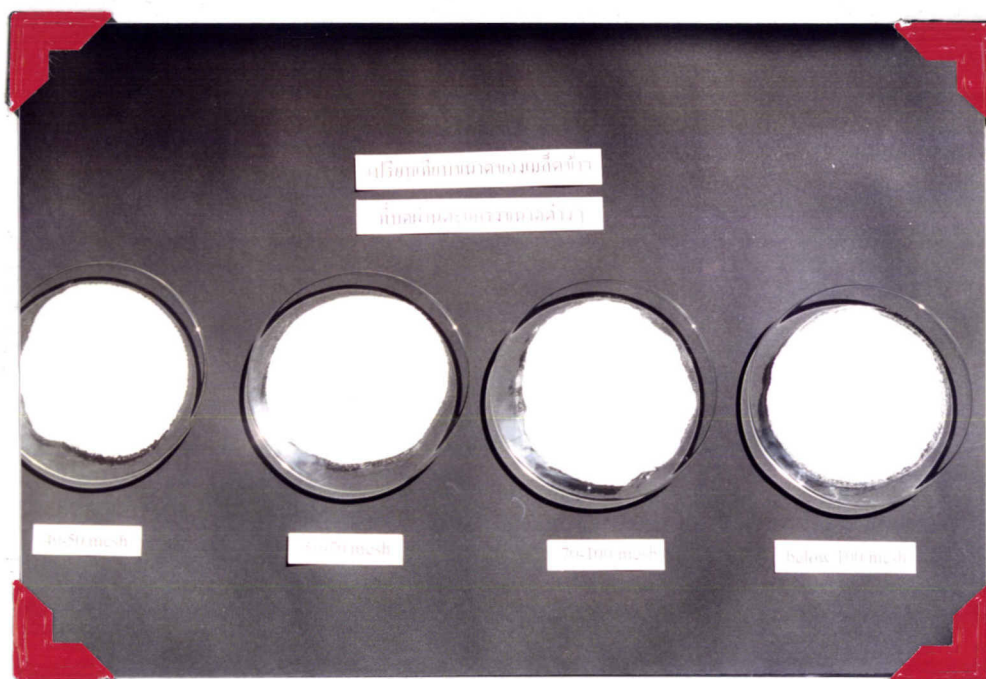
รูปผนวกที่ ๔ การทดลอง Alkali Test ของ ปลายข้าว



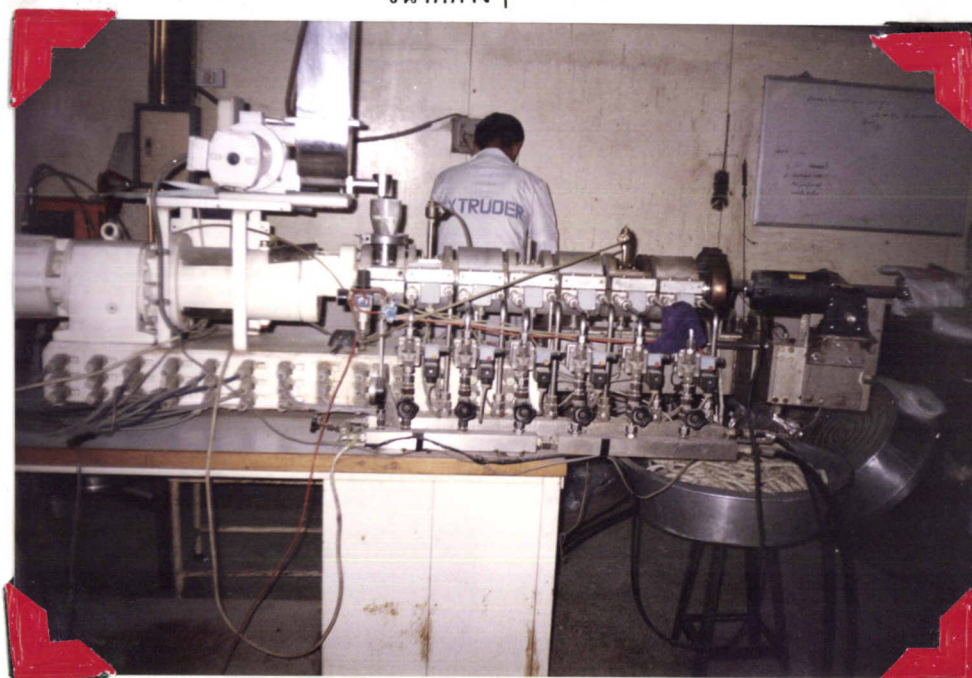
รูปผนวกที่ ๑5 เอ็กซ์ทрудเดอร์ที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมความชื้น 20 %



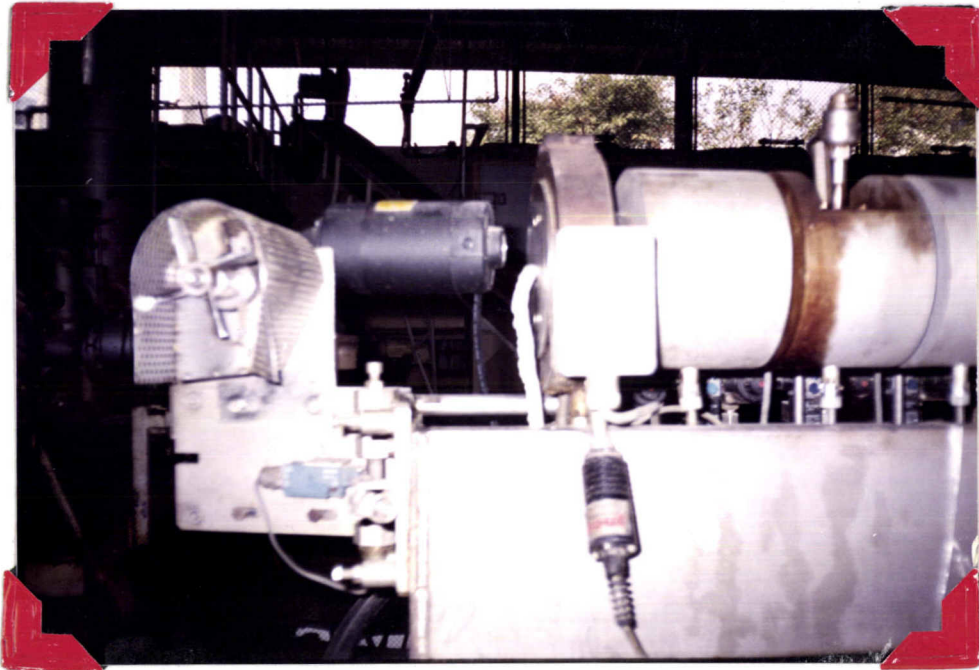
รูปผนวกที่ ๑6 เอ็กซ์ทрудเดอร์ที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมความชื้น 25 %



รูปผนวกที่ ๗ เปรียบเทียบขนาดของเมล็ดข้าวที่บดผ่านตะแกรง  
ขนาดต่างๆ



รูปผนวกที่ ๘ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์



รูปผนวกที่ ๑๑ เอ็กซ์ทรอดเททที่ออกจากหัว die

### ประวัติผู้เขียน

นางสาวนิตา ตรีภัทรชยากร เกิดเมื่อวันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสตรีมหาพฤฒาราม ในปี พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ) สาขาอุตสาหกรรมเกษตร จากภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ในปีพ.ศ. 2538

นางสาวสุภาพร จิตรประภากรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 18 พฤษภาคมพ.ศ. 2516 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสตรีมหาพฤฒาราม ในปี พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ) สาขาอุตสาหกรรมเกษตร จากภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ในปีพ.ศ. 2538

