

การผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจากข้าวกล้องงอก

EXTRUSION OF GERMINATED BROWN RICE
AS 3rd GENERATION PRODUCT



T104128



โดย
นางสาวกนิษฐา เงามู่ทอง
นางสาวกฤติกา เกตุติษ
นางสาวจุฑารัตน์ สุนประเสริฐ
นายสาทิศ อันนันทน์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104128
วัน,เดือน,ปี... 3.0.ค.ค. 2552

b..... 12102332
j.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจากข้าวกล้องงอก

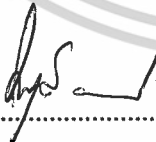
EXTRUSION OF GERMINATED BROWN RICE

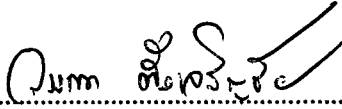
AS 3rd GENERATION PRODUCT

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกนิษฐา เงามู่ทอง
2. นางสาวกฤติกา เกตุศิษ
3. นางสาวจุฑารัตน์ สุนประเสริฐ
4. นายสาทิศ อันนันทน์




.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รศ.ดร.วรรณมา ตั้งเจริญชัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจากข้าวกล้องงอก

นางสาวกนิษฐา เงามู่ทอง

นางสาวกฤติกา เกตุศิษ

นางสาวจุฑารัตน์ สุนประเสริฐ

นายสาทิศ อัมมันนนับ

ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วรรณมา ตังเจริญชัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ เพื่อศึกษาหลักการออกแบบสกรูและหน้าแปลนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (3rd Generation) จากข้าวกล้องงอกด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) การออกแบบสกรูและหน้าแปลนด้วยการตัดแปลงสกรูต้นแบบของภาควิชาวิศวกรรมอาหาร โดยเพิ่มระยะพิทช์ และความถี่ร่องเกลียว ตามหลักการออกแบบเพื่อให้ได้แรงเฉือนต่ำ ได้สกรูใหม่ 3 รูปแบบ และ 2) การศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (3rd Generation) ด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยกำหนดค่าตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ความชื้นของวัตถุดิบ 22.2% 25% 27.5% ความเร็วรอบสกรู 400, 500, 600 รอบต่อนาที อุณหภูมิบาร์เรล 65 องศาเซลเซียส เอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ได้ถูกนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะต่างๆ เช่น ความชื้น ความหนาแน่น อัตราส่วนการขยายตัว ความสามารถในการดูดซับน้ำและละลายน้ำ ลักษณะสี เนื้อสัมผัสและเปอร์เซ็นต์ๆ เจลาตินในเซชันของแป้ง จากการศึกษาพบว่าในการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (3rd Generation) ควรผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่ใช้สกรูที่มีความเร็วรอบและมีแรงเฉือนต่ำ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะ เหนียว เป็นเจลใสสุด แต่ไม่พองตัวตามที่ต้องการ นอกจากนี้ควรมีระยะพิทช์ ความถี่ร่องเกลียวสกรูมาก ประกอบกับมีรูหน้าแปลนขนาดเล็ก เพื่อลดอัตราเฉือนและแรงบิดป้องกันไม่ให้เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขณะที่เนื้อแป้งผ่านการทำให้สุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXTRUSION OF GERMINATED BROWN RICE

AS 3rd GENERATION PRODUCT

Miss Kanittha Ngawphuthong

Miss Krittika Katedit

Miss Jutharat Sunprasert

Mr. Satis Annanab

Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong Advisor

Assoc. Prof. Dr. Wanna Tungjaroenchai Co-advisor

Academic Year 2008

Abstract

The objective of this study was to design an appropriate screw and die configuration which enables production of third generation products from germinated brown rice using extrusion process. This was accomplished through experimentation which was divided into two parts: 1) design and evaluate the performance of new screws and die, modified from the original one at Department of Food Engineering, by increasing screw pitch and depth and 2) determine the optimum conditions in producing third generation products from germinated brown rice by extrusion process. The study parameters included feed moisture levels of 22.5%, 25%, 27.5%, screw speed of 400, 500, 600 rpm at barrel temperature of 65° C. The extrudate was then dried in oven at 65° C prior to analysis for its characteristics such as moisture level, bulk density, expansion ratio, water absorption index, water solubility index, color, texture and pasting properties. The results showed that third generation products should be produced under low screw speeds and low heat levels in order to obtain the desire product characteristics (3rd generation product).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในปริณิษณานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ คำแนะนำ ติดตามผลดำเนินงาน และชี้แนะแก้ไขในส่วนที่บกพร่อง ตลอดช่วงเวลาการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์วรรณมา ตั้งเจริญชัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คณะอุตสาหกรรมเกษตร และพี่ปาริชาติ รุ่นพี่ปริญาโท คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ ถ่ายทอดความรู้การเพาะข้าวกล้องงอก และอำนวยความสะดวกในการเตรียมข้าวกล้องงอกตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

บิดา มารดา ของสมาชิกในกลุ่มที่ทำโครงการนี้ ที่ให้โอกาสทางการศึกษาจนได้มาถึงในขณะนี้ ไม่ว่าจะอุปสรรคจะยากสักเพียงใด กำลังใจจากท่านจะคอยเป็นแรงผลักดันให้พวกเราไปข้างหน้า คณะผู้จัดทำทุกคนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ในพระคุณอันหาที่เปรียบมิได้

ขอขอบคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ (พี่นุ้ย) ที่คอยให้การช่วยเหลือในเวลาทำการทดลอง จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลอง และคุณอำนาจ กูตะกู (พี่แมน) สำหรับการขนส่งวัตถุดิบจากศูนย์วิจัยข้าวพระนครศรีอยุธยา

ขอบคุณเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมอาหารและเพื่อนร่วมคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกคนที่ช่วยให้คำปรึกษาและคำแนะนำเมื่อมีปัญหา

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการสนับสนุนทุนงบประมาณประจำปี 2551 จากโครงการวิจัยเรื่อง “ การเปลี่ยนแปลงสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท 1 โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรักชัน ” ในการสร้างชิ้นส่วนสกรูและหน้าแปลนเพื่อใช้ศึกษา

ผู้จัดทำ

นางสาวกนิษฐา เภาภูทอง

นางสาวกฤติกา เกตุศิษ

นางสาวจุฑารัตน์ สุนประเสริฐ

นายสาทิส อันนันทน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	III
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	IV
กิตติกรรมประกาศ	VIII
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูป	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับข้าว	5
2.1.1 ประวัติของข้าว	5
2.1.2 ลักษณะทั่วไปของข้าว	5
2.1.3 ชนิดของข้าว	6
2.1.4 พันธุ์ข้าว	8
2.1.5 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าว	9
2.2 ข้าวกล้องงอก	11
2.2.1 ลักษณะทั่วไป	11
2.2.2 องค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการ	12
2.2.3 วิธีทำข้าวกล้องงอกโดยทั่วไป	15
2.2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวกล้องงอก	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3	เทคโนโลยีเอ็กซ์ทราซัน	16
2.3.1	กระบวนการเอ็กซ์ทราซัน	16
2.3.2	หลักการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์	17
2.3.3	ส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์	19
2.3.4	การแบ่งชนิดเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์	20
2.3.5	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเอ็กซ์ทราซัน	26
2.4	ผลิตภัณฑ์อาหารแบบ 3 rd Generation	27
2.4.1	ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์แบบ 3 rd Generation	27
2.4.2	กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ 3 rd Generation	31
2.4.3	ประโยชน์ของ 3 rd Generation โดยกระบวนการ Extrusion	32
2.5	คุณภาพของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราเตอร์	33
2.5.1	ความหนืด	33
2.5.2	ความสามารถในการดูดซับน้ำและละลายน้ำ	37
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
2.6.1	งานวิจัยข้าวกล้องอก	39
2.6.2	งานวิจัยการออกแบบส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์	40
2.6.3	งานวิจัยสภาวะการดำเนินการผลิตแบบเอ็กซ์ทราซัน	41
2.6.4	งานวิจัยคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้อง	43
บทที่ 3	วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	44
3.1	วัสดุและอุปกรณ์	44
3.1.1	วัตถุดิบ	44
3.1.2	อุปกรณ์	47
3.2	การวางแผนการทดลอง	48
3.2.1	การออกแบบสกรูและหน้าแปลน	48
3.2.2	การหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม	49
3.3	ขั้นตอนการทดลอง	50
3.4.1	การทดลองส่วนของการออกแบบสกรูและหน้าแปลน	50
3.4.2	การทดลองหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (3 rd Generation Product)	52
3.4.1 การหาขนาดอนุภาค	52
3.4.2 ความชื้น	52
3.4.3 ความหนืด	53
3.4.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำและละลายน้ำ	54
3.4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส	55
3.4.6 ความหนาแน่น	56
3.4.7 อัตราส่วนการขยายตัว	56
3.4.8 ปริมาณของแข็งสุทธิ	57
3.4.9 ค่าความสว่างของสี (L*)	57
3.5 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	58
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลองและวิจารณ์ 1 (ตอนที่ 1 การออกแบบสกรูและหน้าแปลน)	59
4.1 การออกแบบสกรู	59
4.1.1 สกรูแบบที่ 1 (STD)	60
4.1.2 สกรูแบบที่ 2 (2H)	61
4.1.3 สกรูแบบที่ 3 (2P)	62
4.1.4 สกรูแบบที่ 4 (2:1)	63
4.2 การออกแบบหน้าแปลน	64
4.2.1 หน้าแปลนแบบที่ 1 (Ø 4 mm.)	64
4.2.2 หน้าแปลนแบบที่ 1 (Ø 2 mm.)	65
4.3 คุณสมบัติของแป้งข้าวกล้องงอกที่ได้จากการวิเคราะห์	66
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองออกแบบสกรูและหน้าแปลน	68
4.4.1 ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture Content,MC)	70
4.4.2 คุณสมบัติทางความหนืดของเอ็กซ์ทรูเดท (Pasting properties)	71
4.4.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index,WAI)	74
4.4.4 ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index,WSI)	75
4.4.5 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ (Density)	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (Expansion Ratio,ER)	78
4.4.7 ปริมาณของแข็งสูญเสีย (Solid loss)	79
4.4.8 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)	80
4.4.9 ค่าความสว่างของสี (L*)	83
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลองและวิจารณ์ 2 (ตอนที่ 2 การปรับสภาวะการผลิต)	85
5.1 ผลการทดลอง	85
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	89
5.2.1 ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture Content,MC)	89
5.2.2 คุณสมบัติทางความหนืดของเอ็กซ์ทราคต (Pasting properties)	91
5.2.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index,WAI)	97
5.2.4 ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index,WSI)	99
5.2.5 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ (Density)	101
5.2.6 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (Expansion Ratio,ER)	103
5.2.7 ปริมาณของแข็งสูญเสีย (Solid loss)	106
5.2.8 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)	109
5.2.9 ค่าความสว่างของสี (L*)	113
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	115
เอกสารอ้างอิง	117
ภาคผนวก	119
ภาคผนวก ก	120
ภาคผนวก ข	122
ภาคผนวก ค	131
ภาคผนวก ง	144
ภาคผนวก จ	151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะเด่นของข้าวกลุ่มสายพันธุ์ข้าวเจ้า	8
2.2 แสดงลักษณะเด่นของข้าวกลุ่มสายพันธุ์ข้าวเหนียว	9
2.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติและปริมาณสารอาหารในข้าวขัดสี ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก	14
3.1 แสดงสัญลักษณ์และความหมาย	49
3.2 แผนการทดลอง Box – Behnken Design	50
4.1 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท 1	67
4.2 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท 1	67
4.3 แสดงค่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลนแต่ละแบบ	69
5.1 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะการทดลองต่างๆ	87
5.2 แสดงผลค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอย	88
ก.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพระหว่างแป้งข้าวกล้องงอก และแป้งข้าวกล้องธรรมดา (พันธุ์ชัยนาท 1)	121
ข.1 แสดงค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)	123
ข.2 แสดงค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)	123
ข.3 แสดงค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)	123
ข.4 แสดงค่าความหนืดผลิตภัณฑ์ (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)	124
ข.5 แสดงค่าความหนืด (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)	124
ข.6 แสดงค่าความหนืด (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)	124
ข.7 แสดงค่าความสามารถในการละลายและดูดซับน้ำ (สกรูและหน้าแปลน 4 mm)	125
ข.8 แสดงค่าความสามารถในการละลายและดูดซับน้ำ (สกรูและหน้าแปลน 2 mm.)	125
ข.9 แสดงค่าความสามารถในการละลายและดูดซับน้ำ (หาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)	125
ข.10 แสดงค่าความหนาแน่น (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)	126
ข.11 แสดงค่าความหนาแน่น (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่	หน้า
ข.12 แสดงค่าความหนาแน่น (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)	126
ข.13 แสดงค่าอัตราส่วนการขยายตัว (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)	127
ข.14 แสดงค่าอัตราส่วนการขยายตัว (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)	127
ข.15 แสดงค่าอัตราส่วนการขยายตัว (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)	127
ข.16 แสดงค่าการสูญเสียของแข็ง (ออกแบบสกรูหน้าแปลน 4 mm.)	128
ข.17 แสดงค่าการสูญเสียของแข็ง (ออกแบบสกรูหน้าแปลน 2 mm.)	128
ข.18 แสดงค่าการสูญเสียของแข็ง (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม.)	128
ข.19 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัส (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)	129
ข.20 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัส (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)	129
ข.21 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัส (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)	129
ข.22 แสดงค่าสี (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)	130
ข.23 แสดงค่าสี (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)	130
ข.24 แสดงค่าสี (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)	130
ค.1 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์	132
ค.2 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์	133
ค.3 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความคงทนต่อการกววนของผลิตภัณฑ์	134
ค.4 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์	135
ค.5 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์	136
ค.6 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์	137
ค.7 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์	138
ค.8 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์	139
ค.9 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณของแข็งสูญเสียของผลิตภัณฑ์	140
ค.10 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความแข็งของผลิตภัณฑ์	141
ค.11 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความเหนียวของผลิตภัณฑ์	142
ค.12 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์	143
จ.1 ผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลน (หน้าแปลน 4 mm.)	154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่	หน้า
จ.2 ผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลน (หน้าแปลน 2 mm.)	155
จ.3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งที่ได้จากการศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม	156
จ.4 ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลน (หน้าแปลน 4 mm)	158
จ.5 ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลน (หน้าแปลน 2 mm.)	159
จ.6 ลักษณะของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่ได้จากการศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม	160
จ.7 ตารางตัวอย่างบางส่วนของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราเจกต์ หลังจากผ่านการลวก	162
จ.8 แสดงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์	163



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเมล็ดข้าวกล้องงอกที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการงอก	12
2.2 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเมล็ดข้าว	13
2.3 แสดงส่วนโครงสร้างของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์โดยทั่วไป	17
2.4 Process flow diagram for pellets	30
2.5 แสดงรูปแบบความหนืดของแป้งสุกที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของแป้ง	34
2.6 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA	35
3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	45
4.1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์	59
4.2 แสดงแบบจำลองสกรูมาตรฐาน (STD) ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	60
4.3 แสดงรูปจริงของสกรูมาตรฐาน (STD) ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	60
4.4 แสดงแบบจำลองสกรู (2H) ที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียวเป็น 2 เท่าจาก สกรูมาตรฐาน โดยระยะพิทช์เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน	61
4.5 แสดงรูปจริงของสกรู (2H) ที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียวเป็น 2 เท่าจาก สกรูมาตรฐาน โดยระยะพิทช์เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน	61
4.6 แสดงแบบจำลองสกรูที่ปรับเพิ่มระยะพิทช์ (2P) เป็น 2 เท่า จากสกรูมาตรฐาน โดยความถี่ร่องเกลียวเท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน	62
4.7 แสดงแบบของสกรูจริงที่ปรับเพิ่มระยะพิทช์(2P) เป็น 2 เท่า จากสกรูมาตรฐาน ความถี่ร่องเกลียวเท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน	62
4.8 แสดงแบบจำลองสกรูที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียว (2:1) ช่วง Feeding Zone เป็น 2 เท่า จากสกรูมาตรฐาน และความถี่ร่องเกลียวช่วง Metering Zone เท่า เดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน โดยระยะพิทช์เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงแบบจริงของสกรูที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียว (2:1) ช่วง Feeding Zone เป็น 2 เท่า จากสกรูมาตรฐาน และความถี่ร่องเกลียวช่วง Metering Zone เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน โดยระยะพิทช์เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน	63
4.10 แสดงแบบจำลองหน้าแปลนมาตรฐานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (หน้าแปลนแบบที่ 1) ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู Die 4 mm.2.17 การ ไป้อสทรานซิสเตอร์	64
4.11 แสดงแบบจริงของหน้าแปลนมาตรฐานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (หน้าแปลนแบบที่ 1) ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู Die 4 mm.	64
4.12 แสดงแบบจำลองหน้าแปลนของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (หน้าแปลนแบบที่ 2) ที่ทำการออกแบบลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู Die ลงเป็น 2 mm.	65
4.13 แสดงแบบจริงของหน้าแปลนของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (หน้าแปลนแบบที่ 2) ที่ทำการออกแบบลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู Die ลงเป็น 2 mm.	65
4.14 กราฟแสดงค่าความหนืดเปรียบเทียบระหว่างแป้งข้าวกล้องธรรมดา กับแป้งข้าวกล้องงอก (ข)	66
4.15 การเปรียบเทียบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	70
4.16 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	72
4.17 การเปรียบเทียบค่าความคงทนต่อการกวนของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	73
4.18 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	74
4.19 การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	75
4.20 การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	76
4.21 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	77
4.22 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	78
4.23 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งสูญเสียของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	79
4.24 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
4.25 การเปรียบเทียบค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	82
4.26 การเปรียบเทียบค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ	83
5.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	86
5.2 การเปรียบเทียบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-1)	89
5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์	90
5.4 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-2)	91
5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์	92
5.6 การเปรียบเทียบค่าความคงทนต่อการกวนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-3)	93
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อค่าความคงทนต่อการกวนของผลิตภัณฑ์	94
5.8 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-4)	95
5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์	96
5.10 การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-5)	97
5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์	98
5.12 การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-6)	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
5.14 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-7)	101
5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์	102
5.16 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-8)	103
5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่ออัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์	105
5.18 การเปรียบเทียบค่าปริมาตรของแข็งสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-9)	106
5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อปริมาณของแข็งสูญเสียของผลิตภัณฑ์	108
5.20 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-10)	109
5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์	110
5.22 การเปรียบเทียบค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-11)	111
5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์	112
5.24 การเปรียบเทียบค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-12)	113
5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์	114
ง.1 แสดงเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์ (ด้านข้าง) ที่ใช้ในการทดลอง	145
ง.2 แสดงเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์ (ด้านหน้า) ที่ใช้ในการทดลอง	145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
ง.3 แสดงสกรูต้นแบบของภาควิชาวิศวกรรมอาหาร (STD)	146
ง.4 แสดงสกรูที่ปรับเพิ่มความถี่รอบเกลิยวเป็น 2 เท่าจากสกรูต้นแบบ (2H)	146
ง.5 แสดงสกรูที่ปรับเพิ่มระยะพิทช์เป็น 2 เท่าจากสกรูต้นแบบ (2P)	147
ง.6 แสดงสกรูที่ปรับความถี่รอบเกลิยวช่วง Feeding Zone: Metering Zone เป็น 2:1	147
ง.7 แสดงหน้าแปลนต้นแบบของภาควิชาวิศวกรรมอาหาร (4 mm.)	148
ง.8 แสดงหน้าแปลนที่ออกแบบให้รูหน้าแปลนเล็กลงครึ่งหนึ่งจากต้นแบบ (2 mm.)	148
ง.9 แสดงเครื่องวัดความหนืด	149
ง.10 แสดงเครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge)	149
ง.11 แสดงเครื่องวัดค่าสี	149
ง.12 แสดงตู้อบ (Oven)	149
ง.13 แสดงโถดูดความชื้น	149
ง.14 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลทศนิยม 2 ตำแหน่ง	149
ง.15 แสดง Texture Analyzer	150
ง.16 แสดงตู้บ่ม	150
จ.1 ภาพแสดงสถานที่เพาะปลูกข้าว	152
จ.2 ภาพแสดงแปลงเพาะปลูกข้าว	152
จ.3 ภาพแสดงขั้นตอนแรก (ล้างข้าวกล้อง)	152
จ.4 ภาพแสดงขั้นตอนที่ 2 (แช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์)	152
จ.5 ภาพแสดงขั้นตอนที่ 3 (นำข้าวที่แช่สารละลายจากขั้นที่ 2 ไปเข้าตู้บ่ม)	152
จ.6 ภาพแสดงขั้นตอนที่ 4 (ล้างข้าวที่ผ่านการบ่มแล้วให้สะอาด)	152
จ.7 ภาพแสดงขั้นตอนที่ 5 (นำข้าวกล้องงอกที่ล้างแล้วไปผึ่งลม)	153
จ.8 ภาพแสดงขั้นตอนที่ 6 (นำเข้าตู้อบลมร้อนเพื่อให้แห้ง)	153
จ.9 ภาพแสดงข้าวกล้องงอกที่ได้	153
จ.10 ภาพแสดงแป้งข้าวกล้องงอกที่ได้ หลังจากนำข้าวกล้องงอกไปบดแล้วเพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบต่อไป	153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยมีการส่งออกข้าวปริมาณมาก ขณะที่การส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวมีปริมาณเพียงเล็กน้อยคือ ประมาณ 117,117 ตัน คิดเป็น 1.8% ของปริมาณส่งออกข้าวเป็นหลัก และนารายได้เข้าประเทศ 2,630 ล้านบาท หรือเป็น 3.0% ของมูลค่าข้าวส่งออก (ส่งออกข้าวรวมมีมูลค่า 86,805 ล้านบาท) อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณเป็นราคาต่อตันพบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวมีราคาสูงอย่างเด่นชัด โดยมีราคา 22,460 บาท/ตัน ในขณะที่ข้าวมีราคา 13,270 บาท/ตัน แม้ในกลุ่มข้าวคุณภาพดีก็ยังคงมีราคาต่ำกว่าราคาผลิตภัณฑ์ (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2541) ดังนั้นหากสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวให้กว้างขวางยิ่งขึ้นย่อมเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าวให้สูงขึ้น

ข้าวกล้อง เป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียวเพื่อเอาเปลือก (แกลบ) ออก ข้าวที่ได้จึงเป็นข้าวที่มีสีขาวขุ่น โดยยังมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่ ซึ่งจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวนี้เป็นส่วนที่อุดมด้วยวิตามิน แร่ธาตุ เส้นใยอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระ จึงเป็นประโยชน์ต่อร่างกายมากกว่าข้าวชนิดอื่น สามารถนำมาแปรรูปเป็นแป้งได้ โดยแป้งที่ได้จากข้าวกล้องนั้นสามารถนำมาแปรรูปเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่และแป้งสำหรับประกอบอาหารประเภทต่าง ๆ ทั้งคาว หวาน และของว่าง ได้หลากหลายไม่แพ้แป้งชนิดอื่น ๆ ให้รสชาติที่อร่อยนุ่มนวลเช่นเดียวกับแป้งที่ทำมาจากข้าวขาวแต่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า

ข้าวกล้องงอก (germinated brown rice หรือ “GABA-rice”) ถือเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากข้าวกล้องงอก (germinated brown rice) เป็นการนำข้าวกล้องมาผ่านกระบวนการงอก ซึ่งโดยปกติแล้ว ในตัวข้าวกล้องเองประกอบด้วยสารอาหารจำนวนมาก เช่น ใยอาหาร กรดไฟติก (Phytic acid) วิตามินซี วิตามินอี และ GABA (gamma amino butyric acid) ซึ่งช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง เบาหวาน และช่วยในการควบคุมน้ำหนักตัว เป็นต้น เมื่อนำข้าวกล้องมาแช่น้ำเพื่อทำให้งอก จะทำให้ข้าวกล้องมีสารอาหาร โดยเฉพาะ GABA เพิ่มขึ้น (กฤษณา, 2550) นอกจากนี้ข้าวกล้องงอกยังสามารถพัฒนาแปรรูปเป็นแป้งข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพได้หลายชนิด เช่น อาหารว่าง ขนมขบเคี้ยว ชูป เครื่องดื่ม ฯลฯ (พัชรีย์, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GABA เป็นกรดอะมิโนที่ผลิตจากกระบวนการ decarboxylation ของกรดกลูตามิก (glutamic acid) ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง นอกจากนี้ ยังถือเป็นสารสื่อประสาทประเภทสารยับยั้ง (inhibitor) โดยจะทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น ซึ่งช่วยทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและนอนหลับสบาย อีกทั้งยังทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นต่อมไร้ท่อ (anterior pituitary) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต (HGH) ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดความกระชับ และเกิดสาร lipotropic ซึ่งเป็นสารป้องกันการสะสมไขมัน มีผลช่วยลดความดันโลหิต ลด LDL (Low density lipoprotein) ลดอาการอัลไซเมอร์ ลดน้ำหนัก ทำให้ผิวพรรณดี ตลอดจนใช้บำบัดโรคเกี่ยวกับระบบประสาทส่วนกลางได้ (ชาญวิทย์, 2550)

ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวหลายชนิดโดยใช้กระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันในการผลิต เช่น ผลิตภัณฑ์ข้าวพองกรอบในรูปของอาหารเช้าสำเร็จรูปชนิดบริโภคได้ทันที (ready to eat breakfast) อาหารกึ่งสำเร็จรูป รวมไปถึงข้าวพองกรอบในรูปของขนมขบเคี้ยว (rice snack) เนื่องด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายของลักษณะปรากฏ ได้แก่ ขนาดและรูปร่าง ภายในขั้นตอนเดียวโดยใช้เวลาผลิตสั้นและสามารถเติมรสชาติได้ตามต้องการด้วยผงปรุงรสหลายชนิด นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้ด้วยการเติมสารอาหารจากธรรมชาติ เช่น การเติมเยื่อใยจากธัญพืช รวมไปถึงการเติมสมุนไพร เป็นต้น (วินัยและคณะ, 2544)

อาหารกึ่งสำเร็จรูปจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารยุคที่ 3 (3rd Generation Product) มีลักษณะสุกแต่ไม่พองทันทีจึงต้องมีขั้นตอนของกระบวนการผลิตอื่นเพิ่มจึงจะรับประทานได้ เช่น การทอดลวก ซึ่งสามารถผลิตได้โดยอาศัยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Harper, 1981) เนื่องจากปัจจุบันการดำเนินชีวิตเป็นไปอย่างเร่งรีบ อาหารกึ่งสำเร็จรูปเริ่มมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันมากขึ้น จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะทำศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป จากข้าวกล้องงอกด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญ คือ

1. เพื่อศึกษาการเตรียมวัตถุดิบจากข้าวกล้องงอก
2. เพื่อศึกษาหลักการออกแบบสกรูและรูลำเนาแปลนให้ เหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์ 3rd generation จากข้าวกล้องงอก
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ผลิตภัณฑ์ 3rd generation จากข้าวกล้องงอก
4. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของข้าวกล้องงอกที่ใช้เป็นวัตถุดิบและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ 3rd generation

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันคือ ข้าวกล้องงอก พันธุ์ชยันต 1
2. การผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันจะผลิตจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว โดยใช้ข้าวกล้องงอก บดเป็นแป้งข้าวกล้องงอกเพื่อเป็นวัตถุดิบหลัก เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของผลิตภัณฑ์ 3rd generation ที่ได้จากการศึกษา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการออกแบบสกรูและรูลำเนาแปลน และส่วนของการหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม
3. ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์
 - 1) Hardware Configuration โดยออกแบบลักษณะสกรูและรูลำเนาแปลนที่แตกต่างกัน
 - 2) Operating Condition
 - ความชื้นวัตถุดิบเริ่มต้น
 - ความเร็วรอบของสกรู
4. คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาประกอบด้วย ความหนาแน่นขึ้น (PD) ความชื้น (%Mc) ความหนืด ความสามารถในการดูดซับน้ำ(WAI) ความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) ลักษณะเนื้อสัมผัส อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (%ER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการส่งเสริมให้มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวเพิ่มขึ้น ช่วยทำให้ข้าวมีมูลค่าเพิ่มขึ้น
2. ได้ทราบกระบวนการทำข้าวจากข้าวกล้อง เพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์ 3rd generation ด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน
3. ได้แนวทางการแปรรูปข้าวกล้องงอกด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน
4. ทราบหลักการการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์
5. ทราบแนวโน้มของลักษณะสกรู รูหน้าแปลน และสภาวะการผลิตที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแบบ 3rd generation โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว
6. ได้ผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกที่มีมีประโยชน์ต่อสุขภาพและมีความหลากหลายมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

2.1.1 ประวัติของข้าว

พันธุ์ข้าวที่มนุษย์เพาะปลูกในปัจจุบันพัฒนามาจากข้าวป่าในตระกูล *Oryza gramineae* สันนิษฐานว่า พืชสกุล *Oryza* มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนชื้นของทวีป Gondwanaland ก่อนผืนดินจะเคลื่อนตัวและเคลื่อนออกจากกันเป็นทวีปต่าง ๆ เมื่อ 230-600 ล้านปีมาแล้วจากนั้นกระจายจากเขตร้อนชื้นของแอฟริกา เอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงเหนือ ออสเตรเลีย อเมริกากลางและใต้ ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ตั้งแต่ความสูงระดับน้ำทะเลถึง 2,500 เมตรหรือมากกว่า ทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ทั้งในที่ราบลุ่มจนถึงที่สูง ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 53 องศาเหนือถึง 35 องศาใต้ มนุษย์ได้คัดเลือกข้าวป่าชนิดต่างๆ ตามความต้องการของตน เพื่อให้สอดคล้องกับระบบนิเวศน์ มีการผสมพันธุ์ข้ามระหว่างข้าวที่ปลูกกับวัชพืชที่เกี่ยวข้อง เกิดข้าวพื้นเมืองมากมายหลายสายพันธุ์ ซึ่งสามารถให้ผลผลิตสูง ปลูกได้ตลอดปี ก่อให้เกิดพันธุ์ข้าวปลูกที่เรียกว่า ข้าวลูกผสมซึ่งมีปริมาณ 120,000 พันธุ์ทั่วโลก ข้าวที่ปลูกในปัจจุบันแบ่งออกเป็นข้าวแอฟริกาและข้าวเอเชีย

ข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima*) แพร่กระจายอยู่เฉพาะบริเวณเขตร้อนของแอฟริกาเท่านั้น สันนิษฐานว่าข้าวแอฟริกาอาจเกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อประมาณ 1,500 ปีก่อนคริสตศักราช

ข้าวเอเชีย เป็นข้าวลูกผสม เกิดจาก *Oryza sativa* กับข้าวป่า มีถิ่นกำเนิดบริเวณประเทศ อินเดีย บังกลาเทศ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปลูกกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อินเดีย ตอนเหนือของ บังกลาเทศ บริเวณดินแดนสามเหลี่ยมระหว่างพม่า ไทย ลาว เวียดนาม และจีนตอนใต้

(ข้อมูลจาก <http://www.thairice.org>)

2.1.2 ลักษณะทั่วไปของข้าว

ข้าว เป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้าที่สามารถกินเมล็ดได้ ถือเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเช่นเดียวกับหญ้า ต้นข้าวมีลักษณะภายนอกบางอย่าง เช่น ใบ กาบใบ ลำต้น และรากคล้ายต้นหญ้า ในประเทศไทย ข้าวหอมมะลิมีสายพันธุ์ในประเทศและเป็นที่ยอมรับไปทั่วโลก

ลักษณะที่สำคัญของข้าวแบ่งออกได้เป็นลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต และลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการขยายพันธุ์ ดังนี้

ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต

ลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ

- ราก เป็นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน ใช้ยึดลำต้นกับดินเพื่อไม่ให้ต้นล้ม แต่บางครั้งก็มีรากพิเศษเกิดขึ้นที่ข้อซึ่งอยู่เหนือพื้นดินด้วย ต้นข้าวไม่มีรากแก้ว แต่มีรากฝอยแตกแขนงกระจายแตกแขนงอยู่ใต้ผิวดิน
- ลำต้น มีลักษณะเป็นโพรงตรงกลางและแบ่งออกเป็นปล้องๆ โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้อง ความยาวของปล้องนั้นแตกต่างกัน จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว ปกติมีประมาณ 20-25 ปล้อง
- ใบ ต้นข้าวมีใบไว้สำหรับสังเคราะห์แสง เพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุอาหาร น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นแป้ง เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและ สร้างเมล็ดของต้นข้าว ใบประกอบด้วย กาบใบและแผ่นใบ

ลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์

ต้นข้าวมีการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดซึ่งเกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย เพราะฉะนั้น ลักษณะที่สำคัญเกี่ยวกับการ ขยายพันธุ์ ได้แก่ รวง ดอกข้าวและเมล็ดข้าว

- รวงข้าว (panicle) หมายถึง ช่อดอกของข้าว (inflorescence) ซึ่งเกิดขึ้นที่ข้อของปล้องอันสุดท้ายของต้นข้าว ระยะระหว่างข้ออันบนของปล้องอันสุดท้ายกับข้อต่อของใบตรง เรียกว่า คอรวง
- ดอกข้าว หมายถึง ส่วนที่เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียสำหรับผสมพันธุ์ ดอกข้าว ประกอบด้วยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่นประสานกัน เพื่อห่อ หุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ เปลือกนอกใหญ่แผ่นนอก เรียกว่า เลมมา (lemma) ส่วนเปลือกนอกใหญ่แผ่นใน เรียกว่า พาเลีย (palea) ทั้งสองเปลือกนี้ ภายนอกของมันอาจมีขนหรือไม่มีขนก็ได้
- เมล็ดข้าว หมายถึง ส่วนที่เป็นแป้งที่เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) และส่วนที่เป็นคัพภะ ซึ่งห่อหุ้มไว้โดยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่น เอ็นโดสเปิร์มเป็นแป้งที่เราบริโภค คัพภะเป็นส่วนที่มีชีวิตและงอกออกมาเป็นต้นข้าวเมื่อเอาไปเพาะ (ข้อมูลจาก <http://www.wikipedia.com>)

2.1.3 ชนิดของข้าว

การแบ่งชนิดของข้าวทำได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับมาตรการที่ใช้ในการแบ่ง เช่น

- 1) แบ่งตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ดข้าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งได้เป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ซึ่งมีต้นและลักษณะอย่างอื่นเหมือนกันทุกอย่าง แตกต่างกันที่ประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ด เมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วยแป้งอมิโลส (Amylose) ประมาณร้อยละ 15-30 ส่วนเมล็ดข้าวเหนียวประกอบด้วยแป้งอมิโลเพคติน (Amylopectin) เป็นส่วนใหญ่และมีแป้งอมิโลสเพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 5-7 เท่านั้น

2) แบ่งตามสภาพพื้นที่เพาะปลูก

- ข้าวไร่ (Upland rice) เป็นข้าวที่ปลูกได้ทั้งบนที่ราบและที่ลาดชัน ไม่ต้องทำคันนาเก็บกักน้ำ นิยมปลูกกันมากในบริเวณที่ราบสูงตามไหล่เขาทางภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ
- ข้าวนาสวนหรือนาดำ (Lowland rice) เป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มทั่ว ๆ ไปในสภาพที่มีน้ำหล่อเลี้ยงต้นข้าวตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยว โดยที่สามารถรักษาระดับน้ำได้ และระดับน้ำต้องไม่สูงเกิน 1 เมตร ข้าวนาสวนนิยมปลูกกันมากแทบทุกภาคของประเทศไทยคิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูก ประมาณร้อยละ 80 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ
- ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมือง (Floating rice) เป็นข้าวที่ปลูกในแหล่งที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้ บางครั้งระดับน้ำในบริเวณที่ปลูกอาจสูงกว่า 1 เมตร ต้องใช้ข้าวพันธุ์พิเศษที่เรียกว่า ข้าวลอย หรือ ข้าวฟางลอย ส่วนมากปลูกแถบจังหวัดพระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี ลพบุรี พิจิตร อ่างทอง ชัยนาทและสิงห์บุรี คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ

3) แบ่งตามอายุการเก็บเกี่ยว

แบ่งเป็นข้าวเบา ข้าวกลางและข้าวหนัก ข้าวเบา มีอายุการเก็บเกี่ยว 90-100 วัน ข้าวกลางมีอายุการเก็บเกี่ยว 100-120 วัน และข้าวหนักมีอายุการเก็บเกี่ยว 120 วันขึ้นไป อายุการเก็บเกี่ยวนับแต่วันเพาะกล้าหรือหว่านข้าวในนาจนเก็บเกี่ยว

4) แบ่งตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง

ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงจะมีอายุการเก็บเกี่ยวที่ไม่แน่นอน คือไม่เป็นไปตามอายุของต้นข้าว เพราะจะออกดอกในช่วงเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้นกว่ากลางวัน ในประเทศไทยช่วงดังกล่าวเริ่มเดือนตุลาคม ฉะนั้นข้าวพวกนี้ต้องปลูกในฤดูนาปี (ฤดูฝน) เท่านั้น ส่วนข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสงสามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล ข้าวขามะลิ 105 เป็นข้าวที่ไวต่อช่วงแสง ในขณะที่ข้าวปทุมธานี เป็นข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง

5) แบ่งตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร

- ข้าวเมล็ดสั้น (Short grain) ความยาวของเมล็ดไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (Medium grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 5.51-6.60 มิลลิเมตร
 - ข้าวเมล็ดยาว (Long grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 6.61-7.50 มิลลิเมตร
 - ข้าวเมล็ดยาวมาก (Extra-long grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 7.51 มิลลิเมตรขึ้นไป
- 6) แบ่งตามฤดูปลูก
- ข้าวนาปีหรือข้าวนาน้ำฝน คือ ข้าวที่ปลูกในฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมและเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้นล่าสุดไม่เกินเดือนกุมภาพันธ์
 - ข้าวนาปรัง คือ ข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม ในบางท้องที่จะเก็บเกี่ยวอย่างช้าที่สุดไม่เกินเดือนเมษายน นิยมปลูกในท้องที่ที่มีการชลประทานดี เช่น ในภาคกลาง

2.1.4 พันธุ์ข้าว

ข้าวสามารถจำแนกพันธุ์ออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มสายพันธุ์ของข้าวเจ้า และกลุ่มสายพันธุ์ของข้าวเหนียว มีสายพันธุ์ต่างๆดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะเด่นของข้าวกลุ่มสายพันธุ์ข้าวเจ้า

ชื่อพันธุ์ข้าว	ลักษณะดีเด่น
ขาวดอกมะลิ 105	มีลำต้นสีเขียวจาง ใบสีเขียวยาว ค่อนข้างแคบ ฟางอ่อน ใบธงทำมุมกว้างกับรวง เมล็ดข้าว รูปร่างเรียวยาว ข้าวเปลือกสีฟาง ปลูกได้ในที่นาดอน ทนแล้ง ทนดินเปรี้ยว-ดินเค็ม คุณภาพการหุงต้มดี มีกลิ่นหอม รสชาติดี ต้านทานไส้เดือนฝอยรากปม
ปทุมธานี 60	ต้านทานโรคกาบใบเน่า โรคใบหงิก
สุพรรณบุรี 90	ต้านทานโรคใบหงิก โรคใบสีส้ม โรคใบไหม้ และโรคขอบใบแห้ง ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล
ชัยนาท 1	ต้านทานโรคใบหงิก โรคใบไหม้ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว ทรงกอตั้งใบสีเขียว ใบธงค่อนข้างยาว ตั้งตรง คอรวงสั้น รวงยาวและแน่น ระแง้ค่อนข้างถี่ ฟางแข็ง เมล็ดข้าวเปลือกยาวเรียวยาวสีฟาง บางเมล็ดก้นจุดคุณภาพ การขัดสีดี ได้เมล็ดข้าวสารใส ท้องไข่น้อย ทำข้าว 100 % ได้ข้าวสุกมีลักษณะร่วนและแข็งประเภทข้าวเสาให้ สามารถ นำไปแปรรูปเป็นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ และขนมจีนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะเด่นของข้าวกลุ่มสายพันธุ์ข้าวเหนียว

ชื่อพันธุ์ข้าว	ลักษณะดีเด่น
สันป่าตอง 1	ต้านทาน โรคไหม้ และ โรคขอบใบแห้งดี ให้ผลผลิตสูง สามารถปลูกได้ทั้งปี
สีกลิ่นศรี	เป็นข้าวเหนียวไม่ไวต่อช่วงแสง ปรับตัวได้หลายสภาพ นาดอน นาชลประทาน และสภาพไร่นา ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
หางยี 71	ทนแล้งปลูกเป็นข้าวไร่ได้ อายุเบา ต้านทาน โรคไหม้และโรคใบจุดสีน้ำตาล ไม่ต้านทานโรค ขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงบั่ว
กข 2	ต้านทาน โรคใบจุดสีน้ำตาล ต้านทานเพลี้ยจักจั่นสีเขียวปานกลาง ไม่ต้านทาน โรคขอบใบแห้ง โรคไหม้ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงบั่ว
กข 4	ปลูกได้ทุกฤดูกาล ต้านทาน โรคใบจุดสีน้ำตาล แมลงบั่ว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่น สีเขียว ไม่ต้านทาน โรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง
กข 6	ทนแล้ง ต้านทาน โรคใบจุดสีน้ำตาล ไม่ต้านทาน โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงบั่ว
กข 8	ทนแล้ง ต้านทาน โรคใบจุดสีน้ำตาล ไม่ต้านทาน โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และแมลงบั่ว

2.1.5 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าว

ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ห่อหุ้ม เมล็ดและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในเมล็ด

คุณสมบัติทางเคมี

สามารถจำแนกได้ดังนี้

- ระยะเวลาพักตัวของข้าว (Domancy Period) เป็นระยะที่ข้าวไม่เกิดการงอก เมื่อนำไปเพาะชำ ระยะนี้มีเวลา 3-6 สัปดาห์หลังการเก็บเกี่ยว
- คุณภาพการหุงต้มและการบริโภค (Cooking and Eating Qualities) ระยะเวลาการหุงต้มและการขยายตัวของข้าวสุก ขึ้นอยู่กับปริมาณหรืออัตราส่วนของอนามัย โลส ข้าวที่มีปริมาณของอนามัย โลสต่ำ เมื่อหุงสุกแล้วทิ้งไว้ให้เย็นจะ ไม่แข็งมากเหมือนข้าวที่มีปริมาณอนามัย โลสสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเก่าของข้าว (Aging) เมื่อนำข้าวเก่าเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน ที่อุณหภูมิสูงกว่า 15 °C จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพทั้งด้านการหุงต้ม และการขัดสี ข้าวเก่าจะมีการพองตัวและดูดซึมน้ำในขณะหุงต้มมากขึ้น มีลักษณะร่วนไม่ติดกัน และมีความต้านทานต่อการแตกหักในขณะขัดสีได้สูงกว่าข้าวใหม่

คุณสมบัติทางกายภาพของข้าว

เป็นคุณสมบัติที่สามารถมองเห็นได้หรือชั่งตวงวัดได้ ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

- สีของเปลือกข้าว (Husk Color) เมื่อข้าวสุกสีของเปลือกจะเป็นสีเหลืองทอง น้ำตาลอ่อน น้ำตาลเข้ม สีเปลือกของข้าวในประเทศไทย จะมี 2 สี คือ สีฟาง และน้ำตาล
- สีของข้าวเปลือก (Pericarp Color) สีของเมล็ดข้าวเปลือกจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มผล มีสีต่างๆ กัน ตั้งแต่ ขาว แดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา ถ้าสีดังกล่าวมีความเข้มจะต้องใช้เวลาในการขัดสีนานและใช้แรงกดสูงเพื่อให้ชั้นของรำหลุดออกเป็นผลทำให้ข้าวเกิดการแตกหักได้
- น้ำหนักเมล็ด (Grain Weight) น้ำหนักของเมล็ดจะแปรไปตามขนาด และรูปร่างของเมล็ด ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย และสภาพภูมิอากาศ
- น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight) เป็นน้ำหนักของเมล็ดต่อหน่วยปริมาตร ขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดพันธุ์ ความชื้น สิ่งเจือปน
- ขนาดรูปร่างของเมล็ด (Grain Dimension) จะแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และวิธีการเพาะปลูก รูปร่างของเมล็ดเป็นลักษณะหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา เมล็ดข้าวสามารถจำแนกตามความยาวของเมล็ด ได้ 4 ขนาด คือ เมล็ด ยาวมาก (>7.50 มม.) เมล็ดยาว (6.61-7.50 มม.) เมล็ดยาวปานกลาง (5.50-6.60 มม.) และเมล็ดสั้น (5.50 มม.) รูปร่างของเมล็ดจะประเมินจากอัตราส่วนความยาวกับความกว้าง ซึ่งแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ เมล็ดเรียวยาว (มีอัตราส่วนความยาวกับความกว้างมากกว่า 3) เมล็ดปานกลาง (มีอัตราส่วนระหว่าง 2.1-3) และเมล็ดป้อม (มีอัตราส่วนน้อยกว่า 2) ส่วนความยาวของเมล็ดข้าวจะเป็นความยาวที่วัดจากเมล็ดข้าวเปลือก
- ลักษณะท้องไข (Chalkiness) เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการทำให้ข้าวดูไม่สวยงาม และมีคุณภาพในการสีต่ำ สีแล้วหักมาก ท้องไขในเมล็ด หมายถึง จุดขาวขุ่นคล้ายชอล์คเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อชั้นแป้งของเมล็ดแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ
 - 1) ท้องไขที่เกิดขึ้นตรงกลางของชั้นแป้ง
 - 2) ท้องไขที่เกิดขึ้นด้านข้าง หรือด้านท้องของเมล็ดด้านเดียวกับเยื่อเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ท้องไขว้ที่เกิดขึ้นด้านหลังของเมล็ด ด้านตรงข้ามกับเยื่อเจริญ

- ลักษณะการดูด/คายความชื้น (Hygroscopic) เมล็ดข้าวส่วนใหญ่ประกอบด้วยแป้งและโปรตีนซึ่งเป็นสารที่ดูดความชื้นได้ดี ทำให้เมล็ดข้าวมีการขยายตัวและมีการหดตัวเมื่อเอาความชื้นออก
- มุมชันของกองข้าว (Angle of Repose) เมื่อเทข้าวให้รวมเป็นกองบนพื้นราบ เมล็ดจะกองเป็นรูปกรวยคว่ำอยู่บนพื้น มุมชันระหว่างพื้นราบที่ทำกับผิวของกรวยคือมุมชันของกองเมล็ด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเรียบที่ผิวของเมล็ด
- มุมเสียดทานหรือมุมไหลของเมล็ด (Angle of Friction) เป็นมุมชันที่เมล็ดชั้นบาง เริ่มไหลลงจากภาชนะ โดยปกติมุมเสียดทานของเมล็ดพืชหาได้โดยเอาเมล็ดกองเป็นชั้นบางๆบนแผ่นโลหะที่มีความยาวพอสมควร จากนั้นยกปลายอีกด้านหนึ่งให้ทำมุมกับพื้นระนาบ จนกระทั่งเมล็ดเริ่มไหลลงด้านล่างด้วยแรงดึงดูดของโลก

2.2 ข้าวกล้องงอกอีก

2.2.1 ลักษณะทั่วไป

การงอกเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีการใช้กับเมล็ดธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าว ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารก่อนนำมาหุงหรือปรุงเพื่อรับประทาน โดยปกติกระบวนการงอกจะทำได้โดยการแช่เมล็ดธัญพืชที่แยกเอาเปลือกนอกออกในน้ำ เพื่อให้เมล็ดมีส่วนที่งอกออกมาจนมองเห็นได้ การทำให้ข้าวเกิดการงอกก็เช่นกัน นอกจากเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับเมล็ดข้าวแล้ว ยังช่วยทำให้การหุงต้มเป็นไปได้ง่ายขึ้น

ข้าวกล้องงอก (germinated brown rice หรือ "GABA-rice") ถือเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากข้าวกล้องงอก เป็นการนำข้าวกล้องมาผ่านกระบวนการงอก ซึ่งโดยปกติแล้ว ในตัวข้าวกล้องเองประกอบด้วยสารอาหารจำนวนมาก เช่น โยอาหาร กรดไฟติก (Phytic acid) วิตามินซี วิตามินอี และ GABA (gamma aminobutyric acid) ซึ่งช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง เบาหวาน และช่วยในการควบคุมน้ำหนักตัว เป็นต้น เมื่อนำข้าวกล้องมาแช่น้ำเพื่อทำให้งอกอีก จะทำให้ข้าวกล้องมีสารอาหาร โดยเฉพาะ GABA เพิ่มขึ้น ซึ่งนอกจากจะได้ประโยชน์จากการที่มีปริมาณสารอาหารที่สูงขึ้นแล้ว ยังทำให้ข้าวกล้องงอกที่หุงสุกมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม รับประทานได้ง่ายกว่าข้าวกล้องธรรมดาอีกด้วย จึงง่ายแก่การหุงรับประทานได้โดยไม่ต้องผสมกับข้าวขาวตามความนิยมของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



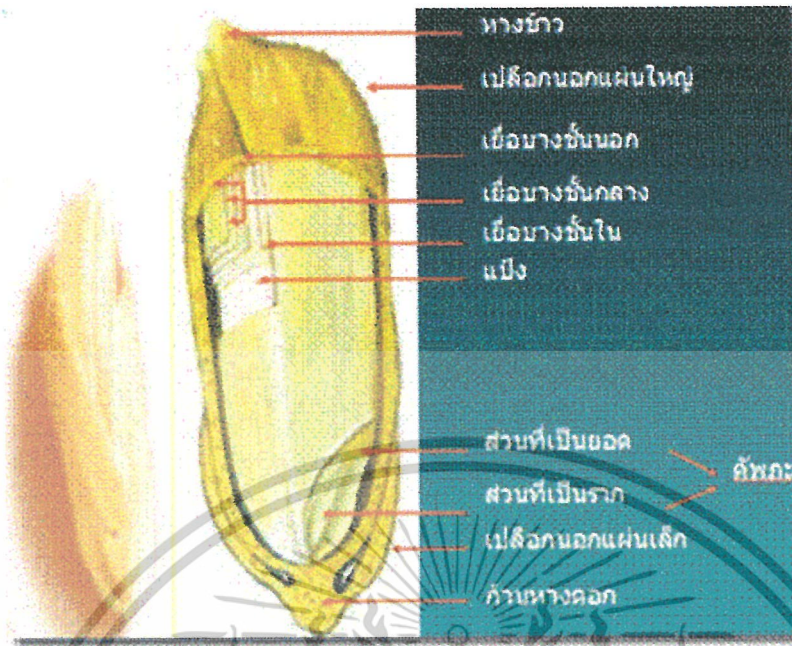
รูปที่ 2.1 แสดงเมล็ดข้าวกล้องงอกที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการงอก

2.2.2 องค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการ

จากการศึกษาทางกายภาพและทางชีวเคมีพบว่า "เมล็ดข้าว" ประกอบด้วย เปลือกหุ้มเมล็ดหรือแกลบ (Hull หรือ Husk) ซึ่งจะหุ้มข้าวกล้อง ในเมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วย จมูกข้าวหรือคัพพะ (Germ หรือ Embryo) รำข้าว (เยื่อหุ้มเมล็ด) และเมล็ดข้าวขาวหรือเมล็ดข้าวสาร (Endosperm) สารอาหารในเมล็ดข้าวประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหลัก โดยมีโปรตีน วิตามินบี วิตามินอี และแร่ธาตุที่แยกไปอยู่ในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว นอกจากนี้ ยังพบสารอาหารประเภทไขมันซึ่งพบได้ในรำข้าวเป็นส่วนใหญ่

ข้าวเมื่ออยู่ในสถานะที่มีการเจริญเติบโตจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงจะเริ่มขึ้น เมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว โดยจะกระตุ้นให้เอ็นไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการ ทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กกลด (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) นอกจากนี้ โปรตีนภายในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งยังพบการสะสมสารเคมีสำคัญต่างๆ เช่น แกมมาออริซานอล (gamma-orazynol) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และโดยเฉพาะสารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid) หรือที่รู้จักกันว่า "สารกาบา" (GABA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเมล็ดข้าว

GABA เป็นกรดอะมิโนที่ผลิตจากกระบวนการ decarboxylation ของกรดกลูตามิก (glutamic acid) กรดนี้จะมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง มีคุณสมบัติลดความดันโลหิตและช่วยป้องกัน โรคมะเร็ง เบาหวาน และช่วยในการควบคุมน้ำหนักตัว

นอกจากนี้ GABA ยังถือเป็นสารสื่อประสาทประเภทสารยับยั้ง (inhibitor) โดยจะทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น ซึ่งช่วยทำให้สมองเกิดการผ่อนคลาย ช่วยลดความเครียด และนอนหลับสบาย อีกทั้งยังทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นต่อมไร้ท่อ (anterior pituitary) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต (HGH) ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดความกระชับ และเกิดสาร lipotropic ซึ่งเป็นสารป้องกันการสะสมไขมัน พบว่า มีการใช้กรด GABA นี้ ในการรักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทหลายโรค เช่น โรควิตกกังวล นอนไม่หลับ โรคลมชัก และยังมีคุณสมบัติในการลดความดันโลหิตด้วย ลดปริมาณคอเลสเตอรอลและระดับน้ำตาลในเลือด และยับยั้งความเสี่ยงการเกิดอัลไซเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติและปริมาณสารอาหารในข้าวขัดสี ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก

คุณสมบัติและสารอาหาร	ข้าวขัดสี	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอก
1. วิธีการเพาะเปลือกและสีข้าว	- เป็นข้าวเจ้าที่ผ่านกรรมวิธีการขัดสีหลายครั้ง จนเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและจมูกข้าวหลุดออกไป	- เป็นข้าวเจ้าที่ผ่านกรรมวิธีการสีข้าวในขั้นต้น ยังมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวติดอยู่	- เป็นข้าวเจ้าที่ผ่านกรรมวิธีการสีข้าวในขั้นต้น ยังมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวติดอยู่
2. สีของเมล็ดข้าว	- เมล็ดข้าวมีสีขาว	- ผิวของเมล็ดข้าวมีสีน้ำตาลอ่อน	- ผิวของเมล็ดข้าวมีสีน้ำตาลอ่อน
3. ลักษณะเนื้อสัมผัส(หลังหุงสุก)	- โดยทั่วไปมีความแข็งเล็กน้อย(แต่ถ้าเป็นข้าวสารหอมมะลิจะแฉะ)	- มีความแข็งกว่าข้าวขัดสี	- เนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มกว่าข้าวกล้องธรรมดา(เมล็ดข้าวพองตัวมากขึ้น)
4. โปรตีน (/100 กรัม)	3.90 กรัม*	7.80 กรัม*	สูงกว่าข้าวทั้ง 2 ประเภท
5. ไขมัน (/100 กรัม)	1.10 กรัม*	3.40 กรัม*	สูงกว่าข้าวทั้ง 2 ประเภท
6. วิตามินบี 1 (/100 กรัม)	0.09 มิลลิกรัม*	0.61 มิลลิกรัม*	สูงกว่าข้าวทั้ง 2 ประเภท
7. วิตามินบี 2 (/100 กรัม)	0.04 มิลลิกรัม*	0.15 มิลลิกรัม*	สูงกว่าข้าวทั้ง 2 ประเภท
8. เส้นใย (/100 กรัม)	0.40 กรัม*	3.40 กรัม*	สูงกว่าข้าวทั้ง 2 ประเภท
9. วิตามินอี (/100 กรัม)	0.10 มิลลิกรัม*	0.70 มิลลิกรัม*	สูงกว่าข้าวทั้ง 2 ประเภท
11. เซลเลนียม (/100 กรัม)	30.80 ไมโครกรัม*	38.81 ไมโครกรัม*	สูงกว่าข้าวทั้ง 2 ประเภท
10. สาร GABA (/100 กรัม)	มีน้อยมาก	1.01-1.3 มิลลิกรัม	15.2-19.5 มิลลิกรัม

*การเปรียบเทียบคุณค่าอาหารของข้าวกล้องและข้าวขาว โดยกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข กันยายน 2535

2.2.3 วิธีทำข้าวกล้องงอกโดยทั่วไป

ข้าวกล้องที่จะงอกได้ดีนั้นจะต้องมีความสดใหม่และมีความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวพอกที่จะนำมาเพาะ โดย ควรเป็นข้าวกล้องอายุไม่เกิน 1 ปีซึ่งจะยังคงมีพลังชีวิตอยู่ค่อนข้างสมบูรณ์ และต้องไม่บรรจุในถุงสุญญากาศ ไม่มีมอดแมลงรบกวนและถ้าเป็นข้าวกล้องอินทรีย์จะดีที่สุด

ขั้นตอนการทำ

1. เริ่มจากการนำข้าวกล้องมาคัดแยกสิ่งเจือปนออกแล้วนำไปชามน้ำและแช่น้ำไว้ อย่างน้อย 6 ชั่วโมง
2. เทข้าวที่อุ้มน้ำลงในผ้าสะอาดและมีความหนานุ่ม
3. ใช้ผ้าห่อคลุมข้าวให้มีฉัตร พรมน้ำแก่พอชุ่มอย่าให้แฉะ ห่อผ้ารักษาความชื้นไว้แต่มีอากาศให้เมล็ดข้าวได้ใช้หายใจและระบายอากาศทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
4. สามารถนำข้าวกล้องที่ได้มาหุงรับประทานได้เลย แต่มีเคล็ดลับคือการนำไปหุงจะต้องใช้น้ำน้อยกว่าปกติเกือบครึ่ง ข้าวงอกที่หุงสุกจะมีกลิ่นหอม นุ่มหวานอร่อยที่แปลกไปจากข้าวกล้องหุงสุกตามปกติ

2.2.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากข้าวกล้องงอก

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวกล้องงอกหรือน้ำข้าวกล้องงอกมีอยู่มากมายหลากหลายรูปแบบ เช่น เครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอกผสมธัญพืช ไอศกรีมน้ำข้าวกล้องงอก คริมข้าวกล้องงอก โจ๊กข้าวกล้องงอก พุดดิ้งข้าวกล้องงอก ขนมขบเคี้ยวต่าง ๆ ที่ทำจากข้าวกล้องงอก เป็นต้น

เครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอกผสมธัญพืช เป็นการนำน้ำข้าวกล้องงอกมาผสมผสานกับธัญพืช เช่น ถั่วเหลือง ข้าว ถั่วเขียว และอื่น ๆ มีคุณประโยชน์ มากมาย ได้แก่

- มีอนุมูลอิสระกลุ่มฟีนอลิก ช่วยยับยั้งการเกิดฝ้า ชะลอความแก่
- สารออริซานอล ช่วยลดอาการผิดปกติของวัยทอง
- สารกาบ้า ช่วยป้องกัน โรคอัลไซเมอร์ ช่วยผ่อนคลาย ทำจิตใจให้สงบ
- เยื่อใยอาหาร มีคุณสมบัติควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันมะเร็งลำไส้และลดอาการท้องผูก
- มีวิตามินอี ช่วยลดความเหี่ยวย่นของผิว

ไอศกรีมน้ำข้าวกล้องงอก เป็นนวัตกรรมที่พัฒนาจากข้าวกล้องงอก ปรับปรุงจากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอศกรีมกะทิสด โดยลดปริมาณกะทิสดและใช้น้ำข้าวกล้องงอกแทน ผสมกับน้ำตาลทรายตามสัดส่วนที่พอเหมาะ รวมทั้งใช้วัตถุดิบจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองชนิดต่าง ๆ ที่ผ่านการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการมาแล้ว ได้แก่ ข้าวสังข์หยด ข้าวเหนียวดำ (ข้าวกล้อง) ข้าวฮาง (ข้าวหอมมะลิและข้าวเหนียว กข 6 หนึ่ง) ข้าวเหลืองประทิว ข้าวเจ้าเสาไห้ ทั้งหมดเป็นข้าวกล้องที่ผ่านการสีมาไม่นานหรือใช้ข้าวกล้องสด

ครีมข้าวกล้องงอก กาบ-ไรซ์ 3 ดี "ซองเดอร์" หรือข้าวกล้องอารมณ์ดี เป็นการนำข้าวกล้องหอมนิล, ข้าวกล้องหอมมะลิแดง, ข้าวกล้องหอมมะลิ เพาะใ้หึ่งออกก่อให้เกิดการแยกสลายด้วยน้ำ ผ่านกระบวนการทำให้แห้งเป็นผงสุก เพื่อให้รับประทานง่าย โดยส่วนของข้าวกล้องงอก ที่มีปริมาณ กาบ สูงสุด คือ บริเวณจมูกข้าว กาบ มีบทบาทเป็นสารสื่อประสาทในระบบส่วนกลาง ช่วยรักษาสมดุลในสมอง ป้องกันการนอนไม่หลับ และกระวนกระวายใจ ช่วยรักษาความดันของเลือด ช่วยป้องกันการเกิดอัลไซเมอร์ และพาคินสันและยังช่วยให้ร่างกายสะสมไขมันน้อยลงจากการกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต

2.3 เทคโนโลยีเอ็กซ์ทรูชัน

2.3.1 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

เอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) หมายถึง การปฏิบัติการที่ทำให้พลาสติกหรือ โด (Dough) เป็นรูปร่างขึ้นมาด้วยการบังคับให้พลาสติกหรือ โดผ่านช่องเปิดที่ออกแบบพิเศษหรือหน้าแปลน (Die) และเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extruder) หมายถึงเครื่องจักรที่ทำให้วัตถุดิบเป็นรูปร่างออกมาด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (ประชา, 2537)

สำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหาร (Food Extrusion) Rosen และ Miller(1973) ได้ให้ความหมายว่า Food Extrusion หมายถึงกระบวนการที่วัตถุดิบถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปภายใต้สภาวะหนึ่งหรือมากกว่า ได้แก่ การผสมตลกเคต้า ความร้อน และแรงเฉือนอัดผ่านช่องเปิดของหน้าแปลนที่ได้ออกแบบไว้เป็นรูปร่างและ/หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่สุก พอง-แห้ง

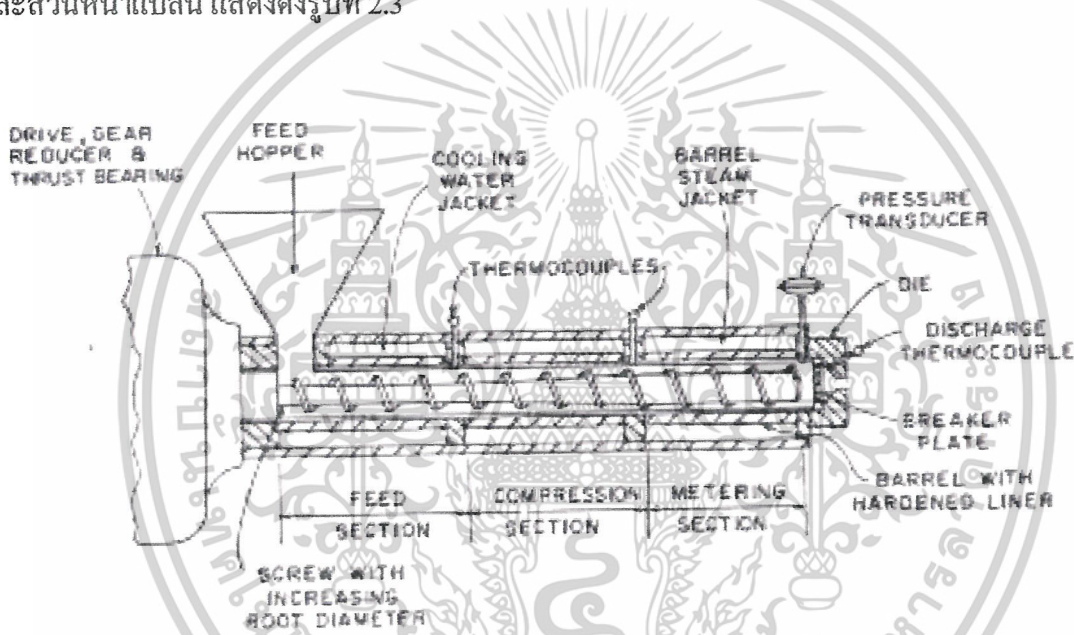
เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีรากฐานมาจากอุตสาหกรรมดลูงแร่ในปี ค.ศ.1797 มีการนำหลักการเอ็กซ์ทรูชันมาใช้ทำท่อตะกั่วชนิดไม่มีรอยตะเข็บ ต่อมาในปี ค.ศ.1930 บริษัทของ เจเนรัลมิลล์ (General Mill of Minneapolis) ได้นำเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวมาผลิตอาหารเข้าพร้อมบริโภคนอกจากนี้ยังเป็นครั้งแรก ในครั้งนั้นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ยังทำหน้าที่เป็นเพียงเครื่องมือทำรูปร่างจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนแป็งที่ผ่านความร้อนมาก่อนจากนั้น ในปี ค.ศ.1936 มีการผลิตข้าวโพดพอง (Expanded corn curls) เป็นครั้งแรก จนในปีค.ศ.1946 บริษัทอดัมคอร์ปอเรชัน (Adams Corporation) จึงนำข้าวโพดพองพองดังกล่าวที่ผลิตด้วยคอลเลตเอ็กซ์ทรูเดอร์ออกจำหน่ายเป็นครั้งแรก (Mercier และคณะ, 1989)

2.3.2 หลักการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยสกรูหมุนอยู่ในบาร์เรล แบ่งส่วนการทำงานเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนป้อนวัตถุดิบ ส่วนที่มีการให้ความร้อนจนวัตถุดิบเปลี่ยนสภาพ ส่วนที่เกิดแรงเฉือน และส่วนหน้าแปลน แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนโครงสร้างของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์โดยทั่วไป

Harper(1981) ได้ให้คำอธิบายการทำงานของเอ็กซ์ทรูเดอร์ไว้ว่า เมื่อส่วนผสมที่ผ่านการปรับสภาวะเช่น ความชื้น อุณหภูมิ ในส่วนของ การปรับสภาพ แล้วจะถูกนำมาสู่ส่วนที่มีการผสมและการลำเลียง โดยวัตถุดิบที่เข้ามาในส่วนนี้มักมีความชื้นอยู่ในระดับต่ำ (ประมาณร้อยละ 10-40) สกรูในส่วนนี้จะมีควมกว้างระหว่างเกลียวสกรูมาก และมีร่องเกลียวสกรูลึกเพื่อประโยชน์ในการผลักพาวัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากนั้นวัตถุดิบจะผ่านวัตถุดิบส่วนที่สองคือ ส่วนของ Transition section ส่วนนี้จะมีการให้ความร้อนกับวัตถุดิบซึ่งอาจเป็นความร้อนจากภายนอกระบบเช่น ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้าหรือไอน้ำผ่านทางบาร์เรล และความร้อนที่เกิดขึ้นจากพลังงานกลที่เกิดขึ้นซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างวัตถุดิบกับสกรูและผนังด้านในของเอกซเตรูเดอร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาเอกสารอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บาร์เรลที่มีพื้นที่จำกัด ในระหว่างนี้วัตถุดิบอาหารที่ได้รับความร้อนจะหลอมเหลวและถูกผลักพาให้เคลื่อนที่ด้วยการหมุนของสกรูออกไปทางด้านหน้าที่มีแผ่นหน้าแปลนปิดอยู่ ในส่วนนี้สกรูมีร่องเกลียวที่ตื้นที่สุดจึงเกิดแรงเฉือนและแรงเสียดทานสูงสุด ทำให้วัตถุดิบอาหารมีความดันเพิ่มขึ้นอย่างมาก (25-200 บาร์) เมื่อวัตถุดิบอาหารถูกผลักพาผ่านช่องเปิดที่หน้าแปลนออกมาสู่ภายนอกที่มีความดันบรรยากาศต่ำกว่าความดันภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ทำให้น้ำในวัตถุดิบอาหารที่อยู่ในสภาวะน้ำร้อนยิ่งยวดเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำระเหยออกไป ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นรูพรุนมีความพอง

ส่วนผสมที่เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในเครื่องลูกกึ่งเอ็กซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยวัสดุพืชที่ผ่านการบด สตาร์ชและโปรตีนที่ได้จากพืช นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่น ๆ ที่เป็นวัตถุดิบรอง ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล เกลือ กรดหรือด่าง สารอิมัลซิไฟเออร์ สี กลิ่นและรส ส่วนน้ำจะถูกเติมเข้าไปเพื่อปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นอยู่ในระดับ 10-40%

พลังงานต่าง ๆ ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์นั้นทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่เคลื่อนผ่านไป ในเครื่องการเพิ่มพลังงานทางกลโดยการหมุนสกรูเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดและคิดเป็น 50-100% ของพลังงานทั้งหมดที่มี นอกจากนั้นพลังงานที่ป้อนเข้าเครื่องอาจได้จากความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังบาร์เรลที่ร้อนหรือเย็นหรือพลังงานที่เกิดจากการส่งไอน้ำเข้าไปและผสมโดยตรงกับอาหารภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์เป็นส่วนที่สำคัญน้อยกว่า

ในกระบวนการลูกกึ่งเอ็กซ์ทรูชัน อุณหภูมิของส่วนผสมอาหารหลังจากที่ถูกอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปเป็น 150-200°C อุณหภูมิที่สูงที่สุดนี้จะคงอยู่น้อยกว่า 20 วินาที ไม่เช่นนั้นจะทำให้เกิดการไหม้และกลิ่นรสแปลกปลอม ความดันภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่สูงทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่คล้ายกับหม้อต้มความดัน (Pressure cooker) ซึ่งจะป้องกันการฟุ้งกระจายของไอน้ำจนกว่าความดันจะถูกปล่อยออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากหน้าแปลน

เมื่อได้ออกจากหน้าแปลนความดันจะถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้เกิดการพองตัว (Puffing) อย่างทันทีที่อุณหภูมิสูง การพองตัวนี้ส่วนใหญ่เกิดจากไอน้ำที่ออกจากน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ถูกทำให้ร้อนขึ้น การสูญเสียความชื้นและความร้อนในผลิตภัณฑ์ร่วมกับการพองตัวทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีอุณหภูมิประมาณ 60 °C

เอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ขยายตัวจะมีโครงสร้างของเซลล์เปิด ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่แต่ละเซลล์ถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรนของแป้งหรือ โปรตีน ขนาดของเซลล์เหล่านี้จะควบคุมลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เอ็กซ์ทรูเดอร์เหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มักจะถูกตัดที่ผิวหน้าของหน้าแปลนด้วยใบมีดที่หมุน แล้วอบแห้งต่อในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ให้มีความชื้น 2-12% ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการอาจเคลือบด้วยสี กลิ่น รส น้ำมัน และน้ำตาล เป็นต้น

การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปส่วนใหญ่ขึ้นกับปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่ป้อนเข้าไปสู่กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน อุณหภูมิที่ออกจากเครื่อง ระดับ หรือปริมาณของความเสียหายของส่วนผสมที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไหลและลักษณะรูปร่างของหน้าแปลน (รุ่งนภา,2541)

2.3.3 ส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (วารุณี,2541)

1) Feed Hopper

เป็นส่วนที่รับวัตถุดิบ มีรูปร่างเป็นกรวยแบบง่าย ๆ บางทีอาจเพิ่มระบบการกวนเข้าไปได้ถ้าวัตถุดิบมีความหนืด ในช่วงนี้จะมีการควบคุมอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบเพื่อป้องกันการเกิดการติดขัดในเครื่อง

2) บาร์เรล (Barrel)

มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกครอบอยู่ตามความยาวของสกรู สามารถถอดออกเป็นตอน ๆ ได้ผิวด้านในมีการเจาะร่องเป็นแนวเพื่อลดการสิ้นเปลืองของวัตถุดิบ ขณะเคลื่อนที่อยู่ภายในและยังเพิ่มแรงดันและแรงเฉือนด้วย

3) Jacket

อยู่ล้อมรอบบาร์เรลมีหน้าที่ให้น้ำเย็นหรือน้ำร้อนไหลอยู่ภายในเพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะใช้เครื่อง แบ่งออกเป็นช่วง ๆ บางช่วงอาจใช้น้ำเย็นบางช่วงอาจใช้น้ำร้อนเพื่อให้ความร้อน

4) สกรู (Screw)

สกรูมีลักษณะเป็นแกนมีเกลียวอยู่โดยรอบ โดยที่ผ่านศูนย์กลางของสกรูอาจเท่าเดิมหรือค่อย ๆ เพิ่มขึ้นก็ได้ เช่นเดียวกันกับเกลียวบนสกรูอาจมีความลึกคงที่หรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และหน้าที่ในการทำงาน นอกจากนี้สกรูยังอาจมีทิศทางที่แตกต่างกันหรือเหมือนกันก็ได้ หน้าที่ในการทำงานของสกรูคือ รับและขนถ่ายวัตถุดิบ กดดันและเพิ่มแรงเฉือนให้แก่วัตถุดิบ ทำให้เกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) หน้าแปลน (Die)

ส่วนนี้อยู่ปลายสุดของเครื่อง มีหลายรูปร่างลักษณะอันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่าง ๆ กันออกไป เมื่อเอ็กซ์ทรูเดตผ่านออกมาจากช่องนี้จะเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วทันทีที่ออกมาจากหน้าแปลน

6) ใบมีด (Knife)

เป็นส่วนที่กำหนดความยาวของเอ็กซ์ทรูเดตที่ออกมาจากหน้าแปลน ซึ่งมีให้เลือกหลายใบมีดอาจจะเป็นแบบ 2 ใบมีดหรือ 3 ใบมีดหรือเท่าใดก็ตามแล้วแต่ความต้องการทางด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

2.3.4 การแบ่งชนิดของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

ชนิดของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สามารถแบ่งได้จากหลักเกณฑ์ 3 ลักษณะ ดังนี้

2.3.4.1) แบ่งโดยอาศัยคุณลักษณะหน้าที่และผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Functional characteristic)

1) Pasta Extruder

เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลี เช่น มัคกะโรนี เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอ์ชนิดนี้มีร่องเกลียวสกรูกลึง ผันด้านในของปลอมเหล็กผึงสองชั้นเรียบ และความเร็วของกรูที่หมุนจะช้า สกรูเกลียวกลึงนี้ทำหน้าที่ผลิตแป้งเซโมไลนา (Semolina) ที่ขึ้นนุ่มให้เคลื่อนที่ไปทางข้างหน้า แล้วอัดผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนออกมา ซึ่งอาจทำให้แป้งเซโมไลนาสุกบ้างเล็กน้อยหรือไม่สุกเลยก็ได้ ในพาสต้าเอ็กซ์ทรูเดอ์นั้นพลังงานที่ใช้้น้อยมากเพราะมีอัตราเลื่อนเกิดขึ้นต่ำมากในตัวผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ถึงกับสุกพอ จำเป็นต้องใช้ขั้นตอนอย่างอื่นมาช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นสุกพร้อมที่จะรับประทานต่อไป

2) High-Pressure Forming Extruder

เริ่มแรกที่พัฒนาหรือประยุกต์นำเอาเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนั้นก็เพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นรูปทรงตามที่ต้องการเท่านั้น โดยใช้วัตถุดิบที่เป็นโด (Dough) ที่เปลี่ยนสภาพเป็นเจลบ้างบางส่วนอัดผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนแล้วตัดเป็นชิ้นตามขนาดและรูปทรงที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ยังไม่สุกพอจะต้องนำไปผ่านขั้นตอนการอบแห้งและการทำให้สุกพอด้วยวิธีการทอดในน้ำมันหรืออบ คั่วในกระทะหรือลนร้อนเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้เกิดความดันสูงขึ้นภายในตัวเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์นั้น จะต้องออกแบบให้ผนังด้านในของปลอกเหล็กผนังทั้งสองชั้นเป็นร่องเกลียวเพื่อไม่ให้เกิดการไหลลื่นที่ผนัง และตัวสกรูก็ต้องออกแบบให้เป็นชนิดที่ทำให้เกิดแรงอัดมาก ผลคือจะทำให้เอ็กซ์ทรูเดมีความดันสูงที่บริเวณด้านหลังหน้าแปลน และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงมากเกินไปในตัวของโคอาจนำไปสู่การสุกพองที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นที่หน้าแปลน ความร้อนที่เกินความจำเป็นนี้สามารถกำจัดออกไปหรือทำให้ลดลงได้ด้วยการใช้น้ำหล่อรอบผนังของบาร์เรลที่เป็นผนังสองชั้น

3) Low-Shear Cooking Extruder

เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ผนังด้านในเรียบและช่องว่างระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรลนั้นมีของเหลวอุณหภูมิสูงหรือไอน้ำหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา ความร้อนนี้ส่งผ่านไปยังส่วนผสมของวัตถุดิบ โดยการนำ นอกจากนี้การหมุนตัวของสกรูยังทำให้เกิดการขัดสีระหว่างวัตถุดิบกับสกรูเกิดเป็นความร้อน แล้วความร้อนนี้ก็แพร่ไปยังส่วนผสมของวัตถุดิบด้วยวิธีการนำด้วย วิธีการนี้ทำให้ส่วนผสมที่เป็นแป้งเปลี่ยนเป็น โด ซึ่งได้มีการขยายตัวและพองตัวเกิดขึ้นบ้าง ดังนั้นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาของส่วนผสมของวัตถุดิบที่อยู่ภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ซึ่งส่วนมากแล้วเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ใช้จะเป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว เพื่อที่จะทำให้แป้งที่เป็นองค์ประกอบหลักของส่วนผสมวัตถุดิบเปลี่ยนเป็นเจลตามที่ต้องการ แล้วโดนี้ก็จะถูกทำให้เย็นลงด้วยการลดอุณหภูมิที่ปลอกเหล็กผนังสองชั้นอันสุดท้ายหรือช่วงสุดท้ายที่ติดกับหน้าแปลนลงให้ต่ำกว่า 100°C ซึ่งโดนี้ถูกแรงหมุนของสกรูและความดันอัดให้ผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนออกมาสู่บรรยากาศภายนอกและถูกตัดออกเป็นชิ้น ๆ ความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ภายในชิ้นอาหารขบเคี้ยวหรือขนมอบกรอบกึ่งสำเร็จรูปหรือเพลเล็ต (Pellet) นี้จะไม่ระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยออกไป อาหารขบเคี้ยวหรือขนมกึ่งอบกรอบสำเร็จรูปชนิดนี้ได้นี้มีลักษณะเนื้อแน่นมากกว่าการพองตัวจึงยังต้องมีกรรมวิธีการผลิตอย่างอื่นเพิ่มอีก เช่น การอบแห้งและก่อนนำไปรับประทานก็ต้องนำไปทอดในน้ำมัน หรือไปคั่ว หรืออบเพื่อทำให้สุกพองเสียก่อน อาหารขบเคี้ยวหรือขนมอบกรอบกึ่งสำเร็จรูปนี้รู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า Third generation snacks ที่ผลิตและมีจำหน่ายในบ้านเรา เช่น ปาปริก้า โปเต้ คอนเน่ เป็นต้น

4) Collet Extruder

เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเรียวกง่าย เล็กกะทัดรัด สะดวกต่อการใช้งาน เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่มีความยาวของตัวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยมาก ประมาณ 3:1 ($L/D = 3:1$ เรียกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Short screw แต่ชนิดที่ยาวกว่าขนาด $L/D = 10:1$ ก็มี) ใน Collet Extruder นี้เกิดแรงเฉือนสูงมาก อันเนื่องมาจากสกรูที่มีร่องเกลียวตื้นมากหมุนอยู่ภายในบาร์เรลที่ผนังด้านในเป็นร่องเกลียวเช่นกัน โดยร่องเกลียวนี้ป้องกันการลื่นที่ผนัง วัตถุประสงค์ที่ใช้กับเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ส่วนมากแห้ง มีความชื้นต่ำ ความร้อนเกือบจะหรือทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้นได้มาจากการเสียดสี (Friction) แล้วทำให้มีความร้อนถึง 175°C อย่างรวดเร็วเพื่อทำให้แป้งกลายเป็นเจลและเป็นคริกซ์ทรินบางส่วน วัตถุประสงค์หรือส่วนผสมของวัตถุดิบ (แป้ง) ที่ได้เปลี่ยนแปลงสภาพไปและยังอยู่ภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์นี้เรียกว่า เอ็กซ์ทรูเดต (Extrudate) เอ็กซ์ทรูเดตที่อยู่ในสภาพนี้ก็ถูกคั้นโพล์พันรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนออกมา และเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว จากภายในที่มีความดันสูงมากมาสู่ภายนอกที่มีความดันต่ำ (ความดันบรรยากาศ) ทำให้น้ำภายในเอ็กซ์ทรูเดตเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำระเหยตัวออกไป ในขณะที่เดียวกันก็ถูกตัดด้วยใบมีดแล้วทรงตัวเป็นรูปของผลิตภัณฑ์ที่สุกพองและกรอบ วัตถุประสงค์ที่นิยมใช้กับ Collet Extruder ได้แก่ คอร์นกรีต ข้าวท่อน

5) High-Shear Cooking Extruder

เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายลักษณะ เช่น พวกที่สุกเพียงบางส่วน หรือพวกกึ่งสำเร็จรูป หรือพวกที่ผ่านความร้อนสูงแล้วมีการจัดโครงสร้างภายในโมเลกุลใหม่ เช่น พวกโปรตีนเกษตร (Texture vegetable protein) แรกเริ่มนั้นก็ประยุกต์เอาเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีอัตราส่วนของความยาวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ($L/D = 10-20:1$) เป็นชนิดที่เกิดแรงอัดสูง เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดที่มีบาร์เรลยาว แต่ก็สามารถทำให้ร้อนหรือเย็นได้โดยการใส่แหล่งความร้อนหรือแหล่งความเย็นจากภายนอก โดยการผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างผนังของบาร์เรล เอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ใช้กับวัตถุดิบได้มากมายหลายชนิด และในช่วงความชื้นได้ต่าง ๆ กัน และควบคุมสภาวะต่าง ๆ ในระหว่างการผลิตได้ เช่น ควบคุมการสุกพอง อุณหภูมิ ความหนาแน่นของเนื้อสัมผัส ฯลฯ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ได้แก่ อาหารเกล็ดสัตว์ อาหารเซ้า ซีเรียล อาหารเซ้าจากธัญญาพืชพร้อมรับประทาน (RTE cereals) โปรตีนการเกษตร (TVP) และอาหารขนมขบเคี้ยวหรือขนมกรอบ (Snack foods)

6) High-Shear Cooking Extruder (HSCE) ได้ถูกจัดให้อยู่ใน HTST ส่วนมากในการผลิตอาหาร โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ก่อนที่จะป้อนวัตถุดิบเข้าไปในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์คิวรูชั่นหรือให้ความร้อนเสียก่อน ซึ่งจะเป็นไอน้ำหรือน้ำร้อนก็ได้ แล้วป้อนเข้าไปใน HSCE เพื่อทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเป็นเจลหรือปรับโครงสร้างภายในโมเลกุลของวัตถุดิบเสียใหม่ และการอุ่นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นได้ช่วยทำให้ตัววัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วทำให้สุกหรือเย็นตัวเกือบจะทันทีเมื่อผลิตภัณฑ์ไหลพ้นหน้าแปลนออกมา เวลาที่ใช้ในการหุงต้มนี้ต้องสั้นมาก (Short resident time) ด้วยเหตุผลนี้ (เวลาและอุณหภูมิ) จึงได้ตั้งชื่อเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ว่า HTST (High Temperature and Short Time)

2.3.4.2) แบ่งโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของความร้อน (Thermodynamic Characteristics)

1) Autogenous (Adiabatic) Extruder

ความร้อนทั้งหมดที่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้รับ (Input to the extruder) นั้นมาจากการเสียดสี (Friction) คือ เปลี่ยนมาจากพลังงานกลและมีปริมาณเล็กน้อยหรือ ไม่มีเลยของความร้อนที่เพิ่มหรือระบายออกไปจากบาร์เรล Collet Extruders และ High-Shear Cooking Extruders บางชนิดที่จัดเป็นพวก Autogenous Extruder ก็เนื่องมาจากอุณหภูมิกายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้จะสูงหรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับหรือควบคุม โดยองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปและการจัดรูปแบบของสกรูดังนั้นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบ Autogenous นี้จึงไม่ค่อยคล่องตัวนักในการที่จะใช้ผลิตภัณฑ์อาหารในแต่ละชนิดและยังยากต่อการควบคุมการทำงานของเครื่องอีกด้วย

2) Isothermal Extruder

เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทที่มีระบบการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากันเป็นระยะตลอดความยาวของบาร์เรล Forming Extruder ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ เพื่อคงสภาพความร้อนให้เท่ากัน โดยตลอดนั้น ความร้อนก็จะถูกลดหรือระบายผ่านช่องว่าง (Jacket) ระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรลที่อยู่รอบสกรู

3) Polytrropic Extruder

ในความเป็นจริงแล้วเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์เกือบจะทุกชนิดเป็นประเภท Polytrropic ก็คือจะได้รับความร้อนทั้ง 2 ทาง คือ ความร้อนที่เกิดจากพลังงานกลและความร้อนที่ได้มาจากแหล่งความร้อนภายนอกที่ส่งผ่านมาทางช่องว่างของบาร์เรล

2.3.4.3) แบ่งชนิดของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ตามวิธีการสร้างประกอบเครื่อง (รุ่งนภา,2541)

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สามารถแบ่งตามจำนวนสกรูได้เป็น 2 ประเภทคือ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder) และเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder) ซึ่งประกอบด้วยบาร์เรลที่มีสกรูหมุนอยู่ภายในจำนวน 1 หรือ 2 อันตามลำดับ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ทั้งสองชนิดนี้มีหลักการทำงานนี้คล้ายคลึงกัน โดยที่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดียวนั้นจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบที่ง่าย ไม่ซับซ้อนและมีราคาถูก แต่จะมีข้อจำกัดในการใช้งานคือ มักมีปัญหาในการส่งผ่านส่วนผสมที่มีความหนืดต่ำ ในอุตสาหกรรมอาหาร มักนิยมใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ เนื่องจากใช้กับวัตถุดิบได้หลายประเภท วัตถุดิบที่มีความชื้นต่าง ๆ (ร้อยละ 10-90) และวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันมาก นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการผสมและการผลิตพาวด์วัตถุดิบเป็นอย่างดี

1) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder)

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวใช้สำหรับอัดหรือดันให้โคของอาหารผ่านได เพื่อขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่มีการพอง หรือใช้สำหรับการทำให้สุกและขึ้นรูปด้วยการใช้ความร้อนอย่างรุนแรงแล้วทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว ในกรณีแรกที่ใช้เพื่อการขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่มีการพอง สกรูต้องมีเกลียวที่ลึกและต้องมีการหมุนอย่างช้า ๆ เพื่อให้พลังงานกลถูกปล่อยออกมาในระหว่างกระบวนการให้น้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น กระบวนการผลิตมักกะโรนีและหมากฝรั่ง ส่วนในกรณีที่เป็นการใช้เพื่อการขึ้นรูปด้วยการใช้ความร้อนอย่างรุนแรงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวนั้น จะมีสกรูสำหรับการอัด โดยลดความลึกของร่องเกลียวและต้องมีการหมุนด้วยความเร็วสูง เพื่อเพิ่มแรงเฉือนและพลังงานกลสำหรับการให้ความร้อน โดยส่วนผสมอาจได้รับความร้อนจากการเติมไอน้ำก่อนที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการกระบวนการผลิต เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้สามารถแบ่งตามระดับการเฉือนที่กระทำต่ออาหารได้ดังนี้

- แรงเฉือนที่สูง เช่น อาหารเข้าชัญพีช ขนมอบเคี้ยว
- แรงเฉือนปานกลาง เช่น ขนบึงต่าง ๆ อาหารสัตว์ที่ค่อนข้างชื้น
- แรงเฉือนต่ำ เช่น พาสต้า ผลิตภัณฑ์เนื้อต่าง ๆ

สกรูจะแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ส่วนที่ปัดเข้าสู่เครื่อง ส่วนที่นวดจนถึงการอัด และส่วนคูกัก การขนถ่ายของส่วนผสมต่าง ๆ ผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวขึ้นอยู่กับความเสียดทานที่ผิวของบาร์เรล วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เนื่องจากแรงกระทำของสกรูเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวมีราคาและต้นทุนการเดินเครื่องต่ำกว่า และต้องการความชำนาญในการเดินเครื่องและการดูแลรักษาน้อยกว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่

ช่องชั้นแนลของสกรูต้องมีการใส่หรืออัดวัตถุดิบให้เต็ม เพื่อให้เกิดการนวดและการเฉือนการผสม และการอัดส่วนผสม ความดันที่เพิ่มขึ้นหลังใดทำให้ผลผลิตสุทธิที่ออกมาอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเนื่อง (throughput) ลดลง เนื่องจากเกิดการไหลของความดันย้อนกลับขึ้นตามแนวชั้นแนลของ สกรูอย่างต่อเนื่อง

ลักษณะเฉพาะในการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ขึ้นกับความดันที่อยู่หลังไค ความ ลื่น บนผนังบาร์เรล (ส่วนใหญ่ควบคุมด้วยอุณหภูมิผนังบาร์เรลและการที่มีรอยหยักหรือช่องเจาะที่ ผนังบาร์เรล) ความยาวของสกรูที่ถูกอัดเต็ม ไปด้วยผลิตภัณฑ์ (ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการป้อนและ ความเร็วของสกรู) และลักษณะเฉพาะของ โคที่ขึ้นกับชนิดของส่วนผสม ความชื้นและอุณหภูมิ (Happer, 1978) อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยเหล่านี้จะจำกัดช่วงและความยืดหยุ่นของการปฏิบัติงาน ของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

2) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder)

ลักษณะการทำงาน of เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่แตกต่างจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ แบบสกรูเดี่ยว และมีแนวโน้มว่าจะเป็นที่นิยมมากขึ้นและกว้างขวางขึ้น เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบ สกรูคู่มีสองสกรูซึ่งวางข้าง ๆ กัน โดยที่มีเกลียวอินเตอร์เมส (Intermeshing) กันและกัน และหมุน ในลักษณะตัวเลข “8” ในบาร์เรล เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มักแบ่งตามทิศทางการหมุนและ ลักษณะสกรูที่อินเตอร์เมสกัน สกรูที่อินเตอร์เมสแบบหมุนตามกันพบมากในอุตสาหกรรมการแปรรู ปอาหารการหมุนจะทำให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ และการอินเตอร์เมสช่วยให้ การผสมของวัตถุดิบในบาร์เรลดีขึ้น

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่จำแนกได้ตามทิศทางการหมุนของสกรู ส่วนต้นของสกรู ออกแบบมาเพื่อขนถ่ายส่วนผสมที่เป็นเม็ด ๆ ความสามารถในการขนถ่ายของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ แบบสกรูคู่ที่เพิ่มขึ้นทำให้ใช้ส่วนผสมที่เหนียวได้ดีกว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว สกรูคู่ที่ ขนานกันนี้จะถูกกันเอง (Self-wiping) เมื่อเกลียวที่ซ้อนบนสกรูหนึ่งเซ็ดหรือดูด้านล่างของช่อง ชั้นแนลของอีกสกรูที่อยู่ติดกัน

จานนวด (Kneading disk) จะช่วยกระจายพลังงานกลระหว่างการขนถ่ายมากขึ้น โดย ส่วนผสมของวัตถุดิบต่าง ๆ จะเคลื่อนที่จากจากหนึ่งไปยังอีกจานหนึ่งซึ่งทำให้เกิดการผสมกันขึ้น การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังบาร์เรลและการกระจายพลังงานกลจะมากขึ้นเมื่อส่วนต่าง ๆ เหล่านี้มี ส่วนผสมของอาหารบรรจุอยู่เต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเอ็กซ์ทรักชัน (รุ่งนภา, 2541)

1) เวลา (Time)

กระบวนการเอ็กซ์ทรักชันมีลักษณะเป็น Equilibrium Process ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงสถานะต่างๆเช่น อุณหภูมิ จึงต้องการเวลาในการปรับตัวให้เข้าสู่ในสภาวะสมดุล ตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการนี้ตัวหนึ่งคือ เวลาที่ผลิตภัณฑ์ถูกกระทำหรือเรียกว่า Residence Time เป็นเวลาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและขนาดของอุปกรณ์

2) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เนื่องจากปฏิกิริยาหลักของกระบวนการนี้คือปฏิกิริยาการเกิดเจล (Gelatinization) โดยที่คุณสมบัติของกลีทิน สัมผัสรวมทั้งเนื้อสัมผัส ล้วนเป็นผลที่เกิดจากปฏิกิริยานี้ทั้งสิ้น ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไปคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้จะเปลี่ยนไปด้วย หากต้องการให้เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านแม่พิมพ์ (Die) แล้ว น้ำในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวคล้ายบอลูนที่ถูกเป่าลม เพื่อให้กระบวนการเป็นไปตามนี้ นอกจากจะต้องควบคุมอุณหภูมิแล้ว จำเป็นต้องควบคุมความดันให้สูงพอที่จะป้องกันไม่ให้น้ำเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอภายในเครื่องเอ็กซ์ทรักเตอร์อีกด้วย

3) ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นส่วนสำคัญในปฏิกิริยาการเกิดเจล (Gelatinization) เมื่อเม็ดแป้งดูดความชื้นจะทำให้เกิดการพองตัว ถ้ามีอุณหภูมิที่สูงเพียงพอในการทำละลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล เม็ดแป้งจะพองตัวขึ้นอย่างเห็นได้ชัด การพองตัวเช่นนี้จะทำให้สูญเสียการจัดเรียงตัว ถ้าให้ความร้อนต่อไปจะทำให้โครงสร้างภายในหลวมขึ้นทำให้น้ำเข้าไปได้มากขึ้น ถ้ามีการกวนที่แรงเพียงพอ กรานูล (Granule) ที่พองตัวเหล่านี้จะแยกออกจากกัน [ประเสริฐ สุทธิประสิทธิ์ และคณะ ,2543] หากความชื้นไม่สม่ำเสมอจะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดเจลในแต่ละส่วนของอาหารไม่สม่ำเสมอ เป็นผลผลิตให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการ

4) อัตราการเฉือน (Shear Rate)

อัตราการเฉือนเป็นตัววัดค่าการผสมกันของวัตถุดิบว่าอยู่ในระดับใด (Mixing Intensity) โดยวัตถุจะสัมผัสกับบาร์เรล (Barrel) ที่อยู่กบที่และสกรูที่เคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่เลื่อนไหลจากกันและกัน โดยอัตราการเฉือนจะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเลื่อนจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูหรือลดความลึกของร่องเกลียว (Channel Depth) นอกจากทำให้อาหารเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว อัตราการเลื่อนยังส่งผลต่อปฏิกิริยาต่างๆอีกกล่าวคือ หากมีความชื้นสูงอัตราการเลื่อนจะช่วยให้หน้าและแป้งสัมผัสกันได้เร็วขึ้น เม็ดแป้งจะสูญเสียสภาพโดยถูกทำลายทางกล (Mechanical Starch Granule Degradation) ในปฏิกิริยาการเกิดเจล

5) ความเร็วรอบของสกรู (Screw Speed)

ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะใช้ความเร็วรอบของสกรูที่เหมาะสมซึ่งแตกต่างกัน หากต้องการให้พองมากจะปรับความเร็วรอบที่ค่าสูง ความเร็วรอบนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความชื้นแต่จะส่งผลต่อเวลา อุณหภูมิ และอัตราการเลื่อน ดังนี้

5.1 เวลา (Time) ในสถานะที่ความเร็วรอบของสกรูที่มีค่าสูง เป็นผลให้เวลากักพัก (Residence Time) ลดลง

5.2 อัตราการเลื่อน (Shear Rate) ความเร็วรอบของสกรูที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเลื่อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นหากต้องการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะอาหารเช่น การเกิด puffing ด้วยการเพิ่มแรงทางกล จึงสามารถปรับได้ด้วยการเพิ่มหรือลดความเร็วรอบของสกรูและความหนืดของอาหารจะลดลงในขณะที่ความเร็วรอบสูงขึ้น

5.3 อุณหภูมิ (Temperature) จะไม่เปลี่ยนแปลงหากค่าความหนืดลดลงและความเร็วรอบสูงมาก แต่โดยปกติค่าความเร็วรอบที่ใช้กันทั่วไปจะทำให้อุณหภูมิมียุ่ค่าสูงขึ้น

2.4 ผลิตภัณฑ์อาหารแบบ 3rd Generation

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์ 3rd Generation

2.4.1.1) ประเภทของอาหารขบเคี้ยว

อาหารขบเคี้ยวเป็นกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่มีได้หลายชนิด และเป็นกลุ่มที่อยู่ระหว่างการพัฒนาจึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ออกมาตลอดเวลา การให้ความหมายหรือแม้แต่การจัดแบ่งประเภทจึงยังไม่มีกำหนดที่ชัดเจน การจัดแบ่งประเภทของอาหารขบเคี้ยวมีหลายลักษณะดังนี้

การแบ่งอาหารขบเคี้ยวตามระยะเวลาและชนิดของผลิตภัณฑ์ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท (Harper, 1981) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อาหารขบเคี้ยวยุคที่หนึ่ง (First Generation Snacks)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตแบบดั้งเดิม โดยกรรมวิธีการผลิตแบบง่ายๆ เช่น การทอดหรือการอบ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์เช่น มันฝรั่งทอด แครกเกอร์ชนิดต่างๆ เป็นต้น

2. อาหารขบเคี้ยวยุคที่สอง (Second Generation Snacks)

เป็นอาหารขบเคี้ยวประเภทสุกพองทันที (Direct-expanded Product) ส่วนใหญ่ทำจากวัตถุดิบประเภทธัญชาติเช่น คอลเลตเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Collet Extruder) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ (ต่ำกว่าร้อยละ 15) นำมาอบเพื่อลดความชื้นลงให้มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 4 เคลือบด้วยน้ำมันและกลิ่นรสต่างๆ (กมลวรรณ, 2541) กล่าวว่าการพองของผลิตภัณฑ์เกิดจากการทำให้ส่วนผสมของโด (Dough) ร้อนจนอุณหภูมิสูงกว่า 100°C และความดันภายในสูงกว่าความดันบรรยากาศ เมื่อโดเคลื่อนที่ออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์โดยผ่านช่องเปิดของหน้าแปลน จะเกิดการระเหยของน้ำเป็นไอน้ำขณะที่มีความดันลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะพองกรอบ ความหนาแน่นต่ำ มีรูปร่างต่างๆตามแบบพิมพ์หรือช่องเปิดของหน้าแปลนของเครื่องทำการผลิต มีการผลิตกลิ่นรสต่างๆบนผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเช่น ข้าวโพดพองกรอบ (Corn curls) คาราฉ่ำ ขนมอบกรอบ รูปร่างเลียนแบบหัวหอม (Onion rings) และซีโตส เป็นต้น

3. อาหารขบเคี้ยวยุคที่สาม (Third Generation Snacks)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีหลายรูปแบบและมีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แรงเฉือนสูง เริ่มจากการผสมธัญชาติและ/หรือสตาร์ชที่ตัดแปรหรือไม่ก็ได้ น้ำมันพืชและอิมัลซิไฟเออร์ (กมลวรรณ, 2541) กล่าวว่าการอบอาหารขบเคี้ยวประเภทสุกแต่ไม่พองทันที (Indirect-expanded product) บางครั้งเรียกว่า เป็นอาหารขบเคี้ยวกึ่งสำเร็จรูปโดยมีชื่อเรียกดังนี้ half product, semi-product หรือ intermediate product อาหารขบเคี้ยวชนิดนี้เมื่อผลิตออกมาครั้งแรกจะมีความชื้นอยู่ค่อนข้างสูง หลังจากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นจนมีความชื้นในผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 8-12 จะอยู่ในรูปของกึ่งสำเร็จรูป มีรูปร่างต่างๆตามแบบพิมพ์หรือช่องเปิดของหน้าแปลนของเครื่องทำการผลิต มีลักษณะเนื้อแข็งแน่น โปร่งแสง มันเป็นวาวที่เรียกว่า เพลเลต (Pellet) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทอดหรือการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่พองกรอบ และทำการเคลือบกลิ่นรสต่างๆบนผลิตภัณฑ์ ข้อดีของเพลเลตคือ เก็บได้นาน ไม่เสีย ถ้าเก็บภายใต้สภาพที่แห้งจะมีอายุการเก็บประมาณ 1 ปี สะดวกในการขนถ่าย สามารถขนส่งไปยังที่ไกลๆได้ ไม่ต้องกังวลเรื่องผลิตภัณฑ์แตกหัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2) เพลเล็ต (Pellet)

ลักษณะพิเศษของ pellets คือ มีลักษณะเนื้อเป็นกึ่งโปร่งแสงและมีระดับการสุกของแป้งสูงกว่า 90% กระบวนการทำ pellets มี 5 ขั้นตอนดังนี้

1) Raw Material (วัตถุดิบ) วัตถุดิบที่ใช้จะเป็นแป้งชนิดเดียวกันหรือแป้งผสมตามความต้องการ แต่ต้องเป็นแป้งที่มีโครงสร้างที่เหมาะสมเมื่อพองตัวในน้ำมันหรืออากาศร้อน ในการเตรียมวัตถุดิบสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้โดยการเพิ่มเส้นใย โปรตีน และรสชาติได้ตามความเหมาะสม นอกจากนี้ขนาดวัตถุดิบยังมีผลต่อผลิตภัณฑ์ ถ้าวัตถุดิบมีขนาดใหญ่เกินไปจะส่งผลกระทบต่อ การสุกของแป้ง

2) Blending (การผสม) การผสมสามารถทำได้ 2 วิธี คือ ถ้าผลิตปริมาณน้อยจะใช้แรงงานคนในการผสมก่อนนำเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ หากผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะใช้เครื่องผสมแบบใบกวนและส่งต่อเนื่องไปยังเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เพื่อเตรียมขึ้นรูปในขั้นตอนต่อไป

3) Extruding (การขึ้นรูป) เมื่อส่วนผสมถูกส่งเข้ามาภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ สกรูส่วนแรกจะทำหน้าที่ป้อนวัตถุดิบกับน้ำเข้าผสมกันอีกครั้ง ซึ่งในส่วนนี้จะเริ่มให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจนแป้งมีลักษณะเหนียว นุ่ม เป็นเนื้อเดียวกัน เรียกว่าโค นอกจากนี้ส่วนป้อนยังทำหน้าที่ส่งวัตถุดิบไปยังส่วนต่อไปของสกรู ส่วนที่สองของสกรูจะเป็นช่วงของการอัดทำให้เกิดความร้อนและแรงเสียดทานเนื่องจากการหมุนของสกรูในช่วงนี้จะสูงมากจนแป้งมีลักษณะคล้ายพลาสติกหรือเจล ส่วนสุดท้ายของสกรูเป็นช่วงที่วัตถุดิบเกิดแรงอัดสูงมาก มีความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ และจะเสถียรอยู่ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ก่อนที่วัตถุดิบจะออกสู่หน้าแปลน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรูปร่างตามลักษณะของหน้าแปลน ที่หน้าแปลนจะมีใบมีดหมุนตัดผลิตภัณฑ์เพื่อให้ขนาดตามที่ต้องการ

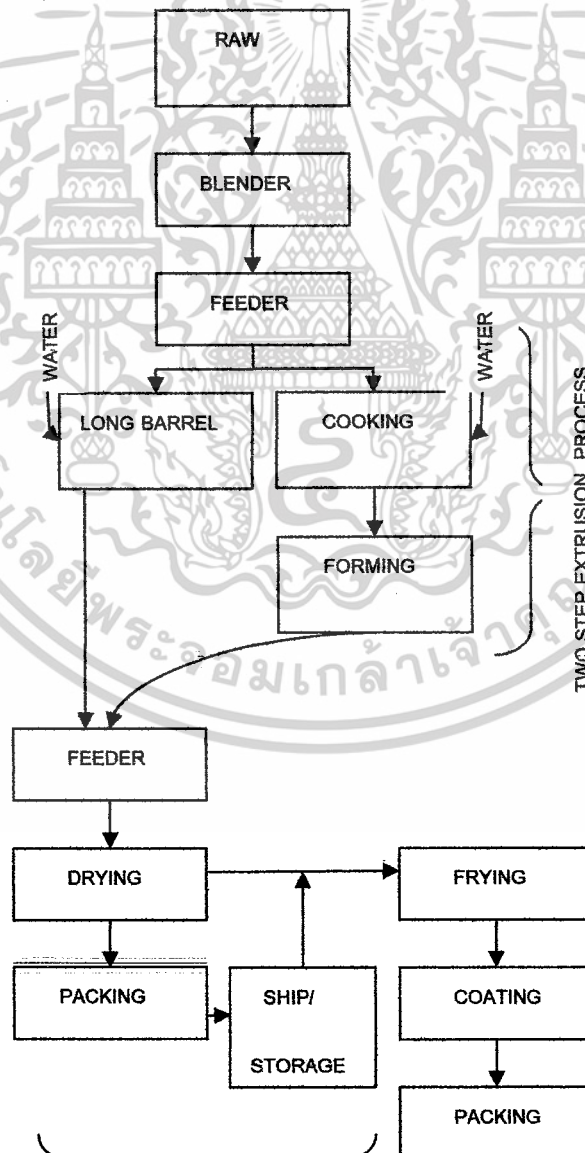
4) Drying (การทำแห้ง) pellets ที่ออกจากหน้าแปลนจะมีความชื้นอยู่ในช่วง 20-40% จึงต้องนำมาอบแห้งจนมีความชื้นต่ำกว่า 12% เนื่องจาก pellets มีโครงสร้างหนาแน่นจึงต้องใช้ อุณหภูมิต่ำและเวลานานในการอบแห้ง การอบแห้งแบบต่อเนื่องจะใช้เวลา 1-8 ชั่วโมง การอบแห้งแบบกะอาจต้องใช้เวลานานถึง 15 ชั่วโมงแล้วแต่ชนิดของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ใช้ควรต่ำกว่า 95 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกันการพองตัวและการแตกของ pellets

5) Expansion (การพองตัว) pellets สามารถพองตัวได้โดยการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว และเพียงพอ เป็นสาเหตุให้น้ำใน pellets ระเหยเป็นไอ อากาศจึงเข้าไปแทนที่ทำให้ pellets เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พองตัว การพองตัวสามารถทำให้สมบูรณ์ได้โดยการทอด การอบ หรือการอบด้วยเตาไมโครเวฟ การลวกหรือต้ม แต่การทอดเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดเพราะทำได้ง่ายและค่าใช้จ่ายต่ำ ปัจจัยการทอดขึ้นกับ ความหนา รูปร่าง และส่วนประกอบของ pellets อุณหภูมิในการทอดที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 170 – 210 องศาเซลเซียส และเวลาที่เหมาะสมในการทอดอยู่ระหว่าง 10 – 60 วินาที pellets ที่พองตัวแล้วจะมีความชื้น 1 – 2 % ความหนาแน่นรวม 40 – 100 กรัม/ลิตร

6) การเคลือบและบรรจุ (Coating and Packing) จาก pellets ที่ผ่านการพองตัวแล้วจะได้ลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นจริงตามที่ต้องการ สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจะนำมาปรุงรสโดยนำผงปรุงรส (Seasoning) มาผสมกับ pellets ผ่านการคลุกเคล้าให้เข้ากันเมื่อได้รสชาติตามที่ต้องการแล้วจึงนำไปบรรจุ ส่วนผลิตภัณฑ์พาสต้าหลังจากทำให้พองตัวแล้วสามารถนำไปประกอบอาหารได้ทันที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 Process flow diagram for pellets

2.4.2 กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ 3rd Generation

การผลิต 3rd Generation ด้วยกระบวนการ Extrusion ได้จากการทำแป้งให้ขึ้น ร้อนเหนียว จนกระทั่งกลายเป็นเจลหรือแป้งสุกได้สมบูรณ์ แล้วอัดผ่านรูเปิดหน้าแปลนหรือรีดให้เป็นแผ่นออกมา แล้วตัดเป็นชิ้นหรือแผ่นบางๆตามลักษณะความต้องการ และนำไปอบในตู้อบเพื่อไล่ความชื้นออกไปจนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือประมาณ 12% หรือน้อยกว่านี้เพื่อการเก็บรักษาไว้ได้นาน เราเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ชื่อว่า pellets ซึ่งมีลักษณะภายนอกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่พองเมื่ออัดผ่านรูเปิดของหน้าแปลนออกมา ดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนของกระบวนการผลิตเข้ามาอีกจึงจะรับประทานได้ ซึ่งขั้นตอนการผลิตที่เพิ่มเข้ามานี้เป็นตัวกระทำให้เกิดรูปร่างปรากฏขึ้นมา หรือลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นของจริงของผลิตภัณฑ์นี้

การผลิต 3rd Generation หรือผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปโดยการอัดแป้งโดที่ผ่านการทำให้เป็นเจลก่อน (pre-gelatinize) ผ่านเกลียวอัดแล้วทำให้แห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นเม็ดเล็ก ๆ แข็ง ๆ ซึ่งวิธีดังกล่าวเหมาะสำหรับยึดอายุการเก็บรักษาและการขนย้ายผลิตภัณฑ์ไปยังกระบวนการอื่น ๆ โดยที่ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะต้องนำไปผ่านการทอด การบึ่ง หรือการทำให้พองตัวโดยอากาศร้อนหรือทอดในน้ำมัน ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปนี้จะนิ่มและให้คุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมแก่การขยายตัว ความชื้นที่เหลืออยู่ในเม็ดผลิตภัณฑ์นี้จะกลายเป็นไอน้ำและทำให้ผลิตภัณฑ์ขยายตัวอย่างรวดเร็ว การผลิต 3rd Generation เป็นการดันผ่านเกลียวอัดโดยไม่ใช้ความร้อน (cold extrusion) ผลิตภัณฑ์จะถูกดันผ่านเกลียวอัดเป็นชิ้นยาว ๆ โดยไม่มีการให้ความร้อนหรือรูปร่างเปลี่ยนไปเนื่องจากการขยายตัว เครื่องแบบนี้จะมีร่องเกลียวลึกลงที่ความเร็วต่ำในบารเรลที่เรียบ เพื่ออัดวัตถุดิบด้วยแรงเสียดทานต่ำ เกลียวอัดจะแบ่งเป็นหลายส่วนรวมถึงส่วนที่ใส่วัตถุดิบเข้าไปเพื่ออัดวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนนวดเพื่อการบิบนวด ส่วนผสมและเนียนเนื้ออาหารให้มีคุณสมบัติคล้ายพลาสติกเพื่ออัดและขึ้นรูปต่อไป

ปัจจัยสำคัญในการทำ Extrusion คือ ควรใช้แรงเฉือนที่ต่ำและมีความชื้นในช่วง 25-35% เมื่ออุณหภูมิในการละลายเพิ่มมากขึ้น ความชื้นที่ได้จะลดลงมีค่าประมาณ 115 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 25% แล 80 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 35% อุณหภูมิไม่ได้มีผลมากในกระบวนการ เพราะมีความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในรวมอยู่ด้วย แต่จะมีผลต่ออุณหภูมิตรงทางออกของกระบวนการ Extrusion แบบ one - stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ Extrusion แบบ One-stage เป็นกระบวนการ Extrusion อีกแบบหนึ่งที่ต้องใช้บารเรลที่มีความยาว 25-30L/D (ยาวกว่าบารเรลแบบ two-stage) ในส่วนที่ทำให้สุกนี้จะอยู่ต่อกับส่วนป้อนและต่อมาด้วยส่วนที่ทำการลดอุณหภูมิด้วยการหล่อ น้ำ แป้งจะหลอมละลายในส่วนแรกและถูกกลั่นอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสก่อนที่จะขึ้นรูป

กระบวนการ Extrusion แบบ two-stage เป็นรูปแบบวิธีการที่ง่ายที่สุดสำหรับการผลิต Half-product เพราะสามารถควบคุมกระบวนการได้ง่ายกว่า แบบ one-stage โดยในส่วนแรกของเครื่องเอ็กสตรูเดอร์จะเป็นการหลอมละลาย โครงสร้างผลึกในเม็ดแป้งด้วยแรงเสียดทานที่ต่ำ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 200 องศาเซลเซียส ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นความร้อนที่บารเรลจะลดลงเพราะมีการหล่อ น้ำ เพื่อไม่ให้ความร้อนสูงเกินไป ความร้อนจะหลอมให้เป็นของเหลวหนืดและจะขยายตัวที่ไดน์ (die) จากนั้นจะนำเอากลับไปใส่เข้าไปในเครื่อง Extruder อีกครั้งเพื่อจะทำการขึ้นรูปในอุณหภูมิที่ต่ำเพื่อไม่ให้เกิดการพองและจะดันผ่านออกทางไดน์ (die) อีกครั้งจะได้ผลิตภัณฑ์แบบ Half-product

2.4.3 ประโยชน์ของ 3rd Generation โดยกระบวนการ Extrusion

Extrusion เป็นกระบวนการผลิตอาหารสมัยใหม่ ช่วยให้การขยายงานด้านอุตสาหกรรมด้านการผลิตอาหารกว้างขวางยิ่งขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะ โดยตัวของระบบหรือเครื่องเอ็กสตรูเดอร์นั้น มีคุณลักษณะพิเศษหลายประการดังนี้

1) ความหลากหลายหรืออเนกประสงค์ (Versatility) กระบวนการดังกล่าวสามารถสร้างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ได้ โดยการเปลี่ยนส่วนผสมของอาหารหรือเปลี่ยนสภาวะการทำงาน of เครื่องได้ กระบวนการมีความยืดหยุ่นสูง สามารถดัดแปลงให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ซึ่งตรงกับความต้องการของผู้บริโภค

2) อัตราการผลิตสูง (High Productivity) สามารถทำการผลิตในลักษณะต่อเนื่องแบบอัตโนมัติได้และมีอัตราการผลิตได้มากกว่าระบบอื่น ๆ เช่น ความสามารถในการผลิตอาหารขบเคี้ยวด้วยอัตราการผลิตสูงถึง 350 กิโลกรัม/ชั่วโมง อาหารจากเมล็ดธัญพืชซึ่งมีความหนาแน่นต่ำ 1200 กิโลกรัม/ชั่วโมง อาหารสัตว์แบบแผ่นแห้ง 9000 กิโลกรัม/ชั่วโมง

3) ต้นทุนการผลิตต่ำ (Low Cost) จำนวนคนงานและพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบ extrusion ต่อหนึ่งหน่วยนั้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีอื่น เช่น อาหารเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทซีเรียลที่ได้จากกระบวนการ extrusion จะประหยัดวัตถุดิบได้ถึง 19 % พลังงาน 100 % แร่งงาน 14% และเงินลงทุน 44% เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตด้วยวิธีดั้งเดิม

4) รูปร่างของผลิตภัณฑ์ (Product Shape) สามารถทำได้มากมายหลายแบบและทำได้ง่าย เพียงเปลี่ยนแบบรูปทรงของรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน

5) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีมาก (High Product quality) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูง เนื่องจากการผลิตด้วยระบบ HTST (High Temperature Short Time) ซึ่งสามารถลดการสูญเสียสารอาหารและลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ อายุการเก็บรักษาจะนานขึ้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีค่าออร์เตอร์เอกทิวิตต้า (คือประมาณ 0.1 – 0.4)

6) ประหยัดพลังงาน (Energy Efficient)

7) ทำผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆ (Production of new foods)

8) ไม่มีน้ำทิ้งหรือสิ่งโสโครกที่ไหลออกจากระบบ (No effluents)

9) pellets สามารถเก็บรักษาได้นานเนื่องจากมีความชื้นต่ำ

10) สะดวกสบายต่อผู้บริโภค เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์แห้งสามารถพกพา และนำไปประกอบอาหารได้ตามความต้องการ

2.5 คุณภาพผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราอุส

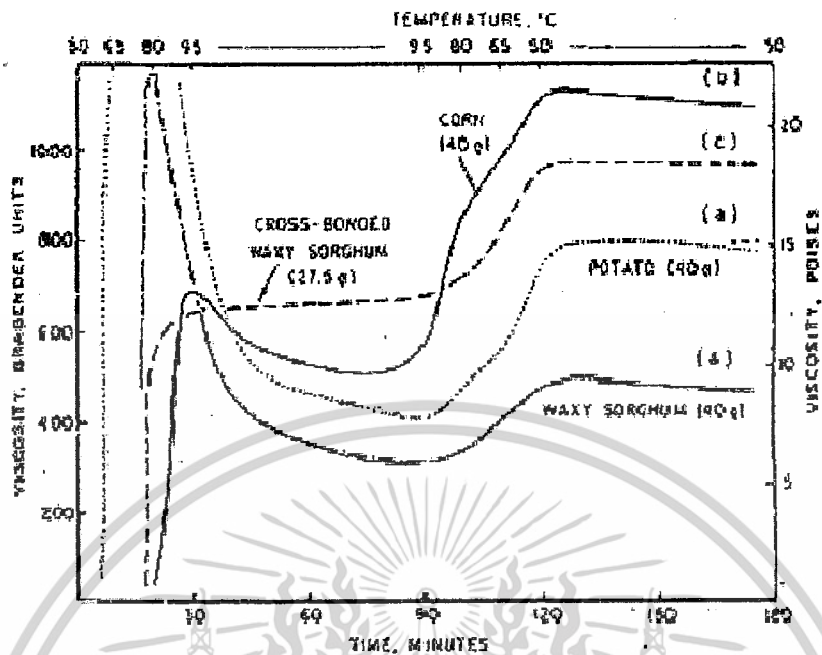
2.5.1 ความหนืด (กล่ามรงค์และเก็อกูล, 2543)

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง และการตัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆ

แป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติความหนืดแตกต่างกันไป ดังแสดงในภาพ ความหนืดที่เกิดขึ้นของน้ำแป้ง เมื่อให้ความร้อนและมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอ โดยวัดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA)

จากการแบ่งประเภทของแป้งตามกราฟแสดงความหนืด ตามวิธีของ Schoch และ Mayward (1968) สามารถแบ่งรูปแบบความหนืดของแป้งสุกที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของแป้ง แบ่งเป็น 4 แบบ ดังรูปที่ 2.5 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบความหนืดของแป้งสุกที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของแป้ง

แบบ a : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูง (high-swelling starches) เช่น แป้งมันฝรั่ง (potato starch) แป้งข้าวพ่าง (waxy sorghum starch) แป้งจากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่แป้ง เม็ดแป้งจะมีกำลังการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดกันภายใน โมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดแป้งกระจายตัวออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ลักษณะกราฟความหนืดจึงสูงขึ้นแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

แบบ b : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (moderate-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่าง ๆ เม็ดแป้งไม่พองตัวมากถึงขั้นกระจายตัวออก จึงได้ลักษณะกราฟความหนืดที่สูงขึ้นน้อยกว่า และเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

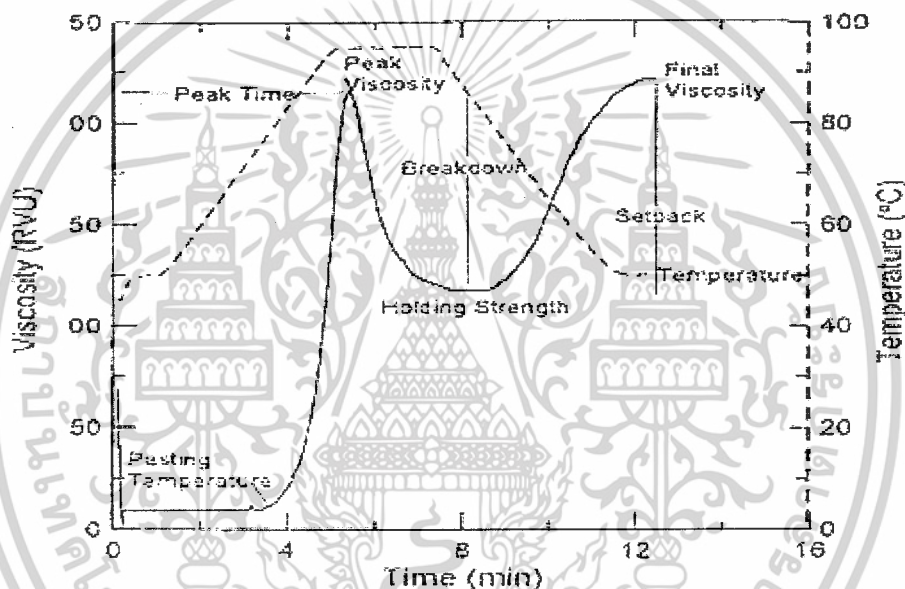
แบบ c : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อย (restricted-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากถั่วต่าง ๆ และแป้งครอสลิงหรือพันธะข้าม (cross linked หรือ cross bonded) วิธีการอสลิงทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งลดลง ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น ลักษณะกราฟความหนืดจึงไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีค่าความหนืดซึ่งอาจคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างต้มสุก

แบบ d : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก (highly-restricted swelling starches) ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพดอะมิโลสซึ่งมีอะมิโลส 50 – 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีวัดความหนืด

Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องพิจารณาความหนืดขณะที่ให้ความร้อน คุณสมบัติพิเศษคือ มีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อน และเย็นได้อย่างแม่นยำ และรวดเร็ว สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้จึงทำให้สามารถหา ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting curve) ได้ภายในเวลาสั้น (13 นาที) ได้ เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดีกว่า และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า สมบัติความหนืดของแป้งแต่ละชนิดแสดงดังภาพ



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
(ที่มา : Newport Scientific Pty, Ltd., 1995)

ค่าที่เครื่องแสดงผลอ่านได้บนจอคอมพิวเตอร์ ในหน่วย % หรือ RVU ดังนี้

- (1) peak time : เวลาที่เกิดจุดสูงสุด (peak) ของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที
- (2) pasting temperature : อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- (3) peak temperature : อุณหภูมิที่เกิดจุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- (4) peak viscosity : ความหนืดที่ความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU
- (5) holding strength : ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำเย็น มีหน่วยเป็น RVU
- (6) breakdown : ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด หน่วย RVU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (7) final viscosity : ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU
- (8) setback from peak: ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็น RVU
- (9) setback from trough : ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

การเกิดเจลลาทีโนเซชัน

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก ชีดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach และคณะ, 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำพองตัว ดังแสดงในภาพ

ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลลาทีโนเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลลาทีโนเซชัน เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่งจะมีอุณหภูมิเริ่มเจลลาทีโนเซชันต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช

ความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งในระหว่างการเจลลาทีโนเซชันจะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของแป้ง แป้งมันฝรั่งจะมีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูงที่สุด และมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืด (thickening power) สูงด้วย ในขณะที่แป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีความหนืดสูงสุดต่ำ เนื่องจากเม็ดแป้งมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอะมิโลสและไขมัน นอกจากนี้ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน การจัดเรียงตัว และขนาดของเม็ดแป้งเนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินภายในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอทำให้เม็ดแป้งมีขนาดต่างกัน แป้งชนิดต่าง ๆ มีลักษณะการเกิดเจลที่แตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำและละลายน้ำ (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทีไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้เกิดการละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์ (birefringence) ในเม็ดแป้งจะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัว และความสามารถในการละลายคือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรง และลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการตัดแปรงแป้งทางเคมี รูปแบบในการพองตัว และการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป

เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อแป้งพองตัวได้อย่างอิสระ ในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งคุณสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน รูปแบบการพองตัวของแป้งกับอุณหภูมิแสดงดังภาพ และรูปแบบการละลายของแป้งกับอุณหภูมิแสดงดังภาพ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันมาก และเห็นความสัมพันธ์ได้เมื่อเขียนกราฟระหว่างกำลังการพองตัวและการละลายที่อุณหภูมิเดียวกันจะได้กราฟเส้นตรงดังภาพ คุณสมบัติในการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งแต่ละชนิดที่ 95°C แสดงดังตาราง (Leach และคณะ 1959)

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งมีหลายประการ (Leach และคณะ, 1959; Leach, 1965) ได้แก่

(1) ชนิดของแป้ง

แป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบในการพองตัวและการละลายแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาตามความสามารถในการพองตัวและการละลายของแป้งแล้ว สามารถแบ่งแป้งออกเป็น 3 ชนิด คือ แป้งจากธัญพืช แป้งจากส่วนราก และ แป้งจากส่วนหัว

1.1) แป้งจากธัญพืช มีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ชั้น แสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึก และบริเวณอสัณฐานของเม็ดแป้ง แป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำพวกนี้มีจำนวนพันธะสูงสุด แต่มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำสุดเนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูง ซึ่งอะไมโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ทำให้พองตัวได้ต่ำ

1.2) แป้งจากส่วนรากหรือส่วนกลางลำต้น (pith) เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการพองตัวเพียงขั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า แป้งจากส่วนรากจะเกิดเจลาตินไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช

1.3) แป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้ หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ การพองตัวในแป้งจากส่วนหัวจะเกิดเพียงขั้นเดียว และเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ รูปแบบนี้จะเป็นลักษณะของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte)

(2) ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง

ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง หรืออีกนัยหนึ่งคือ จำนวนและชนิดของพันธะภายในเม็ดแป้ง ในระดับโมเลกุลมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนของพันธะ ได้แก่ ขนาด รูปร่าง ส่วนประกอบและการกระจายตัวของร่างแหภายในเม็ดแป้ง อัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุล จำนวนกิ่งก้านสาขา การจัดเรียงตัว และความยาวของสาขาในอะมิโลเพกทิน

(3) สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต

สิ่งเจือปนเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง เช่น แป้งข้าวโพดที่ถูกสกัดไขมันออกจะมีการพองตัวอย่างอิสระและเป็นรูปแบบเดียวกันคิดว่าแป้งข้าวโพดปกติ เนื่องจากกรดไขมันในธรรมชาติของแป้งข้าวโพดปกติจะยับยั้งการพองตัวของแป้ง โดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลส (lipid-amylose complex) นอกจากนี้การใส่สารลดแรงตึงผิวในแป้งจะมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง การใส่โพแทสเซียม ปาล์มมิเตท (potassium palmitate) สเตียเรต (stearate) จะลดกำลังการพองตัวของแป้งมันสำปะหลัง ในขณะที่การใส่โซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate) และซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (cetyl trimethyl ammonium bromide) จะเพิ่มกำลังการพองตัวของเม็ดแป้ง

(4) คุณสมบัติหลักการดัดแปรทางเคมี

คุณสมบัติการพองตัวและการละลายของแป้งจะเปลี่ยนไปเมื่อมีการดัดแปรทางเคมี การดัดแปรด้วยกรดหรือการเกิดออกซิเดชันด้วยเกลือไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite) จะทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแตกออกของพันธะภายในร่างแห ทำให้เม็ดแป้งกระจายออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ การละลายและการพองตัวสูงขึ้น สำหรับการตัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน จะเกิดการแทนที่ของหมู่อื่นภายในโมเลกุลของแป้ง ทำให้พันธะภายในเม็ดแป้งอ่อนแอลง อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ต่ำลง การพองตัวเพิ่มขึ้น ขอบเขตในการลดลงของอุณหภูมิเจลาติไนซ์และการพองตัวที่เพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับจำนวนและธรรมชาติของหมู่ที่มาแทนที่ การทำครอสลิงจิง(cross linking) จะทำให้ความแข็งแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น ความสามารถในการพองตัวและการละลายจึงลดลง

(5) ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว

มีผลต่อการพองตัวและการละลาย สารละลายที่มีปริมาณแป้งต่ำกว่า 20% ค่าการละลายจะสูงกว่าเมื่อมีแป้งสูงกว่า 20% การพองตัวอย่างอิสระและการละลายที่สูงขึ้นจะถูกยับยั้งในสภาพที่สารละลายมีปริมาณน้อย สารประกอบอื่น ๆ เช่น ซูโครส กลูโคส และสารอิเล็กโทรไลต์ (เช่น sodium chloride) มีผลกระทบต่อการทำงานของแป้ง พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซูโครส และลดปริมาณแป้งลงทำให้แป้งสามารถละลายได้เพิ่มขึ้น

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถแบ่งงานวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.6.1 งานวิจัยข้าวกล้องงอก

รุจิรา และคณะ ได้ทำการศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์จากแป้งเมล็ดข้าวกล้องสำหรับทำข้าวยาคุ พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวยาคุที่ทำจากแป้งเมล็ดข้าวกล้องที่อายุ 0-1 วัน ทุกพันธุ์มีลักษณะผลิตภัณฑ์คล้ายคลึงกับแป้งข้าวในระยษะน้ำนม โดยมีเชื้อ E.coli และ Total Bacteria ในผลิตภัณฑ์ข้าวยาคุ ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดยใช้แป้งจากเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ กข 7 เล็บนก ปัดตานี และเฉียงพิทลุง เปรียบเทียบกับแป้งข้าวในระยษะน้ำนม และทำการวิเคราะห์ผลคุณสมบัติของแป้งข้าวเมล็ดงอกที่อายุ 0-7 วัน พบว่าผลิตภัณฑ์ ข้าวยาคุจากแป้งเมล็ดข้าวกล้องที่อายุ 0-1 วัน และแป้งข้าวระยษะน้ำนมผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันไม่แยกชั้น และทำการปรับปรุงสูตรโดยการเติมน้ำนมถั่วเหลือง พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวยาคุที่ทำจากแป้งเมล็ดข้าวกล้องที่อายุ 0-1 วันทุกพันธุ์ มีลักษณะผลิตภัณฑ์คล้ายคลึงกับแป้งข้าวในระยษะน้ำนม และปริมาณ E.coli และ Total Bacteria ในผลิตภัณฑ์ข้าวยาคุ ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

สุภารัตน์ ได้ทำการศึกษาผลของการงอกต่อสมบัติและการเปลี่ยนแปลงทางคุณค่าอาหารบางประการของข้าวกล้องหอมมะลิไทย โดยได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการงอกของข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีงหอมมะลิและข้าวกล้องมันปู ซึ่งมีปัจจัยศึกษา 2 ปัจจัย อันได้แก่ เวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวและ เวลาที่ใช้ในการเพาะที่อุณหภูมิห้อง เพื่อการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าว สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวกล้องก่อนและหลังผ่านกระบวนการงอก คุณภาพการหุงต้ม คุณภาพการรับประทานของข้าวกล้องหอมมะลิ รวมถึงปริมาณวิตามิน แร่ธาตุที่เรียวยีสต์และราของในข้าว พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการแช่หรือการเพาะ จะทำให้การงอกเพิ่มขึ้น แต่การขยายขนาดค้ำบกว้างและความแข็งลดลง นอกจากนี้ยังปริมาณวิตามินอี และเอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลสเพิ่มมาก โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงสุกจะมีความนุ่ม มีกลิ่นข้าว การพองตัวของเมล็ดข้าวมากขึ้น และไม่มีจุลินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่

2.6.2 งานวิจัยการออกแบบส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

Behnke et.al (2005) ได้ทำการศึกษาการออกแบบและการเลือกอุปกรณ์ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน พบว่ากระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่มีการใช้อุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้น โดยสามารถผลิตได้ทั้งผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ขึ้นอยู่กับสภาวะการดำเนินงาน โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจะอาศัยแรงดันอัดวัตถุบีบออกผ่านรูหน้าแปลนขนาดเล็กที่อุณหภูมิสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดการขยายตัว ซึ่งความดันและอุณหภูมินี้สามารถควบคุมได้โดยการออกแบบลักษณะของสกรูและการควบคุมสภาวะการผลิต ส่วนลักษณะรูปร่างของผลิตภัณฑ์สุดท้ายสามารถควบคุมได้ด้วยการออกแบบลักษณะของรูหน้าแปลน นอกจากนี้การออกแบบลักษณะของสกรูต่างกัน จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแตกต่างกันด้วย ส่วนใหญ่มักออกแบบสกรูโดยการปรับความถี่ร่องเกลียวหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู โดยใช้อัตราส่วนการขยาย (Compression ratio) อยู่ในช่วงระหว่าง 1:2-1:5 ซึ่งการเพิ่มอัตราส่วนการขยาย (Compression ratio) จะช่วยทำให้ความร้อนที่ได้จากการหมุนของสกรูกระจายเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้นและพบว่า อัตราการผลิต ความเร็วรอบของสกรู รูปร่างลักษณะของสกรูเป็นตัวควบคุมข้อจำกัดในการดำเนินการของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยวด้วย

Chao-Chi Chuang et.al (2004) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของรูปแบบสกรูต่อระยะเวลาและการเกิดเจลาติโนเซชันต่อกระบวนการผลิตเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูเดี่ยวของแป้งข้าว โดยทำการศึกษาสกรู 3 รูปแบบ ได้แก่ Forward, Mixing disc, Pin mixing พบว่า Mixing disc, Pin mixing ใช้เวลาในการผลิตนานทำให้เครื่องจักรมีการใช้พลังงานจำเพาะสูง, อุณหภูมิของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์เมื่อเทียบกับแบบ Forward อุณหภูมิจะสูงกว่า ส่วนรูหน้าแปลนไม่ได้ส่งผลต่อระยะเวลาในการผลิตมาก แต่ถ้าหากรูหน้าแปลนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้นก็จะช่วยลดเวลาในส่วนของการ Mixing disc จากการทดลองเมื่อมีการนำแบบของสกรูซึ่งมีรูปร่างภายนอกต่างกัน 3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ คือ Forward Screw, Mixing Bar and Disc Screw และ Mixing Disc Screw มาทำการศึกษา โดยกำหนดให้ปลายของสกรูทั้ง 3 แบบต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า ในหน้าแปลนขนาดเดียวกัน Forward Screw จะใช้เวลาน้อยสุด ตามด้วย Mixing Bar and Disc Screw และ Mixing Disc Screw แต่การกระจายตัวของอุทกาศที่เกิดจากการเจลาติโนเซชัน ผลที่ได้จาก Mixing Bar and Disc Screw และ Mixing Disc Screw จะมีการกระจายที่อนุภาคขนาดสม่ำเสมอและเล็กกว่าแบบ Forward Screw

Ficarella et.al (2004) ได้ทำการศึกษากระบวนการเอ็กซ์ทรูชันรีพัสซ์ด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่แบบไหลย้อนกลับ พบว่ารูปแบบของสกรูมีอิทธิพลต่อกระบวนการ เนื่องจากจะส่งผลต่อค่าอัตราเฉือน เวลาพัก และความสามารถในการผสม โดยสกรูที่มีลักษณะปกติจะให้ค่าอัตราเฉือนใกล้เคียงกันตลอดความยาวสกรู ส่วนสกรูที่มีรูปแบบซับซ้อนจะให้ค่าอัตราเฉือนที่สูงกว่าแต่มีความยากในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เนื่องจากมีความแปรปรวนของอัตราเฉือนมากกว่า

Fogarty et.al ได้ทำการศึกษาการออกแบบสกรูสำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันโฟมในพลาสติก "Turbo-Cool screw" พบว่า เมื่อมีการออกแบบสกรูให้มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ทางเข้า กับพื้นที่ทางออกเป็น 4:1 และให้พื้นที่เกลียวมีลักษณะเป็นปีกรอบตัวสกรูพร้อมกับมีร่องลึกที่บริเวณปีกเกลียว จะช่วยทำให้โพลีเมอร์ที่เหลวร้อนสามารถไหลผ่านร่องจากส่วนอัดตัวไปสู่ส่วนท้ายเพื่อออกจากรูหน้าแปลนได้ นอกจากนี้ยังช่วยทำให้การผสมและการถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งสกรูในลักษณะดังกล่าวนิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก สามารถช่วยลดพลังงาน ลดต้นทุนการผลิต และลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

Gordon et.al (2007) ได้ทำการศึกษาการออกแบบรูหน้าแปลน (die) ที่สามารถปรับได้สำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งได้มีการทดลองออกแบบรูหน้าแปลน ที่สามารถปรับแต่งค่าได้ โดยมีการเปลี่ยนรูปร่างรูหน้าแปลน เช่น การขยายความกว้าง ความยาว และความหนาแบบไม่สมมาตรกัน พบว่ารูปร่างของรูหน้าแปลนส่งผลกระทบต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย กล่าวคือจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปร่างตามลักษณะของรูหน้าแปลนที่ออกแบบและมีความหนืดต่างกันออกไปด้วย

2.6.3 งานวิจัยสภาวะการดำเนินการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน

Chen et.al (2000) ได้ทำการศึกษาการขยายตัวของตัวคิบ (Pellet) ที่ผลิตจากข้าว โดยการตรวจสอบอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงที่ทำให้อาหารมีลักษณะ โสกล้ายแก้วและอุณหภูมิการขยายตัว พบว่าข้าวสามารถผลิตเป็นตัวคิบได้ โดยอาศัยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว โดยค่าของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงที่ทำให้อาหารมีลักษณะ โสกล้ายแก้วและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขยายตัวจะขึ้นกับความชื้นสมดุลเมื่ออาหารมีลักษณะเป็นพลาสติก ซึ่งการขยายตัวของตัวคิบนี้ จะเกิดขึ้นในส่วนของวัตถุดิบที่มีลักษณะหนืดเหนียวคล้ายยาง โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตตัวคิบ ต้องควบคุมให้ความเร็วรอบของสกรูต่ำเพื่อให้เกิดแรงเฉือนต่ำ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะมี ลักษณะไม่พองใสคล้ายแก้ว จึงต้องการแรงเฉือนต่ำ นอกจากนี้อาจมีการเพิ่มน้ำหล่อเย็นเพื่อช่วยลด อุณหภูมิก่อนออกรูก้อนน้ำแปลงไม่ให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายพองตัว

Choi et.al (2007) ได้ทำการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมตามความต้องการของ ผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ 3rd generation ที่ผลิตจากถั่วลิสงและแป้งข้าว โดยสามารถผลิตอาหารขบ เคี้ยวที่ไม่พองตัวได้โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแห้งมีลักษณะเป็นผลิตภัณฑ์ กึ่งสำเร็จรูป (ความชื้น 11% หรือ 12%) พบว่าอัตราการป้อนวัตถุดิบมีอิทธิพลต่อสภาวะที่เหมาะสม ของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของผู้บริโภคมากที่สุด ตามด้วยปริมาณแป้ง และความเร็วยรอบของ สกรู

Hagenimana et.al (2004) ได้ทำการศึกษาค่าของแป้งข้าวที่ตัดแปลงโดยกระบวนการ เอ็กซ์ทรูชัน จากการศึกษาโดยทำการปรับสภาวะการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิที่บาร์เรล ความชื้นวัตถุดิบ เริ่มต้นและความเร็วรอบของสกรู พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่บาร์เรลจะมีผลทำให้ค่าความหนาแน่น รวม, ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มความชื้นของ วัตถุดิบเริ่มต้นจะมีผลทำให้เอ็กซ์ทรูเดทที่ได้มีค่าความหนาแน่นรวม, ค่าความสามารถในการ การละลายน้ำเพิ่มขึ้นแต่จะทำให้อัตราส่วนการขยายตัวและค่าความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง ในขณะที่การเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะทำให้ค่าความหนาแน่นรวม, ค่าความสามารถในการดูด ชับน้ำลดลง แต่จะทำให้ค่าความสามารถในการการละลายน้ำเพิ่มขึ้น

Valle et.al (1997) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและ พฤติกรรมการขยายตัวในกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันของแป้งหลอมเหลว พบว่าแป้งแต่ละ ชนิดมีปริมาณอะไมโลสต่างกัน ส่งผลให้คุณสมบัติความหนืดเหนียวต่างกันด้วย ซึ่งใน กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน แป้งจะได้รับความร้อนแล้วหลอมเหลว อัดผ่านรูก้อนน้ำแปลงขนาดเล็กและ เกิดการขยายตัวขึ้น โดยเมื่อการขยายตัวเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นค่าความหนืดในการหลอมเหลวจะลดลง นอกจากนี้ความแข็งตัวของเอ็กซ์ทรูเดทที่ได้ขึ้นกับอัตราเฉือนและปริมาณอะไมโลสด้วย

Yu et.al ได้ทำการศึกษากระบวนการทำเส้นพาสต้าที่มีลักษณะเหมือนเส้นค้ายระหว่าง การผลิตชีส Mozzarella โดยเน้นที่การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของระบบ อัน ได้แก่ พลังงานจำเพาะของเครื่องจักร (SME: Specific Mechanical Energy) และอุณหภูมิทางออก (TE: Exit Temperature) กับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เพื่อทำการหาสภาวะที่เหมาะสมของ ผลิตภัณฑ์โดยการปรับสภาวะในการดำเนินการผลิต ซึ่งพบว่าเมื่อการดำเนินการผลิต โดยใช้ อุณหภูมิต่ำ จะได้ผลิตภัณฑ์แบบเส้นพาสต้า และผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นตัวคิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Pellet) แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพองตัวแบบอาหารขบเคี้ยว และเมื่อพลังงานจำเพาะของเครื่องจักร (SME: Specific Mechanical Energy) เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง

2.6.4 งานวิจัยคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้อง

Chulaluck Charunuch et.al ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของอาหารขบเคี้ยวประเภทสุกพองจากข้าวกล้องของไทย 2 สายพันธุ์ พบว่าทิศทางการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเครื่องเอ็กทราเตอร์แบบสกรูคู่ที่ความชื้นและความเร็วรอบต่าง ๆ นั้นปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ (การพองตัว) ของผลิตภัณฑ์ คือ ความชื้นและความเร็วรอบ กล่าวคือเมื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์และเพิ่มความเร็วรอบอัตราส่วนการพองตัวจะมากขึ้น ความหนาแน่นจะน้อยลง และเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ทั้งนี้ผลกระทบยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าวด้วย

ปิยมาศ และคณะ ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสต้าข้าวเจ้าที่ได้จากการอัดพอง โดยใช้แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ต่าง ๆ เมื่อผ่านกระบวนการอัดพองด้วยเครื่องเอ็กทราเตอร์แบบสกรูคู่ที่สภาวะแตกต่างกันของระดับความชื้นของแป้ง อุณหภูมิของบารเรลและความเร็วรอบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นคล้ายสปาเกตตี เมื่อนำมาทดสอบลักษณะทางกายภาพ (อัตราการอัดพองและความหนาแน่น) คุณภาพในการหุงต้ม (ระยะเวลาในการต้ม น้ำหนักหลังต้มและการสูญเสียระหว่างการต้ม) และคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (ความหนาแน่น ความเหนียวติดที่ผิวและความต้านทานต่อแรงดึง) พบว่าสปาเกตตีจากข้าวเหลืองประทิว 123 มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเส้นสปาเกตตีทางการค้ามากที่สุด

บทที่ 3

วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

ข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท1 ที่มีเปอร์เซ็นต์การงอก 89% จำนวน 95 กิโลกรัม แบ่งเป็น

- ทดลองปรับสภาวะกระบวนการผลิต จำนวน 45 กิโลกรัม
- ทดลองออกแบบสกรู จำนวน 50 กิโลกรัม

3.1.1.1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

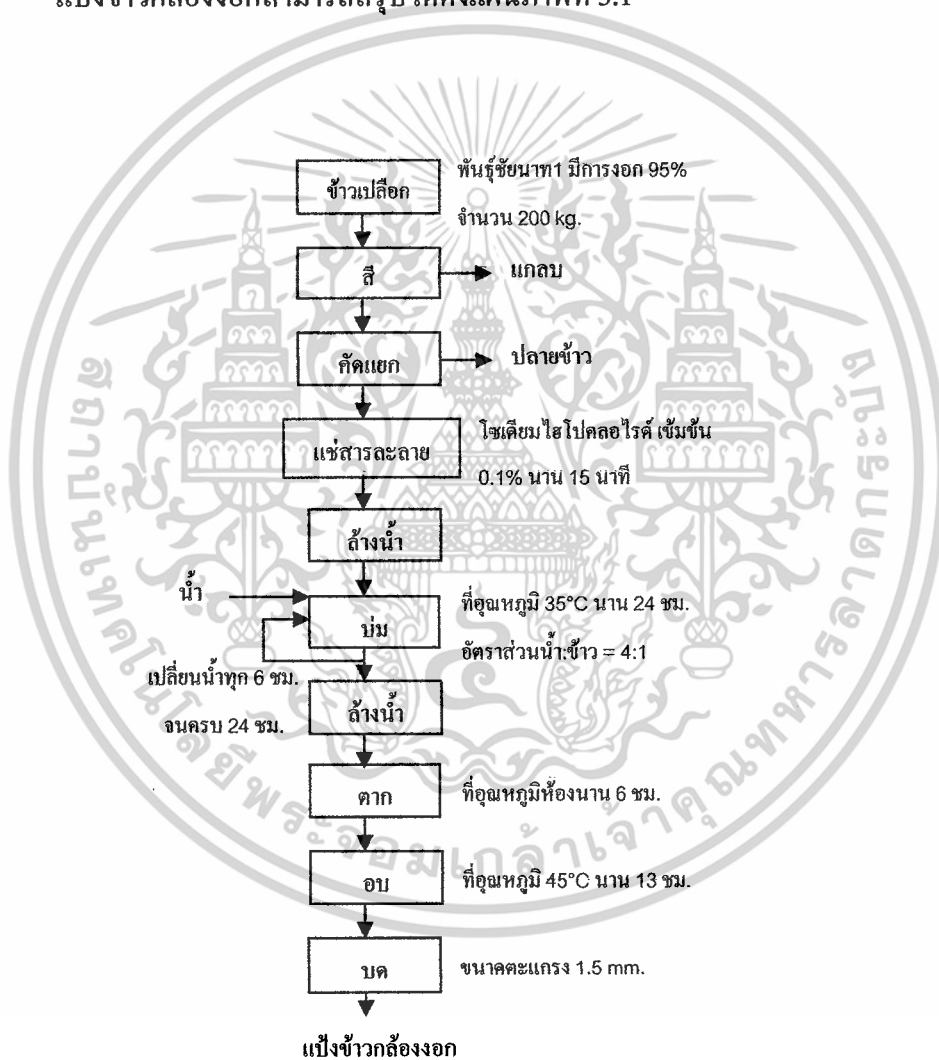
วัตถุดิบที่ทำการเตรียมคือข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 มีระดับการงอกสูงกว่า 89% ปริมาณ 200 กิโลกรัม เพื่อทำเป็นข้าวกล้องงอกซึ่งวิธีการเตรียมมีดังนี้

1. นำข้าวเปลือกทั้งหมดมาทำการสีเอาแกลบออกโดยไม่ต้องขัด และคัดแยกเอาแต่ข้าวเต็มเมล็ด จะได้ข้าวกล้องประมาณ 115 กิโลกรัม (ขณะทำการสีจะต้องระมัดระวังไม่ให้จมูกข้าวหลุดออกเพราะเวลาแช่ข้าวจะไม่งอก)
2. นำข้าวกล้องที่ได้มาฆ่าเชื้อโดยแช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1% เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปล้างน้ำ
3. นำข้าวกล้องที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาแช่น้ำโดยมีอัตราส่วนระหว่างข้าว:น้ำ เป็น 1:4 (โดยปริมาตร) แล้วนำเข้าตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิที่ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ขณะทำการบ่มจะต้องทำการเปลี่ยนน้ำทุกๆ 6 ชั่วโมงจนครบ 24 ชั่วโมง ในการเปลี่ยนน้ำแต่ละครั้งจะต้องตักข้าวออกมาจากถังให้หมด โดยใช้ผ้าขาวบางรอง เพื่อป้องกันการไม่ให้ข้าวบริเวณก้นถังเกิดการหมักและกลิ่นเหม็น
5. เมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมงจะเห็นลักษณะการงอกของจมูกข้าวหรือที่เราเรียกว่า ข้าวกล้องงอก นำข้าวกล้องงอกที่ได้มาล้างน้ำจนสะอาดเพื่อชำระล้างสิ่งแปลกปลอมและลดกลิ่นข้าวหมัก จากนั้นนำมาผึ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมงหรือจนข้าวหมาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำข้าวกล้องงอกมาอบด้วยตู้อบลมร้อน (Tray Dryer) ที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 13 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำข้าวกล้องงอกออกมาตากที่อุณหภูมิห้องอีกครั้งเพื่อให้ข้าวเย็นตัวลง (หากยังไม่นำมาใช้ควรเก็บไว้ในห้องเย็นที่ 4 °C)

7. นำข้าวกล้องงอกมาบดด้วยเครื่องบด ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงเป็น 1.5 มิลลิเมตร เมื่อบดแล้วจะได้เป็นแป้งข้าวกล้องงอก นำมาใส่ถุงพลาสติกที่สามารถกันความชื้นและเก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อรอการนำไปใช้ โดยขั้นตอนการเตรียมแป้งข้าวกล้องงอกสามารถสรุปได้ดังแผนภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพวัตถุดิบที่นำมาใช้คือข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 ปริมาณ 200 กิโลกรัม จากศูนย์วิจัยข้าวพระนครศรีอยุธยา วัตถุดิบมีคุณสมบัติดังนี้

- ความชื้น 12.70 %
- ความบริสุทธิ์ 98.70 %
- ความงอก 89.00 %
- เมล็ดอื่นๆ 0.00 %
- สิ่งเจือปน 1.30 %
- ข้าวแดง 0.00 %

วันที่เก็บเกี่ยว 15 เมษายน 2551

วันที่ทดสอบ 30 ตุลาคม 2551

นำข้าวเปลือกทั้งหมดมาทำการสีเอาแกลบออก โดยไม่ต้องขัด ขณะทำการสีจะต้องระมัดระวังไม่ให้จมูกข้าวหลุดออกเพราะเวลาแช่ข้าวจะไม่งอก คัดแยกเอาแต่ข้าวเต็มเมล็ด จะได้ข้าวกล้องประมาณ 115 กิโลกรัม นำข้าวกล้องที่ได้เก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 °C (การเก็บรักษาไม่ควรเก็บข้าวกล้องไว้นานเกิน 4 วันหลังการกะเทาะเปลือกเพราะข้าวกล้องจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ดังนั้นเมื่อทำการกะเทาะเปลือกแล้วควรนำไปทำนอกทันที) ก่อนการทำนอกนำข้าวกล้องออกมาฝั่จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

การทำข้าวงอก (วรรณมาและคณะ,2549) นำข้าวกล้องที่ได้มาฆ่าเชื้อโดยแช่สารละลายไฮโปคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1% เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปล้างน้ำให้สะอาด จากนั้นนำข้าวกล้องที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาแช่น้ำโดยมีอัตราส่วนระหว่าง ข้าว:น้ำ เป็น 1:4 (โดยปริมาตร) แล้วนำเข้าตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิที่ 35 °C ขณะทำการบ่มจะต้องทำการเปลี่ยนน้ำทุกๆ 6 ชั่วโมงจนครบ 24 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้จะสังเกตได้ว่าข้าวกล้องจะมีกลิ่นหมักเกิดขึ้น ในการเปลี่ยนน้ำแต่ละครั้งจะต้องตักข้าวออกมาจากถังให้หมดโดยใช้ผ้าขาวบางรอง เพื่อป้องกันไม่ให้ข้าวบริเวณก้นถังเกิดการหมักและกลิ่นเหม็น เมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมงจะเห็นลักษณะการงอกของจมูกข้าวหรือที่เราเรียกว่า ข้าวกล้องงอก นำข้าวกล้องงอกที่ได้มาล้างน้ำจนสะอาดเพื่อชำระล้างสิ่งแปลกปลอมและลดกลิ่นข้าวหมัก จากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาผึ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมงหรือจนข้าวหมาด การผึ่งจะใช้ผ้าขาวบางรองบนโต๊ะยาว เทและเกลี่ยข้าวให้มีความหนาสม่ำเสมอและไม่หนาจนเกินไป เปิดพัดลมระบายอากาศจะช่วยให้ข้าวแห้งเร็วขึ้น เมื่อข้าวหมาดแล้วนำมาอบด้วยตู้อบลมร้อน (Tray Dryer) ที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 13 ชั่วโมง การอบจะเทและเกลี่ยข้าวลงบนถาดที่มีผ้าขาวบางรอง ความหนาของแต่ละถาดเท่ากัน และสม่ำเสมอ ระหว่างอบทุกๆ 2 ชั่วโมงมีการกวาดและสลับถาดจากบนลงล่าง เพื่อให้ข้าวแต่ละถาดแห้งเร็วขึ้น เมื่อครบเวลานำข้าวกล็องงอกออกมาผึ่งจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องและเก็บไว้ในห้องเย็นที่ 4 °C

ก่อนบดนำข้าวกล็องงอกออกมาผึ่งจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง บดด้วยเครื่องบด (เครื่องบดภาควิชาวิศวกรรมเคมี) ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงเป็น 1.5 มิลลิเมตรทำการบด 2 รอบ ระหว่างบดอัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ เมื่อบดแล้วจะได้เป็นแป้งข้าวกล็องงอก บรรจุใส่ถุงพลาสติกที่สามารถกันความชื้นได้ เก็บไว้ในห้องเย็นที่ 4 °C เพื่อรอการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่อง Extruder Single Screw
2. เครื่องบด (Hammer Mill)
3. เครื่อง Magnetic Stirrer
4. เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืช (Ketts)
5. เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT Plus
6. เครื่อง Rapid Visco Analyzer รุ่น Rva-4
7. เครื่อง Centifuge + Centifuge
8. ตู้อบลมร้อน (Tray Dryer)
9. ตู้บ่ม (Incubator) (เครื่องในคณะอุตสาหกรรมเกษตร)
10. เครื่อง Hot Plate
11. ตู้อบ (Oven)
12. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
13. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เครื่องปั่น
15. ตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมครอน
16. โถดูดความชื้น
17. กระจับอ็อกตวงอะลูมิเนียมขนาด 1 ลิตร
18. กระจับอ็อกตวงพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร
18. เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์
19. เครื่อง Seal
20. ปีเปต
21. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

3.2 การวางแผนการทดลอง

การศึกษาวิจัยโครงการนี้แบ่งการวางแผนการทดลองออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.2.1 การออกแบบสกรูและหน้าแปลน

สกรูที่ทำการออกแบบนั้น อาศัยหลักการลดแรงเสียดทานและอัตราการอัดของสกรูที่เกิดขึ้นในระบบให้ต่ำลง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเหนียวหนืดและไม่เกิดการพองตัวด้วยการปรับลดความถี่ร่องเกลียวและระยะพิทช์ของสกรู โดยคำนึงหลักการออกแบบสกรูโดยทั่วไปเป็นหลัก การออกแบบหน้าแปลนกำหนดให้รูเปิดมีขนาดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด โดยคำนึงว่าพื้นที่รวมของรูเปิดจะต้องเท่ากับพื้นที่รวมของหน้าแปลนมาตรฐาน

การทดสอบสมรรถนะของหน้าแปลนและสกรูที่สภาวะเดียวกัน คือความชื้นของวัตถุดิบเริ่มต้น 25% และความเร็วรอบของสกรู 500 rpm ดังนี้

สกรู 4 แบบ

- สกรูมาตรฐานในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร (STD)
- สกรูที่เพิ่มความถี่ร่องเกลียวเป็น 2 เท่าของสกรูมาตรฐาน (2H)
- สกรูที่เพิ่มระยะห่างระหว่างร่องเกลียวเป็น 2 เท่าของสกรูมาตรฐาน (2P)
- สกรูที่มีความถี่ร่องเกลียวส่วนป้อนวัตถุดิบเป็น 2 เท่าของส่วนเดือน (2:1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าแปลน 2 แบบ

- หน้าแปลนมาตรฐานขนาดรูเปิด 4 มิลลิเมตร (2 รู)
- หน้าแปลนใหม่ขนาดรูเปิด 2 มิลลิเมตร (8 รู)

3.3.2 การหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม

การทดลองการปรับสภาวะการผลิตโดยศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรู ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบน้อยเมื่อผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจะเกิดความร้อนทำให้น้ำระเหยออกอากาศจึงเข้าไปแทนที่อย่างรวดเร็วผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะพองตัว ขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบมากกว่าเมื่อผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณน้ำเหลืออยู่มาก อากาศจึงเข้าไปแทนที่ได้น้อยทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเรียบเนียน การทดลองการปรับสภาวะการผลิตจึงกำหนดให้ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบแตกต่างกัน 3 ระดับคือ 22.5%, 25.0% และ 27.5%

ความเร็วรอบมีผลต่ออัตราเนียนของสกรู อัตราเนียนจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบของสกรู อัตราเนียนนอกจากจะทำให้อาหารผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วยังช่วยให้หน้าและแป้งสัมผัสกันได้เร็วขึ้น เม็ดแป้งจะสูญเสียสภาพ โดยถูกทำลายทางกล (Mechanical Starch Granule Degradation) อัตราเนียนทำให้โมเลกุลของแป้งถูกทำลายเมื่อถูกความร้อนเม็ดแป้งจะพองตัวและแตกออกเป็นสารขึ้นหืนนี้เรียกว่าปฏิกิริยาเจลลาติไนเซชันหรือแป้งสุก การทดลองการปรับสภาวะการผลิตจึงกำหนดให้ความเร็วรอบของสกรูแตกต่างกัน 3 ระดับคือ 400 rpm, 500 rpm และ 600 rpm

การหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม การทดลองแบ่งเป็น 3 ระดับ ประกอบด้วย 9 การทดลองที่สภาวะต่างกั้ดังตารางที่ 3.2 โดยบอกความหมายของตัวแปรและสัญลักษณ์ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์	ระดับ	-1	0	1
	ค่าตัวแปร			
X_1	ความชื้นของวัตถุดิบ (%wb)	22.50	25.00	27.50
X_2	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	400	500	600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง

No.	X_1	X_2
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0
9	1	1

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์ 3rd generation ที่ได้จากการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของการออกแบบสกรูและหน้าแปลน
2. ส่วนของการศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม

3.3.1 การทดลองส่วนของการออกแบบสกรูและหน้าแปลน

1. ชั่งน้ำหนักขี้ข้าวกล้องงอกที่บดแล้วตวงละ 5 กิโลกรัม 10 ตุง
2. นำข้าวกล้องงอกแต่ละตุงมาทำการปรับสภาวะที่ ความชื้น 25%
3. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนสกรูและหน้าแปลน ดังนี้

หน้าแปลนใหม่ขนาดรูเปิด 2 มิลลิเมตร (8 รู)

- สกรูที่เพิ่มความถี่ร่องเกลียวเป็น 2 เท่าของสกรูมาตรฐาน (2H) ที่ความเร็วรอบ 500 rpm
- สกรูที่เพิ่มระยะห่างระหว่างร่องเกลียวเป็น 2 เท่าของสกรูมาตรฐาน (2P) ที่ความเร็วรอบ 350 rpm, 500rpm
- สกรูที่มีความถี่ร่องเกลียวส่วนป้อนวัตถุดิบเป็น 2 เท่าของส่วนเฉือน (2:1) ที่ความเร็วรอบ 300 rpm, 400rpm, 500rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าแปลนมาตรฐานขนาดรูเปิด 4 มิลลิเมตร (2 รู)

- สกรูที่เพิ่มความลึกร่องเกลียวเป็น 2 เท่าของสกรูมาตรฐาน (2H) ที่ความเร็วรอบ 500 rpm
- สกรูที่เพิ่มระยะห่างระหว่างร่องเกลียวเป็น 2 เท่าของสกรูมาตรฐาน (2P) ที่ความเร็วรอบ 500rpm
- สกรูที่มีความลึกร่องเกลียวส่วนป้อนวัตถุดิบเป็น 2 เท่าของส่วนเลื่อน (2:1) ที่ความเร็วรอบ 500rpm
- สกรูมาตรฐานในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร (STD) ที่ความเร็วรอบ 500rpm

5. ทำการทดลองโดยปรับอุณหภูมิบาร์เรลเริ่มต้นที่ 65°C ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่โดยปรับระดับน้ำหล่อเย็น จากนั้นค่อยๆ ใส่แป้งข้าวกล้องงอกลงไปในถังป้อนของเครื่องเอ็กทราคเตอร์

6. ทิ้งไว้สักครู่เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีความเสถียรจึงเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์

7. ทำการทดลองจนครบตามสกรูที่ได้ทำการออกแบบไว้ที่ความเร็วรอบดังกล่าว

8. นำผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากเครื่องเอ็กทราคเตอร์พักไว้จนเย็นตัวก่อนทำการบรรจุลงในถุงพลาสติก

9. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.2 การทดลองส่วนของการหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม

1. ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องงอกที่บดแล้วถุงละ 5 กิโลกรัม 9 ถุง

2. นำข้าวกล้องงอกแต่ละถุงมาทำการปรับสภาวะที่ ความชื้น 22.5%, 25%, 27.5% อย่างละ 3 ถุง

3. ทำการทดลองโดยใช้สกรูมาตรฐานในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร (STD) และหน้าแปลนใหม่ขนาดรูเปิด 2 มิลลิเมตร (8 รู) โดยปรับสภาวะ ดังนี้

- ความชื้น 22.5% ความเร็วรอบ 300rpm, 400rpm, 500rpm

- ความชื้น 25% ความเร็วรอบ 300rpm, 400rpm, 500rpm

- ความชื้น 27.5% ความเร็วรอบ 300rpm, 400rpm, 500rpm

5. ทำการทดลองโดยปรับอุณหภูมิบาร์เรลเริ่มต้นที่ 65°C ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่โดยปรับระดับน้ำหล่อเย็น จากนั้นค่อยๆ ใส่แป้งข้าวกล้องงอกลงไปในถังป้อนของเครื่องเอ็กทราคเตอร์

6. ทิ้งไว้สักครู่เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีความเสถียรจึงเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์

7. ทำการทดลองจนครบตามสภาวะดังกล่าว

8. นำผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากเครื่องเอ็กทราคเตอร์พักไว้จนเย็นตัวก่อนทำการบรรจุลงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถุงพลาสติก

9. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (3rd Generation Product)

3.4.1 การหาขนาดอนุภาค

ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยวิธี Screen Analysis

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ต้องการหาขนาด 250 กรัม
2. จัดเรียงตะแกรงกักขนาด (sieve) โดยเลือกให้ตะแกรงที่มีขนาด mesh no. น้อยที่สุด (ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของตะแกรงใหญ่สุด) อยู่ด้านบน ส่วนตะแกรงที่มีขนาด mesh no. มากที่สุดจะอยู่ด้านล่างสุด และปิดท้ายด้วยภาชนะรองรับ
3. นำตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแล้ว เทลงบน sieve ชั้นบนสุด ปิดฝาครอบ
4. นำ sieve ทั้งหมดเข้า เครื่องเขย่ากักขนาด (Sieve Shaker)
5. เปิดเครื่องเขย่า (ปรับให้การสั่นเป็นลักษณะ 3 มิติ) ตั้งเวลาในการเขย่า 20 นาที
6. เมื่อครบเวลา นำตะแกรงทั้งหมดออกจากเครื่องเขย่า
7. บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้น
8. คำนวณหาขนาดอนุภาค จากสมการ

$$D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n X_i / D_{pi}}$$

3.4.2 ค่าความชื้น (Moisture Content)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาเปล่า บันทึกน้ำหนัก
2. นำตัวอย่างที่บดแล้ว ใส่ลงในภาชนะ ประมาณ 2 กรัม
3. นำภาชนะพร้อมฝาเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. ปิดฝาภาชนะแล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้น ประมาณ 20 นาที
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ
6. คำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานเป็ยก จากสมการ

$$MC(\%wb) = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 คุณสมบัติความหนืด (Pasting Properties)

วิเคราะห์โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA-4 SA, Newport Scientific PYT Ltd., NSW, Australia)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่อง RVA , Computer และปั้มน้ำ
2. เข้าโปรแกรม RVA และทำการอุ่นเครื่องเป็นเวลา 30 นาที
3. ทำการ calibrate ไบพาย (paddle)
4. เลือกรูปแบบการวัดความหนืดของข้าวซึ่งแสดงคังตาราง
5. ทำการตั้งชื่อไฟล์และเลือก Folder ที่จะทำการจัดเก็บข้อมูลผลการทดลอง
6. ชั่งตัวอย่างบดที่ร่อนผ่านตะแกรง 70 mesh ประมาณ 3.0 กรัม
7. กรณีที่ตัวอย่างมีความชื้น 12% ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25.00 ± 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงไปใน Aluminum can ปริมาณของตัวอย่างและน้ำที่ใช้ควรคำนึงถึงค่าความชื้นของตัวอย่างด้วยโดยสามารถคำนวณจากสมการ

$$S = 88 \times 3 / (100 - M)$$

$$W = 28.0 = S$$

เมื่อ $S =$ น้ำหนักของตัวอย่างที่ถูกต้อง (g)

$M =$ ความชื้นจริงของตัวอย่าง (%)

$W =$ ปริมาตรน้ำที่ถูกต้อง (ml)

รอนเครื่องขึ้น Rum ready จึงใส่ตัวอย่างลงใน aluminum can ที่มีน้ำอยู่

8. ใส่ไบพายลงใน aluminum can หมุนไบพายไปมาแรงๆ และดึงขึ้นลงเพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิวหน้าหรือไบพาย
9. นำ aluminum can ที่ใส่ไบพายเข้าเครื่อง RVA กดลงเพื่อให้เครื่องทำงานอัตโนมัติ
10. จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อเวลาที่ได้ อ่านและบันทึกค่าต่าง ๆ ดังนี้ ค่าความหนืดเมื่อตัวอย่างพองตัวสูงสุด (Peak Viscosity) , ความหนืดเมื่อตัวอย่างเย็นตัว (Final Viscosity) , ความหนืดเมื่อตัวอย่างคืนตัว Setback และเวลาที่ตัวอย่างพองตัวสูงสุด (Peak time)
11. นำ aluminum can และไบพายออกจากตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) และความสามารถในการละลายน้ำ (WSI)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. บดตัวอย่างด้วยเครื่องปั่น
 2. นำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 425 ไมครอน
 3. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบดประมาณ 2.5 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรบนตึกน้ำหนัก
 4. เตรียมน้ำกลั่นประมาณ 30 กรัมลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร บนตึกน้ำหนัก
 5. ทำการคนอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 30 นาที
 6. เทตัวอย่างที่คนเสร็จแล้วลงในหลอด Centrifuge ที่ทราบน้ำหนักเริ่มต้น
 7. นำมาเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge โดยใช้ความเร็วที่ 3000 g เป็นเวลา 10 นาที
 8. ปิดเครื่อง แยกส่วนใสที่ได้ลงในจานระเหยที่ทราบน้ำหนักและทำการชั่งน้ำหนัก ส่วนตะกอนที่กั้นหลอดให้นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า WAI จากสมการการคำนวณ
- $$\text{WAI (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น (g)}}$$
9. ระเหยส่วนใสบนเครื่อง Hot Plate จนแห้งแล้วจึงนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่
 10. นำจานระเหยออกมาวางไว้ในโถดูดความชื้นให้เย็นเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่า WSI

$$\text{WSI (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่ละลายในส่วนใส (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น (g)}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์โดยเครื่อง Texture Analyzer (TA-Xt.Plus. Stable Micro system Co., Ltd., UK)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ประกอบหัววัดแบบ Warner-Blatzler Blade และฐานเข้ากับตัวเครื่อง
2. เปิดเครื่อง TA และ Computer
3. เข้าโปรแกรม Texture Exponent 32
4. ทำการ Calibrate force โดยใช้ค้อนน้ำหนักมาตรฐาน 3,000 กรัม
5. ทำการ Calibrate height โดยตั้งระยะหัววัดให้สูงกว่าความสูงของตัวอย่าง
6. ตั้งโปรแกรม โดยเลือกรูปแบบการทดสอบพร้อมทั้งจัดค่าความเร็วหัววัดเริ่มต้น 1 mm/s ความเร็วขณะกดเป็น 2 mm/s ความเร็วของหัวกลับเป็น 10 mm/s ระยะที่ใช้กดเป็น 20 mm แรงกดเริ่มต้นที่ 5 g และ Acquisition Rate เป็น 400 pps รวมถึงตั้งหน่วยของกราฟที่ต้องการ โดยแกน X เป็นเวลา (s) และแกน Y เป็นแรง (g)
7. นำตัวอย่างมา 1 ชิ้น และทำเครื่องหมายตรงตำแหน่งที่ต้องการวัด
8. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างตรงตำแหน่งที่ทำเครื่องหมาย
9. นำไปตั้งไว้ฐาน
10. เดินเครื่อง โดยควบคุมตำแหน่งกดให้มั่นคง รอจนกระทั่งเครื่องทำงานเสร็จ
11. ทำการวัดค่าแรงกด 10 ซ้ำ
12. บันทึกกราฟที่ได้ อ่านค่า ความแข็งจากแรงแตกหักสูงสุด (Hardness, g) และความเหนียวจากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกดกับเวลา (Adhesiveness ,g.sec)

ก่อนนำตัวอย่างไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) จะต้องทำการต้มตัวอย่างก่อน โดยใช้ตัวอย่างปริมาณ 100 กรัมต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร อุณหภูมิที่ใช้ต้มคงที่ 100 องศาเซลเซียส และทำการทดสอบตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

- ตัวอย่างที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลน จะใช้เวลาในการต้ม 7 นาที

- ตัวอย่างที่ได้จากการปรับสภาวะการผลิต จะใช้เวลาในการต้มแตกต่างกันดังนี้

 ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 22.5% จะใช้เวลาในการต้ม 7 นาที

 ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 25.0% จะใช้เวลาในการต้ม 3 นาที

 ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 27.5% จะใช้เวลาในการต้ม 2 นาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการต้มผลิตภัณฑ์มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ถ้าใช้ระยะเวลาในการต้มนานเกินไปจะทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์เปื่อยยุ่ย แต่ถ้าใช้ระยะเวลาในการต้มน้อยเกินไปจะทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์แข็ง ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัส จะแตกต่างจากการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัมผลิตภัณฑ์จริงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (หมายเหตุ ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการดัมผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่างนั้นไม่เท่ากัน เพราะผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่างมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการดัมผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่างดังกล่าวได้มานั้น แต่วัสดุที่ได้อาจไม่ใช่ระยะเวลาที่เหมาะสมอย่างแท้จริง)

3.4.6 ความหนาแน่น (Density)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. สุ่มเลือกตัวอย่างที่จะทำการวัดค่ามา 5 ชิ้น
2. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละชิ้นแล้วบันทึกค่าที่ได้
3. ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง 3 ตำแหน่งหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย และความยาวของตัวอย่างแต่ละชิ้นแล้วบันทึกค่าที่ได้
4. คำนวณหาปริมาตรของตัวอย่างแต่ละชิ้นจากสมการ

$$\text{ปริมาตรตัวอย่าง (cm}^3\text{)} = \pi/4(d^2)$$

5. คำนวณความหนาแน่นจากสมการ

$$\text{ความหนาแน่นชิ้น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (g)}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (cm}^3\text{)}}$$

3.4.7 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (Expansion Ratio, ER)

คือ ค่าอัตราส่วนการพองตัวของเอ็กซ์ทรูเดต

คำนวณจากสมการ โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 10 ชิ้น

$$ER = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่าง (mm)}}{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าแปลน(mm)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 ปริมาณของแข็งสูญเสีย (Solid loss)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำน้ำที่เหลือจากการต้มตัวอย่างที่นำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) กรองด้วยตะแกรงขนาดปริมาตร 2 มิลลิเมตรมาทำ การเหวี่ยงแยกด้วยเครื่อง Centrifuge โดยใช้ความเร็วที่ 3000 g เป็นเวลา 10 นาที
2. คูดเอาของเหลวใสออก จากนั้นนำตะกอนเปียกที่ก้นหลอดมาชั่งแล้วบันทึกค่า
3. แบ่งตะกอนเปียกที่เหวี่ยงได้มาอบหาความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่แล้วคำนวณหาความชื้น จะได้เป็น % ความชื้นของตะกอนเปียก
4. คำนวณหา % ของแข็งของตะกอนเปียกจากความสัมพันธ์

$$\% \text{ของแข็งของตะกอนเปียก} = 100 - \% \text{ความชื้นของตะกอนเปียก}$$

5. คำนวณหาปริมาณของแข็งสูญเสีย (Solid loss) จากความสัมพันธ์

$$\% \text{ของแข็งสูญเสีย} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งทั้งหมดในตะกอนเปียก (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}$$

$$\% \text{ของแข็งสูญเสีย} = \frac{(\text{น้ำหนักตะกอนเปียกทั้งหมด (g)} \times \% \text{ของแข็งของตะกอนเปียก})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}$$

3.4.9 ค่าความสว่างของสี (L*)

ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Colorimeter

1. เปิดแผ่นค้ำบังแสงออกแล้วเอากล่องดำครอบที่วัสดุ
2. เลือก Measurement แล้วกด Enter
3. ปิดแผ่นบังแสงโดยครอบกล่องดำไว้เหมือนเดิม จากนั้นกด F1
4. เปิดแผ่นบังแสงออกแล้วใส่แผ่นมาตรฐานเบิ่งสีขาวลงไปในตลับเพื่อทำการ calibrate แล้วครอบกล่องดำไว้เหมือนเดิม และกด F1
5. ตรวจวัดค่าที่ได้จากการวัดให้ตรงกับค่าที่ข้างกล่องแผ่นมาตรฐานเบิ่ง (ถ้าไม่ตรงต้องเริ่มทำตั้งแต่ขั้นที่ 1 ใหม่)
6. ใส่ตัวอย่างที่บดแล้วลงในตลับ ครอบกล่องดำและทำการวัดค่า
7. เวลาวัดให้กด F1 ตลอดเมื่อเริ่มทำการวัดค่าใหม่ทุกครั้ง
8. ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมให้กด F10
9. ทำการทดลองตัวอย่างละ 5 ซ้ำ และบันทึกค่าความสว่าง (L*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์ผลการทดลองใช้วิธี Response Surface Methodology (RSM) เลือกใช้รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบพหุนามอันดับที่ 2 ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาที่เกี่ยวกับคุณลักษณะบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ได้ รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Y_i = a_0X_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{12}X_1X_2 \quad (3-1)$$

เมื่อ Y_i = ตัวแปรตาม ได้แก่ ความชื้นของเอ็กซ์ทราคต ความหนาแน่น อัตราส่วนการขยายตัว ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการละลายน้ำ สี และลักษณะเนื้อสัมผัส

$$X_j = \begin{cases} \text{ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X}_1\text{)} \\ \text{ความเร็วรอบของสกรู (X}_2\text{)} \end{cases}$$

$$a_{ij} = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร โดยที่ } ij = 0,1,2$$

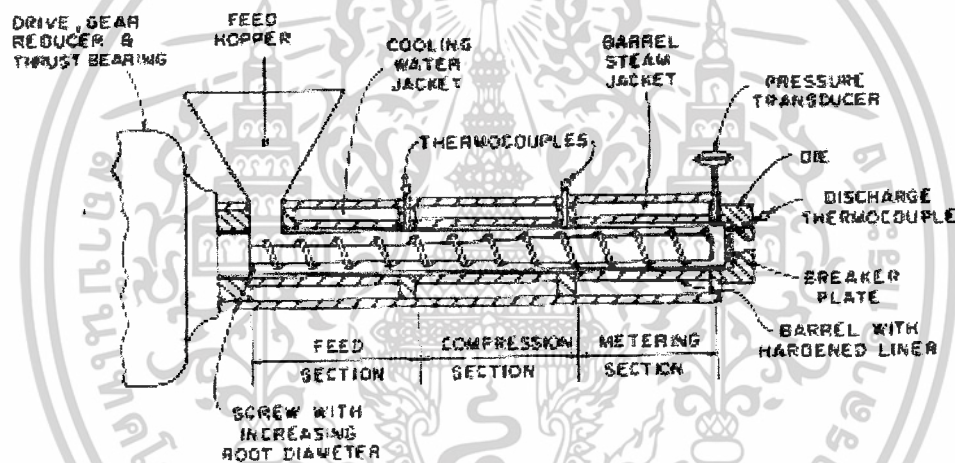
บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการทดลองและวิจารณ์ 1

ตอนที่ 1 การออกแบบสกรูและหน้าแปลน

4.1 การออกแบบสกรู

สกรุนับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เนื่องจากเป็นส่วนที่สร้างความร้อนขึ้นภายในระบบอันเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างสกรูกับวัตถุดิบ โดยสกรูสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

สกรูเอ็กซ์ทรูเดอร์มีลักษณะและ โครงสร้างหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบจะออกแบบมาให้เหมาะสมกับการใช้งาน ประเภทของวัตถุดิบ ต้นทุนการผลิต และประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยสกรูทั่วไปจะมีหลักการออกแบบและคำนวณดังสมการที่ 4.1

$$Y = \frac{\pi DN}{h} \quad (4.1)$$

โดยที่ Y = Shear rate (1/s)

D = Diameter (mm.)

N = Screw speed (rpm)

h = Distance (mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

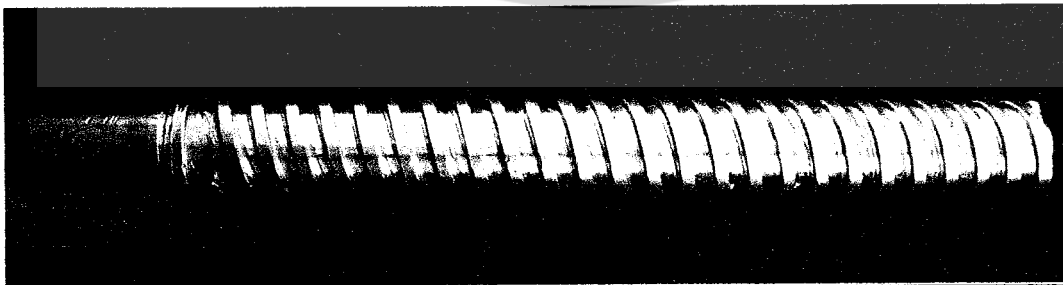
สกรูที่ทำการออกแบบนั้น อาศัยหลักการลดแรงเฉือนและอัตราการอัดของสกรูที่เกิดขึ้นในระบบให้ต่ำลง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเหนียวหนืดและไม่เกิดการพองตัว ด้วยการปรับลดความถี่ร่องเกลียวและระยะพิทช์ของสกรู โดยคานึงหลักการออกแบบสกรูโดยทั่วไปเป็นหลัก ซึ่งสกรูที่ออกแบบมีด้วยกัน 4 รูปแบบ ได้แก่

4.1.1 สกรูแบบที่ 1 (STD)

สกรูมาตรฐานที่มีอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมอาหารใช้เป็นสกรูดั้งแบบในการออกแบบสกรูแบบอื่น มีขนาดความยาวเกลียวเท่ากับ 324.54 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 35 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 28 mm. ความถี่ร่องเกลียวเท่ากับ 3.5 mm. ระยะพิทช์เท่ากับ 13 mm. และ Clearance เท่ากับ 1 mm.



รูปที่ 4.2 แสดงแบบจำลองสกรูมาตรฐาน (STD) ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



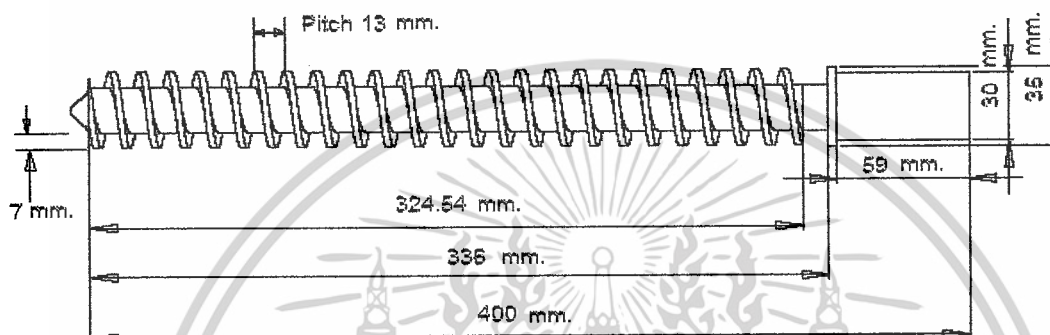
รูปที่ 4.3 แสดงรูปจริงของสกรูมาตรฐาน (STD) ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 สกรูแบบที่ 2 (2H)

เป็นสกรูที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียวเป็น 2 เท่าจากสกรูมาตรฐาน โดยขนาดความถี่ร่องเกลียวเพิ่มขึ้นเป็น 7 mm. ส่วนระยะพิทช์เท่ากับ 13 mm. คงเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน นอกจากนั้นสัดส่วนต่างๆที่เหลือ ยังคงเดิมตามแบบสกรูมาตรฐานด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.4 แสดงแบบจำลองสกรู (2H) ที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียวเป็น 2 เท่าจากสกรูมาตรฐาน โดยระยะพิทช์เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน

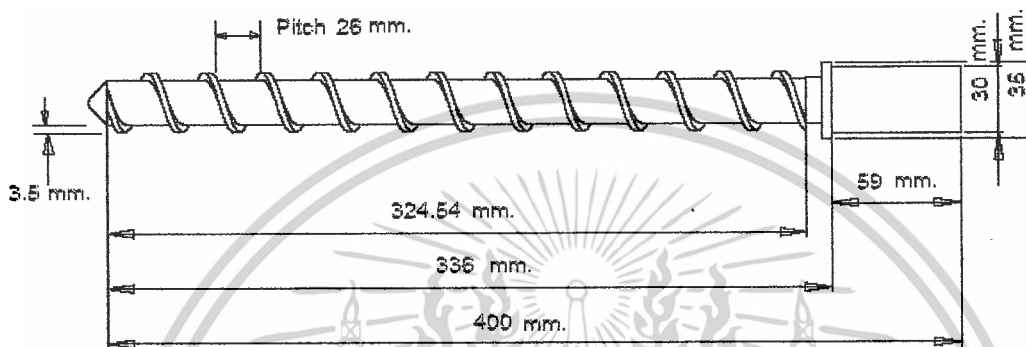


รูปที่ 4.5 แสดงรูปจริงของสกรู (2H) ที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียวเป็น 2 เท่าจากสกรูมาตรฐาน โดยระยะพิทช์เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 สกรูแบบที่ 3 (2P)

เป็นสกรูที่ปรับเพิ่มระยะพิทช์เป็น 2 เท่าจากสกรูมาตรฐาน โดยให้ระยะพิทช์เพิ่มขึ้นเป็น 26 mm. ส่วนความลึกร่องเกลียวเท่ากับ 3.5 mm. คงเดิมตามสกรูมาตรฐาน นอกจากนี้ สลักส่วนต่างๆที่เหลือ ยังคงเดิมตามแบบสกรูมาตรฐานด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.6 แสดงแบบจำลองสกรูที่ปรับเพิ่มระยะพิทช์ (2P) เป็น 2 เท่า จากสกรูมาตรฐาน โดยความลึกร่องเกลียวเท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน

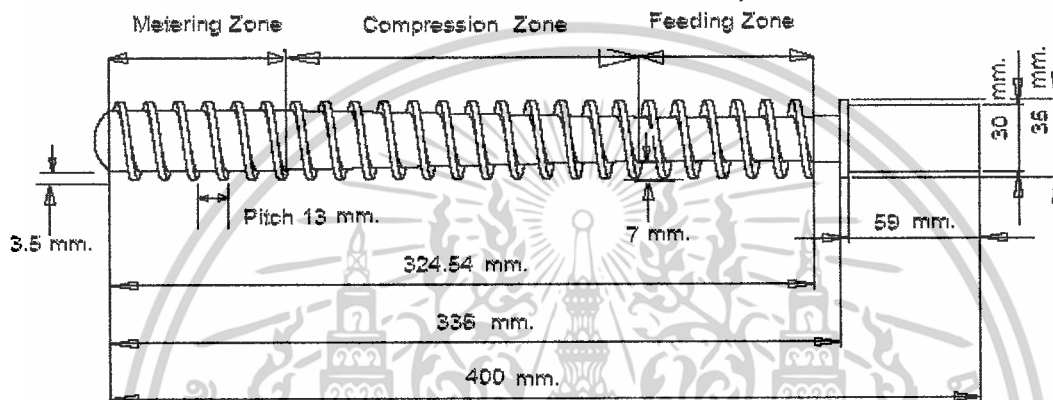


รูปที่ 4.7 แสดงแบบของสกรูจริงที่ปรับเพิ่มระยะพิทช์(2P) เป็น 2 เท่า จากสกรูมาตรฐาน ความลึกร่องเกลียวเท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 สกรูแบบที่ 4 (2:1)

เป็นสกรูที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียวช่วง Feeding Zone เป็น 2 เท่าจากสกรูมาตรฐาน (7 mm.) และความถี่ร่องเกลียวช่วง Metering Zone เท่าเดิม (3.5 mm.) โดยกำหนดให้ระยะพิทช์เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน นอกจากนั้นสัดส่วนต่างๆที่เหลือ ยังคงเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.8 แสดงแบบจำลองสกรูที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียว (2:1) ช่วง Feeding Zone เป็น 2 เท่า จากสกรูมาตรฐาน และความถี่ร่องเกลียวช่วง Metering Zone เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน โดยระยะพิทช์เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน



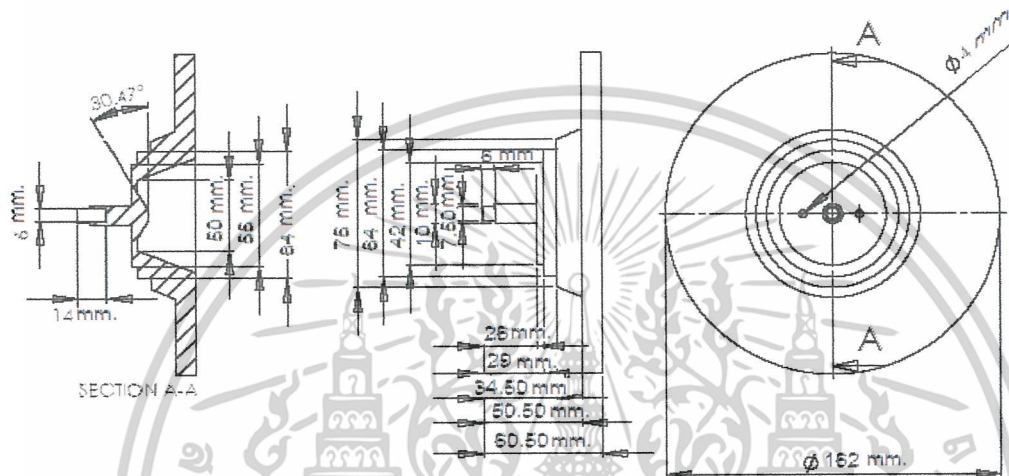
รูปที่ 4.9 แสดงแบบจริงของสกรูที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียว (2:1) ช่วง Feeding Zone เป็น 2 เท่า จากสกรูมาตรฐาน และความถี่ร่องเกลียวช่วง Metering Zone เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน โดยระยะพิทช์เท่าเดิมตามแบบสกรูมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบหน้าแปลน

4.2.1 หน้าแปลนแบบที่ 1 ($\varnothing 4$ mm.)

เป็นหน้าแปลนมาตรฐานต้นแบบ ที่มีอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมอาหารขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหน้าแปลนเป็น 4 mm. มีจำนวนรูหน้าแปลน 2 รู โดยสัดส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงแบบจำลองหน้าแปลนมาตรฐานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (หน้าแปลนแบบที่ 1) ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู Die 4 mm.



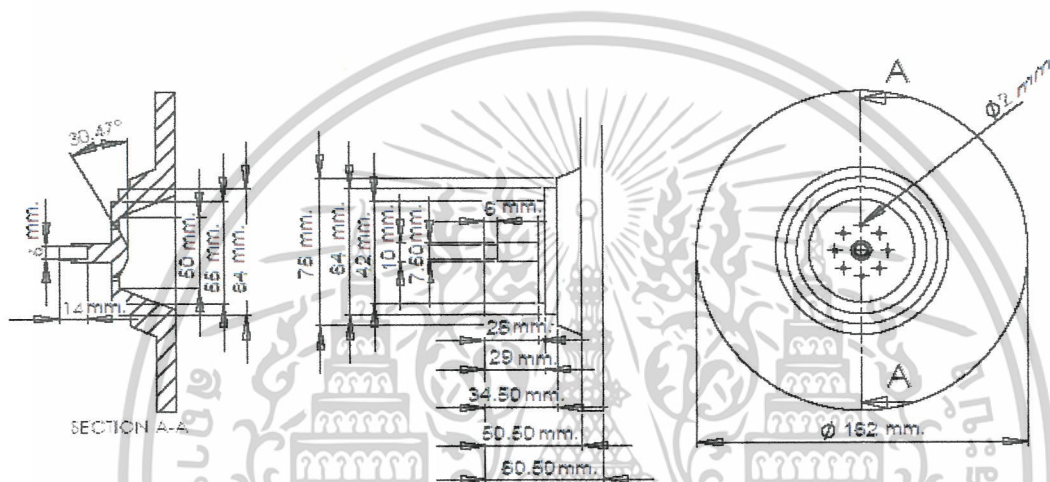
รูปที่ 4.11 แสดงแบบจริงของหน้าแปลนมาตรฐานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (หน้าแปลนแบบที่ 1)

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู Die 4 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 หน้าแปลนแบบที่ 2 (Ø 2 mm.)

เป็นหน้าแปลนที่ปรับลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหน้าแปลนให้เล็กลงครึ่งหนึ่งจากหน้าแปลนมาตรฐานเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีขนาดเล็กลงใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทั่วไปในท้องตลาดมากที่สุด โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหน้าแปลนใหม่เป็น 2 mm. มีจำนวนรูหน้าแปลน 8 รู โดยตัดส่วนต่างๆ กำหนดให้คงเดิมตามแบบหน้าแปลนมาตรฐาน แสดงแบบได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงแบบจำลองหน้าแปลนของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (หน้าแปลนแบบที่ 2)

ที่ทำการออกแบบลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู Die ลงเป็น 2 mm.



รูปที่ 4.13 แสดงแบบจริงของหน้าแปลนของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (หน้าแปลนแบบที่ 2)

ที่ทำการออกแบบลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู Die ลงเป็น 2 mm.

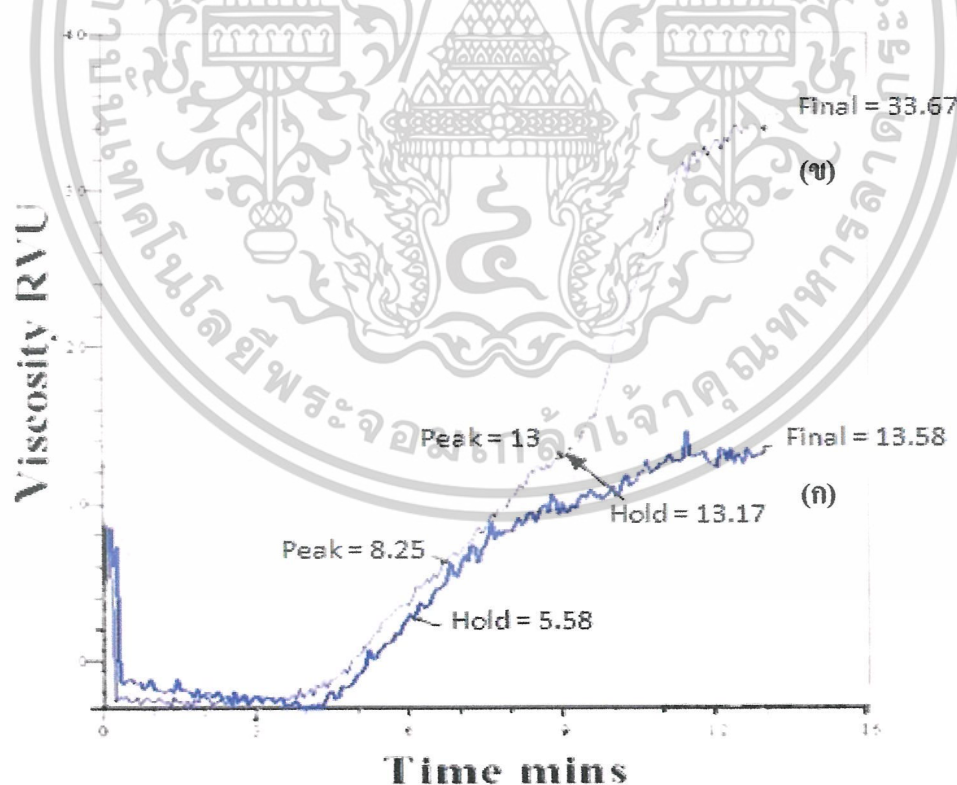
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณสมบัติของแป้งข้าวกล้องงอกที่ได้จากการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ต้องการออกแบบเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแบบ 3rd Generation โดยใช้วัตถุดิบที่ทำมาจากแป้งข้าวกล้องงอก เนื่องจากข้าวกล้องงอกมีคุณค่าทางอาหารที่สูงกว่าข้าวกล้องธรรมดา และมีคุณสมบัติบางประการที่โดดเด่นแตกต่างจากข้าวกล้องธรรมดาซึ่งกำลังเป็นที่สนใจอยู่ในยุคปัจจุบัน

ซึ่งแป้งข้าวกล้องงอกที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการทดลองนั้น ได้เตรียมมาจากข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 มีผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเบื้องต้นได้ค่า ความชื้น 12.70 %, ความบริสุทธิ์ 98.70 %, ความงอก 89.00 %, เมล็ดอื่น ๆ 0.00 %, สิ่งเจือปน 1.30 %, ข้าวแดง 0.00 % (ที่มาจาก : วันที่ทดสอบ 30 ตุลาคม 2551 ณ ศูนย์วิจัยข้าวพระนครศรีอยุธยา)

เมื่อนำข้าวกล้องงอกมาบดด้วยเครื่องบดแบบ Hammer mill โดยใช้ขนาดรูตะแกรง 1.5 mm. และนำไปทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ จะสามารถแสดงคุณสมบัติจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องธรรมดา ได้ดังกราฟในรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความหนืดเปรียบเทียบระหว่างแป้งข้าวกล้องธรรมดา (ก)

กับแป้งข้าวกล้องงอก (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอกพันธุ์ชยันนาท 1

Sample	No	ขนาดอนุภาค (mm.)	ความชื้น (%wb)	ความหนืด				WAI (g/g)	WSI (%)	ค่าสี		
				PV (RVU)	Holding (RVU)	FV (RVU)	Set back (RVU)			L*	a*	b*
แป้งข้าวกล้องงอก	1	0.85	14.84±0.45	13.00±0.10	13.17±0.10	33.67±1.81	20.50±4.43	2.51±0.002	0.020±0.002	61.97±0.26	12.52±0.02	12.20±0.16
	2	0.93	16.72±0.64	14.17±0.77	14.00±0.58	38.00±4.31	24.00±6.45	2.52±0.007	0.016±0.001	62.75±0.18	12.42±0.07	11.64±0.17
	3	0.96	15.29±0.19	11.33±0.87	11.83±0.68	19.92±6.13	8.09±2.74	2.49±0.009	0.016±0.001	62.35±0.05	12.73±0.10	11.93±0.01
	เฉลี่ย	0.91	15.62	12.83	13.00	30.53	17.53	2.50	0.017	62.36	12.56	11.92

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวกล้องพันธุ์ชยันนาท 1

Sample	No	ความชื้น (%wb)	ความหนืด				WAI (g/g)	WSI (%)
			PV (RVU)	Holding (RVU)	FV (RVU)	Set back (RVU)		
แป้งข้าวกล้อง	1	15.71±0.10	7.83±0.63	7.33±0.30	12.75±1.49	5.42±2.02	2.08±0.029	0.012±0.008
	2	15.67±0.08	10.67±1.01	7.50±0.40	19.67±2.50	12.17±1.88	2.22±0.054	0.020±0.003
	3	15.24±0.17	8.25±0.39	5.58±0.70	13.58±1.01	8.00±0.53	2.08±0.024	0.044±0.011
	เฉลี่ย	15.54	8.92	6.80	15.33	8.53	2.13	0.025

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองออกแบบสกรูและหน้าแปลน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแบบ 3rd Generation ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

โดยนำแป้งข้าวกล้องงอกมาทำการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ 3rd Generation ด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยกำหนดสภาวะการผลิตคงที่ ที่ระดับความชื้นวัตถุดิบเริ่มต้น 25 %wb ความเร็วรอบสกรู 500 รอบต่อนาที ควบคุมอุณหภูมิบริเวณให้คงที่ 65 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลน แสดงได้ดังตารางที่ 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลนแต่ละแบบ

ตัวอย่าง	ความชื้น (%wb)		PV (RVU)		Holding (RVU)		FV (RVU)		Set back (RVU)		WAI (g/g)		WSI (%)	
	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.
เส้นมาตรฐาน	9.877		35.027		35.473		55.027		19.55		2.396		0.049	
1/ (STD)	5.729±3.86	6.060±0.56	27.553±1.46	52.370±1.49	20.113±0.95	42.167±1.07	40.247±0.42	70.223±1.20	20.13±0.93	28.06±0.17	5.027±0.12	4.314±0.13	0.040±0.006	0.021±0.007
2/ (2H)	7.612±5.14	7.563±0.40	43.887±2.53	49.327±2.58	26.223±4.09	42.723±11.74	54.553±12.07	69.443±20.78	28.33±1.61	26.72±0.30	4.355±0.10	3.982±0.08	0.017±0.013	0.015±0.004
3/ (2P)	6.114±4.08	6.954±0.14	62.057±14.11	48.360±1.71	35.610±5.92	30.610±4.26	73.720±11.40	70.030±8.73	38.11±5.64	39.42±9.55	6.491±0.23	5.464±0.09	0.049±0.007	0.029±0.023
4/ (2:1)	7.652±5.34	5.182±0.23	63.833±1.21	58.193±1.10	42.750±0.27	31.167±1.86	91.943±1.16	77.030±0.84	49.19±0.89	45.86±2.07	6.041±0.09	5.574±0.18	0.053±0.036	0.021±0.004

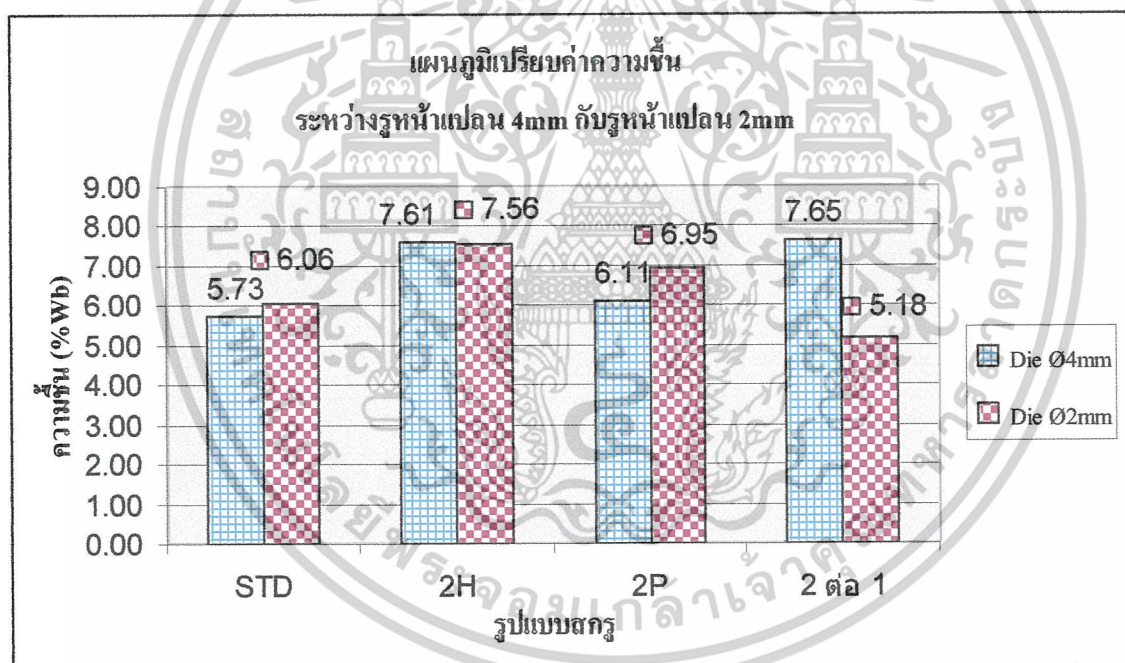
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวอย่าง	Density (g/cm ³)		ER (เทป)		Hardness (g)		Adhesiveness (g.s)		Solid loss (g)		L*		ΔE	
	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.	Ø 4 mm.	Ø 2 mm.
เส้นมาตรฐาน	1.269		-		4396.667		6.467		-		64.838		-	
1/ (STD)	0.481±0.05	1.102±0.07	1.848±0.10	1.545±0.01	1798.111±977.55	798.528±314.39	123.654±50.47	196.212±67.16	0.342	0.100	77.350±0.20	60.422±1.37	19.433	5.081
2/ (2H)	0.627±0.08	1.111±0.07	1.822±0.29	1.460±0.07	3139.138±1898.15	455.381±203.27	86.910±47.41	16.317±9.50	0.182	0.160	78.758±0.99	59.112±0.54	20.246	9.060
3/ (2P)	0.519±0.04	0.820±0.09	1.920±0.07	1.825±0.11	1986.784±1668.12	490.92±345.29	102.513±18.98	21.521±8.98	0.157	0.283	80.536±0.70	62.056±0.47	22.137	4.036
4/ (2:1)	0.728±0.11	0.645±0.05	1.537±0.16	2.030±0.10	513.694±299.56	434.342±277.34	31.707±9.94	52.463±14.77	0.330	0.244	77.030±0.38	63.808±0.47	18.674	3.949

4.4.1 ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture Content, MC)

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) อยู่ในช่วงระหว่าง 5.729-7.652 %wb ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.182-7.563 %wb ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูทุกรูปแบบและหน้าแปลนทุกแบบ จะมีค่าความชื้นค่อนข้างต่ำกว่าผลิตภัณฑ์แบบ 3rd Generation ที่มีในท้องตลาดที่นำมาเปรียบเทียบ (เส้นสปาเกตตี “Best food”) ซึ่งสาเหตุอาจมาจากการที่อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันสูงเกินไป ทำให้น้ำในวัตถุดิบเกิดการระเหยออกไปมากเกินไป ปริมาณความชื้นที่ได้จึงต่ำกว่าผลิตภัณฑ์มาตรฐานที่ต้องการ

เมื่อนำค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูทั้ง 4 แบบ และหน้าแปลนทั้ง 2 แบบ เปรียบเทียบกันในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง จะสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

จากการเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งที่ได้นั้นพบว่า หากพิจารณาเฉพาะในส่วนของรูปแบบสกรู จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูแบบ 2H จะมีค่าความชื้นใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่นำมาเปรียบเทียบ (เส้นสปาเกตตี “Best food”) มากที่สุด เนื่องจากเป็นสกรูที่มีการปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียว ส่งผลให้แรงเฉือนในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันมีค่าต่ำลง ซึ่งถ้าแรงเฉือนต่ำก็จะส่งผลให้เกิดความร้อนภายในบารเรลน้อยกว่าแบบปกติ น้ำจึงระเหยออกจากวัตถุดิบได้น้อยกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

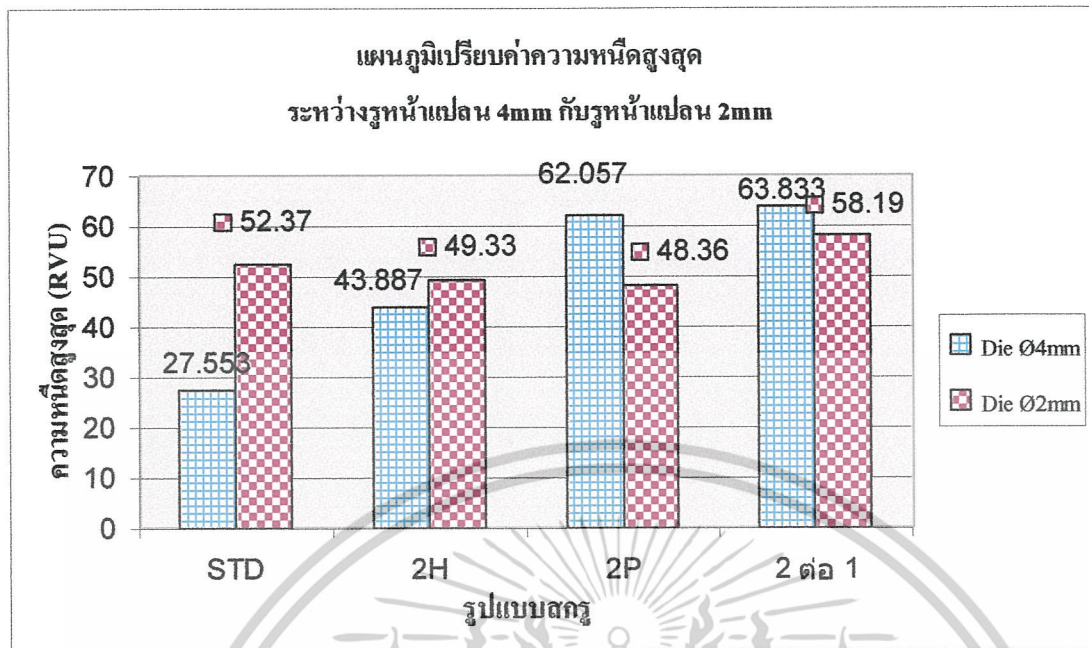
สกรูที่มีแรงเฉือนสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูแบบแบบ 2H จึงมีค่าความชื้นมากกว่าแบบอื่น แต่ถ้าหากเปรียบเทียบในส่วนของหน้าแปลน ก็จะสังเกตได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากหน้าแปลนที่ออกแบบใหม่ (หน้าแปลนใหม่ 2 mm) จะมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูงกว่าหน้าแปลนแบบเดิมที่มีอยู่ (หน้าแปลนมาตรฐาน 4 mm.) เนื่องจากหน้าแปลนใหม่ถูกออกแบบให้มีขนาดรูช่องเปิดทางออกเล็กกว่าแบบเดิม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไหลผ่านช่องแคบได้ช้ากว่าแบบเดิม การสูญเสียน้ำเกิดได้ช้ากว่า ส่งผลให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์น้อย ความชื้นในตัวผลิตภัณฑ์จึงมีอยู่มากนั่นเอง

4.4.2 คุณสมบัติทางความหนืดของผลิตภัณฑ์ (Pasting properties)

4.4.2.1) ความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity)

ค่าความหนืดสูงสุดเป็นค่าที่ใช้แสดงความสามารถในการเจลาติไนเซชันของสตาร์ช ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยมีค่าผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) อยู่ในช่วงระหว่าง 27.553-43.887 RVU ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบ สกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 48.360-58.193 RVU ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) จะมีค่าความหนืดสูงสุดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่นำมาเปรียบเทียบ (เส้นสปาเกตตี “Best food”) มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบ สกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.)

เมื่อนำค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูทั้ง 4 แบบ หน้าแปลนทั้ง 2 แบบ มาเปรียบเทียบกันในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง จะสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

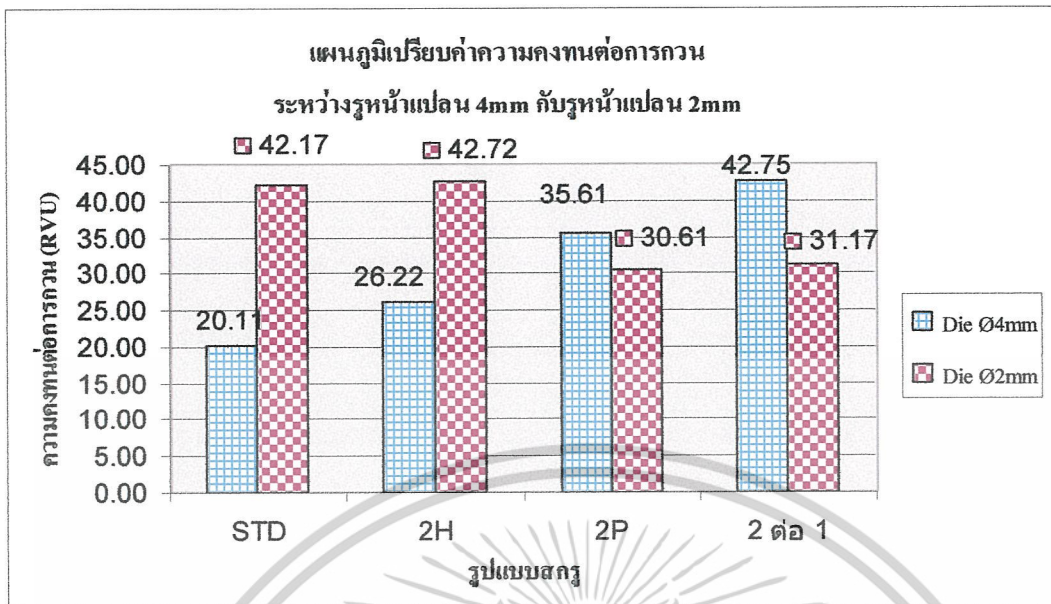
จากการเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งที่ได้นั้นพบว่า หากพิจารณาเฉพาะในส่วนของรูปแบบสกรู จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูแบบที่ 2 จะมีค่าความหนืดสูงสุดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่นำมาเปรียบเทียบ (เส้นสปาเกตตี “Best food”) มากที่สุด เนื่องจากสกรูแบบที่ 2 เป็นสกรูที่มีการปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียว ส่งผลให้แรงเสียดทานในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันมีค่าต่ำ ซึ่งแรงเสียดทานที่ต่ำนี้ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการสุกแบบกึ่งสุกกึ่งดิบ ซึ่งหากค่าความหนืดสูงยิ่งสูงมาก ย่อมแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้นค่อนข้างดิบมาก ค่าความหนืดสูงจึงมาก

4.4.2.2) ความคงทนต่อการกวน (Holding Strength)

ผลการวิเคราะห์ค่า holding ของผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) อยู่ในช่วงระหว่าง 20.113- 42.750 RVU ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 30.610- 42.723 RVU

เมื่อนำค่าความคงทนต่อการกวน ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูทั้ง 4 แบบ หน้าแปลน 2 แบบ มาเปรียบเทียบกันในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง จะสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าความคงทนต่อการกวนของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

จากการเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งที่ได้นั้นพบว่า หากเทียบเฉพาะในส่วนของสกรู จะเห็นได้ว่าสกรูแบบที่ 3 มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับเส้นมาตรฐาน เนื่องมาจากการปรับเพิ่มระยะพิตที่มีผลทำให้แรงเหวี่ยงลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงเกิดการฟองตัวน้อย ยึดตัวดี มีความเหนียวมากขึ้น ทำให้มีความคงทนต่อการกวนมากขึ้นด้วย แต่ถ้าเทียบระหว่างหน้าแปลนทั้ง 2 แบบ จะเห็นได้ค่า holding ของหน้าแปลนแบบที่ 2 จะมีค่าสูงกว่าหน้าแปลนแบบที่ 1 อาจเป็นผลเนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดเล็กลง ผลิตภัณฑ์เกิดการฟองตัวน้อย อัดตัวได้ดีขึ้น เมื่อถูกนำมาทดสอบผ่านความร้อนจึงมีความคงทนมากกว่า

4.4.2.3) ความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity)

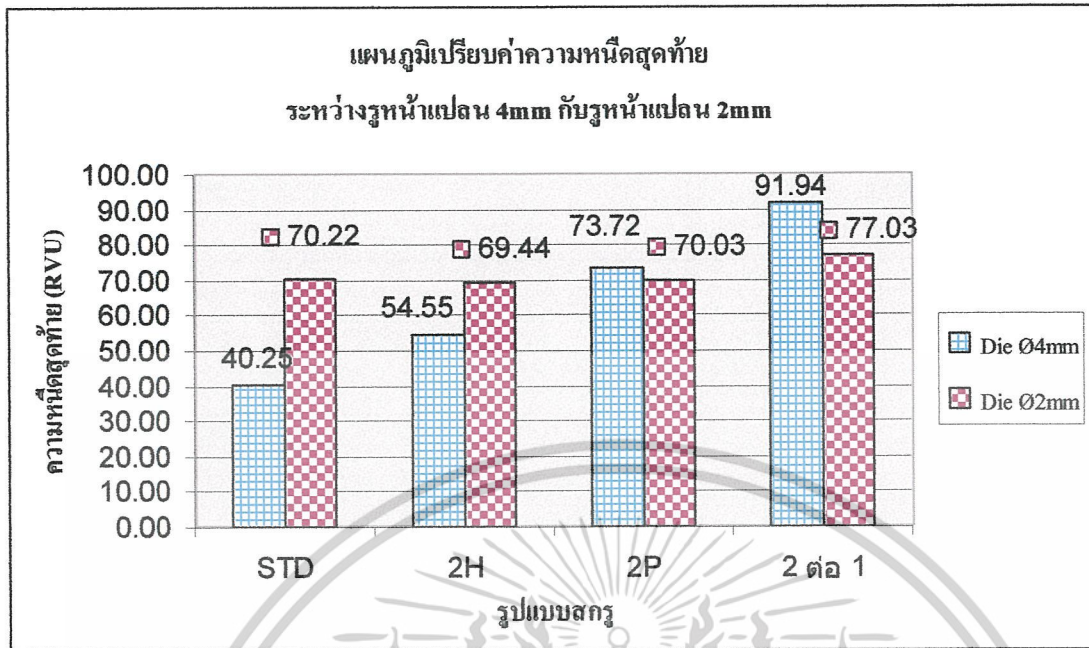
ค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) อยู่ในช่วงระหว่าง 40.247-91.943 RVU ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบ สกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 69.443-70.223 RVU ซึ่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้เกือบทุกตัวอย่างมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด ยกเว้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูแบบที่ 2 และหน้าแปลนแบบที่ 1 เพียงตัวอย่างเดียวที่มีค่าความหนืดสุดท้ายใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดมากที่สุด

เมื่อนำค่าความหนืดสุดท้าย ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูทั้ง 4 แบบ หน้าแปลนทั้ง 2 แบบมา

เปรียบเทียบกันในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง จะสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



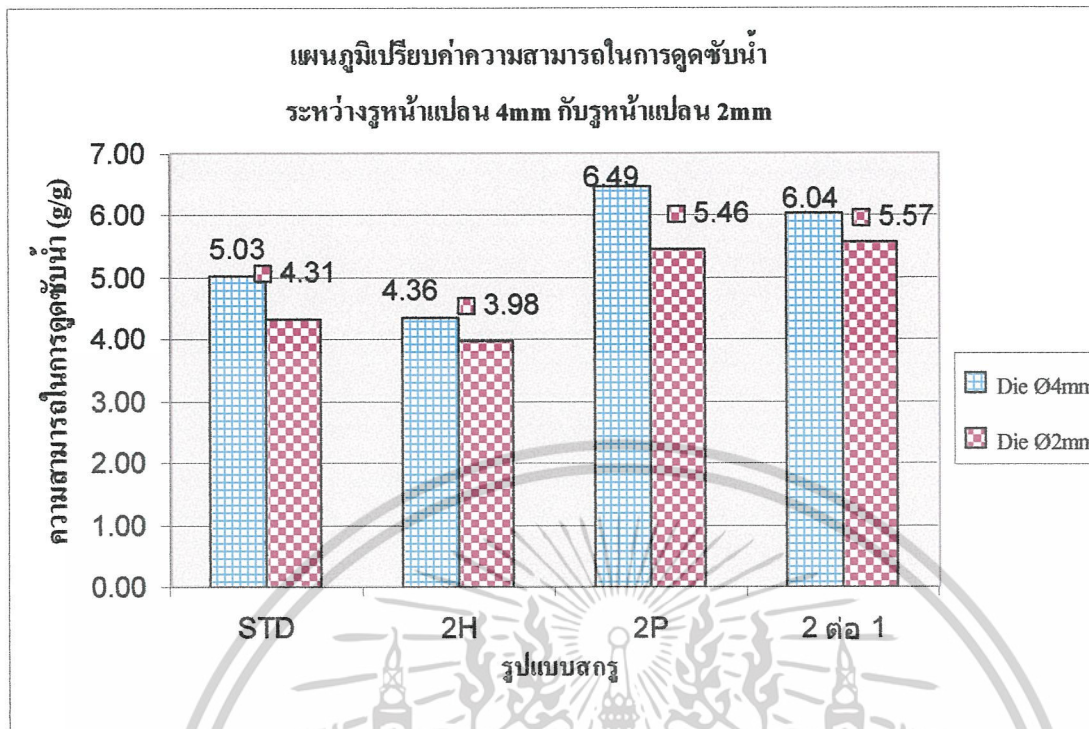
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

เมื่อนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบในรูปของแผนภูมิแท่งแล้ว จะเห็นได้ว่าการออกแบบสกรูใหม่มีผลกระทบต่อค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยสกรูแบบที่ 2 จะมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ต้องการมากที่สุด เนื่องจากเป็นสกรูที่ถูกออกแบบมาเพื่อลดแรงเฉือนให้ต่ำลง ซึ่งแรงเฉือนที่ต่ำนี้จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะกึ่งสุกกึ่งดิบ ความหนืดสุดท้ายจึงมากด้วย ส่วนผลิตภัณฑ์จากสกรูแบบอื่นมีค่าความหนืดสุดท้ายค่อนข้างสูงแสดงให้เห็นว่ามีความดิบมากกว่าระดับมาตรฐานที่ต้องการ

4.4.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI)

ความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ เป็นค่าที่แสดงคุณสมบัติของสตาร์ช หลังจากผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) อยู่ในช่วงระหว่าง 4.355 - 6.491 (g/g) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบ สกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3.982 - 5.574 (g/g) ซึ่งค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูและหน้าแปลนที่ทำการออกแบบทุกอย่าง มีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์มาตรฐานในท้องตลาด ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



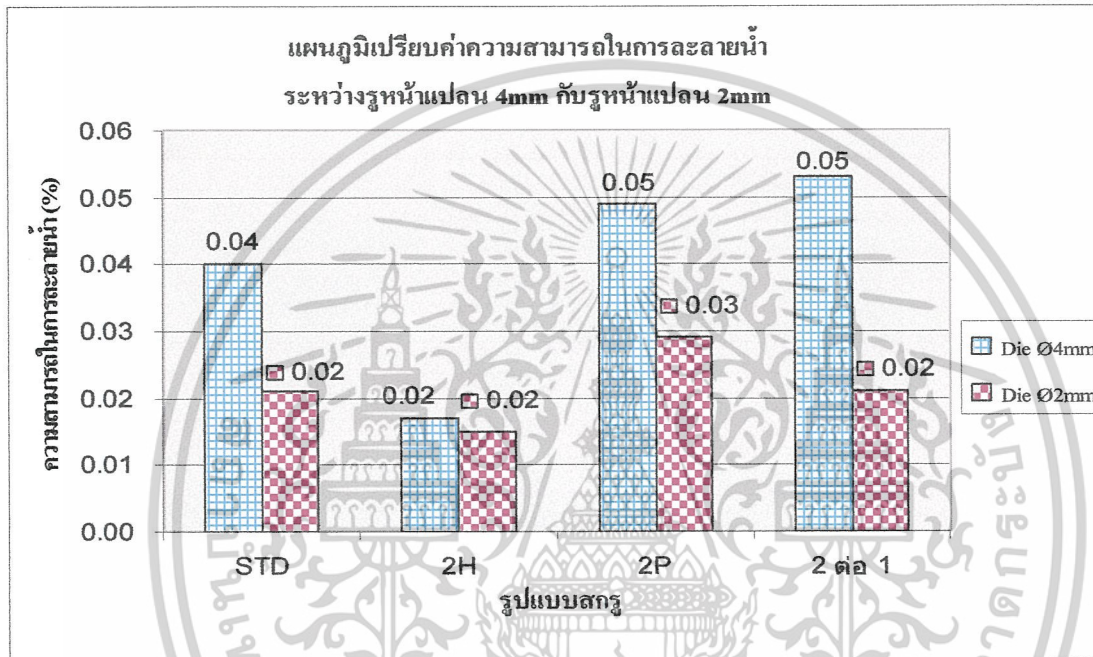
รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์
ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

จากการศึกษาพบว่าลักษณะของรูปแบบของสกรูและหน้าแปลน มีผลต่อค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมีลักษณะที่พองตัวมากกว่ามาตรฐานที่ต้องการ แสดงว่ามีปริมาณน้ำภายในโครงสร้างเหลืออยู่น้อย ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจึงสามารถดูดน้ำกลับได้มาก แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบสกรูจะพบว่า สกรู 2H จะได้ค่าความสามารถในการดูดน้ำกลับที่น้อยที่สุดและใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด เนื่องจากสกรูนี้มีแรงเฉือนต่ำที่สุด แสดงว่ากระบวนการมีความร้อนต่ำสุดด้วย จึงเกิดการระเหยน้ำออกในปริมาณที่น้อยกว่าแบบอื่น ปริมาณน้ำภายในโครงสร้างมากการดูดน้ำกลับจึงน้อย

4.4.4 ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI)

ความสามารถในการละลายน้ำเป็นค่าที่แสดงระดับการถูกทำลายของสตาร์ช หลังจากผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.017- 0.053% ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.015- 0.029 % จากแผนภูมิเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสังเกตได้ว่าเริ่มแรกเมื่อใช้หน้าแปลนมาตรฐานในกระบวนการผลิต สกรู 2P จะมีค่าความสามารถในการละลายน้ำเท่ากับเส้นมาตรฐานที่ต้องการ ส่วนสกรูแบบอื่นๆ มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานหมด แต่เมื่อเปลี่ยนหน้าแปลนเป็นแบบใหม่ จะเห็นได้ว่าค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูทุกแบบต่ำกว่ามาตรฐานหมด ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.20



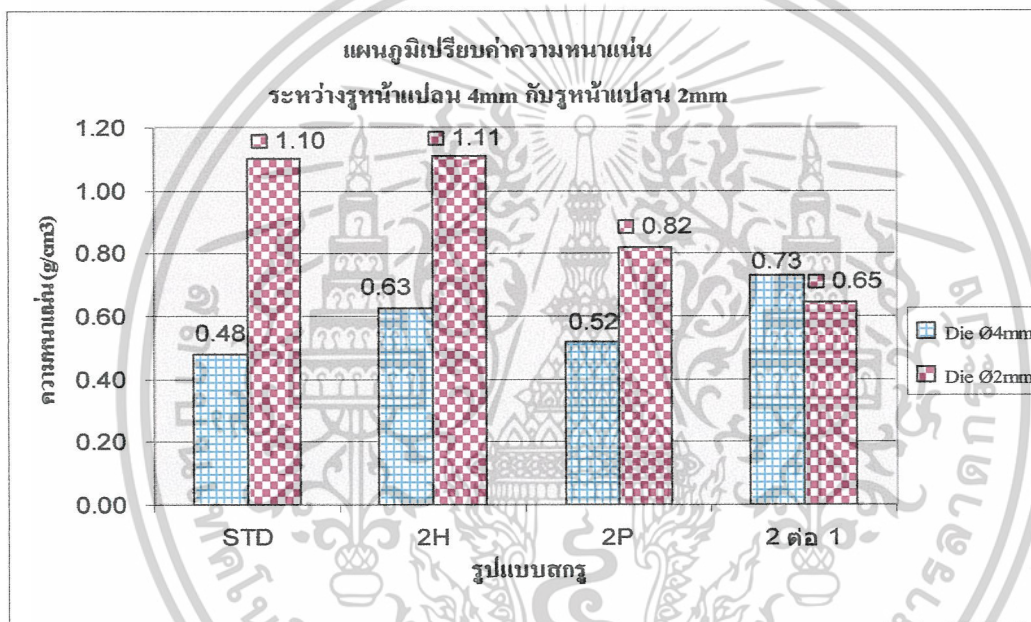
**รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์
ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ**

จากการศึกษาพบว่าขนาดรูช่องเปิดของหน้าแปลน มีผลต่อค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ด้วย นอกจากนี้ลักษณะรูปร่างของสกรูก็มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเช่นกัน กล่าวคือสกรูที่ถูกออกแบบมาเพื่อลดแรงเสียดทาน จะทำให้ความสามารถในการละลายน้ำน้อยลงด้วย เนื่องจากเกิดความร้อนน้อยภายในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน สตาร์ชจึงถูกความร้อนทำลายในระดับที่ลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ (Density)

ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.481-0.728 g/cm³ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.645-1.111 g/cm³ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูทุกรูปแบบและหน้าแปลนทุกแบบ จะมีค่าความหนาแน่นค่อนข้างต่ำกว่าผลิตภัณฑ์แบบ 3rd Generation ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดทั้งหมด ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

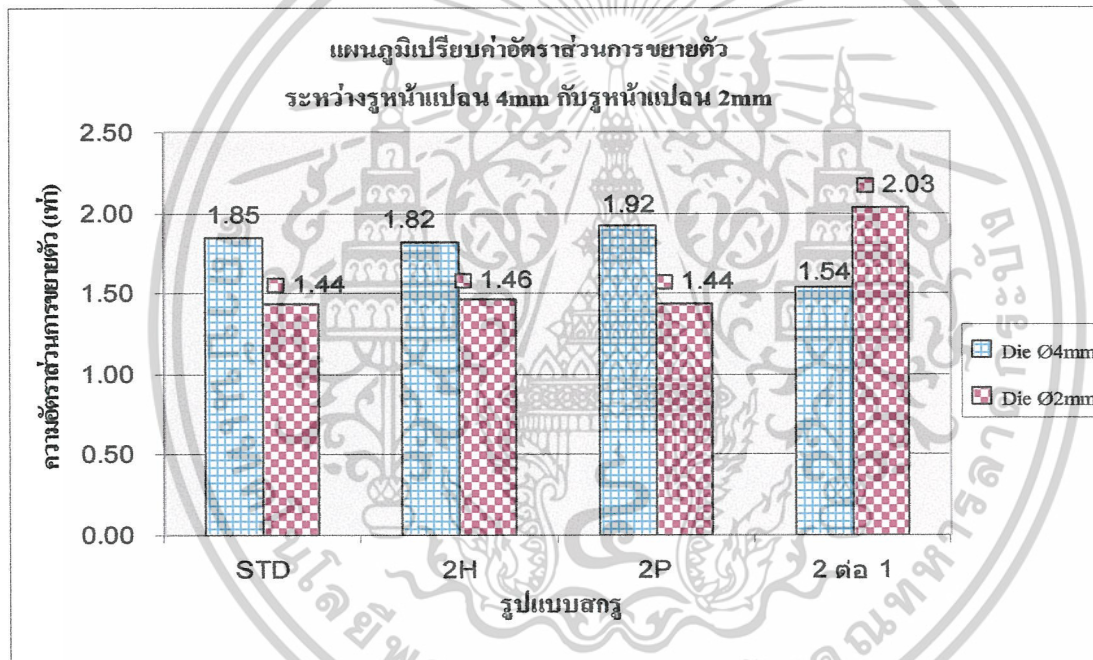
จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าสกรูทุกรูปแบบมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั้งหมด เนื่องจากสกรูที่ออกแบบมา ยังมีแรงเสียดทานที่มากกว่าสกรูเอ็กซ์ทราเตอร์ที่ใช้ทั่วไป ในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์แบบกึ่งสุกกึ่งดิบ ทำให้กระบวนการผลิตมีความร้อนสูงกว่า การระเหยน้ำจึงเป็นไปได้มากกว่า ทำให้ปริมาณน้ำภายในผลิตภัณฑ์คงเหลือน้อย มวลจึงน้อย ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นน้อยด้วย แต่หากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสกรูที่ออกแบบจะพบว่า ค่าความหนาแน่นโดยรวมของสกรูแบบ 2H จะมีค่าค่อนข้างสูงกว่าแบบอื่นและใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด นั่นแสดงให้เห็นว่าสูงที่มีแรงเสียดทานต่ำ จะใช้ความร้อนในกระบวนการผลิตน้อย อัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระเหยน้ำจึงน้อยกว่าแบบแรงเฉือนสูง ทำให้ปริมาณน้ำภายในผลิตภัณฑ์คงเหลือมากกว่าแบบอื่น มวลจึงมาก ทำให้ค่าความหนาแน่นมากด้วย

4.4.6 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (Expansion Ratio, ER)

ค่าอัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) อยู่ในช่วงระหว่าง 1.537-1.920 เท่า ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.440-2.030 เท่า ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบ ได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

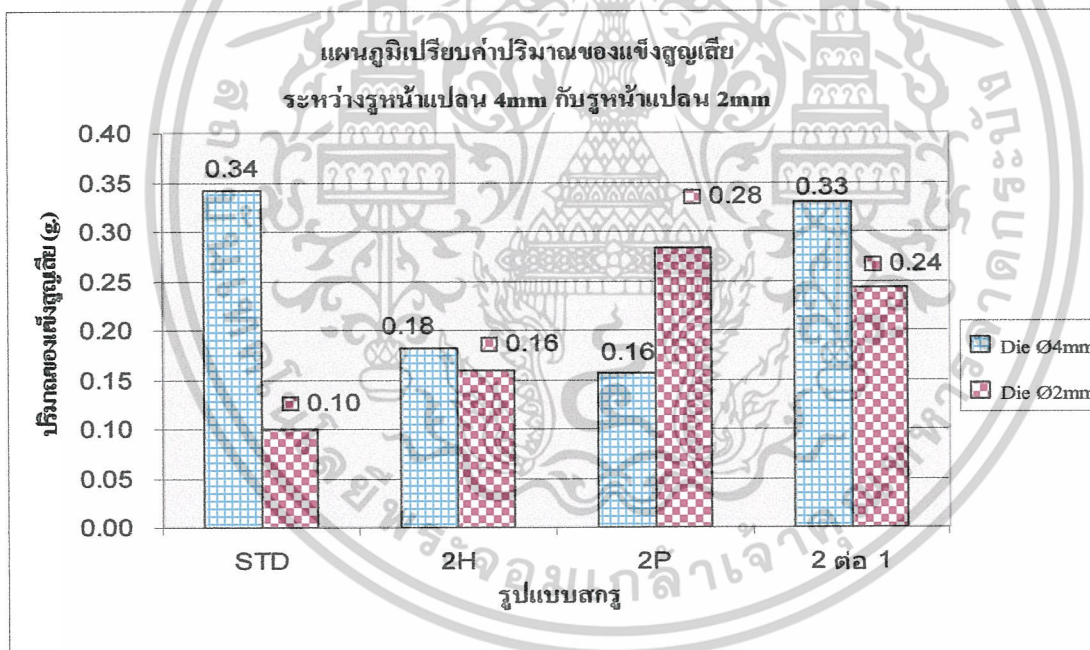
จากแผนภูมิในรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าสกรูแบบ 2H จะมีค่าอัตราส่วนการขยายตัวค่อนข้างน้อยกว่าสกรูแบบอื่น ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการในการผลิตผลิตภัณฑ์แบบ 3rd Generation เนื่องจากเป็นสกรูที่มีการออกแบบมาเพื่อลดอัตราเฉือนให้น้อยลงกว่าสกรูรูปแบบอื่น ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 3.1 กล่าวคือยิ่งเพิ่มระยะความถี่ร่องเกลียว จะทำให้อัตราเฉือนลดลง เมื่ออัตราเฉือนลดลงปริมาณความร้อนภายในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันก็จะน้อยลงด้วย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยน้ำออกในปริมาณที่ต่ำ และความแตกต่างระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันภายในและภายนอกน้อย โครงสร้างภายในสามารถยึดเกาะกันอย่างหนาแน่น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมา มีการพองตัวน้อย ค่าอัตราส่วนการขยายตัวที่วัดได้จึงต่ำด้วย

4.4.7 ปริมาณของแข็งสูญเสีย (Solid loss)

ค่าปริมาณของแข็งสูญเสียของผลิตภัณฑ์ เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เปื่อยยุ่ยปะปนมากับน้ำในขณะที่ทำการต้ม ซึ่งค่าปริมาณของแข็งสูญเสียที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.157-0.342 g. ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่(2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.100-0.238 g. ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูทุกรูปแบบและหน้าแปลนทุกแบบ ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งสูญเสียของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

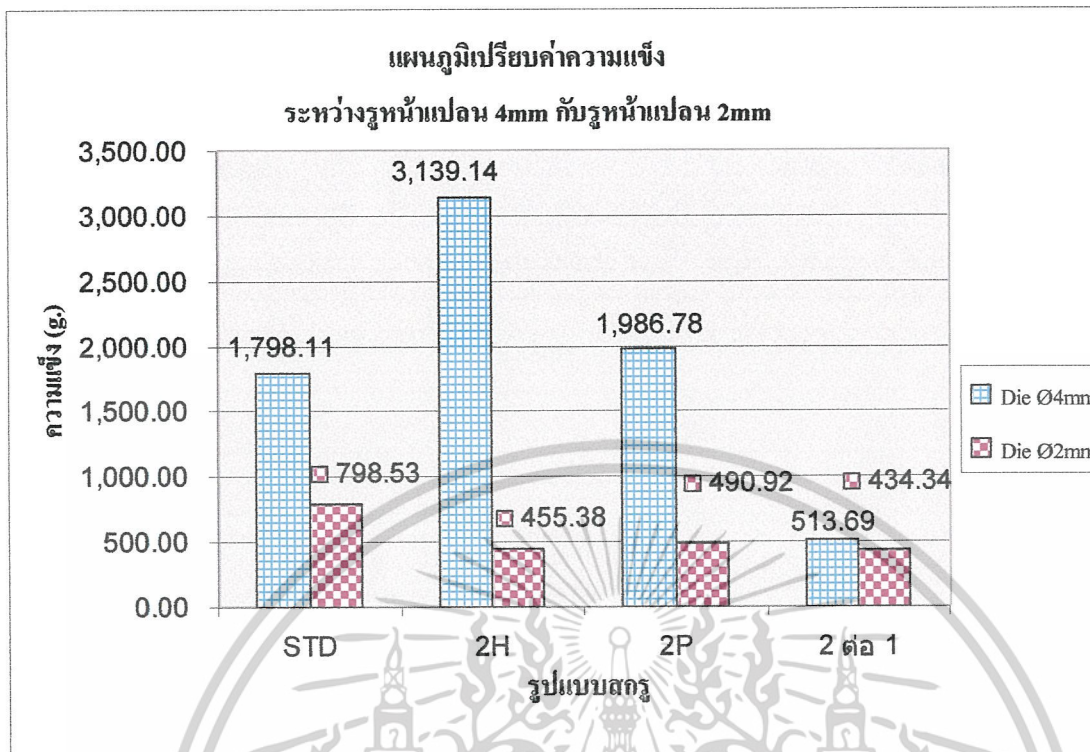
จากแผนภูมิเมื่อพิจารณาจากหน้าแปลนทั้ง 2 แบบ จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยโดยรวมของสกรูแบบ 2H จะมีค่าปริมาณของแข็งสูญเสียค่อนข้างน้อยกว่าสกรูแบบอื่น ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการในการผลิตผลิตภัณฑ์แบบ 3rd Generation เนื่องจากในการต้มผลิตภัณฑ์แบบ 3rd Generation โดยทั่วไปจะไม่ต้องทำให้มีปริมาณของแข็งสูญเสียมากนัก ซึ่งหากผลิตภัณฑ์มีค่าปริมาณของแข็งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียมาก แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ตีมันนั้นเปื่อยและมากเกินไปจนทำให้มีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เปื่อยอยู่ปะปนมากับน้ำมาก ย่อมไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ซึ่งแสดงว่าสกรูที่มีอัตราเลือนต่ำจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม เนื่องจากเมื่อแรงเฉือนต่ำอุณหภูมิจะไม่สูงพอที่จะทำลายโมเลกุลภายในแป้ง เม็ดแป้งจะไม่เกิดการพองตัว โครงสร้างภายในเกาะกันได้อย่างหนาแน่น ซึ่งโดยปกติแล้วการพองตัวจะทำให้สูญเสียการจัดเรียงตัว ทำให้โครงสร้างภายในหลวม เมื่อนำไปต้มก็จะเกิดการเปื่อยง่ายขึ้น

4.4.8 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)

4.4.8.1 ความแข็ง (Hardness)

ค่าแรงแตกหักสูงสุดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากหัวกดแบบ Waener-Blatzer Blade จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer สามารถบ่งบอกถึงความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) อยู่ในช่วงระหว่าง 513.694-3139.138 g. ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 434.342-798.528 g. ซึ่งค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทุกตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั้งหมด ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.24



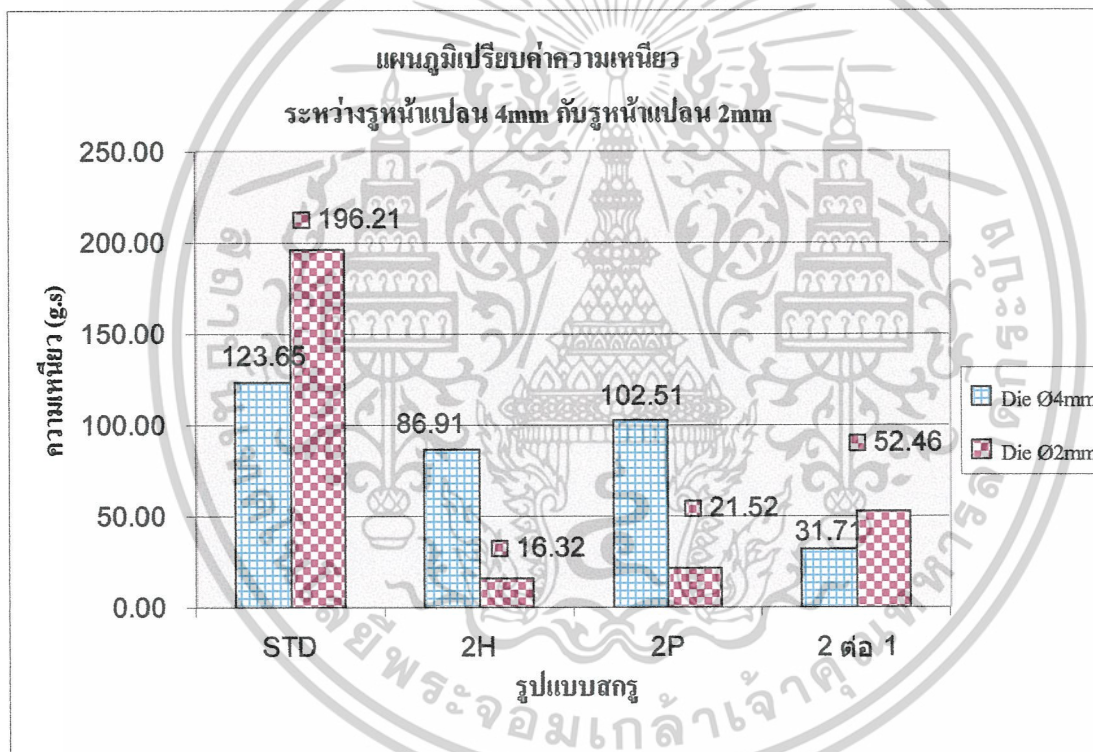
รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

จากแผนภูมิในรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ทุกตัวอย่าง มีค่าความแข็งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั้งหมด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นข้าวกล้องงอก ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลของคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ในเบื้องต้น พบว่าแป้งจากข้าวกล้องงอก จะมีความเหนียวนุ่มมากกว่าแป้งข้าว โดยทั่วไปเนื่องจากได้ผ่านกระบวนการแช่น้ำเป็นเวลานาน ข้าวกล้องงอกจึงมีความอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้น อีกทั้งข้าวที่ใช้ยังเป็นข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ซึ่งเป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความแข็งต่ำด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ นอกจากนี้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตนั้นเป็นข้าวกล้องงอก 100% ไม่มีการใส่สารคงตัวหรือส่วนผสมอื่นๆ เพิ่มเหมือนกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั่วไป จึงเป็นไปได้ที่ค่าความแข็งด้วยอ่อนน้อยกว่า แต่ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบสกรูต่างๆ จะพบว่าค่าความแข็งโดยรวมของผลิตภัณฑ์ของสกรูแบบ 2H จะมีความแข็งมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากแรงเสียดทานจะทำให้เกิดความร้อนภายในกระบวนการน้อย โครงสร้างถูกทำลายน้อย ยึดเกาะกันแน่น ส่งผลให้ค่าความแข็งสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.8.2) ความเหนียว (Adhesiveness)

ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ คือค่าที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่เป็นค่าลบ (Negative Area) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้หัวกดแบบ Waener-Blatzer Blade โดยค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) อยู่ในช่วงระหว่าง 31.707-123.654 g. s ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 16.317-196.212 g. s ซึ่งค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทุกตัวอย่างมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั้งหมด ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

จากแผนภูมิในรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ทุกตัวอย่าง มีค่าความเหนียวมากกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท1 ซึ่งจะมีความเหนียวนุ่มมากกว่าแป้งข้าวโดยทั่วไปและมีปริมาณอะไมโลเพกตินที่สูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเหนียวสูงกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่ผลิตจากแป้งข้าวทั่วไปด้วย แสดงว่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ

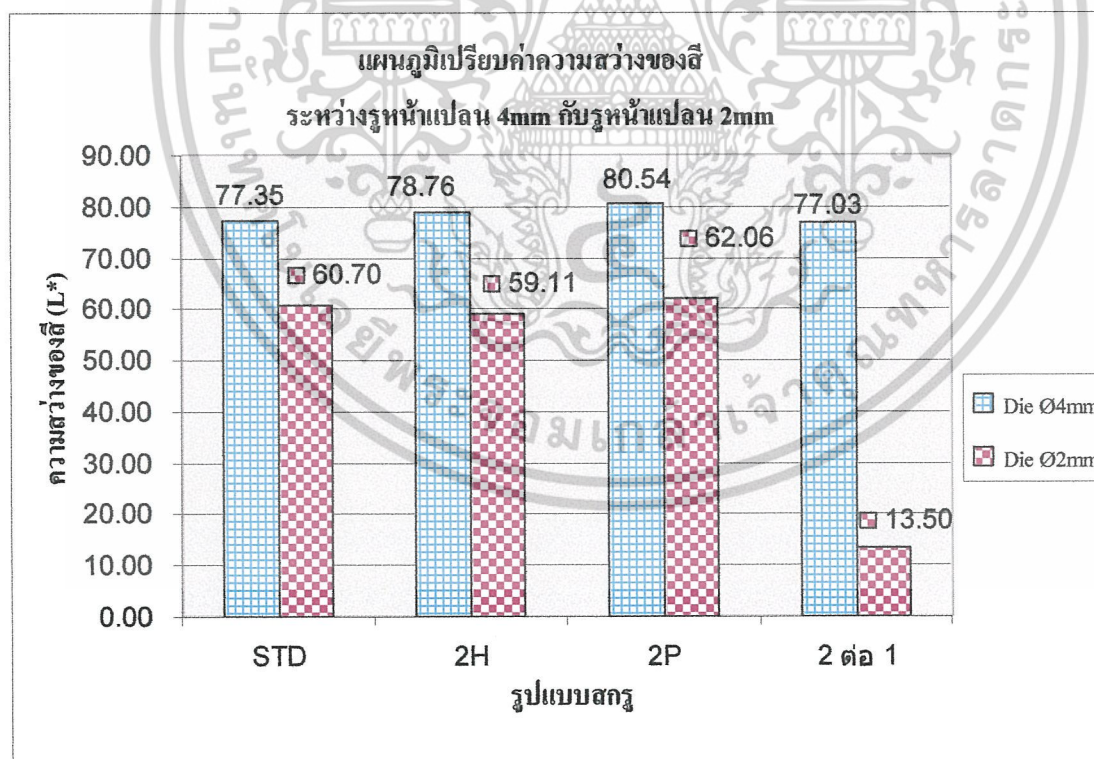
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.9 ค่าความสว่างของสี (L*)

ค่าสี โดยปกติแล้วสามารถวิเคราะห์ได้ 3 ค่าด้วยกัน ได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แบบ 3rd Generation ส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบเพียงความสว่างของผลิตภัณฑ์เท่านั้นว่ามีความขุ่น ใส มากน้อยเพียงใด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์แต่ค่าความสว่างเท่านั้น

4.4.10.1) ความสว่าง (L*)

ความสว่างของผลิตภัณฑ์ เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ได้ถึงการสุกของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วย ซึ่งจะสามารถสังเกตได้จากความสว่างใสหรือขุ่นมัวว่า มากน้อยเพียงใด ซึ่งค่าความสว่างที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบและหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 77.03-80.536 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบสกรูแต่ละแบบ และหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 13.502-62.056 ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ระหว่างหน้าแปลน 2 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภูมิเมื่อพิจารณาจากเฉพาะหน้าแปลนมาตรฐาน (4 mm.) จะเห็นได้ว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์จากสกรูทุกแบบ จะมีค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ทั่วไปในท้องตลาด แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้เกิดการสุกมากกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด เนื่องมาจากขนาดรูหน้าแปลนที่ใหญ่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถอัดตัวผ่านได้อย่างรวดเร็ว เกิดการระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสุกพองตัว จึงเป็นผลให้มีค่าความสว่างมากกว่า และเมื่อพิจารณาจากเฉพาะหน้าแปลนใหม่ (2 mm.) จะเห็นได้ว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์จากสกรูทุกแบบ จะมีค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ทั่วไปในท้องตลาด แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีความดิบมากกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด เนื่องมาจากขนาดรูหน้าแปลนที่เล็กลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอัดตัวผ่านได้ช้า การระเหยน้ำออกจึงช้า ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างดิบ จึงเป็นผลให้มีค่าความสว่างน้อยกว่า นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่ลักษณะของสกรู จะเห็นได้ว่าสกรูแบบ 2H, STD และ 2P จะมีค่าความสว่างใกล้เคียงผลิตภัณฑ์มาตรฐานตามลำดับ มีเพียงสกรู 2:1 แบบเดี่ยวที่มีค่าแนวโน้มแตกต่างจากแบบอื่น ซึ่งอาจผิดพลาดจากขั้นตอนวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามก็ยังจัดว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสกรูแบบ 2H และหน้าแปลน 2 mm. มีค่าใกล้เคียงผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดมากที่สุด ทั้งนี้เพราะสกรู 2H มีอัตราเฉือนที่ต่ำกว่าแบบอื่นส่งผลให้อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการต่ำกว่าแบบอื่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะกึ่งสุกกึ่งดิบตามที่ต้องการ ค่าความสว่างจึงน้อยด้วย

บทที่ 5

วิเคราะห์ผลการทดลองและวิจารณ์ 2

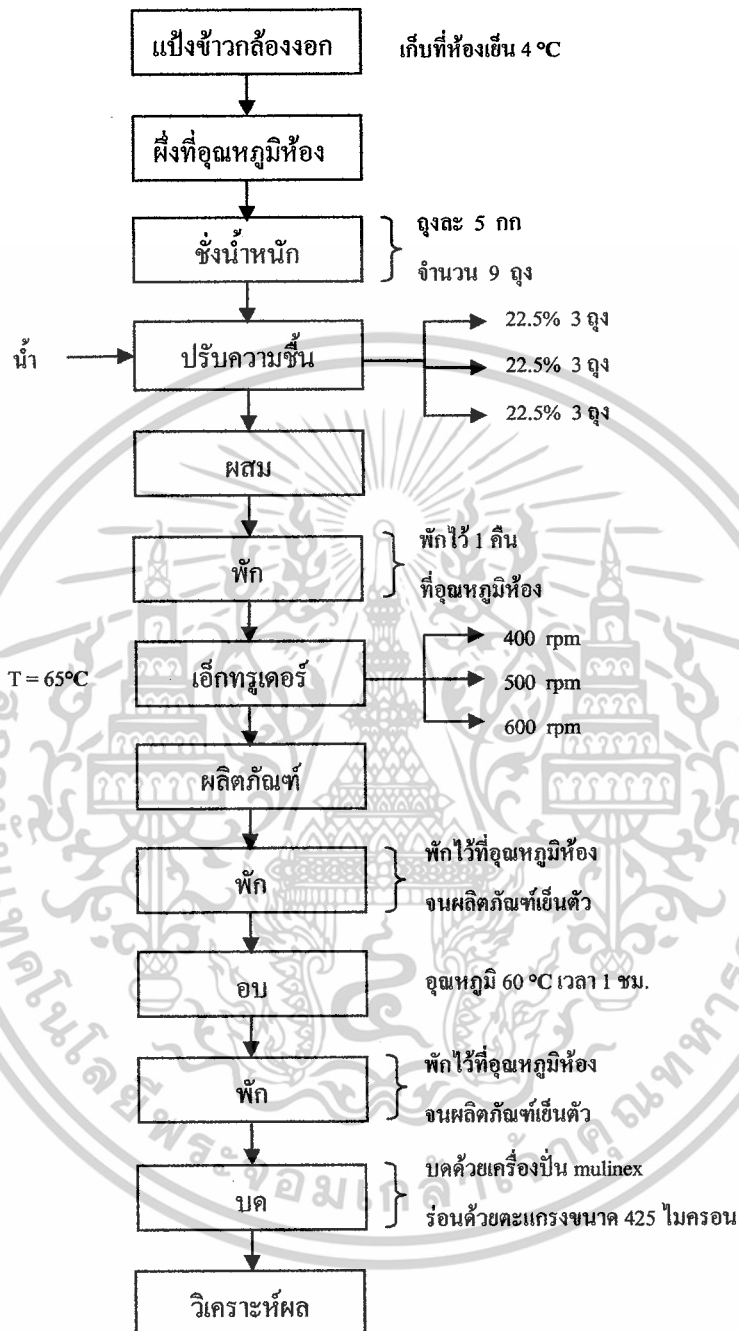
ตอนที่ 2 การปรับสถานะการผลิต

ก่อนทำการทดลองจะต้องนำแป้งข้าวกล้องงอกออกมาฝั้จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แต่ระหว่างการทดลองจะใช้แป้งข้าวกล้องงอกปริมาณ 5 กิโลกรัม การวัดความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบใช้เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพันธุ์พีซทำการวัด 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย การปรับความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบให้ได้ระดับความชื้นตามที่ต้องการโดยการเติมน้ำผสมลงไปในวัตถุดิบ ปริมาณน้ำที่ผสมลงไปได้จากการคำนวณตามหลักการสมดุลมวล (Mass Balance) เมื่อเติมน้ำลงไปแล้วทำการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันจากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืนเพื่อให้ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบเข้าสู่สภาวะสมดุลจึงนำไปใช้ในการทดลอง

ขณะทำการทดลองจะควบคุมอุณหภูมิของเครื่องฮีททรูเคอร์ให้คงที่ 65 °C จึงต้องคอยปรับระดับของน้ำหล่อเย็นเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ แต่เนื่องจากขณะทำการทดลองความร้อนที่สะสมอยู่ภายในจะเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมิจึงควบคุมได้ยาก การป้อนวัตถุดิบควรมีอัตราการป้อนคงที่ การเก็บผลิตภัณฑ์จะไม่เก็บในช่วงแรกควรให้เครื่องฮีททรูเคอร์ทำงานจนเสถียรก่อนจึงค่อยเก็บและช่วงท้ายของการทดลองไม่เก็บผลิตภัณฑ์เป็นการล้างเครื่องเพื่อเตรียมทดลองตัวอย่างต่อไป

5.1 ผลการทดลอง

การทดลองการปรับสถานะการผลิตนี้ใช้สกรูมาตรฐานในการผลิตและศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์คือความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ แบ่งเป็น 22.5%, 25.0% และ 27.5% ความเร็วรอบของสกรูที่ 400 rpm, 500 rpm และ 600 rpm ผลการทดลองที่ได้จากการปรับสถานะการผลิตตามแผนการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุคูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะการทดลองต่างๆ

No.	ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	PV (RVU)	Holding (RVU)	FV (RVU)	Set back (RVU)	WAI (g/g)	WSI (%)	Hardness (g)	Adhesiveness (g.s)	Density (g/cm ³)	ER (เท)	L*	a*	b*	ΔE	
1	เส้นมาตรฐาน	9.877	35.027	35.473	55.027	19.55	2.396	0.049	-	-	1.269	1.878	64.838	15.124	19.670	-	
2	22.5%	400 rpm	4.381	128.570	24.080	41.333	17.25	6.634	0.057	419.127	55.610	0.029	2.013	59.416	13.336	16.822	5.803
3		500 rpm	2.129	92.210	13.530	25.497	11.97	6.042	0.031	204.944	11.900	0.233	2.377	62.44	12.844	14.926	3.012
4		600 rpm	3.003	57.073	14.220	24.723	10.50	5.655	0.041	271.629	16.476	0.397	2.2	61.398	12.584	14.504	2.777
5	25%	400 rpm	3.915	43.080	16.583	32.170	15.59	5.253	0.043	424.191	72.919	0.507	2.136	60.63	13.07	15.994	4.479
6		500 rpm	4.088	41.373	13.527	26.500	12.97	5.016	0.019	798.528	176.970	0.543	1.958	60.702	13.18	15.852	4.335
7		600 rpm	4.14	93.023	10.333	21.890	11.56	6.564	0.045	353.332	44.310	0.462	1.881	60.406	13.244	16.542	5.088
8	27.5%	400 rpm	12.278	24.910	22.580	35.693	13.11	3.733	0.008	145.773	54.368	1.269	1.225	64.838	12.856	14.162	3.296
9		500 rpm	9.217	24.640	25.193	25.193	17.48	5.231	0.04	518.440	154.884	0.953	1.389	61.722	12.848	13.126	1.425
10		600 rpm	9.619	38.513	39.360	66.860	27.50	4.815	0.029	266.356	99.576	1.16	1.512	62.744	12.938	12.256	0.595

ผลการทดลองที่ได้ เมื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ (สมการ 3-1) ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบถดถอย ค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรที่ได้แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอย

ส.ป.ส. สมการ (3-1)	ค่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์										
	ความชื้น	PV	Holding	FV	WAI	WSI	Hardness	Adhesiveness	Density	ER	L*
a ₀	253.7915	1847.8356	1346.9170	1927.1769	12.1567	0.6201	-22915.7887	-3859.4704	8.2592	-15.3515	149.9922
a ₁	-19.7074	-63.9119	-88.4025	-121.1852	0.7407	-0.0113	1636.0614	233.5971	-0.9359	1.4311	-9.6680
a ₂	-0.0821	-3.3518	-1.0425	-1.7429	-0.0504	-0.0016	12.5253	3.5913	0.0062	0.0059	0.1063
a ₁₁	0.4357	0.1173	1.5487	2.0175	-0.0415	-0.0002	-35.3555	-5.2155	0.0271	-0.0329	0.2422
a ₂₂	0.0001	0.0010	0.0004	0.0005	1.267×10 ⁻⁶	7.17×10 ⁻⁷	-0.0194	-0.0057	6.1×10 ⁻⁶	-8.02×10 ⁻⁶	-4.93×10 ⁻⁶
a ₁₂	-0.0013	0.0917	0.0266	0.0477	0.00206	0.00003	0.2681	0.0843	-0.0005	1E-×10 ⁻⁴	-0.0041
R ²	0.9704	0.7571	0.9286	0.9178	0.7482	0.5198	0.6240	0.7163	0.9641	0.9042	0.7250
SE	0.9972	29.1476	3.9251	6.5425	0.7477	0.0167	196.6731	50.0806	0.1302	0.1988	1.3707

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

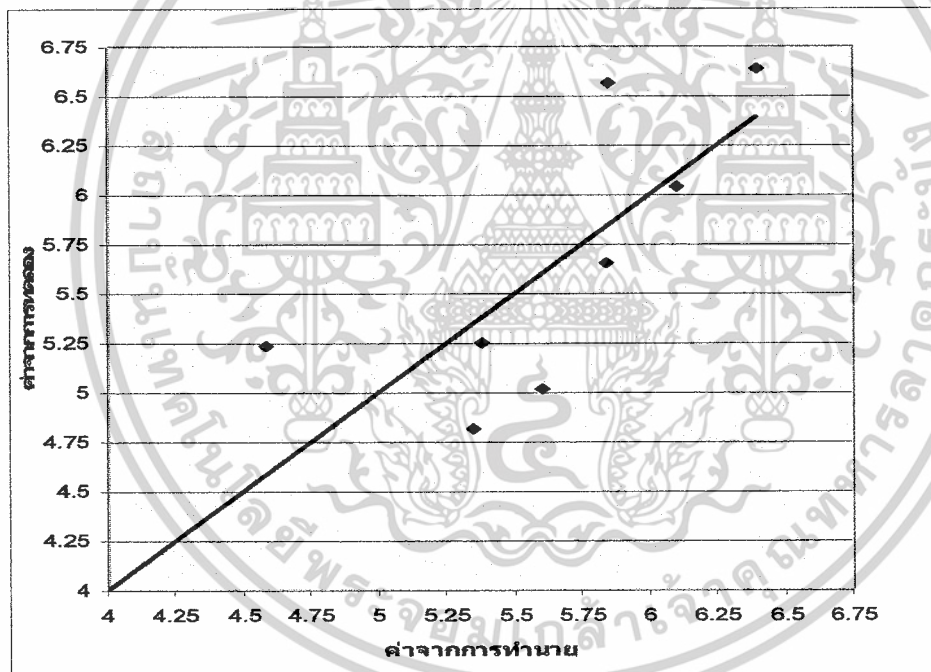
5.2.1 ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture Content, MC)

ความชื้นที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในสถานะต่างๆ ที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 2.13-12.28% และเมื่อนำค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสถานะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$MC = (253.7915) + (-19.70743333)X_1 + (-0.082128333)X_2 + (0.43576)X_1^2 + (0.0001078)X_2^2 + (-0.001281)X_1X_2 \quad (5-1)$$

$$R^2 = 0.9704 \quad SE = 0.9972$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-1) แสดงในรูปที่ 5.2

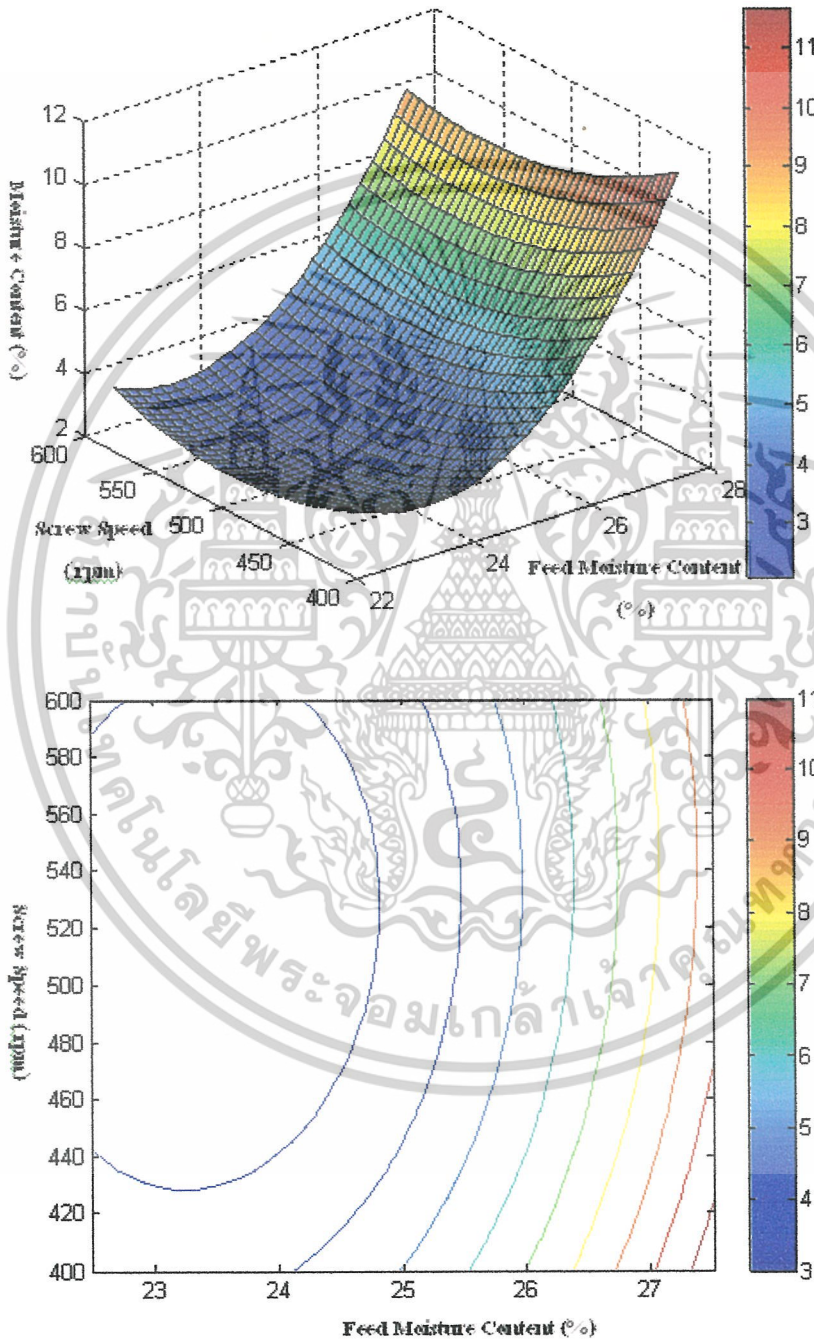


รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-1)

เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (5-1) มาพลอตกราฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.3 จากกราฟจะพบว่าการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบจะส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสูงขึ้นด้วย เนื่องจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเมื่อผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันน้ำจะระเหยออกไปเพียงส่วนหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณน้ำเหลืออยู่ในโครงสร้างมากจึงมีค่าความชื้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลงเนื่องจากการเพิ่มความเร็วยรอบเป็นการเพิ่มแรงเฉือนทำให้สกรูและวัตถุดิบเสียดสีกันเกิดความร้อนภายในมากขึ้นจึงทำให้น้ำสามารถระเหยได้ดี ดังนั้นความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีค่าลดลง



รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ
และความเร็วยรอบของสกรูที่มีต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 คุณสมบัติทางความหนืดของเอ็กซ์ทรูเดท (Pasting properties)

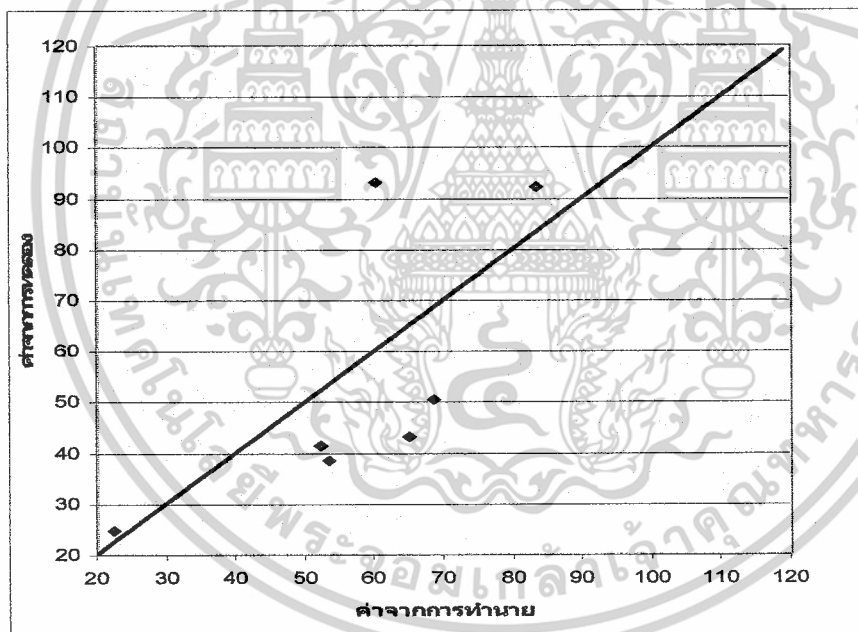
5.2.2.1) ความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity)

ค่าความหนืดสูงสุดเป็นค่าที่ใช้แสดงความสามารถในการเจลาติไนเซชันของสตาร์ชในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ค่าความหนืดสูงสุดที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในสภาวะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 24.64-128.57 RVU และเมื่อนำค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{Peak Viscosity} = & (1847.835667) + (-63.91193333)X_1 + (-3.351795)X_2 \\ & + (0.11728)X_1^2 + (0.00103595)X_2^2 + (0.091666)X_1X_2 \quad (5-2) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.7572 \quad SE = 29.1476$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-2) แสดงในรูปที่ 5.4

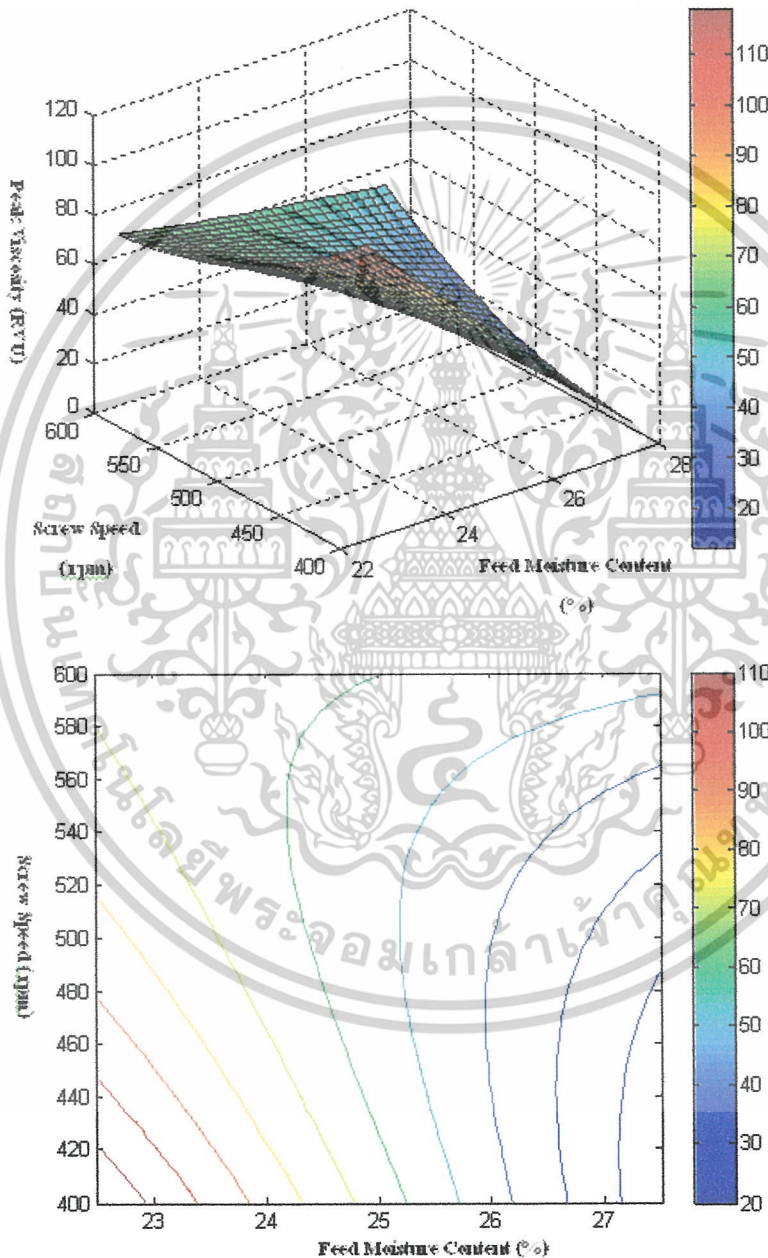


รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-2)

เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (5-2) มาพลอตกราฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.5 จากกราฟจะพบว่าการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบจะมีค่าความหนืดสูงสุดลดลง ซึ่งความจริงแล้วควรจะมีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มเนื่องจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเมื่อผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแป็งจะสุกเพียงเล็กน้อยทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถดูดน้ำได้มากจึงมีค่าความหนืดสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยรอบเป็นการเพิ่มแรงเฉือนทำให้เกิดการสูญเสียสภาพ โดยถูกทำลายทางกล (Mechanical Starch Granule Degradation) ในกระบวนการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีค่าความหนืดสูงสุดน้อย



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

และความเร็วยรอบของสกรูที่มีต่อค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

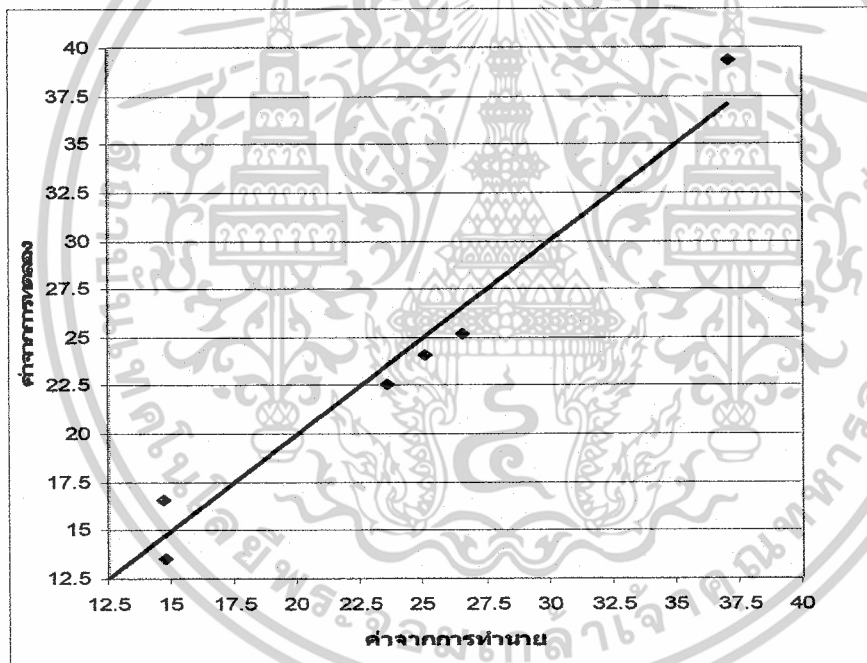
5.2.2.2) ความคงทนต่อการกวน (Holding Strength)

ค่าความคงทนต่อการกวนที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในสถานะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 10.333-39.36 RVU และเมื่อนำค่าความคงทนต่อการกวนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสถานะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{Holding Strength} &= (1346.917) + (-88.40246667)X_1 + (-1.042483333)X_2 \\ &+ (1.54872)X_1^2 + (0.0003776) X_2^2 + (0.02664)X_1X_2 \end{aligned} \quad (5-3)$$

$$R^2 = 0.9286 \quad SE = 3.9251$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-3) แสดงในรูปที่ 5.6

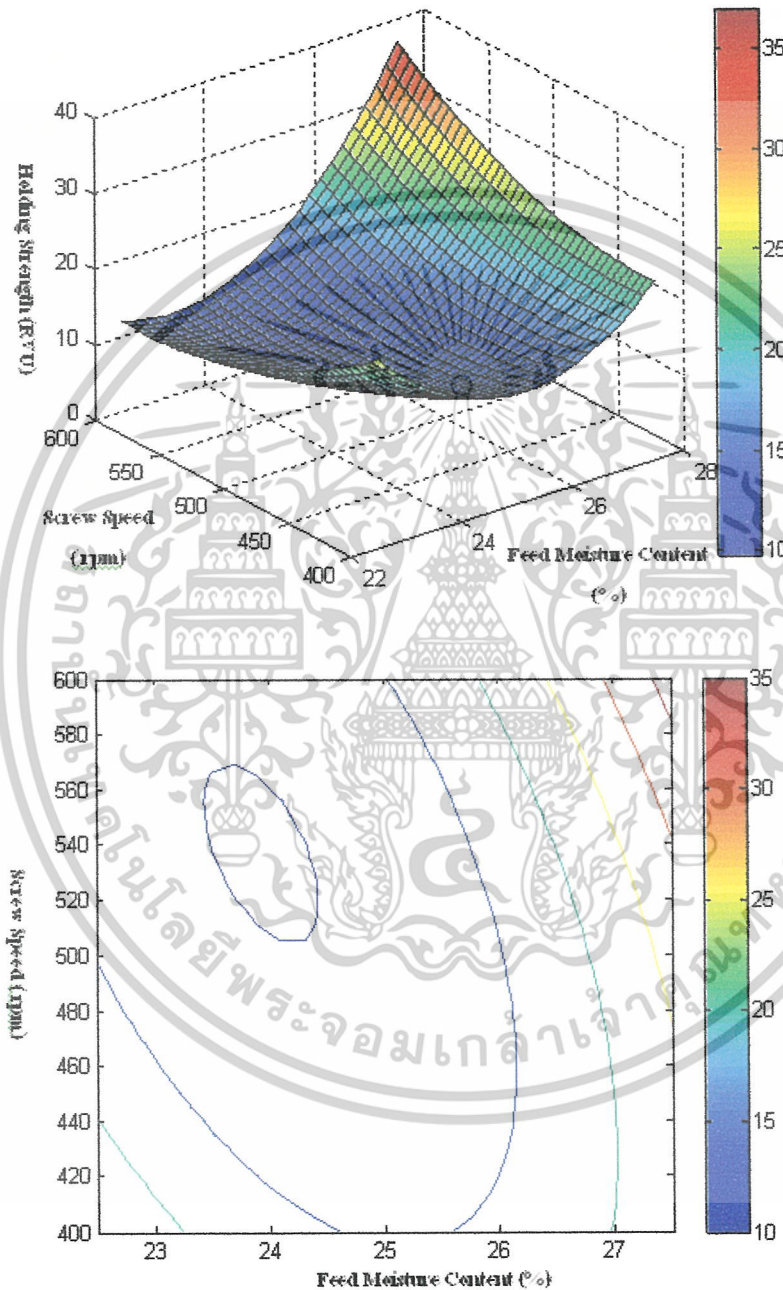


รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่าความคงทนต่อการกวนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-3)

เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (5-3) มาพลอตกราฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.7 จากกราฟจะพบว่าการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบจะส่งผลให้ค่าความคงทนต่อการกวนของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเมื่อผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทราชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะ โครงสร้างแน่นและแข็งจึงมีค่าความคงทนต่อการกวนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มความเร็วยอบของสกรูจะส่งผลให้ค่าความคงทนต่อการกวนของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยอบเป็นการเพิ่มแรงเฉือนทำให้เกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ได้มากผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีค่าความคงทนต่อการกวนสูง



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ และความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อค่าความคงทนต่อการกวนของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3) ความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity)

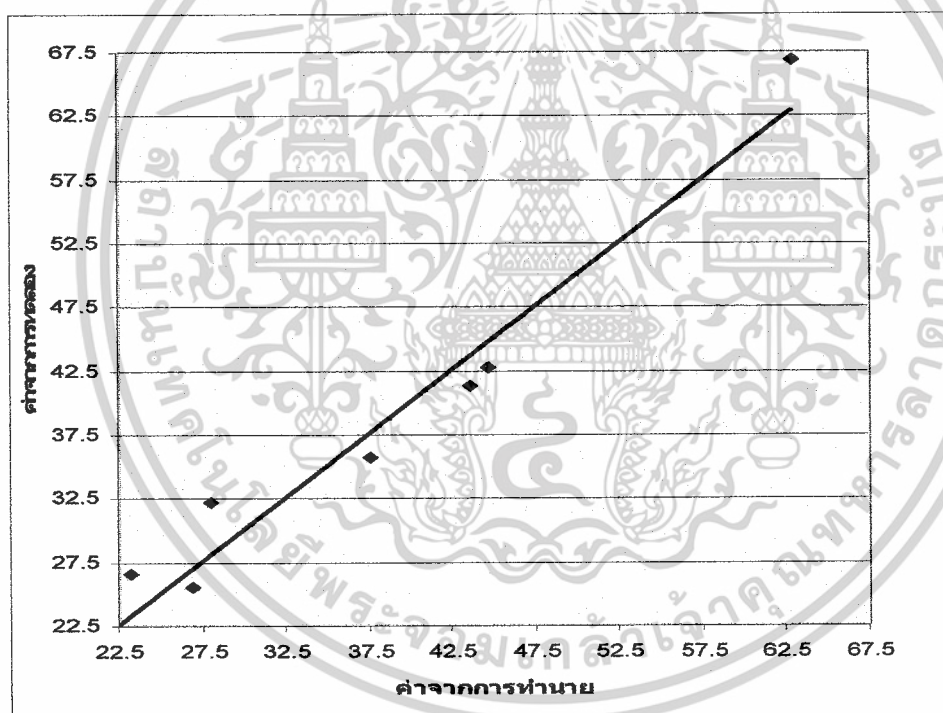
ค่าความหนืดสุดท้ายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในสถานะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 21.89-66.86 RVU และเมื่อนำค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสถานะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{Final Viscosity} = & (1927.176944) + (-121.1851667)X_1 + (-1.74288)X_2 \\ & + (2.017493333)X_1^2 + (0.000555583) X_2^2 + (0.047777)X_1X_2 \end{aligned} \quad (5-4)$$

$$R^2 = 0.9178$$

$$SE = 6.5425$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-4) แสดงในรูปที่ 5.8

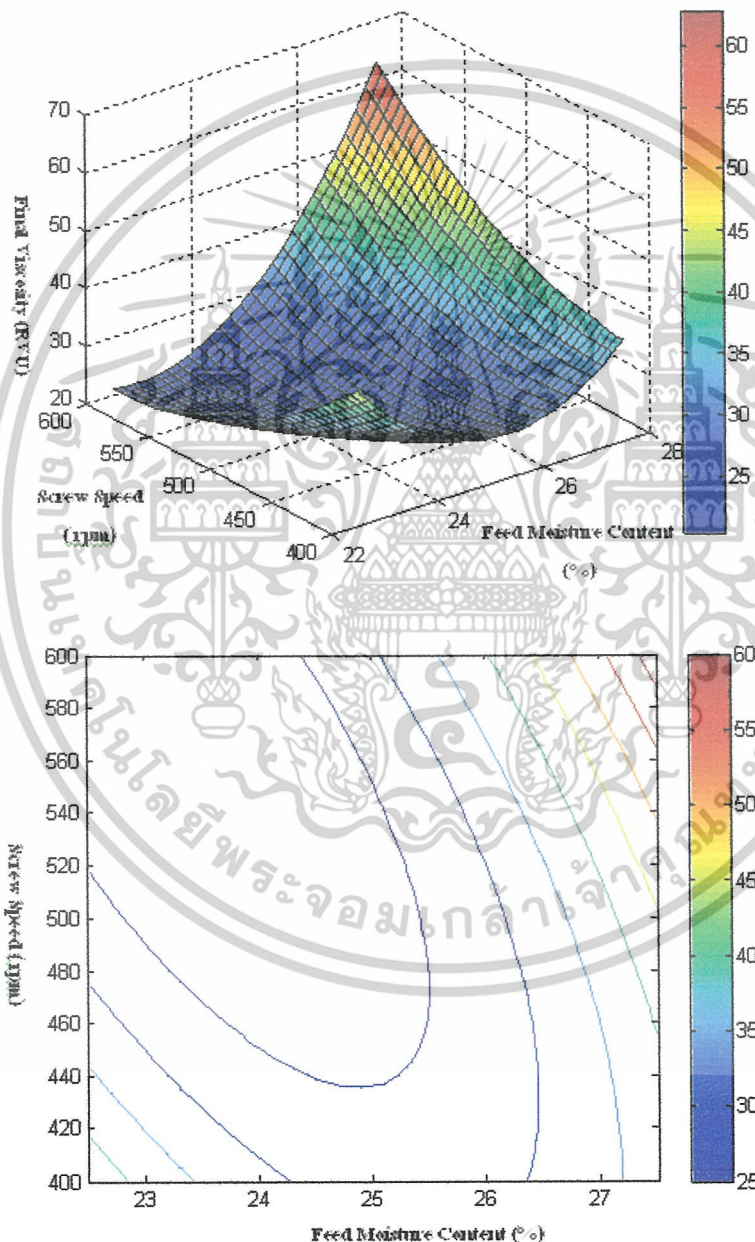


รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-4)

เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (5-4) มาพลอตกราฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.9 จากกราฟจะพบว่าการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบจะส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเมื่อผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะโครงสร้างแน่นและแข็งจึงมีค่าความหนืดสุดท้ายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยรอบเป็นการเพิ่มแรงเฉือนทำให้โครงสร้างโมเลกุลแป้งข้าวกล้องงอกถูกทำลายทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายต่ำ แต่ที่ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 27.5% การเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วยรอบ 600 rpm มีค่าความหนืดสุดท้ายใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด



รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

และความเร็วยรอบของสกรูที่มีต่อค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

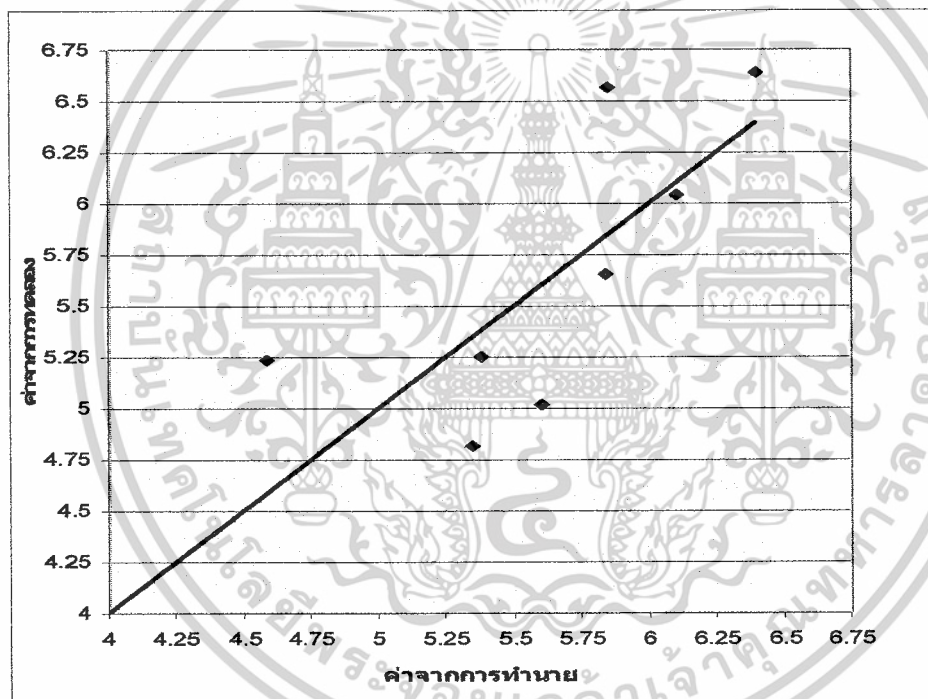
5.2.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI)

ความสามารถในการดูดซับน้ำ ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในสถานะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 3.733-6.634 g/g และเมื่อนำค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสถานะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{WAI} = & (12.15672222) + (0.7407)X_1 + (-0.050435)X_2 + (-0.041493333)X_1^2 \\ & + (1.26667 \times 10^{-6})X_2^2 + (0.002061)X_1X_2 \end{aligned} \quad (5-5)$$

$$R^2 = 0.7482 \quad \text{SE} = 0.7477$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-5) แสดงในรูปที่ 5.10

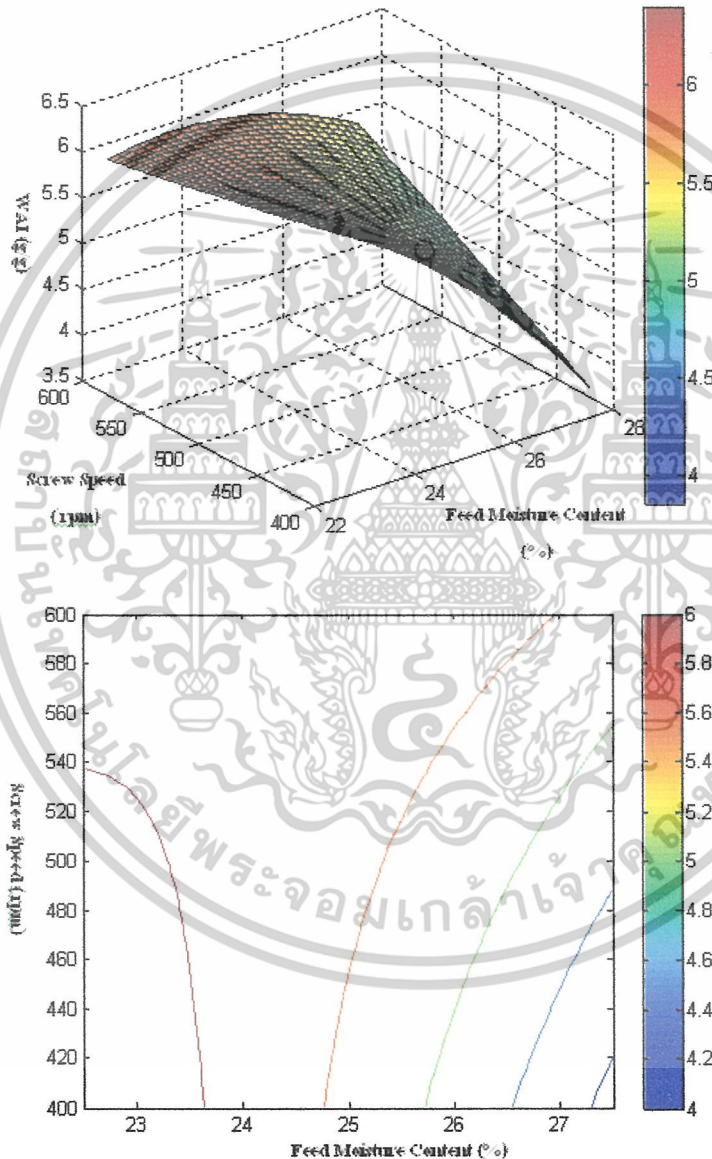


รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์
ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-5)

เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (5-5) มาพลอตกราฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.11 จากกราฟจะพบว่าการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเมื่อกลายเป็นผลิตภัณฑ์ก็จะมีปริมาณน้ำเหลืออยู่มาก โครงสร้างภายในเปลี่ยนแปลงน้อยจึงดูดซับน้ำกลับได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยรอบเป็นการเพิ่มแรงเฉือนทำให้สกรูและวัตถุดิบเสียดสีกันเกิดความร้อนภายในมากขึ้น เมื่อแป้งได้รับความร้อนจะเกิดการพองตัวจนถึงจุดพองตัวเต็มที่แล้วแตกออกเป็นโครงสร้างใหม่ที่ไม่วูดน้ำกลับเข้ามาอีก (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543) ทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าลดลง



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

และความเร็วยรอบของสกรูที่มีต่อความสามารถในการดูด

ซับน้ำของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

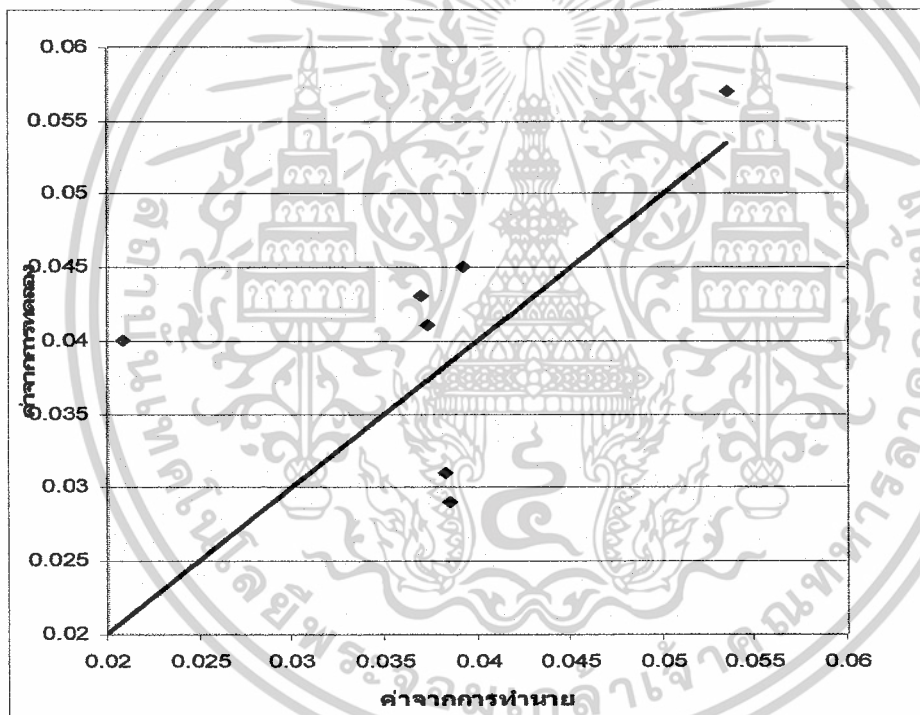
5.2.4 ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI)

ความสามารถในการละลายน้ำ ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในสถานะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 0.008-0.057% และเมื่อนำค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสถานะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{WSI} = & (0.620055556) + (-0.0113)X_1 + (-0.00163)X_2 + (-0.000213333)X_1^2 \\ & + (7.16667 \times 10^{-7}) X_2^2 + (0.000037)X_1X_2 \end{aligned} \quad (5-6)$$

$$R^2 = 0.5198 \quad \text{SE} = 0.0167$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-6) แสดงในรูปที่ 5.12

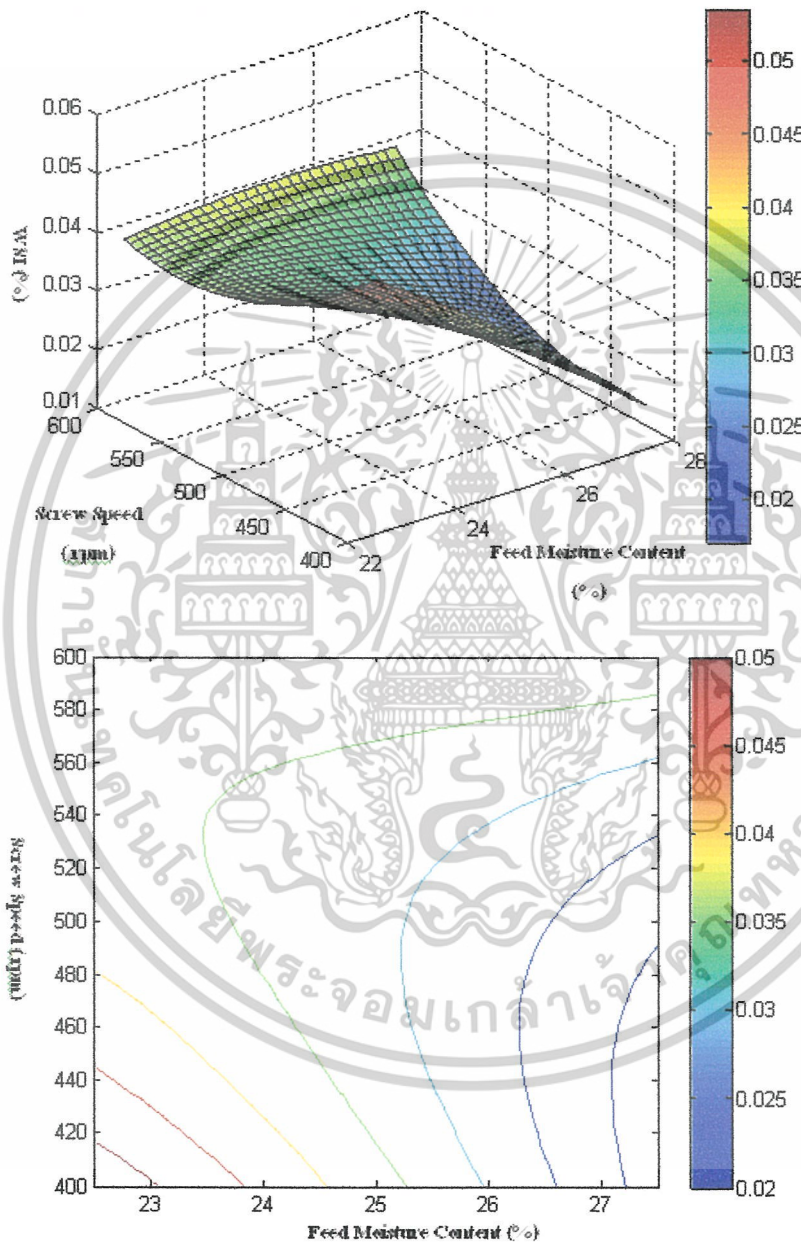


รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-6)

เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (5-6) มาพลอตกราฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.13 จากกราฟจะพบว่าการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบจะส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเมื่อกลายเป็นเอ็กซ์ทรูเดตจะมีปริมาณน้ำเหลืออยู่มากทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์จับตัวกันแน่นและแข็งจึงละลายน้ำได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยรอบเป็นการเพิ่มแรงเฉือนทำให้โมเลกุลของแป้งข้าวกล้องงอกถูกทำลายแตกออกเป็นส่วนประกอบที่สามารถละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ และความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

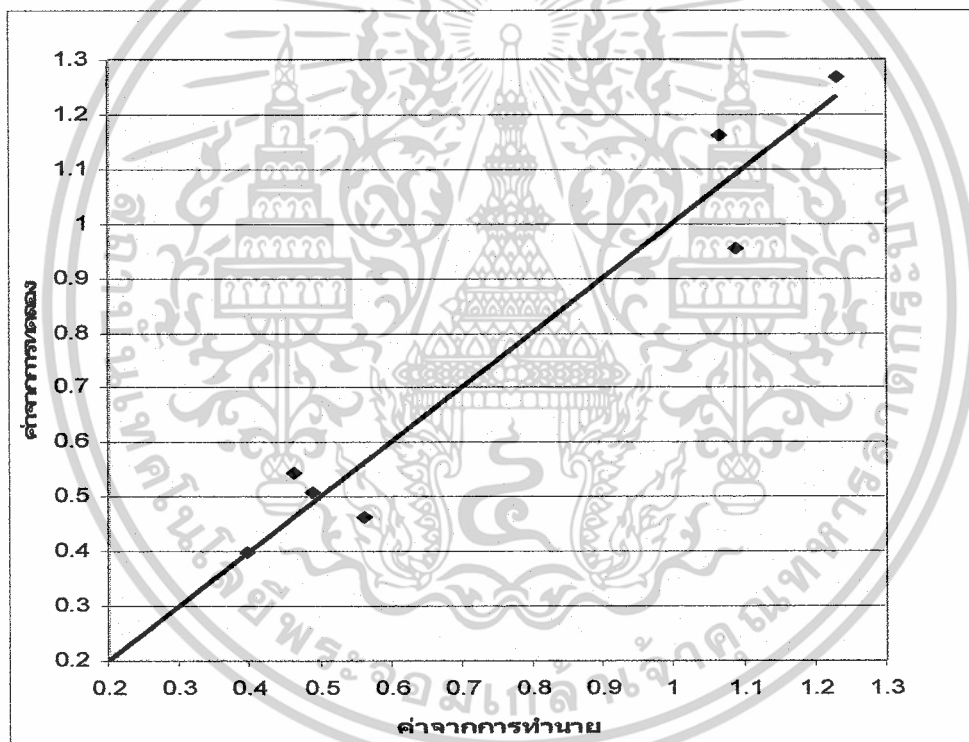
5.2.5 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ (Density ρ)

ความหนาแน่นที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในสภาวะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 0.029-1.269 (g/cm^3) และเมื่อนำค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\rho = (8.259166667) + (-0.935966667)X_1 + (0.006181667)X_2 + (0.02712)X_1^2 + (6.1 \times 10^{-6})X_2^2 + (-0.000477)X_1X_2 \quad (5-7)$$

$$R^2 = 0.9641 \quad SE = 0.1302$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-7) แสดงในรูปที่ 5.14

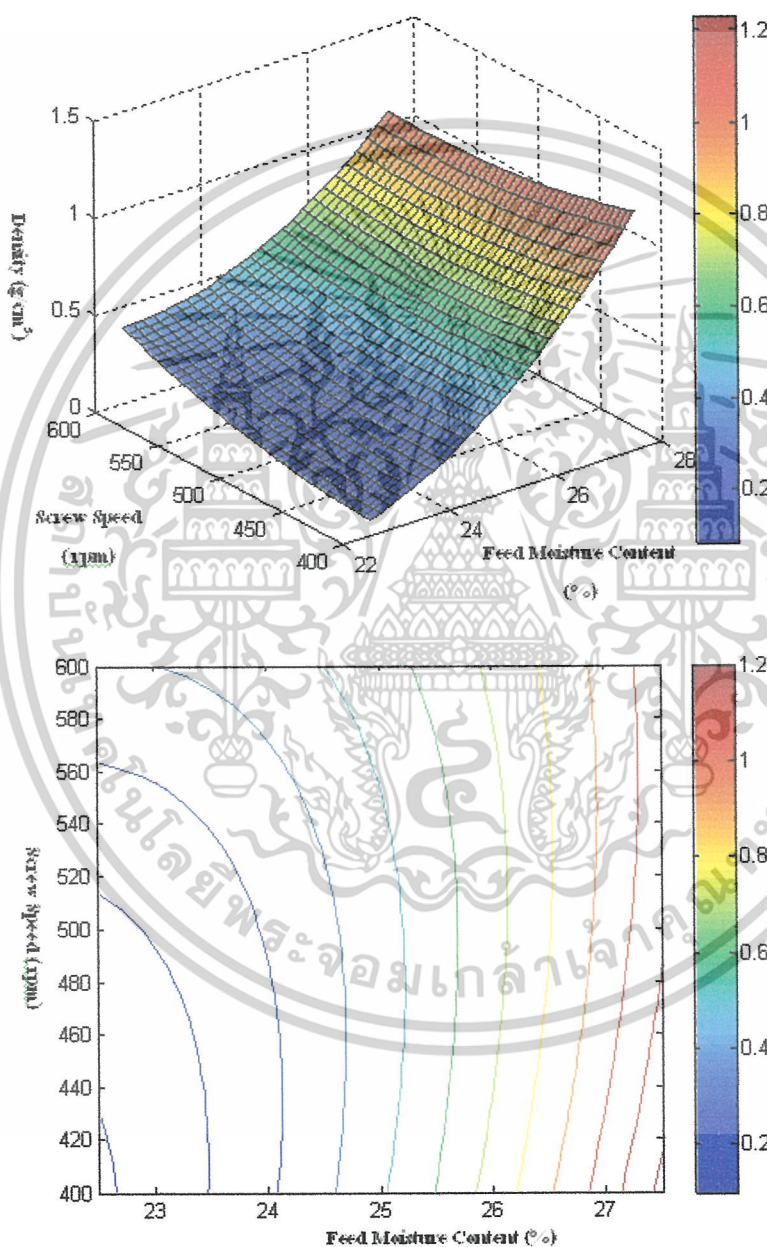


รูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-7)

เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (5-7) มาพลอตกราฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.15 จากกราฟจะพบว่าการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบจะส่งผลให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสูงขึ้นด้วย เนื่องจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเมื่อกลายเป็นผลิตภัณฑ์ก็จะมีปริมาณน้ำเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีมวลมากทำให้ค่าความหนาแน่นสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยรอบเป็นการเพิ่มแรงเฉือนทำให้สกรูและวัตถุดิบเสียดสีกันเกิดความร้อนภายในมากขึ้นจึงทำให้น้ำสามารถระเหยได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำและมีมวลน้อยทำให้ค่าความหนาแน่นต่ำลง



รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

และความเร็วยรอบของสกรูที่มีต่อค่าความหนาแน่นของ

ผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.6 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (Expansion Ratio, ER)

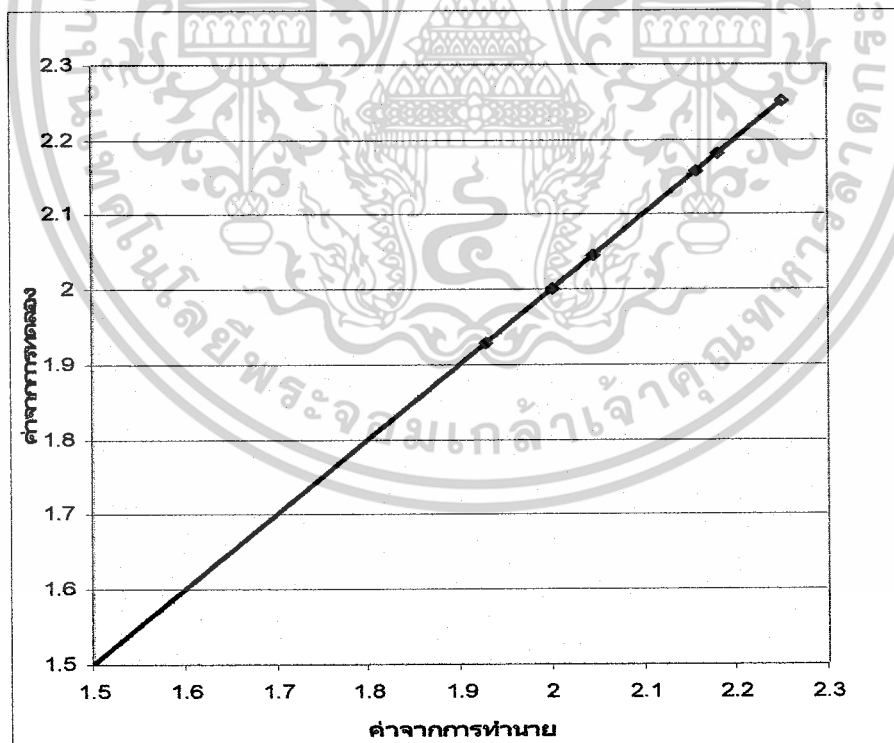
ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากเครื่องอัดพองแบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่คือ ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวทันที (direct expanded products) และ ไม่พองตัว (indirect expanded products หรือ half product) การทดลองนี้เป็นการศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดไม่พองตัว ดังนั้นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะต้อง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกับขนาดรูเปิดของหน้าแปลนที่ใช้ในการผลิต

อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ในสภาวะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 1.225-2.377 และเมื่อนำค่าอัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาสร้าง ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$ER = (-15.35155556) + (1.431066667)X_1 + (0.005881667)X_2 + (-0.032906667)X_1^2 + (-8.01667 \times 10^{-6})X_2^2 + (1 \times 10^{-4})X_1X_2 \quad (5-8)$$

$$R^2 = 0.9042 \quad SE = 0.1988$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-8) แสดงในรูปที่ 5.16

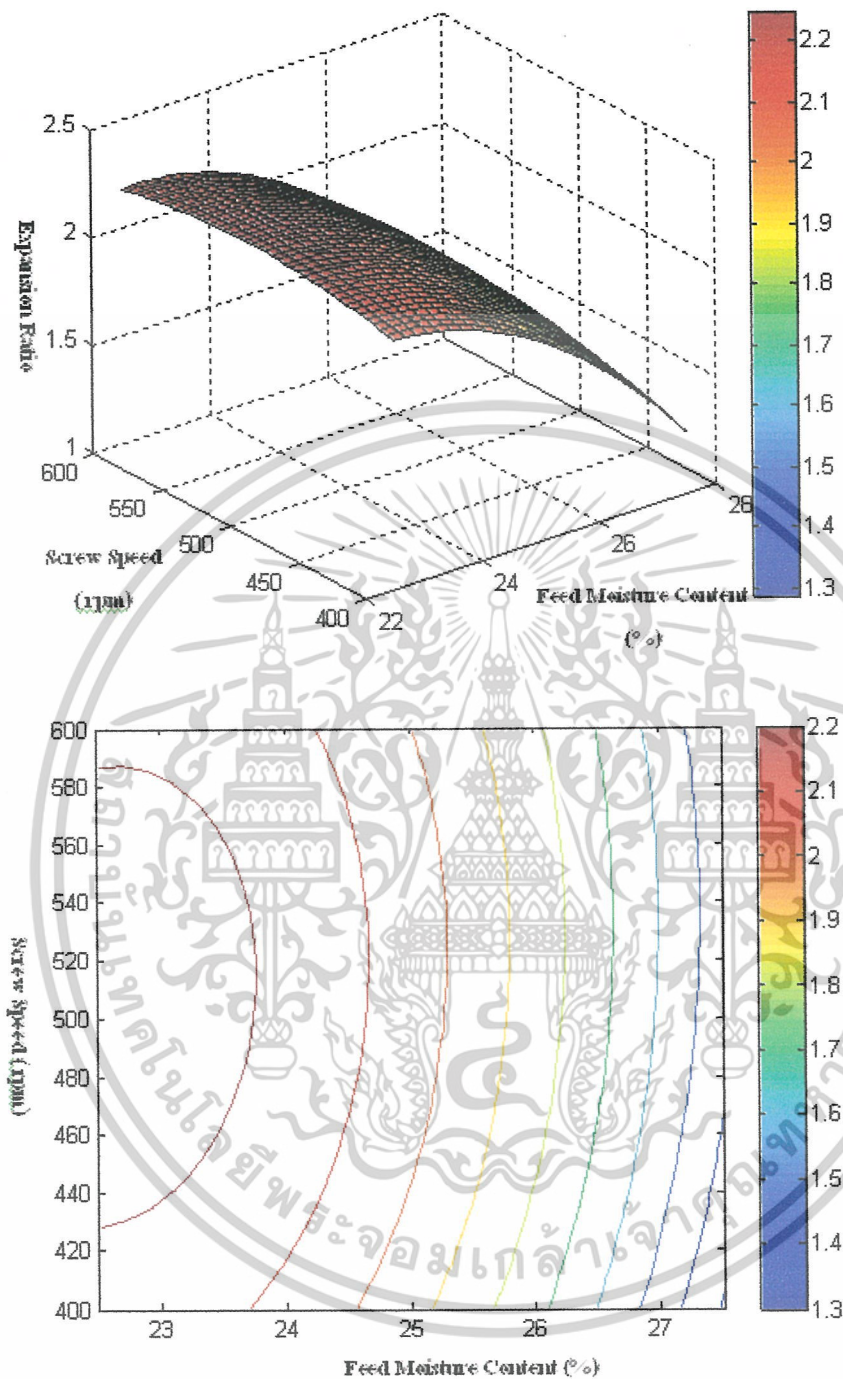


รูปที่ 5.16 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (5-8) มาพลอตกราฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.17 จากกราฟจะพบว่า การเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบจะส่งผลให้อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงจะมีปริมาณน้ำอยู่มากช่วยในการหล่อลื่นระบบภายในของเครื่อง เอ็กซ์ทรูเดอร์ทำให้ลดการเสียดสีและความดันภายในลดลง ส่งผลให้ความเป็นไอร้อนยวดยิ่งของไอน้ำลดลง เมื่อ ไค้ออกมาที่หน้าแปลนและเข้าสู่สภาวะความดันปกติ แรงดันภายในของ ไค้อที่เกิดจากไอน้ำจึงน้อยกว่า ไค้อที่มีน้ำน้อยทำให้อัตราการพองตัวลดลง

การเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลให้อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่ามากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยรอบเป็นการเพิ่มแรงเฉือนและความดันภายในบาร์เรล เมื่อผลิตภัณฑ์ออกมาจากหน้าแปลนจึงเกิดการระเหยของน้ำประกอบการลดลงของความดันอย่างรวดเร็วทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวสูงขึ้น (Davidson et al., 1984) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Diosady et al., (1985) ที่ได้ทำการศึกษาของกระบวนการอัดพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งชนิดต่างๆ



รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ และความเร็วรอบของสกรูที่มีต่ออัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.7 ปริมาณของแข็งสูญเสีย (Solid loss)

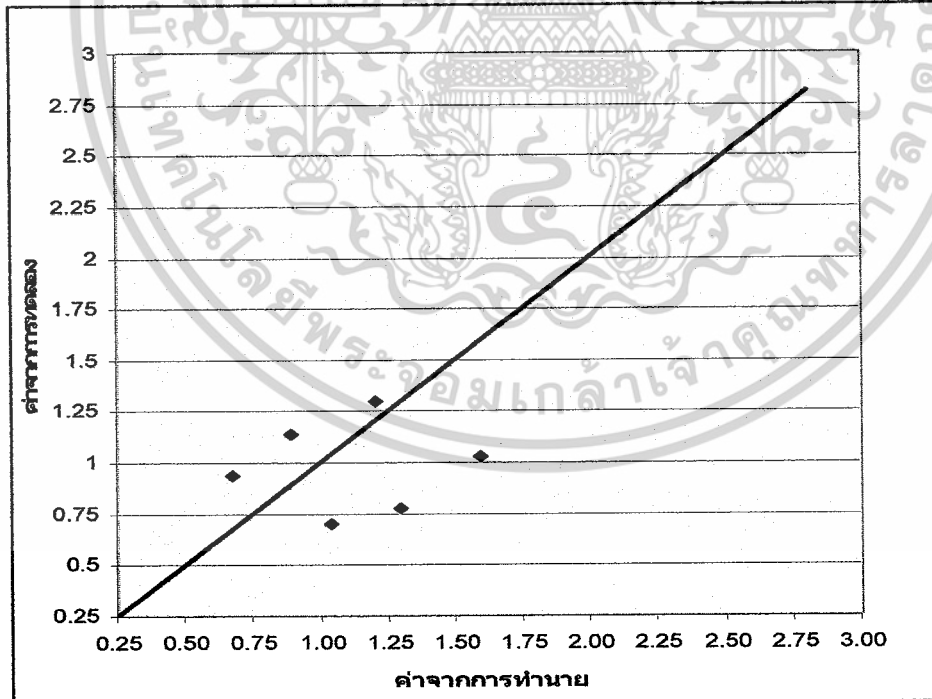
การสูญเสียระหว่างต้มเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปแบบพาสตา การสูญเสียระหว่างต้มสังเกตเบื้องต้นได้จากลักษณะสีขาวขุ่นของน้ำที่ใช้ต้ม ในการต้มสิ่งที่ละลายลงสู่น้ำที่ใช้ต้มโดยหลักจะเป็นแป้งหรืออะไมโลสที่หลุดออกมาจากผลิตภัณฑ์ (Smewing,1997)

ปริมาณของแข็งสูญเสียที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในสถานะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 0.287-3.287 (%) และเมื่อนำค่าปริมาณของแข็งสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสถานะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{Solid loss} = & (10.49944444) + (-0.9575)X_1 + (0.020195833)X_2 \\ & + (0.037733333)X_1^2 + (4.19583 \times 10^{-5})X_2^2 + (-0.002405)X_1 X_2 \end{aligned} \quad (5-9)$$

$$R^2 = 0.8104 \quad SE = 0.6219$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-9) แสดงในรูปที่ 5.18



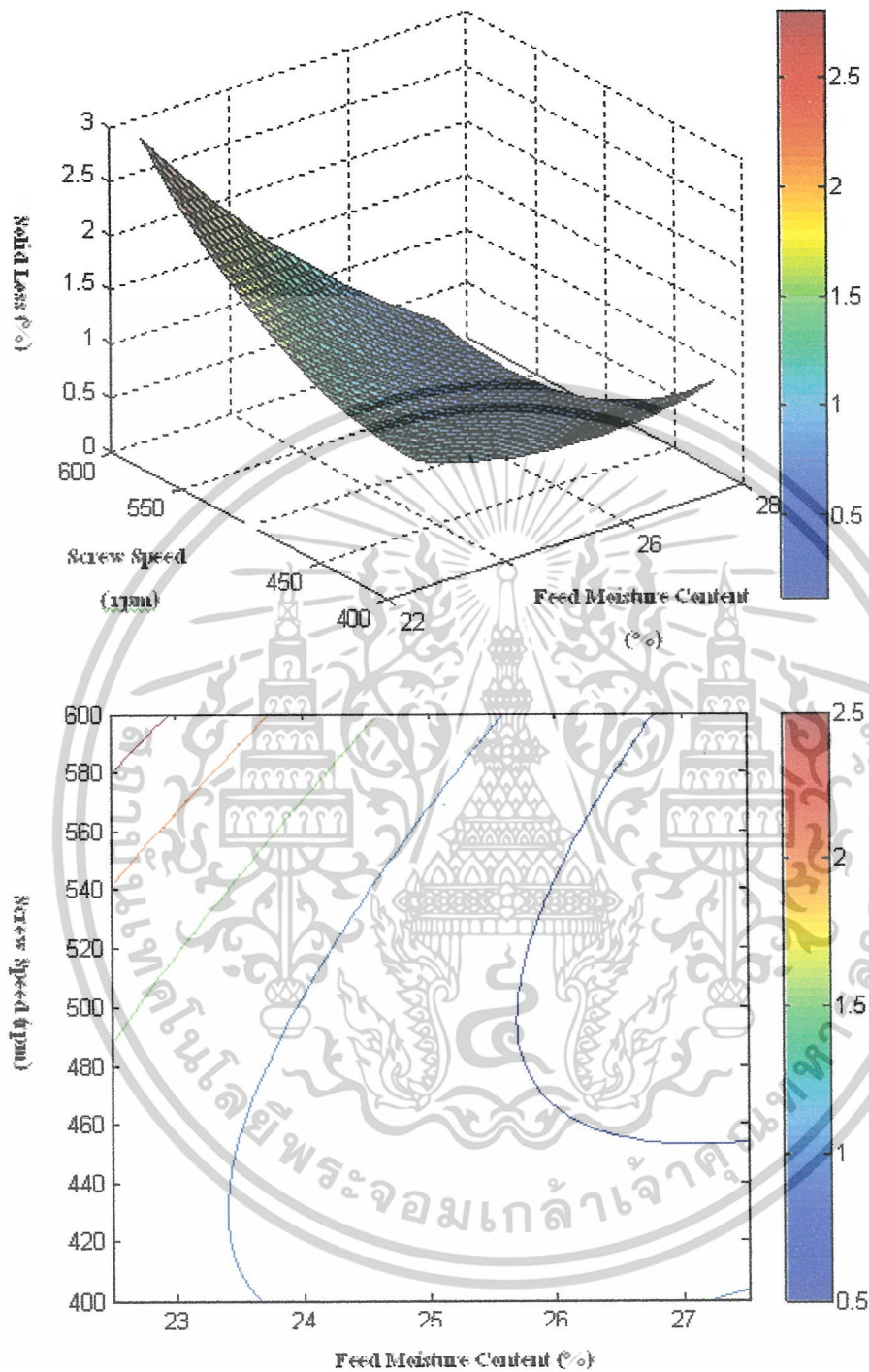
รูปที่ 5.18 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างต้มเริ่มจากด้านบนหรือที่ผิวของผลิตภัณฑ์ก่อน จากนั้นจึงแพร่เข้าสู่แกนกลางซึ่งแกนกลางอาจยังไม่สุกในขณะที่ผิวภายนอกเกิดการสุกอย่างสมบูรณ์จึงเป็นเหตุให้แป้งหลุดล่อนลงสู่น้ำที่ใช้ต้มได้ ดังนั้นหากใช้ระยะเวลาในการต้มนานการสูญเสียระหว่างต้มจะสูงขึ้นตามไปด้วย (Wang et al.,1999;Kojima et al.,2001) แต่ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย

เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (5-9) มาพลอตกราฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.19 จากกราฟจะพบว่าการสูญเสียระหว่างต้มได้รับอิทธิพลหลักจากความเร็วรอบของสกรู เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้นเป็นการเพิ่มแรงเฉือนทำให้โมเลกุลของแป้งข้าวกล้องงอกแตกออกจึงละลายน้ำได้ดีขึ้น เมื่อนำตัวอย่างไปต้มจึงมีของแข็งปะปนไปกับน้ำมาก ขณะที่การเพิ่มหรือลดความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการสูญเสียระหว่างต้ม





รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ
และความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อปริมาณของแข็งสูญเสีย
ของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.8 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)

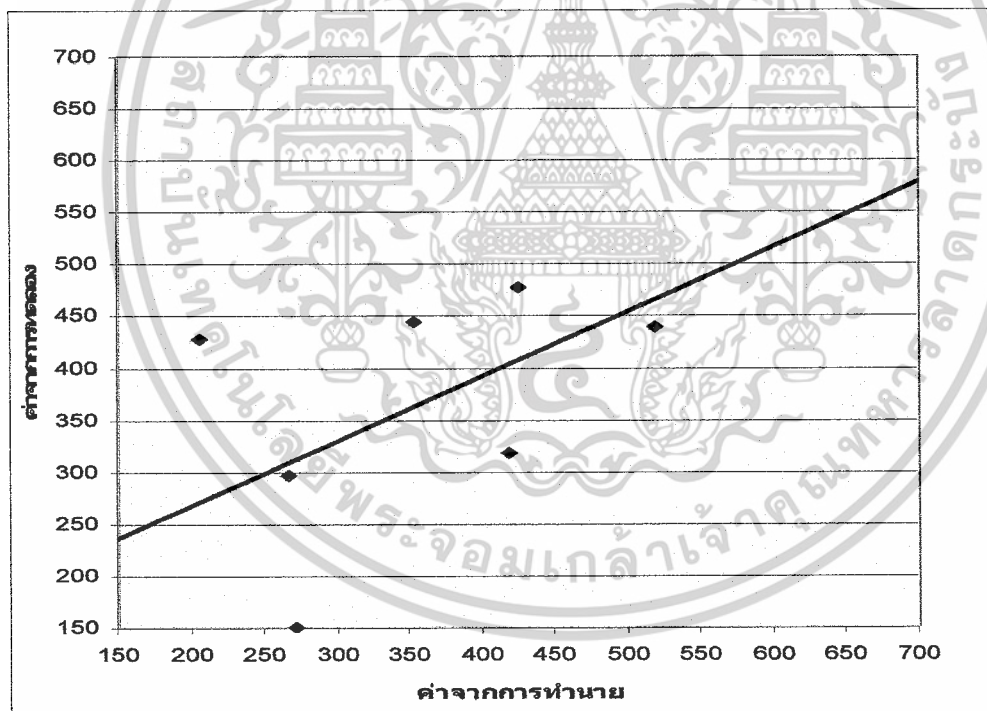
5.2.8.1 ความแข็ง (Hardness)

ค่าแรงแตกหักสูงสุดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากหัวกดแบบ Waener-Blatzer Blade จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ได้ผลิตภัณฑ์ในสภาวะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 145.773-798.528 g และเมื่อนำค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\text{Hardness} = (-22915.78872) + (1636.061433)X_1 + (12.525285)X_2 + (-35.35554667)X_1^2 + (-0.019390267)X_2^2 + (0.268081)X_1X_2 \quad (5-10)$$

$$R^2 = 0.6240 \quad \text{SE} = 196.6731$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-10) แสดงในรูปที่ 5.20



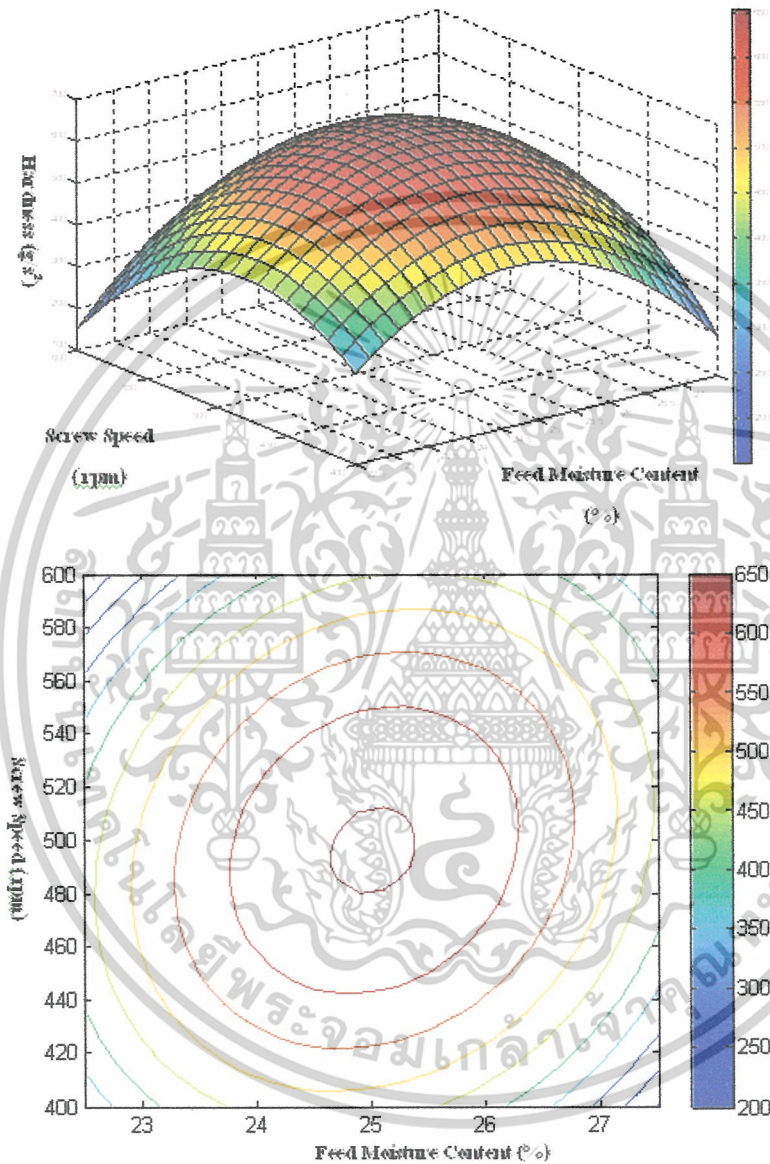
รูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-10)

นำผลการทดลองที่ได้จากสมการ (5-10) มาพลอตกราฟแสดงได้ในรูป 5.21 พบว่าความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ 25% และความเร็วรอบของสกรูที่ 500 rpm จะให้ค่าความแข็งสูงสุด อาจเป็น

เพราะหลังการลวกผลิตภัณฑ์สัมผัสอุณหภูมิห้องเป็นเวลานานจนเย็นตัวผลิตภัณฑ์จึงแข็ง แต่จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาแนวโน้มของสภาวะที่จะให้ค่าความแข็งสูงสุดควรจะมีค่าความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ 27.5% และความเร็วรอบของสกรูที่ 400 rpm เพราะที่สภาวะนี้แป้งจะสุกเพียงบางส่วน น้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยได้น้อย โครงสร้างภายในแน่นผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะค่อนข้างแข็ง



รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ และความเร็วรอบของสกรูที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

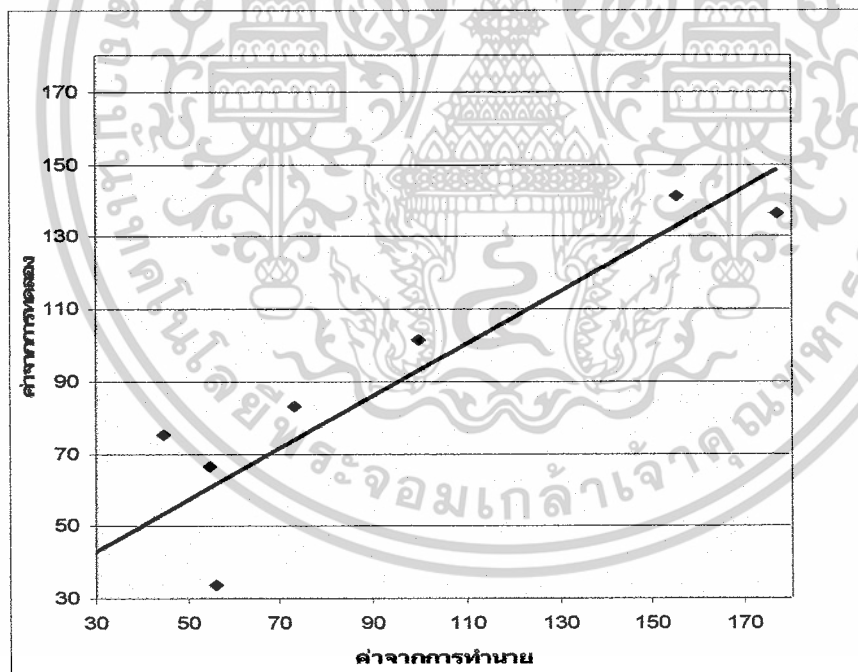
5.2.8.2 ความเหนียว (Adhesiveness)

ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ คือค่าที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่เป็นค่าลบ (Negative Area) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้หัวกดแบบ Waener-Blatzer Blade ได้ผลิตภัณฑ์ในสภาวะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 11.900-176.970 g.s และเมื่อนำค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{Adhesiveness} = & (-3859.470444) + (233.5971333)X_1 + (3.591375)X_2 \\ & + (-5.215573333)X_1^2 + (-0.005737483)X_2^2 + (0.084342)X_1X_2 \end{aligned} \quad (5-11)$$

$$R^2 = 0.7163 \quad SE = 50.0806$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-11) แสดงในรูปที่ 5.22

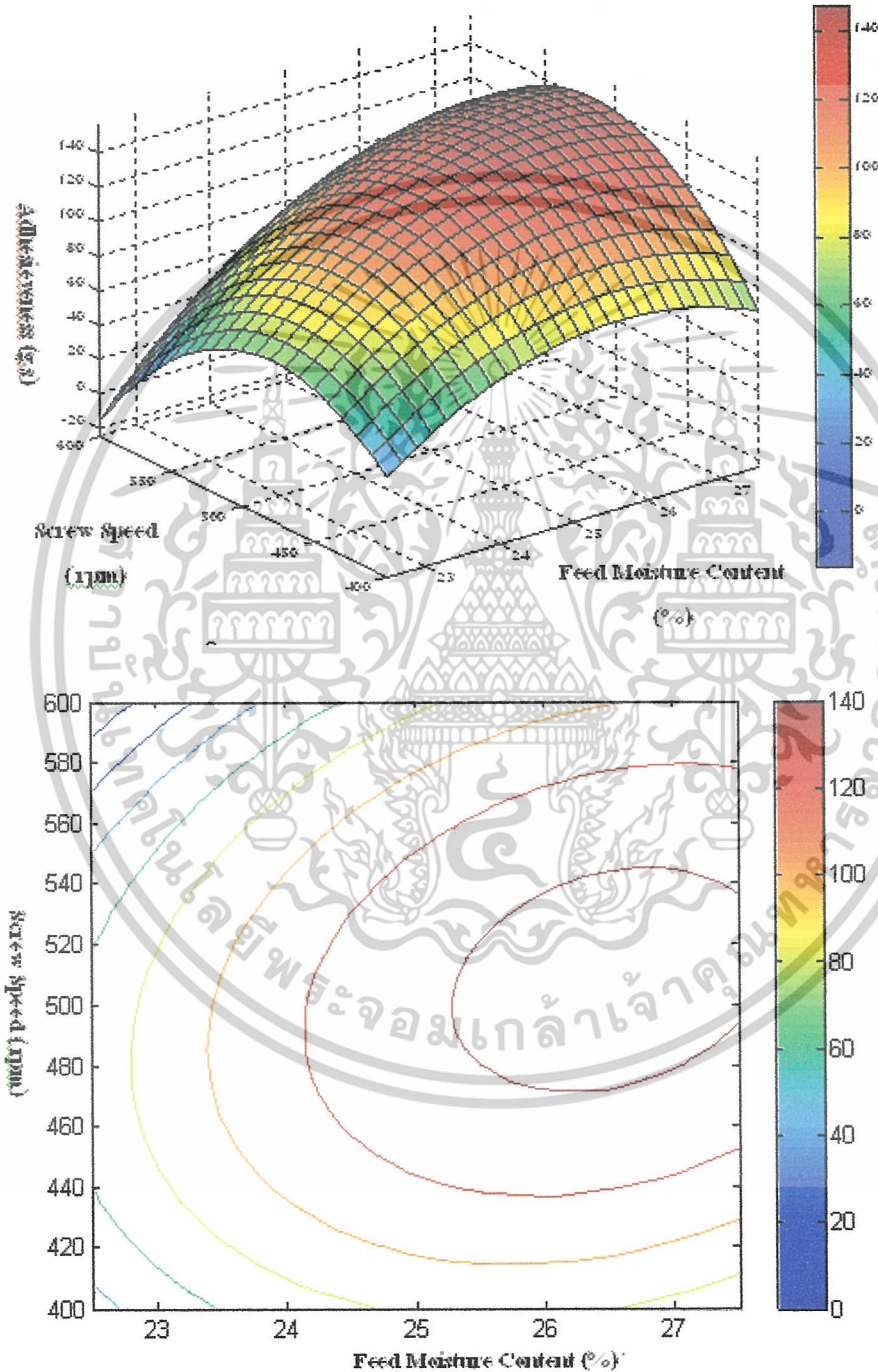


รูปที่ 5.22 การเปรียบเทียบค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-11)

นำผลการทดลองที่ได้จากสมการ (5-11) มาพลอตกราฟแสดงได้ในรูป 5.23 จากกราฟจะพบว่าความชื้นวัตถุดิบเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มความชื้นของวัตถุดิบจะทำให้ค่าความเหนียวเพิ่มขึ้นเนื่องจากวัตถุดิบมีปริมาณน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มากทำให้โครงสร้างแข็งแรงและเหนียว การเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะให้ความเหนียวมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของแป้งถูกทำลาย



รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วยรอบของสกรูที่มีต่อค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

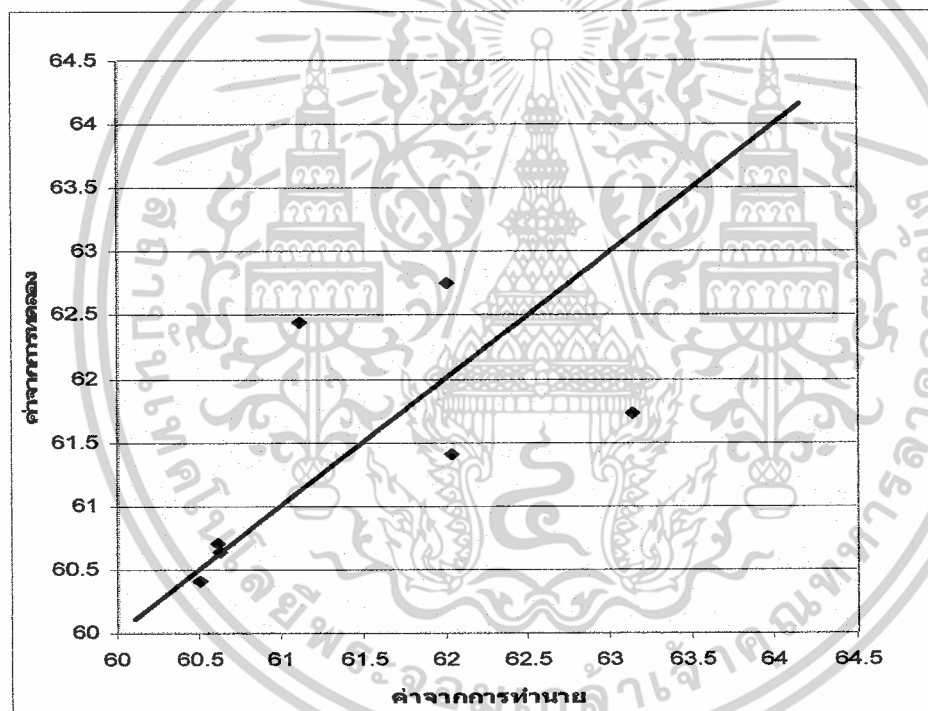
5.2.9 ค่าความสว่างของสี (L*)

ค่าความสว่างของสีที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในสถานะต่างๆที่ผ่านการอบแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 59.416-64.838 และเมื่อนำค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสถานะการผลิต ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$L^* = (149.9922222) + (-9.668)X_1 + (0.106273333)X_2 + (0.242186667)X_1^2 + (-4.93333 \times 10^{-6})X_2^2 + (-0.004076)X_1 X_2 \quad (5-12)$$

$$R^2 = 0.7250 \quad SE = 1.3707$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการ (5-12) แสดงในรูปที่ 5.24

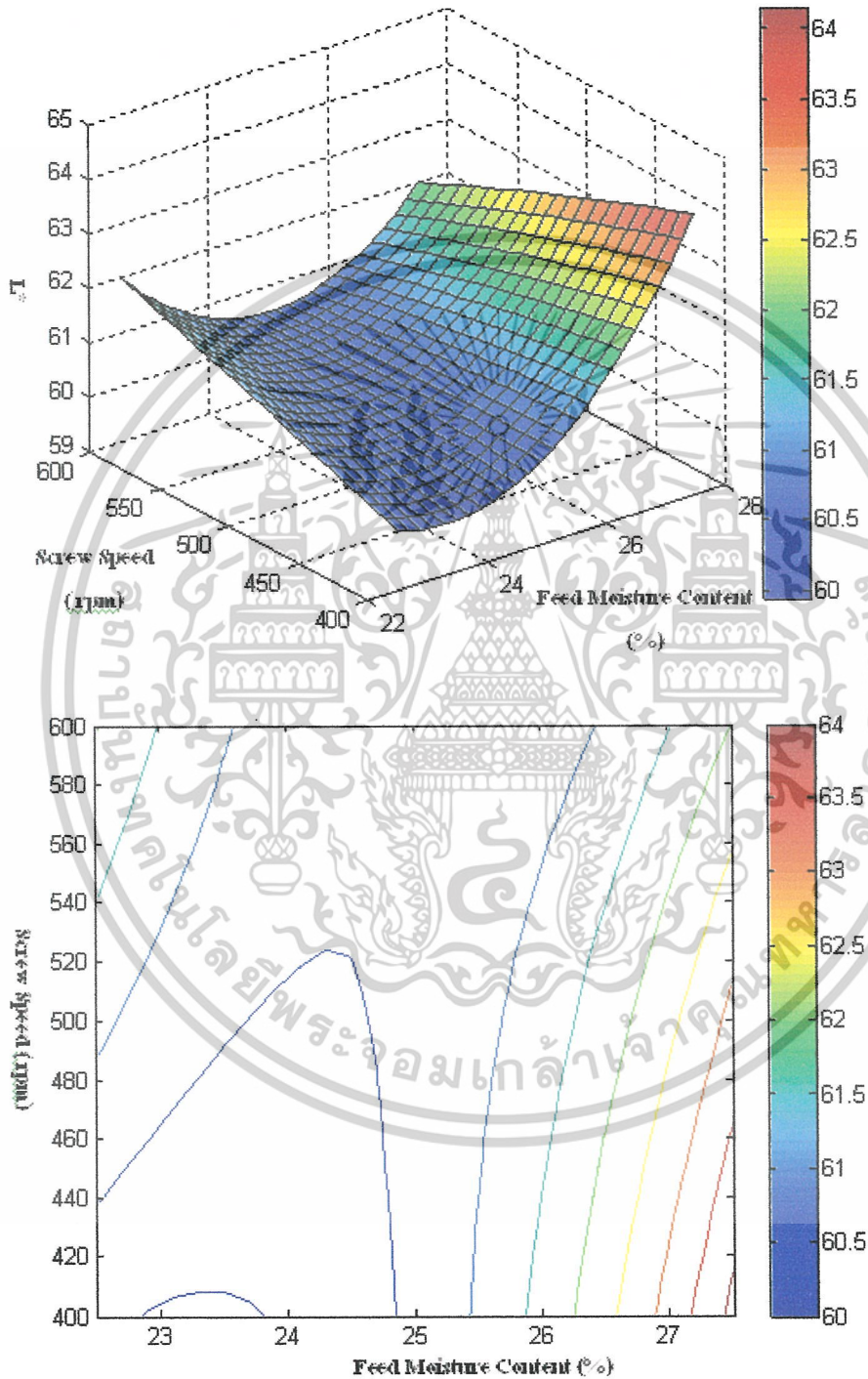


รูปที่ 5.24 การเปรียบเทียบค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายในสมการ (5-12)

เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (5-12) มาพลอตกราฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.24 จากกราฟจะพบว่าการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความเร็วรอบของสกรูจะส่งผลให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสูงขึ้น สถานะการผลิตที่ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 27.5% และความเร็วยรอบของสกรู 400 rpm พบว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในท้องตลาด เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบสูงประกอบกับความเร็วยรอบของสกรูต่ำทำให้เกิดแรงเฉือนต่ำ แป้งข้าวกล้องงอกจึงเกิดเจลลาคติในซึ้งที่สุดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด



รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

และความเร็วยรอบของสกรูที่มีต่อค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปจากข้าวกล้องงอกด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูเดี่ยว แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) การออกแบบสกรูและหน้าแปลนที่เหมาะสมในการผลิตและ 2) การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตคือเส้นสปาเกตตีกึ่งสำเร็จรูป (3rd generation product) หลังการทดลองนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณลักษณะเพื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1.1 ผลการทดสอบสกรูและหน้าแปลนกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปจากข้าวกล้องงอก

การทดสอบสกรูและหน้าแปลนที่สภาวะการผลิตเดียวกันคือ ความชื้นของวัตถุดิบ 25% ความเร็วรอบของสกรู 500 rpm พบว่าสกรูที่เพิ่มความถี่ร่องเกลียว (2H:P) มีความเหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปมากกว่าสกรูแบบอื่น เนื่องจากการเพิ่มความถี่ร่องเกลียวสามารถลดอัตราการเนียนได้มากทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด ขนาดรูเปิดของหน้าแปลนมีผลโดยตรงต่อรูปร่างของผลิตภัณฑ์กล่าวคือ หน้าแปลนที่มีขนาดรูเปิด 2 มิลลิเมตรผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดเล็กและมีลักษณะใกล้เคียงเส้นสปาเกตตีมากกว่าหน้าแปลนที่มีขนาดรูเปิด 4 มิลลิเมตร

6.1.2 สภาวะการผลิตกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปจากข้าวกล้องงอก

6.1.2.1 การเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความชื้น ความหนาแน่น เพิ่มขึ้น อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการละลายน้ำและความสามารถในการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง

6.1.2.2 ในสภาวะการผลิตที่เพิ่มความเร็วรอบของสกรูส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความชื้น ความหนาแน่น ความสามารถในการละลายน้ำลดลง อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการดูดซับน้ำ ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์แนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองพบว่าสภาวะการผลิตเส้นสปาเกตตีที่ความชื้น 27.50% ความเร็วรอบ 400 rpm ผลิตภัณฑ์จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่ใช้เป็นการนำข่าวกล้องงอกมาบดเพียงอย่างเดียวก่อนนำไปผ่านเครื่องเอ็กทราเตอร์ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปจากข่าวกล้องงอกนั้นควรมีการเสริม โปรตีนจากแหล่งอื่นเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

6.2.2 จากการนำผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการเอ็กทราชันมาดื่มนั้น พบว่าบางสภาวะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียระหว่างต้มสูง จึงควรทำการศึกษาหาสภาวะและเวลาที่เหมาะสมในการต้มเพื่อลดการสูญเสียดังกล่าว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- นิธิปรียา ฉันทพงษ์. ข้าวกล้องงอกเพื่อคนรักสุขภาพ [online]. Available from : URL: <http://researchers.in.th/blog/trfnews/859>
- ปีณธร ภัทรสถาพรกุล. การค้นผ่านเกลียวอัด [online]. Available from : URL: <http://203.158.184.2/elearning/AgriProEn2/un it000.htm>
- ปานมนัส สิริสมบูรณ์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และสาทิป รัตนภากร. สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมชีววัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 1 : กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2538
- มูลนิธิข้าวไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. จุดกำเนิดและประวัติข้าวไทย [online]. Available from : URL: <http://www.thairice.org>
- รุจิรา ปรีชา,สุเทพ ฤทธิ์แสง,สุวรา โภชนสมบูรณ์, สุนันทา วงศ์ปิยชน, จำลอง ฤทธิ์ชัย/ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. การหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากแป้งเมล็ดข้าวงอกสำหรับทำข้าวยาสุ [online]. Available from : URL: <http://www.samchuk.go.th/article-detail.php?id=128>
- สุดารัตน์/ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. ผลของการงอกต่อสมบัติและการเปลี่ยนแปลงทางคุณค่าอาหารบางประการของข้าวกล้องหอมมะลิไทย [online]. Available from : URL: <http://researchers.in.th/blog/trfnews/859>
- Alvarez – Martinez L., Kondury K.P. and Harper J.M., A general model for expansion of extruded product, *Journal of Food Science*, 53, (1998)
- Anastase Hagenimana, Xiaolin Ding, Tao Fang.(2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43, 38–46
- Anderson R.A. , Conway H.F. , Pfeifer V.F. and Griffin E.L. “Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking.” *Cereal Sci. Today*. 1969
- Antonio Ficarella, Marco Milanese and Domenico Laforgia (2004). Numerical study of the extrusion process incereal production : Part 1. Fluid dynamics analysis of the extrusion system. *Journal of Food Engineering*, 103–111
- Chenxu Yu, Sundaram Gunasekaran (2005).A systems analysis of pasta filata process during Mozzarella cheese making. *Journal of Food Engineering*, 399-408
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C.-M. Chen, A.-I. Yeh.(2000). Expansion of Rice Pellets: Examination of Glass Transition and Expansion Temperature. *Journal of Cereal Science* , 32, 137–145

G. Della Valle, B. Vergnes, P. Colonna, A. Patria.(1997). Relations between Rheological Properties of Molten Starches and their Expansion Behaviour in Extrusion. *Journal of Food Engineering*, 31, 277-291

George Chao-Chi Chuang, An-I Yeh.(2004). Effect of screw profile on residence time distribution and starch gelatinization of rice flour during single screw extrusion cooking. *Journal of Food Engineering*, 63, 21–31

Harper, J.M. 1981. Extrusion of Food. Volume I and II. CRC Press, Inc. Boca Ration. Florida.

I-D. Choi, R.D. Phillips, A.V.A Resurreccion (2007).Consumer-Based Optimization of a Third-Generation Product Made from Peanut and Rice Flour. *Journal of Food Science*,72

Jim Fogarty, Dave Fogarty, Chris Rauwendaal, Antoine Rios. “Turbo Screw” New Design for Foam Extrusion.

Keith Behnke, PhD, Kansas State University, Manhattan, Kansas USA (2005). Extrusion Equipment Design and Selection. *American Soybean Association*

Kenneth Helrich. AOAC, Official Method of Analysis of The Association of Official Analytical Chemist. 16th ed. Published by the Association of Official Analytical Chemist, Inc. Volume II. 1990 p p.. 777

W.A. Gordon, C.J. Van Tyne, Y.H. Moon (2007). Overview of adaptable die design for extrusions. *Journal of Materials Processing Technology*, 187–188, 662–667



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์วัดดูติบจากแป๊ะข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องธรรมดา

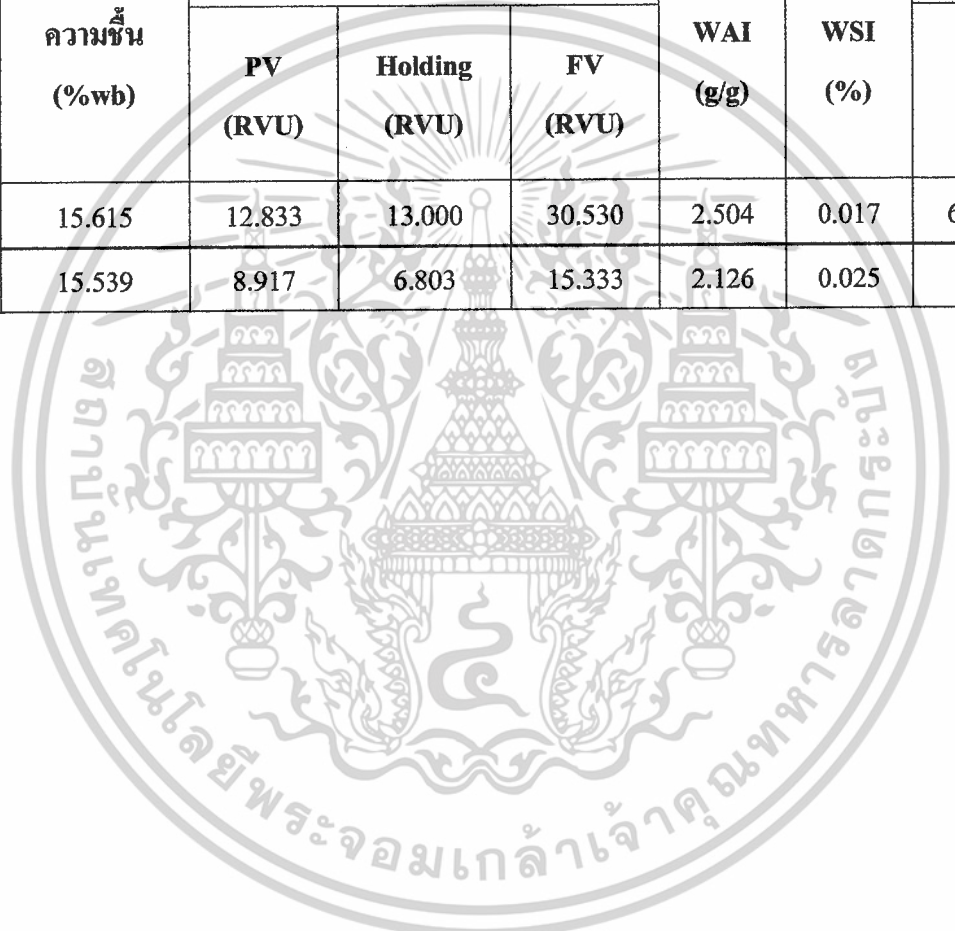
- ขนาดอนุภาค
- ความชื้น
- ความหนืด
- ความสามารถในการดูดซับน้ำ
- ความสามารถในการละลายน้ำ
- ค่าสี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพระหว่างแป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวกล้องธรรมดา (พันธุ์ชัยนาท 1)

ชนิดแป้ง	ขนาดอนุภาค (mm.)	ความชื้น (%wb)	ความหนืด			WAI (g/g)	WSI (%)	ค่าสี		
			PV (RVU)	Holding (RVU)	FV (RVU)			L*	a*	b*
ข้าวกล้องงอก	0.91	15.615	12.833	13.000	30.530	2.504	0.017	62.357	12.557	11.923
ข้าวกล้องธรรมดา	-	15.539	8.917	6.803	15.333	2.126	0.025	-	-	-



ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องงอก

- ความชื้น
- ความหนืด
- ความสามารถในการดูดซับน้ำ
- ความสามารถในการละลายน้ำ
- ความหนาแน่น
- อัตราส่วนการขยายตัว
- การสูญเสียของแข็ง
- ลักษณะเนื้อสัมผัส
- ค่าสี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความชื้นผลิตภัณฑ์ (%)
STD	500	5.729±3.86
2H	500	7.612±5.14
2P	500	6.114±4.08
2:1	500	7.652±5.34

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความชื้นผลิตภัณฑ์ (%)
STD	500	6.060±0.56
2H	500	7.563±0.40
2P	350	5.332±0.25
	500	6.954±0.14
2:1	300	6.182±0.18
	400	6.522±0.20
	500	5.182±0.23

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)

ความชื้นเริ่มต้นวัตถุดิบ (%)	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความชื้นผลิตภัณฑ์ (%)
22.50%	400	4.381
	500	2.129
	600	3.003
25%	400	3.933
	500	4.088
	600	4.14
27.50%	400	12.278
	500	9.217
	600	9.619

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าความหนืดผลิตภัณฑ์ (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)

Sample	rpm.	Peak viscosity (RVU)	Holding strength (RVU)	Final viscosity (RVU)
STD	500	27.553±1.46	20.113±0.95	40.247±0.42
2H	500	43.887±2.53	26.223±4.09	54.553±12.07
2P	500	62.057±14.11	35.610±5.92	73.720±11.40
2:1	500	63.833±1.21	42.750±0.27	91.943±1.16

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าความหนืด (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)

Sample	rpm.	Peak viscosity (RVU)	Holding strength (RVU)	Final viscosity (RVU)
STD	500	52.370±1.49	42.167±1.07	70.223±1.20
2H	500	49.327±2.58	42.723±11.74	69.443±20.78
2P	350	57.073±3.14	44.333±3.56	85.250±10.57
	500	48.360±1.71	30.610±4.26	70.030±8.73
2:1	300	43.587±1.03	37.750±0.85	110.223±2.31
	400	54.777±2.28	36.000±1.30	101.140±4.87
	500	58.193±1.10	31.167±1.86	77.030±0.84

ตารางที่ ข.6 แสดงค่าความหนืด (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)

%MC	rpm.	Peak viscosity (RVU)	Holding strength (RVU)	Final viscosity (RVU)
เส้นมาตรฐาน	-	35.027±29.14	35.473±3.92	55.027
22.50%	400	128.570±29.14	24.080±3.92	41.333
	500	92.210±29.14	13.530±3.92	25.497
	600	50.507±29.14	14.220±3.92	24.723
25%	400	43.080±29.14	16.583±3.92	32.170
	500	41.373±29.14	13.527±3.92	26.500
	600	93.023±29.14	10.333±3.92	21.890
27.50%	400	24.910±29.14	22.580±3.92	35.693
	500	24.640±29.14	25.193±3.92	42.670
	600	38.513±29.14	39.360±3.92	66.860

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าความสามารถในการละลายและดูดซับน้ำ (สกรูและหน้าแปลน 4 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	WAI (g/g)	WSI (%)
STD	500	5.027±0.12	0.040±0.006
2H	500	4.355±0.10	0.017±0.013
2P	500	6.491±0.23	0.049±0.007
2:1	500	6.041±0.09	0.053±0.036

ตารางที่ ข.8 แสดงค่าความสามารถในการละลายและดูดซับน้ำ (สกรูและหน้าแปลน 2 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	WAI (g/g)	WSI (%)
STD	500	4.314±0.13	0.021±0.007
2H	500	3.982±0.08	0.015±0.004
2P	350	3.107±0.03	0.021±0.007
	500	5.464±0.09	0.029±0.023
2:1	300	3.035±0.12	0.056±0.005
	400	3.115±0.08	0.069±0.019
	500	5.574±0.18	0.021±0.004

ตารางที่ ข.9 แสดงค่าความสามารถในการละลายและดูดซับน้ำ (หาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)

ความชื้นเริ่มต้นวัตถุดิบ (%)	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	WAI(g/g)	WSI(%)
เส้นมาตรฐาน	-	2.396±0.01	0.049
22.50%	400	6.634±0.01	0.057
	500	6.042±0.01	0.031
	600	5.655±0.01	0.041
25%	400	5.253±0.01	0.043
	500	5.016±0.01	0.019
	600	6.564±0.01	0.045
27.50%	400	3.733±0.01	0.008
	500	5.231±0.01	0.040
	600	4.815±0.01	0.029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 แสดงค่าความหนาแน่น (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความหนาแน่น (g/cm)
STD	500	0.481±0.05
2H	500	0.627±0.08
2P	500	0.519±0.04
2:1	500	0.728±0.11

ตารางที่ ข.11 แสดงค่าความหนาแน่น (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความหนาแน่น (g/cm)
STD	500	1.102±0.07
2H	500	1.111±0.07
2P	350	1.050±0.07
	500	0.820±0.09
2:1	300	1.128±0.13
	400	1.211±0.21
	500	0.645±0.05

ตารางที่ ข.12 แสดงค่าความหนาแน่น (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)

ความชื้นเริ่มต้นวัตถุดิบ (%)	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความหนาแน่น (g/cm)
เส้นมาตรฐาน		1.269
22.50%	400	0.029
	500	0.233
	600	0.397
25%	400	0.507
	500	0.543
	600	0.462
27.50%	400	1.269
	500	0.953
	600	1.160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 แสดงค่าอัตราส่วนการขยายตัว (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ER (เท่า)
STD	500	1.848±0.10
2H	500	1.822±0.29
2P	500	1.920±0.07
2:1	500	1.537±0.16

ตารางที่ ข.14 แสดงค่าอัตราส่วนการขยายตัว (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ER (เท่า)
STD	500	1.545±0.01
2H	500	1.460±0.07
2P	350	1.390±0.05
	500	1.825±0.11
2:1	300	1.120±0.05
	400	1.185±0.10
	500	2.030±0.10

ตารางที่ ข.15 แสดงค่าอัตราส่วนการขยายตัว (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)

ความชื้นเริ่มต้นวัตถุดิบ (%)	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ER (เท่า)
22.50%	400	2.013
	500	2.377
	600	2.200
25%	400	2.136
	500	1.958
	600	1.881
27.50%	400	1.225
	500	1.389
	600	1.512

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.16 แสดงค่าการสูญเสียของแข็ง (ออกแบบสกรูหน้าแปลน 4 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ปริมาณของแข็งสูญเสีย(g)
STD	500	0.342
2H	500	0.182
2P	500	0.157
2:1	500	0.330

ตารางที่ ข.17 แสดงค่าการสูญเสียของแข็ง (ออกแบบสกรูหน้าแปลน 2 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ปริมาณของแข็งสูญเสีย(g)
STD	500	0.100
2H	500	0.160
2P	350	0.327
	500	0.283
2:1	300	0.330
	400	0.301
	500	0.244

ตารางที่ ข.18 แสดงค่าการสูญเสียของแข็ง (ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม.)

ความชื้นเริ่มต้นวัตถุดิบ (%)	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ปริมาณของแข็งสูญเสีย(g)
22.50%	400	0.518
	500	0.410
	600	1.315
25%	400	0.455
	500	0.375
	600	0.310
27.50%	400	0.280
	500	0.208
	600	0.115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.19 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัส (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความแข็ง (g)	ความเหนียว (g.s)
STD	500	1798.111±977.55	123.654±50.47
2H	500	3139.138±1898.15	86.910±47.41
2P	500	1986.784±1668.12	102.513±18.98
2:1	500	513.694±299.56	31.707±9.94

ตารางที่ ข.20 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัส (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความแข็ง (g)	ความเหนียว (g.s)
STD	500	798.528±314.39	196.212±67.16
2H	500	455.381±203.27	16.317±9.50
2P	350	405.669±386.99	35.051±22.67
	500	490.920±345.29	21.521±8.98
2:1	300	148.717±64.53	56.276±21.46
	400	163.669±49.57	11.941±139.71
	500	434.342±277.34	52.463±14.77

ตารางที่ ข.21 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัส (ศึกษาหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)

%MC	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความแข็ง(g)	ความเหนียว (g.s)
22.50%	400	419.127±196.67	257.793
	500	204.944±196.67	160.696
	600	271.629±196.67	203.545
25%	400	424.191±196.67	220.955
	500	798.528±196.67	196.212
	600	353.332±196.67	201.901
27.50%	400	145.773±196.67	70.912
	500	518.440±196.67	103.707
	600	266.356±196.67	77.469

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนที่ออกให้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 "ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

ตารางที่ ข.22 แสดงค่าสี (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 4 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความสว่าง (L*)
STD	500	60.406±0.20
2H	500	64.838±0.99
2P	500	61.722±0.70
2:1	500	62.744±0.38

ตารางที่ ข.23 แสดงค่าสี (ออกแบบสกรูและหน้าแปลน 2 mm.)

Sample	rpm.	ความสว่าง(L*)
STD	500	60.702±1.37
2H	500	59.112±0.54
2P	350	61.142±0.81
	500	62.056±0.47
2:1	300	56.956±0.88
	400	12.828±0.11
	500	13.502±0.47

ตารางที่ ข.24 แสดงค่าสี (ศึกษาหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม)

ความชื้นเริ่มต้นวัตถุดิบ (%)	ความเร็วรอบสกรู (rpm.)	ความสว่าง (L*)
เส้นมาตรฐาน	-	64.838
22.50%	400	419.127
	500	204.944
	600	271.629
25%	400	424.191
	500	798.528
	600	353.332
27.50%	400	145.773
	500	518.440
	600	266.356

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลแสดงค่าวิเคราะห์ทางสถิติของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดดจากแป้งข้าวกล้องงอก

- ความชื้น
- ความหนืด
- ความสามารถในการดูดซับน้ำ
- ความสามารถในการละลายน้ำ
- ความหนาแน่น
- อัตราส่วนการขยายตัว
- การสูญเสียของแข็ง
- ลักษณะเนื้อสัมผัส
- ค่าสี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์

SUMMARYOUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.985081509
R Square	0.97038558
Adjusted R Square	0.921028213
Standard Error	0.997231236
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	97.75840358	19.55168072	19.6604	0.016844749
Residual	3	2.983410417	0.994470139		
Total	8	100.741814			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	253.7915	76.4399408	3.32014255	0.045049292	10.52549286	497.0575071	10.52549286	497.0575071
X Variable 1	-19.70743333	5.730971452	-3.438759641	0.041273291	-37.94594226	-1.468924412	-37.94594226	-1.468924412
X Variable 2	0.43576	0.112823835	3.862304445	0.030685356	0.076704203	0.794815797	0.076704203	0.794815797
X Variable 3	-0.082128333	0.086458664	-0.949914442	0.412235232	-0.357278388	0.193021722	-0.357278388	0.193021722
X Variable 4	0.0001078	7.05149E-05	1.528754981	0.223793959	-0.00011661	0.00033221	-0.00011661	0.00033221
X Variable 5	-0.001281	0.001994462	-0.642278317	0.566402241	-0.00762827	0.00506627	-0.00762827	0.00506627

ตารางที่ ค.2 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์

SUMMARYOUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.870147044
R Square	0.757155878
Adjusted R Square	0.352415674
Standard Error	29.14
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	7946.673192	1589.334638	1.870720701	0.321498695
Residual	3	2548.75242	849.5841401		
Total	8	10495.42561			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	1847.835667	2234.228908	0.827057451	0.468848868	-5262.477867	8958.1492	-5262.477867	8958.1492
X Variable 1	-63.91193333	167.5080064	-0.381545543	0.728218636	-596.9971693	469.1733026	-596.9971693	469.1733026
X Variable 2	0.11728	3.297677515	0.035564424	0.973863753	-10.37740162	10.61196162	-10.37740162	10.61196162
X Variable 3	-3.351795	2.52706169	-1.326360576	0.276653778	-11.39403314	4.690443138	-11.39403314	4.690443138
X Variable 4	0.00103595	0.002061048	0.502632532	0.649800384	-0.005523226	0.007595126	-0.005523226	0.007595126
X Variable 5	0.091666	0.058295253	1.572443634	0.213896697	-0.093855514	0.277187514	-0.093855514	0.277187514

ตารางที่ ค.3 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความคงทนต่อการกรวนของผลิตภัณฑ์

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.963638563
R Square	0.92859928
Adjusted R Square	0.809598079
Standard Error	3.92
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	601.1159773	120.2231955	7.80327657	0.060669628
Residual	3	46.22027467	15.40675822		
Total	8	647.336252			

	<i>Coefficients</i>	<i>StandardError</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	1346.917	300.8708425	4.476728249	0.02077782	389.411699	2304.422301	389.411699	2304.422301
X Variable 1	-88.40246667	22.55734621	-3.919010057	0.02954477	-160.1900098	-16.61492356	-160.1900098	-16.61492356
X Variable 2	1.54872	0.444079391	3.487484518	0.03983913	0.135461184	2.961978816	0.135461184	2.961978816
X Variable 3	-1.042483333	0.34030496	-3.063379777	0.05484701	-2.125485597	0.04051893	-2.125485597	0.04051893
X Variable 4	0.0003776	0.00027755	1.360477457	0.26687607	-0.000505687	0.001260887	-0.000505687	0.001260887
X Variable 5	0.02664	0.007850289	3.393505764	0.04266461	0.001656878	0.051623122	0.001656878	0.051623122

ตารางที่ ค.4 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์

SUMMARYOUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.958011643
R Square	0.917786309
Adjusted R Square	0.780763491
Standard Error	6.54
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	1433.512513	286.7025025	6.698054531	0.074203499
Residual	3	128.4115415	42.80384718		
Total	8	1561.924054			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	1927.176944	501.4941496	3.842870243	0.03108924	331.1987412	3523.155148	331.1987412	3523.155148
X Variable 1	-121.1851667	37.5987818	-3.223114177	0.048469148	-240.8412709	-1.529062464	-240.8412709	-1.529062464
X Variable 2	2.017493333	0.740195409	2.725622597	0.072206371	-0.338138812	4.373125478	-0.338138812	4.373125478
X Variable 3	-1.74288	0.567223282	-3.072652439	0.054448844	-3.548037637	0.062277637	-3.548037637	0.062277637
X Variable 4	0.000555583	0.000462622	1.200944132	0.315945423	-0.000916687	0.002027853	-0.000916687	0.002027853
X Variable 5	0.047777	0.01308493	3.651299672	0.035460066	0.006134913	0.089419087	0.006134913	0.089419087

ตารางที่ ค.5 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์

SUMMARYOUTPUT

<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0.864989826				
R Square	0.748207398				
Adjusted R Square	0.328553062				
Standard Error	0.74				
Observations	9				

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	4.983442028	0.996688406	1.782913541	0.336298255
Residual	3	1.677066861	0.559022287		
Total	8	6.660508889			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	12.15672222	57.3111377	0.212117971	0.845609313	-170.2328962	194.546340	-170.2328962	194.5463406
X Variable 1	0.7407	4.296817745	0.172383388	0.874109489	-12.93369176	14.4150917	-12.93369176	14.41509176
X Variable 2	-0.041493333	0.084590102	-0.490522326	0.657401671	-0.310696789	0.22771012	-0.310696789	0.227710123
X Variable 3	-0.050435	0.064822714	-0.778045183	0.493267528	-0.256729805	0.15585980	-0.256729805	0.155859805
X Variable 4	1.26667E-06	5.28688E-05	0.023958674	0.982390101	-0.000166985	0.00016951	-0.000166985	0.000169519
X Variable 5	0.002061	0.001495356	1.378267244	0.261923988	-0.00269789	0.00681989	-0.00269789	0.00681989

ตารางที่ ค.6 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.720980042
R Square	0.519812222
Adjusted R Square	-0.280500743
Standard Error	0.01
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	0.000907361	0.000181472	0.649511185	0.686487906
Residual	3	0.000838194	0.000279398		
Total	8	0.001745556			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.620055556	1.281256938	0.483943179	0.661554743	-3.457475853	4.697586964	-3.457475853	4.697586964
X Variable 1	-0.0113	0.096060343	-0.117634391	0.913791162	-0.317006884	0.294406884	-0.317006884	0.294406884
X Variable 2	-0.000213333	0.00189111	-0.112808539	0.917307477	-0.006231689	0.005805022	-0.006231689	0.005805022
X Variable 3	-0.00163	0.001449187	-1.124768634	0.342556716	-0.00624196	0.00298196	-0.00624196	0.00298196
X Variable 4	7.16667E-07	1.18194E-06	0.606345895	0.587090817	-3.04481E-06	4.47814E-06	-3.04481E-06	4.47814E-06
X Variable 5	0.000037	3.34304E-05	1.106776596	0.349162612	-6.93905E-05	0.00014339	-6.93905E-05	0.00014339

ตารางที่ ค.7 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์

SUMMARYOUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.981882984
R Square	0.964094194
Adjusted R Square	0.904251184
Standard Error	0.13
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	1.365205583	0.273041117	16.11038937	0.022359042
Residual	3	0.050844417	0.016948139		
Total	8	1.41605			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	8.259166667	9.978964456	0.82765769	0.468556349	-23.49835189	40.01668522	-23.49835189	40.01668522
X Variable 1	-0.935966667	0.748158094	-1.251027923	0.299602953	-3.316939629	1.445006295	-3.316939629	1.445006295
X Variable 2	0.02712	0.014728753	1.841296354	0.162827696	-0.019753467	0.073993467	-0.019753467	0.073993467
X Variable 3	0.006181667	0.011286873	0.547686366	0.622024442	-0.029738202	0.042101535	-0.029738202	0.042101535
X Variable 4	6.1E-06	9.20547E-06	0.662649425	0.554917969	-2.31959E-05	3.53959E-05	-2.31959E-05	3.53959E-05
X Variable 5	-0.000477	0.00026037	-1.832008044	0.164340573	-0.001305614	0.000351614	-0.001305614	0.000351614

ตารางที่ ค.8 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.950913735
R Square	0.904236932
Adjusted R Square	0.744631819
Standard Error	0.19
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	1.119827111	0.223965422	5.665463444	0.092096305
Residual	3	0.118595111	0.039531704		
Total	8	1.238422222			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-15.35155556	15.24043048	-1.007291465	0.3879982	-63.85340723	33.15029612	-63.85340723	33.15029612
X Variable 1	1.431066667	1.142628724	1.252433653	0.299157026	-2.205287894	5.067421227	-2.205287894	5.067421227
X Variable 2	-0.032906667	0.022494573	-1.462871373	0.239687554	-0.104494437	0.038681104	-0.104494437	0.038681104
X Variable 3	0.005881667	0.017237942	0.341204693	0.755449154	-0.048977158	0.060740491	-0.048977158	0.060740491
X Variable 4	-8.01667E-06	1.40591E-05	-0.570211613	0.608442405	-5.2759E-05	3.67257E-05	-5.2759E-05	3.67257E-05
X Variable 5	1E-04	0.000397652	0.251476402	0.817688009	-0.001165505	0.001365505	-0.001165505	0.001365505

ตารางที่ ค.9 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณของแข็งสูงเสียดของผลิตภัณฑ์

SUMMARYOUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.900200766
R Square	0.810361418
Adjusted R Square	0.494297116
Standard Error	0.62
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	4.958059028	0.991611806	2.563913141	0.234200896
Residual	3	1.160271528	0.386757176		
Total	8	6.118330556			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	10.49944444	47.6698361	0.22025342	0.83981099	-141.2072493	162.2061382	-141.2072493	162.2061382
X Variable 1	-0.9575	3.573975424	-0.267908949	0.80613383	-12.33148488	10.41648488	-12.33148488	10.41648488
X Variable 2	0.037733333	0.070359732	0.536291603	0.628973311	-0.186182735	0.261649402	-0.186182735	0.261649402
X Variable 3	0.020195833	0.053917759	0.37456737	0.732892375	-0.151394541	0.191786207	-0.151394541	0.191786207
X Variable 4	4.19583E-05	4.39748E-05	0.954144248	0.410401364	-9.79892E-05	0.000181906	-9.79892E-05	0.000181906
X Variable 5	-0.002405	0.001243796	-1.933596694	0.148641213	-0.006363314	0.001553314	-0.006363314	0.001553314

ตารางที่ ก.10 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความแข็งของผลิตภัณฑ์

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.789966019
R Square	0.624046311
Adjusted R Square	-0.002543172
Standard Error	196.67
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	192616.6745	38523.3349	0.995941247	0.536614107
Residual	3	116040.9864	38680.3288		
Total	8	308657.6609			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-22915.78872	15075.4244	-1.52007586	0.225819863	-70892.51739	25060.94	-70892.5	25060.94
X Variable 1	1636.061433	1130.257637	1.44751195	0.243567647	-1960.922806	5233.046	-1960.92	5233.046
X Variable 2	-35.35554667	22.25102713	-1.58893998	0.210286891	-106.1682457	35.45715	-106.168	35.45715
X Variable 3	12.525285	17.05130898	0.73456443	0.515813316	-41.73959027	66.79016	-41.7396	66.79016
X Variable 4	-0.019390267	0.013906892	-1.39429189	0.257547329	-0.063648204	0.024868	-0.06365	0.024868
X Variable 5	0.268081	0.393346304	0.68153939	0.544428519	-0.983722493	1.519884	-0.98372	1.519884

ตารางที่ ค.11 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความเหนียวของผลิตภัณฑ์

SUMMARYOUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.846345765
R Square	0.716301154
Adjusted R Square	0.243469743
Standard Error	50.08
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	18997.60039	3799.520077	1.514918717	0.388963052
Residual	3	7524.205821	2508.068607		
Total	8	26521.80621			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-3859.470444	3838.788407	-1.005387647	0.38878044	-16076.20843	8357.267538	-16076.20843	8357.267538
X Variable 1	233.5971333	287.8074805	0.811643717	0.476414622	-682.3347196	1149.528986	-682.3347196	1149.528986
X Variable 2	-5.215573333	5.665975483	-0.920507572	0.425194736	-23.24723607	12.8160894	-23.24723607	12.8160894
X Variable 3	3.591375	4.341925344	0.827138819	0.468809205	-10.22656927	17.40931927	-10.22656927	17.40931927
X Variable 4	-0.005737483	0.003541235	-1.620192915	0.203633048	-0.017007273	0.005532306	-0.017007273	0.005532306
X Variable 5	0.084342	0.100161242	0.842062241	0.461583738	-0.234415775	0.403099775	-0.234415775	0.403099775

ตารางที่ ค.12 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์

SUMMARYOUTPUT

<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0.851472976				
R Square	0.725006229				
Adjusted R Square	0.266683277				
Standard Error	1.3706865				
Observations	9				

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	14.85991778	2.971983556	1.581867601	0.37462826
Residual	3	5.636344444	1.878781481		
Total	8	20.49626222			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	149.9922222	105.0660981	1.427598673	0.248699988	-184.3749935	484.3594379	-184.3749935	484.3594379
X Variable 1	-9.668	7.877175238	-1.227343522	0.307220195	-34.73668723	15.40068723	-34.73668723	15.40068723
X Variable 2	0.242186667	0.155075475	1.561734159	0.216277103	-0.251332706	0.735706039	-0.251332706	0.735706039
X Variable 3	0.106273333	0.118836754	0.894280007	0.43706506	-0.271918256	0.484464922	-0.271918256	0.484464922
X Variable 4	-4.93333E-06	9.69222E-05	-0.050899946	0.962604711	-0.000313383	0.000303516	-0.000313383	0.000303516
X Variable 5	-0.004076	0.002741373	-1.48684619	0.233765071	-0.012800272	0.004648272	-0.012800272	0.004648272

ภาคผนวก ง

รูปเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องอิเล็กทรอนิกส์
- สกรู
- หน้าแปลน
- เครื่องวัดความหนืด Rapid Visco Analyzer (RVA)
- เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge)
- เครื่องวัดค่าสี
- ตู้อบ (Oven)
- โถดูดความชื้น
- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- เครื่อง Texture Analyzer
- ตู้บ่ม

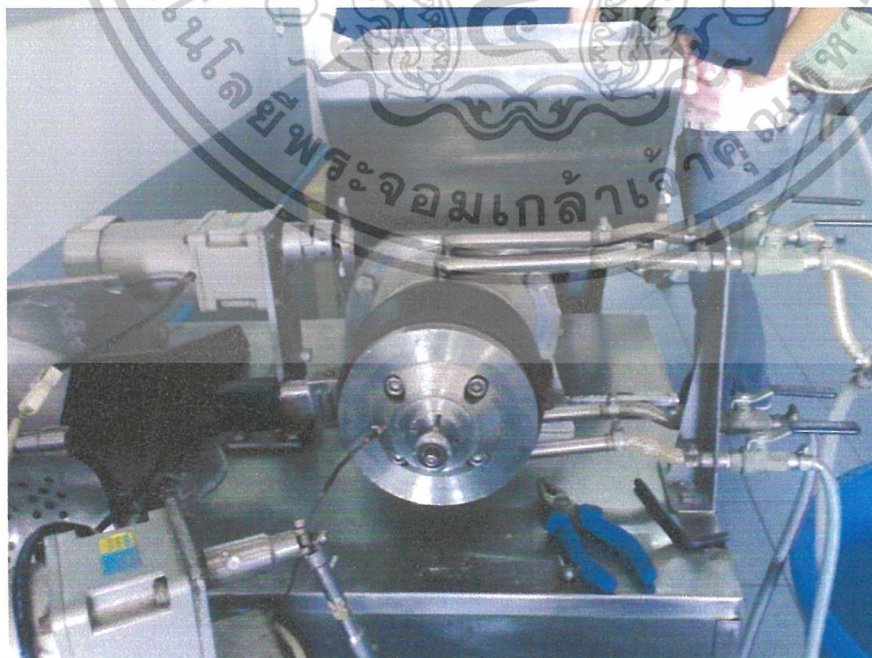


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

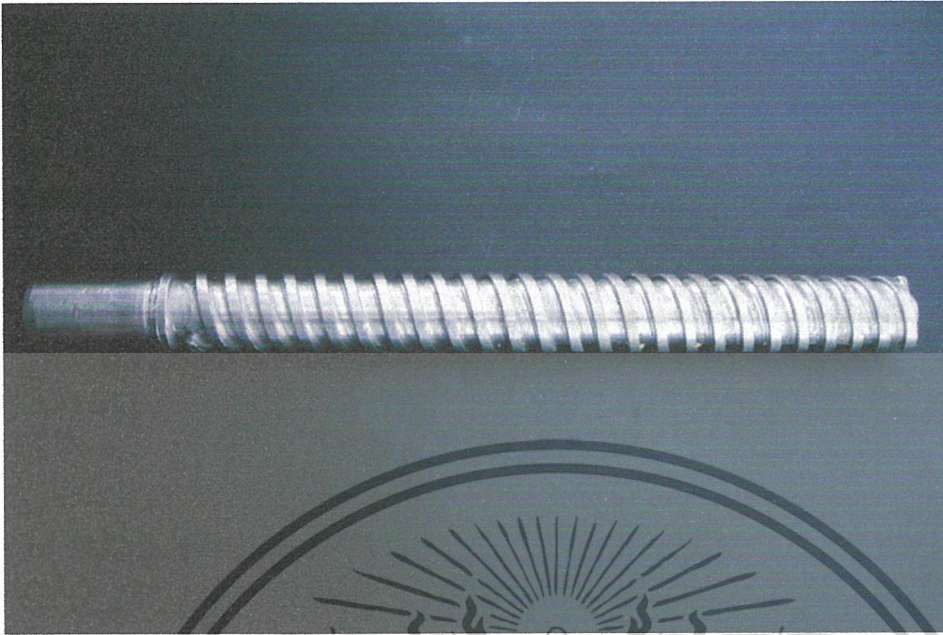


รูปที่ ๑.1 แสดงเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (ด้านข้าง) ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ๑.2 แสดงเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (ด้านหน้า) ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

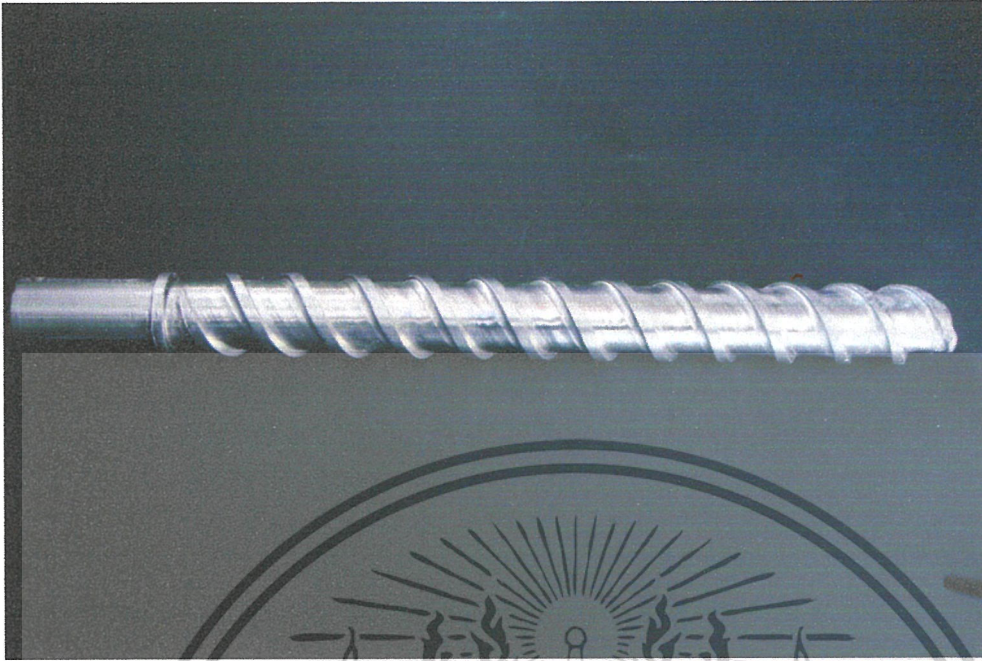


รูปที่ ๓.3 แสดงสกรูต้นแบบของภาควิชาวิศวกรรมอาหาร (STD)



รูปที่ ๓.4 แสดงสกรูที่ปรับเพิ่มความถี่ร่องเกลียวเป็น 2 เท่าจากสกรูต้นแบบ (2H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

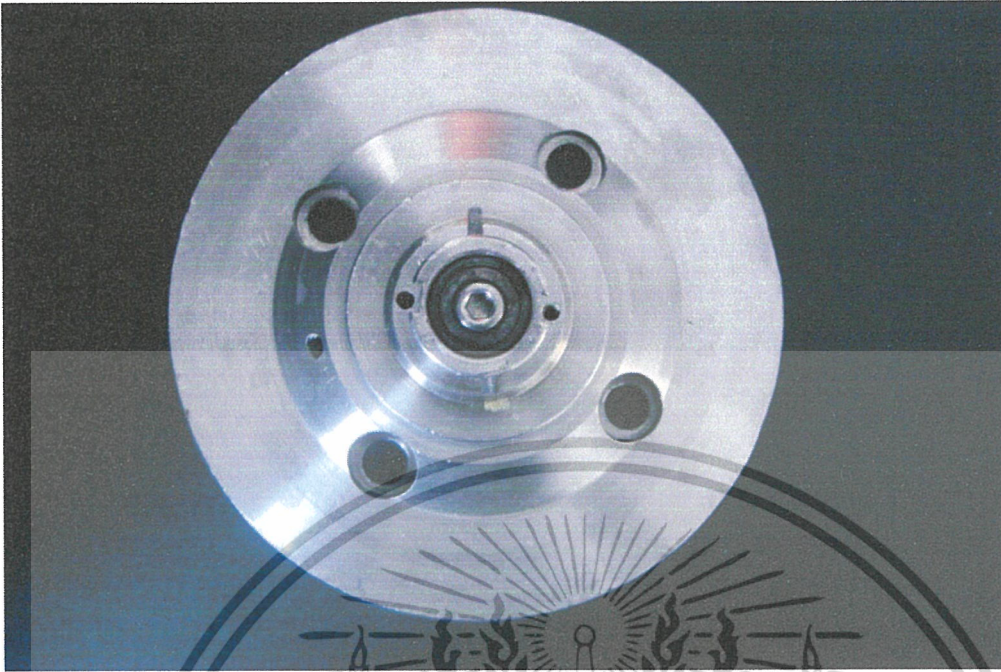


รูปที่ ๕.5 แสดงสกรูที่ปรับเพิ่มระยะพิทช์เป็น 2 เท่าจากสกรูต้นแบบ (2P)

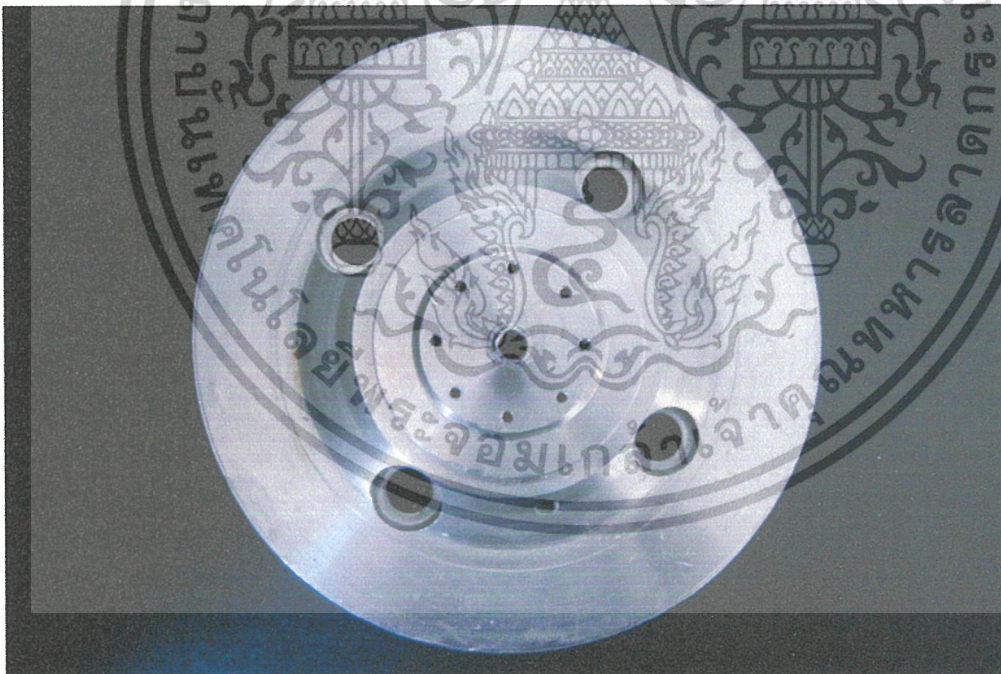


รูปที่ ๕.6 แสดงสกรูที่ปรับความถี่ร่องเกลียวช่วง Feeding Zone: Metering Zone เป็น 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.7 แสดงหน้าแปลนต้นแบบของภาควิชาวิศวกรรมอาหาร (4 mm.)



รูปที่ ง.8 แสดงหน้าแปลนที่ออกแบบให้รูหน้าแปลนเล็กลงครึ่งหนึ่งจากต้นแบบ (2 mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.9 แสดงเครื่องวัดความหนืด



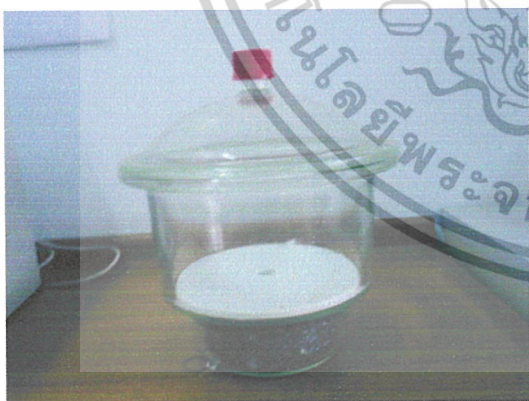
รูปที่ ง.10 แสดงเครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge)



รูปที่ ง.11 แสดงเครื่องวัดค่าสี



รูปที่ ง.12 แสดงตู้อบ (Oven)

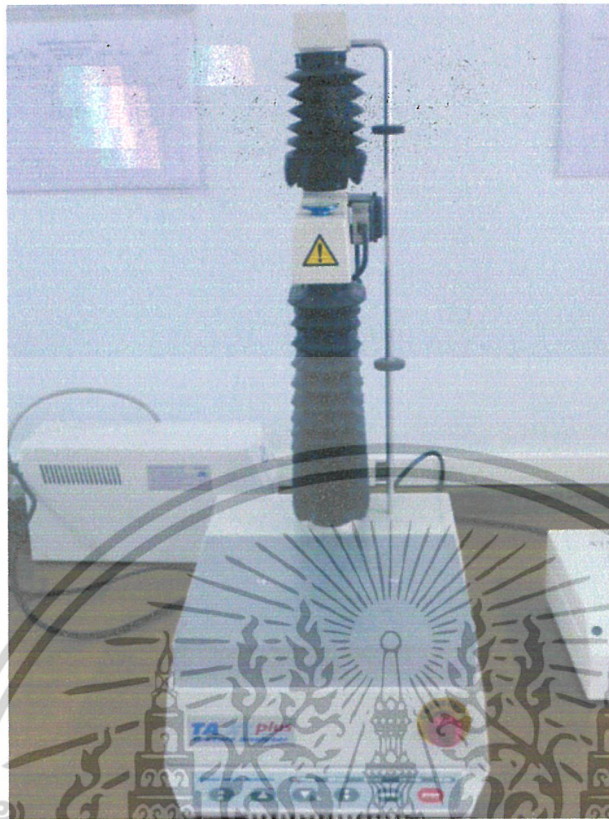


รูปที่ ง.13 แสดงโถวัดความชื้น



รูปที่ ง.14 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล
ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.15 แสดง Texture Analyzer



รูปที่ ง.16 แสดงตู้บ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

รูปขั้นตอนการเตรียมแป้งข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

- กระบวนการเตรียมแป้งข้าวกล้องงอก (วัตถุดิบ)
- ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตก่อนอบที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์
- ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตหลังอบที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์
- ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตบางส่วนหลังจากผ่านการลวก
- ตารางรายละเอียดลักษณะผลิตภัณฑ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

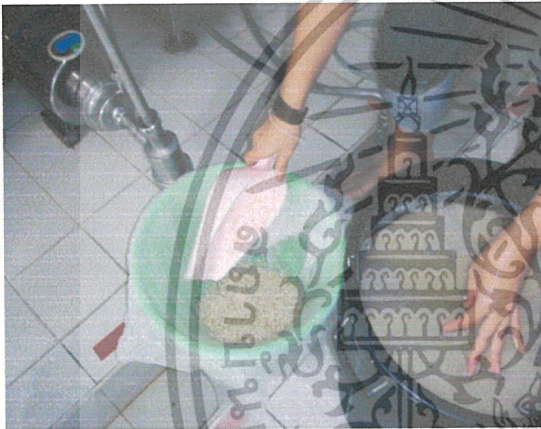
ภาพแสดงการเตรียมแป้งข้าวกล้องงอก (วัตถุดิบ)



รูปที่ จ.1 ภาพแสดงสถานที่เพาะปลูกข้าว



รูปที่ จ.2 ภาพแสดงแปลงเพาะปลูกข้าว



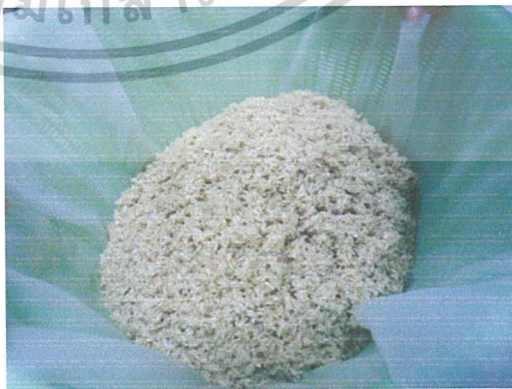
รูปที่ จ.3 ภาพแสดงขั้นตอนแรก
(ล้างข้าวกล้อง)



รูปที่ จ.4 ภาพแสดงขั้นตอนที่ 2 (แช่สารละลาย
โซเดียมไฮโปคลอไรด์)



รูปที่ จ.5 ภาพแสดงขั้นตอนที่ 3 (นำข้าวที่แช่
สารละลายจากขั้นที่ 2 ไปเข้าตู้อบ)



รูปที่ จ.6 ภาพแสดงขั้นตอนที่ 4 (ล้างข้าว
ที่ผ่านการบ่มแล้วให้สะอาด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.7 ภาพแสดงขั้นตอนที่ 5 (นำข้าว
กล้องงอกที่ล้างแล้ว ไปฝั่งลม)



รูปที่ จ.8 ภาพแสดงขั้นตอนที่ 6
(นำเข้าตู้อบลมร้อนเพื่อทำให้แห้ง)



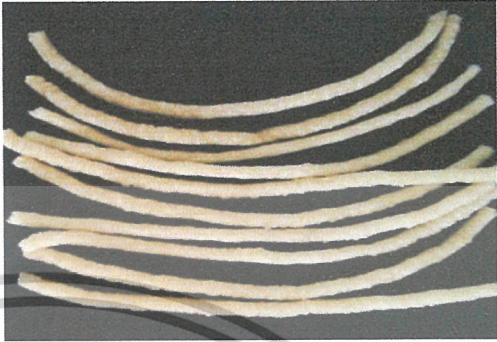

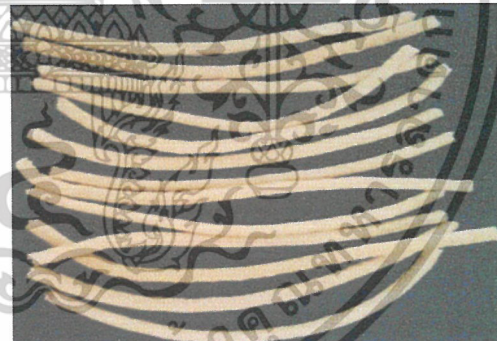

รูปที่ จ.9 ภาพแสดงข้าวกล้องงอกที่ได้



รูปที่ จ.10 ภาพแสดงแป้งข้าวกล้องงอกที่ได้
หลังจากนำข้าวกล้องงอกไปบดแล้ว
เพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบต่อไป

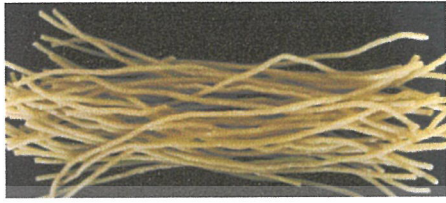
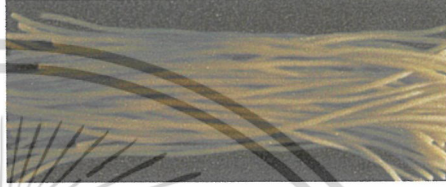





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 ผลิตรั้วก๋อนอบแห้งที่ได้จากการออกแบบสกรและหน้าแปลน (หน้าแปลน 4 mm.)

รูปแบบสกร	ความเร็วรอบสกร (rpm)	ลักษณะผลิตรั้วที่ได้ก๋อนอบแห้ง
STD	500	
2H	500	
2P	500	
2:1	500	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 ผลผลิตกัณฑ์ก่อนอบแห้งที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลน (หน้าแปลน 2 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	ลักษณะผลผลิตกัณฑ์ที่ได้ก่อนอบแห้ง
STD	500	
2H	500	
2P	350	
2P	500	
2:1	300	
2:1	400	
2:1	500	





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งที่ได้จากการศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม

ความชื้นวัตถุดิบ (%wb)	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้
22.5%	400	
22.5%	500	
22.5%	600	
25%	400	
25%	500	





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 (ต่อ)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ก่อนอบแห้ง
25%	600	
27.5%	400	
27.5%	500	
27.5%	600	







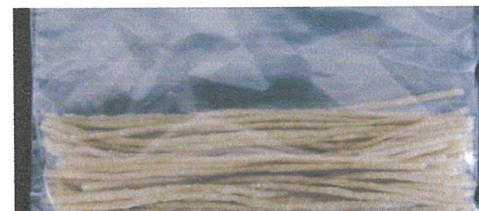
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.4 ผลิตภัณฑ์หลังอบที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลน (หน้าแปลน 4 mm)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังอบแห้ง
STD	500	
2H	500	
2P	500	
2:1	500	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.5 ผลผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่ได้จากการออกแบบสกรูและหน้าแปลน (หน้าแปลน 2 mm.)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังอบแห้ง
STD	500	
2H	500	
2P	350	
2P	500	
2:1	300	
2:1	400	
2:1	500	





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๖.6 ลักษณะของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่ได้จากการศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม

ความชื้นวัตถุดิบ (%wb)	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้
22.5%	400	
22.5%	500	
22.5%	600	
25%	400	
25%	500	

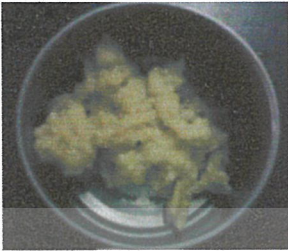
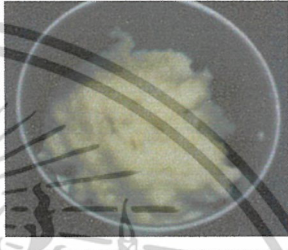




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.6 (ต่อ)

รูปแบบสกรู	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ก่อนอบแห้ง
25%	600	
27.5%	400	
27.5%	500	
27.5%	600	






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.7 ตารางตัวอย่างบางส่วนของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราคต หลังจากผ่านการลวก

ความชื้นวัตถุดิบ (%wb)	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังอบแห้ง
22.5%	400	
22.5%	500	
22.5%	600	
27.5%	400	
27.5%	500	
27.5%	600	




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.8 แสดงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์

วัน/เดือน/ปี	Sample	รูปผลิตภัณฑ์	ลักษณะของผลิตภัณฑ์
8/12/2551	STD 500 rpm ϕ 4 mm.		เส้นมีลักษณะพองมาก ผิวเรียบเล็กน้อย สม่ำเสมอ เหนียวแข็ง สีขาวขุ่น
8/12/2551	2H 500 rpm ϕ 4 mm.		เส้นมีลักษณะพองมาก ผิวขรุขระ ไม่สม่ำเสมอ มีฟองอากาศ เหนียวแข็ง สีขาวขุ่น
8/12/2551	2P 500 rpm ϕ 4 mm.		เส้นมีลักษณะพองมาก ผิวค่อนข้างเรียบเนียน สม่ำเสมอ เหนียวแข็ง สีขาวขุ่น
8/12/2551	2:1 500 rpm ϕ 4 mm.		เส้นมีลักษณะพองมาก ผิวขรุขระ ไม่สม่ำเสมอ มีฟองอากาศมาก แข็งมาก สีขาวขุ่น
8/12/2551	STD 500 rpm ϕ 2 mm.		เส้นมีลักษณะพอง เล็กน้อย ผิวเรียบแต่ไม่ สม่ำเสมอ มีฟองอากาศ เหนียวแต่เปราะ สีขาวขุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	Sample	รูปผลิตภัณฑ์	ลักษณะของผลิตภัณฑ์
8/12/2551	2H 500 rpm ϕ 2 mm.		เส้นมีลักษณะเรียบเนียน สม่ำเสมอ ไม่มี ฟองอากาศ เส้นเหนียว และแข็ง สีขาวขุ่นแกม น้ำตาล
8/12/2551	2P 350 rpm ϕ 2 mm.		เส้นมีลักษณะเรียบเนียน สม่ำเสมอ ไม่พองมี ฟองอากาศเล็กน้อย เหนียวไม่เปราะ สีขาวขุ่น
8/12/2551	2P 500 rpm ϕ 2 mm.		เส้นมีลักษณะพอง เล็กน้อยผิวขรุขระไม่ สม่ำเสมอมีฟองอากาศ มาก เหนียวไม่เปราะ สี ขาวขุ่น
8/12/2551	2:1 300 rpm ϕ 2 mm.		เส้นมีลักษณะผิวเรียบ เนียนสม่ำเสมอ เส้นไม่ ลู่ก ไม่เหนียวและเปราะ เส้นขาดง่าย ไม่พอง สีขาวขุ่น
8/12/2551	2:1 400 rpm ϕ 2 mm.		เส้นมีลักษณะผิวเรียบ เนียน ไม่พอง ค่อนข้าง เหนียว และเปราะ สีขาวขุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้