สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

Study of Single Screw Extruder for Small Enterprises

โดย

นาย ชวลิต โชติวิชิต

นาย นิวรณ์ ถนอมรอด

นาย ลออ พุทธทอง

วน.
ค 981 ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 71960
วัน,เดือน,ปี 6 มิ.ย. 2550

.b 11760936
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

1. นาย ชวลิต โชติวิชิต
2. นาย นิวรณ์ ถนอมรอด
3. นาย ลออ พุทธทอง

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ เจษฎา ชัยโฉม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

นาย ชวลิต โชติวิชิต
นาย นิวรณ์ ถนอมรอด
นาย ลออ พุทธทอง

เจษฎา ชัยโฉม อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบซิงเกิลสกรู โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องออกเป็น 1. ความเร็วรอบสกรูแบ่งออกเป็น 620 , 580 และ 540 รอบต่อนาที 2. อุณหภูมิบาร์เรล 60, 80 และ 100°C 3. อัตราการป้อนสองระดับ คือ 0.167 และ 0.500 กิโลกรัมต่อนาที 4. ความชื้นของวัตถุดิบเป็นข้าวโพดบดละเอียดเบอร์ 3 ที่ 18 (%wb) และ 20 (%wb) หลังจากนั้นนำเอกซ์ทรูเดตที่ได้ไปหาค่าความชื้นและอัตราส่วนการขยายตัว จากการทดลองพบว่าที่สภาวะความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 18 (%wb) จะให้ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตต่ำกว่าที่ค่าความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb) แต่อัตราส่วนการขยายตัวมีค่าสูงกว่าและตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตและอัตราส่วนการขยายตัวมากที่สุดคือ อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Single Screw Extruder for Small Enterprises

Chawalit Chotwichit

Niwon Thanomrot

La – or Putthong

Jedsada Chaishome Adviser

2006

Abstract

The objective of this project was to study the extrusion cooking machine for corn grit No.3 (820-850 μm.), in a single-screw extruder. The operating variable are screw speed (540, 580 and 620 rpm), barrel temperature (60, 80 and 100°C), feed rate (0.167, 0.500 kg/min) and initial moisture of raw materials (18 and 20% wb).At last, moisture content of extrudate and expansion were measured for study.

From experimental results, have shown some aspects of the process under investigation, the moisture content of extrudate at 18 (%wb) of raw materials is lower than 20 (%wb), they are higher than in expansion ratio. The mainly influence on moisture content of extrudate and expansion ratio is barrel temperature and initial moisture of raw materials.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆที่มีส่วนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ดังรายนามต่อไปนี้ อาจารย์ เจษฎา ชัยโฉม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ผู้ให้ข้อมูลพื้นฐานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ รวมทั้ง คณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่ให้ความรู้อบรมสั่งสอนตลอดจนบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน รวมทั้งเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และต้องขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่อาจกล่าวได้หมด ณ ที่นี้ ที่มีส่วนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	สารบัญ	ก
	สารบัญรูป	ค
	สารบัญตาราง	ฉ
1.	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
	1.4 ขอบเขตการทำงาน	2
2.	การตรวจเอกสาร	3
	2.1 หลักการผลิตอาหารแบบเอกซ์ทรูชัน	3
	2.1.1 กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (Extrusion process)	3
	2.1.2 การทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder Operation)	6
	2.1.3 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	7
	2.1.4 ข้อดีของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	8
	2.1.5 ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	9
	2.1.6 การเปรียบเทียบชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	13
3.	วัสดุ อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง	16
	3.1 วัสดุและ อุปกรณ์	16
	3.1.1 วัตถุดิบ	16
	3.1.2 อุปกรณ์	16
	3.2 ตัวแปรที่ศึกษา	16
	3.2.1 ตัวแปร อิสระ (Independent variables)	16
	3.2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables)	17
	3.3 การวางแผนการทดลอง	17
	3.4 ขั้นตอนการทดลอง	19
	3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ	19
	3.4.2 การทดลองผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	19
	3.5 การวัดค่าคุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดดที่ได้	20
	3.5.1 ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (Moisture Contain)	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.5.2 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์	21
4.	ผลการทดลองและวิจารณ์	22
	4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดตที่สภาวะการทดลองต่างๆ	22
	4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	36
	4.2.1 วิเคราะห์ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต	36
	4.2.2 วิเคราะห์อัตราส่วนการขยายตัว	36
5.	สรุปผลการทดลอง	37
บรรณานุกรม		39
ภาคผนวก		40
	ภาคผนวก ก	41
	ภาคผนวก ข	45
	ภาคผนวก ค	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการเดินเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่พอง	7
3.1 ขั้นตอนการทดลอง	20
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 60 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	24
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 80 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	24
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	25
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 60องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	25
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 80องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	26
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของ เอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	26
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	27
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของ เอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	27
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของ เอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18% (wb)	28
4.10แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	28
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของ เอกซ์ทรูเดต กับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบ สกรู580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	29
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	29
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ18 (%wb)	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ18 (%wb)	30
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	31
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	31
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบสกรู 580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ20 (%wb)	32
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	32
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ60 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	33
4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับ ความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ 80องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	33
4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ 100องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	34
4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ 60องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ20 (%wb)	34
4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ80องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	35
4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	35
ข.1 หน้าจอแสดงผลเริ่มต้นการทำงาน	48
ข.2 หน้าจอแสดงผล REF	48
ข.3 หน้าจอแสดงผลค่าความเร็วรอบ	48
ข.4 หน้าจอแสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ใช้	48
ข.5 หน้าจอแสดงผลเปอร์เซนต์ทอร์ก	49
ข.6 ตัวปรับอัตราการป้อน	49
ข.7 ตัวปรับอุณหภูมิบาร์เรล	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.8 อุปกรณ์ที่ใช้ช่วยถอดบาร์เรลและสกรู	50
ข.9 การประกอบชุดถอดเข้ากับหน้าแปลนและบาร์เรล	51
ข.10 การถอดบาร์เรลออกจากหน้าแปลน	51
ข.11 สกรูติดอยู่กับบาร์เรล	52
ข.12 การใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกอัดสกรูออกจากบาร์เรล	52
ข.13 วัตถุดิบติดอยู่กับสกรู	53
ข.14 วัตถุดิบติดอยู่กับบาร์เรล	53
ค.1 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบซิงเกิลสกรู	72
ค.2 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช	72
ค.3 เครื่องอัดไฮดรอลิก	73
ค.4 ข้าวโพดบดละเอียด	73
ค.5 เอกซ์ทรูเดตรหัส E1 และ E2	74
ค.6 เอกซ์ทรูเดตรหัส E3 และ E4	74
ค.7 เอกซ์ทรูเดตรหัส E5 และ E6	74
ค.8 เอกซ์ทรูเดตรหัส E7 และ E8	75
ค.9 เอกซ์ทรูเดตรหัส E9 และ E10	75
ค.10 เอกซ์ทรูเดตรหัส E11 และ E12	75
ค.11 เอกซ์ทรูเดตรหัส E13 และ E14	76
ค.12 เอกซ์ทรูเดตรหัส E15 และ E16	76
ค.13 เอกซ์ทรูเดตรหัส E17 และ E18	76
ค.14 เอกซ์ทรูเดตรหัส E19 และ E20	77
ค.15 เอกซ์ทรูเดตรหัส E21 และ E22	77
ค.16 เอกซ์ทรูเดตรหัส E23 และ E24	77
ค.17 เอกซ์ทรูเดตรหัส E25 และ E26	78
ค.18 เอกซ์ทรูเดตรหัส E27 และ E28	78
ค.19 เอกซ์ทรูเดตรหัส E29 และ E30	78
ค.20 เอกซ์ทรูเดตรหัส E31 และ E32	79
ค.21 เอกซ์ทรูเดตรหัส E33 และ E34	79
ค.22 เอกซ์ทรูเดตรหัส E35 และ E36	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงสัญลักษณ์และความหมาย	17
ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง Box – Behnken Design	18
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเอกซ์ทรูเดตที่สภาวะต่างๆ	22
ตารางที่ ก.1 ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต	41
ตารางที่ ก.2 อัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดต	43
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน มีผลิตภัณฑ์อาหารประเภทขนมขบเคี้ยวรวมทั้งผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากธัญพืชจำนวนมาก จากการสำรวจพบว่าผลิตภัณฑ์เหล่านี้ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นและมีส่วนแบ่งทางการตลาดสูงมากเมื่อเทียบกับการผลิตอาหารด้วยวิธีอื่น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นเป็นกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูง จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างลักษณะ และเนื้อสัมผัส ตามต้องการภายในขั้นตอนเดียวและใช้เวลาสั้น โดยเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่า เอกซ์ทรูเดต จึงทำให้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ถูกนำไปใช้ในการผลิตอาหารเหล่านี้อย่างแพร่หลาย

เอกซ์ทรูชั่นเป็นกระบวนการที่รวมเอาหน่วยปฏิบัติการ หลายหน่วยเข้าด้วยกันได้แก่ การผสม การทำให้สุก การนวด การเฉือน การขึ้นรูป และการทำให้เกิดรูปร่าง ด้วยการบังคับสารที่อ่อนตัวหรือหลอมเหลว ผ่านรูหรือหน้าแปลน ด้วยความดันโดยสกรูเป็นหัวใจหลักของการสร้างแรงดัน ลักษณะของสกรูและความเร็วรอบ อุณหภูมิ และรูปร่างของบาร์เรลมีผลต่อกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น โดยสกรูทำหน้าที่ 3 แบบ คือ 1. ขนถ่าย 2. ทำให้เกิดงานและความร้อน 3. การผสม ในขณะที่สกรูหมุน เกลียวจะผลักให้ ส่วนผสมต่างๆของอาหารเคลื่อนไปข้างหน้า ผนังของบาร์เรลมักทำเป็นร่อง เพื่อเพิ่มความฝืดและลดความลื่น เนื่องจากส่วนผสมที่ถัดจากผนังบาร์เรลมักลื่นและหมุนตามสกรู จากกระบวนการดังกล่าวเราจึงจำเป็นต้องศึกษาการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์และตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์อย่างละเอียดเพื่อที่จะได้นำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเรียนรู้ของนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไปโดยเฉพาะผู้ประกอบกิจการขนาดเล็ก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่อง Extruder แบบ Single Screw
2 .ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่อง Extruder แบบ Single Screw
3 .ทำคู่มือการใช้และแผนการทดลองของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ได้รับความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจัดทำคู่มือและแผนการทดลองจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจที่จะทำการศึกษาการทำงานของกระบวนการเอกทรูชั่นต่อไป

1.4 ขอบเขตการทำงาน

1. วัตถุดิบที่ใช้คือข้าวโพดพันธุ์สวิสความชื้น 18 , 20%(wb)เอียดเบอร์ 3 (820 -850 ไมโครเมตร)
2. ใช้เครื่อง Extruder แบบ Single Screw อุณหภูมิของบาร์เรล 60,80,100 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของสกรู 620,580, 540 rpm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู 34.6 มิลลิเมตร
3. มอเตอร์ต้นกำลังขนาด 3.95 kw
4. วัสดุที่ใช้ทำสกรูและบาร์เรล นั้นเป็นสแตนเลส โดยสกรูมีช่วงเกลียวยาว 32.5 เซนติเมตร บาร์เรลยาว 19.7 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางบาร์เรล 55 มิลลิเมตร
5. ไม่คำนึงถึงอุปกรณ์การตัดที่หน้าแปลน
6. มีการใช้น้ำหล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิที่บริเวณรอบบาร์เรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 หลักการผลิตอาหารแบบเอกซ์ทรูชัน

2.1.1 กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (Extrusion process) (รุ่งนภา , 2541)

กระบวนการเอกซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการทำให้เกิดรูปร่าง โดยการบังคับสารที่อ่อนตัวหรือหลอมเหลวผ่านรู หรือหน้าแปลน(Die) ด้วยความดัน เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในอาหารจึงเป็นเครื่องมือสำหรับทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้าง และรูปร่างของอาหาร ปัจจัยหลักที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเอกซ์ทรูชันมากที่สุดคือ สภาวะการเดินเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์และคุณสมบัติทางรีโอโลจีของอาหาร พารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดของการเดินเครื่องคือ อุณหภูมิ ความดัน เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดของหน้าแปลน และอัตราเฉือน (Shear rate) โดยที่อัตราการเฉือนขึ้นกับการออกแบบภายในของสกรู ความเร็ว และรูปร่างของสกรู ส่วนคุณสมบัติของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่เครื่องก็มีผลลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของเอกซ์ทรูเดต (Extrudate คือ ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์) คุณสมบัติของส่วนผสมที่สำคัญสุด ได้แก่ ความชื้น ขนาดของสาร และองค์ปรกอบทางเคมี โดยเฉพาะปริมาณ และชนิดของแป้ง โปรตีน ไขมันและ น้ำตาล

สกรูเป็นหัวใจของกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยเฉพาะลักษณะของสกรู ความเร็วของการหมุนมีผลต่อกระบวนการเอกซ์ทรูชัน การเคลื่อนที่ของส่วนผสมของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เกิดขึ้นจากเกลียวที่อยู่ตามแนวแกนความยาวของสกรู โดยขณะที่หมุนสกรู เพื่อเพิ่มความฝืด และลดความลื่น เนื่องจากส่วนผสมที่ถัดจากผนังบาร์เรลมักลื่น และหมุนตามสกรู

สกรูทำหน้าที่ 3 อย่างคือ (1) การขนถ่าย (2) ก่อให้เกิดงานและความร้อน และ (3) การผสม สกรูในส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนดังในภาพที่ 1 มักจะมีลักษณะสันเกลียวที่ลึกซึ่งจะรับส่วนผสมของอาหารที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง ส่วนผสมของวัตถุดิบมีลักษณะเป็นเม็ดๆ และผ่านการปรับความชื้นแล้ว สกรูจะเอาส่วนผสมเหล่านี้เคลื่อนที่ไปตามยาวของสกรู ขณะที่ส่วนผสมเคลื่อนไปตามสกรู ก็จะได้รับการอัดเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมของอาหารเหล่านี้บรรจุลงในชันแนล (Channel) หรือช่องว่างที่มีอยู่ระหว่างเกลียวสกรู

ส่วนที่ 2 ของสกรูจะเป็นช่วงของการอัด หรือการเปลี่ยน โดยสกรูมีความสูงของเกลียวหรือสันเกลียวลดลง หรืออาจใช้วิธีการอื่น ที่ทำให้ความสามารถในการขนถ่ายของสกรูลดลง ซึ่งมีผลทำให้การอัดมากขึ้น ส่วนผสมของอาหารจะหมุนอยู่ในชันแนลของสกรูขณะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และเกิดเป็นมวลที่ต่อเนื่อง พลังงานที่ทำให้ส่วนผสมที่หนืดนี้ไหล ได้จากมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่หมุนสกรู การเฉือนระหว่างกระบวนการไหลจะทำให้พลังงานกลหมดไป โดยเพิ่มอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของส่วนผสมและการเปลี่ยนส่วนผสมของอาหารไปเป็นโด ส่วนต่อมาของสกรูจะออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่ผสมส่วนผสมของอาหารที่หลอมเหลวนี้สันเกลียวที่ตื้นขึ้นจะเพิ่มแรงเฉือน และช่วยให้การผสมดีขึ้นเพื่อให้เกิดโดที่มีอุณหภูมิและความดัน สูงสม่ำเสมอ

2.1.1.1) ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

1. เวลา (time)

กระบวนการเอกซ์ทรูชันมีลักษณะเป็น equilibrium process ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงสภาวะต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ จึงต้องการเวลาในการปรับตัวให้เข้าสู่สมดุล ตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการนี้ตัวหนึ่ง คือ เวลาซึ่งผลิตภัณฑ์ถูกกระทำ หรือเรียกว่า residence time เป็นเวลาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและขนาดของอุปกรณ์ อธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{Residence time} = T_r = \frac{V_f}{Q} \qquad (1)$$

โดยที่ T_r = residence time in process (s)

V_f = filled volume of process (m^3)

Q = volumetric flow rate of product through the process (m^3/s)

2. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเนื่องจากปฏิกิริยาหลักของกระบวนการนี้คือปฏิกิริยาการเกิดเจล (gelatinization) โดยที่คุณสมบัติของกลิ่น สี รวมทั้งเนื้อสัมผัส ล้วนเป็นผลที่เกิดจากปฏิกิริยานี้ทั้งสิ้น ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไปคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้จะเปลี่ยนไปด้วย หากต้องการให้เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำเมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านแม่พิมพ์(die)แล้วน้ำในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นไอ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวคล้ายบอลลูนที่ถูกเป่าลม เพื่อให้กระบวนการเป็นไปตามนี้ นอกจากจะต้องควบคุมอุณหภูมิแล้ว จำเป็นต้องควบคุมความดันให้สูงพอที่จะป้องกันไม่ให้น้ำเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์อีกด้วย

3. ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นส่วนสำคัญในปฏิกิริยาการเกิดเจล(gelatinization) เมื่อเม็ดแป้งดูดความชื้นจะทำให้เกิดการพองตัว ถ้ามีอุณหภูมิที่สูงเพียงพอในการทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลเม็ดแป้งจะพองตัวขึ้นอย่างเห็นได้ชัด การพองตัวเช่นนี้จะทำให้สูญเสียการจัดเรียงตัว ถ้าให้ความร้อนต่อไปจะทำให้โครงสร้างภายในหลวมขึ้น ทำให้น้ำเข้าไปได้มากขึ้น ถ้ามีการกวนที่แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพอ หรืออุณหภูมิสูงเพียงพอ กรานูล (granule) ที่พองตัวเหล่านี้จะแยกออกจากกัน [ประเสริฐ สุทธิประสิทธ์ และคณะ ,2543] หากความชื้นไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดเจลในแต่ละส่วนของอาหารไม่สม่ำเสมอ เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่ได้คุณภาพตามต้องการ

4. อัตราการเฉือน (Shear rate)

อัตราการเฉือนเป็นตัววัดค่าการผสมกันของวัตถุดิบว่าอยู่ในระดับใด (mixing intensity) โดยวัตถุจะสัมผัสกับบาร์เรล (barrel) ที่อยู่กับที่และสกรูที่เคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่เลื่อนไหลจากกันและกัน โดยอัตราการเฉือนจะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วที่เปลี่ยนไป ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2

$$\dot{\gamma} = \frac{\Delta V}{h} = \frac{\pi DN}{h} \qquad (2)$$

โดยที่ $\dot{\gamma}$ = shear rate (1/sec)

ΔV = velocity change (m/s)

h = distance (m)

D = diameter (m)

N = screw speed (rpm)

ดังนั้นอัตราการเฉือนจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู หรือลดความลึกของร่องเกลียว(Channel depth)

นอกจากทำให้อาหารเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว อัตราการเฉือนยังส่งผลต่อปฏิกิริยาต่างๆอีก กล่าวคือ หากมีความชื้นสูง อัตราการเฉือนจะช่วยให้น้ำและแป้งสัมผัสกันได้เร็วขึ้น เม็ดแป้งจะสูญเสียสภาพโดยถูกทำลายทางกล (Mechanical Starch Granule Degradation) ในปฏิกิริยาการเกิดเจล (Gelatinization)

5. ความเร็วรอบของสกรู (Screw speed)

ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะใช้ความเร็วรอบของสกรูที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน หากต้องการให้พองมาก จะปรับความเร็วรอบที่ค่าสูง ความเร็วรอบนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความชื้น แต่จะส่งผลต่อเวลา อุณหภูมิ และอัตราการเฉือน ดังนี้

5.1 เวลา (time) ในสภาวะที่ความเร็วรอบของสกรูที่มีค่าสูง เป็นผลให้เวลากักพัก (residence time) ลดลง

5.2 อัตราการเฉือน (shear rate) ความเร็วรอบของสกรูที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเฉือนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นหากต้องการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของอาหารเช่น การเกิด puffing ด้วยการเพิ่มแรงทางกล จึงสามารถปรับได้ด้วยการเพิ่มหรือลดความเร็วรอบของสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ และเนื่องจากอาหารประเภทที่สนใจจัดอยู่ในกลุ่ม shear thinning หรือ pseudo plastic ดังนั้น ความหนืดของอาหารจึงลดลงในขณะที่ความเร็วรอบสูงขึ้น

5.3 อุณหภูมิจะไม่เปลี่ยนแปลง (temperature) หากค่าความหนืดลดลงและความเร็วรอบสูงมาก แต่โดยปกติที่ค่าความเร็วรอบที่ใช้กันทั่วไปจะทำให้อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น

2.1.2 การทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder Operation)

ส่วนผสมที่เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในเครื่องคุกกิ้งเอกซ์ทรูเดอร์ ประกอบด้วยธัญชาติที่ผ่านการบด สตาร์ชและโปรตีนที่ได้จากพืช นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นๆ ที่เป็นวัตถุดิบรอง ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล เกลือ และกรด หรือ ด่างสารอิมัลซิไฟเออร์ สี และ กลิ่น รส น้ำจะเติมเข้าไปเพื่อปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นอยู่ที่ 10 - 40%

พลังงานต่างๆที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอกทรูเดอร์นั้น ทำให้อุณหภูมิของฟีดที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่เคลื่อนที่ผ่านเครื่อง การเพิ่มพลังงานทางกล โดยการหมุนสกรูเป็นส่วนสำคัญที่สุด และคิดเป็น 50 – 100% ของพลังงานทั้งหมดที่มี นอกจากนั้นพลังงานที่ป้อนเข้าเครื่องอาจได้จากความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังบาร์เรลที่ร้อน หรือ เย็น หรือพลังงานที่เกิดจากการส่งไอน้ำเขาไปผสมโดยตรงกับอาหารภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็นส่วนที่สำคัญน้อยกว่า

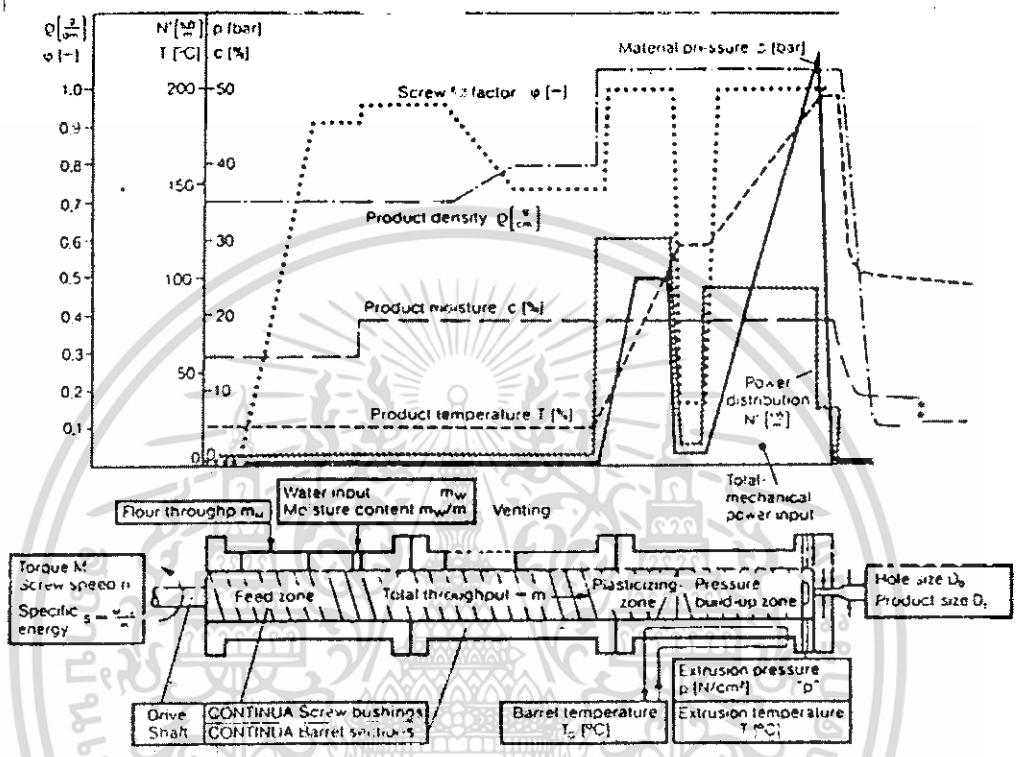
ในกระบวนคุกกิ้งเอกซ์ทรูชัน อุณหภูมิของส่วนผสมอาหารหลังจากที่ถูกอัด จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปเป็น 150 – 200°C อุณหภูมิที่สูงที่สุดนี้จะคงอยู่น้อยกว่า 20 วินาที ไม่เช่นนั้นจะทำให้ไหม้ และเกิดกลิ่นรสแปลกปลอมขึ้น ความดันในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่สูง ทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่คล้ายกับของหม้อต้มความดัน (Pressure cooker) ซึ่งจะป้องกันการพุ่งกระจายของไอน้ำจนกว่าความดันจะถูกปล่อยออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากหน้าแปลน

เมื่อโดออกจากหน้าแปลน ความดันจะถูกปลดปล่อยออกมาทำให้เกิดการพองตัว (Puffing) อย่างทันทีที่อุณหภูมิสูง การพองตัวนี้ส่วนใหญ่เกิดจากไอน้ำที่ออกจากน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ถูกทำให้ร้อนขึ้น การสูญเสียความชื้น และความร้อนในผลิตภัณฑ์ร่วมกับการพองตัว ทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีอุณหภูมิประมาณ 60 °C

เอกซ์ทรูเดตที่ขยายตัวจะมีโครงสร้างของเซลล์เปิด ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่แต่ละเซลล์ถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรนของแป้ง หรือโปรตีน ขนาดของเซลล์เหล่านี้จะควบคุมลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เอกซ์ทรูเดตเหล่านี้มักจะถูกตัดที่ผิวหน้าของหน้าแปลนด้วยใบมีดที่หมุน แล้วอบแห้งต่อในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนให้มีความชื้น 2 -12% ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการอาจเคลือบด้วยสี กลิ่นรส น้ำมัน และ/หรือน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน อุณหภูมิที่ออกจากเครื่อง ระดับ หรือปริมาณของความเสียหายของส่วนผสมที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไหล และลักษณะรูปร่างของหน้าแปลน



รูปที่2.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการเดินเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่พอง (จาก รุ่งนภา,2541; ที่มา : Fellows,1988)

จากรูปที่ 2.1 แบ่งรูปกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ได้เป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. Feed zone คือ ส่วนที่ทำการป้อนวัตถุดิบกับน้ำเข้าผสมกัน จนแป้งมีลักษณะที่เรียกว่า โด (dough)

2. Plasticizing zone คือ ส่วนที่ทำให้เกิดแรงอัดขึ้นเล็กน้อย จนแป้งมีลักษณะคล้ายพลาสติก

3. Pressures build – up zone คือ ช่วงที่วัตถุดิบเกิดแรงอัดสูงมาก ก่อนที่วัตถุดิบจะออกสู่หน้าแปลน (Die)

2.1.3 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์(วรวุฒิ,2541)

2.1.3.1 Feed Hopper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่รับวัตถุดิบ มีรูปร่างเป็นกรวยแบบง่ายๆ บางทีอาจเพิ่มระบบกวนเข้าไปได้ ถ้าวัตถุดิบมีความหนืด ในช่วงนี้มีการควบคุมอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบเพื่อป้องกันการเกิดการติดขัดในเครื่องได้

2.1.3.2 บาร์เรล (Barrel)

มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกครอบอยู่ตามความยาวของสกรู สามารถถอดออกเป็นตอนๆได้ ผิวด้านในมีการเซาะร่องเป็นแนวเพื่อลดการลื่นไหลของวัตถุดิบ ขณะเคลื่อนที่อยู่ภายในและยังเพิ่มแรงดันและแรงเฉือนด้วย

2.1.3.3 Jacket

อยู่ล้อมรอบบาร์เรล มีหน้าที่ให้น้ำเย็นหรือน้ำร้อนไหลอยู่ภายในเพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะใช้เครื่อง ซึ่งจะแบ่งออกเป็นช่วงๆ บางช่วงอาจใช้น้ำเย็น บางช่วงอาจใช้น้ำร้อนเพื่อการให้ความร้อน

2.1.3.4 สกรู (screw)

สกรูมีลักษณะเป็นแกน มีเกลียวอยู่โดยรอบ โดยที่ส้นผ่าศูนย์กลางของสกรูอาจเท่าเดิมหรือค่อยเพิ่มขึ้นก็ได้เช่นเดียวกันกลับเกลียวบนสกรูอาจมีความลึกคงที่หรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และหน้าที่ในการทำงาน นอกจากนี้สกรูยังอาจมีทิศทางที่แตกต่างกันหรือเหมือนกันก็ได้ หน้าที่ของสกรูในการทำงานคือ รับและขนถ่ายวัตถุดิบ กดดันและเพิ่มแรงเฉือน ให้แก่วัตถุดิบ ทำให้เกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอ

2.1.3.5 หน้าแปลน (Die)

ส่วนนี้อยู่ปลายสุดของเครื่องมือ มีหลายรูปลักษณะอันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆกันไป เมื่อเอกซ์ทรูเดดผ่านออกมาจากช่องนี้ จะเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วทันทีที่ออกมาจากหน้าแปลน

2.1.3.6 ใบมีด (Knife)

เป็นส่วนที่กำหนดความยาวเอกซ์ทรูเดดที่ออกมาจากหน้าแปลน ซึ่งมีให้เลือกหลายใบมีด อาจจะเป็นแบบสองใบมีดสามใบมีด หรือ เท่าใดก็ตามแล้วแต่ความต้องการด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

2.1.4 ข้อดีของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

เอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการผลิตอาหารสมัยใหม่ ช่วยให้การขยายงานด้านอุตสาหกรรมการผลิตอาหารกว้างยิ่งขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะโดยตัวของระบบหรือเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นั้นมีคุณลักษณะพิเศษหลายประการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.1 เอนกประสงค์ (Versatility) ใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลากหลาย เพียงแต่เลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบและปรับสภาวะของกระบวนการผลิตให้เหมาะสม

2.1.4.2 อัตราการผลิตสูง (high productivity) เป็นเครื่องจักรแบบต่อเนื่อง และมีอัตราการผลิตได้มากกว่าระบบอื่นๆ

2.1.4.3 ต้นทุนการผลิตต่ำ (low cost) จำนวนคนงาน และพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชันต่อหนึ่งหน่วยการผลิตนั้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีอื่นๆ

2.1.4.4 รูปทรงของผลิตภัณฑ์ (product shapes) ทำได้มากมายหลายแบบ ทำได้ง่ายเพียงเปลี่ยนแบบรูปทรงของรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน

2.1.4.5 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีมาก (high product quality) คุณภาพสูงเนื่องมาจากเป็นระบบ HTST (High Temperature Short Time)

2.1.4.6 ประหยัดพลังงาน (energy efficient)

2.1.4.7 ทำผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆ (Production of new foods)

2.1.4.8 ไม่มีน้ำทิ้งหรือสิ่งโสโครกที่ไหลจากโรงงาน (No effluents)

2.1.5 ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้กันในปัจจุบันนี้มีหลายบริษัทที่ผลิตขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆกัน

2.1.5.1 แบ่งโดยอาศัยคุณลักษณะหน้าที่ และผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Function characteristics) มีดังนี้

1. Pasta Extruders เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลี เช่น พวกมักกะโรนี เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้มีร่องเกลียวสกรูลึก ผนังด้านนวนของปลอกเหล็กผนังสองชั้นเรียบ และความเร็วที่หมุนสกรูจะช้า สกรูเกลียวลึกนี้ทำหน้าที่ผลักพาแป้งที่ชื้นนุ่มไปข้างหน้า แล้วอัดผ่านรูเปิดบนหน้าแปลนออกมาซึ่งอาจทำให้แป้งเซโมไลนาสุกบ้างเล็กน้อย หรือไม่สุกเลยก็ได้ ในพาสต้า เอกซ์ทรูเดอร์นั้นพลังงานใช้น้อยมาก เพราะมีอัตราเฉือนเกิดขึ้นต่ำมากในตัวผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ถึงกับสุกพองจำเป็นต้องใช้ขั้นตอนอย่างอื่นอีกมากมาย ทำให้สุกพร้อมรับประทานต่อไป

2. High – Pressure Foaming Extruders เริ่มแรกที่พัฒนาหรือประยุกต์นำเอาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เข้ามาใช้ในวงการอุตสาหกรรมอาหารนั้น ก็เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นรูปทรงตามต้องการเท่านั้น โดยใช้วัตถุที่เป็นโด (Dough) ที่เปลี่ยนสภาพเป็นเจลบ้างบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนแล้วตัดออกเป็นขนาดต่างๆ ตามต้องการ ผลิตภัณฑ์นี้ยังไม่สุกพอง ต้องนำไปอบแห้ง และทำให้สุกพองด้วยการทอดในน้ำมัน หรืออบ คั่ว ในกระทะ เสียก่อน

การทำให้เกิดความดันสูงขึ้นภายในตัวเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นั้น จะต้องออกแบบให้ผนังด้านในของปลอกเหล็กด้านในเป็นร่องเกลียว เพื่อไม่ให้การเกิดการลื่นไหลที่ผนัง และตัวสกรูก็ต้องออกแบบให้เป็นชนิดที่ทำให้เกิดความดันมาก ผลก็จะทำให้เอกซ์ทรูเดตมีความดันสูงที่บริเวณด้านหลังหน้าแปลน และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงมากเกินไปในตัวของโด อาจทำให้สุกพองโดยไม่ต้องการ ต้องขจัดความร้อนออกไป โดยใช้น้ำหล่อรอบผนังของบาร์เรลที่เป็นผนังสองชั้น

3. Low – shear Cooking Extruders เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ผนังด้านในเรียบและช่องระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรล นั้นมีอุณหภูมิสูง หรือไอน้ำหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา ความร้อนนี้ส่งผ่านยังส่วนผสมของวัตถุอาหาร โดยการนำ นอกจากนี้การหมุนตัวของสกรูทำให้เกิดการขัดสีระหว่างวัตถุอาหารกับสกรู เกิดเป็นความร้อนแล้วความร้อนนี้ก็แพร่ไปยังส่วนผสมของอาหารด้วยวิธีการนำวิธีนี้ก็ทำให้ส่วนผสมที่เป็นแป้งเปลี่ยนโด ซึ่งโดมีการขยายตัวและพองตัวเกิดขึ้นบ้าง ดังนั้นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาของส่วนผสมของวัตถุอาหารที่อยู่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ซึ่งส่วนมากแล้วใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว เพื่อจะทำให้แป้งที่เป็นองค์ประกอบหลักของส่วนผสมของวัตถุอาหารเปลี่ยนเป็นเจลตามที่ต้องการ แล้วโดนี้จะถูกทำให้เย็นลงด้วยการลดอุณหภูมิที่ปลอกเหล็กสองชั้นอันสุดท้ายหรือช่วงสุดท้ายที่ติดกับหน้าแปลนลงให้ต่ำกว่า 100°C ซึ่งโดนี้จะถูกแรงหมุนของสกรู และความดันอัดให้ผ่านรูบนหน้าแปลน ออกมาภายนอก และถูกตัดออกเป็นชิ้นๆ ความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ภายในชิ้นอาหาร หรือเพลเลทนี้จะไม่ระเหยแยกกลายเป็นไอน้ำลอยออกไป อาหารขบเคี้ยว หรือขนมอบกรอบกึ่งสำเร็จรูป ชนิดที่ได้นี้มีลักษณะเนื้อแน่นมากกว่าการพองตัว จึงต้องการวิธีอื่นๆอีกเช่น การอบแห้ง นำไปทอดในน้ำมันก่อนรับประทาน ขนมอบกรอบนี้รู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า Third generation snacks ที่ผลิตและมีจำหน่ายในบ้านเรา เช่น ปาปริก้า คอนเน่ เป็นต้น

4. Collect Extruders ซึ่งเป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบเรียบง่าย เล็กกะทัดรัด สะดวกต่อการใช้งาน เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่มีความยาวของตัวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยมาก ประมาณ 3 : 1 (L/D = 3 : 1 เรียกว่า Short screw แต่ชนิดที่ยาวกว่า ขนาด L/ D = 10 : 1 ก็มี) ในคอลเล็ก เอกซ์ทรูเดอร์นี้เกิดแรงเฉือนสูงมาก เพราะสกรูร่องเกลียวตื้นมากหมุนอยู่ภายในบาร์เรลที่ผนังด้านในเป็นร่องเกลียวเช่นกัน ร่องเกลียวนี้เป็นการป้องกันการลื่นที่ผนัง วัสดุที่ใช้ส่วนมากจะแห้งมากมีความชื้นต่ำ ความร้อนเกือบจะหรือทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้นได้มาจากการเสียดสี (Friction) แล้วทำให้มีความร้อนสูงถึง 175°C อย่างรวดเร็วเพื่อทำให้แป้ง กลายเป็นเจลและเป็นเดกซ์ตรินบางส่วน วัตถุดิบหรือส่วนผสมของอาหารนี้เรียกว่าเอกซ์ทรูเดต เอกซ์ทรูเดตที่อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในสภาพนี้ก็ถูกดันให้โผล่พ้นรูเปิดออกมา และเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำภายในเอกซ์ทรูเดต กลายเป็นไอน้ำ ระเหยลอยตัวออกไป และถูกตัดด้วยใบมีด แล้วทรงตัวเป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่สุกกรอบ วัตถุดิบที่นิยมใช้กับ คอลเลค เอกซ์ทรูเดอร์ได้แก่ คอร์กริด ข้าวท่อน

5. High Shear Cooking Extruders เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ออกแบบมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายแบบ เช่น พวกที่สุกเพียงบางส่วน หรือพวกกึ่งสำเร็จรูป หรือพวกที่ผ่านความร้อนสูง และมีการจัดโครงสร้างภายในโมเลกุล เช่น พวกโปรตีนเกษตร (texture vegetable protein) แรกเริ่มนั้นก็เริ่มประยุกต์นำเอาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ทำด้วยพลาสติกที่มีอัตราส่วนของ ความยาวสกรู : เส้นผ่านศูนย์กลาง (L / D = 10-20 : 1) เป็นชนิดที่เกิดแรงอัดสูง เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดที่มีบาร์เรลยาว แต่ก็สามารถทำให้ร้อนหรือเย็นได้ โดยใช้แหล่งความร้อนความเย็นภายนอก โดยผ่านเข้าไปในช่องว่าง ระหว่างผนังของบาร์เรล เอกซ์ทรูเดอร์นี้ใช้กับวัตถุดิบได้มากมายหลายชนิด และในช่วงของความชื้น ได้ต่างๆกัน และควบคุมสภาวะต่างๆกันในระหว่างการผลิตได้ เช่น ควบคุมการสุกพอง อุณหภูมิ ความหนาแน่นของเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ ได้แก่อาหารเลี้ยงสัตว์ อาหารเช้า ซีเรียล อาหารเช้าขากธัญชาติพร้อมรับประทาน(RTE cereal)โปรตีนเกษตร (TVP) และอาหารขบเคี้ยวหรือขนบอบกรอบ (Snack Foods)

High Shear Cooking (HSCE) ได้ถูกจัดอยู่ใน HTST ส่วนมากในการผลิตอาหารโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ วัตถุดิบที่นำมาใช้ก่อนป้อนเข้าไปในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ควรอุ่นหรือให้ความร้อนก่อน จะเป็นไอน้ำหรือน้ำร้อนก็ได้ แล้วป้อนเข้าไปใน HSCE เพื่อทำให้วัตถุเปลี่ยนเป็นเจล หรือปรับโครงสร้างภายในโมเลกุลของวัตถุดิบเสียใหม่และการอุ่นนั้นได้ทำให้วัตถุดิบที่ป้อนเข้ามีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วทำให้สุกและเย็นตัวลงทันที เมื่อโผล่พ้นหน้าแปลนออกมา เวลาที่ใช้ในการหุงต้มนี้ต้องสั้นมาก ด้วยเหตุผลในเรื่องนี้ จึงตั้งชื่อเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นี้ว่า HTST High Temperature And Short Time)

2.1.5.2 แบ่งชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของความร้อน (Thermodinamic Characteristics)ได้ดังนี้

1. Autogenous (Adiabatic) Extruders ความร้อนทั้งหมดที่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ได้รับ (Input to the extruder) นั้นได้มาจากการเสียดสี (Friction) คือ เปลี่ยนมาจากพลังงานกล และมีเพียงปริมารเล็กน้อย หรือไม่มีเลยของความร้อนที่เพิ่มหรือระบายออกไปจาก บาร์เรล คอเลค เอกซ์ทรูเดอร์ และ High Shear cooking Extruders บางชนิดที่ได้จัดเป็นพวก Autogenous Extruders ก็เนื่องมาจากอุณหภูมิภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นี้จะสูง หรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไป และการจัดรูปแบบของสกรู ดังนั้นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบ Autogenous นี้จึงไม่ค่อยคล่องตัวนัก ในการที่จะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารในแต่ละชนิด และยังยากต่อการควบคุมการทำงานของเครื่องอีกด้วย

2. Isothermal Extruders เป็นเครื่องประเภทที่มีระบบการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เทากันเป็นระยะตลอดความยาวของบาร์เรล Foaming Extruders ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ เพื่อคงสภาพความร้อนให้เท่ากันโดยตลอดนั้น ความร้อนก็จะถูกลดลงหรือระบายผ่านช่องว่างระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรลที่อยู่ภายนอกสกรู

3. Polytrophic Extruders ในความเป็นจริงแล้ว เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เกือบจะทุกชนิดเป็นประเภท Polytrophic คือจะได้รับความร้อนทั้งสองทาง คือความร้อนที่ได้จากพลังงานกล และความร้อนที่ได้จากแหล่งความร้อนภายนอกที่ส่งผ่านมาทางช่องว่างของบาร์เรล

2.1.5.3 การแบ่งชนิดของเครื่องตามวิธีการสร้างประกอบเครื่อง (รุ่งนภา,2541)

1. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruders)

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ไม่ว่าจะใช้สำหรับการอัด หรือดันให้โดของอาหารผ่านหน้าแปลน เพื่อขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำ โดยไม่มีการพอง หรือใช้เพื่อทำการสุก และขึ้นรูปด้วยความร้อนอย่างรุนแรงแล้วผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว

ในกรณีแรกที่ใช้เพื่อการขึ้นรูป สกรูต้องมีเกลียวที่ลึกและหมุนช้าๆ เพื่อให้ปริมาณพลังงานกลถูกปล่อยออกมาให้น้อยที่สุด เช่น การทำมะกะโรนี หรือหมากฝรั่ง

ในส่วนกรณีหลัง เครื่องคุกกิ้งเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ทำให้สุกจะมีสกรู สำหรับการอัดโดยลดความลึกของเกลียวสกรูหมุนด้วยความเร็วสูง เพื่อเพิ่มแรงเฉือน และพลังงานกล สำหรับการให้ความร้อนจากการเติมไอน้ำก่อน ที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เหล่านี้สามารถแบ่งตามระดับการเฉือนที่กระทำต่ออาหารได้ ดังนี้

1. แรงเฉือนที่สูงเช่น อาหารเช้าธัญพืช ขนมขบเคี้ยว
2. แรงเฉือนปานกลาง เช่น ขนมปังต่างๆ อาหารที่ค่อนข้างชื้น
3. แรงเฉือนต่ำ เช่น พาสต้า ผลิตภัณฑ์เนื้อต่างๆ

สกรูจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วน ฟีดเข้า เครื่อง ส่วนที่นวดถึงการอัด และส่วนคุกกิ้ง การขนถ่ายของส่วนผสมต่างๆ ผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ขึ้นกับความเสียดทานที่ผิวของบาร์เรล วัตถุดิบจะเคลื่อนไปข้างหน้า เนื่องจากแรงกระทำของสกรู เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวมีราคาแลบการเดินเครื่องที่ต่ำ และ ต้องการความชำนาญในการเดินเครื่อง และดูแลรักษาน้อยกว่าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องชันแนลของสกรูต้องมีการใส่หรืออัดวัตถุดิบให้เต็ม เพื่อให้เกิดการนวด และ การเฉือน การผสม และการอัดส่วนผสม ความดันที่เพิ่มขึ้นหลังหน้าแปลน ทำให้ผลผลิตสุทธิที่ออกมาอย่างต่อเนื่อง (Throughput) ลดลงเนื่องจากการไหล ของความดันย้อนกลับขึ้นตามแนวชันแนลของสกรูอย่างต่อเนื่อง

ลักษณะเฉพาะในการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ขึ้นกับความดันที่อยู่หลังหน้าแปลน ความลื่นบนผนังบาร์เรล ความยาวของสกรูที่ถูกอัดด้วยผลิตภัณฑ์ และลักษณะเฉพาะของโดที่ขึ้นกับชนิดของส่วนผสม ความชื้นและอุณหภูมิ อันตรกริยาระหว่างปัจจัยเหล่านี้จะจำกัดช่วง และความยืดหยุ่นของการปฏิบัติงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

2. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (Twin – screw Extruder)

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ทีสองสกรูซึ่งวางข้างๆกันโดยที่มีเกลียวอินเตอร์เมส (Intermeshing) กันและกัน และหมุนในลักษณะ "ตัวเลข 8 "ในบาร์เรล เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มักแบ่งตามทิศทางการหมุน และลักษณะที่อินเตอร์เมสกัน สกรูที่อินเตอเมสแบบหมุนตามกันพบมากในอุตสาหกรรมอาหาร การหมุนจะทำให้วัตถุดิบผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ และอินเตอร์เมสช่วยให้การผสมของวัตถุดิบในบาร์เรลดีขึ้น

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่จำแนกได้ตามทิศทางการหมุนของสกรู ซึ่งเป็นลักษณะของสกรู่ที่หมุนตามกัน ส่วนต้นของสกรูออกแบบมาเพื่อขนถ่ายส่วนผสมที่เป็นเม็ดๆ ความสามารถในการขนถ่ายของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่เพิ่มขึ้นทำให้ใช้กับส่วนผสมที่เหนียวได้ดีกว่าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว สกรูที่ขนานกันจะถูกันเอง (Self-wiping) เมื่อเกลียวที่ซ้อนบนสกรูหนึ่ง เช็ดหรือถูด้านล่างของช่องชันแนลของอีกสกรูที่อยู่ติดกัน

จากการนวด (Kneading disks) จะช่วยกระจายพลังงานกลระหว่างการขนถ่ายมากขึ้นโดยส่วนผสมของวัตถุดิบต่างๆเคลื่อนจากจานหนึ่งไปยังอีกจานหนึ่งซึ่งทำให้เกิดการผสมกันขึ้น และการกระจายของพลังงานกลจะมากขึ้น เมื่อส่วนต่างๆเหล่านี้มีส่วนผสมของอาหารบรรจุอยู่เต็ม

2.1.6 การเปรียบเทียบชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Comparison of Extruder types) (รุ่งนภา,2541)

ข้อดีของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่

1. ผลผลิตที่ได้ออกมาอย่างต่อเนื่อง ส่วนเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวต้องเติมส่วนผสมของชันเนลให้เต็มชันแนลของสกรูเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพเนื่องจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวทำงานโดยใช้แรงเสียดทานทำให้เกิดการไหลแบบลาก เนื่องจากการหมุนของสกรูภายในบาร์เรลอยู่นิ่งทำให้อัตราการไหลเป็นสัดส่วนกับความเร็วของสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่สามารถใช้กับส่วนผสมที่มีน้ำมัน หรือที่เหนียวหรือแฉะมาก โดยองค์ประกอบของส่วนผสมที่เป็นข้อจำกัดในการใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวกับสกรูคู่คือ มัน 4%และ20 % น้ำตาล 10% และ 40% ความชื้น 30% และ 65% ตามลำดับ จะเห็นว่าแบบสกรูคู่มีความยืดหยุ่นในการทำงานได้มากกว่าและบางครั้งยังสามารถเติมองค์ประกอบต่างๆในระหว่างกระบวนการผลิตได้ด้วย เช่น สารให้กลิ่นรส (Flavor)

3. การขนถ่ายทั้งชนิดไปด้านหลังหรือชนิดย้อนกลับจะใช้การควบคุมความดันในบาร์เรล เช่น ในการผลิตกับผลไม้ (Fruit Gums) อาหารจะถูกทำให้ร้อนขึ้นและถูกอัดด้วยการขนถ่ายไปด้านหน้า ความดันจะถูกปลดปล่อยออกมา เพื่อระบายความชื้นที่มากเกินไป หรือเพื่อเพิ่มส่วนผสมที่เติมเข้าไปด้วยการขนถ่ายย้อนกลับ แล้วอาหารจึงถูกอัดอีกครั้งสำหรับกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

4. ส่วนที่ปล่อยออกมา (Discharge) ของเครื่องแบบสกรูคู่ ทำให้เกิดความดันที่ต้องใช้เพื่อการเอกซ์ทรูชันและทำให้ส่วนของเครื่องมีการสึกน้อยกว่าแบบสกรูเดี่ยว

5. เครื่องแบบสกรูคู่สามารถใช้กับของผสมที่มีขนาดอนุภาคต่างๆจกผงละเอียดไปเป็นเม็ดๆ ขณะที่สกรูเดี่ยวใช้ได้กับช่วงของอนุภาคที่เป็นเม็ดๆ

ในการเปรียบเทียบต้นทุนจำเป็นต้องพิจารณาต้นทุนของเครื่องมือสำหรับกระบวนการเอกซ์ทรูชันร่วมกับต้นทุนของระบบทั้งหมดเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูมีราคาแพงมากกว่าเนื่องจากการออกแบบสกรูที่ค่อนข้างซับซ้อน รวมทั้งความซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบบาร์เรล และแจคเก็ต สำหรับการถ่ายเทความร้อน แต่ต้นทุนของเครื่องมือที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถชดเชยด้วยการที่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่สามารถใช้แปรรูปส่วนผสมที่มีความชื้นต่ำ เพื่อให้การอบแห้งในผลิตภัณฑ์สุดท้ายน้อยลง

ในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ส่วนผสมมีการปรับสภาพด้วยไอน้ำ หรือน้ำก่อนโดยใช้ความร้อนเพื่อทำให้สุก หรือแปรรูปประมาณครึ่งหนึ่ง ส่วนที่เหลือได้มาจากพลังงานกลที่ใส่เข้าไปในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ ความร้อนที่ใส่เข้าไปจะมีสัดส่วนมากกว่า ขณะที่ส่วนที่เหลือได้จากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านแจ็คเก็ตของผนังบาร์เรล

ดังที่กล่าวมาแล้ว เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่จะให้ข้อได้เปรียบหลายอย่างมากเนื่องจากลักษณะเฉพาะของสกรู อย่างแรกคือ ความสามารถในการขนถ่ายส่วนผสมที่สูงกว่าแบบเดี่ยว ทำให้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่สามารถใช้ได้กับส่วนผสมต่างๆที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการป้อนเข้าสู่เครื่องที่เกิดขึ้น เมื่อใช้กับเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนต่ำจากแจ็กเก็ตที่อยู่รอบๆบาร์เรล เนื่องจากการผสมที่เกิดขึ้นในช่องชันแนลของเครื่องไม่ดี ส่วนเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่ามากเนื่องจากมีการปรับปรุงผสมทางกล ซึ่งทำให้ช่วงของการใช้กว้างขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการให้ความร้อน หรือความเย็นแก่เพสท์ที่เหนียว หรือสารละลายที่เหนียว

นอกจากนี้ ในเครื่องแบบสกรูคู่ อันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ของการแปรรูปก็น้อยกว่าของเครื่องสกรูแบบเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและ อุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1. ข้าวโพดบดละเอียด เบอร์ 3 (820 -850 ไมโครเมตร)
2. น้ำ

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบ Single screw
2. เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช(Grain Moisture Test)
3. เครื่องวัดความเร็วรอบ
4. ตู้อบลมร้อน รุ่น UM400
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง รุ่น Yamato HB – 120
6. ภาชนะอลูมิเนียมเปล่า
7. โถดูดความชื้น
8. ฟอล์ย
9. ประแจแอล
10. ประแจเบอร์ 13 และ 17
11. กาละมัง
12. ทัพพี
13. เครื่องอัดไฮดรอลิก

3.2 ตัวแปรที่ศึกษา

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่ส่งผลต่อความชื้นของเอกซ์ทรูเดตและอัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดตซึ่งตัวแปรดังกล่าวประกอบด้วยความเร็วรอบของสกรู อุณหภูมิบาร์เรล อัตราการป้อนวัตถุดิบ และ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ โดยกำหนดตัวแปร ดังนี้

3.2.1 ตัวแปร อิสระ (Independent variables) คือ

1. ความเร็วรอบสกรู 3ระดับ
   1.1) 540 รอบต่อนาที
   1.2) 580 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1.3) 620 รอบต่อนาที

2. อุณหภูมิบาร์เรล 3 ระดับ

2.1) 60 °C

2.2) 80 °C

2.3) 100 °C

3. ความชื้นเริ่มต้นของข้าวโพด

3.1) 18 (%wb)

3.2) 20 (%wb)

4. อัตราการป้อนวัตถุดิบ

4.1) 0.167 kg/min

4.2) 0.500 kg/min

3.2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables) คือ

1. ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (% MC)
2. อัตราส่วนขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (RE)

3.3 การวางแผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ Box – Behnken Design แบ่งเป็น 4 ระดับประกอบด้วย 36 การทดลองที่สภาวะต่างๆกันดังตารางที่ 3.2 โดยบอกความหมายของตัวแปรและสัญลักษณ์ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์	ระดับ / ค่าตัวแปร	1	0	-1
V_1	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	540	580	620
V_2	อุณหภูมิบาร์เรล(°C)	60	80	100
V_3	ความชื้น %(wb)	18	20	-
V_4	อัตราการป้อน(kg/min)	0.167	0.500	-

71960

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง Box – Behnken Design

No.	V_1	V_2	V_3	V_4
1	-1	1	1	1
2	-1	1	1	0
3	-1	0	1	1
4	-1	0	1	0
5	-1	-1	1	1
6	-1	-1	1	0
7	0	1	1	1
8	0	1	1	0
9	0	0	1	1
10	0	0	1	0
11	0	-1	1	1
12	0	-1	1	0
13	1	1	1	1
14	1	1	1	0
15	1	0	1	1
16	1	0	1	0
17	1	-1	1	1
18	1	-1	1	0
19	-1	1	0	1
20	-1	1	0	0
21	-1	0	0	1
22	-1	0	0	0
23	-1	-1	0	1
24	-1	-1	0	0
25	0	1	0	1
26	0	1	0	0
27	0	0	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง Box – Behnken Design (ต่อ)

No.	V_1	V_2	V_3	V_4
28	0	0	0	0
29	0	-1	0	1
30	0	-1	0	0
31	1	1	0	1
32	1	1	0	0
33	1	0	0	1
34	1	0	0	0
35	1	-1	0	1
36	1	-1	0	0

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

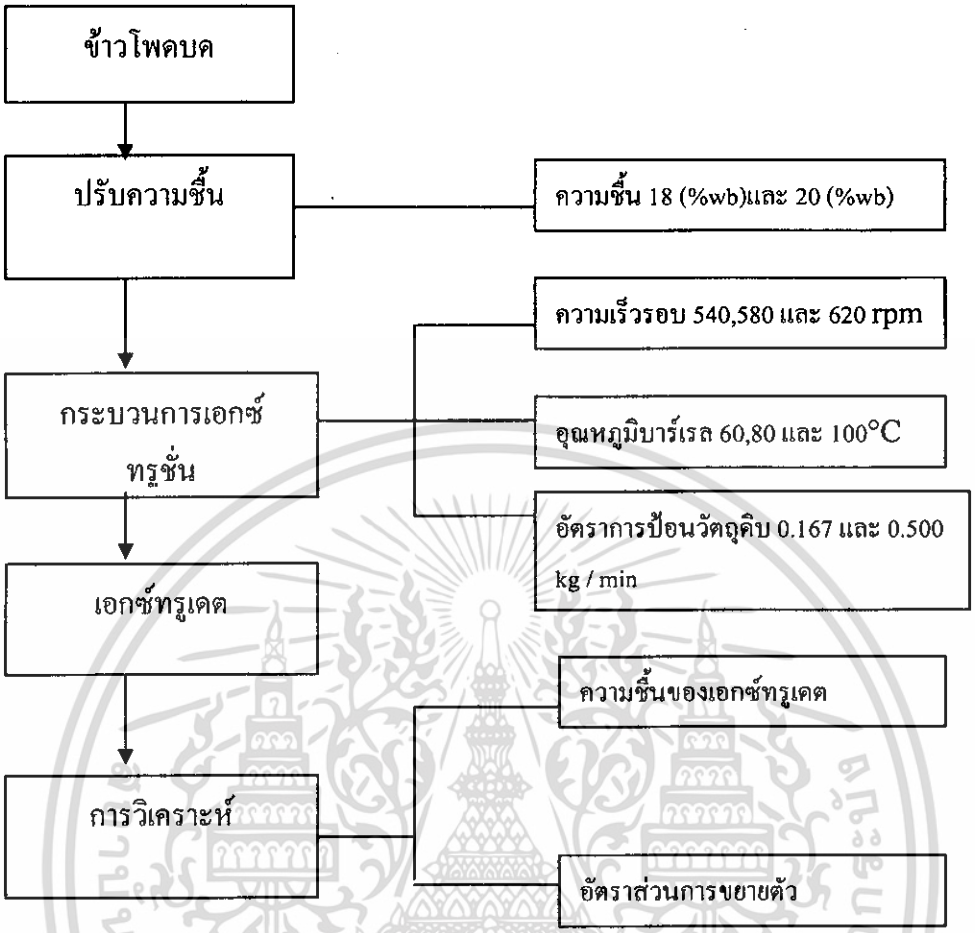
3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำข้าวโพดบดละเอียดจำนวน 2 กิโลกรัม ต่อ 1 ตัวอย่างมาวัดความชื้นเริ่มต้นด้วยเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชแล้วทำการปรับความชื้นให้ได้ตามสภาวะที่กำหนดของแต่ละตัวอย่าง โดยมีความชื้นที่กำหนดไว้ 2 ค่าคือ 18 (%wb)และ 20 (%wb) และการปรับความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น สามารถทำได้จากการทำสมดุลมวล

3.4.2 การทดลองผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

1. นำวัตถุที่ปรับความชื้นได้แล้ว ใส่ลงใน Feed Hopper
2. ปรับค่าการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ตามลักษณะที่กำหนด (ดังแสดงในตารางที่ 3.2)
3. ดำเนินการผลิตจนกระทั่งข้าสู่สภาวะสมดุล
4. เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์
5. นำตัวอย่าง เอกซ์ทรูเดตไปทำการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะต่างๆดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.5 การวัดค่าคุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดตที่ได้

3.5.1 ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (Moisture Contain)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (AOAC, 1990)

1. ชั่งภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาเปล่า บันทึกน้ำหนัก
2. นำตัวอย่างที่บดแล้ว ใส่ลงในภาชนะ ประมาณ 2 - 5 กรัม
3. นำกระปุกพร้อมฝาเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ซม.
4. ปิดฝาแล้วนำเข้าไปวางในโถดูดความชื้น ประมาณ 20 นาที
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ
6. คำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานเปียก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (Expansion Ratio,ER)

คือ ค่าอัตราส่วนการพองตัวของเอกซ์ทรูเดต

การคำนวณ (Chinnaswammy และ Hanna,1988)

$$ER = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเอกซ์ทรูเดต (cm)}}{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าแปลน (cm)}}$$

โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดตที่สภาวะการทดลองต่างๆ

จากการทดลองที่สภาวะต่างๆพบว่าที่คุณสมบัติต่างกันของวัตถุดิบในที่นี้ คือ คุณสมบัติด้านความชื้น และการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่สภาวะต่างกัน ดังสภาวะที่กำหนดไว้ข้างต้น ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดตที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเอกซ์ทรูเดตที่สภาวะต่างๆ

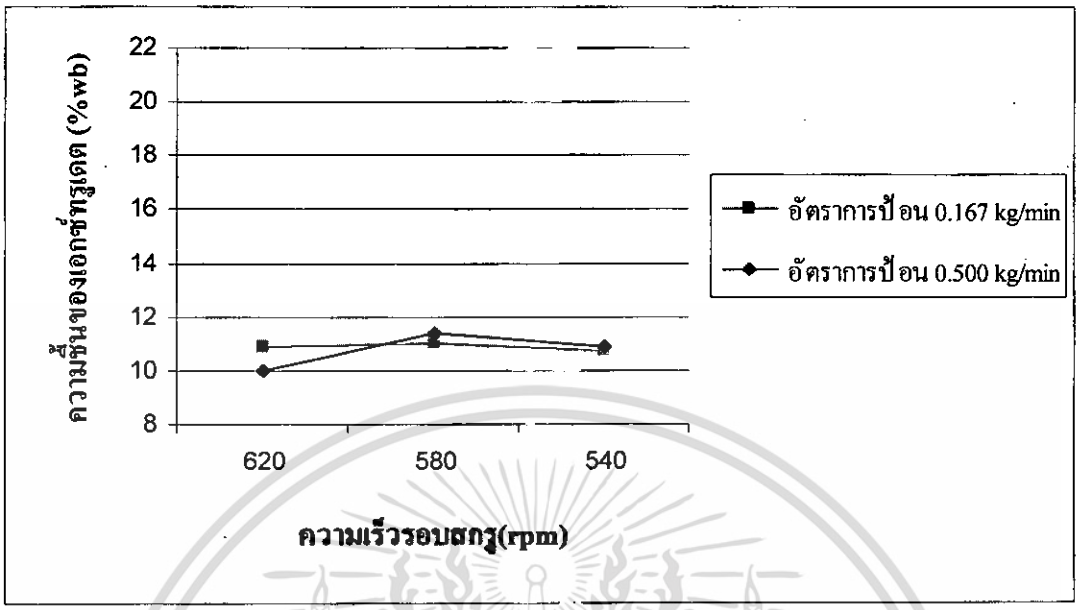
รหัส	สภาวะการผลิต				ความชื้นเอกซ์ทรูเดต (%wb)	อัตราส่วนการขยายตัว
	ความชื้นวัตถุดิบ (%wb)	อุณหภูมิบาร์เรล(°C)	อัตราการป้อนวัตถุดิบ (kg/min)	ความเร็วรอบสกรู (rpm)		
E1	18	60	0.167	620	10.895	2.972
E2	18	60	0.500	620	9.988	3.292
E3	18	80	0.167	620	9.957	3.000
E4	18	80	0.500	620	8.777	3.332
E5	18	100	0.167	620	9.489	3.167
E6	18	100	0.500	620	8.974	3.275
E7	18	60	0.167	580	11.027	2.995
E8	18	60	0.500	580	11.400	2.790
E9	18	80	0.167	580	10.587	3.012
E10	18	80	0.500	580	11.345	3.047
E11	18	100	0.167	580	9.809	3.062
E12	18	100	0.500	580	8.732	3.557
E13	18	60	0.167	540	10.696	2.957
E14	18	60	0.500	540	10.879	3.032
E15	18	80	0.167	540	10.602	3.002
E16	18	80	0.500	540	10.991	2.875
E17	18	100	0.167	540	8.464	3.150
E18	18	100	0.500	540	9.423	3.237

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

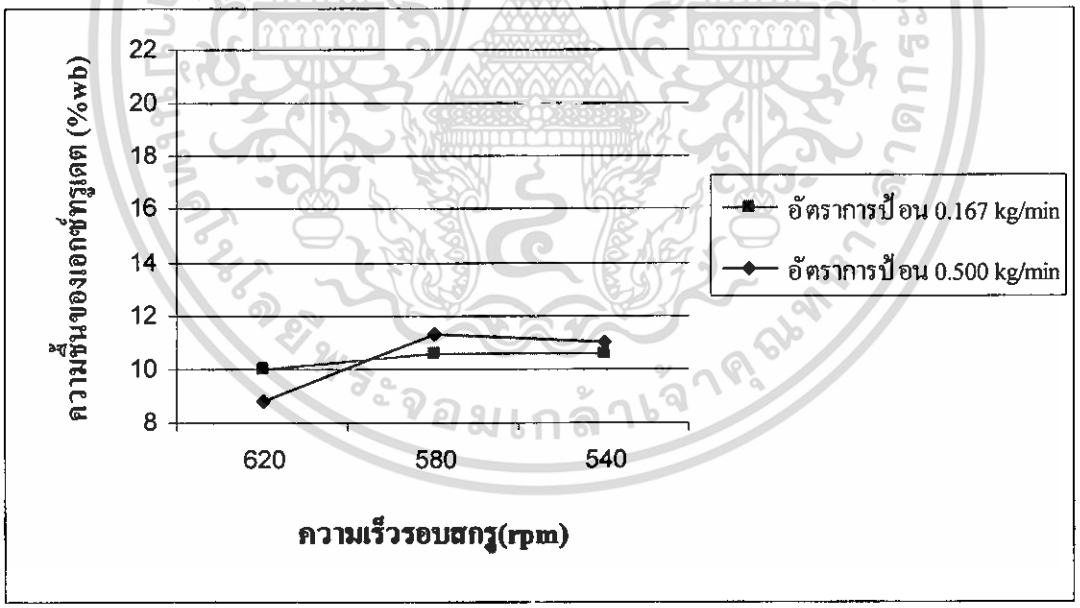
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเอกซ์ทรูเดตที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

รหัส	สภาวะการผลิต				ความชื้นเอกซ์ทรูเดต (%wb)	อัตราส่วนการขยายตัว
	ความชื้นวัตถุดิบ (%wb)	อุณหภูมิบาร์เรล(°C)	อัตราการป้อนวัตถุดิบ (kg/min)	ความเร็วรอบสกรู (rpm)		
E19	20	60	0.167	620	21.899	1.700
E20	20	60	0.500	620	19.945	1.705
E21	20	80	0.167	620	21.305	1.800
E22	20	80	0.500	620	19.133	1.427
E23	20	100	0.167	620	17.468	1.365
E24	20	100	0.500	620	15.922	1.087
E25	20	60	0.167	580	20.247	1.592
E26	20	60	0.500	580	19.045	1.590
E27	20	80	0.167	580	17.523	1.960
E28	20	80	0.500	580	16.868	1.995
E29	20	100	0.167	580	12.787	2.087
E30	20	100	0.500	580	15.305	2.062
E31	20	60	0.167	540	20.356	1.792
E32	20	60	0.500	540	19.111	1.527
E33	20	80	0.167	540	18.520	2.002
E34	20	80	0.500	540	16.431	1.872
E35	20	100	0.167	540	15.981	2.020
E36	20	100	0.500	540	14.382	2.155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

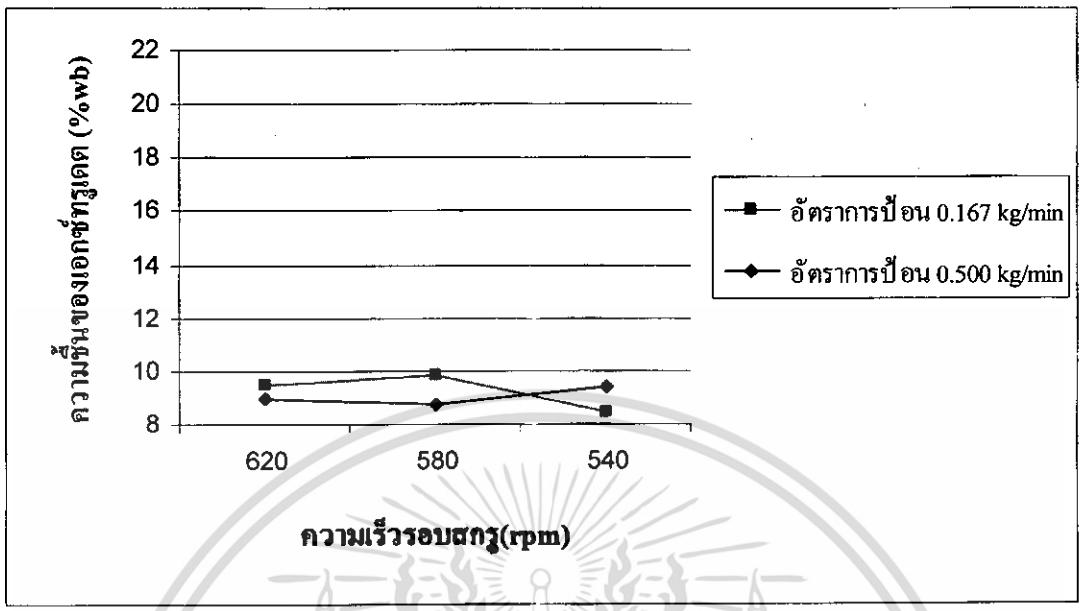


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 60 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

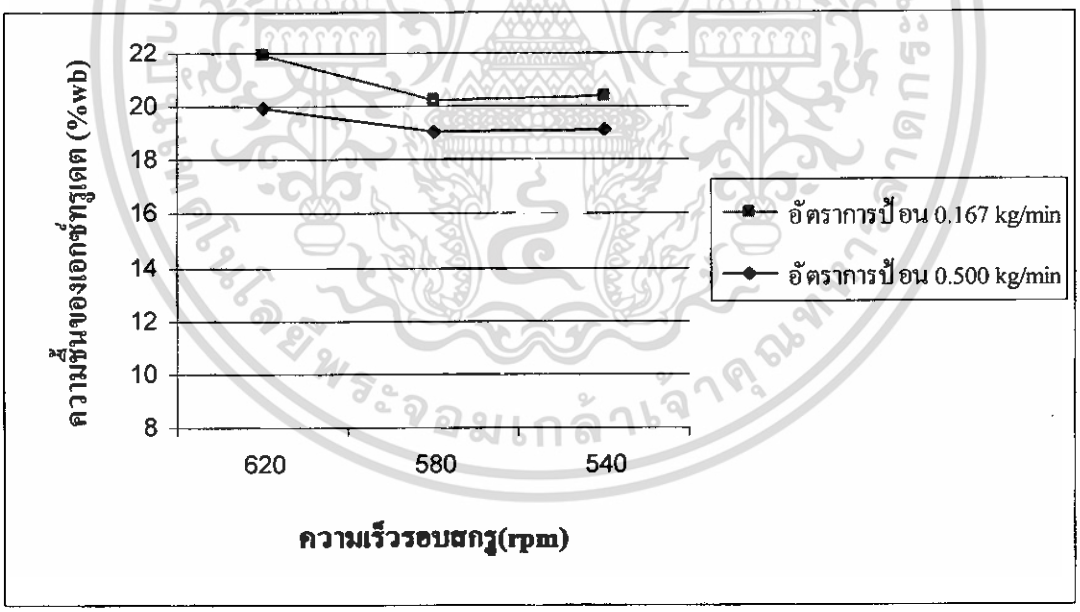


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 80 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

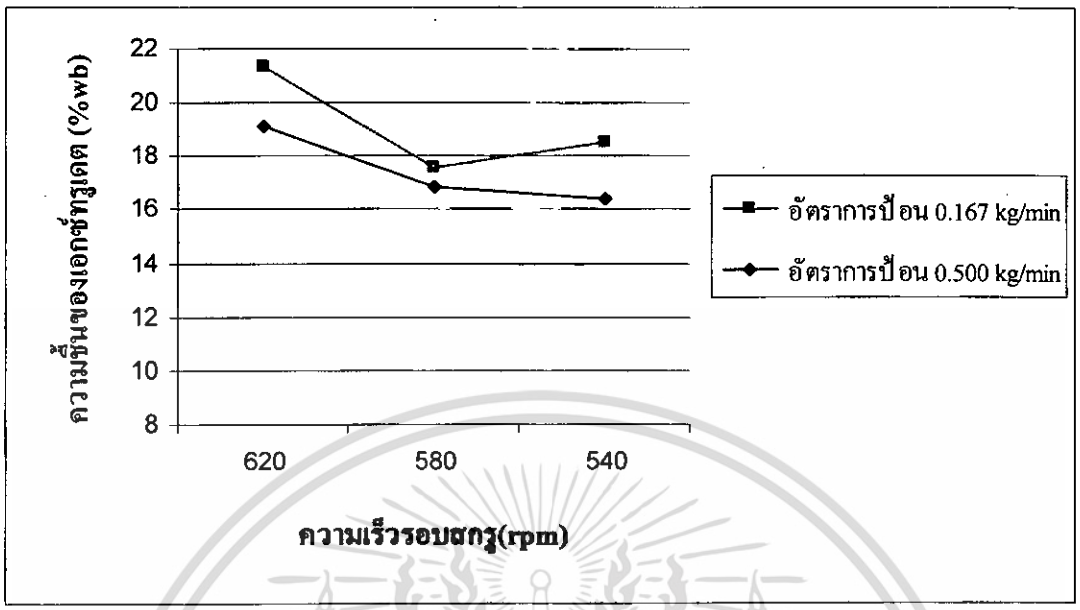


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

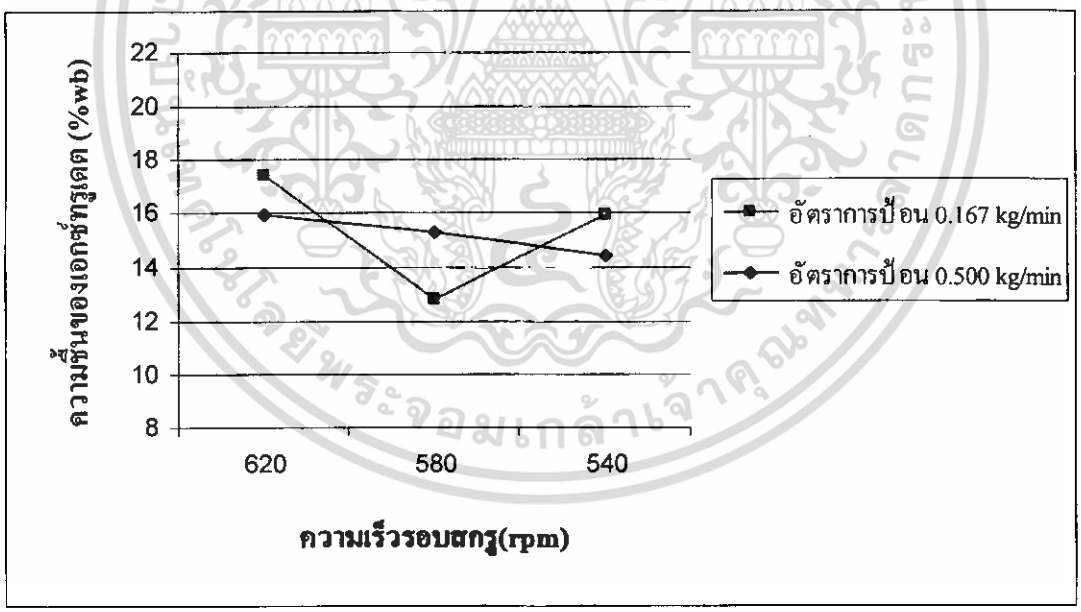


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 60 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

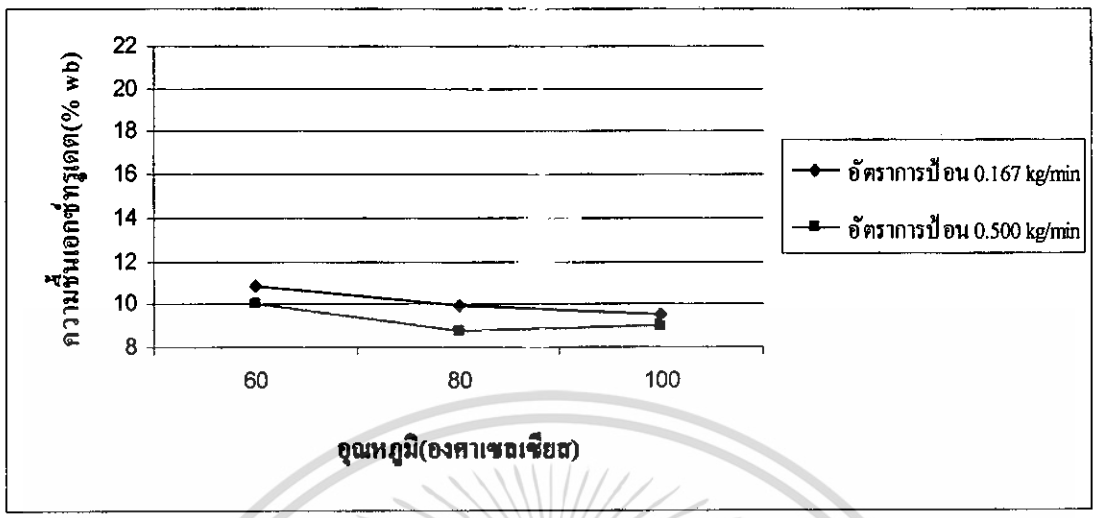


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 80 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

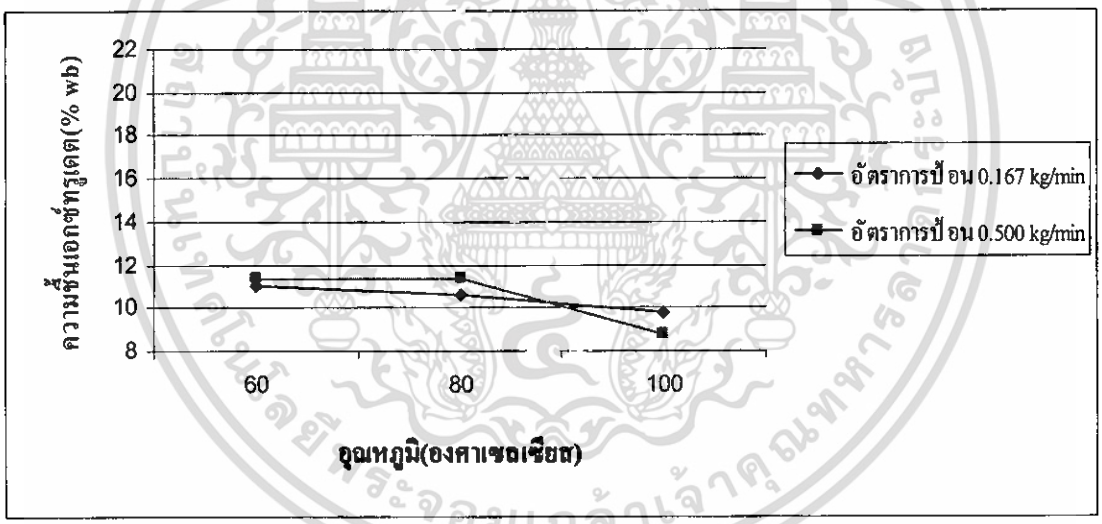


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของ เอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

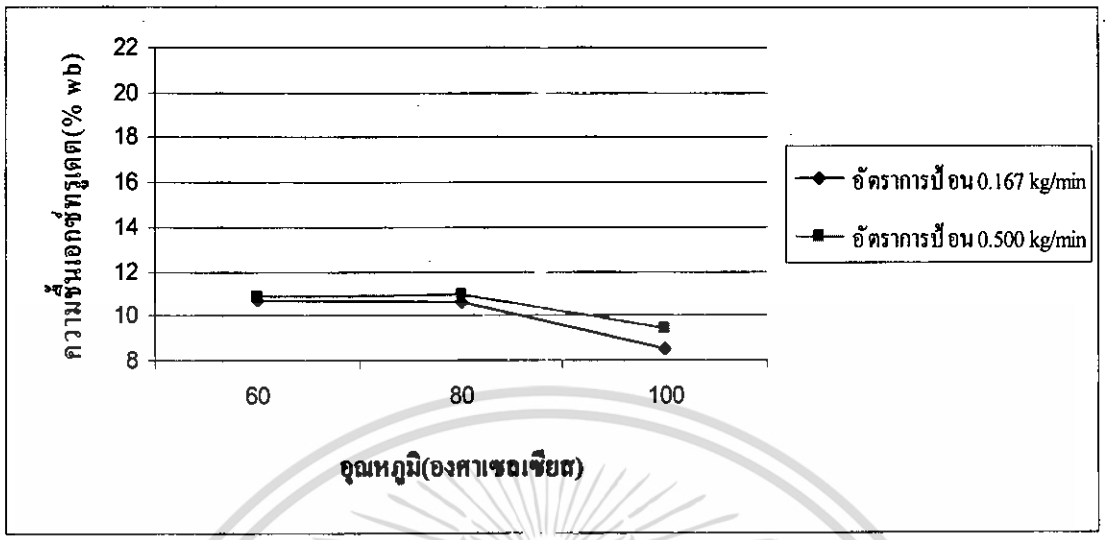


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

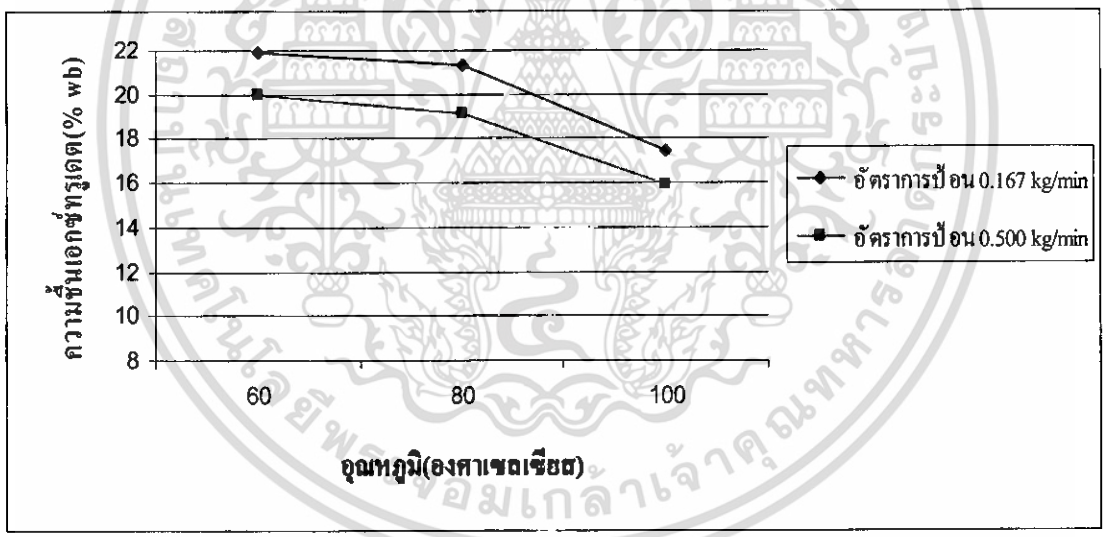


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18% (wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

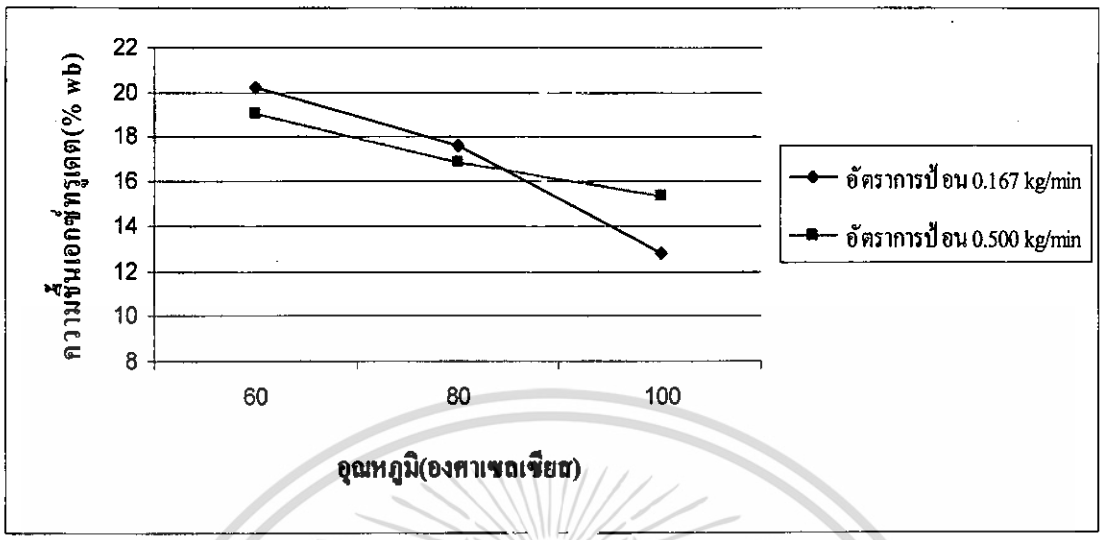


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของ เอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

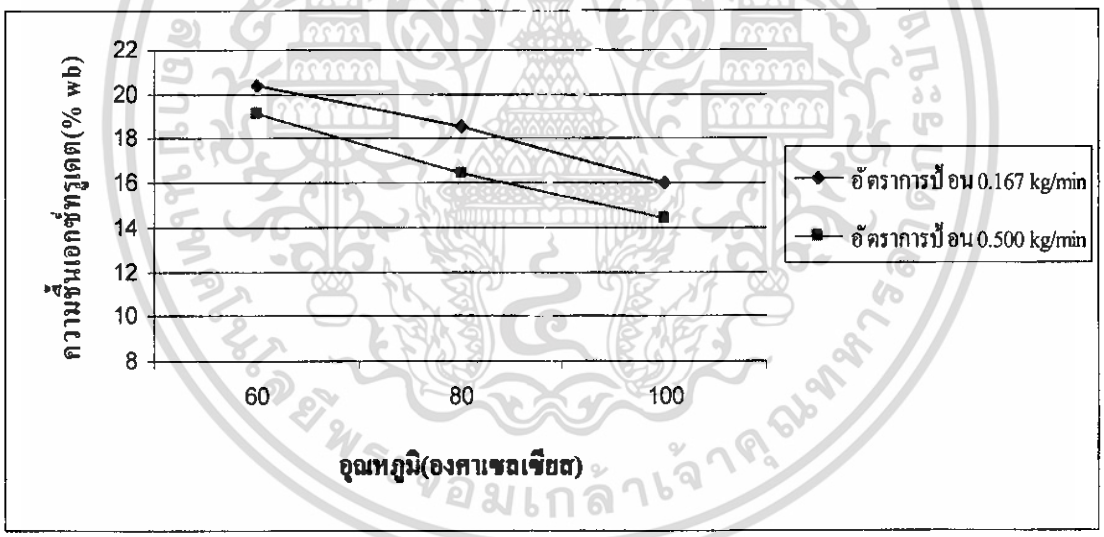


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

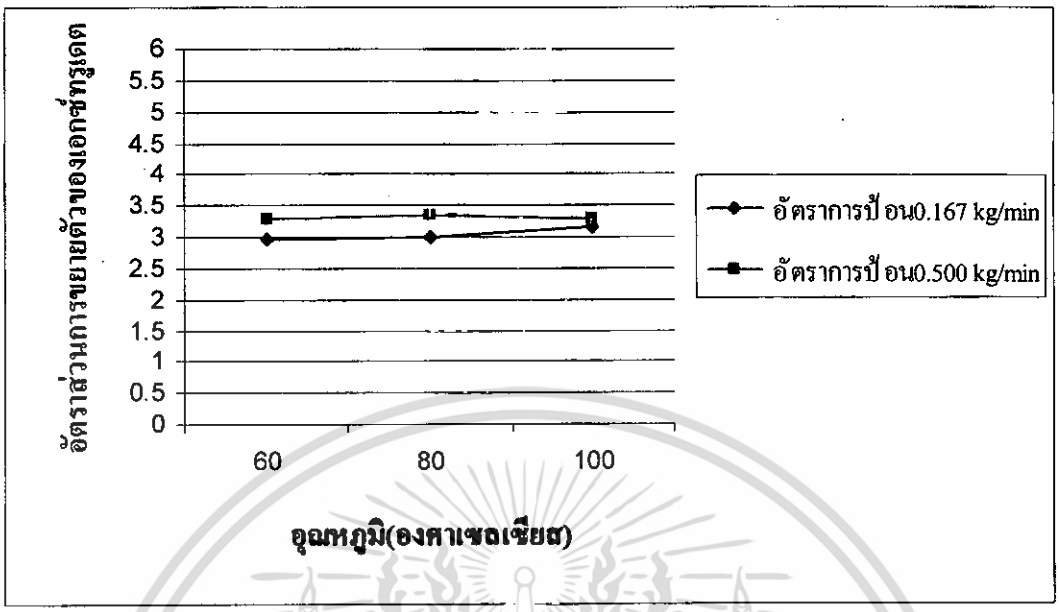


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของ เอกซ์ทรูเดต กับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบ สกรู 580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

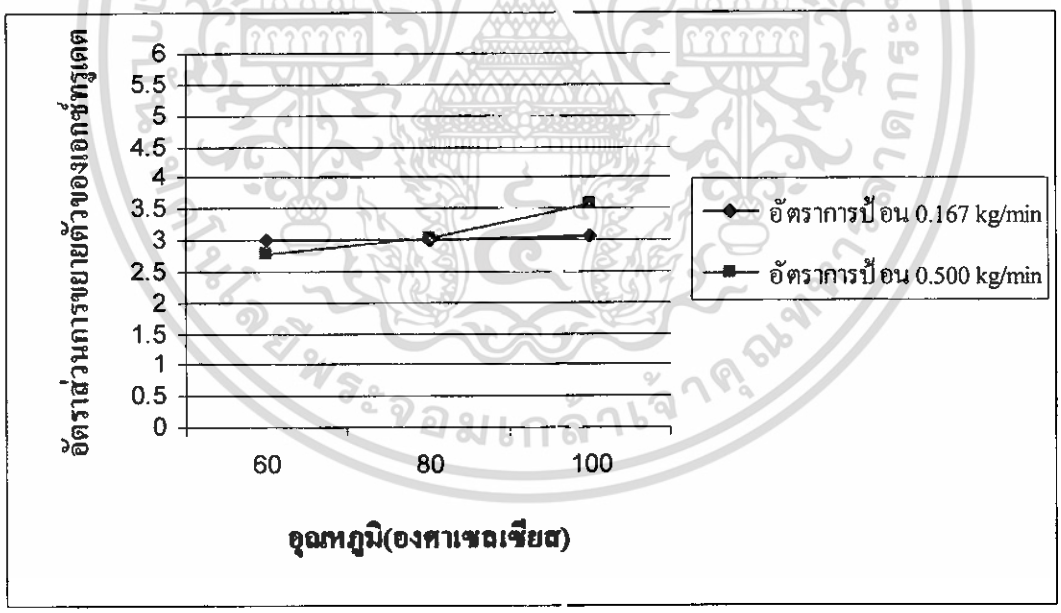


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

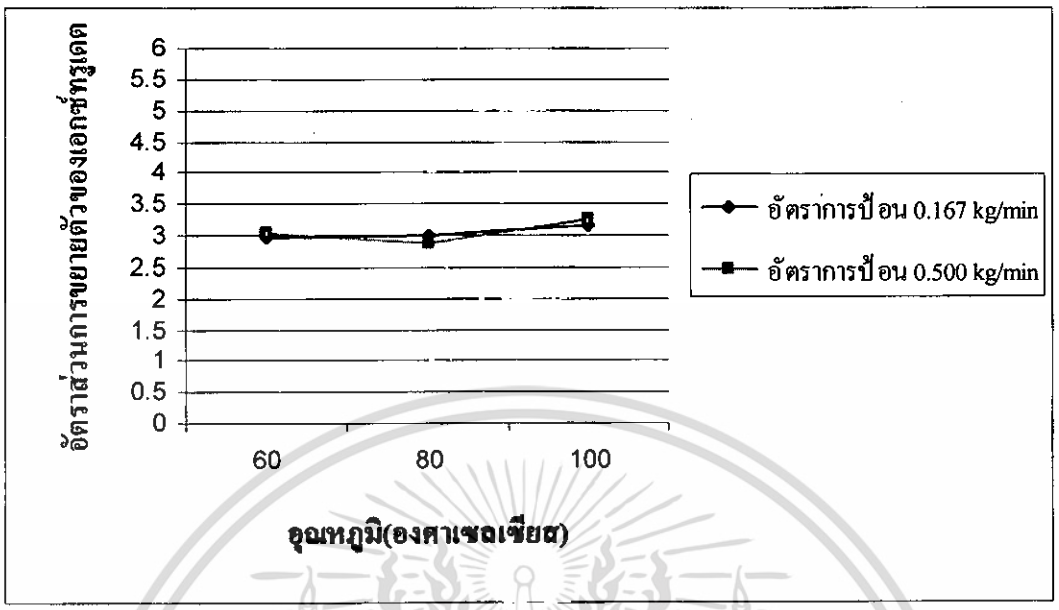


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

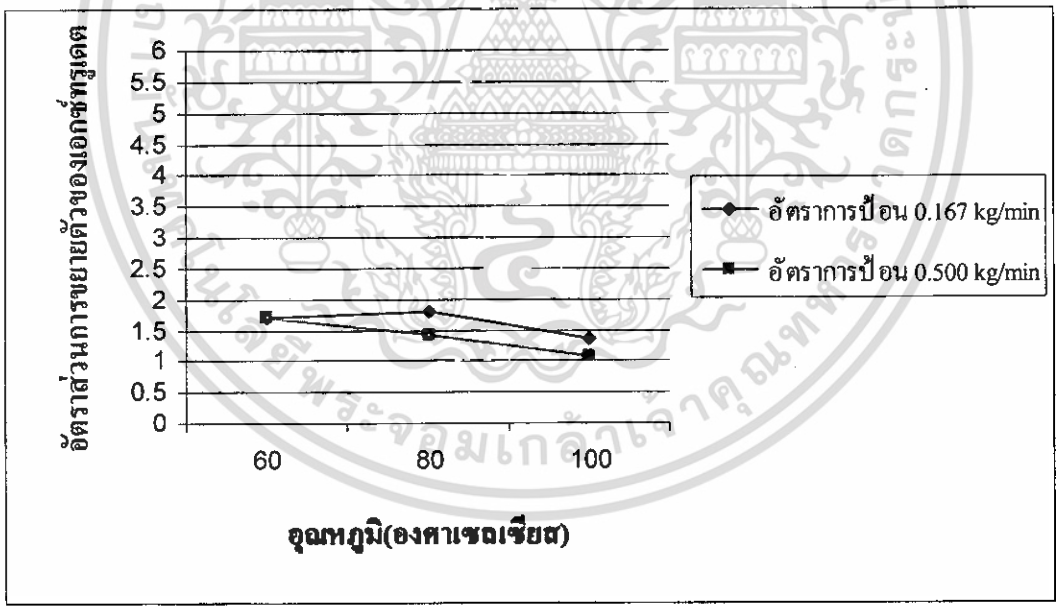


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

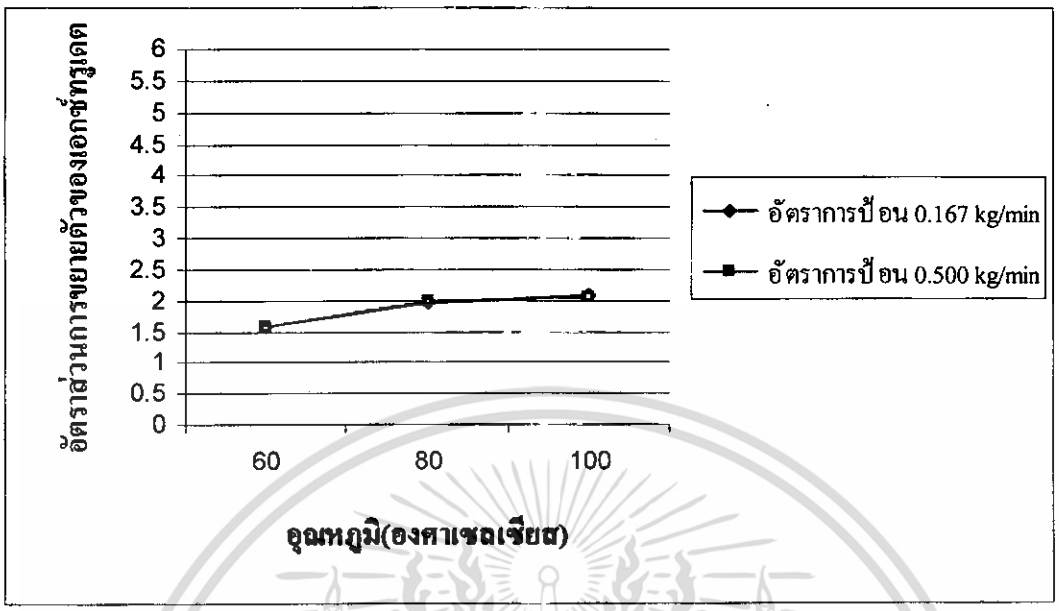


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

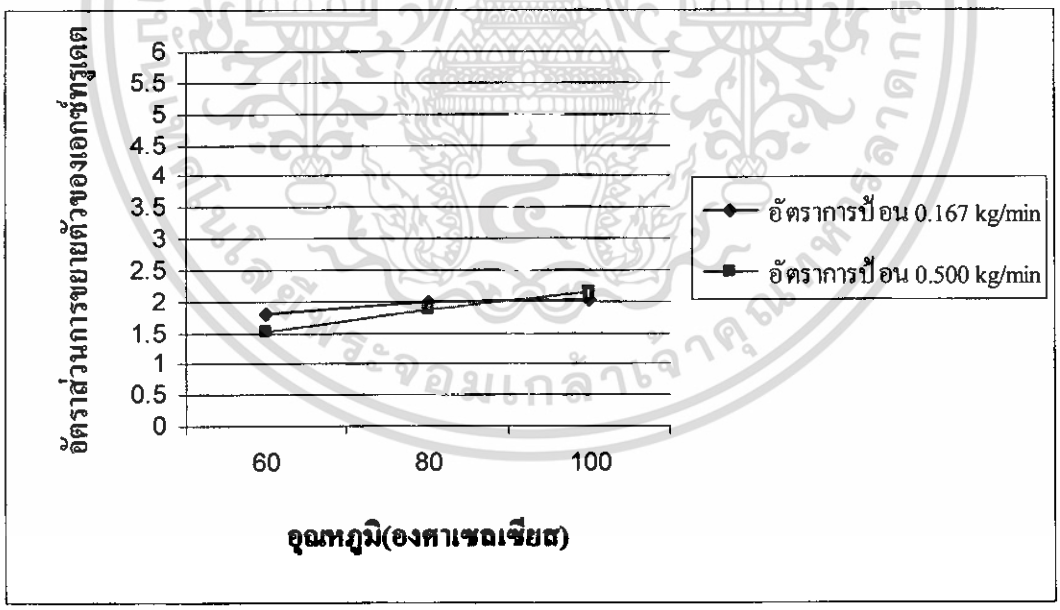


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

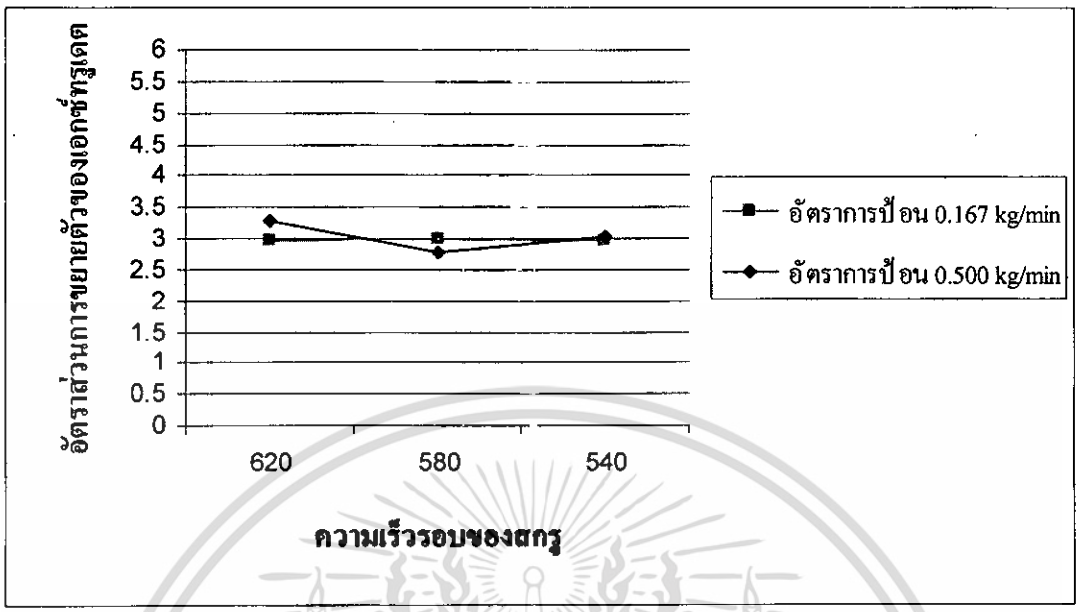


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ20 (%wb)

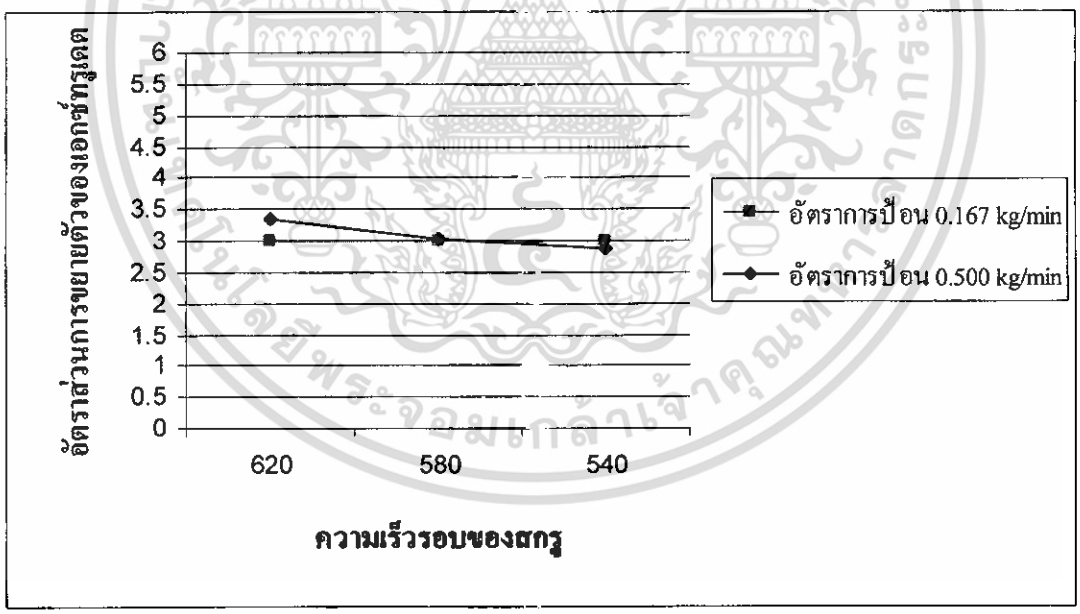


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

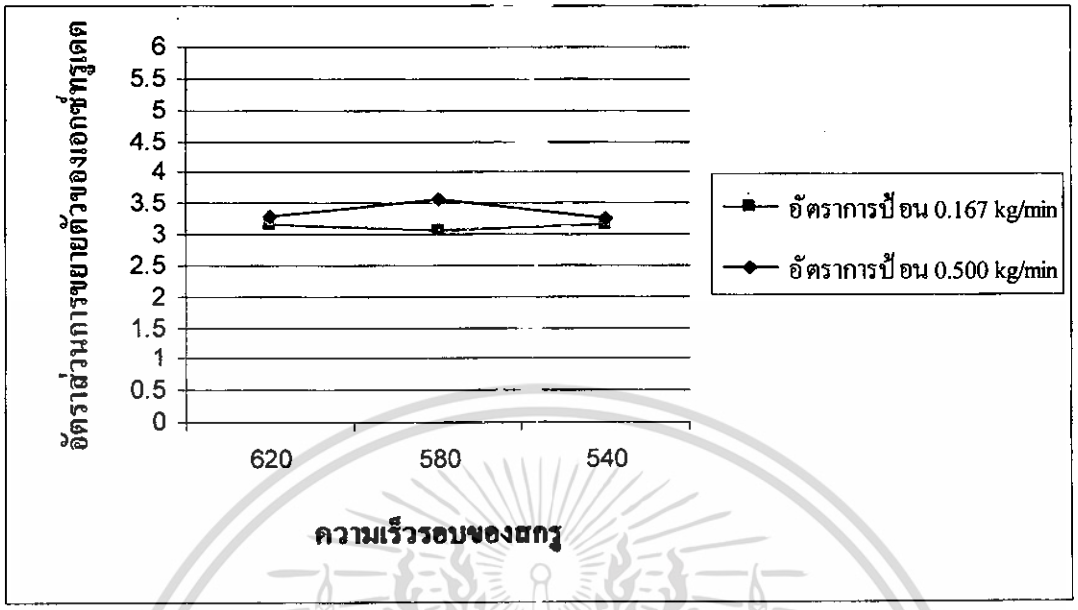


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

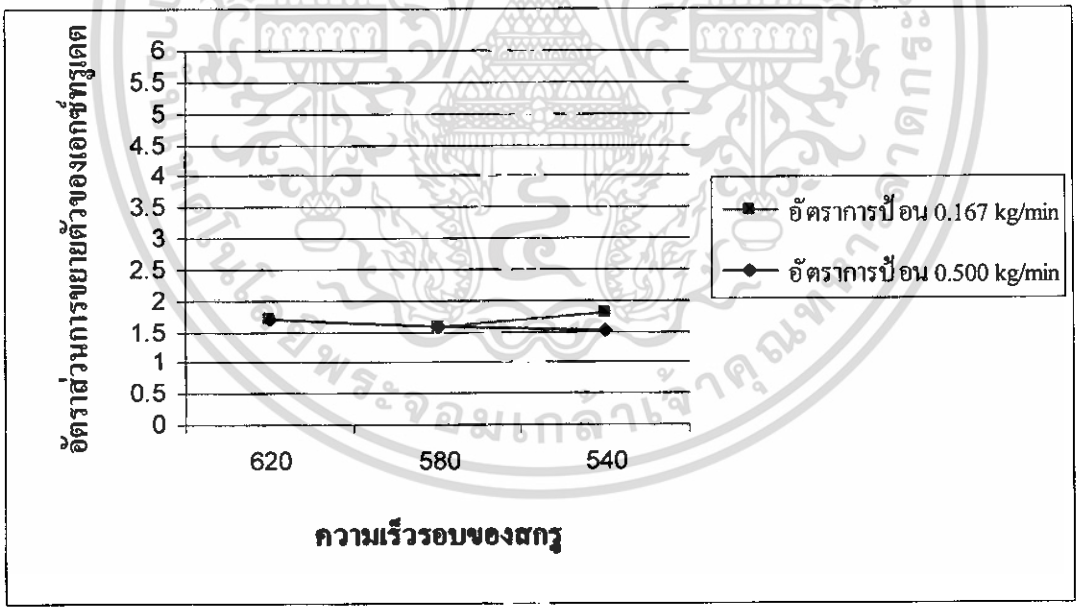


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับ ความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

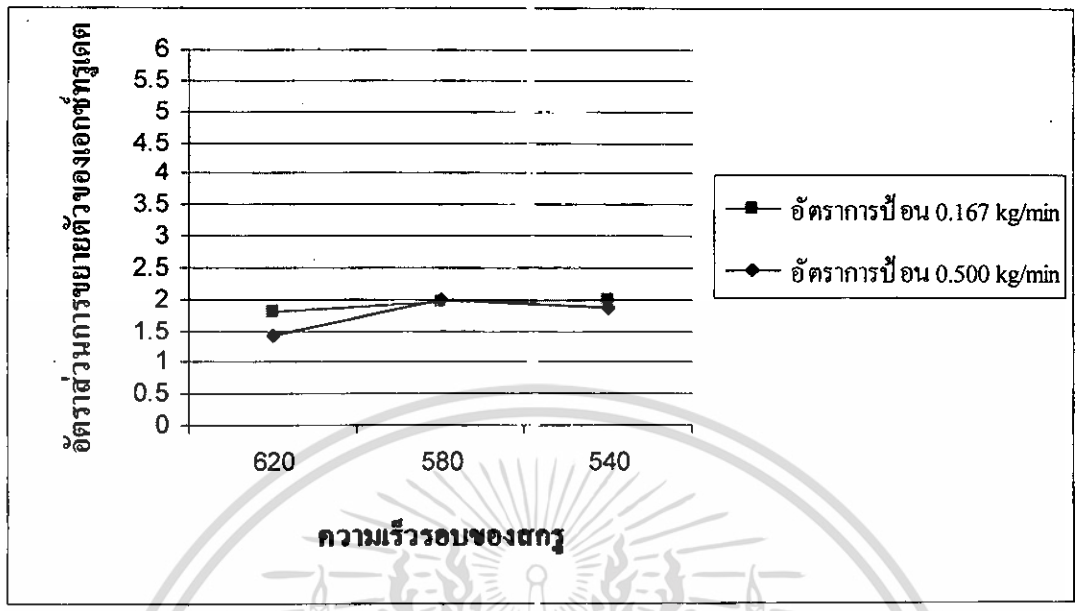


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

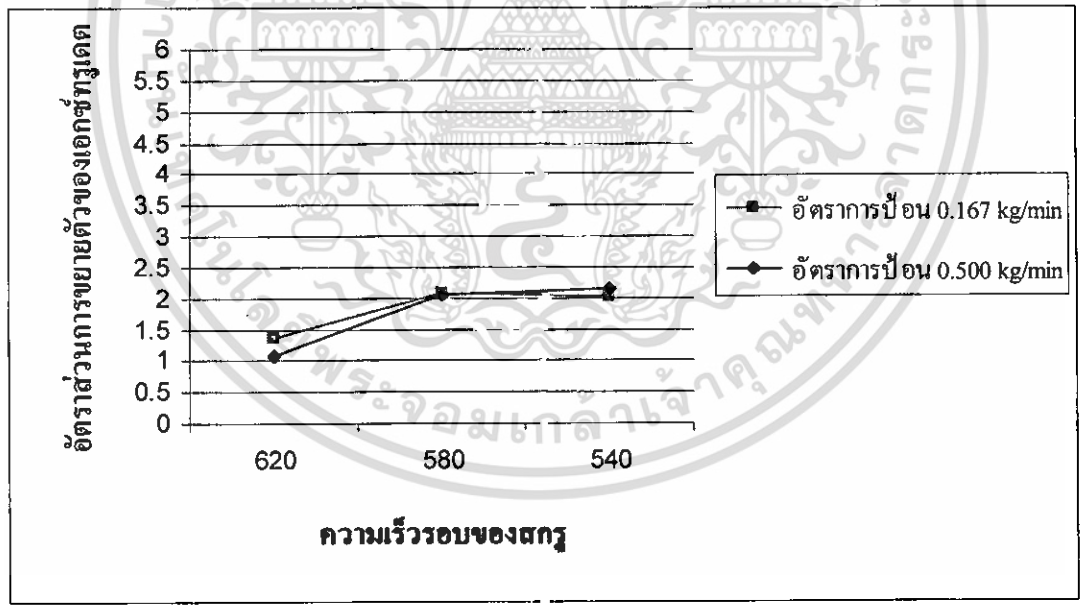


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 วิเคราะห์ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (Moisture Contain,MC)

ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตที่ได้จากการผลิตจากวัตถุดิบที่มีค่าความชื้นเริ่มต้น 18 (%wb) จะมีค่าต่ำกว่าค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีค่าความชื้นเริ่มต้น 20 (%wb)โดยที่อุณหภูมิบาร์เรลเท่ากับ 100 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มให้ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบสกรูเท่ากันและที่อัตราการป้อนเท่ากับ 0.500 kg/min ก็มีแนวโน้มให้ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตต่ำกว่าที่อัตราการป้อน 0.167 kg/min โดยเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบสกรูที่เท่ากัน

4.2.2 วิเคราะห์อัตราส่วนการขยายตัว

อัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้น 18 (%wb) จะมีค่าอัตราส่วนการขยายตัวมากกว่าเอกซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้น 20 (%wb) และที่อุณหภูมิของบาร์เรลสูงขึ้นก็จะทำให้อัตราส่วนการขยายตัวสูงขึ้น ส่วนอัตราการป้อนส่งผลต่ออัตราส่วนการขยายตัวน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

Study of Single Screw Extruder for Small Enterprises

โดย

นาย ชวลิต โชติวิชิต

นาย นิวรณ์ ถนอมรอด

นาย ลออ พุทธทอง

วศ.
ย๕๙๘ ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 71960
วัน,เดือน,ปี 6 มิ.ย. 2550

b 11760936
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

1. นาย ชวลิต โชติวิชิต
2. นาย นิวรณ์ ถนอมรอด
3. นาย ลออ พุทธทอง

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ เจษฎา ชัยโฉม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

นาย ชวลิต โชติวิชิต
นาย นิวรณ์ ถนอมรอด
นาย ลออ พุทธทอง

เจษฎา ชัยโฉม อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบซิงเกิลสกรู โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องออกเป็น 1. ความเร็วรอบสกรูแบ่งออกเป็น 620 , 580 และ 540 รอบต่อนาที 2. อุณหภูมิบาร์เรล 60, 80 และ 100°C 3. อัตราการป้อนสองระดับ คือ 0.167 และ 0.500 กิโลกรัมต่อนาที 4. ความชื้นของวัตถุดิบเป็นข้าวโพดบดละเอียดเบอร์ 3 ที่ 18 (%wb) และ 20 (%wb) หลังจากนั้นนำเอกซ์ทรูเดตที่ได้ไปหาค่าความชื้นและอัตราส่วนการขยายตัว จากการทดลองพบว่าที่สภาวะความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 18 (%wb) จะให้ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตต่ำกว่าที่ค่าความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb) แต่อัตราส่วนการขยายตัวมีค่าสูงกว่าและตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตและอัตราส่วนการขยายตัวมากที่สุดคือ อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Single Screw Extruder for Small Enterprises

Chawalit Chotwichit

Niwon Thanomrot

La – or Putthong

Jedsada Chaishome Adviser

2006

Abstract

The objective of this project was to study the extrusion cooking machine for corn grit No.3 (820-850 μm.), in a single-screw extruder. The operating variable are screw speed (540, 580 and 620 rpm), barrel temperature (60, 80 and 100°C), feed rate (0.167, 0.500 kg/min) and initial moisture of raw materials (18 and 20% wb).At last, moisture content of extrudate and expansion were measured for study.

From experimental results, have shown some aspects of the process under investigation, the moisture content of extrudate at 18 (%wb) of raw materials is lower than 20 (%wb), they are higher than in expansion ratio. The mainly influence on moisture content of extrudate and expansion ratio is barrel temperature and initial moisture of raw materials.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆที่มีส่วนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ดังรายนามต่อไปนี้ อาจารย์ เจษฎา ชัยโฉม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ผู้ให้ข้อมูลพื้นฐานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ รวมทั้ง คณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่ให้ความรู้อบรมสั่งสอนตลอดจนบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน รวมทั้งเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และต้องขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่อาจกล่าวได้หมด ณ ที่นี้ ที่มีส่วนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	สารบัญ	ก
	สารบัญรูป	ค
	สารบัญตาราง	ฉ
1.	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
	1.4 ขอบเขตการทำงาน	2
2.	การตรวจเอกสาร	3
	2.1 หลักการผลิตอาหารแบบเอกซ์ทรูชัน	3
	2.1.1 กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (Extrusion process)	3
	2.1.2 การทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder Operation)	6
	2.1.3 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	7
	2.1.4 ข้อดีของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	8
	2.1.5 ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	9
	2.1.6 การเปรียบเทียบชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	13
3.	วัสดุ อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง	16
	3.1 วัสดุและ อุปกรณ์	16
	3.1.1 วัตถุดิบ	16
	3.1.2 อุปกรณ์	16
	3.2 ตัวแปรที่ศึกษา	16
	3.2.1 ตัวแปร อิสระ (Independent variables)	16
	3.2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables)	17
	3.3 การวางแผนการทดลอง	17
	3.4 ขั้นตอนการทดลอง	19
	3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ	19
	3.4.2 การทดลองผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	19
	3.5 การวัดค่าคุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดดที่ได้	20
	3.5.1 ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (Moisture Contain)	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.5.2 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์	21
4.	ผลการทดลองและวิจารณ์	22
	4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดตที่สภาวะการทดลองต่างๆ	22
	4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	36
	4.2.1 วิเคราะห์ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต	36
	4.2.2 วิเคราะห์อัตราส่วนการขยายตัว	36
5.	สรุปผลการทดลอง	37
บรรณานุกรม		39
ภาคผนวก		40
	ภาคผนวก ก	41
	ภาคผนวก ข	45
	ภาคผนวก ค	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการเดินเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่พอง	7
3.1 ขั้นตอนการทดลอง	20
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 60 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	24
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 80 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	24
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	25
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 60องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	25
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 80องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	26
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของ เอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	26
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	27
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของ เอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	27
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของ เอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18% (wb)	28
4.10แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	28
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของ เอกซ์ทรูเดต กับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบ สกรู580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	29
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	29
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ18 (%wb)	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ18 (%wb)	30
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	31
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	31
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบสกรู 580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ20 (%wb)	32
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	32
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ60 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	33
4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับ ความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ 80องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	33
4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ 100องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)	34
4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ 60องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ20 (%wb)	34
4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ80องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	35
4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบ สกรูที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)	35
ข.1 หน้าจอแสดงผลเริ่มต้นการทำงาน	48
ข.2 หน้าจอแสดงผล REF	48
ข.3 หน้าจอแสดงผลค่าความเร็วรอบ	48
ข.4 หน้าจอแสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ใช้	48
ข.5 หน้าจอแสดงผลเปอร์เซนต์ทอร์ก	49
ข.6 ตัวปรับอัตราการป้อน	49
ข.7 ตัวปรับอุณหภูมิบาร์เรล	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.8 อุปกรณ์ที่ใช้ช่วยถอดบาร์เรลและสกรู	50
ข.9 การประกอบชุดถอดเข้ากับหน้าแปลนและบาร์เรล	51
ข.10 การถอดบาร์เรลออกจากหน้าแปลน	51
ข.11 สกรูติดอยู่กับบาร์เรล	52
ข.12 การใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกอัดสกรูออกจากบาร์เรล	52
ข.13 วัตถุดิบติดอยู่กับสกรู	53
ข.14 วัตถุดิบติดอยู่กับบาร์เรล	53
ค.1 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบซิงเกิลสกรู	72
ค.2 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช	72
ค.3 เครื่องอัดไฮดรอลิก	73
ค.4 ข้าวโพดบดละเอียด	73
ค.5 เอกซ์ทรูเดตรหัส E1 และ E2	74
ค.6 เอกซ์ทรูเดตรหัส E3 และ E4	74
ค.7 เอกซ์ทรูเดตรหัส E5 และ E6	74
ค.8 เอกซ์ทรูเดตรหัส E7 และ E8	75
ค.9 เอกซ์ทรูเดตรหัส E9 และ E10	75
ค.10 เอกซ์ทรูเดตรหัส E11 และ E12	75
ค.11 เอกซ์ทรูเดตรหัส E13 และ E14	76
ค.12 เอกซ์ทรูเดตรหัส E15 และ E16	76
ค.13 เอกซ์ทรูเดตรหัส E17 และ E18	76
ค.14 เอกซ์ทรูเดตรหัส E19 และ E20	77
ค.15 เอกซ์ทรูเดตรหัส E21 และ E22	77
ค.16 เอกซ์ทรูเดตรหัส E23 และ E24	77
ค.17 เอกซ์ทรูเดตรหัส E25 และ E26	78
ค.18 เอกซ์ทรูเดตรหัส E27 และ E28	78
ค.19 เอกซ์ทรูเดตรหัส E29 และ E30	78
ค.20 เอกซ์ทรูเดตรหัส E31 และ E32	79
ค.21 เอกซ์ทรูเดตรหัส E33 และ E34	79
ค.22 เอกซ์ทรูเดตรหัส E35 และ E36	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงสัญลักษณ์และความหมาย	17
ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง Box – Behnken Design	18
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเอกซ์ทรูเดตที่สภาวะต่างๆ	22
ตารางที่ ก.1 ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต	41
ตารางที่ ก.2 อัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดต	43
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน มีผลิตภัณฑ์อาหารประเภทขนมขบเคี้ยวรวมทั้งผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากธัญพืชจำนวนมาก จากการสำรวจพบว่าผลิตภัณฑ์เหล่านี้ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นและมีส่วนแบ่งทางการตลาดสูงมากเมื่อเทียบกับการผลิตอาหารด้วยวิธีอื่น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นเป็นกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูง จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างลักษณะ และเนื้อสัมผัส ตามต้องการภายในขั้นตอนเดียวและใช้เวลาสั้น โดยเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่า เอกซ์ทรูเดต จึงทำให้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ถูกนำไปใช้ในการผลิตอาหารเหล่านี้อย่างแพร่หลาย

เอกซ์ทรูชั่นเป็นกระบวนการที่รวมเอาหน่วยปฏิบัติการ หลายหน่วยเข้าด้วยกันได้แก่ การผสม การทำให้สุก การนวด การเฉือน การขึ้นรูป และการทำให้เกิดรูปร่าง ด้วยการบังคับสารที่อ่อนตัวหรือหลอมเหลว ผ่านรูหรือหน้าแปลน ด้วยความดันโดยสกรูเป็นหัวใจหลักของการสร้างแรงดัน ลักษณะของสกรูและความเร็วรอบ อุณหภูมิ และรูปร่างของบาร์เรลมีผลต่อกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น โดยสกรูทำหน้าที่ 3 แบบ คือ 1. ขนถ่าย 2. ทำให้เกิดงานและความร้อน 3. การผสม ในขณะที่สกรูหมุน เกลียวจะผลักให้ ส่วนผสมต่างๆของอาหารเคลื่อนไปข้างหน้า ผนังของบาร์เรลมักทำเป็นร่อง เพื่อเพิ่มความฝืดและลดความลื่น เนื่องจากส่วนผสมที่ถัดจากผนังบาร์เรลมักลื่นและหมุนตามสกรู จากกระบวนการดังกล่าวเราจึงจำเป็นต้องศึกษาการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์และตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์อย่างละเอียดเพื่อที่จะได้นำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเรียนรู้ของนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไปโดยเฉพาะผู้ประกอบกิจการขนาดเล็ก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่อง Extruder แบบ Single Screw
2 .ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่อง Extruder แบบ Single Screw
3 .ทำคู่มือการใช้และแผนการทดลองของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ได้รับความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจัดทำคู่มือและแผนการทดลองจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจที่จะทำการศึกษาการทำงานของกระบวนการเอกทรูชั่นต่อไป

1.4 ขอบเขตการทำงาน

1. วัตถุดิบที่ใช้คือข้าวโพดพันธุ์สวิสความชื้น 18 , 20%(wb)เอียดเบอร์ 3 (820 -850 ไมโครเมตร)
2. ใช้เครื่อง Extruder แบบ Single Screw อุณหภูมิของบาร์เรล 60,80,100 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของสกรู 620,580, 540 rpm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู 34.6 มิลลิเมตร
3. มอเตอร์ต้นกำลังขนาด 3.95 kw
4. วัสดุที่ใช้ทำสกรูและบาร์เรล นั้นเป็นสแตนเลส โดยสกรูมีช่วงเกลียวยาว 32.5 เซนติเมตร บาร์เรลยาว 19.7 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางบาร์เรล 55 มิลลิเมตร
5. ไม่คำนึงถึงอุปกรณ์การตัดที่หน้าแปลน
6. มีการใช้น้ำหล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิที่บริเวณรอบบาร์เรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 หลักการผลิตอาหารแบบเอกซ์ทรูชัน

2.1.1 กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (Extrusion process) (รุ่งนภา , 2541)

กระบวนการเอกซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการทำให้เกิดรูปร่าง โดยการบังคับสารที่อ่อนตัวหรือหลอมเหลวผ่านรู หรือหน้าแปลน(Die) ด้วยความดัน เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในอาหารจึงเป็นเครื่องมือสำหรับทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้าง และรูปร่างของอาหาร ปัจจัยหลักที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเอกซ์ทรูชันมากที่สุดคือ สภาวะการเดินเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์และคุณสมบัติทางรีโอโลจีของอาหาร พารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดของการเดินเครื่องคือ อุณหภูมิ ความดัน เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดของหน้าแปลน และอัตราเฉือน (Shear rate) โดยที่อัตราการเฉือนขึ้นกับการออกแบบภายในของสกรู ความเร็ว และรูปร่างของสกรู ส่วนคุณสมบัติของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่เครื่องก็มีผลลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของเอกซ์ทรูเดต (Extrudate คือ ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์) คุณสมบัติของส่วนผสมที่สำคัญสุด ได้แก่ ความชื้น ขนาดของสาร และองค์ปรกอบทางเคมี โดยเฉพาะปริมาณ และชนิดของแป้ง โปรตีน ไขมันและ น้ำตาล

สกรูเป็นหัวใจของกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยเฉพาะลักษณะของสกรู ความเร็วของการหมุนมีผลต่อกระบวนการเอกซ์ทรูชัน การเคลื่อนที่ของส่วนผสมของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เกิดขึ้นจากเกลียวที่อยู่ตามแนวแกนความยาวของสกรู โดยขณะที่หมุนสกรู เพื่อเพิ่มความฝืด และลดความลื่น เนื่องจากส่วนผสมที่ถัดจากผนังบาร์เรลมักลื่น และหมุนตามสกรู

สกรูทำหน้าที่ 3 อย่างคือ (1) การขนถ่าย (2) ก่อให้เกิดงานและความร้อน และ (3) การผสม สกรูในส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนดังในภาพที่ 1 มักจะมีลักษณะสันเกลียวที่ลึกซึ่งจะรับส่วนผสมของอาหารที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง ส่วนผสมของวัตถุดิบมีลักษณะเป็นเม็ดๆ และผ่านการปรับความชื้นแล้ว สกรูจะเอาส่วนผสมเหล่านี้เคลื่อนที่ไปตามยาวของสกรู ขณะที่ส่วนผสมเคลื่อนไปตามสกรู ก็จะได้รับการอัดเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมของอาหารเหล่านี้บรรจุลงในชันแนล (Channel) หรือช่องว่างที่มีอยู่ระหว่างเกลียวสกรู

ส่วนที่ 2 ของสกรูจะเป็นช่วงของการอัด หรือการเปลี่ยน โดยสกรูมีความสูงของเกลียวหรือสันเกลียวลดลง หรืออาจใช้วิธีการอื่น ที่ทำให้ความสามารถในการขนถ่ายของสกรูลดลง ซึ่งมีผลทำให้การอัดมากขึ้น ส่วนผสมของอาหารจะหมุนอยู่ในชันแนลของสกรูขณะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และเกิดเป็นมวลที่ต่อเนื่อง พลังงานที่ทำให้ส่วนผสมที่หนืดนี้ไหล ได้จากมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่หมุนสกรู การเฉือนระหว่างกระบวนการไหลจะทำให้พลังงานกลหมดไป โดยเพิ่มอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของส่วนผสมและการเปลี่ยนส่วนผสมของอาหารไปเป็นโด ส่วนต่อมาของสกรูจะออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่ผสมส่วนผสมของอาหารที่หลอมเหลวนี้สันเกลียวที่ตื้นขึ้นจะเพิ่มแรงเฉือน และช่วยให้การผสมดีขึ้นเพื่อให้เกิดโดที่มีอุณหภูมิและความดัน สูงสม่ำเสมอ

2.1.1.1) ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

1. เวลา (time)

กระบวนการเอกซ์ทรูชันมีลักษณะเป็น equilibrium process ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงสภาวะต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ จึงต้องการเวลาในการปรับตัวให้เข้าสู่สมดุล ตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการนี้ตัวหนึ่ง คือ เวลาซึ่งผลิตภัณฑ์ถูกกระทำ หรือเรียกว่า residence time เป็นเวลาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและขนาดของอุปกรณ์ อธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{Residence time} = T_r = \frac{V_f}{Q} \qquad (1)$$

โดยที่ T_r = residence time in process (s)

V_f = filled volume of process (m^3)

Q = volumetric flow rate of product through the process (m^3/s)

2. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเนื่องจากปฏิกิริยาหลักของกระบวนการนี้คือปฏิกิริยาการเกิดเจล (gelatinization) โดยที่คุณสมบัติของกลิ่น สี รวมทั้งเนื้อสัมผัส ล้วนเป็นผลที่เกิดจากปฏิกิริยานี้ทั้งสิ้น ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไปคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้จะเปลี่ยนไปด้วย หากต้องการให้เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำเมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านแม่พิมพ์(die)แล้วน้ำในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นไอ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวคล้ายบอลลูนที่ถูกเป่าลม เพื่อให้กระบวนการเป็นไปตามนี้ นอกจากจะต้องควบคุมอุณหภูมิแล้ว จำเป็นต้องควบคุมความดันให้สูงพอที่จะป้องกันไม่ให้น้ำเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์อีกด้วย

3. ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นส่วนสำคัญในปฏิกิริยาการเกิดเจล(gelatinization) เมื่อเม็ดแป้งดูดความชื้นจะทำให้เกิดการพองตัว ถ้ามีอุณหภูมิที่สูงเพียงพอในการทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลเม็ดแป้งจะพองตัวขึ้นอย่างเห็นได้ชัด การพองตัวเช่นนี้จะทำให้สูญเสียการจัดเรียงตัว ถ้าให้ความร้อนต่อไปจะทำให้โครงสร้างภายในหลวมขึ้น ทำให้น้ำเข้าไปได้มากขึ้น ถ้ามีการกวนที่แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพอ หรืออุณหภูมิสูงเพียงพอ กรานูล (granule) ที่พองตัวเหล่านี้จะแยกออกจากกัน [ประเสริฐ สุทธิประสิทธ์ และคณะ ,2543] หากความชื้นไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดเจลในแต่ละส่วนของอาหารไม่สม่ำเสมอ เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่ได้คุณภาพตามต้องการ

4. อัตราการเฉือน (Shear rate)

อัตราการเฉือนเป็นตัววัดค่าการผสมกันของวัตถุดิบว่าอยู่ในระดับใด (mixing intensity) โดยวัตถุจะสัมผัสกับบาร์เรล (barrel) ที่อยู่กับที่และสกรูที่เคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่เลื่อนไหลจากกันและกัน โดยอัตราการเฉือนจะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วที่เปลี่ยนไป ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2

$$\dot{\gamma} = \frac{\Delta V}{h} = \frac{\pi DN}{h} \qquad (2)$$

โดยที่ $\dot{\gamma}$ = shear rate (1/sec)

ΔV = velocity change (m/s)

h = distance (m)

D = diameter (m)

N = screw speed (rpm)

ดังนั้นอัตราการเฉือนจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู หรือลดความลึกของร่องเกลียว(Channel depth)

นอกจากทำให้อาหารเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว อัตราการเฉือนยังส่งผลต่อปฏิกิริยาต่างๆอีก กล่าวคือ หากมีความชื้นสูง อัตราการเฉือนจะช่วยให้น้ำและแป้งสัมผัสกันได้เร็วขึ้น เม็ดแป้งจะสูญเสียสภาพโดยถูกทำลายทางกล (Mechanical Starch Granule Degradation) ในปฏิกิริยาการเกิดเจล (Gelatinization)

5. ความเร็วรอบของสกรู (Screw speed)

ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะใช้ความเร็วรอบของสกรูที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน หากต้องการให้พองมาก จะปรับความเร็วรอบที่ค่าสูง ความเร็วรอบนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความชื้น แต่จะส่งผลต่อเวลา อุณหภูมิ และอัตราการเฉือน ดังนี้

5.1 เวลา (time) ในสภาวะที่ความเร็วรอบของสกรูที่มีค่าสูง เป็นผลให้เวลากักพัก (residence time) ลดลง

5.2 อัตราการเฉือน (shear rate) ความเร็วรอบของสกรูที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเฉือนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นหากต้องการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของอาหารเช่น การเกิด puffing ด้วยการเพิ่มแรงทางกล จึงสามารถปรับได้ด้วยการเพิ่มหรือลดความเร็วรอบของสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ และเนื่องจากอาหารประเภทที่สนใจจัดอยู่ในกลุ่ม shear thinning หรือ pseudo plastic ดังนั้น ความหนืดของอาหารจึงลดลงในขณะที่ความเร็วรอบสูงขึ้น

5.3 อุณหภูมิจะไม่เปลี่ยนแปลง (temperature) หากค่าความหนืดลดลงและความเร็วรอบสูงมาก แต่โดยปกติที่ค่าความเร็วรอบที่ใช้กันทั่วไปจะทำให้อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น

2.1.2 การทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder Operation)

ส่วนผสมที่เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในเครื่องคุกกิ้งเอกซ์ทรูเดอร์ ประกอบด้วยธัญชาติที่ผ่านการบด สตาร์ชและโปรตีนที่ได้จากพืช นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นๆ ที่เป็นวัตถุดิบรอง ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล เกลือ และกรด หรือ ด่างสารอิมัลซิไฟเออร์ สี และ กลิ่น รส น้ำจะเติมเข้าไปเพื่อปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นอยู่ที่ 10 - 40%

พลังงานต่างๆที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอกทรูเดอร์นั้น ทำให้อุณหภูมิของฟีดที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่เคลื่อนที่ผ่านเครื่อง การเพิ่มพลังงานทางกล โดยการหมุนสกรูเป็นส่วนสำคัญที่สุด และคิดเป็น 50 – 100% ของพลังงานทั้งหมดที่มี นอกจากนั้นพลังงานที่ป้อนเข้าเครื่องอาจได้จากความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังบาร์เรลที่ร้อน หรือ เย็น หรือพลังงานที่เกิดจากการส่งไอน้ำเขาไปผสมโดยตรงกับอาหารภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็นส่วนที่สำคัญน้อยกว่า

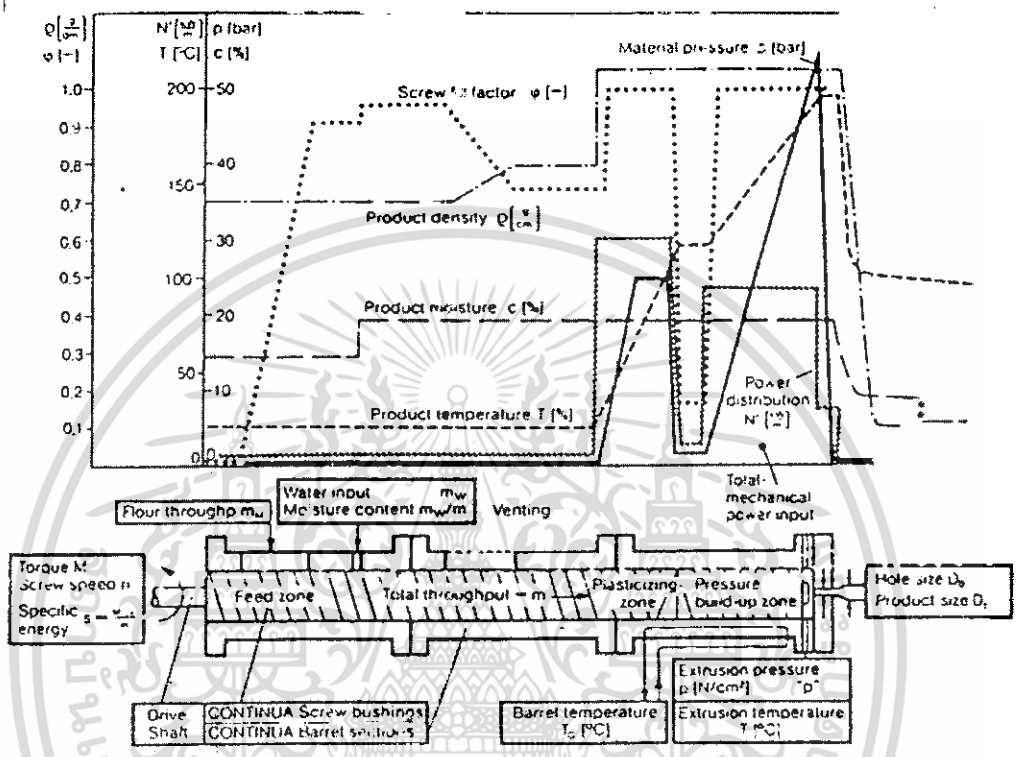
ในกระบวนคุกกิ้งเอกซ์ทรูชัน อุณหภูมิของส่วนผสมอาหารหลังจากที่ถูกอัด จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปเป็น 150 – 200°C อุณหภูมิที่สูงที่สุดนี้จะคงอยู่น้อยกว่า 20 วินาที ไม่เช่นนั้นจะทำให้ไหม้ และเกิดกลิ่นรสแปลกปลอมขึ้น ความดันในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่สูง ทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่คล้ายกับของหม้อต้มความดัน (Pressure cooker) ซึ่งจะป้องกันการพุ่งกระจายของไอน้ำจนกว่าความดันจะถูกปล่อยออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากหน้าแปลน

เมื่อโดออกจากหน้าแปลน ความดันจะถูกปลดปล่อยออกมาทำให้เกิดการพองตัว (Puffing) อย่างทันทีที่อุณหภูมิสูง การพองตัวนี้ส่วนใหญ่เกิดจากไอน้ำที่ออกจากน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ถูกทำให้ร้อนขึ้น การสูญเสียความชื้น และความร้อนในผลิตภัณฑ์ร่วมกับการพองตัว ทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีอุณหภูมิประมาณ 60 °C

เอกซ์ทรูเดตที่ขยายตัวจะมีโครงสร้างของเซลล์เปิด ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่แต่ละเซลล์ถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรนของแป้ง หรือโปรตีน ขนาดของเซลล์เหล่านี้จะควบคุมลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เอกซ์ทรูเดตเหล่านี้มักจะถูกตัดที่ผิวหน้าของหน้าแปลนด้วยใบมีดที่หมุน แล้วอบแห้งต่อในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนให้มีความชื้น 2 -12% ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการอาจเคลือบด้วยสี กลิ่นรส น้ำมัน และ/หรือน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน อุณหภูมิที่ออกจากเครื่อง ระดับ หรือปริมาณของความเสียหายของส่วนผสมที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไหล และลักษณะรูปร่างของหน้าแปลน



รูปที่2.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการเดินเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่พอง (จาก รุ่งนภา,2541; ที่มา : Fellows,1988)

จากรูปที่ 2.1 แบ่งรูปกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ได้เป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. Feed zone คือ ส่วนที่ทำการป้อนวัตถุดิบกับน้ำเข้าผสมกัน จนแป้งมีลักษณะที่เรียกว่า โด (dough)

2. Plasticizing zone คือ ส่วนที่ทำให้เกิดแรงอัดขึ้นเล็กน้อย จนแป้งมีลักษณะคล้ายพลาสติก

3. Pressures build – up zone คือ ช่วงที่วัตถุดิบเกิดแรงอัดสูงมาก ก่อนที่วัตถุดิบจะออกสู่หน้าแปลน (Die)

2.1.3 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์(วรวุฒิ,2541)

2.1.3.1 Feed Hopper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่รับวัตถุดิบ มีรูปร่างเป็นกรวยแบบง่ายๆ บางทีอาจเพิ่มระบบกวนเข้าไปได้ ถ้าวัตถุดิบมีความหนืด ในช่วงนี้มีการควบคุมอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบเพื่อป้องกันการเกิดการติดขัดในเครื่องได้

2.1.3.2 บาร์เรล (Barrel)

มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกครอบอยู่ตามความยาวของสกรู สามารถถอดออกเป็นตอนๆได้ ผิวด้านในมีการเซาะร่องเป็นแนวเพื่อลดการลื่นไหลของวัตถุดิบ ขณะเคลื่อนที่อยู่ภายในและยังเพิ่มแรงดันและแรงเฉือนด้วย

2.1.3.3 Jacket

อยู่ล้อมรอบบาร์เรล มีหน้าที่ให้น้ำเย็นหรือน้ำร้อนไหลอยู่ภายในเพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะใช้เครื่อง ซึ่งจะแบ่งออกเป็นช่วงๆ บางช่วงอาจใช้น้ำเย็น บางช่วงอาจใช้น้ำร้อนเพื่อการให้ความร้อน

2.1.3.4 สกรู (screw)

สกรูมีลักษณะเป็นแกน มีเกลียวอยู่โดยรอบ โดยที่ส้นผ่าศูนย์กลางของสกรูอาจเท่าเดิมหรือค่อยเพิ่มขึ้นก็ได้เช่นเดียวกันกลับเกลียวบนสกรูอาจมีความลึกคงที่หรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และหน้าที่ในการทำงาน นอกจากนี้สกรูยังอาจมีทิศทางที่แตกต่างกันหรือเหมือนกันก็ได้ หน้าที่ของสกรูในการทำงานคือ รับและขนถ่ายวัตถุดิบ กดดันและเพิ่มแรงเฉือน ให้แก่วัตถุดิบ ทำให้เกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอ

2.1.3.5 หน้าแปลน (Die)

ส่วนนี้อยู่ปลายสุดของเครื่องมือ มีหลายรูปลักษณะอันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆกันไป เมื่อเอกซ์ทรูเดดผ่านออกมาจากช่องนี้ จะเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วทันทีที่ออกมาจากหน้าแปลน

2.1.3.6 ใบมีด (Knife)

เป็นส่วนที่กำหนดความยาวเอกซ์ทรูเดดที่ออกมาจากหน้าแปลน ซึ่งมีให้เลือกหลายใบมีด อาจจะเป็นแบบสองใบมีดสามใบมีด หรือ เท่าใดก็ตามแล้วแต่ความต้องการด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

2.1.4 ข้อดีของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

เอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการผลิตอาหารสมัยใหม่ ช่วยให้การขยายงานด้านอุตสาหกรรมการผลิตอาหารกว้างยิ่งขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะโดยตัวของระบบหรือเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นั้นมีคุณลักษณะพิเศษหลายประการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.1 เอนกประสงค์ (Versatility) ใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลากหลาย เพียงแต่เลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบและปรับสภาวะของกระบวนการผลิตให้เหมาะสม

2.1.4.2 อัตราการผลิตสูง (high productivity) เป็นเครื่องจักรแบบต่อเนื่อง และมีอัตราการผลิตได้มากกว่าระบบอื่นๆ

2.1.4.3 ต้นทุนการผลิตต่ำ (low cost) จำนวนคนงาน และพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชันต่อหนึ่งหน่วยการผลิตนั้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีอื่นๆ

2.1.4.4 รูปทรงของผลิตภัณฑ์ (product shapes) ทำได้มากมายหลายแบบ ทำได้ง่ายเพียงเปลี่ยนแบบรูปทรงของรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน

2.1.4.5 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีมาก (high product quality) คุณภาพสูงเนื่องมาจากเป็นระบบ HTST (High Temperature Short Time)

2.1.4.6 ประหยัดพลังงาน (energy efficient)

2.1.4.7 ทำผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆ (Production of new foods)

2.1.4.8 ไม่มีน้ำทิ้งหรือสิ่งโสโครกที่ไหลจากโรงงาน (No effluents)

2.1.5 ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้กันในปัจจุบันนี้มีหลายบริษัทที่ผลิตขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆกัน

2.1.5.1 แบ่งโดยอาศัยคุณลักษณะหน้าที่ และผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Function characteristics) มีดังนี้

1. Pasta Extruders เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลี เช่น พวกมักกะโรนี เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้มีร่องเกลียวสกรูลึก ผนังด้านนวนของปลอกเหล็กผนังสองชั้นเรียบ และความเร็วที่หมุนสกรูจะช้า สกรูเกลียวลึกนี้ทำหน้าที่ผลักพาแป้งที่ชื้นนุ่มไปข้างหน้า แล้วอัดผ่านรูเปิดบนหน้าแปลนออกมาซึ่งอาจทำให้แป้งเซโมไลนาสุกบ้างเล็กน้อย หรือไม่สุกเลยก็ได้ ในพาสต้า เอกซ์ทรูเดอร์นั้นพลังงานใช้น้อยมาก เพราะมีอัตราเฉือนเกิดขึ้นต่ำมากในตัวผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ถึงกับสุกพองจำเป็นต้องใช้ขั้นตอนอย่างอื่นอีกมากมาย ทำให้สุกพร้อมรับประทานต่อไป

2. High – Pressure Foaming Extruders เริ่มแรกที่พัฒนาหรือประยุกต์นำเอาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เข้ามาใช้ในวงการอุตสาหกรรมอาหารนั้น ก็เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นรูปทรงตามต้องการเท่านั้น โดยใช้วัตถุที่เป็นโด (Dough) ที่เปลี่ยนสภาพเป็นเจลบ้างบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนแล้วตัดออกเป็นขนาดต่างๆ ตามต้องการ ผลิตภัณฑ์นี้ยังไม่สุกพอง ต้องนำไปอบแห้ง และทำให้สุกพองด้วยการทอดในน้ำมัน หรืออบ คั่ว ในกระทะ เสียก่อน

การทำให้เกิดความดันสูงขึ้นภายในตัวเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นั้น จะต้องออกแบบให้ผนังด้านในของปลอกเหล็กด้านในเป็นร่องเกลียว เพื่อไม่ให้การเกิดการลื่นไหลที่ผนัง และตัวสกรูก็ต้องออกแบบให้เป็นชนิดที่ทำให้เกิดความดันมาก ผลก็จะทำให้เอกซ์ทรูเดตมีความดันสูงที่บริเวณด้านหลังหน้าแปลน และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงมากเกินไปในตัวของโด อาจทำให้สุกพองโดยไม่ต้องการ ต้องขจัดความร้อนออกไป โดยใช้น้ำหล่อรอบผนังของบาร์เรลที่เป็นผนังสองชั้น

3. Low – shear Cooking Extruders เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ผนังด้านในเรียบและช่องระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรล นั้นมีอุณหภูมิสูง หรือไอน้ำหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา ความร้อนนี้ส่งผ่านยังส่วนผสมของวัตถุอาหาร โดยการนำ นอกจากนี้การหมุนตัวของสกรูทำให้เกิดการขัดสีระหว่างวัตถุอาหารกับสกรู เกิดเป็นความร้อนแล้วความร้อนนี้ก็แพร่ไปยังส่วนผสมของอาหารด้วยวิธีการนำวิธีนี้ก็ทำให้ส่วนผสมที่เป็นแป้งเปลี่ยนโด ซึ่งโดมีการขยายตัวและพองตัวเกิดขึ้นบ้าง ดังนั้นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาของส่วนผสมของวัตถุอาหารที่อยู่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ซึ่งส่วนมากแล้วใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว เพื่อจะทำให้แป้งที่เป็นองค์ประกอบหลักของส่วนผสมของวัตถุอาหารเปลี่ยนเป็นเจลตามที่ต้องการ แล้วโดนี้จะถูกทำให้เย็นลงด้วยการลดอุณหภูมิที่ปลอกเหล็กสองชั้นอันสุดท้ายหรือช่วงสุดท้ายที่ติดกับหน้าแปลนลงให้ต่ำกว่า 100°C ซึ่งโดนี้จะถูกแรงหมุนของสกรู และความดันอัดให้ผ่านรูบนหน้าแปลน ออกมาภายนอก และถูกตัดออกเป็นชิ้นๆ ความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ภายในชิ้นอาหาร หรือเพลเลทนี้จะไม่ระเหยแยกกลายเป็นไอน้ำลอยออกไป อาหารขบเคี้ยว หรือขนมอบกรอบกึ่งสำเร็จรูป ชนิดที่ได้นี้มีลักษณะเนื้อแน่นมากกว่าการพองตัว จึงต้องการวิธีอื่นๆอีกเช่น การอบแห้ง นำไปทอดในน้ำมันก่อนรับประทาน ขนมอบกรอบนี้รู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า Third generation snacks ที่ผลิตและมีจำหน่ายในบ้านเรา เช่น ปาปริก้า คอนเน่ เป็นต้น

4. Collect Extruders ซึ่งเป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบเรียบง่าย เล็กกะทัดรัด สะดวกต่อการใช้งาน เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่มีความยาวของตัวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยมาก ประมาณ 3 : 1 (L/D = 3 : 1 เรียกว่า Short screw แต่ชนิดที่ยาวกว่า ขนาด L/ D = 10 : 1 ก็มี) ในคอลเล็ก เอกซ์ทรูเดอร์นี้เกิดแรงเฉือนสูงมาก เพราะสกรูร่องเกลียวตื้นมากหมุนอยู่ภายในบาร์เรลที่ผนังด้านในเป็นร่องเกลียวเช่นกัน ร่องเกลียวนี้เป็นการป้องกันการลื่นที่ผนัง วัสดุที่ใช้ส่วนมากจะแห้งมากมีความชื้นต่ำ ความร้อนเกือบจะหรือทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้นได้มาจากการเสียดสี (Friction) แล้วทำให้มีความร้อนสูงถึง 175°C อย่างรวดเร็วเพื่อทำให้แป้ง กลายเป็นเจลและเป็นเดกซ์ตรินบางส่วน วัตถุดิบหรือส่วนผสมของอาหารนี้เรียกว่าเอกซ์ทรูเดต เอกซ์ทรูเดตที่อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในสภาพนี้ก็ถูกดันให้โผล่พ้นรูเปิดออกมา และเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำภายในเอกซ์ทรูเดต กลายเป็นไอน้ำ ระเหยลอยตัวออกไป และถูกตัดด้วยใบมีด แล้วทรงตัวเป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่สุกกรอบ วัตถุดิบที่นิยมใช้กับ คอลเลค เอกซ์ทรูเดอร์ได้แก่ คอร์กริด ข้าวท่อน

5. High Shear Cooking Extruders เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ออกแบบมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายแบบ เช่น พวกที่สุกเพียงบางส่วน หรือพวกกึ่งสำเร็จรูป หรือพวกที่ผ่านความร้อนสูง และมีการจัดโครงสร้างภายในโมเลกุล เช่น พวกโปรตีนเกษตร (texture vegetable protein) แรกเริ่มนั้นก็เริ่มประยุกต์นำเอาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ทำด้วยพลาสติกที่มีอัตราส่วนของ ความยาวสกรู : เส้นผ่านศูนย์กลาง (L / D = 10-20 : 1) เป็นชนิดที่เกิดแรงอัดสูง เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดที่มีบาร์เรลยาว แต่ก็สามารถทำให้ร้อนหรือเย็นได้ โดยใช้แหล่งความร้อนความเย็นภายนอก โดยผ่านเข้าไปในช่องว่าง ระหว่างผนังของบาร์เรล เอกซ์ทรูเดอร์นี้ใช้กับวัตถุดิบได้มากมายหลายชนิด และในช่วงของความชื้น ได้ต่างๆกัน และควบคุมสภาวะต่างๆกันในระหว่างการผลิตได้ เช่น ควบคุมการสุกพอง อุณหภูมิ ความหนาแน่นของเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ ได้แก่อาหารเลี้ยงสัตว์ อาหารเช้า ซีเรียล อาหารเช้าขากธัญชาติพร้อมรับประทาน(RTE cereal)โปรตีนเกษตร (TVP) และอาหารขบเคี้ยวหรือขนบอบกรอบ (Snack Foods)

High Shear Cooking (HSCE) ได้ถูกจัดอยู่ใน HTST ส่วนมากในการผลิตอาหารโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ วัตถุดิบที่นำมาใช้ก่อนป้อนเข้าไปในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ควรอุ่นหรือให้ความร้อนก่อน จะเป็นไอน้ำหรือน้ำร้อนก็ได้ แล้วป้อนเข้าไปใน HSCE เพื่อทำให้วัตถุเปลี่ยนเป็นเจล หรือปรับโครงสร้างภายในโมเลกุลของวัตถุดิบเสียใหม่และการอุ่นนั้นได้ทำให้วัตถุดิบที่ป้อนเข้ามีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วทำให้สุกและเย็นตัวลงทันที เมื่อโผล่พ้นหน้าแปลนออกมา เวลาที่ใช้ในการหุงต้มนี้ต้องสั้นมาก ด้วยเหตุผลในเรื่องนี้ จึงตั้งชื่อเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นี้ว่า HTST High Temperature And Short Time)

2.1.5.2 แบ่งชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของความร้อน (Thermodinamic Characteristics)ได้ดังนี้

1. Autogenous (Adiabatic) Extruders ความร้อนทั้งหมดที่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ได้รับ (Input to the extruder) นั้นได้มาจากการเสียดสี (Friction) คือ เปลี่ยนมาจากพลังงานกล และมีเพียงปริมารเล็กน้อย หรือไม่มีเลยของความร้อนที่เพิ่มหรือระบายออกไปจาก บาร์เรล คอเลค เอกซ์ทรูเดอร์ และ High Shear cooking Extruders บางชนิดที่ได้จัดเป็นพวก Autogenous Extruders ก็เนื่องมาจากอุณหภูมิภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นี้จะสูง หรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไป และการจัดรูปแบบของสกรู ดังนั้นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบ Autogenous นี้จึงไม่ค่อยคล่องตัวนัก ในการที่จะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารในแต่ละชนิด และยังยากต่อการควบคุมการทำงานของเครื่องอีกด้วย

2. Isothermal Extruders เป็นเครื่องประเภทที่มีระบบการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เทากันเป็นระยะตลอดความยาวของบาร์เรล Foaming Extruders ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ เพื่อคงสภาพความร้อนให้เท่ากันโดยตลอดนั้น ความร้อนก็จะถูกลดลงหรือระบายผ่านช่องว่างระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรลที่อยู่ภายนอกสกรู

3. Polytrophic Extruders ในความเป็นจริงแล้ว เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เกือบจะทุกชนิดเป็นประเภท Polytrophic คือจะได้รับความร้อนทั้งสองทาง คือความร้อนที่ได้จากพลังงานกล และความร้อนที่ได้จากแหล่งความร้อนภายนอกที่ส่งผ่านมาทางช่องว่างของบาร์เรล

2.1.5.3 การแบ่งชนิดของเครื่องตามวิธีการสร้างประกอบเครื่อง (รุ่งนภา,2541)

1. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruders)

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ไม่ว่าจะใช้สำหรับการอัด หรือดันให้โดของอาหารผ่านหน้าแปลน เพื่อขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำ โดยไม่มีการพอง หรือใช้เพื่อทำการสุก และขึ้นรูปด้วยความร้อนอย่างรุนแรงแล้วผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว

ในกรณีแรกที่ใช้เพื่อการขึ้นรูป สกรูต้องมีเกลียวที่ลึกและหมุนช้าๆ เพื่อให้ปริมาณพลังงานกลถูกปล่อยออกมาให้น้อยที่สุด เช่น การทำมะกะโรนี หรือหมากฝรั่ง

ในส่วนกรณีหลัง เครื่องคุกกิ้งเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ทำให้สุกจะมีสกรู สำหรับการอัดโดยลดความลึกของเกลียวสกรูหมุนด้วยความเร็วสูง เพื่อเพิ่มแรงเฉือน และพลังงานกล สำหรับการให้ความร้อนจากการเติมไอน้ำก่อน ที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เหล่านี้สามารถแบ่งตามระดับการเฉือนที่กระทำต่ออาหารได้ ดังนี้

1. แรงเฉือนที่สูงเช่น อาหารเช้าธัญพืช ขนมขบเคี้ยว
2. แรงเฉือนปานกลาง เช่น ขนมปังต่างๆ อาหารที่ค่อนข้างชื้น
3. แรงเฉือนต่ำ เช่น พาสต้า ผลิตภัณฑ์เนื้อต่างๆ

สกรูจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วน ฟีดเข้า เครื่อง ส่วนที่นวดถึงการอัด และส่วนคุกกิ้ง การขนถ่ายของส่วนผสมต่างๆ ผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ขึ้นกับความเสียดทานที่ผิวของบาร์เรล วัตถุดิบจะเคลื่อนไปข้างหน้า เนื่องจากแรงกระทำของสกรู เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวมีราคาแลบการเดินเครื่องที่ต่ำ และ ต้องการความชำนาญในการเดินเครื่อง และดูแลรักษาน้อยกว่าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องชันแนลของสกรูต้องมีการใส่หรืออัดวัตถุดิบให้เต็ม เพื่อให้เกิดการนวด และ การเฉือน การผสม และการอัดส่วนผสม ความดันที่เพิ่มขึ้นหลังหน้าแปลน ทำให้ผลผลิตสุทธิที่ออกมาอย่างต่อเนื่อง (Throughput) ลดลงเนื่องจากการไหล ของความดันย้อนกลับขึ้นตามแนวชันแนลของสกรูอย่างต่อเนื่อง

ลักษณะเฉพาะในการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ขึ้นกับความดันที่อยู่หลังหน้าแปลน ความลื่นบนผนังบาร์เรล ความยาวของสกรูที่ถูกอัดด้วยผลิตภัณฑ์ และลักษณะเฉพาะของโดที่ขึ้นกับชนิดของส่วนผสม ความชื้นและอุณหภูมิ อันตรกริยาระหว่างปัจจัยเหล่านี้จะจำกัดช่วง และความยืดหยุ่นของการปฏิบัติงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

2. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (Twin – screw Extruder)

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ทีสองสกรูซึ่งวางข้างๆกันโดยที่มีเกลียวอินเตอร์เมส (Intermeshing) กันและกัน และหมุนในลักษณะ "ตัวเลข 8 "ในบาร์เรล เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มักแบ่งตามทิศทางการหมุน และลักษณะที่อินเตอร์เมสกัน สกรูที่อินเตอเมสแบบหมุนตามกันพบมากในอุตสาหกรรมอาหาร การหมุนจะทำให้วัตถุดิบผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ และอินเตอร์เมสช่วยให้การผสมของวัตถุดิบในบาร์เรลดีขึ้น

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่จำแนกได้ตามทิศทางการหมุนของสกรู ซึ่งเป็นลักษณะของสกรู่ที่หมุนตามกัน ส่วนต้นของสกรูออกแบบมาเพื่อขนถ่ายส่วนผสมที่เป็นเม็ดๆ ความสามารถในการขนถ่ายของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่เพิ่มขึ้นทำให้ใช้กับส่วนผสมที่เหนียวได้ดีกว่าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว สกรูที่ขนานกันจะถูกันเอง (Self-wiping) เมื่อเกลียวที่ซ้อนบนสกรูหนึ่ง เช็ดหรือถูด้านล่างของช่องชันแนลของอีกสกรูที่อยู่ติดกัน

จากการนวด (Kneading disks) จะช่วยกระจายพลังงานกลระหว่างการขนถ่ายมากขึ้นโดยส่วนผสมของวัตถุดิบต่างๆเคลื่อนจากจานหนึ่งไปยังอีกจานหนึ่งซึ่งทำให้เกิดการผสมกันขึ้น และการกระจายของพลังงานกลจะมากขึ้น เมื่อส่วนต่างๆเหล่านี้มีส่วนผสมของอาหารบรรจุอยู่เต็ม

2.1.6 การเปรียบเทียบชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Comparison of Extruder types) (รุ่งนภา,2541)

ข้อดีของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่

1. ผลผลิตที่ได้ออกมาอย่างต่อเนื่อง ส่วนเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวต้องเติมส่วนผสมของชันเนลให้เต็มชันแนลของสกรูเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพเนื่องจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวทำงานโดยใช้แรงเสียดทานทำให้เกิดการไหลแบบลาก เนื่องจากการหมุนของสกรูภายในบาร์เรลอยู่นิ่งทำให้อัตราการไหลเป็นสัดส่วนกับความเร็วของสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่สามารถใช้กับส่วนผสมที่มีน้ำมัน หรือที่เหนียวหรือแฉะมาก โดยองค์ประกอบของส่วนผสมที่เป็นข้อจำกัดในการใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวกับสกรูคู่คือ มัน 4%และ20 % น้ำตาล 10% และ 40% ความชื้น 30% และ 65% ตามลำดับ จะเห็นว่าแบบสกรูคู่มีความยืดหยุ่นในการทำงานได้มากกว่าและบางครั้งยังสามารถเติมองค์ประกอบต่างๆในระหว่างกระบวนการผลิตได้ด้วย เช่น สารให้กลิ่นรส (Flavor)

3. การขนถ่ายทั้งชนิดไปด้านหลังหรือชนิดย้อนกลับจะใช้การควบคุมความดันในบาร์เรล เช่น ในการผลิตกับผลไม้ (Fruit Gums) อาหารจะถูกทำให้ร้อนขึ้นและถูกอัดด้วยการขนถ่ายไปด้านหน้า ความดันจะถูกปลดปล่อยออกมา เพื่อระบายความชื้นที่มากเกินไป หรือเพื่อเพิ่มส่วนผสมที่เติมเข้าไปด้วยการขนถ่ายย้อนกลับ แล้วอาหารจึงถูกอัดอีกครั้งสำหรับกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

4. ส่วนที่ปล่อยออกมา (Discharge) ของเครื่องแบบสกรูคู่ ทำให้เกิดความดันที่ต้องใช้เพื่อการเอกซ์ทรูชันและทำให้ส่วนของเครื่องมีการสึกน้อยกว่าแบบสกรูเดี่ยว

5. เครื่องแบบสกรูคู่สามารถใช้กับของผสมที่มีขนาดอนุภาคต่างๆจกผงละเอียดไปเป็นเม็ดๆ ขณะที่สกรูเดี่ยวใช้ได้กับช่วงของอนุภาคที่เป็นเม็ดๆ

ในการเปรียบเทียบต้นทุนจำเป็นต้องพิจารณาต้นทุนของเครื่องมือสำหรับกระบวนการเอกซ์ทรูชันร่วมกับต้นทุนของระบบทั้งหมดเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูมีราคาแพงมากกว่าเนื่องจากการออกแบบสกรูที่ค่อนข้างซับซ้อน รวมทั้งความซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบบาร์เรล และแจคเก็ต สำหรับการถ่ายเทความร้อน แต่ต้นทุนของเครื่องมือที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถชดเชยด้วยการที่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่สามารถใช้แปรรูปส่วนผสมที่มีความชื้นต่ำ เพื่อให้การอบแห้งในผลิตภัณฑ์สุดท้ายน้อยลง

ในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ส่วนผสมมีการปรับสภาพด้วยไอน้ำ หรือน้ำก่อนโดยใช้ความร้อนเพื่อทำให้สุก หรือแปรรูปประมาณครึ่งหนึ่ง ส่วนที่เหลือได้มาจากพลังงานกลที่ใส่เข้าไปในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ ความร้อนที่ใส่เข้าไปจะมีสัดส่วนมากกว่า ขณะที่ส่วนที่เหลือได้จากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านแจ็คเก็ตของผนังบาร์เรล

ดังที่กล่าวมาแล้ว เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่จะให้ข้อได้เปรียบหลายอย่างมากเนื่องจากลักษณะเฉพาะของสกรู อย่างแรกคือ ความสามารถในการขนถ่ายส่วนผสมที่สูงกว่าแบบเดี่ยว ทำให้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่สามารถใช้ได้กับส่วนผสมต่างๆที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการป้อนเข้าสู่เครื่องที่เกิดขึ้น เมื่อใช้กับเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนต่ำจากแจ็กเก็ตที่อยู่รอบๆบาร์เรล เนื่องจากการผสมที่เกิดขึ้นในช่องชันแนลของเครื่องไม่ดี ส่วนเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่ามากเนื่องจากมีการปรับปรุงผสมทางกล ซึ่งทำให้ช่วงของการใช้กว้างขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการให้ความร้อน หรือความเย็นแก่เพสท์ที่เหนียว หรือสารละลายที่เหนียว

นอกจากนี้ ในเครื่องแบบสกรูคู่ อันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ของการแปรรูปก็น้อยกว่าของเครื่องสกรูแบบเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและ อุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1. ข้าวโพดบดละเอียด เบอร์ 3 (820 -850 ไมโครเมตร)
2. น้ำ

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบ Single screw
2. เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช(Grain Moisture Test)
3. เครื่องวัดความเร็วรอบ
4. ตู้อบลมร้อน รุ่น UM400
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง รุ่น Yamato HB – 120
6. ภาชนะอลูมิเนียมเปล่า
7. โถดูดความชื้น
8. ฟอล์ย
9. ประแจแอล
10. ประแจเบอร์ 13 และ 17
11. กาละมัง
12. ทัพพี
13. เครื่องอัดไฮดรอลิก

3.2 ตัวแปรที่ศึกษา

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่ส่งผลต่อความชื้นของเอกซ์ทรูเดตและอัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดตซึ่งตัวแปรดังกล่าวประกอบด้วยความเร็วรอบของสกรู อุณหภูมิบาร์เรล อัตราการป้อนวัตถุดิบ และ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ โดยกำหนดตัวแปร ดังนี้

3.2.1 ตัวแปร อิสระ (Independent variables) คือ

1. ความเร็วรอบสกรู 3ระดับ
   1.1) 540 รอบต่อนาที
   1.2) 580 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1.3) 620 รอบต่อนาที

2. อุณหภูมิบาร์เรล 3 ระดับ

2.1) 60 °C

2.2) 80 °C

2.3) 100 °C

3. ความชื้นเริ่มต้นของข้าวโพด

3.1) 18 (%wb)

3.2) 20 (%wb)

4. อัตราการป้อนวัตถุดิบ

4.1) 0.167 kg/min

4.2) 0.500 kg/min

3.2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables) คือ

1. ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (% MC)
2. อัตราส่วนขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (RE)

3.3 การวางแผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ Box – Behnken Design แบ่งเป็น 4 ระดับประกอบด้วย 36 การทดลองที่สภาวะต่างๆกันดังตารางที่ 3.2 โดยบอกความหมายของตัวแปรและสัญลักษณ์ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์	ระดับ / ค่าตัวแปร	1	0	-1
V_1	ความเร็วรอบสกรู (rpm)	540	580	620
V_2	อุณหภูมิบาร์เรล(°C)	60	80	100
V_3	ความชื้น %(wb)	18	20	-
V_4	อัตราการป้อน(kg/min)	0.167	0.500	-

71960

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง Box – Behnken Design

No.	V_1	V_2	V_3	V_4
1	-1	1	1	1
2	-1	1	1	0
3	-1	0	1	1
4	-1	0	1	0
5	-1	-1	1	1
6	-1	-1	1	0
7	0	1	1	1
8	0	1	1	0
9	0	0	1	1
10	0	0	1	0
11	0	-1	1	1
12	0	-1	1	0
13	1	1	1	1
14	1	1	1	0
15	1	0	1	1
16	1	0	1	0
17	1	-1	1	1
18	1	-1	1	0
19	-1	1	0	1
20	-1	1	0	0
21	-1	0	0	1
22	-1	0	0	0
23	-1	-1	0	1
24	-1	-1	0	0
25	0	1	0	1
26	0	1	0	0
27	0	0	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง Box – Behnken Design (ต่อ)

No.	V_1	V_2	V_3	V_4
28	0	0	0	0
29	0	-1	0	1
30	0	-1	0	0
31	1	1	0	1
32	1	1	0	0
33	1	0	0	1
34	1	0	0	0
35	1	-1	0	1
36	1	-1	0	0

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

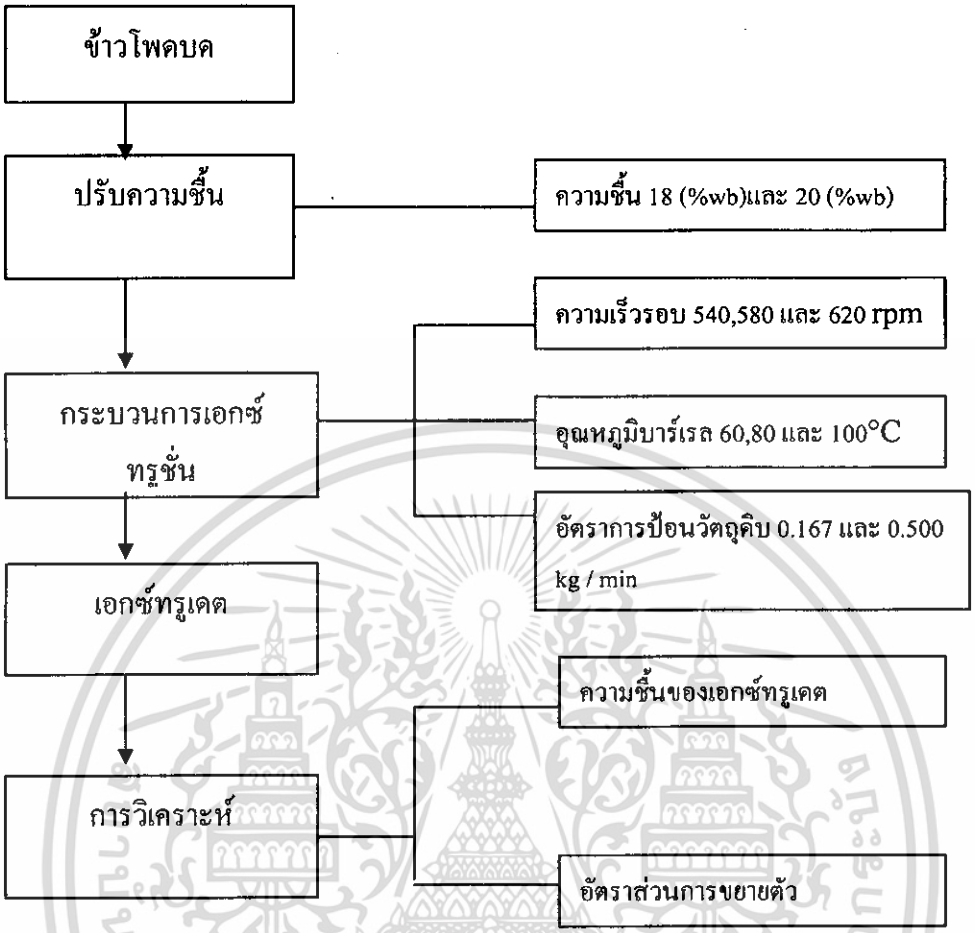
3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำข้าวโพดบดละเอียดจำนวน 2 กิโลกรัม ต่อ 1 ตัวอย่างมาวัดความชื้นเริ่มต้นด้วยเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชแล้วทำการปรับความชื้นให้ได้ตามสภาวะที่กำหนดของแต่ละตัวอย่าง โดยมีความชื้นที่กำหนดไว้ 2 ค่าคือ 18 (%wb)และ 20 (%wb) และการปรับความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น สามารถทำได้จากการทำสมดุลมวล

3.4.2 การทดลองผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

1. นำวัตถุที่ปรับความชื้นได้แล้ว ใส่ลงใน Feed Hopper
2. ปรับค่าการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ตามลักษณะที่กำหนด (ดังแสดงในตารางที่ 3.2)
3. ดำเนินการผลิตจนกระทั่งข้าสู่สภาวะสมดุล
4. เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์
5. นำตัวอย่าง เอกซ์ทรูเดตไปทำการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะต่างๆดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.5 การวัดค่าคุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดตที่ได้

3.5.1 ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (Moisture Contain)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (AOAC, 1990)

1. ชั่งภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาเปล่า บันทึกน้ำหนัก
2. นำตัวอย่างที่บดแล้ว ใส่ลงในภาชนะ ประมาณ 2 - 5 กรัม
3. นำกระปุกพร้อมฝาเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ซม.
4. ปิดฝาแล้วนำเข้าไปวางในโถดูดความชื้น ประมาณ 20 นาที
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ
6. คำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานเปียก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (Expansion Ratio,ER)

คือ ค่าอัตราส่วนการพองตัวของเอกซ์ทรูเดต

การคำนวณ (Chinnaswammy และ Hanna,1988)

$$ER = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเอกซ์ทรูเดต (cm)}}{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าแปลน (cm)}}$$

โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดตที่สภาวะการทดลองต่างๆ

จากการทดลองที่สภาวะต่างๆพบว่าที่คุณสมบัติต่างกันของวัตถุดิบในที่นี้ คือ คุณสมบัติด้านความชื้น และการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่สภาวะต่างกัน ดังสภาวะที่กำหนดไว้ข้างต้น ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดตที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเอกซ์ทรูเดตที่สภาวะต่างๆ

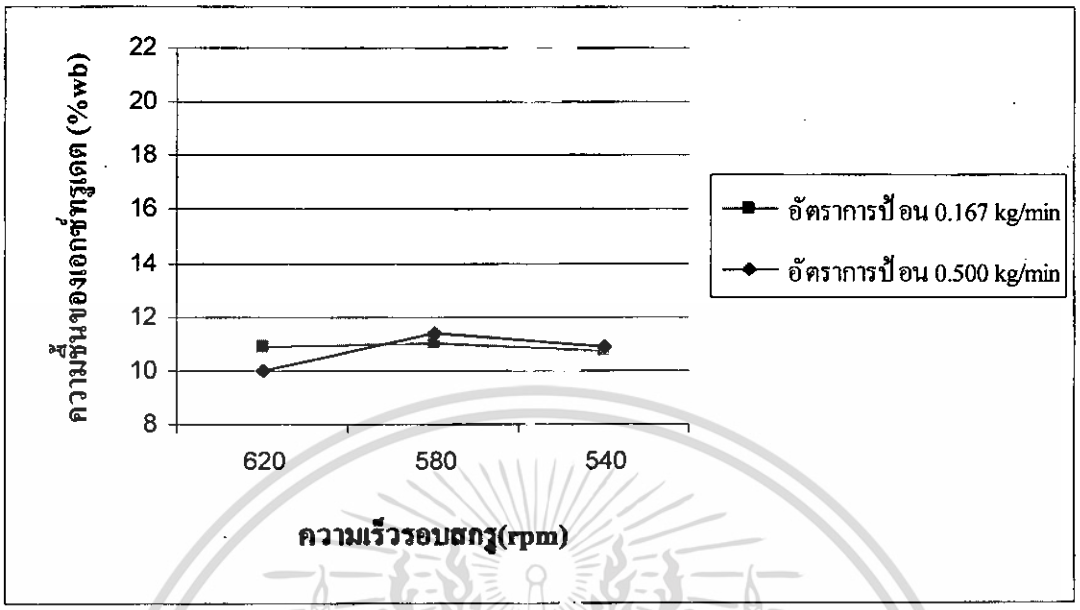
รหัส	สภาวะการผลิต				ความชื้นเอกซ์ทรูเดต (%wb)	อัตราส่วนการขยายตัว
	ความชื้นวัตถุดิบ (%wb)	อุณหภูมิบาร์เรล(°C)	อัตราการป้อนวัตถุดิบ (kg/min)	ความเร็วรอบสกรู (rpm)		
E1	18	60	0.167	620	10.895	2.972
E2	18	60	0.500	620	9.988	3.292
E3	18	80	0.167	620	9.957	3.000
E4	18	80	0.500	620	8.777	3.332
E5	18	100	0.167	620	9.489	3.167
E6	18	100	0.500	620	8.974	3.275
E7	18	60	0.167	580	11.027	2.995
E8	18	60	0.500	580	11.400	2.790
E9	18	80	0.167	580	10.587	3.012
E10	18	80	0.500	580	11.345	3.047
E11	18	100	0.167	580	9.809	3.062
E12	18	100	0.500	580	8.732	3.557
E13	18	60	0.167	540	10.696	2.957
E14	18	60	0.500	540	10.879	3.032
E15	18	80	0.167	540	10.602	3.002
E16	18	80	0.500	540	10.991	2.875
E17	18	100	0.167	540	8.464	3.150
E18	18	100	0.500	540	9.423	3.237

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

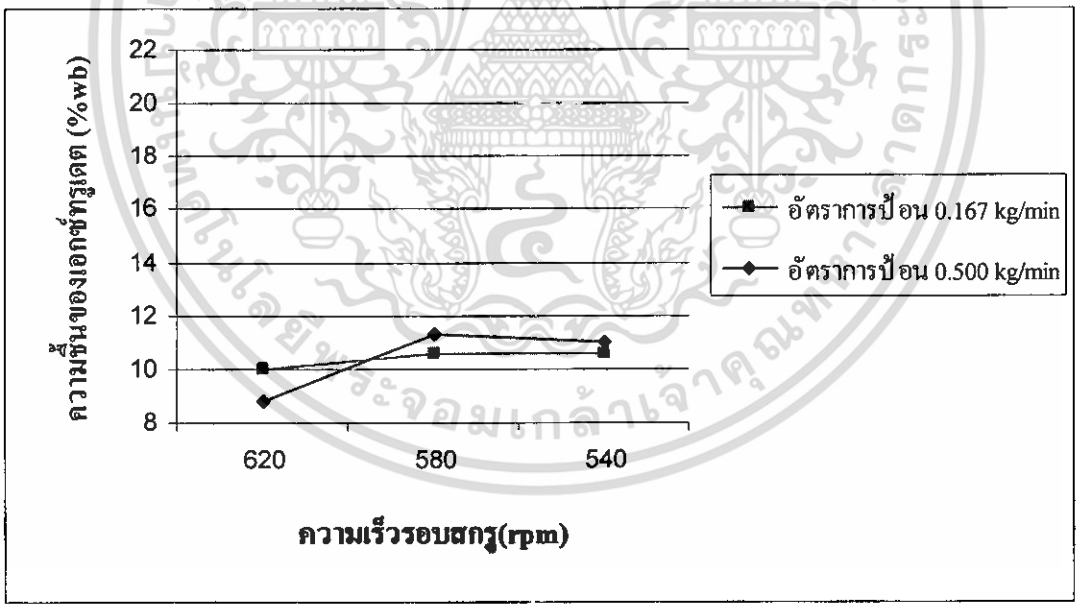
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเอกซ์ทรูเดตที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

รหัส	สภาวะการผลิต				ความชื้นเอกซ์ทรูเดต (%wb)	อัตราส่วนการขยายตัว
	ความชื้นวัตถุดิบ (%wb)	อุณหภูมิบาร์เรล(°C)	อัตราการป้อนวัตถุดิบ (kg/min)	ความเร็วรอบสกรู (rpm)		
E19	20	60	0.167	620	21.899	1.700
E20	20	60	0.500	620	19.945	1.705
E21	20	80	0.167	620	21.305	1.800
E22	20	80	0.500	620	19.133	1.427
E23	20	100	0.167	620	17.468	1.365
E24	20	100	0.500	620	15.922	1.087
E25	20	60	0.167	580	20.247	1.592
E26	20	60	0.500	580	19.045	1.590
E27	20	80	0.167	580	17.523	1.960
E28	20	80	0.500	580	16.868	1.995
E29	20	100	0.167	580	12.787	2.087
E30	20	100	0.500	580	15.305	2.062
E31	20	60	0.167	540	20.356	1.792
E32	20	60	0.500	540	19.111	1.527
E33	20	80	0.167	540	18.520	2.002
E34	20	80	0.500	540	16.431	1.872
E35	20	100	0.167	540	15.981	2.020
E36	20	100	0.500	540	14.382	2.155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

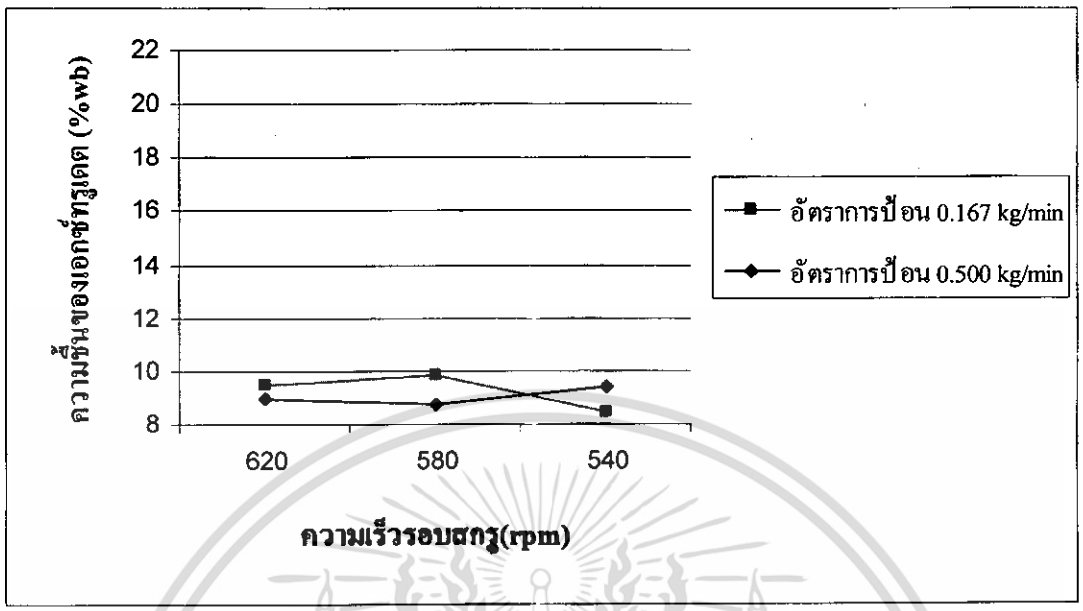


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 60 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

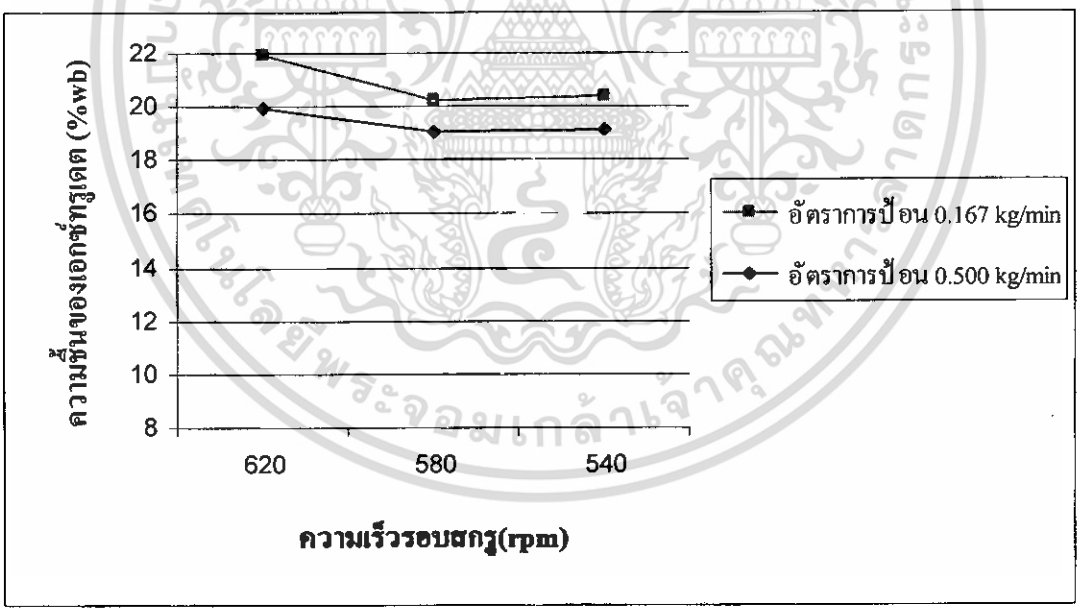


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 80 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

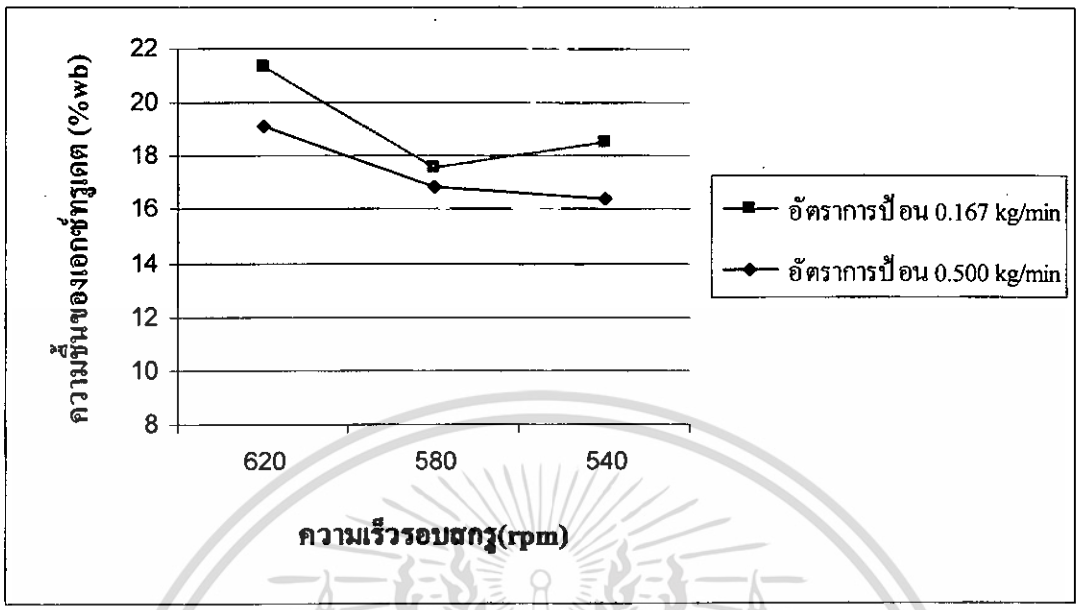


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

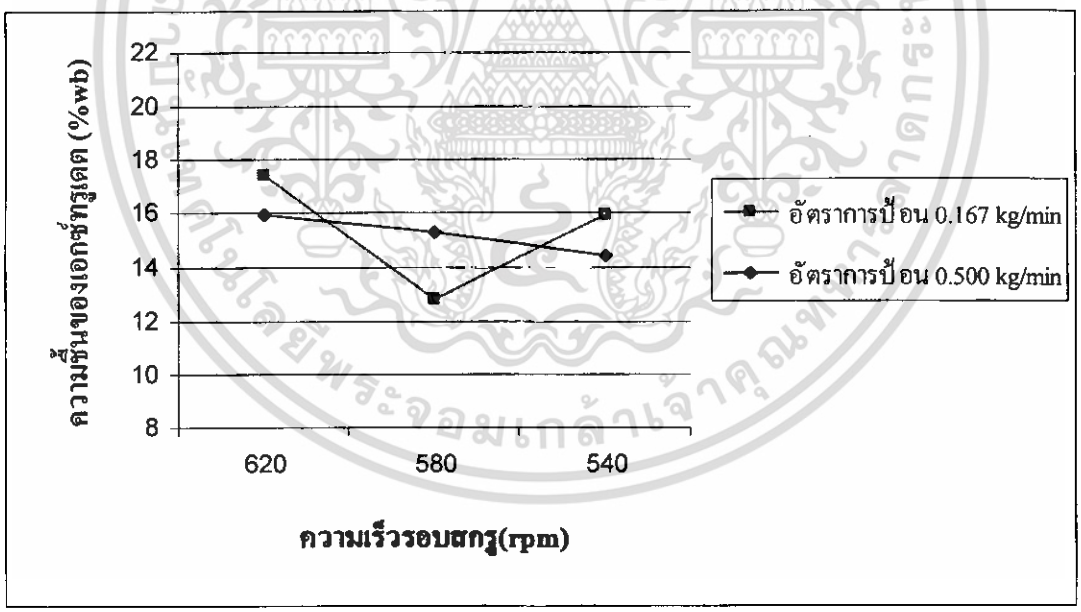


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 60 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

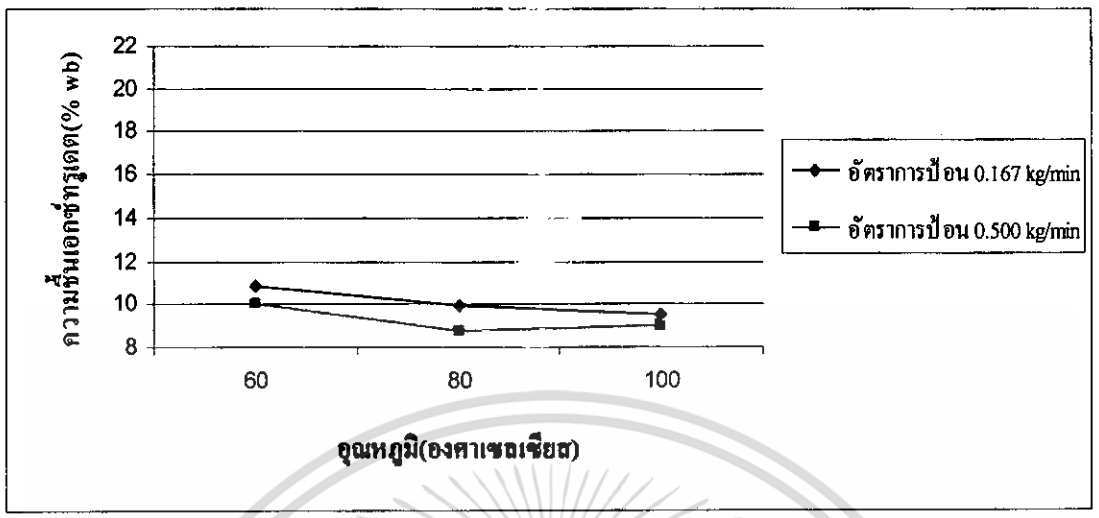


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 80 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

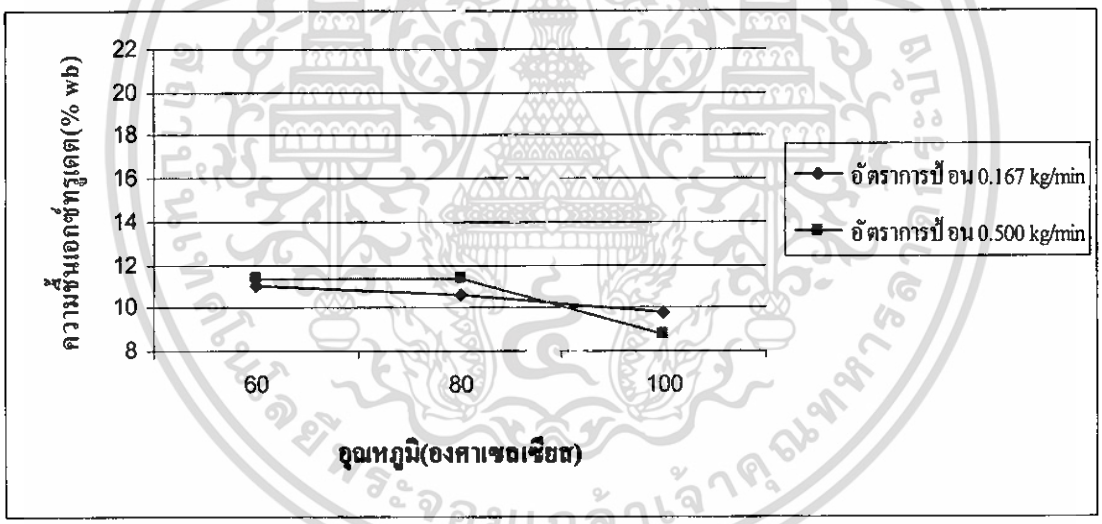


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของ เอกซ์ทรูเดตกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

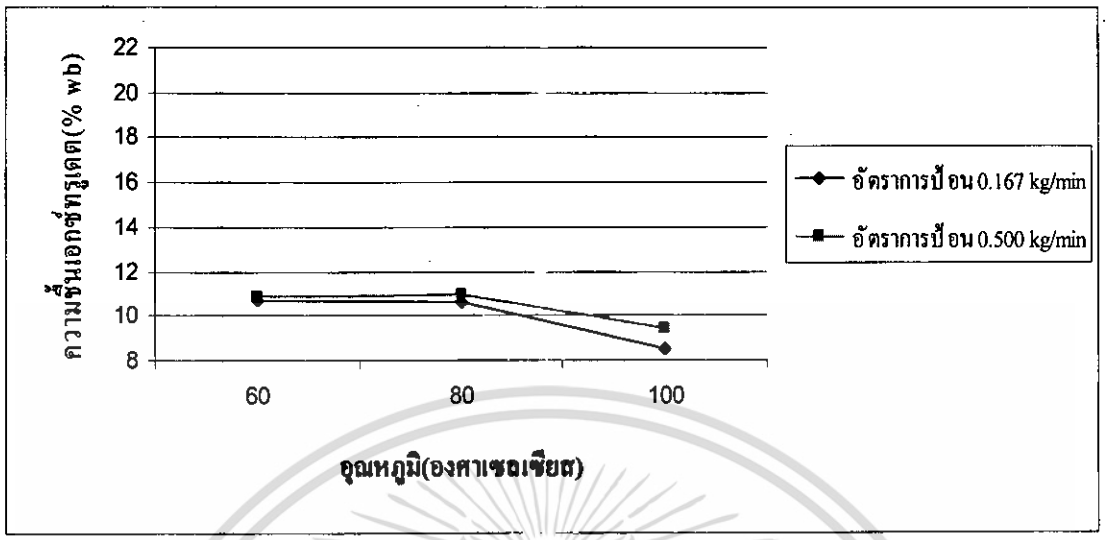


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

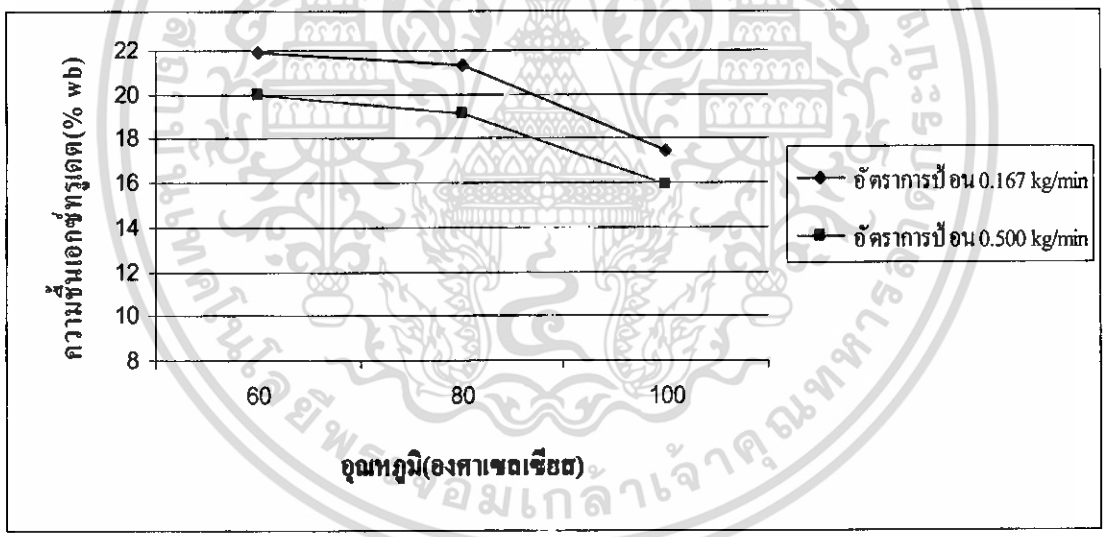


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18% (wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

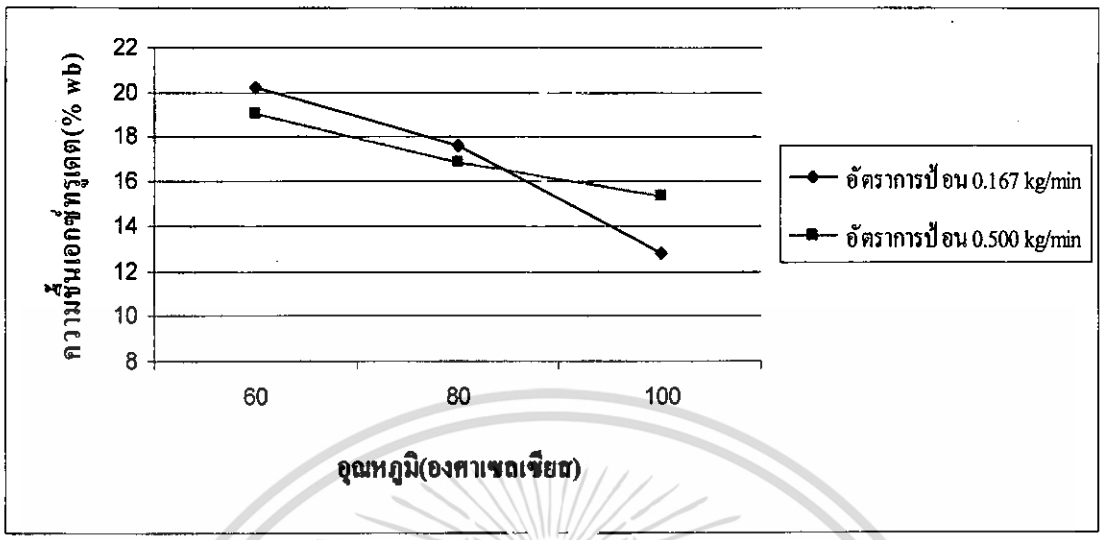


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของ เอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

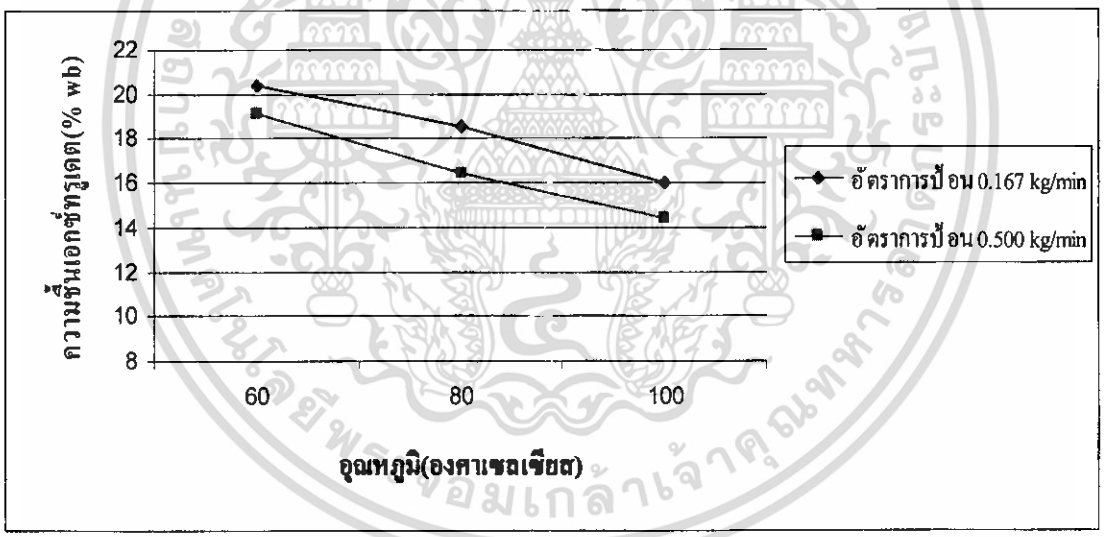


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

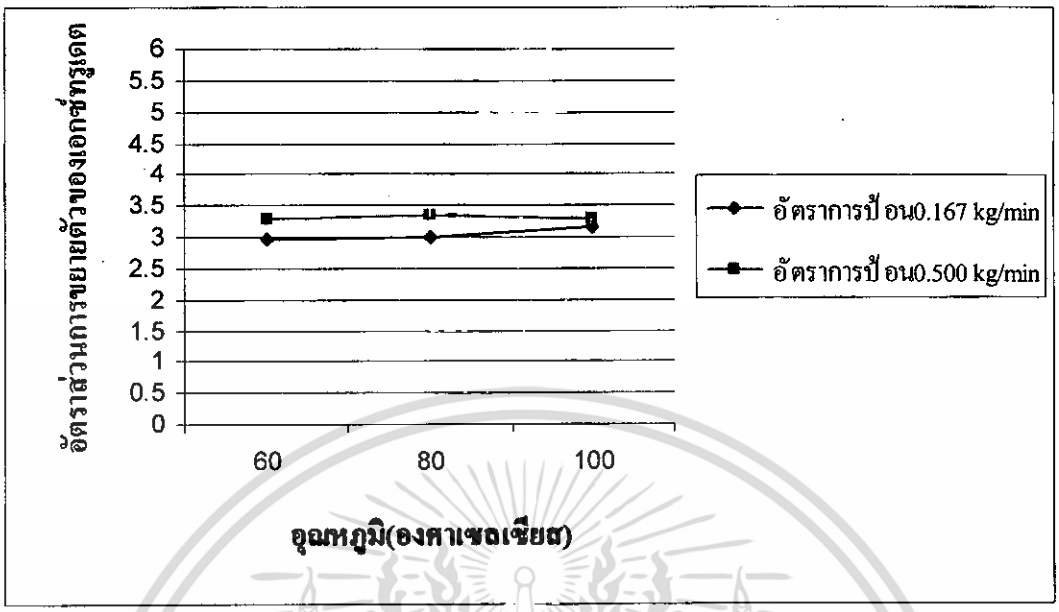


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของ เอกซ์ทรูเดต กับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบ สกรู 580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

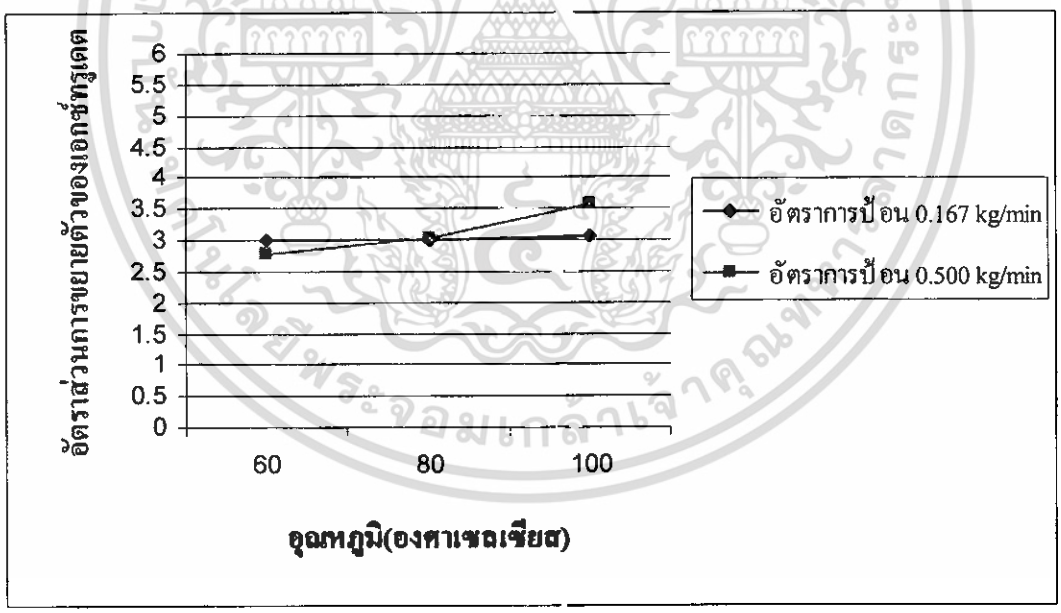


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตกับอุณหภูมิบาร์เรลที่ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

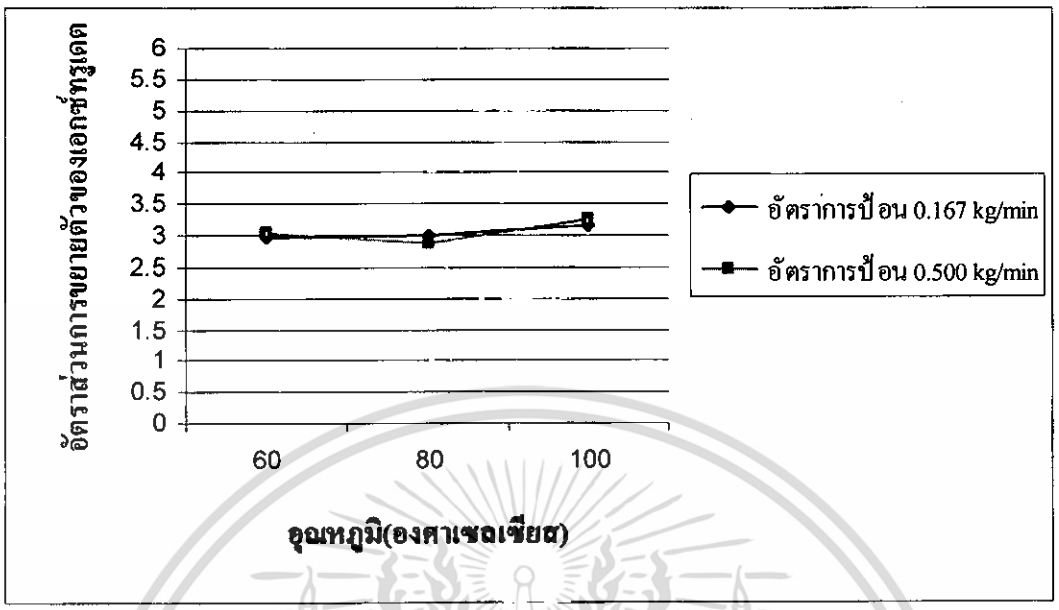


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

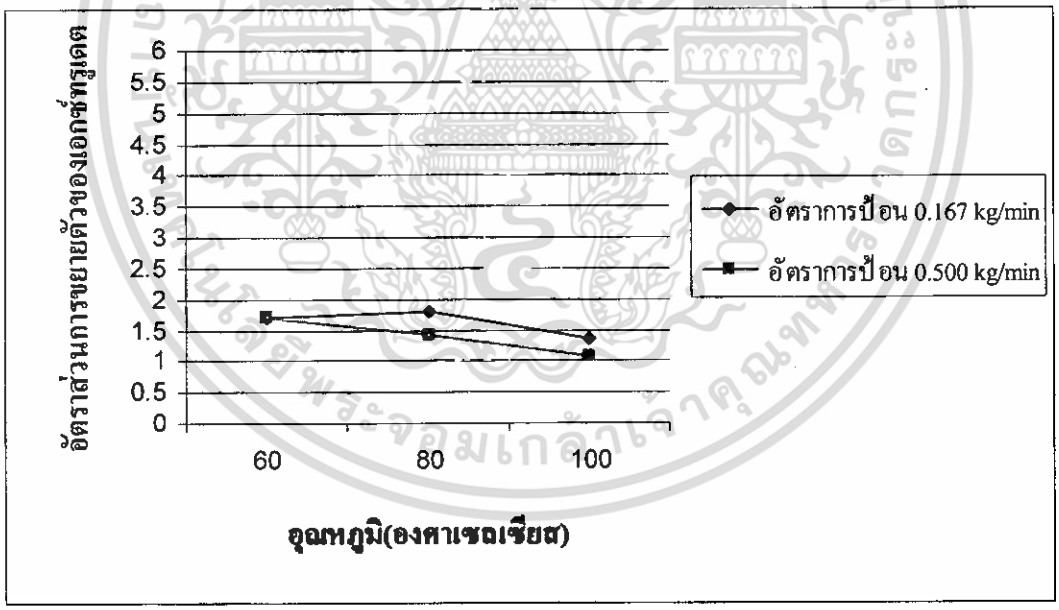


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

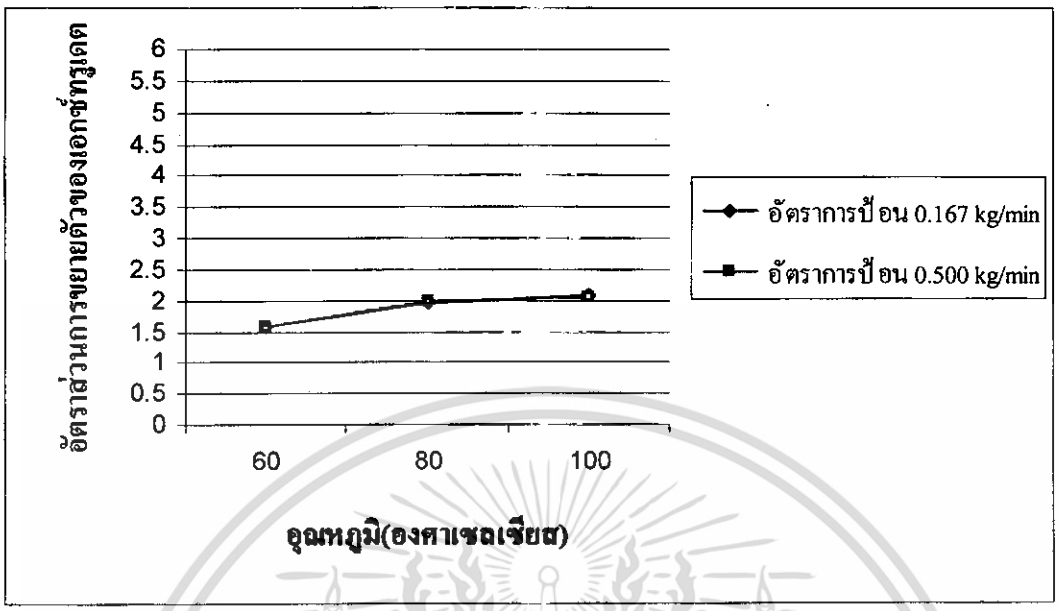


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

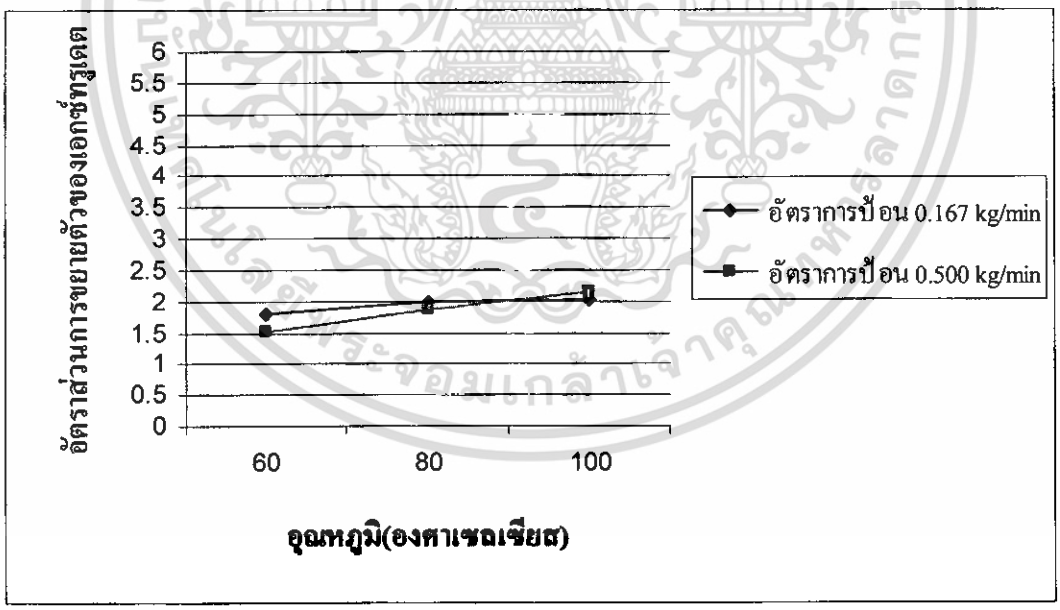


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 620(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

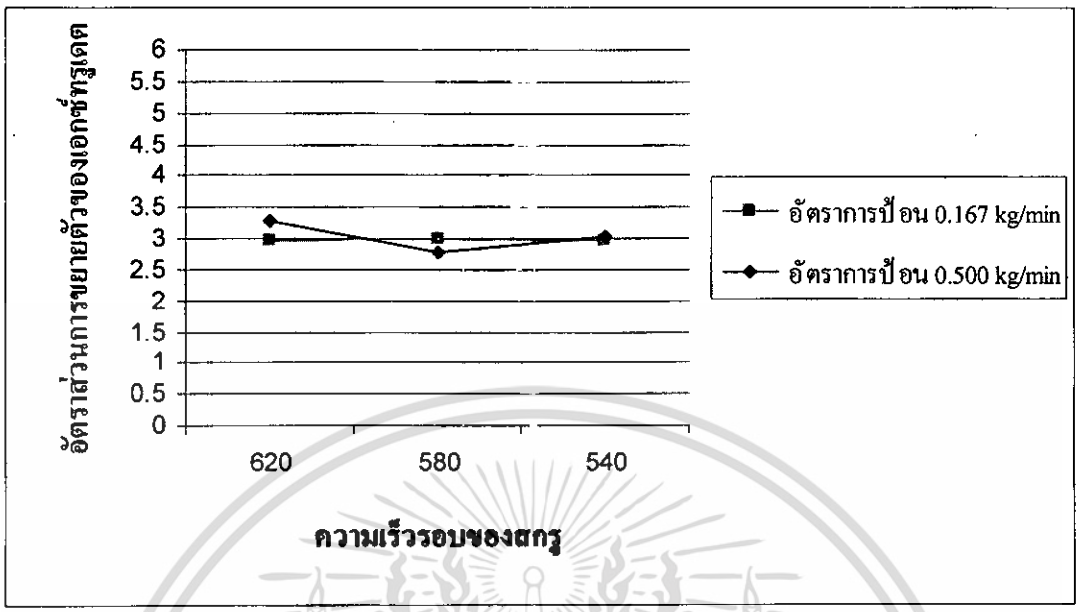


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 580(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ20 (%wb)

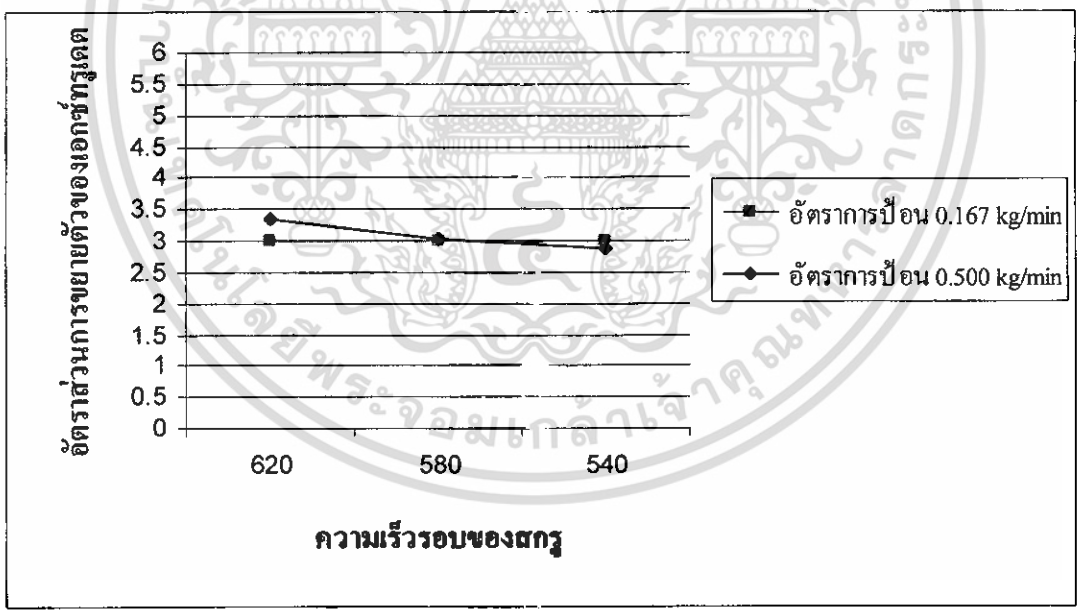


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับอุณหภูมิที่ความเร็วรอบสกรู 540(rpm) ความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

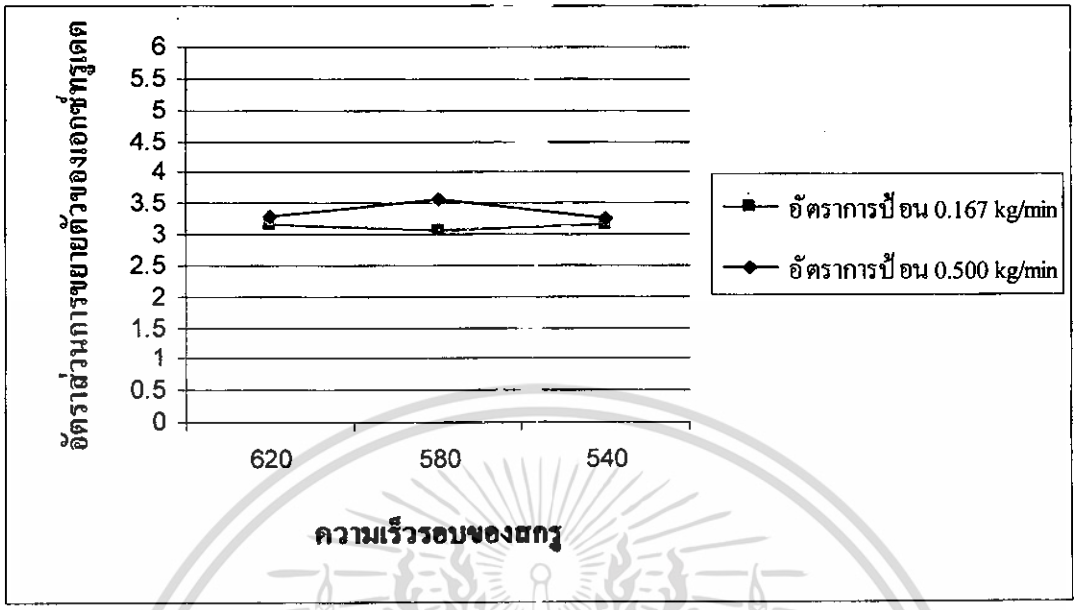


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

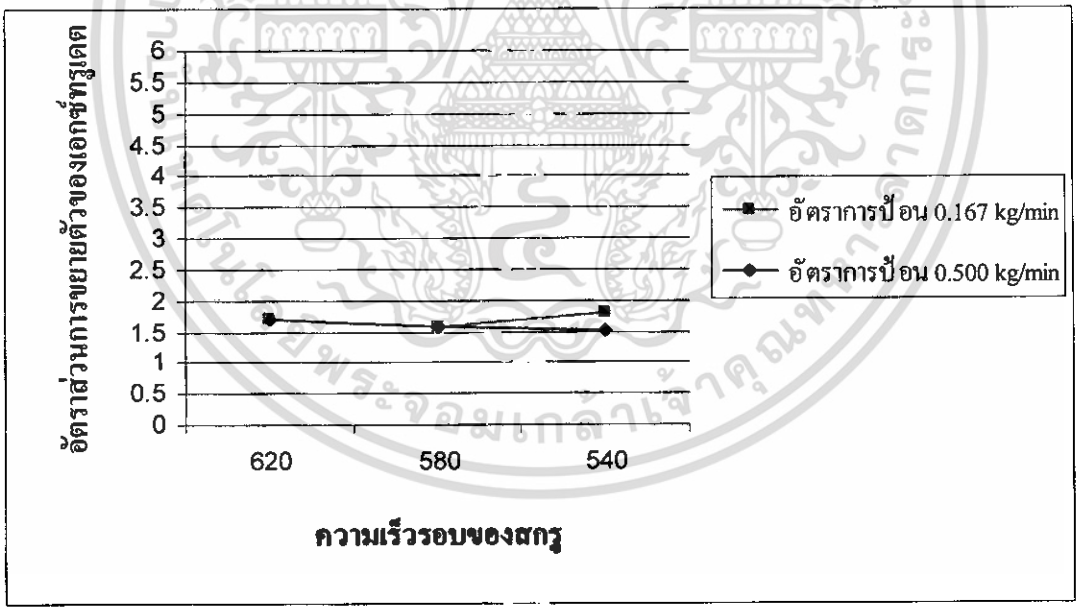


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับ ความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

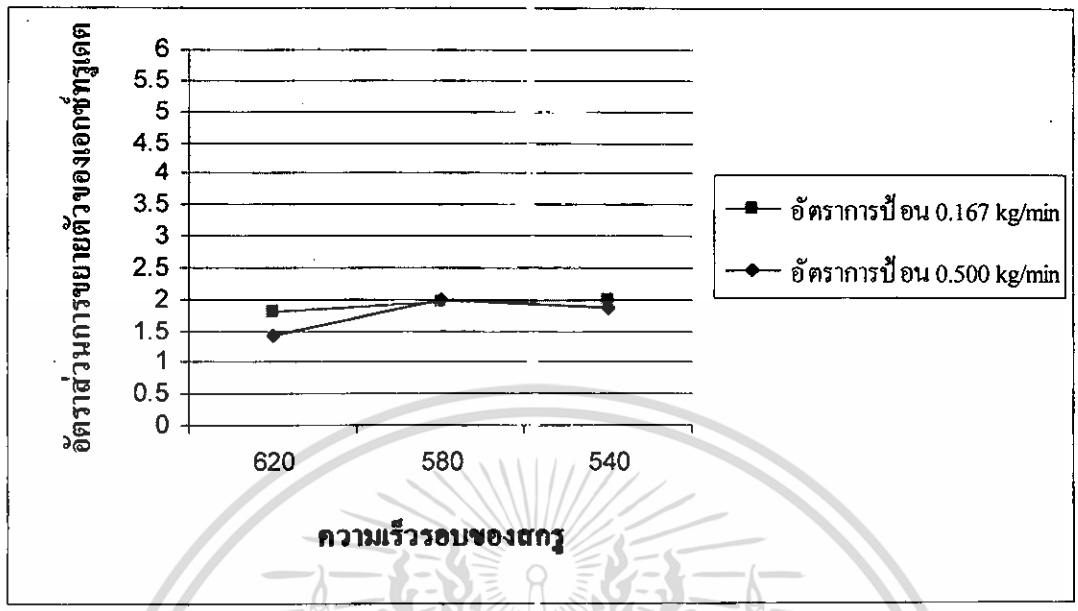


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 18 (%wb)

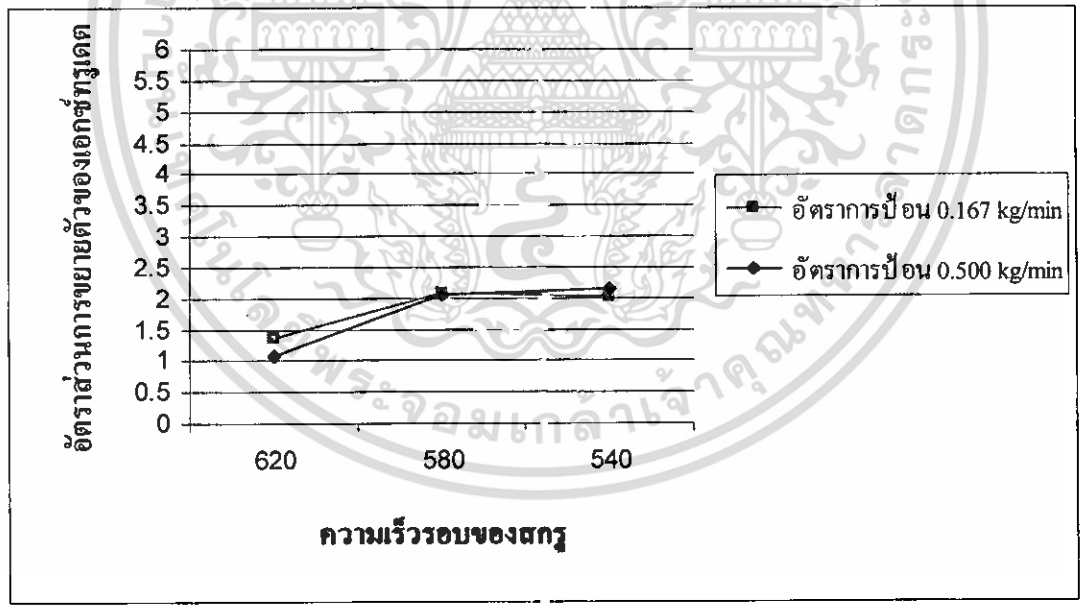


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการขยายตัวกับความเร็วรอบสกรูที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและความชื้นวัตถุดิบ 20 (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 วิเคราะห์ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (Moisture Contain,MC)

ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตที่ได้จากการผลิตจากวัตถุดิบที่มีค่าความชื้นเริ่มต้น 18 (%wb) จะมีค่าต่ำกว่าค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีค่าความชื้นเริ่มต้น 20 (%wb)โดยที่อุณหภูมิบาร์เรลเท่ากับ 100 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มให้ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบสกรูเท่ากันและที่อัตราการป้อนเท่ากับ 0.500 kg/min ก็มีแนวโน้มให้ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตต่ำกว่าที่อัตราการป้อน 0.167 kg/min โดยเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบสกรูที่เท่ากัน

4.2.2 วิเคราะห์อัตราส่วนการขยายตัว

อัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้น 18 (%wb) จะมีค่าอัตราส่วนการขยายตัวมากกว่าเอกซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้น 20 (%wb) และที่อุณหภูมิของบาร์เรลสูงขึ้นก็จะทำให้อัตราส่วนการขยายตัวสูงขึ้น ส่วนอัตราการป้อนส่งผลต่ออัตราส่วนการขยายตัวน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการเอกซ์ทรูชั่นโดยใช้วัตถุดิบเป็นข้าวโพดบดละเอียดเบอร์ 3 ความชื้น 18 (%wb) และ 20 (%wb) ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบซิงเกิลสกรูที่สภาวะการทำงานของเครื่องต่างๆกันคือ ที่ความเร็วรอบสกรู 3 ระดับ คือ 620, 580 และ 540(rpm) อุณหภูมิบาร์เรล 3 ระดับ คือ 60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อน 2 ระดับ คือ 0.166 กิโลกรัมต่อนาที และ 0.500 กิโลกรัมต่อนาที จากผลของการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความชื้นเริ่มต้น 18%ให้ค่าความชื้นเอกซ์ทรูเดตต่ำกว่าความชื้นเริ่มต้น 20%ที่อุณหภูมิบาร์เรลเดียวกัน
2. เมื่ออุณหภูมิบาร์เรลสูงขึ้นอัตราส่วนการขยายตัวก็มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย
3. ความเร็วของสกรูและอัตราการป้อน ส่งผลต่ออัตราส่วนการขยายตัวและความชื้นของเอกซ์ทรูเดตน้อยกว่าค่าชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิบาร์เรล

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองครั้งต่อไปอาจเพิ่มตัวแปรเพิ่มขึ้นไปอีกเพื่อที่จะได้ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่าความชื้นและอัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดต โดยตัวแปรที่แนะนำมีดังต่อไปนี้คือ

1. ความเร็วรอบสกรูเปลี่ยนเป็น 620, 540 และ 460 rpm เพราะต้องการทราบว่าที่ค่าความเร็วรอบสกรูที่ต่างกันในช่วงดังกล่าว จะส่งผลต่อค่าความชื้น และ อัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดตอย่างไร
2. อุณหภูมิบาร์เรลเปลี่ยนเป็น 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิบาร์เรลสูงขึ้นค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตมีแนวโน้มต่ำลงจึงอยากทราบว่าที่อุณหภูมิบาร์เรลที่กำหนดข้างต้น ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตจะลดต่ำลงมากน้อยเพียงใดและอุณหภูมิดังกล่าวจะส่งผลต่ออัตราส่วนการขยายตัวมากน้อยเพียงใด
3. ความละเอียดของวัตถุดิบเปลี่ยนเป็นข้าวโพดบดละเอียด เบอร์ 2 เพราะอยากทราบว่าที่ความละเอียดของข้าวโพดบดต่างกันจะส่งผลต่อค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตและอัตราส่วนการขยายตัวอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าตัวแปรทั้งสามตัวที่กำหนดข้างต้น คือ ความเร็วรอบสกรู อุณหภูมิบาร์เรลและความละเอียดของวัตถุดิบเป็นตัวแปรพื้นฐานที่จะส่งผลต่อค่าความชื้นและอัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดต จึงแนะนำให้ใช้ ค่าตัวแปรทั้งสามโดยค่าตัวแปรที่กำหนดขึ้นจะมีความแตกต่างจากตัวแปรที่ได้ทำการทดลองมาแล้วพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฤษณี อ่ำถนอม, สุพจน์ สุขบังและอุมาพร สุอังควาทิน.2549.การผลิตแบบเอกซ์ทรูชันโดยใช้วัตถุดิบจากปลายข้าวผสม.ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เทิดศักดิ์ คุปติมิตร , ปัทมา ผิวบางและวิภา เจริญวิทย์ ขจร.2547.ผลของอุณหภูมิบาร์เรล ความเร็วรอบ และความชื้นต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารจากปลายข้าวด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กมลวรรณ แจ้งชัด.2541.กระบวนการการแปรรูปอาหารโดยวิธีเอกซ์ทรูชั่น.วารสารอุตสาหกรรมเกษตร

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตย์.2544.หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิไล รังสาดทอง.2546.เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.สำนักพิมพ์เทกซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น. กรุงเทพ

วรวุฒิ บุญลี.2541.การศึกษาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์.ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Anderson , R.A. , Conway,H.F. , V.F.&Griffin , E.L. , Jr(1996), Gelatinization of corn grits by roll – and extrusion – cooking , Cereal Sci.Today , 14 , 4 – 12.

Chinnawamy , R and Hanna , M.A.(1988) , A Die – nozzle dimension effect on the expansion of extrusion – cooks corn starch , J . Food Sci.

Mercier C., P.Linko and J.M.Haper. Extrusion cooking.St. Paul, Min : American Association of Cereal Chemists 1989

Rao M.A, Syed S.H. Rizvi, and Ashi K. Datta. Engineering Properties of Foods.3 rd edition : Taylor & Francis Group , LLC. 2005.

Heldman D., and Singh P.Food Process Engineering. 2 nd edition : Westport, CT : AVI Publishing Co.1981

Avairible online at http://www.abb.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของเอกซ์ทรูเดต

- ค่าความชื้น
- อัตราส่วนการขยายตัว

ตารางที่ ก.1 ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต

รหัส	% ความชื้นของวัตถุดิบ (wb)	ความเร็วรอบ Main Screw (rpm)	อัตราการป้อนวัตถุดิบ (rpm)	อุณภูมิบาร์เรล °C	น.น. ภาชนะเปล่า (g)	น.น. ภาชนะ + Extrudate (g) ก่อนอบ	น.น. ภาชนะ + Extrudate (g) หลังอบ	% ความชื้นของ Extrudate (wb)
E1	18	620	6	60	0.7995	4.2020	3.8325	10.859
E2	18	620	14	60	0.9857	4.3825	4.0432	9.988
E3	18	620	6	80	0.7799	4.1601	3.8235	9.957
E4	18	620	14	80	0.7902	4.5616	4.2258	8.777
E5	18	620	6	100	0.6079	4.3604	4.0043	9.489
E6	18	620	14	100	0.7998	3.9523	3.6694	8.974
E7	18	580	6	60	0.7995	3.9871	3.6356	11.027
E8	18	580	14	60	0.7902	4.9926	4.5135	11.400
E9	18	580	6	80	0.6568	3.7077	3.3847	10.587
E10	18	580	14	80	0.6079	4.1398	3.7391	11.345
E11	18	580	6	10	0.6568	4.0827	3.7507	9.809
E12	18	580	14	10	0.9865	4.4772	4.1724	8.732
E13	18	540	6	60	0.7940	3.8821	3.5518	10.696
E14	18	540	14	60	0.7754	4.0754	3.7164	10.879
E15	18	540	6	80	0.7902	4.2734	3.9041	10.602
E16	18	540	14	80	0.7998	4.5348	4.1243	10.991
E17	18	540	6	100	0.7947	3.9479	3.6810	8.464

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (ต่อ)

E18	18	540	14	100	0.7754	4.3369	4.0013	9.423
E19	20	620	6	60	0.8027	4.2900	3.5263	21.899
E20	20	620	14	60	0.9932	5.2264	4.3817	19.954
E21	20	620	6	80	0.9890	6.5102	5.3296	21.305
E22	20	620	14	80	0.6568	4.8526	4.0498	19.133
E23	20	620	6	100	0.7996	3.9534	3.4025	17.468
E24	20	620	14	100	0.9869	5.6589	4.9150	15.922
E25	20	580	6	60	0.7741	5.6824	4.6886	20.247
E26	20	580	14	60	0.6565	4.8513	4.0524	19.045
E27	20	580	6	80	0.8027	4.4622	3.8188	17.583
E28	20	580	14	80	0.6568	4.7740	4.0795	16.868
E29	20	580	6	10	0.7937	4.4467	3.8760	12.787
E30	20	580	14	10	0.6565	4.4082	3.8340	15.305
E31	20	540	6	60	0.7937	6.0264	4.9612	20.356
E32	20	540	14	60	0.7741	4.8240	4.0500	19.111
E33	20	540	6	80	0.7937	6.1991	4.7037	18.520
E34	20	540	14	80	0.9869	4.3292	3.7800	16.431
E35	20	540	6	100	0.7741	4.5279	3.9280	15.981
E36	20	540	14	100	0.4985	3.5072	3.0745	14.382

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 อัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดต

ประเภท	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางผลิตภัณฑ์ (mm)											Øรูหน้าแปลน (mm)	อัตราส่วนการขยายตัว
	ต.ย.1	ต.ย.2	ต.ย.3	ต.ย.4	ต.ย.5	ต.ย.6	ต.ย.7	ต.ย.8	ต.ย.9	ต.ย.10	เฉลี่ย		
E1	12.10	11.10	11.90	12.40	11.10	12.20	12.12	12.10	11.30	12.50	11.89	4	2.972
E2	13.70	12.90	13.10	13.00	13.30	13.40	12.90	13.10	13.20	13.10	13.17	4	3.292
E3	12.60	11.90	12.00	11.50	11.30	12.40	12.10	11.90	12.20	12.10	12.00	4	3.000
E4	13.00	13.70	13.40	13.40	13.50	13.20	13.00	13.910	13.70	13.30	13.33	4	3.332
E5	13.10	12.40	13.20	12.40	13.20	12.20	12.40	12.10	12.70	12.80	12.67	4	3.167
E6	13.00	13.00	13.50	13.50	13.10	12.90	13.60	12.00	12.90	13.50	13.10	4	3.275
E7	11.40	11.80	12.60	12.00	11.10	12.60	11.40	12.40	12.50	12.00	11.98	4	2.995
E8	11.20	11.80	11.60	10.20	11.00	10.70	11.20	10.80	11.10	12.00	11.16	4	2.790
E9	12.60	12.50	12.70	12.00	12.00	11.90	11.80	11.40	11.70	11.90	12.05	4	3.012
E10	12.00	12.20	12.40	11.80	12.40	12.30	11.90	12.80	12.00	12.10	12.19	4	3.047
E11	12.70	13.00	11.50	12.30	12.00	11.90	12.20	13.20	13.40	13.00	12.25	4	3.062
E12	15.40	14.40	14.30	13.70	13.80	15.10	14.10	15.00	13.0	13.50	14.23	4	3.557
E13	10.40	12.10	12.20	12.30	11.70	12.30	11.70	12.20	11.10	12.30	11.83	4	2.957
E14	11.80	12.10	12.10	12.10	12.40	12.10	12.70	12.10	11.90	12.00	12.13	4	3.023
E15	11.50	12.20	12.30	11.80	12.20	11.60	12.30	12.20	11.50	12.50	12.01	4	3.002
E16	12.40	11.10	11.30	11.40	11.20	11.60	11.10	11.60	11.40	11.90	11.50	4	2.875
E17	13.20	12.30	12.40	12.10	12.60	12.50	13.30	12.90	12.60	12.10	12.60	4	3.150
E18	12.80	13.10	12.70	12.7	12.30	12.40	13.20	13.80	13.60	12.90	12.95	4	3.237

ตารางที่ ก.2 อัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดต (ต่อ)

E19	6.30	7.00	6.60	7.00	7.10	7.10	6.30	7.30	6.80	6.50	6.80	4	1.700
E20	6.40	6.10	7.60	7.60	7.40	7.60	6.60	6.10	6.20	6.60	6.82	4	1.705
E21	7.10	7.00	7.00	7.90	6.90	6.90	6.60	7.40	7.50	7.70	7.70	4	1.800
E22	7.00	5.00	5.00	6.20	5.50	7.40	6.50	7.30	6.60	6.00	6.25	4	1.560
E23	5.20	5.40	5.30	5.90	6.00	5.60	6.30	5.70	4.60	4.60	5.46	4	1.365
E24	4.00	3.40	5.00	4.20	5.10	4.80	4.30	4.40	3.80	4.50	4.35	4	1.087
E25	5.90	6.70	6.60	6.00	6.40	6.20	7.10	6.60	5.90	6.30	6.37	4	1.592
E26	6.40	6.40	6.10	6.10	5.80	6.50	7.20	6.70	6.70	6.00	6.39	4	1.590
E27	7.80	7.80	8.40	8.00	7.60	7.70	7.90	8.00	8.10	7.10	7.84	4	1.960
E28	8.00	7.90	7.50	7.90	8.30	7.90	7.80	8.00	8.30	8.40	7.98	4	1.995
E29	8.90	8.00	9.20	7.80	7.40	8.20	9.00	9.00	7.00	9.00	8.35	4	2.087
E30	9.30	9.00	9.20	8.90	9.40	9.80	8.20	8.00	8.40	8.90	8.25	4	2.062
E31	7.10	6.80	7.20	7.00	6.90	7.50	7.40	7.20	7.10	7.50	7.17	4	1.792
E32	5.60	5.50	6.70	6.20	5.90	6.20	6.30	6.60	6.40	5.70	6.11	4	1.527
E33	7.40	8.30	8.30	7.60	8.10	7.80	8.00	8.10	8.50	8.00	8.01	4	2.002
E34	7.80	7.50	7.70	7.40	6.90	7.20	7.80	7.50	7.60	7.50	7.49	4	1.872
E35	8.00	8.20	7.40	8.20	7.50	8.90	8.00	7.30	8.60	7.70	8.08	4	2.020
E36	8.40	9.60	7.30	7.70	9.6	9.70	8.20	9.50	9.00	7.20	8.62	4	2.155

ภาคผนวก ข

บทปฏิบัติการเรื่อง การผลิตอาหารแบบเกลียวอัด (Extrusion Cooking)

1.วัตถุประสงค์

- ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว
- ศึกษาผลกระทบค่าความชื้นของวัตถุดิบเริ่มต้นต่อคุณลักษณะที่ได้ของผลิตภัณฑ์

2.ทฤษฎี

การผลิตอาหารแบบเกลียวอัดนับเป็นกระบวนการแบบ (HTST) อย่างหนึ่ง สามารถผลิตอาหารภายในขั้นตอนเดียวโดยอาศัยสกรู ที่มีร่องเกลียว (Flight) หมุนอยู่ในท่อรูปทรงกระบอก (Barrel) ร่องเกลียวจะทำหน้าที่ลำเลียงอาหารเข้ามาในเครื่องและอัดผ่านรูหน้าแปลน (Die) ซึ่งเป็นช่องเปิดให้อาหารไหลออกจากเครื่องที่ปลายอีกด้านหนึ่งในระหว่างที่อาหารถูกลำเลียงผ่านเครื่องนั้นอาหารจะมีความดันและอุณหภูมิที่สูงขึ้นถึง 120 – 180 องศาเซลเซียส ภายในเวลาสั้นๆ (5-3นาที) และเมื่ออาหารผ่านรูหน้าแปลนทำให้เกิดค่าความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกเนื้ออาหารอย่างมากน้ำในอาหารจะระเหยออกจากอาหารอย่างรวดเร็วทำให้อาหารมีลักษณะพอง หรือควบคุมให้มีลักษณะอื่นที่ไม่พองด้วยการลดอุณหภูมิก่อนออกจากหน้าแปลน

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. Single – screw Extruder
2. Twin - screw Extruder

การคำนวณค่าต่างๆ

- แรงเฉือนที่ต้องการหาได้จาก สมการ π

$$P(W) = \tau\, NL\pi^2 D^2$$

$$\tau = \frac{P(W)}{LN\pi^2 D^2}$$

เมื่อ τ = แรงเฉือน (N/m^2)

N = ความเร็วรอบสกรู (1/s)

L = ความยาวยาวของ filledsection (m)

D = ϕ ของสกรู (m)

$P(W)$ = 3.95 (kw)

- Bulk Density (BD) ทำการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ในภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน

$$BD = W/V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ W = น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (g)

V = ปริมาตรภาชนะ (cm^3)

- Piece Density (PD) ความหนาแน่นของเนื้อผลิตภัณฑ์ โดยการใช้งาแทนที่ช่องว่างผลิตภัณฑ์ประมาณ 5กรัม

$$PD = \frac{W_p}{V_v - \frac{W_s}{D_s}}$$

เมื่อ W_p = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (g)

V_v = ปริมาตรของภาชน (cm^3)

W_s = น้ำหนักของงา (g)

D_s = ความหนาแน่นของงา (g/cm^3)

- ขนาดของผลิตภัณฑ์หาจากการวัดค่าเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวด้วยเวอร์เนีย จำนวน 10 ชิ้น และ หาค่าเฉลี่ย

- Expansion Ratio (ER)

$$ER = \frac{D_P}{D_D}$$

เมื่อ D_P = Øของผลิตภัณฑ์ (mm)

D_D = Øของรูหน้าแปลน (mm)

- Porosity (P)

$$P = [1 - (PD / SD)] \times 100$$

เมื่อ SD = true density ของผลิตภัณฑ์(g/cm^3) = 1.4 g/cm^3

ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (Moisture Contain)

การคำนวณ

MC (%) = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ – น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ x 100

น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว
2. ข้าวโพดบดละเอียด(ความชื้น18%)
3. เครื่องชั่ง
4. กระบอกตวงขนาด 500 ml
5. ชามแสตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1. ก่อนที่จะดำเนินการทดลองให้ศึกษาส่วนประกอบที่สำคัญในแต่ละชิ้นส่วนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ พร้อมบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้วจึงทำการประกอบเครื่องเพื่อดำเนินการทดลอง

2. เตรียมวัตถุดิบเริ่มให้มีความชื้น 18%และ 20%การเตรียมทำโดยนำวัตถุดิบจำนวน 3 กิโลกรัมมาผสมกับน้ำที่อัตราส่วนต่างๆในชามผสม(อนึ่งให้คำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการก่อนนำมาผสมเพื่อให้ได้ค่าความชื้นของวัตถุดิบตามกำหนด)บันทึกน้ำหนักของน้ำที่ผสม

3. เปิดเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ปรับค่าอุณหภูมิของบาร์เรลที่ 100° C รอประมาณ 10 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่

4. ตั้งค่าความเร็วของสกรูที่ 620 rpm

5. เริ่มป้อนวัตถุดิบที่เตรียมไว้(ความชื้น18%) ปรับค่าอัตราการป้อนจากค่าความเร็วรอบของเกลียวป้อนวัตถุดิบให้คงที่ที่ 0.500 kg/min (ปรับอัตราการป้อนที่ 20 บนตัวปรับ)

6. เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้ หรือ Extrudate หลังการป้อนประมาณ 10 นาที

7. ปรับสภาวะการทำงานของสกรูเป็น 580 และ 540 รอบต่อนาที โดยเก็บตัวอย่างของเอกซ์ทรูเดตที่ได้หลังจากการปรับสภาวะการทำงาน 5 นาที

8. เมื่อได้ตัวอย่างของเอกซ์ทรูเดตที่ความชื้นเริ่มต้น 18 % ครบทุกตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ความเร็วรอบ สกรู 620, 580 และ 540 รอบต่อนาทีแล้วให้เปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ป้อนเป็นวัตถุดิบที่มีค่าความชื้นเป็น 20% แล้วเก็บตัวอย่างหลังการป้อน 5 นาทีโดยเก็บตัวอย่างเหมือนกับค่าความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ 18%

9. นำ เอกซ์ทรูเดตที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความชื้น ความหนาแน่น, ขนาด, Expansion ratio

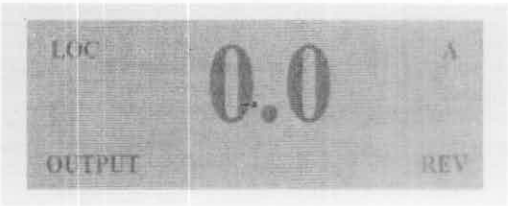
10. พล็อตเปรียบเทียบค่าที่ได้ในข้อ 7 กับความเร็วรอบต่างๆ

11. เขียนรายงานอภิปราย และสรุปผลที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการปรับความเร็วรอบสกรูของ Single Screw Extruder

1. เปิด Main switchหน้าจอจะแสดงผลดังรูปที่ ข.1



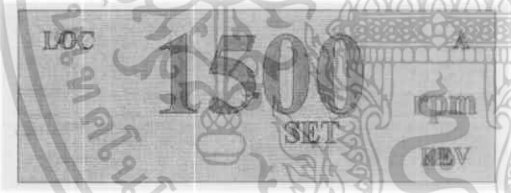
รูปที่ ข.1 หน้าจอแสดงผลเริ่มต้นการทำงาน

2. กด Enter หน้าจอจะแสดงผลดังรูปที่ ข.2

รูปที่ ข.2 หน้าจอแสดงผล REF

3.ในกรณีที่หน้าจอไม่แสดงผลดังรูปที่ ข.2 ให้ลูกศรเลื่อนลงจนหน้าจอแสดงคำว่า REF

4. กด ENTER จนหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 หน้าจอแสดงผลค่าความเร็วรอบ

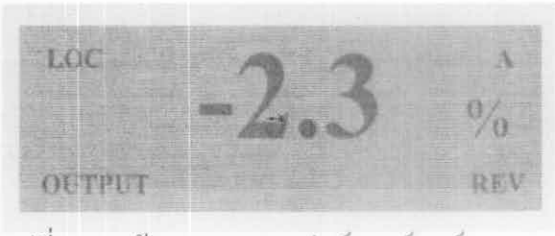
5. กดปุ่มลูกศรเลื่อนลงเพื่อปรับความเร็วรอบตามค่าที่ต้องการแล้วกด ENTER แล้วกดปุ่ม EXIT จนหน้าจอแสดงผลดังรูป ที่ ข.1

6. กดปุ่ม START เพื่อเริ่มการทำงานหน้าจอจะแสดงผลดังรูปที่ ข.4 ซึ่งแสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ หน่วยเป็น แอมป์ (A)

รูปที่ ข.4 หน้าจอแสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เมื่อต้องการจะให้แสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ทอร์กให้กดปุ่มลูกศรเลื่อนลงหน้าจอจะแสดงผล ดังรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 หน้าจอแสดงผลเปอร์เซนต์ทอร์ก

8.ในขณะที่เครื่องกำลังทำงานสามารถปรับความเร็วรอบเพิ่มเติมด้วยการกด ENETR เลือกฟังชันก์ REF หน้าจอก็จะแสดงความเร็วรอที่ตั้งไว้เดิม และกดลูกศรเพื่อเปลี่ยนความเร็วรอบได้ทันที

9. เมื่อต้องการหยุดการทำงานของเครื่องก็ให้กดปุ่ม STOP

วิธีการปรับความเร็วรอบอัตราการป้อน

หมุนปุ่มปรับที่อยู่บนตู้ควบคุมไปตามตัวเลขที่ต้องการ โดยที่ 10 หมายถึงอัตราการป้อน 0.167 kg/min ที่ 20 หมายถึงอัตราการป้อน 0.500 kg/min

รูปที่ ข.6 ตัวปรับอัตราการป้อน

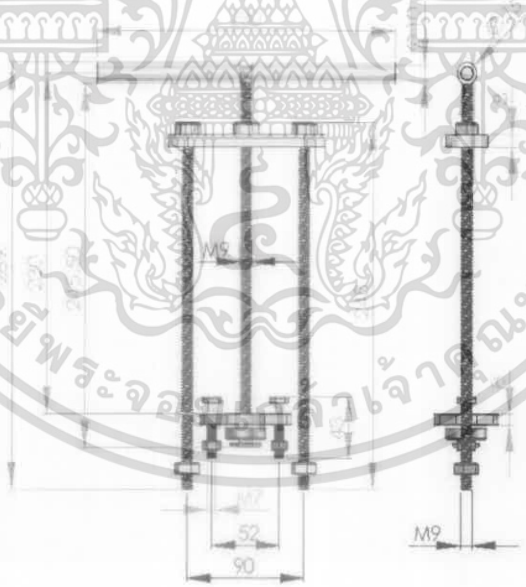
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการปรับอุณหภูมิบาร์เรล

กดตัวเลขอุณหภูมิที่ต้องการบนแผงควบคุมอุณหภูมิโดยมีตัวเลขทั้งหมด 3 หลัก

รูปที่ ข.7 ตัวปรับอุณหภูมิบาร์เรล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการช่วยถอดบาร์เรลและสกรู



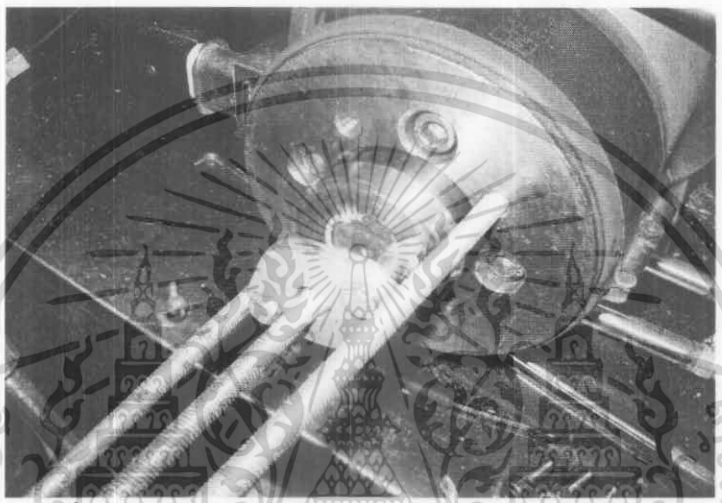
รูปที่ ข.8 อุปกรณ์ที่ใช้ช่วยถอดบาร์เรลและสกรู

ขั้นตอนการทำงาน

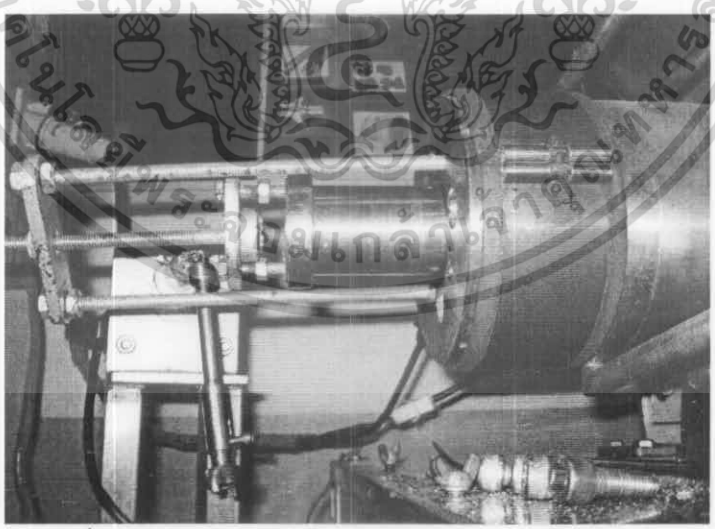
1. ถอดชุดหน้าแปลน (Die) ออก
2. ขันน๊อตตัวยาวยึดกับหน้าแปลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขันน็อตตัวเล็กยึดกับบาร์เรล
4. ขันสกรูตัวกลางเพื่อดึงบาร์เรลออกมา
5. นำสกรูและบาร์เรลที่ถอดออกมาไปเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิกอัดให้หลุดออกจากกัน
6. นำสกรูและบาร์เรลที่ถอดออกมาได้ไปแช่น้ำแล้วล้างให้สะอาด

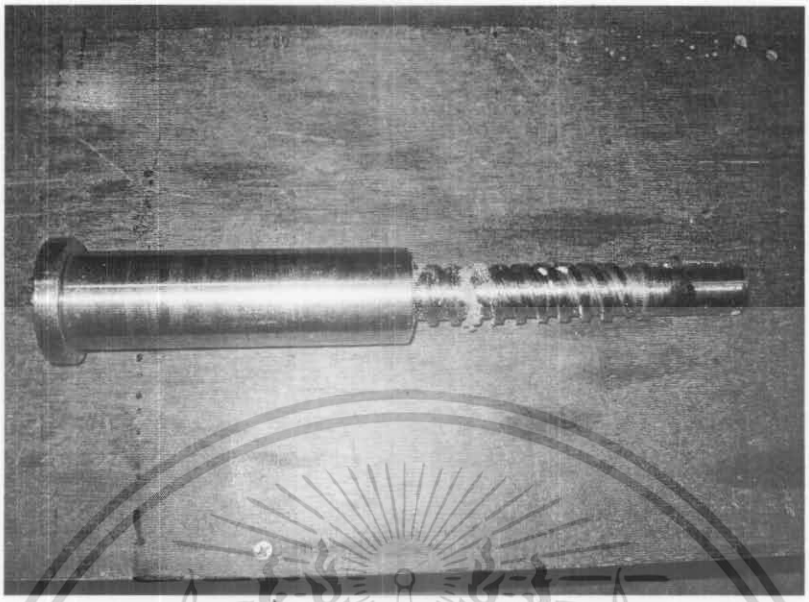


รูปที่ ข.9 การประกอบชุดฉีดเข้ากับหน้าแปลนและบาร์เรล



รูปที่ ข.10 การถอดบาร์เรลออกจากหน้าแปลน

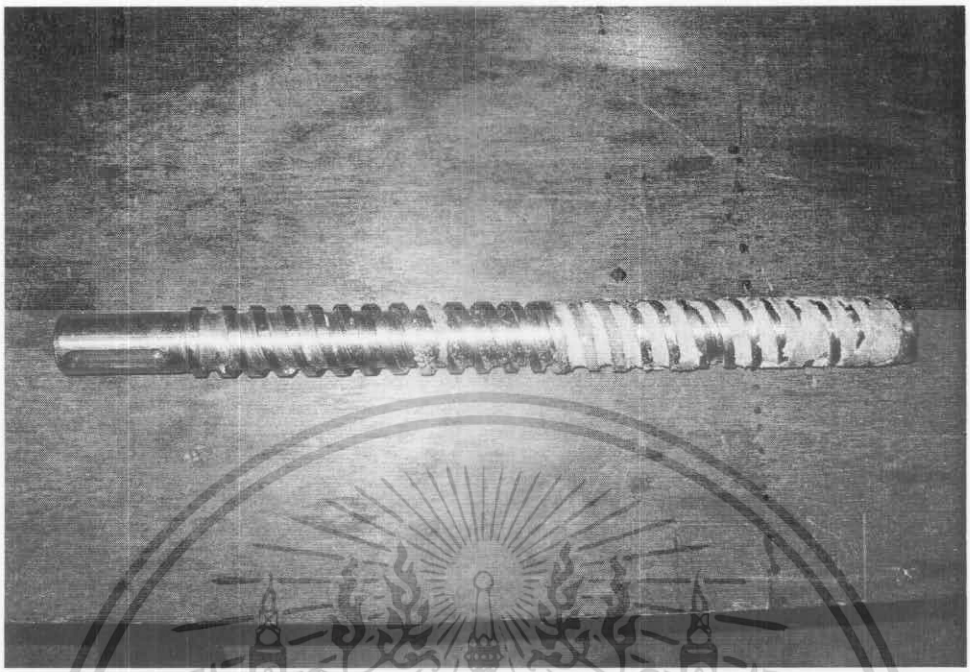
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 สกรูติดอยู่กับบาร์เรล

รูปที่ ข.12 การใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกอัดสกรูออกจากบาร์เรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.13 วัตถุดิบติดอยู่กับสกรู

รูปที่ ข.14 วัตถุดิบติดอยู่กับบาร์เรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
กลุ่ม 99 : Start – up Data				
9901	LANGUAGE	0…3	1	0
9902	APPLIC MACRO	-3…8	1	1
9904	MOTOR CTRL MODE	1=VECTOR: SPEED, 2=VECTOR: TORQUE, 3= SCALAR: SPEED	1	0
9905	MOTOR NOM VOLT	115…345 V	1 V	230 V
		01: 200…600 V / 02: 230…690 V	1V	01 : 400 V / U1 : 460 V
9906	MOOR NOM CURR	$0.2*I_{2hd}$ …$2.0*I_{2hd}$	0.1 A	$1.0I_{2hd}$
9907	MOTOR NOM FREQ	10.0…500Hz	0.1Hz	01 : 50 Hz / U1 : 60 Hz
9908	MOTOR NOM SPEED	50…30000 rpm	1rpm	Size dependent
9909	MOTOR NOM POWER	$0.2…3.0* P_{hd}$	01: 0.1 KW/ U1: 0.1 HP	$1.0* P_{hd}$
กลุ่ม 01: Operating Data				
0102	SPEED	0…30000 rpm	1 rpm	-
0103	OUTPUT FREQ	0.0…500.0 Hz	0.1 Hz	-
0104	CURRENT	$0…2.0* I_{2hd}$	0.1 A	-
0105	TORQUE	-200…200%	0.1%	-
0106	POWER	$-2.0…2.0* P_{hd}$	0.1 kW	-
0107	DC BUS VOLTAGE	$0…2.5*V_{dN}$	1 V	-
0109	OUTPUT VOLTAGE	$0…2.0* V_{dN}$	1V	-
0110	DRIVE TEMP	0….150° C	0.1 °C	-
0111	EXTERNAL REF 1	0…30000 rpm /0…500Hz	1 rpm/1 Hz	-
0112	EXTERNAL REF 2	0…100%(0…600% for torque)	0.1%	-
0113	CTRL LOCATION	0 = local, 1 = ext1, 2 = ext2	1	-
0114	RUN TIME (R)	0…9999h	1h	0 h
0115	KWH COUNTER (R)	0…9999 kWh	1 kWh	-
0116	APPL BLK OUTPUT	0…100%(0…600% for torque)	0.1%	-
0118	DI 1-3 STATUS	000…111 (0…7 decimal)	1	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
0119	DI 4-6 STATUS	000...111 (0...7 decimal)	1	-
0120	AI1	0...100%	0.1%	-
0121	AI2	0...100%	0.1%	-
0122	RO 1-6 STATUS	000...111 (0...7 decimal)	1	-
0123	RO 4-6 STATUS	000...111 (0...7 decimal)	1	-
0124	AO1	0...20 mA	0.1 mA	-
0125	AO2	0...20 mA	0.1 mA	-
0126	PID 1 OUTPUT	-1000...1000%	0.1%	-
0127	PID 2 OUTPUT	-100...100%	0.1%	-
0128	PID 1 SETPNT	Unit and scale defined by par.4006/4106 and 4007/4107	-	-
0129	PID 2 SETPNT	Unit and scale defined by par.4206 and 4207	-	-
0130	PID 1 FBK	Unit and scale defined by par.4006/4106 and 4007/4107	-	-
0131	PID 2 FBK	Unit and scale defined by par.4206 and 4207	-	-
0132	PID 1 DEVIATION	Unit and scale defined by par.4006/4106 and 4007/4107	-	-
0133	PID 1 DEVIATION	Unit and scale defined by par.4206 and 4207	-	-
0134	COMM RO WORLD	0...65535	1	0
0135	COMM VALUE 1	-32768...+32767	1	0
0136	COMM VALUE 2	-32768...+32767	1	0
0137	PROCESS VAR 1	-	1	
0138	PROCESS VAR 2	-	1	
0139	PROCESS VAR 3	-	1	
0140	RUN TIME	0...499.99 kh	0.01 kh	0 kh
0141	MWH COUNTER	0...9999 MWh	1MWh	-
0142	REVOLUTION CNTR	0...65535	1	0
0143	DRIVE ON TIME (HI)	Days	1 Day	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
0144	DRIVE ON TIME (LO)	hh.mm.ss	1 = 2s	0
0145	MOTOR REMP	-10…200 °C/0…5000 Ohm / 0…1	1	0
0146 0148	If used, see appropriate accessory documentation			
กลุ่ม 03: FB Actual Signals				
0301	FB CMD WORD 1	-	-	-
0302	FB CMD WORD 2	-	-	-
0303	FB STS WORD 1	-	-	-
0304	FB STS WORD 2	-	1	-
0305	FAULT WORD 1	-	1	0
0306	FAULT WORD 2	-	1	0
0307	FAULT WORD 3	-	1	0
0308	ALARM WORD 1	-	1	0
0309	ALARM WORD 2	-	1	0
กลุ่ม 04: Fault History				
0401	LAST FAULT	Fault codes(panel displays as text)	1	0
0402	FAULT TIME 1	Date dd.mm.yy /power-on time in days	1	0
0403	FAULT TIME 2	Time hh.mm. ss	2 s	0
0404	SPEED AT FLT	-	1 rpm	0
0405	FREQ AT FLT	-	0.1 Hz	0
0406	VOLTAGE AT FLT	-	0.1V	0
0407	CURRENT AT FLT	-	0.1A	0
0408	TORQUE AT FLT	-	0.1%	0
0409	STATUS AT FLT	-	1	0
0410	DI 1-3 AT FLT	000…111 (0…7decimal)	1	0
0411	DI 4-6 AT FLT	000…111 (0…7decimal)	1	0
0412	PREVIOUS FAULT 1	as Par.0401	1	0
0413	PREVIOUS FAULT 2	As Par 0401	1	0
กลุ่ม 10 : Start/Stop/Dir				
1001	EXT1 COMMANDS	0…14	1	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
1002	EXT2 COMMANDS	0…14	1	0
1003	DIRECTION	1…3	1	3
กลุ่ม 11 : Reference Select				
1101	KEYPAD REF SEL	1…2	1	1
1102	EXT1/EXT2 SEL	-6…12	1	0
1103	REF1 SELECT	0…17	1	1
1104	REF 1 MIN	0…500Hz / 0…30000rpm	0.1Hz/ 1 rpm	0
1105	REF 1 MAX	0…500Hz / 0…30000rpm	0.1Hz/ 1 rpm	1500 rpm
1106	REF2 SELECT	0…19	1	2
1107	REF2 MIN	0…100% (0…600% for torque)	0.1%	0
1108	REF2 MAX	0…100% (0…600% for torque)	0.1%	100%
กลุ่ม 12: Constant Speeds				
1201	CONST SPEED SEL	-14…19	1	9
1202	CONST SPEED 1	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	300 rpm
1203	CONST SPEED 2	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1204	CONST SPEED 3	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1205	CONST SPEED 4	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1206	CONST SPEED 5	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1207	CONST SPEED 6	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1208	CONST SPEED 7	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1209	TIMED MODEL SEL	1…2	1	2
กลุ่ม 13 : Analogue Inputs				
1301	MINIMUM AI1	0…100%	0.1%	0
1302	MAXIMUM AI1	0...100%	0.1%	100%
1303	FILTER AI1	0…10s	0.1s	0
1304	MINIMUM AI2	0…100%	0.1%	0
1305	MAXIMUM AI2	0…100%	0.1%	100%
1306	FILTER AI2	0…10s	0.1s	0.1 s
กลุ่ม 14 : Relay Outputs				
1401	RELAY OUTPUT 1	0…45	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
1402	RELAY OUTPUT 2	0…3600s	1	2
1403	RELAY OUTPUT 3	0…3600s	1	3
1404	RO 1 ON DELAY	0…3600s	1	0
1405	RO 1 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
1406	RO 2 ON DELAY	0…3600s	0.1s	0
1407	RO 2 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
1408	RO 3 ON DELAY	0…3600s	0.1s	0
1409	RO 3 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
1410	RELAY OUTPUT 4	0…45	1	0
1411	RELAY OUTPUT 5	0…45	1	0
1412	RELAY OUTPUT 6	0…45	1	0
1413	RO 4 ON DELAY	0…3600s	0.1s	0
1414	RO 4 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
1415	RO 5 ON DELAY	0…3600s	0.1s	0
1416	RO 5 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
1417	RO 6 ON DELAY	0…3600s	0.1s	0
1418	RO 6 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
กลุ่ม 15 : Analog Outputs				
1501	AO1 CONTENT SEL	99…199	1	103
1502	AO1 CONTENT MIN	-	-	0
1503	AO1 CONTENT MAX	-	-	50
1504	MINIMUM AO1	0.0…20.0 mA	0.1 mA	0
1505	MAXIMUM AO1	0.0…20.0 mA	0.1 mA	20.0 mA
1506	FILTER AO1	0…10 As	0.1s	0.1s
1507	OA2 CONTENT SEL	99...199	1	104
1508	AO1 CONTENT MIN	-	-	0
1509	AO1 CONTENT MAX	-	-	11.9
1510	MINIMUM AO2	0.0…20.0 mA	0.1 mA	0
1511	MAXIMUM AO2	0.0…20.0 mA	0.1 mA	20 mA
1512	FILTER AO2	0…10 s	0.1s	0.1 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
กลุ่ม 16: SYSTEM CONTROLS				
1601	RUN ENABLE	0...7,-1...-6	1	0.1
1602	PARAMETER LOCK	0...2	1	1
1603	PASS CODE	0...65535	1	0
1604	FAULT RESET SEL	0...8,-1...-6	1	0
1605	USER PAR SET CHG	0...6,-1...-6	1	0
1606	LOCAL LOCK	0...8,-1...-6	1	0
1607	PARAM SAVE	0 = DONE, 1 = SAVE	1	0
1608	START ENEBLE 1	0...7,-1...-6	1	0
1609	START ENEBLE 2	0...7,-1...-6	1	0
1610	DISPLAY ALARMS	0...1	1	0
กลุ่ม 20 : Limit				
2001	MINIMUM SPEED	-30000...30000 rpm	1 rpm	0.1
2002	MAXIMUM SPEED	0...30000 rpm	1rpm	1500 rpm
2003	MAX CURRENT	0...1.8* I_{2hd}	0.1 A	21.4 A
2005	OVERVOLT CTRL	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	1
2006	UNDERVOLT CTRL	0 = DISABLE, 1 = ENABLE (TIME) 2 = ENABLE	1	1
2007	MINIMUM FREQ	-500...500Hz	0.1Hz	0
2008	MAXIMUM FREQ	0...500 Hz	0.1 Hz	50 Hz
2013	MIN TORQUE SEL	0...7,-1...-6	1	10
2014	MAX TORQUE SEL	0...7,-1...-6	1	0
2015	MIN TORQUE 1	-600.0%...0%	0.1 %	-300.0%
2016	MIN TORQUE 2	-600.0%...0%	0.1 %	-300.0%
2017	MAX TORQUE 1	0%...600.0%	0.1 %	300.0%
2018	MAX TORQUE 2	0%...600.0%	0.1 %	300.0%
กลุ่ม 21: Start / Stop				
2101	START FUNCTION	1...5	1	1
2102	STOP FUNCTION	1 = COAST, 2 = RAMP	1	1
2103	DC MAGN TIME	0...10s	0.1 s	0.3 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
2104	DC CURR CTL	0,2	-	0
2105	DC HOLD SPEED	0…360rpm	1rpm	5 rpm
2106	DC CURR REF	0%...100%	1%	30
2107	DC BREAK TIME	0…250s	0.1s	0
2108	START INHIBIT	0 = OFF, 1 = ON	1	0
2109	EM STOP SEL	0…6, -1…-6	1	0
2110	TORQ BOOST CURR	15…300%	1	100%
กลุ่ม 22: Accel / Decel				
2201	ACC/DEC 1/2 SEL	0…7,-1…-6	1	5
2202	ACCELER TIME 1	0.0…1800s	0.1 s	5
2203	DECELER TIME 1	0.0…1800s	0.1 s	5
2204	RAMP SHAPE 2	0 = LINEAR; 0.1…1000.0 s	0.1 s	0
2205	ACCELER TIME 2	0.0…1800s	0.1 s	60 s
2206	DECELER TIME 2	0.0…1800s	0.1 s	60 s
2207	RAMP SHAPE 2	0 = LINEAR; 0.1…1000.0 s	0.1 s	0
2208	EM DEC TIME	0.0…1800s	0.1 s	1 s
2209	RAMP INPUT 0	0…6,-1…-6	1	0
กลุ่ม 23 : SPEED CONTROL				
2301	PROP GAIN	0.00…200.0	0.01	10
2302	INTEGRATION TIME	0…600.00s	0.01s	2.5 s
2303	DERIVATION TIME	0…10000ms	1 ms	0
2304	ACC OMPENSATION	0…600.00s	0.01s	0
2305	AUTOTUNE RUN	0…6,-1…-6	1	0
กลุ่ม 24 : TORQUE CONTROL				
2401	TORQ RAMP UP	0.00…120.00s	0.01 s	0
2402	TORQ RAMP DOWN	0.00…120.00s	0.01 s	0
กลุ่ม 25 : CRITICAL SPEEDS				
2501	CRIT SPEED SEL	0 = OFF, 1 = ON	1	0
2502	CRIT SPEED 1 LO	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0
2503	CRIT SPEED 1 HI	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
2504	CRIT SPEED 2 LO	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0
2505	CRIT SPEED 2 HI	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0
2506	CRIT SPEED 3 LO	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0
2507	CRIT SPEED 3 HI	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0
กลุ่ม 26 : MOTOR CONTROL				
2601	FLUX OPTIMIZATION	0 = OFF, 1 = ON	1	0
2602	FLUX BRAKING	0 = OFF, 1 = ON	1	0
2603	IR COMP VOLT	0…100 V	1	8.4 V
2604	IR COMP FREQ	0…100%	1	80%
2605	U/F RATIO	1 = LINEAR, 2 = SQUARE	1	1
2606	SWITCHING FREQ	1, 4, 8, 12 kHz	-	4 kHz
2607	SW FREQ CTRL	0 = OFF, 1 = ON	-	1
2608	SLIP COMP RATIO	0…200%	1	0
2609	NOISE SMOOTHING	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
กลุ่ม 26 : MAINTENANCE TRIG				
2901	COOLING FAN TRIG	0.0…6553.5 kH	0.1 kH	0
2902	COOLING FAN ACT	0.0…6553.5 kH	0.1 kH	0
2903	REVOLUTION TRIG	0…65535MRev	1 MRev	0
2904	REVOLUTION ACT	0…65535MRev	1 MRev	0
2905	RUN TIME TRIG	0.0…6553.5 kH	0.1 kH	0
2906	RUN TIME ACT	0.0…6553.5 kH	0.1 kH	0
2907	USER MWH TRIG	0…65535MWh	0.1 MWh	0
2901	USER MWH ACT	0…65535MWh	0.1 MWh	0
กลุ่ม 30 : FAULT FUNCTION				
3001	AI < MIN FUNTION	0…3	1	0
3002	PANEL COMM ERR	1…3	1	0
3003	EXTERNAL FAULT 1	0…6, -1…-6	1	0
3004	EXTERNAL FAULT 2	0…6, -1…-6	1	0
3005	MOT THERM PROT	0 = NOT SEL, 1 = FAULT, 2 = WARNING	1	0
3006	MOT THERM TIME	256…999s	1	500 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
3007	MOT LOAD CURVE	50…150%	1	100%
3008	ZERO SPEED LOAD	25…150%	1	70%
3009	BREAK POINT FREQ	1…250Hz	1	35 Hz
3010	STALL FUNCTION	0…2	1	0
3011	STALL FREQUENCY	0.5…50Hz	0.1Hz	20 Hz
3012	STALL TIME	10…400 s	1 s	20 Hz
3013	UNDERLOAD FUNC	0 = NOT SEL, 1 = FAULT, 2 = WARNING	-	0
3014	UNDERLOAD TIME	10…400 s	1 s	20 s
3015	UNDERLOAD CURVE	1…5	1	1
3017	EARTH FAULT	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	1
3018	COMM FAULT FUNC	0 = NOT SEL, 1 = FAULT, 2 = CONST SP 7, 3 = LAST SPEED	1	0
3019	COMM FAULT TIME	0…60.0s	0.1 s	3 s
3021	AI1 FAULT LIMIT	0…100%	0.1%	0
3022	AI2 FAULT LIMIT	0…100%	0.1%	0
3023	WIRING FAULT	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	1
กลุ่ม 31 : AUTOMATIC RESET				
3101	NR OF TRIALS	0…5	1	0
3102	TRIAL TIME	1.0…600.0 s	0.1 s	30 s
3103	DELAY TIME	0.0…120.0 s	0.1 s	0
3104	AR OVERCURRENT	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
3105	AR OVERVOLTAGE	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
3106	AR UNDERVOLTAGE	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
3107	AR AI < MIN	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
3108	AR EXTERNAL FLT	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
กลุ่ม 32 : SUPERVISION				
3201	SUPERV 1 PARAM	101…109	1	103
3202	SUPERV 1 LIM LO	-	-	50
3203	SUPERV 1 LIM HI	-	-	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
3204	SUPERV 2 PARAM	101...109	1	104
3205	SUPERV 2 LIM LO	-	-	11.9
3206	SUPERV 2 LIM HI	-	-	11.9
3207	SUPERV 3 PARAM	101...109	1	105
3208	SUPERV 3 LIM LO	-	-	100
3209	SUPERV 3 LIM HI	-	-	100
กลุ่ม 33 : INFORMATION				
3301	FW VERSION	0000...FFFF hex	1	-
3302	LP VERSION	0000...FFFF hex	1	-
3303	TEST DATE	yy.ww	1	-
3304	DRIVE RATING	-	-	-
กลุ่ม 34 : PANEL DISPLAY / PROCESS VARIABLES				
3401	SIGNAL 1 PARAM	100 - 199	1	101
3402	SIGNAL 1 MIN	-	1	0
3403	SIGNAL 1 MAX	-	1	0
3404	OUTPUT 1 DSP FORM	0...9	1	0
3405	OUTPUT 1 UNIT	0...127	1	0
3406	OUTPUT 1 MIN	-	1	0
3407	OUTPUT 1 MAX	-	1	0
3408	SIGNAL 2 PARAM	100 – 199	1	104
3409	SIGNAL 2 MIN	-	1	0
3410	SIGNAL 2 MAX	-	1	23.8
3411	OUTPUT 2 DSP FORM	0...8	1	9
3412	OUTPUT 2 UNIT	-128...127	1	1
3413	OUTPUT 2 MIN	-	1	0
3414	OUTPUT 2 MAX	-	1	23.8
3415	SIGNAL 3 PARAM	100...199	1	1.5
3416	SIGNAL 3 MIN	-	1	-200
3417	SIGNAL 3 MAX	-	1	200
3418	OUTPUT 3 DSP FORM	0...8	1	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
3419	OUTPUT 3 UNIT	-128...127	1	4
3420	OUTPUT 3 MIN	-	1	-200
3421	OUTPUT 3 MAX	-	1	200
กลุ่ม 35 : MOTOR TEMP MEAS				
3501	SENSOR TYPE	0...6	1	0
3502	INPUT SELECTION	1...8	1	1
3503	ALARM LIMIT	-10...200°C / 0...5000 Ohm / 0...1	1	0
3504	FAULT LIMIT	-10...200°C / 0...5000 Ohm / 0...1	1	0
กลุ่ม 36 : TIMER FUNCTIONS				
3601	TIMERS ENABLE	-6...7	1	0
3602	START TIME 1	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3603	STOP TIME 1	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3604	START DAY 1	1...7	1	1
3605	STOP DAY 1	1...7	1	1
3606	START TIME 2	00:00:00...23:59:58	2s	1 s
3607	STOP TIME 2	00:00:00...23:59:58	2s	0
3608	START DAY 2	1...7	1	1
3609	STOP DAY 2	1...7	1	1
3610	START TIME 3	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3611	STOP TIME 3	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3612	START DAY 3	1...7	1	1
3613	STOP DAY3	1...7	1	1
3614	START TIME 4	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3615	STOP TIME 4	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3616	START DAY 4	1...7	1	1
3617	STOP DAY 4	1...7	1	1
3622	BOOSTER SEL	-6...6	1	0
3623	BOOSTER TIME	00:00:00...23:59:58	2s	0
3624 ... 3628	TMC FUNC1...4 SRC	0...31	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
กลุ่ม 40 : PROCESS PID SET 1				
4001	GAIN	0.1...100	0.1	1
4002	INTEGRATION TIME	0.0s = NOT SEL, 0.1...3600 s	0.1 s	60 s
4003	DERIVATION TIME	0...10 s	0.1 s	0 s
4004	PID DERIV FILTER	0...10 s	0.1 s	1 s
4005	ERROR VALUE INV	0 = NO, 1 = YES	-	0
4006	UNITS	0...31	-	4
4007	UNIT SCALE	0...4	1	1
4008	0% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	100
4009	100% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	100
4010	SET POINT SEL	0...19	1	1
4011	INTERNAL SETPNT	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	40
4012	SETPOINT MIN	-500.0%...500.0%	1	0
4013	SETPOINT MAX	-500.0%...500.0%	1	100 %
4014	FBK SEL	1...10	-	1
4015	FBK MULTIPLIER	-32.768...32.767 (0 = NOT USED)	0.001	0
4016	ACT1 INPUT	1...2	-	2
4017	ACT2 INPUT	1...2	-	2
4018	ACT1 MINIMUM	-1000...1000%	1%	0%
4019	ACT1 MAXIMUM	-1000...1000%	1%	100%
4020	ACT2 MINIMUM	-1000...1000%	1%	0%
4021	ACT2 MAXIMUM	-1000...1000%	1%	100%
4022	SLEEP SELECTION	0...7,-1...-6	-	0
4023	PID SLEEP LEVEL	0...7200 rpm / 0.0...120Hz	1 rpm / 1 Hz	0
4024	PID SLEEP DELAY	0.0...3600 s	0.1 s	60
4025	WAKE – UP DEV	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	0
4026	WAKE – UP DELAY	0...60 s	0.01 s	0.5 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
4027	PID 1 PARAM SET	-6…11	1	0
กลุ่ม 41 :	PROCESS PID SET 2			
4101	GAIN	0.1…100	0.1	1.0
4102	INTEGRATION TIME	0.0s = NOT SEL, 0.1…3600 s	0.1 s	60 s
4103	DERIVATION TIME	0…10 s	0.1 s	0s
4104	PID DERIV FILTER	0…10 s	0.1 s	1 s
4105	ERROR VALUE INV	0 = NO, 1 = YES	-	0
4106	UNITS	0…31	-	4
4107	UNIT SCALE	0…4	1	1
4108	0% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	0.0%
4109	100% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	100%
4110	SET POINT SEL	0…19	1	1
4111	INTERNAL SETPNT	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	40.0%
4112	SET POINT MIN	-500.0%...500.0%	0.1%	0%
4113	SET POINT MAX	-500.0%...500.0%	0.1%	100%
4114	FBK SEL	1…10	1	1
4115	FBK MULTIPLIER	-32.768…32.767 (0 = NOT USED)	0.001	0
4116	ACT1 INPUT	1…5	-	2
4117	ACT2 INPUT	1…5	-	2
4118	ACT1 MINIMUM	-1000…1000%	1%	0%
4119	ACT1 MAXIMUM	-1000…1000%	1%	100%
4120	ACT2 MINIMUM	-1000…1000%	1%	0%
4121	ACT2 MAXIMUM	-1000…1000%	1%	100%
4122	SLEEP SELECTION	0…7,-1…-6	-	0
4123	PID SLEEP LEVEL	0…7200 rpm / 0.0…120Hz	1 rpm / 1 Hz	0 Hz
4124	PID SLEEP DELAY	0.0…3600 s	0.1 s	60s
4125	WAKE – UP DEV	Unit and scale defined by par.4006and 4007	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
4126	WAKE – UP DELAY	0…60 s	0.1 s	0.50 s
กลุ่ม 42 : EXT / TRIM PID				
4201	GAIN	0.1…100	0.1	1.0
4202	INTEGRATION TIME	0.0s = NOT SEL, 0.1…3600 s	0.1 s	60 s
4203	DERIVATION TIME	0…10 s	0.1 s	0 s
4204	PID DERIV FILTER	0…10 s	0.1 s	1 s
4205	ERROR VALUE INV	0 = NO, 1 = YES	-	0
4206	UNITS	0…31	-	4
4207	UNIT SCALE	0…4	1	1
4208	0% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	0%
4209	100% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	100%
4210	SET POINT SEL	0…19	1	1
4211	INTERNAL SETPNT	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	40.0%
4212	SET POINT MIN	-500.0%...500.0%	0.1%	0%
4213	SET POINT MAX	-500.0%...500.0%	0.1%	100%
4214	FBK SEL	1…10	-	1
4215	FBK MULTIPLIER	-32.768…32.767 (0 = NOT USED)	0.001	0
4216	ACT1 INPUT	1…5	-	2
4217	ACT2 INPUT	1…5	-	2
4218	ACT1 MINIMUM	-1000…1000%	1%	0%
4219	ACT1 MAXIMUM	-1000…1000%	1%	100%
4220	ACT2 MINIMUM	-1000…1000%	1%	0%
4221	ACT2 MAXIMUM	-1000…1000%	1%	100%
4228	ACTIVATE	-6…12	-	0
4229	OFFSET	0.0…100.0%	0.1%	0
4230	TRIM MODE	0…2	1	0
4231	TRIM SCALE	-100.0%…100.0%	0.1%	0%
4232	CORRECTION SRC	1…2	1	1(PID2 REF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
กลุ่ม 51 : EXT COMM MODULE				
5101	FBA TYPE	-	1	1024
5102... 5126	FBA PAR 2...26	0.65535	1	0
5127	FBA PAR REFRESH	0 = DONE, 1 = REFRESH	1	0
5128	FILE CPI FW REV	0...OxFFFF (hex)	1	-
5129	FILE CONFIG ID	0...OxFFFF (hex)	1	-
5130	FILE CONFIG REV	0...OxFFFF (hex)	1	0
5131	FBA STATUS	0...6	1	0
5132	FBA CPI FW REV	0...OxFFFF (hex)	1	0
5133	FBA APPL FW REV	0...OxFFFF (hex)	1	0
กลุ่ม 52 : PANEL COMMUNICATION				
5201	STATION ID	1...247	1	1
5202	BAUD RATE	9.6, 19.2, 38.4, 57.6, 115.2 kbits/s	-	9.6 kbits/s
5203	PARITY	0 = 8N1, 1 = 8N2, 2 = 8E1, 3 = 8O1	1	0
5204	OK MESSAGES	0...65535	1	-
5205	PARITY ERRORS	0...65535	1	0
5206	FRAME ERRORS	0...65535	1	0
5207	BUFFER OVERRUNS	0...65535	1	0
5208	CRC ERRORS	0...65535	1	0
กลุ่ม 53 : EFB PROTOCOL				
5301	EFB PROTOCOL ID	0...OxFFFF	1	-
5302	EFB STATION ID	0...65535	1	1
5303	EFB BAUD RATE	1.2, 2.4, 4.8,...38.4, 57.6, 76.8 kbits/s	-	9.6 kbits/s
5304	EFB PARITY	0 = 8N1, 1 = 8N2, 2 = 8E1, 3 = 8O1	1	0
5305	EFB CTRL PROFILE	0 = ABB DRV LIM, 1 = DCU PROFILE, 2 = ABB DRV FULL	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
5306	EFB OK MESSAGES	0...65535	1	0
5307	EFB CRC ERRORS	0...65535	1	0
5308	EFB UART ERRORS	0...65535	1	0
5309	EFB STATUS	0...65535	1	0
5310	EFB PAR 10	0...65535	1	0
5311	EFB PAR 11	0...65535	1	0
5312	EFB PAR 12	0...65535	1	0
5313	EFB PAR 13	0...65535	1	0
5314	EFB PAR 14	0...65535	1	0
5315	EFB PAR 15	0...65535	1	0
5316	EFB PAR 16	0...65535	1	0
5317	EFB PAR 17	0...65535	1	0
5318	EFB PAR 18	0...65535	1	0
5319	EFB PAR 19	0...OxFFFF (hex)	1	0
5320	EFB PAR 20	0...OxFFFF (hex)	1	0
กลุ่ม 81 : PFC CONTROL				
8103	REFERENCE STEP 1	0.0...100%	0.1%	0
8104	REFERENCE STEP 2	0.0...100%	0.1%	0
8105	REFERENCE STEP 3	0.0...100%	0.1%	0
8109	START FREQ 1	0.0...500 Hz	0.1 Hz	50 Hz
8110	START FREQ 2	0.0...500 Hz	0.1 Hz	50 Hz
8111	START FREQ 3	0.0...500 Hz	0.1 Hz	50 Hz
8112	LOW FREQ 1	0.0...500 Hz	0.1 Hz	25 Hz
8113	LOW FREQ 2	0.0...500 Hz	0.1 Hz	25 Hz
8114	LOW FREQ 3	0.0...500 Hz	0.1 Hz	25 Hz
8115	AUX MOT START D	0.0...3600 s	0.1 s; 1 s	5 s
8116	AUX MOT STOP D	0.0...3600 s	0.1 s; 1 s	3 s
8117	NR OF AUX MOT	0...4	1	1
8118	AUTOCHNG INTERV	0.0...336 h	0.1 h	0
8119	AUTOCHNG LEVEL	0.0...100.0%	0.1%	50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

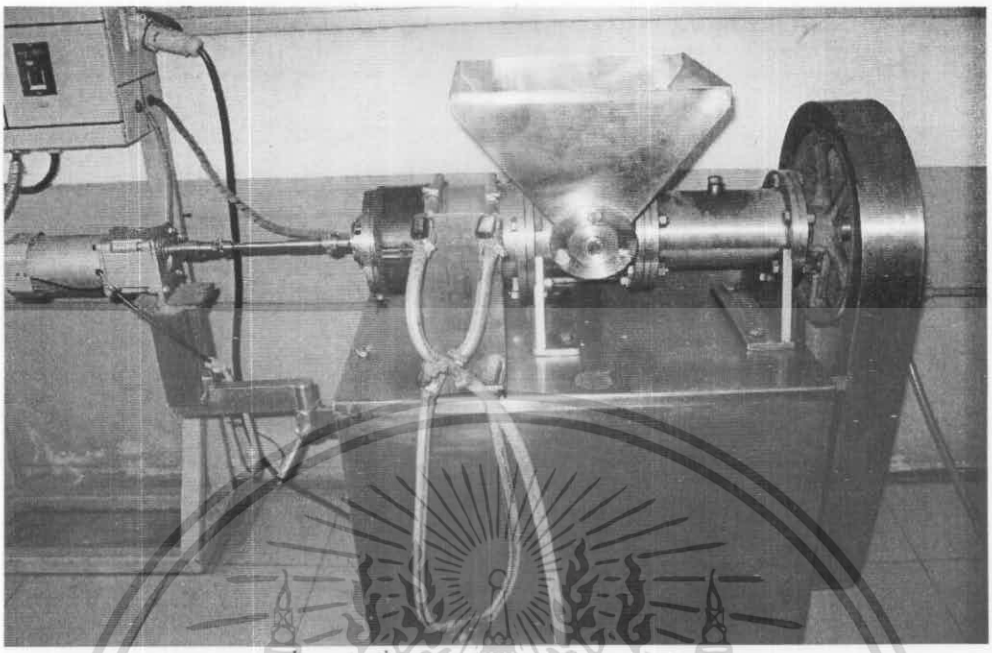
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
8120	INTERLOCKS	0...6	1	4
8121	REG BYPASS CTRL	0...1	1	0
8122	PFC START DELAY	0...10 s	0.01 s	0.5 s
8123	PFC ENABLE	0...1	-	0
8124	ACC IN AUX STOP	0.0...1800 s	0.1 s	0
8125	DEC IN AUX START	0.0...1800 s	0.1 s	0
8126	TIMED AUTOCHNG	0...4	1	0
8127	MOTORS	1...7	1	2
กลุ่ม 98 : OPTIONS				
9802	COMM PROT SEL	0...4	1	0

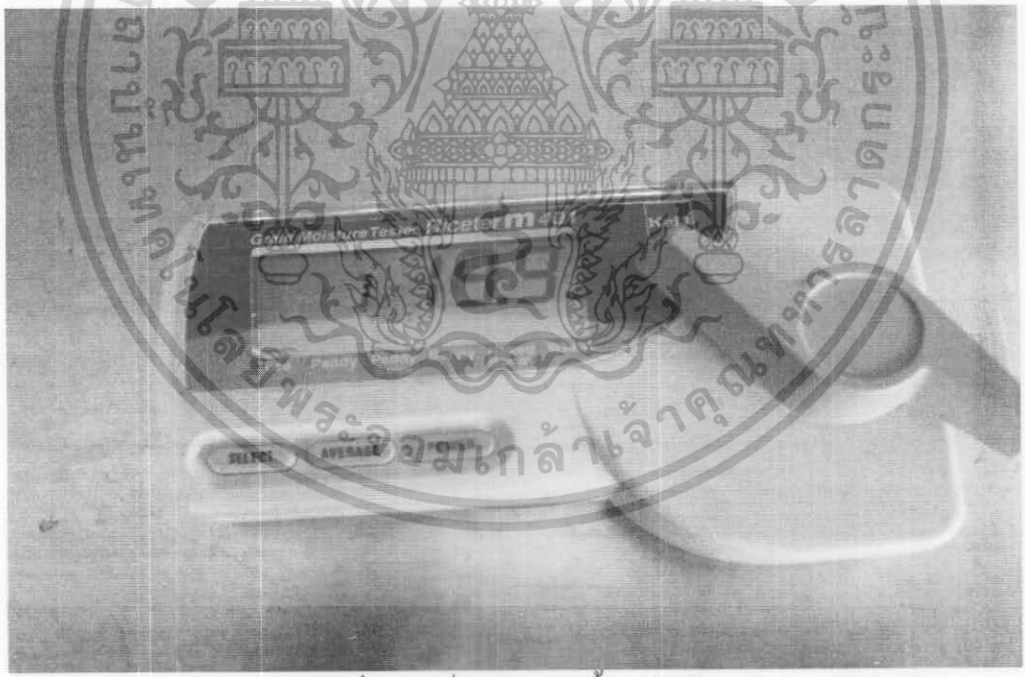
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

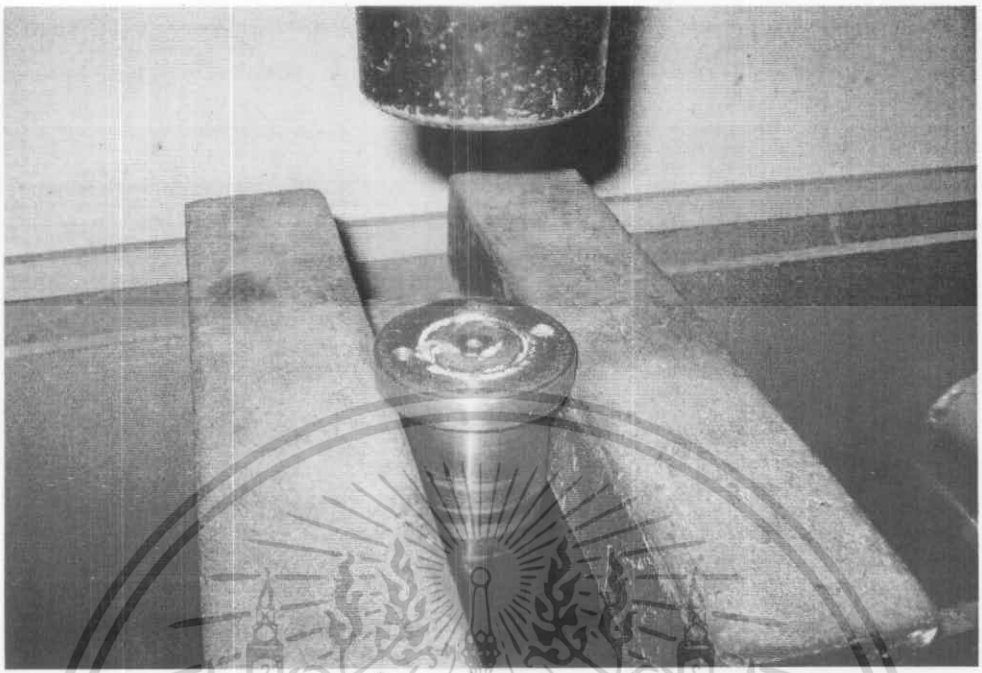


รูปที่ ค.1 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบซิงเกิลสกรู



รูปที่ ค.2 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช

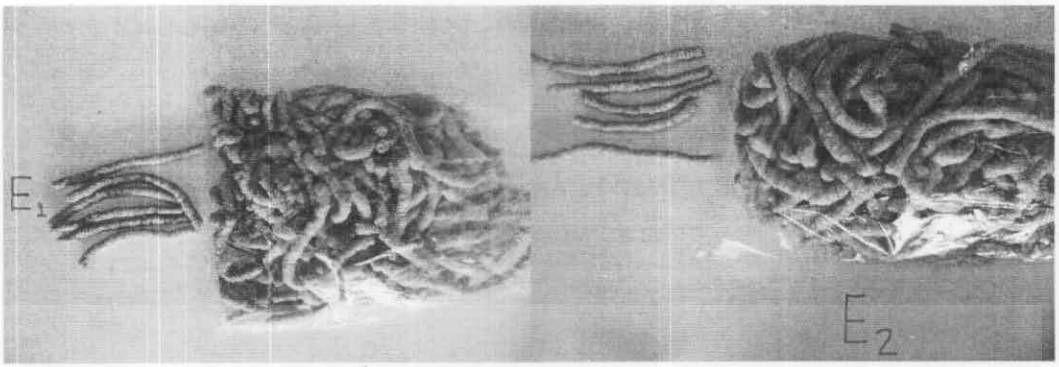
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



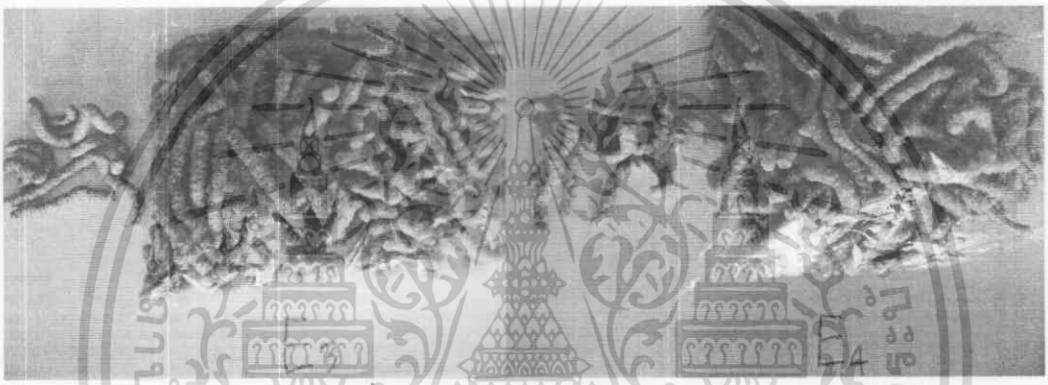
รูปที่ ค.3 เครื่องอัดไฮดรอลิก

รูปที่ ค.4 ข้าวโพดบดละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



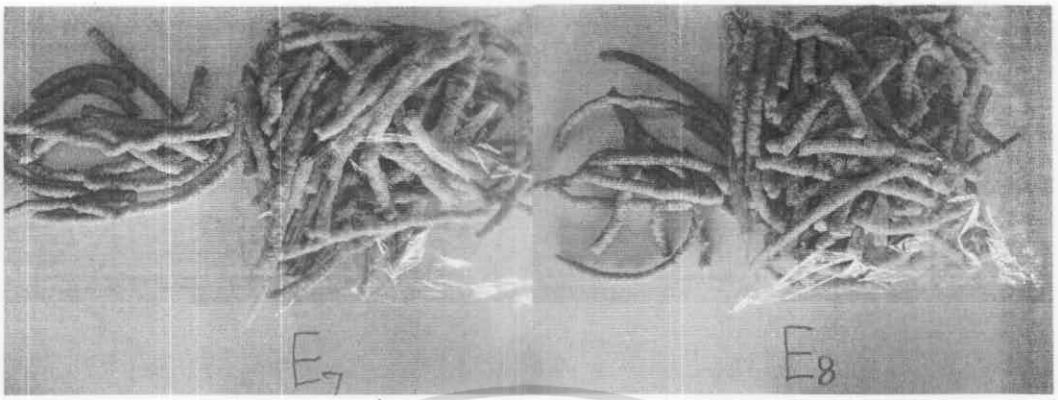
รูปที่ ค.5 เอกซ์ทรูเดดรหัส E1 และ E2



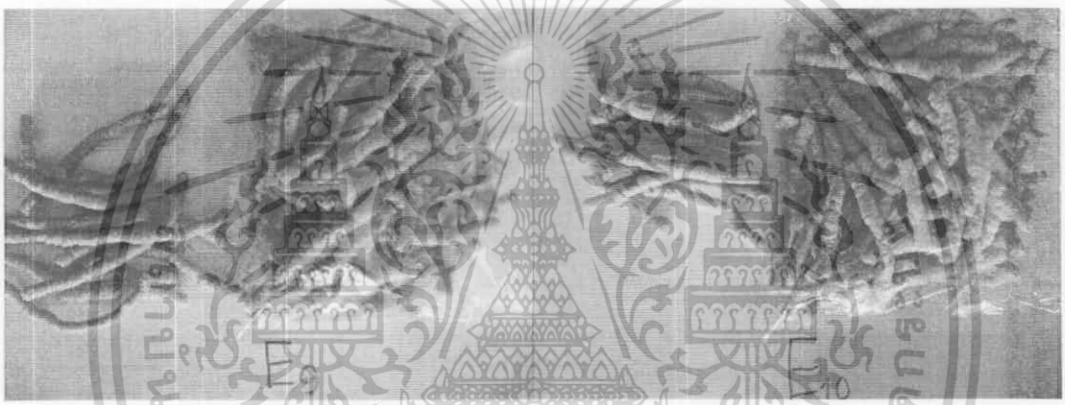
รูปที่ ค.6 เอกซ์ทรูเดดรหัส E3 และ E4

รูปที่ ค.7 เอกซ์ทรูเดดรหัส E5 และ E6

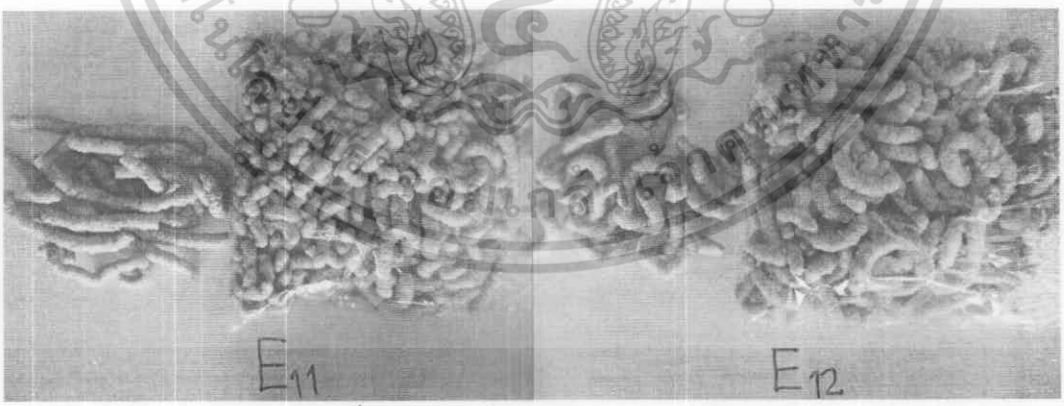
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.8 เอกซ์ทรูเดตรหัส E7 และ E8

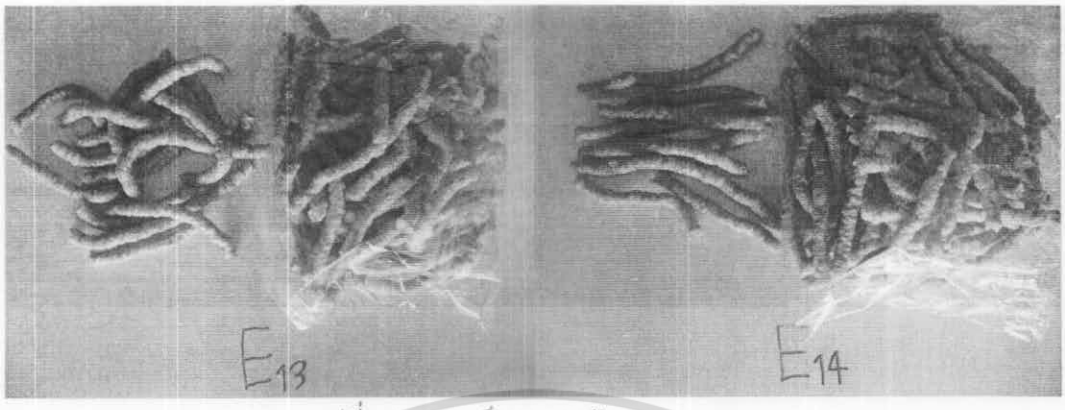


รูปที่ ค.9 เอกซ์ทรูเดตรหัส E9 และ E10

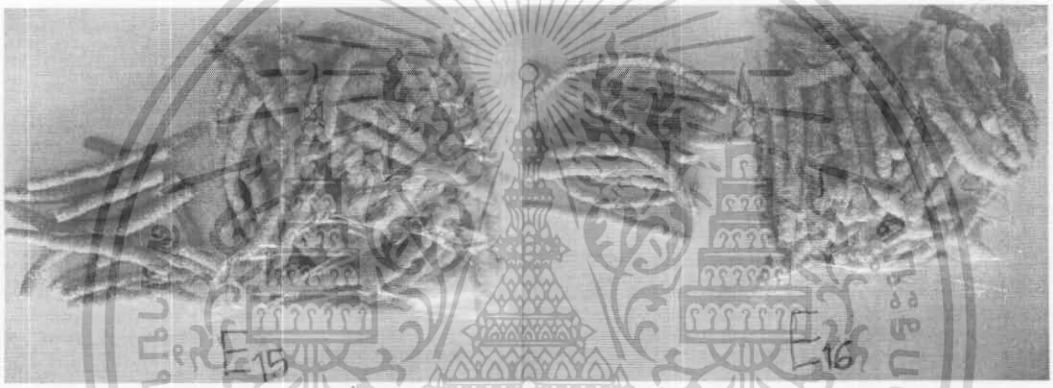


รูปที่ ค.10 เอกซ์ทรูเดตรหัส E11 และ E12

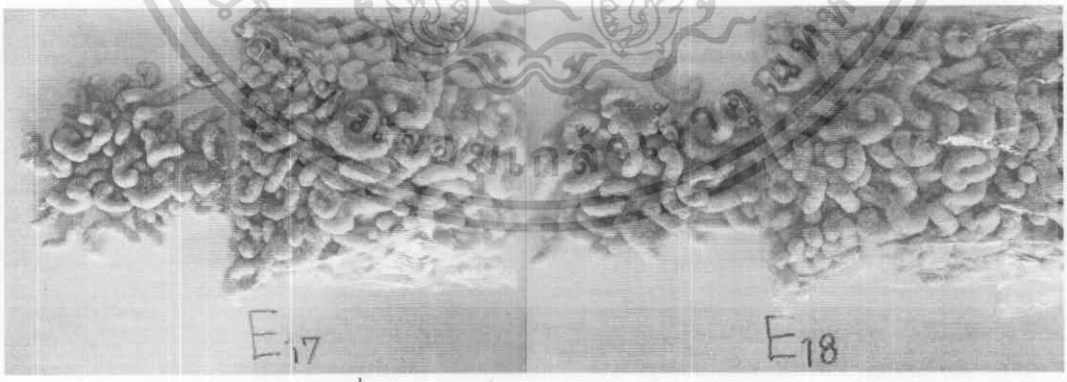
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.11 เอกซ์ทรูเดตรหัส E13 และ E14

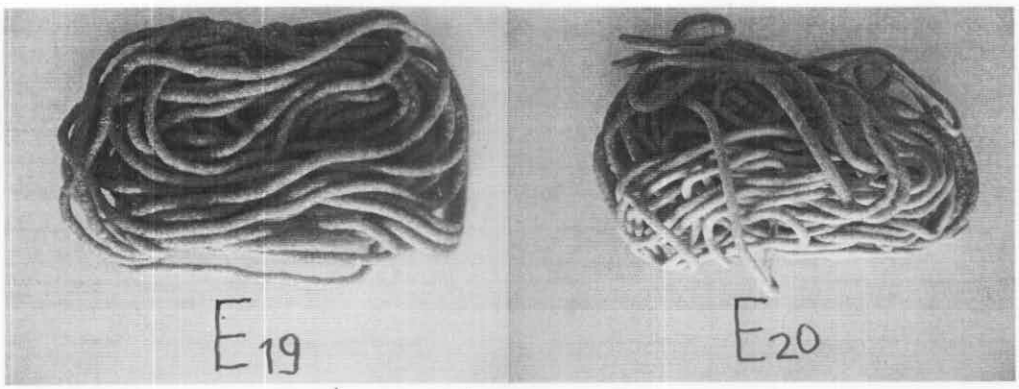


รูปที่ ค.12 เอกซ์ทรูเดตรหัส E15 และ E16

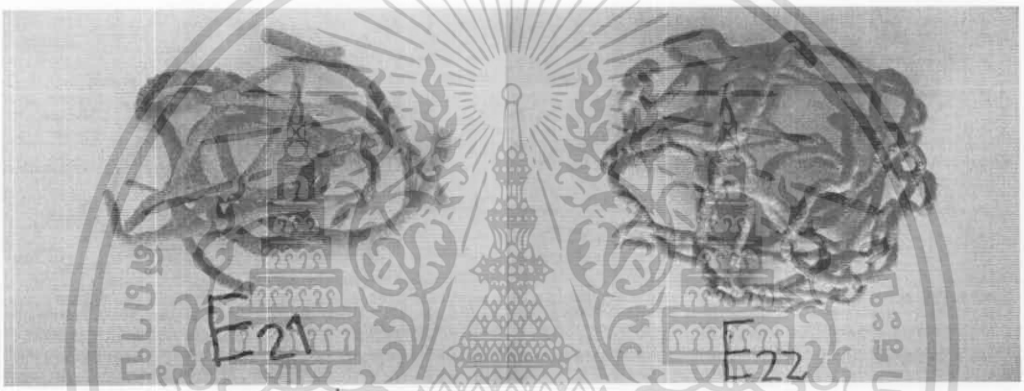


รูปที่ ค.13 เอกซ์ทรูเดตรหัส E17 และ E18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



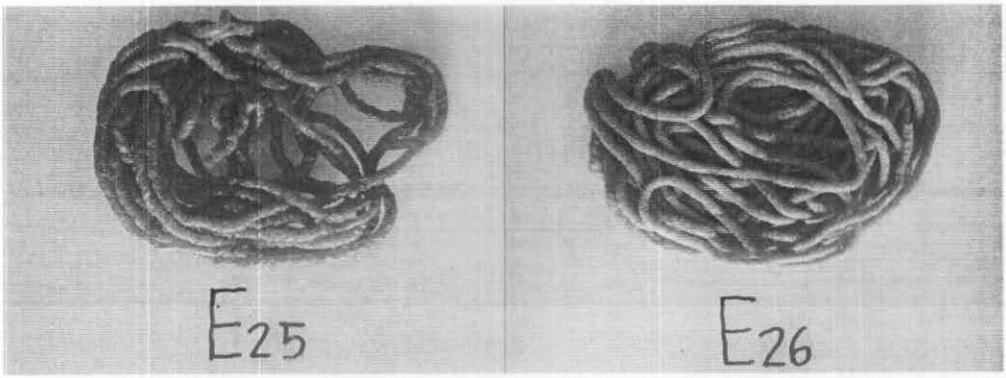
รูปที่ ค.14 เอกซ์ทรูเดตรหัส E19 และ E20



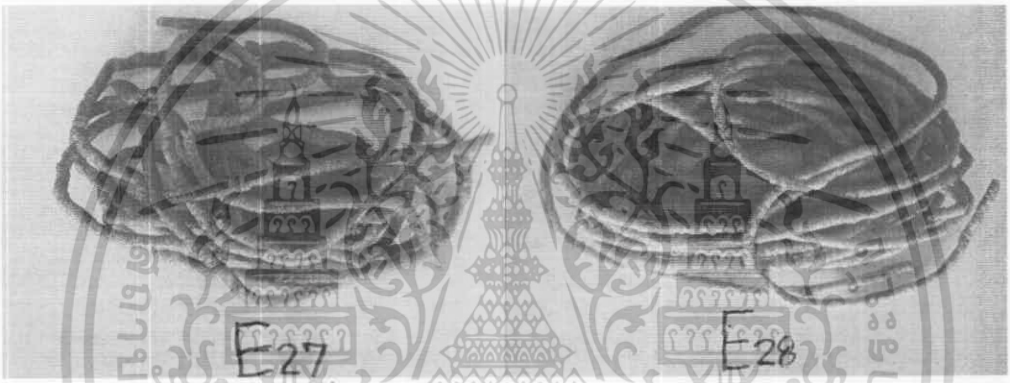
รูปที่ ค.15 เอกซ์ทรูเดตรหัส E21 และ E22

รูปที่ ค.16 เอกซ์ทรูเดตรหัส E23 และ E24

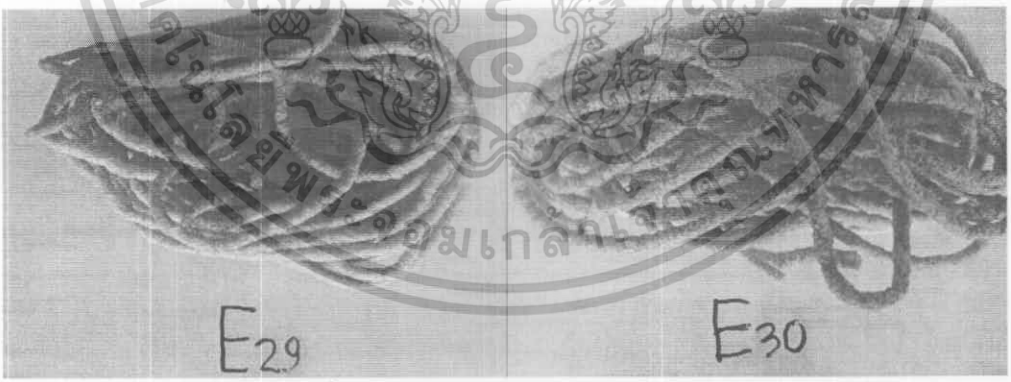
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.17 เอกซ์ทรูเดตรหัส E25 และ E26

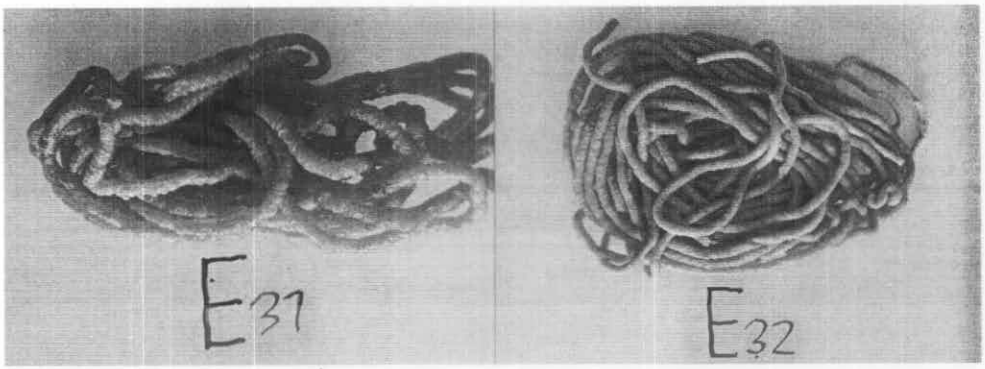


รูปที่ ค.18 เอกซ์ทรูเดตรหัส E27 และ E28

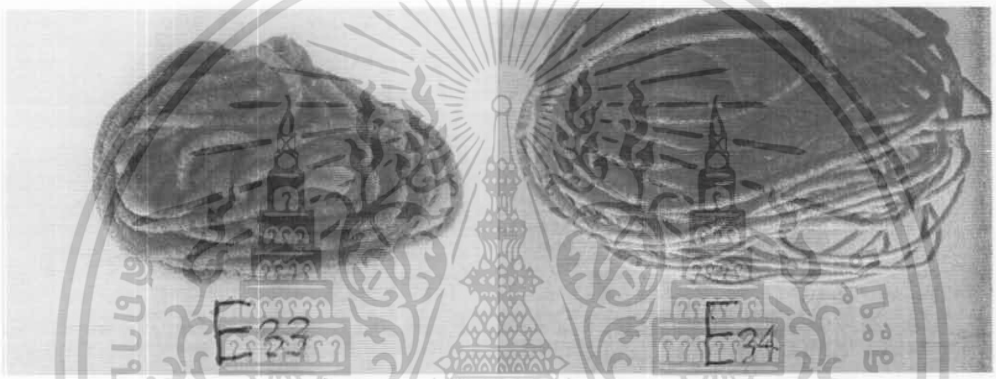


รูปที่ ค.19 เอกซ์ทรูเดตรหัส E29 และ E30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.20 เอกซ์ทรูเดตรหัส E31 และ E32



รูปที่ ค.21 เอกซ์ทรูเดตรหัส E33 และ E34

รูปที่ ค.22 เอกซ์ทรูเดตรหัส E35 และ E36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฤษณี อ่ำถนอม, สุพจน์ สุขบังและอุมาพร สุอังควาทิน.2549.การผลิตแบบเอกซ์ทรูชันโดยใช้วัตถุดิบจากปลายข้าวผสม.ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เทิดศักดิ์ คุปติมิตร , ปัทมา ผิวบางและวิภา เจริญวิทย์ ขจร.2547.ผลของอุณหภูมิบาร์เรล ความเร็วรอบ และความชื้นต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารจากปลายข้าวด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กมลวรรณ แจ้งชัด.2541.กระบวนการการแปรรูปอาหารโดยวิธีเอกซ์ทรูชั่น.วารสารอุตสาหกรรมเกษตร

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตย์.2544.หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิไล รังสาดทอง.2546.เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.สำนักพิมพ์เทกซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น. กรุงเทพ

วรวุฒิ บุญลี.2541.การศึกษาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์.ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Anderson , R.A. , Conway,H.F. , V.F.&Griffin , E.L. , Jr(1996), Gelatinization of corn grits by roll – and extrusion – cooking , Cereal Sci.Today , 14 , 4 – 12.

Chinnawamy , R and Hanna , M.A.(1988) , A Die – nozzle dimension effect on the expansion of extrusion – cooks corn starch , J . Food Sci.

Mercier C., P.Linko and J.M.Haper. Extrusion cooking.St. Paul, Min : American Association of Cereal Chemists 1989

Rao M.A, Syed S.H. Rizvi, and Ashi K. Datta. Engineering Properties of Foods.3 rd edition : Taylor & Francis Group , LLC. 2005.

Heldman D., and Singh P.Food Process Engineering. 2 nd edition : Westport, CT : AVI Publishing Co.1981

Avairible online at http://www.abb.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของเอกซ์ทรูเดต

- ค่าความชื้น
- อัตราส่วนการขยายตัว

ตารางที่ ก.1 ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต

รหัส	% ความชื้นของวัตถุดิบ (wb)	ความเร็วรอบ Main Screw (rpm)	อัตราการป้อนวัตถุดิบ (rpm)	อุณภูมิบาร์เรล °C	น.น. ภาชนะเปล่า (g)	น.น. ภาชนะ + Extrudate (g) ก่อนอบ	น.น. ภาชนะ + Extrudate (g) หลังอบ	% ความชื้นของ Extrudate (wb)
E1	18	620	6	60	0.7995	4.2020	3.8325	10.859
E2	18	620	14	60	0.9857	4.3825	4.0432	9.988
E3	18	620	6	80	0.7799	4.1601	3.8235	9.957
E4	18	620	14	80	0.7902	4.5616	4.2258	8.777
E5	18	620	6	100	0.6079	4.3604	4.0043	9.489
E6	18	620	14	100	0.7998	3.9523	3.6694	8.974
E7	18	580	6	60	0.7995	3.9871	3.6356	11.027
E8	18	580	14	60	0.7902	4.9926	4.5135	11.400
E9	18	580	6	80	0.6568	3.7077	3.3847	10.587
E10	18	580	14	80	0.6079	4.1398	3.7391	11.345
E11	18	580	6	10	0.6568	4.0827	3.7507	9.809
E12	18	580	14	10	0.9865	4.4772	4.1724	8.732
E13	18	540	6	60	0.7940	3.8821	3.5518	10.696
E14	18	540	14	60	0.7754	4.0754	3.7164	10.879
E15	18	540	6	80	0.7902	4.2734	3.9041	10.602
E16	18	540	14	80	0.7998	4.5348	4.1243	10.991
E17	18	540	6	100	0.7947	3.9479	3.6810	8.464

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (ต่อ)

E18	18	540	14	100	0.7754	4.3369	4.0013	9.423
E19	20	620	6	60	0.8027	4.2900	3.5263	21.899
E20	20	620	14	60	0.9932	5.2264	4.3817	19.954
E21	20	620	6	80	0.9890	6.5102	5.3296	21.305
E22	20	620	14	80	0.6568	4.8526	4.0498	19.133
E23	20	620	6	100	0.7996	3.9534	3.4025	17.468
E24	20	620	14	100	0.9869	5.6589	4.9150	15.922
E25	20	580	6	60	0.7741	5.6824	4.6886	20.247
E26	20	580	14	60	0.6565	4.8513	4.0524	19.045
E27	20	580	6	80	0.8027	4.4622	3.8188	17.583
E28	20	580	14	80	0.6568	4.7740	4.0795	16.868
E29	20	580	6	10	0.7937	4.4467	3.8760	12.787
E30	20	580	14	10	0.6565	4.4082	3.8340	15.305
E31	20	540	6	60	0.7937	6.0264	4.9612	20.356
E32	20	540	14	60	0.7741	4.8240	4.0500	19.111
E33	20	540	6	80	0.7937	6.1991	4.7037	18.520
E34	20	540	14	80	0.9869	4.3292	3.7800	16.431
E35	20	540	6	100	0.7741	4.5279	3.9280	15.981
E36	20	540	14	100	0.4985	3.5072	3.0745	14.382

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 อัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดต

ประเภท	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางผลิตภัณฑ์ (mm)											Øรูหน้าแปลน (mm)	อัตราส่วนการขยายตัว
	ต.ย.1	ต.ย.2	ต.ย.3	ต.ย.4	ต.ย.5	ต.ย.6	ต.ย.7	ต.ย.8	ต.ย.9	ต.ย.10	เฉลี่ย		
E1	12.10	11.10	11.90	12.40	11.10	12.20	12.12	12.10	11.30	12.50	11.89	4	2.972
E2	13.70	12.90	13.10	13.00	13.30	13.40	12.90	13.10	13.20	13.10	13.17	4	3.292
E3	12.60	11.90	12.00	11.50	11.30	12.40	12.10	11.90	12.20	12.10	12.00	4	3.000
E4	13.00	13.70	13.40	13.40	13.50	13.20	13.00	13.910	13.70	13.30	13.33	4	3.332
E5	13.10	12.40	13.20	12.40	13.20	12.20	12.40	12.10	12.70	12.80	12.67	4	3.167
E6	13.00	13.00	13.50	13.50	13.10	12.90	13.60	12.00	12.90	13.50	13.10	4	3.275
E7	11.40	11.80	12.60	12.00	11.10	12.60	11.40	12.40	12.50	12.00	11.98	4	2.995
E8	11.20	11.80	11.60	10.20	11.00	10.70	11.20	10.80	11.10	12.00	11.16	4	2.790
E9	12.60	12.50	12.70	12.00	12.00	11.90	11.80	11.40	11.70	11.90	12.05	4	3.012
E10	12.00	12.20	12.40	11.80	12.40	12.30	11.90	12.80	12.00	12.10	12.19	4	3.047
E11	12.70	13.00	11.50	12.30	12.00	11.90	12.20	13.20	13.40	13.00	12.25	4	3.062
E12	15.40	14.40	14.30	13.70	13.80	15.10	14.10	15.00	13.0	13.50	14.23	4	3.557
E13	10.40	12.10	12.20	12.30	11.70	12.30	11.70	12.20	11.10	12.30	11.83	4	2.957
E14	11.80	12.10	12.10	12.10	12.40	12.10	12.70	12.10	11.90	12.00	12.13	4	3.023
E15	11.50	12.20	12.30	11.80	12.20	11.60	12.30	12.20	11.50	12.50	12.01	4	3.002
E16	12.40	11.10	11.30	11.40	11.20	11.60	11.10	11.60	11.40	11.90	11.50	4	2.875
E17	13.20	12.30	12.40	12.10	12.60	12.50	13.30	12.90	12.60	12.10	12.60	4	3.150
E18	12.80	13.10	12.70	12.7	12.30	12.40	13.20	13.80	13.60	12.90	12.95	4	3.237

ตารางที่ ก.2 อัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดต (ต่อ)

E19	6.30	7.00	6.60	7.00	7.10	7.10	6.30	7.30	6.80	6.50	6.80	4	1.700
E20	6.40	6.10	7.60	7.60	7.40	7.60	6.60	6.10	6.20	6.60	6.82	4	1.705
E21	7.10	7.00	7.00	7.90	6.90	6.90	6.60	7.40	7.50	7.70	7.70	4	1.800
E22	7.00	5.00	5.00	6.20	5.50	7.40	6.50	7.30	6.60	6.00	6.25	4	1.560
E23	5.20	5.40	5.30	5.90	6.00	5.60	6.30	5.70	4.60	4.60	5.46	4	1.365
E24	4.00	3.40	5.00	4.20	5.10	4.80	4.30	4.40	3.80	4.50	4.35	4	1.087
E25	5.90	6.70	6.60	6.00	6.40	6.20	7.10	6.60	5.90	6.30	6.37	4	1.592
E26	6.40	6.40	6.10	6.10	5.80	6.50	7.20	6.70	6.70	6.00	6.39	4	1.590
E27	7.80	7.80	8.40	8.00	7.60	7.70	7.90	8.00	8.10	7.10	7.84	4	1.960
E28	8.00	7.90	7.50	7.90	8.30	7.90	7.80	8.00	8.30	8.40	7.98	4	1.995
E29	8.90	8.00	9.20	7.80	7.40	8.20	9.00	9.00	7.00	9.00	8.35	4	2.087
E30	9.30	9.00	9.20	8.90	9.40	9.80	8.20	8.00	8.40	8.90	8.25	4	2.062
E31	7.10	6.80	7.20	7.00	6.90	7.50	7.40	7.20	7.10	7.50	7.17	4	1.792
E32	5.60	5.50	6.70	6.20	5.90	6.20	6.30	6.60	6.40	5.70	6.11	4	1.527
E33	7.40	8.30	8.30	7.60	8.10	7.80	8.00	8.10	8.50	8.00	8.01	4	2.002
E34	7.80	7.50	7.70	7.40	6.90	7.20	7.80	7.50	7.60	7.50	7.49	4	1.872
E35	8.00	8.20	7.40	8.20	7.50	8.90	8.00	7.30	8.60	7.70	8.08	4	2.020
E36	8.40	9.60	7.30	7.70	9.6	9.70	8.20	9.50	9.00	7.20	8.62	4	2.155

ภาคผนวก ข

บทปฏิบัติการเรื่อง การผลิตอาหารแบบเกลียวอัด (Extrusion Cooking)

1.วัตถุประสงค์

- ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว
- ศึกษาผลกระทบค่าความชื้นของวัตถุดิบเริ่มต้นต่อคุณลักษณะที่ได้ของผลิตภัณฑ์

2.ทฤษฎี

การผลิตอาหารแบบเกลียวอัดนับเป็นกระบวนการแบบ (HTST) อย่างหนึ่ง สามารถผลิตอาหารภายในขั้นตอนเดียวโดยอาศัยสกรู ที่มีร่องเกลียว (Flight) หมุนอยู่ในท่อรูปทรงกระบอก (Barrel) ร่องเกลียวจะทำหน้าที่ลำเลียงอาหารเข้ามาในเครื่องและอัดผ่านรูหน้าแปลน (Die) ซึ่งเป็นช่องเปิดให้อาหารไหลออกจากเครื่องที่ปลายอีกด้านหนึ่งในระหว่างที่อาหารถูกลำเลียงผ่านเครื่องนั้นอาหารจะมีความดันและอุณหภูมิที่สูงขึ้นถึง 120 – 180 องศาเซลเซียส ภายในเวลาสั้นๆ (5-3นาที) และเมื่ออาหารผ่านรูหน้าแปลนทำให้เกิดค่าความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกเนื้ออาหารอย่างมากน้ำในอาหารจะระเหยออกจากอาหารอย่างรวดเร็วทำให้อาหารมีลักษณะพอง หรือควบคุมให้มีลักษณะอื่นที่ไม่พองด้วยการลดอุณหภูมิก่อนออกจากหน้าแปลน

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. Single – screw Extruder
2. Twin - screw Extruder

การคำนวณค่าต่างๆ

- แรงเฉือนที่ต้องการหาได้จาก สมการ π

$$P(W) = \tau\, NL\pi^2 D^2$$

$$\tau = \frac{P(W)}{LN\pi^2 D^2}$$

เมื่อ τ = แรงเฉือน (N/m^2)

N = ความเร็วรอบสกรู (1/s)

L = ความยาวยาวของ filledsection (m)

D = ϕ ของสกรู (m)

$P(W)$ = 3.95 (kw)

- Bulk Density (BD) ทำการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ในภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน

$$BD = W/V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ W = น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (g)

V = ปริมาตรภาชนะ (cm^3)

- Piece Density (PD) ความหนาแน่นของเนื้อผลิตภัณฑ์ โดยการใช้งาแทนที่ช่องว่างผลิตภัณฑ์ประมาณ 5กรัม

$$PD = \frac{W_p}{V_v - \frac{W_s}{D_s}}$$

เมื่อ W_p = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (g)

V_v = ปริมาตรของภาชน (cm^3)

W_s = น้ำหนักของงา (g)

D_s = ความหนาแน่นของงา (g/cm^3)

- ขนาดของผลิตภัณฑ์หาจากการวัดค่าเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวด้วยเวอร์เนีย จำนวน 10 ชิ้น และ หาค่าเฉลี่ย

- Expansion Ratio (ER)

$$ER = \frac{D_P}{D_D}$$

เมื่อ D_P = Øของผลิตภัณฑ์ (mm)

D_D = Øของรูหน้าแปลน (mm)

- Porosity (P)

$$P = [1 - (PD / SD)] \times 100$$

เมื่อ SD = true density ของผลิตภัณฑ์(g/cm^3) = 1.4 g/cm^3

ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดต (Moisture Contain)

การคำนวณ

MC (%) = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ – น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ x 100

น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว
2. ข้าวโพดบดละเอียด(ความชื้น18%)
3. เครื่องชั่ง
4. กระบอกตวงขนาด 500 ml
5. ชามแสตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1. ก่อนที่จะดำเนินการทดลองให้ศึกษาส่วนประกอบที่สำคัญในแต่ละชิ้นส่วนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ พร้อมบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้วจึงทำการประกอบเครื่องเพื่อดำเนินการทดลอง

2. เตรียมวัตถุดิบเริ่มให้มีความชื้น 18%และ 20%การเตรียมทำโดยนำวัตถุดิบจำนวน 3 กิโลกรัมมาผสมกับน้ำที่อัตราส่วนต่างๆในชามผสม(อนึ่งให้คำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการก่อนนำมาผสมเพื่อให้ได้ค่าความชื้นของวัตถุดิบตามกำหนด)บันทึกน้ำหนักของน้ำที่ผสม

3. เปิดเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ปรับค่าอุณหภูมิของบาร์เรลที่ 100° C รอประมาณ 10 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่

4. ตั้งค่าความเร็วของสกรูที่ 620 rpm

5. เริ่มป้อนวัตถุดิบที่เตรียมไว้(ความชื้น18%) ปรับค่าอัตราการป้อนจากค่าความเร็วรอบของเกลียวป้อนวัตถุดิบให้คงที่ที่ 0.500 kg/min (ปรับอัตราการป้อนที่ 20 บนตัวปรับ)

6. เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้ หรือ Extrudate หลังการป้อนประมาณ 10 นาที

7. ปรับสภาวะการทำงานของสกรูเป็น 580 และ 540 รอบต่อนาที โดยเก็บตัวอย่างของเอกซ์ทรูเดตที่ได้หลังจากการปรับสภาวะการทำงาน 5 นาที

8. เมื่อได้ตัวอย่างของเอกซ์ทรูเดตที่ความชื้นเริ่มต้น 18 % ครบทุกตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ความเร็วรอบ สกรู 620, 580 และ 540 รอบต่อนาทีแล้วให้เปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ป้อนเป็นวัตถุดิบที่มีค่าความชื้นเป็น 20% แล้วเก็บตัวอย่างหลังการป้อน 5 นาทีโดยเก็บตัวอย่างเหมือนกับค่าความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ 18%

9. นำ เอกซ์ทรูเดตที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความชื้น ความหนาแน่น, ขนาด, Expansion ratio

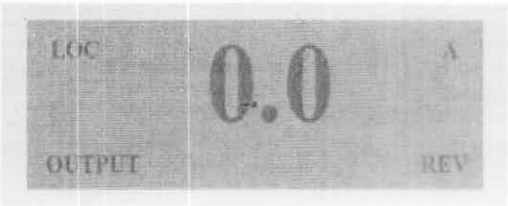
10. พล็อตเปรียบเทียบค่าที่ได้ในข้อ 7 กับความเร็วรอบต่างๆ

11. เขียนรายงานอภิปราย และสรุปผลที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการปรับความเร็วรอบสกรูของ Single Screw Extruder

1. เปิด Main switchหน้าจอจะแสดงผลดังรูปที่ ข.1



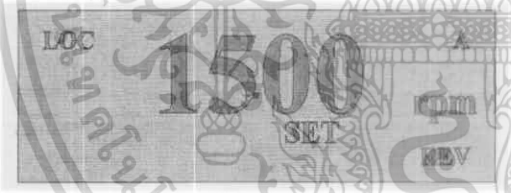
รูปที่ ข.1 หน้าจอแสดงผลเริ่มต้นการทำงาน

2. กด Enter หน้าจอจะแสดงผลดังรูปที่ ข.2

รูปที่ ข.2 หน้าจอแสดงผล REF

3.ในกรณีที่หน้าจอไม่แสดงผลดังรูปที่ ข.2 ให้ลูกศรเลื่อนลงจนหน้าจอแสดงคำว่า REF

4. กด ENTER จนหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 หน้าจอแสดงผลค่าความเร็วรอบ

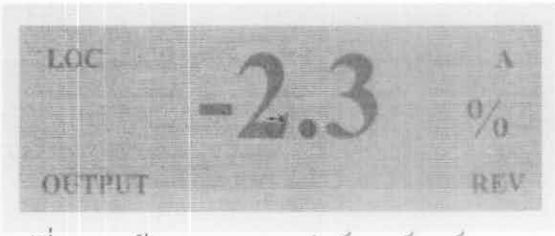
5. กดปุ่มลูกศรเลื่อนลงเพื่อปรับความเร็วรอบตามค่าที่ต้องการแล้วกด ENTER แล้วกดปุ่ม EXIT จนหน้าจอแสดงผลดังรูป ที่ ข.1

6. กดปุ่ม START เพื่อเริ่มการทำงานหน้าจอจะแสดงผลดังรูปที่ ข.4 ซึ่งแสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ หน่วยเป็น แอมป์ (A)

รูปที่ ข.4 หน้าจอแสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เมื่อต้องการจะให้แสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ทอร์กให้กดปุ่มลูกศรเลื่อนลงหน้าจอจะแสดงผล ดังรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 หน้าจอแสดงผลเปอร์เซนต์ทอร์ก

8.ในขณะที่เครื่องกำลังทำงานสามารถปรับความเร็วรอบเพิ่มเติมด้วยการกด ENETR เลือกฟังชันก์ REF หน้าจอก็จะแสดงความเร็วรอที่ตั้งไว้เดิม และกดลูกศรเพื่อเปลี่ยนความเร็วรอบได้ทันที

9. เมื่อต้องการหยุดการทำงานของเครื่องก็ให้กดปุ่ม STOP

วิธีการปรับความเร็วรอบอัตราการป้อน

หมุนปุ่มปรับที่อยู่บนตู้ควบคุมไปตามตัวเลขที่ต้องการ โดยที่ 10 หมายถึงอัตราการป้อน 0.167 kg/min ที่ 20 หมายถึงอัตราการป้อน 0.500 kg/min

รูปที่ ข.6 ตัวปรับอัตราการป้อน

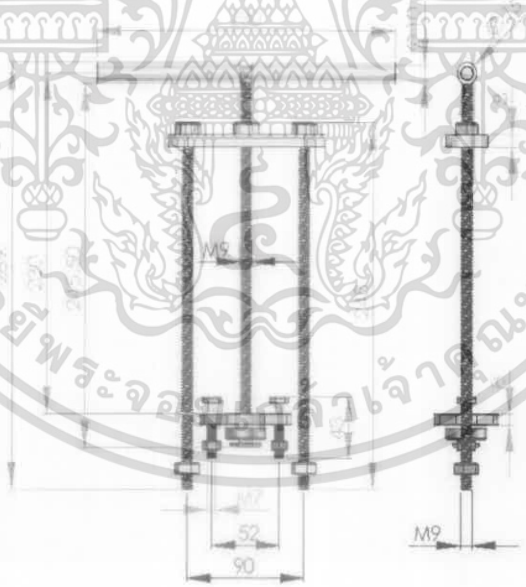
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการปรับอุณหภูมิบาร์เรล

กดตัวเลขอุณหภูมิที่ต้องการบนแผงควบคุมอุณหภูมิโดยมีตัวเลขทั้งหมด 3 หลัก

รูปที่ ข.7 ตัวปรับอุณหภูมิบาร์เรล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการช่วยถอดบาร์เรลและสกรู



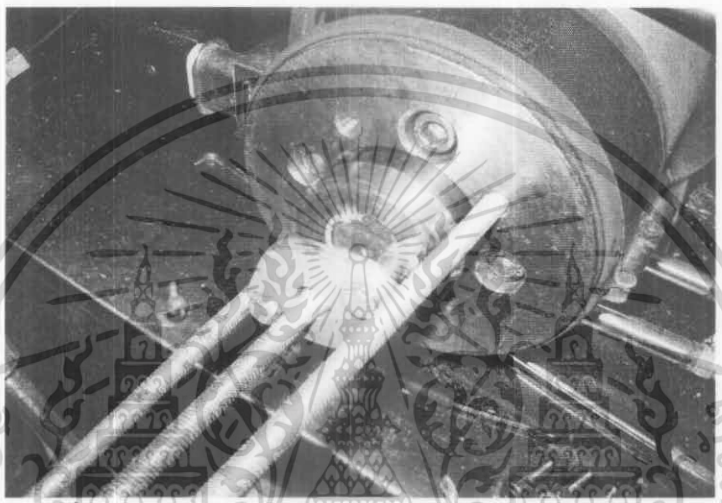
รูปที่ ข.8 อุปกรณ์ที่ใช้ช่วยถอดบาร์เรลและสกรู

ขั้นตอนการทำงาน

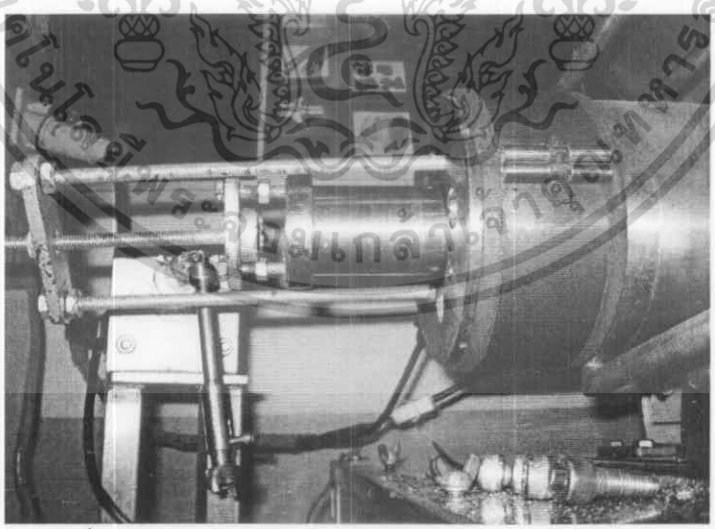
1. ถอดชุดหน้าแปลน (Die) ออก
2. ขันน๊อตตัวยาวยึดกับหน้าแปลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขันน็อตตัวเล็กยึดกับบาร์เรล
4. ขันสกรูตัวกลางเพื่อดึงบาร์เรลออกมา
5. นำสกรูและบาร์เรลที่ถอดออกมาไปเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิกอัดให้หลุดออกจากกัน
6. นำสกรูและบาร์เรลที่ถอดออกมาได้ไปแช่น้ำแล้วล้างให้สะอาด

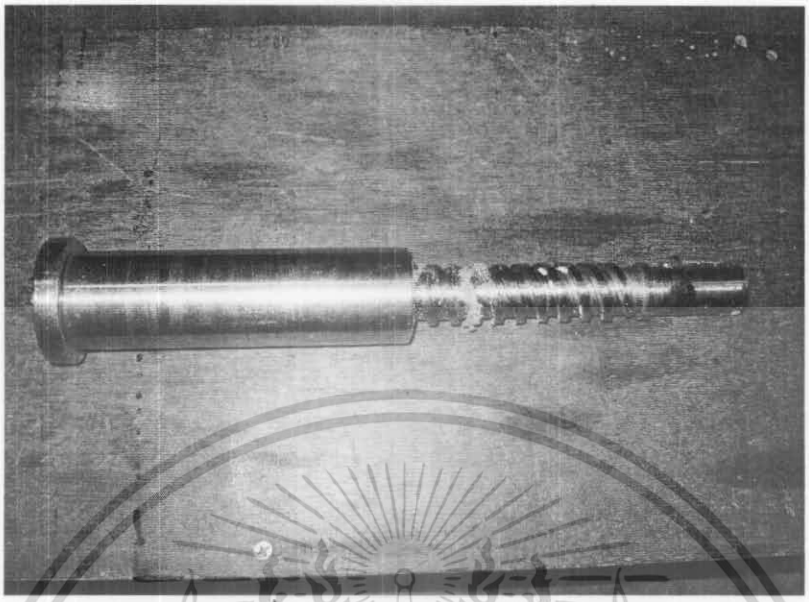


รูปที่ ข.9 การประกอบชุดฉีดเข้ากับหน้าแปลนและบาร์เรล



รูปที่ ข.10 การถอดบาร์เรลออกจากหน้าแปลน

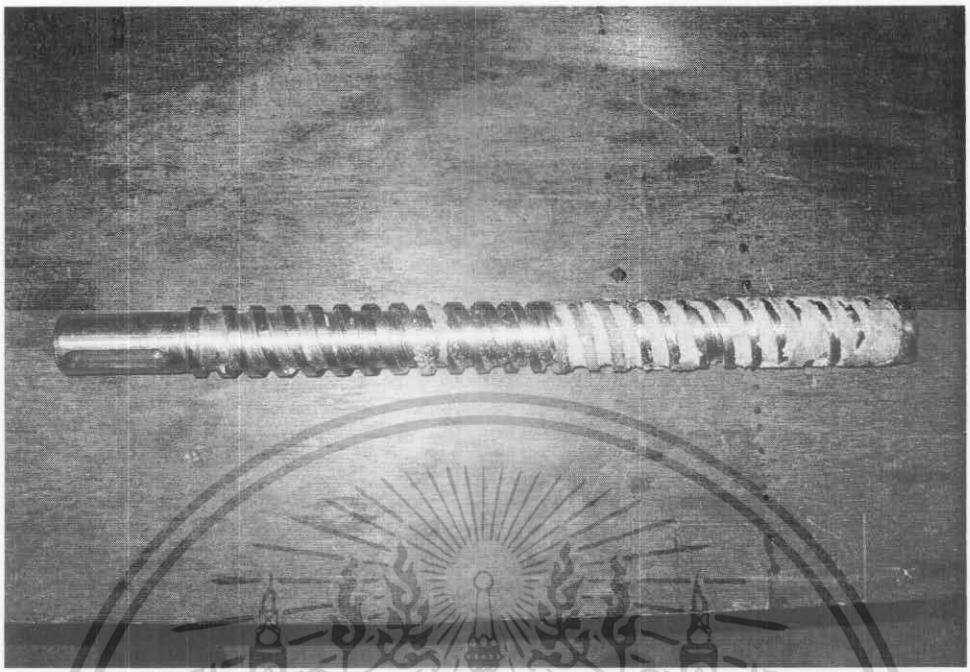
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 สกรูติดอยู่กับบาร์เรล

รูปที่ ข.12 การใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกอัดสกรูออกจากบาร์เรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.13 วัตถุดิบติดอยู่กับสกรู

รูปที่ ข.14 วัตถุดิบติดอยู่กับบาร์เรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
กลุ่ม 99 : Start – up Data				
9901	LANGUAGE	0…3	1	0
9902	APPLIC MACRO	-3…8	1	1
9904	MOTOR CTRL MODE	1=VECTOR: SPEED, 2=VECTOR: TORQUE, 3= SCALAR: SPEED	1	0
9905	MOTOR NOM VOLT	115…345 V	1 V	230 V
		01: 200…600 V / 02: 230…690 V	1V	01 : 400 V / U1 : 460 V
9906	MOOR NOM CURR	$0.2*I_{2hd}$ …$2.0*I_{2hd}$	0.1 A	$1.0I_{2hd}$
9907	MOTOR NOM FREQ	10.0…500Hz	0.1Hz	01 : 50 Hz / U1 : 60 Hz
9908	MOTOR NOM SPEED	50…30000 rpm	1rpm	Size dependent
9909	MOTOR NOM POWER	$0.2…3.0* P_{hd}$	01: 0.1 KW/ U1: 0.1 HP	$1.0* P_{hd}$
กลุ่ม 01: Operating Data				
0102	SPEED	0…30000 rpm	1 rpm	-
0103	OUTPUT FREQ	0.0…500.0 Hz	0.1 Hz	-
0104	CURRENT	$0…2.0* I_{2hd}$	0.1 A	-
0105	TORQUE	-200…200%	0.1%	-
0106	POWER	$-2.0…2.0* P_{hd}$	0.1 kW	-
0107	DC BUS VOLTAGE	$0…2.5*V_{dN}$	1 V	-
0109	OUTPUT VOLTAGE	$0…2.0* V_{dN}$	1V	-
0110	DRIVE TEMP	0….150° C	0.1 °C	-
0111	EXTERNAL REF 1	0…30000 rpm /0…500Hz	1 rpm/1 Hz	-
0112	EXTERNAL REF 2	0…100%(0…600% for torque)	0.1%	-
0113	CTRL LOCATION	0 = local, 1 = ext1, 2 = ext2	1	-
0114	RUN TIME (R)	0…9999h	1h	0 h
0115	KWH COUNTER (R)	0…9999 kWh	1 kWh	-
0116	APPL BLK OUTPUT	0…100%(0…600% for torque)	0.1%	-
0118	DI 1-3 STATUS	000…111 (0…7 decimal)	1	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
0119	DI 4-6 STATUS	000...111 (0...7 decimal)	1	-
0120	AI1	0...100%	0.1%	-
0121	AI2	0...100%	0.1%	-
0122	RO 1-6 STATUS	000...111 (0...7 decimal)	1	-
0123	RO 4-6 STATUS	000...111 (0...7 decimal)	1	-
0124	AO1	0...20 mA	0.1 mA	-
0125	AO2	0...20 mA	0.1 mA	-
0126	PID 1 OUTPUT	-1000...1000%	0.1%	-
0127	PID 2 OUTPUT	-100...100%	0.1%	-
0128	PID 1 SETPNT	Unit and scale defined by par.4006/4106 and 4007/4107	-	-
0129	PID 2 SETPNT	Unit and scale defined by par.4206 and 4207	-	-
0130	PID 1 FBK	Unit and scale defined by par.4006/4106 and 4007/4107	-	-
0131	PID 2 FBK	Unit and scale defined by par.4206 and 4207	-	-
0132	PID 1 DEVIATION	Unit and scale defined by par.4006/4106 and 4007/4107	-	-
0133	PID 1 DEVIATION	Unit and scale defined by par.4206 and 4207	-	-
0134	COMM RO WORLD	0...65535	1	0
0135	COMM VALUE 1	-32768...+32767	1	0
0136	COMM VALUE 2	-32768...+32767	1	0
0137	PROCESS VAR 1	-	1	
0138	PROCESS VAR 2	-	1	
0139	PROCESS VAR 3	-	1	
0140	RUN TIME	0...499.99 kh	0.01 kh	0 kh
0141	MWH COUNTER	0...9999 MWh	1MWh	-
0142	REVOLUTION CNTR	0...65535	1	0
0143	DRIVE ON TIME (HI)	Days	1 Day	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
0144	DRIVE ON TIME (LO)	hh.mm.ss	1 = 2s	0
0145	MOTOR REMP	-10…200 °C/0…5000 Ohm / 0…1	1	0
0146 0148	If used, see appropriate accessory documentation			
กลุ่ม 03: FB Actual Signals				
0301	FB CMD WORD 1	-	-	-
0302	FB CMD WORD 2	-	-	-
0303	FB STS WORD 1	-	-	-
0304	FB STS WORD 2	-	1	-
0305	FAULT WORD 1	-	1	0
0306	FAULT WORD 2	-	1	0
0307	FAULT WORD 3	-	1	0
0308	ALARM WORD 1	-	1	0
0309	ALARM WORD 2	-	1	0
กลุ่ม 04: Fault History				
0401	LAST FAULT	Fault codes(panel displays as text)	1	0
0402	FAULT TIME 1	Date dd.mm.yy /power-on time in days	1	0
0403	FAULT TIME 2	Time hh.mm. ss	2 s	0
0404	SPEED AT FLT	-	1 rpm	0
0405	FREQ AT FLT	-	0.1 Hz	0
0406	VOLTAGE AT FLT	-	0.1V	0
0407	CURRENT AT FLT	-	0.1A	0
0408	TORQUE AT FLT	-	0.1%	0
0409	STATUS AT FLT	-	1	0
0410	DI 1-3 AT FLT	000…111 (0…7decimal)	1	0
0411	DI 4-6 AT FLT	000…111 (0…7decimal)	1	0
0412	PREVIOUS FAULT 1	as Par.0401	1	0
0413	PREVIOUS FAULT 2	As Par 0401	1	0
กลุ่ม 10 : Start/Stop/Dir				
1001	EXT1 COMMANDS	0…14	1	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
1002	EXT2 COMMANDS	0…14	1	0
1003	DIRECTION	1…3	1	3
กลุ่ม 11 : Reference Select				
1101	KEYPAD REF SEL	1…2	1	1
1102	EXT1/EXT2 SEL	-6…12	1	0
1103	REF1 SELECT	0…17	1	1
1104	REF 1 MIN	0…500Hz / 0…30000rpm	0.1Hz/ 1 rpm	0
1105	REF 1 MAX	0…500Hz / 0…30000rpm	0.1Hz/ 1 rpm	1500 rpm
1106	REF2 SELECT	0…19	1	2
1107	REF2 MIN	0…100% (0…600% for torque)	0.1%	0
1108	REF2 MAX	0…100% (0…600% for torque)	0.1%	100%
กลุ่ม 12: Constant Speeds				
1201	CONST SPEED SEL	-14…19	1	9
1202	CONST SPEED 1	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	300 rpm
1203	CONST SPEED 2	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1204	CONST SPEED 3	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1205	CONST SPEED 4	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1206	CONST SPEED 5	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1207	CONST SPEED 6	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1208	CONST SPEED 7	0…30000rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	600 rpm
1209	TIMED MODEL SEL	1…2	1	2
กลุ่ม 13 : Analogue Inputs				
1301	MINIMUM AI1	0…100%	0.1%	0
1302	MAXIMUM AI1	0...100%	0.1%	100%
1303	FILTER AI1	0…10s	0.1s	0
1304	MINIMUM AI2	0…100%	0.1%	0
1305	MAXIMUM AI2	0…100%	0.1%	100%
1306	FILTER AI2	0…10s	0.1s	0.1 s
กลุ่ม 14 : Relay Outputs				
1401	RELAY OUTPUT 1	0…45	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
1402	RELAY OUTPUT 2	0…3600s	1	2
1403	RELAY OUTPUT 3	0…3600s	1	3
1404	RO 1 ON DELAY	0…3600s	1	0
1405	RO 1 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
1406	RO 2 ON DELAY	0…3600s	0.1s	0
1407	RO 2 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
1408	RO 3 ON DELAY	0…3600s	0.1s	0
1409	RO 3 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
1410	RELAY OUTPUT 4	0…45	1	0
1411	RELAY OUTPUT 5	0…45	1	0
1412	RELAY OUTPUT 6	0…45	1	0
1413	RO 4 ON DELAY	0…3600s	0.1s	0
1414	RO 4 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
1415	RO 5 ON DELAY	0…3600s	0.1s	0
1416	RO 5 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
1417	RO 6 ON DELAY	0…3600s	0.1s	0
1418	RO 6 OFF DELAY	0…3600s	0.1s	0
กลุ่ม 15 : Analog Outputs				
1501	AO1 CONTENT SEL	99…199	1	103
1502	AO1 CONTENT MIN	-	-	0
1503	AO1 CONTENT MAX	-	-	50
1504	MINIMUM AO1	0.0…20.0 mA	0.1 mA	0
1505	MAXIMUM AO1	0.0…20.0 mA	0.1 mA	20.0 mA
1506	FILTER AO1	0…10 As	0.1s	0.1s
1507	OA2 CONTENT SEL	99...199	1	104
1508	AO1 CONTENT MIN	-	-	0
1509	AO1 CONTENT MAX	-	-	11.9
1510	MINIMUM AO2	0.0…20.0 mA	0.1 mA	0
1511	MAXIMUM AO2	0.0…20.0 mA	0.1 mA	20 mA
1512	FILTER AO2	0…10 s	0.1s	0.1 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
กลุ่ม 16: SYSTEM CONTROLS				
1601	RUN ENABLE	0...7,-1...-6	1	0.1
1602	PARAMETER LOCK	0...2	1	1
1603	PASS CODE	0...65535	1	0
1604	FAULT RESET SEL	0...8,-1...-6	1	0
1605	USER PAR SET CHG	0...6,-1...-6	1	0
1606	LOCAL LOCK	0...8,-1...-6	1	0
1607	PARAM SAVE	0 = DONE, 1 = SAVE	1	0
1608	START ENEBLE 1	0...7,-1...-6	1	0
1609	START ENEBLE 2	0...7,-1...-6	1	0
1610	DISPLAY ALARMS	0...1	1	0
กลุ่ม 20 : Limit				
2001	MINIMUM SPEED	-30000...30000 rpm	1 rpm	0.1
2002	MAXIMUM SPEED	0...30000 rpm	1rpm	1500 rpm
2003	MAX CURRENT	0...1.8* I_{2hd}	0.1 A	21.4 A
2005	OVERVOLT CTRL	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	1
2006	UNDERVOLT CTRL	0 = DISABLE, 1 = ENABLE (TIME) 2 = ENABLE	1	1
2007	MINIMUM FREQ	-500...500Hz	0.1Hz	0
2008	MAXIMUM FREQ	0...500 Hz	0.1 Hz	50 Hz
2013	MIN TORQUE SEL	0...7,-1...-6	1	10
2014	MAX TORQUE SEL	0...7,-1...-6	1	0
2015	MIN TORQUE 1	-600.0%...0%	0.1 %	-300.0%
2016	MIN TORQUE 2	-600.0%...0%	0.1 %	-300.0%
2017	MAX TORQUE 1	0%...600.0%	0.1 %	300.0%
2018	MAX TORQUE 2	0%...600.0%	0.1 %	300.0%
กลุ่ม 21: Start / Stop				
2101	START FUNCTION	1...5	1	1
2102	STOP FUNCTION	1 = COAST, 2 = RAMP	1	1
2103	DC MAGN TIME	0...10s	0.1 s	0.3 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
2104	DC CURR CTL	0,2	-	0
2105	DC HOLD SPEED	0…360rpm	1rpm	5 rpm
2106	DC CURR REF	0%...100%	1%	30
2107	DC BREAK TIME	0…250s	0.1s	0
2108	START INHIBIT	0 = OFF, 1 = ON	1	0
2109	EM STOP SEL	0…6, -1…-6	1	0
2110	TORQ BOOST CURR	15…300%	1	100%
กลุ่ม 22: Accel / Decel				
2201	ACC/DEC 1/2 SEL	0…7,-1…-6	1	5
2202	ACCELER TIME 1	0.0…1800s	0.1 s	5
2203	DECELER TIME 1	0.0…1800s	0.1 s	5
2204	RAMP SHAPE 2	0 = LINEAR; 0.1…1000.0 s	0.1 s	0
2205	ACCELER TIME 2	0.0…1800s	0.1 s	60 s
2206	DECELER TIME 2	0.0…1800s	0.1 s	60 s
2207	RAMP SHAPE 2	0 = LINEAR; 0.1…1000.0 s	0.1 s	0
2208	EM DEC TIME	0.0…1800s	0.1 s	1 s
2209	RAMP INPUT 0	0…6,-1…-6	1	0
กลุ่ม 23 : SPEED CONTROL				
2301	PROP GAIN	0.00…200.0	0.01	10
2302	INTEGRATION TIME	0…600.00s	0.01s	2.5 s
2303	DERIVATION TIME	0…10000ms	1 ms	0
2304	ACC OMPENSATION	0…600.00s	0.01s	0
2305	AUTOTUNE RUN	0…6,-1…-6	1	0
กลุ่ม 24 : TORQUE CONTROL				
2401	TORQ RAMP UP	0.00…120.00s	0.01 s	0
2402	TORQ RAMP DOWN	0.00…120.00s	0.01 s	0
กลุ่ม 25 : CRITICAL SPEEDS				
2501	CRIT SPEED SEL	0 = OFF, 1 = ON	1	0
2502	CRIT SPEED 1 LO	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0
2503	CRIT SPEED 1 HI	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
2504	CRIT SPEED 2 LO	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0
2505	CRIT SPEED 2 HI	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0
2506	CRIT SPEED 3 LO	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0
2507	CRIT SPEED 3 HI	0…30000 rpm / 0…500 Hz	1 rpm / 0.1 Hz	0
กลุ่ม 26 : MOTOR CONTROL				
2601	FLUX OPTIMIZATION	0 = OFF, 1 = ON	1	0
2602	FLUX BRAKING	0 = OFF, 1 = ON	1	0
2603	IR COMP VOLT	0…100 V	1	8.4 V
2604	IR COMP FREQ	0…100%	1	80%
2605	U/F RATIO	1 = LINEAR, 2 = SQUARE	1	1
2606	SWITCHING FREQ	1, 4, 8, 12 kHz	-	4 kHz
2607	SW FREQ CTRL	0 = OFF, 1 = ON	-	1
2608	SLIP COMP RATIO	0…200%	1	0
2609	NOISE SMOOTHING	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
กลุ่ม 26 : MAINTENANCE TRIG				
2901	COOLING FAN TRIG	0.0…6553.5 kH	0.1 kH	0
2902	COOLING FAN ACT	0.0…6553.5 kH	0.1 kH	0
2903	REVOLUTION TRIG	0…65535MRev	1 MRev	0
2904	REVOLUTION ACT	0…65535MRev	1 MRev	0
2905	RUN TIME TRIG	0.0…6553.5 kH	0.1 kH	0
2906	RUN TIME ACT	0.0…6553.5 kH	0.1 kH	0
2907	USER MWH TRIG	0…65535MWh	0.1 MWh	0
2901	USER MWH ACT	0…65535MWh	0.1 MWh	0
กลุ่ม 30 : FAULT FUNCTION				
3001	AI < MIN FUNTION	0…3	1	0
3002	PANEL COMM ERR	1…3	1	0
3003	EXTERNAL FAULT 1	0…6, -1…-6	1	0
3004	EXTERNAL FAULT 2	0…6, -1…-6	1	0
3005	MOT THERM PROT	0 = NOT SEL, 1 = FAULT, 2 = WARNING	1	0
3006	MOT THERM TIME	256…999s	1	500 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
3007	MOT LOAD CURVE	50…150%	1	100%
3008	ZERO SPEED LOAD	25…150%	1	70%
3009	BREAK POINT FREQ	1…250Hz	1	35 Hz
3010	STALL FUNCTION	0…2	1	0
3011	STALL FREQUENCY	0.5…50Hz	0.1Hz	20 Hz
3012	STALL TIME	10…400 s	1 s	20 Hz
3013	UNDERLOAD FUNC	0 = NOT SEL, 1 = FAULT, 2 = WARNING	-	0
3014	UNDERLOAD TIME	10…400 s	1 s	20 s
3015	UNDERLOAD CURVE	1…5	1	1
3017	EARTH FAULT	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	1
3018	COMM FAULT FUNC	0 = NOT SEL, 1 = FAULT, 2 = CONST SP 7, 3 = LAST SPEED	1	0
3019	COMM FAULT TIME	0…60.0s	0.1 s	3 s
3021	AI1 FAULT LIMIT	0…100%	0.1%	0
3022	AI2 FAULT LIMIT	0…100%	0.1%	0
3023	WIRING FAULT	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	1
กลุ่ม 31 : AUTOMATIC RESET				
3101	NR OF TRIALS	0…5	1	0
3102	TRIAL TIME	1.0…600.0 s	0.1 s	30 s
3103	DELAY TIME	0.0…120.0 s	0.1 s	0
3104	AR OVERCURRENT	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
3105	AR OVERVOLTAGE	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
3106	AR UNDERVOLTAGE	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
3107	AR AI < MIN	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
3108	AR EXTERNAL FLT	0 = DISABLE, 1 = ENABLE	1	0
กลุ่ม 32 : SUPERVISION				
3201	SUPERV 1 PARAM	101…109	1	103
3202	SUPERV 1 LIM LO	-	-	50
3203	SUPERV 1 LIM HI	-	-	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
3204	SUPERV 2 PARAM	101...109	1	104
3205	SUPERV 2 LIM LO	-	-	11.9
3206	SUPERV 2 LIM HI	-	-	11.9
3207	SUPERV 3 PARAM	101...109	1	105
3208	SUPERV 3 LIM LO	-	-	100
3209	SUPERV 3 LIM HI	-	-	100
กลุ่ม 33 : INFORMATION				
3301	FW VERSION	0000...FFFF hex	1	-
3302	LP VERSION	0000...FFFF hex	1	-
3303	TEST DATE	yy.ww	1	-
3304	DRIVE RATING	-	-	-
กลุ่ม 34 : PANEL DISPLAY / PROCESS VARIABLES				
3401	SIGNAL 1 PARAM	100 - 199	1	101
3402	SIGNAL 1 MIN	-	1	0
3403	SIGNAL 1 MAX	-	1	0
3404	OUTPUT 1 DSP FORM	0...9	1	0
3405	OUTPUT 1 UNIT	0...127	1	0
3406	OUTPUT 1 MIN	-	1	0
3407	OUTPUT 1 MAX	-	1	0
3408	SIGNAL 2 PARAM	100 – 199	1	104
3409	SIGNAL 2 MIN	-	1	0
3410	SIGNAL 2 MAX	-	1	23.8
3411	OUTPUT 2 DSP FORM	0...8	1	9
3412	OUTPUT 2 UNIT	-128...127	1	1
3413	OUTPUT 2 MIN	-	1	0
3414	OUTPUT 2 MAX	-	1	23.8
3415	SIGNAL 3 PARAM	100...199	1	1.5
3416	SIGNAL 3 MIN	-	1	-200
3417	SIGNAL 3 MAX	-	1	200
3418	OUTPUT 3 DSP FORM	0...8	1	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
3419	OUTPUT 3 UNIT	-128...127	1	4
3420	OUTPUT 3 MIN	-	1	-200
3421	OUTPUT 3 MAX	-	1	200
กลุ่ม 35 : MOTOR TEMP MEAS				
3501	SENSOR TYPE	0...6	1	0
3502	INPUT SELECTION	1...8	1	1
3503	ALARM LIMIT	-10...200°C / 0...5000 Ohm / 0...1	1	0
3504	FAULT LIMIT	-10...200°C / 0...5000 Ohm / 0...1	1	0
กลุ่ม 36 : TIMER FUNCTIONS				
3601	TIMERS ENABLE	-6...7	1	0
3602	START TIME 1	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3603	STOP TIME 1	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3604	START DAY 1	1...7	1	1
3605	STOP DAY 1	1...7	1	1
3606	START TIME 2	00:00:00...23:59:58	2s	1 s
3607	STOP TIME 2	00:00:00...23:59:58	2s	0
3608	START DAY 2	1...7	1	1
3609	STOP DAY 2	1...7	1	1
3610	START TIME 3	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3611	STOP TIME 3	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3612	START DAY 3	1...7	1	1
3613	STOP DAY3	1...7	1	1
3614	START TIME 4	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3615	STOP TIME 4	00:00:00...23:59:58	2s	0 s
3616	START DAY 4	1...7	1	1
3617	STOP DAY 4	1...7	1	1
3622	BOOSTER SEL	-6...6	1	0
3623	BOOSTER TIME	00:00:00...23:59:58	2s	0
3624 ... 3628	TMC FUNC1...4 SRC	0...31	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
กลุ่ม 40 : PROCESS PID SET 1				
4001	GAIN	0.1...100	0.1	1
4002	INTEGRATION TIME	0.0s = NOT SEL, 0.1...3600 s	0.1 s	60 s
4003	DERIVATION TIME	0...10 s	0.1 s	0 s
4004	PID DERIV FILTER	0...10 s	0.1 s	1 s
4005	ERROR VALUE INV	0 = NO, 1 = YES	-	0
4006	UNITS	0...31	-	4
4007	UNIT SCALE	0...4	1	1
4008	0% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	100
4009	100% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	100
4010	SET POINT SEL	0...19	1	1
4011	INTERNAL SETPNT	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	40
4012	SETPOINT MIN	-500.0%...500.0%	1	0
4013	SETPOINT MAX	-500.0%...500.0%	1	100 %
4014	FBK SEL	1...10	-	1
4015	FBK MULTIPLIER	-32.768...32.767 (0 = NOT USED)	0.001	0
4016	ACT1 INPUT	1...2	-	2
4017	ACT2 INPUT	1...2	-	2
4018	ACT1 MINIMUM	-1000...1000%	1%	0%
4019	ACT1 MAXIMUM	-1000...1000%	1%	100%
4020	ACT2 MINIMUM	-1000...1000%	1%	0%
4021	ACT2 MAXIMUM	-1000...1000%	1%	100%
4022	SLEEP SELECTION	0...7,-1...-6	-	0
4023	PID SLEEP LEVEL	0...7200 rpm / 0.0...120Hz	1 rpm / 1 Hz	0
4024	PID SLEEP DELAY	0.0...3600 s	0.1 s	60
4025	WAKE – UP DEV	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	0
4026	WAKE – UP DELAY	0...60 s	0.01 s	0.5 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
4027	PID 1 PARAM SET	-6…11	1	0
กลุ่ม 41 :	PROCESS PID SET 2			
4101	GAIN	0.1…100	0.1	1.0
4102	INTEGRATION TIME	0.0s = NOT SEL, 0.1…3600 s	0.1 s	60 s
4103	DERIVATION TIME	0…10 s	0.1 s	0s
4104	PID DERIV FILTER	0…10 s	0.1 s	1 s
4105	ERROR VALUE INV	0 = NO, 1 = YES	-	0
4106	UNITS	0…31	-	4
4107	UNIT SCALE	0…4	1	1
4108	0% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	0.0%
4109	100% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	100%
4110	SET POINT SEL	0…19	1	1
4111	INTERNAL SETPNT	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	40.0%
4112	SET POINT MIN	-500.0%...500.0%	0.1%	0%
4113	SET POINT MAX	-500.0%...500.0%	0.1%	100%
4114	FBK SEL	1…10	1	1
4115	FBK MULTIPLIER	-32.768…32.767 (0 = NOT USED)	0.001	0
4116	ACT1 INPUT	1…5	-	2
4117	ACT2 INPUT	1…5	-	2
4118	ACT1 MINIMUM	-1000…1000%	1%	0%
4119	ACT1 MAXIMUM	-1000…1000%	1%	100%
4120	ACT2 MINIMUM	-1000…1000%	1%	0%
4121	ACT2 MAXIMUM	-1000…1000%	1%	100%
4122	SLEEP SELECTION	0…7,-1…-6	-	0
4123	PID SLEEP LEVEL	0…7200 rpm / 0.0…120Hz	1 rpm / 1 Hz	0 Hz
4124	PID SLEEP DELAY	0.0…3600 s	0.1 s	60s
4125	WAKE – UP DEV	Unit and scale defined by par.4006and 4007	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
4126	WAKE – UP DELAY	0…60 s	0.1 s	0.50 s
กลุ่ม 42 : EXT / TRIM PID				
4201	GAIN	0.1…100	0.1	1.0
4202	INTEGRATION TIME	0.0s = NOT SEL, 0.1…3600 s	0.1 s	60 s
4203	DERIVATION TIME	0…10 s	0.1 s	0 s
4204	PID DERIV FILTER	0…10 s	0.1 s	1 s
4205	ERROR VALUE INV	0 = NO, 1 = YES	-	0
4206	UNITS	0…31	-	4
4207	UNIT SCALE	0…4	1	1
4208	0% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	0%
4209	100% VALUE	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	100%
4210	SET POINT SEL	0…19	1	1
4211	INTERNAL SETPNT	Unit and scale defined by par.4006and 4007	1	40.0%
4212	SET POINT MIN	-500.0%...500.0%	0.1%	0%
4213	SET POINT MAX	-500.0%...500.0%	0.1%	100%
4214	FBK SEL	1…10	-	1
4215	FBK MULTIPLIER	-32.768…32.767 (0 = NOT USED)	0.001	0
4216	ACT1 INPUT	1…5	-	2
4217	ACT2 INPUT	1…5	-	2
4218	ACT1 MINIMUM	-1000…1000%	1%	0%
4219	ACT1 MAXIMUM	-1000…1000%	1%	100%
4220	ACT2 MINIMUM	-1000…1000%	1%	0%
4221	ACT2 MAXIMUM	-1000…1000%	1%	100%
4228	ACTIVATE	-6…12	-	0
4229	OFFSET	0.0…100.0%	0.1%	0
4230	TRIM MODE	0…2	1	0
4231	TRIM SCALE	-100.0%…100.0%	0.1%	0%
4232	CORRECTION SRC	1…2	1	1(PID2 REF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
กลุ่ม 51 : EXT COMM MODULE				
5101	FBA TYPE	-	1	1024
5102... 5126	FBA PAR 2...26	0.65535	1	0
5127	FBA PAR REFRESH	0 = DONE, 1 = REFRESH	1	0
5128	FILE CPI FW REV	0...OxFFFF (hex)	1	-
5129	FILE CONFIG ID	0...OxFFFF (hex)	1	-
5130	FILE CONFIG REV	0...OxFFFF (hex)	1	0
5131	FBA STATUS	0...6	1	0
5132	FBA CPI FW REV	0...OxFFFF (hex)	1	0
5133	FBA APPL FW REV	0...OxFFFF (hex)	1	0
กลุ่ม 52 : PANEL COMMUNICATION				
5201	STATION ID	1...247	1	1
5202	BAUD RATE	9.6, 19.2, 38.4, 57.6, 115.2 kbits/s	-	9.6 kbits/s
5203	PARITY	0 = 8N1, 1 = 8N2, 2 = 8E1, 3 = 8O1	1	0
5204	OK MESSAGES	0...65535	1	-
5205	PARITY ERRORS	0...65535	1	0
5206	FRAME ERRORS	0...65535	1	0
5207	BUFFER OVERRUNS	0...65535	1	0
5208	CRC ERRORS	0...65535	1	0
กลุ่ม 53 : EFB PROTOCOL				
5301	EFB PROTOCOL ID	0...OxFFFF	1	-
5302	EFB STATION ID	0...65535	1	1
5303	EFB BAUD RATE	1.2, 2.4, 4.8,...38.4, 57.6, 76.8 kbits/s	-	9.6 kbits/s
5304	EFB PARITY	0 = 8N1, 1 = 8N2, 2 = 8E1, 3 = 8O1	1	0
5305	EFB CTRL PROFILE	0 = ABB DRV LIM, 1 = DCU PROFILE, 2 = ABB DRV FULL	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
5306	EFB OK MESSAGES	0...65535	1	0
5307	EFB CRC ERRORS	0...65535	1	0
5308	EFB UART ERRORS	0...65535	1	0
5309	EFB STATUS	0...65535	1	0
5310	EFB PAR 10	0...65535	1	0
5311	EFB PAR 11	0...65535	1	0
5312	EFB PAR 12	0...65535	1	0
5313	EFB PAR 13	0...65535	1	0
5314	EFB PAR 14	0...65535	1	0
5315	EFB PAR 15	0...65535	1	0
5316	EFB PAR 16	0...65535	1	0
5317	EFB PAR 17	0...65535	1	0
5318	EFB PAR 18	0...65535	1	0
5319	EFB PAR 19	0...OxFFFF (hex)	1	0
5320	EFB PAR 20	0...OxFFFF (hex)	1	0
กลุ่ม 81 : PFC CONTROL				
8103	REFERENCE STEP 1	0.0...100%	0.1%	0
8104	REFERENCE STEP 2	0.0...100%	0.1%	0
8105	REFERENCE STEP 3	0.0...100%	0.1%	0
8109	START FREQ 1	0.0...500 Hz	0.1 Hz	50 Hz
8110	START FREQ 2	0.0...500 Hz	0.1 Hz	50 Hz
8111	START FREQ 3	0.0...500 Hz	0.1 Hz	50 Hz
8112	LOW FREQ 1	0.0...500 Hz	0.1 Hz	25 Hz
8113	LOW FREQ 2	0.0...500 Hz	0.1 Hz	25 Hz
8114	LOW FREQ 3	0.0...500 Hz	0.1 Hz	25 Hz
8115	AUX MOT START D	0.0...3600 s	0.1 s; 1 s	5 s
8116	AUX MOT STOP D	0.0...3600 s	0.1 s; 1 s	3 s
8117	NR OF AUX MOT	0...4	1	1
8118	AUTOCHNG INTERV	0.0...336 h	0.1 h	0
8119	AUTOCHNG LEVEL	0.0...100.0%	0.1%	50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

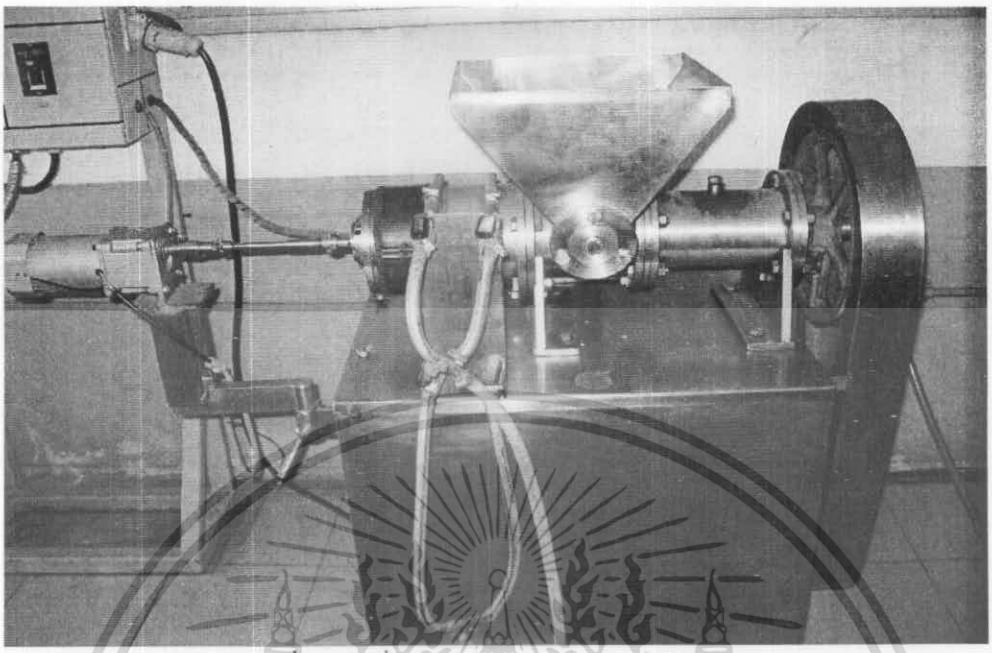
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการตั้งค่า Parameter ของDrive ABB รุ่น ACS 550 (ต่อ)

รหัส	ชื่อ	ช่วงของการตั้งค่า	ความละเอียดของการตั้งค่า	ค่าที่ตั้งไว้ปัจจุบัน
8120	INTERLOCKS	0...6	1	4
8121	REG BYPASS CTRL	0...1	1	0
8122	PFC START DELAY	0...10 s	0.01 s	0.5 s
8123	PFC ENABLE	0...1	-	0
8124	ACC IN AUX STOP	0.0...1800 s	0.1 s	0
8125	DEC IN AUX START	0.0...1800 s	0.1 s	0
8126	TIMED AUTOCHNG	0...4	1	0
8127	MOTORS	1...7	1	2
กลุ่ม 98 : OPTIONS				
9802	COMM PROT SEL	0...4	1	0

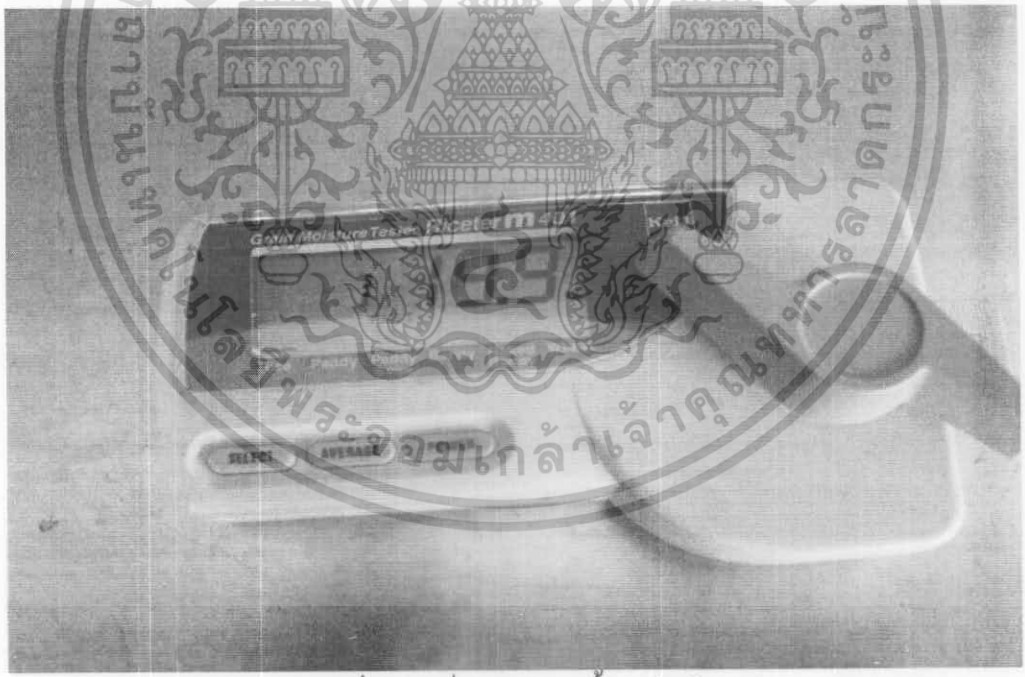
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

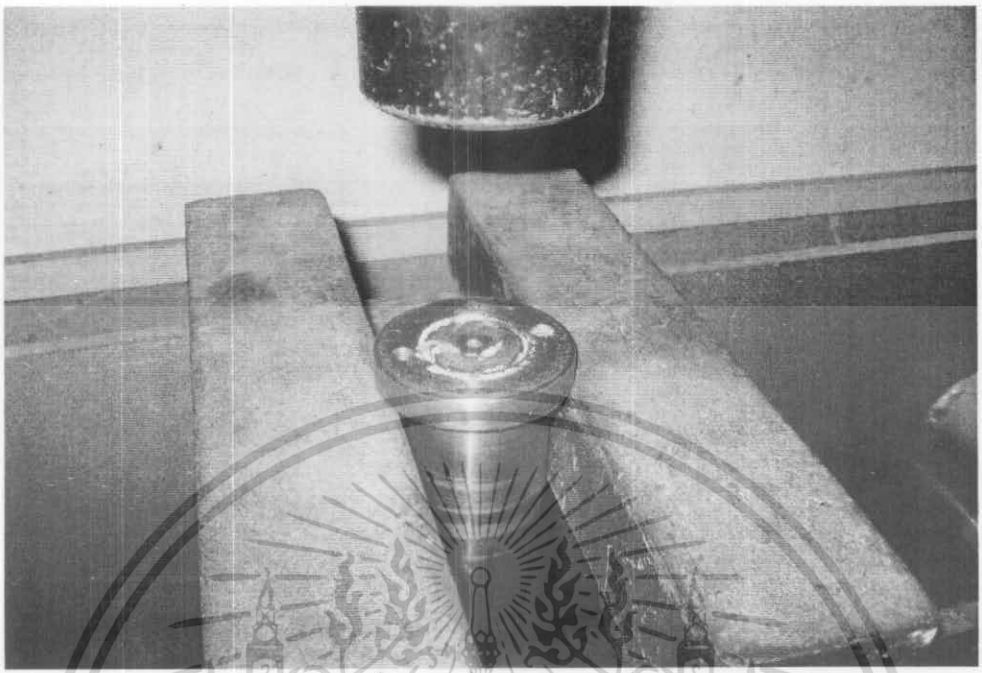


รูปที่ ค.1 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบซิงเกิลสกรู



รูปที่ ค.2 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช

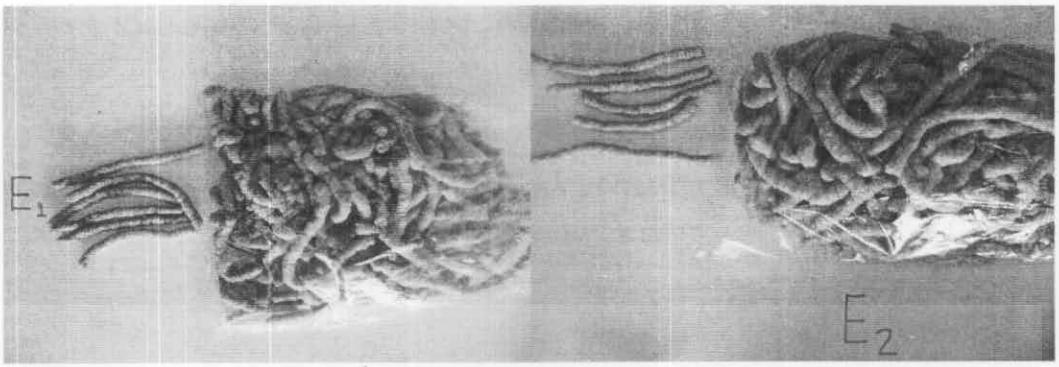
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



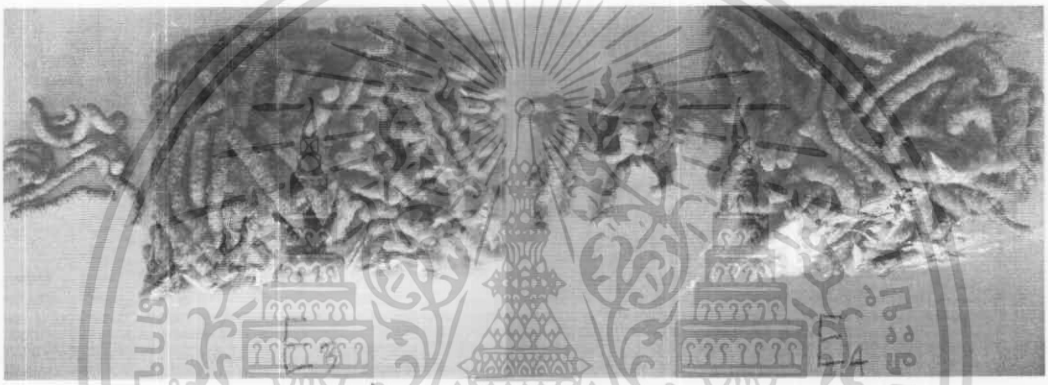
รูปที่ ค.3 เครื่องอัดไฮดรอลิก

รูปที่ ค.4 ข้าวโพดบดละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



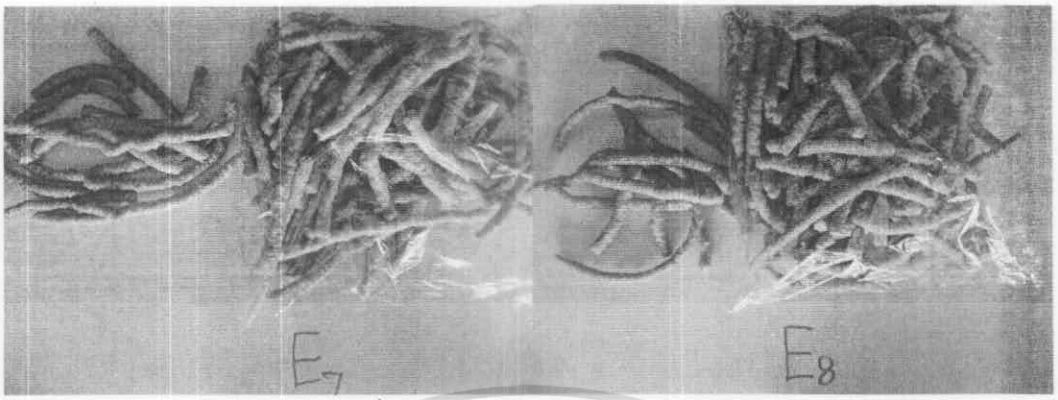
รูปที่ ค.5 เอกซ์ทรูเดดรหัส E1 และ E2



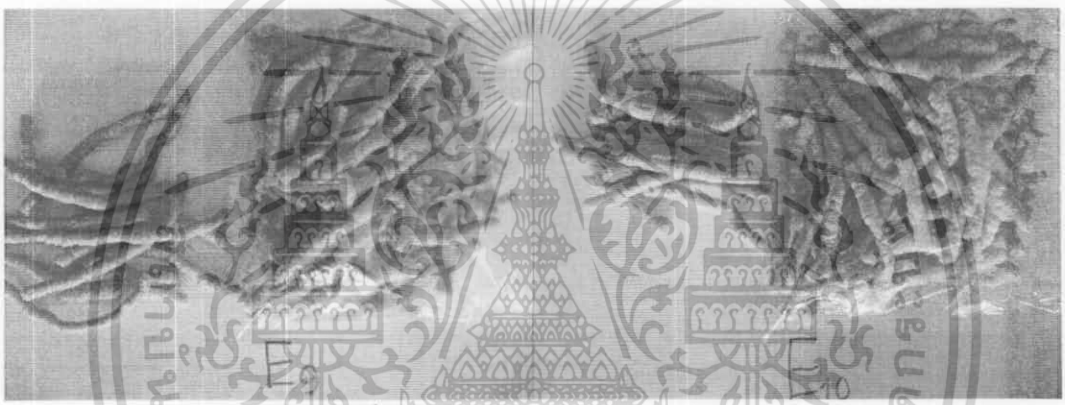
รูปที่ ค.6 เอกซ์ทรูเดดรหัส E3 และ E4

รูปที่ ค.7 เอกซ์ทรูเดดรหัส E5 และ E6

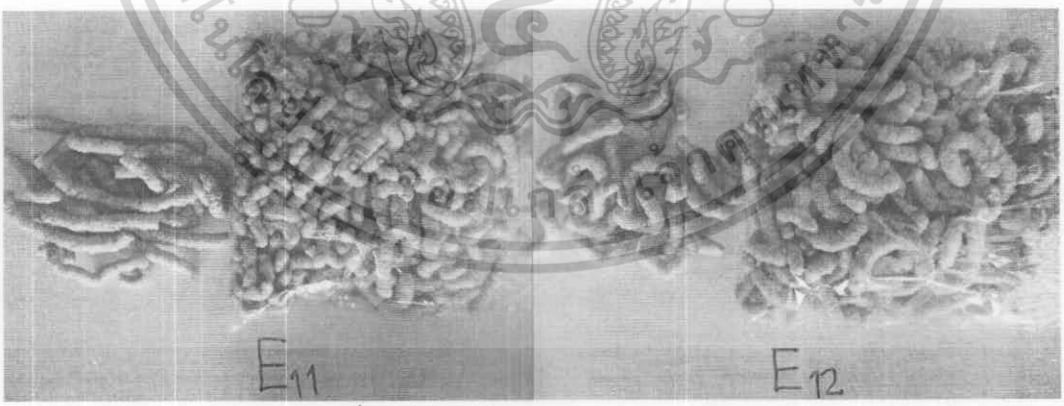
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.8 เอกซ์ทรูเดตรหัส E7 และ E8

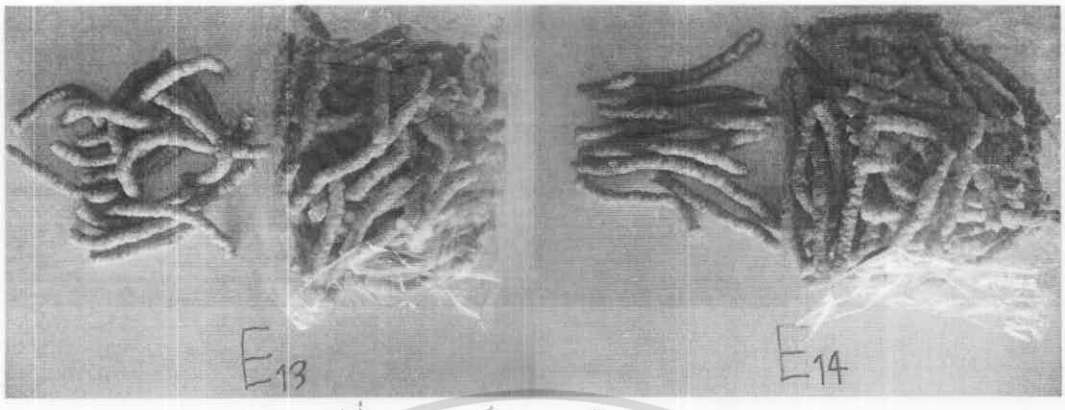


รูปที่ ค.9 เอกซ์ทรูเดตรหัส E9 และ E10

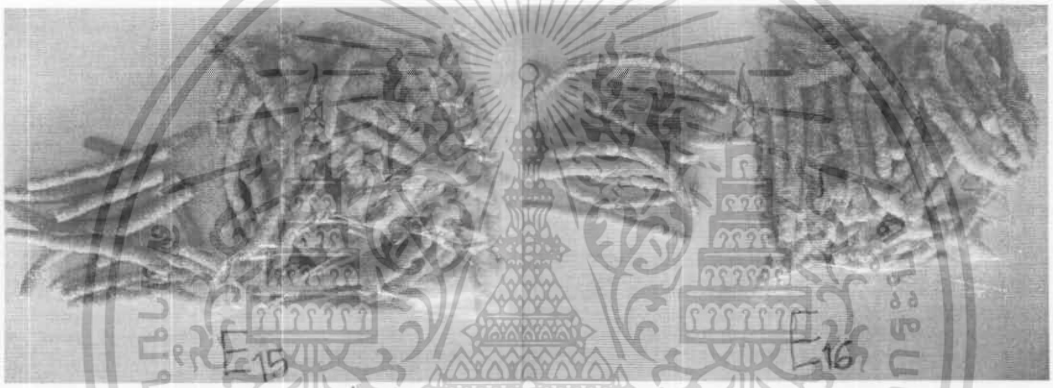


รูปที่ ค.10 เอกซ์ทรูเดตรหัส E11 และ E12

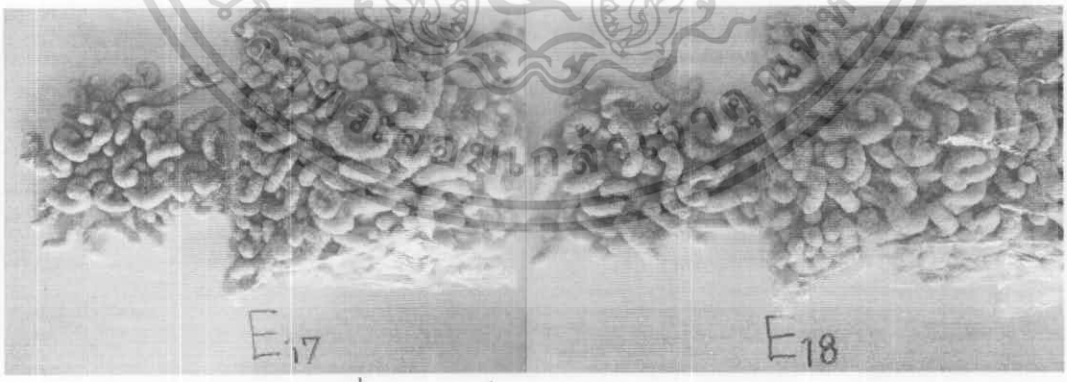
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.11 เอกซ์ทรูเดตรหัส E13 และ E14

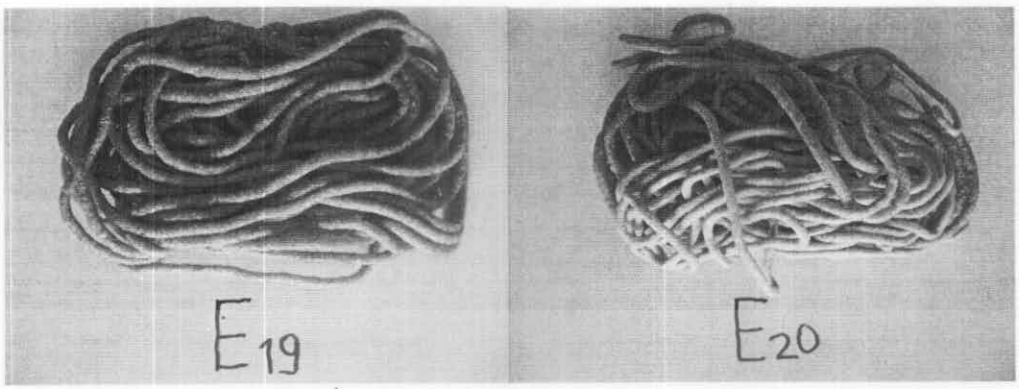


รูปที่ ค.12 เอกซ์ทรูเดตรหัส E15 และ E16

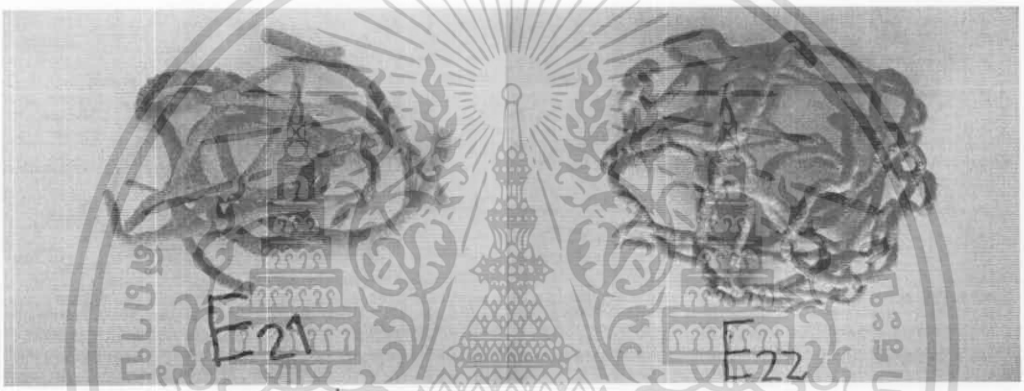


รูปที่ ค.13 เอกซ์ทรูเดตรหัส E17 และ E18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



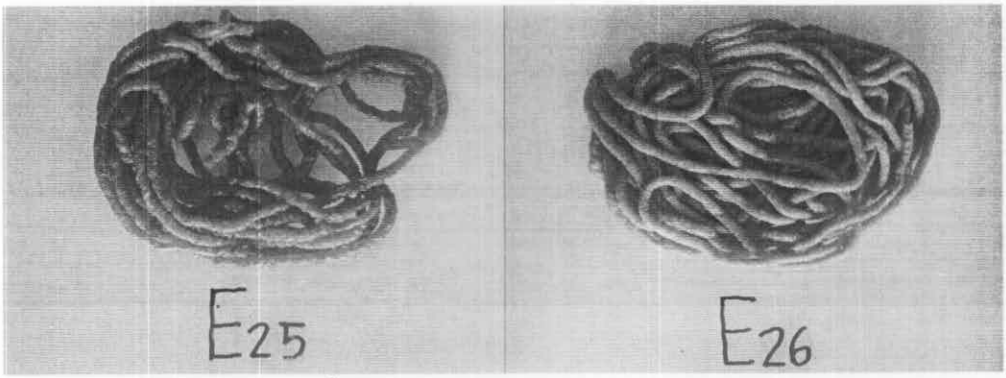
รูปที่ ค.14 เอกซ์ทรูเดตรหัส E19 และ E20



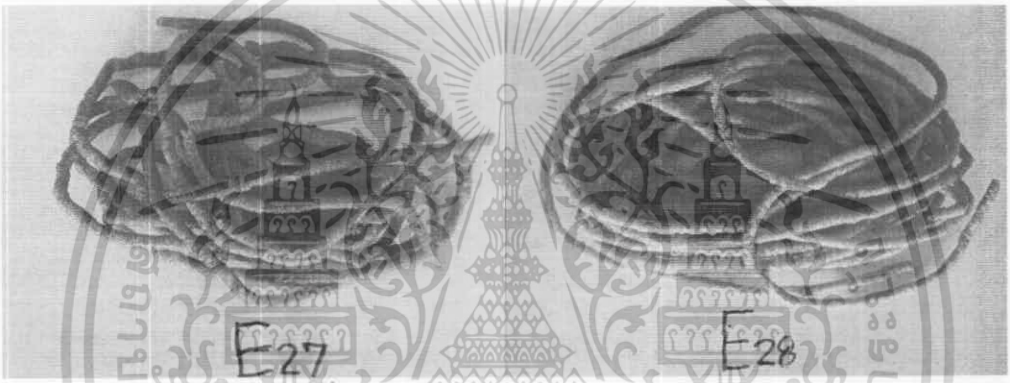
รูปที่ ค.15 เอกซ์ทรูเดตรหัส E21 และ E22

รูปที่ ค.16 เอกซ์ทรูเดตรหัส E23 และ E24

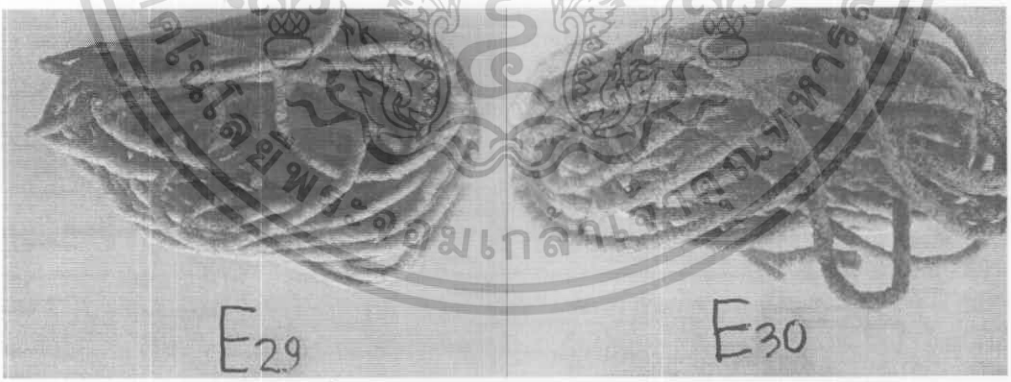
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.17 เอกซ์ทรูเดตรหัส E25 และ E26

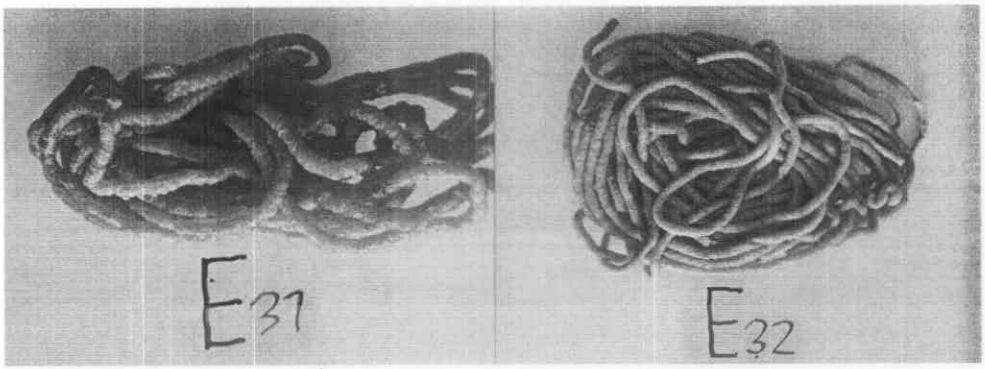


รูปที่ ค.18 เอกซ์ทรูเดตรหัส E27 และ E28

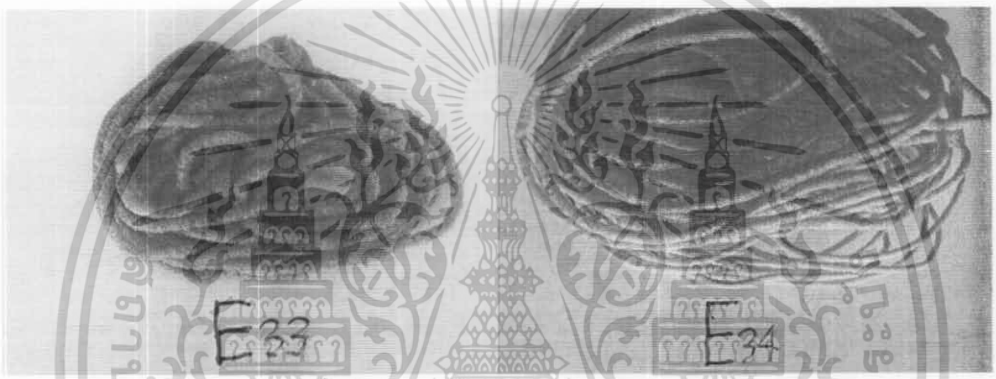


รูปที่ ค.19 เอกซ์ทรูเดตรหัส E29 และ E30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.20 เอกซ์ทรูเดตรหัส E31 และ E32



รูปที่ ค.21 เอกซ์ทรูเดตรหัส E33 และ E34

รูปที่ ค.22 เอกซ์ทรูเดตรหัส E35 และ E36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้