สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของคลื่นอุลตร้าโซนิคต่อการแช่ข้าวในการผลิตแป้งข้าวเจ้า

Effect of Ultrasonic on Rice Soaking in the Production of Rice Flour

T058558

โดย

นางสาว พรสวรรค์ บำรุงสวัสดิ์

นายวินัย พร้อมวงษ์

นายเอกพล เด่นแดนไทย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 58558
วัน,เดือน,ปี 25 ม.ค. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b.....
i.....

ผลของคลื่นอุลตร้าโซนิคต่อการแช่ข้าวในการผลิตแป้งข้าวเจ้า

Effect of Ultrasonic on Rice Soaking in the Production of Rice Flour

โดย

นางสาว พรสวรรค์ บำรุงสวัสดิ์

นายวินัย พร้อมวงษ์

นายเอกพล เด่นแดนไทย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของคลื่นอุลตร้าโซนิคต่อการแช่ข้าวในการผลิตแป้งข้าวเจ้า

Effect of Ultrasonic on Rice Soaking in the Production of Rice Flour

โดย

นางสาว พรสวรรค์ บำรุงสวัสดิ์

นายวินัย พร้อมวงษ์

นายเอกพล เด่นแดนไทย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect of Ultrasonic on Rice Soaking in the Production of Rice Flour

MISS PORNSAWAN BUMRUNGSAWAT
Mr. WINAI PROMWONG
Mr. EKAPON DENDAENTHAI

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF FOOD ENGINEERING
DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของคลื่นอุลตร้าโซนิคต่อการแช่ข้าวในกระบวนการผลิตแป้งข้าวเจ้า

Effect of Ultrasonic on Rice Soaking in the Production of Rice Flour

ผู้จัดทำ

นางสาว พรสวรรค์	บำรุงสวัสดิ์	รหัสประจำตัว	43010705
นายวินัย	พร้อมวงษ์	รหัสประจำตัว	43010762
นายเอกพล	เด่นแดนไทย	รหัสประจำตัว	43010848

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. มาลี บัวพัฒนชัย)

วันที่ 29 เดือน เมษายน พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ผลของคลื่นอุลตร้าโซนิคต่อการแช่ข้าวในกระบวนการผลิตแป้งข้าวเจ้า

Effect of Ultrasonic on Rice Soaking in the Production of Rice Flour

นักศึกษา นางสาว พรสวรรค์ บำรุงสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 43010705

นายวินัย พร้อมวงษ์ รหัสประจำตัว 43010762

นายเอกพล เด่นแดนไทย รหัสประจำตัว 43010848

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

ระดับการศึกษา วิศวกรรมสาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ทำการศึกษาผลของคลื่นอุลตร้าโซนิคผลต่อการแช่ข้าวในกระบวนการผลิตแป้งข้าวจ้าว โดยการนำปลายข้าวมาทำการแช่ในน้ำสะอาดด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำคือ 1:1 , 1:2 และ 1:3 เป็นเวลา 20 , 40 และ 60 นาที ภายใต้คลื่นความถี่ที่ระดับ 0 , 28 และ 40 kHz ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าความชื้นของข้าวหลังการแช่ , ปริมาณของแข็งที่แยกได้ และ ปริมาณของโปรตีนที่มีในของแข็ง ผลการทดลองถูกนำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยวิธี Multiple Regression แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อยู่ในรูปแบบสมการกำลังสองโพลีโนเมียล มีค่าสหสัมพันธ์ทางสถิติที่ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี จากการศึกษาพบว่าระดับความถี่ของคลื่นอุลตร้าโซนิคในช่วง 15-30 kHz สามารถแยกปริมาณของแข็งออกได้มากที่สุด พบว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในของแข็งที่ได้กลับมีค่าลดลง การใช้อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1 จะได้ปริมาณของแข็งมากกว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้คลื่นอุลตร้าโซนิคอาจสามารถช่วยลดการใช้น้ำในขั้นตอนการล้างข้าว และ แช่ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	Effect of Ultrasonic on Rice Soaking in the Production of Rice Flour
Name	:	MISS PORNSAWAN BUMRUNGSAWAT
		Mr. WINAI PROMWONG
		Mr. EKAPON DENDAENTHAI
Field	:	FOOD ENGINEERING
Department	:	FOOD ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	ASST.PROF.MARADEE PHONGPIPATPONG

ABSTRACT

This study focuses on the effect of ultrasonic in rice soaking in the production of rice flour. Samples taken from broken rice were soaked in water with the rice / water ratios of 1:1, 1:2 and 1:3 for 20, 40 and 60 minutes under ultrasonic level at 0, 28 and 40 kHz. After soaking, the products were analyzed to determine the moisture content the amount of solid content obtained from soaking water and its protein content. Mathematical models in the form of 2nd order polynomial were developed to describe product characteristics. It was found that the models provided a good fit with the experimental data. The study show that ultrasonic within 15-30 kHz can separate the most of solid from soaking water. However, the percentage of protein in the solid is appeared to be low.

.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ไม่มีคำกล่าวใดที่สามารถใช้บ่งบอกถึงความกรุณา และความอนุเคราะห์ของอาจารย์มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ได้ รวมถึง คุณนันท์ ภักดี จากบริษัทดีนไลน์ จำกัด และ บริษัท บางกอกอินเตอร์ฟูดส์ จำกัด ตลอดระยะเวลาของงานศึกษานี้ท่านได้ให้คำแนะนำและการสั่งสอนที่มีค่ามากมายนอกเหนือจากขอบข่ายทางวิศวกรรม ท่านได้เน้นให้ประพฤติตนโดยอุทิศให้กับงานและการปรับปรุงเกี่ยวกับภาษาและการนำเสนองาน ซึ่งถือเป็นสิ่งอันมีค่าที่ผู้ประพันธ์ได้จากการศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นอกเหนือจากปริญญาอันสูงส่ง ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างซาบซึ้งและนับถือแด่ อาจารย์มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

ท้ายที่สุดแต่ไม่ใช้น้อยที่สุดสำหลับคำขอบคุณอันพิเศษสุดที่ขอมอบให้แด่ครอบครัวทุกคนที่มอบความรัก ความห่วงใยและให้การช่วยเหลืออย่างต่อเนื่องตลอดการศึกษาของผู้ประพันธ์และขอบคุณห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับหนังสือและแหล่งข้อมูลอันทรงค่าสำหรับงานศึกษานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อ	ง
	กิตติกรรมประกาศ	จ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฎ
1.	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2.	วรรณกรรมปริทัศน์	3
	2.1 นิยามและคำจำกัดความ	3
	2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
	2.3 การประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิคในกระบวนการอาหาร	17
	2.4 ข้าว	20
	2.5 องค์ประกอบของข้าว	22
	2.6 สตาร์ชและฟลาวข้าว	22
	2.7 แป้งข้าว	24
	2.8 โปรตีนข้าว	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.9 โปรตีนในรำข้าว	33
	2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
	2.11 การผลิตโปรตีนเข้มข้น	35
3.	**อุปกรณ์และการทดลอง**	38
	3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์การทดลอง	38
	3.2 การวางแผนการทดลอง	39
	3.3 ขั้นตอนการทดลอง	43
4.	**ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง**	45
	4.1 ผลการทดลองคุณลักษณะที่สภาวะต่างๆตาม Box Behnken Design	45
	4.2 ผลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่างของปลายข้าวที่ได้	47
5.	**สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**	60
	5.1 สรุปผลการทดลอง	60
	5.2 ปัญหาที่พบระหว่างการทดลอง	61
	5.3 ข้อเสนอแนะ	61
บรรณานุกรม		63
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก.	65
	ภาคผนวก ข.	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ภาคผนวก ค	72
	ภาคผนวก ง	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	ช่วงค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบที่ทำการวิเคราะห์และปริมาณ (ร้อยละ) ของอินทรีย์สารที่มีอยู่ในข้าวเปลือกและส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการขัดสีซึ่งมีความชื้นเท่ากับ 14 เปอร์เซ็นต์	23
ตารางที่ 2.2	องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวหัก	25
ตารางที่ 2.3	คุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้า	29
ตารางที่ 2.4	ส่วนประกอบทางเคมีของแป้งชนิดต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	30
ตารางที่ 2.5	ส่วนของโปรตีนที่ละลายของข้าวแดงและข้าวที่ผ่านการขัดสี (ร้อยละของโปรตีนที่สกัดได้)	32
ตารางที่ 2.6	องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว (% dry basis)	33
ตารางที่ 3.1	แสดงความหมายที่ใช้ในตาราง Box Behnken Design	39
ตารางที่ 3.2	Box Behnken Design	40
ตารางที่ 3.3	แสดงการเตรียมการทดลอง	41
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงผลการทดลอง	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	การกระทำของแรงก่อให้เกิดประจุลักษณะต่าง ๆ	3
2.2	เมื่อต่อกระแสไฟเข้าที่ขั้วต่าง ๆ ของผลึกจะมีผลให้เกิดการยืด-หดตัว (การสั่น)	4
2.3	(ก) เซลที่ยังไม่ถูกแรงใด ๆ (ข) เซลที่ถูกอัด (ค) เซลถูกยืด	8
2.4	แสดงลักษณะโครงสร้างภายในทั่ว ๆ ไปของทรานสดิวเซอร์	10
2.5	เปียโซอิเล็กทริก (piezoeletric)	11
2.6	แสดงปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก โดยอธิบายในลักษณะที่ชิ้นสารทำจากแร่ควอทซ์	12
2.7	องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวเจ้า	21
2.8	แสดงกรรมวิธีผลิตแป้ง	26
2.9	แผนภาพกระบวนการผลิตแป้งสตาร์ชข้าวเจ้า	28
2.10	กระบวนการผลิตแป้งข้าว	29
3.1	แสดง Flow Chart แสดงขั้นตอนการทดลอง	42
4.1	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Solid Content จากการทดลอง กับ ค่า Solid Content ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	47
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Solid Content ที่ได้จากสมการกับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot	49
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Solid Content ที่ได้จากสมการกับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ 3D Surface Plot	50
4.4	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Moisture จากการทดลอง กับ ค่า Moisture ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	52
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Moisture ที่ได้จากสมการกับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot	53
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Moisture ที่ได้จากสมการกับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ 3D Surface Plot	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.7	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Protein Content จากการทดลอง กับ ค่า Protein Content ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	56
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Protein Content ที่ได้จากสมการ กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot	57
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Protein content ที่ได้จากสมการ กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ 3D Surface Plot	58
ก-1	แสดงกระบวนการผลิตแป้งข้าวเจ้าและของเสียจากกระบวนการ	66
ก-2	กระบวนการทำแป้งข้าวเจ้าที่มีการล้างแบบต่อเนื่อง	67
ค-1	ผลการคำนวณทางสถิติของความสัมพันธ์ของค่า Solid Content	73
ค-2	ผลการคำนวณทางสถิติของความสัมพันธ์ของค่า Moisture Content	73
ค-3	ผลการคำนวณทางสถิติของความสัมพันธ์ของค่า Protein Content	74
ง-1	รูปเครื่อง อุลตร้าโซนิค	76
ง-2	รูปที่ปล่อยฟองอากาศ	76
ง-3	รูปปลายข้าวที่ใช้ทดลอง	76
ง-4	รูปตะกอนที่ได้จากการทดลอง	77
ง-5	รูปภาชนะและตะแกรงกรอง	77
ง-6	รูปชุดอุปกรณ์การทดลอง	78
ง-7	รูปน้ำแช่ที่ได้	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยนั้นเป็นประเทศทางการเกษตรกรรมซึ่งมีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมากมาย และมีการผลิตข้าวเป็นเกษตรกรรมหลัก ทำให้มีการทำอุตสาหกรรมที่ใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบในการแปรรูป เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมายดังที่เห็นได้ในท้องตลาดทั่วไปเช่น เส้นหมี่ เส้นก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น ซึ่งแป้งข้าวเจ้าก็เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ผลิตขึ้นมาโดยใช้ปลายข้าวเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต แป้งข้าวเจ้าสามารถใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นของอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ มากมาย เช่นใช้ เป็นส่วนประกอบในการผลิตขนมขบเคี้ยวที่มีขายอยู่ทั่วไปแทบทุกชนิด และไม่เฉพาะในขนมขบเคี้ยวเท่านั้นในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆในท้องตลาดทั่วไปก็มีแป้งเป็นส่วนประกอบอยู่ ทำให้มีโรงงานผลิตแป้งข้าวเจ้าเป็นจำนวนมาก ในการผลิตแป้งข้าวเจ้านั้น ประกอบไปด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้ เริ่มจากการนำข้าวมาทำการคัดแยกสิ่งสกปรกออก ล้างข้าวให้สะอาด แช่ข้าวให้นุ่มและมีความชื้นที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำข้าวที่นุ่มไปโม่ได้เป็นน้ำแป้ง น้ำแป้งที่ได้ถูกนำไปกรองเพื่อแยกส่วนของแป้งออกจากนั้นจึงนำแป้งที่ได้ไปทำแห้ง จนได้ผลผลิตสุดท้ายออกมาเป็นแป้งข้าว (กล้าณรงค์ และคณะ, 2543)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นว่าขั้นตอนการล้างข้าวและการแช่ข้าวจัดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในการผลิตแป้งข้าวเจ้า ซึ่งเป็นขั้นตอนการล้างข้าวใช้เพื่อล้างสิ่งเจือปนต่างๆที่ยังคงเหลือตกค้างอยู่ที่เมล็ดข้าวซึ่งโดยมากจะเป็นส่วนของรำข้าว ส่วนขั้นตอนการแช่ข้าวจะช่วยปรับความชื้นของข้าวให้พอเหมาะและมีความนุ่มของก่อนที่จะส่งเข้าขั้นตอนการโม่แป้งต่อไป (โดยปกติระยะเวลาในการแช่จะไม่นานเกินไปเพราะถ้าแช่นานเกินไปจะทำให้เกิดการบูดของแป้ง) น้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจาก 2 ขั้นตอนนี้พบว่าสามารถนำไปตกตะกอน เพื่อแยกกากแป้งซึ่งส่วนใหญ่เป็นส่วนของรำข้าวที่เกิดจากการสีที่ยังคงมีคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะในส่วนของโปรตีน และถ้าหากสามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนแช่ข้าวลงได้ก็จะสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของแป้งข้าวได้ เนื่องจากเป็นการลดระยะเวลาในการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการบูดของแป้งข้าวเจ้าให้น้อยลง

ปัจจุบันได้มีการศึกษาเพื่อนำ Ultrasonic มาประยุกต์ใช้ในงานทางอาหารเช่น ในกระบวนการสกัด , การตกตะกอน , การฆ่าเชื้อ เนื่องจากลักษณะความถี่ของสัญญาณคลื่นเสียงสามารถช่วยทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุล มีผลต่อการถ่ายเทมวลสารและพลังงานที่ดีขึ้น (Povey และคณะ, 1998) ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจที่จะนำหลักการของคลื่นUltrasonic มาทดลองใช้กับขั้นตอนการล้างข้าวและแช่ข้าวในกระบวนการผลิตแป้งข้าวเจ้าเพื่อเป็นการทำความสะอาด และเป็นการช่วยลดระยะเวลาในการแช่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าว ในส่วนของน้ำทิ้งที่ได้เมื่อนำไปแยกกากจะมีส่วนผสมที่มีคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะโปรตีน สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์เสริมมูลค่าให้แก่ทางโรงงานได้ และยังเป็นการลดปัญหาในการบำบัดน้ำเสียของทางโรงงานได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการนำคลื่นUltrasonic มาใช้ในขั้นตอนการล้างข้าวและการแช่ข้าว
2. เพื่อศึกษาสภาวะของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อกระบวนการล้างข้าวและแช่ข้าวด้วยคลื่นUltrasonic

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ในการศึกษาครั้งนี้จะมีถังแช่ข้าวที่มีการติดตั้งคลื่น Ultrasonic ที่ระดับความถี่ 28 KHz และ 40 KHz ขนาด 11 ลิตรมาใช้ในขั้นตอนการแช่ข้าว

วัตถุดิบที่ใช้คือปลายข้าวซึ่งซื้อจากตลาดทั่วไป ในการทดลองจะศึกษาเฉพาะในส่วนของขั้นตอนการล้างทำความสะอาดและขั้นตอนการแช่ข้าวเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ช่วยปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในขั้นตอนการล้างทำความสะอาดและการแช่ข้าว เช่นลดระยะเวลาในการดำเนินการให้สั้นลง

2.ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นจากส่วนของน้ำทิ้งของโรงงานผลิตแป้งข้าวเจ้า

3.ได้รับประสบการณ์ในการทำงานร่วมกับทางโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 นิยามและคำจำกัดความ

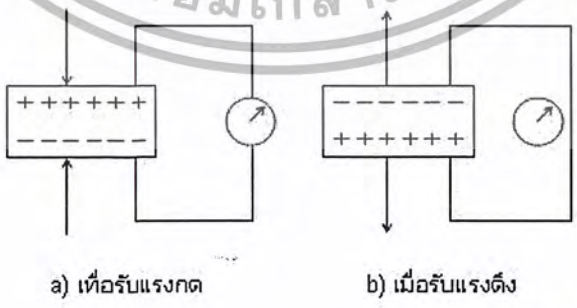
2.1.1 คลื่นอุลตร้าโซนิค

คลื่นอุลตร้าโซนิค คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าระดับที่หูมนุษย์ได้ยิน นั่นคือมีความถี่สูงกว่า 20 kHz สำหรับช่วงคลื่นที่ใช้ในงานทดสอบวัสดุนั้นจะอยู่ในช่วง 0.5- 1.5 MHz ในงานทดสอบพิเศษ (เช่น การทดสอบคอนกรีต) อาจใช้ช่วงคลื่นต่ำกว่า คือประมาณ 50 kHz การผลิตคลื่นอุลตร้าโซนิคมีหลายวิธี เช่น

ก. โดยวิธีกล ใช้วิธีเดียวกับการทำเสียงดนตรี แต่เพิ่มระดับความถี่ของเสียงให้สูงกว่า

ข. โดยใช้อำนาจแม่เหล็ก สารแม่เหล็ก (เช่น นิเกิล หรือ เหล็ก) เมื่อได้รับอำนาจจากแม่เหล็กก็จะหดตัวหรือขยายตัว และในทำนองเดียวกัน ถ้าแท่งเหล็กถูกเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ก็จะมีอำนาจในการทำให้หดหรือขยายตัว ซึ่งผลอันนี้เราจะสามารถนำไปใช้ผลิตคลื่นกำลังสูงเมื่อมีความถี่สูงๆ ได้

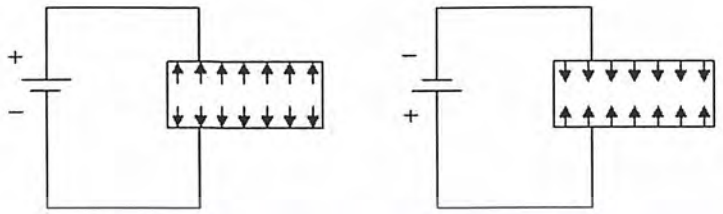
ค. การสั่นของผลึกเนื่องจากประจุไฟฟ้า (Piezoelectric Effect) คุณสมบัติของสารที่เป็นผลึกบางชนิดเมื่อได้รับการกระทำให้ยืดหรือหดตัวจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้นที่ผิวและขั้วของกระแสจะเปลี่ยนเป็นตรงข้าม ถ้าเปลี่ยนแรงกระทำให้เป็นไปในทางตรงข้าม กล่าวคือถ้ามีแรงกระทำให้ผิวของผลึกหดหรือยืด ก็จะทำให้เกิดกระแสสลับขึ้น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การกระทำของแรงก่อให้เกิดประจุลักษณะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในทางตรงข้าม ถ้าให้กระแสไหลผ่านผลึกก็จะทำให้ผิวของผลึกหด หรือขยายออก ดังนั้น ถ้าใช้กระแสไฟสลับกันส่งไปยังผิวของผลึกก็จะทำให้เกิดการสั่นขึ้น ดังรูปที่ 2.2



a) เมื่อต่อขั้วบวกเข้าด้านบนของผลึกจะทำให้ผลึกขยายตัวออก

b) เมื่อต่อขั้วบวกเข้าด้าน]ล่างของผลึกจะทำให้ผลึกหดตัวลง

รูปที่ 2.2 เมื่อต่อกระแสไฟเข้าที่ขั้วต่าง ๆ ของผลึกจะมีผลให้เกิดการยืด-หดตัว (การสั่น)

Piezoelectric Effect มิได้เกิดขึ้นกับผลึกทุกชนิด แต่จะเกิดขึ้นกับผลึกของสารบางชนิดเท่านั้น เช่น ควอทซ์ และ ผงอัดตัวของแบเรียมไตตาเนต, ลิเทียมซัลเฟต, ตะกั่วเซอร์โคเนต-ไตตาเนต (PzT) และตะกั่วเมทาไนโอเบท (บรรเลง, 2543)

ชนิดของคลื่นอุลตร้าโซนิค

คลื่นอุลตร้าโซนิค ที่เดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ มีหลายชนิดด้วยกันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้น

2.1.1.1 คลื่นตามยาว

คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) คือ คลื่นชนิดหนึ่งซึ่งทุก ๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ คลื่นตามยาวนี้สามารถเดินทางผ่านของแข็ง ของเหลวและก๊าซ โดยมากถ้ากล่าวถึงความเร็วของคลื่นแล้วจะหมายถึงความเร็วของคลื่นตามยาว ในการพิจารณาคลื่นตามยาวที่เดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ ได้นั้น ตัวกลางจะต้องมีขนาดใหญ่พอเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น

2.1.1.2 คลื่นตามขวาง

คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) คือคลื่นที่ทุก ๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อน คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดของตัวกลางใหญ่กว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของความยาวคลื่นและสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซ คลื่นตามขวางมีลักษณะเสมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปเพียงทิศทางเดียว เช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นไปเพียงทิศทางเดียว เช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องจากการแกว่ง ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาวในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกัน ความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

2.1.1.3 คลื่นผิวหน้า

คลื่นผิวหน้า (Surface Waves Rayleigh) คือ คลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวางจะต่างกันตรงที่ว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางของการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวนอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

2.1.2 ความถี่

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลตที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกัน เช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 เฮิร์ต มันก็จะมีความถี่เดียวกันกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง

2.1.3 ความยาวคลื่น

ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์หรือการเดินทางครบรอบ (1 cycle) สามารถกล่าวได้ว่าความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (Successive Compressions) หรือการเบาบางของอากาศ (Rarefaction) การอัดคือ การที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การเกิดอุลตร้าโซนิค (ธนาธิป , 2541)

อุลตร้าโซนิคเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปอื่น ให้มาเป็นพลังงานกลโดยการสั่นไปมาเหมือนเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกลทำให้เกิดคลื่นย่านอุลตร้าโซนิคกระจายออกไปในอากาศดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (Mechanical Wave) อุลตร้าโซนิคสามารถสร้างได้ โดยตัวทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลหลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

2.2.1.1 แบบเปียโซอิเลคทริค (Piezo-eletrice transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนท์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง

2.2.1.2 แบบแมกนีโตสตริคทีฟ(Magnetrostrictive tranducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

2.2.1.3 แบบอิเลคโตรสติคทีฟ (Electrostrictive transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล

สำหรับแบบเปียโซอิเลคทริคเป็นแบบที่นิยมใช้เพราะมีราคาถูก หาซื้อง่ายดังในรายละเอียดของเปียโซอิเลคทริค

2.2.2 ความเร็วของคลื่นอุลตร้าโซนิค (ธนาธิป , 2541)

คลื่นที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกันด้วยความเร็วที่แตกต่างและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุแรกสำหรับการโก่งตัวของคลื่นในบรรยากาศสำหรับทฤษฎีที่แสดงสำหรับความเร็วของคลื่นในก๊าซอุดมคติ (ideal gas) จะเป็นดังนี้

2.2.2.1 ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตร้าโซนิค

ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตร้าโซนิคจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่นอุลต้าโซนิคซึ่งจะมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร(W/cm^2) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 การลดทอนของคลื่นอุลตร้าโซนิค

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (Bcam) ของคลื่นอุลตร้าโซนิคจะสูญเสียความเข้มซึ่งเกิดจากการลู่ออกของลำคลื่นอุลตร้าโซนิค หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่น เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในตัวกลาง และอาจเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่น โดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของวัสดุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานจะยิ่งถูกดูดซับมาก

2.2.3 อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducers)

2.2.3.1 นิยาม

อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ คือ อุปกรณ์ซึ่งสามารถแปลงพลังงานกลโดยการสั่นไปมา ทำให้เกิดคลื่นอุลตร้าโซนิคกระจายไปในวัตถุตัวกลาง หรือจากพลังงานของคลื่นอุลตร้าโซนิคแปลงไปเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้จากตัวทรานสดิวเซอร์นั้น

ทรานสดิวเซอร์ที่ทำให้คลื่นอุลตร้าโซนิคมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. เมคคานิคเดิลทรานสดิวเซอร์ (Mechanical Transducers)
2. อิเล็กโตรเมคคานิคเดิลทรานสดิวเซอร์ (Electromechanical Transducers)

Electromechanical Transducers จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียง ที่ใช้กันอยู่มี 4 ชนิด

1. แบบมูฟวิ่งคอยล์ (Moving Coil)
2. แบบอิเล็กโตรสแตทริก (Electrostatic)
3. แบบเปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)
4. แบบเฟอร์โรอิเล็กทริก (Ferroelectric)

แบบ Moving Coil นั้นคล้าย ๆ กับ Moving Coil ของลำโพง มีประโยชน์มากในการเป็นตัวสั่น (Vibrator) ชนิดริบบอน (Ribbon) ทำด้วยอลูมิเนียมบาง ๆ วางไว้ระหว่างชั้นทั้งสองของแม่เหล็ก โดยทำตัวเสมือนเป็นขดลวดของมูฟวิ่งคอยล์ ใช้ทำให้เกิดคลื่นอุลตร้าโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Electrostatic ใช้หลักการที่ว่า ในระหว่าง Parallel Plate Capacitor เมื่อเราให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสองจะทำให้เกิดแรงขึ้น หลักใหญ่ของมันจะใช้ทำเป็นลำโพงเสียงที่มีคุณภาพสูง แต่ก็ใช้ทำให้เกิดการสั่นแบบอุลตร้าโซนิคในของแข็ง

แบบ Piezoelectric และ Ferroelectric ในผลึกที่ประกอบด้วยโพล่าโมเลกุล (Polar Molecule) ซึ่งขาดจุดศูนย์กลางของความสมมาตร (Center of Symmetry) ถ้าตัดเอา Plate อันเนื่องมาจากผลึกนี้ แล้วทำให้เกิดการบิดงอ (Deform) ด้วยเครื่องมือกล จะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองของ Plate ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ไดเร็กเปียโซอิเล็กทริก เอฟเฟ็ค (Direct Piezoelectric Effect) ถ้าศักย์ระหว่างผิวหน้าทั้งสองของ Plate นี้เกิดบิดเบี้ยวไปได้เองเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า อินเวอร์เปียโซอิเล็กทริกเอฟเอ็ค (Inverse Piezoelectric Effect) ตัวอย่างเช่น ผลึกควอทซ์ดังรูปที่ 2.3 แสดงหนึ่งหน่วยเซลซึ่งอยู่ระหว่าง Plane ที่ขนานกัน

(ก.) (ข.) (ค.)

รูปที่ 2.3 (ก) เซลที่ยังไม่ถูกแรงใด ๆ (ข) เซลที่ถูกอัด (ค) เซลถูกยืด

รูปที่ 2.3 (ก) จะอยู่ในสภาวะปกติ จุดศูนย์ถ่วงของประจุบวก ของซิลิกอนกับประจุลบของออกซิเจนอยู่ที่เดียวกัน และจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งสองเท่ากันจะไม่เกิดไดโพลดโมเมนต์ขึ้น ดังนั้นผลเนื่องจากการกระทำของประจุตกคร่อมระนาบทั้งสองที่ขนานกันจึงเป็นศูนย์

รูปที่ 2.3(ข) ถ้าเราทำให้มันเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิม โดยการจัดให้หดหรือดึงดังรูปที่ 2.3 (ค) จุดศูนย์ถ่วงของประจุทั้งสองจะไม่อยู่ที่เดียวกัน ทำให้เกิดการกระจายของประจุขึ้นระหว่างระนาบทั้งสอง

การทำให้เปลี่ยนรูปร่างด้วยการอัดหรือหดตามรูปนั้น จะเป็นการแยกจุดศูนย์ถ่วงผลจะทำให้เกิดประจุปรากฏบนระนาบทั้งสอง ในรูปแบบนี้เรียกว่า ไดเร็กเปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแบบอินเวอร์เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ก จะเกิดโดยให้สนามไฟฟ้าระหว่าง Plate ทั้งสอง ทำให้จุดศูนย์ถ่วงของประจุทั้งสองเคลื่อนออกจากกันในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เซลบิดเบี้ยวไปถ้ามีแผ่น ควอทซ์ซึ่งตัดมาจากผลึกควอทซ์ ในทิศทางที่จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขนานกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อเราให้สนามไฟฟ้าสลับ Plate นี้จะขยายและหดตัวด้วยความถี่เดียวกันกับสนามไฟฟ้า ซึ่งจะเหมือนกับลูกสูบ ดังนั้นมันจะเป็นตัวกำเนิดคลื่นเสียงได้

ปัจจุบันมีสารไม่กี่ชนิดที่จะให้ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก สารไดอิเล็กทริกทุกชนิดเป็นสารอิเล็กโทรสแตทริก แต่ปกติแล้วผลนี้จะน้อยมาก แต่สารที่ให้ผลอย่างมากได้แก่ สารไททาเนท (Titanates) ซีคอเนท (Zieconates) และในกรณีเช่นนี้เรียกว่า เป็นสารเฟอร์โรอิเล็กทริก ปกติสารเหล่านี้จะอยู่ในรูปของส่วนผสมเซรามิค ซึ่งประกอบไปด้วยโดเมน (Domain) ที่มีขั้วอิสระรวมตัวกันมากๆ ถ้านำสารแบบนี้มาสักหนึ่งชนิด นำไปเผาให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเคอริก (Curic Temperature) ของสาร แล้วทำให้เย็นภายใต้สนามไฟฟ้าสูง ๆ ทิศทางของขั้วของโดเมนต่าง ๆ จะวางตัวไปแนวเดียวกับสนามและจะยังคงอยู่ต่อไปเช่นนั้น แม้ว่าจะเอาสนามไฟฟ้าออกไปนั่นแสดงว่ามันแสดงคุณสมบัติ เช่นPermanent Electric บางทีสารจะเป็นสารเปียโซอิเล็กทริก ถ้าหากว่าสารประพฤติตัวไปตามสมการของเปียโซอิเล็กทริก(ธนวัฒน์ , 2541)

2.2.3.2 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในทางอุลตร้าโซนิคจะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีเปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค และที่ใช้กันมากคือ ผลึกแร่ควอทซ์ (Quartz) , แบเลี่ยมติตาเนท (Barium titanate) และลีดเซอโคเนท (Lead circonate titanate) สารเหล่านี้เมื่อนำมาทำทรานสดิวเซอร์ ยังแสดงคุณสมบัติเป็นคาปาซิเตอร์ทางไฟฟ้าด้วย ค่าคาปาซิแตนซ์เป็นไมโครฟารัดจะได้สัดส่วนกับค่าคงที่อิเล็กทริก (dielectric constant,K) ของวัสดุคูณด้วยพื้นที่ และหารด้วยความหนาโครงสร้างของทรานสดิวเซอร์มีความคล้ายคาปาซิเตอร์ที่ว่า Electrode ที่อยู่สองข้างถูกแยกโดยช่องที่มีสารเซรามิค จะทำให้ไดโพล (dipole) เคลื่อนไหวได้โดยเสรีและที่จุดนี้เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าเข้าไป ก็จะมีการจัดเรียงตัวและคุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริกจะหมดไป ดังนั้นความร้อนจะสามารถทำลาย ทรานสดิวเซอร์ได้ โดยเฉพาะถ้าอุณหภูมิสูงเกินเคอริก

ค่าคงที่ไดเลกตริกเป็นค่าที่แสดงว่าทรานสดิวเซอร์ต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่าใด จึงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ ทั้งแบเลี่ยมติตาเนท และลีดเซอโคเนท มีประสิทธิภาพมากกว่าผลึกแร่ควอทซ์ 5-6 เท่า เนื่องจากค่าคงที่ไดเลคตริกต่ำมากและมีค่าคงที่ Coupling constant ต่ำมากจึงไม่ค่อยได้นำควอทซ์มาใช้ในเครื่องอุลตร้าโซนิคในปัจจุบัน(ธนวัฒน์, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

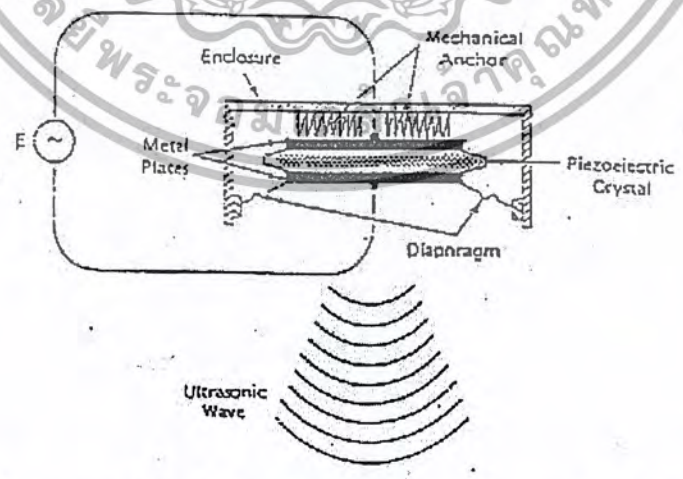
2.2.3.3 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์

ความถี่ของทรานสดิวเซอร์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเชิงกลและลักษณะทางรูปร่าง ตัวอย่าง เซรามิคแท่งเหลี่ยมแบนจะมีความถี่เรโซแนนซ์ได้ 3 อย่าง คือ มีความยืดหดตามความหนาและรัศมี อย่างไรก็ดี เมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปก็สามารถทำให้ทรานสดิวเซอร์ยืดหดในแนวไหนก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นไฟฟ้าที่ใช้(ธนวัฒน์ , 2541)

2.2.3.4 เปียโซทรานสดิวเซอร์ (Piezo Transducer)

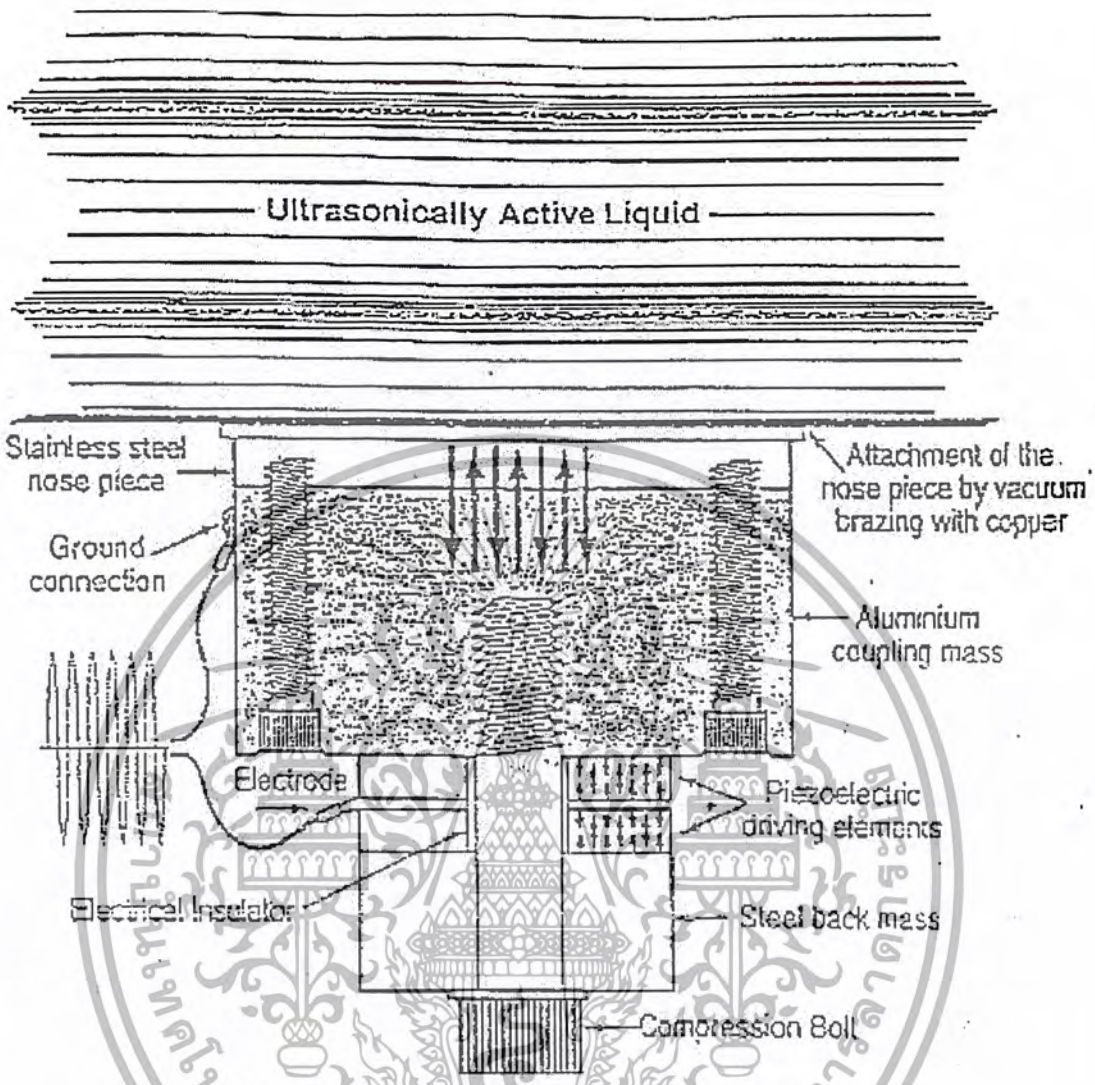
โครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริก (Piezoeletric element) ซึ่งสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ผลึกแร่ควอทซ์ (Quartz) , แบเลี่ยมติตาเนท (Barium titanate) , เกลือร็อคเซล (Rochelle salt) ฯลฯ แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริกที่ทำมาจากแบเลี่ยมติตาเนท ซึ่งได้จากการผสมสารติตาเนี่ยมกับแบเลี่ยมคาบอเนท ที่อุณหภูมิประมาณ 1300-1400 องศาเซลเซียส และผลิตออกมาในรูปของชิ้นสารเซรามิคซึ่งจะเป็นรูปเหลี่ยมโดยส่วนใหญ่

จากชิ้นเซรามิคนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นเงิน เพื่อต่อเป็นขาของอิเล็คโทรดนั่นเอง ด้านข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการสั่น ส่วนอีกด้านจะยึดกับแผ่นไดอะแฟรมซึ่งสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ โดยแผ่นไดอะแฟรมนี้จะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้ายเลนซ์ เพื่อรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น(ธนวัฒน์ , 2541)



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในทั่ว ๆ ไปของทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

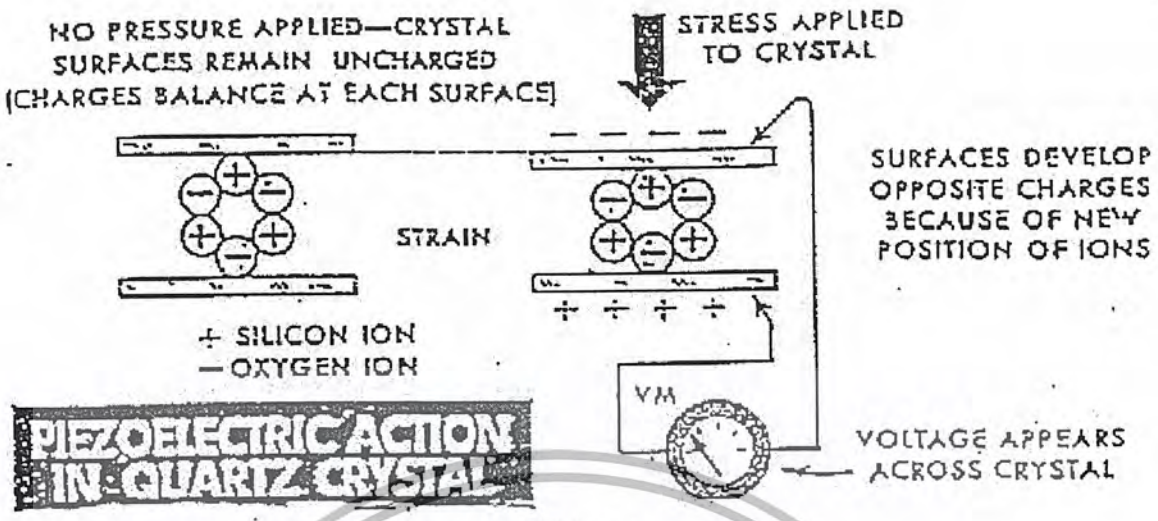


รูปที่ 2.5 เปียโซอิเล็กทริก (piezoeletric)

2.2.3.5 เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค

ปรากฏการณ์แบบเปียโซอิเล็กทริก สามารถอธิบายได้คือ เมื่อสภาวะปกติยังไม่มีความดัน หรือคลื่นมาตกกระทบกับชิ้นสารเซรามิค ประจุไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายในชิ้นสารจะเกิดการสมดุล ทำให้แผ่นเพลทเงินที่ประกบอยู่มีศักย์ไฟฟ้าที่เท่า ๆ กัน ซึ่งผลรวมของประจุไฟฟ้าบนแผ่นเพลทมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีความดันหรือคลื่นเสียงมาตกกระทบชิ้นสารเซรามิค จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นสาร คือ เกิดมีประจุตรงข้ามขึ้นบนแผ่นเพลทที่ประกบชิ้นสารเซรามิคอยู่ซึ่งผลของประจุไฟฟ้าตรงข้ามนี้ทำให้เกิดเป็นแรงดันตกคร่อมแผ่นเพลททั้งสอง ขนาดของแรงดันตกคร่อมนี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของความดันหรือคลื่นที่มาตกกระทบชิ้นสารเซรามิคที่โก่งงอไปมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก โดยอธิบายในลักษณะที่ชิ้นสารทำจากแร่ควอทซ์

ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างพลังงานกลกับพลังงานไฟฟ้า ในกรณีการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล คือ ตัวส่งคลื่นอุลตร้าโซนิคซึ่งการทำงานคือ เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งอาจมีความถี่ในช่วง 20 – 100 kHz แรงดันที่ป้อนนี้จะทำให้ชิ้นสารเซรามิคเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยที่ด้านหนึ่งของชิ้นสารเซรามิคจะถูกกดกับแผ่นไดอะแฟรม เมื่อชิ้นสารเซรามิคเกิดการบิดตัวไปมาจะทำให้แผ่นไดอะแฟรมนี้อัดกับอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นความถี่เดียวกับสัญญาณที่ป้อนเข้า ซึ่งคลื่นที่ผลิตได้จะมีกำลังเอาต์พุทสูงสุดเมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนท์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิคชิ้นนั้น ส่วนความถี่อื่น ๆ นอกเหนือจากนี้จะทำให้มีค่าลดลงกว่าความถี่ เรโซแนนท์มาก

ในทางกลับกันการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า คือ ตัวรับคลื่นอุลตร้าโซนิคเราสามารถที่จะมองได้ว่าเป็นแหล่งจ่ายหนึ่ง ๆ เพราะไม่ต้องการแหล่งจ่ายอื่น ๆ มาป้อนก็สามารถสร้างแรงดันออกมาได้ เพียงแต่มีขนาดแรงดันไม่สูงมากนัก โดยการทำงานของตัวรับคลื่นเกิดจาก เมื่อมีความดันมาตกกระทบแผ่นไดอะแฟรม ค่าความถี่ของคลื่นจะทำให้ชิ้นสารเซรามิคถูกบีบไปมา ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกบนชิ้นสาร ทำให้สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่เดียวกับคลื่นที่มาตกกระทบได้ (ธนวัฒน์, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.6 ปรากฏการณ์เปียโซอิเลคทริค

เปียโซอิเลคทริคเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่งซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ โซลิตริสตอลไลน์ ไดอิเลคทริค (Solid Crystalline Dielectric) ก็จะเกิดความเค้น (Stress) ภายในคริสตอล และทำให้คริสตอลแลททิช (Crystal Lattice) ผิดรูปไปเช่น พวก ควอทซ์ (Quartz) ผลก็คือประจุจะเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลททิชเป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ (Displacement) ของประจุบวกและลบในแลททิชเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตอล เรียกว่า ผลของเปียโซอิเลคทริค (Piezoelectric Effect)

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเลคโทรด (electrode) เข้าที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด และ การมีขั้ว ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรง ที่มากระทำ

ชิ้นส่วนเปียโซอิเลคทริค (Piezoelectric element) จะมีการตัดแบบต่าง ๆ เพื่อผลทางสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิซึ่งการตัดก็ถือวิธีการตัดตามแกนต่าง ๆ

วัสดุเปียโซอิเลคทริคที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Quartz ,Tourmaline Rochelle salt , Ammonium Dihydrogen Phosphate (ADP) , Lithium Sulphate , Barium Titanate และ Lead Zirconate Titanate (PZI) โดยทั่วไปแล้วพวกควอทซ์และคริสตอลที่เป็นเปียโซอิเลคทริคที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียม ไททาเนต เซรามิค จะต้องนำมาทำการอบคริสตอลภายใต้แรงดัน และวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของไฟฟ้ากระแสตรงสูงมาก หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกนำไปอยู่ในสนามไฟฟ้าแล้วคริสตอลนี้จะมีขั้วตามแนวของทิศทางของสนามและประพฤติตัวตามคุณสมบัติของเปียโซอิเลคทริค สำหรับชิ้นส่วนวัสดุที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโคลงสร้างของคริสตอล และยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ และทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

2.2.3.7 ชนิดของเปียโซอิเลคทริคทรานสดิวเซอร์

เปียโซอิเลคทริคทรานสดิวเซอร์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

แบบ Generation-Action transducer ใช้เป็นตัวรับโดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุเปียโซอิเลคทริค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Motor-Action transducer ใช้เป็นตัวส่งโดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอุลตร้าโซนิค จะขึ้นอยู่กับขนาดความสูงและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ในทั้งสองกรณี กรณีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับขนาดของวัสดุ

2.2.3.8 การทำงานของทรานดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เมื่อเซรามิคได้รับสัญญาณแรงดันมาตกคร่อม จะทำให้ชิ้นสารเซรามิคโก่งงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วง ๆ (Electrically Pulse) จากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชิ้นสารโก่งงอมากน้อยหรือทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แต่เอาท์พุทจะสูงสุดอยู่ที่ค่านี้ โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่สัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าชิ้นสารเซรามิคตรงกับความถี่เรโซแนนท์ที่เป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิคนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้

ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับตัวส่งคือเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชิ้นสารเซรามิคเข้ามาจะทำให้ชิ้นสารโก่งตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขึ้นซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคทริคก็คือมีความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง 100 เมกกะโอห์ม เรียกว่าถ้าเอามัลติมิเตอร์ธรรมดามาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เข็มจะไม่กระดิกเลยแต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานไฟสลับจะลดลง

ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับพอที่จะสรุปเป็นแนวทางใช้งานดังนี้

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูงเพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย
2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมสูงสุดได้ไม่เกิน 20 Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้
3. ความถี่เรโซแนนท์ (ความถี่ที่ตัวมันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40 กิโลเฮิร์ต ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน +1 กิโลเฮิร์ต และมีแถบความถี่ประมาณ 4.5 กิโลเฮิร์ต (bandwidth) สำหรับตัวส่งและมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 กิโลเฮิร์ต สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งเล็กน้อยเพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

4. อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส

5. ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมากกล่าวคือที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 เดซิเบล ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงแบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาก็จะลดลงไปประมาณ 10 เดซิเบลด้วยเช่นกัน (ธนาธิป , 2541)

2.2.4 ปรากฏการณ์ CAVITATION AND IMPLOSION

ในสื่อตัวกลางที่ยืดหยุ่น เช่น อากาศ และของแข็งเกือบทั้งหมดนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเกิดขึ้นในขณะที่คลื่นเสียงถูกส่งผ่าน ส่วนในตัวกลางที่ไม่ยืดหยุ่นเช่น น้ำหรือของเหลวทั่วไป จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่แอมพลิจูด หรือความดัง (Loudness) ของเสียงนั้นต่ำ

ขณะที่แอมพลิจูดของเสียงเพิ่มขึ้นนั้น ขนาดของความดังที่เป็นลบ (Negative Pressure) ในบริเวณที่คลื่นขยายตัว (Rarefaction) จะเป็นสาเหตุที่เพียงพอที่จะทำให้ของเหลวแตกตัวออกในที่สุด ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า คาวิเตชั่น (Cavitation) ปรากฏการณ์ คาวิเตชั่น (ฟองอากาศ) จะเกิดขึ้นบริเวณที่มีการขยายตัว ของเหลวจะแตกออกหรือฉีกขาดเนื่องจาก Negative Pressure ของคลื่นเสียงในของเหลว

ขณะที่คลื่นเสียงเดินทางไปข้างหน้า คาวิเตชั่น (Cavitation) จะแกว่ง (Oscillate) ภายใต้อิทธิพลของความดันที่เป็นบวก และจะโตขึ้นจนมีขนาดที่ไม่มีเสถียรภาพ ในที่สุดจะเกิดการยุบตัวลงอย่างรุนแรงของ Cavitation เป็นผลให้เกิดการ Implosion ซึ่งจะทำให้คลื่น Shock Wave ของคาวิเตชั่น ที่เกิดขึ้นจำนวนมากในของเหลวนั้นเป็นผลที่เกี่ยวเนื่องมาจากการกระตุ้นของคลื่น Ultrasonic นั่นเอง

ได้มีการคำนวณว่า บริเวณที่เกิด Implosion ของฟองอากาศคาวิเตชั่นนั้น จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า 10,000 องศาฟาเรนไฮน์ และมีความดันที่สูงกว่า 10,000 PSI (ธนวัฒน์ , 2541)

การขับแก๊ส คือ การเคลื่อนตัวออกของอากาศที่ไม่ต้องการจากของเหลวเมื่อมีโพรงอากาศก็จะมีแก๊สที่ไม่ต้องการทำให้เกิดฟองอากาศ ซึ่งทำให้ของเหลวพองตัวอยู่ไม่ยุบสลาย ฟองอากาศเหล่านี้ก็ทำหน้าที่คล้ายกับ "ที่กันสะเทือน" (SHOCK ABSORBERA) ซึ่งลดประสิทธิภาพในการทำความสะอาดปริมาณของอากาศสามารถลดลงได้โดยการปิดสวิทซ์เป็นระยะ ๆ หรือเปลี่ยนคลื่นเสียงพลังเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ฟองอากาศที่ใกล้กัน เกาะติดกันลอยตัวอยู่บนพื้นผิว และหลักการกระจายไป ชนิดของคลื่นเสียงมีความสำคัญสำหรับทำให้เกิดการสมดุลที่ถูกต้องระหว่างการขับแก๊สและประสิทธิภาพการทำความสะอาด ต้องถูกต้องแต่ละชนิดความถี่เป็นผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำความสะอาด โดยการกำหนดขนาดของช่องความถี่ต่ำทำให้เกิดโพรงใหญ่แต่ไม่มาก ซึ่งมีพลังการทำความสะอาดที่สูงมาก ความถี่สูงทำให้เกิดโพรงเล็กจำนวนมาก มีประสิทธิภาพในการชอนไช การเลือกความถี่ที่ถูกต้องเป็นเรื่องยากแล้วแต่ความต้องการความถี่ยังทำให้เกิดผลกระทบต่อการขับของแก๊สด้วย

ประสิทธิภาพในการทำความสะอาด เป็นผลกระทบมาจากสารเคมีและลักษณะทางกายภาพของของเหลว สำหรับการทำความสะอาดที่ดีที่สุดแล้ว ของเหลวต้องไปทำให้คราบสกปรกอ่อนนุ่มในทางเคมี และยังต้องคงไว้ซึ่งความเป็นโพรง ดังมีลักษณะที่ต้องการสำหรับถ่ายเทให้ไม่ชุ่มน้ำและช่วยให้ส่วนที่สะอาดแล้วแห้งละลาย ในการทำความสะอาดอุลตร้าโซนิคจะต้องมีลักษณะกว้าง ๆ เช่น การอุ้มน้ำหรือไม่อุ้ม(สารละลาย) การเลือกขั้นสุดท้ายจะขึ้นอยู่กับการพิจารณากระบวนการทั้งสิ้นสำหรับชนิดที่จะเหมาะสมในการทำความสะอาด

พลังงานอุลตร้าโซนิคเกิดขึ้นภายในของเหลว โดยการเปลี่ยนแปลงซึ่งเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเสียง หัวสั่น (TRANSDUCERS) มีหน้าที่คล้ายกับลำโพงวิทยุ เว้นแต่ว่าทำหน้าที่บนความถี่ อุลตร้าโซนิคและถ่ายทอดพลังงานเสียงไปสู่ของเหลวแทนที่ไปสู่อากาศ หัวสั่น (TRANSDUCERS) ประกอบด้วยตัวสั่นสะเทือน (PIEZEOLECIRIC DISC) สอดไว้ระหว่างแผ่นโลหะหนา หัวสั่นจะถูกติดไว้ก้นถังที่บรรจุของเหลวที่ทำความสะอาดหรือที่บรรจุในกล่องแสตนเลสที่กันน้ำเข้า แล้วจุ่มไปในของเหลวที่ทำความสะอาดอีกทีหนึ่ง เพื่อความแน่นอนต้องใช้หัวสั่นหลายตัวขึ้นอยู่กับขนาดของถังจะดีกว่าที่จะใช้ตัวเดียวซึ่งต้องทำงานหนักมาก หัวสั่นถูกกระตุ้นโดยตัวกำเนิดพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ (GENERATOR) ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าสำหรับกระตุ้นตัวหัวสั่นให้เหมาะสมกับความถี่ที่ต้องการ ระบบการทำงานของอุลตร้าโซนิคประกอบด้วยพื้นฐาน 4 ข้อ คือ ตัวกำเนิดพลังงาน (GENERATOR) ขนาดของตัวถังและวัตถุ , หัวสั่น (TRANSDUCERS) และสารเคมีหรือสารละลายที่ใช้ทำความสะอาด ทั้ง 4 ข้อ ประกอบกันเพื่อให้เกิดการทำงานที่ดีที่สุดของอุลตร้าโซนิค อุณหภูมิก็มีส่วนเหมือนกัน วิศวกรบางคนเข้าใจว่าความดันโพรงอากาศ (CAVITATION PRESSURE) ไม่สามารถควบคุมได้ ความดันเมื่อเกิดเป็นความดันของไอน้ำ (VAPOR PRESSURE) ของของเหลวและการรวมตัวของมัน อุณหภูมิยิ่งสูงความดันโพรงอากาศยิ่งต่ำ อุณหภูมิที่ใกล้จุดเดือดความดันโพรงอากาศลงเหมือนกัน (ความดันโพรงอากาศศูนย์มันจะไม่ทำงาน) ดังนั้น อุณหภูมิ เป็นตัวช่วยสำหรับบางชิ้นงาน เช่น สังกะสีฟอตเฟตอุลตร้าจะชอนเป็นรูหมด ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้ลดโพรงอากาศลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ดังนั้นต้องพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ประกอบกันจึงจะให้ผลดีที่สุด (เอกสารเผยแพร่ จากบริษัท ดี เอส ซี กรุ๊ป จำกัด , 2546)

2.2.5 เครื่องอุลตร้าโซนิคที่เกี่ยวกับการทำความสะอาด

อุลตร้าโซนิค คือ เสียงที่อยู่เหนือการได้ยินตามปกติ (18,000 เฮิรตซ์ หรือมากกว่า) ส่วนมากจะอยู่ในช่วง 20 หรือ 40 กิโลเฮิรตซ์ เสียงนี้ส่งผ่านของเหลวด้วยพลังที่เหมาะสมซึ่งโดยปกติเป็น 5 ถึง 10 วัตต์ /ตารางนิ้ว(0.775 ถึง 1.55 วัตต์ /ตารางเซนติเมตร) ของพื้นที่สะอาด และทำให้เกิดปฏิกิริยาเชิงกลจากความกดอัดของปล่อยของเหลว (CAVITATION) ขบวนการนี้อาจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง เกิดการเสียดสีขัดถูทำให้เกิดผลกริยาการขัดถู คือการขับแก๊สของของเหลวโดยความถี่อุลตร้าโซนิคและลักษณะทางเคมีของของเหลว ณ อุณหภูมิกำหนดเฉพาะ (เอกสารเผยแพร่ จากบริษัท ดี เอส ซี กรุ๊ป จำกัด, 2546)

2.3 การประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิคในกระบวนการอาหาร(Povey และคณะ, 1998)

2.3.1 กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation process)

Ishimori et al.ใช้ประโยชน์จาก Ultrasonic ในกระบวนการออกซิเดชันคือ เป็นการช่วยย่นระยะเวลาในการหมักผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ไวน์ ที่มีการจำกัดการออกซิเดชันเพื่อเป็นการปรับปรุงรสชาติและเร่งอายุของผลิตภัณฑ์ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เร็วขึ้น อิทธิพลของ Ultrasonic ในช่วงความถี่ 1 MHz จะแสดงให้เห็นถึงผลการเปลี่ยนแปลงอย่างสมดุลของ Alcohol / Ester ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในเรื่องอายุของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

Rosenfeld และ Schmidt ใช้ Ultrasonic ในการผลิต Whisky ซึ่งช่วยย่นระยะเวลาในการบ่มลงได้ถึง 1 ปี เมื่อเทียบกับการบ่มโดยกรรมวิธีธรรมดา

2.3.2 ปฏิกิริยาเอนไซม์ (Enzyme reactions)

Chambers ใช้ Ultrasonic ในการยับยั้งปฏิกิริยาของเอมไซม์ได้ ตัวอย่างเช่น เอมไซม์ในเปปซินนั้นจะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้เมื่ออยู่ภายใต้การใช้คลื่นเสียง

Carwford ใช้คลื่นเสียงในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของ Sucrose

58558
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การกระตุ้นเซลล์สิ่งมีชีวิต (Stimulation of living cells)

Cordemans ใช้ Ultrasonic ในการกระตุ้นการทำงานของเซลล์สิ่งมีชีวิตได้ ตัวอย่างเช่น ในการผลิตนมเปรี้ยว ซึ่งการใช้ Ultrasonic สามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตลงได้ถึง 40% นอกจากนี้ยังได้มีการปรับปรุงการใช้ Ultrasonic ในการปรับปรุงระดับความเข้มข้นและ texture ของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งปรับปรุงการทำงานของ lactobacillus ได้ประมาณ 50% และมีผลในการทำให้หวานขึ้นโดยปราศจากการเพิ่มขึ้นของแคลอรี่

Choi และ Chung นำ Ultrasonic มาใช้ในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของเมล็ดพืชได้ โดยจากการศึกษาการกระตุ้นการเจริญเติบโตของเมล็ดพืช Cymbidium species พบว่าการ Ultrasonic wave 4 ชั่วโมง ให้ผลในการเจริญเติบโตที่เร็วกว่าและรากมีการเจริญเติบโตที่เร็วกว่าด้วย

2.3.4 กระบวนการเตอริไรเซชัน (Sterilization)

Boucher ใช้ Ultrasonic ในเรื่องของการพาสเจอร์ไรซ์ การสเตอร์ริไรซ์ และการทำให้ผิวหน้าของอุปกรณ์สะอาด ซึ่งนำไปใช้เกี่ยวกับการแพทย์ เกี่ยวกับการศัลยกรรม เกี่ยวกับการทันตกรรม และในอุตสาหกรรมอาหาร

2.3.5 Ultrasonic emulsification

Ultrasonic มีส่วนช่วยในการทำ Emulsification โดย Shock wave จาก Ultrasonic สามารถทำให้ฟองอากาศที่อยู่ใกล้เฟสของของเหลว 2 ชนิดที่รวมตัวกันไม่ได้ให้ทั้งหมดผสมกันเป็นชั้นเดียวกันได้ ซึ่งได้มีการนำไปใช้ในสิ่งทอ เครื่องสำอาง ทางเภสัชกรรมและในทางอุตสาหกรรมอาหาร

2.3.6 การสกัด (Extraction)

ผลทางกลของ Ultrasound จะให้ผลดี 2 ข้อหลัก ๆ ในการเพิ่มผลการสกัด

- ทำให้สารละลายสามารถซึมหรือแพร่เข้าสู่เซลล์ของวัสดุได้ดีขึ้น กล่าวคือมีส่วนช่วยในการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลระหว่างผิวสัมผัส
- แยกผนังเซลล์สิ่งมีชีวิต ที่ผิว และภายในวัสดุที่ทำด้วยพืช เพื่อที่จะทำให้ง่ายในการซึมแพร่ ในการสกัดน้ำตาลจำพวก หัวบีท ที่ถูกค้นพบก็ถูกพัฒนาโดยใช้ Power Ultrasound

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ultrasonic จะช่วยสกัดผลิตภัณฑ์ เกี่ยวกับส่วนประกอบของยา เช่น helicid ,berberine hydrollride และ bergenin จากพืชจีน helicid ปกติจะสกัดได้จากการไหลผ่าน ethanol แต่จะได้มากกว่า 50% ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ Ultrasound

Wang สกัดโปรตีนจากถั่วเหลืองที่ปราศจากไขมัน ได้มีการศึกษาโดย และกระบวนการต่อมา ถูกพัฒนาโดยการใช้ Sonication ของ Slurry โดยใช้ 550 W. ที่ 20 KHz ผลการสกัดดีกว่าการสกัดเดิม

การสกัดชาจากใบ เป็นความสำคัญทางการค้ามาก เพราะต้องผลิตโดยที่ปริมาณชาคงที่ ชาคงที่นี้ จะเป็นผงแป้งที่ได้จาก ชาบริสุทธิ์ที่ได้จากการแช่น้ำ และถูกย้ายโดยการ Spray drying การใช้ Ultrasound จะเพิ่มการสกัด ที่ $T = 60\ ^{\circ}C$ โดยได้เกือบ 20 % ประสิทธิภาพของการสกัด Ultrasonic จะมากกว่าการสกัดที่ อุณหภูมิปกติ และต้องการเวลาน้อยกว่า วัตถุที่ถูกสกัดโดย Sonication จะใช้เวลา 10 นาที

การประยุกต์ใช้ Ultrasonic ยังมีตัวอย่างในด้านอื่นๆอีกได้แก่

- Prepare Tissue
- Accelerate Enzymatic Reactions
- Disperse Solid
- Extract DNA/RNA
- Prepare Emulsions
- Accelerate Chemical Reactions
- De-gas Liquids
- Dissolve Tablets
- Extract Proteins (http://uregina.ca/~ngdann/BIOC420/lab2.htm)
- Immiscible Liquids
- Stimulate Bacterial Activity
- Deaglomerate Powders
- Emulsify Cosmetics
- Emulsify Liposomes (www.biologics-inc.com/ultrasonic_homogenize.htm)
- Meat products
- Crystallization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Degassing
- Acoustically aided filtration
- Acoustic drying
- Effect of rice grain (Povey และคณะ, 1998)

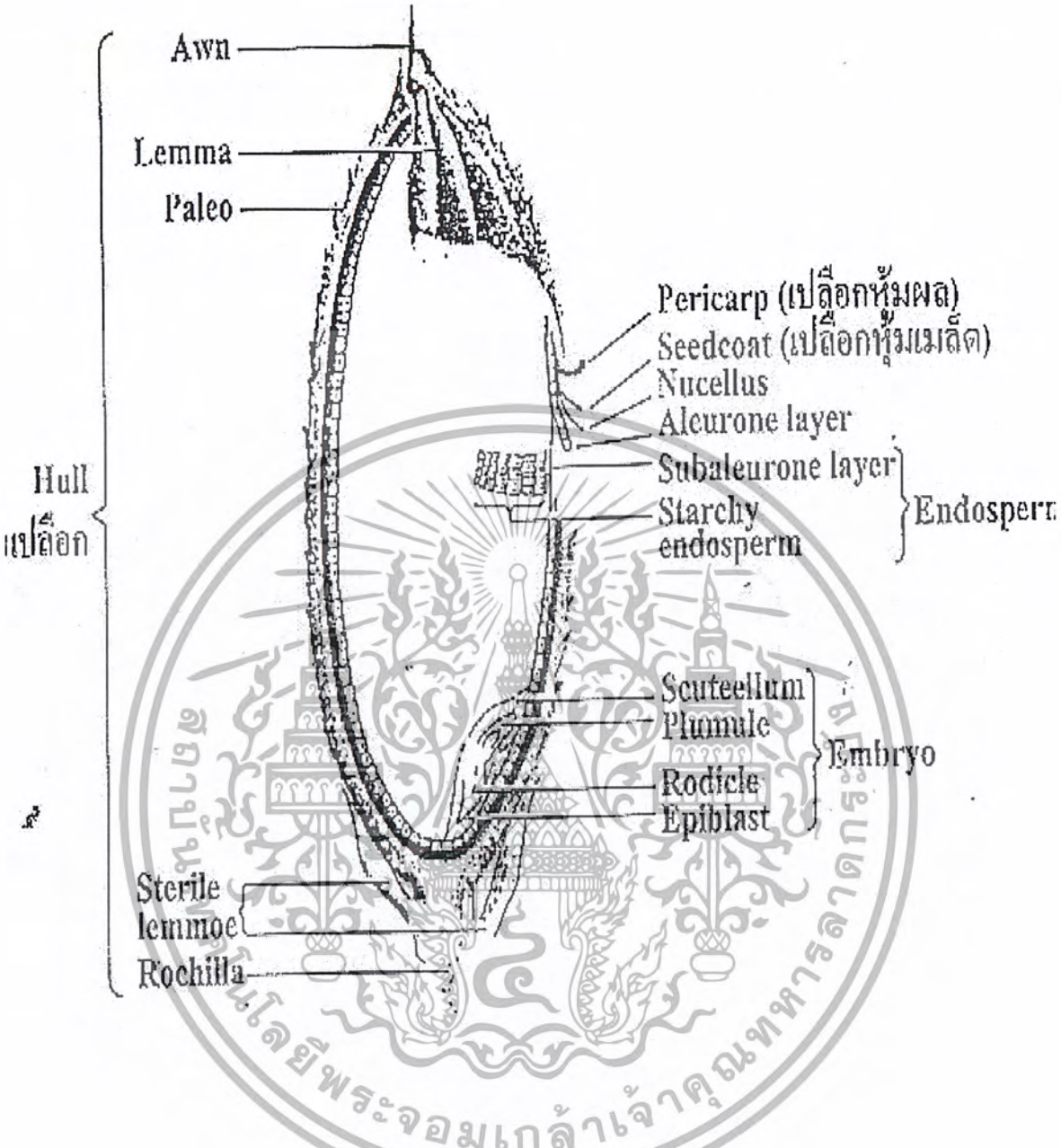
2.4 ข้าว

ประเทศไทยเป็นประเทศที่สามารถผลิตข้าวได้มากเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก ผลผลิตประมาณร้อยละ 60-70 ใช้เพื่อการบริโภคภายในประเทศทั้งในรูปของการบริโภคโดยตรง การใช้เลี้ยงสัตว์และเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว บะหมี่ และแป้งเป็นต้น

2.4.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ข้าวจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน และแต่ละส่วนมีร้อยละที่เป็นองค์ประกอบโดยน้ำหนักของข้าว (rice caryopsis) ดังนี้ pericarp (1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์) , aleurone (4 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์) , embryo (germ) (2 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์) และ starchy endosperm (89 ถึง 94 เปอร์เซ็นต์) (ดังภาพที่ 2.7) สำหรับชั้นของ aleurone อาจจะมีตั้งแต่ 1 ถึง 7 ชั้น และอยู่อย่างหนาแน่นบน dorsal surface มากกว่าจะอยู่ตาม lateral surface และ ventral surface เซลล์ของชั้น aleurone จะเต็มไปด้วยโปรตีนสอดแทรกอยู่ใน sheath ของ far-staining material ในส่วนของ starchy endosperm จะประกอบด้วยผนังของ parenchyma cell ซึ่งมักจะมีรัศมีตามยาวและมีสารประกอบของแกรนูลสตาร์ชบรรจุอยู่อย่างมากและพบว่ามี protein body อยู่บ้าง ข้าวโดยทั่วไปจะเป็นข้าวเจ้าและมีเอนโดสเปอร์มที่แข็งใสเหมือนแก้ว ส่วนข้าวชนิดอื่นที่เป็นที่รู้จักกันดังเช่น ข้าวเหนียว , waxy rice ซึ่งมีเอนโดสเปอร์มขุ่นเหมือนชอล์ก ความแตกต่างทางคุณสมบัติทางกายภาพของเอนโดสเปอร์มนี้จะเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะที่แตกต่างของสตาร์ชของข้าวทั้งสองชนิด การขัดสีข้าวจะกำจัดชั้นที่อยู่ด้านนอก (pericarp ,ชั้นของ alurone ส่วนมากและส่วนของเอมบริโอเอนโดสเปอร์ม) ส่วนที่ได้จากการขัดสีจะเป็นข้าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวเจ้า

(Juliano, 1972)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การขัดสีข้าว

กระบวนการสีข้าวจะได้เป็นข้าวขาวร้อยละ 40 ถึง 55 นอกนั้นจะเป็นผลผลิตผลพลอยได้ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ แกลบเป็นร้อยละ 20 , รำข้าวร้อยละ 10 และ ปลายข้าวร้อยละ 10 ถึง 22 (Lasztity, 1996) ซึ่งไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดปลายข้าวหรือข้าวท่อนได้ นอกจากนี้ยังพบว่ามีข้าวหักเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บเกี่ยว , การจับต้อง , การทำแห้ง และในแต่ละขั้นตอนของการขัดสีจะเกิดข้าวหักประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของข้าวที่ผ่านการขัดสี เมื่อทำการเปรียบเทียบราคาขายของข้าวหักกับข้าวเต็มเมล็ดจะพบว่าข้าวหักที่มีขนาดใหญ่จะขายได้ราคามากกว่าครึ่งหนึ่งของข้าวเต็มเมล็ดเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ข้าวหักที่มีขนาดเล็กกว่าจะขายได้ราคาน้อยกว่าครึ่งของข้าวเต็มเมล็ดขัดสี (เพียง 30-50 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ด) ดังนั้นจึงมักจะเลือกข้าวหักที่มีขนาดเล็กไปบดเพื่อ ทำฟลาวหรือใช้ในการทำเบียร์ และการผลิตสตาร์ชข้าว เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวหัก

2.5 องค์ประกอบของข้าว

องค์ประกอบและคุณสมบัติของข้าวเปลือกและส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการขัดสีจะเกี่ยวข้องกับสายพันธุ์ , สิ่งแวดล้อมและกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจากการวิเคราะห์ องค์ประกอบปรากฏว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่กว้าง (ตารางที่ 2.1) สำหรับรำทางการค้าอาจจะมีส่วนของรำละเอียดอยู่มาก (สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์) ส่วน germ มักรวมเอาส่วนของรำเอาไว้ด้วยเว้นแต่จะถูกแยกออกไปโดยการใช้ตะแกรง

2.6 สตาร์ชและฟลาวข้าว

ฟลาวข้าว (rice flour) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากการนำเอาข้าวหักที่ได้จากการขัดสีมาบดหรือโม่ ดังนั้นส่วนประกอบของ ฟลาว จึงประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบดั้งเดิมทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย แร่ธาตุต่าง ๆ เป็นต้น

สตาร์ชข้าว (rice starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาฟลาวข้าวมาผ่านกระบวนการเพื่อที่จะกำจัดส่วนของโปรตีนที่อยู่รวมกับสตาร์ชออกไป ซึ่งลักษณะองค์ประกอบทางเคมี ของสตาร์ชข้าวทางการค้า (จากรายงานการวิเคราะห์ของ Konig) จะมีร้อยละขององค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ น้ำเท่ากับ 13.71 , โปรตีน เท่ากับ 0.81 , ไขมัน , คาร์โบไฮเดรต และไฟเบอร์ เท่ากับ 85.18 และเถ้าเท่ากับ 0.30 (Winton ,1906)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ช่วงค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบที่ทำการวิเคราะห์และปริมาณ (ร้อยละ) ของอินทรีย์สารที่มีอยู่ในข้าวเปลือกและส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการขัดสีซึ่งมีความชื้นเท่ากับ 14 เปอร์เซ็นต์

Nutrient	Rough	Brown	MILLED	Hull	Bran	Embryo	Polish
Protein (N*5.95)	5.8-7.7	7.1-8.3	6.3-7.1	2.0-2.8	11.3-14.9	14.1-20.0	11.2-12.4
Crude fat	1.5-2.3	1.6-2.8	0.3-0.5	0.3-0.8	15.0-19.7	16.6-20.5	10.1-12.4
Crude fiber	7.2-10.4	0.6-1.0	0.2-0.5	34.5-45.9	7.0-11.4	2.4-3.5	2.3-3.2
Crude ash	2.9-5.2	1.0-1.5	0.3-0.8	13.2-21.0	6.6-9.9	4.8-8.7	5.2-7.3
Available carbohydrates	63.6-73.2	72.9-75.9	76.7-78.4	22.4-35.5	34.1-52.3	34.2-41.4	51.1-55.0
Strach	53.4	66.4	77.6	1.5	13.8	2.1	41.5-47.6
Lignin	3.4	...	0.1	9.5-18.4	2.8-3.9	0.7-4.1	2.8

ที่มา : Juliano, 1972

องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ช

ส่วนประกอบของสตาร์ชโดยส่วนใหญ่ จะประกอบด้วยอะมิโลสและอะมิโลเพคติน ซึ่งอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินของสตาร์ชจากแหล่งต่างกันก็จะแตกต่างกันไป แต่สตาร์ชจากพืชชนิดหนึ่ง ๆ จะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินค่อนข้างจะคงที่ (Knight ,1969)

อะมิโลส จะเป็นโพลิเมอร์เส้นตรงมีกลูโคสมากถึง 6,000 หน่วยต่อเป็นโซ่ยาวโดยต่อเชื่อมด้วย α (1,4) linkage และจากการศึกษาโครงสร้างของแป้ง โดยอาศัยการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เบต้า-อะมิเลส (β-amylase) และพูลลูนาเนส พบว่าในโมเลกุลของอะมิโลส อาจจะมีโมเลกุลที่เป็นกิ่งปนอยู่ และแขนงเหล่านี้อาจจะมีอยู่ 3-20 แขนง โดยมีความยาวของโซ่กลูโคส 500 หน่วย

อะมิโลเพคติน มีส่วนที่เป็นกิ่งแขนงประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก กิ่งแขนงเหล่านี้เป็นอะมิโลสสั้น ๆ และมี DP 10-60 โดยค่าเฉลี่ยของ DP ของโมเลกุลในโซ่เหล่านี้ประมาณ 20 กิ่งแขนงจะต่อเชื่อมด้วย α (1,6) linkage จำนวนหน่วยกลูโคสที่ต่อเป็นกิ่งแขนงมีประมาณร้อยละ 5 ของกลูโคสทั้งหมดที่มีอยู่ในอะมิโลเพคติน อะมิโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าอะมิโลส ประมาณ 1,000 เท่า โดยเฉลี่ยอะมิโลเพคตินมี DP มากกว่า 1 ล้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินที่ต่างกันของข้าว จะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสทำให้จุดประสงค์ในการมาใช้ประโยชน์ต่างกันซึ่งได้มีการจำแนกข้าวที่ผ่านการขัดสีตามปริมาณของอะมิโลสดังนี้ (Juliano, 1985)

ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำมาก (waxy) พบว่าร้อยละของน้ำหนักแห้งของอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบเท่ากับ 0-2 จะนำไปใช้ในการทำขนมหวานและน้ำเคล้าสลัด นอกจากนี้ยังเป็นอาหารหลักของประเทศลาว และทางภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งเตรียมโดยการนำข้าวมาแช่น้ำและนึ่ง

ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ พบว่าร้อยละของน้ำหนักแห้งของอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบเท่ากับ 9-20 นำมาใช้ในอาหารเด็ก, อาหารเช้าและขนมปังที่ใช้เชื้อยีสต์เพื่อทำให้ขึ้นฟู

ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง พบว่าร้อยละของน้ำหนักแห้งของอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบเท่ากับ 20-25 ในประเทศฟิลิปปินจะนำไปใช้ในการทำเค้กที่จะต้องมีการหมัก (ferment rice cake) และซุปกระป๋อง

ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง พบว่าร้อยละของน้ำหนักของอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบมากกว่า 25 ใช้ในการทำก๋วยเตี๋ยว

2.7 แป้งข้าว

แป้งข้าวแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ rice flour และ rice starch

2.7.1 กระบวนการผลิตแป้งข้าวชนิด rice flour

ข้าวเจ้าหรือ Oryza sativa L. มีต้นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีหลายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อินดิคา (O. sativa indica) ปลูกมากในแถบมรสุม ซึ่งมีฝนตกชุกและแสงแดดเพียงพอ และพันธุ์จาปอนิคา (O. sativa japonica) ปลูกในพื้นที่เขตอบอุ่น ข้าวที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะเป็นข้าวหักหรือข้าวเกรดสองที่ไม่เหมาะต่อการบริโภคโดยตรง ข้าวหักมีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2 แป้งข้าวเจ้ามีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ มากมาย ใช้เป็นส่วนประกอบของแป้งฝุ่นในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแป้งฝุ่นสำหรับเด็กเนื่องจากแป้งข้าวไม่เป็นพิษและไม่มีสารระคายเคือง และใช้เป็นสารทำให้แห้ง (laundry stiffening agent) ในการซักรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวหัก

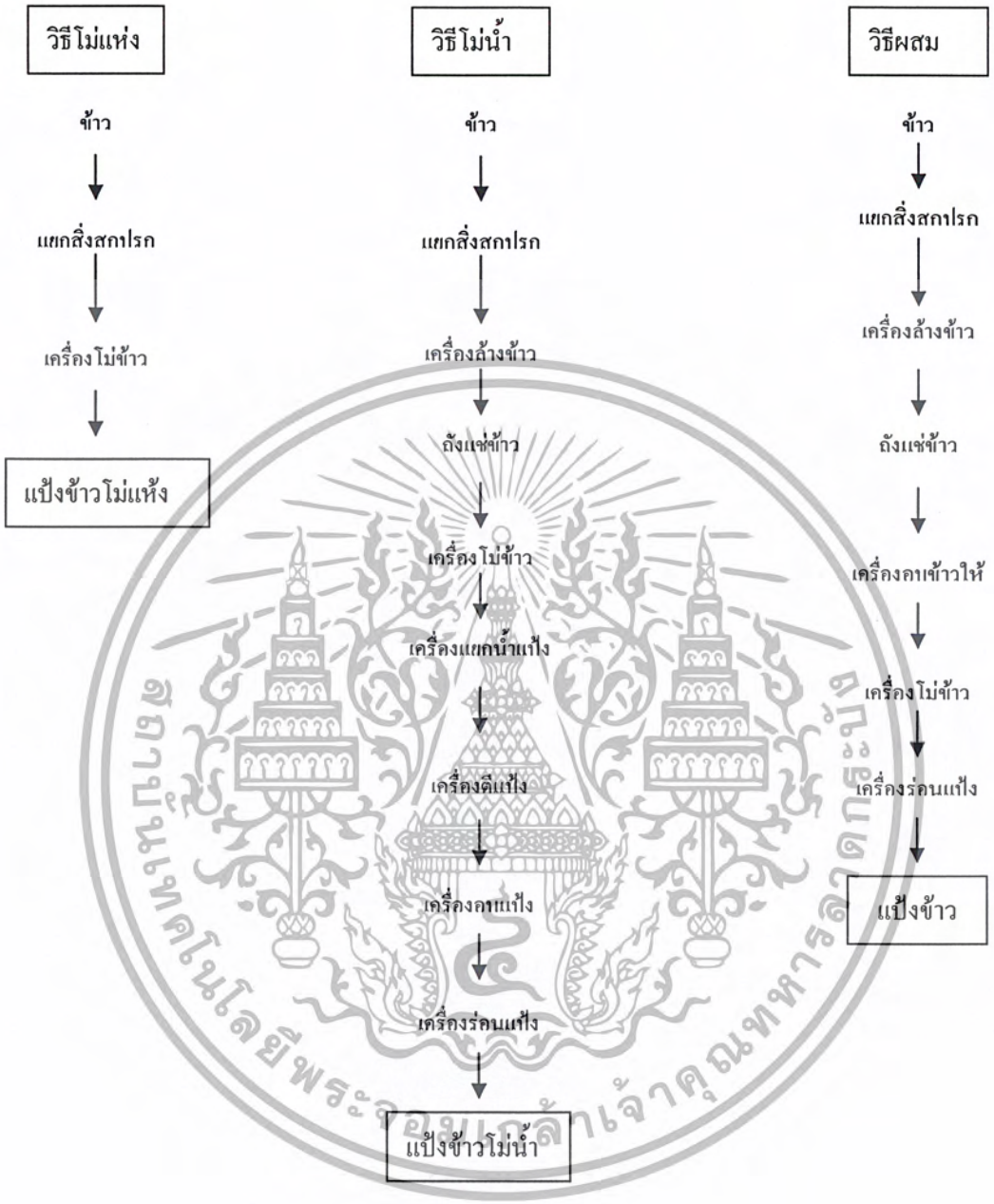
องค์ประกอบ	(%)
ความชื้น	12.0
แป้ง	79.2
โปรตีน	7.0
ไขมัน	0.4
เถ้า	0.5
ส่วนที่เหลือ	0.9

การผลิตมีทั้งชนิดแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือ ข้าวหักหรือปลายข้าว กรรมวิธีการผลิตมี 3 วิธี คือ วิธีโม่แห้ง ,วิธีโม่น้ำและวิธีผสม ซึ่งมีกระบวนการผลิตดังแสดงในภาพ แป้งที่ได้จากการโม่แห้งจะมีคุณภาพต่ำ เพราะเม็ดแป้งค่อนข้างหยาบและมีสิ่งเจือปนสูง อายุการเก็บรักษาสั้น เพราะเกิดกลิ่นหืนและถูกทำลายจากแมลงได้ง่าย สำหรับวิธีโม่น้ำเป็นวิธีการผลิตแป้งข้าวในปัจจุบันได้แป้งที่มีคุณภาพดีมีความละเอียดสูงและมีสิ่งเจือปนน้อยเทคโนโลยีการผลิตแป้งด้วยวิธีการโม่น้ำได้รับการพัฒนามานานแล้ว และจากการที่พันธุ์ข้าวของไทยดั้งเดิมส่วนใหญ่จะมีอะไมโลสสูงดังนั้นการผลิตแป้งในปัจจุบันยังคงมุ่งเน้นแป้งข้าวเจ้าชนิดมีอะไมโลสสูง ส่วนการผลิตแป้งข้าววิธีผสม เป็นการโม่แป้งจากข้าวที่แช่น้ำและอบแห้งด้วยความร้อนก่อนโม่เป็นแป้ง แป้งชนิดนี้เป็นแป้งคุณภาพสูงและนำไปใช้ทำขนมเฉพาะอย่าง เช่น ขนมโก๋จากแป้งข้าวเหนียวดังแผนภูมิขบวนการผลิตในรูปที่ 2.8

แป้งข้าวที่ได้มีส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณ(ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) เป็นดังนี้ ความชื้น 11.8% ,ไขมัน 0.8%, โปรตีน 6.4% ,คาร์โบไอเดรต 80.4% ,กาก 0.3%

ในการผลิตแป้งข้าวเจ้าในประเทศไทยนั้น ถึงจะเป็นการโม่เปียก แต่โปรตีนและสิ่งแปลกปลอมส่วนใหญ่ยังติดอยู่กับแป้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงเป็นประเภทฟลาว (rice flour) และนิยมใช้ข้าวประเภทที่มีอะมิโลสสูง ทั้งนี้เพราะเมื่อนำไปประกอบอาหารเช่น ทอด จะให้ความกรอบแข็ง หรือเมื่อนำไปนึ่ง เมื่อเย็นลงจะเกิดแผ่นฟิล์ม(เช่นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่) ข้าวหอมมะลิที่ใช้บริโภคไม่เหมาะสมที่จะใช้ผลิต(rice flour) เพราะมีอะมิโลสต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงกรรมวิธีผลิตแป้ง

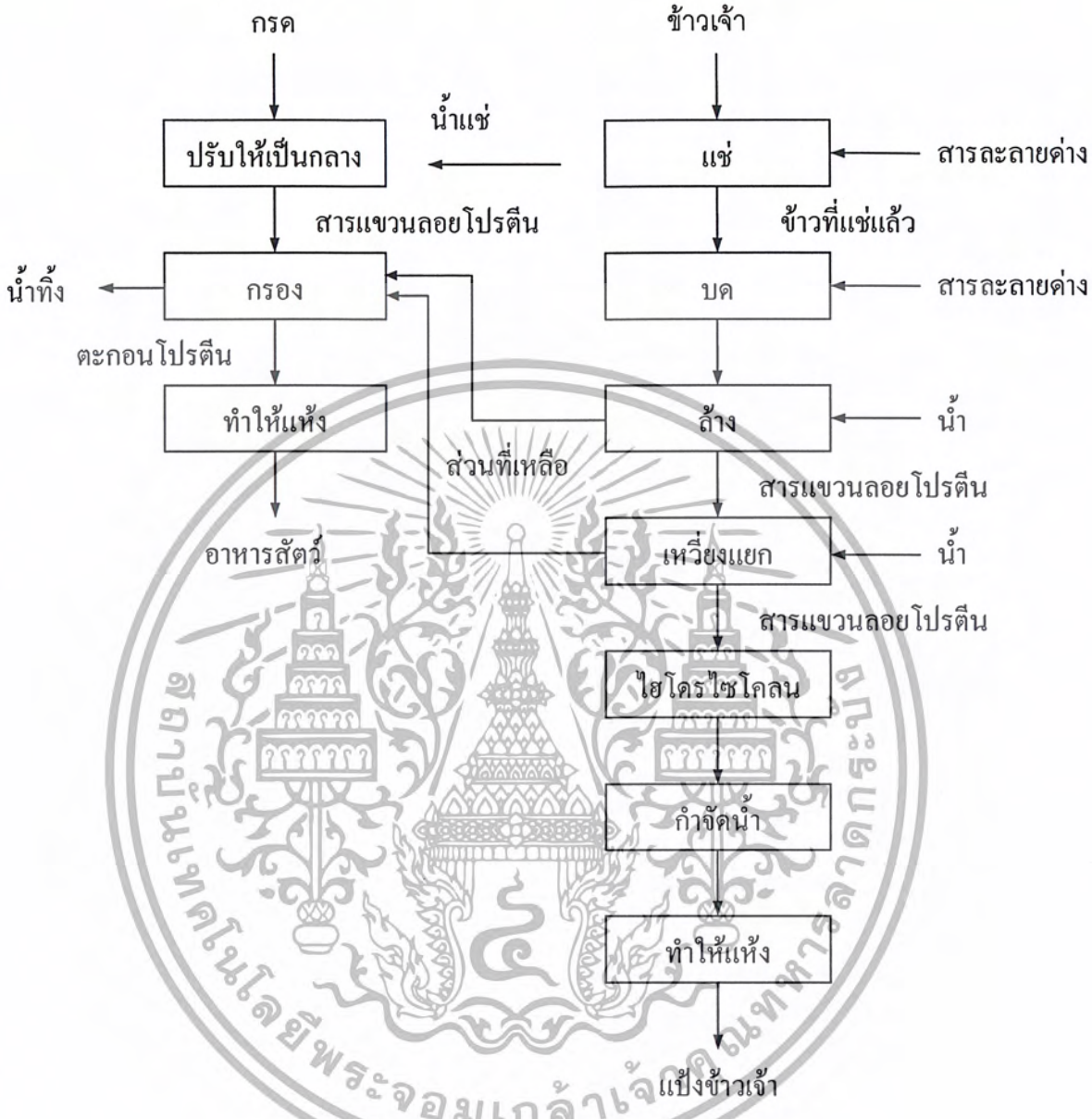
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 กระบวนการผลิตแป้งข้าวเจ้า(rice starch)

การผลิตแป้งสตาร์ช (rice starch) คือการสกัดโปรตีนและสิ่งแปลกปลอมในแป้งฟลาวออกจนเกือบหมด ปัจจุบันในประเทศไทยเริ่มมีการผลิตแป้งสตาร์ชจากข้าวกันบ้างแล้วโดยกระบวนการผลิตเริ่มจากนำข้าวเปลือกมาล้างทำความสะอาด แยกสิ่งแปลกปลอม (ถ้าเป็นข้าวเปลือกต้องผ่านการสีก่อน)แช่ในสารละลายด่างพร้อมกับมีการกวนช้าๆทำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อแยกโปรตีนที่ติดอยู่กับแป้งในเม็ดข้าวเจ้าออก ปล่อยให้ข้าวตกตะกอน แยกส่วนใสที่มีโปรตีนออก(steep liquor) ทำซ้ำขั้นตอนนี้จนกระทั้งเมล็ดข้าวนิ่ม แล้วนำมาผ่านไฮโดรไซโคลน กำจัดน้ำ แล้วทำให้แห้ง นำแป้งมาทำให้แห้งได้ผลิตภัณฑ์เป็นแป้งข้าวเจ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (กล้าณรงค์ และ คณะ, 2543)

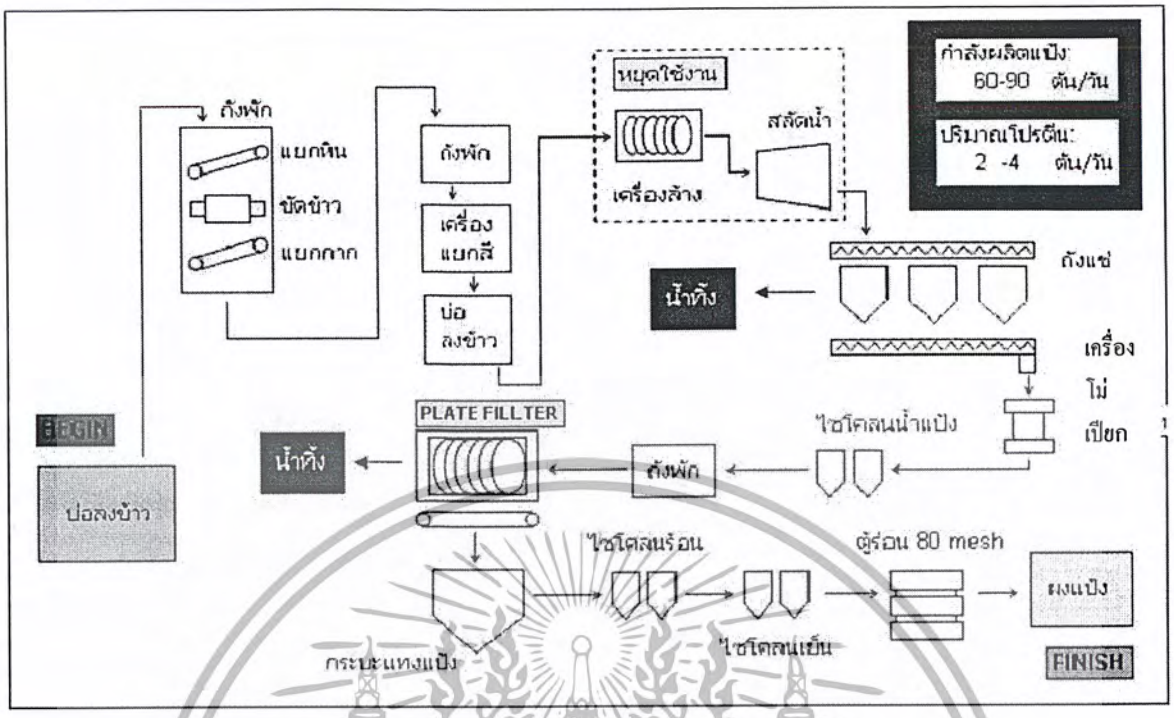
สำหรับ steep liquor ที่แยกได้นำมาปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยกรด ทำให้โปรตีนตกตะกอนแล้วกรองออกทำให้แห้งใช้เป็นอาหาร ในการผลิตแป้งสตาร์ชข้าวเจ้าสามารถทำจากแป้งฟลาวก็ได้ โดยนำแป้งฟลาวมาแช่น้ำด่างอ่อน(0.3% NaOH) ในเวลา 24 ชั่วโมง สามารถละลายโปรตีนออกมาได้ 86%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แผนภาพกระบวนการผลิตแป้งสตาร์ชข้าวเจ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กระบวนการผลิตแป้งข้าว

(ที่มา : บริษัทบางกอกอินเตอร์ฟูด จำกัด ,2546)

อรพิน ได้ศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของแป้งชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.3 และ ตารางที่ 2.4 (อรพิน ,2533)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้า

คุณสมบัติ	แป้งข้าวเจ้า
ขนาดเม็ดแป้ง	6.5 (ไมครอน)
ปริมาณอะมิโลส	18-27%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.4 ส่วนประกอบทางเคมีของแป้งชนิดต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

ชนิดแป้ง	ความชื้น	ไขมัน	โปรตีน	คาร์โบไอเดรต	กาก
แป้งสาลี	13.3	0.9	7.10	74.0	0.3
แป้งเข้าเจ้า	11.8	0.8	6.4	80.4	0.3
แป้งข้าวเหนี่ยว	8.8	4.0	6.6	82.7	0.3
แป้งมันปะหลัง	9.1	0.5	1.1	88.2	2.2
แป้งข้าวโพด	13.5	1.0	0.3	85.1	0
แป้งมันฝรั่ง	17.5	0.1	0.1	82.1	0
แป้งมันเทศ	13.2	0.9	2.2	80.8	3.0
แป้งลูกเดือย	10.4	6.7	13.5	67.8	0.6
แป้งสาคู	14.8	0.1	0.4	84.5	-
แป้งถั่วเขียว	12.0	0.3	1.7	85.4	-

(ที่มา อรพิน ,2533)

2.8 โปรตีนข้าว (รุ่งทิวา ,2543)

โปรตีนจะอยู่ในส่วนของเอมบริโอและชั้นของ aleurone (สูงถึง 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์) มากกว่าที่จะอยู่ในส่วนของเอนโดสเปอร์ม เช่นเดียวกับเมล็ดธัญญาพืชชนิดอื่น ๆ แต่ส่วนที่สำคัญของโปรตีนทั้งหมดจะอยู่ในส่วนของเอนโดสเปอร์ม และคุณสมบัติโปรตีนสะสมในเอนโดสเปอร์มจะกำหนดคุณลักษณะที่สำคัญของโปรตีน

สังเกตได้ว่าโปรตีนที่อยู่ในเอนโดสเปอร์มสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ในรูปของอนุภาคที่เรียกว่า protein body โดยจะมีขนาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 4 ไมโครเมตร โดย protein body จะมีอยู่มากที่สุดใน peripheral-lateral cell หรือ peripheral-dorsal cell จากการดู Electron micrograph ของ protein body ที่ถูกแยกจะบ่งชี้ว่าชั้นของโครงสร้างเช่นนี้มีอยู่ในแกรนูลสตาร์ช เช่นเดียวกันกับ protein body อื่น ๆ ที่พบซึ่ง มีโครงสร้างของอิเลคตรอน (electron-dense structure) ที่หนาแน่นเหมือนกัน protein body เหล่านี้จะแสดงให้เห็นว่าชั้นของโครงสร้างเหล่านี้ จะประกอบด้วยโปรตีนชนิดโปรลามินและโปรตีนอื่น ๆ ซึ่งมีโพลีเปปไทด์ของกลูตีลินเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Osborne ได้ทำการจัดจำแนกโปรตีนโดยใช้ตามพื้นฐานการละลายซึ่งมีใช้กันอย่างกว้างขวางในเคมีของโปรตีนข้าว ข้อมูลที่มีการรายงานในเอกสารที่เกี่ยวกับส่วนของโปรตีนที่ละลายจะแปรผันภายในช่วงที่กว้าง (ตารางที่ 2.5) โดยความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่รายงานโดยคณะวิจัยจะมีความต่างกันขึ้นกับสายพันธ์ข้าวแต่ก็ไม่แน่ว่าวิธีการในการสกัด ก็อาจจะมีบทบาทด้วย แต่กระนั้นก็ยังชัดเจนจากการวัดทั้งหมดว่ากลูตีลิน (oryzenin) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด มีปริมาณของโปรลามินในข้าวก็ต่ำ พบว่าการกระจายของส่วนที่มีการละลายแตกต่างกันในเมล็ดข้าวไม่สม่ำเสมอ โดยอัลบูมินและโกลบูลินจะมีมากในเอมบริโอและชั้น aleurone สำหรับโปรตีนสะสม (oryzenin, โปรลานิน) พบว่ามีจำนวนมากที่สุดอยู่ในเอนโดสเปอร์ม โดยทั่วไปส่วนของอัลบูมินและโกลบูลินจะมีมากที่สุดในชั้นด้านนอกของข้าวที่ผ่านการขัดสีและจะลดลงไปตามศูนย์กลางของเมล็ด ซึ่งการกระจายของโปรตีนจะแตกต่างกันในส่วนของการขัดสีอีกด้วย รำจะมีจำนวนของอัลบูมินและโกลบูลินอยู่สูงและมากกว่าร้อยละ 90 ของ oryzenin จะอยู่ในข้าวที่ผ่านการขัดสี

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่ผ่านการขัดสี จะพบว่ามีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบอยู่มากที่สุด มีอยู่สูงถึงร้อยละ 90.2 และพบโปรตีนมากเป็นอันดับรองลงมา(ร้อยละ 7.3-8.3) ซึ่งโปรตีนแต่ละชนิดดังนี้ (Matsuo และ คณะ, 1997)

2.8.1 อัลบูมิน โปรตีนชนิดนี้จะละลายในน้ำหรือละลายในน้ำที่มีกรดอยู่เพียงเล็กน้อย และจะตกตะกอนทันทีเมื่อได้รับความร้อน โปรตีนนี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์โปรตีน

2.8.2 โกลบูลิน ไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายในน้ำเกลือ (โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.4 โมลาร์) โปรตีนชนิดนี้เมื่อได้รับความร้อนจะไม่ง่ายในการตกตะกอน

2.8.3 กลูตีลิน โปรตีนชนิดนี้จะไม่ละลายในน้ำ, สารละลายเกลือและเอธานอล แต่จะละลายในน้ำซึ่งมีกรดหรือด่าง (กรดไฮโดรคลอริก หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์)

2.8.4 โปรลามิน โปรตีนชนิดนี้จะไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายในเอธานอลเข้มข้น 70-80 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ส่วนของโปรตีนที่ละลายของข้าว และข้าวที่ผ่านการขัดสี (ร้อยละของโปรตีนที่สกัดได้)

Albumin	Globulin	Prolamin	Glutelin	Ref
		ข้าวแดง		
9.8-15.3	9.8-15.3	3.3-7.1	77.8-84.5	Baldi, 1969
5.84	14.17	9.17	70.9	Kozmina และ Kretovich, 1951
4.4-11.6	7.9-13.4	1.6-4.8	74.3-83.3	Camgampang และคณะ, 1966
3.0-18.7	0-12.2	2.9-20.6	55.0-88.1	Lindner และคณะ, 1961
13.0	14.5	9.9	62.6	Vu Van Ky และ Lasztity, 1972
5.0	10.0	5.0	80	Chavan และ Duggal, 1978
		ข้าวที่ผ่านการขัดสี		
2.9-9.9	6.6-11.0	1.9-4.3	73.6-87.0	Camgampang และคณะ, 1966
6.5	12.7	8.9	71.9	Vu Van Ky และ Lasztity, 1972
0.85-3.36	7.24-8.97	5.6-8.66	82.06-84.16	Albert, 1953
0-2.6	4.7-19.9	0.4-10.3	61.8-89.7	Lindner และคณะ, 1961
0.9-1.0	1.4-2.8	5.5-8.4	89-91	Padmoyo และ Hogl, 1961, Padmoyo และ Hogl, 1962

ที่มา : Lasztity, 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 โปรตีนในรำข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวแสดงในตารางที่ 2.5 ส่วนการวิเคราะห์กรดอะมิโนในโปรตีนที่สกัดจากส่วนต่าง ๆของข้าวแสดงดังตารางที่ 2.6 ปรากฏว่าปริมาณกรดอะมิโนแต่ละชนิดในโปรตีนจากข้าวเปลือกไม่แตกต่างจากข้าวกล้องและข้าวสารมากนัก เนื่องจากส่วนเปลือกมีโปรตีนอยู่น้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามเปลือกจะมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนอยู่มากกว่าส่วนอื่น ๆ และในข้าวกล้องมีไลซีนอยู่มากกว่าส่วนอื่น ๆ และในข้าวกล้องมีไลซีนมากกว่าในข้าวสารเล็กน้อย ซึ่งไลซีนนี้จัดเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายที่มีเพียงพอเป็นอันดับแรกในโปรตีนจากข้าวและธัญพืชอื่น ๆ ซึ่งไลซีนนี้ในรำข้าวและเอมบริโอมีปริมาณมากกว่าในส่วนเอนโดสเปิร์ม แต่ถ้าวัดปริมาณรวมของโปรตีนทั้งหมด เราจะได้รับโปรตีนจากเนื้อเมล็ดมาก เนื่องจากสัดส่วนของเอนโดสเปิร์มมากกว่าส่วนอื่น ๆ

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว (% dry basis)

รำข้าว	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรต
ไขมันเต็ม[a]	12	13.7	12.1	14.4	25.4
ไขมันเต็ม[b]	14.1	20.9	12.8	8.4	43.5
ไขมันเต็มจากข้าวนึ่ง[b]	11.4	21.2	21.3	8.4	32.3
สกัดน้ำมันออก[c]	12.8	7	8.9	8.2	58.2
สกัดน้ำมันออก[a]	18.3	5.4	11.2	8.6	31.6
สกัดน้ำมันออก[b]	18.2	1.6	15.3	10.5	54.3
สกัดน้ำมันออกจากรำข้าวนึ่ง[b]	16	0.5	25.7	14.5	43.4
สกัดน้ำมันออก โม่และร่อนผ่านตะแกรง(80 mesh)[b]	19.2	1.6	14.8	5.5	58.9

ที่มา : [a] Connor (1976)

[b] Prakash(1994)

[c] Youssef และคณะ (1974)

นอกจากนี้ยังพบว่ากลูเตลินเป็นโปรตีนหลักในข้าวสารเช่นเดียวกับข้าวกล้อง ส่วนโปรตีนหลักในรำข้าวคือ อัลบูมิน และโกลบูลิน ในอัตราเฉลี่ยของ อัลบูมิน : โกลบูลิน : โพรลามีน : กลูเตลิน ในตัวอย่างรำข้าวคือ 37 : 14 : 5 : 51 และ ในรำละเอียด 30 : 14 : 5 : 51 และในข้าวสาร 5 : 9 : 3 : 83 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กลูเตลินมีปริมาณมากในส่วนของข้าวสาร ในขณะที่อัลบูมินมีปริมาณมากในรำข้าวและรำละเอียด ส่วนโพรลามีนจะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในข้าว อัตราส่วนของโปรตีนเป็นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชี้ให้เห็นว่าโปรตีนหลัก ๆ คือ อัลบูมินและโกลบูลินสูญเสียไปในระหว่างการโม่ Betschart และ คณะ (1997) รายงานว่าโดยโปรตีนจากรำข้าวที่ผ่านการทำให้คุณภาพคงที่โดยการใช้ความร้อนมี อัลบูมิน โกลบูลิน โพรลามีน กลูเตลิน ร้อยละ 40, 21, 3, และ 36 ตามลำดับ และในรำข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมี อัลบูมิน โกลบูลิน โพรลามีน กลูเตลิน ร้อยละ 26, 14, 5 และ 50 ตามลำดับส่วนที่มีโปรตีนมากอีกส่วนคือ ส่วนที่ถัดจากชั้นอัลลูโรนและชั้นอัลลูโรนโดยสะสมอยู่ เป็นกลุ่มโปรตีนหรือโปรตีนบอดี้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 การสกัดโปรตีนจากรำข้าวที่ปราศจากไขมันและมีความคงตัวต่อความร้อน :heat-stabilized defatted rice bran (HDRB)

รำข้าวคือผลพลอยได้จากการสีข้าว ซึ่งรำข้าวจะประกอบด้วย โปรตีนคุณภาพสูงประมาณ 17-22% อย่างไรก็ตาม โปรตีนรำข้าวที่มีความคงตัวต่อความร้อน (HDRB) ก็ไม่สามารถที่จะพัฒนาสู่ระดับเชิงการค้าได้ เนื่องจากยังขาดขั้นตอนการสกัดที่เหมาะสม

ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาวิธีการสกัดด้วย Sonication , Freeze-thaw , High pressure และ High – Speed Homogenization ซึ่งอาจจะใช้หรือไม่ใช้เอนไซม์

Sonication , Freeze-thaw , High pressure และ High –Speed Homogenization สามารถสกัดโปรตีนได้ 15% ,14% , 11% และ 16% ตามลำดับ และระดับพลังงานของ sonication ที่ใช้มีตั้งแต่ 0% , 20% , 40% , 80% และ 100% และให้พลังงานออกมา 750 W

ผลการสกัดโปรตีน จาก HDRB จะได้โปรตีนที่ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต เป็น 25.6-33.9% และได้ทั้งโปรตีนที่ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต และ Protease รวม 54.0-57.8% จะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างหลัก ๆ คือให้สังเกตระหว่างการทดสองในด้านความดันที่ 0, 200, 500 และ800 Mpa จะได้โปรตีนกับน้ำ 10.5-11.1% และ โปรตีนกับคาร์โบไฮเดรต และ Protease 61.8-66.6% ส่วนวิธี High –Speed Homogenization มีปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้น 5% เมื่อเทียบกับตัวควบคุมที่ไม่ได้ทำอะไรเลย (9.9%)

(http://ift.confex.com/ift/2002/techprogram/paper_11076.htm)

(http://ift.confex.com/ift/2002/techprogram/session_1518.htm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

ในการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลืองโดยเริ่มจากการนำเมล็ดถั่วเหลืองมาบดให้เป็นแป้งถั่วเหลืองด้วยเครื่องบด แต่แป้งถั่วเหลืองที่ได้นี้ยังคงมีไขมันอยู่ จึงต้องนำมาทำการสกัดไขมันออกก่อน โดยนำมากวนในเฮกเซน ในอัตราส่วน แป้งถั่วเหลือง : เฮกเซน เท่ากับ 1: 4 (W/V) เป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นทำการแยกส่วนที่ละลายได้ในตัวทำละลายและส่วนที่ไม่ละลายออกจากกัน นำส่วนที่ไม่ละลายในตัวทำละลายมาทำการสกัดไขมันออกอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นทำให้แห้งโดยวางทิ้งไว้ใน hood จะได้แป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีไขมัน (defatted soy flour) ซึ่งก็จะนำมาทำการสกัดโปรตีนต่อไป โดยเริ่มจากการนำแป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีไขมันมาละลายในน้ำกลั่น (อัตราส่วนของแป้งถั่วเหลือง : น้ำกลั่น เท่ากับ 1: 10 W/V) ปรับ pH ให้ได้ 9.0 ด้วย 0.1N Na_2CO_3 และนำของผสมที่ได้มาแยกส่วนที่ละลายได้ในตัวทำลายและส่วนที่ไม่ละลายออกจากกันโดยการนำมาหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 10,000 *g , 25 °C นาน 10 นาที จากนั้นนำสารละลายโปรตีนที่แยกได้มาตกตะกอนโปรตีนที่ pH 4.5 ด้วย 0.1N HCl แล้วแยกตะกอนโปรตีน โดยนำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000*g , 25°C นาน 10 นาที จะได้ตะกอนโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ซึ่งมีวิธีนี้มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนโปรตีนได้ เท่ากับ 86.08% (นุชนารถ และคณะ , 2542)

2.10.3 การสกัดโปรตีนในปลายข้าวหอมมะลิเพื่อทำแป้งข้าวเจ้าบริสุทธิ์

วิธีการสกัดโปรตีนนั้น ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง การใช้สารละลายด่าง ดีเทอร์เจ้นต์ เอนไซม์โปรตีเอส และการใช้ด่างร่วมกับเอนไซม์ในการสกัด พบว่า ประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการสกัด ในขณะที่เวลาไม่มีผลต่อการสกัดมากนัก ชนิดของสารละลายด่างที่ใช้ได้ดีที่สุด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.45 ใช้เวลาการสกัดนาน 24 ชั่วโมง วิธีการเตรียมตัวอย่างของโปรตีนของปลายข้าวหอมมะลิเพื่อ ให้ประสิทธิภาพการสกัด โปรตีนออกมาร้อยละ 81.83

2.11 การผลิตโปรตีนเข้มข้น

Morita และ Kiriyama (1993) ได้พัฒนาการผลิต rice protein isolate ขึ้นโดยนำแป้งข้าวมาผสมน้ำกลั่นและสารละลาย Termamyl ร้อยละ 0.6 ที่อุณหภูมิห้อง (23 องศาเซลเซียส) การผสมและให้ความร้อนแก่ slurry ที่ 97 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองสุญญากาศ นำตะกอนที่ได้ (rice protein isolate) จากการกรองมาล้างด้วยน้ำเดือด เพื่อกำจัด sugar syrup และเอนไซม์ที่เหลืออยู่ กรองและล้างตะกอนที่ได้ 3 ครั้งด้วยเอทานอล ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง การผลิตโดยวิธีนี้จะได้โปรตีนบริสุทธิ์ (dry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

matter basis) มากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งมากกว่าแป้งข้าวเจ้าที่เป็นวัตถุดิบถึง 90% หากให้เมล็ดข้าวที่ผ่านการขัดสีร้อยละ 35-70 เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นจะมีเส้นใยอาหารน้อยกว่าการใช้แป้งข้าวเจ้า ซึ่งความแตกต่างของเส้นใยอาหารในวัตถุดิบจะมีผลต่อความบริสุทธิ์ของ rice protein isolate

rice protein isolate (RPI) ที่ได้จะมีเส้นใยอาหารทั้งหมดและเถ้าอยู่มาก คือมีเส้นใยอาหาร ร้อยละ 6.4 เถ้าร้อยละ 1.3 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.1 และมีปริมาณน้ำตาล(total carbohydrate) ลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น(จากร้อยละ 79.8 เป็นร้อยละ 1.1) นอกจากนี้ปริมาณไขมันใน RPI ก็จะลดลงด้วย เนื่องจากมีการล้างด้วยเอทานอลในขั้นตอนสุดท้ายในการผลิต rice protein isolate

Gnanasambandam(1997) เปรียบเทียบคุณสมบัติของโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คุณภาพคงที่และผ่านการทำให้คุณภาพคงที่ โดยเตรียมโปรตีนเข้มข้นโดยใช้รำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันผสมกับน้ำในอัตราส่วนตั้งแต่ 1:4 ถึง 1:6 จากนั้นปรับค่าความเป็นกรดด่างให้เป็น 9.5 คนเป็นเวลา 30 นาที ณ อุณหภูมิห้อง หมุนเหวี่ยงที่ 1,000*g เป็นเวลา 30 นาที กรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายและปรับค่าความเป็นกรดด่างเป็น 4.5 เพื่อให้โปรตีนตกตะกอน หมุนเหวี่ยง ณ สภาวะเดิมอีกครั้งเพื่อเอาเฉพาะส่วนที่เป็นตะกอนและนำส่วนนี้ไปอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งปรากฏว่าการทำให้คุณภาพคงที่ด้วยความร้อนยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสและช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาของรำข้าวแต่ก็มีผลทำให้ความสามารถในการสกัดโปรตีนจากตัวอย่างลดลง การสกัดอย่างดีจะทำให้โปรตีนเข้มข้นจากรำข้าวมีปริมาณโปรตีนมากกว่าร้อยละ70

นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาถึงวิธีการสกัดโปรตีนออกจากรำข้าวมากมาย เช่น Lew และ คณะ(1975) ได้ศึกษาการสกัดโปรตีนจากรำข้าวไขมันเต็มที่ระดับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 8 , 10 , 11 และ 12 ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 43, 57, 67 และ 70 ตามลำดับ ระดับความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการสกัดคือ 11 และตกตะกอนได้ดีที่ระดับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.5 โปรตีนเข้มข้นที่สกัดได้มีปริมาณร้อยละ 62 ไขมัน ร้อยละ 14 และโปรตีนเข้มข้นมีสีเทา-น้ำตาล

Champagne และคณะ (1985) รายงานว่า ความสามารถในการละลายของโปรตีนมีมากที่สุดในช่วง 40 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อระดับความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 11 การละลายของโปรตีนจะมากขึ้น และเมื่อระดับความเป็นกรดด่างลดลงต่ำกว่า 4 การละลายก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hansen และคณะ (1981) ผลิตแป้งข้าวโปรตีนสูงโดยการย่อยแป้งข้าวด้วย เอนไซม์ แอลฟาอะไมเลส ซึ่งทำให้โปรตีนในแป้งข้าวสูงขึ้นจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 25 โดยใช้ความร้อนแก่ slurry ของแป้งข้าวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่เติมเข้าไปจะไปย่อยแป้งข้าว หลังจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงและนำส่วนที่ตกตะกอนไปอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Chen และคณะ (1984) พัฒนากระบวนการผลิตแป้งข้าว high fructose syrup และแป้งข้าวโปรตีนสูงโดยใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสร้อยละ 0.12 แป้งข้าวร้อยละ 20 อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8.6 เป็น 27.2 เมื่อทำให้แห้งด้วยวิธีฉีดพ่น (spray dried) และจากร้อยละ 8.6 เป็น 28.8 เมื่อทำให้แห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง

Shih และ คณะ (1999) ผลิต high maltose syrup และ high protein rice flour จากข้าวสาร โดยวิธีการใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสย่อยส่วนของ slurry ข้าว และนำไปหมุนเหวี่ยงส่วนที่ตกตะกอนเป็น high protein rice flour สำหรับส่วนของของเหลวจะใช้เอนไซม์เพื่อเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลเพื่อผลิตเป็น maltose syrup ที่สภาวะต่างๆ พบว่าข้าว 1 กรัม จะผลิต high maltose syrup ได้ 0.64 กรัม (maltose ร้อยละ 83 และ glucose ร้อยละ 2.6) และ protein rice flour 0.36 กรัม โดยมีโปรตีนร้อยละ 29 สตาร์ชร้อยละ 39 และน้ำตาลร้อยละ 14

Wang และคณะ (1999) เตรียมโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันแต่ไม่ผ่านการทำให้คุณภาพคงที่โดยใช้เอนไซม์ไฟเทส (phytase) และ ไซแลเนส (sylanase) ปริมาณ 400PU และ 240 GXU ตามลำดับ สภาวะที่ใช้ในการศึกษาคือ รำข้าว : น้ำ เท่ากับ 1 : 7.5 ระดับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.5 บ่ม (incubated) ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะนี้ได้ผลผลิตร้อยละ (% yield) 74.6±4.1 และมีปริมาณโปรตีน (protein content) ร้อยละ 92.0±1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์การทดลอง

วัตถุดิบ

1. ปลายข้าว
2. น้ำสะอาด

สารเคมี

1. กรด HCl

เครื่องมือ

1. เครื่อง sonication ความถี่ 28 kHz และ 40 kHz ขนาด 11 ลิตร
2. ที่ปล่อยฟองอากาศ
3. หม้อสแตนเลสสำหรับใส่ข้าวและน้ำ ขนาดความจุ 12 ลิตร
4. เครื่องอบแห้ง แบบลมร้อน(Tray Dry)
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. ถาดสแตนเลส
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก
8. นาฬิกาจับเวลา
9. เตาแก๊ส
10. ทัพพีสแตนเลส
11. ตะแกรงกรอง
12. เครื่องปั้มลม
13. แก้วพลาสติกใส
14. พลาสติกถนอมอาหาร
15. pH มิเตอร์
16. สายยาง

(รูปอุปกรณ์การทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวางแผนการทดลอง

ในการศึกษาผลกระทบของคลื่นอุลตร้าโซนิคต่อการแช่ข้าว ได้กำหนดตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ความถี่ของคลื่นอุลตร้าโซนิคที่ใช้ , เวลาที่ใช้ในการแช่ข้าว, อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำที่ใช้แช่ ส่วนผลตอบสนองที่ได้หรือคุณลักษณะที่สนใจคือ ความชื้นของข้าวหลังผ่านการแช่, ปริมาณของแข็งที่ได้ (Solid Content) และปริมาณโปรตีน ที่มีอยู่ในน้ำแช่หลังผ่านการแช่ โดยในการทดลองอาศัยการวางแผนการทดลองแบบ Box Behnken Design มีการแบ่งค่าตัวแปรออกเป็น 3 ระดับ (ตารางที่ 3.1) ซึ่งประกอบด้วย 14 การทดลอง (ตารางที่ 3.2 และ 3.3)

ตัวแปรที่ต้องการศึกษามีดังนี้

1. ความถี่ของคลื่นอุลตร้าโซนิคที่ใช้
   - 1.1 0 kHz
   - 1.2 28 kHz
   - 1.3 40 kHz
2. เวลาที่ใช้ในการแช่
   - 2.1 20 นาที
   - 2.2 40 นาที
   - 2.3 60 นาที
3. อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ใช้แช่
   - 3.1 1 : 1
   - 3.2 1 : 2
   - 3.3 1 : 3

ตารางที่ 3.1 แสดงความหมายที่ใช้ในตาราง Box Behnken Design

ตัวแปร	สัญลักษณ์	-1	0	+1
ความถี่ของคลื่นอุลตร้าโซนิคที่ใช้ (kHz)	X_1	0	28	40
เวลาที่ใช้ในการแช่ (นาที)	X_2	20	40	60
อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ใช้แช่	X_3	1:1	1:2	1:3

<u>หมายเหตุ</u> : ค่าของความถี่ของคลื่นอุลตร้าโซนิคที่ใช้ ที่ระดับ 0 มีค่า 28 kHz ซึ่งไม่ใช่ค่ากลางระหว่าง 0 และ 40 kHz เนื่องจากเครื่องอุลตร้าโซนิคที่มีผลิตในประเทศไทยมีแค่ที่ระดับความถี่ 28 kHz และ 40 kHz เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 Box Behnken Design

การทดลองที่	X_1	X_2	X_3
1.	-1	-1	0
2.	-1	0	+1
3.	-1	+1	0
4.	-1	0	-1
5.	+1	0	-1
6.	+1	-1	0
7.	+1	+1	0
8.	+1	0	+1
9.	0	+1	-1
10.	0	-1	-1
11.	0	+1	0
12.	0	+1	+1
13.	0	-1	+1
14.	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงการเตรียมการทดลอง

การทดลองที่	ความถี่ที่ใช้	เวลาในการแช่	อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ
1.	0	20	1:2
2.	0	40	1:3
3.	0	60	1:2
4.	0	40	1:1
5.	40	40	1:1
6.	40	20	1:2
7.	40	60	1:2
8.	40	40	1:3
9.	28	60	1:1
10.	28	20	1:1
11.	28	60	1:2
12.	28	60	1:3
13.	28	20	1:3
14.	28	40	1:2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง สามารถแสดงเป็นแผนภาพดัง รูปที่ 3.1
รายละเอียดของขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. เตรียมปลายข้าวและน้ำในอัตราส่วนที่กำหนดไว้

ในการทดลองมีการทดลองทั้งหมด 14 ชุดการทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองมีอัตราส่วนของข้าวกับน้ำต่างกันคือ อัตราส่วนข้าวต่อน้ำมี 3 แบบ คือ 1:1 ,1:2 ,1:3 ซึ่งเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ในการเตรียมนั้นเริ่มต้นเราจะกำหนดน้ำหนักของข้าวให้คงที่ไว้เท่ากับ 4 กิโลกรัม และจะชั่งน้ำหนักน้ำให้ได้ตามอัตราส่วนที่กำหนดในแต่ละการทดลอง เช่นอัตราส่วน 1:2 จะใช้ข้าว 4 กิโลกรัม และน้ำ 8 กิโลกรัม

2. ใส่ข้าวและน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดลงในชุดทดลอง sonication ตามเวลาที่กำหนดไว้

เมื่อได้ข้าวและน้ำในอัตราส่วนในข้อ 1 แล้วจากนั้นจะนำมาแช่ในชุดทดลองซึ่งประกอบด้วย ถังอุลตราโซนิคขนาด 11 ลิตร ซึ่งข้างในมีที่ปล่อยฟองอากาศเพื่อที่จะทำให้เกิดการหมุนวนของเมล็ดข้าวในระหว่างการทดลอง เพื่อที่จะลดผลกระทบจากความเข้มข้นที่ไม่เท่ากันของคลื่นในแต่ละจุดในถังโซนิเคชั่น ในการทดลองใช้ถังโซนิเคชั่นที่ 2 ระดับความถี่ คือ 28 kHz และ 40 kHz

3. เมื่อครบเวลาที่กำหนดทำการแยกปลายข้าวและน้ำออกจากกัน

ทำการเทแยกน้ำออกจากปลายข้าวโดยการเทตัวอย่างผ่านตะแกรงกรองโดยมีภาชนะรองน้ำอยู่ข้างล่าง บันทึกน้ำหนักของข้าวและน้ำหลังการแช่

4. นำปลายข้าวที่ได้จากขั้นตอนที่3ไปตรวจสอบหาความชื้นพร้อมกับปลายข้าวที่ไม่ได้แช่น้ำ โดยมีขั้นตอนดังนี้ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.1)

4.1 นำปลายข้าวเปียกที่ได้เทแผ่ลงบนถาดซึ่งนำกระดาษซับน้ำมารองไว้

4.2 นำกระดาษซับน้ำอีกแผ่นมาเกลือซับน้ำบนผิวข้าวให้แห้งหมาด(สำหรับปลายข้าวที่แช่น้ำ)

4.3 นำข้าวไปบดให้ละเอียด

4.4 แบ่งใส่ถ้วยอบ 2 ถ้วย ถ้วยละ 10 กรัม

4.5 นำตัวอย่างเข้าอบจนแห้ง

4.6 บันทึกน้ำหนักแห้งที่ได้

5. ส่วนน้ำข้าวที่แยกได้นำไปปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 4.0-4.5

นำน้ำแช่ข้าวที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มาปรับค่า pH ด้วยกรด HCL 1.0 nm โดยวัดค่า pH ด้วย pH meter แล้วค่อย ๆ หยดสารลงไปจนได้ค่า pH อยู่ในช่วง 4.0-4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.จากนั้นนำไปอุ่นจนถึงอุณหภูมิ 70 องศา

นำน้ำแช่ข้าวหลังการปรับ pH ไปอุ่นด้วยเตาให้ความร้อน วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์จนได้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อน

7.ตกตะกอนแยกเอาตะกอนออก

หลังการอุ่นน้ำแช่แล้ว พักไว้ให้เย็นจนตกตะกอน จากนั้นทำการแยกตะกอนออกโดยการดูดน้ำที่ใสออกให้เหลือแต่ตะกอนโดยวิธีไซฟอน(กาลักน้ำ)

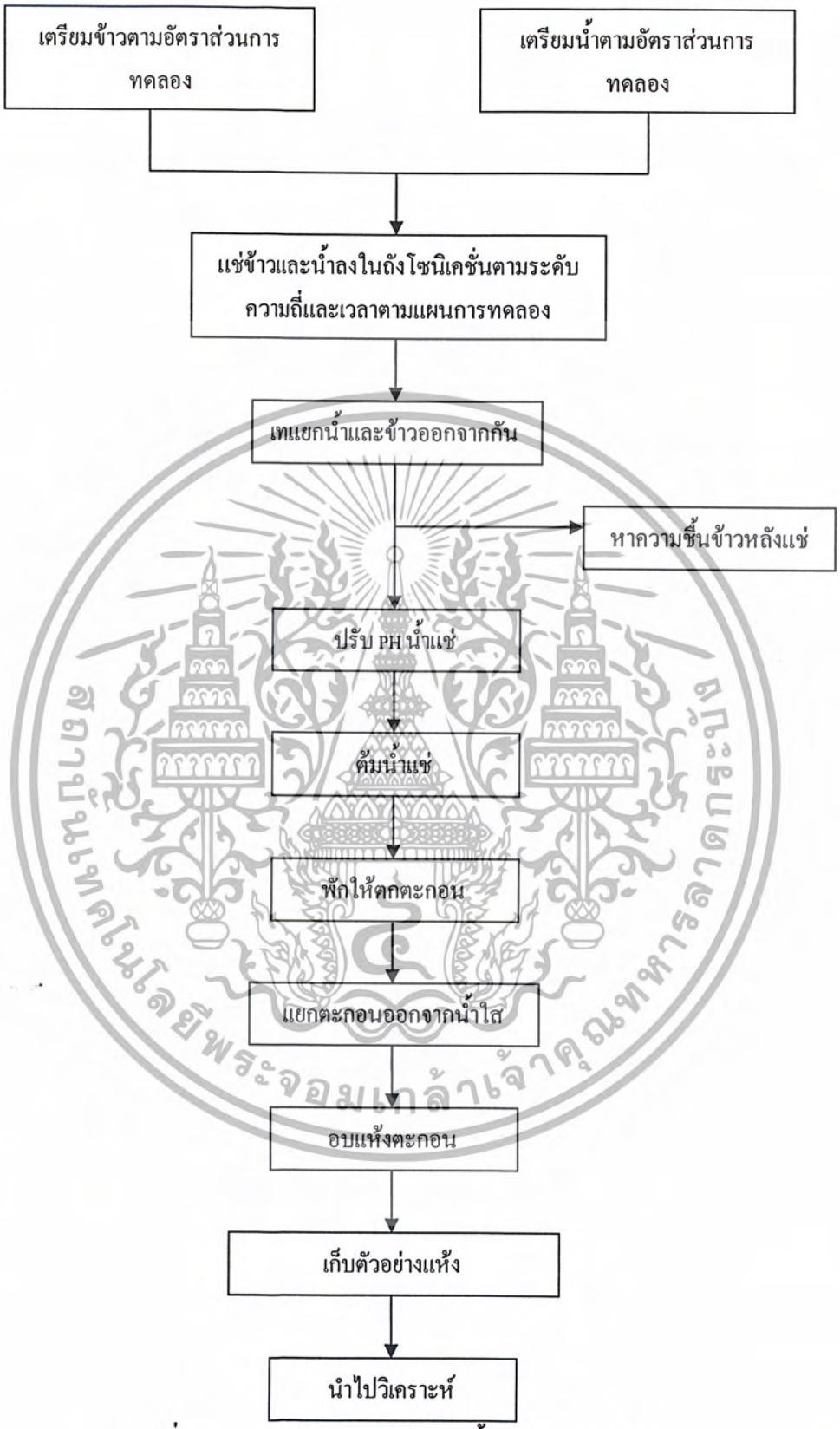
8.นำตะกอนที่แยกได้ไปอบแห้ง

นำตะกอนไปอบแห้งด้วยวิธี ตู้อบ เป็นเวลา 1 คืน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (เพื่อป้องกันการเสียสภาพจากความร้อน) โดยเทตะกอนที่ได้ใส่ถาดแบน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการอบแห้ง

9.บันทึกน้ำหนักของของแข็งที่ได้ (วิธีคำนวณปริมาณของแข็งที่ได้ (Solid content) แสดงไว้ในภาคผนวก ข.1.)

10.นำของแข็งที่อบแห้งไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน(วิธีวิเคราะห์โปรตีนดูในภาคผนวก ข.2.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดง Flow Chart แสดงขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองคุณลักษณะที่สภาวะต่างๆตาม Box Behnken Design

จากการดำเนินการทดลองแช่ด้วยเครื่องโซนิเคชั่น ที่สภาวะต่างๆตามแผนการทดลองที่กำหนดนั้น สิ่งที่ได้หลังผ่านการทดลองแช่ข้าวด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิคแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. ส่วนของน้ำแช่ข้าวซึ่งได้นำไปตกตะกอนเพื่อแยกส่วนที่เป็นตะกอนของแข็งออก มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในน้ำแช่ข้าว (%Solid content) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้ต่อน้ำหนักข้าวเริ่มต้น

2. ส่วนของปลายข้าวหลังแช่ได้นำไปวิเคราะห์หาความชื้นเพื่อคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น (%Different Moisture) เทียบกับปริมาณความชื้นเริ่มต้น และ ค่าปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในของแข็งที่ได้ (%Protein content)

ได้ผลการทดลองดังที่แสดงในตารางที่ 4.1

จากการสังเกตผลการทดลองพบว่า ที่ระดับอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำต่ำนั้นความเข้มข้นของน้ำแช่ที่ได้มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าที่ระดับอัตราส่วนข้าวต่อน้ำสูงอย่างเห็นได้ชัดแต่หลังจากทำการแยกตะกอนออกมาแล้วกลับพบว่าตะกอนที่ได้มีปริมาณที่แตกต่างกันไม่มากนัก และในส่วนของค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นของเมล็ดข้าวหลังผ่านการแช่ที่ได้นั้นกลับไม่มีความแตกต่างมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลอง

การทดลองที่	ความถี่ที่ใช้ (kHz)	เวลาที่ใช้แช่ (นาที)	อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ	ความชื้นข้าวก่อนแช่ (%wb)	ความชื้นข้าวก่อนแช่ (%db)	ความชื้นข้าวหลังแช่ (% wb)	ความชื้นข้าวหลังแช่ (%db)	ความชื้นข้าวที่เพิ่มขึ้น (%db)	ปริมาณของแข็งในน้ำแช่ข้าว (%)	ปริมาณโปรตีนในของแข็ง (%)
1	0	20	1:02	13.13	15.115	29.09	41.02	**171.41**	**0.67**	**14.76**
2	0	40	1:03	13.13	15.115	28.89	40.62	**168.79**	**0.79**	**13.26**
3	0	60	1:02	13.67	15.835	26.85	36.70	**131.80**	**0.94**	**12.43**
4	0	40	1:01	13.88	16.117	29.3	41.44	**157.13**	**1.56**	**10.87**
5	40	40	1:01	14.1	16.414	26.67	36.36	**121.57**	**1.75**	**10.68**
6	40	20	1:02	14.1	16.414	26.72	36.46	**122.13**	**0.79**	**11.27**
7	40	60	1:02	13.94	16.198	27.75	38.40	**137.11**	**0.98**	**14.88**
8	40	40	1:03	13.94	16.198	27.72	38.350	**136.76**	**0.98**	**11.51**
9	28	60	1:01	13.77	15.969	27.2	37.36	**133.97**	**2.12**	**10.61**
10	28	20	1:01	13.08	15.048	27.31	37.57	**149.66**	**1.66**	**10.5**
11	28	60	1:02	12.6	14.416	27.45	37.83	**162.44**	**1.32**	**11.53**
12	28	60	1:03	12.6	14.416	26.47	35.99	**149.70**	**1.79**	**10.42**
13	28	20	1:03	12.6	14.416	25.9	34.95	**142.45**	**1.73**	**10.42**
14	28	40	1:02	12.6	14.416	26.15	35.40	**145.61**	**1.46**	**11.2**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับสิ่งที่ได้จากการแช่ข้าวด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิค

นำผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.1 ไปทำการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างสิ่งที่ได้จากการทดลองกับค่าตัวแปรที่ทำการศึกษา โดยใช้วิธี Multiple Regression ในรูปแบบของ 2^{nd} order polynomial ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.2.1 ปริมาณของแข็งที่ได้ (%Solid content)

ค่าความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่า ปริมาณของแข็งที่ได้ กับค่า ความถี่ , เวลาในการแช่ และ อัตราส่วนระหว่างข้าวละน้ำแช่ สามารถแสดงได้ดังนี้ (ผลการแสดงค่าทางสถิติที่แสดงไว้ใน ภาคผนวก ค.)

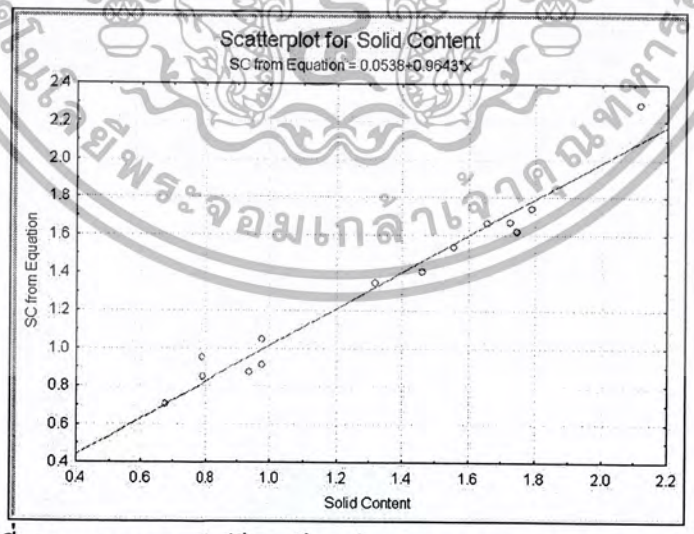
สมการค่า ของแข็งที่ได้ = $1.22714 + 0.05956 X_1 + 0.04809 X_2 - 1.07261 X_3 - 0.00134 X_1^2$ **(4.1)**

$-0.00017 X_2^2 + 0.33446 X_3^2 - 0.00013 X_1 X_2 + 0.00139 X_1 X_3$

$-0.01517 X_2 X_3$

$R^2 = 0.96307124$, Std. Error of estimate = 0.15977

รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งจากการทำนายด้วยสมการ (4.1) กับค่าที่ได้จากการทดลองจริง



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Solid Content จากการทดลอง กับ ค่า Solid Content ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณของแข็งที่ได้จากสมการ 4.1 ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง

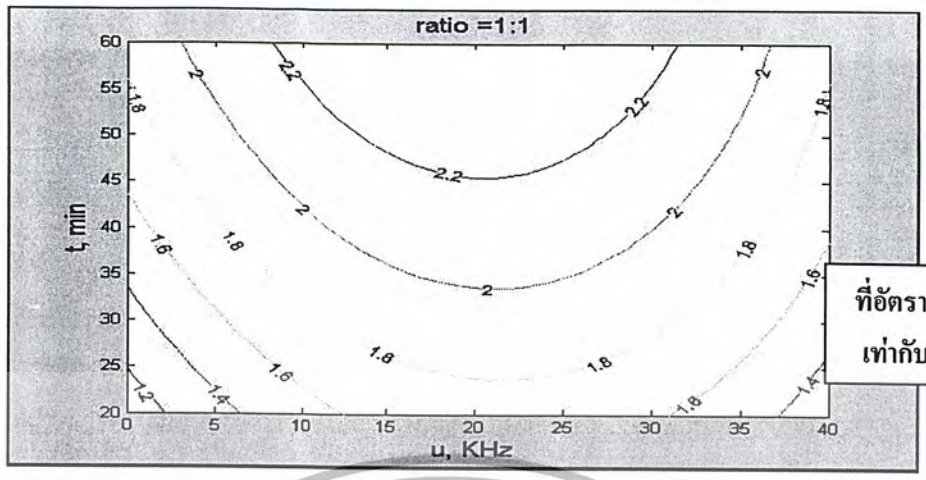
จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองจากสมการที่ได้ด้วยวิธี Response Surface โดยได้ทำการพลอตกราฟ ทั้งแบบ contour และแบบ surface และเนื่องจากตัวแปรอิสระในสมการที่ 4.1 มี 3 ตัวแปร ในการพลอตกราฟจำต้องกำหนดค่าตัวแปรอิสระตัวหนึ่งให้มีค่าคงที่ ส่วนตัวแปรที่เหลือ 2 ตัวแปรสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงภายใต้ขอบเขตที่ทดลอง บนแกน x ,y ในกราฟที่พลอตได้

รูปที่ 4.2 ก , ข , และ ค เป็นภาพกราฟแบบ Contour Plot, ส่วนรูปที่ 4.3-ก ,ข และ ค เป็นภาพกราฟแบบ Surface Plot ที่แสดงปริมาณของแข็งที่ได้ที่อัตราส่วนน้ำต่อข้าวเท่ากับ 1:1 , 1:2 และ 1:3 ตามลำดับ

จากกราฟ 4.2 (ก) พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำต่อข้าวเท่ากับ 1:1 ปริมาณของแข็งที่ได้จากน้ำแช่อยู่ในช่วง 1.1 – 2.4 ส่วนที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:3 ได้ปริมาณของแข็งในช่วง 0.7 – 1.6 และ 0.7 – 1.7 % ตามลำดับ

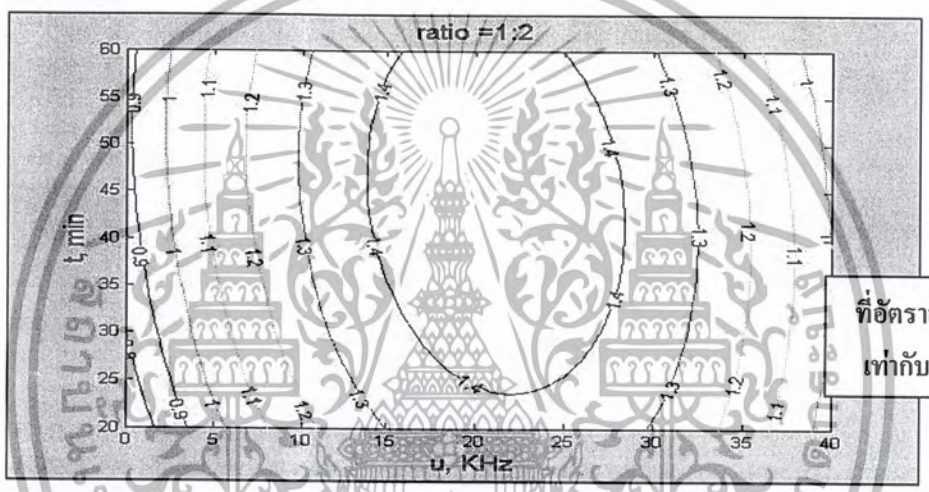
เมื่อพิจารณากราฟทั้ง 3 พบว่าที่ช่วงความถี่ 15 – 30 kHz นั้นเป็นช่วงความถี่ที่สามารถแยกเอาของแข็งออกมาจากปลายข้าวได้มากที่สุด และยังพบว่าความสามารถในการแยกของแข็งออกจากปลายข้าวนั้นมีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อ เพิ่ม หรือ ลด ความถี่ของเครื่องอุลตร้าโซนิค ออกไปจากช่วงความถี่ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



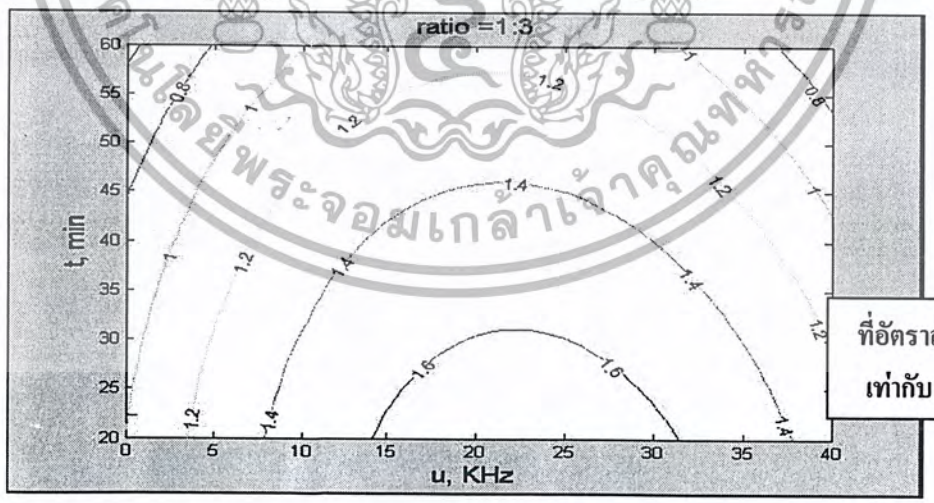
ที่อัตราส่วน ข้าว ต่อ น้ำคงที่ เท่ากับ 1 ต่อ 1(ratio=1)

ก



ที่อัตราส่วน ข้าว ต่อ น้ำคงที่ เท่ากับ 1 ต่อ 2(ratio=2)

ข

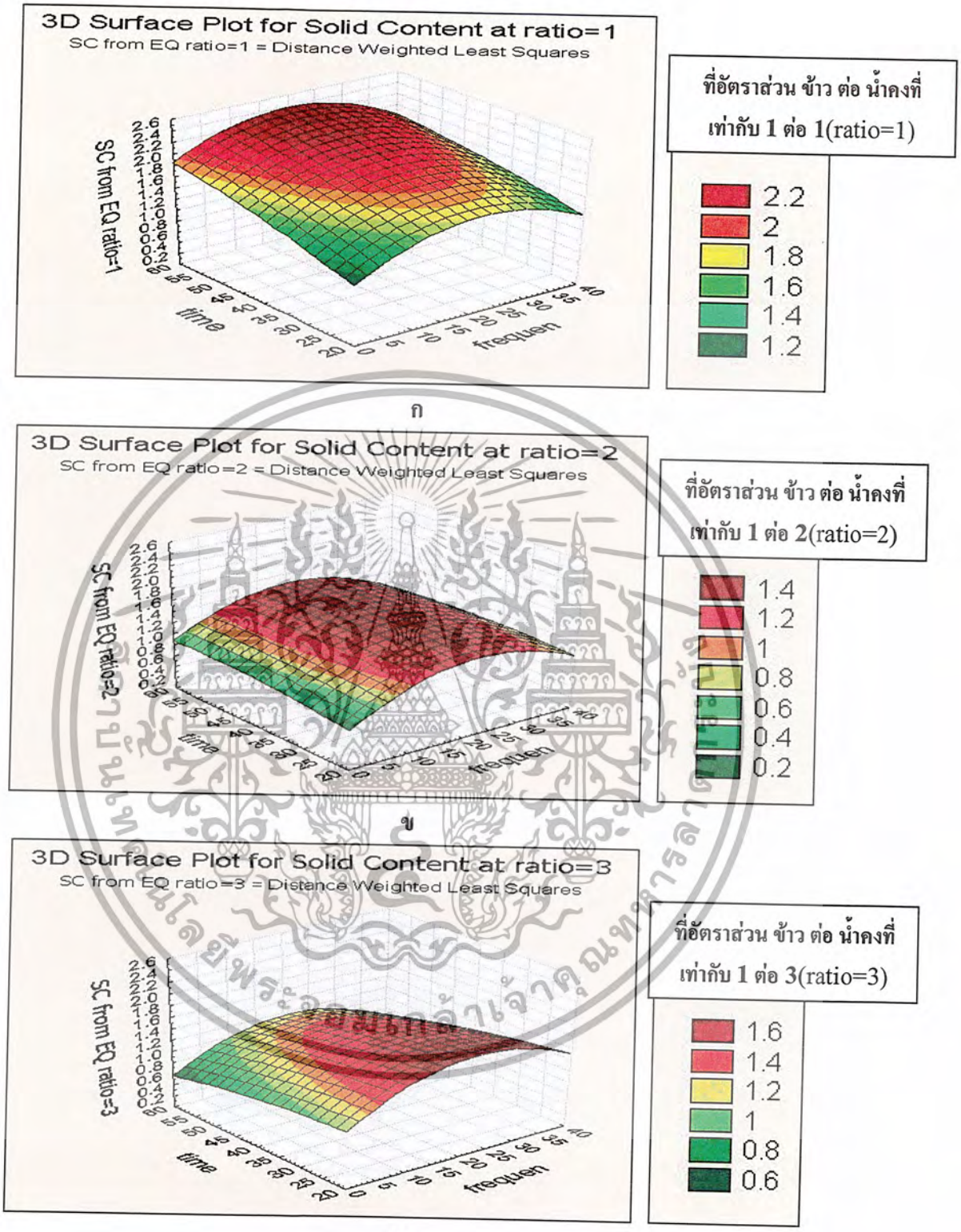


ที่อัตราส่วน ข้าว ต่อ น้ำคงที่ เท่ากับ 1 ต่อ 3(ratio=3)

ค

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Solid Content ที่ได้จากสมการ 4.1 กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Solid Content ที่ได้จากสมการ 4.1 กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ 3D Surface Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ได้ที่อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำต่างๆ กันพบว่าที่อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1 นั้นมีปริมาณของแข็งมากว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ คือแยกออกมาได้ประมาณ 2.4 % ส่วนที่อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำที่ 1:2 และ 1:3 ให้ปริมาณของแข็งที่ลดลงและใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าอาจเป็นผลจากการลดลงของพลังงานของคลื่นอุลตร้าโซนิคที่ส่งผ่านชั้นของเหลว เมื่อปริมาณน้ำในถังแช่อุลตร้าโซนิคมีมากขึ้นทำให้ความความแรงหรือพลังงานของคลื่น อุลตร้าโซนิค ลดลงตามลำดับ จึงทำให้แยกของแข็งออกจากปลายข้าวได้น้อยลงตามไปด้วย

ส่วนผลของเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าว พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1 การเพิ่มเวลาในการแช่ข้าวจะทำให้ปริมาณของแข็งที่ได้ในน้ำแช่ข้าวเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำสูงขึ้นเป็น 1:2 และ 1:3 กลับพบว่าการเพิ่มเวลาในการแช่ข้าวจะได้ปริมาณของแข็งที่ได้จากการแช่ลดลง ทั้งนี้เพราะเมื่อ พิจารณาที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 และ 1:3 ซึ่งมีน้ำในปริมาณมาก และเมื่อให้พลังงานความถี่ด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิคเป็นเวลานานอาจทำให้อนุภาคของแข็งที่แยกออกมาจากปลายข้าวน้ำมีการลดขนาดลงและเกิดการกระจายตัวในน้ำทำให้ยากต่อการตกตะกอนเพื่อแยกส่วนของแข็งออกมา

เมื่อวิเคราะห์ผลของความถี่ของคลื่นอุลตร้าโซนิคพบว่าเมื่อเพิ่มค่าความถี่ในช่วง 0 – 22 ปริมาณของแข็งที่ได้จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความถี่จาก 22 kHz จนถึง 40 kHz ปริมาณของแข็งที่ได้จากน้ำแช่กลับลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความถี่ที่เพิ่มขึ้นทำให้ส่วนของของแข็งที่แยกออกมาได้เกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กลงทำให้สามารถแขวนลอยหรือละลาย รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำที่เป็นของเหลวได้ดีขึ้น การแยกให้ตกตะกอนจึงทำได้ยากขึ้นปริมาณของแข็งที่ได้จึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เพิ่มขึ้นของปลายข้าวหลังแช่

ค่าความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่า ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น กับค่า ความถี่ , เวลาในการแช่ และ อัตราส่วนระหว่างข้าวละน้ำแช่ สามารถแสดงได้ดังนี้ (ดูผลการแสดงค่าทางสถิติที่แสดงไว้ใน ภาคผนวก ค.)

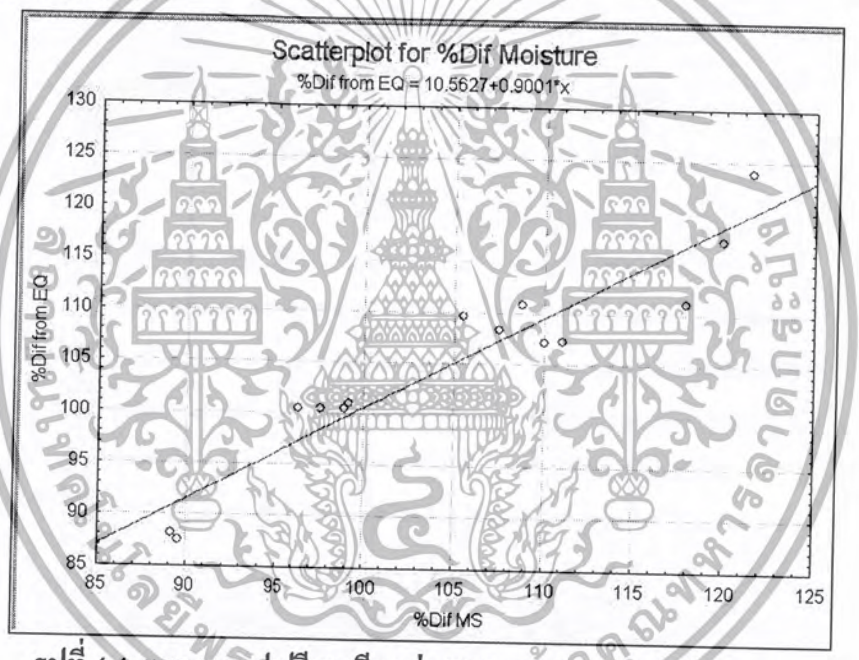
สมการค่า %ความชื้นที่เพิ่มขึ้น = $162.2683 - 0.21 X_1 - 1.5318 X_2 - 14.2175 X_3 - 0.0305 X_1^2$ ____ **(4.2)**

$+0.0038 X_2^2 + 1.594 X_3^2 + 0.0231 X_1 X_2 + 0.0289 X_1 X_3$

$+0.3205 X_2 X_3$

R^2 = 0.90201938 , Std. Error of estimate = 5.9255

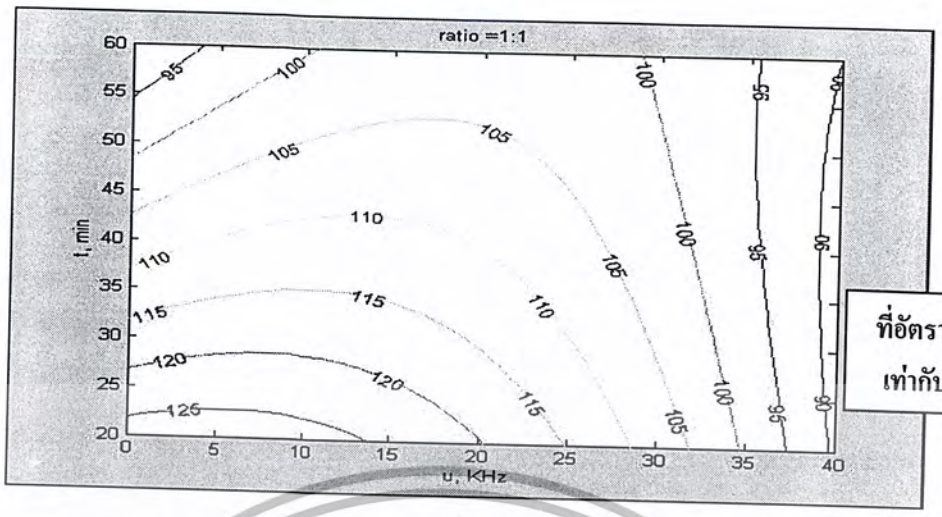
รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งจากการทำนายด้วยสมการ (4.1)กับค่าที่ได้จากการทดลองจริง



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า %Dif Moisture จากการทดลอง กับ ค่า %Dif Moisture ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

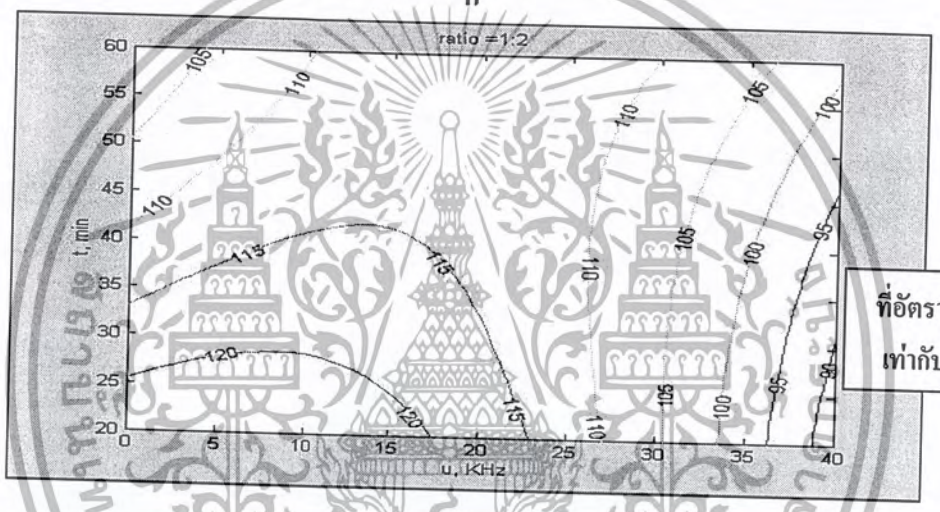
จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความชื้นที่ได้จากสมการ 4.2 ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองพอสมควร ในทำนองเดียวกัน ได้ทำการพลอตกราฟทั้งในแบบ Contour Plot และ แบบ Surface Plot ในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.5-ก ,ข และ ค แสดงปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1 , 1:2 และ 1:3 ตามลำดับความคลาดเคลื่อนของสมการจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความชื้นมีค่าสูงขึ้นและจากรูป 4.5 พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำต่อข้าวเท่ากับ 1:1 ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 108 – 124 % ส่วนที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:3 ได้ปริมาณค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นในช่วง 102 – 121 และ 101 – 130 % ตามลำดับซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



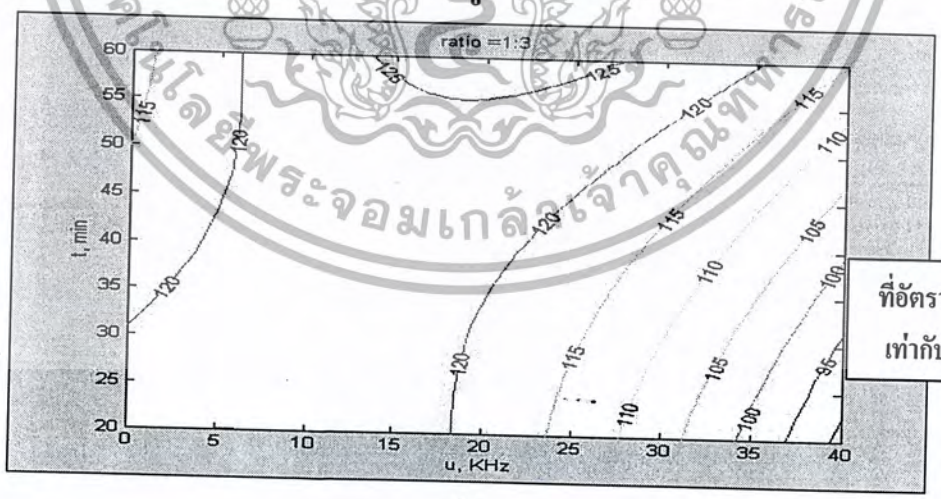
ที่อัตราส่วน ข้าว ต่อ น้ำคงที่ เท่ากับ **1** ต่อ **1**(ratio=1)

ก



ที่อัตราส่วน ข้าว ต่อ น้ำคงที่ เท่ากับ 1 ต่อ **2**(ratio=2)

ข

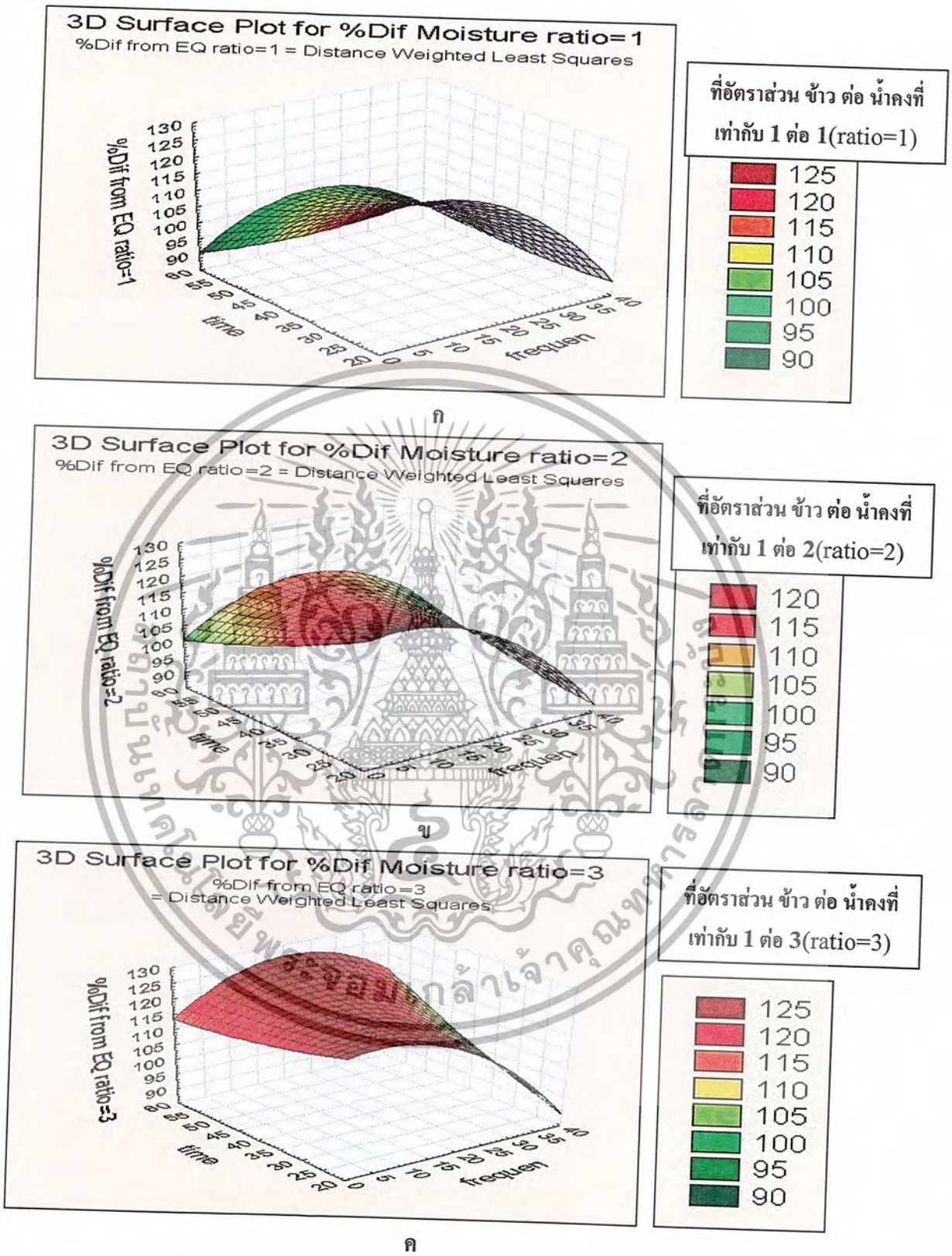


ที่อัตราส่วน ข้าว ต่อ น้ำคงที่ เท่ากับ 1 ต่อ **3**(ratio=3)

ค

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากสมการ 4.2 กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เพิ่มขึ้นที่ได้จากสมการ 4.2 กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ 3D Surface Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป ที่ 4.5 พบว่า ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีค่าสูงขึ้น ข้าวมีแนวโน้มของค่าความชื้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อปริมาณน้ำมากน้ำจะสามารถซึมแพร่เข้าสู่เซลเนื้อเยื่อของเมล็ดข้าวได้ดีกว่ากรณีที่มีอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ต่ำกว่า

และเมื่อพิจารณาผลกระทบด้านความถี่พบว่าเมื่อเพิ่มความถี่ของคลื่นมากขึ้นปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นของข้าวมีแนวโน้มที่จะลดลง อาจเป็นเพราะเมื่อเมล็ดข้าวได้รับความชื้นจากน้ำ เนื้อเยื่อบริเวณผิวนอกของปลายข้าว จะมีส่วนของรำหรือเศษที่ได้จากการสีข้าวติดอยู่ ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดเล็กนี้สามารถดูดซับน้ำได้ง่ายกว่าปลายข้าวเมื่อเพิ่มความถี่ให้มากขึ้น ความแรงจากคลื่นที่เพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคที่อุ้มน้ำเหล่านี้เกิดการหลุดออกจากปลายข้าว จึงเป็นผลให้เมื่อนำเอาเฉพาะส่วนของปลายข้าวที่ได้หลังการแช่ไปหาค่าความชื้น ค่าความชื้นที่ได้จึงมีค่าที่ลดลง

แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ที่อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 1:2 และ มีค่าความถี่สูงกว่า 25 kHz และที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:3 และมีค่าความถี่ เท่ากับ 15 kHz การเพิ่มเวลาในการแช่จะมีผลทำให้ความชื้นของปลายข้าวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะการซึมแพร่ของน้ำเข้าสู่ปลายข้าวมีมากขึ้นเมื่อเวลาของการแช่นานขึ้น

เมื่อพิจารณาผลกระทบด้านเวลาแล้วพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ความชื้นของข้าวมีแนวโน้มที่จะลดลง ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุเช่นเดียวกับผลกระทบของการเพิ่มความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ปริมาณ โปรตีนในของแข็งที่ได้จากน้ำแช่ข้าว

ค่าความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่า เปอร์เซ็นต์โปรตีนในของแข็งที่ได้จากน้ำแช่กับค่า ความถี่ , เวลาในการแช่ และ อัตราส่วนระหว่างข้าวและน้ำแช่ที่ใช้ในการแช่ สามารถแสดงได้ดังนี้(ดูผลการแสดงค่าทางสถิติที่ ภาคผนวก ค.)

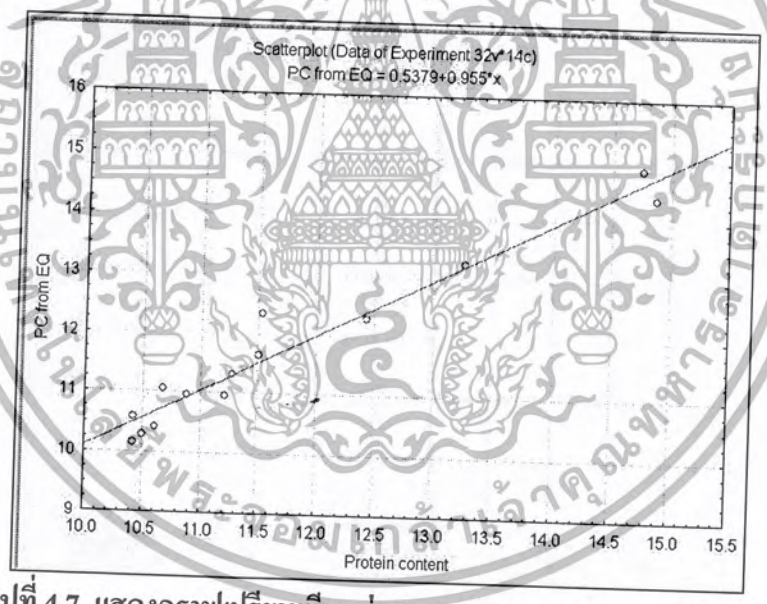
สมการค่า Protein Content = $15.39875 - 0.28217 X_1 - 0.26865 X_2 + 2.97309 X_3 + 0.00414 X_1^2$ ___ **(4.3)**

$+0.00178 X_2^2 - 0.76745 X_3^2 + 0.00351 X_1 X_2 - 0.02112 X_1 X_3$

$+0.03108 X_2 X_3$

R^2 = 0.95459424 , Std. Error of estimate = 0.58894

เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนจากการคำนวณด้วยสมการ 4.3 มาทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่ได้จริงจากการทดลองได้ผลดังรูปที่ 4.7

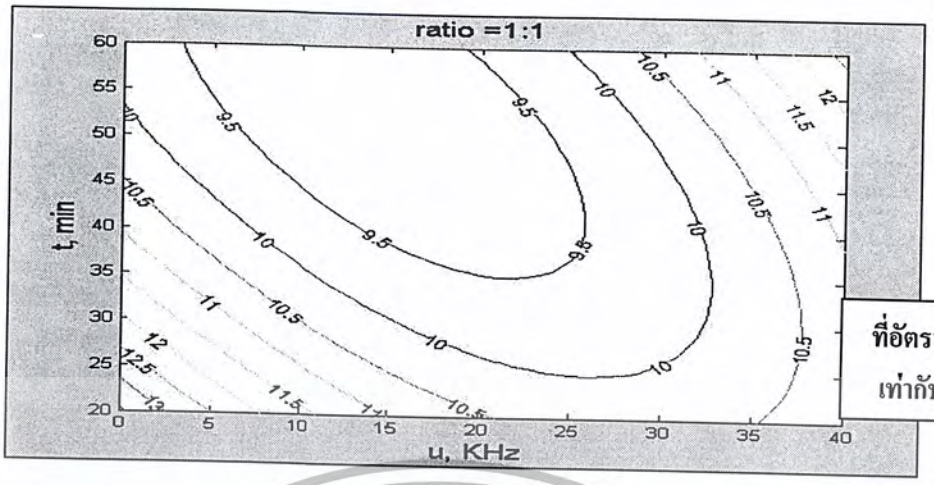


รูปที่ 4.7 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Protein Content จากการทดลอง กับ ค่า Protein Content ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จะเห็นว่าค่าที่ได้จากสมการ 4.3 และค่าที่ได้จากการทดลองมีความใกล้เคียงกันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอสมควร

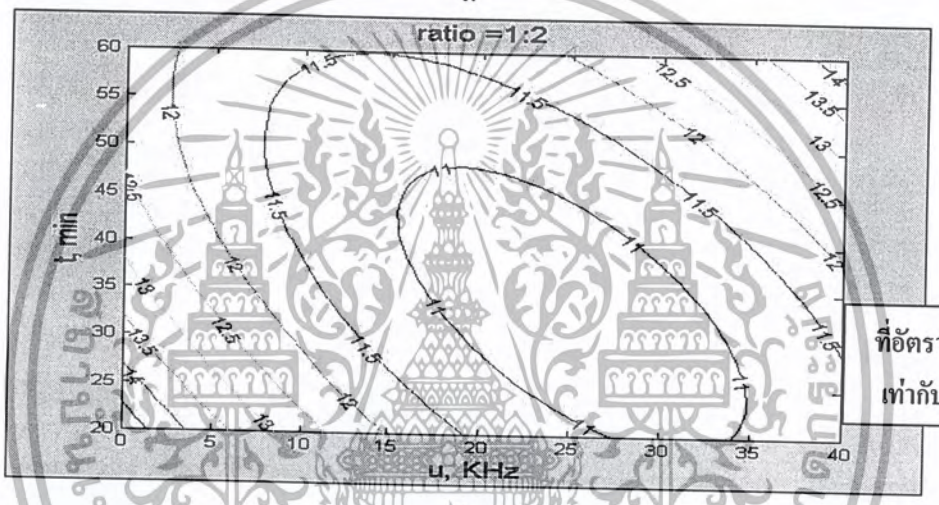
ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Response Surface ของค่าเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนด้วยการพลอตค่าความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์โปรตีนกับค่าความถี่และเวลาในรูปแบบ Contour Plot และ Surface Plot ที่อัตราส่วนน้ำต่อข้าวต่างๆ (ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ รูปที่4.9 ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



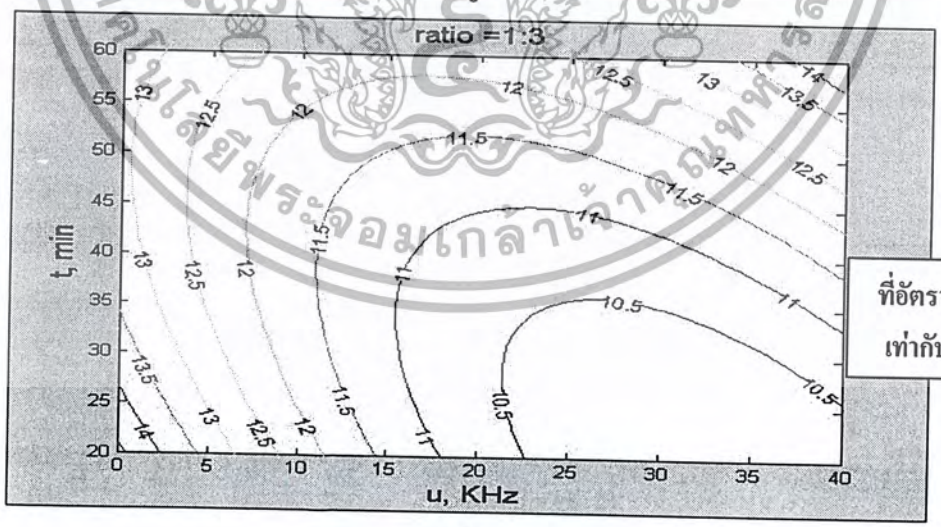
ที่อัตราส่วน น้ำ ต่อ ข้าวคงที่ เท่ากับ 1 ต่อ 1(ratio=1)

ก



ที่อัตราส่วน น้ำ ต่อ ข้าวคงที่ เท่ากับ 1 ต่อ 2(ratio=2)

ข

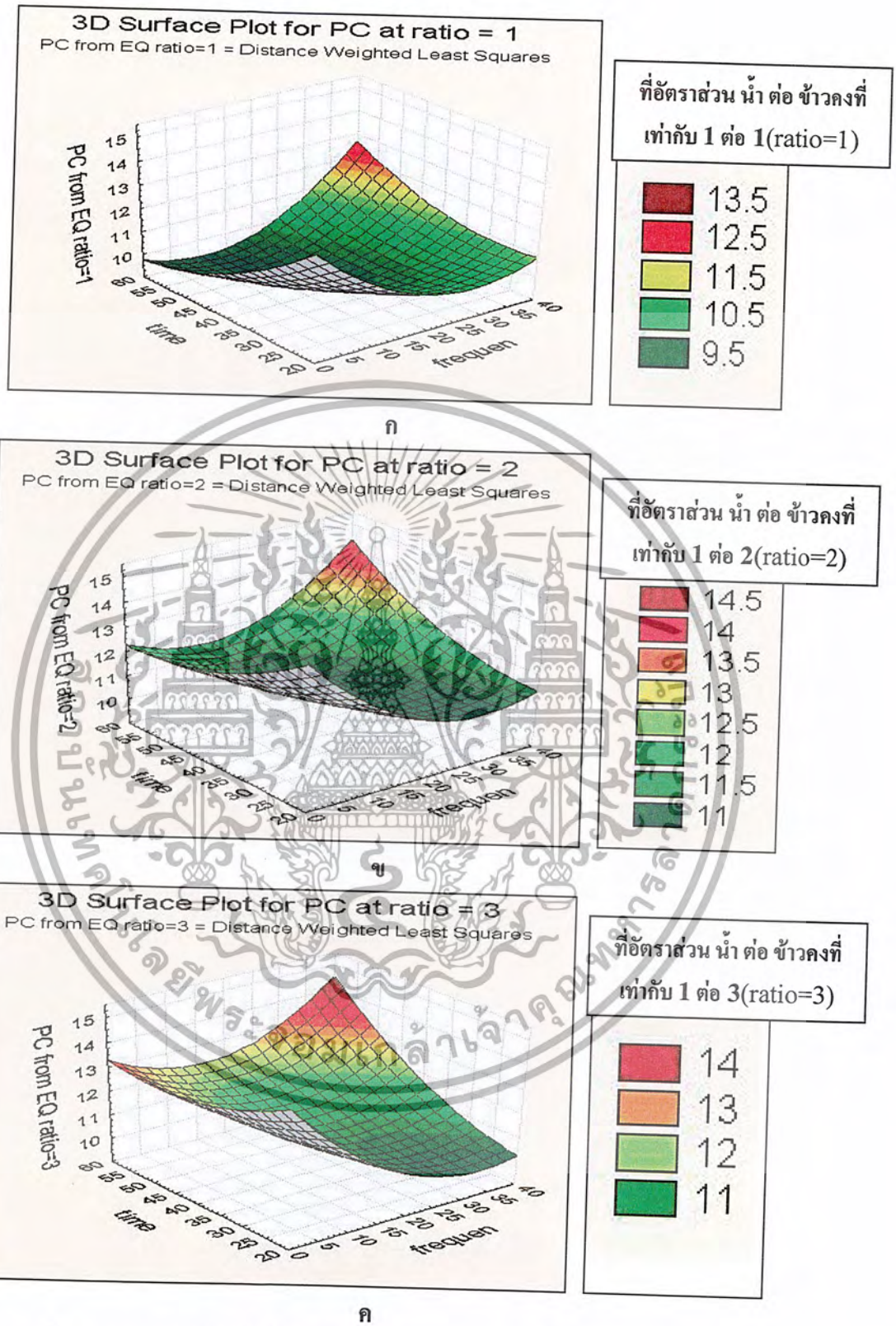


ที่อัตราส่วน น้ำ ต่อ ข้าวคงที่ เท่ากับ 1 ต่อ 3(ratio=3)

ค

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปอร์เซ็นต์โปรตีนในของแข็งที่ได้จากสมการ 4.3 กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Protein content ที่ได้จากสมการ 4.3 กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ 3D Surface Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.8 พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำต่อข้าวเท่ากับ 1: 1 ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนอยู่ในช่วง 9 – 13 % ส่วนที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:3 ได้ปริมาณของแข็งในช่วง 10 – 14 และ 10 – 14% ตามลำดับซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก

และเมื่อพิจารณาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนแล้วกับตัวแปรความถี่ของคลื่นพบว่าโปรตีนมีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความถี่คลื่นมากขึ้นไปจนถึงช่วงความถี่หนึ่งและหลังจากผ่านช่วงความถี่นั้นไปปริมาณเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนก็จะค่อยๆเพิ่มปริมาณขึ้นอีก และที่เป็นเช่นนี้ก็อาจเป็นเพราะว่าที่ช่วงความถี่ที่ได้ปริมาณโปรตีนน้อยนั้นอาจเป็นช่วงความถี่ที่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของอนุภาคจึงทำให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงจนอนุภาคของแข็งมีขนาดที่ลดลงและกระจายตัวในน้ำทำให้ยากต่อการตกตะกอนออกมาที่ช่วงความถี่นั้นๆ

และเมื่อพิจารณาผลกระทบด้านอัตราส่วนของน้ำต่อข้าวพบว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อข้าวยิ่งมากขึ้นบริเวณที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนน้อยก็จะเลื่อนมาทางบริเวณที่ใช้ความถี่ของคลื่นอุลตร้าโซนิคมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี่อาจเป็นเพราะว่าเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นอาจส่งผลให้ความถี่ธรรมชาติของอนุภาคของแข็งในน้ำเปลี่ยนไปในแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำไปด้วย หรือ อาจเป็นเพราะว่าการเพิ่มความถี่ในช่วง 0 – 20 kHz ทำให้อาจมีบางส่วนของปลายข้าวถูกแยกออก มีผลให้ปริมาณโปรตีนที่ได้ต่ำลง แต่เมื่อเพิ่มความถี่ ความแรงของคลื่นที่เพิ่มนี้อาจทำให้ โมเลกุลของไขมันที่มีอยู่ในอนุภาคของแข็งที่แยกออกมาเกิดการแตกตัวและกระจายอยู่ในของเหลว ปริมาณโปรตีนที่ได้ในส่วนของของแข็งจึงเพิ่มขึ้น

และเมื่อพิจารณาผลกระทบจากเวลาพบว่า ที่ระดับความถี่ต่ำกว่า 20 kHz เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่นานขึ้น ปริมาณโปรตีนที่ได้มีแนวโน้มที่จะลดลง สาเหตุอาจเป็นเพราะว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการแช่นานขึ้นจะทำให้อนุภาคของแข็งที่ได้ถูกแรงกระทำจากคลื่นที่สูงขึ้นจนอนุภาคที่ได้มีขนาดลดลงและแขวนลอยในน้ำทำให้ยากที่จะทำการตกตะกอนออกมา

แต่เมื่อแช่ข้าวที่ความถี่สูงกว่า 20 kHz เป็นเวลานานขึ้น พบว่าจะได้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุลตร้าโซนิคทำให้โมเลกุลอื่นที่เป็นไขมันเกิดการกระจายตัวในของเหลวมากขึ้น ดังนั้นเมื่อทำการตกตะกอนของแข็งออกมา ทำให้ได้สัดส่วนของโปรตีนที่เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการใช้คลื่นอุลตร้าโซนิคต่อการแช่ข้าวโดยทำการทดลองที่สภาวะความถี่ 0 – 40 kHz เวลาในการแช่ข้าว 20 – 60 นาที และอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1 , 1:2 และ 1:3 มีการวางแผนการทดลองแบบ **Box Behnken Design** ประกอบด้วย 14 การทดลอง ผลที่ได้สามารถสรุปดังนี้

1. คลื่นอุลตร้าโซนิคมีผลต่อการแช่ปลายข้าวในน้ำจริง โดยคลื่นอุลตร้าโซนิคสามารถช่วยแยกอนุภาคของแข็งออกจากปลายข้าวได้โดยช่วงความถี่ของคลื่นที่เหมาะสมได้ดีที่สุดอยู่ในช่วง 15 – 30 kHz ได้ปริมาณของแข็งจากน้ำแช่ 1.2 – 2.2 เปอร์เซ็นต์จากน้ำหนักข้าวก่อนแช่
2. การใช้คลื่นอุลตร้าโซนิคมีผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เพิ่มขึ้นในปลายข้าวลดลงแต่การเพิ่มเวลาในการแช่ที่ค่าความถี่สูง จะทำให้ค่าความชื้นของปลายข้าวมีค่าสูงเพิ่มขึ้น
3. คลื่นอุลตร้าโซนิกในช่วงความถี่ 15-30 ให้ค่าปริมาณโปรตีนในของแข็งที่แยกจากน้ำแช่ต่ำสุด ประมาณ 9-11.5 % ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำ และเวลาในการแช่
4. การแช่ข้าวด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิคที่อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1 จะให้ปริมาณของแข็งที่ได้สูงสุดประมาณ 2.4 % ของน้ำหนักข้าวที่แช่
5. ผลการทดลองที่สภาวะต่างๆสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างผลที่ได้กับตัวแปร ความถี่(X_1) ,เวลาในการแช่(X_2) และ อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ(X_3)ด้วยวิธี Mutiple Reqression ได้ดังนี้

5.1.1 ปริมาณของแข็งที่ได้(%) = $1.22714 + 0.05956 X_1 + 0.04809 X_2 - 1.07261 X_3$
$-0.00134 X_1^2 - 0.00017 X_2^2 + 0.33446 X_3^2$
$-0.00013 X_1 X_2 + 0.00139 X_1 X_3 - 0.01517 X_2 X_3$

R^2 = 0.96307124 , Std. Error of estimate = 0.15977

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น(%) = $37.14135 - 0.25349 X_1 - 0.17542 X_2$
$-4.39152 X_3 + 0.024 X_1^2 + 0.00082 X_2^2 + 0.71097 X_3^2$
$+0.00235 X_1 X_2 + 0.01532 X_1 X_3 + 0.03137 X_2 X_3$

R^2 = 0.87339614 , Std. Error of estimate = 0.68755

5.1.3 ปริมาณโปรตีน(%) = $15.39875 - 0.28217 X_1 - 0.26865 X_2 + 2.97309 X_3 + 0.00414 X_1^2$
$+0.00178 X_2^2 - 0.76745 X_3^2 + 0.00351 X_1 X_2 - 0.02112 X_1 X_3$
$+0.03108 X_2 X_3$

R^2 = 0.95459424 , Std. Error of estimate = 0.58894

5.2 ปัญหาที่พบระหว่างทำการทดลอง

1. ในขั้นตอนการแยกตะกอนของแข็ง ในช่วงแรกได้ใช้วิธีการเทน้ำแช่ที่ได้ผ่านกระดาษกรอง โดยมีปั๊มสุญญากาศดูดแต่ประสบปัญหาเรื่องเวลาที่ใช้กรองนานมากจนตัวอย่างเกิดการบูด จึงได้ทดลองนำน้ำแช่ใส่เข้าไปยังเครื่องแยกเหวี่ยง เพื่อให้ตะกอนของแข็งติดอยู่ภายในแล้วมาขูดแยกออก แต่พบว่าตะกอนแยกออกมาได้ไม่มากและลำบากในการขูดแยก ภายหลังได้พบวิธีการปรับค่า pH แล้ว นำมาเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าสามารถใช้แยกตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงนำวิธีนี้มาใช้ในการทดลอง

2. ในขั้นตอนการอบแห้งตะกอนเพื่อให้ได้ของแข็งแห้งประสบปัญหาในเรื่องการอบเนื่องจากหลังจากขั้นตอนการแยกตะกอนออกจากน้ำแช่ ตะกอนที่ได้จะเป็นของเหลวที่เข้มข้นซึ่งยังมีปริมาณน้ำอยู่มาก ในการนำเข้าตู้อบที่ 45 องศาเซลเซียส จึงเกิดเชื้อราขึ้น แม้เพิ่มอุณหภูมิขึ้นถึง 80 องศาเซลเซียสก็ยังไม่สามารถป้องกันได้ จึงได้ทำการแก้ไขเป็นการขอใช้ตู้อบที่มีระบบการระบายอากาศ และก่อนการนำตัวอย่างเข้าอบจะนำตัวอย่างไปตากแดดเพื่อลดปริมาณน้ำลงก่อน

3. ปัญหาเรื่องการรอเครื่องอุลตร้าโซนิคที่ใช้ เนื่องจากเครื่องอุลตร้าโซนิคที่ใช้ทำการทดลองได้มีการสั่งทำขึ้นใหม่ซึ่งใช้ระยะเวลาในการทำค่อนข้างนาน อีกทั้งในช่วงแรกของการทดลองเครื่องอุลตร้าโซนิคที่ได้มามีเกิดขัดข้องแต่ไม่มีสิ่งบ่งชี้ถึงความผิดปกติต่อมาภายหลังจึงทราบจากการสังเกตส่งผลให้ผลการทดลองในช่วงแรกต้องมีการทดลองใหม่ทั้งหมด

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการลงทุนติดตั้งระบบอุลตร้าโซนิคในระดับอุตสาหกรรม

2. ควรนำวิธีการแช่ข้าวด้วยคลื่นอุลตร้าโวนิคไปทดลองใช้จริงในโรงงานผลิตแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากการทดลองพบว่าในการทดลองโดยใช้เครื่องอุลตร้าโซนิค ในบางครั้งเกิดปัญหากับตัวเครื่องโดยไม่รู้ว่าเครื่องอุลตร้าโซนิคนั้นจะเกิดการชำรุดหรือไม่เพราะเมื่อเครื่องเกิดการชำรุดเช่น เกิดการแตกแยกออกจากกันระหว่างแผ่นเปียโซกับผนังของถัง เครื่องก็ยังสามารถทำงานต่อไปได้ แต่จะมีประสิทธิภาพลดลงทำให้ส่งผลต่อการทดลอง ดังนั้นควรมีเครื่องมือในการตรวจสอบการทำงานของเครื่องอุลตร้าโซนิคด้วย

4. ในระหว่างทำการทดลอง เมื่อเครื่องอุลตร้าโซนิคทำงานเป็นเวลานาน ตัวเครื่องอุลตร้าโซนิคจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นซึ่งส่งไปถึงอุณหภูมิภายในถังแช่ ซึ่งอาจส่งผลถึงผลการทดลองได้อีกทั้งเครื่องอุลตร้าโซนิคเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคที่ไม่สามารถโดนน้ำได้ จึงควรหาทางที่จะควบคุมอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ , 2543 . เทคโนโลยีของแป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : 100-103.
- ธนวัฒน์ หาธานี , 2541 . เครื่องทำความสะอาดด้วยอุลตร้าโซนิค . ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า . สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ธนาธิป เดชะประเสริฐ และคณะ ,2541 . อุปกรณ์นำร่องใช้เสียงอุลตร้าโซนิค . ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า . สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นุชนารถ ทรัพย์พาณิชย์ และคณะ, 2542. การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีน สกัดจากถั่วเหลือง. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร . สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- บรรเลง ศรนิล และ บันตีพล วัชรนาก , การตรวจสอบเครื่องอุลตร้าโซนิค. กรุงเทพฯ :สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รุ่งทิวา วันศรีสุข ม2543. การสกัดโปรตีนในปลายข้าวหอมมะลิ เพื่อทำแป้งข้าวเจ้าบริสุทธิ์ , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : 20-22
- สมพงษ์ นิสมณี , 12 กรกฎาคม 2546 .ผู้จัดการแผนกควบคุมคุณภาพ , บริษัท บางกอกอินเตอร์ฟูด จำกัด . สัมภาษณ์.
- อรพิน ภูมิภมร ,2533. เทคโนโลยีแป้ง : เคมีของแป้งและเทคโนโลยี ผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- เอกสารเผยแพร่ . ผู้จัดการ,บริษัท ดี.เอส.ซี. กรุ๊ป จำกัด , 2546.
- Betschart ,A.A. ,R.Y. Fong and R.M. Saunders. 1977 .Rice by-products: comparative extraction and precipitation of nitrogen from U.S. and Spanish bran and germ. J. Food Sci. 42(4) :1088-1094
- Champagne,E.T., R.M. Rao, J.A. Liuzzo, J.W. Robinson, R.J. Gale and F. Miller. 1985. Solubility behavior of minerals, protein and phytic acid in rice bran with time,temperature and pH. Cereal Chem. 62 : 218 – 221.
- Chen, W.P. and Y.C. Chang. 1984. Production of high – fructose rice syrup and high protein rice flour from broken rice . J .Sci. Food Agric.35 :1128 – 1135.
- Connor, AA., R.M. Saunder and G.O. Kohler. 1976. Rice bran protein concentrats obtain by wet alkaline extraction. Cereal Chem. 53 : 448 – 458.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gnanasambandam, R., N.S. Hettiarachchy and M. Coleman. 1997. Machanical and barrier properties of rice bran film. J. Food Sci. 62 : 395 – 398.
- Hansen, L.P., R. Hasek, M. Callan and and F.T. jones. 1981. 1981. The devalopment of high protein rice flour for early childhood feeding. Food Technol. 35 : 38 – 41.
- Juliano, B.O. 1972. Rice Chemistry and Technology . American Association of Cereal Chemists Inc., Minnesota. 98 p
- Juliano, B.O.,editor ,1985 .Rice Chemistry and Technology : 104-142
- Knight ,J.Q. 1969. The Starch Industry. Pergamon Press Ltd., Great Britain. 56P
- Lansztity,R. 1996. The Chemistry of Cereal Proteins. CRC Press Inc., New York. 250 p.
- Lew, E.J.L., D.F. Houston and Fellers. 1975. A note on protein concentrate from full fat rice bran. Cereal Chem. 52: 748 – 750.
- Malcolm J.W. Povey and Timothy J. Mason ,1998 . Ultrasound in Food Processing :105-125
- Matsuo, T., Y. Futsuhara, F. Kikuchi and H. Yamaguchi. 1997. Science of the Rice Plant, Vol III. Nosan Gyoson Banka Kyokai (Nobunkyo)., Tokyo. 469 p.
- Morita , T. and S.Kiriyama. 1993. Mass production method for rice protein isolate and nutritinal evaluation. J.Food Sci. 58:1393 – 1396.
- Prakash , J and G. Remanatham. 1994. Effect of drying technique on functionality of protien concentrates. J .Food Agr . 67 : 181 – 185
- Shih, F.F., E.T. Champagne, K. Daigle and Z.Zarins. 1999. Use of enzymes in the processing of protein products from rice bran and rice flour. Nahrung 43: 14-18
- Wang, M., N.S. Hettiarachy, M.Qi.W Burks and T. Siebenmorgan. 1999. Preparation and functional properties of rice bran isolate.J.Agr. Food Chem. 47:411-416.
- Winton ,A.L. and K.B. Winton .1906. The Structure and Composition of Foods. John Wiley & Sons , Inc., Newyork. 673P
- Youssef, A.M., A.M. EI-Fouly and F.K. EI-Baz. 1974. Isolation and Chemical composition of protien concentrates from soybean, rice bran and protelan. Plant Food Human Nutrition 21:71 - 74
- Intitute of food technologists ,URL:http://ift.confex.com/ift/2002/techprogram/session_1518.htm
- Intitute of food technologists ,URL:http://ift.confex.com/ift/2002/techprogram/paper_11076.htm
- Biologics ,Inc., URL:http://uregina.ca/~ngdann/BIOC420/lab2.htm
- University of Regina ,URL:http:// www.biologics-inc.com/ultrasonic_homogenize.htm

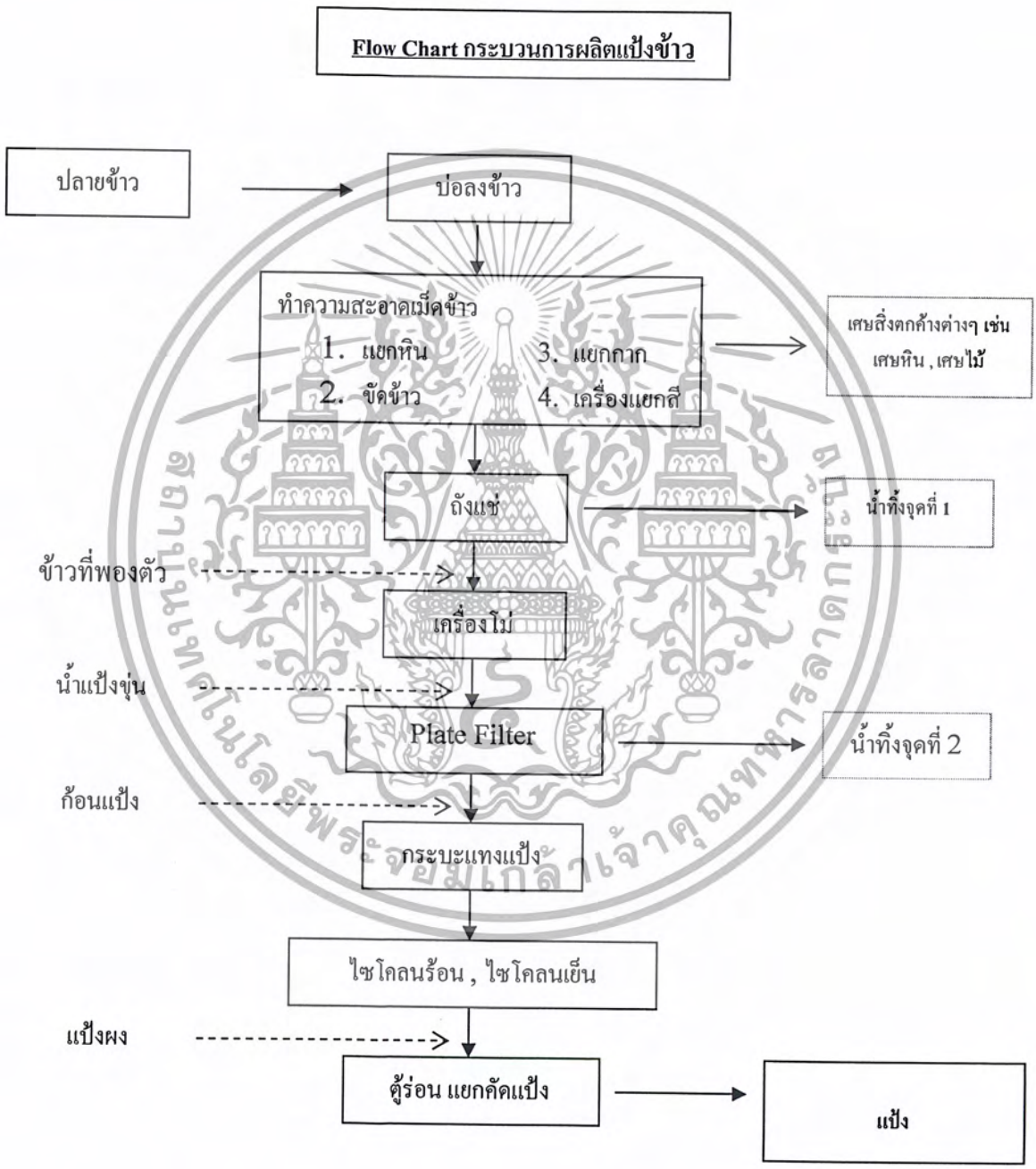
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษากระบวนการผลิตแป้งข้าวเจ้า

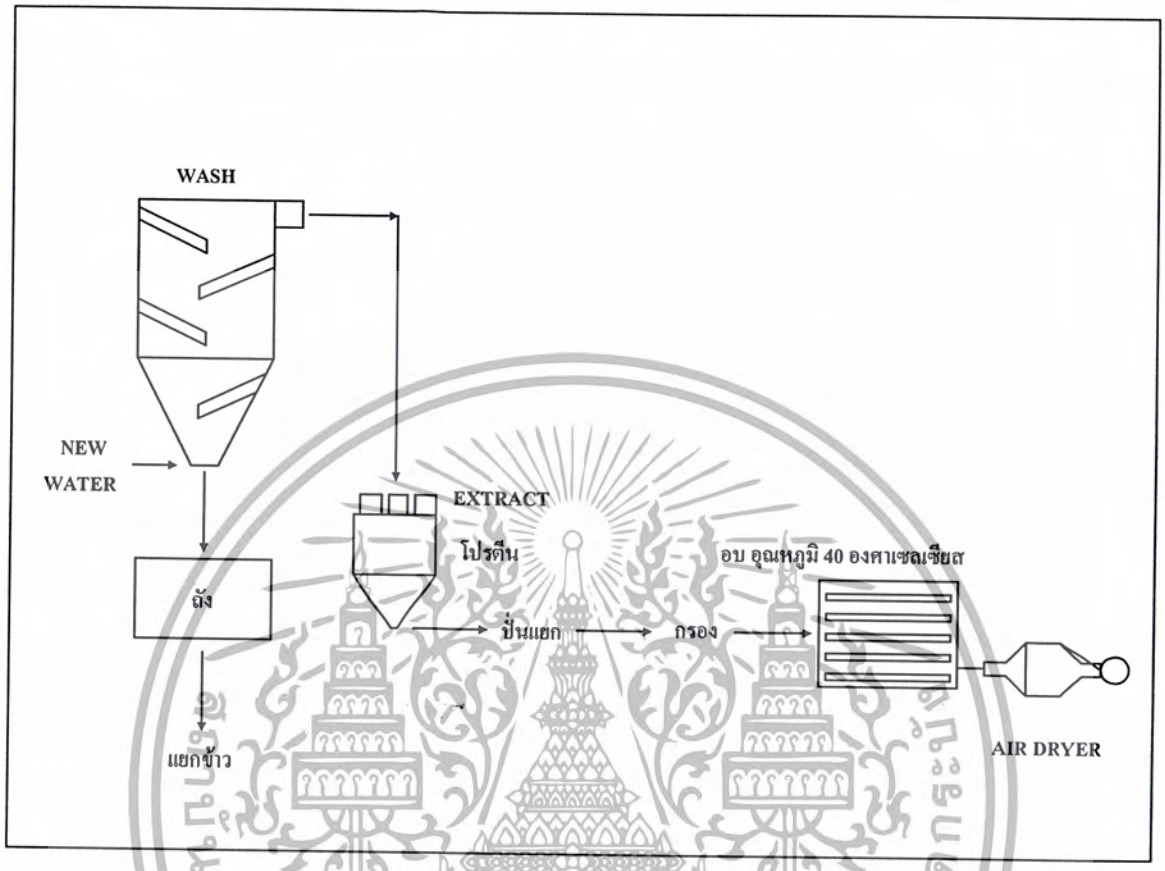
ก.1. การผลิตแป้งข้าวเจ้าในอุสาหกรรม



รูปที่ ก-1 แสดงกระบวนการผลิตแป้งข้าวเจ้าและของเสียจากกระบวนการ
(ที่มา : บริษัทบางกอกอินเตอร์ฟูด จำกัด ,2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2. การผลิตแป้งข้าวเจ้าในแบบจำลอง



รูปที่ ก-2 กระบวนการทำแป้งข้าวเจ้าที่มีการล้างแบบต่อเนื่อง
(แบบจำลองที่ได้ทำขึ้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ

1. การวิเคราะห์ความชื้น (A.O.A.C.,1990)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 9 — 10 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนในถ้วยอลูมิเนียมที่ผ่านการอบแห้งมาแล้ว นำไปอบแห้งที่ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างออกมาทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ นำออกมาชั่งน้ำหนัก คำนวณหาร้อยละของความชื้นในตัวอย่างจาก

$$\text{ร้อยละของปริมาณความชื้น} = 100 \times (a - b)/c$$

โดย

a = น้ำหนักตัวอย่างก่อนการอบกับน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียม (กรัม)

b = น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบกับน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียม (กรัม)

c = น้ำหนักตัวอย่างก่อนการอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์หาน้ำหนักของตะกอนแห้ง (Solid Content) จากการทดลอง

นำตะกอนเปียกที่ได้ไปใส่ไว้ในถาดอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการระเหยของน้ำ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องซาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อบแห้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำออกมาขูดเอาส่วนที่เป็นของแข็งตะกอนออกจากถาดอลูมิเนียม แล้วนำมาชั่งน้ำหนักตะกอนแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 การวิเคราะห์องประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldahl)

อุปกรณ์การทดลอง

1. ขวดวิเคราะห์โปรตีน
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
3. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์โปรตีน TECATOR (1013 Scrubber Unit, 2006 Digestion System, Distillation System)
4. สารเร่งปฏิกิริยา Selenium reagent mixture (ประกอบด้วยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส 94 ส่วน คอปเปอร์ซัลเฟต 1.45 ส่วน และ เซเลเนียมออกไซด์ 1.5 ส่วน)
5. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
6. สารละลายเมธิลเรด (ละลายเมธิลเรด 0.1 กรัม ใน Absolute Ethanol 100 ml)
7. สารละลายโบรโมกลีซอลกรีน(ละลายโบร โมกลีซอลกรีน0.1กรัมในAbsolute Ethanol100ml)
8. 40% NaOH (commercial grade)(ละลาย NaOH 4000 กรัม ปรับเป็น 10 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น)
9. 1.0 M NaOH (ปิเปต 40% NaOH มา 25 ml แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 250 ml)
10. สารละลายกรดบอริก 4% (ละลายกรดบอริก 80 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 2 ลิตร แล้วนำไปตั้งบนแผ่นให้ความร้อนกวนจนละลายหมด)
11. 0.1 M HCl (ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8.7 ml ลงขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรและหาความเข้มข้นที่แน่นอน([HCl]))

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 1-3 กรัม (หรือคะเนให้มีปริมาณไนโตรเจน 1-160 mg ทั่วไป flour ใช้ตัวอย่าง 1 กรัม, starch ใช้ 3 กรัม) โดยใช้กระดาษชั่งตัวอย่าง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง
2. ห่อตัวอย่างใส่ขวดวิเคราะห์โปรตีน เติมคะตะลิสต์ 1 ช้อนชา และเติม boiling chip 1 ช้อนชา (ทำ blank โดยใช้กระดาษชั่งสารเปล่า)
3. เปิดตู้ดูดควันและเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 ml ถ้าใช้ตัวอย่าง 1 กรัม แต่ถ้าใช้ตัวอย่าง 3 กรัม ใช้กรด 20 ml ตั้งทิ้งไว้จนตัวอย่างและคะตะลิสต์ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
4. ต่อขวดวิเคราะห์โปรตีนเข้ากับเครื่องย่อยทั้ง 6 หลอด ถ้าหลอดใดไม่มีตัวอย่างให้เติมน้ำกลั่น แทนจากนั้นจึงเปิดเครื่องดูดควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปิดเครื่องย่อยจนสารละลายเดือดจนหมดฟอง โดยเขย่าเป็นครั้งคราว และปรับอุณหภูมิเป็น 420 องศาเซลเซียส ย่อยจนสารละลายใส

6. ปิดเครื่องย่อยและยกขวดวิเคราะห์โปรตีนออกจากเครื่องย่อย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน

7. ปิดเครื่องดูดควัน เติมน้ำกลั่นลงไปละลายส่วนผสม 75 ml ผสมให้เข้ากัน

8. ต่อขวดวิเคราะห์โปรตีนเข้ากับ condenser ของเครื่องกลั่น

9. เตรียมสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4% 25 ml ใส่ใน flask ขนาด 250 ml, หยด Bromo gresol green 0.1% 20 หยด หยด Methyl red 0.1% 16 หยด, หยด 1.0 M NaOH 3หยด

10. จุ่มปลาย condenser ลงในสารละลายกรดบอริก

11. เติม 40% NaOH 50 ml โดยโยกคันโยกเติมน้ำด่าง 1 ครั้ง สังเกตสารละลายต้องเปลี่ยนเป็นสีดำ ถ้าสารละลายยังไม่เป็นสีดำให้เติมน้ำด่างอีกเล็กน้อย

12. กลั่นจนได้ของเหลวใน ขวดรูปชมพู่ ปริมาตรประมาณ 150 ml

13. ใช้น้ำกลั่นล้างปลาย condenser โดยน้ำล้างจะถูกเก็บใน flask ขนาด 250 ml

14. นำของเหลวที่กลั่นได้มาไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 M บันทึกปริมาณกรดที่ใช้ (V_{HCl}) ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับแบลงค์ (V_b)

การคำนวณ

ปริมาณโปรตีน (% by weight) = [(V_{HCl}-V_b) x 1.4 x conversion factor x [HCl]] / น้ำหนัก

ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

V = ปริมาตรของ 0.1 M HCl ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

V = ปริมาตรของ 0.1 M HCl ที่ใช้ไตเตรทสารละลายแบลงค์

[HCl] = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย 0.1 M HCl

น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้เป็น Dry basis = (100% M.C) /100 x น้ำหนักที่ชั่งได้

Condension factor ที่ใช้กับอาหารแต่ละชนิด

แป้งสาลี 5.70

แป้งข้าวเจ้า 5.95

แป้งข้าวโพด 6.25

อาหารชนิดอื่นๆ 6.25

การประเมินผล

บันทึกปริมาณโปรตีนที่คำนวณได้ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ค-1.ผลการคำนวณทางสถิติของความสัมพันธ์ของค่า Solid Content

Regression Summary for Dependent Variable: solid content (Spreadsheet1)
R= .98136193 R?= .96307124 Adjusted R?= .87998154
F(9,4)=11.591 p<.01547 Std.Error of estimate: .15977

N=14	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(4)	p-level
Intercept			1.22714	0.902034	1.36041	0.245315
frequen	2.09457	0.563870	0.05956	0.016035	3.71463	0.020571
time	1.89071	0.986107	0.04809	0.025084	1.91735	0.127660
ratio	-1.82445	0.942214	-1.07261	0.553938	-1.93634	0.124901
f^2	-1.83013	0.413088	-0.00134	0.000304	-4.43037	0.011419
time^2	-0.50420	0.648293	-0.00017	0.000220	-0.77774	0.480159
ratio^2	2.30583	0.735983	0.33446	0.106753	3.13299	0.035084
f*time	-0.23012	0.339060	-0.00013	0.000193	-0.67869	0.534572
f*ratio	0.11800	0.332131	0.00139	0.003904	0.35528	0.740326
time * ratio	-1.38985	0.467295	-0.01517	0.005289	-2.86726	0.045595

ค-2.ผลการคำนวณทางสถิติของความสัมพันธ์ของค่า %Different Moisture Content

Regression Summary for Dependent Variable: %Dif MS (Data of Experiment)
R= .94974701 R?= .90201938 Adjusted R?= .68156299
F(9,4)=4.0916 p<.09404 Std.Error of estimate: 5.9255

N=14	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(4)	p-level
Intercept			162.2683	33.45318	4.85061	0.008336
frequen	-0.32441	0.918474	-0.2100	0.59467	-0.35321	0.741762
time	-2.64497	1.606245	-1.5318	0.93026	-1.64668	0.174970
ratio	-1.06215	1.534749	-14.2175	20.54355	-0.69207	0.526971
f^2	-1.82324	0.672869	-0.0305	0.01126	-2.70965	0.053557
time^2	0.49131	1.055989	0.0038	0.00816	0.46526	0.665947
ratio^2	0.48266	1.198825	1.5940	3.95908	0.40261	0.707824
f*time	1.77511	0.552287	0.0231	0.00717	3.21411	0.032462
f*ratio	0.10793	0.541001	0.0289	0.14478	0.19950	0.851605
time * ratio	1.24377	0.761165	0.3205	0.19617	1.63403	0.177591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-3. ผลการคำนวณทางสถิติของความสัมพันธ์ของค่า Protein Content

N=14	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(4)	p-level
Regression Summary for Dependent Variable: Protein content (Data of Experiment) R= .97703339 R?= .95459424 Adjusted R?= .85243128 F(9,4)=9.3438 p<.02292 Std.Error of estimate: .58894						
Intercept			15.39875	3.324960	4.63126	0.009798
frequen	-2.98500	0.625248	-0.28217	0.059105	-4.77411	0.008813
time	-3.17703	1.093446	-0.26865	0.092460	-2.90552	0.043874
ratio	1.52127	1.044775	2.97309	2.041853	1.45607	0.219084
f^2	1.69296	0.458053	0.00414	0.001119	3.69599	0.020909
time^2	1.57517	0.718861	0.00178	0.000811	2.19121	0.093566
ratio^2	-1.59165	0.816096	-0.76745	0.393498	-1.95033	0.122911
f*time	1.85075	0.375967	0.00351	0.000713	4.92265	0.007914
f*ratio	-0.54052	0.368284	-0.02112	0.014390	-1.46767	0.216102
time * ratio	0.82592	0.518160	0.03108	0.019497	1.59395	0.186171

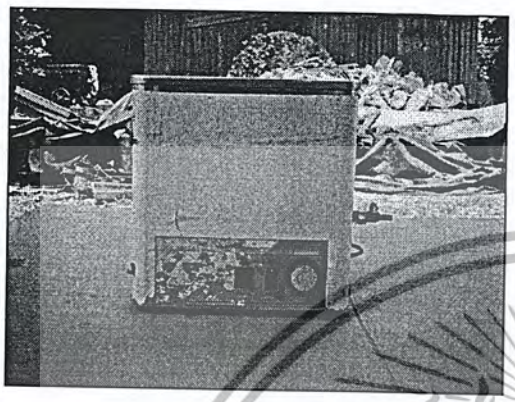
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

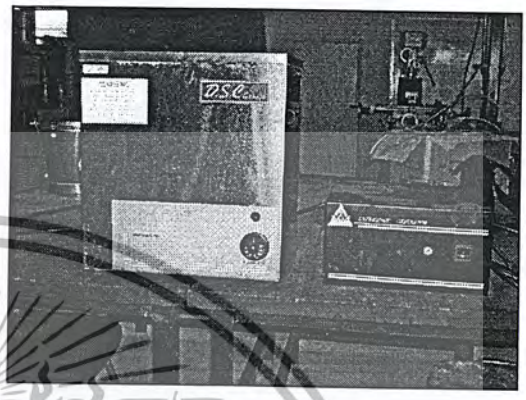
ภาคผนวก ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

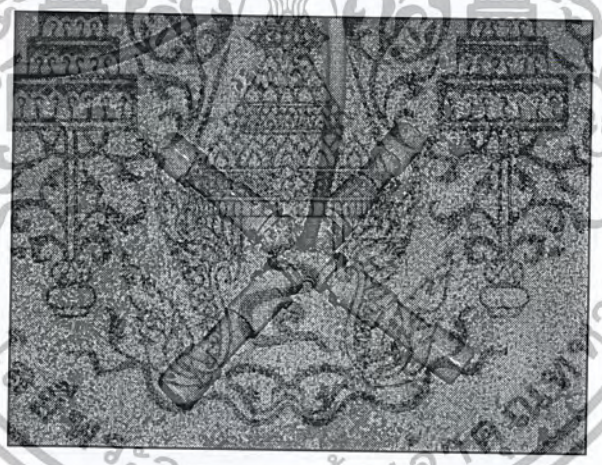
ภาพอุปกรณ์การทดลองและผงตะกอนที่ได้จากการทดลอง

ง-1. รูปเครื่อง อุลตร้าโซนิค





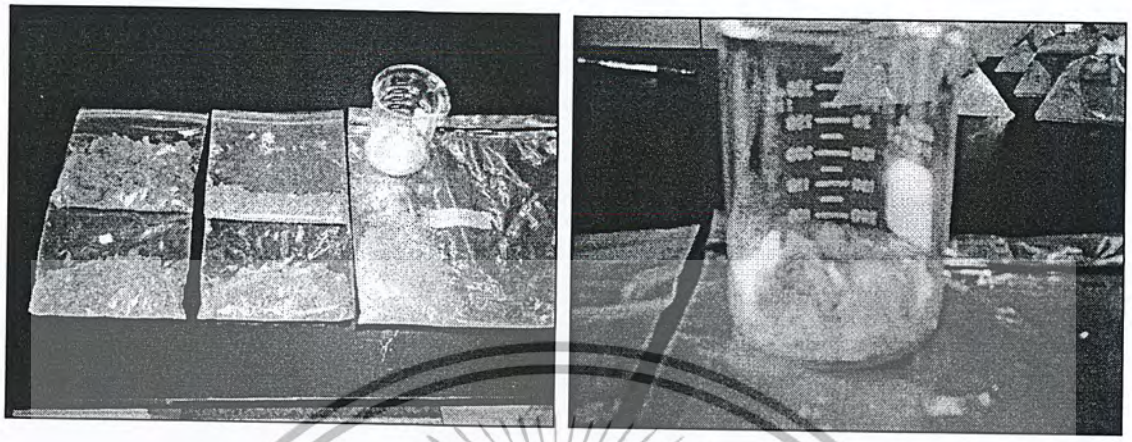
ง-2. รูปที่ปล่อยฟองอากาศ



ง-3. รูปปลายข้าวที่ใช้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

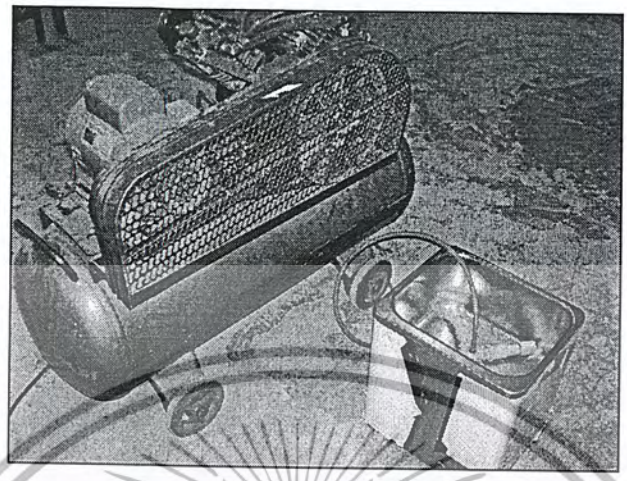
ง-4. รูปตะกอนที่ได้จากการทดลอง



ง-5. รูปภาชนะและตะแกรงกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-6. รูปชุดอุปกรณ์การทดลอง



ง-7. รูปน้ำแช่ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้