การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะ

นางสาวพัชราภรณ์ ยาบา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ พัชราภรณ์ ยาบา ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ดร.วทัญญู รอดประพัฒน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สำเภา จงจิตต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)
วันที่ 31 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558

ได้รับทุนการศึกษา
จากโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.)
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.วทัญญู รอดประพัฒน์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก รองศาสตราจารย์สำเภา จงจิตต์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ตรวจแก้ไขและวิจารณ์ผลงาน ทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ส่วนหนึ่งได้รับทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์จาก โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ จึงขอขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อดนหมาดหนาบ คุณแม่ฝาติมะ ยาบา และพี่ ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่ บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

พัชราภรณ์ ยาบา

56920168: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)
คำสำคัญ: กือโป๊ะ/ คุณสมบัติเชิงความร้อน/ คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์/ ร้อยละช่องว่างของอากาศ
พัชราภรณ์ ยาบา: การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะ
(THE STUDY OF PARAMETERS FOR THE ANALYSIS OF KEROPOK DRYING)
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์, วท.ด. 86 หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาการอบแห้ง ความร้อนจำเพาะ สภาพนำความร้อน ความหนาแน่น และร้อยละช่องว่างของอากาศ

ผลการวิจัยพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ45–70 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นการลดลงแบบโพลิโนเมียลและเป็นไปตามทฤษฎีการอบแห้งในทุกอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิ 50–65 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สามารถใช้ในการอบแห้งกรือโป๊ะได้ดีที่มีค่าความยอมรับได้ ± 5% คุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะและสภาพนำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้นโดยมีความสัมพันธ์กับความชื้นในรูปแบบสมการเชิงเส้นและอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่าสภาพนำความร้อนตามสมการเชิงเส้น นอกจากนี้พบว่าคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความหนาแน่นและร้อยละช่องว่างของอากาศ มีความสัมพันธ์กับความชื้นในรูปแบบสมการเชิงเส้น โดยความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้น แต่ร้อยละช่องว่างของอากาศมีค่าลดลงตามความชื้น

56920168: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)
KEYWORDS: KEROPOK/ THERMAL PROPERTIES/ PHYSICAL PROPERTIES/ VOID FRACTION

PACHARAPORN YABA: THE STUDY OF PARAMETERS FOR THE ANALYSIS OF KEROPOK DRYING. ADVISORY COMMITTEE: USAVADEE TUNTIWARANURUK, D.Sc. 86 P. 2015.

The objectives of this study are to study of parameters for the analysis of Keropok drying. such as the relationship between dry basis and drying time for Keropok, Specific heat, Thermal conductivity, Density and Void fraction.

The results of the drying of Keropok with the temperature range from 45-70^{o}C showed that dry basis decreased polynomially with drying time for Keropok and is based on the drying theory. The temperature range from 50-65^{o}C was suitable for drying Keropok regarding to good quality. That is acceptable $\pm$ 5%. The Thermal properties of Keropok include Specific heat and Thermal conductivity of Keropok increases with dry basis and can be expressed as a linear function. The dependency of the Thermal properties on drying air temperature is satisfactorily described by linear relationship. The Physical properties include bulk density, true density and Void fraction of Keropok can be expressed as a linear function and both density of Keropok increases with dry basis but Void fraction of Keropok decreases with dry basis.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมติฐานของการวิจัย	2
กรอบแนวคิดในการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
สถานที่ทำการทดลอง	3
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
ข้าวเกรียบปลาสดหรือกรือโป๊ะ	5
ความสำคัญของการอบแห้ง	10
ความชื้นในวัสดุ	10
ความชื้นในเมล็ดพืชและอาหาร	11
ความร้อนจำเพาะ	11
สภาพนำความร้อน	13
ความหนาแน่น	16
ร้อยละช่องว่างของอากาศ	17
ค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์	17

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย	19
	กรรมวิธีการเตรียมกรือโป๊ะ	20
	ตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งของกรือโป๊ะ	26
	ตอนที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ	29
	ตอนที่ 3 การศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ	30
4	ผลการวิจัย	34
	ตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งของกรือโป๊ะ	34
	ตอนที่ 2 คุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ	37
	ตอนที่ 3 คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ	42
5	อภิปรายและสรุปผล	47
	อภิปรายและสรุปผล	47
	ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม		51
ภาคผนวก		54
	ภาคผนวก ก	55
	ภาคผนวก ข	68
	ภาคผนวก ค	70
	ภาคผนวก ง	82
ประวัติย่อของผู้วิจัย		86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มวลแห้งของกรือโป๊ะ……...……..……..…….	35
ก. 1	ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 45 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s…..	56
ก. 2	ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s…..	58
ก. 3	ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 55 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s…..	60
ก. 4	ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s..…	62
ก. 5	ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 65 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s..…	64
ก. 6	ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 70 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s.....	66
ข. 1	มวลแห้ง และความชื้นเริ่มต้นของกรือโป๊ะจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 ^{O}C…….....	69
ค. 1	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 83.69 % d.b….	71
ค. 2	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 66.05 % d.b….	71
ค. 3	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 47.56 % d.b.....	71
ค. 4	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 31.73 % d.b….	71
ค. 5	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 26.75 % d.b….	72
ค. 6	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 11.44 % d.b….	72
ค. 7	ผลการคำนวณการหาค่าความร้อนจำเพาะจากส่วนผสมของกรือโป๊ะ ที่ความชื้นต่าง ๆ..……...……..……..……..……..…….....	72
ค. 8	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้น 83.69 % d.b……..	73
ค. 9	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้น 66.05 % d.b. ……..……..	74
ค. 10	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้น 47.56 % d.b. ……..……..	74
ค. 11	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้น 31.73 % d.b. ……..……..	74
ค. 12	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้น 26.75 % d.b……..	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค. 13	การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้น 11.44 % d.b…….……	75
ค. 14	ผลการคำนวณการหาค่าความร้อนจำเพาะจากส่วนประกอบของกรือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ ……..……	75
ค. 15	การวิเคราะห์หาสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะโดยการคำนวณจากสมการการนำความร้อนของอาหาร…….……	77
ค. 16	สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 83.69 % d.b……..……	78
ค. 17	สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 66.05 % d.b……..……	78
ค. 18	สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 47.56 % d.b...……..……..…….....	79
ค. 19	สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 31.73 % d.b...……..……..…….....	79
ค. 20	สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 26.75 % d.b...……..……..…….....	80
ค. 21	สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 11.44 % d.b...……..……..…….....	80
ค. 22	สรุปค่าสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะกับความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ ……..…...	81
ง. 1	ความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ ...……..……..…….....	83
ง. 2	ความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ ...……..……..……..…….....	84
ง. 3	ร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ ...……..……..…….....	85

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของเครื่อง Heat flow meter..……..……..……..	14
2	ช่วงของเครื่องมือที่เหมาะสมในการวัดค่าสภาพนำความร้อน..……...……..……	14
3	ส่วนประกอบของกรือโป๊ะจำนวน 1 กิโลกรัม…….	21
4	ขั้นตอนการทำกรือโป๊ะ……	21
5	ขั้นตอนการต้มกรือโป๊ะ……...	22
6	ลักษณะของกรือโป๊ะที่ผลิตขึ้น……	22
7	กรือโป๊ะทอด……	23
8	กรือโป๊ะทอดปาปริก้า……...	23
9	กรือโป๊ะแห้ง……	24
10	กรือโป๊ะอบ……..	25
11	สรุปการแปรรูปกรือโป๊ะ……..	25
12	เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิคส์……...	27
13	เครื่องอบแห้งแบบถาด..……..……..……..……..……	27
14	ตะแกรงสำหรับวางตัวอย่างในการอบแห้ง..……..……..……..……	28
15	เครื่องชั่งน้ำหนักของเครื่องอบแห้งแบบถาด..……..……..……..……	28
16	นำกรือโป๊ะใส่ในบีกเกอร์ให้ได้ปริมาตร 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร…….	31
17	การวัดขนาดของกรือโป๊ะโดยใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์……..	32
18	รินน้ำมันพืชลงในบีกเกอร์ที่บรรจุกือโป๊ะให้มีระดับเท่ากับระดับกือโป๊ะ……...	33
19	ลักษณะตัวอย่างกรือโป๊ะที่นำไปทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา……	34
20	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งกรือโป๊ะ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ……...	36
21	ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหาร กับความชื้นของกรือโป๊ะ…….	38
22	ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนประกอบ ของอาหารกับความชื้นของกรือโป๊ะ ……...	39
23	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนกับอุณหภูมิ ที่ความชื้นต่าง ๆ …….	40
24	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนกับความชื้น ที่อุณหภูมิต่าง ๆ …….	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะกับความชื้นต่าง ๆ ……..…...	43
26	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะกับความชื้นต่าง ๆ ……..….	44
27	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะกับความชื้นต่าง ๆ ……..	45

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเกรียบ (Cracker) จัดเป็นอาหารขบเคี้ยว (Snack food) ประเภทหนึ่งที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งประเทศไทย (จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย, 2549) ปริมาณที่บริโภคนับวันจะเพิ่มขึ้นทุกปี ทั้งนี้เห็นได้จากผลิตภัณฑ์ประเภทข้าวเกรียบเปิดใหม่ที่มีขายในท้องตลาดเพิ่มขึ้น ข้าวเกรียบปลาสดหรือกรือโป๊ะ (Keropok) เป็นของดีจากจังหวัดชายแดนใต้ที่ติดทำเนียบ “ของหรอย” (สุพิชฌาย์ รัตนะ, 2558) กรือโป๊ะมีมานานเกือบ 100 ปีแล้ว เริ่มต้นจากชาวประมงในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ ในสมัยที่ยังอุดมสมบูรณ์ ชาวประมงหาปลามาได้มากจนเกินไป จึงคิดวิธีการถนอมอาหาร โดยนำปลาที่เหลือจากการบริโภคและจำหน่าย ซึ่งเป็นปลาตัวเล็ก ๆ มาประยุกต์ผสมกับแป้งมัน ทำข้าวเกรียบกรือโป๊ะไว้กินกันในครัวเรือนที่เหลือ ก็มีการขายกันบ้างภายในหมู่บ้าน ปรากฏว่าขายดี จึงขยายตลาดไปยังภายนอกหมู่บ้าน เพิ่มการผลิตมากขึ้นเรื่อย ๆ ไปสู่ตำบล อำเภอ และจังหวัดอื่น ๆ จากการผลิตข้าวเกรียบกรือโป๊ะของชุมชนสามารถสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชนที่เป็นผู้ผลิตข้าวเกรียบ ประมาณ 3,000–5,000 บาท/คน/เดือน นับเป็นขุมทรัพย์ที่เกิดจากภูมิปัญญา (ปุระชัย ปราการม, 2558) แต่ทั้งนี้ก็ยังประสบปัญหา เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตแบบภูมิปัญญาชาวบ้านโดยการนำกรือโป๊ะมาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ แล้วนำไปตากแห้งเพื่อไล่ความชื้นนั้น สามารถยืดอายุของกรือโป๊ะได้ในระยะเวลาสั้น ๆ และเกิดการสูญเสียความสดใหม่ รสชาติเปลี่ยนในระหว่างการเก็บรักษา และการขนส่งที่ห่างไกล รวมทั้งชุมชนขาดเทคโนโลยีในการนำกรือโป๊ะมาพัฒนาไปสู่ระดับอุตสาหกรรม และการนำผลิตภัณฑ์กรือโป๊ะออกสู่ท้องตลาด

ในปัจจุบันได้มีการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการอบแห้งที่เป็นกระบวนการลดความชื้นโดยใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออก แต่ในการอบแห้งกรือโป๊ะจำเป็นต้องทราบพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะ (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540) ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง คุณสมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของอาหาร ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางวิศวกรรมของอาหารที่มีความสำคัญต่อคุณภาพอาหาร และนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการออกแบบกระบวนการแปรรูปอาหาร และข้อมูลดังกล่าวยังไม่มีศึกษา

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เป็นคุณสมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง ความร้อนจำเพาะ สภาพนำความร้อน ความหนาแน่น และร้อยละช่องว่างของอากาศ เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การอบแห้งและเก็บรักษากรือโป๊ะ และเพื่อใช้เป็นแนวทางในออกแบบการอบแห้งที่เหมาะสมภายใต้สภาวะอากาศแวดล้อมหนึ่ง ๆ ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาการอบแห้งกรือโป๊ะ
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ

สมมติฐานของการวิจัย

1. คุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ ขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิอบแห้ง โดยความร้อนจำเพาะขึ้นอยู่กับความชื้นของกรือโป๊ะ และสภาพนำความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของกรือโป๊ะ

2. คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ คือ ความหนาแน่น และร้อยละช่องว่างของอากาศขึ้นอยู่กับความชื้นของกรือโป๊ะ

กรอบแนวคิดของการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งการดำเนินงานออกเป็นกรรมวิธีการเตรียมกรือโป๊ะ และการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาการอบแห้งของกรือโป๊ะ

ตอนที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ และสภาพนำความร้อน

ตอนที่ 3 การศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความหนาแน่นและร้อยละช่องว่าง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การอบแห้งและเก็บรักษากรือโป๊ะ
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางออกแบบวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมภายใต้สภาวะอากาศแวดล้อมหนึ่ง ๆ

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาการอบแห้ง เพื่อทำนายเวลาในการอบแห้งกรือโป๊ะ
2. ศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ และสภาพนำความร้อน
3. ศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ ได้แก่ ความหนาแน่น และร้อยละช่องว่างของอากาศ

สถานที่ทำการทดลอง

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาอุปกรณ์การทดลอง และเตรียมข้อมูลในการทดลอง
3. ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งของกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 45, 50, 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส
4. ทำการทดลองหาความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะที่ขึ้นอยู่กับความชื้น
5. คำนวณหาสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอบแห้ง
6. ทำการทดลองหาความหนาแน่น และร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ
7. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์จากผลการทดลองที่ได้

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. กรือโป๊ะ คือ ข้าวเกรียบปลาสด เป็นอาหารว่างที่นิยมรับประทานทางภาคใต้ และมีส่วนผสมของแป้ง ปลา และเครื่องปรุงรสตามอัตราส่วนที่เหมาะสม

2. คุณสมบัติเชิงความร้อน คือ สมบัติทางวิศวกรรมของอาหารที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ ความร้อนจำเพาะและสภาพนำความร้อน เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปน , 2558)

3. คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ คือ สมบัติที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อแรงกระทำทางกายภาพ เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหาร ได้แก่ ความหนาแน่น และร้อยละช่องว่างของอากาศ เป็นต้น อาจเรียกว่า เป็นสมบัติทางวิศวกรรมของอาหารที่มีความสำคัญต่อคุณภาพอาหาร และนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการออกแบบกระบวนการแปรรูปอาหาร (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปน , 2558)

4. ร้อยละช่องว่างของอากาศ คือ ร้อยละสัดส่วนปริมาตรช่องว่างของอากาศทั้งหมด ซึ่งรวมปริมาตรของกรือโป๊ะ และปริมาตรของอากาศที่แทรกตัวอยู่ตามช่องว่าง

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบกระบวนการอบแห้งจำเป็นต้องทราบพารามิเตอร์พื้นฐานของกรือโป๊ะ เนื่องจากพารามิเตอร์พื้นฐานเหล่านี้ถือเป็นสมบัติเฉพาะทางกายภาพของกรือโป๊ะที่ต้องการอบแห้ง ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพของกรือโป๊ะภายหลังการอบแห้ง และสามารถนำข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งให้เหมาะสมกับกรือโป๊ะ อันจะมีผลต่อเนื่องไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตข้าวเกรียบปลาสดหรือกรือโป๊ะภายในประเทศต่อไป ในการวิจัยเพื่อศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. ข้าวเกรียบปลาสดหรือกรือโป๊ะ
2. ความสำคัญของการอบแห้ง
3. ความชื้นในวัสดุ
4. ความชื้นในเมล็ดพืชและอาหาร
5. ความร้อนจำเพาะ
6. สภาพนำความร้อน
7. ความหนาแน่น
8. ร้อยละช่องว่างของอากาศ
9. ค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ข้าวเกรียบปลาสดหรือกรือโป๊ะ

ข้าวเกรียบเป็นอาหารขบเคี้ยวที่นิยมบริโภคทั่วไป โดยรับประทานเป็นอาหารว่างหรือเป็นของแกล้มคู่เครื่องดื่มประเภทต่าง ๆ ข้าวเกรียบมีแป้งเป็นส่วนประกอบหลักผสมด้วยเนื้อสัตว์ต่าง ๆ ซึ่งจะเรียกชื่อข้าวเกรียบตามวัตถุดิบนั้น ข้าวเกรียบที่ได้รับความนิยมมาก คือข้าวเกรียบกุ้ง ข้าวเกรียบปลา ซึ่งมีการผลิตในระดับโรงงาน กรือโป๊ะเป็นข้าวเกรียบปลาสดที่นิยมบริโภคในจังหวัดชายแดนใต้และถือว่าเป็นสินค้าที่เกิดจากภูมิปัญญาท้องถิ่นที่น่าสนใจ

ประวัติความเป็นมา

กรือโป๊ะมีชื่อพื้นเมืองในแถบจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่ใช้เรียก ข้าวเกรียบปลาสด หรือ ปาลอเกอรูโปะ (ซึ่งเรียกเป็นภาษายาวี) นิยมนำมารับประทานเป็นอาหารว่างเพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่บริโภคได้ง่าย เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ขนมคบเคี้ยว ข้าวเกรียบปลาสดมีมานานเกือบ 100 ปี มีต้นกำเนิดมาจากชาวประมงในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ในสมัยที่ยังอุมดสมบูรณ์ ชาวประมงหาปลามาได้ แต่มีมากเกินไป คนสมัยก่อนจึงคิดวิธีการถนอมอาหาร เอาเนื้อปลาทั้งหมดมาคลุกกับแป้งแล้วเอาไปตากเป็นแผ่น ๆ เก็บไว้ทอดกินยามไม่มีอาหาร เพราะฉะนั้นกรือโป๊ะในสมัยก่อนจะเป็นแผ่นสีดำ ๆ คล้ำ ๆ ตากแดดจนแห้ง พอจะกินค่อยเอามาทอดอีกที ปัจจุบันมีการพัฒนาไปหลากหลายด้วยการเพิ่มการบรรจุหีบห่อให้ดูดีในการส่งออกขายนอกพื้นที่และในมาเลเซียและยังมีการเพิ่มรสชาติเข้าไปอีกด้วย ในการผลิตกรือโป๊ะผู้ประกอบการได้รับการถ่ายทอดจากบรรพบุรุษ การผลิตยังคงใช้เทคนิคระดับพื้นบ้าน ลักษณะการประกอบการเป็นไปเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด (สุภาพร ศิริรัตน์, 2534) จากการที่ผู้วิจัยได้สังเกตการณ์กรรมวิธีการผลิตข้าวเกรียบปลาทุกขั้นตอน พบว่า ขบวนการผลิตข้าวเกรียบปลา ทำให้มีราเกิดบนตัวผลิตภัณฑ์ ทำให้มีอายุการเก็บรักษาได้ไม่นาน ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเห็นว่าการทำกรือโป๊ะอบแห้งจะช่วยถนอมอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ยาวนาน โดยกรรมวิธีการผลิตจะไม่ส่งผลกระทบต่อสารอาหารที่ผู้บริโภคจะได้รับในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้แล้วยังช่วยลดต้นทุนในการขนส่ง และเก็บรักษา เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานในการแช่เย็นทั้งในช่วงขนส่ง และการเก็บรักษา

กรรมวิธีในการผลิตข้าวเกรียบปลา

กรรมวิธีในการผลิตข้าวเกรียบปลา ดังนี้ คือ การเตรียมวัตถุดิบ การผสมและการ นวด การปั้นและการนึ่ง การหั่นและการทำให้แห้ง

1. การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมแป้ง เนื่องจากแป้งที่ใช้ผลิตมีหลายชนิด การเตรียมแป้งจึงแตกต่างกันไป ถ้าเป็นแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันเทศ แป้งมันฝรั่ง ฯลฯ ก็ไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมแต่ประการใด เพราะเป็นแป้งที่มีผู้เตรียมไว้เป็นการค้า และสามารถซื้อได้ตามท้องตลาด

2. การผสมและการนวด

นำเนื้อปลาที่บดละเอียดแล้วผสมกับกระเทียมและพริกไทยแล้วบดให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นจึงใส่เกลือนวดจนเหนียวแล้วจึงใส่แป้งสลับกับน้ำทีละน้อยจนครบตามสูตร

3. การปั้นและการนึ่ง

แบ่งแป้งเป็นก้อน ๆ แต่ละก้อนมีน้ำหนักเท่ากัน ปั้นเป็นแท่งกลมยาว มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว วางลงในถาดที่มีใบตอง หรือผ้าดิบชุบน้ำพอหมาด ๆ รองรับไว้ แป้งแต่ละก้อนควรวางให้มีระยะห่างกันประมาณ 1 นิ้ว เพื่อป้องกันการติดกัน ต่อจากนั้นจึงนึ่งด้วยไฟแรงใช้เวลา 30 นาที จนก้อนแป้งใส สุกตลอด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ ถ้าใช้น้ำมากแป้งจะสุกเร็ว แต่ก้อนแป้งอาจจะไม่สามารถรักษารูปทรงไว้ได้ ถ้าใช้น้ำน้อยเกินไปแป้งจะสุกช้าหรือไม่สุกเลย ถึงแม้จะใช้เวลานึ่งนาน นอกจากการนึ่งแล้วยังใช้วิธีการต้ม ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่า

4. การหั่น

นำก้อนแป้งที่นึ่งสุกแล้วทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิลดลงจนมีอุณหภูมิปกติ ถ้าก้อนแป้งมีลักษณะไม่ติดมือก็สามารถหั่นได้ทันที แต่ถ้าก้อนแป้งมีลักษณะเหนียวเหนอะต้องทิ้งก้อนแป้งไว้ให้ผิวแห้ง ใช้เวลา 12 ชั่วโมง การหั่นข้าวเกรียบอาจใช้มือ หรือใช้เครื่องหั่น สิ่งที่ต้องระวังในการหั่น คือ ความหนาของแผ่น ถ้าแผ่นมีความหนามาก การพองตัวจะน้อย เนื้อแข็ง แต่ถ้าแผ่นมีความหนาน้อยลง การพองตัวจะมากขึ้น ความหนาของแผ่นข้าวเกรียบที่ใช้กันมากอยู่ระหว่าง 1.00–1.75 มิลลิเมตร

5. การทำให้แห้ง

การทำให้อาหารแห้งสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การตากแดด เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดถูกที่สุด โดยอาศัยแสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน กระแสอากาศเป็นตัวไล่ความชื้นขึ้นไป ใช้เวลาในการตากประมาณ 4–6 ชั่วโมง ขึ้นกับปริมาณแสงแดดในแต่ละวัน ดังนั้นในฤดูฝนจึงเป็นอุปสรรคต่อการผลิตข้าวเกรียบเป็นอย่างมาก (สุรางค์ ลาเกลี้ยง, 2534) ทั้งนี้ระยะเวลาในการตากแดดขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นข้าวเกรียบด้วย โดยข้าวเกรียบที่มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร จะใช้เวลาตากแดดเพียง 3 ชั่วโมงเท่านั้น วิธีที่ 2 คือ การอบแห้งโดยใช้ตู้อบ ถ้าใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเพียง 3 ชั่วโมง สำหรับข้าวเกรียบญี่ปุ่นการอบแห้งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นแรกเป็นการนำเอาข้าวเกรียบ ที่หั่นแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 45–75 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้นร้อยละ 20 เคลือบด้วยเครื่องเทศ หลังจากนั้นนำไปลดความชื้นอีกครั้ง สำหรับความชื้นสุดท้ายหลังจากลดความชื้นแล้วควรอยู่ระหว่างร้อยละ 6–12 และความชื้นที่เหมาะสมที่สุดควรเป็นร้อยละ 8 สำหรับข้าวเกรียบที่มีขายในท้องตลาด (พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง, 2530)

การอบแห้งกับคุณภาพข้าวเกรียบ

การอบแห้งเป็นขั้นตอนที่มีจุดประสงค์เพื่อระเหยน้ำออกหรือการลดความชื้นของแผ่นโดข้าวเกรียบ ซึ่งความชื้นมีความสำคัญต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ ความร้อนจากน้ำมันจะทำให้น้ำในก้อนโดกลายเป็นไอเกิดความดันไอดันให้เนื้อของข้าวเกรียบขยายตัวเป็นโพรง หรือรูพรุน

ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการพองตัวที่ดีของข้าวเกรียบควรอยู่ระหว่างร้อยละ 6–12 อย่างไรก็ตามถ้าข้าวเกรียบมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7–8 จะมีผลให้แผ่นข้าวเกรียบแตก แต่ถ้าข้าวเกรียบมีความชื้นสูงเกินไปเมื่อนำไปทอดจะเกิดรูพรุนขนาดใหญ่บ้างเล็กบ้างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นลักษณะของข้าวเกรียบคุณภาพต่ำ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบไทยกำหนดให้มีความชื้นในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจะต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2530) จากการศึกษาของ ดวงใจ ทิระบาล และนงนุช รักสกุลไทย (2533) รายงานว่า ระยะเวลาการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเกรียบปลา โดยเมื่อกำหนดอัตราส่วนของแป้งต่อปลาเท่ากับ 65:35 และผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลานาน 60 นาที แล้วอบแห้งข้าวเกรียบปลาเป็นระยะเวลา 120, 150, 180, 210 และ 240 นาที ที่อุณหภูมิ 50–65 ^{0}C พบว่า ระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้นส่งผลให้ข้าวเกรียบมีความชื้นลดลง ข้าวเกรียบที่ใช้เวลาอบ 180 นาที มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 12 และได้คะแนนการยอมรับสูงสุดอย่างนัยสำคัญทางสถิติ (จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย, 2549)

การป้องกันราในกระบวนการผึ่งก่อนหั่นข้าวเกรียบปลา

กระบวนการผึ่งก่อนหั่นเป็นขบวนการหลังจากที่นึ่งข้าวเกรียบจนก้อนแป้งสุกแล้ว จะต้องทิ้งก้อนแป้งให้เย็นโดยใช้เวลา 12–24 ชั่วโมง จึงจะสามารถหั่นด้วยมีดได้ แต่การหั่นด้วยเครื่องหั่นต้องใช้เวลามากกว่า 24 ชั่วโมง เพื่อให้แป้งมีลักษณะแข็ง ผู้ผลิตข้าวเกรียบปลาในหมู่บ้านดาโต๊ะ จังหวัดปัตตานี กล่าวว่า ควรทิ้งแป้งในอุณหภูมิปกติ โดยใช้เวลา 3–4 วัน จะทำให้หั่นได้สะดวก แต่ช่วงเวลาการเก็บก่อนตากที่ใช้เวลา 3–4 วัน ผู้ผลิตข้าวเกรียบปลาในหมู่บ้านดังกล่าวประสบปัญหา มีราขึ้นบนผลิตภัณฑ์ จึงได้ศึกษาการป้องกันราซึ่งมีหลายวิธีดังนี้

1. การใช้อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิต่ำจะช่วยป้องกันมิให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญได้ ถ้าใช้อุณหภูมิเยือกแข็งอาจทำลายจุลินทรีย์บางชนิดได้

2. การใช้สารเคมี เมื่อใส่สารกันเสียลงไปในอาหารในปริมาณที่เหมาะสม สามารถเก็บอาหารได้นานขึ้น เพราะสารกันเสียเป็นสารเคมีซึ่งใช้ในการยืดเวลาหรือป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมาะสมในอาหาร นอกจากนี้ อาจใช้สารกันบูด ซึ่งเป็นสารที่ใช้ป้องกันการเน่าเสียของอาหารอันเกิดจากรา หรือสามารถยืดอายุการเก็บอาหารให้ยาวนานขึ้น โดยกรดเบนโซอิก และโซเดียมเบนโซเอต (Benzoic acid and Sodium benzoate) เป็นสารกันบูดที่อนุญาตให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 0.1 ในอาหารที่ต้องเก็บไว้นาน นอกจากนี้อาจใช้โซเดียมโปรพิโอเนท (Sodium propionate) เป็นสารกันบูดที่อนุญาตให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ในอาหารที่ต้องเก็บไว้นานเช่นกัน

3. การใช้พืชสมุนไพร สารสกัดจากพืชสมุนไพร โดยเฉพาะกระเทียมสามารถทำลายราที่เป็นตัวก่อมะเร็งได้ นอกจากนี้กระเทียมยังเป็นพืชที่ใช้ในการปรุงแต่งกลิ่นอาหาร และมีคุณสมบัติต้านเชื้อรา นอกจากนี้พริกไทยมีฤทธิ์ป้องกันจุลินทรีย์ได้ดี (สุภาพร ศิริรัตน์, 2534)

การเก็บรักษาข้าวเกรียบปลา

ข้าวเกรียบที่มีการลดความชื้นถึงจุดที่ต้องการแล้ว ควรเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท สามารถกันแสงได้เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสี หรือเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทแล้วแช่เย็นไว้ ภาชนะที่ใช้กันมากคือถุงพลาสติกหรือปีบ สำหรับข้าวเรียบที่ทอดแล้ว ควรซับน้ำมันออกให้มากที่สุด และทิ้งไว้ให้เย็น จึงนำมาบรรจุในภาชนะที่ห้องกันอากาศ แสงสว่าง และความชื้น เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวเป็นสาเหตุที่จะทำให้ข้าวเกรียบมีกลิ่นหืน นอกจากนี้ ความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ข้าวเกรียบสูญเสียความกรอบ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2530)

คุณภาพของข้าวเกรียบปลา

1. คุณสมบัติของข้าวเกรียบปลา

   1.1 มีปริมาณความชื้นต่ำ จึงดูดความชื้นได้รวดเร็ว ทำให้อาหารไม่กรอบ เหนียว

   1.2 มีปริมาณไขมันสูง เนื่องจากทอดในน้ำมัน ถึงแม้น้ำมันมีส่วนช่วยเพิ่มรสชาติในการรับประทาน แต่ก็ก่อปัญหาในด้านการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดการหืนได้ง่าย

   1.3 มีความกรอบและเปราะบางแตกได้ง่าย ทำให้เสียรูปแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกกดทับ

   1.4 มีรสชาติเฉพาะ

   1.5 มีกลิ่นหอมของข้าวเกรียบ ไม่มีกลิ่นหืนหรือกลิ่นแปลกปลอม

2. ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวเกรียบปลากึ่งสำเร็จรูป ดังนี้

2.1 โปรตีน	ร้อยละ 18–20
2.2 ไขมัน	ร้อยละ 3–4
2.3 คาร์โบไฮเดรท	ร้อยละ 68–72
2.4 น้ำ	ร้อยละ 4–6
2.5 เถ้า	ร้อยละ 2–4

(อรนุช สีหามาลา, 2545)

ความสำคัญของการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ประโยชน์ของการอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เพื่อการถนอมรักษาอาหาร อาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสีย เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อย
2. เพื่อลดปริมาตรและน้ำหนัก อาหารที่แห้งแล้วจะมีปริมาตรและน้ำหนักลดลง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่ง
3. เพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตนั้น ๆ

(สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

ความชื้นในวัสดุ

ความชื้น (Moisture content) เป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis)

$$M_w = (w-d)/w \quad (1)$$

เมื่อ M_W คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, เศษส่วน

w คือ มวลของวัสดุ, กิโลกรัม

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), กิโลกรัม

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้ในวงการค้า โดยทั่วๆ ไปจะอ้างถึงในรูปของร้อยละ

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis)

$$M_d = (w-d)/d \quad (2)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

w คือ มวลของวัสดุ, กิโลกรัม

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), กิโลกรัม

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง เพราะผลิตผลทางการเกษตรเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการหายใจ ดังนั้นจึงมีการเผาผลาญสาร อาหารทำให้มวลแห้งลดลง ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเพียงเล็กน้อย

(สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

ความชื้นในเมล็ดพืชและอาหาร

การหาความชื้นอาจแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ วิธีตรงและวิธีอ้อม วิธีการหาความชื้นโดยตรงมีหลายวิธี เช่น การใช้ตู้อบ การกลั่น การใช้สารดูดความชื้นในห้องสุญญากาศ เป็นต้น วิธีตรงเป็นวิธีที่ใช้เวลา แต่มีความถูกต้องสูง สามารถใช้อ้างอิงได้ ในที่นี้ผู้วิจัยใช้ตู้อบในการหาความชื้น

การหาความชื้นของเมล็ดพืชอาจทำได้โดยใช้ตู้อบ ในกรณีแรกเมล็ดพืชจะถูกบดให้ละเอียดและใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1–2 ชั่วโมง ในกรณีที่สองนำเมล็ดพืชที่ไม่ได้บดใส่ไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72–96 ชั่วโมง ตัวเลขที่กล่าวนี้เป็นเพียงข้อแนะนำเท่านั้น ความแตกต่างอาจเกิดขึ้นได้สำหรับมาตรฐานของแต่ละประเทศ

ในกรณีที่เมล็ดพืชมีความชื้นสูงจะต้องแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ใส่ตัวอย่างเมล็ดพืชในตู้อบแห้งเพื่อให้ความชื้นลดลงช่วงหนึ่งก่อน จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่มีความชื้นลดลงบ้างแล้วมาบดให้ละเอียดและอบให้แห้งต่อไป ความชื้นในเมล็ดพืชสามารถคำนวณได้จากมวลของน้ำที่หายไป

การหาความชื้นอาจทำได้โดยการใช้ตู้อบสุญญากาศ โดยการบดตัวอย่างเมล็ดพืชให้ละเอียดและใส่ไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันสัมบูรณ์ 25 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบไปเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท (อาจมีตัวดูดความชื้น) เมื่อตัวอย่างเมล็ดพืชเย็นลงแล้วก็ทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาความชื้นต่อไป

สำหรับอาหารอื่นบางอย่างมีข้อแนะนำให้บดอาหารให้ละเอียดแล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิและเวลาอยู่ในตู้อบดังต่อไปนี้

ผลไม้แห้ง อบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในตู้อบสุญญากาศ
นมผงแห้ง อบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในตู้อบสุญญากาศ
กากน้ำตาล อบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงในตู้อบสุญญากาศ
(สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

ความร้อนจำเพาะ

ในการวิเคราะห์การอบแห้งและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารนั้น จำเป็นต้องใช้ค่าคุณสมบัติเชิงความร้อนของอาหารเป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณ

ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความจุความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวล หรือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยมวลมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศาเซลเซียส ที่ความดันหรือปริมาตรคงที่ ค่าความร้อนจำเพาะในผลิตภัณฑ์อาหารมักขึ้นอยู่กับความชื้นของอาหารในลักษณะเชิงเส้น หรือสัดส่วนของส่วนประกอบอาหาร เช่น น้ำ ไขมัน แป้ง

เป็นต้น โดยทั่วไปมักไม่กำหนดให้ขึ้นกับอุณหภูมิสำหรับช่วงอุณหภูมิใช้งานที่ไม่กว้างมากนัก (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540) สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$c = Q/(m\Delta T) \quad (3)$$

เมื่อ c คือ ค่าความร้อนจำเพาะ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส

Q คือ ปริมาณความร้อนที่ให้, กิโลจูล

m คือ มวล, กิโลกรัม

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป, องศาเซลเซียส

วิธีการหาความร้อนจำเพาะมีหลายแบบ เช่น วิธีการวิเคราะห์จากส่วนผสมของอาหารและสารอาหาร

Charm (1971) เสนอสมการสำหรับหาความร้อนจำเพาะซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนผสมของอาหาร

$$c = 2.09X_f+1.26X_s+4.19X_w \quad (4)$$

เมื่อค่า 2.09, 1.26 และ 4.19 คือ ค่าความร้อนจำเพาะของไขมันเหลว ของแข็งและน้ำ ตามลำดับ X คือ เศษส่วนเชิงมวลของส่วนประกอบของวัสดุ สัญลักษณ์กำกับล่าง f, s และ w หมายถึง ไขมันเหลว ของแข็ง และน้ำ ตามลำดับ หากแยกส่วนประกอบของอาหารให้ละเอียดขึ้นจะสามารถหาค่าความร้อนจำเพาะได้ดังสมการ

$$c = 1.42X_c+1.55X_p+1.67X_f+0.84X_a+4.19X_w \quad (5)$$

สัญลักษณ์กำกับล่าง c, p, f, a และ w หมายถึง คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันแข็ง ขี้เถ้าและแร่ธาตุ และน้ำ ตามลำดับ

เนื่องจากการบอกค่าความชื้นมี 2 แบบ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก และความชื้นมาตรฐานแห้ง ดังนั้นการฟิตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะและความชื้นซึ่งโดยมากมักจะเป็นเชิงเส้น จึงอาจมีรูปแบบดังนี้

$$c = a + bM \quad (6)$$

หรือ

$$c = a + bM_w \quad (7)$$

เมื่อ c คือ ความร้อนจำเพาะ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส

M คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, เศษส่วน

a, b คือ ค่าคงที่

สภาพนำความร้อน

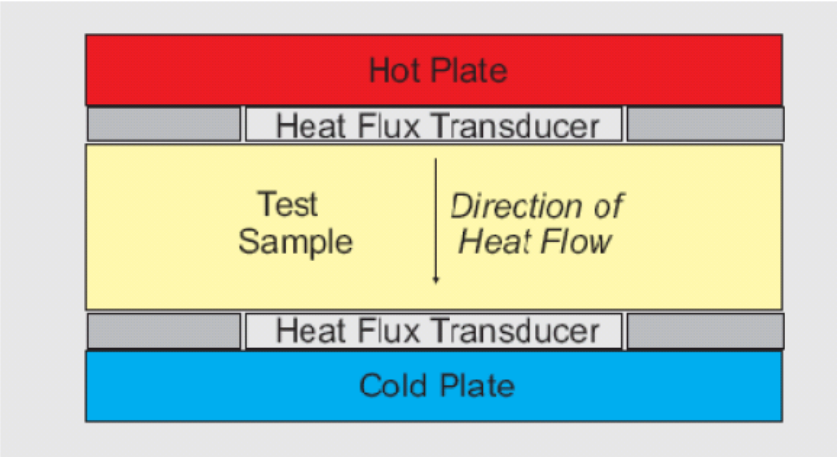
สภาพนำความร้อนนิยามมาจากกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier) ซึ่งกล่าวว่า ฟลักซ์ของการนำความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเกรเดียนท์อุณหภูมิ (temperature gradient) ค่าคงที่ของสมการที่ได้คือ สภาพนำความร้อนของวัสดุ การทดสอบหาค่าสภาพนำความร้อนอาจทำแบบการไหลของความร้อนที่สถานะคงตัวหรือไม่คงตัว (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

การวัดค่าการนำความร้อนสามารถแบ่งตามเทคนิคของการวัดได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ

1. การวัดแบบสภาวะคงที่ (steady-state method) นิยมใช้เมื่ออุณหภูมิของวัสดุที่ทำการวัดไม่เปลี่ยนตามอุณหภูมิในการวัด เช่น วัสดุประเภทฉนวนความร้อน ซึ่งในการวัดค่าสภาพนำความร้อนของฉนวนความร้อนมี 2 วิธีหลัก ๆ คือ

1.1 Guard hot plate (GHP) เป็นวิธีการวัดแบบ absolute method คือการวัด heat flux โดยตรง จึงไม่ต้องมีการ calibration มีความแม่นยำสูง มีช่วงของอุณหภูมิการวัดที่กว้าง ตั้งแต่ -160 ถึง 650°C แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ใช้เวลาในการวัดที่นาน โดยในการวัดต้องใช้ตัวอย่างในการทดสอบ 2 ชิ้น เพื่อยืนยันว่ามีการถ่ายเทความร้อนอย่างสมมาตร วิธีแบบ GHP นี้เป็นการวัดตามมาตรฐาน ISO 8302 และ ASTM C177

1.2 Heat flow meter (HFM) เป็นวิธีการวัดแบบ comparative method โดยการวัด heat flow เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้ชิ้นงานทดสอบแค่ชิ้นเดียว แต่เครื่อง HFM ต้องมีการออกแบบเครื่องมือที่ดี เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปในทิศทางเดียว เครื่อง HFM ประกอบไปด้วย plate 2 อันที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน คือ hot plate และ cold plate ตัวอย่างที่ทดสอบจะถูกใส่ระหว่าง plate โดยความร้อนจะมีการถ่ายเทจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ (hot plate ไปยัง cold plate) และในตัวเครื่องจะใช้ sensor ในการวัด heat flow ดังนั้นเมื่อเครื่องเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady-state) นั่นคือ temperature gradient เป็นศูนย์ เครื่องจะคำนวณเป็นสภาพการนำความร้อน การวัดค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนโดยวิธี Heat flow meter นี้ จะเป็นการวัดตามมาตรฐาน ASTM C518, ISO 8301, JIS A 1412, DIN EN 13163 เป็นต้น



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่อง Heat flow meter (สมจิตร พุฒดี, 2558)

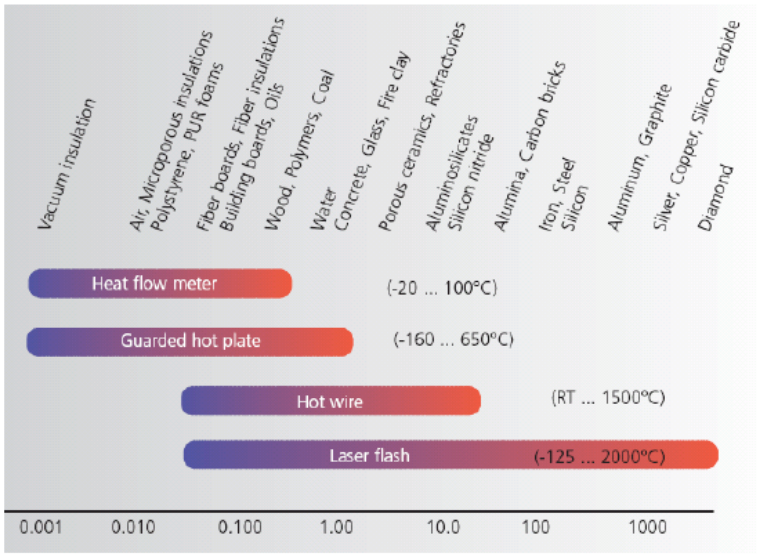
การคำนวณค่าสภาพการนำความร้อนของการวัดแบบ Heat flow meter จะใช้สมการการถ่ายเทความร้อนตามกฎของฟูเรียร์ (Fourier's law) แบบ 1 มิติ คือ

$$q = -k\frac{dT}{dx} \quad (8)$$

เมื่อ q คือ heat flux (W/m^2)

k คือ ค่าสภาพนำความร้อน (W/m.K)

dT/dx คือ เกรเดียนท์อุณหภูมิ (K/m)



ภาพที่ 2 ช่วงของเครื่องมือที่เหมาะสมในการวัดค่าสภาพนำความร้อน (สมจิตร พุฒดี, 2558)

2. การวัดแบบสภาวะไม่คงที่ (Transient method) เป็นการวัดในขณะที่มีการให้ความร้อนเข้าไป เป็นการวัดแบบเป็น function กับเวลา ซึ่งการวัดแบบนี้มีข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องรอให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงทำให้ใช้เวลาในการวัดที่รวดเร็ว แต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัด คือ การคำนวณยุ่งยาก ใช้สมการที่ซับซ้อน ตัวอย่างวิธีการวัดแบบสภาวะไม่คงที่ เช่น

2.1 ขดลวดความร้อน (Hot wire probe) การวัดแบบนี้จะใช้แหล่งความร้อนที่เป็นเส้นลวดที่ยาวมาก ๆ เป็นตัวให้ความร้อน โดยลวดนั้นต้องไม่มีการหดหรือขยายตัวที่อุณหภูมิใด ๆ ขณะใช้งาน โดยทั่วไปจะนิยมใช้ลวดทองแดง การวัดการนำความร้อนวิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย สะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาในการวัดน้อย ไม่จำกัดขนาดชิ้นงานในการวัด และสามารถวัดได้ตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ RT ถึง 1500^0C

2.2 Laser flash method วิธีนี้จะวัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของชิ้นงานแผ่นบาง เมื่อมีการให้พลังงาน laser เข้าไปแบบ pulse การวัดแบบนี้มีความรวดเร็ว เหมาะกับวัสดุหลายชนิด ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากช่วงอุณหภูมิของการวัดที่กว้าง ตั้งแต่ประมาณ -120 ถึง $2,800^0$C วิธี laser flash นี้ นอกจากจะวัดค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุแล้ว ยังสามารถวัดค่า Thermal diffusivity ได้อีกด้วย (สมจิตร พุฒดี, 2558)

นอกจากนี้สามารถวัดค่าการนำความร้อน เนื่องจากอาหารเป็นสารอินทรีย์ ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญคือ น้ำ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน สัดส่วนของส่วนประกอบขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร อาหารสด เช่น ผัก ผลไม้ มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก จะมีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกับน้ำ โดยมีสมการทำนายค่าการนำความร้อนของอาหาร ดังนี้

$$k = \Sigma k_i X_i \quad (9)$$

$$k_w = 5.9075\times10^{-1} + 9.8601\times10^{-4}T \quad (10)$$

$$k_p = 1.8730\times10^{-1} + 7.8776\times10^{-4}T \quad (11)$$

$$k_f = 1.8022\times10^{-1} + 1.6140\times10^{-4}T \quad (12)$$

$$k_c = 1.9306\times10^{-1} + 8.4997\times10^{-4}T \quad (13)$$

$$k_a = 1.2863\times10^{-1} + 3.9130\times10^{-4}T \quad (14)$$

เมื่อ w, p, f, c และ a คือ น้ำ, โปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต และเถ้า ตามลำดับ

ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเป็นพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์การอบแห้งเช่นกัน ความหนาแน่นแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ความหนาแน่นจริง และความหนาแน่นปรากฏ

ความหนาแน่นจริง (True density) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของวัสดุต่อปริมาตรของวัสดุนั้น

$$\rho = m/V \tag{15}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

m คือ มวล, กิโลกรัม

V คือ ปริมาตร, ลูกบาศก์เมตร

ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) หมายถึง อัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรทั้งหมด ซึ่งรวมปริมาตรของเม็ดวัสดุและปริมาตรของอากาศที่แทรกอยู่ตามช่องว่าง มักใช้กับวัสดุเม็ดซึ่งกองรวมกันอยู่เป็นปริมาณมาก

$$\rho_b = m/V_b \tag{16}$$

เมื่อ ρ_b คือ ความหนาแน่นปรากฏ, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

m คือ มวลของวัสดุ, กิโลกรัม

V_b คือ ปริมาตรรวมของวัสดุกับปริมาตรของช่องว่างของอากาศ, ลูกบาศก์เมตร

ร้อยละช่องว่างของอากาศ ความหนาแน่นจริง และความหนาแน่นปรากฏมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\varepsilon = 1 - (\rho_b/\rho_t) \tag{17}$$

เมื่อ ε, ρ_b และ ρ_t หมายถึง ร้อยละช่องว่างของอากาศ ความหนาแน่นปรากฏ และความหนาแน่นจริง ตามลำดับ

โดยทั่วไปความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจริงและความชื้นวัสดุ หรือระหว่างความหนาแน่นปรากฏและความชื้น มักอยู่ในรูปเชิงเส้น ดังนี้

$$\rho = a + bM \tag{18}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

M คือ ความชื้นของวัสดุ, เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

a, b คือ ค่าคงที่

ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2533) ทำการทดสอบหาความหนาแน่นของมะละกอแช่อิ่ม ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของชิ้นมะละกอแช่อิ่มและความชื้นดังนี้

$$\rho = 1306 + 234M \quad (19)$$

ร้อยละช่องว่างของอากาศ

ร้อยละช่องว่างของอากาศ (Void fraction) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างอากาศต่อปริมาตรทั้งหมดของวัสดุ ในการทดลองครั้งนี้ จะใช้น้ำมันพืชบรรจุลงในช่องว่างของอากาศ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าร้อยละช่องว่างของอากาศ ได้ดังนี้

$$\varepsilon = (V_{oil}/V_b)\times 100 \quad (20)$$

เมื่อ ε คือ ค่าร้อยละช่องว่างของอากาศ, ร้อยละ

V_{oil} คือ ปริมาตรน้ำมัน, ลูกบาศก์เมตร

V_b คือ ปริมาตรภาชนะ, ลูกบาศก์เมตร

ค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์จะใช้การวิเคราะห์สมการเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ ซึ่งพิจารณาค่าของสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดหรือสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient determination) เป็นการวัดค่าตัวแปรอิสระ x มีอิทธิพลต่อความผันแปรของตัวแปรตาม y มากน้อยเพียงใด แทนด้วยสัญลักษณ์ R^2 ซึ่งอธิบายได้ว่าร้อยละความผันแปรทั้งหมดในตัวแปรตาม y สามารถอธิบายด้วยเส้นถดถอยโดยใช้ตัวแปรอิสระ x

ข้อสังเกต ค่าของ R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ($0 \leq R^2 \leq 1$) โดยที่ ถ้า $R^2 \longrightarrow 1$ แสดงว่า ตัวแปรอิสระ x มีอิทธิพลต่อความผันแปรของตัวแปรตาม y มาก และถ้า $R^2 \longrightarrow 0$ แสดงว่า ตัวแปรอิสระ x มีอิทธิพลต่อความผันแปรของตัวแปรตาม y น้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จะคัดเลือกค่าของ R^2 ที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า R^2 ได้ดังสมการที่ 21-24

$$R^2 = S^2_{XY} / S_{XX}S_{YY} \quad (21)$$

เมื่อ S_{xy} คือ ความแปรปรวนร่วมตัวอย่างระหว่างตัวแปร y และ x หาได้จาก

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\bar{x}\right)\left(y_i-\bar{y}\right) = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{n} \quad (22)$$

S_{xx} คือ ความแปรปรวนตัวอย่างของตัวแปร x หาได้จาก

$$S_{xx}=\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\bar{x}\right)^2=\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2}{n} \qquad (23)$$

S_{yy} คือ ความแปรปรวนตัวอย่างของตัวแปร y หาได้จาก

$$S_{yy}=\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-\bar{y}\right)^2=\sum_{i=1}^{n}y_i^2-\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}y_i\right)^2}{n} \qquad (24)$$

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะ ซึ่งต้องดำเนินการตามกรรมวิธีการเตรียมกรือโป๊ะ และนำกรือโป๊ะไปทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้ง คุณสมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

กรรมวิธีการเตรียมกรือโป๊ะ

ก่อนนำกรือโป๊ะไปทดลอง ต้องมีการเตรียมกรือโป๊ะแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน คือ การเตรียมส่วนประกอบของกรือโป๊ะ ขั้นตอนการเตรียมปลา ขั้นตอนการทำกรือโป๊ะ ขั้นตอนการต้มกรือโป๊ะ และการแปรรูปกรือโป๊ะ

การนำกรือโป๊ะไปทดลอง แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

ตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งของกรือโป๊ะ

1.1 การเตรียมกรือโป๊ะ

1.2 การนำกรือโป๊ะไปทดลอง โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1.2.1 นำไปหามวลแห้ง (Dry mass)

1.2.1 นำกรือโป๊ะไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray drier) ที่อุณหภูมิ 45, 50, 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส

1.3 การหาความชื้นเพื่อทำนายเวลาอบแห้งของกรือโป๊ะ

ตอนที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ

คุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ และสภาพนำความร้อน

2.1 การหาความร้อนจำเพาะ

2.1.1 วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหาร

2.1.2 วิธีการคำนวณจากส่วนประกอบของอาหาร

2.2 การหาสภาพนำความร้อนโดยการคำนวณจากสมการทำนายค่าการนำความร้อน

ตอนที่ 3 การศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ

คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความหนาแน่น และร้อยละช่องว่าง

3.1 ความหนาแน่นของกรือโป๊ะ

3.1.1 ความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะ

3.1.2 ความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะ

3.2 การหาร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะ

กรรมวิธีการเตรียมกรือโป๊ะ

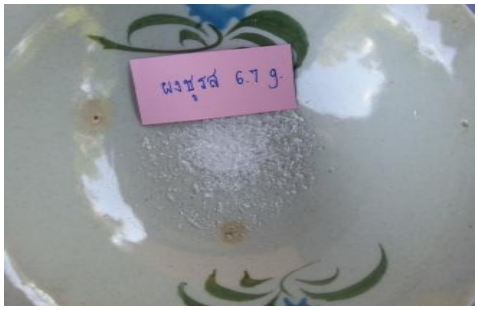
กรรมวิธีการเตรียมกรือโป๊ะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ ส่วนประกอบของกรือโป๊ะ ขั้นตอนการเตรียมปลา ขั้นตอนการทำกรือโป๊ะ ขั้นตอนการต้มกรือโป๊ะ และการแปรรูปกรือโป๊ะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียมกรือโป๊ะ จำนวน 1 กิโลกรัม ได้แก่ ปลาทู 360 กรัม แป้งมัน 560 กรัม เกลือ 20 กรัม น้ำตาล 20 กรัม ผงชูรส 6.7 กรัม กระเทียม 20 กรัม ไข่ไก่ 3 มิลลิลิตร และผงฟู 0.1 ช้อนโต๊ะ แสดงดังภาพที่ 3

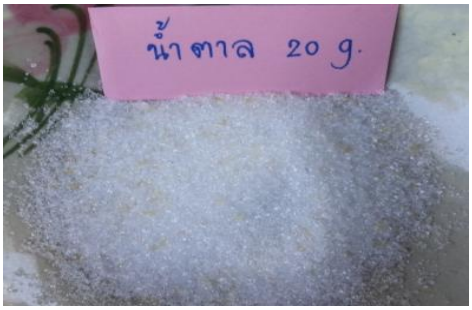
(ก) เนื้อปลาทู 360 กรัม

(ข) แป้งมัน 560 กรัม

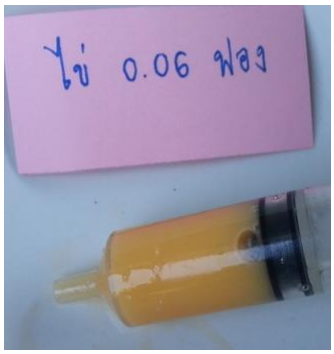
(ค) เกลือ 20 กรัม

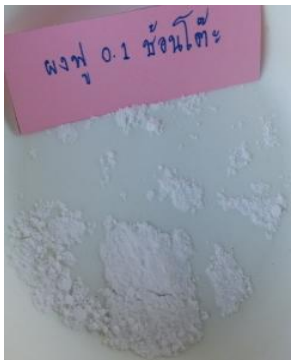


(ง) ผงชูรส 6.7 กรัม



(จ) น้ำตาล 20 กรัม



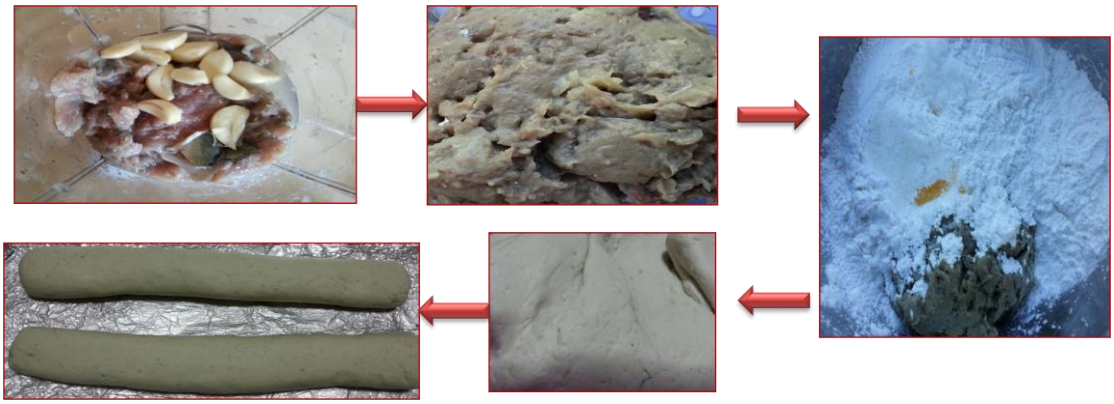


(ฉ) กระเทียม 20 กรัม (ช) ไข่ไก่ 3 มิลลิลิตร (ซ) ผงฟู 0.1 ช้อนโต๊ะ

ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของกรือโป๊ะจำนวน 1 กิโลกรัม

2. ขั้นตอนการเตรียมปลา ซื้อเนื้อปลาทูที่ชำแหละเรียบร้อยแล้ว ที่ตลาดหนองมน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จ.ชลบุรี นำมาล้างให้สะอาด

3. ขั้นตอนการทำกรือโป๊ะ นำเนื้อปลาที่ได้ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด นำแป้งมันมาผสมกับเนื้อปลาให้คลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมเกลือ น้ำตาล ผงชูรส กระเทียม ผงฟู คลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นเติมไข่ไก่ลงไปในส่วนผสมทั้งหมดนวดให้เข้ากัน ปั้นเป็นก้อนยาว ๆ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการทำกรือโป๊ะ

4. ขั้นตอนการต้มกรือโป๊ะ นำกรือโป๊ะที่ปั้นเป็นก้อนยาว ๆ มาต้มในน้ำเดือดประมาณ 100 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 5 รอจนกว่ากรือโป๊ะลอยน้ำขึ้นมา จึงถือว่ากรือโป๊ะดังกล่าวสุก ตักกรือโป๊ะขึ้นมาผึ่งบนตะแกรงโดยวางห่างกันเล็กน้อยเพื่อป้องกันการติดกันรอจนกรือโป๊ะเย็นลง แล้วจึงนำไปทดลอง

ภาพที่ 5 ขั้นตอนการต้มกรือโป๊ะ

ลักษณะของกรือโป๊ะ ที่ผลิตขึ้น แสดงดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 ลักษณะของกรือโป๊ะที่ผลิตขึ้น

5. การแปรรูปกรือโป๊ะ สามารถนำกรือโป๊ะก้อนยาว ๆ มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ กรือโป๊ะทอด กรือโป๊ะทอดปาปรีก้า กรือโป๊ะแห้ง กรือโป๊ะทอดบางนรา กรือโป๊ะอบ เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 กรือโป๊ะทอด หรือกรือโป๊ะทอดปาปรีก้า

กรือโป๊ะทอดเป็นการแปรรูปจากกรือโป๊ะก้อนยาว ๆ ซึ่งสามารถนำมารับประทานได้เลย เพราะได้ผ่านการต้มสุกแล้ว แต่ส่วนใหญ่จะนำมาทอดในน้ำมันที่เดือดพอให้กรือโป๊ะเป็นสีเหลือง มีลักษณะกรอบ ๆ แสดงดังภาพที่ 7 บางครั้งพอทอดเสร็จก็นำมาคลุกกับผงปาปริก้า ก็จะได้รสชาติอีกแบบหนึ่ง แสดงดังภาพที่ 8

ภาพที่ 7 กรือโป๊ะทอด

ภาพที่ 8 กรือโป๊ะทอดปาปรีก้า

5.2 กรือโป๊ะแห้ง กรือโป๊ะทอดบางนรา และกรือโป๊ะอบ

จากกรือโป๊ะก้อนยาว ๆ หลังจากต้มเสร็จ เมื่อพักให้ก้อนกรือโป๊ะเย็นตัวลง และแข็งขึ้น ก็นำมาเข้าเครื่องตัดสไลด์ให้เป็นแผ่นบาง ๆ ซึ่งสามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์หลายอย่าง ได้แก่ กรือโป๊ะแห้ง กรือโป๊ะทอดบางนรา และกรือโป๊ะอบ เป็นต้น

กรือโป๊ะแห้ง คือ กรือโป๊ะที่ได้จากการนำกรือโป๊ะไปสไลด์เป็นแผ่นบาง ๆ แล้วนำไปตาก จะได้กรือโป๊ะแห้งบาง ๆ มีลักษณะแข็ง ๆ รับประทานเลยไม่ได้ต้องนำไปทอดก่อน เมื่อนำไปทอดจะได้กรือโป๊ะที่แผ่ขนาดออกมา มีลักษณะกรอบ ๆ แสดงดังภาพที่ 9

ภาพที่ 9 กรือโป๊ะแห้ง

กรือโป๊ะทอดบางนรา คือ กรือโป๊ะที่ได้จากการสไลด์หัวเกรียบให้เป็นแผ่นบาง ๆ แล้วนำไปทอดทันทีในน้ำมันที่เดือด จะมีลักษณะแข็ง ๆ กรอบ ๆ

กรือโป๊ะอบ คือ กรือโป๊ะที่ได้จากการนำกรือโป๊ะสไลด์ให้เป็นแผ่นบาง ๆ นำมาตากให้แห้ง แล้วเอาเข้ากระบวนการอบ แทนการทอด จะได้ข้าวเกรียบอบที่ขยายขนาดเล็กน้อย มีลักษณะแข็ง ๆ กรอบ ๆ แสดงดังภาพที่ 10

ภาพที่ 10 กรือโป๊ะอบ

กล่าวโดยสรุปการแปรรูปกรือโป๊ะแสดงดังภาพที่ 11

ภาพที่ 11 สรุปการแปรรูปกรือโป๊ะ

จากกรรมวิธีการผลิตกรือโป๊ะพบว่า ลักษณะกรือโป๊ะที่ผลิตขึ้นมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกมีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร โดยกรือโป๊ะที่ผลิตได้สามารถแปรรูปได้หลากหลายรูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับความชอบของผู้บริโภค

ตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งของกรือโป๊ะ

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งของกรือโป๊ะ เพื่อทำนายเวลาในการอบแห้งกรือโป๊ะนั้น มีขั้นตอน คือ การเตรียมกรือโป๊ะ การนำกรือโป๊ะไปทดลอง คำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห้ง และสร้างกราฟทำนายเวลาในการอบแห้งของกรือโป๊ะ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 การเตรียมกรือโป๊ะ

ตัดกรือโป๊ะให้มีขนาดเล็กที่สุดประมาณ 0.5 × 0.5 × 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.2 การนำกรือโป๊ะไปทดลอง โดยแบ่งกรือโป๊ะเป็น 2 ส่วนดังนี้

1.2.1 นำไปหามวลแห้ง โดยนำกรือโป๊ะมาหั่นให้ละเอียด แล้วชั่งน้ำหนักประมาณ 3 กรัม ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิคส์ ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 12 ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียม (moisture can) อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง (AOAC, 1990) จนน้ำหนักของกรือโป๊ะไม่เปลี่ยนแปลง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

1.2.2 นำกรือโป๊ะไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดดังภาพที่ 13 โดยนำกรือโป๊ะใส่ในถาดของเครื่องอบแห้งดังภาพที่ 14 โดยเกลี่ยกรือโป๊ะให้กระจายทั่วถาด บันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่อ่านได้จากเครื่องชั่งของเครื่องอบแห้งดังภาพที่ 15 เป็นน้ำหนักเริ่มต้น ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 50, 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยบันทึกน้ำหนักของกรือโป๊ะที่เปลี่ยนแปลงไป จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

1.3 คำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห้ง โดยใช้ข้อมูลน้ำหนักที่เวลาต่าง ๆ และหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งของกรือโป๊ะ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ภาพที่ 12 เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิคส์

ภาพที่ 13 เครื่องอบแห้งแบบถาด

ภาพที่ 14 ตะแกรงสำหรับวางตัวอย่างในการอบแห้ง

ภาพที่ 15 เครื่องชั่งน้ำหนักของเครื่องอบแห้งแบบถาด

ตอนที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ

ในการวิเคราะห์การอบแห้งและเก็บรักษากรือโป๊ะนั้น จำเป็นต้องใช้ค่าคุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะเป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ และสภาพนำความร้อน ซึ่งในการทดลองหาค่าคุณสมบัติดังกล่าวต้องเตรียมกรือโป๊ะที่มีความชื้นเหมาะสม 6 ค่า ก่อนนำกรือโป๊ะไปทดลอง ดังนี้

1. ตัดกรือโป๊ะให้มีขนาดเล็กที่สุดประมาณ 0.5 × 0.5 × 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. นำกรือโป๊ะไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ค่าความชื้นที่เหมาะสมจำนวน 6 ค่า
3. นำกรือโป๊ะที่มีความชื้นดังกล่าวไปหาค่าความร้อนจำเพาะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหารและส่วนประกอบของอาหาร ความหนาแน่นจริง ความปรากฏ และร้อยละช่องว่างของอากาศ

ตอนที่ 2.1 ความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะ

การหาความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะ มี 2 วิธี คือ วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหาร และวิธีการคำนวณจากส่วนประกอบของอาหาร

2.1.1 วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหาร

2.1.1.1 ส่งตัวอย่างกรือโป๊ะที่มีความชื้น 6 ค่า ไปตรวจหามวลของไขมันเหลว, ของแข็ง และน้ำ

2.1.1.2 คำนวณหาค่าเศษส่วนเชิงมวลของส่วนผสมของอาหารที่ความชื้นต่าง ๆ

2.1.1.3 คำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหารจากสมการ (4)

2.1.1.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะจากส่วนผสมของกรือโป๊ะกับความชื้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 องศาเซลเซียส

2.1.2 วิธีการคำนวณจากส่วนประกอบของอาหาร

2.1.2.1 ส่งตัวอย่างกรือโป๊ะที่มีความชื้น 6 ค่า ไปตรวจหามวลของคาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, ไขมันแข็ง, ขี้เถ้าและแร่ธาตุ และน้ำ

2.1.2.2 คำนวณหาค่าเศษส่วนเชิงมวลของส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้นต่าง ๆ

2.1.2.3 คำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนประกอบของอาหารจากสมการ (5)

2.1.2.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะส่วนประกอบของกรือโป๊ะกับความชื้น ที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 2.2 การหาสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะ

การหาสภาพนำความร้อนโดยการคำนวณจากสมการทำนายค่าสภาพนำความร้อนของอาหาร

2.2.1 คำนวณสภาพนำความร้อนรวมของอาหารที่อุณหภูมิ และความชื้นต่าง ๆ จากสมการ (9) – สมการ (10)

2.2.2 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะกับอุณหภูมิที่ความชื้นต่าง ๆ

2.2.3 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะกับความชื้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตอนที่ 3 การศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ

ในการวิเคราะห์การอบแห้งและเก็บรักษากรือโป๊ะนั้น จำเป็นต้องใช้ค่าคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะเป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณ ได้แก่ ความหนาแน่น และร้อยละช่องว่างของกรือโป๊ะ

ตอนที่ 3.1 การหาความหนาแน่นของกรือโป๊ะ

การหาความหนาแน่นมี 2 วิธี คือ ความหนาแน่นปรากฏ และความหนาแน่นจริง

3.1.1 ความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะ

3.1.1.1 ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ขนาด 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิคส์ ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.1.2 นำกรือโป๊ะใส่ในบีกเกอร์ให้ได้ปริมาตร 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 16 แล้วทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิคส์ ทศนิยม 4 ตำแหน่ง และบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้

ภาพที่ 16 นำกรือโป๊ะใส่ในบีกเกอร์ให้ได้ปริมาตร 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1.1.3 คำนวณหาความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะจากสมการ (16) ซึ่งค่าความหนาแน่นปรากฏเท่ากับอัตราส่วนระหว่างมวลและปริมาตรรวมของกรือโป๊ะ (ปริมาตรรวมของกรือโป๊ะ V_b= 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ

3.1.1.4 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนตัวอย่างกรือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ อีก 5 ค่า

3.1.1.5 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะกับความชื้น

3.1.2 ความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะ

3.1.2.1 นำกรือโป๊ะที่เตรียมไว้มาวัดขนาดโดยใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ แสดงดังภาพที่ 17 พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักของกรือโป๊ะแต่ละชิ้น เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิคส์ ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.2.2 คำนวณหาปริมาตร และความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะจากสมการ (15)

3.1.2.3 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะ

3.1.2.4 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนตัวอย่างกือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ อีก 5 ค่า

3.1.2.5 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะกับความชื้น

ภาพที่ 17 การวัดขนาดของกรือโป๊ะโดยใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์

ตอนที่ 3.2 การหาร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะ

3.2.1 นำกรือโป๊ะที่เตรียมไว้ใส่ในบีกเกอร์ ปริมาตร 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยค่อย ๆ ใส่จนได้ปริมาตร 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิคส์ ทศนิยม 4 ตำแหน่ง และบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้

3.2.2 ตวงน้ำมันพืชลงในกระบอกตวงให้ได้ปริมาตร 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2.3 รินน้ำมันพืชลงในบีกเกอร์ที่บรรจุกรือโป๊ะให้มีระดับเท่ากับระดับกรือโป๊ะ แสดงดังภาพที่ 18

3.2.4 คำนวณหาปริมาตรน้ำมันที่ใช้ไป และบันทึกผล

3.2.5 คำนวณหาร้อยละช่องว่างของอากาศ จากสมการ (20)

3.2.6 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะ

3.2.7 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนตัวอย่างกรือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ อีก 5 ค่า

3.2.8 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะกับความชื้น

ภาพที่ 18 รินน้ำมันพืชลงในบีกเกอร์ที่บรรจุกรือโป๊ะให้มีระดับเท่ากับระดับกรือโป๊ะ

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งกรือโป๊ะ คุณสมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ จากนั้นผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะเสนอผลการวิจัยแบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งของกรือโป๊ะ

ตอนที่ 2 คุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ และสภาพการนำความร้อน

ตอนที่ 3 คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความหนาแน่น และร้อยละช่องว่างของกรือโป๊ะ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และผลการทดลองในแต่ละตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งของกรือโป๊ะ

การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาการอบแห้งของกรือโป๊ะ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมกรือโป๊ะ การทดลอง การหาความชื้นมาตรฐานแห้งเพื่อทำนายเวลาอบแห้งของกรือโป๊ะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 การเตรียมกรือโป๊ะ

การตัดกรือโป๊ะให้มีขนาดเล็กที่สุดประมาณ 0.5 × 0.5 × 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 19

ภาพที่ 19 ลักษณะตัวอย่างกรือโป๊ะที่นำไปทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา

1.2 การทดลอง

การทดลองแบ่งเป็นการหามวลแห้ง และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 การหามวลแห้ง โดยหั่นกรือโป๊ะให้ละเอียดแล้วชั่งน้ำหนักประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียม อบแห้งจนน้ำหนักของกรือโป๊ะไม่เปลี่ยนแปลง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มวลแห้งของกรือโป๊ะ

หมายเลขที่	น้ำหนักภาชนะ	น้ำหนักกรือโป๊ะก่อนอบ	น้ำหนักภาชนะและกรือโป๊ะหลังอบ	มวลแห้ง
1	18.0387	2.9966	19.6625	1.6238
2	17.5953	3.0669	19.2705	1.6752
3	13.3903	3.0116	15.0320	1.6417
เฉลี่ย		3.0250		1.6469

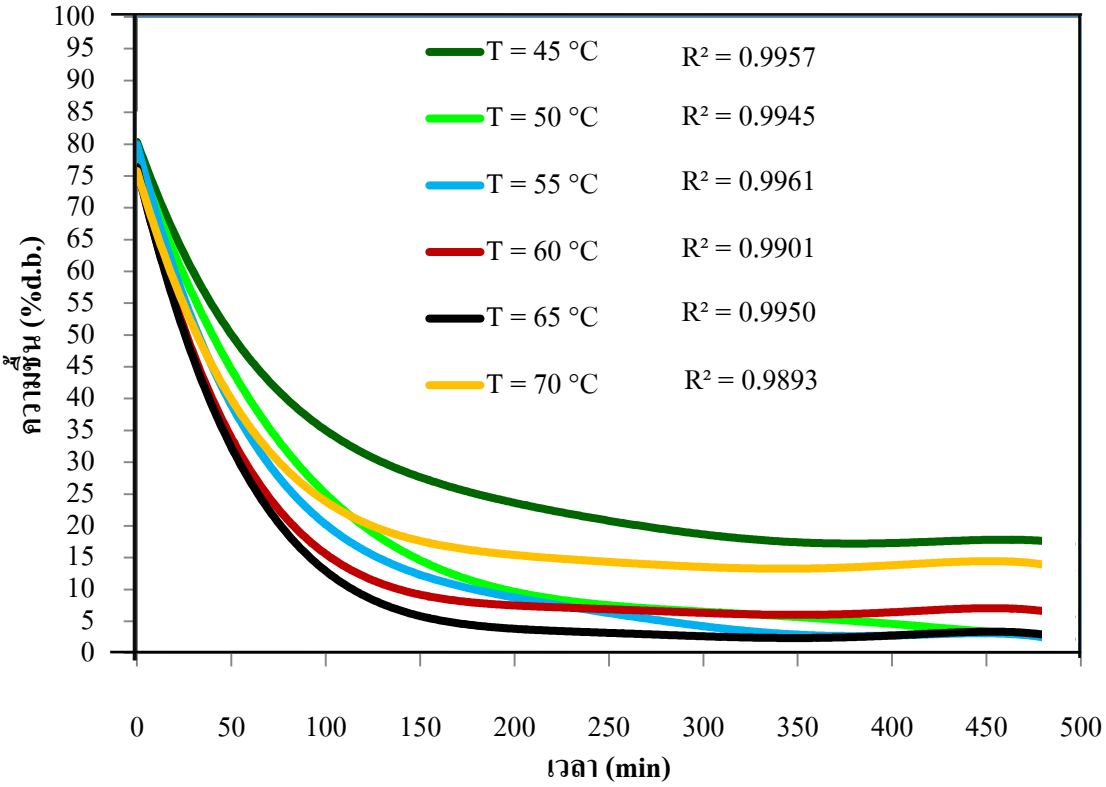
จากตารางนำค่าเฉลี่ยน้ำหนักกรือโป๊ะก่อนอบ และมวลแห้งมาคำนวณหามวลแห้งของกรือโป๊ะที่ปริมาณ 50 กรัม จะได้เท่ากับ 27.22 กรัม

1.2.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยนำกรือโป๊ะใส่ในถาดของเครื่องอบแห้ง โดยเกลี่ยกรือโป๊ะให้กระจายทั่วถาด บันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่อ่านได้จากเครื่องชั่งของเครื่องอบแห้ง เป็นน้ำหนักเริ่มต้น ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 50, 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 480 นาที ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยบันทึกน้ำหนักของกรือโป๊ะที่เปลี่ยนแปลงไป จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ดังตารางที่ ก.1-ก.6 จะเห็นว่าการอบแห้งที่เวลาประมาณ 200 นาที จะทำให้น้ำหนักของกรือโป๊ะเริ่มคงที่

1.3 การหาความชื้นมาตรฐานแห้ง

การหาความชื้นมาตรฐานแห้ง โดยใช้ข้อมูลน้ำหนักที่เวลาต่าง ๆ มาคำนวณหาความชื้น และหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา เพื่อทำนายเวลาในการอบแห้ง แสดงดังภาพที่ 20 ในการวิเคราะห์จะใช้การวิเคราะห์สมการเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรมทางสถิติที่พิจารณาค่าของ Coefficient determination (R^2) โดยจะคัดเลือกค่าของ R^2 ที่มีค่ามากที่สุด

จากผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะ ที่อุณหภูมิ 45, 50, 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 480 นาที พบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกรือโป๊ะ ในช่วง 40 นาทีแรกนั้น ความชื้นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะลดลงอย่างสม่ำเสมอ และจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง หลังช่วงเวลา 205 นาที, 220 นาที, 200 นาที, 170 นาที, 170 นาที และ 145 นาที ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 20 และอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 50–65 องศาเซลเซียส โดยมีค่าการยอมรับได้ ± ร้อยละ 5



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งกรือโป๊ะ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากภาพที่ 20 ความชื้นของกรือโป๊ะมีค่าลดลงขณะอบแห้งในลักษณะสมการพหุนาม โดยในช่วงแรก ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และจะลดลงอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งคงที่ และพบว่า การอบแห้งในอุณหภูมิที่มีค่าสูงจะทำให้ความชื้นลดลงเร็วกว่าการอบแห้งในอุณหภูมิที่มีค่าต่ำ ในช่วงการอบแห้งอุณหภูมิ 50–65 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งกรือโป๊ะ เนื่องจากความชื้นที่เหมาะสมในการพองตัวและการเก็บรักษากรือโป๊ะ เพื่อป้องกันการสูญเสียคุณภาพทางสารอาหารของกรือโป๊ะ มีค่า 8-12

ร้อยละมาตรฐานแห้ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2530) จากภาพที่ 20 จะเห็นว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-65 องศาเซลเซียส สามารถทำให้ความชื้นของกรือโป๊ะลดลงตาม ค่าความชื้นดังกล่าวได้ และจากการสังเกตสีของกรือโป๊ะภายหลังการอบแห้งอุณหภูมิ 50–65 องศาเซลเซียส มีสีเหลืองอ่อนและไม่มีลักษณะไหม้ปรากฏขึ้นเหมือนอย่างเช่นการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 2 คุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ

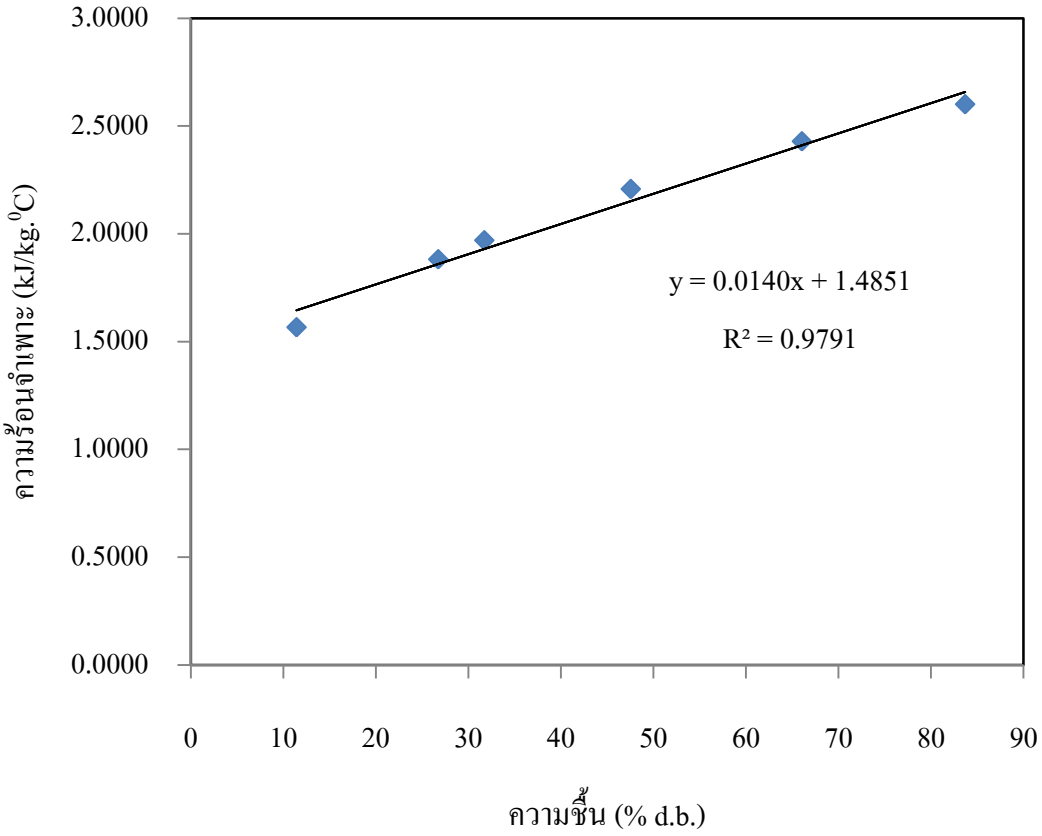
คุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะที่ผู้วิจัยศึกษา ได้ทำการศึกษาเฉพาะความร้อนจำเพาะ และสภาพการนำความร้อน โดยความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะหาจากการคำนวณส่วนผสมของอาหารและส่วนประกอบของอาหาร ส่วนสภาพนำความร้อนหาจากการคำนวณตามสมการทำนายค่าสภาพนำความร้อนของอาหาร

2.1 ความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะ

การหาความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะมี 2 วิธี คือ วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหาร และวิธีการคำนวณจากส่วนประกอบของอาหาร โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 การหาความร้อนจำเพาะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหาร

การหาความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหาร โดยวิเคราะห์หาสัดส่วนส่วนผสมของกรือโป๊ะ เช่น ไขมันเหลว ของแข็งและน้ำ เป็นต้น แล้วนำมาคำนวณตามสมการ (4) ที่ความชื้นต่าง ๆ และทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะและความชื้นจะได้กราฟดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหารกับความชื้นของกรือโป๊ะ

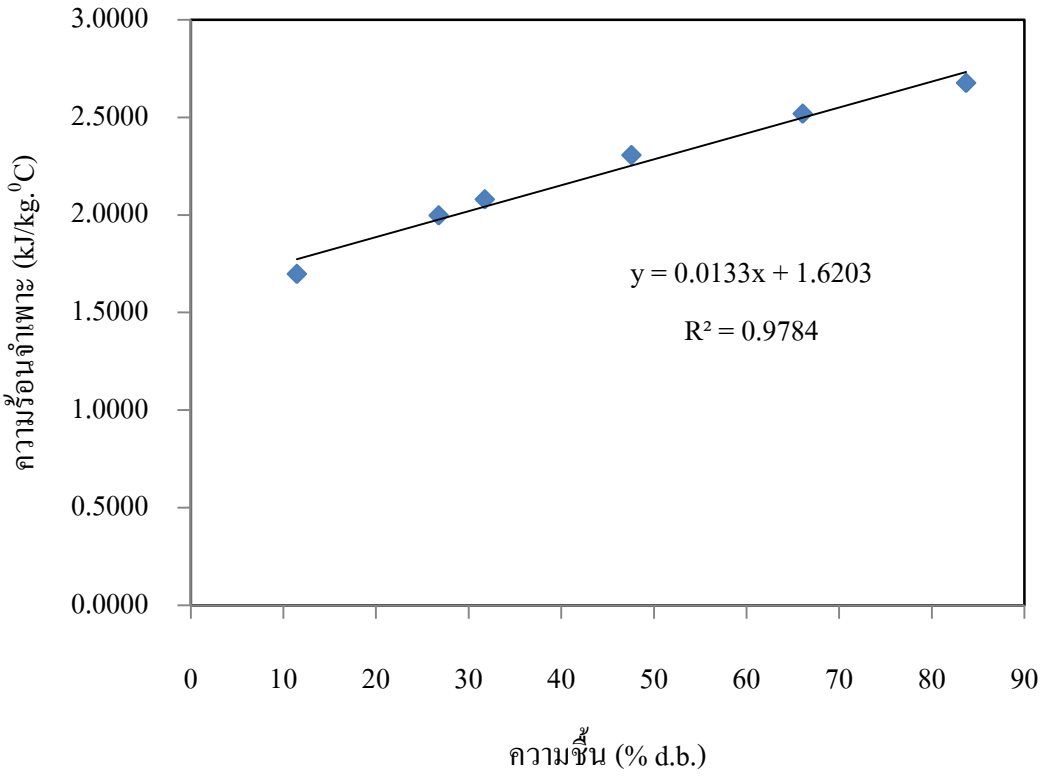
จากภาพที่ 21 เป็นการหาความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้นต่างๆ พบว่า เมื่อความชื้นของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนจำเพาะจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรือโป๊ะที่มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นย่อมมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำเป็นสารที่มีค่าความร้อนจำเพาะสูง ดังนั้นในกรณีที่กรือโป๊ะมีความชื้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะมีค่าสูงกว่ากรณีที่กรือโป๊ะมีความชื้นลดลง และได้ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะและความชื้นของกรือโป๊ะจะอยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น ซึ่งได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$c = 0.0140M + 1.4851, \qquad R^2 = 0.9791 \qquad (25)$$

จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหารได้ร้อยละ 97.91 ซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีค่า R^2 มากกว่า 0.5 และได้ความสัมพันธ์สอดคล้องตามสมการ (6) (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

2.1.2 การหาความร้อนจำเพาะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนประกอบของอาหาร

การหาความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนประกอบของอาหาร โดยวิเคราะห์หาสัดส่วนส่วนประกอบของกรือโป๊ะ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน แข็ง ขี้เถ้าและแร่ธาตุ และน้ำ เป็นต้น แล้วนำมาคำนวณตามสมการ (5) ที่ความชื้นต่าง ๆ และทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะและความชื้นจะได้กราฟดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนประกอบของอาหารกับความชื้นของกรือโป๊ะ

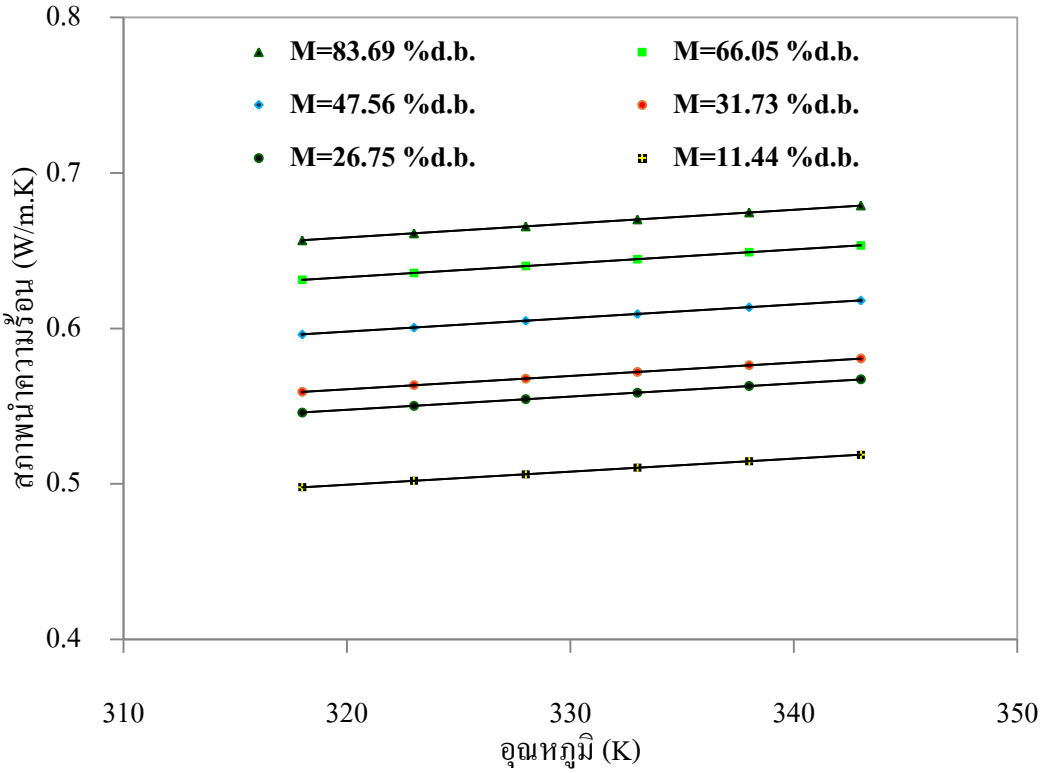
จากภาพที่ 22 เป็นการหาความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะโดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนประกอบของอาหาร ที่ความชื้นต่าง ๆ พบว่า เมื่อความชื้นของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนจำเพาะก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรือโป๊ะที่มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นย่อมมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำเป็นสารที่มีค่าความร้อนจำเพาะสูง ดังนั้นในกรณีที่กรือโป๊ะมีความชื้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะมีค่าสูงกว่ากรณีที่กรือโป๊ะมีความชื้นลดลง และได้ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะ และความชื้นของกรือโป๊ะจะอยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น ซึ่งได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$c = 0.0133M + 1.6203, \qquad R^2 = 0.9784 \qquad (26)$$

จะเห็นได้ว่าความชื้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะ โดยใช้วิธีการคำนวณจากส่วนผสมของอาหารได้ร้อยละ 97.91 ซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีค่า R^2 มากกว่า 0.5 และได้ความสัมพันธ์สอดคล้องตามสมการ (6) (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

2.2 สภาพนำความร้อน

การคำนวณหาสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่อุณหภูมิและความชื้นต่าง ๆ ตามสมการ (9) - สมการ (14) ได้ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนกับอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 23 และความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนกับความชื้น ได้ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนกับอุณหภูมิ ที่ความชื้นต่าง ๆ

จากภาพที่ 23 เป็นการหาสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะกับอุณหภูมิ ที่ความชื้น 6 ค่า พบว่า เมื่ออุณหภูมิของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้นจาก 318-343 เคลวิน สภาพนำความร้อนจะเพิ่มขึ้น และได้ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนและอุณหภูมิของกรือโป๊ะจะอยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น ซึ่งได้ความสัมพันธ์ ดังสมการ (27) - สมการ (32) ดังนี้

ความชื้น 83.69 % d.b. $k = 0.0009T + 0.3722$, $R^2 = 1.0000$ (27)

ความชื้น 66.05 % d.b. $k = 0.0009T + 0.3494$, $R^2 = 1.0000$ (28)

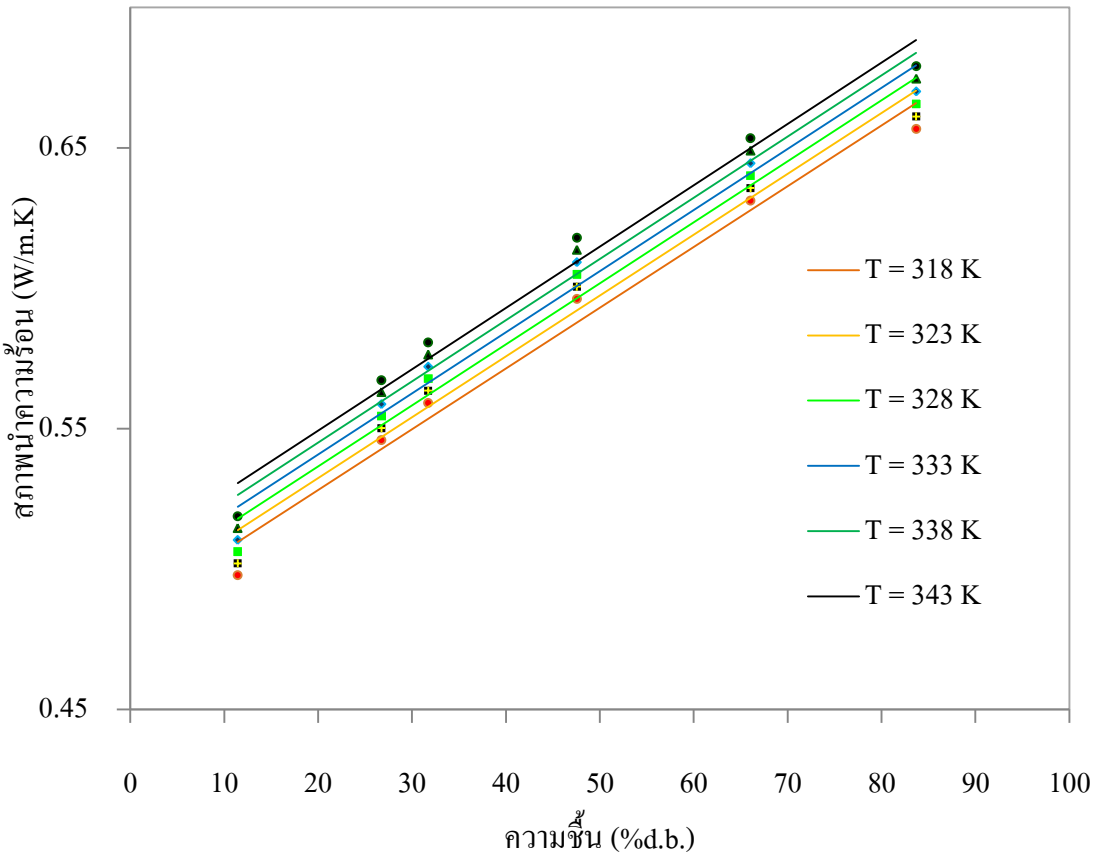
ความชื้น 47.56 % d.b. $k = 0.0009T + 0.3188$, $R^2 = 1.0000$ (29)

ความชื้น 31.73 % d.b. $k = 0.0009T + 0.2861$, $R^2 = 1.0000$ (30)

ความชื้น 26.75 % d.b. $k = 0.0009T + 0.2743$, $R^2 = 1.0000$ (31)

ความชื้น 11.78 % d.b. $k = 0.0008T + 0.2318$, $R^2 = 1.0000$ (32)

จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะได้ร้อยละ 100.00 ซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีค่า R^2 มากกว่า 0.5



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนกับความชื้น ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากภาพที่ 24 เป็นการหาสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะกับความชื้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า เมื่อความชื้นของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้น สภาพนำความร้อนก็จะเพิ่มขึ้น และได้ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนและความชื้นของกรือโป๊ะจะอยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น ซึ่งได้ความสัมพันธ์ดังสมการ (33) – สมการ (38) ดังนี้

อุณหภูมิ 343 K; $k = 0.0022M + 0.5056$, $R^2 = 0.9795$ (33)

อุณหภูมิ 338 K; $k = 0.0022M + 0.5015$, $R^2 = 0.9796$ (34)

อุณหภูมิ 333 K; $k = 0.0022M + 0.4973$, $R^2 = 0.9795$ (35)

อุณหภูมิ 328 K; $k = 0.0022M + 0.4932$, $R^2 = 0.9795$ (36)

อุณหภูมิ 323 K; $k = 0.0022M + 0.4890$, $R^2 = 0.9795$ (37)

อุณหภูมิ 318 K; $k = 0.0022M + 0.4848$, $R^2 = 0.9795$ (38)

จะเห็นได้ว่าความชื้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 343, 338, 333, 328, 323 และ 318 เคลวิน ได้ร้อยละ 97.95, 97.96, 97.95, 97.95, 97.95 และ 97.95 ตามลำดับ ซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีค่า R^2 มากกว่า 0.5

ตอนที่ 3 คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ

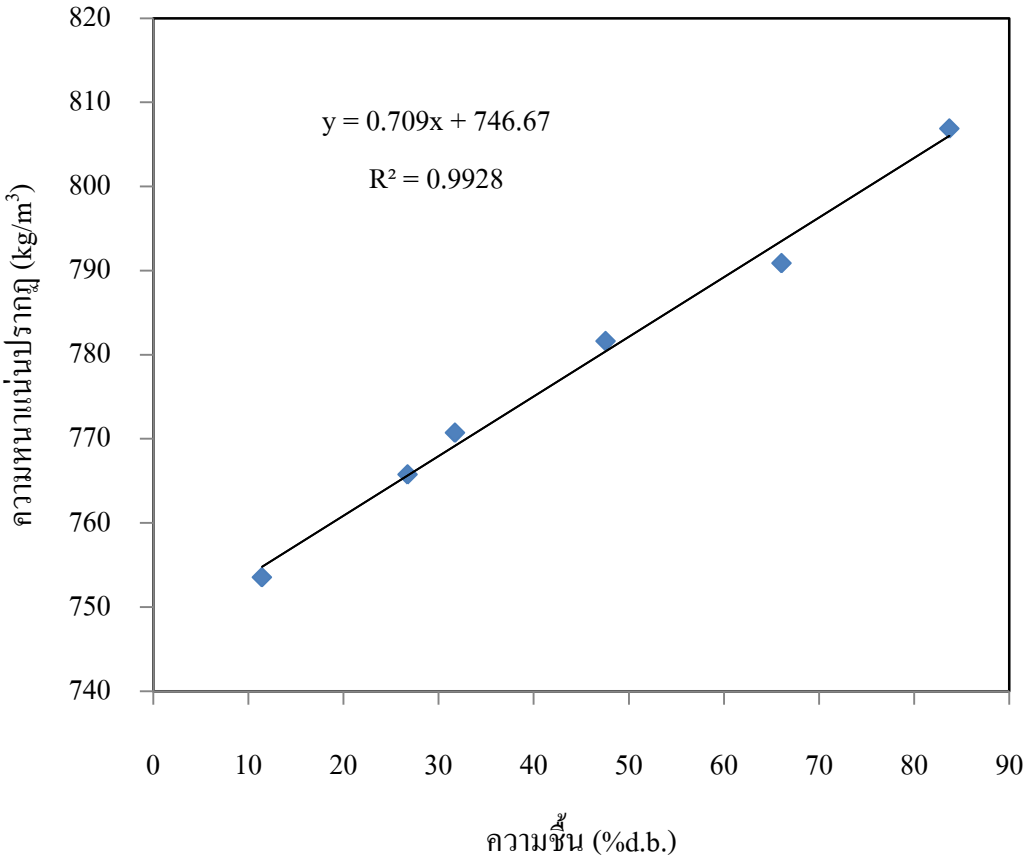
คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะที่ผู้วิจัยศึกษา ได้ทำการศึกษาเฉพาะความหนาแน่นและร้อยละช่องว่างของกรือโป๊ะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของกรือโป๊ะหาได้จากการหาความหนาแน่นปรากฏ และความหนาแน่นจริง

3.1.1 ความหนาแน่นปรากฏ

การทดลองหาความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะกับความชื้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นปรากฏและความชื้นจะได้กราฟดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะกับความชื้นต่าง ๆ

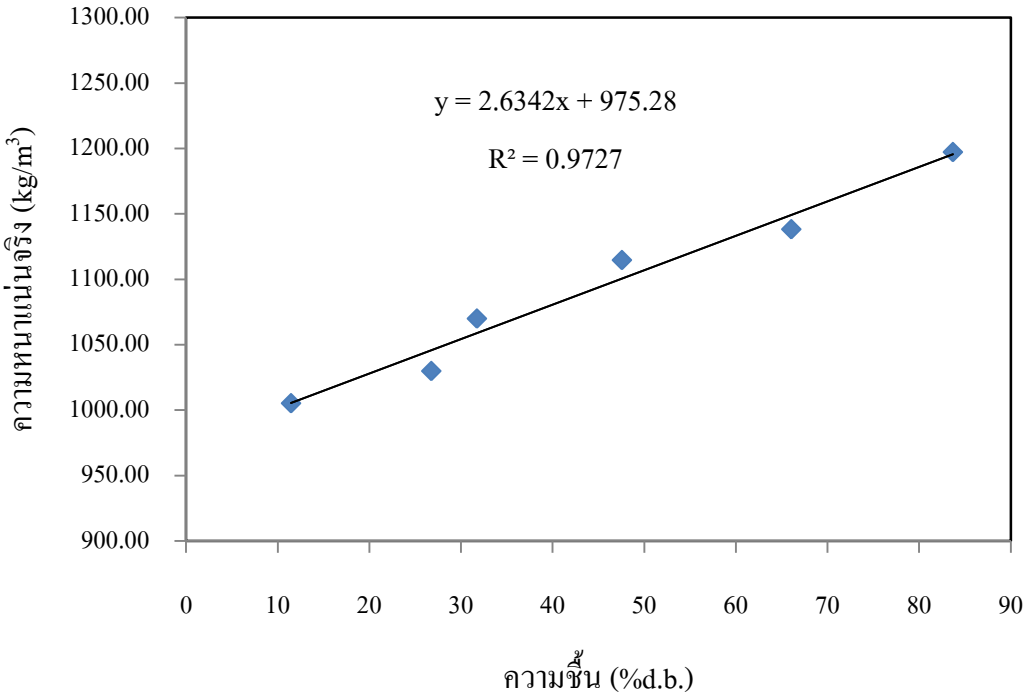
จากภาพที่ 25 เป็นการทดลองหาความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะ ที่ความชื้นต่าง ๆ พบว่า เมื่อความชื้นของกรือโป๊ะสูงขึ้น ความหนาแน่นปรากฏก็จะสูงขึ้น และได้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นปรากฏ และความชื้นมาตรฐานแห้งของกรือโป๊ะจะอยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นดังนี้

$$\rho = 0.709M + 746.67, \qquad R^2 = 0.9928 \tag{39}$$

จะเห็นได้ว่าความชื้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะได้ร้อยละ 99.28 ซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีค่า R^2 มากกว่า 0.5 สอดคล้องกับงานวิจัยของอารีย์ เทียนไชย และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2532) ซึ่งได้ศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มช่วงความชื้น 10-80 ร้อยละมาตรฐานแห้ง และสอดคล้องกับงานวิจัยของกุลยา กนกจารุวิจิตร และคณะ (2538) ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ช่วงความชื้น 0-26 ร้อยละมาตรฐานแห้ง และได้ความสัมพันธ์สอดคล้องตามสมการ (18) (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

3.1.2 ความหนาแน่นจริง

การทดลองหาความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะกับความชื้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจริงและความชื้นจะได้กราฟดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะกับความชื้นต่าง ๆ

จากภาพที่ 26 เป็นการทดลองหาความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะ ที่ความชื้นต่าง ๆ พบว่าเมื่อความชื้นของกรือโป๊ะสูงขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นจริงก็จะสูงขึ้นด้วย และได้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจริง และความชื้นมาตรฐานแห้งของกรือโป๊ะจะอยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นดังนี้

$$\rho = 2.6342M + 975.28, \qquad R^2 = 0.9727 \tag{40}$$

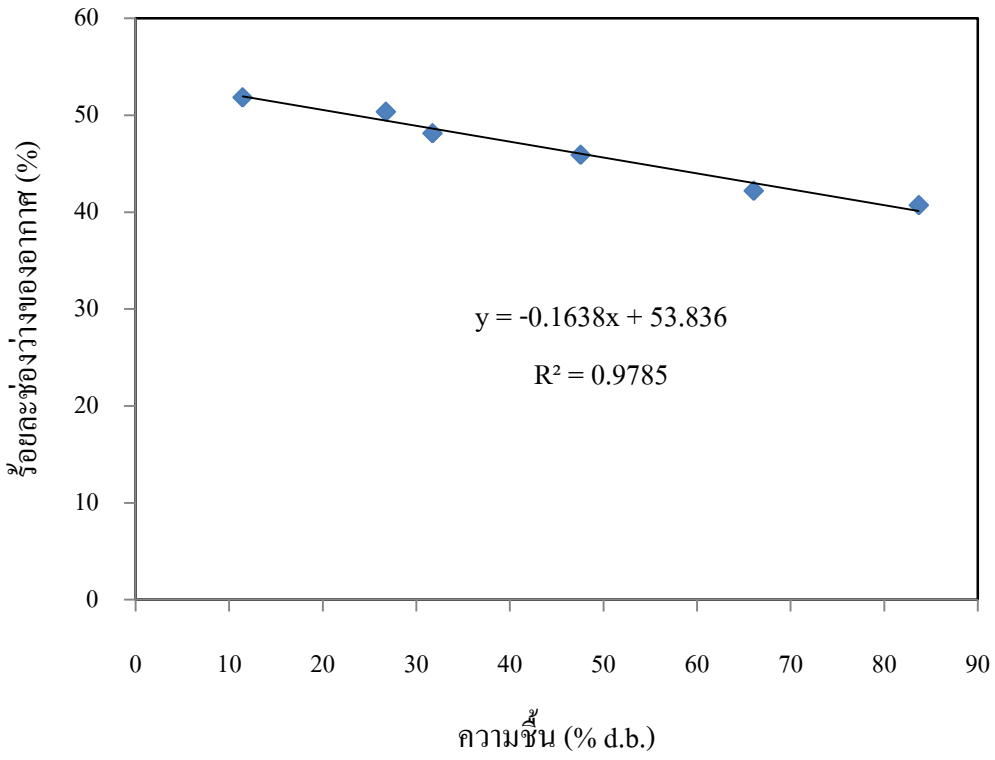
จะเห็นได้ว่าความชื้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะได้ร้อยละ 97.27 ซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีค่า R^2 มากกว่า 0.5 สอดคล้องกับงานวิจัยของอารีย์ เทียนไชย และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2532) ซึ่งได้ศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มช่วงความชื้น 10-80 ร้อยละมาตรฐานแห้ง และสอดคล้องกับงานวิจัยของกุลยา กนกจารุวิจิตร และคณะ (2538) ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเมล็ดมะม่วง

หิมพานต์ ช่วงความชื้น 0-26 ร้อยละมาตรฐานแห้ง และได้ความสัมพันธ์สอดคล้องตามสมการ (18) (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าปริมาณน้ำที่มากขึ้นจะมีผลทำให้กรือโป๊ะมีมวลมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นมากขึ้น แสดงว่าปริมาณน้ำมีผลต่อการเพิ่มมวลมากกว่าเพิ่มปริมาตรของกรือโป๊ะ

3.2 ร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะ

การทดลองหาร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะ ที่ความชื้นต่าง ๆ โดยหาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำมันกับปริมาตรของภาชนะ และทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละช่องว่างของอากาศและความชื้นจะได้กราฟดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะกับความชื้นต่าง ๆ

จากภาพที่ 27 เป็นการทดลองหาร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะ ที่ความชื้นต่าง ๆ พบว่า เมื่อความชื้นของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าร้อยละช่องว่างของอากาศก็จะลดลง และได้ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละช่องว่างของอากาศ และความชื้นของกรือโป๊ะจะอยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นดังนี้

$$\varepsilon = -0.1638M + 53.836, \qquad R^2 = 0.9785 \qquad (41)$$

จะเห็นได้ว่าความชื้นมาตรฐานแห้ง สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะได้ร้อยละ 97.85 ซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีค่า R^2 มากกว่า 0.5 สอดคล้องกับงานวิจัยของกุลยา กนกจารุวิจิตร และคณะ (2538) ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ช่วงความชื้น 0-26 ร้อยละมาตรฐานแห้ง

ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าปริมาณน้ำที่มากขึ้นจะมีผลทำให้กรือโป๊ะมีปริมาตรมากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละช่องว่างของอากาศลดลง แสดงว่าปริมาณน้ำมีผลต่อเพิ่มปริมาตรของกรือโป๊ะอีกด้วย

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งกรือโป๊ะ คุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ และคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ โดยมีรายละเอียดการอภิปราย สรุป และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ดังนี้

อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 45, 50, 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 480 นาที ด้วยความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที และความชื้นเริ่มต้น 11.44, 26.75, 31.73, 47.56, 66.05 และ 83.69 ร้อยละมาตรฐานแห้ง พบว่า ความชื้นมาตรฐานแห้งของกรือโป๊ะมีค่าลดลงขณะอบแห้งในลักษณะสมการพหุนาม โดยในช่วงแรก ความชื้นมาตรฐานแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็ว และจะลดลงอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งคงที่ สอดคล้องกับทฤษฎีการอบแห้ง ที่กล่าวว่า การอบแห้งอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เป็นช่วงที่อาหารมีความชื้นสูง และมีความชื้นลดต่ำลงจนถึงความชื้นวิกฤต เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลว การถ่ายเทความร้อนและมวลเกิดเฉพาะที่รอบๆ ผิวของอาหารเท่านั้น ส่วนช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เป็นช่วงความชื้นของอาหารมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต ทำให้น้ำอาจเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ การถ่ายเทความร้อนและมวลเกิดทั้งที่ผิวและภายในเนื้อของอาหาร น้ำจากภายในอาหารมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิวอาหารไปยังอากาศ (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540) นอกจากนี้จากการทดลองพบว่า การอบแห้งในอุณหภูมิที่มีค่าสูง จะทำให้ความชื้นลดลงเร็วกว่าการอบแห้งในอุณหภูมิที่มีค่าต่ำ โดยช่วงการอบแห้งอุณหภูมิ 50 – 65 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งกรือโป๊ะ ที่สามารถทำให้กรือโป๊ะมีความชื้นลดลงถึง 8-12 ร้อยละมาตรฐานแห้ง และทำให้ลักษณะและสีของกรือโป๊ะเหมือนกับที่มีขายในท้องตลาด

กล่าวโดยสรุปคือ ความชื้นมาตรฐานแห้งของกรือโป๊ะมีค่าลดลงขณะอบแห้งในลักษณะสมการพหุนาม โดยในช่วงการอบแห้งอุณหภูมิ 50–65 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม

ในการอบแห้งกรือโป๊ะ เนื่องจากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสามารถทำให้กรือโป๊ะมีความชื้นลดลงถึง 8-12 ร้อยละมาตรฐานแห้ง ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมในการพองตัวและการเก็บรักษากรือโป๊ะ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2530)

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะและสภาพนำความร้อน พบว่า ความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะโดยใช้วิธีคำนวณจากส่วนผสมและส่วนประกอบของอาหาร ได้สมการความสัมพันธ์สำหรับความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะโดยใช้วิธีคำนวณจากส่วนผสมของอาหาร $c = 0.014M + 1.4851$, $R^2 = 0.9791$ โดยความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 11.44-83.69 ร้อยละมาตรฐานแห้ง ความร้อนจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.567-2.601 kJ/kg.^{o}C ได้สมการความสัมพันธ์สำหรับความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะ โดยใช้วิธีคำนวณจากส่วนประกอบของอาหาร $c = 0.0133M + 1.6203$, $R^2 = 0.9784$ โดยความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 11.44-83.69 ร้อยละมาตรฐานแห้ง ความร้อนจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.697-2.676 kJ/kg.^{o}C

จะเห็นว่า ที่ความชื้นของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนจำเพาะเพิ่มขึ้น และได้ความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น สอดคล้องกับงานวิจัยของอารีย์ เทียนไชย และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2532) ซึ่งได้ศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มช่วงความชื้น 10-80 ร้อยละมาตรฐานแห้ง และสอดคล้องกับงานวิจัยของกุลยา กนกจารุวิจิตร และคณะ (2538) ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ช่วงความชื้น 0-26 ร้อยละมาตรฐานแห้ง

จากการศึกษาสภาพนำความร้อนกับอุณหภูมิ ที่ความชื้นต่าง ๆ พบว่า เมื่ออุณหภูมิของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้น สภาพนำความร้อนก็จะเพิ่มขึ้น และได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการเชิงเส้นดังนี้

ความชื้น 83.69 % d.b.	$k = 0.0009T + 0.3722$,	$R^2 = 1.0000$
ความชื้น 66.05 % d.b.	$k = 0.0009T + 0.3494$,	$R^2 = 1.0000$
ความชื้น 47.56 % d.b.	$k = 0.0009T + 0.3188$,	$R^2 = 1.0000$
ความชื้น 31.73 % d.b.	$k = 0.0009T + 0.2861$,	$R^2 = 1.0000$
ความชื้น 26.75 % d.b.	$k = 0.0009T + 0.2743$,	$R^2 = 1.0000$
ความชื้น 11.78 % d.b.	$k = 0.0008T + 0.2318$,	$R^2 = 1.0000$

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 318-343 เคลวิน สภาพนำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.49784-0.67911 W/m.K

จากการศึกษาสภาพนำความร้อนกับความชื้น ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า เมื่อความชื้นของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้น สภาพนำความร้อนก็จะเพิ่มขึ้น และได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการเชิงเส้น ดังนี้

อุณหภูมิ 343 K;	k = 0.0022M + 0.5056,	R^2 = 0.9795
อุณหภูมิ 338 K;	k = 0.0022M + 0.5015,	R^2 = 0.9796
อุณหภูมิ 333 K;	k = 0.0022M + 0.4973,	R^2 = 0.9795
อุณหภูมิ 328 K;	k = 0.0022M + 0.4932,	R^2 = 0.9795
อุณหภูมิ 323 K;	k = 0.0022M + 0.4890,	R^2 = 0.9795
อุณหภูมิ 318 K;	k = 0.0022M + 0.4848,	R^2 = 0.9795

ความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 11.44-83.69 ร้อยละมาตรฐานแห้ง สภาพนำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.49784-0.67911 W/m.˙K

กล่าวโดยสรุปคือ ความร้อนจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้น เนื่องจากกรือโป๊ะที่มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นย่อมมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำเป็นสารที่มีค่าความร้อนจำเพาะสูง ดังนั้นในกรณีที่กรือโป๊ะมีความชื้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อนจำเพาะของกรือโป๊ะมีค่าสูงกว่ากรณีที่กรือโป๊ะมีความชื้นลดลง สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและความชื้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่ได้เร็ว และเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ ได้แก่ ความหนาแน่น และร้อยละช่องว่างของกรือโป๊ะ ได้สมการความสัมพันธ์สำหรับความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะ ρ = 0.709M + 746.67, R^2 = 0.9928 ความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 11.44-83.69 ร้อยละมาตรฐานแห้ง ความหนาแน่นปรากฏมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 753.56-806.89 kg/m^3 สมการสำหรับความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะ ρ = 2.6342M + 975.28, R^2 = 0.9727 ความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 11.44-83.69 ร้อยละมาตรฐานแห้ง ความหนาแน่นจริงมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1005.40-1197.19 kg/m^3

จะเห็นว่า ที่ความชื้นของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้น และได้ความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นและสอดคล้องกับงานวิจัยของอารีย์ เทียนไชย และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2532) ซึ่งได้ศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มช่วงความชื้น 10-80 ร้อยละมาตรฐานแห้ง และสอดคล้องกับงานวิจัยของกุลยา กนกจารุวิจิตร และคณะ (2538) ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ช่วงความชื้น 0-26 ร้อยละมาตรฐานแห้ง

จากการศึกษาร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะ ที่ความชื้นต่าง ๆ ได้สมการ $\varepsilon = -0.1638M + 53.836$, $R^2 = 0.9785$ ความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 11.44-83.69 ร้อยละมาตรฐานแห้ง ร้อยละช่องว่างของอากาศมีค่าลดลงจากร้อยละ 51.85-40.74

จะเห็นว่า เมื่อความชื้นของกรือโป๊ะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าร้อยละช่องว่างของอากาศก็จะลดลง และได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการเชิงเส้น สอดคล้องกับงานวิจัยของกุลยา กนกจารุวิจิตร และคณะ (2538) ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ช่วงความชื้น 0-26 ร้อยละมาตรฐานแห้ง

กล่าวโดยสรุปคือ ความหนาแน่นปรากฏ และความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้น ปริมาณน้ำที่มากขึ้นจะมีผลทำให้กรือโป๊ะมีมวลมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นมากขึ้น แสดงว่าปริมาณน้ำมีผลต่อการเพิ่มมวลมากกว่าเพิ่มปริมาตรของกรือโป๊ะ ร้อยละช่องว่างของกรือโป๊ะมีค่าลดลงตามความชื้นที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่มากขึ้นจะมีผลทำให้กรือโป๊ะมีปริมาตรมากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละช่องว่างของอากาศลดลง แสดงว่าปริมาณน้ำมีผลต่อเพิ่มปริมาตรของกรือโป๊ะอีกด้วย

ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้น สามารถใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การอบแห้งและเก็บรักษากรือโป๊ะ อีกทั้งยังเป็นแนวทางออกแบบวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมภายใต้สภาวะอากาศแวดล้อมหนึ่ง ๆ ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรมีการศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะในสัดส่วนส่วนประกอบอื่น ๆ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน
2. นำการทดลองนี้ไปประยุกต์กับการศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งอาหารประเภทอื่น ๆ
3. สามารถนำผลการทดลองนี้ไปประยุกต์ในการพัฒนาและออกแบบระบบการอบแห้งกรือโป๊ะ

บรรณานุกรม

กุลยา กนกจารุวิจิตร, อรอุมา บุปผา และพิศาล เศวตเมธากุล. (2538). *การหาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยี-พลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ค้วน ขาวหนู. (2558). *การวัดค่าความร้อนจากอาหาร*. เข้าถึงได้จาก http://www.healthcarethai.com.

จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย. (2549). *ผลของสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งผสม (แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู) ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชอบ ลายทอง. (2530). *การศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนของข้าวเปลือก*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร-มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าธนบุรี.

ทศพร วิมุกตาคม. (2552). *การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งมันสำปะหลัง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, คณะวิศวกรรม-ศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธีระพล ศิลกุล. (2545). การหาความชื้นสมดุลของถั่วเขียว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 33* (6), 305-309.

บุญคง คำครุฑลาวงษ์. (2552). *แบบจำลองของการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ปุระชัย ปรากรม. (2558). *กือโป๊ะ*. เข้าถึงได้จาก http://www.pncc.ac.th/pncc/joomlapncc/index.php

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์ (2558). *ค่าการนำความร้อน*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0564/thermal-conductivity.

พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง. (2530). *การผลิตข้าวเกรียบปลาโดยใช้เครื่องรีดแผ่น*. วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุพราช แถมใจ. (2546). *การศึกษาหาพารามิเตอร์และการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งสตรอเบอรี่*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยี-พลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วันทนา เฉลิมรัมย์. (2543). *คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของข่า*. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2531). *การศึกษาหาพารามิเตอร์และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งมะละกอแช่อิ่ม*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2533). การศึกษาพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยน้ำว้า. *วิศวกรรมสาร, 4*, 80–85.

ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2533). การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับการอบแห้งมะละกอแช่อิ่ม. *วารสารเกษตร (วิทย.), 24*, 196–207.

สมจิตร พุฒดี (2558) . *การวัดค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุ*. เข้าถึงได้จาก https://www.google.co.th/?gws_rd=ssl#q.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท* (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุพิชฌาย์ รัตนะ. (2558). *ประวัติของกือโป๊ะ*. เข้าถึงได้จาก http://www.komchadluek.net/detail.

สุภาพร ศิริรัตน์. (2534). *ผลของโครงการฝึกอบรมปฏิบัติการทำข้าวเกรียบปลาที่มีต่อความรู้ เจตคติและการปฏิบัติของผู้ผลิตข้าวเกรียบปลา หมู่บ้านดาโต๊ะ อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี*. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาศึกษาศาสตร์เพื่อพัฒนาชุมชน, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุรางค์ ลาเกลี้ยง. (2534). *การปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการผลิตข้าวเกรียบอยุธยา*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, คณะพัฒนาผลิตภัณฑ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุเทียน สะนัย. (2550). *การวิเคราะห์พารามิเตอร์อบแห้งสำหรับยางธรรมชาติ*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2530). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมข้าวเกรียบ*. มอก. 701-2530. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

อรนุช สีหามาลา. (2545). *การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและยืดอายุการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลา*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรุณี ผุดผ่อง. (2531). *การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อารีย์ เทียนไชย และสมชาติ โสภณรณฤทธ์. (2534). การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่ม. *วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย.)*, *25*(2), 206-218.

AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Washington, DC: Association of Official Chemists.

Constenla, D.T., LoZano, J.E., & Crapiste, G.H. (1989). Thermophysical properties of coconut milk. *Journal of Food Science, 54*, 663 – 668.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ ก. 1 ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 45 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
0	50	27.22	83.69	110	36	27.22	32.26
5	48	27.22	76.34	115	36	27.22	32.26
10	47	27.22	72.67	120	36	27.22	32.26
15	46	27.22	68.99	125	36	27.22	32.26
20	45	27.22	65.32	130	35	27.22	28.58
25	44	27.22	61.65	135	35	27.22	28.58
30	43	27.22	57.97	140	35	27.22	28.58
35	42	27.22	54.30	145	35	27.22	28.58
40	42	27.22	54.30	150	35	27.22	28.58
45	41	27.22	50.62	155	35	27.22	28.58
50	41	27.22	50.62	160	34	27.22	24.91
55	40	27.22	46.95	165	34	27.22	24.91
60	40	27.22	46.95	170	34	27.22	24.91
65	39	27.22	43.28	175	34	27.22	24.91
70	39	27.22	43.28	180	34	27.22	24.91
75	39	27.22	43.28	185	34	27.22	24.91
80	38	27.22	39.60	190	34	27.22	24.91
85	38	27.22	39.60	195	34	27.22	24.91
90	38	27.22	39.60	200	34	27.22	24.91
95	37	27.22	35.93	205	33	27.22	21.23
100	37	27.22	35.93	210	33	27.22	21.23
105	37	27.22	35.93	220	33	27.22	21.23

ตารางที่ ก. 1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
230	33	27.22	21.23	320	32	27.22	17.56
240	33	27.22	21.23	340	32	27.22	17.56
250	33	27.22	21.23	360	32	27.22	17.56
260	33	27.22	21.23	380	32	27.22	17.56
270	33	27.22	21.23	400	32	27.22	17.56
280	33	27.22	21.23	420	32	27.22	17.56
290	32	27.22	17.56	440	32	27.22	17.56
300	32	27.22	17.56	460	32	27.22	17.56
310	32	27.22	17.56	480	32	27.22	17.56

ตารางที่ ก. 2 ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
0	50	27.22	83.69	110	33	27.22	21.23
5	48	27.22	76.34	115	33	27.22	21.23
10	46	27.22	68.99	120	33	27.22	21.23
15	45	27.22	65.32	125	33	27.22	21.23
20	44	27.22	61.65	130	32	27.22	17.56
25	43	27.22	57.97	135	32	27.22	17.56
30	42	27.22	54.30	140	32	27.22	17.56
35	41	27.22	50.62	145	32	27.22	17.56
40	40	27.22	46.95	150	31	27.22	13.89
45	39	27.22	43.28	155	31	27.22	13.89
50	39	27.22	43.28	160	31	27.22	13.89
55	38	27.22	39.60	165	31	27.22	13.89
60	38	27.22	39.60	170	30	27.22	10.21
65	38	27.22	39.60	175	30	27.22	10.21
70	37	27.22	35.93	180	30	27.22	10.21
75	37	27.22	35.93	185	30	27.22	10.21
80	36	27.22	32.26	190	30	27.22	10.21
85	36	27.22	32.26	195	30	27.22	10.21
90	35	27.22	28.58	200	30	27.22	10.21
95	35	27.22	28.58	205	30	27.22	10.21
100	34	27.22	24.91	210	30	27.22	10.21
105	34	27.22	24.91	220	29	27.22	6.54

ตารางที่ ก. 2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
230	29	27.22	6.54	320	29	27.22	6.54
240	29	27.22	6.54	340	29	27.22	6.54
250	29	27.22	6.54	360	29	27.22	6.54
260	29	27.22	6.54	380	29	27.22	6.54
270	29	27.22	6.54	400	28	27.22	2.87
280	29	27.22	6.54	420	28	27.22	2.87
290	29	27.22	6.54	440	28	27.22	2.87
300	29	27.22	6.54	460	28	27.22	2.87
310	29	27.22	6.54	480	28	27.22	2.87

ตารางที่ ก. 3 ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 55 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
0	50	27.22	83.69	110	32	27.22	17.56
5	48	27.22	76.34	115	32	27.22	17.56
10	46	27.22	68.99	120	32	27.22	17.56
15	44	27.22	61.65	125	31	27.22	13.89
20	43	27.22	57.97	130	31	27.22	13.89
25	42	27.22	54.30	135	31	27.22	13.89
30	41	27.22	50.62	140	31	27.22	13.89
35	40	27.22	46.95	145	31	27.22	13.89
40	39	27.22	43.28	150	31	27.22	13.89
45	39	27.22	43.28	155	30	27.22	10.21
50	38	27.22	39.60	160	30	27.22	10.21
55	37	27.22	35.93	165	30	27.22	10.21
60	36	27.22	32.26	170	30	27.22	10.21
65	36	27.22	32.26	175	30	27.22	10.21
70	35	27.22	28.58	180	30	27.22	10.21
75	35	27.22	28.58	185	30	27.22	10.21
80	35	27.22	28.58	190	30	27.22	10.21
85	34	27.22	24.91	195	30	27.22	10.21
90	34	27.22	24.91	200	29	27.22	6.54
95	33	27.22	21.23	205	29	27.22	6.54
100	33	27.22	21.23	210	29	27.22	6.54
105	33	27.22	21.23	220	29	27.22	6.54

ตารางที่ ก. 3 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
230	29	27.22	6.54	320	28	27.22	2.87
240	29	27.22	6.54	340	28	27.22	2.87
250	29	27.22	6.54	360	28	27.22	2.87
260	29	27.22	6.54	380	28	27.22	2.87
270	29	27.22	6.54	400	28	27.22	2.87
280	29	27.22	6.54	420	28	27.22	2.87
290	29	27.22	6.54	440	28	27.22	2.87
300	28	27.22	2.87	460	28	27.22	2.87
310	28	27.22	2.87	480	28	27.22	2.87

ตารางที่ ก. 4 ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
0	50	27.22	83.69	110	31	27.22	13.89
5	47	27.22	72.67	115	31	27.22	13.89
10	45	27.22	65.32	120	31	27.22	13.89
15	43	27.22	57.97	125	30	27.22	10.21
20	41	27.22	50.62	130	30	27.22	10.21
25	40	27.22	46.95	135	30	27.22	10.21
30	40	27.22	46.95	140	30	27.22	10.21
35	38	27.22	39.6	145	30	27.22	10.21
40	37	27.22	35.93	150	30	27.22	10.21
45	37	27.22	35.93	155	30	27.22	10.21
50	36	27.22	32.26	160	30	27.22	10.21
55	35	27.22	28.58	165	30	27.22	10.21
60	35	27.22	28.58	170	29	27.22	6.54
65	35	27.22	28.58	175	29	27.22	6.54
70	34	27.22	24.91	180	29	27.22	6.54
75	34	27.22	24.91	185	29	27.22	6.54
80	33	27.22	21.23	190	29	27.22	6.54
85	33	27.22	21.23	195	29	27.22	6.54
90	33	27.22	21.23	200	29	27.22	6.54
95	33	27.22	21.23	205	29	27.22	6.54
100	32	27.22	17.56	210	29	27.22	6.54
105	31	27.22	13.89	220	29	27.22	6.54

ตารางที่ ก. 4 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
230	29	27.22	6.54	320	29	27.22	6.54
240	29	27.22	6.54	340	29	27.22	6.54
250	29	27.22	6.54	360	29	27.22	6.54
260	29	27.22	6.54	380	29	27.22	6.54
270	29	27.22	6.54	400	29	27.22	6.54
280	29	27.22	6.54	420	29	27.22	6.54
290	29	27.22	6.54	440	29	27.22	6.54
300	29	27.22	6.54	460	29	27.22	6.54
310	29	27.22	6.54	480	29	27.22	6.54

ตารางที่ ก. 5 ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 65 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
0	50	27.22	83.69	110	30	27.22	10.21
5	47	27.22	72.67	115	30	27.22	10.21
10	45	27.22	65.32	120	30	27.22	10.21
15	43	27.22	57.97	125	30	27.22	10.21
20	41	27.22	50.62	130	30	27.22	10.21
25	40	27.22	46.95	135	29	27.22	6.54
30	39	27.22	43.28	140	29	27.22	6.54
35	38	27.22	39.60	145	29	27.22	6.54
40	37	27.22	35.93	150	29	27.22	6.54
45	36	27.22	32.26	155	29	27.22	6.54
50	36	27.22	32.26	160	29	27.22	6.54
55	35	27.22	28.58	165	29	27.22	6.54
60	35	27.22	28.58	170	28	27.22	2.87
65	34	27.22	24.91	175	28	27.22	2.87
70	34	27.22	24.91	180	28	27.22	2.87
75	33	27.22	21.23	185	28	27.22	2.87
80	33	27.22	21.23	190	28	27.22	2.87
85	32	27.22	17.56	195	28	27.22	2.87
90	32	27.22	17.56	200	28	27.22	2.87
95	31	27.22	13.89	205	28	27.22	2.87
100	31	27.22	13.89	210	28	27.22	2.87
105	31	27.22	13.89	220	28	27.22	2.87

ตารางที่ ก. 5 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
230	28	27.22	2.87	320	28	27.22	2.87
240	28	27.22	2.87	340	28	27.22	2.87
250	28	27.22	2.87	360	28	27.22	2.87
260	28	27.22	2.87	380	28	27.22	2.87
270	28	27.22	2.87	400	28	27.22	2.87
280	28	27.22	2.87	420	28	27.22	2.87
290	28	27.22	2.87	440	28	27.22	2.87
300	28	27.22	2.87	460	28	27.22	2.87
310	28	27.22	2.87	480	28	27.22	2.87

ตารางที่ ก. 6 ข้อมูลผลการทดลองการอบแห้งกรือโป๊ะที่อุณหภูมิ 70 ^{0}C และความเร็วลม 1 m/s

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
0	50	27.22	83.69	110	34	27.22	24.91
5	47	27.22	72.67	115	33	27.22	21.23
10	45	27.22	65.32	120	33	27.22	21.23
15	44	27.22	61.65	125	33	27.22	21.23
20	42	27.22	54.30	130	33	27.22	21.23
25	41	27.22	50.62	135	33	27.22	21.23
30	40	27.22	46.95	140	33	27.22	21.23
35	40	27.22	46.95	145	32	27.22	17.56
40	39	27.22	43.28	150	32	27.22	17.56
45	39	27.22	43.28	155	32	27.22	17.56
50	38	27.22	39.60	160	32	27.22	17.56
55	37	27.22	35.93	165	32	27.22	17.56
60	37	27.22	35.93	170	32	27.22	17.56
65	36	27.22	32.26	175	32	27.22	17.56
70	36	27.22	32.26	180	31	27.22	13.89
75	35	27.22	28.58	185	31	27.22	13.89
80	35	27.22	28.58	190	31	27.22	13.89
85	35	27.22	28.58	195	31	27.22	13.89
90	35	27.22	28.58	200	31	27.22	13.89
95	34	27.22	24.91	205	31	27.22	13.89
100	34	27.22	24.91	210	31	27.22	13.89
105	34	27.22	24.91	660	31	27.22	13.89

ตารางที่ ก. 6 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	M_{db} (% d.b.)
230	31	27.22	13.89	320	31	27.22	13.89
240	31	27.22	13.89	340	31	27.22	13.89
250	31	27.22	13.89	360	31	27.22	13.89
260	31	27.22	13.89	380	31	27.22	13.89
270	31	27.22	13.89	400	31	27.22	13.89
280	31	27.22	13.89	420	31	27.22	13.89
290	31	27.22	13.89	440	31	27.22	13.89
300	31	27.22	13.89	460	31	27.22	13.89
310	31	27.22	13.89	480	31	27.22	13.89

ภาคผนวก ข

มวลแห้ง และความชื้นเริ่มต้นของกรือโป๊ะจากการอบแห้ง

ตารางที่ ข. 1 มวลแห้ง และความชื้นเริ่มต้นของกรือโป๊ะจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 ^{O}C

เวลาที่ใช้ (min)	มวลของกรือโป๊ะ (g)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.)
	ก่อนอบ	หลังอบ	มวลแห้ง	
-	250.00	250.00	136.10	83.69
14	250.00	226.00	136.10	66.05
47	300.00	241.00	163.32	47.56
107	350.00	251.00	190.54	31.73
390	400.00	276.00	217.76	26.75
480	300.00	182.00	163.32	11.44

ภาคผนวก ค

รายละเอียดข้อมูลการทดลองและการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนของกรีโป๊ะ

ตารางที่ ค. 1 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 83.69 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)			เศษส่วนเชิงมวล, X_i		
	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ
100	0.37 ±0.00	54.07 ±0.19	45.56 ±0.05	0.004 ±0.000	0.541 ±0.190	0.456 ±0.050

ตารางที่ ค. 2 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 66.05 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)			เศษส่วนเชิงมวล, X_i		
	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ
100	0.41 ±0.00	59.81 ±0.21	39.78 ±0.05	0.004 ±0.000	0.598 ±0.210	0.398 ±0.050

ตารางที่ ค. 3 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 47.56 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)			เศษส่วนเชิงมวล, X_i		
	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ
100	0.46 ±0.00	67.31 ±0.24	32.23 ±0.04	0.005 ±0.000	0.673 ±0.240	0.322 ±0.040

ตารางที่ ค. 4 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 31.73 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)			เศษส่วนเชิงมวล, X_i		
	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ
100	0.52 ±0.00	75.39 ±0.25	24.09 ±0.03	0.005 ±0.000	0.754 ±0.250	0.241 ±0.030

ตารางที่ ค. 5 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 26.75 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)			เศษส่วนเชิงมวล, X_i		
	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ
100	0.54 ±0.00	78.36 ±0.29	21.10 ±0.02	0.005 ±0.000	0.784 ±0.290	0.211 ±0.020

ตารางที่ ค. 6 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนผสมของอาหาร ที่ความชื้น 11.44 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)			เศษส่วนเชิงมวล, X_i		
	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ	ไขมันเหลว	ของแข็ง	น้ำ
100	0.61 ±0.00	89.13 ±0.32	10.26 ±0.01	0.006 ±0.000	0.891 ±0.320	0.103 ±0.010

ตารางที่ ค. 7 ผลการคำนวณการหาค่าความร้อนจำเพาะจากส่วนผสมของกรือโป๊ะ ที่ความชื้นต่าง ๆ

ความชื้น (% d.b.)	ส่วนผสมของอาหาร	เศษส่วนเชิงมวล, X_i	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.^{0}C)
11.44	ไขมันเหลว	0.006±0.000	1.567±0.330
	ของแข็ง	0.891±0.320	
	น้ำ	0.103±0.010	
26.75	ไขมันเหลว	0.005±0.000	1.882±0.310
	ของแข็ง	0.784±0.290	
	น้ำ	0.211±0.020	
31.73	ไขมันเหลว	0.005±0.000	1.970±0.280
	ของแข็ง	0.754±0.250	
	น้ำ	0.241±0.030	

ตารางที่ ค. 7 (ต่อ)

ความชื้น (% d.b.)	ส่วนผสมของอาหาร	เศษส่วนเชิงมวล, X_i	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.^{0}C)
47.56	ไขมันเหลว	0.005±0.000	2.208±0.280
	ของแข็ง	0.673±0.240	
	น้ำ	0.322±0.040	
66.05	ไขมันเหลว	0.004±0.000	2.429±0.260
	ของแข็ง	0.598±0.210	
	น้ำ	0.398±0.050	
83.69	ไขมันเหลว	0.004±0.000	2.601±0.240
	ของแข็ง	0.541±0.190	
	น้ำ	0.456±0.050	

ตารางที่ ค. 8 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้น 83.69 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)					เศษส่วนเชิงมวลของส่วนประกอบของอาหาร, X_i				
	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
100	45.56 ±0.05	5.77 ±0.01	0.37 ±0.00	45.98 ±0.18	2.32 ±0.00	0.455 ±0.050	0.058 ±0.010	0.004 ±0.000	0.460 ±0.180	0.023 ±0.000

ตารางที่ ค. 9 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้น 66.05 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)					เศษส่วนเชิงมวลของส่วนประกอบของอาหาร, X_i				
	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
100	39.78 ±0.05	6.38 ±0.01	0.41 ±0.00	50.86 ±0.20	2.57 ±0.00	0.398 ±0.050	0.064 ±0.010	0.004 ±0.000	0.509 ±0.200	0.026 ±0.000

ตารางที่ ค. 10 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้น 47.56 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)					เศษส่วนเชิงมวลของส่วนประกอบของอาหาร, X_i				
	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
100	32.23 ±0.04	7.18 ±0.01	0.46 ±0.00	57.24 ±0.23	2.89 ±0.00	0.322 ±0.040	0.072 ±0.010	0.00 ±0.000	0.572 ±0.230	0.029 ±0.000

ตารางที่ ค. 11 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหารที่ความชื้น 31.73 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)					เศษส่วนเชิงมวลของส่วนประกอบของอาหาร, X_i				
	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
100	24.09 ±0.03	8.05 ±0.02	0.52 ±0.00	64.11 ±0.23	3.23 ±0.00	0.241 ±0.030	0.080 ±0.020	0.005 ±0.000	0.641 ±0.230	0.032 ±0.000

ตารางที่ ค. 12 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหาร ที่ความชื้น 26.75 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)					เศษส่วนเชิงมวลของส่วนประกอบของอาหาร, X_i				
	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
100	21.10 ±0.02	8.36 ±0.02	0.54 ±0.00	66.64 ±0.27	3.36 ±0.00	0.211 ±0.020	0.084 ±0.020	0.005 ±0.000	0.666 ±0.270	0.034 ±0.000

ตารางที่ ค. 13 การวิเคราะห์หาเศษส่วนเชิงมวลจากส่วนประกอบของอาหาร ที่ความชื้น 11.44 % d.b.

น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	มวลส่วนประกอบของอาหาร (g)					เศษส่วนเชิงมวลของส่วนประกอบของอาหาร, X_i				
	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
100	10.26± 0.01	9.51 ±0.02	0.61 ±0.00	75.79 ±0.30	3.82 ±0.00	0.103 ±0.010	0.095 ±0.020	0.006 ±0.000	0.758 ±0.300	0.038 ±0.000

ตารางที่ ค. 14 ผลการคำนวณการหาค่าความร้อนจำเพาะจากส่วนประกอบของกรือโป๊ะ ที่ความชื้นต่าง ๆ

ความชื้น (% d.b.)	ส่วนผสมของอาหาร	เศษส่วนเชิงมวล, X_i	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.^{0}C)
11.44	น้ำ	0.103±0.010	1.697±0.330
	โปรตีน	0.095±0.020	
	ไขมัน	0.006±0.000	
	คาร์โบไฮเดรต	0.758±0.300	
	เถ้า	0.038±0.000	

ตารางที่ ค. 14 (ต่อ)

ความชื้น (% d.b.)	ส่วนผสมของอาหาร	เศษส่วนเชิงมวล, X_i	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.^{0}C)
26.75	น้ำ	0.211±0.020	1.997±0.310
	โปรตีน	0.084±0.020	
	ไขมัน	0.005±0.000	
	คาร์โบไฮเดรต	0.666±0.270	
	เถ้า	0.034±0.000	
31.73	น้ำ	0.241±0.030	2.079±0.280
	โปรตีน	0.08±0.020	
	ไขมัน	0.005±0.000	
	คาร์โบไฮเดรต	0.641±0.230	
	เถ้า	0.032±0.000	
47.56	น้ำ	0.322±0.040	2.306±0.280
	โปรตีน	0.072±0.010	
	ไขมัน	0.005±0.000	
	คาร์โบไฮเดรต	0.572±0.230	
	เถ้า	0.029±0.000	
66.05	น้ำ	0.398±0.050	2.518±0.260
	โปรตีน	0.064±0.010	
	ไขมัน	0.004±0.000	
	คาร์โบไฮเดรต	0.509±0.200	
	เถ้า	0.026±0.000	

ตารางที่ ค. 14 (ต่อ)

ความชื้น (% d.b.)	ส่วนผสมของอาหาร	เศษส่วนเชิงมวล, X_i	ความร้อนจำเพาะ ($kJ/kg.^0C$)
83.69	น้ำ	0.455±0.050	2.676±0.240
	โปรตีน	0.058±0.010	
	ไขมัน	0.004±0.000	
	คาร์โบไฮเดรต	0.46±0.180	
	เถ้า	0.023±0.000	

ตารางที่ ค. 15 การวิเคราะห์หาสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะโดยการคำนวณจากสมการการนำความร้อนของอาหาร

ส่วนประกอบของอาหาร	ค่า k_i ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (W/m.K)					
	318 K	323 K	328 K	333 K	338 K	343 K
น้ำ	0.9043	0.9092	0.9142	0.9191	0.9240	0.9290
โปรตีน	0.4378	0.4418	0.4457	0.4496	0.4536	0.4575
ไขมัน	0.2316	0.2324	0.2332	0.2340	0.2348	0.2356
คาร์โบไฮเดรต	0.4634	0.4676	0.4718	0.4761	0.4804	0.4846
เถ้า	0.2531	0.2550	0.2570	0.2589	0.2609	0.2628

ตารางที่ ค. 16 สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 83.69 % d.b.

ส่วนประกอบของอาหาร	ค่า k_iX_i ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (W/m.K)					
	318	323	328	333	338	343
น้ำ	0.4115	0.4137	0.4159	0.4182	0.4204	0.4227
โปรตีน	0.0254	0.0256	0.0258	0.0261	0.0263	0.0265
ไขมัน	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
คาร์โบไฮเดรต	0.2131	0.2151	0.2171	0.2190	0.2210	0.2229
เถ้า	0.0058	0.0059	0.0059	0.0060	0.0060	0.0060
รวม	0.6567	0.6612	0.6657	0.6702	0.6746	0.6791

ตารางที่ ค. 17 สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 66.05 % d.b.

ส่วนประกอบของอาหาร	ค่า k_iX_i ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (W/m.K)					
	318	323	328	333	338	343
น้ำ	0.3599	0.3619	0.3638	0.3658	0.3678	0.3697
โปรตีน	0.0280	0.0283	0.0285	0.0288	0.0290	0.0293
ไขมัน	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
คาร์โบไฮเดรต	0.2358	0.2380	0.2402	0.2423	0.2445	0.2467
เถ้า	0.0066	0.0066	0.0067	0.0067	0.0068	0.0068
รวม	0.6313	0.6357	0.6401	0.6446	0.6490	0.6534

ตารางที่ ค. 18 สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 47.56 % d.b.

ส่วนประกอบของอาหาร	ค่า k_iX_i ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (W/m.K)					
	318	323	328	333	338	343
น้ำ	0.2912	0.2928	0.2944	0.2959	0.2975	0.2991
โปรตีน	0.0315	0.0318	0.0321	0.0324	0.0327	0.0329
ไขมัน	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
คาร์โบไฮเดรต	0.2650	0.2675	0.2699	0.2723	0.2748	0.2772
เถ้า	0.0073	0.0074	0.0075	0.0075	0.0076	0.0076
รวม	0.5962	0.6006	0.6050	0.6093	0.6137	0.6181

ตารางที่ ค. 19 สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 31.73 % d.b.

ส่วนประกอบของอาหาร	ค่า k_iX_i ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (W/m.K)					
	318	323	328	333	338	343
น้ำ	0.2179	0.2191	0.2203	0.2215	0.2227	0.2239
โปรตีน	0.0350	0.0353	0.0357	0.0360	0.0363	0.0366
ไขมัน	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
คาร์โบไฮเดรต	0.2970	0.2997	0.3025	0.3052	0.3079	0.3106
เถ้า	0.0081	0.0082	0.0082	0.0083	0.0083	0.0084
รวม	0.5592	0.5635	0.5678	0.5721	0.5764	0.5807

ตารางที่ ค. 20 สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 26.75 % d.b.

ส่วนประกอบของอาหาร	ค่า k_iX_i ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (W/m.K)					
	318	323	328	333	338	343
น้ำ	0.1908	0.1918	0.1929	0.1939	0.1950	0.1960
โปรตีน	0.0368	0.0371	0.0374	0.0378	0.0381	0.0384
ไขมัน	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
คาร์โบไฮเดรต	0.3086	0.3114	0.3143	0.3171	0.3199	0.3227
เถ้า	0.0086	0.0087	0.0087	0.0088	0.0089	0.0089
รวม	0.5459	0.5502	0.5545	0.5588	0.5630	0.5673

ตารางที่ ค. 21 สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่ความชื้น 11.44 % d.b.

ส่วนประกอบของอาหาร	ค่า k_iX_i ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (W/m.K)					
	318	323	328	333	338	343
น้ำ	0.0931	0.0937	0.0942	0.0947	0.0952	0.0957
โปรตีน	0.0416	0.0420	0.0423	0.0427	0.0431	0.0435
ไขมัน	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
คาร์โบไฮเดรต	0.3512	0.3544	0.3577	0.3609	0.3641	0.3673
เถ้า	0.0096	0.0097	0.0098	0.0098	0.0099	0.0100
รวม	0.4970	0.5011	0.5053	0.5095	0.5137	0.5179

ตารางที่ ค. 22 สรุปค่าสภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะกับความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ

ความชื้น (% d.b.)	สภาพนำความร้อนของกรือโป๊ะที่อุณหภูมิต่าง ๆ (W/m.K)					
	T=318 K	T=323 K	T=328 K	T=333 K	T=338 K	T=343 K
11.44	0.4970	0.5011	0.5053	0.5095	0.5137	0.5179
26.75	0.5459	0.5502	0.5545	0.5588	0.5630	0.5673
31.73	0.5592	0.5635	0.5678	0.5721	0.5764	0.5807
47.56	0.5962	0.6010	0.6050	0.6093	0.6137	0.6180
66.05	0.6313	0.6357	0.6402	0.6446	0.6490	0.6534
83.69	0.6567	0.6612	0.6657	0.6702	0.6746	0.6791

ภาคผนวก ง

รายละเอียดข้อมูลการทดลองและการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของกรือโป๊ะ

ตารางที่ ง. 1 ความหนาแน่นปรากฏของกรือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ

ความชื้น (% d.b.)	ครั้งที่	ปริมาตรกรือโป๊ะในบีกเกอร์ ($\pm$ 1 cm^3)	น้ำหนักบีกเกอร์ (g)	น้ำหนักรวมบีกเกอร์และกรือโป๊ะ (g)	น้ำหนักกรือโป๊ะ (g)	ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)$\pm$2.22%
11.44	1	45	38.84	72.85	34.01	755.78
	2	45	38.57	72.30	33.73	749.56
	3	45	32.63	66.62	33.99	755.33
	ค่าเฉลี่ย					**753.56**
26.75	1	45	38.84	72.42	33.58	746.22
	2	45	38.57	72.58	34.01	755.78
	3	45	32.63	68.42	35.79	795.33
	ค่าเฉลี่ย					**765.78**
31.73	1	45	38.84	71.72	32.88	730.67
	2	45	38.57	74.06	35.49	788.67
	3	45	32.63	68.31	35.68	792.89
	ค่าเฉลี่ย					**770.74**
47.56	1	45	38.84	74.20	35.36	785.78
	2	45	38.57	72.94	34.37	763.78
	3	45	32.63	68.42	35.79	795.33
	ค่าเฉลี่ย					**781.63**
66.05	1	45	38.84	73.30	34.46	765.78
	2	45	38.57	75.78	37.21	826.89
	3	45	32.63	67.73	35.1	780.00
	ค่าเฉลี่ย					**790.89**
83.69	1	45	38.84	74.22	35.38	786.22
	2	45	38.57	74.55	35.98	799.56
	3	45	32.63	70.2	37.57	834.89
	ค่าเฉลี่ย					**806.89**

ตารางที่ ง. 2 ความหนาแน่นจริงของกรือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ

ความชื้น (% d.b.)	ชิ้นที่	น้ำหนัก (± 0.0001g)	ปริมาตร ± 0.05 mm			ปริมาตรของกรือโป๊ะ (mm^3)	ความหนาแน่นจริง (kg/m^3)
			กว้าง (mm)	ยาว (mm)	หนา (mm)		
11.44	1	1.9013	11.00	15.50	10.90	1,858.4500	1,023.06
	2	1.7992	12.50	12.95	11.35	1,837.2813	979.27
	3	1.8029	11.70	15.75	9.65	1,778.2538	1,013.86
	ค่าเฉลี่ย						**1,005.40**
26.75	1	1.3656	11.60	13.30	9.40	1,450.2320	941.64
	2	2.1333	11.60	15.10	11.00	1,926.7600	1,107.20
	3	1.6095	11.40	12.00	11.30	1,545.8400	1,041.18
	ค่าเฉลี่ย						**1,030.01**
31.73	1	2.3508	11.95	16.10	11.95	2,299.1203	1,022.48
	2	2.1012	12.15	15.25	10.95	2,028.8981	1,035.64
	3	1.0590	10.10	10.90	8.35	919.2515	1,152.02
	ค่าเฉลี่ย						**1,070.05**
47.56	1	0.9326	10.30	11.10	7.35	840.3255	1,109.81
	2	0.9984	10.15	10.50	8.30	884.5725	1,128.68
	3	0.9391	9.15	11.75	7.90	849.3488	1,105.67
	ค่าเฉลี่ย						**1,114.72**
66.05	1	2.0920	12.00	14.25	10.65	1,821.1500	1,148.72
	2	2.2847	11.90	16.50	10.40	2,042.0400	1,118.83
	3	1.2032	10.80	11.70	8.30	1,048.7880	1,147.23
	ค่าเฉลี่ย						**1,138.26**
83.69	1	1.5991	10.65	11.13	10.17	1,205.4959	1,326.51
	2	1.2230	10.50	10.90	9.20	1,052.9400	1,161.51
	3	1.0643	9.70	10.25	9.70	964.4225	1,103.56
	ค่าเฉลี่ย						**1,197.19**

ตารางที่ ง. 3 ร้อยละช่องว่างของอากาศของกรือโป๊ะที่ความชื้นต่าง ๆ

ความชื้น (% d.b.)	ครั้งที่	ปริมาตรกรือโป๊ะในบีกเกอร์, V_b ($\pm$1 cm^3)	น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนเทน้ำมัน (g)	น้ำหนักบีกเกอร์หลังเทน้ำมัน (g)	ปริมาตรน้ำมันพืช ($\pm$1 cm^3)	ร้อยละช่องว่างของอากาศ ($\pm$ 6 %)
11.44	1	45	72.85	93.51	23	51.11
	2	45	72.27	93.78	23	51.11
	3	45	67.41	89.83	24	53.33
	ค่าเฉลี่ย					**51.85**
26.75	1	45	72.85	91.59	22	48.89
	2	45	72.27	91.60	23	51.11
	3	45	67.41	86.79	23	51.11
	ค่าเฉลี่ย					**50.37**
31.73	1	45	74.20	92.74	21	46.67
	2	45	72.94	91.80	21	46.67
	3	45	68.41	88.46	23	51.11
	ค่าเฉลี่ย					**48.15**
47.56	1	45	73.55	91.75	20	44.44
	2	45	74.12	91.88	20	44.44
	3	45	68.33	88.01	22	48.89
	ค่าเฉลี่ย					**45.93**
66.05	1	45	71.71	88.98	19	42.22
	2	45	74.06	91.60	19	42.22
	3	45	68.31	86.51	19	42.22
	ค่าเฉลี่ย					**42.22**
83.69	1	45	71.29	88.56	19	42.22
	2	45	72.46	90.00	18	40.00
	3	45	67.74	85.94	18	40.00
	ค่าเฉลี่ย					**40.74**