

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(19)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	17
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	17
ขอบเขตการวิจัย	17
2. วิธีการวิจัย	18
1. วัตถุประสงค์	18
2. สารเคมี	20
3. อุปกรณ์	20
4. วิธีการทดลอง	23
3. ผลการทดลอง	28
1. ปริมาณความชื้นสะสมของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	28
2. ปริมาณน้ำมันสะสมของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	32
3. ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	36
4. เปรียบเทียบการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและภายใต้สภาวะบรรยากาศ	42
5. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน	48
6. การประหยัดพลังงาน	56
7. โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิที่บริเวณใต้ผิวหนังลึกลงไปจากผิวของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา 1 มิลลิเมตรของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	71
9. การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศของผู้บริโภค	75
4. แบบจำลองคณิตศาสตร์การถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวล	79
1. ขอบเขตการศึกษาและสมมุติฐานในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์	79
2. การการถ่ายโอนความร้อน	81
3. การถ่ายโอนมวลสาร	89
5. สรุป	109
1. การศึกษาปริมาณน้ำมันที่ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาดูดซับไว้หลังการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเปรียบเทียบกับหลังการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ	109
2. การศึกษาคุณภาพน้ำมันที่ใช้หลังทอดและการประหยัดพลังงานในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเปรียบเทียบกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ	110
3. การประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลของความชื้นและน้ำมันของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	111
บรรณานุกรม	112
ภาคผนวก	116
ภาคผนวก ก. การสุ่มตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง (Sampling and Sample Preparation)	117
ภาคผนวก ข. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและปริมาณไขมัน	119
ภาคผนวก ค. กราฟแสดงการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและนิยามคำศัพท์	121
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน	123
ภาคผนวก จ. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันถั่วเหลืองสำหรับบริโภค	125
ภาคผนวก ฉ. ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของน้ำมัน	126
ภาคผนวก ช. ใบรายงานผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส	127

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ซ. การประยุกต์ใช้โปรแกรม Matlab 6.1 และการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์	128
ภาคผนวก ฉ. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอน มวลสาร	148
ภาคผนวก ช. ข้อมูลดิบ	171
ประวัติผู้เขียน	183

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 ตารางแสดงอุณหภูมิและความดันที่สภาวะต่าง ๆ	6
1-2 ตารางแสดงช่วงเวลา ปัจจัยและปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน	9
1-3 ตารางแสดงชนิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น	11
2-1 ตารางแสดงส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	18
2-2 ตารางแสดงราคาของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	19
2-3 ตารางแสดงราคาของน้ำมันถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธี	19
2-4 ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันและวิธีการทดสอบ	25
3-1 ตารางแสดงค่าสีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	37
3-2 ตารางแสดงขนาดของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาก่อนทอด	38
3-3 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	39
3-4 ตารางแสดงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	41
3-5 ตารางแสดงคุณภาพน้ำมันเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันก่อนการใช้งาน, น้ำมันที่ผ่านการทอดด้วยเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง และน้ำมันที่ผ่านการทอดด้วยกระทะ	55
3-6 ตารางแสดงค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณพลังงาน	58
3-7 ตารางแสดงพลังงานที่ใช้ในแต่ละระบบ เปรียบเทียบระหว่างการทอดภายใต้สภาวะสูญญากาศ และสภาวะบรรยากาศ	59
3-8 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบลักษณะทางประชากรในการทดสอบชิม ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2	75
3-9 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบการทดสอบชิม ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2	77
4-1 ตารางแสดงค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินการสำหรับสมการ Heat Transfer	83
4-2 ตารางแสดงค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินการสำหรับ Boundary Condition และ Solve Parameter สำหรับการถ่ายโอนความร้อน	84
4-3 ตารางแสดงค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินการสำหรับสมการ Diffusion	90
4-4 ตารางแสดงค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินการสำหรับ Boundary Condition และ Solve Parameter สำหรับการถ่ายโอนมวล	90

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1-1 ภาพแสดงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทอด	3
1-2 ภาพแสดงปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทอด	10
1-3 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันกับคุณภาพของอาหาร	12
2-1 ภาพแสดงผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ใช้ในการทดลอง	18
2-2 ภาพแสดงเครื่องทอดสุญญากาศ	21
2-3 ภาพแสดงเครื่องเหวี่ยงแยก	22
2-4 ภาพแสดงเครื่องทอดสุญญากาศและเครื่องเหวี่ยงแยก	27
3-1 กราฟแสดงปริมาณความชื้นสะสมที่อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอด 100 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 50, 60, 70 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ	29
3-2 กราฟแสดงปริมาณความชื้นสะสมที่อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอด 120 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 50, 60, 70 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ	29
3-3 กราฟแสดงปริมาณความชื้นสะสมที่อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอด 140 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 50, 60, 70 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ	30
3-4 กราฟแสดงปริมาณความชื้นสะสมที่ความดันที่ใช้ในการทอด 70 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด 100, 120, 140 องศาเซลเซียส	30
3-5 กราฟแสดงปริมาณความชื้นสะสมที่ความดันที่ใช้ในการทอด 60 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด 100, 120, 140 องศาเซลเซียส	31
3-6 กราฟแสดงปริมาณความชื้นสะสมที่ความดันที่ใช้ในการทอด 50 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด 100, 120, 140 องศาเซลเซียส	31
3-7 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันสะสมที่อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอด 100 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 50, 60, 70 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ	33
3-8 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันสะสมที่อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอด 120 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 50, 60, 70 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ	33
3-9 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันสะสมที่อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอด 140 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 50, 60, 70 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ	34

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3-10 กราฟแสดงปริมาณความชื้นสะสมที่ความดันที่ใช้ในการทอด 70 เซนติเมตรปรอท สุญญากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด 100, 120, 140 องศาเซลเซียส	34
3-11 กราฟแสดงปริมาณความชื้นสะสมที่ความดันที่ใช้ในการทอด 60 เซนติเมตรปรอท สุญญากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด 100, 120, 140 องศาเซลเซียส	35
3-12 กราฟแสดงปริมาณความชื้นสะสมที่ความดันที่ใช้ในการทอด 50 เซนติเมตรปรอท สุญญากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด 100, 120, 140 องศาเซลเซียส	35
3-13 ภาพแสดงการเปรียบเทียบสีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่สภาวะต่าง ๆ	38
3-14 ภาพแสดงทิศทางการวัดขนาดผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	39
3-15 ภาพแสดงผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาก่อนทอด(สีขาว), หลังทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (สีเหลือง) และหลังทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศจากโรงงาน(สีน้ำตาล)และการทดลอง (สีเหลืองเข้ม)	42
3-16 ปริมาณความชื้นสะสมในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (120 องศาเซลเซียส ความดัน 60 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ) เปรียบเทียบกับการทอดภายใต้สภาวะ บรรยากาศ (165 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ)	43
3-17 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันสะสมในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (120 องศาเซลเซียส 60 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ) เปรียบเทียบกับการทอดภายใต้สภาวะ บรรยากาศ (165 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ)	46
3-18 ภาพแสดงตัวอย่างน้ำมันที่ผ่าน การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (น้ำมันที่ยังไม่ผ่าน การทอด, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว 5 ครั้ง, น้ำมันที่ผ่านการ ทอดแล้ว 10 ครั้ง, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว 15 ครั้ง, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว 20 ครั้ง, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว 25 ครั้ง, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว 30 ครั้ง เรียงลำดับจากซ้าย ไปขวา)	49
3-19 ภาพแสดงตัวอย่างน้ำมันที่ผ่าน การทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ (น้ำมันที่ยังไม่ผ่าน การทอด, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว 5 ครั้ง, น้ำมันที่ผ่านการ ทอดแล้ว 10 ครั้ง, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว 15 ครั้ง, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว 20 ครั้ง, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว 25 ครั้ง, น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว 30 ครั้ง เรียงลำดับจากซ้าย ไปขวา)	49

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3-20 กราฟแสดงค่ากรดไขมันอิสระในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (120 องศาเซลเซียส ความดัน 60 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ) เปรียบเทียบกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ	50
3-21 กราฟแสดงค่าเปอร์ออกไซด์ในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (120 องศาเซลเซียส ความดัน 60 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ) เปรียบเทียบกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ	51
3-22 กราฟแสดงค่า Thiobarbaturic Acid ในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (120 องศาเซลเซียส ความดัน 60 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ)	52
3-23 กราฟแสดงค่า Color Index L (Lighness) ในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (120 องศาเซลเซียส ความดัน 60 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ) เปรียบเทียบกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ	52
3-24 กราฟแสดงค่า Color Index a (Green-red Chromaticity) ในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (120 องศาเซลเซียส ความดัน 60 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ) เปรียบเทียบกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ	53
3-25 กราฟแสดงค่า Color Index a (Blue-yellow Chromaticity) ในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (120 องศาเซลเซียส ความดัน 60 เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ) เปรียบเทียบกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ	53
3-26 ภาพแสดงตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ จากการทอดด้วยเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง และการทอดแบบกระทะจากโรงงาน เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา	54
3-27 กราฟแสดงพลังงานที่ใช้ต่อครั้งการทอดแต่ละแบบ	60
3-28 กราฟแสดงการประหยัดพลังงานในการทอดแต่ละแบบต่อการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศโดยใช้กระทะ	61
3-29 กราฟแสดงการประหยัดพลังงานในการทอดแต่ละแบบต่อการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศโดยใช้เครื่องทอดแบบต่อเนื่อง	61
3-30 ภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา ถ่ายด้วยกล้องสเตอริโอ (Stereo Microscope) ก่อนการทอด กำลังขยาย 7 เท่า ส่วนบน, ส่วนกลาง และส่วนล่าง เรียงลำดับจากบนลงล่างตามลำดับ	64

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3-31 ภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา ถ่ายด้วยกล้องสเตอริโอ (Stereo Microscope) หลังทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ (ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอด 165 องศาเซลเซียส) กำลังขยาย 75 เท่า ส่วนบน, ส่วนกลาง และส่วนล่าง เรียงลำดับจากบนลงล่างตามลำดับ	65
3-32 ภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา ถ่ายด้วยกล้องสเตอริโอ (Stereo Microscope) หลังทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (ความดันสุญญากาศ 60 เซนติเมตรปรอท อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอด 120 องศาเซลเซียส) กำลังขยาย 75 เท่า ส่วนบน, ส่วนกลาง และส่วนล่าง เรียงลำดับจากบนลงล่างตามลำดับ	66
3-33 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) ตัดขวางของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาก่อนการทอด กำลังขยาย 75 เท่า ส่วนบน, ส่วนกลาง และส่วนล่าง เรียงลำดับจากบนลงล่างตามลำดับ	68
3-34 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) ตัดขวางของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาหลังทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ (ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอด 165 องศาเซลเซียส) กำลังขยาย 75 เท่า ส่วนบน, ส่วนกลาง และส่วนล่าง เรียงลำดับจากบนลงล่างตามลำดับ	69
3-35 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) ตัดขวางของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาหลังทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (ความดันสุญญากาศ 60 เซนติเมตรปรอทอุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอด 120 องศาเซลเซียส) กำลังขยาย 75 เท่า ส่วนบน, ส่วนกลาง และส่วนล่าง เรียงลำดับจากบนลงล่างตามลำดับ	70
3-36 ภาพแสดงการวัดอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ตำแหน่งต่าง ๆ	72
3-37 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ผิวและแกนกลางผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ	72
3-38 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	73
3-39 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ	74
3-40 กราฟแสดงผลการทดสอบชิม ครั้งที่ 1	76
3-41 กราฟแสดงผลการทดสอบชิม ครั้งที่ 2	77

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-1 ภาพแสดงภาพจำลองผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร ในลักษณะตัดขวาง	79
4-2 ภาพแสดงการสร้างไฟในเอลิเมนต์ภายในภาพจำลองผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	80
4-3 ภาพแสดงการเลือกใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer)	82
4-4 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนความร้อนภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่เวลาในการทอด 150 วินาที	85
4-5 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนความร้อนภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่เวลาในการทอด 0, 1, 15, 30, 45 และ 60 วินาที เรียงลำดับจากบนลงล่างและซ้ายไปขวาตามลำดับ	86
4-6 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนความร้อนภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่เวลาในการทอด 75, 90, 105, 120, 135 และ 150 วินาที เรียงลำดับจากบนลงล่างและซ้ายไปขวาตามลำดับ	87
4-7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างผลจากการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	88
4-8 ภาพแสดงการเลือกใช้ฟังก์ชันการแพร่ (Diffusion)	89
4-9 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนความร้อนขึ้นภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่เวลาในการทอด 150 วินาที	92
4-10 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนความร้อนขึ้นภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่เวลาในการทอด 0, 1, 15, 30, 45 และ 60 วินาที เรียงลำดับจากบนลงล่างและซ้ายไปขวาตามลำดับ	93
4-11 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนความร้อนขึ้นภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่เวลาในการทอด 75, 90, 105, 120, 135 และ 150 วินาที เรียงลำดับจากบนลงล่างและซ้ายไปขวาตามลำดับ	94
4-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของความชื้นเฉลี่ยระหว่างผลจากการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	95

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-13 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนน้ำมันภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะ สุญญากาศ ที่เวลาในการทอด 150 วินาที Boundary Condition ของน้ำมันที่ผิว ผลิตภัณฑ์เท่ากับ 800	97
4-14 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนน้ำมันภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะ สุญญากาศ ที่เวลาในการทอด 150 วินาที Boundary Condition ของน้ำมันที่ผิว ผลิตภัณฑ์เท่ากับ 270	97
4-15 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนน้ำมันภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะ สุญญากาศ Boundary Condition ของน้ำมันที่ผิวผลิตภัณฑ์เท่ากับ 800 ที่เวลาในการ ทอด 0, 1, 15, 30, 45 และ 60 วินาที เรียงลำดับจากบนลงล่างและซ้ายไปขวาตามลำดับ98	
4-16 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนน้ำมันภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะ สุญญากาศ Boundary Condition ของน้ำมันที่ผิวผลิตภัณฑ์เท่ากับ 800 ที่เวลาในการ ทอด 75, 90, 105, 120, 135 และ 150 วินาที เรียงลำดับจากบนลงล่างและซ้ายไปขวา ตามลำดับ	99
4-17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำมันเฉลี่ยระหว่างผลจากการทดลองกับ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Boundary Condition ของน้ำมันที่ผิวผลิตภัณฑ์เท่ากับ 800	101
4-18 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนน้ำมันภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะ สุญญากาศ Boundary Condition ของน้ำมันที่ผิวผลิตภัณฑ์เท่ากับ 270 ที่เวลาในการ ทอด 0, 1, 15, 30, 45 และ 60 วินาที เรียงลำดับจากบนลงล่างและซ้ายไปขวาตาม ลำดับ	102
4-19 ภาพสองมิติแสดงการถ่ายโอนน้ำมันภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะ สุญญากาศ Boundary Condition ของน้ำมันที่ผิวผลิตภัณฑ์เท่ากับ 270 ที่เวลาในการ ทอด 75, 90, 105, 120, 135 และ 150 วินาที เรียงลำดับจากบนลงล่างและซ้ายไปขวา ตามลำดับ	103
4-20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำมันเฉลี่ยระหว่างผลจากการทดลองกับ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Boundary Condition ของน้ำมันที่ผิวผลิตภัณฑ์เท่ากับ 270	105

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-21 กราฟแสดงอัตราการดูดซึมน้ำมันของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาในการทอดภายใต้สภาวะ สุญญากาศ	107

ตัวย่อและสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ผิว (m^2)
A_s	=	พื้นที่ผิว (m^2)
a	=	Green-red Chromaticity
atm	=	สภาวะบรรยากาศ (Atmospheric Condition)
BC	=	Boundary Condition
b	=	Blue-yellow Chromaticity
Center	=	ตำแหน่งกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (mm)
c	=	ความเข้มข้น ($kJ/kg\ ^\circ C$)
cm	=	เซนติเมตร
cm^2	=	ตารางเซนติเมตร
cm^3	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
cm Hg	=	เซนติเมตรปรอท
cm Hg vacuum	=	เซนติเมตรปรอทสุญญากาศ
C_p	=	ค่าความจุความร้อน ($kJ/kg\ ^\circ C$)
$^\circ C$	=	องศาเซลเซียส
dc/dt	=	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ($kg/m^2\ s$)
dT/dt	=	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ($^\circ C/s$)
D	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ (m^2/s)
Ef	=	ประสิทธิภาพปั๊ม (Efficiency of Pump, %)
Exp	=	การทดลอง (Experiment)
FFA	=	ค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty acid)
GUI	=	Graphic User Interfaces
g	=	กรัม
Surface	=	ตำแหน่งซึ่งลึกกว่าบริเวณผิวของชิ้นตัวอย่างประมาณ 1 มิลลิเมตร (mm)
h	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนแบบการพา ($W/m^2\ ^\circ C$)
hr	=	ชั่วโมง
k	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนแบบการนำ ($W/m\ ^\circ C$)

ตัวย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

kg	= กิโลกรัม
kPa	= กิโลปาสคาล
L	= Lightness
L	= ลิตร
m	= มวลสาร (kg)
m_i	= อัตราการไหลของมวล (kg/hr)
model	= แบบจำลองคณิตศาสตร์
N	= นิวตัน
Ns	= นิวตัน วินาที
P	= ความดัน (cm Hg)
P	= กำลัง (W)
PDE	= สมการย่อยเชิงอนุพันธ์ (Partial Differential Equation)
PV	= ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)
Q	= พลังงานความร้อน (kJ)
Q_{vap}	= พลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (J)
\dot{Q}_{heat}	= การระเหยที่ผิวหน้า (J/m^3s)
Q_{mass}	= การระเหยหรือการดูดซึมที่ผิวหน้า (kg/m^3s)
rpm	= รอบต่อนาที (round per minute)
s	= วินาที
T	= อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
TBA	= ค่า Thiobarbaturic Acid
T_{ext}	= อุณหภูมิภายนอก ($^{\circ}C$)
t	= เวลา (s)
$U(t_0)$	= อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ ($^{\circ}C$)
V	= ปริมาตร (m^3)
vac	= สภาวะสุญญากาศ (Vacuum Condition)
W	= วัตต์

ตัวย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

W_{work}	= งาน (J)
w_c	= water content (%)
X	= ระยะห่างระหว่างความเข้มข้น 2 จุดที่กำลังพิจารณา (m)
%	= ร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์
%w.b.	= ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก
ΔT	= ค่าความต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
λ	= ค่าความร้อนแฝงของน้ำ (kJ/kg)
ρ	= ความหนาแน่นของตัวอย่าง (kg/m^3)