สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบาญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
รายการตัวย่อและสัญลักษณ์	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
1.1 การแปรรูปอาหาร	2
1.2 กระบวนการทอด	2
1.3 สภาวะสุญญากาศ	13
1.4 การทอดในระบบสุญญากาศ	15
1.5 การถ่ายโอนความร้อนในการแปรรูปอาหาร	17
1.6 การถ่ายโอนมวลในการแปรรูปอาหาร	22
1.7 ไฟไนต์เอลิเมนต์	25
1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
1.9 วัตถุประสงค์ของโครงการ	34
1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	34

สารบาญ(ต่อ)

	หน้า
2. วิธีการวิจัย	35
2.1 วัสดุ	35
2.2 อุปกรณ์	35
2.3 วิธีดำเนินการ	37
2.3.1 ศึกษาข้อมูลของการทอดผักและผลไม้ที่สภาวะสุญญากาศ	37
2.3.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	38
2.3.3 ศึกษาการถ่ายโอนมวลสารและความร้อนในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	38
2.3.4 ศึกษาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประยุกต์ใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	38
3. ผลและบทวิจารณ์	43
3.1 ผลการศึกษาข้อมูลการทอดผักและผลไม้ที่สภาวะสุญญากาศ	43
3.2 ผลของการทอดต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์	52
3.3 การถ่ายโอนความร้อนและมวลสารในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	53
3.4 ประยุกต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	54
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	61
4.1 บทสรุป	61
4.2 ข้อเสนอแนะ	62
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและปริมาณไขมัน	67
ภาคผนวก ข. ใบรายงานการทดสอบแบบ Hedonic Scale และ Face Scale	71
ภาคผนวก ค. องค์ประกอบทางเคมีของมันฝรั่งสดและฝรั่งสด	73
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ผลของการทดลองด้วยโปรแกรม SPSS for Windows	79

สารบาญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ. เปรียบเทียบปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำมันภายในระหว่างผลจากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชิ้นมันฝรั่งขนาด 5.0 x 5.0 x 0.5 cm โดยใช้อุณหภูมิในกระบวนการทอด 120°C ความดัน 60 mm Hg 82

ภาคผนวก ฉ. สมการหาค่าของตัวแปรในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 83

ภาคผนวก ช. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการถ่ายโอนความร้อนและมวลสาร 84

ประวัติผู้เขียน 109

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 เปรียบเทียบองค์ประกอบของมันฝรั่งฝานบางที่ทอดในระบบสุญญากาศและบรรยากาศ	16
1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนแบบการพาของของไหลบางชนิด	21
2.1 ค่าของตัวแปรสำหรับมันฝรั่งทอดที่อุณหภูมิ 120°C และ ความดัน 60 mmHg	41
3.1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ใช้สภาวะสุญญากาศและสภาวะบรรยากาศ	52
ค.1 องค์ประกอบทางเคมีของมันฝรั่งสด	73
ค.2 องค์ประกอบทางเคมีของฝรั่งสด	76
ง.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	79
ง.2 T-Test	81
จ.1 ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละตัวอย่าง	82
จ.2 ปริมาณน้ำมันที่ดูดซับภายในตัวอย่าง	82

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1.1 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง 4
1.2 การถ่ายโอนความร้อนและมวลสาร 5
1.3 ระบบการทอดอย่างต่อเนื่องในน้ำมันท่วม 7
1.4 การเรียงตัวแบบต่าง ๆ ของสายพานในเครื่องทอด 8
1.5 การดูดอากาศออกจากแชมเบอร์สุญญากาศ 13
1.6 กระบวนการทอดผักและผลไม้ในระบบสุญญากาศ 15
1.7 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อน 20
1.8 ผลของปริมาณน้ำที่มีต่อค่าสภาพนำของของเหลว 22
1.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับการต้านทานต่อการแพร่ 24
1.10 การวิเคราะห์หาผลเฉลยบนแผ่นอลูมิเนียมด้วยการใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ 25
1.11 การถ่ายโอนความร้อนทั่วไปในสามมิติ 27
2.1 อุปกรณ์ในการวิจัย 35
2.2 ชิ้นตัวอย่างที่เสียบสายวัดอุณหภูมิบริเวณกึ่งกลางและผิวของตัวอย่าง 37
2.3 ชิ้นตัวอย่างขนาด 5.0 x 5.0 x 0.5 cm ถูกแบ่งออกเป็น 704 เอลิเมนต์ 42
3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในบริเวณต่าง ๆ ขณะทอดตัวอย่างชิ้นมันฝรั่ง 43
3.2 ผลของอุณหภูมิทอดต่ออัตราการสูญเสียความชื้นในชิ้นมันฝรั่งที่ระดับความดันต่างกัน 45
3.3 ผลการทดลองของความดันสุญญากาศต่ออัตราการสูญเสียความชื้นที่อุณหภูมิของน้ำมันต่างกัน 46
3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความชื้นและระยะเวลาในการทอดฝรั่ง 48
3.5 การดูดซับน้ำมันในการทอดฝรั่ง 49
3.6 เปรียบเทียบการทอดมันฝรั่ง (หนา 1 mm) ระหว่างสภาวะบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ 51

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

3.7 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 55

3.8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น 55

3.9 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันภายในชิ้นตัวอย่าง 55

3.10 ภาพ 3 มิติแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของการทอดตัวอย่างมันฝรั่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 56

3.11 ภาพ 2 มิติแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในของการทอดตัวอย่างมันฝรั่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 59

3.12 ภาพ 2 มิติแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงน้ำมันภายในของการทอดตัวอย่างมันฝรั่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 60

ก.1 อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน 69

ก.2 วิธีการห่อตัวอย่างก่อนสกัด 70

ตัวย่อและสัญลักษณ์

A	= พื้นที่ผิว (m^2)
c	= ความเข้มข้น (kg/m^3)
C_p	= ความร้อนจำเพาะ ($kJ/kg\ ^oC$)
center	= ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง
D	= สัมประสิทธิ์การแพร่ (m^2/s)
edge	= ตำแหน่งซึ่งลึกกว่าบริเวณผิวของชิ้นตัวอย่างประมาณ 1 mm
h	= สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนแบบการพา ($W/m^2\ ^oC$)
k	= สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนแบบการนำ ($W/m\ ^oC$)
m	= มวลสาร (kg)
$\dot{m}_i$	= อัตราการไหลของมวล (kg/hr)
P	= ความดัน (mm Hg)
PDE	= (Partial Differential Equation) สมการย่อยเชิงอนุพันธ์
Q_{heat}	= Heat Source (J)
Q_{mass}	= Volume Source ($kg\ mol/m^2\ s$)
q_i	= อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี เมื่อ $i = c, h$ และ r ตามลำดับ
T	= อุณหภูมิ (^oC)
% w.b.	= ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก
α	= สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน (absorptivity)
ε	= สัมประสิทธิ์การแผ่รังสี (emissivity)
ρ	= ความหนาแน่น (kg/m^3)
σ	= ค่าคงที่ของซเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann constant)