

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูปภาพ	ซ
สารบัญตาราง	ฐ
รายการสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับโครงการ	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีการออกแบบและการทดลอง	17
3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและทำการออกแบบการทดลอง	17
3.2 การทดลอง	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	22
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	30
5.1 วิจัยรณั้และสรุปผลการทดลอง	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม	32
ภาคผนวก	33
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลองทั้งหมด	34
ภาคผนวก ข สรุปผลการคำนวณทั้งหมดของการทดลอง	64

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของความเร็วและอุณหภูมิของของไหลบนแผ่นวัตถุของการพาความร้อนแบบบังคับ	5
รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของความเร็วและอุณหภูมิของของไหลบนแผ่นวัตถุของการพาความร้อนแบบอิสระ	6
รูปที่ 2.3 ช่วงการไหลแบบ Laminar ช่วง Transient และช่วงการไหลแบบ Turbulent ของชั้น Boundary – layer ในของไหลบนแผ่นวัตถุ	7
รูปที่ 2.4 Profile ความเร็วของการไหลในท่อที่มีการไหลแบบ (a) แบบ Laminar (b) แบบ Turbulent	9
รูปที่ 2.5 การแพร่ของแก๊สสองชนิดสวนทางกัน	12
รูปที่ 2.6 ลักษณะของการเกิดบาดารีเลเยอร์ที่เกิดบนแผ่นเรียบ	13
รูปที่ 2.7 Regression curves of Nu vs Re for hamburger in belt freezers for different types of air flow at $T_a = 248$ K	15
รูปที่ 2.8 Predicted variation of Sh vs Re hamburgers at different air Temperatures and for air flow parallel to the belt	15
รูปที่ 2.9 Predicted variation of Sh vs Re hamburger at $T_a = 248$ K and for different types of air flow	16
รูปที่ 3.1 เนื้อที่ใช้ในการทดลอง	17
รูปที่ 3.2 เครื่องอบที่ใช้ในการทดลอง	18
รูปที่ 3.3 มีดที่ใช้ในการทดลอง	18
รูปที่ 3.4 ภาชนะใส่เนื้อที่ใช้ในการทดลอง	18
รูปที่ 3.5 เทอร์โมคัปเปิ้ลที่ใช้ในการทดลอง	19
รูปที่ 3.6 เนื้อที่ใช้ในการทดลอง	19
รูปที่ 3.7 ตาชั่งน้ำหนักที่ใช้ในการทดลอง	19
รูปที่ 3.8 Data Locker ที่ใช้ในการทดลอง	20

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความเร็วลม	20
รูปที่ 3.10 นำเนื้อเข้าเครื่องอบแล้วทำการเสียบสายเทอร์โมคัปเปิ้ลในเนื้อ	21
รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนความเร็วลมโดยจะใช้ความเร็วลมที่ 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 และ 1.0 เมตร/วินาที ตามลำดับ	21
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิ	23
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียส	26
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียส	27
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส	28
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส	29
รูปที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส และความเร็วลมที่ 0.3 เมตร/วินาที	35
รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส และความเร็วลมที่ 0.5 เมตร/วินาที	36
รูปที่ ก.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส และความเร็วลมที่ 0.7 เมตร/วินาที	37
รูปที่ ก.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส และความเร็วลมที่ 0.9 เมตร/วินาที	38
รูปที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส และความเร็วลมที่ 1.0 เมตร/วินาที	39
รูปที่ ก.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 45 องศาเซลเซียส และความเร็วลมที่ 0.3 เมตร/วินาที	40

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.3 เมตร/วินาที	54
รูปที่ ก.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.5 เมตร/วินาที	55
รูปที่ ก.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.7 เมตร/วินาที	56
รูปที่ ก.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.9 เมตร/วินาที	57
รูปที่ ก.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 1.0 เมตร/วินาที	58
รูปที่ ก.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.3 เมตร/วินาที	59
รูปที่ ก.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.5 เมตร/วินาที	60
รูปที่ ก.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.7 เมตร/วินาที	61
รูปที่ ก.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.9 เมตร/วินาที	62
รูปที่ ก.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสและความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที	63
รูปที่ ข.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส	65
รูปที่ ข.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส	66
รูปที่ ข.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 45 องศาเซลเซียส	67

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 45 องศาเซลเซียส	67
รูปที่ ข.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 50 องศาเซลเซียส	68
รูปที่ ข.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 50 องศาเซลเซียส	69
รูปที่ ข.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 52 องศาเซลเซียส	70
รูปที่ ข.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 52 องศาเซลเซียส	70
รูปที่ ข.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียส	71
รูปที่ ข.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียส	72
รูปที่ ข.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 50 52 และ 55 องศาเซลเซียส	72
รูปที่ ข.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับ Reynolds Number ที่อุณหภูมิคงที่ 50 52 และ 55 องศาเซลเซียส	73

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียสและ ความเร็วลมที่ 0.3 เมตร/วินาที	22
ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลของเนื้อวัว ที่อุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียส	26
ตารางที่ ก.1 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.3 เมตร/วินาที	35
ตารางที่ ก.2 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.5 เมตร/วินาที	36
ตารางที่ ก.3 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.7 เมตร/วินาที	37
ตารางที่ ก.4 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.9 เมตร/วินาที	38
ตารางที่ ก.5 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 1.0 เมตร/วินาที	39
ตารางที่ ก.6 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 45 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.3 เมตร/วินาที	40
ตารางที่ ก.7 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 45 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.5 เมตร/วินาที	41
ตารางที่ ก.8 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 45 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.7 เมตร/วินาที	42
ตารางที่ ก.9 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 45 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.9 เมตร/วินาที	43
ตารางที่ ก.10 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 45 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 1.0 เมตร/วินาที	44

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.24 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 1.0 เมตร/วินาที	58
ตารางที่ ก.25 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.3 เมตร/วินาที	59
ตารางที่ ก.26 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.5 เมตร/วินาที	60
ตารางที่ ก.27 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.7 เมตร/วินาที	61
ตารางที่ ก.28 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 0.9 เมตร/วินาที	62
ตารางที่ ก.29 ผลของการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 1.0 เมตร/วินาที	63
ตารางที่ ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลของเนื้อวัว ที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส	65
ตารางที่ ข.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลของเนื้อวัว ที่อุณหภูมิคงที่ 45 องศาเซลเซียส	66
ตารางที่ ข.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลของเนื้อวัว ที่อุณหภูมิคงที่ 50 องศาเซลเซียส	68
ตารางที่ ข.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลของเนื้อวัว ที่อุณหภูมิคงที่ 52 องศาเซลเซียส	69
ตารางที่ ข.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลของเนื้อวัว ที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียส	71

รายการสัญลักษณ์

C_p	Heat Capacity (J/kg K)
d	Diameter (m)
D_a	Diffusion Coefficients of Water Vapour in Air (m^2/s)
h	Heat Transfer Coefficient ($W/m^2 K$)
K	Mass Transfer Coefficient ($kg/m^2 s$)
Nu	Nusselt Number ($= hd/k_a$)
Pr	Prandtl Number ($= c_p \mu_a / k_a$)
Re	Reynolds Number ($= v_a d \rho_a / \mu_a$)
Sc	Schmidt Number ($= \mu_a / \rho_a D_a$)
Sh	Sherwood Number ($= Kd / \rho_a D_a$)
t	Time (s)
T	Temperature (K)
v	Velocity (m/s)
x	Axial Coordinate (m)
ρ	Density (kg/m^3)
μ	Viscosity (kg/ms)

Subscripts

a	Air
f	Evaluated at Film Temperature
m	Meat
p	Plane Plate Surface
s	Sphere Surface
sur	Surface