



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง
Design and Construction of a Thin layer Dryer

โดย

อาจารย์วีระ ศรีอริยะกุล
อาจารย์วุฒิกรณ์ จรรย์ตันติเวทย์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

2550

ชื่อเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง

ผู้วิจัย : อาจารย์วีระ ศรีอริยะกุล, อาจารย์วุฒิกรณ์ จริยตันติเวช

สถาบัน : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ปีที่พิมพ์ : 2550

สถานที่พิมพ์ : วิศวกรรมอุตสาหกรรม แหล่งที่เก็บรายงานฉบับสมบูรณ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

จำนวนหน้างานวิจัย : 102 หน้า คำสำคัญ : ชั้นบาง, ข้าวเปลือก และ อบแห้ง

ลิขสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ในการทำงานวิจัยนี้ เพื่อร่วมศึกษา และออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคแบบชั้นบาง โดยพิจารณาผลของอิทธิพลของความเร็วลมของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก โดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นวัสดุอบแห้ง มวล 500 กรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 25% w.b. หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกมาผ่านการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนมาเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยให้ความเร็วอากาศร้อนก่อนเข้าห้องอบแห้งเท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s ความสูงของเบดข้าวเปลือก 2 cm อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก 100 °C จนกระทั่งความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 18 - 20% w.b. หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 14 วัน (32 °C) จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 12 - 14% w.b. แล้วจึงนำไปทดสอบคุณภาพ จากการทดลองพบว่า การใช้อุณหภูมิอากาศร้อนที่ 100 °C ที่เวลาในการอบแห้ง 6 - 7 นาที ที่ความเร็วลม 0.3 m/s มีอิทธิพลต่อคุณภาพของข้าวเปลือก โดยที่ร้อยละต้นข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่าสูงสุดที่ 44.61 ในขณะที่ค่าความขาวเท่ากับ 45.4 (อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือมากกว่า 35) และร้อยละข้าวท้องไข่ (White belly) อยู่ที่ 2.3

Title : Design and Construction of a Thin layer Dryer

Researcher: Mr.Weera Sriariyakul , Mr.Wuttikon Jariyatontivait

Institution: Dhurakij Pundit University

Year of Publication : 2007

Publisher: Industrial Engineer

Sources: Dhurakij Pundit University

No. of page :102 page

Keyword: Thinlayer, Paddy and Drying Copy right : Dhurakij Pundit University

Abstract

The objective of this research is to study and design thin layer dryer by considering three significant factors and the long grain paddy of Supanburi 1. These are the temperature and velocity of hot air and bed depth. The temperature of hot air sets 100 °C. The velocity of hot air sets at 0.1, 0.2 and 0.3 m/s. The bed depth sets at 2 cm. This research uses paddy with initial moisture content 25% w.b.. Then the experiment is conducted and the result is obtained that paddy moisture is reduced to approximate 18 - 20% w.b. After that, the paddy was ventilated with air for 14 day (32 °C) until the final moisture content was 12 - 14% w.b. The experimental resulted drying temperature hot air 100 °C, drying time 6-7 min velocity of hot air sets at 0.3 m/s showed that the head rice yield is 44.61%, whiteness is 45.4 (whiteness to allow of paddy higher 35) and white belly is 2.3

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ประจำปี 2550 ห้องปฏิบัติการเคมีและห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรมของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือวัดตลอดจนห้อง Lab เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลองการอบข้าวเปลือก และเครื่องมือที่ใช้ในการสีข้าว

ประโยชน์อันใดที่มีต่อประเทศชาติ และกลุ่มบุคคลซึ่งได้จากงานวิจัยนี้ ผู้เขียนใคร่ขอยกความดี และประโยชน์ทั้งหลายเหล่านี้ให้กับบุคคลต่างๆ ที่ได้กล่าวมา และบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง แต่ไม่ได้กล่าวถึง

อาจารย์วีระ ศรีอริยะกุล
อาจารย์วุฒิกรณ์ จรรย์ตันติเวชย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 การอบแห้งด้วยอากาศร้อน	5
2.3 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช	7
2.4 ลักษณะทั่วไปของข้าว	7
2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษา	9
2.6 การระบายอากาศในกองข้าว	9
2.7 การเกิดเจลาทีโนเซชัน	10
2.8 สมการสำหรับออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง	11
2.9 การคำนวณหาความร้อน	15
2.10 การคำนวณกำลังงานที่ใช้จริงของระบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง	16

บทที่ 3 การออกแบบและคำนวณ	17
3.1 การออกแบบห้องอบแบบชั้นบาง	19
3.2 เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง	19
3.3 แสดงการคำนวณหาความดันที่สูญเสียในแต่ละอุปกรณ์	22
3.4 พลังงานที่ใช้จริงของระบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง	35
3.5 การคำนวณหาความร้อน	36
บทที่ 4 วิธีการดำเนินการวิจัย	37
4.1 อุปกรณ์การทดลอง	37
4.2 วิธีการทดลอง	39
4.3 การทดสอบคุณภาพข้าว	40
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์	43
5.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกและความเร็วลมของอากาศร้อน	43
5.2 การเปลี่ยนแปลงของร้อยละต้นข้าว	44
5.3 การเปลี่ยนแปลงความขาวของข้าวสาร	45
5.4 การเปรียบเทียบร้อยละข้าวท้องไข่ (White belly)	46
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	47
6.1 สรุปผลการวิจัย	47
6.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	51
ก. ตารางหมวดครุภัณฑ์ และตารางหมวดวัสดุ	51
ข. ข้อมูล และผลที่เกี่ยวข้องในการทดลอง	69
ค. รูปขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง	78
ง. ตารางและภาพแสดงคุณสมบัติของวัสดุ	91
จ. การคำนวณหาหน้าหน้กน้ำ	95

๓. เครื่องมือวัดและอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง 97

ประวัติผู้เขียน 100

DPU

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงของข้าวสารเก็บที่ 28 - 30 °C	10
2.2 ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนเซชันของธัญพืชชนิดต่าง ๆ	11
ก.1 หมวคครุภัณฑ์	52
ก.2 หมวควัสดุ	52
ข.1 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยความเร็วลม 0.1, 0.2, 0.3 m/s ที่อุณหภูมิ 100 °C ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b.	70
ข.2 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.1 m/s ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C	71
ข.3 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.2 m/s ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C	72
ข.4 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.3 m/s ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C	73
ข.5 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.1 m/s ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C (เวลา 0 - 9 นาที)	74
ข.6 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.2 m/s ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C (เวลา 0 - 9 นาที)	75
ข.7 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.3 m/s ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C (เวลา 0 - 9 นาที)	76
ข.8 คุณภาพหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิมอบแห้ง 100 °C ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 25% w.b.	77
ข.9 คุณภาพหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิมอบแห้ง 100 °C ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 25% w.b.	77
ง.1 ตารางแสดงค่าความขรุขระของท่อชนิดต่าง ๆ	92
ง.2 แสดงค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียรองที่อุปกรณ์ต่าง ๆ (k)	93

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง	6
2.2 โครงสร้างภายในเมล็ดข้าว	7
3.1 ไดอะแกรมแสดงด้านหน้าของเครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง	18
3.2 ไดอะแกรมแสดงด้านข้างของเครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง	19
4.1 ไดอะแกรมของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง	37
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพการขัดสี	42
4.3 เครื่องทดสอบความขาวของข้าวสาร kett C-300	42
5.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วย อุณหภูมิอากาศ 100 °C ความสูงเบด 2 cm ความเร็วลมของอากาศร้อน 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s	43
5.2 การเปลี่ยนแปลงของร้อยละต้นข้าว	44
5.3 การเปลี่ยนแปลงความขาวของข้าวสาร	45
5.4 การเปรียบเทียบร้อยละข้าวท้องไข้ (White belly)	46
ค.1 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ บนกระดาด	79
ค.2 การนำแบบกระดาดมาวางลงแผ่นแสดงตนเลส	79
ค.3 การตัดแสดงตนของกล่อง Heater	80
ค.4 การตัดแสดงตนรูปกรวยของห้องอบแห้ง	80
ค.5 การเชื่อมกรวย	81
ค.6 การเชื่อมต่อสามทาง	81
ค.7 การเจาะรูหน้าแปลน	82
ค.8 หน้าแปลนที่เจาะรูเสร็จแล้ว	82
ค.9 การนำหน้าแปลนมาเชื่อมกับท่อแสดงตนเลสตรง	83
ค.10 การนำหน้าแปลนมาเชื่อมกับท่อแสดงตนเลสโค้ง	83
ค.11 การทำวาล์ว เปิด-ปิด	84
ค.12 วาล์วเปิด-ปิดภายในท่อของห้องอบแห้ง	84
ค.13 การทำห้องอบแห้งแบบชั้นบาง	85
ค.14 การทำห้องอบแห้งแบบชั้นบาง	85
ค.15 การประกอบกล่อง Heater เข้ากับห้องอบแห้ง	86

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ค.16 การประกอบห้องอบแห้งแบบชั้นบาง	86
ค.17 การประกอบ Blower เข้ากับท่อดูดอากาศเข้า	87
ค.18 การประกอบ Blower เข้ากับกล่อง Heater	87
ค.19 การติดตั้งส่วนต่างๆ ของเครื่องอบแห้งภายในห้องปฏิบัติการงานโครงการ	88
ค.20 การติดตั้งตัวเครื่องห้องอบแห้งภายในห้องปฏิบัติการงานโครงการ	88
ค.21 เครื่องอบแห้งแบบชั้นบางภายในห้องปฏิบัติการงานโครงการ	89
ค.22 เครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง	89
ค.23 การประกอบชุดตู้ควบคุมไฟฟ้า	90
ค.24 ชุดตู้ควบคุมไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง	90
ง.1 ภาพ Moody Diagram	94
ฉ.1 Heater แบบขาด	98
ฉ.2 พัดลม (blower) แบบใบพัดโค้ง	98
ฉ.3 เครื่อง kett C-300	98
ฉ.4 เครื่องชั่ง ซึ่งสามารถชั่งได้สูงสุด 600 g	98
ฉ.5 เครื่องชั่ง ซึ่งสามารถชั่งได้สูงสุด 1200 g	98
ฉ.6 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K	98
ฉ.7 ครงดาขาย	99
ฉ.8 ตู้ควบคุม Inverter	99
ฉ.9 ตู้ควบคุม อุณหภูมิ	99
ฉ.10 ตู้แสดงอุณหภูมิที่วัดแต่ละจุด	99

สารบัญสัญลักษณ์และคำย่อ

Hold up	คือ	ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบ, kg
A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจายอากาศ, m ²
L	คือ	ความสูงเบดในห้องอบแห้ง, m
ρ_p	คือ	ความหนาแน่นปรากฏของเมล็ดข้าวเปลือก, kg/m ³
F	คือ	อัตราการป้อนของเมล็ดข้าวเปลือก, kg/minute
t	คือ	เวลาที่เมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง, minute
L_1	คือ	ความสูงเบดนี้้ง, m
ε_1	คือ	สัดส่วนช่องว่างอากาศของเมล็ดข้าวเปลือกขณะเบดนี้้ง
Power	คือ	กำลังงาน, W
ΔP	คือ	ความดันรวมทั้งระบบ, Pa
Q	คือ	อัตราการไหลในระบบ, m ³ /s
C	คือ	ความร้อนจำเพาะของอากาศแวดล้อม, kJ/kg °C
ρ_a	คือ	ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม, kg/m ³
Q_a	คือ	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศแวดล้อม, m ³ /s
T_a	คือ	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, °C
T_{max}	คือ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง, °C
ΔP_a	คือ	ความดันลดที่แผ่นกระจายอากาศ, Pa
ΔP_d	คือ	ความดันลดที่แผ่นตะแกรงคักฝุ่น, Pa
ΔP	คือ	ความดันลดในเบด, Pa
D_h	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิก, m
A	คือ	พื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม, m ²
P	คือ	ความยาวด้านทั้ง 4 ด้าน, m

สารบัญสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศร้อน, kg/m^3
V	คือ	ความเร็วของอากาศภายในท่อ, m/s
D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่อากาศไหลผ่าน, m
ε	คือ	ค่าความขรุขระของผิวภายในท่อ, m
μ	คือ	ค่าความหนืดของอากาศร้อน, $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$
θ	คือ	ค่ามุมของท่อที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้น
D_{in}	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า
D_{out}	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางทางออก
ΔP	คือ	ความดันลดลงของอากาศ, Pa
f	คือ	แฟกเตอร์ความเสียดทาน
k	คือ	แฟกเตอร์ความสูญเสียตรง
L	คือ	ความยาวท่อ, m
Q	คือ	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเบด, m^3/s
V	คือ	ความเร็วของอากาศที่ผ่านเบด, m/s
A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของเบดที่อากาศไหลผ่าน, m^2
ΔP	คือ	ความดันลดลงของอากาศในห้องอบแห้ง, Pa
ρ_t	คือ	ความหนาแน่นจริงของเมล็ดข้าวเปลือก, kg/m^3
ρ_a	คือ	ความหนาแน่นของอากาศล้อม, kg/m^3
g	คือ	ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m/s^2

สารบัญสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

w.b.	คือ	wet basis
d.b.	คือ	dry basis
kg	คือ	kilogram
m	คือ	meter
min	คือ	minuter
mm	คือ	millimeter
m ²	คือ	square meter
m ³	คือ	cubic meter
N	คือ	newton
kg/m ³	คือ	kilogram per cubic meter
kg/kmol	คือ	kilogram per kilomolecular
kg/h	คือ	kilogram per hour
kg/s	คือ	kilogram per second
kJ/kmol	คือ	kilojoule per kilomolecular
kJ/kg	คือ	kilojoule per kilogram
m ² /s	คือ	square meter per second
m/s	คือ	meter per second
mm/s	คือ	millimeter per second

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเศรษฐกิจของประเทศไทยเราต้องพึ่งพาเศรษฐกิจโลกเป็นอย่างมาก เนื่องจากรายได้ส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์ มาจากการค้าระหว่างประเทศ ทำให้รัฐบาลจำเป็นต้องติดตามความเคลื่อนไหวของกลุ่มเศรษฐกิจการค้าต่างๆ ของโลก เพื่อจัดทำข้อตกลงเป็นกติกการค้าระหว่างประเทศกว่า 130 ประเทศ เรียกว่า องค์การการค้าโลก (WTO World Trade Organization) ซึ่งมีมูลค่าการค้าขายถึง 4 ใน 5 ของโลกโดยประเทศไทยเป็นสมาชิกด้านความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) ทำให้สามารถผลิตข้าวที่มีคุณภาพได้ ซึ่งการส่งออกข้าวที่ถือว่าเป็นสินค้าหลักของประเทศไทย อาจมีผลกระทบได้ จากที่เคยส่งออกข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลกติดต่อกันมานานหลายปี อาจต้องเผชิญกับปัญหาการแข่งขันทางการตลาดมากขึ้น รองลงมาคือประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วนอันดับสามคือ ประเทศเวียดนาม ซึ่งปฏิรูปโครงสร้างให้เป็นระบบเสรีจึงสามารถปรับสภาพของประเทศจากการเป็นผู้นำข้าวกลายเป็นผู้ส่งออกข้าว ดังนั้นประเทศไทยจำเป็นต้องปรับปรุงแนวทางการพัฒนาการผลิตข้าว โดยเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การตลาด การปรับปรุงคุณภาพของข้าวให้ดีขึ้น ให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ตลอดจนพัฒนากระบวนการแปรรูปข้าวเพื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นให้มีมูลค่าที่สูงขึ้น

1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษา

ปัจจุบันความต้องการข้าวเปลือกทางอุตสาหกรรมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากข้าวเปลือก หรือกระทั่งเป็นการส่งออกเพื่อใช้สำหรับการประกอบอาหารไทยในต่างประเทศซึ่งการอบแห้งข้าวเปลือกก็เป็นอีกวิธีหนึ่งของการแปรรูปผลผลิตข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรมให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค โดยเทคนิคในการอบแห้งข้าวเปลือกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นลักษณะสเปรย์ (Spray drying) ซึ่งต้องลงทุนสูงทำให้ต้นทุนในการอบแห้งมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน โดยเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจและกำลังได้รับความนิยมมากในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร คือเทคนิคการอบแบบชั้นบาง โดยมีต้นทุนในการผลิตไม่สูงมากนัก เหมาะสำหรับการเกษตรกรในประเทศไทย ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำไปอบแห้งข้าว, ข้าวโพด, ถั่วเหลือง เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง
2. เพื่อศึกษาจนผลศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง
3. เพื่อศึกษาคุณภาพของข้าวเปลือกโดยผ่านกระบวนการอบแห้งแบบชั้นบาง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พันธุ์ข้าวที่ใช้ คือ ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1
2. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก 100 °C
3. ความเร็วของอากาศร้อน 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s
4. ความสูงของเบคข้าวเปลือก 2 cm
5. คุณภาพของข้าวเปลือกที่ทำการวิเคราะห์มีดังนี้ ร้อยละต้นข้าว, ค่าความขาว และร้อยละ white belly
6. เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองที่ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 25% w.b. หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกมาอบให้แห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 18 - 20% w.b.

1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องอบแห้งแบบชั้นบางที่ใช้ความเร็วลมของอากาศร้อนสำหรับอบแห้งข้าวเปลือก และผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
2. ได้ความเร็วลมของอากาศร้อนที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบชั้นบาง
3. ได้คุณภาพของข้าวเปลือกหลังการอบตรงตามความต้องการของอุตสาหกรรม
4. เป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้า และวิจัยต่อไปในอนาคต

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. กำหนด และออกแบบระบบเครื่องอบแห้ง
3. จัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ และสร้างเครื่องอบแห้ง
4. ทำการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้ง
5. รวบรวมข้อมูล, ประเมินผล, วิเคราะห์สรุปผล และเขียนรายงานวิจัย

ขั้นตอน	พ.ศ. 2550 - 2551							
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1. ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	↔							
2. กำหนด และออกแบบระบบเครื่อง อบแห้ง	↔	↔						
3. จัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ และสร้างเครื่อง อบแห้ง			↔	↔	↔			
4. ทำการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกด้วย เครื่องอบแห้ง						↔	↔	
5. รวบรวมข้อมูล ประเมินผล วิเคราะห์ สรุปผลและ เขียนรายงานวิจัย						↔	↔	↔

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎี

การศึกษาเกี่ยวกับการชะลอความเสียหายของกองเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นด้วยการเป่าด้วยอากาศ แวดล้อมมีการค้นคว้ามากขึ้น ซึ่งมีผลงานที่แตกต่างกันออกไป งานวิจัยที่เกี่ยวข้องพอสรุปได้ดังนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วาทัญญ รอดประพัฒน์, (2547) ศึกษาอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อคุณภาพข้าวเปลือก ขณะที่เก็บข้าวเปลือกไว้ในไซโลคอนกรีต ขนาดความจุ 682 ตัน พบว่าการใช้อัตราการไหลของอากาศ 0.1 และ 0.3 m³/min/m³ of paddy สามารถรักษาข้าวเปลือกให้อยู่ในเกณฑ์ดีทั้งสีและการงอก แต่ในกรณีที่ใช้อัตราการไหล 0.3 m³/min/m³ of paddy พบว่าสีของข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง เปอร์ เซ็นต์การงอกลดลง และอัตราการไหลของอากาศไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

ปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อความขาวของเมล็ดข้าวหลังการสี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความขาวของเมล็ดข้าวหลังการสีที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งพบว่าค่าความขาวของเมล็ดข้าวภายหลังการสีจะแปรผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยที่อุณหภูมิ 40 oC จะมีค่าความขาวอยู่ที่ 50.5 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งให้สูงขึ้นจนถึง 150 oC ค่าความขาวจะลดลงอยู่ที่ 45.1 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากน้ำตาลที่มีอยู่ในข้าว ได้รับความร้อน ซึ่งความร้อนดังกล่าวจะไปทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลภายในน้ำตาลหลุดออกจากกันกลายเป็นน้ำตาล โมเลกุลต่ำ และเมื่อให้ความร้อนต่อพันธะภายในน้ำตาล โมเลกุลต่ำจะหลุดออกจากกัน และเกิดเป็นสารประกอบ คีโตน (Ketone) ซึ่งสารดังกล่าวเป็นสารที่ทำให้เกิดสีเหลืองในเมล็ดข้าว

เสริมพงษ์ อติเรกัฐ, (2548) ได้ศึกษาการอบแห้งมะพร้าวชูดโดยใช้เครื่องอบแห้งลมร้อน ร่วมกับสารดูดความชื้น เปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนอย่างเดียว โดยใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 oC และ 60 oC ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งมีค่า 0.23, 0.5, 0.6 และ 0.7 m/s จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของมะพร้าวที่อบโดยใช้ลมร้อนร่วมกับสารดูดความชื้นพบว่าความชื้นจะลดลงได้เร็วกว่าการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว และผลของอุณหภูมิตอบแห้งไม่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจากนั้นได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าห้องอบแห้งพบว่า การอบแห้งของทั้งสองระบบถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าห้องอบแห้งมีค่าสูง

เกิน 29% RH จะส่งผลต่อคุณภาพสีของมะพร้าวหลังการอบแห้งอย่างชัดเจน โดยเฉพาะค่าความเหลืองที่มากจนสามารถสังเกตเห็นได้

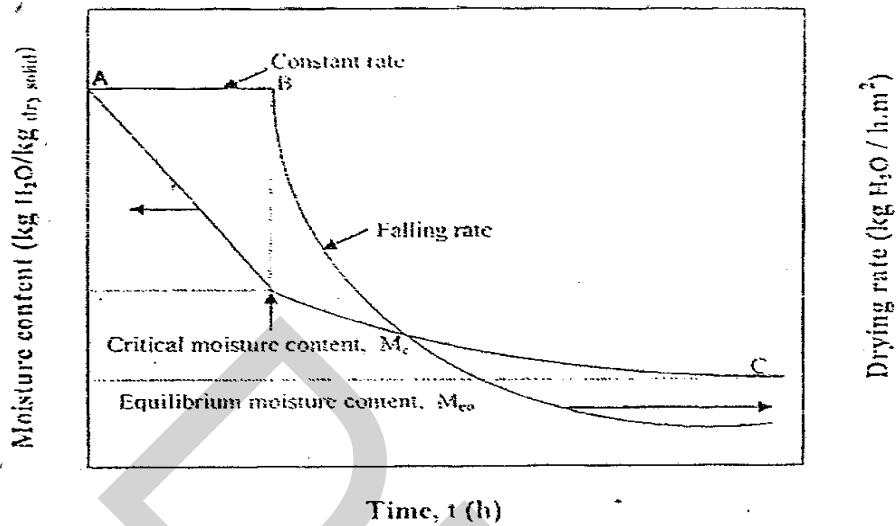
Tumambing J.A. and Driscoll, (1991) ได้พัฒนาแบบจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้นที่ 24% w.b. จนให้เหลือความชื้นสุดท้ายที่ 18% w.b. โดยพิจารณาการไหลของเมล็ดข้าวเป็นลูกสูบเพื่อทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ความชื้นของข้าวเปลือก และอุณหภูมิของอากาศหลังการอบแห้ง มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความยาวของเครื่องอบแห้ง สภาวะที่ศึกษาคือ อุณหภูมิที่ 40 - 140 °C ความสูงของเบด 5 - 20 cm ความเร็วของอากาศแห้ง 1.5 - 2.0 m/s พบว่าอุณหภูมิของอากาศอบแห้งมีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าความสูงเบดข้าวเปลือก และความเร็วของอากาศอบแห้งภายในเบดไม่มีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งมากนัก

Nour and Jantan et al, (1969) ศึกษาอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อคุณภาพข้าวเปลือกขณะที่เก็บข้าวเปลือกไว้ในไซโลคอนกรีต ขนาดความจุ 682 ตัน พบว่าการใช้อัตราการไหลของอากาศ 0.1 และ 0.3 m³/min/m³ of paddy สามารถรักษาข้าวเปลือกให้อยู่ในเกณฑ์ดีทั้งสีและการงอก แต่ในกรณีที่ใช้อัตราการไหล 0.3 m³/min/m³ of paddy พบว่าสีของข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง เปอร์เซ็นต์การงอกลดลง และอัตราการไหลของอากาศไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

2.2 การอบแห้งด้วยอากาศร้อน

ในการอบแห้งวัสดุต่างๆ ไปนั้นมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทในการอบแห้งวัสดุทั่วไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวโดย Capillary Flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface Force) ในขณะเดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุมายังกระแสอากาศโดยการแพร่ อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor Diffusion) และความดันไอ (Partial Pressure of Vapor) ที่แตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับลมร้อน ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ, ความชื้น และความเร็ว ของลมร้อนมีค่าคงที่ และเมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่บริเวณผิวของวัสดุย่อมเปลี่ยนไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวของวัสดุลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลงความชื้นที่อยู่ระหว่างการอบแห้งด้วยอากาศที่และอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤติอัตราการอบแห้งจะ

ค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งไม่เกิดความแตกต่างของความดันไอ จะเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ ความชื้นสมดุล ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง (Taechaparoj, 2003)

การอบแห้งของวัสดุด้วยอากาศร้อน สามารถแบ่งการอบแห้งได้เป็นสองช่วงคือ

- ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่
- ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

1. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Drying Period)

ช่วงนี้วัสดุยังมีความชื้นสูงอยู่ คือที่ผิวบริเวณวัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างวัสดุและอากาศเหมือนกับการถ่ายเทมวลและความร้อนที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ โดยการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิววัสดุกับอากาศเป็นแบบการพาความร้อนและถ่ายเทมวลจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการถ่ายเทความร้อน โดยการถ่ายเทมวลเกิดจากการแพร่ อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุและที่ผิวอากาศรอบนอก

2. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Drying Period)

สำหรับช่วงที่สองเกิดขึ้นเมื่อวัสดุมีความชื้นลดต่ำลงจนถึงขั้นวิกฤติ ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุจะลดลงมาก ส่งผลให้การถ่ายเทมวลและความร้อนไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิววัสดุเท่านั้น แต่เกิดการถ่ายเทในเนื้อวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเนื้อวัสดุช้ากว่าการพาความร้อนจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการแห้งลดลง อัตราการระเหยของน้ำเกิดจากการควบแน่น โดยความดันทาน

ต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำหนักในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำลดลงและ อุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้น

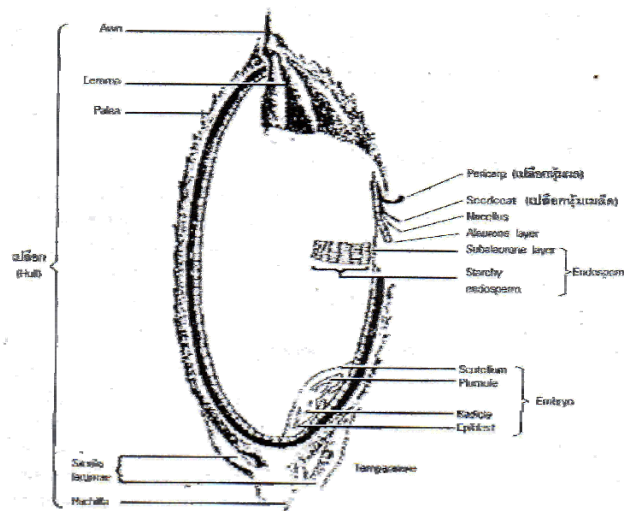
2.3 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช

โดยทั่วไปมักจะใช้อากาศที่อุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้สามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็วและได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการ ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเมล็ดพืช จะเกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลพร้อมกันความร้อน จากอากาศถ่ายเทไปยังเมล็ดพืช และทำให้น้ำที่บริเวณผิวของเมล็ดเข้าไปอยู่ในอากาศเป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงและมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ส่วนเมล็ดพืชจะมีความชื้นต่ำลงและหากความชื้นลดลงมาพอแล้ว อุณหภูมิของเมล็ดพืชก็จะสูงขึ้นด้วยในที่สุดเมล็ดพืชก็จะมีอุณหภูมิเท่ากับอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง และเมื่อความชื้นลดลงจนถึงความชื้นสมดุลแล้วความชื้นของเมล็ดพืชก็ จะไม่ลดลงอีก ในการอบแห้งโดยมากมักจะเลือกใช้อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถทำการอบแห้งได้โดย ที่คุณภาพของเมล็ดพืชไม่เกิดความเสียหาย เพราะจะทำให้การอบแห้งได้รวดเร็ว มีผลทำให้ เครื่องอบแห้งข้าวมีขนาดเล็กทำให้การลงทุนต่ำ

2.4 ลักษณะทั่วไปของข้าว

2.4.1 โครงสร้างของข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนคือ ส่วนที่ห่อหุ้มเรียกว่า แกลบ (hull หรือ husk) และ ส่วนที่รับประทานได้เรียกว่า ข้าวกล้อง (Caryosis หรือ Brown rice) ภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างภายในเมล็ดข้าว (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2543)

2.4.2 คุณภาพข้าว

คุณภาพข้าวมีความหมายครอบคลุมถึง คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีในการกำหนดมาตรฐานการส่งออก ปัจจุบันยังคงใช้คุณสมบัติทางกายภาพในการจำแนกเกรดของข้าวทุกชนิด โดยทั่วไปการพิจารณาคุณภาพข้าวจะพิจารณาจากข้าวเปลือกที่ได้จากการสี ซึ่งเกณฑ์ที่นิยมใช้คือ ร้อยละต้นข้าว และความขาวของข้าว โดยระดับความขาวยังไม่มีข้อกำหนดที่ชัดเจน เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภคแต่ละประเทศไม่เหมือนกัน ในประเทศไทยยอมรับความขาวที่ระดับสูงกว่า 35 ซึ่งวัดจากเครื่อง Kett Whiteness Meter model C-300 (กล้านรงค์ ศรีรอด, 2543) การเปลี่ยนของสีเมล็ดข้าวโดยทั่วไปเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง และปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง การเกิดสีเหลืองของข้าวเกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง ซึ่งยังมีการศึกษาอย่างชัดเจน นอกจากนี้เชื้อราบางพวกเช่น *Aspergillus*, *Curvularia* ที่เจริญเติบโตบนเมล็ดข้าว สามารถสร้างสีเหลืองได้ อันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ข้าวเหลือง

2.4.3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reactions) มักจะเกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งผลิตภัณฑ์ โดยส่วนใหญ่แล้วจะไม่ใช่ที่ต้องการ เพราะอาจทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งไม่ดี ลักษณะสีภายนอกจะไม่น่าดู โดยการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของอาหารที่เกิดขึ้นมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. เกิดจากปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง เรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง (Enzymic Browning Reaction)
2. เกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง เรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง (Nonenzymic Browning Reaction)

2.4.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง

เมื่อผลไม้และผักมีรอยตำหนิหรือเสียหายซึ่งเกิดจากรอยช้ำ รอยปาก หั่น แฉ่แข็ง หรือเป็นโรค ส่วนของเนื้อเยื่อที่มีรอยตำหนิมีเอนไซม์ที่มียังคงแอกทิฟอยู่เมื่อถูกกับอากาศจะเกิดเป็นสีน้ำตาล เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ เป็นกลุ่มของเอนไซม์ซึ่งอาจเรียกชื่อรวมว่า ฟีนอลเลส (phenolase) เกิดการออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ

2.4.5 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้อง

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้เกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อน มีการสูญเสียน้ำ (Dehydration) มีการสลายตัว (Degredation) และมีการรวมตัวกัน (Condensation) พัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและมีกลิ่นเฉพาะ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลงด้วย โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเช่น เกิดขึ้นในระหว่างการคั่วเมล็ดกาแฟ ถั่วลิสงและโกโก้ การไหม้ของน้ำตาล (Sugar Carmel) การทอด การอบเนื้อสัตว์ การปิ้ง การย่างและการเผาอาหารเป็นต้น โดยปฏิกิริยานี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. ปฏิกิริยาคาลาเมลไลเซชัน (Caramlization) เป็นการให้ความร้อนสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก และเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันกลายเป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้มีสารเริ่มต้นเป็นน้ำตาลเท่านั้น ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นกับโปรตีนในอาหารที่ไม่มีองค์ประกอบของสารประกอบไนโตรเจนเมื่อได้รับความร้อนที่สูงและมากเกินไป

2. ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อมีองค์ประกอบของสารไนโตรเจนอยู่ เมื่อได้รับความร้อนที่สูงและมากเกินไป ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดอะมิโนไลซีนกับน้ำตาลที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้เป็นสารประกอบของพอลิเมอร์ของเมลานอยดินส์ (Melanoidins) ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่ออาหารได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง

2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษา

เมล็ดข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวที่รักษาไว้จะมีการเปลี่ยนแปลงภายในองค์ประกอบของเมล็ดข้าว ซึ่งมีผลสำคัญต่อคุณภาพในการขัดสี เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเปลี่ยนแปลงขณะเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษา อาจมีผลมาจากการปรับสภาพการละลาย และการเกิดเจลสตาร์ช และ โปรตีนในเมล็ดที่สุกเต็มที่ให้กลายเป็นสารคงตัว และละลายในน้ำมากขึ้นมีผลทำให้เมล็ดข้าวแข็งขึ้นเมื่อนำข้าวสารที่เก็บรักษาไว้ในระยะหนึ่งแล้วนำมาหุงต้ม จะพบว่าเมล็ดข้าวจะดูดซึมน้ำที่ใช้หุงต้มได้มากทำให้ปริมาตรของข้าวที่หุงสุกสูงกว่าการหุงข้าวใหม่ลักษณะข้าวสุกจะแข็ง และร่วนมากกว่าข้าวใหม่ ลักษณะของความคงตัวของเจลจะมีมากขึ้น และความหนืดจากการวัดด้วยเครื่องอะมิโลกราฟจะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.1)

2.6 การระบายอากาศในกองข้าว

การระบายอากาศในกองข้าวเป็นวิธีหนึ่งในการลดความร้อนของกองข้าว โดยทั่วไปอากาศที่ใช้ในการระบายคือ อากาศแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิ 25 °C พบว่าการระบายอากาศในกองข้าวเปลือก

สามารถใช้อัตราการไหลของอากาศค่อนข้างต่ำประมาณ $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ ของข้าวเปลือก เพื่อรักษาคุณภาพของข้าวเปลือกขึ้นไว้ได้นานกว่า 1 เดือน

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงของข้าวสารเก็บที่ $28 - 30^\circ\text{C}$
(ศศิเกษม ทองขงค์ และพรธณี เดชกำแหง, 2530)

เวลาที่เก็บ (เดือน)	ข้าวสุกวัดความแข็ง ด้วยเครื่องอินสตรอน (กิโลกรัม)	ความคงตัว ของเจล (มิลลิเมตร)	ความหนืดขึ้นจากเครื่องอะมิโลกราฟ(บี.ยู)		
			ความหนืด สูงสุด	จุดสุดท้าย ที่ 94°C	ทำให้เย็นที่ 50°C
0	7.4	65	541	395	703
1	7.5	60	592	379	750
2	8.4	54	620	400	793
3	8.8	53	652	440	830
4	8.8	52	649	426	835
5	8.6	50	678	441	851
6	8.4	56	-	-	-

2.7 การเกิดเจลาทีนในเซชัน

ภายในเมล็ดข้าวเปลือกจะประกอบด้วยแป้งหรือสตาร์ชอยู่ที่ประมาณ 84 - 93% โดยมวลแห้งมีโปรตีนประมาณ 5 - 14% และไขมันประมาณ 3% มีการกระจายอยู่ที่หัวเมล็ดข้าว ซึ่งในภาวะปกติแป้งข้าวสามารถดูดความชื้นได้ 12 - 14% โดยทั่วไปแล้วแป้งจะไม่ละลายน้ำเย็น เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy group) จำนวนมากจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน แป้งมีคุณสมบัติเป็น hydrophilic จึงมีความสามารถดูดน้ำได้ เมื่อทำให้เปียกหรือทิ้งไว้ในบริเวณที่มีความชื้นสูง น้ำจะสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในโมเลกุลแป้งได้โดยที่ไม่ทำลายโครงสร้างภายใน ทำให้แป้งเกิดการพองตัวแล้วจมนลง และถ้านำแป้งดังกล่าวไปให้ความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ ขณะที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัวทำให้เกิดการละลายและเกิดความหนืด ซึ่งลักษณะแป้งจะใส ส่วนอะมิโลสที่ละลายน้ำได้จะทำให้เกิดการพองตัวมากขึ้น และมีอะมิโลสบางส่วนแตกออกมาอยู่ในน้ำ จะเห็นเม็ดแป้งกระจายอยู่ในน้ำแป้งทำให้สารละลายเข้มข้นมากขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาทีนในเซชัน (Gelatinization) ช่วงอุณหภูมิที่เม็ดแป้งพองตัวอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเป็นน้ำข้นเรียกช่วงนี้ว่า อุณหภูมิการเกิดเจล

(Gelatinization temperature range) ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบท่อการเกิดเจลาทีนในเซชันมีหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำแป้ง และขนาดของเม็ดแป้ง เมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทีนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทีนในเซชันของธัญพืชชนิดต่าง ๆ
(ศศิเกษม ทองยงค์ และพรณี เดชกำแหง, 2530)

ธัญพืช	อุณหภูมิ (°C)		
	เริ่มต้น	กึ่งกลาง	สุดท้าย
ข้าวโพด	62	66	70
ข้าวบาร์เลย์	51.5	57	59.5
ข้าวเจ้า	68	74.5	78
ข้าวไรย์	57	61	70
ข้าวสาลี	59.5	62.5	64
ถั่ว	57	65	70
มันฝรั่ง	58	62	66
มันสำปะหลัง	52	59	64

2.8 สมการสำหรับออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง

2.8.1 การหา อัตราการป้อนของเมล็ดข้าวเปลือก (วุฒิกิรณ จริยตันติเวทย์, 2548)

Hold up คือ $AL \rho_p$

(2.1)

Hold up คือ $F \times t$

(2.2)

ดังนั้น F คือ Hold up / t

(2.3)

โดยที่ Hold up คือ ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบ, kg

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจายอากาศ, m^2

- L คือ ความสูงเบดในห้องอบแห้ง, m
 ρ_p คือ ความหนาแน่นปรากฏของเมล็ดข้าวเปลือก, kg/m^3
 F คือ อัตราการป้อนของเมล็ดข้าวเปลือก, kg/minute
 t คือ เวลาที่เมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง, minute

2.8.2 ความดันลดลงของอากาศในห้องอบแห้ง (วุฒิกรณ์ จริยตันติเวทย์, 2548)

$$\Delta P = L_1(\rho_t - \rho_a)g \quad (2.4)$$

- โดย ΔP คือ ความดันลดลงของอากาศในห้องอบแห้ง, Pa
 ρ_t คือ ความหนาแน่นจริงของเมล็ดข้าวเปลือก, kg/m^3
 ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม, kg/m^3
 L_1 คือ ความสูงของเบด, m
 g คือ ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m/s^2

2.8.3 อัตราการไหลของอากาศ (เสรี สุภราทิตย์, 2542)

ความเร็วของอากาศไหลเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการอบแห้งแบบชั้นบาง กล่าวคือ ถ้าความเร็วของของไหลมากเกินไป จะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น

$$Q = VA \quad (2.5)$$

- โดย Q คือ อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเบด, m^3/s
 V คือ ความเร็วของอากาศที่ผ่านเบด, m/s
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของเบดที่อากาศไหลผ่าน, m^2

2.8.4 ความดันลดลง ณ จุดต่างๆ (เสรี สุภราทิตย์, 2542)

นอกจากความดันที่สูญเสียอันเนื่องมาจากแผ่นกระจายอากาศและในกองเมล็ดข้าวเปลือกแล้ว ยังมีการสูญเสียความดันที่เกิดจากอุปกรณ์ต่างๆ

$$\frac{\Delta P}{\rho} = f \cdot \frac{(L)}{(D)} \cdot \frac{(V^2)}{(2)} \quad (2.6)$$

$$\Delta P = f \cdot \frac{(L)}{(D)} \cdot \frac{(V^2)}{(2)} \cdot \rho \quad (2.7)$$

$$\Delta P = k \cdot \left(\frac{v^2}{2} \right) \cdot \rho \quad (2.8)$$

โดย ΔP คือ ความดันลดลงของอากาศ, Pa

f คือ แฟกเตอร์ความเสียดทาน

k คือ แฟกเตอร์ความสูญเสียรอง

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศร้อน, kg/m^3

L คือ ความยาวท่อ, m

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่อากาศไหลผ่าน, m

V คือ ความเร็วของอากาศภายในท่อ, m/s

ในการหาค่า k สามารถหาได้จากการเปิดตารางและการคำนวณ โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

- การหาค่า k ที่พื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นทันที

$$k = \left[1 - \left(\frac{D_{\text{in}}}{D_{\text{out}}} \right)^2 \right]^2 \quad (2.9)$$

- การหาค่า k ที่พื้นที่หน้าตัดค่อยๆ เพิ่มขึ้น

$$k = 2.6 \sin \frac{\theta \times 2}{2} \left[1 - \left(\frac{D_{\text{in}}}{D_{\text{out}}} \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

- การหาค่า k ที่พื้นที่หน้าตัดค่อยๆ ลดลง

$$k = 0.8 \sin \frac{\theta \times 2}{2} \left[1 - \left(\frac{D_{\text{out}}}{D_{\text{in}}} \right)^2 \right] \quad (2.11)$$

โดย θ คือ ค่ามุมของท่อที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้น, องศา
 D_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า, m
 D_{out} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางออก, m

ในส่วนของการคำนวณหาค่า Reynolds Number (Re) และค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f) และค่าความขรุขระของผิวภายในท่อ (relative roughness of pipe, ε) ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เมื่อ
$$Re = \rho_a VD/\mu \quad (2.12)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม, kg/m^3
 V คือ ความเร็วของอากาศภายในท่อ, m/s
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่อากาศไหลผ่าน, m
 ε คือ ค่าความขรุขระของผิวภายในท่อ, m
 μ คือ ค่าความหนืดของอากาศร้อน, $N.s/m^2$

ในกรณีที่ท่อทางเดินอากาศไม่ใช่ท่อกลม ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ในการคำนวณจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$D_h = \frac{4A}{P}; \text{สี่เหลี่ยมจัตุรัส} \quad (2.13)$$

โดย D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก, m
 A คือ พื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม, m^2
 P คือ ความยาวรวมของทั้ง 4 ด้าน, m

สำหรับการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (k) ที่เกี่ยวกับ ข้องอ, ข้อลด, ข้อเพิ่ม, วาล์ว และอุปกรณ์อื่นๆ หาได้จากความสัมพันธ์ต่างๆ ที่มีรูปแบบต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และรูปร่างลักษณะของอุปกรณ์แต่ละอย่างที่อากาศไหลผ่าน

- หาความดันลดที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นกระจายอากาศ มีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของความดันลดในห้องอบแห้ง จะได้ดังสมการ

$$\Delta P_a = 0.5\Delta P \quad (2.14)$$

- หาความดันลดที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นตะแกรงคักฝุ่นมีค่าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของความดันลดในห้องอบแห้ง

$$\Delta P_d = 0.3\Delta P \quad (2.15)$$

โดย ΔP_a คือ ความดันลดที่แผ่นกระจายอากาศ, Pa
 ΔP_d คือ ความดันลดที่แผ่นตะแกรงคักฝุ่น, Pa
 ΔP คือ ความดันลดในเบด, Pa

2.9 การคำนวณหาความร้อน (วุฒิกรณ จริยตันติเวทย์, 2548)

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบชั้นบางนี้จะใช้ความร้อนจาก Heater โดยใช้พลังงานจากไฟฟ้า

สูตรคำนวณ

$$q = \rho_a \cdot Q_a \cdot C_a \cdot (T_{\max} - T_a) \quad (2.16)$$

โดย q คือ ปริมาณความร้อน, kw
 C_a คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแวดล้อม, kJ/kg °C
 ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม, kg/m³
 Q_a คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศแวดล้อม, m³/s
 T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, °C
 T_{\max} คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง, °C

2.10 การคำนวณกำลังงานที่ใช้จริงของระบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง

(วุฒิกรณ จริยตันดิเวทย์, 2548)

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบชั้นบางนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าในการป้อนให้กับเครื่องต้นกำลัง (มอเตอร์) ซึ่งจะต้องใช้สมการดังต่อไปนี้ในการคำนวณ

Power คือ $\Delta P \cdot Q$

(2.17)

โดย	Power	คือ กำลังงาน, W
	ΔP	คือ ความดันรวมทั้งระบบ, Pa
	Q	คือ อัตราการไหลในระบบ, m ³ /s

บทที่ 3

การออกแบบและคำนวณ

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบางโดยใช้อากาศร้อน ประกอบไปด้วย

1. ท่อทางเดินอากาศ

- 1.1 ท่อออกจาก Blower ไปเข้า Heater
- 1.2 ท่อออกจาก Heater ไปเข้า ข้อต่อ 3 ทาง
- 1.3 ท่อออกจาก ข้อต่อ 3 ทาง ไปเข้า ห้องอบ
- 1.4 ท่ออากาศดูดก่อนเข้าห้องอบ 90°
- 1.5 ท่ออากาศดูดก่อนเข้า Blower

2. อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater)

- 2.1 ท่อขยายเข้า Heater แบบขยายทันที
- 2.2 ท่อขยายเข้า Heater แบบค่อยๆ ขยาย
- 2.3 ท่อ Heater
- 2.4 ท่อลดขนาดออกจาก Heater แบบค่อยๆ ลด
- 2.5 ท่อลดขนาดออกจาก Heater แบบลดทันที

3. ข้อต่อ 3 ทาง

- 3.1 ข้อต่อ 3 ทางก่อนเข้าห้องอบ

4. ห้องอบแห้ง

- 4.1 ท่อขยายเข้าห้องอบแห้ง
- 4.2 แผ่นตะแกรงดักฝุ่นตัวที่ 1
- 4.3 แผ่นกระจายอากาศ
- 4.4 ห้องอบแห้ง

5. ซ็องอ 90°

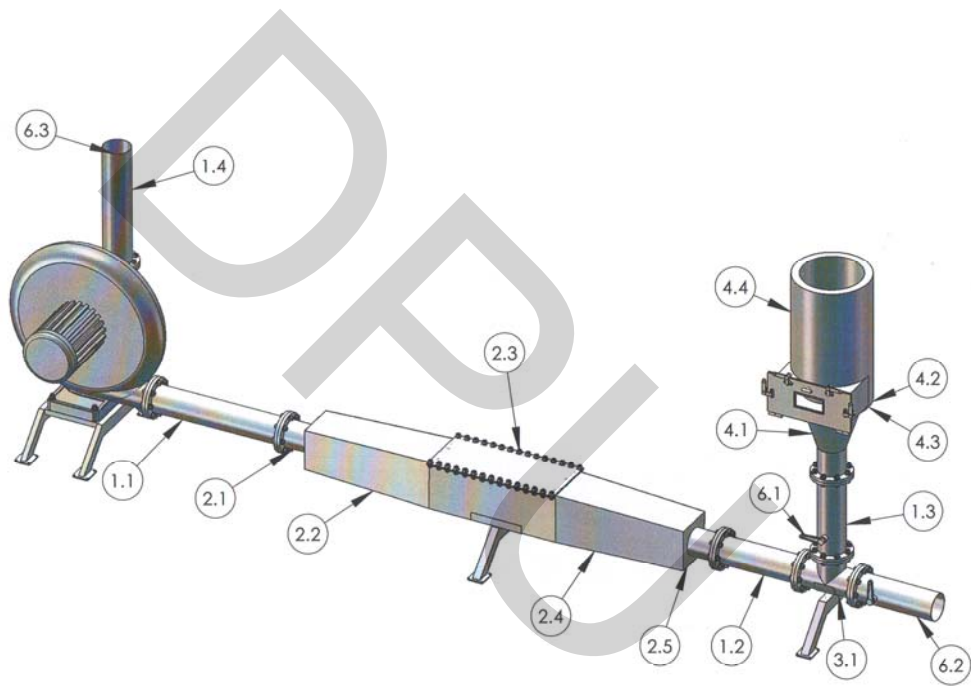
5.1 ซ็องอ 90° ที่ท่อคูอากาศ

6. Valve ควบคุม

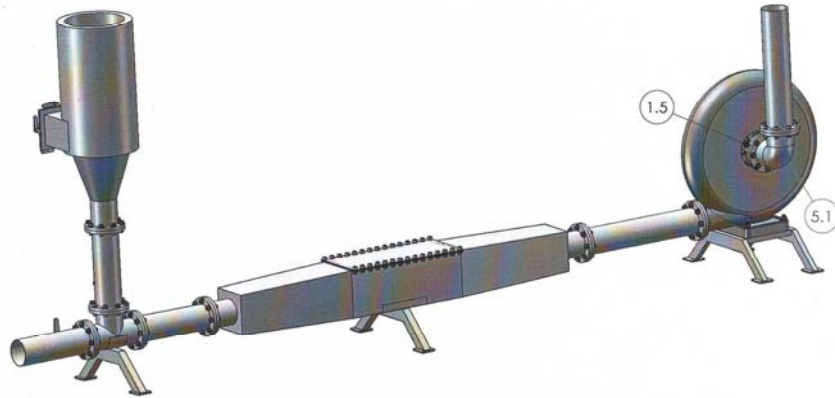
6.1 Valve 1

6.2 Valve 2

6.3 Valve 3



ภาพที่ 3.1 ไดอะแกรมแสดงภาพด้านหน้าของเครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง



ภาพที่ 32 โดอะแกรมแสดงภาพด้านข้างของเครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง

3.1 การออกแบบห้องอบแบบชั้นบาง

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบห้องอบแบบชั้นบาง เป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 cm ยาว 51 cm ความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s เพื่อต้องการให้การกระจายของของไหลเป็นไปอย่างเหมาะสม อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 100°C ที่ความดันเหนือบรรยากาศเล็กน้อย

3.2 เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง

จากการศึกษาและออกแบบการออกแบบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง ซึ่งจะได้เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบชั้นบางมีดังนี้

1. ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 25% w.b.
2. ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกประมาณ 18 - 20% w.b.
3. ความสูงของเบดข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง คือ 2 cm
4. ความหนาแน่นจริงของข้าวเปลือก 499 kg/m^3
5. ความหนาแน่นปรากฏของข้าวเปลือก 516 kg/m^3
6. สัดส่วนช่องว่างอากาศของข้าวเปลือกในเบดหนึ่ง 0.488
7. ความหนาแน่นของอากาศร้อน 0.84 kg/m^3
8. เส้นผ่านศูนย์กลาง ของแผ่นกระจายอากาศเท่ากับ 23 cm
9. แผ่นตะแกรงดักฝุ่นเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 cm จะใช้ 1 แผ่นเพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้าไปในระบบซึ่งจะติดไว้ที่ทางเข้า และทางออกของห้องอบแห้ง

3.2.1 หาขนาดของแผ่นกระจายอากาศ

ในการออกแบบแผ่นกระจายอากาศจะต้องมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับห้องอบแห้ง เพราะแผ่นกระจายอากาศจะอยู่ก่อนเข้าห้องอบแห้งซึ่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 23 cm

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0.23)^2}{4}$$

$$A = 0.0415 \text{ m}^2$$

ดังนั้น เลือกใช้ห้องอบแห้งที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 23 cm

3.2.2 หาขนาดแผ่นตะแกรงดักฝุ่น

ในการออกแบบแผ่นตะแกรงดักฝุ่นจะต้องมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับห้องอบแห้ง เพื่อต้องการดักฝุ่น และสิ่งแปลกปลอมเข้ามาในห้องอบแห้ง

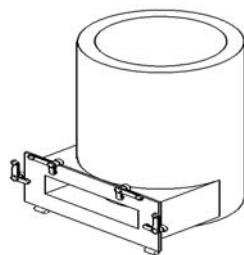
$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0.23)^2}{4}$$

$$A = 0.0415 \text{ m}^2$$

ดังนั้น เลือกใช้ห้องอบแห้งที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 23 cm

3.2.3 การหาความดันในห้องอบแห้ง



คำนวณโดยใช้สมการที่ (2.4)

$$\begin{aligned}\Delta P &= L_1(\rho_l - \rho_a)g \\ \Delta P &= 0.02(1,166 - 0.8461)9.81 \\ \Delta P &= 228.3 \text{ Pa}\end{aligned}$$

3.2.4 ความดันตกที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศ

ความดันตกที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นกระจายอากาศ มีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของความดันตกในห้องอบแห้ง

คำนวณโดยใช้สมการที่ (2.14)

$$\begin{aligned}\Delta P_a &= 0.5\Delta P \\ &= 0.5(228.3) \\ \Delta P_a &= 114.15 \text{ Pa}\end{aligned}$$

3.2.5 ความดันตกที่เกิดจากแผ่นตะแกรงดักฝุ่น

ความดันตกที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นตะแกรงดักฝุ่นมีค่าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของความดันตกในห้องอบแห้ง

คำนวณโดยใช้สมการที่ (2.15)

$$\begin{aligned}\Delta P_{a,2} &= 0.3\Delta P \\ &= 0.3(228.3) \\ \Delta P_{a,2} &= 68.49 \text{ Pa}\end{aligned}$$

3.2.6 หาอัตราการไหลของอากาศในห้องอบแห้ง

คำนวณโดยใช้สมการที่ (2.5)

$$\begin{aligned}Q &= VA \\ &= 0.3 \times 0.0415 \\ Q &= 0.01245 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

3.3 แสดงการคำนวณหาความดันที่สูญเสียในแต่ละอุปกรณ์

ในการคำนวณหาค่าความดันสูญเสียในอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง สามารถดูภาพที่ 3.1 เพื่อทำความเข้าใจในการคำนวณความดันสูญเสียที่อุปกรณ์ต่างๆ ได้ดังนี้

1. ที่ท่อตรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง **0.102 m** (หมายเลข 1.1, 1.2, 1.3 และ 1.4) จะต้องนำค่าอัตราการไหลของอากาศมาหาค่าความเร็วอากาศในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.102 m

$$\begin{aligned} V &= Q/A \\ &= 0.01245 / \left(\frac{\pi \times 0.102^2}{4} \right) \\ V &= 1.52 \text{ m/s} \end{aligned}$$

เมื่อได้ค่าความเร็วอากาศแล้วก็จะมาหาค่า Re

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

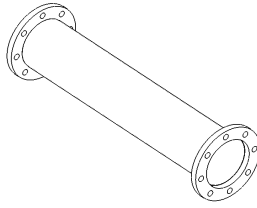
- โดย ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศร้อน = 0.8461 kg/m^3
 V คือ ความเร็วของอากาศภายในท่อ = 1.52 m/s
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่อากาศไหลผ่าน = 0.102 m
 ϵ คือ ค่าความขรุขระของผิวภายในท่อ = $2 \times 10^{-6} \text{ m}$ (เปิดตารางที่ ง.1)
 μ คือ ค่าความหนืดของอากาศร้อน = $2.35 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.12)

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho V D}{\mu} \\ &= \frac{0.8461 \times 1.52 \times 0.102}{2.35 \times 10^{-5}} \\ &= 34,309.04 \end{aligned}$$

จากนั้นนำค่า ε/D และค่า Re ไปเปิดภาพที่ 3.3 ภาพ Moody Diagram หาค่า f จะได้ค่า $f = 0.0235$

1.1 ท่อออกจาก Blower ไปเข้า Heater



ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.102 m และความยาว 0.5 m

$$\frac{\Delta P}{\rho} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$$

- โดย
- ΔP คือ ความดันลดลงของอากาศ, Pa
 - f คือ แฟคเตอร์ความเสียดทาน
 - ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศร้อน, kg/m^3
 - L คือ ความยาวท่อ, m
 - D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่อากาศไหลผ่าน, m
 - V คือ ความเร็วของอากาศภายในท่อ, m/s

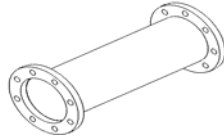
แทนค่าลงในสมการที่ (2.7)

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta P = (0.0235) \left(\frac{0.5}{0.102} \right) \left(\frac{1.52^2}{2} \right) (0.8461)$$

$$\Delta P = 0.113 \text{ Pa}$$

1.2 ท่อออกจาก Heater ไปเข้า ข้อต่อ 3 ทาง



ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.102 m และความยาว 0.5 m
แทนค่าลงในสมการที่ (2.7)

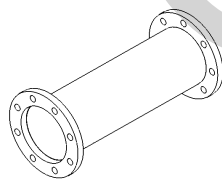
$$\frac{\Delta P}{\rho} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta P = (0.0235) \left(\frac{0.5}{0.102} \right) \left(\frac{1.52^2}{2} \right) (0.8461)$$

$$\Delta P = 0.113 \text{ Pa}$$

1.3 ท่อออกจาก ข้อต่อ 3 ทาง ไปเข้า ห้องอบ



ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.102 m และความยาว 0.3 m
แทนค่าลงในสมการที่ (2.7)

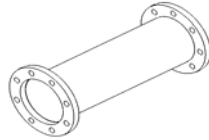
$$\frac{\Delta P}{\rho} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta P = (0.0235) \left(\frac{0.3}{0.102} \right) \left(\frac{1.52^2}{2} \right) (0.8461)$$

$$\Delta P = 0.068 \text{ Pa}$$

1.4 ท่ออากาศดูดก่อนเข้าห้อง 90°



ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.102 m และความยาว 0.5 m
แทนค่าลงในสมการที่ (2.7)

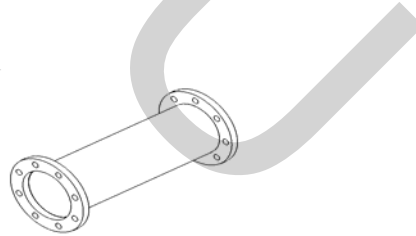
$$\frac{\Delta P}{\rho} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta P = (0.0235) \left(\frac{0.5}{0.102} \right) \left(\frac{1.52^2}{2} \right) (0.8461)$$

$$\Delta P = 0.113 \text{ Pa}$$

1.5 ท่ออากาศดูดก่อนเข้า Blower



ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.102 m และความยาว 0.2 m
แทนค่าในสมการที่ (2.8)

$$\frac{\Delta P}{\rho} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta P = (0.0235) \left(\frac{0.2}{0.102} \right) \left(\frac{1.52^2}{2} \right) (0.8461)$$

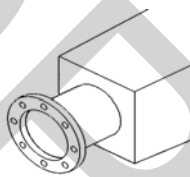
$$\Delta P = 0.045 \text{ Pa}$$

2. อุปกรณ์ให้ความร้อน Heater (หมายเลข 2.1, 2.2, 2.3 และ 2.4)

ในส่วนของอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ท่อทางเข้าและที่ท่อทางออกของอุปกรณ์ให้ความร้อนจะถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยสี่เหลี่ยม โดยมีขนาดด้านหัวของกรวยสี่เหลี่ยมเท่ากับ $0.12 \text{ m} \times 0.12 \text{ m}$ และที่ด้านท้ายกรวยสี่เหลี่ยมมีขนาดเท่ากับ $0.19 \text{ m} \times 0.19 \text{ m}$ ซึ่งที่ตัว Heater มีขนาดเท่ากับ $0.19 \text{ m} \times 0.19 \text{ m}$ โดยมีความยาวของแต่ละช่วงเท่ากับ 0.5 m

2.1 ท่อขยายเข้า Heater แบบขยายทันที

ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางเข้าเท่ากับ 0.102 m และที่ท่อทางออกมีขนาดเท่ากับ $0.12 \text{ m} \times 0.12 \text{ m}$ (ถ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมจะต้องทำให้เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกก่อนจึงจะนำไปทำการคำนวณ)



$$D_h = \frac{4A}{P}$$

- โดย D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิก, m
 A คือ พื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม เท่ากับ $0.12 \text{ m} \times 0.12 \text{ m} = 0.0144 \text{ m}^2$
 P คือ ความยาวรวมของทั้ง 4 ด้าน, m

แทนค่าในสมการที่ (2.13)

$$D_h = \left(\frac{4 \times 0.0144}{0.12 \times 4} \right)$$

$$D_h = 0.12 \text{ m}$$

จากนั้นนำค่า D_h และค่าอัตราการไหลไปหาความเร็วอากาศ

แทนค่าในสมการที่ (2.5)

$$V = Q/A$$

$$= 0.01245 / \left(\frac{\pi \times 0.12^2}{4} \right)$$

$$V = 1.101 \text{ m/s}$$

แล้วก็มาหาค่า k จากสมการที่ (2.9)

$$k = \left[1 - \left(\frac{D_{in}}{D_{out}} \right)^2 \right]^2$$

$$= \left[1 - \left(\frac{0.102}{0.12} \right)^2 \right]^2$$

$$k = 0.478$$

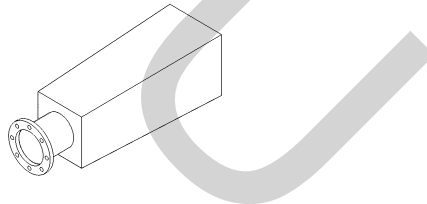
แทนค่าลงในสมการที่ (2.8)

$$\Delta P = \rho \left(\frac{v^2}{2} \right) k$$

$$= 0.8461 \left(\frac{1.101^2}{2} \right) 0.478$$

$$\Delta P = 0.245 \text{ Pa}$$

2.2 ท่อขยายเข้า Heater แบบค่อยๆ เพิ่มขนาด



ออกแบบให้มีขนาดทางเข้าเท่ากับ $0.12 \text{ m} \times 0.12 \text{ m}$ ที่ทางออกเท่ากับ $0.19 \text{ m} \times 0.19 \text{ m}$ และความยาวของท่อเท่ากับ 0.5 m (ถ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมจะต้องทำให้เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกก่อนจึงจะนำไปทำการคำนวณ)

หา D_h (ที่ทางออก) โดยใช้สมการที่ (2.13)

$$D_h = \frac{4A}{P}$$

$$D_h = \left(\frac{4 \times (0.19 \times 0.19)}{0.19 \times 4} \right)$$

$$D_h = 0.19 \text{ m}$$

จากนั้นนำค่า D_h และค่าอัตราการไหลไปหาความเร็วอากาศ
แทนค่าลงในสมการที่ (2.5)

$$\begin{aligned} V &= Q/A \\ &= 0.01245 / \left(\frac{\pi \times 0.19^2}{4} \right) \\ V &= 0.43 \text{ m/s} \end{aligned}$$

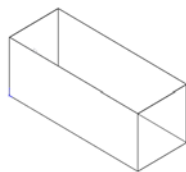
แล้วก็มาหาค่า k จากสมการที่ (2.10)

$$\begin{aligned} k &= 2.6 \sin \frac{\theta \times 2}{2} \left[1 - \left(\frac{D_{in}}{D_{out}} \right)^2 \right] \\ k &= 2.6 \sin \left(\frac{\left(\tan^{-1} \left(\frac{0.035}{0.5} \right) \right) \times 2}{2} \right) \left[1 - \left(\frac{0.12}{0.19} \right)^2 \right] \\ k &= 0.091 \end{aligned}$$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.8)

$$\begin{aligned} \Delta P &= \rho \left(\frac{v^2}{2} \right) k \\ &= 0.8461 \left(\frac{0.43^2}{2} \right) 0.091 \\ \Delta P &= 0.07 \text{ Pa} \end{aligned}$$

2.3 ท่อ Heater



ออกแบบให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ $0.19 \text{ m} \times 0.19 \text{ m}$ และความยาวของท่อเท่ากับ 0.5 m (ถ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมจะต้องทำให้เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกก่อนจึงจะนำไปทำการคำนวณ)

หาค่า Re แทนค่าลงในสมการที่ (2.12)

$$D_h = 0.19 \text{ m}$$

$$V = 0.43 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\rho V D}{\mu} \\ &= \frac{0.8461 \times 0.43 \times 0.19}{2.35 \times 10^{-5}} \\ &= 1,579.14 \end{aligned}$$

จะได้ค่า Re เท่ากับ 1,579 จะเป็นการไหลแบบ Laminar Flow เพราะฉะนั้นในการหาค่า f จะต้องหาจากสมการ $f = 64 / \text{Re}$ ดังนั้น ค่า $f = 64 / 1,579.14 = 0.041$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.7)

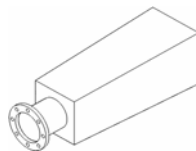
$$\frac{\Delta P}{\rho} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta P = (0.041) \left(\frac{0.5}{0.19} \right) \left(\frac{0.43^2}{2} \right) (0.8461)$$

$$\Delta P = 0.008 \text{ Pa}$$

2.4 ท่อลดขนาดออกจาก Heater แบบค่อยๆ ลด



ออกแบบให้มีขนาดทางเข้าเท่ากับ $0.19 \text{ m} \times 0.19 \text{ m}$ ที่ทางออกเท่ากับ $0.12 \text{ m} \times 0.12 \text{ m}$ และความยาวของท่อเท่ากับ 0.5 m (ถ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมจะต้องทำให้เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกก่อนจึงจะนำไปทำการคำนวณ)

หา D_h (ที่ทางออก) จากสมการ (2.13)

$$D_h = \frac{4A}{P}$$

$$D_h = \left(\frac{4 \times (0.12 \times 0.12)}{0.12 \times 4} \right)$$

$$D_h = 0.12 \text{ m}$$

จากนั้นนำค่า D_h และค่าอัตราการไหลไปหาความเร็วของอากาศ จากสมการที่ (2.5)

$$V = Q/A$$

$$= 0.01245 / \left(\frac{\pi \times 0.12^2}{4} \right)$$

$$V = 1.101 \text{ m/s}$$

แล้วก็มาหาค่า k จากสมการที่ (2.11)

$$k = 0.8 \sin \frac{\theta \times 2}{2} \left[1 - \left(\frac{D_{out}}{D_{in}} \right)^2 \right]$$

$$k = 0.8 \sin \left(\frac{\left(\tan^{-1} \left(\frac{0.035}{0.5} \right) \right) \times 2}{2} \right) \left[1 - \left(\frac{0.12}{0.19} \right)^2 \right]$$

$$k = 0.034$$

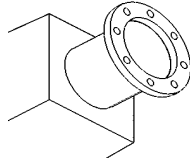
แทนค่าลงในสมการที่ (2.8)

$$\Delta P = \rho \left(\frac{v^2}{2} \right) k$$

$$= 0.8461 \left(\frac{1.101^2}{2} \right) 0.034$$

$$\Delta P = 0.017 \text{ Pa}$$

2.5 ท่อลดขนาดออกจาก Heater แบบลดพื้นที่



ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทางเข้าเท่ากับ 0.12 m × 0.12 m และที่ทางออกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.102 m

จากสมการที่ (2.5)

$$V = Q/A$$

$$= 0.01245 / \left(\frac{\pi \times 0.102^2}{4} \right)$$

$$V = 1.52 \text{ m/s}$$

เมื่อค่า $k = 0.5$ จากตารางที่ ง.2

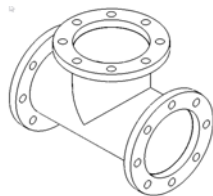
แทนค่าลงในสมการที่ (2.8)

$$\Delta P = \rho \left(\frac{v^2}{2} \right) k$$

$$= 0.8461 \left(\frac{1.52^2}{2} \right) 0.5$$

$$\Delta P = 0.488 \text{ Pa}$$

3. ข้อต่อ 3 ทาง



3.1 ข้อต่อ 3 ทางก่อนเข้าห้องอบ

ออกแบบให้ข้อต่อ 3 ทางก่อนเข้าห้องอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.10 m
 $k = 1.8$ จากตารางที่ ง.2

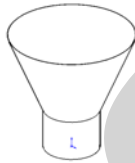
แทนค่าลงในสมการที่ (2.8)

$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho \left(\frac{v^2}{2} \right) k \\ &= 0.8461 \left(\frac{1.52^2}{2} \right) 1.8 \\ \Delta P &= 1.75 \text{ Pa}\end{aligned}$$

4. ห้องอบแห้ง

ในการออกแบบห้องอบแห้งจะออกแบบให้มีความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.23 m และมีความยาวเท่ากับ 1 m

4.1 ท่อขยายก่อนเข้าห้องอบแห้ง



ในการออกแบบท่อขยายก่อนเข้าห้องอบแห้งจะออกแบบให้เป็นทรงกรวยโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าเท่ากับ 0.102 m เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกเท่ากับ 0.23 m และความยาวเท่ากับ 0.2 m

หาค่า k จากสมการที่ (2.10)

$$\begin{aligned}k &= 2.6 \sin \frac{\theta \times 2}{2} \left[1 - \left(\frac{D_{\text{in}}}{D_{\text{out}}} \right)^2 \right] \\ k &= 2.6 \sin \left[\frac{\left(\tan^{-1} \left(\frac{0.064}{0.2} \right) \right) \times 2}{2} \right] \left[1 - \left(\frac{0.102}{0.23} \right)^2 \right] \\ k &= 0.529\end{aligned}$$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.10)

$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho \left(\frac{v^2}{2} \right) k \\ &= 0.8461 \left(\frac{0.3^2}{2} \right) 0.529 \\ \Delta P &= 0.080 \text{ Pa}\end{aligned}$$

5. ข้องอ 90°



ข้องอที่ท่อดูดอากาศ

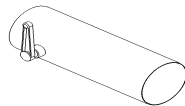
$$D = 10.2 \text{ cm}, V = 1.52 \text{ m/s}$$

$k = 0.75$ จากตารางที่ ง.2

แทนค่าลงในสมการที่ (2.9)

$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot k \\ \Delta P &= (0.8461) \left(\frac{1.52^2}{2} \right) (0.75) \\ \Delta P &= 0.733 \text{ Pa}\end{aligned}$$

6. Valveควบคุม (6.1, 6.2 และ 6.3)



ในการออกแบบจะต้องใช้ Valve ฝึลื้อ ทั้งหมด (n) 3 ตัว โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.102 m

k = 5 จากตารางที่ ง.2

แทนค่าลงในสมการ (2.8)

$$\Delta P = \rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot k \cdot n$$

$$\Delta P = (0.8461) \left(\frac{1.52^2}{2} \right) (5)(3)$$

$$\Delta P = 14.774 \text{ Pa}$$

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงผลรวมของความดันสูญเสียทั้งระบบ

อุปกรณ์	ความดันที่สูญเสีย(Pa)
1.1 ท่อออกจาก Blower ไปเข้า Heater	0.113
1.2 ท่อออกจาก Heater ไปเข้า ข้อต่อ 3 ทาง	0.113
1.3 ท่อออกจาก ข้อต่อ 3 ทาง ไปเข้า ห้องอบ	0.068
1.4 ท่ออากาศดูดก่อนเข้าข้องอ 90°	0.113
1.5 ท่ออากาศดูดก่อนเข้า Blower	0.045
2.1 ท่อขยายเข้า Heater แบบขยายทันที	0.245
2.2 ท่อขยายเข้า Heater แบบค่อยๆ เพิ่มขนาด	0.070
2.3 ท่อ Heater	0.008
2.4 ท่อลดขนาดออกจาก Heater แบบค่อยๆลด	0.017
2.5 ท่อลดขนาดออกจาก Heater แบบลดทันที	0.488
3.1 ข้อต่อ 3 ทางก่อนเข้าห้องอบ	1.750
4.1 ท่อขยายก่อนเข้าห้องอบแห้ง	0.080
5 ข้องอ 90° ที่ ท่อดูดอากาศ	0.733
6 Valve ควบคุม (6.1, 6.2, และ 6.3)	14.774
7 ความดันในห้องอบ	228.30
8 ความดันลดที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศ	114.150
9 ความดันลดที่เกิดจากแผ่นตะแกรงดักฝุ่น	68.490
รวม	429.56

3.4 พลังงานที่ใช้จริงของระบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง

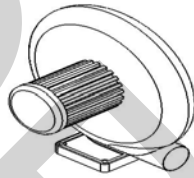
ในการคำนวณนั้นได้กำหนดอัตราการไหลของอากาศร้อนในห้องอบแห้งเป็น $0.0124 \text{ m}^3/\text{s}$ เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นโดยไม่คาดคิดจึงจำเป็นต้องคูณด้วยค่า Safety factor 4 เพื่อความปลอดภัย ดังนั้นจะได้

จากสมการที่ (2.17)

$$\begin{aligned} Q &= 0.0124 \times 4 \\ &= 0.0496 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power} &= \Delta P \cdot Q \\ &= 429.56 \times 0.0496 \end{aligned}$$

$$\text{Power} = 21.31 \text{ W}$$



ประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ใช้เท่ากับ = 50%

ประสิทธิภาพพัดลมที่ใช้เท่ากับ = 50%

$$\begin{aligned} \text{Power} &= 21.31 / (0.5 \times 0.5) \\ &= 85.22 \text{ W} \\ &= 0.085 \text{ kW} \end{aligned}$$

ดังนั้นควรเลือกใช้ต้นกำลังที่มีกำลังไม่ต่ำกว่า 0.085 kW เพื่อเป็นการเผื่อเอาไว้เนื่องจากอาจมีการสูญเสียความดันภายในระบบได้

3.5 การคำนวณหาความร้อน

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบชั้นบางนี้จะใช้ความร้อนจาก Heater โดยใช้พลังงานจากไฟฟ้า

สูตรคำนวณจากสมการ (2.17)

$$q = \rho_a \cdot Q_a \cdot C_a \cdot (T_{\max} - T_a)$$

โดย	C_a	คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแวดล้อม	= 1.01 kJ/kg ^o C
	ρ_a	คือ ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม	= 0.97 kg/m ³
	Q_a	คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศแวดล้อม	= 0.01245 m ³ /s
	T_a	คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	= 33 ^o C
	T_{\max}	คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	= 100 ^o C

$$q = 0.97 \times 0.01245 \times 1.01 \times (100 - 33)$$

$$= 1 \text{ kW}$$

ดังนั้น ขนาดของ Heater ที่คำนวณได้เท่ากับ 1 kW เราจึงเลือกใช้ Heater ที่มีขนาดมากกว่า 1 kW เพื่อเป็นการเผื่อเอาไว้เนื่องจาก Heater อาจมีการสูญเสียความร้อนภายในระบบได้

บทที่ 4

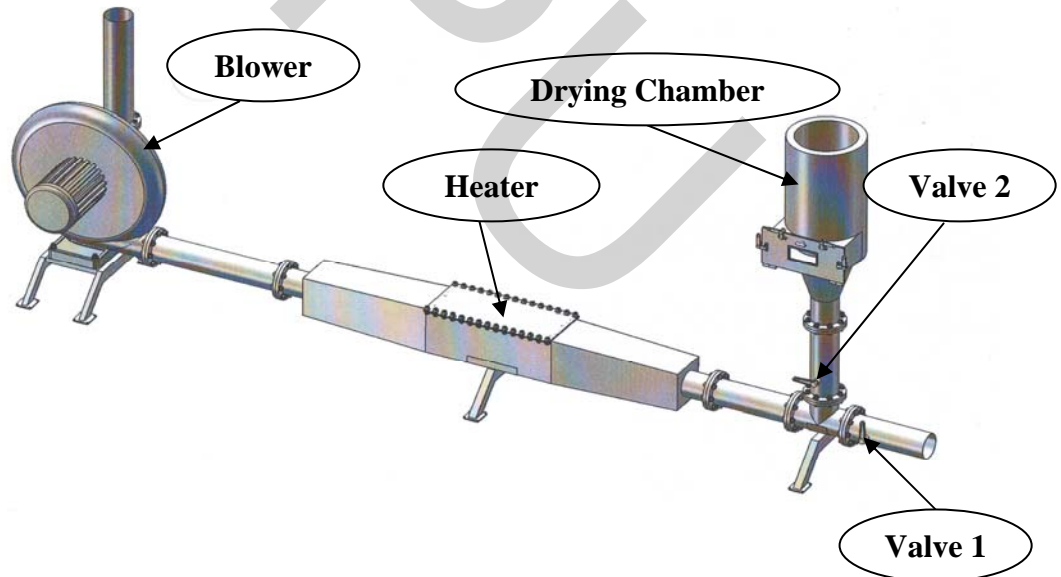
การดำเนินการวิจัย

4.1 อุปกรณ์การทดลอง

ในการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอากาศร้อนจะใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง ซึ่งมี ส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1.1 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง

เครื่องอบแห้งแบบนี้ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลาง มีลักษณะการทำงานเริ่มต้นจากการป้อนอากาศเข้าในระบบโดยพัดลม อากาศจะถูกทำให้ร้อนโดยอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) หลังจากนั้นอากาศร้อนจะผ่านเข้าไปในห้องอบแห้งเพื่อลดความชื้นของข้าวเปลือก



ภาพที่ 4.1 ไดอะแกรมเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง

ส่วนประกอบหลักๆ ของเครื่องอบแห้งแบบชั้นบางด้วยอากาศร้อน (ดูภาพที่ 4.1)

1. ห้องอบแห้งแบบชั้นบาง มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกทำด้วยสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 cm และ สูง 51 cm
2. อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) รวมทั้งหมด 10 kW (ใช้ Heater แบบขด ซึ่งแต่ละขดสามารถให้ความร้อนได้ขดละ 2 kW เราจึงใช้ Heater รวมทั้งหมด 5 ขด เป็นการต่อแบบขนานโดยใช้ไฟ 220 V) โดยมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (TC.PID Controller) ที่มีค่าความถูกต้อง $\pm 1^{\circ}\text{C}$
3. พัดลม (Blower) ที่ใช้เป็นแบบแรงเหวี่ยงศูนย์กลางใบพัดโค้งหลัง (Backward-curved centrifugal fan) มีมอเตอร์ขนาด 2 Hp, 220/380 V, Pressure 225 mm.Aq สามารถปรับอัตราการไหลของอากาศได้โดยปรับความเร็วของพัดลม

4.1.2 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง (รูปของอุปกรณ์ต่างๆอยู่ในภาคผนวก ฉ)

1. เครื่องวัดความเร็วลมชนิดขดลวดร้อน (Hot wire anemometer) มีความละเอียด ± 0.1 m/s ใช้สำหรับวัดความเร็วลมในเครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง
2. เครื่องชั่ง Sartorius มีความละเอียด ± 0.01 กรัม ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 600 กรัม ในการชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความชื้นของข้าวเปลือก
3. เครื่องชั่ง Sartorius มีความละเอียด ± 0.01 กรัม ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 2,100 กรัม ในการชั่งมวลของข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง เพื่อคำนวณหาความชื้นของข้าวเปลือก
4. เทอร์โมมิเตอร์ ที่มีความละเอียด $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของข้าวเปลือกขณะทำการเพิ่มความชื้นให้เมล็ดข้าวเปลือก
5. เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ต่อเข้ากับเครื่องวัด ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง
6. เครื่องวัดความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ Kett C - 300 ใช้สำหรับวัดค่าความชื้นของเมล็ดข้าวสาร
7. นาฬิกาจับเวลา มีความละเอียด ± 0.01 วินาที ใช้สำหรับจับเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก
8. ถุงพลาสติกร้อน ใช้สำหรับเก็บข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งเพื่อรอการทดสอบคุณภาพด้านต่างๆ

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 การเตรียมข้าวเปลือก

1. เตรียมข้าวเปลือกใช้ข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่สะอาดปราศจากข้าวลีบ
2. นำข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 10% w.b. มาทำการเพิ่มความชื้นแล้วนำไปแช่ที่อุณหภูมิ -5°C เป็นเวลา 7 วัน ทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 25.0% w.b. ทั้งนี้เนื่องจากข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่เป็นเวลานานทำให้เมล็ดข้าวมีการดูดซับน้ำเข้าไปอยู่ภายในเมล็ด เป็นผลทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น
3. นำข้าวเปลือกที่ผ่านการให้ความชื้นแล้วมาหาความชื้นที่แท้จริง
4. นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้ใส่ถุงพลาสติกผูกปากถุงไว้เพื่อรักษาความชื้น

4.2.2 วิธีการอบแห้ง

1. เปิดพัดลมเพื่อปรับความเร็วรอบของพัดลมโดยปรับความถี่ที่ (3 Hz จะได้ความเร็วลม 0.1 m/s, 4 Hz จะได้ความเร็วลม 0.2 m/s และ 5 Hz จะได้ความเร็วลม 0.3 m/s) เปิดอุปกรณ์ให้ความร้อนและปรับตั้งอุณหภูมิของอากาศร้อนอบแห้งที่ผู้ควบคุมโดยปรับตั้งที่ temperature control ที่อุณหภูมิ 100°C
2. ทำการเปิดวาล์วตัวที่ 1 แล้วปิดวาล์วตัวที่ 2 เพื่อไม่ให้อากาศร้อนไหลผ่านเข้ามาในห้องอบ
3. เปิดฝาปิดห้องอบแห้งแบบชั้นบาง
4. ป้อนข้าวเปลือกที่ผ่านการเพิ่มความชื้นแล้วเข้าเครื่องอบแห้งแบบชั้นบางด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 100°C และที่ความสูงเบด 2 cm
5. ปิดฝาปิดห้องอบแห้งแบบชั้นบาง
6. เปิดวาล์วตัวที่ 2 แล้วปิดวาล์วตัวที่ 1 เพื่อให้อากาศร้อนไหลผ่านเข้าไปยังห้องอบแห้งแบบชั้นบาง
7. ทำการวัดอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกห้องอบแห้งแบบชั้นบางในแล้วบันทึกผลโดยอ่านค่าจาก temperature display
8. เมื่ออบแห้งข้าวเปลือกได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว (5, 10, 15, 20, 25, 30, 45 และ 60 นาที) นำข้าวเปลือกออกจากห้องอบ โดยทำการปิดวาล์วตัวที่ 2 เปิดวาล์วตัวที่ 1 อยู่ก่อนเข้าห้องอบเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศร้อนไหลผ่านห้องอบ
9. เปิดฝาปิดห้องอบแห้งแบบชั้นบาง เพื่อนำข้าวเปลือกที่อบแห้งแล้วออกจากห้องอบแห้งแล้วนำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งมาชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล (Sartorius)
10. ทำการปรับเปลี่ยนความเร็วลม และทำซ้ำ 4-9 จนครบเวลา 60 นาที

11. นำน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ใช้เงื่อนไขความเร็วลมที่ต่างกันที่เวลา (5, 10, 15, 20, 25, 30, 45 และ 60 นาที) มาหาค่าความชื้นที่ประมาณ 18 - 20% w.b. ว่าเวลาในการอบแห้งเท่าไร
12. จากนั้นนำข้าวเปลือกที่ผ่านการทำความชื้นที่ 25.0% w.b. จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายที่ประมาณ 18 - 20% w.b. มาทำการทดลองซ้ำ 1 - 7
13. หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 14 วัน แล้วจึงนำไปทดสอบคุณภาพต่อไป

4.3 การทดสอบคุณภาพข้าว

4.3.1 การหาความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก (Moisture content)

การหาความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งมวลของกระป๋องความชื้น (Moisture can) ซึ่งจะใช้บรรจุข้าวเปลือกที่จะหาความชื้นและบันทึกค่า
2. นำตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกที่ต้องการหาความชื้นใส่กระป๋องความชื้น (Moisture can) ประมาณ 30 - 40 กรัม
3. ชั่งมวลรวมของเมล็ดข้าวเปลือกและกระป๋องข้าวเปลือก (Moisture can) และบันทึกค่า
4. นำกระป๋องความชื้น (Moisture can) ที่มีเมล็ดข้าวเปลือกเข้าสู่ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ตั้งอุณหภูมิตู้อบแห้งไว้ที่ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
5. เมื่อครบ 72 ชั่วโมง นำกระป๋องความชื้น (Moisture can) ออกมาเก็บไว้ในโถแก้วปิดสนิททิ้งไว้ประมาณ 45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกเย็นลงมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม
6. นำกระป๋องความชื้น (Moisture can) ที่เย็นลงมาชั่งอีกครั้ง บันทึกค่าและคำนวณหาความชื้นดังต่อไปนี้

$$\text{หาความชื้นมาตรฐานเปียก \% w.b.} = \left(\frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบ} - \text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบ}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบ}} \right) \times 100\% \quad (4.1)$$

$$\text{หาความชื้นมาตรฐานแห้ง \% d.b.} = \left(\frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบ} - \text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบ}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบ}} \right) \times 100\% \quad (4.2)$$

4.3.2 วิธีการหาร้อยละของต้นข้าว

1. ทำความสะอาดข้าวเปลือก โดยผ่านเครื่องคัดแยก (Aspirator) เพื่อดูเอาเมล็ดลีบ และสิ่งเจือปนต่างๆ ออกจากเมล็ดข้าวเปลือก ส่วนวัสดุหนักจะต้องคัดเล็กลงด้วยมือ
2. ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้วให้ได้ 250 กรัม
3. นำไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือก (Satake) จนเปลือกหลุดออกหมด
4. ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องที่ได้จากการกะเทาะเปลือกออกแล้วบันทึกค่าไว้ที่ช่องใส่ข้าว
5. ชัดข้าวด้วยเครื่อง (McGill Miller) เป็นเวลา 1 นาที ทิ้งข้าวสารไว้ให้เย็น
6. ชั่งน้ำหนักข้าวสารที่ได้จากการชัดเจนแล้วบันทึกค่าไว้ที่ช่องใส่ข้าว
7. นำข้าวสารที่ได้ทั้งหมดไปแยกส่วนที่เป็นต้นข้าวและข้าวหักออกจากกันด้วยเครื่องคัดเกรดข้าว (Rice grader)
8. ชั่งน้ำหนักต้นข้าวที่ได้แล้วบันทึกค่าไว้ที่ช่องนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละต้นข้าว, ร้อยละต้นข้าวสัมพัทธ์, ร้อยละข้าวหัก, ร้อยละรำ และ ร้อยละแกลบ จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละต้นข้าว} = (\text{น้ำหนักต้นข้าว} \times 100) / \text{น้ำหนักข้าวเปลือก} \quad (4.3)$$

$$\text{ร้อยละข้าวหัก} = (\text{น้ำหนักข้าวสาร} - \text{น้ำหนักต้นข้าว}) \times 100 / \text{น้ำหนักข้าวเปลือก} \quad (4.4)$$

$$\text{ร้อยละรำ} = (\text{น้ำหนักข้าวกล้อง} - \text{น้ำหนักข้าวสาร}) \times 100 / \text{น้ำหนักข้าวเปลือก} \quad (4.5)$$

$$\text{ร้อยละแกลบ} = (\text{น้ำหนักข้าวเปลือก} - \text{น้ำหนักข้าวกล้อง}) \times 100 / \text{น้ำหนักข้าวเปลือก} \quad (4.6)$$

$$\text{ร้อยละต้นข้าวสัมพัทธ์} = \text{ร้อยละข้าวตัวอย่าง} \times 100 / \text{น้ำหนักข้าวเปลือก} \quad (4.7)$$

4.3.3 วิธีการหาร้อยละข้าวท้องไข่ (White belly)

นำต้นข้าวที่ได้จากการทดสอบคุณภาพจัดการสี จำนวน 100 เมล็ด มาแยกข้าวที่เป็น White belly ออกจากกลุ่ม โดยใช้แสงไฟส่องจากด้านล่างของเมล็ด เลือกเมล็ดที่มีพื้นที่ขาวขุ่น ทึบแสงเกิน 50% ของพื้นที่ทั้งเมล็ด โดยทำซ้ำกันจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ

4.3.4 คุณภาพการขัดสีเมล็ดข้าวเปลือก

นำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งตามเงื่อนไขต่างๆ ที่มีความชื้นเหลือประมาณ 18 - 20% w.b. นำไปผึ่งกับอากาศแวดล้อมที่อุณหภูมิ 33 °C เป็นเวลา 14 วัน แล้วจึงนำไปทดสอบคุณภาพโดยการขัดสี ด้วยเครื่อง (Satake) เป็นเครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยาง ขัดขาวด้วยลูกหินขัด คัดแยกข้าวหัก ด้วยตะแกรงกลม (แสดงดังภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพการขัดสี

4.3.5 วิธีการทดสอบความขาวของข้าวสาร

การทดสอบความขาวของข้าวสารนั้นใช้อุปกรณ์วัดความขาวแบบอิเล็กทรอนิกส์ kett C-300 มีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. เปิดสวิทช์เครื่อง kett C-300 เมื่อมีสัญญาณเตือนให้กดปุ่ม Reset
2. นำแผ่น Filter มาใส่เครื่อง kett C-300 รอสัญญาณเตือนที่หน้าปัด
3. นำความขาวอ้างอิงมาใส่เครื่อง kett C-300 อ่านเพื่อทดสอบเทียบเครื่อง (Calibrate) จากนั้น

นำความขาว อ้างอิงออกจากเครื่อง

4. นำตัวอย่างข้าวสารแต่ละชุดมาตรวจสอบความขาว จำนวน 3 ครั้ง ต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 4.3 เครื่องทดสอบความขาวของข้าวสาร kett C-300

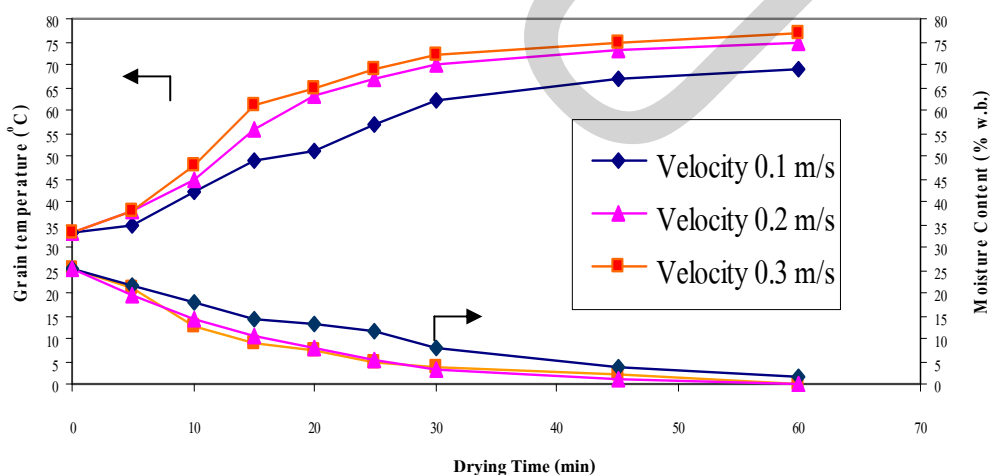
บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคการอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบางโดยมีเงื่อนไขการทดลอง คือใช้ข้าวเปลือกเป็นวัสดุทดลองมีน้ำหนักเริ่มต้น 500 g เบดสูง 2 cm โดยความชื้นเริ่มต้นประมาณ 25% w.b. โดยความเร็วของอากาศก่อนเข้าห้องอบนี้จะใช้ที่ความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s โดยจะทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้งที่ 100 °C ซึ่งมีผลการศึกษาดังนี้

5.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกและความเร็วลมของอากาศร้อน

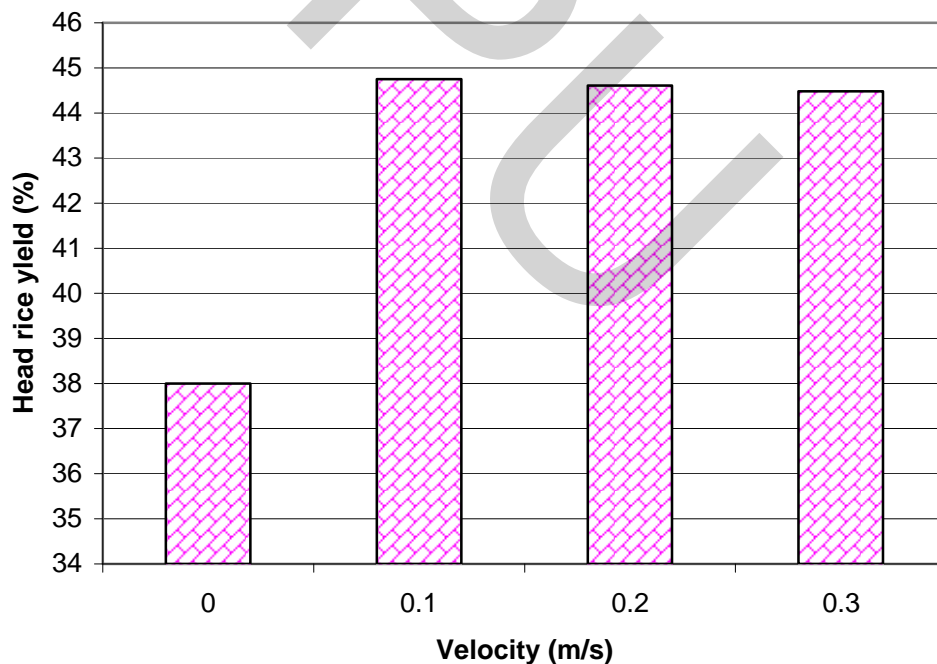
จากการทดลองได้นำข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกเท่ากับ 25% w.b. เมื่อนำข้าวเปลือกไปอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อน 100 °C ความสูงเบด 2 cm ความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s ดังแสดงในรูปที่ 5.1 พบว่า เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วลมของอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.3 m/s ได้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกสูงกว่ากรณีความเร็วลมของอากาศร้อนที่ 0.1, 0.2 m/s ตามลำดับเนื่องจากในกรณีที่มีความเร็วลมที่ 0.3 m/s มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง จึงทำให้อุณหภูมิของเมล็ดสูงกว่า 0.1, 0.2 m/s ส่งผลให้สามารถในการระเหยของน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกได้เร็วกว่า จึงทำให้เวลาในการอบแห้งสั้นลง ดังแสดงในภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือก ที่ความชื้นเริ่มต้น 25% w.b. ด้วยอากาศร้อน 100 °C ความสูงเบด 2 cm ที่ความเร็วลมของอากาศร้อน 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s

จากภาพที่ 5.2 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของร้อยละต้นข้าว จากความชื้นเริ่มต้นที่ 25.18% w.b. ไปอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อน 100 °C ความสูงเบด 2 cm ความเร็วของอากาศร้อน 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s พบว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้วมีความชื้นสุดท้ายระหว่าง 18 - 20% w.b. จะได้ร้อยละต้นข้าวเท่ากับ 44.75%, 44.61% และ 44.48% ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าร้อยละต้นข้าวที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง (0 m/s) มีค่า 38.0% เนื่องจากการเพิ่มความเร็วลมทำให้อุณหภูมิของเมล็ดเพิ่มสูงขึ้น และความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกยังสูงอยู่ ซึ่งสภาวะดังกล่าวเหมาะสมต่อการเริ่มเกิดเจลลาคีโนเซชันจึงทำให้ได้ร้อยละต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นถ้าความชื้นต่ำกว่า 18% w.b. จะทำให้ปริมาณร้อยละต้นข้าวลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดความแตกต่างของความชื้นที่บริเวณผิว และแกนกลางของเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความเค้นขึ้นภายในเมล็ดข้าวเปลือกซึ่งนำไปสู่การเกิดรอยร้าวและแตกหัก

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีอิทธิพลต่อร้อยละต้นข้าวเมื่อดูจากการเปลี่ยนแปลงของกราฟ เนื่องจากสันนิษฐานว่าการเกิดเจลลาคีโนเซชันของข้าวเปลือกที่ความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s มีค่าใกล้เคียงกันทำให้ร้อยละต้นข้าวไม่มีความแตกต่างกัน

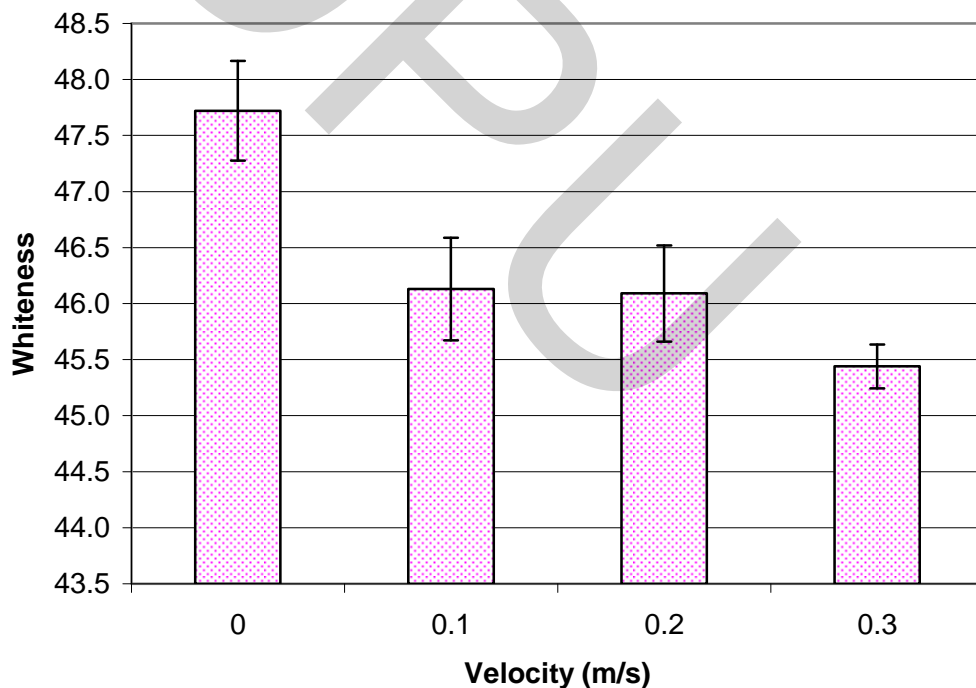


ภาพที่ 5.2 การเปลี่ยนแปลงร้อยละต้นข้าว ที่ความชื้นเริ่มต้น 25% w.b. ด้วยอากาศร้อน 100 °C ความสูงเบด 2 cm ความเร็วลมของอากาศร้อน 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s ที่ความชื้นสุดท้ายระหว่าง 18 - 20% w.b. (ความเร็ว 0 m/s คือข้าวที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง)

5.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความขาว

จากภาพที่ 5.3 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความขาวของข้าวสารจากความชื้นเริ่มต้นที่ 25.18% w.b. ไปอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อน 100 °C ความสูงเบด 2 cm ความเร็วของอากาศร้อน 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s พบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้วมีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 18 - 20% w.b. จะได้ค่าความขาวของข้าวสารเท่ากับ 46.12, 46.09 และ 45.44 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าค่าความขาวของข้าวสารที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง (0 m/s) มีค่าเท่ากับ 48.5 เนื่องจากการอบแห้งที่ความเร็วลมสูง ข้าวเปลือกจะได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น สังกตได้จากอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่สูงขึ้นซึ่งความร้อนจะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดอะมิโนไลซีนกับน้ำตาล ส่งผลให้ค่าความขาวของข้าวที่ผ่านการอบแห้งมีค่าลดลง

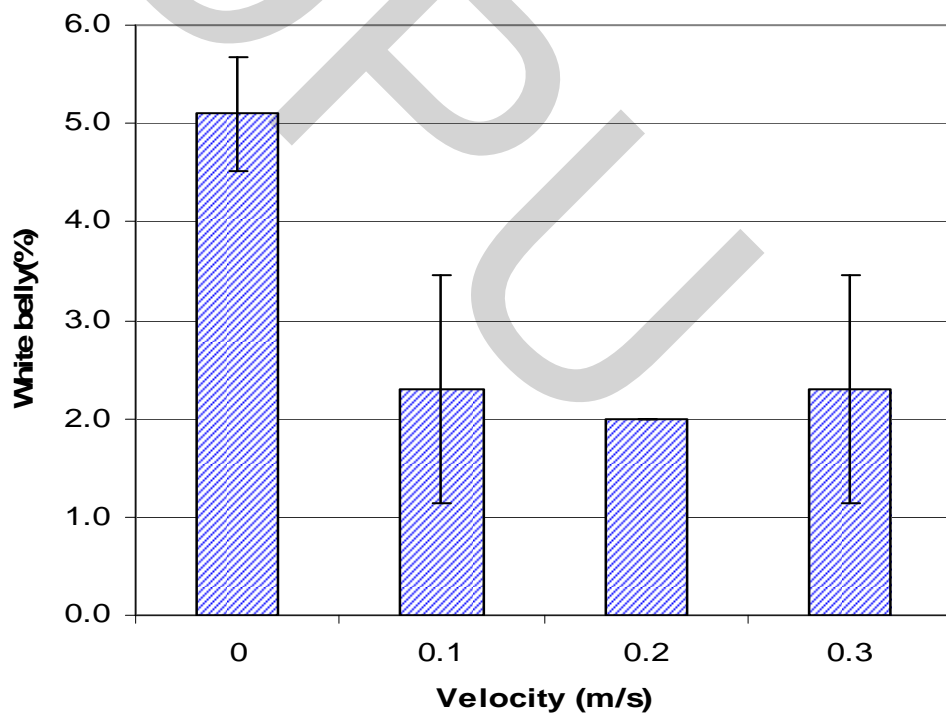
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีอิทธิพลต่อค่าความขาว น้อยมากดูจากการเปลี่ยนแปลงของกราฟ เนื่องจากอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกที่ความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s มีค่าใกล้เคียงกันทำให้ค่าความขาวไม่มีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความขาว ที่ความชื้นเริ่มต้น 25% w.b. ด้วยอากาศร้อน 100 °C ความสูงเบด 2 cm ความเร็วลมของอากาศร้อน 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s ที่ความชื้นสุดท้ายระหว่าง 18 - 20% w.b. (ความเร็ว 0 m/s คือข้าวที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง)

5.4 การเปรียบเทียบร้อยละข้าวท้องไข่ (White belly)

จากภาพที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละข้าวท้องไข่ และความเร็วลมที่ต่างกัน พบว่าค่า White belly ที่อยู่ในอุณหภูมิอากาศร้อนที่ 100°C ที่ความชื้นสุดท้ายที่ 18 - 20% w.b. จะมีร้อยละ White belly อยู่ในเกณฑ์ที่ดี จากผลการทดลองพบว่าข้าวเปลือกที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง (0 m/s) เมื่อผ่านการสีข้าว, ขัดสีและแยกเมล็ดจนได้ข้าวสาร จากการหา White belly จากข้าวสาร 100 เมล็ดทำการคัดแยกหาข้าว White belly ทำซ้ำกันสามครั้งปรากฏว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.7% และนำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s ทำการสีข้าว ขัดสี และแยกเมล็ดจนได้ข้าวสารนำมาหา White belly ได้ค่าอยู่ที่ 2.3, 2.0 และ 2.3 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ออกมาแสดงว่าความเร็วลมไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละ White belly ของเมล็ดข้าว เนื่องจากสันนิษฐานว่าการเกิดเจลาทิไนเซชันของข้าวเปลือกที่ความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s มีค่าใกล้เคียงกันทำให้ร้อยละข้าวท้องไข่ White belly ไม่มีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 5.4 การเปลี่ยนแปลงร้อยละข้าวท้องไข่ ที่ความชื้นเริ่มต้น 25% w.b. ด้วยอากาศร้อน 100°C ความสูงเบด 2 cm ความเร็วลมของอากาศร้อน 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s ที่ความชื้นสุดท้ายระหว่าง 18 - 20% w.b. (ความเร็ว 0 m/s คือข้าวที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง)

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการอบข้าวเปลือก โดยใช้ความเร็วลมด้วยการอบแห้งแบบชั้นบาง ซึ่งใช้ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ความชื้นเริ่มต้น 25% w.b. ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ความเร็วลมที่ใช้อบข้าวเปลือก ที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณต้นข้าว ค่าความขาวและ White belly แล้วทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C ความสูงเบดประมาณ 2 cm ในการศึกษาผลของการอบแห้งโดยพิจารณาเงื่อนไขที่ความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s อบแห้งไว้เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำไปอบแห้งที่เงื่อนไขการอบแห้งดังกล่าวมาสามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ

1. ข้าวเปลือกที่มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 25 - 26% w.b. เมื่อผ่านการอบแห้งที่ความเร็วลม 0.1 m/s ที่อุณหภูมิ 100 °C และเมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงและการลดลงของความชื้นข้าวเปลือกนั้นจะเห็นว่า ความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยความเร็วลม 0.1 m/s จะได้ความชื้นที่ต้องการที่ 18 - 20% w.b. ที่เวลาประมาณ 9 - 10 นาที ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยความเร็วลม 0.2 m/s จะเหลือความชื้นที่ 18 - 20% w.b. ที่เวลาประมาณ 8 นาที และข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยความเร็วลม 0.3 m/s จะเหลือความชื้นที่ประมาณ 18 - 20% w.b. ที่เวลาประมาณ 6 - 7 นาที

2. ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s ที่ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก 18 - 20% w.b. จะมีร้อยละต้นข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวเปลือกที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง ส่วนอิทธิพลของความเร็วลมไม่มีผลต่อร้อยละต้นข้าว

3. ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s ที่ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก 18 - 20% w.b. พบว่าค่าความขาวของข้าวสารจะลดลงเมื่อเทียบกับข้าวเปลือกที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง ส่วนอิทธิพลของความเร็วลมไม่มีผลต่อค่าความขาว

4. ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยความเร็วลม 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s ที่ความชื้นสุดท้ายจะมีร้อยละ White belly ไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับข้าวเปลือกที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง และส่วนอิทธิพลของความเร็วลมไม่มีผลต่อค่า White belly

สรุป จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคแบบชั้นบาง พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมคือความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกที่ 25% w.b. ถูกนำไปอบแห้งที่ความสูงเบด 2 cm โดยใช้อุณหภูมิอากาศร้อน 100 °C ความสูงเบด 2 cm ความเร็วของอากาศร้อน 0.3 m/s เมื่อข้าว เปลือกถูกอบแห้งที่เวลา 6 - 7 นาที ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสุดท้ายอยู่ระหว่างที่ 18 - 20% หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกไว้ในที่ร่ม โดยมีอากาศแวดล้อมไหลผ่านประมาณ 14 วัน (33 °C) จนความชื้นของข้าวเปลือกอยู่ที่ประมาณ 14% w.b. แล้วจึงนำไปทดสอบคุณภาพ จะได้ร้อยละต้นข้าวที่ 44.48 ค่าความขาวอยู่ที่ 45.44 ซึ่งค่าความขาวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือมากกว่า 35 เป็นเกณฑ์ที่ท้องตลาดต้องการ และร้อยละข้าวท้องไข่ (White belly) มีค่าเท่ากับ 2.3 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพดีตามความต้องการของตลาดเพื่อนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการใช้พลังงานและต้นทุนในกระบวนการอบแห้งแบบชั้นบาง
2. ควรมีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในเชิงอุตสาหกรรมทางด้านเศรษฐศาสตร์
3. ควรมีการทดสอบคุณภาพทางด้านโภชนาการเพิ่มเติม เช่น ปริมาณน้ำตาลภายในเมล็ดข้าว เพื่อให้เหมาะสมกับผู้ป่วยโรคเบาหวาน

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณิ เดชกำแพง. เคมีอาหารเบื้องต้น. : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2530.

เสรี สุภราทิตย์. กลศาสตร์ของไหล. : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, 2542.

อรอนงค์ และคณะ. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.

วัทญญ รอดประพัฒน์. การพัฒนาเครื่องต้นแบบอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ไอร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.

วุฒิกรณ์ จริยตันติเวชย์. การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิด์เบดสั้นสะเทือน วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.

ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณิ เดชกำแพง. เคมีอาหารเบื้องต้น. : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2530.

เสริมพงษ์ อติเรกรัฐ. การอบแห้งอาหารโดยใช้ลมร้อนร่วมกับสารดูดความชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.

เสรี สุภราทิตย์. กลศาสตร์ของไหล. : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, 2542.

Kunii D, and Levenspiel O. **Fluidization Engineering**. Tokyo University of Tokyo, 1991.

Nour and Jantan et al. Effect of Drying Air temperature and Grain Temperature of Different Type of Dryer and Operation on Rice Quality, Drying Technology, 1969.

Sanders, J.P.M. Manufacturing in the Word **In Advanced post Academic Course on Tapioca Starch Tecnology**. Jan 22-26& Feb 19-23, AIT Center, Bangkok, 1996.

Taechapairoj. **Fluidized Bed Paddy Drying Using Superheated Steam**. King Momgkut's University of Technology, Thonburi, Bangkok Thailand, 2003.

Tumambing J.A. and Driscoll. Modelling the Performance of A Continuous Fluidized Bed Dryer for Rapid Pre-Dryin, **Proceeding of the 14th ASEAN Seminar on Grain Post-Harvest Technology**, 6-8 November 1991, Philppines, 1991.



ภาคผนวก ก.

ตารางหมวดครุภัณฑ์ และตารางหมวดวัสดุ

ตารางที่ ก.1 หมวดครุภัณฑ์

ลำดับ	รายการครุภัณฑ์	จำนวน (หน่วย)	ราคา (บาท)
1.	ชุดมอเตอร์ และ Blower 2 Hp	1	15,000
	รวม	1	15,000

ตารางที่ ก.2 หมวดวัสดุ

ลำดับ	รายการวัสดุ	จำนวน (หน่วย)	ราคา (บาท)
1.	หน้าแปลน 4"หนา 2 mm	45	9,450
2.	หน้าแปลน 9"หนา 3 mm	2	1,200
3.	HEATER 2 kW	5	5,000
4.	ท่อขนาด 4"หนา 1.5 mm ยาว 6 m	2	7,400
5.	ประเก็น	1	560
6.	แอสตันเลสแผ่น หนา 1.5 mm	1	6,200
7.	สายทนความร้อนขนาด 2.5 mm	2	60
8.	ข้องอ 90° ขนาด 4"	3	1,950
9.	หน้าแปลน 7"หนา 3 mm	4	1,800
10.	เทอร์โม STG 8411	1	1,800
11.	สายเทอร์โม TYPE K 20 m	1	1,200
12.	ตู้พลาสติกกันฝน เบอร์ 2	1	300
13.	ตู้พลาสติกกันฝน เบอร์ 3	1	450
14.	ผ้าเทป 3 M	1	35
15.	เบรกเกอร์ 15 A	1	350
16.	เบรกเกอร์ 60 A	1	850
17.	เบรกเกอร์ 50 A	1	780
18.	ไฟหลอดแอมซ์เขียว, แดง LED	2	130
19.	สวิตช์ลูกสออน 22 mm มีไฟ	5	925
20.	สาย THW 4	5	100
21.	สาย THW 2.5	5	60
22.	หลอด LED 22 mm	2	110

23.	เนมเพลท	2	40
24.	ลวดเชื่อม 308L 2.6 mm 0282	2	1,400
25.	สกรูหัวจม ขนาด 6×20	103	324
26.	สกรูทองเหลือง	92	184
27.	หัวน็อต 6 mm	200	100
28.	สกรู-น็อตขาว 5×45	4	8
29.	เพลลา STL 3/16 × 2mm	1	105
30.	แขน STL ¾" 1/8 × 32"	1	90
31.	แผ่นอลูมิเนียม 3.0 × 18"	1	415
32.	แผ่น STL เจาะรู 1.0 × 24 × 60 cm ขนาดรู 1/8	1	480
33.	แสดนเลสแผ่น 1" × 1.5	1	167
34.	แผ่นSTL 1.5 × 18 × 100 m	1	550
35.	เพลลา ¼" × 1"	1	10
36.	ไบตัด 4"	12	270
37.	เหล็กฉาก 1 × 3T	1	183
38.	ท่อแป๊บแสดนเลส ยาว 40 m	1	183
39.	เหล็กแป๊บ 2 × 1.2T ยาว 6 m	1	330
40.	สายพาน	1	80
41.	กาว TOYOTA	1	140
42.	สปริง	1	30
43.	UBOLT 3 ^{1/2}	2	32
44.	หัวอัดจารบี 118	10	50
45.	หัวอัดจารบี 114	4	32
46.	หัวน็อตหางปลา 6 mm	12	48
47.	แหวนสปริง 5 mm	15	5
48.	สกรูติดแหวน 8 × 20	8	24
49.	บู๊ชประตู่ 1/2	4	32
รวม			46,052

หมายเหตุ วัสดุท่อทำจากแสดนเลส

DUPLICATE

ภาคผนวก ข.
ข้อมูลและผลที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยความเร็วลม 0.1, 0.2, 0.3 m/s

ที่อุณหภูมิ 100 °C ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b.

ความเร็วลม (m/s)	No.	น.น. กระป๋อง (กรัม)	ก่อนเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		หลังเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		ความชื้น % w.b.	ความชื้น เฉลี่ย % w.b.	ความชื้น % d.b.	ความชื้น เฉลี่ย % d.b.	อุณหภูมิ เมล็ด (°C)
			น.น. กระป๋อง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. กระป๋อง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)					
0	K39	19.480	61.050	41.570	51.544	32.064	22.867	25.017	29.647	33.423	55
	K40	17.313	63.228	45.915	51.492	34.179	25.560				
	K41	18.808	62.930	44.122	51.183	32.375	26.624				
0.1	K1	19.345	58.516	39.171	51.749	32.404	17.276	18.690	20.883	23.010	57
	K2	19.952	60.097	40.145	52.034	32.082	20.085				
	K3	18.589	59.842	41.253	52.124	33.535	18.709				
0.2	K19	21.240	60.502	39.262	53.206	31.966	18.583	17.366	22.824	21.037	66
	K20	19.971	59.895	39.924	52.874	32.903	17.586				
	K21	19.871	60.040	40.169	53.641	33.770	15.930				
0.3	K24	20.552	59.050	38.498	52.684	32.132	16.536	17.016	19.812	20.509	69
	K25	21.115	58.968	37.853	52.576	31.461	16.886				
	K26	19.380	60.020	40.640	52.857	33.477	17.625				

ตารางที่ ข.2 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.1 m/s
ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C

เวลา การ อบแห้ง (นาทื)	น.น. ตะแกรง (กรัม)	ก่อนเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		หลังเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		ความชื้น ที่ สูญเสีย % w.b.	ความชื้น คงเหลือ % w.b.	ความชื้น ที่สูญเสีย % d.b.	ความชื้น คงเหลือ % d.b.	อุณหภูมิ เมล็ด (°C)
		น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)					
0	51	551	500	551	500	0	26.00	0	32	31.0
5	51	551	500	528.2	477.2	4.56	21.44	4.8	27.2	35.0
10	51	528.2	477.2	512.3	461.3	3.33	18.11	3.4	23.8	42.0
15	51	512.3	461.3	495.1	444.1	3.73	14.38	3.9	19.9	49.0
20	51	495.1	444.1	489.6	438.6	1.24	13.14	1.3	18.6	51.0
25	51	489.6	438.6	481.7	430.7	1.80	11.34	1.8	16.8	57.0
30	51	481.7	430.7	466.9	415.9	3.44	7.90	3.6	13.3	62.0
45	51	466.9	415.9	450.3	399.3	3.99	3.91	4.2	9.1	67.0
60	51	450.3	399.3	440.1	389.1	2.55	1.36	2.6	6.5	69.0

ตารางที่ ข.3 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.2 m/s
ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C

เวลา การ อบแห้ง (นาท)	น.น. ตะแกรง (กรัม)	ก่อนเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		หลังเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		ความชื้น ที่ สูญเสีย % w.b.	ความชื้น คงเหลือ % w.b.	ความชื้น ที่สูญเสีย % d.b.	ความชื้น คงเหลือ % d.b.	อุณหภูมิ เมล็ด (°C)
		น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)					
0	51	551	500	551	500	0	26	0	32	32.0
5	51	551	500	518.7	467.7	6.5	19.5	6.9	25.1	38.0
10	51	518.7	467.7	493.5	442.5	5.4	14.2	5.7	19.4	45.0
15	51	493.5	442.5	477.1	426.1	3.7	10.4	3.8	15.6	56.0
20	51	477.1	426.1	465.3	414.3	2.8	7.7	2.8	12.7	63.0
25	51	465.3	414.3	455.6	404.6	2.3	5.3	2.4	10.3	67.0
30	51	455.6	404.6	447.5	396.5	2.0	3.3	2.0	8.3	70.0
45	51	447.5	396.5	438.2	387.2	2.3	1.0	2.4	5.9	73.0
60	51	438.2	387.2	433.6	382.6	1.2	-0.2	1.2	4.7	75.0

ตารางที่ ข.4 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.3 m/s
ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C

เวลา การ อบแห้ง (นาที)	น.น. ตะแกรง (กรัม)	ก่อนเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		หลังเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		ความชื้น ที่ สูญเสีย % w.b.	ความชื้น คงเหลือ % w.b.	ความชื้น ที่สูญเสีย % d.b.	ความชื้น คงเหลือ % d.b.	อุณหภูมิ เมล็ด (°C)
		น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)					
0	51	551	500	551	500	0	26	0	32	33.0
5	51	551	500	525.2	474.2	5.2	20.8	5.4	26.6	38.0
10	51	525.2	474.2	486.3	435.3	8.2	12.6	8.9	17.6	48.0
15	51	486.3	435.3	469.4	418.4	3.9	8.8	4.0	13.6	61.0
20	51	469.4	418.4	463.5	412.5	1.4	7.3	1.4	12.2	65.0
25	51	463.5	412.5	453.1	402.1	2.5	4.8	2.6	9.6	69.0
30	51	453.1	402.1	448.6	397.6	1.1	3.7	1.1	8.4	72.0
45	51	448.6	397.6	441.3	390.3	1.8	1.9	1.9	6.6	75.0
60	51	441.3	390.3	430.7	379.7	2.7	-0.8	2.8	3.8	77.0

ตารางที่ ข.5 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.1 m/s
 ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C
 (เวลา 0 - 9 นาที)

เวลา การ อบแห้ง (นาที)	น.น. ตะแกรง (กรัม)	ก่อนเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		หลังเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		ความชื้น ที่ สูญเสีย % w.b.	ความชื้น คงเหลือ % w.b.	ความชื้น ที่สูญเสีย % d.b.	ความชื้น คงเหลือ % d.b.	อุณหภูมิ เมล็ด (°C)
		น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)					
0	51	551	500	551	500	0	26.00	0	32	33
6	51	551	500	527.6	476.6	4.68	21.32	4.9	27.1	38
7	51	527.6	476.6	518.2	467.2	1.97	19.35	2.0	25.1	39
8	51	518.2	467.2	515.3	464.3	0.62	18.73	0.6	24.5	39.5
9	51	516.3	465.3	514.8	463.8	0.32	18.40	0.3	24.1	40

ตารางที่ ข.6 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.2 m/s
 ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C
 (เวลา 0 - 9 นาที)

เวลา การ อบแห้ง (นาที)	น.น. ตะแกรง (กรัม)	ก่อนเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		หลังเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		ความชื้น ที่ สูญเสีย % w.b.	ความชื้น คงเหลือ % w.b.	ความชื้น ที่สูญเสีย % d.b.	ความชื้น คงเหลือ % d.b.	อุณหภูมิ เมล็ด (°C)
		น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)					
0	51	551	500	551	500	0	26.00	0	32	37
6	51	551	500	525.3	474.3	5.14	20.86	5.4	26.6	40
7	51	525.3	474.3	521.4	470.4	0.82	20.04	0.8	25.8	40.9
8	51	521.4	470.4	512.1	461.1	1.98	18.06	2.0	23.7	42
9	51	512.1	461.1	509.7	458.7	0.52	17.54	0.5	23.2	43

ตารางที่ ข.7 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ความเร็วลม 0.3 m/s
 ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26% w.b. ที่อุณหภูมิ 100 °C
 (เวลา 0 - 9 นาที)

เวลา การ อบแห้ง (นาที)	น.น. ตะแกรง (กรัม)	ก่อนเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		หลังเข้าตู้อบ (Hot air Oven)		ความชื้น ที่ สูญเสีย % w.b.	ความชื้น คงเหลือ % w.b.	ความชื้น ที่สูญเสีย % d.b.	ความชื้น คงเหลือ % d.b.	อุณหภูมิ เมล็ด (°C)
		น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ตะแกรง รวม ข้าวเปลือก (กรัม)	น.น. ข้าวเปลือก (กรัม)					
0	51	551	500	551	500	0	26.00	0	32	40
6	51	551	500	516.2	465.2	6.96	19.04	7.5	24.5	42
7	51	516.2	465.2	510.8	459.8	1.16	17.88	1.2	23.3	43
8	51	510.8	459.8	505.6	454.6	1.13	16.75	1.1	22.2	43.2
9	51	505.6	454.6	502.4	451.4	0.70	16.04	0.7	21.5	43.7

ตารางที่ ข.8 คุณภาพหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 °C

ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 25% w.b.

ความเร็วลม (m/s)	มวลข้าวเปลือก (กรัม)	มวลข้าวกล้อง (กรัม)	มวลข้าวสาร (กรัม)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (กรัม)	% ข้าวเต็มเมล็ด (กรัม)	% ข้าวหัก (กรัม)	% แกลบ (กรัม)	% รำ (กรัม)
0	250.02	193.68	170.43	134.76	47.02	14.27	22.53	9.30
0.1	250.01	194.74	170.14	130.53	45.63	15.84	22.11	9.84
0.2	250.01	192.21	166.47	128.72	44.61	15.10	23.12	10.30
0.3	250.00	192.68	168.58	127.85	44.48	16.29	22.93	9.64

ตารางที่ ข.9 คุณภาพหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 °C

ความสูงเบด 2 cm ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 25% w.b.

ความเร็วลม (m/s)	ค่าความขาว			ค่าความขาวเฉลี่ย	White belly			White belly เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	50.3	50.1	50.7	50.36	2	3	3	2.7
0.1	49.2	49.4	48.9	49.16	1	3	3	2.3
0.2	48.7	49.2	47.6	48.5	1	2	3	2.0
0.3	47.8	48.5	48.2	48.16	3	3	3	3.0

ภาคผนวก ค.
รูปขั้นตอนการออกแบบ และสร้างเครื่องแก่งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง



ภาพที่ ค.1 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ บนกระดาษ



ภาพที่ ค.2 การนำแบบกระดาษมาวางลงแผ่นสแตนเลส



ภาพที่ ค.3 การตัดสแตนของกล่อง Heater



ภาพที่ ค.4 การตัดสแตนรูปกรวยของห้องอบแห้ง



ภาพที่ ค.5 การเชื่อมกรวย



ภาพที่ ค.6 การเชื่อมต่อสามทาง



ภาพที่ ค.7 การเจาะรูหน้าแปลน



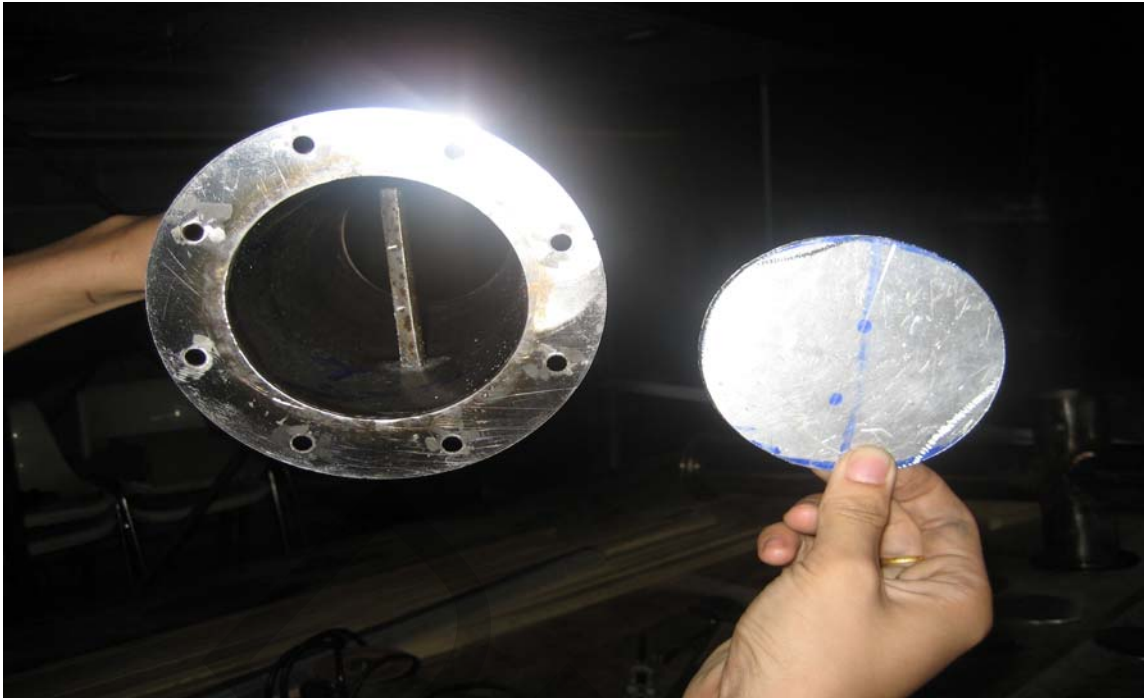
ภาพที่ ค.8 หน้าแปลนที่เจาะรูเสร็จแล้ว



ภาพที่ ค.9 การนำหน้าแปลนมาเชื่อมกับท่อเสตนเลสตรง



ภาพที่ ค.10 การนำหน้าแปลนมาเชื่อมกับท่อเสตนเลสโค้ง



ภาพที่ ค.11 การทำวาล์วเปิด-ปิด



ภาพที่ ค.12 วาล์วเปิด-ปิดภายในท่อของห้องอบแห้ง



ภาพที่ ค.13 การทำห้องอบแห้งแบบชั้นบาง



ภาพที่ ค.14 การทำห้องอบแห้งแบบชั้นบาง



ภาพที่ ค.15 การประกอบกล่อง Heater เข้ากับห้องอบแห้ง



ภาพที่ ค.16 การประกอบห้องอบแห้งแบบชั้นบาง



ภาพที่ ค.17 การประกอบ Blower เข้ากับท่อดูดอากาศเข้า



ภาพที่ ค.18 การประกอบ Blower เข้ากับกล่อง Heater



ภาพที่ ค.19 การติดตั้งส่วนต่างๆ ของเครื่องอบแห้งภายในห้องปฏิบัติงานโครงการ



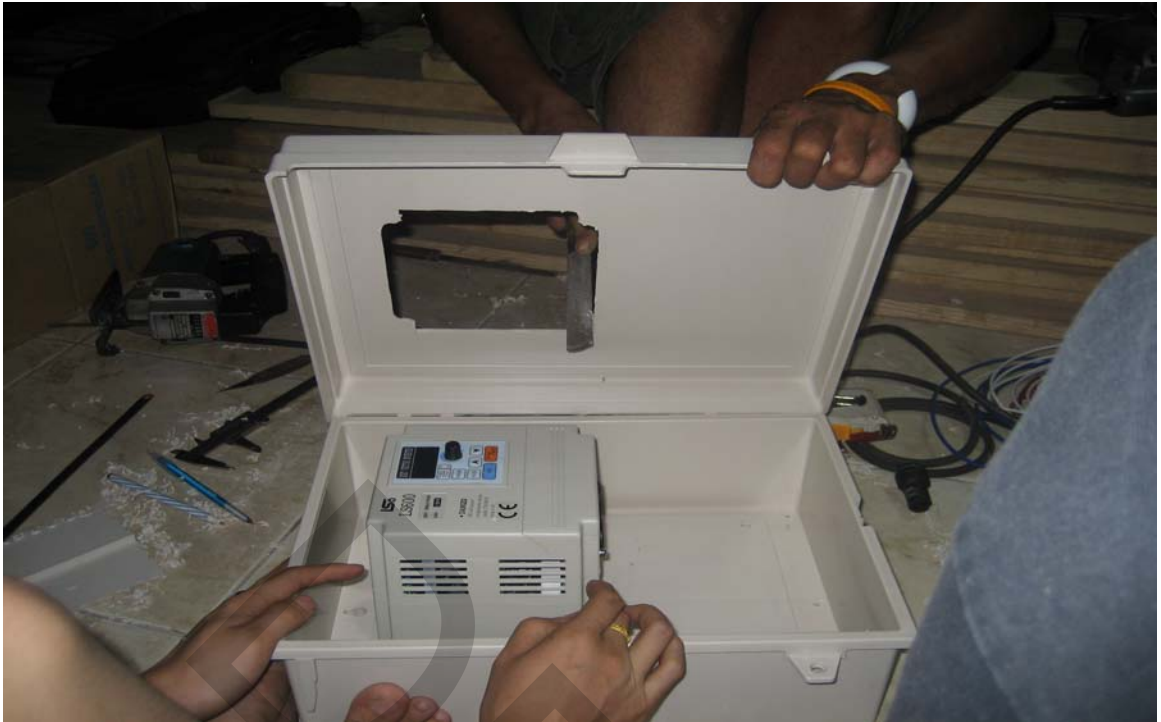
ภาพที่ ค.20 การติดตั้งตัวเครื่องห้องอบแห้งภายในห้องปฏิบัติงานโครงการ



ภาพที่ ค.21 เครื่องอบแห้งแบบชั้นบางภายในห้องปฏิบัติการงาน โครงการ



ภาพที่ ค.22 เครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง



ภาพที่ ค.23 การประกอบชุดตัวควบคุมไฟฟ้า



ภาพที่ ค.24 ชุดตัวควบคุมไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง



ภาคผนวก ง.

ตารางและภาพแสดงคุณสมบัติของวัสดุ

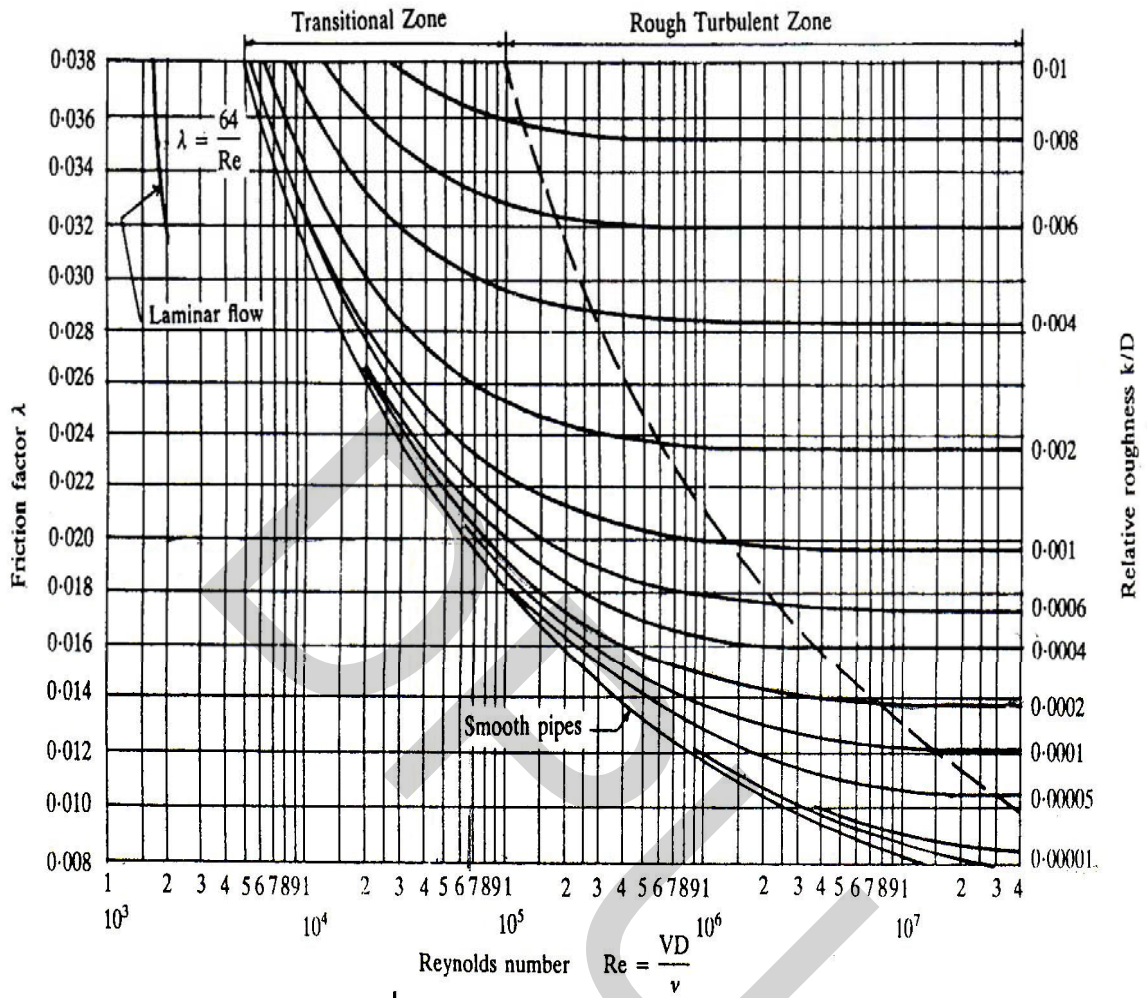
ตารางที่ ง.1 ตารางแสดงค่าความขรุขระของท่อชนิดต่างๆ

ที่มา ; เสรี สุภราทิพย์ ,[2542]

Surface	Roughness - ϵ	
	millimeters	feet
Copper, Lead, Brass, Aluminum	0.001 – 0.002	$3.33 - 6.7 \cdot 10^{-6}$
PVC and Plastic Pipes	0.0015 – 0.007	$0.5 - 2.33 \cdot 10^{-5}$
Epoxy, Vinyl Ester and Isophthalic pipe	0.005	$1.7 \cdot 10^{-5}$
Stainless steel	0.02	$5 \cdot 10^{-5}$
Steel commercial pipe	0.045 – 0.09	$1.5 - 3 \cdot 10^{-4}$
Stretched steel	0.015	$5 \cdot 10^{-5}$
Weld steel	0.045	$1.5 \cdot 10^{-4}$
Galvanized steel	0.15	$5 \cdot 10^{-4}$
Rusted steel (corrosion)	0.15 - 4	$5 - 133 \cdot 10^{-4}$
New cast iron	0.25 – 0.8	$8 - 27 \cdot 10^{-4}$
Worn cast iron	0.8 – 1.5	$2.7 - 5 \cdot 10^{-3}$
Rusty cast iron	1.5 – 2.5	$5 - 8.3 \cdot 10^{-3}$
Sheet or asphalted cast iron	0.01 – 0.015	$3.33 - 5 \cdot 10^{-5}$
Smoothed cement	0.3	$1 \cdot 10^{-3}$
Ordinary concrete	0.3 – 1	$1 - 3.33 \cdot 10^{-3}$
Coarse concrete	0.3 - 5	$1 - 16.7 \cdot 10^{-3}$
Well planed wood	0.18 – 0.9	$6 - 30 \cdot 10^{-4}$
Ordinary wood	5	$16.7 \cdot 10^{-3}$

ตารางที่ ง.2 แสดงค่าแฟคเตอร์ความสูญเสียรองที่อุปกรณ์ต่างๆ (k)

ชนิด	k
Globe Valve	10
Butterfly Valve	5
Gate Valve	0.19
ข้อต่อสามทาง	1.8
ข้องอ 90° รัศมีสั้น	0.9
ข้องอ 90° รัศมีปานกลาง	0.75
ข้องอ 90° รัศมียาว	0.60
ข้องอ 45°	0.42
ท่อลดขนาดแบบทันที	0.5



ภาพที่ 3.1 ภาพ Moody Diagram ที่มา ; (เสวี สุภราพิตย์, 2542)

ภาคผนวก จ.
การคำนวณหาหน้าหนักน้ำ

การคำนวณหาน้ำหนักน้ำที่ใส่ข้าวในการทดลอง 40 kg

ข้าว 40 kg โดยมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 10% w.b. เพิ่มเป็น 25% w.b. จะต้องใช้น้ำกี่ kg

จากสูตร

$$WR = \text{น้ำหนักข้าว} \frac{(1 - \text{ความชื้นเริ่มต้น})}{(1 - \text{ความชื้นที่ต้องการ})}$$

โดย $WR = \text{น้ำหนักข้าว} + \text{น.น.น้ำที่ต้องการ}$

แทนค่า

$$WR = 40 \text{ kg} \frac{(1 - 0.10)}{(1 - 0.25)}$$

$$WR = 47.47 \text{ kg}$$

ดังนั้น น้ำหนักน้ำ

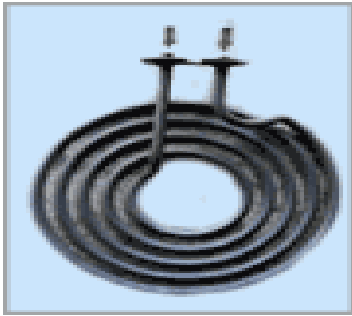
$$\begin{aligned} &= WR - \text{น้ำหนักข้าว} \\ &= 47.47 - 40 \\ &= 7.47 \text{ kg} \end{aligned}$$

ดังนั้น เราจึงใช้น้ำ 8 kg ในการเพิ่มความชื้นข้าวเป็นการเผื่อเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ



ภาคผนวก จ

เครื่องมือวัดและอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ น.1 Heater แบบขด



ภาพที่ น.2 พัดลม (blower) แบบใบพัด ใ้คงหลัง



ภาพที่ น.3 เครื่อง kett C-300



ภาพที่ น.4 เครื่องชั่ง ซึ่งสามารถชั่งได้สูงสุด 600 g



ภาพที่ น.5 เครื่องชั่ง ซึ่งสามารถชั่งได้สูงสุด 2,100 g



ภาพที่ น.6 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K



ภาพที่ ๗.7 กรงตาข่าย



ภาพที่ ๗.8 ตู้ควบคุม Inverter



ภาพที่ ๗.9 ตู้ควบคุม อุณหภูมิ



ภาพที่ ๗.10 ตู้แสดงอุณหภูมิที่วัดแต่ละจุด

ประวัติผู้เขียน

โครงการวิศวกรรม	การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง
ชื่อ-สกุล	นายวีระ ศรีอริยกุล
วัน เดือน เกิด	11 มกราคม 2525
ประวัติการศึกษา	
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ทุนการศึกษาหรือทุนวิจัย	ทุนส่งเสริมการวิจัยของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ปีงบประมาณ 2550
ผลงานที่ได้ตีพิมพ์	วีระ ศรีอริยกุล, ธนิต สวัสดิ์เสวี วารุณี เตีย และ สมชาติ โสภณ รณฤทธิ์ 2549, “ การศึกษาของการพ่นไอน้ำก่อนที่มีการผลิตข้าว นี้้ง โดยเทคนิคฟลูอิดไอเซชันที่ใช้อากาศร้อน “ การประชุมวิชา การเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

โครงการวิศวกรรม	การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง
ชื่อ-สกุล	นายวุฒิกรณ์ จริยตันติเวชย์
วัน เดือน เกิด	17 เมษายน พ.ศ. 2517
ประวัติการศึกษา	
ปริญญาตรี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะ/สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ปีที่เข้าศึกษา 2537 ปีที่จบการศึกษา 2539
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะ/สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน ปีที่เข้าศึกษา 2539 ปีที่จบการศึกษา 2541
ปริญญาเอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะ/สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน (กำลังศึกษา) ปีที่เข้าศึกษา 2548 ปีที่คาดว่าจะจบการศึกษา 2551
ทุนการศึกษาหรือทุนวิจัย	ทุนส่งเสริมการวิจัยของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ปีงบประมาณ 2550

ผลงานที่ตีพิมพ์

บทความวิจัยจากรายงานประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ
Soponronnarit, S., Wetchakama, S., Trutassanawin, S., and
Jariyatontivait, W., 2000, “Design, Testing and Optimization
of Vibro-Fluidized Bed Paddy Dryer”, CD-ROM Proceeding
Noordwijkerhout, The Netherlands, August 28-31.

บทความวิจัยจากวารสารระดับนานาชาติ
Soponronnarit, S., Swasdisevi, T., Wetchacama, S, and
Jariyatontivait, W., 2001, “Design, Testing, and Optimization
of Vibro-Fluidized Bed Paddy Dryer, Drying Technology, Vol.
19, No. 8, pp. 1891-1908.

บทความวิจัยจากวารสารระดับประเทศ วิทยาศาสตร์
Wetchakama, S., Soponronnarit, S., and Jariyatontivait, W.,
“Development of a Commercial Scale Vibro-Fluidized Bed
Paddy Dryer”, Kasetsart J. (Nat. Sci.) 34 : 423-430 (2000)

บทความวิจัยจากรายงานประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ
Wuttikon Jariyatontivait, Somkiat Prachayawarakorn, Chaiyong
Taechapairoj and Somchart Soponronnarit , 2007, “Parboiling
Rice Using Humidified Hot Air Fluidization Technique”,
Proceeding The Hong Kong University of Science and
Technology, The Hong Kong, August 2007.

บทความวิจัยจากการประชุมวิชาการ
วุฒิกฤษณ์ จริยตันติเวชย์., สมเกียรติ ปรัชญาวารากร., ชัยยงค์ เตชะ
ไพโรจน์ และ สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์., “อิทธิพลของการแช่
ข้าวเปลือกและการพ่นไอน้ำก่อนสำหรับการผลิตข้าวหนึ่งด้วยการ
อบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด โดยใช้อากาศร้อน”, ครั้งที่ 7 ประจำปี
2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย