



## โครงการ

### การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การปรับปรุงสถานะที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง  
(Improve Conditions of Drying Paddy Rice Using Continuous Fluidization Bed Dryer)

#### จัดทำโดย

นายกัญจน์	สินธุ์พันธ์เดชา	รหัสประจำตัวนิสิต	5832903123
นายพัทธ์พิศณ	สัมประสิทธิ์	รหัสประจำตัวนิสิต	5832945523

#### อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชญา นิติวัดนานนท์

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 2306499 Senior Project

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)  
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

การปรับปรุงสถานะที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

กัญจน์ สินธุพันธ์เดชา  
พัทธ์พศิณ สัมประสิทธิ์

โครงงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# Improve Conditions of Drying Paddy Rice Using Continuous Fluidization Bed Dryer

Kan        Sinthupandaja

Phatpasin Sumprasit

A Senior Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the  
Degree of Bachelor of Science Program in Chemical Technology Department

Faculty of Science Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

ชื่อโครงการ การปรับปรุงสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไซเคดแบบต่อเนื่อง

ชื่อนิติผู้จัดทำโครงการ พัทธ์ศศิณ สัมประสิทธิ์  
กัญจน์ สินธุ์พันธุ์เดชา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชญา นิตีวัฒนานนท์

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสภาวะในการอบแห้งข้าวเปลือก โดยตัวแปรที่ศึกษาคือน้ำหนักที่ป้อนเข้าของข้าวเปลือก 100-300 กิโลกรัม อุณหภูมิลมร้อน 90-120 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 10.3 และ 11.1 เมตรต่อวินาที รวมถึงการคำนวณประสิทธิภาพ ความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงาน ของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซเคดแบบต่อเนื่อง ที่ศูนย์วิจัยชีวมวลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ตัวแปรที่กำหนดให้คงที่คือความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณร้อยละ 20 ถึง 22 และอัตราการป้อนข้าวเปลือก 6.21 กิโลกรัมต่อนาที ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่ทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกอยู่ระหว่างร้อยละ 13-15 คือเมื่อน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ป้อนเข้า 100 กิโลกรัม อุณหภูมิลมร้อน 110 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 11.1 เมตรต่อวินาที เมื่อพิจารณาการสูญเสียข้าวเปลือกขณะทำการทดลอง พบว่าเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซเคดแบบต่อเนื่องมีจุดรั่วไหล 5 ตำแหน่ง คิดปริมาณการรั่วไหลของข้าวเปลือกรวมร้อยละ 12.38 ตำแหน่งที่เกิดการรั่วไหลมากที่สุดคือบริเวณสายพานที่นำข้าวเปลือกจากเบตลมร้อนไปสู่เบตลมเย็น (สายพาน 2) เมื่อคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซเคดแบบต่อเนื่องนี้พบว่ามีค่าร้อยละ 77.30 ความสิ้นเปลืองพลังงานโดยคิดจากการจดบันทึกมิเตอร์ไฟฟ้าคิดเป็นเงิน 33.31 บาทต่อชั่วโมง งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงวิธีการดำเนินการอบแห้งใช้อุณหภูมิลมร้อนต่ำลงจาก 120 องศาเซลเซียส เป็น 110 องศาเซลเซียส ในการทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นในช่วงที่ต้องการ

คำสำคัญ: ข้าวเปลือก การอบแห้ง ฟลูอิดไซเคดแบบต่อเนื่อง

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิติ ..... พัทธ์ศศิณ

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางเชื้อเพลิง

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษา ..... สุชญา น.

Title Improved conditions of drying paddy rice continuous fluidized bed  
 Student name Mr. Phatpasin Sumprasit  
 Mr. Kan Sinthupundaja  
 Advisor Asst. Prof. Dr. Suchaya Nitivattananon  
 Department Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic  
 Year 2018

### Abstract

This research was aimed to study the conditions of drying paddy rice (RD 49). Parameters studied were the amount of feed in the range of 100-300 kgs, hot air temperature in the range of 90–120°C and hot air velocity at 10.3 and 11.1 m/s. The efficiency and the energy consumption of continuous fluidized bed dryer, the Center of Fuels and Energy for Biomass, Chulalongkorn University, Kaeng Khoi District, Saraburi Province, were also calculated. The initial moisture content of paddy and mass flow rate were fixed between 20 - 22 % and 6.61 Kg/min. The results showed that the best conditions for reducing moisture of 100 kg paddy to 13-15 percent were using 110 °C hot air at velocity of 11.1 m/s. Consider the loss of paddy rice during operation, there are 5 points of leakage accumulated to 12.38 percent. The most leakage position was at the belt conveying paddy from hot bed to cold bed (belt no.2). The efficiency of continuous fluidized bed dryer was 77.30 percent and the energy consumption, calculated from the electricity meter record was 33.31 baht/hr. In conclusion, this research has improved the operating procedure for proper paddy rice moisture content by decreasing lower hot air temperature from 120°C to 110°C.

**Keywords:** Paddy rice, Drying, Continuous fluidized bed

Department Chemical Technology  
 Major: Fuel Technology

Student's signature ..... *Phatpasin* .....  
 Advisor's signature ..... *Suchaya* .....

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขญา นิติวฒนานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยที่ได้เสียสละเวลาส่วนตัวมาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ กลุ่มของข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ตลอดจนคณาจารย์ภาคเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ให้ความเมตตาและเอาใจใส่แก่กลุ่มข้าพเจ้าตลอดมา

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการทำโครงการงานวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบคุณศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วิทยาเขตสระบุรี รวมถึงผู้จัดการและพนักงานทุกท่านในที่แห่งนี้ ที่ได้ให้ได้สถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์ ตลอดจนความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย และขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่ ๆ นิสิตระดับบัณฑิตศึกษาทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก แก่กลุ่มข้าพเจ้าตลอดการศึกษาและตลอดการทำโครงการงานวิจัย

สุดท้ายนี้กลุ่มของข้าพเจ้าขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้ความรัก ความเป็นห่วง กำลังใจ และให้ทุนสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยด้วยดีเสมอมา และขอบคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยของกลุ่มข้าพเจ้าสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งข้าวเปลือก	2
1.2.2 ศึกษาผลของปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ	2
1.2.3 ศึกษาจุดรั่วไหลและปริมาณการรั่วไหลของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	2
1.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	2
1.3.2 อนุภาคที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 20 - 22	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4.1 ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	2
1.4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49	2
1.4.3 ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49 ที่มีความชื้นเหมาะสม	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	2
1.5.2 เตรียมเครื่องมือและศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย	2
1.5.3 ออกแบบตารางการทดลองและทำการทดลอง	2
1.5.4 วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการทดลอง	2
1.5.5 จัดทำรายงานและนำเสนอผลงาน	2

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับข้าว	3
2.1 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช	3
2.2 ทฤษฎีการระเหย	3
2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง	5
2.3.1 ลักษณะธรรมชาติของเมล็ดข้าวเปลือก	5
2.3.2 ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือก	5
2.3.3 ปริมาณของเมล็ดข้าวเปลือกที่นำมาอบแห้ง	5
2.3.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะของอากาศ	5
2.3.5 ความดัน	5
2.4 ฟลูอิดไอเซชัน	6
2.4.1 นิยามของฟลูอิดไอเซชัน	6
2.4.2 ลักษณะการเกิดฟลูอิดไอเซชัน	6
2.5 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไอเซชัน	8
2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการอบแห้ง	11
2.6.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไอซ์เบด (Fluidized bed dryer)	11
2.6.2 เครื่องแบบเมล็ดพืชวางกองอยู่กับที่ (Batch in Bin Dryers)	11
2.6.3 เครื่องอบแห้งแบบงวดหมุนเวียน (Recirculating batch Dryers)	12
2.6.4 เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow Dryers)	13
2.6.5 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลว์ (Must Flow Paddy Dryer)	13
2.7 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current)	14
2.7.1 ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว (Single Phase)	14
2.7.2 ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (Three Phase)	14
2.7.3 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)	15
2.7.4 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)	16
2.7.5 อัตราค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า	17
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไอซ์เบด	18



## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง	22
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการอบแห้ง	22
3.1.1 เครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	22
3.1.2 เครื่องวัดความเร็วลมและอัตราการไหล (Telescopic Vane Anemometer)	24
3.1.3 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นชนิดใช้หลอดฮาโลเจน HC103	24
3.2 วัตถุประสงค์ในการทดลอง	25
3.3 วิธีการทดลอง	25
3.3.1 อัตราการป้อนข้าวเปลือก (Feed rate)	25
3.3.2 ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้ง (Hold up)	25
3.3.3 กำลังการผลิต (Production Capacity)	26
3.3.4 สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งข้าวเปลือก	26
3.3.5 จุดรั่วไหลและปริมาณการรั่วไหลออกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	27
3.3.6 ความสิ้นเปลืองพลังงาน (Electricity value)	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	33
4.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49	33
4.2 ศึกษาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไคซ์ชันและความเร็วปลายของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49	33
4.3 ศึกษาความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมของเบดลมร้อนและเบดลมเย็น	34
4.4 ศึกษาร้อยละความชื้นฐานเปียกและร้อยละความชื้นฐานแห้งเริ่มต้น	35
4.5 ศึกษาอัตราการป้อนข้าวเปลือกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	35
4.6 ศึกษาปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	36
4.7 ศึกษา กำลังการผลิตของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	36
4.8 ศึกษาผลของอุณหภูมิของเบดลมร้อนต่อความชื้นของข้าวเปลือกหลังอบแห้ง	37
4.9 ศึกษาผลของน้ำหนักที่ป้อนเข้าของข้าวเปลือกที่มีผลต่อความชื้นหลังอบ	38
4.10 ศึกษาผลของความเร็วลมของเครื่องทำความร้อนและเครื่องเป่าลมต่อความชื้นหลังอบ	39
4.11 ศึกษาผลของปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ	41
4.12 ศึกษาจุดรั่วไหลและปริมาณการรั่วไหลออกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	42
4.13 ศึกษาความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง	43

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.14 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี	43
4.15 เปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมของงานวิจัยในอดีตและปัจจุบันที่ใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด แบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	45
5.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49	45
5.2 ศึกษาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชันและความเร็วปลายของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49	45
5.3 ศึกษาความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมของเบดลมร้อนและเบดลมเย็นของเครื่องอบแห้ง ฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง	45
5.4 ศึกษาร้อยละความชื้นฐานเปียกและร้อยละความชื้นฐานแห้งเริ่มต้น	46
5.5 ศึกษาอัตราการป้อนข้าวเปลือกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี	46
5.6 ศึกษาปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี	46
5.7 ศึกษาอัตราการผลิตของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี	46
5.8 ศึกษาผลของอุณหภูมิของเบดลมร้อนต่อความชื้นหลังอบ	46
5.9 ศึกษาผลของน้ำหนักที่ป้อนเข้าของข้าวเปลือกที่มีผลต่อความชื้นหลังอบ	47
5.10 ศึกษาผลของความเร็วลมของเครื่องทำความร้อนและเครื่องเป่าลมต่อความชื้นหลังอบ	47
5.11 ศึกษาผลของปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้งที่สภาวะต่าง	47
5.12 ศึกษาจุดการรั่วไหลและปริมาณการรั่วไหลออกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด	48
5.13 ศึกษาความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง	48
5.14 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี	48
5.15 เปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมของงานวิจัยในอดีตและปัจจุบันที่ใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด แบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี	49
5.16 ข้อเสนอแนะ	50

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก : ข้อมูลการทดลอง	55
ภาคผนวก ข : ผลการทดลอง	61
ภาคผนวก ค : ตัวอย่างการคำนวณ	63
ภาคผนวก ง : คุณสมบัติทางกายภาพของของไหล	71

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	รายละเอียดของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง	22
ตารางที่ 3.2	สภาวะที่ดำเนินการทดลอง	27
ตารางที่ 4.1	สมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49	33
ตารางที่ 4.2	ความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมของเบดลมร้อนและเบดลมเย็น	34
ตารางที่ 4.3	อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิ้ลภายในเบดลมร้อน	37
ตารางที่ 4.4	ร้อยละความชื้นหลังอบแห้งและร้อยละความชื้นที่ลดลงที่อุณหภูมิต่างกัน	37
ตารางที่ 4.5	ร้อยละความชื้นหลังอบแห้งและร้อยละความชื้นที่ลดลงที่น้ำหนักข้าวเปลือกต่างกัน	38
ตารางที่ 4.6	ร้อยละความชื้นหลังอบแห้งและร้อยละความชื้นที่ลดลงที่ความเร็วลมต่างกัน	40
ตารางที่ 4.7	สภาวะที่เหมาะสมของงานวิจัยในอดีตและปัจจุบัน	44
ตารางที่ ก-1	สมบัติทางกายภาพทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49	55
ตารางที่ ก-2	น้ำหนักข้าวเปลือกที่บรรจุในกระบอกตวง 1000 มิลลิลิตร	55
ตารางที่ ก-3	น้ำหนักข้าวเปลือกและปริมาตรน้ำล้นจากปิกเกอร์	55
ตารางที่ ก-4	ความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมของเบดลมร้อนและเบดลมเย็น	56
ตารางที่ ก-5	ร้อยละความชื้นฐานเปียกและร้อยละความชื้นฐานแห้งเริ่มต้น	56
ตารางที่ ก-6	เวลาที่ใช้ในการป้อนข้าวเปลือกปริมาณ 100 กรัมและเวลาที่ข้าวเปลือก อยู่ในห้องเบดลมร้อนเพื่อทำการอบแห้ง ที่ความเร็วสายพานร้อยละ 10	57
ตารางที่ ก-7	น้ำหนักข้าวเปลือกที่ทางออกและเวลาที่ใช้ในการดำเนินการอบแห้งที่ การป้อนข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัมและความเร็วสายพานร้อยละ 10	57
ตารางที่ ก-8	กำลังงานรีแอกทีฟที่อ่านได้จากมิเตอร์กำลังแบบดิจิตอล	57
ตารางที่ ก-9	ผลของอุณหภูมิลมของเบดลมร้อนต่อความชื้นหลังอบ	57
ตารางที่ ก-10	ผลของน้ำหนักรีดที่ป้อนเข้าต่อความชื้นหลังอบ	58
ตารางที่ ก-11	ผลของความเร็วของเบดลมร้อนต่อความชื้นหลังอบ	58
ตารางที่ ก-12	อุณหภูมิขาเข้าและขาออกเบดลมร้อนขณะไม่มีข้าวเปลือก	58
ตารางที่ ก-13	อุณหภูมิขาเข้าและขาออกเบดลมร้อนขณะมีข้าวเปลือก โดยใช้อุณหภูมิจากเครื่อง ทำความร้อน 110 องศาเซลเซียส	58
ตารางที่ ก-14	บริเวณและปริมาณข้าวที่รั่วไหลแต่ละการทดลองของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัย เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี	59
ตารางที่ ก-15	ปริมาณข้าวเปลือกที่ป้อนเข้าและประมาณข้าวเปลือกที่ซังได้ที่บริเวณทางออก	60
ตารางที่ ข-1	สมบัติทางกายภาพทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49	61
ตารางที่ ข-2	ร้อยละความชื้นฐานเปียกและร้อยละความชื้นฐานแห้งของแต่ละการทดลอง	61

ตารางที่ ข-3 ประสิทธิภาพและความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด แบบต่อเนื่อง	62
ตารางที่ ข-4 ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อชั่วโมง 100 กิโลกรัมของแต่ละการทดลอง	62
ตารางที่ ข-5 บริเวณและปริมาณที่ข้าวติดค้างเฉลี่ยต่อปริมาณข้าว 100 กิโลกรัม ของเครื่องอบแห้ง ฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัย เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี	62
ตารางที่ ง-1 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ	71

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	กราฟระหว่างอัตราการทำแห้งและความชื้นในของแข็ง	5
รูปที่ 2.2	ปริมาตรภายในท่อที่มีอนุภาคของแข็งอยู่	6
รูปที่ 2.3	ลักษณะการเกิดฟลูอิดไอเซชันแบบต่าง ๆ	8
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\epsilon_{mf}^3}{1 - \epsilon_{mf}}$ $\rho^2$ กับ $d_p$	10
รูปที่ 2.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง C และ $Re_{mf}$	10
รูปที่ 2.6	เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไอซ์เบดและภายในห้องอบแห้ง	11
รูปที่ 2.7	เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชวางกองอยู่กับที่	12
รูปที่ 2.8	เครื่องอบแห้งแบบงวดหมุนเวียน	12
รูปที่ 2.9	เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดข้าวไม่คลุกเคล้าและคลุกเคล้า	13
รูปที่ 2.10	เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมีสทิฟเลอร์	13
รูปที่ 2.11	ภายในของไดนาโมเฟสเดียวและลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว	14
รูปที่ 2.12	ภายในของไดนาโมสามเฟสและลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส	14
รูปที่ 2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าทั้งสาม	15
รูปที่ 3.1	แผนผังเครื่องอบแห้งฟลูอิดไอซ์เบดแบบต่อเนื่อง	23
รูปที่ 3.2	เครื่องวัดความเร็วลมและอัตราการไหลยี่ห้อ Testo รุ่น 416	24
รูปที่ 3.3	เครื่องวัดความชื้น ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น 103	24
รูปที่ 3.4	เครื่องเป่าลมร้อน	28
รูปที่ 3.5	เครื่องเป่าลมเย็น	28
รูปที่ 3.6	ข้าวเปลือกถูกป้อนเข้าสายพานที่ 1	29
รูปที่ 3.7	ข้าวเปลือกจากสายพานที่ 1 ถูกป้อนเข้าสู่สกรูป้อนเข้า	29
รูปที่ 3.8	ข้าวเปลือกเข้าอยู่ในเบตลมร้อน	30
รูปที่ 3.9	ข้าวเปลือกจะออกจากเบตลมร้อนสู่สายพานที่ 2	30
รูปที่ 3.10	ข้าวเปลือกจากสายพาน 2 ไหลลงสู่เบตลมเย็น	31
รูปที่ 3.11	ข้าวเปลือกอยู่ในเบตลมเย็นและทางออกของผลิตภัณฑ์	31
รูปที่ 3.12	ไซโคลนของเบตลมเย็นและเบตลมร้อน	32
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละการทดลองและร้อยละความชื้นฐานเปียกและร้อยละความชื้นฐานแห้ง	35
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนและร้อยละความชื้น	38
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ป้อนเข้าและร้อยละความชื้น	39

**สารบัญรูป (ต่อ)**

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและร้อยละความชื้น	40
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละการทดลองและปริมาณน้ำที่ระเหยต่อปริมาณข้าวเปลือก 100 กิโลกรัม	41
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดและปริมาณข้าวที่ร่วนไหล	42
รูป 4.7 ปริมาณข้าวที่ร่วนไหลต่อตำแหน่งของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง	42
รูป 4.8 ปริมาณข้าวที่ป้อนเข้าและปริมาณข้าวเปลือกที่ทางออกผลิตภัณฑ์	43

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและมูลเหตุจูงใจ [1-4]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกเป็นอันดับต้น ๆ ประเทศไทยมีที่ดินปลูกข้าวมากที่สุดเป็นอันดับห้าของโลกและเป็นผู้ส่งออกข้าวเป็นอันดับสามของโลก โดยข้าวสายพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดคือข้าวหอมมะลิ ซึ่งเป็นข้าวที่มีคุณภาพสูง ผลผลิตที่ได้คือ 28 เปอร์เซ็นต์ เป็นข้าวหอมมะลิ 45 เปอร์เซ็นต์ เป็นข้าวเจ้าอื่น ๆ และ 27 เปอร์เซ็นต์ เป็นข้าวเหนียว จากข้อมูลผลสำรวจเมื่อปี 2561 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมากถึง 70.42 ล้านไร่ และมีปริมาณข้าว 33.42 ล้านตัน โดยแบ่งเป็นบริโภคภายในประเทศ 13.32 ล้านตัน ส่งออก 16.92 ล้านตัน และอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรม และเมล็ดพันธุ์อีก 3.18 ล้านตัน

การจัดเก็บข้าวเปลือกจำเป็นต้องมีการควบคุมความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เนื่องจากข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่นั้นโดยส่วนใหญ่ยังมีความชื้นสูง โดยปกติความชื้นของข้าวเปลือกขณะเก็บเกี่ยวจะอยู่ในช่วงความชื้นฐานเปียกร้อยละ 20 ถึง 24 หรือความชื้นฐานแห้งร้อยละ 25 ถึง 32 และจะทำการลดความชื้นของข้าวเปลือกให้อยู่ในช่วงความชื้นฐานเปียกร้อยละ 13 ถึง 15 หรือความชื้นฐานแห้งร้อยละ 15 ถึง 18 ซึ่งในอดีตเกษตรกรต้องนำข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้มาตากแดดเพื่อลดความชื้น ซึ่งทำให้ข้าวเปลือกเกิดความสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ เนื่องจากการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยการตากแห้งข้าวเปลือกในลานตากแห้งนั้นใช้เวลานาน ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเน่าเสียได้ แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปอาจทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์และทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเกิดการแตกหักและเสื่อมคุณค่าทางอาหารได้ แต่ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาคุณภาพ ทำให้เครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ ได้รับการพัฒนารูปแบบและประสิทธิภาพ เพื่อนำมาใช้ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกเพราะเครื่องอบแห้งสามารถทำงานได้โดยไม่ขึ้นกับสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยและให้อัตราการลดความชื้นเร็วกว่าแบบลานตาก โดยเครื่องอบลดความชื้นมีมากมายหลายชนิด เช่น ตู้อบหรือโรงอบที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง ตู้อบแห้งแบบที่ใช้ไมโครเวฟ และเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด

เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแห้งมีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูงสามารถลดความชื้นของวัสดุลงได้อย่างรวดเร็ว ช่วยลดปัญหาจากการเสียหายของข้าวเปลือก รวมถึงลดต้นทุนการผลิต เป็นแนวทางที่จะช่วยชวานาในการแก้ไขปัญหาข้าวเปลือกที่มีความชื้น ดังนั้นหากสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด จะสามารถลดปัญหาข้าวเน่าเสียหรือแตกหักของ



ชวานาได้ดี ซึ่งปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องกับการอบข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิดไชน์เบดมีหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิของลม ความเร็วลม ความเร็วของการป้อนข้าวเปลือก ความชื้นเริ่มต้น เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ปรับปรุงสภาวะการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง เช่น อุณหภูมิของเบดลมร้อน น้ำหนักที่ป้อนเข้าของข้าวเปลือก และความเร็วลมของเครื่องทำความร้อนและเครื่องเป่าลม
- 1.2.2 ศึกษาผลของปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ
- 1.2.3 ศึกษาจุดรั่วไหลและปริมาณการรั่วไหลออกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง ที่ศูนย์วิจัยชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี
- 1.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง ที่ศูนย์วิจัยชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง
- 1.3.2 อนุภาคที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 20 - 22

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง
- 1.4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49
- 1.4.3 ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49 ที่มีความชื้นเหมาะสม

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 1.5.2 เตรียมเครื่องมือและศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย
- 1.5.3 ออกแบบตารางการทดลองและทำการทดลอง
- 1.5.4 วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการทดลอง
- 1.5.5 จัดทำรายงานและนำเสนอผลงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช [8]

การอบแห้งคือ กระบวนการเอาน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุนั้นลดลง (ความชื้นลดลง) โดยส่วนใหญ่วัสดุนั้นจะอยู่ในสถานะของแข็ง น้ำที่ระเหยออกจากวัสดุนั้นอาจไม่ต้องระเหยที่จุดเดือดแต่ใช้อากาศพัดผ่านวัสดุนั้นเพื่อดึงน้ำออกมา วัสดุจะแห้งได้มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุด้วย ในการอบเมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง

เครื่องอบมักจะเป็นส่วนสุดท้ายของกระบวนการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่อบแล้วจะกลายเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จทันที ดังนั้นการอบไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งปริมาณผลได้ (yield) จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ นอกจากนี้ความร้อนแฝงของการระเหยของของเหลวยังมีค่าสูง จะทำให้การอบสิ้นเปลืองพลังงานมาก ดังนั้นการจัดการเกี่ยวกับพลังงานความร้อนจึงเป็นปัญหาที่ควรนำมาพิจารณา

ในการแสดงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบ จะสามารถแสดงได้ด้วยปริมาณน้ำต่อปริมาณมวลรวมเปียก (ความชื้นฐานเปียก) หรือปริมาณน้ำต่อปริมาณวัตถุดิบแห้ง (ความชื้นฐานแห้ง) ในขณะที่อบมวลรวมจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อคำนวณความชื้นแบบความชื้นฐานเปียก จะทำให้ค่าความชื้นเปลี่ยนแปลงอย่างไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในทางอุตสาหกรรมจะใช้ค่าความชื้นที่คำนวณแบบความชื้นฐานแห้ง เนื่องจากมวลแห้งนี้มีค่าคงที่ตลอดการอบจึงมีความสะดวกมากกว่า โดยค่าความชื้นฐานเปียกและความชื้นฐานแห้งจะมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.1 และ 2.1

$$\text{ร้อยละความชื้นฐานเปียก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบแห้ง}} \times 100 \quad (2.1)$$

$$\text{ร้อยละความชื้นฐานแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบแห้ง}} \times 100 \quad (2.2)$$

#### 2.2 ทฤษฎีการระเหย [9]

อัตราการทำให้แห้ง (drying rate) คือ อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อหน่วยเวลาระหว่างการทำให้แห้ง (dehydration) อัตราการทำให้แห้งของ ขึ้นอยู่กับสภาพธรรมชาติของเมล็ดข้าวเปลือก เริ่มต้นก่อนการทำให้แห้ง และสภาวะแวดล้อมระหว่างการทำแห้ง เช่น ชนิดของเครื่องทำให้แห้ง

(drier) อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient) เป็นต้น

จากดังรูปที่ 2.1 กราฟระหว่างอัตราการทำให้แห้ง (drying rate) และความชื้นในสารนั้น (moisture content) แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period-AB )

เป็นช่วงเริ่มต้นที่เมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของเมล็ดข้าวเปลือกยังสูงอยู่ ผิวของเมล็ดข้าวเปลือกจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการทำให้แห้งค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราทำให้แห้งคงที่ (constant rate)

2. ช่วงอัตราคงที่ (Constant rate period-BC)

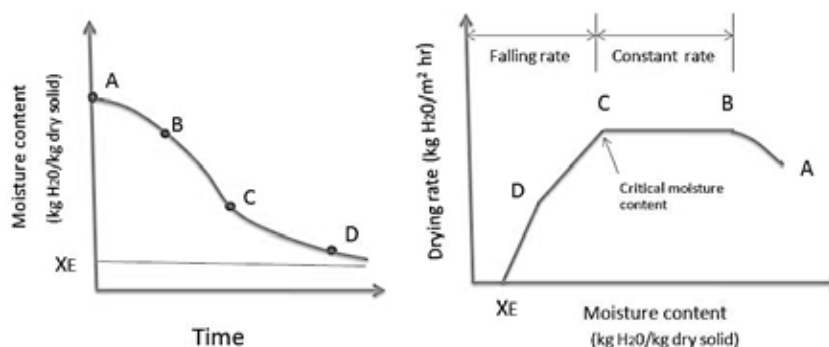
เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานั้นเรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) โดยการคำนวณอัตราคงที่ในช่วงนี้ สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3 ดังนี้

$$R_c = \frac{h}{\lambda} (T_v - T_i) \quad (2.3)$$

เมื่อ	$R_c$	=	อัตราการอบแห้งในช่วงความเร็วคงที่
	$H$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส
	$T_v$	=	อุณหภูมิของลมร้อน, องศาเซลเซียส
	$T_i$	=	อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ, องศาเซลเซียส

3. ช่วงอัตราคงที่ลดลง (Falling rate period CD และ DE)

เป็นช่วงที่ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าเมล็ดข้าวเปลือกอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของเมล็ดข้าวเปลือกเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือกสูงขึ้นเรื่อย ๆ อัตราการอบแห้งจะลดลงความชื้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, XE) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ให้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการทำให้แห้งเป็นศูนย์ น้ำในเมล็ดข้าวเปลือกไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก



รูป 2.1 กราฟระหว่างอัตราการทำให้แห้ง (drying rate) (ซ้าย) และความชื้นในของแข็ง (moisture content) (ขวา) [9]

## 2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง [9]

### 2.3.1 ลักษณะธรรมชาติของเมล็ดข้าวเปลือก

เมล็ดข้าวเปลือกที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้เมล็ดข้าวเปลือกที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากขึ้นนั่นเอง

### 2.3.2 ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือก

ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือก เป็นสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวเปลือก ที่มีผลต่อการทำให้แห้ง เมล็ดข้าวเปลือกที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการทำให้แห้งเร็วขึ้น ดังนั้นหากเมล็ดข้าวเปลือกที่มีความหนาแน่นมาก อัตราการอบแห้งจะช้ากว่าเมล็ดข้าวเปลือกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเนื่องจากอัตราการทำให้แห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของเมล็ดข้าวเปลือก

### 2.3.3 ปริมาณของเมล็ดข้าวเปลือกที่นำมาอบแห้ง

เมล็ดข้าวเปลือกที่นำมาอบแห้งในปริมาณมาก ๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับเมล็ดข้าวเปลือกที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับเมล็ดข้าวเปลือกได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

### 2.3.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะของอากาศ

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะของอากาศ เป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

### 2.3.5 ความดัน

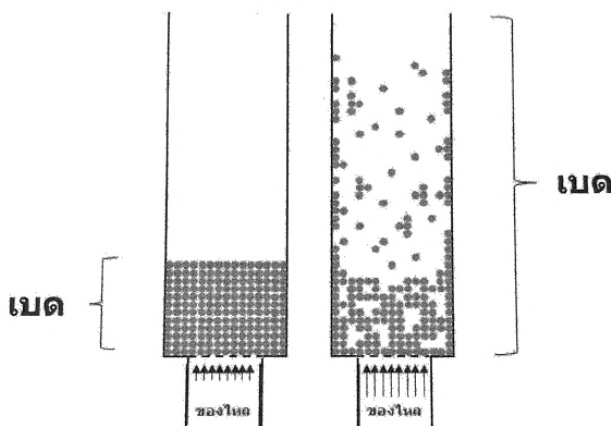
ความดันเกี่ยวข้องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่มีความดันต่ำ ๆ ลงมา น้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำให้แห้งภายใต้ความดันจะทำให้ให้อัตราการทำให้แห้งเร็วขึ้น

## 2.4 ฟลูอิดเซชัน

### 2.4.1 นิยามของฟลูอิดเซชัน [10]

ฟลูอิดเซชัน (Fluidization) เป็นกระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือเป็นชิ้นสัมผัสกับของไหลแล้วเม็ดของแข็งนั้นจะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล เม็ดของแข็งนั้นจะถูกวางไว้บนตัวกระจายอากาศในหอตลอด ส่วนก๊าซจะปล่อยให้ผ่านขึ้นไปจากทางด้านล่างของตัวกระจายอากาศที่รองรับเม็ดของแข็ง ของไหลจะผ่านชั้นเม็ดของแข็งออกทางส่วนบนของหอตลอด เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหล มากขึ้นเรื่อย ๆ จนผลรวมของแรงลอยตัวเท่ากับแรงต้านการเคลื่อนที่ จะทำให้เม็ดของแข็งจะขยับตัวลอยในของของไหลและจะแยกตัวเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน พฤติกรรมของเม็ดของแข็งในลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล กล่าวคือมีการหมุนเวียนของเม็ดของแข็งในเบดหรือหอตลอดจึงเรียกของแข็งในสภาวะนี้ว่า ฟลูอิดเซชัน ของไหลที่ใช้ถ้าเป็นของเหลวจะเรียกว่า ฟลูอิดเซชันของเหลวและหากเป็นก๊าซจะเรียกว่า ก๊าซฟลูอิดเซชัน

เบด (Bed) หมายถึง อาณาเขตในหอตลอดที่มีปริมาณเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าจะเม็ดของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือ เคลื่อนไหวด้วยของไหลในหอตลอดจะมีระดับตั้งแต่แผ่นโลหะทำเป็น ตะแกรงรองรับหรือเป็นตัวกระจายของไหล (distributor) จนถึงระดับสูงสุดคือผิวหน้าของเม็ดของแข็งที่อยู่ในหอตลอด ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูป 2.2 ปริมาตรภายในท่อที่มีอนุภาคของแข็งอยู่ [10]

### 2.4.2 ลักษณะการเกิดฟลูอิดเซชัน [11]

พฤติกรรมการไหลหรือการเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งภายในเครื่องปฏิกรณ์จะเปลี่ยนไปเมื่อความเร็วของไหลป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3

2.4.2.1 เบดนิ่ง (Fixed bed) เครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะการไหลแบบนี้ยังไม่ถือว่าเป็นรูปแบบการไหล/ช่วงการไหลของฟลูอิดเซชัน อัตราการป้อนหรือความเร็วของของไหลป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์จะ

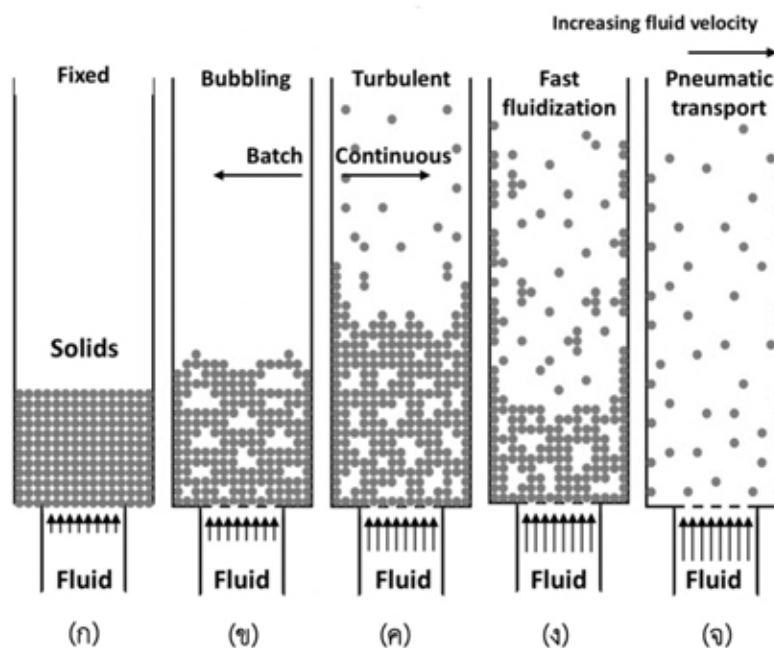
ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้อนุภาคของแข็งในเครื่องปฏิกรณ์เริ่มขยับตัว หรือมีลักษณะเด่น คือ อนุภาคของแข็งในกระบวนการจะไม่มีเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.3(ก)

2.4.2.2 ฟลูอิดไคซ์เบดแบบฟองแก๊ส (Bubbling fluidized bed) เครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะการไหลแบบนี้เริ่มถือว่าเป็นรูปแบบการไหล/ช่วงการไหลของฟลูอิดไคซ์ชัน ความเร็วเริ่มต้นที่อนุภาคของแข็งในเครื่องปฏิกรณ์เริ่มขยับตัว เรียกว่า ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไคซ์ชัน (Bed minimum fluidization,  $U_{mf}$ ) มีลักษณะเด่นคือจะเริ่มมีฟองแก๊สเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม ลักษณะการเกิดฟองแก๊สจะแตกต่างกันไปตามขนาดของอนุภาคของแข็ง ดังรูปที่ 2.3(ข)

2.4.2.3 ฟลูอิดไคซ์เบดแบบปั่นป่วน (Turbulent fluidized bed) เครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะการไหลแบบนี้เกิดขึ้นหลังจากความเร็วของไหลป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์มีค่าอยู่ระหว่างสองค่า ซึ่งคือความเร็วที่ทำให้เกิดขนาดของความดันกวดแกว่งในกระบวนการมีค่าสูงที่สุดและความเร็วที่ทำให้ขนาดของความดันกวดแกว่งมีค่าต่ำที่สุดจนเข้าสู่สภาวะคงตัว มีลักษณะเด่นคือฟองแก๊สที่เกิดขึ้นจะแตกอย่างรวดเร็วเนื่องจากความเร็วที่สูงขึ้นจนคล้ายกับไม่มีฟองแก๊สในกระบวนการ โดยลักษณะของการไหลภายในเครื่องปฏิกรณ์และบริเวณที่มีอนุภาคของแข็งอยู่เบาบางที่บริเวณด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งเป็นลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ต่อเนื่องหรือทำงานแบบกะ ดังรูปที่ 2.3(ค)

2.4.2.4 ฟลูอิดไคซ์เบดแบบความเร็วสูง (Fast fluidization fluidized bed) เครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะการไหลแบบนี้เกิดขึ้นหลังจากความเร็วของไหลป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์มีค่ามากกว่าความเร็วขนส่ง (Transport velocity) โดยเป็นช่วงการไหลที่อยู่ระหว่างช่วงการไหลแบบปั่นป่วนและฟลูอิดไคซ์เบดแบบเบาบาง ที่บริเวณกลางเครื่องปฏิกรณ์จะมีปริมาณอนุภาคของแข็งอยู่เบาบางและเคลื่อนที่ขึ้นตามทิศทางการของไหล แต่ที่บริเวณผนังของเครื่องปฏิกรณ์จะมีปริมาณอนุภาคของแข็งอยู่หนาแน่นและเคลื่อนที่ลงสวนทิศทางการไหลของของไหล เรียกลักษณะการไหลเฉพาะแบบนี้ว่า การไหลแบบแกนใน-วงนอก (Core-annulus flow) ซึ่งเป็นลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.3(ง)

2.4.2.5 การขนส่ง (Pneumatics transport) เครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะการไหลแบบนี้จะเกิดขึ้นหลังจากความเร็วของไหลป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์มีค่ามากกว่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดการขนส่งด้วยลม (Minimum pneumatics transport velocity) สำหรับรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นในช่วงการไหลนี้จะพบว่า อนุภาคของแข็งทั้งหมดจะถูกพาออกไปจากเครื่องปฏิกรณ์โดยจะเคลื่อนที่แยกจากกันเป็นอนุภาคของแข็งเดี่ยวกระจายตัวอยู่ในกระแสของไหล มีปริมาณของไหลในเครื่องปฏิกรณ์อยู่สูงมาก ซึ่งเป็นลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.3(จ)



รูป 2.3 ลักษณะการเกิดฟลูอิดเซชันแบบต่าง ๆ [11]

## 2.5 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดเซชัน [11-12]

การไหลในช่วงขณะเกิดการเปลี่ยนแปลง (Transition flow) [12] ที่มีความเร็วสูงกว่าการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) แต่ความเร็วยังไม่สูงมากพอที่จะเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) สามารถใช้สมการของ Ergun ในการคำนวณหาความดันตกคร่อมเบต ในสมการที่ 2.4

$$\text{Transition flow} \quad \frac{\Delta P}{L_{mf}} = \frac{150(1-\epsilon_{mf})^2 \mu U_{mf}}{\epsilon_{mf}^3 \phi^2 d_p^2} + \frac{1.75(1-\epsilon_{mf}) \rho_f U_{mf}^2}{\epsilon_{mf}^3 \phi d_p} \quad (2.4)$$

เมื่อ	$\Delta P$	=	ความดันตกคร่อมเบตวัสดุ, นิวตันต่อตารางเมตร
	$L_{mf}$	=	ความสูงต่ำสุดของเบตที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน, เมตร
	$\epsilon_{mf}$	=	ช่องว่างภายในเบต, ไม่มีหน่วย
	$\rho_f$	=	ความหนาแน่นของของไหล, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	$d_p$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่เป็นของแข็ง, เมตร
	$U_{mf}$	=	ความเร็วของอากาศที่พัดผ่านเบต, เมตรต่อวินาที
	$\phi$	=	แฟคเตอร์รูปร่าง, ไม่มีหน่วย
	$\mu$	=	ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล, พาสคาลวินาที

การไหลในช่วงที่มีความเร็วการไหลแบบราบเรียบ [12] สามารถคำนวณหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันสำหรับการฟลูอิดไอซ์ที่ความเร็วต่ำและวัสดุมีขนาดเล็กมาก ๆ หรือ  $d_p \leq 0.1 \text{ mm}$  ในสมการที่ 2.5

$$\text{Laminar flow} \quad U_{mf} = \frac{(\phi d_p)^2 (\rho_s - \rho_f)}{150 \mu} g \left( \frac{\epsilon_{mf}^3}{1 - \epsilon_{mf}} \right) \quad , 1 \leq \text{Re}_p \leq 1,000 \quad (2.5)$$

เมื่อ	$U_{mf}$	=	ความเร็วต่ำสุดของเบดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน, เมตรต่อวินาที
	$\phi$	=	แฟคเตอร์รูปร่าง, ไม่มีหน่วย
	$d_p$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่เป็นของแข็ง, เมตร
	$\epsilon_{mf}$	=	ช่องว่างภายในเบด, ไม่มีหน่วย
	$\rho_s$	=	ความหนาแน่นที่แท้จริงของของแข็ง, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	$\rho_f$	=	ความหนาแน่นของของไหล, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	$\mu$	=	ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล, พาสคาลวินาที

สำหรับการฟลูอิดไอซ์ด้วยความเร็วสูงที่เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) [12] ซึ่งเหมาะสมกับวัสดุที่เป็นหินหรือ เป็นเม็ดที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ หรือ  $d_p \geq 0.1 \text{ mm}$  ในสมการที่ 2.6

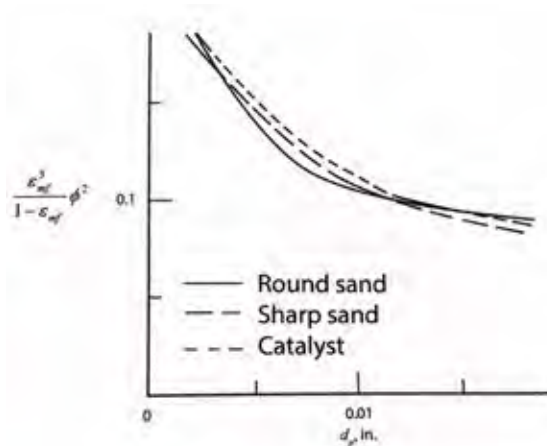
$$\text{Turbulent flow} \quad U_{mf}^2 = \frac{(\phi d_p) (\rho_s - \rho_f)}{1.75 \rho_f} g \epsilon_{mf}^3 \quad , \text{Re}_p \geq 1,000 \quad (2.6)$$

เมื่อ	$U_{mf}$	=	ความเร็วต่ำสุดของเบดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน, เมตรต่อวินาที
	$\phi$	=	แฟคเตอร์รูปร่าง, ไม่มีหน่วย
	$d_p$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่เป็นของแข็ง, เมตร
	$\rho_s$	=	ความหนาแน่นที่แท้จริงของของแข็ง, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	$\rho_f$	=	ความหนาแน่นของของไหล, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	$\epsilon_{mf}$	=	ช่องว่างภายในเบด, ไม่มีหน่วย

สมการของ Leva (1959) [11] สร้างสมการจากผลการทดลองจริงของความสัมพันธ์ระหว่าง

$\frac{\epsilon_{mf}^3}{1 - \epsilon_{mf}} \phi^2$  และ  $d_p$  ซึ่ง Leva พบว่า อนุภาคของแข็งทุกประเภทจะประพฤติตัวเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.4





รูป 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{\epsilon_{mf}^3}{1 - \epsilon_{mf}} \rho_s^2$  กับ  $d_p$  [11]

จากรูปที่ 2.4 อนุภาคของแข็งทุกประเภทจะประพฤติตัวเช่นเดียวกัน จึงได้สมการเพื่อหาค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไลเซชัน แสดงในสมการที่ 2.7

$$U_{mf} = \frac{C d_p^2}{\mu} (\rho_s - \rho_f) \quad (2.7)$$

- เมื่อ  $U_{mf}$  = ความเร็วต่ำสุดของเบดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไลเซชัน, เมตรต่อวินาที  
 $C$  = ค่าคงที่เพื่อใช้ในการหาค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไลเซชัน  
 $\mu$  = ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล, พาสคาลวินาที  
 $d_p$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่เป็นของแข็ง, เมตร  
 $\rho_s$  = ความหนาแน่นที่แท้จริงของของแข็ง, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  
 $\rho_f$  = ความหนาแน่นของของไหล, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

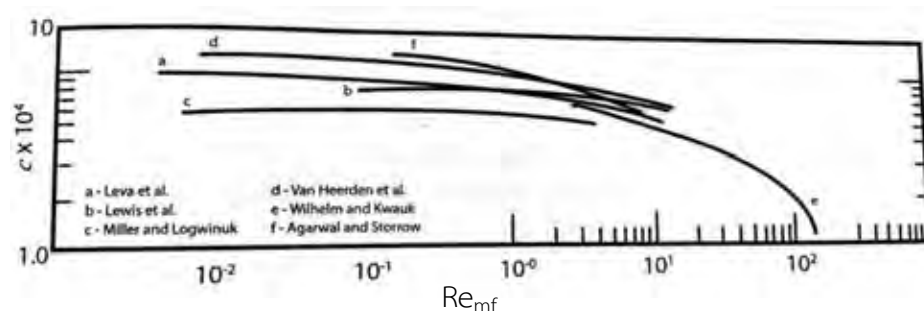
โดยค่า  $C$  สามารถหาได้จากสองวิธี

วิธีที่ 1 หาจากสมการที่ 2.8 และ 2.9 และรูปที่ 2.4

$$C = 0.0007 Re_{mf}^{-0.063} \quad \text{เมื่อ } Re_{mf} < 1000 \quad (2.8)$$

$$\text{และ } Re_{mf} = \frac{d_p U_{mf} \rho_f}{\mu} \quad (2.9)$$

วิธีที่ 2 หาจากกราฟแสดงผลการทดลองจริง ดังรูปที่ 2.5



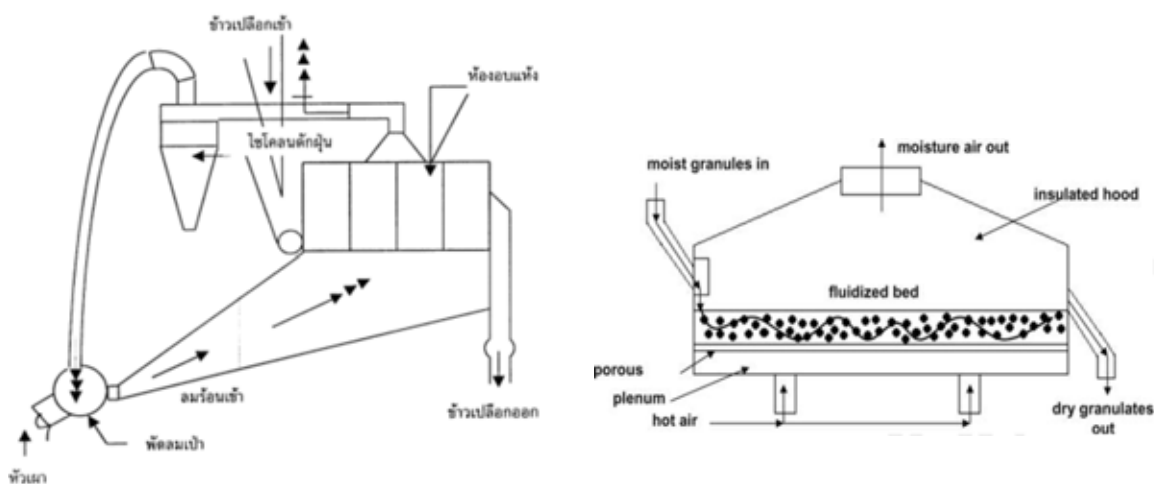
รูป 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C$  และ  $Re_{mf}$  [11]

## 2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการอบแห้ง

### 2.6.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไชน์เบด (Fluidized bed dryer) [13]

การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไชน์เบด เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไชน์เบดมีความสามารถในการอบแห้งค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของเครื่องอบแห้งนอกจากนี้ ความชื้นของ ข้าวเปลือกหลังการอบแห้งจะมีความสม่ำเสมอ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไชน์เบดเหมาะกับ เมล็ดพืชที่มีความชื้น สูงกว่าร้อยละ 23 มาตรฐานเปียก เพราะจะทำให้ข้าวมีโอกาสแตกหักมาก ถ้าในขณะนั้นใช้อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังจะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าปกติ

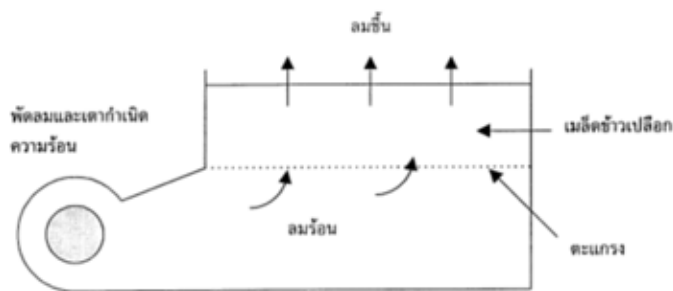
เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไชน์เบด มีส่วนประกอบ คือ หัวเผา (Burner) ห้องเผาไหม้ ห้องอบแห้ง (Drying chamber) พัดลม (Blower) ไซโคลน (Cyclone) ชุดป้อนและ ปล่อยข้าวเปลือก (Rotary and discharger) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูป 2.6 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไชน์เบด (ซ้าย) [13] และภายในห้องอบแห้ง (ขวา) [8]

### 2.6.2 เครื่องแบบข้าวเปลือกวางกองอยู่กับที่ (Batch in Bin Dryers) [13]

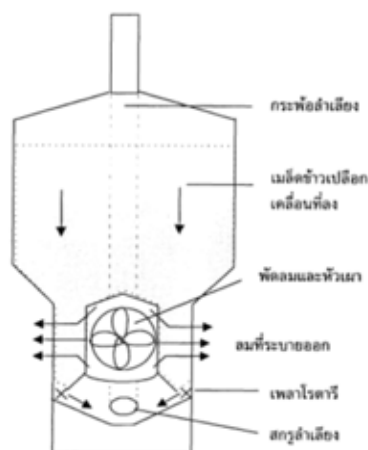
เครื่องอบแบบข้าวเปลือกวางกองอยู่กับที่ หลักการคือข้าวเปลือกจะถูกอบในเครื่องอบแห้งแล้วทำให้เย็น ก่อนนำไปเก็บไว้ในถังเก็บ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 อากาศที่ใช้ออบแห้งมีอุณหภูมิประมาณ 49 - 71 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศประมาณ 6 - 11 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที และความหนาของข้าวเปลือกประมาณ 1 เมตร หรืออาจน้อยกว่า การอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็วโดยอาจแล้วเสร็จภายใน 12 - 24 ชั่วโมง การควบคุมอุณหภูมิของอากาศโดยมากมักนิยมใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิเนื่องจากมีอุณหภูมิสูง การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีน้อยทำให้ตัวควบคุมความชื้นไม่ได้ผล ตัวควบคุมอุณหภูมิควรได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เครื่องอบแบบนี้ใช้ได้ในระดับเกษตรกร การจัดการง่าย ไม่ยุ่งยาก แต่มีข้อเสียคือข้าวที่อยู่ใกล้และสัมผัสผลร้อนมากกว่าจะแห้งมากกว่าส่วนใหญ่ที่อยู่ไกล และความชื้นไม่สม่ำเสมอเท่ากันตลอด



รูป 2.7 เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชวางกองอยู่กับที่ [13]

### 2.6.3 เครื่องอบแห้งแบบวงกลมเวียน (Recirculating batch Dryers) [13]

เครื่องอบแห้งแบบวงกลมเวียนเป็นเครื่องอบขนาดเล็ก-กลาง มีความจุของถังอบประมาณ 6 - 10 ตัน ประสิทธิภาพการอบประมาณ 18 - 30 ตันต่อวัน ลักษณะการทำงานประกอบด้วย การนำข้าวเข้าถังพักด้านบนเครื่องอบซึ่งติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องอบแล้วค่อย ๆ ปล่อยเมล็ดข้าวไหลผ่าน ตัดขวางลมร้อนด้านล่างแล้วหมุนเวียนเข้าอบใหม่จนได้ระดับความชื้นต่ำตามที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เครื่องอบแห้งแบบนี้จะใช้อัตราการไหลของอากาศต่อตันของเมล็ดข้าวเปลือกที่สูงและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งก็สูงประมาณ 60 - 80 องศาเซลเซียส จึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งที่น้อยดังนั้นความสามารถในการอบจึงสูง แต่เครื่องอบแห้งแบบวงกลมเวียนมีราคาสูง

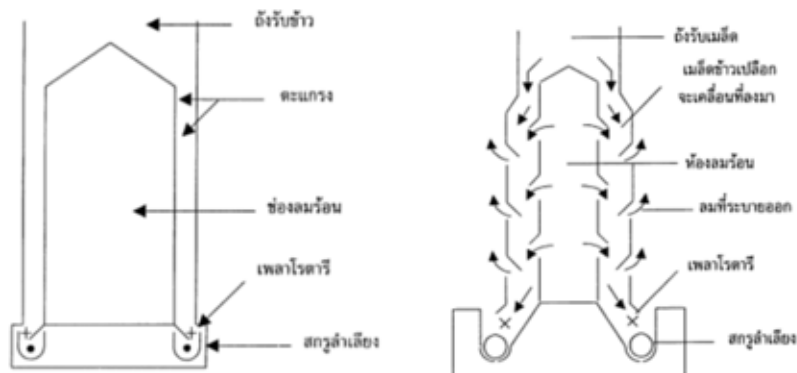


รูป 2.8 เครื่องอบแห้งแบบวงกลมเวียน [13]

### 2.6.4 เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow Dryers) [13]

เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลต่อเนื่องเป็นเครื่องอบขนาดใหญ่ประสิทธิภาพในการอบประมาณ 100 - 250 ตันต่อวัน ลักษณะตัวเครื่องอบ มีถังพักข้าว (tempering bin) แยกต่างหากจากตัวถังอบ ข้าวที่นำเข้าถังอบจะไหลต่อเนื่องและออกจากเครื่องอบ เพื่อเข้าถังพักในระหว่างการอบแห้ง เมล็ดข้าวเปลือกจะถูกอากาศร้อนเป่าผ่านในขณะที่ไหลลงมา ปกติจะออกแบบให้ใช้เวลาในการไหลจากบนลงล่างประมาณ 15 ถึง 30 นาที ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวจะสามารถลดปริมาณความชื้น

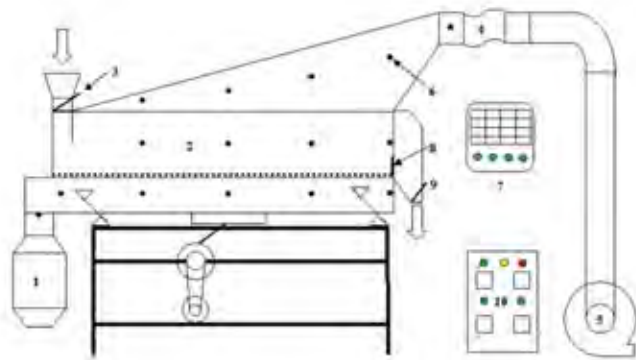
ได้ 1 - 3 เปอร์เซ็นต์ โดยเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลอย่างต่อเนื่องนี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้ 2 แบบ คือ แบบเมล็ดข้าวไม่คลุกเคล้า (Non-mixing) และ แบบเมล็ดข้าวคลุกเคล้ากันในขณะที่ข้าวไหล (mixing) ดังรูปที่ 2.9



รูป 2.9 เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดข้าวไม่คลุกเคล้า (ซ้าย) เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดข้าวคลุกเคล้า (ขวา) [13]

2.6.5 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลว์ (Must Flow Paddy Dryer) [2]

หลักการการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลว์ ทำงานโดยการใช้พัดลมดูดอากาศร้อนจากห้องเผาไหม้ จากนั้นลมร้อนจะไหลผ่านชั้นของข้าวเปลือกที่ตกลงมาจาก Hopper ในแนวตั้งที่อยู่บนตะแกรงแนวระนาบทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสาร พัดลมจะดูดอากาศร้อนและความชื้นออกไปจากห้องอบแห้ง ส่วนข้าวเปลือกจะเคลื่อนที่ในแนวราบไปตามแผ่นตะแกรง เมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำก็จะกระโดดข้ามแผ่นกั้นควบคุมความหนาของชั้นข้าวเปลือก และตกลงไปที่ทางออกของห้องอบแห้ง สำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลว์นี้จะใช้วิธีการอบแห้งโดยเมล็ดข้าวเปลือกจะอยู่อย่างหนาแน่นภายในห้องอบแห้งแล้วอากาศร้อนจะค่อย ๆ ผ่านช่องว่างของเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นไปด้านบน



- 1. แหล่งกำเนิดความร้อน
- 2. ห้องอบแห้ง
- 3. วาล์วควบคุมการป้อนข้าวเปลือก
- 4. ข้อต่ออ่อน
- 5. พัดลมดูดอากาศ
- 6. ตัววัดอุณหภูมิ
- 7. เครื่องบันทึกอุณหภูมิ
- 8. ตัวควบคุมความหนาของชั้นข้าวเปลือก
- 9. วาล์วควบคุมทางออกข้าวเปลือก
- 10. ตัวควบคุมไฟฟ้า

รูป 2.10 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลว์ [2]

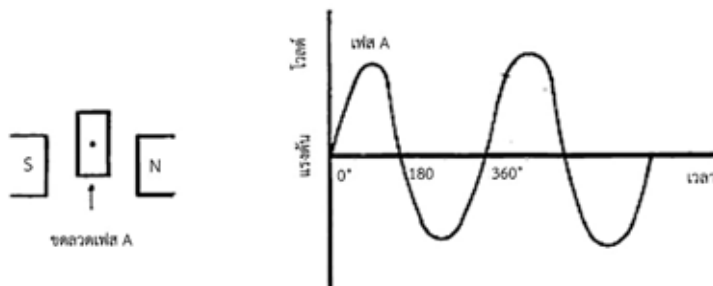
## 2.7 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current) [14-18]

ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current) หมายถึง กระแสไฟฟ้าที่มีการสลับสับเปลี่ยนชั่วอยู่ตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอ ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนสลับ ไปมาจากบวก-ลบ และจากลบ-บวกอยู่ตลอดเวลา ซึ่งไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้าที่ใช้กันตามบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป

ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากแหล่งจ่ายไฟไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าใด ๆ โดยมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาตลอดเวลา สำหรับแหล่งจ่ายไฟนั้นมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดหนึ่งเฟสหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดสามเฟส

### 2.7.1 ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว (Single Phase) [14]

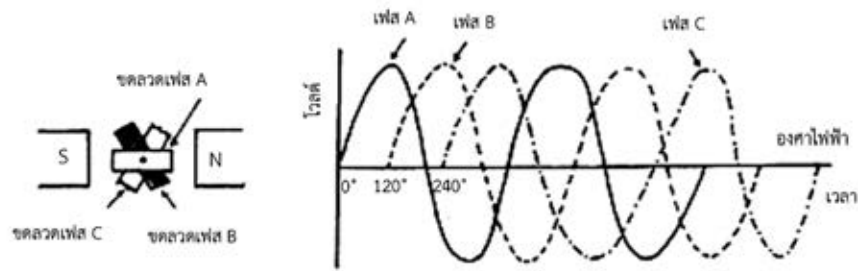
ลักษณะการเกิดไฟฟ้ากระแสสลับ คือ ขดลวดชุดเดียวหมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็ก เกิดแรงดันกระแสไฟฟ้าทำให้กระแสไหลไปยังวงจรภายนอก ดังรูปที่ 2.10 เมื่อออกแรงหมุนลวดตัวนำได้ 1 รอบ จะได้กระแสไฟฟ้าชุดเดียว ถ้าต้องการให้ได้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นก็ต้องใช้ลวดนำหลายชุดไว้บนแกนที่หมุน ดังนั้นในการออกแบบขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับถ้าหากออกแบบขดลวดบนแกนให้เพิ่มขึ้นอีก 1 ชุด แล้วจะได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น



รูป 2.11 ภายในของไดนาโมเฟสเดียว (ซ้าย) และลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว (ขวา) [14]

### 2.7.2 ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (Three Phase) [14]

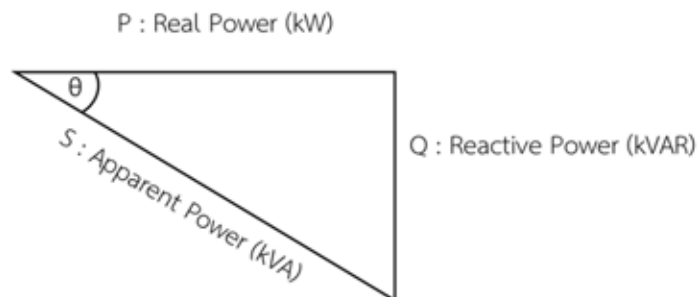
เป็นการพัฒนามาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดสองเฟส โดยการออกแบบจัดวางขดลวดบนแกนที่หมุนของเครื่องกำเนิดนั้น เป็น 3 ชุด ซึ่งแต่ละชุดนั้นวางห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.11 ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว (Single Phase) ระบบการส่งไฟฟ้าจะใช้สายไฟฟ้า 2 สายคือ สายไฟฟ้า 1 เส้น และสายศูนย์ (นิวทรอล) หรือเราเรียกกันว่าสายดินอีก 1 สาย สำหรับบ้านพักอาศัยในเมืองบางแห่งอาจจะใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดพิเศษจะต้องใช้ไฟฟ้าชนิดสามเฟสซึ่งจะให้กำลังมากกว่า เช่น มอเตอร์เครื่องสูบน้ำในการบำบัดน้ำเสียลิฟต์ของอาคารสูง ๆ เป็นต้น



รูป 2.12 ภายในของไดนาโมสามเฟส (ซ้าย) และลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (ขวา) [14]

### 2.7.3 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) [15-16]

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF.) คือตัวเลขที่บอกถึงกำลังงานไฟฟ้าที่ได้ใช้ประโยชน์หรือเกิดการ ทำงานจริงหรือ Real Power (P) กับขนาดของกำลังงานทั้งหมดที่ต้องการจากระบบไฟฟ้าหรือ Apparent Power (S) โดยส่วนที่เกินจากกำลังงานที่ใช้ทำงานจริง เรียกว่า Reactive Power (Q) โดยกำลังไฟฟ้าทั้งสามมีความสัมพันธ์เป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ดังรูปที่ 2.12



รูป 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าทั้งสาม [16]

จากรูปที่ 2.12 จะได้สมการความสัมพันธ์สามการที่ 2.10 และ 2.11 คือ

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.10)$$

$$PF = \frac{P}{S} = \cos(\theta) \quad (2.11)$$

สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคารขนาดใหญ่ ที่มีการใช้ไฟฟ้าระบบ 3 เฟส ที่มีการใช้กำลังงานมากกว่า 30 kW ขึ้นไป ในบิลเรียกเก็บค่าไฟฟ้าที่ได้รับในแต่ละเดือนก็จะมีเรียกเก็บค่ากำลังงานรีแอกทีฟ หน่วยกิโลวาร์ ในส่วนที่เกิน 61.97% ของค่าความต้องการกำลังงานแอกทีฟเฉลี่ยสูงสุด 15 นาที หรือที่เรียกว่าค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor : PF) ซึ่งในปัจจุบัน (ตั้งแต่ กรกฎาคม 2554 ที่ผ่านมา) มี

การเรียกเก็บในอัตรา 56.07 บาทต่อกิโลวาร์ โดยทางการไฟฟ้าเองก็มีนโยบายหรือต้องการให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีค่าตัวประกอบกำลังหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF) มากกว่า 0.85 เพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพของการใช้งานระบบส่งจ่ายอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ด้วยเหตุนี้เองผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไม่ต้องการจะเสียค่าปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF) หรือต้องการให้ประสิทธิภาพการใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของตนเองดีขึ้น ทำให้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF) ของตนเองให้มีค่ามากกว่า 0.85 ซึ่งจะช่วยให้ไม่ต้องเสียค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF) และประสิทธิภาพการใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าดีขึ้น อันเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคารขนาดใหญ่ลดลง

#### 2.7.4 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) [17]

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ มีผลทำให้ระบบการจ่ายไฟฟ้ามีคุณภาพต่ำไปด้วย เนื่องจากประโยชน์ที่จะได้รับจากกำลังไฟฟ้าจริง หน่วยกิโลวัตต์ ในระบบไฟฟ้าจะต่ำกว่า ซึ่งทำให้การไฟฟ้าจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของอุปกรณ์จำหน่ายและอุปกรณ์ส่งไฟฟ้าให้สูงขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณพลังงานไฟฟ้าส่วนที่ไม่จำเป็นหรือรีแอกตีฟ หน่วยกิโลวาร์ ที่เกิดขึ้นด้วย อันไม่เป็นผลดีต่อประเทศชาติโดยรวมจึงเป็นสาเหตุที่ต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น ซึ่งสามารถทำได้โดยทำให้มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟารีแอกตีฟ แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการสร้างสนามแม่เหล็กที่ก่อให้เกิดกำลังไฟฟารีแอกตีฟ เช่น มอเตอร์ เข้าด้วยกัน กำลังไฟฟารีแอกตีฟที่จ่ายจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือการไฟฟ้าจะลดลงหรือหมดไปขึ้นอยู่กับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยตัวเก็บประจุไฟฟ้านั้น

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor : PF) สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและเพิ่มความสามารถในการรับโหลดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้เพิ่มขึ้นทั้งของผู้ใช้ไฟฟ้า ระบบจำหน่าย ระบบส่งไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจะเป็นการประหยัดการใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าและของประเทศชาติโดยรวมอันจะก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าทั้งต่อผู้ใช้ไฟฟ้าและต่อส่วนรวม ซึ่งจะสามารถพิจารณาความสามารถในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยสรุปได้ดังนี้

ผลประโยชน์ที่มีต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

1. สามารถประหยัดค่าพลังไฟฟารีแอกตีฟ ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่าประกอบกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 0.85 จะต้องเสียค่าปรับ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในอัตรา 56.07 บาท/กิโลวาร์ ซึ่งเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่ามากกว่า 0.85 จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ลงได้

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถประหยัดการลงทุนในการขยายระบบไฟฟ้าลงได้ เนื่องจากเมื่อมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้วจะเป็นการเพิ่มความสามารถของสายไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าในการรับโหลด ได้เพิ่มขึ้น

3. เมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้ว จะเป็นการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้า และหม้อแปลงอีกทั้งแรงดันไฟฟ้าตกจะน้อยลง (แรงดันไฟฟ้าดีขึ้น)

4. สามารถประหยัดค่าไฟฟ้า และเพิ่มประสิทธิภาพของการจ่ายไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า

ผลประโยชน์ที่มีต่อส่วนรวม

1. การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มากกว่า 0.85 จะทำให้ระบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น จะเป็นการประหยัดการลงทุนในการขยายระบบไฟฟ้า

2. ผลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่อส่วนรวมนั้นก็คือการสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ โดยสามารถลดการสูญเสีย พลังงานไฟฟ้าที่เกิดเนื่องจากการลดค่ากระแสไฟฟ้าในสายส่ง และอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งเป็นการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศได้

#### 2.7.5 อัตราค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า [18]

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าจำแนกตามกิจการไฟฟ้าไว้ 7 ประเภท ดังนี้

1. บ้านที่อยู่อาศัย เช่น บ้านเรือนที่อยู่อาศัย และสถานประกอบศาสนกิจของทุกศาสนา
2. กิจการขนาดเล็ก เช่น ธุรกิจรวมกับบ้านอยู่อาศัย อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ
3. กิจการขนาดกลาง เช่น อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ
4. กิจการขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ
5. กิจการเฉพาะอย่าง เช่น กิจการโรงแรมและกิจการให้เช่าพักอาศัย
6. องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร เช่น องค์กรที่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการโดยไม่คิดค่าตอบแทน แต่ไม่รวมถึงส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ
7. สูบน้ำเพื่อการเกษตร เช่น เครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของหน่วยงานราชการ สหกรณ์เพื่อการเกษตร กลุ่มเกษตรกรที่จดทะเบียนจัดตั้งกลุ่มเกษตรกร

สำหรับเครื่องอบแห้งฟลูอิดเบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี จะใช้อัตราค่าไฟประเภทที่ 6 คือ องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร สำหรับมีระดับแรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป มีอัตราค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า 3.4407 บาทต่อหน่วย



## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบต

มูस्ताฟา ยะกา (2537) [19] ได้ศึกษาการออกแบบและทดลองเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่ใช้ความชื้นสูงโดยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบตอย่างต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวาง โดยได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่มีกำลังการผลิต 1 ตันต่อชั่วโมง ให้มีการเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และต้องคำนึงคุณภาพของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบตให้อยู่ในเกณฑ์ เพื่อต้องการให้เป็นต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรมในการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบตอย่างต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวางซึ่งมีข้อดีและข้อได้เปรียบพอที่จะแนะนำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถผลิตเพื่อการค้าได้ พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบตอย่างต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวาง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มต้นจากร้อยละ 45 มาตรฐานแห้งให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 24 มาตรฐานแห้ง โดยกำหนดให้ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนานประมาณ 3 นาที ให้อุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในการช่วงประมาณ 100-120 องศาเซลเซียส ความสูงของเบตข้าวเปลือก 11 เซนติเมตร อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.86 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความเร็วของกระแสอากาศในห้องอบแห้งข้าวเปลือกประมาณ 1.9 เมตรต่อวินาที อัตราการไหลเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณร้อยละ 66.4 กำลังไฟฟ้า 6559 วัตต์ ใช้เชื้อเพลิงดีเซลเฉลี่ย 5.73 ลิตรต่อชั่วโมง มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 270 เมกะจูลต่อชั่วโมง แยกเป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานปฐมภูมิ 61,270 เมกะจูลต่อชั่วโมง และความร้อน 209,270 เมกะจูลต่อชั่วโมง มีความสามารถในการระเหยน้ำได้ 146 กิโลกรัมของน้ำต่อชั่วโมง

มนตรี หวังจิ (2539) [20] ได้ศึกษาการพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบตระดับอุตสาหกรรม ขนาดกำลังการผลิต 5 - 10 ตันต่อชั่วโมง พบว่าที่อัตราการป้อนข้าวเปลือก 9.5 ตันต่อชั่วโมง ความสูงเบต 15 เซนติเมตร อัตราการไหลของอากาศแห้ง 5.57 ลูกบาศก์ต่อวินาที ความเร็วของอากาศร้อนในห้องอบแห้ง 2.23 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอบแห้งอยู่ในช่วง 115 - 130 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง 1.4 นาที และอัตราอากาศเวียนกลับร้อยละ 69 สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกจากร้อยละ 29 ลงเหลือร้อยละ 23 ฐานแห้ง โดยมีอัตราการใช้พลังงานในรูปปฐมภูมิ 302.22 เมกะจูลต่อชั่วโมง อัตราการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงน้ำมันเตา 1,157.67 เมกะจูลต่อชั่วโมง รวมอัตราการใช้พลังงานปฐมภูมิ 1,478.23 เมกะจูลต่อชั่วโมง และอัตราการระเหยน้ำ 420 กิโลกรัมของน้ำที่ระเหยต่อชั่วโมง คิดเป็นปริมาณการใช้พลังงานจำเพาะ 3.96 เมกะจูลต่อชั่วโมงมีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวเปลือกเป็น 0.904 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย แยกเป็นค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้ง 0.361 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย และเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 0.543 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย

วุฒิกรณ์ จริยตันติเวทย์ (2541) [21] ได้พัฒนาสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไชน์เบด แบบสันสะเทือน ขนาดกำลังผลิต 2.5-5 ตันต่อชั่วโมง ขณะทำการทดสอบใช้อัตราการไหลของอากาศร้อน 1.72 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ 1.91 กิโลกรัมต่อวินาที ความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบแห้งข้าวเปลือกประมาณ 1.37 เมตรต่อวินาที ใช้อุณหภูมิอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 130-150 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนานประมาณ 1 นาที ความสูงของเบตข้าวเปลือกประมาณ 12 และ 15 เซนติเมตร สามารถลดความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 26 ความชื้นฐานแห้ง ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 23 ความชื้นฐานแห้ง อัตราการเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณร้อยละ 85 หรือ 1.62 กิโลกรัมต่อวินาที โดยมีค่าความเข้มของการสันสะเทือน 17.54 รอบต่อชั่วโมง มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 723.05 เมกะจูลต่อชั่วโมง แยกเป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานปฐมภูมิ 87.58 เมกะจูลต่อชั่วโมง และความร้อน 635.47 เมกะจูลต่อชั่วโมง มีความสามารถในการระเหยน้ำเฉลี่ยประมาณ 117.56 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและไฟฟ้า 6.15 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย หากมีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 90 วันต่อปี จะมีค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเป็น 1.49 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย แยกเป็นค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้ง 0.48 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย และเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 1.01 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย

กชกร ภูโพบูลย์ (2545) [22] ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิดไชน์เบด โดยการประเมินสมรรถนะ วิเคราะห์การใช้พลังงาน ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง และทดสอบคุณภาพข้าวรวมทั้งเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิดไชน์เบดกับการอบแห้ง 144 – 154 องศาเซลเซียส ความสูงเบต 11.6 – 12.3 เซนติเมตร และความเร็วของอากาศเข้าอบแห้ง 1.6 – 1.8 เมตรต่อวินาที ผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิดไชน์เบดสามารถอบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 29 ฐานแห้ง เหลือประมาณร้อยละ 24 ฐานแห้ง โดยคุณภาพข้าวเปลือกไม่เปลี่ยนมากนัก มีค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง 144 - 154 องศาเซลเซียส ความสูงเบต 11.6 - 12.3 เซนติเมตร และความเร็วของอากาศเข้าอบแห้ง 1.6 - 1.8 เมตรต่อวินาที ผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิดไชน์เบดสามารถอบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 29 ฐานแห้ง เหลือประมาณร้อยละ 24 ฐานแห้ง โดยคุณภาพข้าวเปลือกเปลี่ยนไม่มากนัก มีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวเปลือกเฉลี่ย 0.53 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย ใช้พลังงานความร้อนจำเพาะเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.23-9.37 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย และใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.18-0.25 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องพัลส์ฟลูอิดไชน์เบดจะมีปริมาณการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยใกล้เคียงกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบด แต่ใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยน้อยกว่าเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบด

Sarker M.S.H *et al.*, (2557) [23] ได้พัฒนาแบบจำลองได้เพื่อที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวที่มีความชื้นสูงและสิ่งเจือปนมากด้วยเครื่องฟลูอิดซ์เบดเชิงอุตสาหกรรมขนาด 10 ต้นต่อชั่วโมง โดยเป้าหมายคือการหาความเร็วลมและเวลาในเครื่องปฏิกรณ์ที่เหมาะสมระหว่างการอบแห้งในสองฤดู แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากโมเดลที่มีอยู่และได้มีการจำลองและตรวจสอบกับข้อมูลการอบแห้งทางอุตสาหกรรม การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลการอบแห้งและแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสามารถที่จะคาดการณ์ความชื้นสุดท้ายและอุณหภูมิลมได้ดี โดยพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการอบแห้งจากความสามารถที่จะลดความชื้นลงให้ได้ประมาณร้อยละ 24 - 25 ฐานแห้ง ซึ่งความชื้นเท่านี้จะสามารถเก็บรักษาคุณภาพของข้าวได้ พบว่าเบดที่มีความลึก 10 เซนติเมตร ความเร็วลม 0.05 กิโลกรัมต่อนาที เป็นสภาพที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นจากร้อยละ 30 ลงไปที่ 24.3 ฐานแห้งเท่ากับ 0.48 และ 6.15 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ของน้ำที่ระเหยตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม พบว่าการอบแห้งที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง (ร้อยละ 35 ฐานเปียก) มีค่าที่จำกัดอยู่ที่ 7.4 ต้นต่อชั่วโมง

พิรสิทธิ์ ทวยนาค และคณะ (2557) [2] ได้ศึกษาผลกระทบของกระแสความเร็วของอากาศร้อนที่มีผลต่อการลดความชื้นของข้าวเปลือกสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมีสตีโฟล (Must Flow Dryer) โดยทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกซึ่งมีระดับความชื้นเริ่มต้นที่ร้อยละ 22 ฐานเปียก โดยใช้กระแสความเร็วของอากาศร้อนตั้ง แต่ 1.5 1.8 2.0 และ 2.3 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของอากาศร้อน 100 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 องศาเซลเซียสนั้น ค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยระดับกระแสความเร็วของอากาศร้อนทั้งสี่ระดับมีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณร้อยละ 18 ฐานเปียก ใช้พลังงานเฉลี่ย 22.25 เมกะจูลต่อชั่วโมง สามารถระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และยังพบว่าในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมีสตีโฟลนี้การกระจายของความชื้น หลังจากการอบแห้งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและน่าพอใจ

ภคมน เรืองวรรณ และ วรวรรณ ผูกเพชร (2558) [24] ได้ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ที่ศูนย์วิจัยชีวมวลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี โดยตัวแปรที่ศึกษาคืออุณหภูมิของลมร้อนและน้ำหนักป้อนเข้าของข้าวเปลือกระหว่าง 60 - 120 องศาเซลเซียส และ 100 - 500 กิโลกรัมตามลำดับ ตัวแปรที่กำหนดให้คงที่คือความเร็วลมที่ 1.1 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกร้อยละ 21 อัตราการป้อนข้าวเปลือกที่ 0.26 กิโลกรัมต่อวินาที และสัดส่วนการป้อนกลับของลมร้อนต่อลมธรรมชาติใหม่ 0.5 ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ความชื้นของข้าวเปลือกหลังผ่านการอบแห้งมีค่าน้อยที่สุดคือร้อยละ 15.3 เมื่อศึกษาผลของน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ป้อนเข้าในเบด หลังผ่านการอบแห้งมีค่าความชื้นเป็นไปตามทฤษฎี เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

พบว่าอุณหภูมิของลมร้อน 60-120 องศาเซลเซียส ให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าร้อยละ 9 และเมื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือก ค่าสัดส่วนการป้อนกลับของลมร้อนต่อลมธรรมชาติใหม่ที่ 0.3 มีค่าความชื้นหลังอบร้อยละ 14.9 ซึ่งอยู่ในช่วงที่กำหนด

พงศสิทธิ์ ศรภักดี และคณะ (2559) [25] ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทิโพล์ขนาด 2 ต้นต่อชั่วโมง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทิโพล์ โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษามีดังนี้ อัตราการไหลของอากาศ ความเร็วรอบของระยะยก ห้องอบแห้ง และความสูงของเบต โดยทดสอบที่อัตราการไหลของอากาศ 0 0.05 0.10 0.15 0.20 0.25 และ 0.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบของระยะยกห้องอบแห้ง 100 120 และ 140 รอบต่อนาที ความสูงของเบต 1 2 และ 3 เซนติเมตร และระยะยกห้องอบแห้ง 4.6 เซนติเมตร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเคลื่อนที่เร็วขึ้น ซึ่งที่อัตราการไหลของอากาศ 0 - 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที การเคลื่อนที่ของเมล็ดข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะมีค่าลดลงตามลำดับ แต่ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.15 - 0.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าใกล้เคียงกัน และอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นของข้าวเปลือกในห้องอบแห้งจะลดลง แต่ความพรุนของข้าวเปลือกในห้องอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าความสูงของเบต 3 เซนติเมตร และความเร็วรอบของระยะยกห้องอบแห้ง 120 รอบต่อนาที เมล็ดข้าวเปลือกจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ภายในห้องอบแห้งช้าที่สุด และกำลังการผลิตของเครื่องอบแห้ง แบบมัสทิโพล์ประมาณ 1,000 - 4,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ที่ความสูงของเบต 1 2 และ 3 เซนติเมตร ของความเร็วรอบของระยะยกห้องอบแห้ง 100 รอบต่อนาที สภาวะนี้ไม่สามารถอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทิโพล์ได้ โดยจะนำสภาวะที่ความสูงของเบต 3 เซนติเมตร และความเร็วรอบของระยะยกห้องอบแห้ง 120 รอบต่อนาที เพื่อใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกต่อไป

เจษฎา ราชภรณ์ภักดี และ ภาณุวัฒน์ แสงจันทร์ (2560) [26] ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่โดยใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบตแบบต่อเนื่อง ที่ศูนย์วิจัยชีวมวลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ น้ำหนักป้อนเข้าของข้าวเปลือกที่ 100 - 300 กิโลกรัม อุณหภูมิลมร้อน 90 - 120 องศาเซลเซียส และความเร็วลมของเครื่องเป่าลมร้อน 50 - 60 รอบต่อวินาที โดยที่ร้อยละความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 21 อัตราป้อนข้าวเปลือก 0.11 กิโลกรัมต่อวินาที และสัดส่วนการป้อนกลับของลมร้อนต่อลมธรรมชาติใหม่ 0.5 ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อน 120 องศาเซลเซียส ร้อยละความชื้นข้าวเปลือกมีค่าน้อยที่สุดคือ 13.41 เมื่อศึกษาปริมาณการป้อนข้าว พบว่าปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละความชื้นของเปลือกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อศึกษาความเร็วลมของเครื่องเป่าลมร้อนพบว่าที่ความเร็วลมน้อยจะสามารถความชื้นได้ดีกว่า และเมื่อนำผลการทดลองไปเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าร้อยละ 11

## บทที่ 3

### การดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้ดำเนินการเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งข้าวเปลือก กข 49 ด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่องที่ศูนย์วิจัยชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี โดยทำการศึกษา 3 ตัวแปร คือ น้ำหนักของข้าวเปลือกที่ป้อนเข้า อุณหภูมิของลมร้อนและความเร็วลมของเครื่องทำความร้อนและเป่าลมที่มีผลต่อความชื้นหลังอบแห้ง รวมถึงหาประสิทธิภาพและจุดรั่วไหลของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

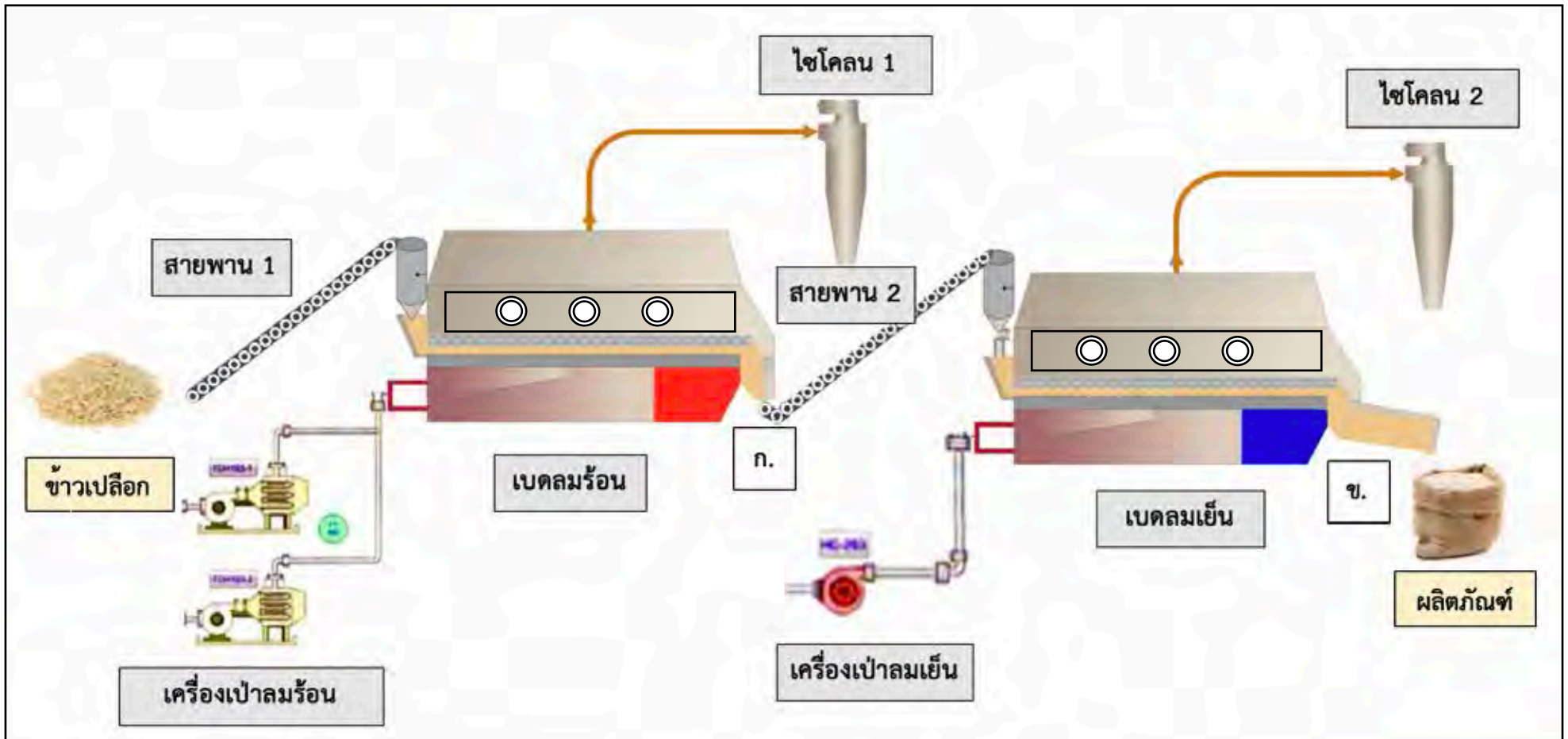
#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการอบแห้ง

##### 3.1.1 เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่องตั้งอยู่ที่ศูนย์วิจัยชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ออกแบบโดยบริษัท Sutech Engineering จำกัด สร้างขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2554 โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ สายพาน 1 และสายพาน 2 ทำหน้าที่ในการลำเลียงข้าวเปลือกไปยังสกรูป้อนเข้าของเบดลมร้อนและเบดลมเย็น ตามลำดับ โดยเบดลมร้อนมีจะเครื่องเป่าลมที่ให้ความเร็วกับของไหลหรืออากาศ และเครื่องทำความร้อนทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของอากาศเพื่อใช้ในการลดความชื้นของข้าวเปลือก ส่วนเบดลมเย็นจะมีเครื่องเป่าลมที่ให้ความเร็วกับของไหลหรืออากาศเช่นกัน เพื่อลดอุณหภูมิของข้าวเปลือกและไล่ความชื้นหลังการอบแห้ง เมื่อสิ้นสุดเบดเย็นแล้วข้าวเปลือกจะถูกปล่อยออกที่บริเวณทางออกของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้บริเวณเบดลมร้อนและเบดเย็นมีการติดตั้งไซโคลน เพื่อใช้ในการแยกข้าวเปลือกที่หลุดออกมาจากการฟลูอิดเซชันของทั้งเบดลมร้อนและเบดลมเย็น โดยรายละเอียดของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง แสดงดังตารางที่ 3.1

##### ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

ส่วนประกอบ	รายละเอียด
สายพานที่ 1-2	ความยาว 17 เมตร เอียง 45 องศา จากพื้นราบ
สกรูป้อนเข้า	เส้นผ่านศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร และไม่สามารถปรับความเร็วรอบของสกรูป้อนเข้าได้
เบดลมร้อนและเบดลมเย็น	ขนาด $1.71 \times 0.90 \times 0.39$ ลูกบาศก์เมตร
ตะแกรงในเบดลมร้อน	$1.71 \times 0.39$ ตารางเมตร



รูป 3.1 แผนผังเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบตแบบต่อเนื่อง

### 3.1.2 เครื่องวัดความเร็วลมและอัตราการไหล (Telescopic Vane Anemometer) [29][30]

เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ Testo รุ่น 416 ตัวเครื่องมีขนาด 182 x 64 x 40 มิลลิเมตร น้ำหนัก 325 กรัม มีหัววัดความเร็วลมแบบใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร และมี telescope ปรับความยาวได้ สูงถึง 890 มิลลิเมตร มีช่วงการวัดความเร็วลมระหว่าง 0.6 ถึง 40 เมตรต่อวินาที และมีค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm(0.2$  เมตรต่อวินาที) ค่าความละเอียด 0.1 เมตรต่อวินาที



รูป 3.2 เครื่องวัดความเร็วลมและอัตราการไหลยี่ห้อ Testo รุ่น 416 [30]

### 3.1.3 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นชนิดใช้หลอดฮาโลเจน [31][32]

เครื่องวิเคราะห์ความชื้นชนิดใช้หลอดฮาโลเจนยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น HC103 เป็นเครื่องวิเคราะห์ความชื้นอย่างละเอียด โดยนำวัตถุตัวอย่างที่ต้องการวัดความชื้นปริมาณ 1-5 กรัม เมื่อเริ่มการทำงานส่วนประมวลผลจะบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นวงจรควบคุมอุณหภูมิจะเริ่มให้ความร้อน โดยอุปกรณ์ให้ความร้อนคือหลอดฮาโลเจนและสามารถเลือกวิธีให้ความร้อนได้หลายแบบ โดยในการทดลองใช้การเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้า ๆ จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ ส่วนการประมวลผลนั้นจะนำค่าน้ำหนักเริ่มต้นกับน้ำหนักขณะเพิ่มอุณหภูมิกำหนดหารย่อยจากความชื้นฐานเปียก



รูป 3.3 เครื่องวัดความชื้น ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น HC103 [32]

### 3.2 วัตถุดิบในการทดลอง

ข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 49 [33] เป็นข้าวเจ้าสายพันธุ์ผสม (ได้รับการผสมพันธุ์ในปี 2548) โดยมีลักษณะประจำพันธุ์คือ มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 102 - 107 วัน เป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลชนิดใหม่ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ที่สร้างความสูญเสียให้กับชาวนาเป็นอย่างมาก ลำต้นมีความแข็งแรงจึงไม่มีปัญหาเรื่องลมพัดแรง และมีลักษณะเด่นคือ ข้าวมีความนุ่ม สามารถนำไปทำข้าวหนึ่งส่งออกแทนข้าวพันธุ์ชยันนาทได้ เป็นข้าวที่มีคุณภาพสูงที่สามารถผลิตเป็นข้าวสารได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตสูงถึง 939 กิโลกรัมต่อไร่ หรือผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 733 กิโลกรัมต่อไร่ โดยข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 49 ที่ใช้ในการทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง มีร้อยละความชื้นฐานเปียกประมาณ 20 – 22 เป็นจำนวน 400 กิโลกรัม เก็บเกี่ยวเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2560 จากจังหวัดปทุมธานี

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 อัตราการป้อนข้าวเปลือก (Feed rate)

1. เปิดเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง
2. จับเวลาเริ่มต้นในการป้อนข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัม ขึ้นสู่สายพานที่ 1 ที่ความเร็วสายพานร้อยละ 10
3. หยุดจับเวลาเมื่อป้อนข้าวเปลือกหมด บันทึกค่า
4. นำไปคำนวณโดยใช้สูตร อัตราการป้อนข้าวเปลือกเท่ากับปริมาณที่ป้อนเข้าหารด้วยเวลาที่ใช้ในการป้อนเข้า

#### 3.3.2 ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้ง (Hold up)

1. เปิดเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิเครื่องเป่าลมร้อน 100 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 60 เฮิร์ตซ์
2. จับเวลาเริ่มต้นตั้งแต่ข้าวเปลือกเข้าสู่เบดลมร้อน
3. หยุดจับเวลาเมื่อข้าวเปลือกออกจากเบดลมร้อน บันทึกค่า
4. นำไปคำนวณโดยใช้สูตร ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งเท่ากับผลคูณของอัตราการป้อนข้าวเปลือกกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งหรือเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง



### 3.3.3 กำลังการผลิต (Production Capacity)

1. เปิดเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิเครื่องเป่าลมร้อน 100 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 60 เฮิร์ตซ์
2. จับเวลาเริ่มต้นในทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัม
3. หยุดจับเวลาเมื่อการทดลองเสร็จสิ้น บันทึกค่า
4. ชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากบริเวณทางออกของเบดลมเย็น บันทึกค่า
5. นำไปคำนวณโดยใช้สูตร กำลังการผลิตเท่ากับผลหารของน้ำหนักข้าวเปลือกทางออกกับเวลาที่ใช้ในการดำเนินการอบแห้ง

### 3.3.4 สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งข้าวเปลือก

1. เปิดเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง
2. ตั้งค่าต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่องที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์และเครื่องเป่าลมร้อนและเย็น โดยตั้งค่าดังนี้ ความเร็วของสายพาน 1 และ 2 เท่ากับร้อยละ 10 และ 30 ตามลำดับ เครื่องเป่าลมร้อน (รูปที่ 3.4) และเครื่องเป่าลมเย็น (รูปที่ 3.5) ที่ความเร็วเท่ากับ 60 และ 80 รอบต่อวินาที ตามลำดับ และอุณหภูมิจากเครื่องทำความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
3. สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือก 3 กรัม มา 3 ตัวอย่าง นำไปวัดความชื้นเริ่มต้นด้วยเครื่องวัดความชื้น
4. ชั่งข้าวเปลือก 100 กิโลกรัม ป้อนเข้าสู่สายพานที่ 1 ดังรูปที่ 3.6 และจับเวลาที่ใช้ในการดำเนินการอบแห้งในแต่ละครั้ง
5. เมื่อข้าวเปลือกขึ้นสู่สายพานที่ 1 จากนั้นข้าวเปลือกจะถูกป้อนเข้าไปที่สกรูป้อนเข้าของเบดลมร้อน ดังรูปที่ 3.7 และเข้าไปยังเบดลมร้อน (รูปที่ 3.8) เมื่อข้าวเปลือกออกจากเบดลมร้อนจะผ่านไปยังสายพานที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.9 จากนั้นข้าวเปลือกจะถูกป้อนเข้าไปที่สกรูป้อนเข้าของเบดลมเย็น แสดงดังรูปที่ 3.10 แลเข้าสู่เบดลมเย็น (รูปที่ 3.11) ข้าวเปลือกที่หลุดออกมาจากการฟลูอิดเซชันของทั้งเบดลมร้อนและเบดลมเย็นจะผ่านไปยังไปยังไซโคลน แสดงดังรูปที่ 3.12
6. ปิดเครื่องอบแห้ง เมื่อข้าวเปลือกออกจากเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดเย็นหมดแล้ว
7. เก็บตัวอย่างที่ผ่านเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดเย็น โดยสุ่มเก็บตัวอย่างข้าว 3 กรัม 3 ตัวอย่าง ไปวัดความชื้นหลังอบด้วยเครื่องวัดความชื้น
8. เมื่อศึกษาผลการทดลองของอุณหภูมิลมของเบดลมร้อนต่อความชื้นหลังอบ โดยทำการทดลองตามข้อ 2 - 6 และเปลี่ยนอุณหภูมิลมร้อนเป็น 100 110 และ 120 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

9. เมื่อศึกษาผลการทดลองของน้ำหนักที่ป้อนเข้าต่อความชื้นหลังอบ โดยทำการทดลองตามข้อ 2 - 6 แต่อุณหภูมิความร้อนเป็น 110 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนให้ปริมาณข้าวที่ป้อนเข้าสู่สายพานเป็น 200 และ 300 กิโลกรัม ตามลำดับ
10. เมื่อศึกษาผลการทดลองของความเร็วลมของเครื่องเป่าลมร้อนต่อความชื้นหลังอบ ทำการทดลองตามข้อ 2 - 6 แต่เปลี่ยนความเร็วลมของเครื่องเป่าลมร้อนเป็น 60 เฮิร์ตซ์

สภาวะที่ดำเนินการทดลอง จากการทดลองข้อที่ 3 - 9 แสดงดังตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** สภาวะที่ดำเนินการทดลอง

การทดลองที่	น้ำหนักที่ป้อนเข้า (Kg)	อุณหภูมิความร้อน (°C)	ความเร็วลมร้อน (Hz)	ความเร็วลมเย็น (Hz)
1	100	90	60	80
2	100	100	60	80
3	100	110	60	80
4	100	120	60	80
5	100	110	60	80
6	200	110	60	80
7	300	110	60	80
8	100	110	50	80
9	100	110	60	80

### 3.3.5 จุดรั่วไหลและปริมาณการรั่วไหลออกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดเบดแบบต่อเนื่อง

1. หลังจากการทดลองที่ 5 - 8 ซึ่งสภาวะที่ดำเนินการทดลองตามตารางที่ 3.2 ทำการเก็บข้าวเปลือกที่บริเวณทางออกผลิตภัณฑ์ของเครื่องอบแห้งฟลูอิดเบดแบบต่อเนื่อง ไปชั่งน้ำหนัก
2. เก็บและชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่รั่วไหลออกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดเบดแบบต่อเนื่อง แยกแต่ละตำแหน่ง
3. นำค่าที่ได้ไปคำนวณร้อยละการรั่วไหลแต่ละตำแหน่งและร้อยละการรั่วไหลรวมของเครื่องอบแห้งฟลูอิดเบดแบบต่อเนื่อง

### 3.3.6 ความสิ้นเปลืองพลังงาน (Electricity value)

1. จดบันทึกตัวเลขที่อ่านมิเตอร์ไฟฟ้า (ค่า Reactive Power) ก่อนทำการทดลอง
2. จากนั้นให้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไซเบตแบบต่อเนื่องดำเนินการอบแห้งที่อุณหภูมิเบตลมร้อน 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดทำการจดบันทึกค่าตัวเลขที่อ่านมิเตอร์ไฟฟ้าอีกครั้งเพื่อนำมาคำนวณค่าสิ้นเปลืองพลังงาน แล้วนำมาคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ค



รูป 3.4 เครื่องเป่าลมร้อน



รูป 3.5 เครื่องเป่าลมเย็น



รูป 3.6 ข้าวเปลือกถูกป้อนเข้าสายพานที่ 1



รูป 3.7 ข้าวเปลือกจากสายพานที่ 1 ถูกป้อนเข้าสู่สกรูป้อนเข้า



รูป 3.8 ข้าวเปลือกอยู่ในเบตลมร้อน



รูป 3.9 ข้าวเปลือกจะออกจากเบตลมร้อนสู่สายพานที่ 2



รูป 3.10 ข้าวเปลือกจากสายพาน 2 ไหลลงสู่เบตลมเย็น



รูป 3.11 ข้าวเปลือกอยู่ในเบตลมเย็นและทางออกของผลิตภัณฑ์



รูป 3.12 ซิโคลนของเบตลมเย็น (ซ้าย) และเบตลมร้อน (ขวา)

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49

การศึกษาทางลักษณะทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49 จากจังหวัดปทุมธานี เก็บเกี่ยวเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2562 โดยสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือก 5 ตัวอย่างจากนั้นทำการทดลองเพื่อหาลักษณะทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49 จาก ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

#### ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49

สมบัติทางกายภาพทางกายภาพ	ค่าตัวแปร
ความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละ)	20-22
น้ำหนักเฉลี่ยต่อเมล็ด (กรัม)	0.026
เส้นผ่าศูนย์กลางเมล็ดข้าวเปลือก (เซนติเมตร)	0.134
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.644
ความหนาแน่นจริง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.922

\* หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางเมล็ดข้าวเปลือกคำนวณจากเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงปริมาตรและความเป็นทรงกลม และเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงปริมาตรสามารถหาได้จากปริมาตรของเมล็ดข้าวเปลือก

#### 4.2 ศึกษาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเซชันและความเร็วปลายของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49

จากการศึกษาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเซชัน (Minimum fluidization velocity,  $U_{mf}$ ) ของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49 ด้วยการคำนวณจากสมการของ Leva ตามสมการที่ 2.7 พบว่าค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเซชันมีค่าเท่ากับ 1.45 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างงานวิจัยของ N.Kumari [34] ที่มีความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเซชัน 0.95 เมตรต่อวินาที และงานวิจัยของ M. Khanali *et al.* [35] ที่มีความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเซชัน 1.70 เมตรต่อวินาที ดังนั้นในการทดลองจึงต้องใช้ความเร็วจากเครื่องเป่าลมร้อนที่มีค่ามากกว่า 1.45 เมตรต่อวินาที เพื่อให้ข้าวเปลือกเกิดการถ่ายโอนความร้อนแบบฟลูอิดิเซชัน



#### 4.3 ศึกษาความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมของเบตลมร้อนและเบตลมเย็น

การศึกษาความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมของเบตลมร้อนและเบตลมเย็น โดยการทดลองวัดความเร็วลมของเครื่องเป่าลม 2 เครื่อง คือเครื่องเป่าลมของเบตลมร้อนและเครื่องเป่าลมของเบตลมเย็น โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมและอัตราการไหลแบบใบพัด ยี่ห้อ Testo รุ่น 416 สำหรับความเร็วลมภายในเบตลมร้อนวัดค่าความเร็วลมบริเวณทางออกของเบตลมร้อนที่เชื่อมต่อระหว่างสายพานที่ 2 หรือที่จุด ก. จากรูป 3.1 ส่วนความเร็วลมภายในเบตลมเย็นวัดค่าความเร็วลมบริเวณทางออกของผลิตภัณฑ์ หรือที่จุด ข. จากรูป 3.1 ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

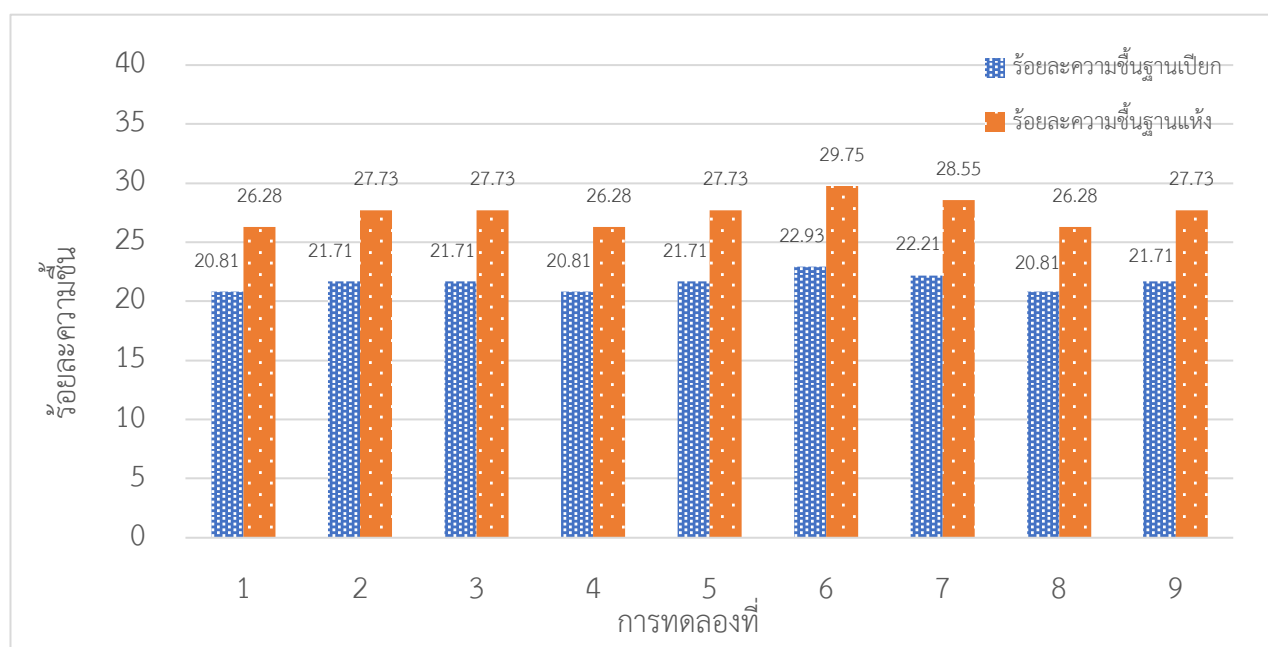
ตารางที่ 4.2 ความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมของเบตลมร้อนและเบตลมเย็น

ตำแหน่ง	ความเร็วลม	
	เครื่องเป่าลม (รอบต่อวินาที)	เครื่องวัดความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
เบตลมร้อน	40	8.7
	50	10.3
	60	11.1
เบตลมเย็น	40	5
	50	6.7
	60	8.3
	70	9.8
	80	11.3

จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่าที่ความเร็วลมของเครื่องเป่าลมที่รอบต่อวินาทีเท่ากันของเบตลมร้อนและเบตลมเย็น สามารถวัดค่าความเร็วลมจากเครื่องวัดความเร็วลมได้ต่างกัน เนื่องจากวัดความเร็วลมในเบตลมร้อนบริเวณทางออกของเบตลมร้อน ส่วนความเร็วลมภายในเบตลมเย็นวัดค่าความเร็วลมบริเวณทางออกของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นการวัดความเร็วลมในตำแหน่งที่ต่างกันหรือมีระยะห่างระหว่างจุดที่วัดความเร็วลมกับแหล่งกำเนิดลมไม่เท่ากัน ดังนั้นความเร็วลมจากเครื่องวัดความเร็วลมจึงให้ค่าต่างกัน ส่วนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยจะใช้ความเร็วของเครื่องเป่าลมของเบตลมร้อนที่ 50 และ 60 รอบต่อวินาที หรือที่ความเร็ว 10.3 และ 11.1 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ส่วนความเร็วของเครื่องเป่าลมของเบตลมเย็นที่ 80 รอบต่อวินาที หรือที่ความเร็ว 11.3 เมตรต่อวินาที โดยความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองดังกล่าวมีค่ามากกว่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชันหรือมากกว่า 1.45 เมตรต่อวินาที ส่วนความเร็วของเบตลมร้อนที่ 40 รอบต่อวินาที หรือที่ความเร็ว 8.7 เมตรต่อวินาที ไม่ได้นำมาทำการทดลองเนื่องจากในทางปฏิบัติพบว่าข้าวเปลือกเกิดการติดขัดที่บริเวณเบตลมร้อนจำนวนมากทำให้ต้องใช้ความเร็วที่สูงกว่า 8.7 เมตรต่อวินาที

#### 4.4 ศึกษาร้อยละความขึ้นฐานเปียกและร้อยละความขึ้นฐานแห้งเริ่มต้น

การศึกษาร้อยละความขึ้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49 โดยการสุมข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49 ปริมาณ 3 กรัม จำนวน 3 ตัวอย่าง วัดค่าความขึ้นโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความขึ้น โดยผลที่ได้จะเป็นค่าร้อยละความขึ้นฐานเปียก จากนั้นนำไปคำนวณหาร้อยละความขึ้นฐานแห้ง โดยผลการทดลองร้อยละความขึ้นฐานเปียก และการคำนวณร้อยละความขึ้นฐานแห้ง แสดงดังรูปที่ 4.1 เมื่อนำผลของร้อยละความขึ้นของการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยพบว่าร้อยละความขึ้นฐานเปียกมีค่าเท่ากับ 21.60 และร้อยละความขึ้นฐานแห้ง 27.56



รูป 4.1 ร้อยละความขึ้นฐานเปียกและค่าความขึ้นฐานแห้งเริ่มต้นของข้าวเปลือกก่อนการทดลอง

#### 4.5 ศึกษาอัตราการป้อนข้าวเปลือกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

จากการศึกษาอัตราการป้อนข้าวเปลือก (Feed rate) ด้วยวิธีการทดลองป้อนข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัม ขึ้นสู่สายพานที่ 1 ที่ความเร็วของสายพานร้อยละ 10 พบว่าการป้อนข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 16.10 นาทีหรือ 966 วินาที เมื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการป้อนของข้าวเปลือกซึ่งมีค่าเท่ากับ ผลหารของปริมาณข้าวที่ป้อนเข้ากับเวลาที่ใช่ พบว่าอัตราการป้อนข้าวเปลือกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 6.21 กิโลกรัมต่อนาที หรือ 0.373 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งจากงานวิจัยของมนตรี [20] ได้ศึกษาการพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดซ์เบดระดับอุตสาหกรรม มีอัตราการป้อนข้าวเปลือก 9.5 ตันต่อชั่วโมง ทำให้อัตราการป้อนข้าวเปลือกที่ได้มีค่าต่ำ เนื่องจากไม่สามารถปรับความเร็วของสกรูป้อนเข้าได้ทันทำให้เกิดข้าวเปลือกติดค้างบริเวณถังฮอปเปอร์ แต่หากเครื่องมีประสิทธิภาพสูงสุดหรือที่ความเร็วของสายพานสูงสุด หรืออัตราการป้อนเข้า 62.1 กิโลกรัมต่อนาที ทำให้เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่องมีอัตราการป้อนข้าวเปลือกสูงสุด 3.73 ตันต่อชั่วโมง

#### 4.6 ศึกษาปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบตแบบต่อเนื่อง

การศึกษาปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้ง (Hold up) จากเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในเบตลมร้อน โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่ข้าวเปลือกเข้าสู่ห้องอบแห้งและหยุดจับเวลาเมื่อข้าวเปลือกออกจากเบตลมร้อน จากการทดลองพบว่าเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งคือ 19.33 วินาที จากนั้นคำนวณปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของอัตราการป้อนเข้าของข้าวเปลือกและเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง จากการคำนวณพบว่าปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งหรือเบตลมร้อนประมาณ 2.00 กิโลกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่า งานวิจัยของ M. Khanali *et al.* [35] ที่มีปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้ง 1.32 กิโลกรัม

#### 4.7 ศึกษากำลังการผลิตของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบตแบบต่อเนื่อง

จากการศึกษากำลังการผลิต (Production Capacity) ของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบตแบบต่อเนื่อง โดยจับเวลาที่ใช้ในการดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัม ที่ความเร็วสายพานร้อยละ 10 และซึ่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณข้าวที่ทางออกของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยเท่ากับ 77.30 กิโลกรัม และใช้เวลาในการดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือก 30.66 นาที เมื่อนำไปคำนวณค่ากำลังการผลิตซึ่งมีค่าเท่ากับผลหารของน้ำหนักข้าวเปลือกที่ทางออกกับเวลาที่ใช้ พบว่าเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบตแบบต่อเนื่อง มีกำลังการผลิต 2.52 กิโลกรัมต่อนาที หรือ 0.151 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งจากงานวิจัยของมนตรี [20] ใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไชน์เบต มีขนาดกำลังการผลิต 5-10 ตันต่อชั่วโมง วุฒิกิรณ [21] ใช้เครื่องอบแห้งแบบสั่นสะเทือนมีขนาดกำลังการผลิต 2.5-5 ตันต่อชั่วโมง และพงศสถิตย์ และคณะ [25] ใช้เครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล์ที่มีขนาด 2 ตันต่อชั่วโมง ทำให้กำลังการผลิตที่ได้มีค่าต่ำ เนื่องจากประสิทธิภาพของสกรูป้อนเข้าไม่สามารถป้อนเข้าสู่เบตลมร้อนและเบตลมเย็นได้ทันทำให้เกิดข้าวเปลือกติดค้างบริเวณถึงฮอปเปอร์ของทั้งสตูเบตลมร้อนและเบตลมเย็น แต่หากเครื่องมีประสิทธิภาพสูงสุดหรือที่ความเร็วของสายพานที่ 1 และ 2 สูงสุด ทำให้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบตแบบต่อเนื่องมีกำลังการผลิตสูงสุด 1.51 ตันต่อชั่วโมง

#### 4.8 ศึกษาผลของอุณหภูมิลมของเบตลมร้อนต่อความชื้นของข้าวเปลือกหลังอบแห้ง

ในการทดลองได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิลมของเบตลมร้อนที่ 90, 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิ้ลภายในเบตลมร้อน (บริเวณจุด ก. ดังรูปที่ 3.1) สามารถวัดค่าได้ดังนี้ 55, 59, 65, 72 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 โดยแต่ละการทดลองได้นำข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 20 ถึง 22 ความเร็วลมของเครื่องเป่าลมร้อนและลมเย็น 11.1 และ 11.3 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ความเร็วของสายพาน 1 และ 2 เป็นร้อยละ 10 และ 30 ตามลำดับ จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของเบตลมร้อน ร้อยละความชื้นหลังอบแห้งจะมีค่าต่ำลง ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งสอดคล้อง

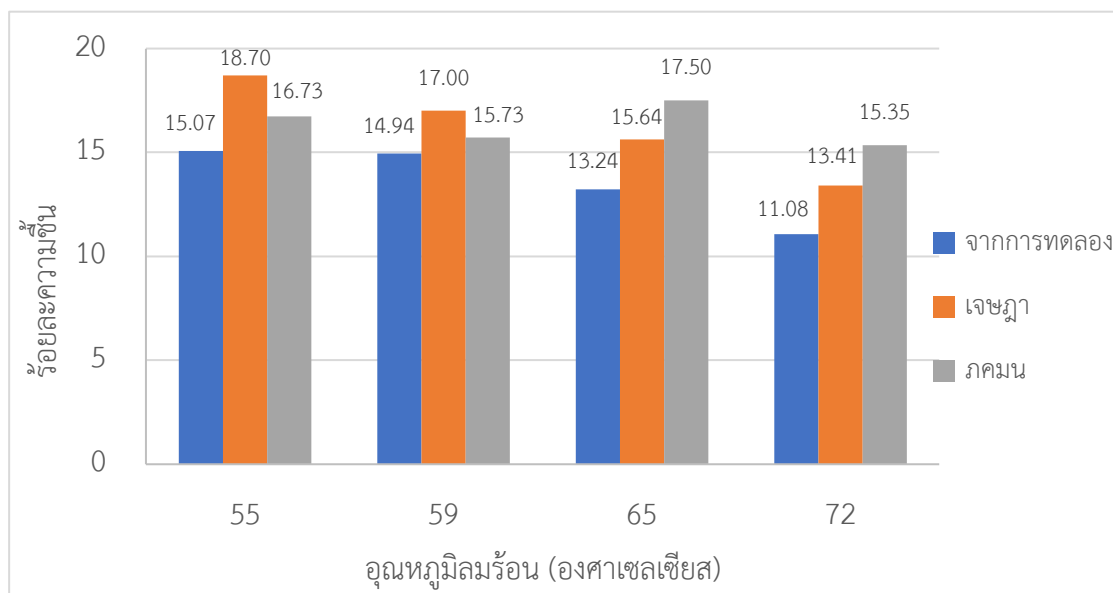
กับทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อนและทฤษฎีการระเหยคือเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นจะทำให้ข้าวเปลือกและน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้น้ำในเมล็ดข้าวเปลือกมีพลังงานจลน์ภายในมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊สได้ และร้อยละความชื้นมีแนวโน้มลดลงตามลำดับเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับงานวิจัยของภคมน [24] เจริญ [26] และ N. Kumari [34] โดยที่อุณหภูมิ 59 และ 65 องศาเซลเซียส สามารถลดร้อยละความชื้นข้าวเปลือกได้ 14.94 และ 13.24 ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงร้อยละความชื้นที่ต้องการ ส่วนอุณหภูมิ 55 และ 72 องศาเซลเซียส สามารถลดร้อยละความชื้นข้าวเปลือกได้ 15.07 และ 11.08 ตามลำดับ ซึ่งไม่สามารถลดร้อยละความชื้นข้าวเปลือกได้ตามที่ต้องการ โดยร้อยละความชื้นที่ต้องการต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 13 ถึง 15 สำหรับร้อยละความชื้นที่ต่ำเกินไปจะทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์ และเมื่อเข้าสู่กระบวนการสีข้าวจะทำให้ข้าวเกิดการแตกหัก โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 และเนื่องจากอุณหภูมิ 59 และ 65 องศาเซลเซียส สามารถลดร้อยละความชื้นข้าวเปลือกได้ตามที่ต้องการ แต่ในความเป็นจริงแล้วหลังจากการอบแห้งข้าวเปลือกจะสัมผัสกับอากาศแวดล้อมที่มีความชื้นทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกสูงขึ้นอีกเล็กน้อย ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่องคือ 110 องศาเซลเซียส

**ตารางที่ 4.3** อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิ้ลภายในเบดลมร้อน

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)	%error
90	55	38.89
100	59	41.00
110	65	40.91
120	72	40.00

**ตารางที่ 4.4** ร้อยละความชื้นหลังอบแห้งและร้อยละความชื้นที่ลดลงที่อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละความชื้นหลังอบแห้ง	ร้อยละความชื้นที่ลดลง
55	15.07	5.74
59	14.94	6.77
65	13.24	8.47
72	11.08	9.79



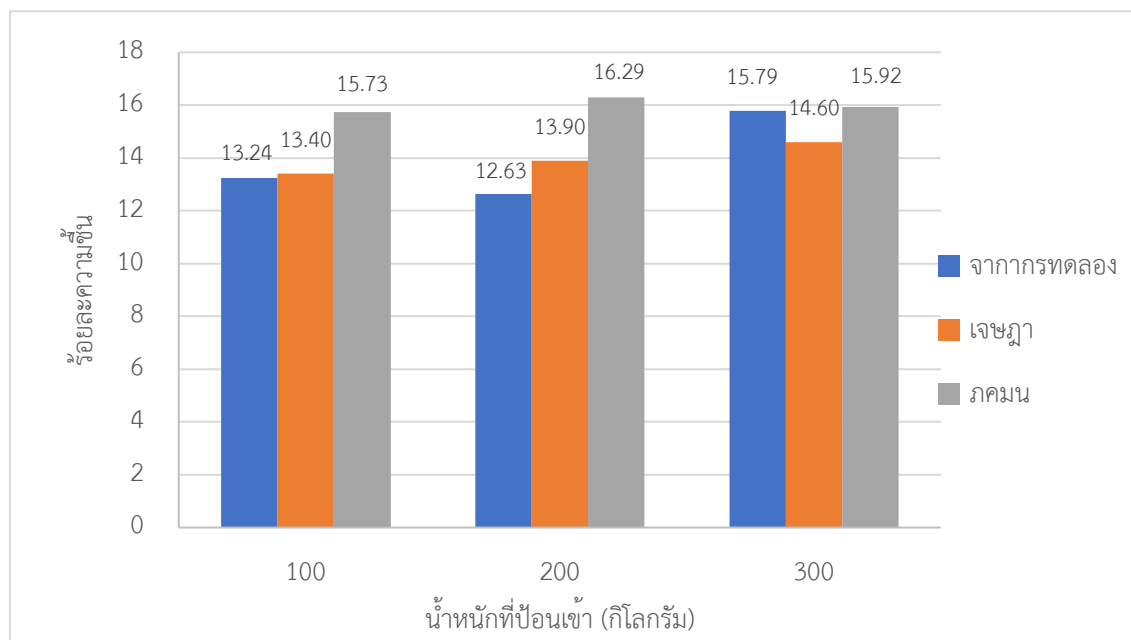
รูป 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิร้อนและร้อยละความชื้น

#### 4.9 ศึกษาผลของน้ำหนักที่ป้อนเข้าของข้าวเปลือกที่มีผลต่อความชื้นหลังอบ

ในการทดลองได้ทำการศึกษาผลของน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ 100, 200 และ 300 กิโลกรัม ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณร้อยละ 20 ถึง 22 อุณหภูมิร้อนของเบดลมร้อน 65 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของเบดลมเย็น 30 องศาเซลเซียส และความเร็วลมของเครื่องเป่าลมร้อนและลมเย็น 11.1 และ 11.3 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ความเร็วของสายพาน 1 และ 2 เป็นร้อยละ 10 และ 30 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ที่ปริมาณข้าว 100 200 และ 300 กิโลกรัม มีร้อยละความชื้นหลังอบแห้งเท่ากับ 13.24 12.63 และ 15.79 ตามลำดับ โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 และสามารถสรุปผลได้ว่าเมื่อปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 100 กิโลกรัมเป็น 200 กิโลกรัม ร้อยละความชื้นของน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเป็น 300 กิโลกรัม ร้อยละความชื้นของน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี [9] คือเมื่อข้าวเปลือกเข้าสู่อบแห้งต่อเนื่องในปริมาณมาก จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ และเมื่อทำการอบแห้งสักระยะปริมาณน้ำที่สะสมภายในเบดลมร้อนมีมากขึ้นทำให้ความสามารถในการระเหยต่ำลง จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลงซึ่ง และร้อยละความชื้นมีแนวโน้มลดลงตามลำดับเช่นเดียวกับงานวิจัยของภคมน [24] เจษฎา [26] และ M. Khanali *et al.* [35] และสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าที่ปริมาณข้าวเปลือก 100 กิโลกรัม สามารถลดร้อยละความชื้นข้าวเปลือกได้ตามที่ต้องการ และที่ปริมาณข้าวเปลือก 200 และ 300 กิโลกรัม ไม่สามารถลดร้อยละความชื้นข้าวเปลือกได้ตามที่ต้องการ ซึ่งร้อยละความชื้นหลังอบแห้งที่ต้องการคืออยู่ระหว่างร้อยละ 13 ถึง 15

ตารางที่ 4.5 ร้อยละความชื้นหลังอบแห้งและร้อยละความชื้นที่ลดลงที่น้ำหนักของข้าวเปลือกต่างกัน

น้ำหนักของข้าวเปลือก (กิโลกรัม)	ร้อยละความชื้นหลังอบแห้ง	ร้อยละความชื้นที่ลดลง
100	13.24	8.47
200	12.63	10.30
300	15.79	6.42



รูป 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ป้อนเข้าและร้อยละความชื้น

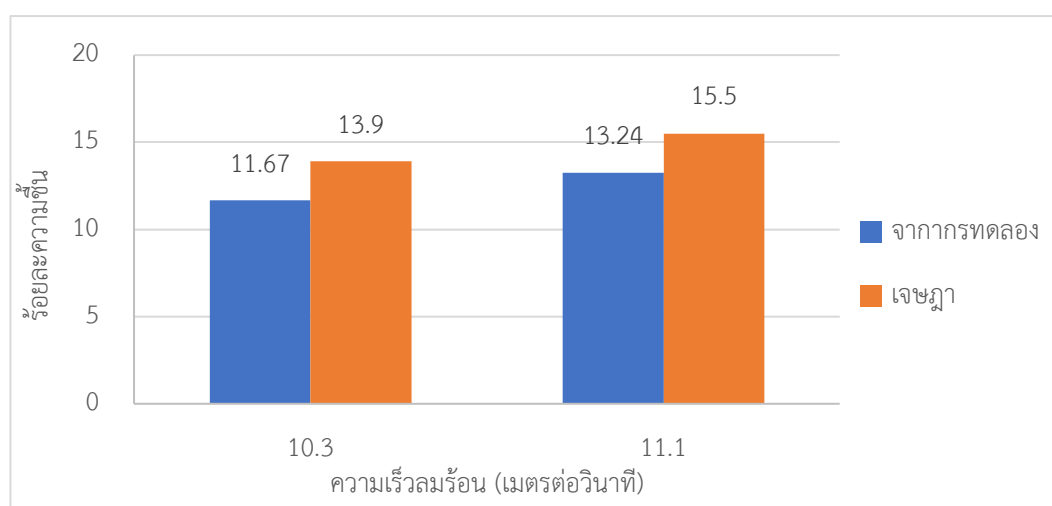
#### 4.10 ศึกษาผลของความเร็วลมของเครื่องทำความร้อนและเครื่องเป่าลมต่อความชื้นหลังอบแห้ง

ในการทดลองได้ทำการศึกษาความเร็วลมของเครื่องทำความร้อนและเครื่องเป่าที่ 10.3 และ 11.1 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมของเครื่องเป่าลมเย็น 11.3 เมตรต่อวินาที และจากการวัดความเร็วลมจากเครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัดยี่ห้อ testo รุ่น 416 จะได้ความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมร้อนที่ 50 และ 60 รอบต่อวินาทีเป็น 10.3 และ 11.1 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ และความเร็วลมของเครื่องเป่าลมเย็น 80 รอบต่อวินาทีเป็น 11.3 เมตรต่อวินาที ดังแสดงตารางที่ 4.2 ซึ่งมีค่ามากกว่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน โดยแต่ละการทดลองได้นำข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 20 ถึง 22 อุณหภูมิลมร้อนของเบตลมร้อน 110 องศาเซลเซียส และความเร็วของสายพาน 1 และ 2 เป็นร้อยละ 10 และ 30 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าร้อยละความชื้นที่ความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมร้อนที่ 10.3 และ 11.1 เมตรต่อวินาที เป็น 11.67 และ 13.24 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และสามารถสรุปผลได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วลมของเครื่องเป่าลมร้อนทำให้ร้อยละความชื้นสูงขึ้น แสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี [9] คือเมื่อความเร็วลมของเครื่องทำ

ความร้อนน้อยลงข้าวเปลือกจะมีเวลาอยู่ในเบตลมร้อนนานขึ้น ทำให้มีช่วงเวลาในอบแห้งนานขึ้นและการระเหยนํ้ามากขึ้นตามไปด้วย และร้อยละความชื้นมีแนวโน้มลดลงตามลำดับเช่นเดียวกับงานวิจัยของ เจษฎา [26] โดยที่ความเร็วของเครื่องทำความร้อนและเครื่องเป่าลมที่ 60 รอบต่อวินาทีหรือ 11.1 เมตรต่อวินาทีสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้ตามที่ต้องการ ส่วนเครื่องเป่าลมที่ 50 รอบต่อวินาทีหรือ 10.3 เมตรต่อวินาที มีร้อยละความชื้นข้าวเปลือกต่ำกว่าที่ต้องการคืออยู่ระหว่างร้อยละ 13 ถึง 15

**ตารางที่ 4.6** ร้อยละความชื้นหลังอบแห้งและร้อยละความชื้นที่ลดลงที่ความเร็วลมต่างกัน

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ร้อยละความชื้นหลังอบแห้ง	ร้อยละความชื้นที่ลดลง
10.3	13.24	9.14
11.1	12.63	8.47

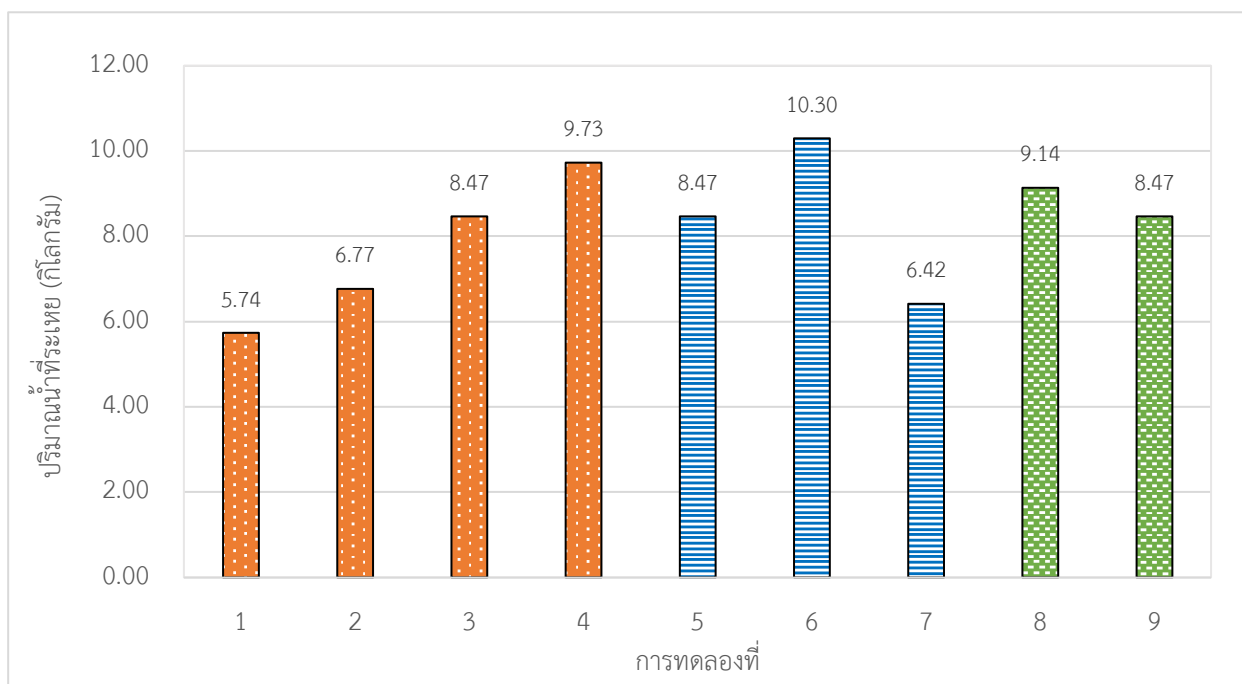


**รูป 4.4** ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมร้อนและร้อยละความชื้น

#### 4.11 ศึกษาผลของปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ

ในการทดลองได้ศึกษาผลของปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ โดยการทดลองที่ 1 ถึง 4 ดำเนินการที่สภาวะอุณหภูมิของเบตลมร้อนที่ 55, 59, 65 และ 72 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระเหยเพิ่มขึ้น ส่วนการทดลองที่ 5 ถึง 7 ดำเนินการที่ปริมาณการป้อนข้าวรวมของข้าวเปลือกที่ 100, 200 และ 300 กิโลกรัม ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 100 กิโลกรัมเป็น 200 กิโลกรัม อัตราการระเหยของน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเป็น 300 กิโลกรัมอัตราการระเหยของน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือปริมาณน้ำที่สะสมภายในเบตลมร้อนมีมากขึ้นทำให้ความสามารถในการระเหยต่ำลง ส่วนการทดลองที่ 8 และ 9 ดำเนินการที่ความเร็วลมของเครื่องเป่าลมร้อน 50 และ 60

รอบต่อวินาทีตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเร็วลมของเครื่องเป่าลมร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระเหยลดลง สำหรับปริมาณน้ำที่ระเหยต่อปริมาณข้าวเปลือก 100 กิโลกรัมของแต่ละการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.5

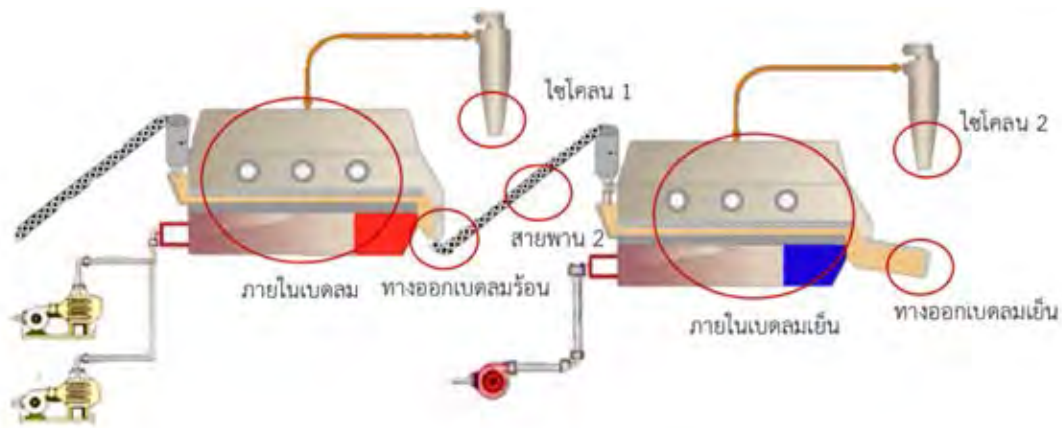


รูป 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละการทดลองและปริมาณน้ำที่ระเหยต่อปริมาณข้าวเปลือก 100 กิโลกรัม

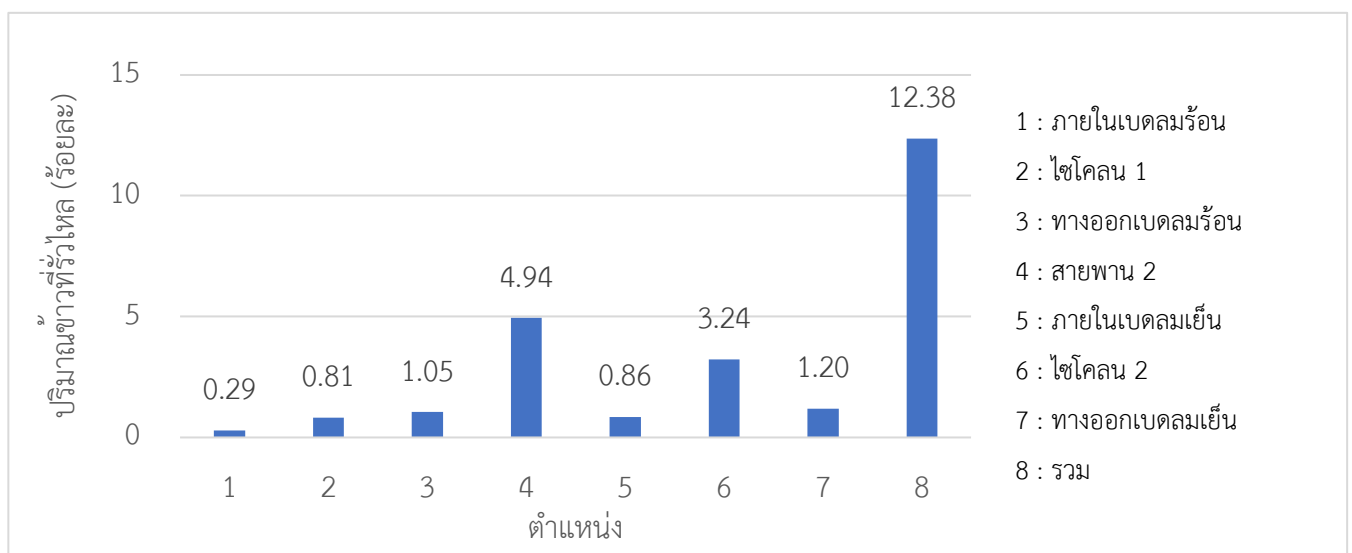
#### 4.12 ศึกษาจุดการรั่วไหลและปริมาณการรั่วไหลออกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

จากการศึกษาจุดรั่วไหลของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง พบว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง มีจุดรั่วไหลมากถึง 5 จุด คือ ไซโคลน 1 ทางออกเบดลมร้อน สายพาน 2 ไซโคลน 2 และทางออกเบดลมเย็น โดยมีปริมาณการรั่วไหลร้อยละ 0.29 0.81 1.05 4.94 3.24 และ 1.20 ตามลำดับ ส่วนภายในเบดลมร้อน และภายในเบดลมเย็น ยังมีปริมาณข้าวเปลือกจำนวนหนึ่งยังอยู่ในเครื่อง ปริมาณการรั่วไหลร้อยละ 0.29 และ 0.86 ตามลำดับ ซึ่งมีการรั่วไหลรวมร้อยละ 12.38 ของประมาณที่ป้อนเข้าข้าวเปลือกทั้งหมด โดยตำแหน่งที่รั่วไหลแสดงดังรูปที่ 4.6 และปริมาณข้าวเปลือกที่รั่วไหลแสดงในรูปที่ 4.7 โดยจุดที่รั่วไหลมากที่สุดคือบริเวณสายพาน 2 ร้อยละ 4.94 นั้นเพราะมีรอยฉีกขาดของยางกันรั่วด้านข้างสายพานทำให้มีข้าวรั่วไหลออกมาตลอดการเดินทาง ร่องลงมาคือ ไซโคลน 2 เนื่องจากใช้ความเร็วลมของเครื่องเป่าลมเย็น 80 รอบต่อวินาที หรือ 11.3 เมตรต่อวินาที เพื่อช่วยให้ข้าวเปลือกสามารถหลุดออกจากเบดลมเย็นได้ทันต่ออัตราการป้อนเข้าและการอบแห้ง





รูป 4.6 ตำแหน่งของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซค์เบตที่ข้าวเปลือกกรั่วไหล



รูป 4.7 ปริมาณข้าวที่รั่วไหลต่อตำแหน่งของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซค์เบตแบบต่อเนื่อง

#### 4.13 ศึกษาความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซค์เบตแบบต่อเนื่อง

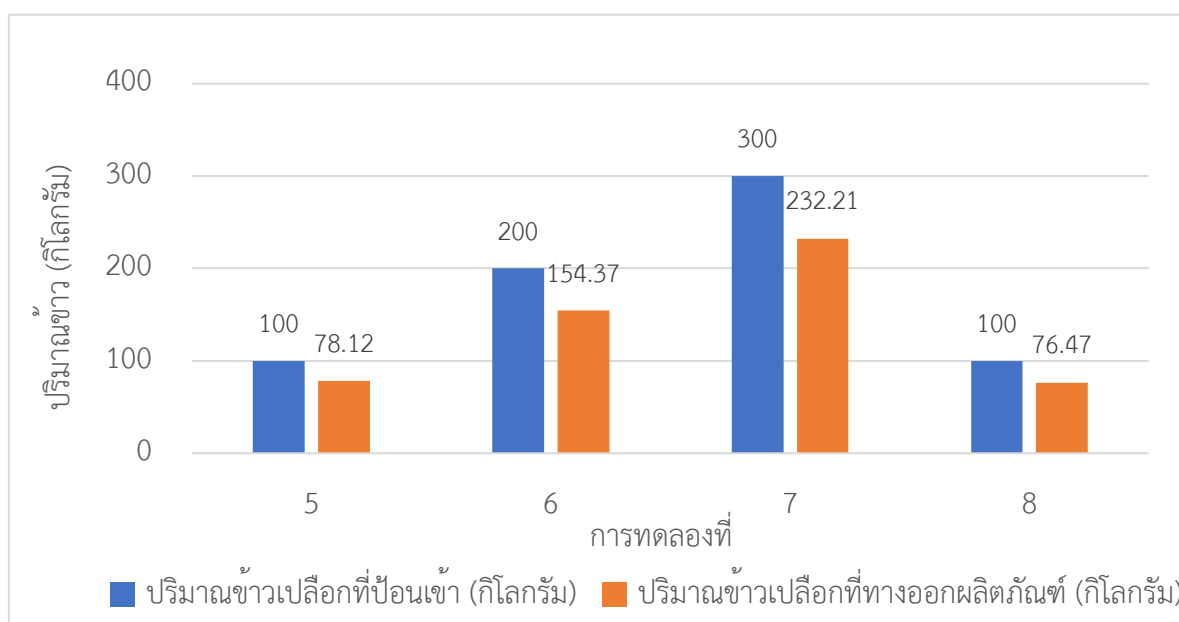
จากการศึกษาความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซค์เบตแบบต่อเนื่อง โดยจดบันทึกตัวเลขที่อ่านมิเตอร์ไฟฟ้า (ค่ากำลังงานรีแอกทีฟ, Reactive Power) ก่อนเดินเครื่อง จากนั้นให้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไซค์เบตแบบต่อเนื่องดำเนินการอบแห้งที่อุณหภูมิเบตลมร้อน 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดทำการจดบันทึกค่าตัวเลขที่อ่านมิเตอร์ไฟฟ้าอีกครั้ง จากการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซค์เบตแบบต่อเนื่องมีค่ากำลังงานรีแอกทีฟเท่ากับ 6 กิโลวาร์

สำหรับเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซค์เบตแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี จะใช้อัตราค่าไฟประเภทที่ 6 คือ องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร สำหรับมีระดับแรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป มีอัตราค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า 3.44 บาทต่อหน่วย โดยค่าสิ้นเปลืองพลังงานหรือราคาค่าไฟในการดำเนินเท่ากับผลคูณของค่าไฟเฉลี่ยต่อหน่วย ค่าพลังงานและเวลาที่ใช้

ดำเนินการ พบว่าค่าสิ้นเปลืองพลังงานหรือราคาค่าไฟเท่ากับ 33.31 บาทต่อชั่วโมง หรือ 22.21 บาทต่อตันที่กำลังการผลิตสูงสุด และจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ ปริมาณข้าวเปลือก และ ความเร็วลม จากเครื่องเป่าลมร้อน ในการอบแห้งข้าวเปลือก พบว่าการทดลองที่ 2 มีร้อยละความชื้นหลังอบแห้งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงใช้ปริมาณน้ำที่ระเหยของการทดลองที่ 2 ในการคำนวณความสิ้นเปลืองพลังงานในหน่วย บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย โดยมีค่าสิ้นเปลืองพลังงานหรือราคาค่าไฟเท่ากับ 0.26 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย ที่กำลังการผลิตสูงสุด พบว่ามีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยกว่างานวิจัยของวุฒิกรณ์ [21] ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 1.01 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย และกชกร [22] มีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวเปลือกเฉลี่ย 0.53 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย

#### 4.14 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ด้วยการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ป้อนเข้าของการทดลองที่ 5 ถึง 8 มีปริมาณ 100 200 300 และ 100 กิโลกรัม ตามลำดับ หลังการดำเนินการอบแห้งทำการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่บริเวณทางออกของผลิตภัณฑ์ของการทดลองที่ 5 ถึง 8 มีปริมาณลดลงเหลือ 78.12 154.37 232.21 และ 76.47 ตามลำดับ โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 เมื่อคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่องจากผลหารของปริมาณข้าวเปลือกที่ป้อนเข้ารวมกับปริมาณข้าวเปลือกที่บริเวณทางออกของผลิตภัณฑ์ พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่องร้อยละ 77.30



รูป 4.8 ปริมาณข้าวที่ป้อนเข้าและปริมาณข้าวเปลือกที่ทางออกผลิตภัณฑ์

#### 4.15 เปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมของงานวิจัยในอดีตและปัจจุบันที่ใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

จากการเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมจากงานวิจัยในอดีตใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี พบว่าอุณหภูมิอุณหภูมิต่างกันเหมาะสมต่อการอบแห้งมีความต่างจากงานวิจัยในอดีตค่อนข้างมาก ปริมาณที่ป้อนเข้าของข้าวเปลือกมีผลกระทบต่อผลผลิตที่สอดคล้องกัน ส่วนความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมร้อนจากการทดลองซึ่งใช้ความเร็วลมค่อนข้างสูงเพื่อให้ข้าวเปลือกเกิดการฟลูอิดเซชันได้ดี ซึ่งผลลัพธ์หรือร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่ได้จากงานวิจัยของภคมน [24] ร้อยละความชื้นยังไม่เป็นไปตามต้องการ ส่วนงานวิจัยของเจษฎา [26] และจากการทดลองในครั้งนี้พบว่าร้อยละความชื้นข้าวเปลือกเป็นไปตามต้องการ โดยร้อยละความชื้นที่ต้องการคือ ร้อยละ 13 ถึง 15 แสดงดังตารางที่ 4.7 ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่เหมาะสมที่แตกต่างการอาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิของอากาศ ชนิดของข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง เป็นต้น

ตารางที่ 4.7 สภาวะที่เหมาะสมของงานวิจัยในอดีตและปัจจุบัน

งานวิจัย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณที่ป้อนเข้า (กิโลกรัม)	ความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมร้อน (เมตรต่อวินาที)	ร้อยละความชื้น
ภคมน	99	100	1.1	15.35
เจษฎา	100	100	1.43	13.41
จากการทดลอง	65	100	11.1	13.24

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิของเบดลมร้อน ผลของน้ำหนักที่ป้อนเข้าของข้าวเปลือก ผลของความเร็วลมของเครื่องทำความร้อนและเครื่องเป่าลม และปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพและความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี โดยในแต่ละการทดลองสามารถสรุปผลพร้อมทั้งข้อเสนอแนะได้ดังนี้

#### 5.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49

จากผลการทดลองข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 49 จากจังหวัดปทุมธานี ที่เก็บเกี่ยวเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2562 พบว่าข้าวเปลือกมีร้อยละความชื้นเริ่มต้น 20-22 น้ำหนักเฉลี่ยต่อเมล็ด 0.026 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลางเมล็ดข้าวเปลือก 0.134 เซนติเมตร ความหนาแน่นปรากฏ 0.644 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความหนาแน่นจริง 0.922 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

#### 5.2 ศึกษาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชันและความเร็วปลายของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49

จากการศึกษาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชันของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49 พบว่าค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชันมีเท่ากับ 1.45 ซึ่งในการทดลองจึงต้องใช้ความเร็วจากเครื่องเป่าลมทั้งเบดลมร้อนและเบดลมเย็นให้มีความมากกว่าค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน

#### 5.3 ศึกษาความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมในเบดลมร้อนและเบดลมเย็นของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด

แบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

จากการศึกษาความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมในเบดลมร้อนและเบดลมเย็นของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่องพบว่าที่เครื่องเป่าลมของเบดลมร้อนที่ 40 50 และ 60 รอบต่อวินาที มีความเร็วลมเท่ากับ 8.7 10.3 และ 11.1 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ส่วนเครื่องเป่าลมของเบดลมเย็นที่ 40 50 60 70 และ 80 รอบต่อวินาที มีความเร็วลมเท่ากับ 5.0 6.7 8.3 9.8 และ 11.3 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ซึ่งในการทดลองหากต้องการอบแห้งข้าวเปลือกจะต้องมีค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชันมีมากกว่า 1.455 เมตรต่อวินาที

#### 5.4 ศึกษาร้อยละความชื้นฐานเปียกและร้อยละความชื้นฐานแห้งเริ่มต้น

จากการศึกษาร้อยละความชื้นฐานเปียกและร้อยละความชื้นฐานแห้งเริ่มต้นของข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 49 จากจังหวัดปทุมธานี เก็บเกี่ยวเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2561 และได้ทำการวัดความชื้นเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2561 พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละความชื้นฐานเปียกเริ่มต้นเท่ากับ 21.60 และค่าร้อยละความชื้นฐานแห้งเริ่มต้นเท่ากับ 27.56

#### 5.5 ศึกษาอัตราการป้อนข้าวเปลือกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

จากการศึกษาอัตราการป้อนข้าวเปลือก พบว่าอัตราการป้อนข้าวเปลือกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 6.21 กิโลกรัมต่อนาที หรือ 0.373 ตันต่อชั่วโมง ที่ความเร็วของสายพานร้อยละ 10 และอัตราการป้อนข้าวเปลือกสูงสุด 3.73 ตันต่อชั่วโมง ที่ความเร็วของสายพานสูงสุด

#### 5.6 ศึกษาปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

จากการศึกษาปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง พบว่าเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งคือ 19.33 วินาที และเมื่อนำไปคำนวณปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 2.00 กิโลกรัม

#### 5.7 ศึกษา กำลังการผลิตของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

จากการศึกษากำลังการผลิตของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง พบว่าปริมาณข้าวที่ทางออกของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยเท่ากับ 77.30 กิโลกรัม และใช้เวลาในการดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือก 30.66 นาที ที่ความเร็วสายพานที่ 1 ร้อยละ 10 เมื่อคำนวณกำลังการผลิตของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 2.52 กิโลกรัมต่อนาที หรือ 0.151 ตันต่อชั่วโมง และกำลังการผลิตสูงสุด 1.51 ตันต่อชั่วโมง ที่ความเร็วของสายพานที่สูงที่สุด

#### 5.8 ศึกษาผลของอุณหภูมิลมของเบดลมร้อนต่อความชื้นหลังอบ

ในการทดลองได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิลมของเบดลมร้อนที่ 55, 59, 65 และ 72 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละการทดลองได้นำข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัม ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 20 ถึง 22 จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของเบดลมร้อนร้อยละความชื้นหลังอบจะมีค่าต่ำลง โดยที่อุณหภูมิ 100 และ 110 องศาเซลเซียส สามารถลดร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกได้ตามที่ต้องการ ส่วนอุณหภูมิ 59 และ 72 องศาเซลเซียส ไม่สามารถลดร้อยละความชื้นข้าวเปลือกได้ตามที่ต้องการคืออยู่ระหว่างร้อยละ 13 ถึง 15

## 5.9 ศึกษาผลของน้ำหนักที่ป้อนเข้าของข้าวเปลือกที่มีผลต่อความชื้นหลังอบ

ในการทดลองได้ทำการศึกษาผลของน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ 100, 200 และ 300 กิโลกรัม ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณร้อยละ 20 ถึง 22 และอุณหภูมิลมร้อนของเบตลมร้อน 59 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถสรุปผลได้ว่าที่ปริมาณการป้อนข้าวเปลือกที่ 100 กิโลกรัมและ 200 กิโลกรัม สามารถลดร้อยละความชื้นข้าวเปลือกได้ตามที่ต้องการ ส่วนปริมาณการป้อนข้าวเปลือกที่ 300 กิโลกรัม ร้อยละความชื้นข้าวเปลือกสูงกว่าที่ต้องการคืออยู่ระหว่างร้อยละ 13 ถึง 15

## 5.10 ศึกษาผลของความเร็วมของเครื่องทำความร้อนและเครื่องเป่าลมต่อความชื้นหลังอบ

ในการทดลองได้ทำการศึกษาความเร็วมของเครื่องทำความร้อนและเครื่องเป่าที่ 10.3 และ 11.1 เมตรต่อวินาที และความเร็วมของเครื่องเป่าลมเย็น 11.3 เมตรต่อวินาที โดยแต่ละการทดลองได้นำข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 20 ถึง 22 และอุณหภูมิลมร้อนของเบตลมร้อน 59 องศาเซลเซียส สามารถสรุปผลได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วมของเครื่องทำความร้อนทำให้ร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกสูงขึ้นสูงขึ้น โดยที่ความเร็วของเครื่องทำความร้อนและเครื่องเป่าลมที่ 11.1 เมตรต่อวินาที สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้ตามที่ต้องการ ส่วนเครื่องเป่าลมที่ 10.3 เมตรต่อวินาที ร้อยละความชื้นข้าวเปลือกต่ำกว่าที่ต้องการคืออยู่ระหว่างร้อยละ 13 ถึง 15

## 5.11 ศึกษาผลของปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้งที่สภาวะต่าง

ในการทดลองได้ศึกษาผลของปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ โดยการทดลองที่ 1 ถึง 4 ดำเนินการที่สภาวะอุณหภูมิของเบตลมร้อนที่ 55, 59, 65 และ 72 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระเหยเพิ่มขึ้น ส่วนการทดลองที่ 5 ถึง 7 ดำเนินการที่ปริมาณการป้อนข้าวรวมของข้าวเปลือกที่ 100, 200 และ 300 กิโลกรัม ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 100 กิโลกรัมเป็น 200 กิโลกรัม อัตราการระเหยของน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเป็น 300 กิโลกรัมอัตราการระเหยของน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าลดลง ส่วนการทดลองที่ 8 ถึง 9 ดำเนินการที่ความเร็วมของเครื่องเป่าลมร้อน 10.3 และ 11.1 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเร็วมของเครื่องเป่าลมร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระเหยลดลง

### 5.12 ศึกษาจุดการรั่วไหลและปริมาณการรั่วไหลออกของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง ที่ ศูนย์วิจัยชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

จากการศึกษาจุดรั่วไหลของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง พบว่าเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง มีการรั่วไหลรวมร้อยละ 12.38 ของปริมาณที่ป้อนเข้าข้าวเปลือกทั้งหมด และมีจุดรั่วไหลมากถึง 7 จุด โดยจุดที่รั่วไหลมากที่สุดคือบริเวณสายพาน 2 ร้อยละ 4.94 นั้นเพราะมีรอยฉีกขาดของยางกันรั่วด้านข้างสายพานทำให้มีข้าวรั่วไหลออกมาตลอดการเดินทาง ร่องลงมาคือ ไชโคลน 2 ร้อยละ 3.24 เนื่องจากใช้ความเร็วลมของเครื่องเป่าลมเย็น 80 รอบต่อวินาที หรือ 11.3 เมตรต่อวินาที เพื่อช่วยให้ข้าวเปลือกสามารถหลุดออกจากเบดลมเย็นได้ทันต่ออัตราการป้อนเข้าและการอบแห้ง

### 5.13 ศึกษาความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

การศึกษาความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี พบว่าค่าสิ้นเปลืองพลังงานหรือราคาค่าใช้จ่ายในการดำเนินเท่ากับ 33.31 บาทต่อชั่วโมง 22.21 บาทต่อตัน หรือ 0.26 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหยที่กำลังการผลิตสูงสุด

### 5.14 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง จากากรชั่งน้ำหนักปริมาณข้าวเปลือกที่ป้อนเข้ารวมกับปริมาณข้าวเปลือกที่บริเวณทางออกของผลิตภัณฑ์ จากการคำนวณพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่องร้อยละ 77.30

### 5.15 เปรียบเทียบสถานะที่เหมาะสมของงานวิจัยในอดีตและปัจจุบันที่ใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

จากการเปรียบเทียบสถานะที่เหมาะสมจากงานวิจัยในอดีตที่ใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไชน์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี พบว่าอุณหภูมิอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้งและความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมร้อนมีความต่างจากงานวิจัยในอดีตค่อนข้างมาก ส่วนปริมาณที่ป้อนเข้าของข้าวเปลือกมีผลการทดลองที่สอดคล้องกัน ทั้งนี้เนื่องจากสถานะที่เหมาะสมที่แตกต่างการอาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิของอากาศ ชนิดของข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง เป็นต้น

จากการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่องพบว่า ข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 49 มีค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคซ์เซชัน 1.455 เมตรต่อวินาที สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง (การทดลองที่ 2) ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ปริมาณข้าวเปลือกป้อนเข้า 100 กิโลกรัม หรืออัตราการป้อนเข้า 6.21 กิโลกรัมต่อนาที และที่ความเร็วจากเครื่องเป่าลมร้อน 60 รอบต่อวินาทีหรือ 11.1 เมตรต่อวินาที สามารถลดร้อยละความชื้นข้าวเปลือกได้ตามที่ต้องการคือร้อยละ 13 ถึง 15 ส่วนปริมาณการรั่วไหลของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ร้อยละ 12.38 และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอบแห้ง 33.31 บาทต่อชั่วโมง 22.21 บาทต่อตัน หรือ 0.26 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหยที่กำลังการผลิตสูงสุด และประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ร้อยละ 77.30



## 5.16 ข้อเสนอแนะ

- 5.16.1 จากการดำเนินงานวิจัยปัญหาที่พบในหลาย ๆ ด้านทั้งเรื่องของข้าวเปลือกและเครื่องอบแห้ง ฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี จึงนำปัญหาทั้งหมดที่พบเจอมาเป็นประสบการณ์และข้อเสนอแนะดังนี้
- 5.16.2 บริเวณเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่องที่ใช้น้ำมันจุตรั่วไหลของข้าวเปลือกคือบริเวณทางออกของเบตลมร้อนสู่สายพานที่ 2 ที่จะนำไปเข้าเบตลมเย็นต่อไป สาเหตุที่เกิดการรั่วไหลเนื่องจากเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง ควรวางตัวในแนวยาวแต่พื้นที่ไม่เอื้ออำนวยจึงต้องมีการหักมุมตรงสายพานที่ 2 และบริเวณสายพานที่ 2 คือแนววางที่อยู่ระหว่างสายพานที่ 2 กับผนังเกิดการฉีกขาดทำให้ปริมาณข้าวเกิดการรั่วไหลออกมาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นควรมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่องไม่ให้เกิดการรั่วไหลของข้าวเปลือกเกิดขึ้น
- 5.16.3 ข้าวเปลือกมีเวลาในการเก็บเกี่ยวที่แน่นอนคือช่วงพฤษภาคมและธันวาคม ดังนั้นช่วงเวลาที่ทำการทดลองจึงไม่สามารถยืดหยุ่นได้ เนื่องจากข้าวเปลือกไม่สามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน
- 5.16.4 ในการทดลองความเร็วสายพานที่ 1 คือสายพานที่ทำหน้าที่ป้อนข้าวเปลือกเข้าเบตลมร้อนใช้ความเร็วต่ำคือร้อยละ 10 เนื่องจากเป็นป้องกันไม่ให้ข้าวเปลือกเข้าเบตลมร้อนในปริมาณมาก ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ข้าวเปลือกอุดตันภายในเบตลมร้อน
- 5.16.5 การเกิดฟลูอิดไคซ์ภายในเบตลมร้อนและเบตลมเย็นยังไม่สามารถนำข้าวเปลือกออกมาได้ทั้งหมดจึงต้องอาศัยแรงงานคนในการช่วยคือการปรับและขยับ paddle อยู่เป็นระยะ ๆ
- 5.16.6 ศึกษาวิธีการใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัดยี่ห้อ testo รุ่น 416 โดยค่อย ๆ นำเข้าไปวัดในพื้นที่ที่มีลมอย่างช้า ๆ และระวังไม่ให้เมสส์ข้าวติดกับใบพัด ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อใบพัดได้
- 5.16.7 ศึกษาวิธีการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลยี่ห้อ FOTEK รุ่น MT20-R โดยจะต้องระวังไม่ให้เทอร์โมคัปเปิลแตะโลหะของเบตลมร้อนเพราะที่โลหะของเบตลมร้อนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศ
- 5.16.8 ควรตรวจสอบสภาพเครื่องอย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้เกิดเหตุขัดข้องขึ้นหรือถ้าหากเกิดเหตุขัดข้องขึ้นควรมีผู้ซ่อมแซมประจำอยู่ที่ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี เนื่องจากที่ศูนย์วิจัยเป็นแหล่งวิจัยที่มีเครื่องปฏิกรณ์อยู่หลายเครื่อง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ASTV ผู้จัดการออนไลน์ จับกระแสเศรษฐกิจโลก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.apecthai.org/apec/th/econnews.php?id=856>. [21 ธันวาคม 2561].
- [2] พิรสิทธิ์ ทวยนาค, มณฑล ชูโซนาค, มุस्ताฟา ยะภา, ประชา บุญยวานิชกุล., “Influences of Flow Velocity of Hot Air to Moisture Content Reduction of Paddy in Must Flow Paddy Dryer.” SWU Engineering Journal 9(1), 28-35. (2014).
- [3] ข้อมูลการผลิตและการตลาดสินค้าเกษตรที่สำคัญ 6 ชนิด ปี 2561 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.ppb.moi.go.th/midev10/upload/2161.pd>. [21 ธันวาคม 2561].
- [4] สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ. การค้าข้าวไทย [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [www.appl.bedo.or.th/rice/GeneralInfo.aspx?id=5](http://www.appl.bedo.or.th/rice/GeneralInfo.aspx?id=5). [22 ธันวาคม 2561].
- [5] ข้าว.(2019). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/ข้าว>. [24 ธันวาคม 2561].
- [6] ความสำคัญของข้าว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://sites.google.com/a/wanthawee.com/www/khwam-sakhay-khxng-khaw>. [24 ธันวาคม 2561].
- [7] อุตสาหกรรมข้าว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [https://www.krungsri.com/bank/getmedia/a4914ee7-5d26-47f5-b572-11013a2b9cce/IO\\_Rice\\_201705\\_TH.aspx](https://www.krungsri.com/bank/getmedia/a4914ee7-5d26-47f5-b572-11013a2b9cce/IO_Rice_201705_TH.aspx). [8 มกราคม 2562].
- [8] การอบแห้ง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://ienergyguru.com/2015/09/drying/> [10 มกราคม 2562].
- [9] Drying rate / อัตราการทำแห้ง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate-อัตราการทำแห้ง>. [10 มกราคม 2562].
- [10] การก่อกสภาพของไหล (Fluidization). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc53/content/nstkc53-065.html>. [13 มกราคม 2562].
- [11] เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ. (2560). ฟลูอิดเซชัน Fluidization. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย เรื่อง ที่มาของสมการ Ergun เพื่อการคำนวณความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดเซชันสำหรับอนุภาคของแข็ง.
- [13] ชัยพร แซ่เฮ้ง, ธนวัฒน์ อีสสระกุล., การศึกษาและทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยการใช้ ความร้อนของไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กาแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา เขตกาแพงแสน.
- [14] ไฟฟ้ากระแสสลับ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/khonkhan/electric/content/12\\_1.htm](http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/khonkhan/electric/content/12_1.htm). [16 เมษายน 2562].

- [15] Power factor. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.pq-team.com/engineering-zone/what-is-power-factor>. [16 เมษายน 2562].
- [16] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.sqdggroups.com/wp-content/uploads/2017/03/P.FCorrectionLinearNew.pdf>. [17 เมษายน 2562].
- [17] การปรับปรุงค่า Power Factor. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.mea.or.th/profile/110/269>. [17 เมษายน 2562].
- [18] อัตราค่าไฟฟ้าจำแนกตามกิจการไฟฟ้า [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [https://esd.pea.co.th/pdf/electricity\\_rate\\_58\\_02.pdf](https://esd.pea.co.th/pdf/electricity_rate_58_02.pdf). [17 เมษายน 2562].
- [19] มุस्ताฟา ยะภา., การอบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิดซ์เบดอย่างต่อเนื่อง, วิศวกรรมอาหาร. 2536, เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ
- [20] มนตรี หวังจิ., การพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดซ์เบดระดับอุตสาหกรรม, พลังงานและวัสดุ. 2539, เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ
- [21] วุฒิกรณม์ จรรย์ต้นติเวทย์., การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดซ์เบดสั้นสะเทือน, วิทยานิพนธ์ (วศ.ม. เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541. หน้า 141
- [22] กชกร ภูไพบูลย์, การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิดซ์เบด. เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ
- [23] Sarker M.S.H, Ibrahim M.N, Aziz N. Ab. And Punan M.S., Application of simulation in determining suitable operating parameter for industrial scale fluidized bed dryer during drying of high impurity moist paddy, 2014 Journal of Stored Products Reserch. 1-9 (2014)
- [24] ภาคกร เรื่องวรรณ, วรวรรณ ผูกเกษตร., การหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [25] พงศ์สถิตย์ ศรีภักดี, ชูรัตน์ ธารารักษ์, ธเนศ ไชยชนะ, ณัฐวุฒิ ดุษฎี., “Study Performance of Must Flow Paddy Dryer with a Capacity 2 Tons per Hour.” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (2559).
- [26] เจษฎา ราษฎร์ภักดี, ภาณุวัฒน์ แสงจันทร์., การอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่โดยใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [27] Smith, Bruce D. (1998) “The Emergence of Agriculture. Scientific American Library,” A Division of HPHLP, New York, ISBN 0-7167-6030-4.

- [28] C.L. Hii, C.L. Law, M. Cloke. 2009. "Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa." *Journal of Food Engineering* 90 (2009) 191-198
- [29] Anemometer เครื่องวัดความเร็วลม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://legatool.com/wp/285/> [10 เมษายน 2562].
- [30] Testo 416 เครื่องวัดความเร็วลมและอัตราการไหล (Telescopic Vane Anemometer). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.manekionline.com/testo-416>. [10 เมษายน 2562].
- [31] เครื่องวิเคราะห์ความชื้นระดับสูง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [https://www.mt.com/th/th/home/products/Laboratory\\_Weighing\\_Solutions/moisture-analyzer/Advanced\\_Moisture.html](https://www.mt.com/th/th/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/moisture-analyzer/Advanced_Moisture.html). [11 เมษายน 2562].
- [32] HC103 230V. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [https://www.mt.com/th/th/home/products/Laboratory\\_Weighing\\_Solutions/moisture-analyzer/Advanced\\_Moisture/HC103\\_230V.html](https://www.mt.com/th/th/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/moisture-analyzer/Advanced_Moisture/HC103_230V.html). [11 เมษายน 2562].
- [33] พันธุ์ข้าว กข 49 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=138.htm> [29 เมษายน 2562].
- [34] N. Kumari, S.K. Das. "Drying Characteristics of Preconditioned Rice in Fluidized Bed Dryer." *international Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, ISSN: 2319-7706 Volume 7 Number 05 (2018). 1922-1928
- [35] M. Khanali, Sh. Rafiee, A. Jafari, S.H. Hashemabadi and A. Banisharif . "Mathematical modeling of fluidized bed drying of rough rice (*Oryza sativa* L.) grain." *Journal of Agricultural Technology* Vol. 8(3): 795-810 (2012).
- [36] พิระพงษ์ ทีฆสกุล. ภาคผนวก ค คุณสมบัติทางกายภาพของของไหล. [online]. Available form : [https://www.me.psu.ac.th/~tekasakul/216342/Appendix%20C\\_Properties.pdf](https://www.me.psu.ac.th/~tekasakul/216342/Appendix%20C_Properties.pdf). [23 มีนาคม 2562].

## ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**  
**ข้อมูลการทดลอง**

**ตารางที่ ก-1** สมบัติทางกายภาพทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49 จากตัวอย่างข้าวเปลือก 3 กรัม  
จำนวน 5 ตัวอย่าง

สมบัติทางกายภาพทางกายภาพ	ครั้งที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
น้ำหนักเฉลี่ยต่อเมล็ด (กรัม)	0.022	0.023	0.030	0.027	0.028	0.026
ความยาวเฉลี่ยต่อเมล็ด (เซนติเมตร)	1.025	1.100	1.060	1.030	1.085	1.060
เส้นผ่าศูนย์กลางด้านแคบ (เซนติเมตร)	0.230	0.165	0.150	0.210	0.220	0.195
เส้นผ่าศูนย์กลางด้านกว้าง (เซนติเมตร)	0.240	0.235	0.270	0.255	0.280	0.256

**ตารางที่ ก-2** น้ำหนักข้าวเปลือกที่บรรจุในกระบอกตวง 1000 มิลลิลิตร

ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกที่บรรจุในกระบอกตวง 1000 มิลลิลิตร (กรัม)
1	673
2	633
3	626
เฉลี่ย	644

**ตารางที่ ก-3** น้ำหนักข้าวเปลือกและปริมาตรน้ำล้นจากปิกเกอร์

ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกที่บรรจุในปิกเกอร์ (กรัม)	ปริมาตรน้ำล้น (มิลลิลิตร)
1	29.92	32.10
2	29.97	32.42
3	30.11	33.10
เฉลี่ย	30.00	32.54

ตารางที่ ก-4 ความเร็วลมจากเครื่องเป่าลมของเบดลมร้อนและเบดลมเย็น

ตำแหน่ง	เครื่องเป่าลม (รอบต่อวินาที)	เครื่องวัดความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
เบดลมร้อน	40	8.2	8.5	9.2	8.7
	50	9.7	10.6	10.6	10.3
	60	11.4	10.5	11.4	11.1
เบดลมเย็น	40	4.7	5.2	5.1	5.0
	50	6.7	6.3	7.1	6.7
	60	7.9	8.7	8.3	8.3
	70	9.3	10.2	9.9	9.8
	80	11.0	11.2	11.7	11.3

ตารางที่ ก-5 ร้อยละความชื้นฐานเปียกและร้อยละความชื้นฐานแห้งเริ่มต้น

การทดลองที่	ร้อยละความชื้นฐานเปียกเริ่มต้น	ร้อยละความชื้นฐานแห้งเริ่มต้น
1	20.81	26.28
2	21.71	27.73
3	21.71	27.73
4	20.81	26.28
5	21.71	27.73
6	22.93	29.75
7	22.21	28.55
8	20.81	26.28
9	21.71	27.73
เฉลี่ย	21.60	27.56

**ตารางที่ ก-6** เวลาที่ใช้ในการป้อนข้าวเปลือกปริมาณ 100 กรัมและเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องเบตลมร้อน เพื่อทำการอบแห้ง ที่ความเร็วสายพานร้อยละ 10

ครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการป้อนข้าวเปลือก (นาทิจ)	เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องเบตลมร้อน (วินาที)
1	15.93	20
2	15.34	17
3	17.03	21
เฉลี่ย	16.10	19.33

**ตารางที่ ก-7** น้ำหนักข้าวเปลือกที่ทางออกและเวลาที่ใช้ในการดำเนินการอบแห้งที่การป้อนข้าวเปลือก ปริมาณ 100 กิโลกรัมและความเร็วสายพานร้อยละ 10

ครั้งที่ (การทดลองที่)	น้ำหนักข้าวเปลือกที่ทางออก (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ (นาทิจ)
1 (5)	78.12	35.33
2 (6)	77.19	27.50
3 (7)	77.40	30.33
4 (8)	76.47	29.50
เฉลี่ย	77.30	30.66

**ตารางที่ ก-8** กำลังงานรีแอกทีฟที่อ่านได้จากมิเตอร์กำลังแบบดิจิตอล (Digital power meter)

มิเตอร์ก่อนเดินเครื่อง (กิโลวัตต์)	มิเตอร์หลังเดินเครื่อง (กิโลวัตต์)	เวลาที่ใช้ (นาทิจ)
1953	1959	60

**ตารางที่ ก-9** ผลของอุณหภูมิลมของเบตลมร้อนต่อความชื้นหลังอบ

การทดลองที่	น้ำหนักที่ป้อนเข้า (กิโลกรัม)	ความเร็วสายพาน (ร้อยละ)		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ความเร็ว (รอบต่อวินาที)		ร้อยละความชื้น	
		สายพาน 1	สายพาน 2	ลมร้อน	ลมเย็น	ลมร้อน	ลมเย็น	ก่อน	หลัง
1				90				20.81	15.07
2				100				21.71	14.94
3	100	10	30	110	30	60	80	21.71	13.24
4				120				20.87	11.08



ตารางที่ ก-10 ผลของน้ำหนักที่ป้อนเข้าต่อความชื้นหลังอบ

การทดลองที่	น้ำหนักที่ป้อนเข้า (กิโลกรัม)	ความเร็วสายพาน (ร้อยละ)		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ความเร็ว (รอบต่อวินาที)		ร้อยละความชื้น	
		สายพาน 1	สายพาน 2	ลมร้อน	ลมเย็น	ลมร้อน	ลมเย็น	ก่อน	หลัง
5	100							21.71	13.24
6	200	10	30	110	30	60	80	22.93	12.63
7	300							22.21	15.79

ตารางที่ ก-11 ผลของความเร็วของเบตลมร้อนต่อความชื้นหลังอบ

การทดลองที่	น้ำหนักที่ป้อนเข้า (กิโลกรัม)	ความเร็วสายพาน (ร้อยละ)		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ความเร็ว (รอบต่อวินาที)		ร้อยละความชื้น	
		สายพาน 1	สายพาน 2	ลมร้อน	ลมเย็น	ลมร้อน	ลมเย็น	ก่อน	หลัง
8						50		20.81	11.67
9	100	10	30	110	30	60	80	21.71	13.24

ตารางที่ ก-12 อุณหภูมิขาเข้าและขาออกเบตลมร้อนขณะไม่มีข้าวเปลือก

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิลยี่ห้อ FOTEK รุ่น MT20-R (องศาเซลเซียส)	
	ทางเข้าเบตลมร้อน	ทางออกเบตลมร้อน
90	36	50
100	36	59
110	36	65
120	36	72

ตารางที่ ก-13 อุณหภูมิขาเข้าและขาออกเบตลมร้อนขณะมีข้าวเปลือก โดยใช้อุณหภูมิจากเครื่อง Heater 110 องศาเซลเซียส

ปริมาณข้าว (กิโลกรัม)	อุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิลยี่ห้อ FOTEK รุ่น MT20-R (องศาเซลเซียส)	
	ทางเข้าเบตลมร้อน	ทางออกเบตลมร้อน
100	36	65
200	36	64
300	36	64

ตารางที่ ก-14 บริเวณและปริมาณข้าวที่รั่วไหลแต่ละการทดลองของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์แบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัย เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

การทดลองที่	บริเวณที่ข้าวติดค้าง (ตำแหน่ง)	ปริมาณข้าวที่ป้อน (กิโลกรัม)	ความเร็วลมร้อน (รอบต่อวินาที)	ปริมาณข้าวที่ติดค้าง (กิโลกรัม)	ปริมาณข้าวคงเหลือ (กิโลกรัม)	ร้อยละการรั่วไหล	
						แต่ละตำแหน่ง	รวม
5	ภายในเบตลมร้อน	100	60	0.50	99.50	0.50	0.50
	ไซโคลน1			0.70	98.80	0.70	1.20
	ทางออกเบตลมร้อน			1.45	97.35	1.47	2.65
	สายพาน2			6.33	91.02	6.50	8.98
	ภายในเบตลมเย็น			1.50	89.52	1.65	10.48
	ไซโคลน2			3.06	86.46	3.42	13.54
	ทางออกเบตลมเย็น			0.60	85.86	0.69	14.14
6	ภายในเบตลมร้อน	200	60	0.50	199.50	0.25	0.25
	ไซโคลน1			1.59	197.91	0.80	1.05
	ทางออกเบตลมร้อน			1.90	196.01	0.96	2.00
	สายพาน2			9.86	186.15	5.03	6.93
	ภายในเบตลมเย็น			1.50	184.65	0.81	7.68
	ไซโคลน2			6.40	178.25	3.47	10.88
	ทางออกเบตลมเย็น			2.81	175.44	1.58	12.28
7	ภายในเบตลมร้อน	300	60	0.50	299.50	0.17	0.17
	ไซโคลน1			2.84	296.66	0.95	1.11
	ทางออกเบตลมร้อน			2.51	294.15	0.85	1.95
	สายพาน2			14.15	280.00	4.81	6.67
	ภายในเบตลมเย็น			1.50	278.50	0.54	7.17
	ไซโคลน2			10.11	268.39	3.63	10.54
	ทางออกเบตลมเย็น			4.37	264.02	1.63	11.99
8	ภายในเบตลมร้อน	100	50	0.50	99.50	0.50	0.50
	ไซโคลน1			0.54	98.96	0.54	1.04
	ทางออกเบตลมร้อน			1.48	97.48	1.50	2.52
	สายพาน2			4.25	93.23	4.36	6.77
	ภายในเบตลมเย็น			1.50	91.73	1.61	8.27
	ไซโคลน2			3.09	88.64	3.37	11.36
	ทางออกเบตลมเย็น			0.61	88.03	0.69	11.97

ตารางที่ ก-15 ปริมาณข้าวเปลือกที่ป้อนเข้าและปริมาณข้าวเปลือกที่ซ่งได้ที่บริเวณทางออกของผลิตภัณฑ์

การทดลองที่	ปริมาณข้าวเปลือก (กิโลกรัม)	
	ปริมาณข้าวเปลือกที่ป้อนเข้า	ทางออกของผลิตภัณฑ์
5	100	78.12
6	200	154.37
7	300	232.21
8	100	76.47
เฉลี่ย	700	541.17

## ภาคผนวก ข

## ผลการทดลอง

ตารางที่ ข-1 สมบัติทางกายภาพทางกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49

สมบัติทางกายภาพทางกายภาพ	ค่าตัวแปร
ความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละ)	20-22
น้ำหนักเฉลี่ยต่อเมล็ด (กรัม)	0.026
ความยาวเฉลี่ยต่อเมล็ด (เซนติเมตร)	1.060
เส้นผ่าศูนย์กลางด้านแคบ (เซนติเมตร)	0.195
เส้นผ่าศูนย์กลางด้านกว้าง (เซนติเมตร)	0.256
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.644
ความหนาแน่นจริง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.922

ตารางที่ ข-2 ร้อยละความชื้นฐานเปียกและร้อยละความชื้นฐานแห้งของแต่ละการทดลอง

การทดลองที่	ร้อยละความชื้นฐานเปียก		ร้อยละความชื้นฐานแห้ง	
	ก่อนทำการทดลอง	หลังทำการทดลอง	ก่อนทำการทดลอง	หลังทำการทดลอง
1	20.81	15.07	26.28	17.74
2	21.71	14.94	27.73	17.56
3	21.71	13.24	27.73	15.26
4	20.81	11.08	26.28	12.46
5	21.71	13.24	27.73	15.26
6	22.93	12.63	29.75	14.46
7	22.21	15.79	28.55	18.75
8	20.81	11.67	26.28	13.21
9	21.71	13.24	27.73	15.26
เฉลี่ย	21.60	-	27.56	-

ตารางที่ ข-3 ประสิทธิภาพและความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง	จำนวน	หน่วย
อัตราการป้อนข้าวเปลือกสูงสุด	3.7	ตันต่อชั่วโมง
ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้ง	2.0	กิโลกรัม
กำลังการผลิตสูงสุด	1.5	ตันต่อชั่วโมง
ความสิ้นเปลืองพลังงาน	33.31	บาทต่อชั่วโมง

ตารางที่ ข-4 ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อข้าว 100 กิโลกรัมของแต่ละการทดลอง

การทดลองที่	ร้อยละความชื้น		ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อข้าว 100 กิโลกรัม (กิโลกรัม)
	ก่อนทำการทดลอง	หลังทำการทดลอง	
1	20.81	15.07	5.74
2	21.71	14.94	6.77
3	21.71	13.24	8.47
4	20.81	11.08	9.73
5	21.71	13.24	8.47
6	22.93	12.63	10.30
7	22.21	15.79	6.42
8	20.81	11.67	9.14
9	21.71	13.24	8.47

ตารางที่ ข-5 บริเวณและปริมาณที่ข้าวติดค้างเฉลี่ยต่อปริมาณข้าว 100 กิโลกรัม ของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด

แบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัย เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

บริเวณที่ข้าวติดค้าง	ปริมาณที่ข้าวติดค้างเฉลี่ยต่อปริมาณข้าว 100 กิโลกรัม (กิโลกรัม)
ภายในเบดลมร้อน	0.29
ไซโคลน 1	0.81
ทางออกเบดลมร้อน	1.05
สายพาน 2	4.94
ภายในเบดลมเย็น	0.86
ไซโคลน 2	3.24
ทางออกเบดลมเย็น	1.20
รวม	12.38

## ภาคผนวก ค

### ตัวอย่างการคำนวณ

#### 1. ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)

การหาความหนาแน่นปรากฏด้วยการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกใส่ปิกรขนาด 1000 มิลลิตรจนเต็มซึ่งเป็นปริมาตรที่รวมช่องว่าง (pore) ระหว่างข้าวเปลือกด้วยและทำการชั่งน้ำหนัก จะได้ข้อมูลการทดลองดังตาราง ก-2 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ผลการทดลองดังตาราง ข-1

$$\text{ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)} = \frac{\text{มวล (กรัม)}}{\text{ปริมาตรที่รวมช่องว่างระหว่างวัสดุ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

$$\text{ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)} = \frac{644}{1000} = 0.644 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

ดังนั้น ความหนาแน่นปรากฏของเมล็ดข้าวเปลือกเท่ากับ 0.644 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

#### 2. ความหนาแน่นจริง (Particle density)

การหาความหนาแน่นจริงด้วยการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกประมาณ 30 กรัม และนำตัวอย่างนั้นไปแทนที่น้ำที่บรรจุในปิกรจนเต็ม แล้วนำน้ำที่ล้นออกมาไปตวงเพื่อหาปริมาตร จะได้ข้อมูลการทดลองดังตาราง ก-3 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ผลการทดลองดังตาราง ข-1

$$\text{ความหนาแน่นจริง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)} = \frac{\text{มวล (กรัม)}}{\text{ปริมาตรน้ำล้น (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

$$\text{ความหนาแน่นจริง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)} = \frac{30}{32.54} = 0.922 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

ดังนั้น ความหนาแน่นจริงของเมล็ดข้าวเปลือกเท่ากับ 0.922 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

### 3. ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน (Minimum Fluidization Velocity : $U_{mf}$ )

- ปริมาตรข้าว ( $V_p$ )

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_s} = \frac{0.026 \times 10^{-3}}{922} = 2.82 \times 10^{-8} \text{ ตารางเมตร}$$

- เส้นผ่านศูนย์กลางเชิงปริมาตร ( $d_v$ )

$$d_v = \left( \frac{6V_p}{\pi} \right)^{1/3} = \left( \frac{6 \times 2.82 \times 10^{-8}}{\pi} \right)^{1/3} = 3.78 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

- ความเป็นทรงกลม ( $\phi$ )

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} = \frac{(1.060 \times 0.195 \times 0.256)^{1/3}}{1.060} = 0.355$$

- เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค ( $d_p$ )

$$d_p = \phi \times d_v = 0.355 \times 3.78 \times 10^{-3} = 1.342 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

- ความหนาแน่นของอากาศ ( $\rho_f$ )

จากภาคผนวก ง : ตาราง ง-1 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ ที่ 100 องศาเซลเซียส

$$\rho_f = 0.9461 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

- ความหนืดของอากาศ ( $\mu$ )

จากภาคผนวก ง : ตาราง ง-1 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ ที่ 100 องศาเซลเซียส

$$\mu = 2.17 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2 = 2.17 \times 10^{-5} \text{ กิโลกรัมต่อเมตรวินาที}$$

- ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน ( $U_{mf}$ )

$$\text{จากสมการของ Leva } U_{mf} = 0.0007 \left( \frac{d_p \times U_{mf} \times \rho_f}{\mu} \right)^{-0.063} \frac{g \times d_p^2}{\mu} (\rho_s - \rho_f)$$

$$U_{mf} = 0.0007 \left( \frac{1.342 \times 10^{-3} \times U_{mf} \times 0.9461}{2.17 \times 10^{-5}} \right)^{-0.063} \frac{9.81 \times (1.342 \times 10^{-3})^2}{2.17 \times 10^{-5}} (922 - 0.9461)$$

$$U_{mf} = 1.455 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของการเลือกใช้สมการโดยค่า  $R_{mf}$  จะต้องน้อยกว่า 100

$$R_{mf} = \frac{d_p \times U_{mf} \times \rho_f}{\mu} = \frac{1.342 \times 10^{-3} \times 1.455 \times 0.9461}{2.17 \times 10^{-5}}$$

$$R_{mf} = 85.123 \quad \text{ดังนั้น การเลือกใช้สมการของ Leva จึงถูกต้อง}$$

ดังนั้น ความเร็วป้อนเข้าต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน มีค่าเท่ากับ 1.455 เมตรต่อวินาที

#### 4. ร้อยละความชื้นฐานเปียกและร้อยละความชื้นฐานแห้ง

การคำนวณหาร้อยละความชื้นฐานแห้งด้วยการนำข้าวเปลือกน้ำหนัก 3 กรัม เข้าเครื่องวัดความชื้นยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น HC103 ที่ทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ซึ่งเครื่องวัดความชื้นดังกล่าวจะให้ค่าร้อยละความชื้นฐานเปียก จะได้ข้อมูลการทดลองดังตาราง ก-9 ถึง ก-11 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ผลการทดลองดังตาราง ข-2

การทดลองที่	น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบแห้ง	ร้อยละความชื้นฐานเปียก
1	3	20.81

$$\text{ร้อยละความชื้นฐานเปียก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบแห้ง}} \times 100$$

$$15.07 = \frac{20.81 - \text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบแห้ง}}{20.81} \times 100$$

ดังนั้น น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบแห้งเท่ากับ 2.38 กรัม

$$\text{ร้อยละความชื้นฐานแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบแห้ง}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละความชื้นฐานแห้ง} = \frac{3 - 2.38}{2.38} \times 100 = 26.28$$

ดังนั้น ร้อยละความชื้นฐานแห้งเท่ากับ 26.28

#### 5. อัตราการป้อนข้าวเปลือก (Feed rate)

การคำนวณหาอัตราการป้อนข้าวเปลือกด้วยวิธีจับเวลาในการป้อนข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัมขึ้นสู่สายพานที่ 1 ที่ความเร็วของสายพานร้อยละ 10 และหยุดจับเวลาเมื่อป้อนข้าวเปลือกจนหมด จะได้ข้อมูลการทดลองดังตาราง ก-6 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ผลการทดลองดังตาราง ข-3



ปริมาณข้าวที่ป้อนเข้า (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ในการ Feed (นาที)
100	16.10

$$\begin{aligned} \text{อัตราการป้อนข้าวเปลือก} &= 100 / 16.10 \\ &= 6.21 \text{ กิโลกรัมต่อนาที} = 0.373 \text{ ตันต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราการป้อนข้าวเปลือกสูงสุด} = 0.373 \times \frac{100}{10} = 3.73 \text{ ตันต่อชั่วโมง}$$

ดังนั้น อัตราการป้อนที่ความเร็วสายพานสูงสุดเท่ากับ 3.73 ตันต่อชั่วโมง

## 6. ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้ง (Hold up)

การคำนวณหาปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งด้วยวิธีจับเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งโดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่ข้าวเปลือกเข้าสู่ห้องอบแห้งและหยุดจับเวลาเมื่อข้าวเปลือกออกจากห้องอบแห้ง จะได้ข้อมูลการทดลอง ดังตาราง ก-6 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ผลการทดลองดังตาราง ข-3

ครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (วินาที)
1	20
2	17
3	21
เฉลี่ย	19.33

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้ง} &= \text{อัตราการป้อนข้าวเปลือก} \times \text{เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง} \\ &= 6.21 \times 19.33 / 60 \\ &= 2.00 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งเท่ากับ 2.00 กิโลกรัม

## 7. กำลังการผลิต (Production Capacity)

การคำนวณหา กำลังการผลิตของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ทำได้โดยจับเวลาที่ใช้ในการดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัม ที่ความเร็วสายพานร้อยละ 10 และชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ จะได้ข้อมูลการทดลองดังตาราง ก-7 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ผลการทดลองดังตาราง ข-3

น้ำหนักข้าวเปลือกที่ทางออก (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ (นาทิต)
77.30	30.66

$$\begin{aligned} \text{กำลังการผลิต} &= \text{น้ำหนักข้าวเปลือกที่ทางออก} / \text{เวลาที่ใช้} \\ &= 77.30 / 30.66 \\ &= 2.52 \text{ กิโลกรัมต่อนาที} = 0.151 \text{ ตันต่อชั่วโมง} \\ \text{กำลังการผลิตสูงสุด} &= 0.151 \times \frac{100}{10} = 1.51 \text{ ตันต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

ดังนั้น กำลังการผลิตที่ความเร็วสายพานสูงสุดเท่ากับ 1.5 ตันต่อชั่วโมง

### 8. ปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้ง (Moisture loss)

การคำนวณหาปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้งด้วยวิธีวัดร้อยละความชื้น (โดยมวล) ก่อนทำการทดลองและหลังทำการทดลอง จะได้ข้อมูลการทดลองดังตาราง ก-9 ถึง ก-11 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ผลการทดลองดังตาราง ข-4

การทดลองที่	น้ำหนักที่ป้อนเข้า (กิโลกรัม)	ร้อยละความชื้นฐานเปียก	
		ก่อนทำการทดลอง	หลังทำการทดลอง
1	100	20.81	15.07
ปริมาณน้ำที่ระเหย		= ปริมาณข้าวเปลือก x (ร้อยละความชื้นที่ลดลง)/100	
		= 100 x (20.81 - 15.07)/100 = 5.74 กิโลกรัม	

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ระเหยจากการอบแห้ง 5.74 กิโลกรัมต่อน้ำหนักข้าว 100 กิโลกรัม

### 9. ปริมาณที่ข้าวที่ติดค้างเฉลี่ยต่อปริมาณข้าว 100 กิโลกรัม

การคำนวณหาปริมาณข้าวที่ติดค้างเฉลี่ยต่อปริมาณข้าว 100 กิโลกรัมด้วยการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ร่วไหลหรือติดค้างบริเวณตำแหน่งต่าง ๆ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณ จะได้ข้อมูลการทดลองดังตาราง ก-14 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ผลการทดลอง ดังตาราง ข-5

การทดลองที่	ปริมาณข้าวที่ป้อน (กิโลกรัม)	ความเร็วลมร่อน (รอบต่อวินาที)	ปริมาณข้าวที่ติดค้างบริเวณทางออกเบตลมร่อน (กิโลกรัม)
5	100	60	1.45
6	200	60	1.90
7	300	60	2.51
8	100	50	1.48

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณที่ข้าวที่ติดค้างเฉลี่ย} &= \frac{\sum \text{ปริมาณข้าวที่ติดค้าง}}{\sum \text{ปริมาณข้าวที่ป้อน}} \times 100 \\ &= \frac{(1.45+1.90+2.51+ 1.48)}{(100 + 200 + 300 + 100)} \times 100 = 1.05 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณที่ข้าวที่ติดค้างเฉลี่ยบริเวณทางออกเบตลมร้อน เท่ากับ 1.05 กิโลกรัมต่อปริมาณข้าว 100 กิโลกรัม

## 10. ความสิ้นเปลืองพลังงาน (Electricity value)

การคำนวณหาค่าสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซเคิลแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ทำได้โดยจดบันทึกตัวเลขที่อ่านมิเตอร์ไฟฟ้า (ค่า Reactive Power) ในหน่วย กิโลวาร์ จากนั้นให้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไซเคิลแบบต่อเนื่องดำเนินการอบแห้งที่อุณหภูมิเบตลมร้อน 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดทำการจดบันทึกค่าตัวเลขที่อ่านมิเตอร์ไฟฟ้าอีกครั้งเพื่อนำมาคำนวณค่าสิ้นเปลืองพลังงานหรือราคาค่าไฟที่ในการดำเนินการต่อ 1 ชั่วโมง จะได้ข้อมูลการทดลองดังตาราง ก-8 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ผลการทดลอง ดังตาราง ข-3

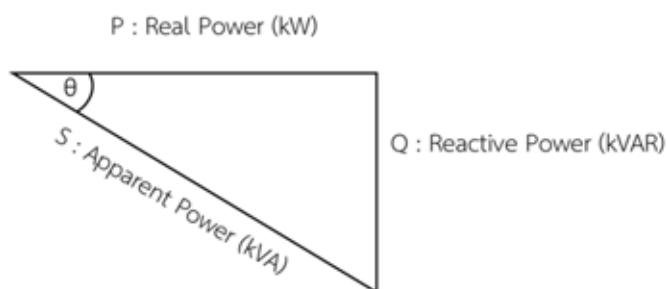
สำหรับเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซเคิลแบบต่อเนื่อง ณ ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี จะใช้อัตราค่าไฟประเภทที่ 6 คือ องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร สำหรับมีระดับแรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป มีอัตราค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า 3.4407 บาทต่อหน่วย

ตัวเลขที่อ่านมิเตอร์ไฟฟ้า (กิโลวาร์)		Power factor	ค่าไฟเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท)
เลขอ่านครั้งก่อน	เลขอ่านครั้งหลัง		
1953	1959	0.85	3.4407

- จำนวนมิเตอร์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป

$$\begin{aligned} \text{มิเตอร์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป} &= \text{เลขอ่านครั้งหลัง} - \text{เลขอ่านครั้งก่อน} \\ &= 1959 - 1953 = 6 \text{ กิโลวาร์} \end{aligned}$$

- ค่ามุมระหว่าง Real Power (P) และ Apparent Power (S)



$$\begin{aligned} \text{เมื่อ Power Factor (PF)} &= 0.85 \\ \theta &= \cos^{-1}(\text{PF}) \\ &= \cos^{-1}(0.85) = 31.79 \text{ องศา} \end{aligned}$$

- ค่า Real Power (P)

$$\begin{aligned} P &= Q / \tan(\theta) \\ &= 6 / \tan(31.79) = 9.68 \text{ กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่า Real Power หรือค่าพลังงานเท่ากับ 9.68 กิโลวัตต์

- ค่าสิ้นเปลืองพลังงานหรือค่าไฟ (หน่วยบาทต่อชั่วโมง)

$$\begin{aligned} \text{ค่าสิ้นเปลืองพลังงาน} &= \text{ค่าไฟเฉลี่ยต่อหน่วย} \times (\text{ค่าพลังงาน} \times \text{เวลาที่ใช้}) \\ &= 3.4407 \times (9.68 \times 1) = 33.31 \text{ บาทต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

- ค่าสิ้นเปลืองพลังงานหรือค่าไฟ (หน่วยบาทต่อตัน)

$$\begin{aligned} \text{ค่าสิ้นเปลืองพลังงาน} &= \text{ค่าไฟต่อชั่วโมง} / \text{กำลังการผลิตสูงสุดต่อชั่วโมง} \\ &= 33.31 / 1.5 = 22.21 \text{ บาทต่อตัน} \end{aligned}$$

- ค่าสิ้นเปลืองพลังงานหรือค่าไฟของการทดลองที่ 2 (หน่วยบาทต่อปริมาณน้ำที่ระเหย)

$$\begin{aligned} \text{ค่าสิ้นเปลืองพลังงาน} &= \text{ค่าไฟหน่วยบาทต่อตัน} / \text{ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อปริมาณข้าวเปลือก} \\ &= 22.21 / 84.7 = 0.26 \text{ บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าสิ้นเปลืองพลังงานหรือค่าไฟเท่ากับ 33.31 บาทต่อชั่วโมง 22.21 บาทต่อตัน หรือ 0.26 บาทต่อกิโลกรัม น้ำที่ระเหย ที่กำลังการผลิตสูงสุด

## 11. ช่องว่างของวัสดุ (Voidage or particle porosity : $\epsilon$ )

$$\epsilon = \frac{(\rho_t - \rho_b)}{\rho_t} = 1 - \frac{0.644}{0.922} = 0.30$$

ดังนั้น สัดส่วนช่องว่างของวัสดุภายในเบตก่อนเกิดฟลูอิดไซม์มีค่าเท่ากับ 0.3

## 12. ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซม์เบตแบบต่อเนื่อง

การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไซม์เบตแบบต่อเนื่อง ด้วยการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ป้อนเข้า หลังการดำเนินการอบแห้งทำการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่บริเวณทางออกของผลิตภัณฑ์ ของการทดลองที่ 5 ถึง 8 จากนั้นคำนวณประสิทธิภาพจากผลหารของปริมาณที่ป้อนเข้ากับปริมาณข้าวเปลือกที่บริเวณทางออกของผลิตภัณฑ์ จะได้ข้อมูลการทดลองดังตาราง ก-15

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ปริมาณข้าวเปลือกที่บริเวณทางออกของผลิตภัณฑ์}}{\text{ปริมาณข้าวเปลือกที่ป้อนเข้า}} \times 100$$

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{541.17}{700} \times 100 = 77.30$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบต่อเนื่องร้อยละ 77.30

เครื่องหมาย	$d_p$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค, เมตร
	$d_v$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางเชิงปริมาตร, เมตร
	$g$	=	ความเร่งโน้มถ่วง, เมตรกำลังสองต่อวินาที
	$L$	=	ความยาวของอนุภาค, เมตร
	$m_p$	=	มวลของอนุภาค, กิโลกรัม
	$P$	=	กำลังไฟฟ้าจริง, กิโลวัตต์
	$PF$	=	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า, กิโลวัตต์ต่อกิโลวัตต์แอมแปร์
	$Q$	=	กำลังงานรีแอกทีฟ, กิโลวาร์
	$S$	=	กำลังไฟฟ้าปรากฏ, กิโลวัตต์แอมแปร์
	$T$	=	ความหนาของอนุภาค, เมตร
	$U_{mf}$	=	ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชัน, เมตรต่อวินาที
	$V_p$	=	ปริมาตรของอนุภาค, ลูกบาศก์เมตร
	$W$	=	ความกว้างของอนุภาค, เมตร
	$\rho_s$	=	ความหนาแน่นของอนุภาค, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	$\rho_f$	=	ความหนาแน่นของอากาศ, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	$\emptyset$	=	ความเป็นทรงกลม, ไม่มีหน่วย
	$\mu$	=	ความหนืดของอากาศ, กิโลกรัมต่อเมตรวินาที
	$\epsilon$	=	สัดส่วนช่องว่างของวัสดุภายในเบด, ไม่มีหน่วย

## ภาคผนวก ง

## คุณสมบัติทางกายภาพของของไหล

ตาราง ง-1 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ (หน่วยเอสไอ) [36]

Temperature (°C)	Density, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Specific Weight, $\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	Dynamic Viscosity, $\mu$ (N·s/m <sup>2</sup> )	Kinematic Viscosity, $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	Specific Heat Ratio, $k$ (—)	Speed of Sound, $c$ (m/s)
-40	1.514	14.85	1.57 E - 5	1.04 E - 5	1.401	306.2
-20	1.395	13.68	1.63 E - 5	1.17 E - 5	1.401	319.1
0	1.292	12.67	1.71 E - 5	1.32 E - 5	1.401	331.4
5	1.269	12.45	1.73 E - 5	1.36 E - 5	1.401	334.4
10	1.247	12.23	1.76 E - 5	1.41 E - 5	1.401	337.4
15	1.225	12.01	1.80 E - 5	1.47 E - 5	1.401	340.4
20	1.204	11.81	1.82 E - 5	1.51 E - 5	1.401	343.3
25	1.184	11.61	1.85 E - 5	1.56 E - 5	1.401	346.3
30	1.165	11.43	1.86 E - 5	1.60 E - 5	1.400	349.1
40	1.127	11.05	1.87 E - 5	1.66 E - 5	1.400	354.7
50	1.109	10.88	1.95 E - 5	1.76 E - 5	1.400	360.3
60	1.060	10.40	1.97 E - 5	1.86 E - 5	1.399	365.7
70	1.029	10.09	2.03 E - 5	1.97 E - 5	1.399	371.2
80	0.9996	9.803	2.07 E - 5	2.07 E - 5	1.399	376.6
90	0.9721	9.533	2.14 E - 5	2.20 E - 5	1.398	381.7
100	0.9461	9.278	2.17 E - 5	2.29 E - 5	1.397	386.9
200	0.7461	7.317	2.53 E - 5	3.39 E - 5	1.390	434.5
300	0.6159	6.040	2.98 E - 5	4.84 E - 5	1.379	476.3
400	0.5243	5.142	3.32 E - 5	6.34 E - 5	1.368	514.1
500	0.4565	4.477	3.64 E - 5	7.97 E - 5	1.357	548.8
1000	0.2772	2.719	5.04 E - 5	1.82 E - 4	1.321	694.8

