



การพัฒนากระบวนการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสทีโฟลว์  
DEVELOPMENT OF MUST FLOW DRYER FOR DRYING PROCESS OF SHALLOT



อานนท์ อมรนนท์สิริ

การพัฒนากระบวนการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสทิโฟลว์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DEVELOPMENT OF MUST FLOW DRYER FOR DRYING PROCESS OF SHALLOT



ARNON AMORNNANTASIRI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of MASTER OF ENGINEERING  
(Mechanical Engineering)

Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนากระบวนการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติเฟลว

ของ

อานนท์ อมรนนทสิริ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยานิชกุล) (อาจารย์ ดร.พัทรวีภา สุทธิวารี)

..... ที่ปรึกษาร่วม ..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ดวงรัตน์ ชูวิสิฐกุล) (รองศาสตราจารย์ ดร.สงกรานต์ วิริยะ  
ศาสตร์)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนากระบวนการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมีสทิโฟลว์
ผู้วิจัย	อานนท์ อมรนนทสิริ
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ประชา บุญยวานิชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. ดวงรัตน์ ชูวิสิฐกุล

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมีสทิโฟลว์ที่สามารถทำงานได้รวดเร็วและนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับการอบแห้งหอมแดงที่ต้องการรักษาปริมาณสารสำคัญมิให้สูญเสียไปในขณะทำการอบแห้ง โดยเครื่องอบแห้งมีพื้นที่ห้องอบแห้งขนาดกว้าง 0.30 เมตร ยาว 1.5 เมตร ใช้สำหรับการอบหอมแดงสดหั่นชิ้นขนาดเล็ก 1-3 มม. ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 80-85 %wb ในงานวิจัยนี้ศึกษาการอบแห้งหอมแดงที่อุณหภูมิ 60 °C, 70 °C และ 80 °C และอัตราการไหลของอากาศ 0.30, 0.35 และ 0.40 ลบ.ม./วินาที และ ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้ง 120, 130 และ 140 รอบ/นาที เพื่อลดความชื้นออกจากหอมแดงสดให้มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 10% wb. เพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นและนำไปสกัดหาปริมาณสารสำคัญต่อไป จากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศเป็นหลัก และความเร็วยกห้องอบแห้งมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ผลจากการอบแห้งหอมแดงแห้งสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 60°C-70°C และอัตราการไหลของอากาศ 0.30 ลบ.ม./วินาที ความเร็วรอบที่ 130 รอบ/นาที ให้ค่าความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 8.25-11.26 %wb และความสามารถในการลดความชื้นได้มากถึง 71.27-75.27 %wb .และมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยอยู่ที่ 0.54 kg/h ใช้เวลาในการอบแห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมงและเมื่อพิจารณาถึงสารสำคัญสามารถรักษาสารเคอซิทินในหอมแดงอบแห้งสูงสุดที่ 0.359-0.464 µg/ml ของสารสกัด ซึ่งเป็นปริมาณสารเคอซิทินที่มากกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบถาดซึ่งเป็นแบบดั้งเดิม 2.17 เท่า โดยคุณลักษณะของการอบแห้งที่กล่าวมาข้างต้นมีผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของสารเคอซิทินไปเป็นสารอื่นขณะทำการอบแห้ง และมีการใช้พลังงานและเวลาในการอบแห้งที่ต่ำกว่าการอบแห้งแบบดั้งเดิมโดยเครื่องอบแห้งมีสทิโฟลว์มีค่าการใช้พลังงานจำเพาะอยู่ที่ 32.32-35.09 MJ/Kg water removed. มีการใช้พลังงานน้อยกว่าการอบแห้งแบบดั้งเดิม 4.5เท่า ดังนั้นเครื่องอบแห้งแบบมีสทิโฟลว์ที่ได้พัฒนาจึงมีเหมาะสมสำหรับการทำให้หอมแดงแห้งและสามารถรักษาปริมาณสารเคอซิทินในหอมแดงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้เหมาะสำหรับการจัดเตรียมสารสกัดที่จำเป็นสำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์รักษาผิวต่อไป

คำสำคัญ : หอมแดง, กระบวนการอบแห้ง, เครื่องอบแห้งมีสทิโฟลว์

Title	DEVELOPMENT OF MUST FLOW DRYER FOR DRYING PROCESS OF SHALLOT
Author	ARNON AMORNNANTASIRI
Degree	MASTER OF ENGINEERING
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Pracha Bunyawanichakul
Co Advisor	Dr. Duangratana Shuwisitkul

This research aims to develop a Must Flow Dryer for the drying process of shallots. The Must Flow Dryer can dry quickly and is suitable for applications for shallot drying that want to maintain the content of important substances, which could be lost during drying. The experiment used a drying chamber width of 0.30 meters, a length of 1.5 meters, and fresh shallots sliced 1-3 mm, with an initial moisture content of 80-85%wb. In this research, the shallots were dried at temperatures of 60, 70, and 80°C and air flow rates of 0.30, 0.35, 0.40 m<sup>3</sup>/s, and the lifting frequency of the drying chamber at 120, 130, and 140 rpm was used to reduce moisture until the final moisture content was about 10%wb. At a low final moisture content, it can be kept for a longer period and important substances can be extracted. The results of drying the shallots were that they were dried under optimal operating conditions at temperatures of 60-70°C and an air flow rate of 0.30 m<sup>3</sup>/s, a lifting frequency of 130 rpm, a final moisture content was 8.25-11.26 % wb and the ability to reduce moisture up to 71.27-75.27 %wb. The drying rate averages was 0.54 kg/h and took three hours to dry, considering the important substances. The drying conditions of the maximum quercetin content in dried shallots was at 0.359-0.464 µg/ml of extract, so the quercetin content in the shallots was more than Tray Dryer by 2.17 times. The drying characteristics effected the direct conversion of quercetin to other substances during drying. It lowered energy consumption and drying time more than Tray Dryer. The Must Flow Dryer had a specific energy consumption of 32.32-35.09 MJ/Kg of water removed, it used less energy at 4.5 times. Therefore, the developed Must Flow Dryer was suitable for drying the shallots and able to maintain quercetin in the shallots at an acceptable level and suitable for the preparation of essential extracts for acne products.

Keyword : Shallot, Drying Process, Must Flow Dryer

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับมหาบัณฑิตในหัวข้อเรื่อง การพัฒนากระบวนการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการศึกษา โครงการ 70 ปี 70 ทุน มศว คีนส์สู่สังคม ประจำปี 2562 และ ทุนสนับสนุนการเข้าร่วมประชุมและเสนอผลงานของนิสิตบัณฑิตศึกษา จาก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประชาบุญยวานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ปริญญาานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. ดวงรัตน์ ชูวิสิฐกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมปริญญาานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา พร้อมทั้งยังให้ความรู้ทางวิชาการ และแนวคิดในการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญาานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการควบคุมปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา อันเป็นประโยชน์ในระหว่างการทำนิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และ ภาควิชาเทคโนโลยีเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่อำนวยความสะดวกให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึง ญาติพี่น้อง ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสมอมา

อานนท์ อมรนนท์ศิริ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ .....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 โครงสร้างของหอมแดง.....	3
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ .....	4
2.1.2 สรรพคุณ .....	4
2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง .....	4
2.2.1 หลักการอบแห้ง .....	5
2.2.2 ประสิทธิภาพในการอบแห้ง.....	7
2.2.3 กลไกการลดความชื้น .....	7
2.2.4 ความชื้นในวัสดุ .....	8
2.2.5 อัตราส่วนความชื้น .....	9



2.2.6 ความชื้นสมดุล.....	10
2.2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง.....	10
2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและมวล .....	11
2.3.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน.....	11
2.3.2 ทฤษฎีการถ่ายเทมวล .....	11
2.4 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน .....	12
2.5 เครื่องอบที่นิยมใช้ในปัจจุบัน .....	13
2.5.1 เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ (Fixed-Tray Dryer) .....	13
2.5.2 เครื่องอบแห้งแบบชั้นอบแห้งเคลื่อนที่ (Moving-Bed Dryer).....	14
2.5.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spouted Bed Dryer).....	15
2.5.4 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized Bed Dryer) .....	16
2.6 เครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์.....	17
2.7 การวิเคราะห์หาสารสำคัญ .....	19
2.7.1 โครมาโตกราฟีแบบผิบบาง (Thin Layer Chromatography, TLC) .....	19
2.7.2 แก๊สโครมาโตกราฟี (GC).....	19
2.7.3 โครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) .....	19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	20
2.8.1 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ.....	20
2.8.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย .....	25
3.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์.....	25
3.1.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์ .....	27

3.1.2 ระบบส่งลมร้อน .....	28
3.1.3 ระบบขับเคลื่อน .....	30
3.1.4 ห้องอบแห้ง.....	31
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.2.1 เครื่องอบแห้งมีสทิฟลิว.....	32
3.2.2 หอมแดงพันธุ์เชียงใหม่ .....	33
3.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์ความชื้น .....	34
3.2.4 เครื่องวัดอุณหภูมิโดยแสง .....	35
3.2.5 ชุดบันทึกข้อมูลสถานะการทำงานของอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ (Data Logger).....	35
3.2.6 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) .....	36
3.2.7 เครื่องวัดความเร็วลม (Hot-Wire Air Velocity Meter).....	37
3.2.8 เครื่องวัดความเร็วรอบ .....	37
3.2.9 อุปกรณ์เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าและน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ไป .....	38
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบการอบแห้ง .....	39
3.4 การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดลอง .....	40
3.5 การทดสอบการอบแห้ง .....	41
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความชื้น .....	41
3.6.1 วิธีการวิเคราะห์ความชื้นด้วยวิธี Oven Method .....	41
3.6.2 วิธีการวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่อง Moisture Analyzer .....	42
3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสารสำคัญในสารสกัดหอมแดง .....	43
3.7.1 การเตรียมกราฟสารละลายมาตรฐาน.....	43
3.7.2 การเตรียมตัวอย่างสารสกัดหอมแดง .....	44
3.7.3 สถานะการวิเคราะห์ .....	44

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย .....	45
4.1 ผลการทดสอบการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟลว์ต้นแบบ .....	45
4.1.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ .....	45
4.1.2 ความสามารถในการลดความชื้นสุดท้าย .....	48
4.1.3 อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนมีผลต่อการลดความชื้น .....	51
4.1.4 อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อการลดความชื้น .....	53
4.1.5 อิทธิพลของความเร็วยกในการยกห้องอบแห้งมีผลต่อการลดความชื้น .....	55
4.1.6 อัตราการอบแห้ง .....	58
4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณสารเคอซีตินของหอมแดงที่ผ่านการอบแห้ง ระหว่างเครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟลว์กับการอบแห้งแบบดั้งเดิม .....	61
4.3 ผลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ .....	66
4.3.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) .....	67
4.3.2 ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Value Analysis) .....	70
4.3.3 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break Even Point : BEP) .....	72
บทที่ 5 สรุปผล .....	73
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	73
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	74
บรรณานุกรม .....	76
ภาคผนวก .....	79
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณที่ใช้ในการออกแบบชุดขับเคลื่อนและส่งกำลัง .....	80
การกำหนดขนาดกำลังสำหรับพัดลม .....	81
การกำหนดขนาดกำลังสำหรับชุดยกห้องอบแห้งและชุดป้อนวัสดุ .....	83
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณความชื้น และ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ .....	85

ประวัติผู้เขียน.....89



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องอบแห้งแบบมัสทีโฟลว์.....	28
ตาราง 2 สัดส่วนวัฏภาคเคลื่อนที่แบบ gradient.....	43
ตาราง 3 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC .....	44
ตาราง 4 ปริมาณความชื้นแยกตามแต่ละเงื่อนไขการทดสอบสำหรับการทดสอบการอบแห้ง .....	49
ตาราง 5 อัตราการอบแห้ง.....	58
ตาราง 6 ปริมาณแควอซิตินของสารสกัดหอมแดง .....	62
ตาราง 7 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจำเพาะ .....	67
ตาราง 8 ประมาณการต้นทุนด้านพลังงาน ราคาจำหน่าย ความคุ้มทุนและผลกำไรภายหลังการอบแห้ง .....	70

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 แสดงส่วนประกอบของหมอบแดง .....	3
ภาพประกอบ 2 Drying Curve.....	6
ภาพประกอบ 3 การถ่ายเทความร้อนและมวลในเนื้อวัสดุ .....	8
ภาพประกอบ 4 เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ .....	14
ภาพประกอบ 5 เครื่องอบแห้งสายพาน.....	15
ภาพประกอบ 6 Spouted Bed Dryer.....	16
ภาพประกอบ 7 Fluidized Bed Dryer.....	17
ภาพประกอบ 8 เครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์ .....	17
ภาพประกอบ 9 หลักการทำงานของเครื่องอบแบบมัลติโฟลว์ .....	18
ภาพประกอบ 10 เครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์ .....	26
ภาพประกอบ 11 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์ .....	26
ภาพประกอบ 12 ชุดเตา KB5 .....	29
ภาพประกอบ 13 ชุดพัดลมดูดอากาศ.....	29
ภาพประกอบ 14 ชุดป้อนวัสดุ (rotary feed valve) .....	30
ภาพประกอบ 15 ชุดยกห้องอบแห้ง .....	31
ภาพประกอบ 16 ห้องอบแห้ง.....	31
ภาพประกอบ 17 แผ่นตะแกรงกระจายอากาศภายในห้องอบแห้ง .....	32
ภาพประกอบ 18 ภายในห้องอบแห้ง .....	32
ภาพประกอบ 19 เครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์พร้อมชุดส่วนประกอบ .....	33
ภาพประกอบ 20 หมอบแดงพันธุ์เชียงใหม่ .....	33
ภาพประกอบ 21 ชุดอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ความชื้น .....	34

ภาพประกอบ 22 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น.....	34
ภาพประกอบ 23 เครื่องวัดอุณหภูมิ Yokogawa Emission Thermometer 530.....	35
ภาพประกอบ 24 เครื่องบันทึกข้อมูล GRAPHTEC รุ่น MT100.....	35
ภาพประกอบ 25 Thermocouple Type K.....	36
ภาพประกอบ 26 แสดงจุดติดตั้งหัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลแบบเค.....	36
ภาพประกอบ 27 เครื่องวัดความเร็วลม.....	37
ภาพประกอบ 28 เครื่องวัดความเร็วรอบ และตำแหน่งวัดความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้ง....	38
ภาพประกอบ 29 มิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส และเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล.....	38
ภาพประกอบ 30 หอมแดงพันธุ์เชียงใหม่.....	40
ภาพประกอบ 31 หอมแดงหลังจากทำการปกเปลือกแล้วทำการหั่นเป็นชิ้นเล็ก.....	40
ภาพประกอบ 32 ผลการวิเคราะห์ความชื้นของเครื่องวิเคราะห์ความชื้นเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ.....	42
ภาพประกอบ 33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนเฉลี่ยที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง.....	46
ภาพประกอบ 34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง	47
ภาพประกอบ 35 กราฟความสามารถในการลดความชื้นสุดท้ายในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง.....	48
ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120,130,140 รอบ/นาที.....	51
ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120,130,140 รอบ/นาที.....	52
ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120,130,140 รอบ/นาที.....	52
ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับอัตราการไหลอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่.....	54

ภาพประกอบ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับอัตราการใช้ไอลอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่.....	54
ภาพประกอบ 41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับอัตราการใช้ไอลอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่.....	55
ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่อัตราการใช้ไอลอากาศร้อน 0.30,0.35,0.40 ลบ.ม./วินาที.....	56
ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่อัตราการใช้ไอลอากาศร้อน 0.30,0.35,0.40 ลบ.ม./วินาที.....	57
ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่อัตราการใช้ไอลอากาศร้อน 0.30,0.35,0.40 ลบ.ม./วินาที.....	57
ภาพประกอบ 45 ค่าอัตราการอบแห้งของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง.....	60
ภาพประกอบ 46 ปริมาณแควอซิตินของหอมแดงที่ได้จากการอบแห้ง.....	61
ภาพประกอบ 47 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณสารแควอซิติน .....	64
ภาพประกอบ 48 ผลของความเร็วรอบที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณสารแควอซิติน .....	65
ภาพประกอบ 49 ผลของอัตราการใช้ไอลอากาศที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณสารแควอซิติน.....	66
ภาพประกอบ 50 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง.....	69



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

หอมแดงเป็นพืชผักที่ปลูกมากกันในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย ให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปี เป็นพืชผักที่ปลูกเพื่อบริโภคส่วนของหัวเป็นพืชเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นที่นิยมปลูก ปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกหอมแดง ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 1,500 ก.ก./ไร่ ทั้งนี้เนื่องมาจากปัจจัยการดูแลรักษาทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวหอมแดงที่คุณภาพดีขึ้นอยู่กับการปลูก การดูแลรักษา และสภาพแวดล้อม คุณภาพในการเก็บรักษาไม่ค่อยนานเท่าที่ควร เพราะมีการแห้งผ่อหรือ ขึ้นราและเน่าเสียหายมากถึง 40-60 % หอมแดงหากเก็บไว้ในอากาศที่ชื้นจะเกิดโรคคราดำ และเน่าเสียหายซึ่งเกษตรกรจะต้องรีบขายหรือนำไปฝังลมนจนแห้งสนิทจึงนำไปเก็บรักษาไว้ทำพันธุ์ โดยปกติแล้วมีการใช้หอมแดงเป็นผลิตภัณฑ์อาหารและยา สารสกัดจากหอมแดงสามารถต่อต้านแบคทีเรียได้ สารสำคัญนั้นคือสารเคอเวซินซึ่งสามารถลดการอักเสบได้

การกระบวนการอบแห้งเป็นขั้นตอนสำคัญในการเตรียมการสกัดสารสำคัญในหอมแดง เครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์นับเป็นวิวัฒนาการใหม่ของการอบแห้งวัสดุเชิงมวลที่ทำงานได้รวดเร็วและเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานสำหรับการอบสมุนไพรที่ต้องการรักษาปริมาณสารสำคัญมิให้สูญเสียไปในขณะทำการอบแห้ง ระยะเวลาการเก็บรักษาวัตถุดิบ ซึ่งการสกัดสารสำคัญหอมแดงจำเป็นต้องทำตัวอย่างหอมแดงให้แห้งก่อนการทำการสกัดสารสำคัญ โดยการพัฒนาระบบการอบแห้งที่เหมาะสมเพื่อรักษาสารสำคัญ เพราะสารสำคัญของหอมแห้งจะสลายได้ง่ายถ้าผ่านกระบวนการอบแห้งที่ไม่เหมาะสม กระบวนการอบแห้งจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการเตรียมการสกัดสารสำคัญของหอมแดง

ในงานวิจัยนี้เครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์ที่ใช้งานสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้รับการพัฒนาให้สามารถอบแห้งหอมแดงที่ผ่านการตัดแต่งให้เป็นชิ้นที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อลักษณะการอบแห้งของชิ้นทดลองทดสอบการอบแห้งของชิ้นหอมแดงที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราการไหลของอากาศ ความถี่ในการยกตัวของห้องอบแห้งที่แตกต่างกัน ได้ดำเนินการเพื่อให้ทราบถึงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งมัลติฟลูว์ต้นแบบ การใช้พลังงานจำเพาะ และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการอบแห้งหอมแดง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสร้างเครื่องอบแห้งมีทส์โฟลว์ต้นแบบสำหรับการอบแห้งหอมแดง
2. เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งมีทส์โฟลว์ต้นแบบและหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหอมแดง
3. เพื่อวิเคราะห์ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเครื่องอบแห้งต้นแบบ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งต้นแบบ
2. ใช้หอมแดงหั่นชิ้นบางขนาด 1-3 mm เป็นตัวอย่างในการทดสอบ
3. ทดสอบเก็บข้อมูลการอบแห้งหอมแดงสดและการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ของเครื่องอบแห้งต้นแบบที่ระดับอุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.30, 0.35 และ 0.40 m<sup>3</sup>/s และความถี่ในการยกตัวของห้องอบที่ 120, 130 และ 140 rpm
4. ความชื้นสุดท้ายของหอมแดงมีค่าต่ำกว่า 10% wb.
5. วิเคราะห์ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งต้นแบบที่ใช้สำหรับการอบแห้งหอมแดง
6. วิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณสารเคอซีตินของหอมแดงที่ผ่านการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งแบบมีทส์โฟลว์กับการอบแห้งแบบดั้งเดิม (Tray Dryer)

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

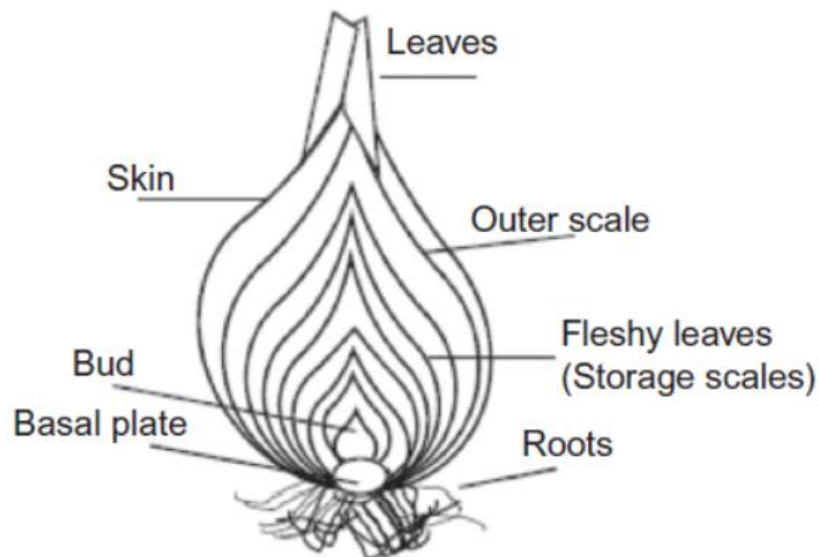
1. ได้เครื่องอบแห้งมีทส์โฟลว์ต้นแบบสำหรับการอบแห้งหอมแดง
2. ได้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งมีทส์โฟลว์ต้นแบบสำหรับการอบแห้งหอมแดง
3. ได้เครื่องอบแห้งมีทส์โฟลว์ต้นแบบสำหรับการอบแห้งหอมแดงที่มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาจากแหล่งข้อมูลทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งได้เรียบเรียงมาแล้วโดยจะแสดงเป็นส่วนหนึ่งของทฤษฎีที่ใช้ในการทำวิจัย อาทิเช่น ทฤษฎีการอบแห้ง ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและมวล ทฤษฎีการวิเคราะห์การใช้พลังงาน รวมไปถึงการวิเคราะห์สารสำคัญของหอมแดง และส่วนสุดท้ายเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งแบบต่างๆและเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟิวลด์ดังนี้

### 2.1 โครงสร้างของหอมแดง

หอมแดง(Shallot) ชื่อวิทยาศาสตร์: *Allium ascalonicum* ส่งเสริมให้เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย มีการเพาะปลูกแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และอีกแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญอีกก็คือแถบภาคเหนือ ลักษณะลำต้นของหอมแดงมีลักษณะสั้น และฝังอยู่ใต้ดิน และมีการสะสมอาหารที่กาบใบ ดอกมีลักษณะเป็นช่อ ประกอบไปด้วยดอกย่อยๆซ้อนกันจำนวนมาก สีของกลีบดอกมีสีขาวอมสีม่วง ส่วนที่ใช้ประโยชน์ คือ หัว และยังพบสารสำคัญ ที่สามารถต้านการอักเสบได้อีกด้วย



ภาพประกอบ 1 แสดงส่วนประกอบของหอมแดง

ที่มา : Vegetables and Root Crops (e.g., Sharma et al., 2016)

### 2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

หอมแดงจะมีใบที่มีลักษณะงอกออกมาจากหัว ใบมีลักษณะตรง เรียว สูง ยาว ประมาณ 20-40 เซนติเมตร แตกออกเป็นชั้นๆ ในส่วนของใบของหอมแดงใช้ในการบริโภค ส่วนหัวเป็นส่วนของกาบใบที่มีลักษณะการเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นๆ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บสะสมของน้ำและอาหาร มีลักษณะเป็นกระเปาะ หัวหอมจะมีการแตกออกมาใหม่จากหัวเดิม โดยจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเฉลี่ยประมาณ 3 เซนติเมตร ต้นที่มองเห็นอยู่เหนือดินเป็นส่วนที่อยู่ต่อจากหัว นั่นคือลำต้นเทียมที่เกิดจากกาบใบ หอมแดงมีรากเป็นรากฝอยจำนวนมาก งอกออกจากส่วนล่างของต้น มีลักษณะเป็นกระจุก และลึกลงไปใต้ดินประมาณ 10 เซนติเมตรและกระจายออกรอบต้นประมาณ 10 เซนติเมตร(นันทวัน, อรรณูช, & มหาวิทยาลัยมหิดล, 2539)

### 2.1.2 สรรพคุณ

หอมแดง มีกลิ่นฉุน มีน้ำมันหอมระเหย แก้ท้องอืด ขับลม ช่วยย่อยอาหาร แก้การอักเสบต่าง ๆ ขับพยาธิ และยังทำให้ร่างกายอบอุ่น ประเทศไทยใช้หอมแดงเป็นยาโดยใช้ส่วนหัวของหอมแดงในการแก้อาการหวัดร่วมกับอาการคัดจมูก และได้นำมารับประทานเพื่อขับลมในระบบทางเดินอาหาร โดยในหอมแดงนั้นมีสารฟลาโวนอยด์และเคออสติทิน โดยหอมแดงมีคุณสมบัติใช้เป็นยารักษาโรค ใช้รักษาแผลได้ และใช้เป็นตัวช่วยลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือด สามารถลดไข้ได้ด้วยการนำไปรับประทาน โดยสรรพคุณทางยาของหอมแดงสารฟลาโวนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ การที่เรารับประทานหอมแดงอย่างสม่ำเสมอช่วยให้การไหลเวียนเลือดและลดปริมาณคอเลสเตอรอล ลดไขมันในเส้นเลือดที่ทำให้เกิดโรคหัวใจและโรคความดันโลหิตสูง และยังช่วยบรรเทาอาการไข้หวัดได้ ทั้งนี้ ฟลาโวนอยด์ในปริมาณที่สูง จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งและโรคหัวใจอีกด้วย(นิจศิริ, 2547)

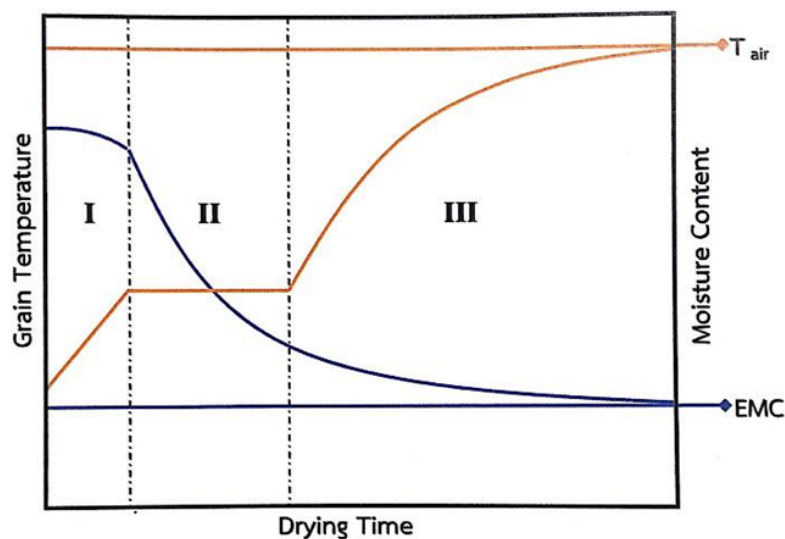
## 2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ใช้ในการลดความชื้น โดยการให้ความร้อนและเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ขึ้นเพื่อที่จะไล่ความชื้นออกโดยวิธีการระเหยโดยความร้อนแฝง วัสดุที่นิยมนำมาอบแห้งมีมากมายหลากหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร อาหาร เป็นต้น ประโยชน์ของการอบแห้งสรุปได้ดังนี้ เพื่อเป็นการถนอมอาหาร และสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เน่าเสียเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การอบแห้งทำให้ลดปริมาณและน้ำหนัก วัสดุจะมีน้ำหนักที่ลดลงเมื่อวัสดุนั้นแห้ง ส่งผลพลอยได้โดยสามารถลดต้นทุนในด้านการขนส่ง และการจัดเก็บ และยังช่วยให้พัฒนากระบวนการอบแห้งเพราะกระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการที่

สำคัญในการทำให้แห้งโดยทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพและโภชนาการของอาหารนั้นๆยังคงอยู่ได้ในผลิตภัณฑ์แห้ง(วิไล, 2552)

### 2.2.1 หลักการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการนำน้ำหรือความชื้นออกจากวัสดุ ซึ่งในการนำน้ำออกจากผิววัสดุอย่างรวดเร็ว ต้องอาศัยอัตราการถ่ายเทความร้อน และมวล รวมถึงเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จากการศึกษาพบว่า กระบวนการอบแห้งนอกจากจะมีการถ่ายเทความร้อนดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังเกิดการถ่ายเทมวลชื้นพร้อมๆ กัน สำหรับในกรณีที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางที่ใช้ส่วนใหญ่ จะถูกใช้ไปในการระเหยของน้ำที่ผิววัสดุที่ต้องการอบแห้ง ซึ่งการถ่ายเทจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ของไอน้ำที่อยู่ในบริเวณผิววัสดุกับความชื้นในตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้นในช่วงแรกของการอบแห้งซึ่งเป็นช่วงที่บริเวณผิวของวัสดุอิ่มตัวด้วยไอน้ำ การถ่ายเทความร้อน และปริมาณความชื้นในช่วงนี้จึงเกิดขึ้นด้วยอัตราการอบแห้งที่มีค่าคงที่ เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อน้ำถูกระเหยจนวัสดุที่อบแห้งมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าค่าปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำที่อยู่ภายในวัสดุจะระเหยด้วยอัตราที่ลดลงโดยเป็นฟังก์ชันกับเวลา คือช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลงเส้นกราฟของการอบแห้ง ดังภาพประกอบ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุตลอดช่วงเวลาของการอบแห้ง และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุเป็นอย่างไร จากรูปจะเห็นได้ว่าช่วงของการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้(สมชาติ, 2540)



ภาพประกอบ 2 Drying Curve

(เส้นสีแดงแสดงการกระจายของอุณหภูมิของวัสดุและ  
เส้นสีน้ำเงินแสดงการกระจายของเส้นความชื้น)

ที่มา : Engineering Agricultural. 2560 (Barnes, 1967)

#### 2.2.1.1 ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ (Preheating Period)

เมื่อวัสดุที่ชื้นได้สัมผัสกับอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง สังเกตว่าความชื้นจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากความร้อนทั้งหมดจากอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจะนำไปใช้เพื่อเพิ่มความร้อนให้กับวัสดุ จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อน

#### 2.2.1.2 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-Rate Period)

เมื่ออุณหภูมิของวัสดุเท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง น้ำก็จะเริ่มระเหยจากพื้นผิว ในระหว่างนี้ความร้อนทั้งหมดจากอากาศที่ใช้ในการอบแห้งจะใช้ในการระเหยความชื้นจากผิวของวัสดุ และปริมาณความชื้นที่ปล่อยออกไปจะมีค่าคงที่ในช่วงเวลานี้ และตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง คือ อุณหภูมิ

#### 2.2.1.3 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-Rate Period)

การระเหยของน้ำในช่วงนี้เกิดขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นของวัสดุน้อยกว่า หรือเท่ากับปริมาณความชื้นวิกฤต ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงนี้พบว่า การระเหยของน้ำจะเกิดจากกระบวนการแพร่ของน้ำที่อยู่ภายในวัสดุไปสู่พื้นผิวของวัสดุก่อนที่จะเกิดการระเหยที่พื้นผิวของวัสดุ การระเหยของน้ำในช่วงนี้เกิดขึ้นได้ยากกว่ากรณีแรกมาก จึงพบว่าอัตราการอบแห้งในช่วงนี้

มีค่าลดลงอย่างช้าๆ จนมีค่าคงที่เนื่องจากปริมาณความชื้นของวัสดุสมดุลกับปริมาณความชื้นของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง กลไกที่ควบคุมการเกิดกระบวนการอบแห้งในขั้นตอนนี้คือค่าความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ (พิริลิตี, 2558)

### 2.2.2 ประสิทธิภาพในการอบแห้ง

ประสิทธิภาพในการอบแห้งดูได้จากอีกหนึ่งผลลัพธ์ คืออัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) ซึ่งคำนวณจากปริมาณของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ เป็นสัดส่วนต่อระยะเวลาในการอบแห้ง หรือกล่าวโดยง่ายคือ ปริมาณความชื้นต่อระยะเวลาในการอบแห้ง

$$DR = \frac{W_i - W_f}{t} \quad (2.1)$$

เมื่อ DR = อัตราการอบแห้ง (kg/h)

$W_i$  = น้ำหนักเริ่มต้น (kg)

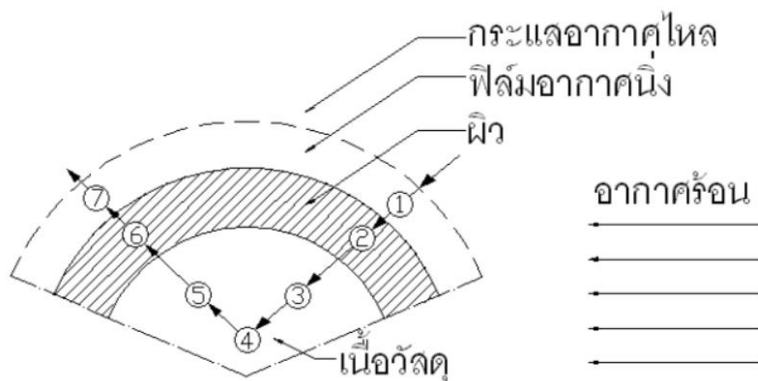
$W_f$  = น้ำหนักสุดท้าย (kg)

$t$  = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

### 2.2.3 กลไกการลดความชื้น

กลไกการลดความชื้นที่เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลในเนื้อวัสดุแสดงดังภาพที่ 3 วัสดุทางการเกษตรส่วนใหญ่มักมีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน ซึ่งการอบแห้งส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงการอบแห้งลดลง และการเคลื่อนที่ของน้ำส่วนมากจะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งเป็นผลมาจากความเข้มข้นของความชื้นที่เป็นลักษณะการแพร่ของน้ำภายในวัสดุ (สมชาติ, 2540)





- |   |   |
|---|---|
| ① ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่ฟิล์มอากาศ | ⑤ ความต้านทานการถ่ายเทมวลในเนื้อวัสดุ     |
| ② ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่ผิววัสดุ   | ⑥ ความต้านทานการถ่ายเทมวลที่ผิววัสดุ      |
| ③ ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนในเนื้อวัสดุ  | ⑦ ความต้านทานการถ่ายเทมวลที่ฟิล์มอากาศนี้ |
| ④ น้ำที่จะระเหย                             |   |

### ภาพประกอบ 3 การถ่ายเทความร้อนและมวลในเนื้อวัสดุ

ที่มา : การถ่ายเทความร้อนและมวลในเนื้อวัสดุ (สมชาติ,2540)

ที่ผิวด้านนอกของวัสดุจะการถ่ายเทความร้อนและมวล โดยที่ผิวของวัสดุจะมีน้ำอยู่บริเวณที่ผิวเป็นจำนวนมาก และเมื่อความเร็วของกระแสอากาศร้อนเพิ่มขึ้นทำให้ชั้นฟิล์มที่ผิวลดลงทำให้การไหลของมวลจากวัสดุมีแรงต้านที่ลดต่ำลง และเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลเพิ่มขึ้น และเมื่ออัตราการอบแห้งลดลงจะเกิดการระเหยของน้ำภายในวัสดุออกมายังภายนอก โดยความร้อนที่ได้รับจากอากาศร้อนจะสูญเสียไปกับการระเหยน้ำและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนและทำการลดความชื้นในอากาศจะส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลที่ตีมากขึ้น และเมื่อเพิ่มความเร็วของกระแสอากาศร้อนจะทำให้ชั้นฟิล์มที่ผิวลดลงจะไม่ค่อยส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนแต่จะมีผลต่อการถ่ายเทมวลของวัสดุจากภายในออกมาสู่ภายนอกของวัสดุ(สมชาติ, 2540)

#### 2.2.4 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นในวัสดุ คือ ค่าที่จะบอกถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในวัสดุคืออัตราส่วนความชื้นเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุเปียกหรือแห้ง หาด้วยวิธีโดยตรงคือ Oven Method โดยความชื้นของวัสดุสามารถหาได้ 2 รูปแบบคือ 1.อัตราส่วนความชื้น (มาตรฐานแห้ง) เป็นสัดส่วนของวัสดุที่มี



ความชื้นต่อวัสดุที่ปราศจากความชื้น 2. อัตราส่วนความชื้น (มาตรฐานเปียก) เป็นการหาปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุ ซึ่งอัตราส่วนความชื้นทั้ง 2 มาตรฐานสามารถหาได้ดังนี้

#### 2.2.4.1 เปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb.)

$$M_w = \frac{w-d}{w}(100\%) \quad (2.2)$$

#### 2.2.4.2 เปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)

$$M_d = \frac{w-d}{d}(100\%) \quad (2.3)$$

เมื่อ  $w$  = น้ำหนักเปียก

$d$  = น้ำหนักแห้ง

$M_w$  = ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก, %wb

$M_d$  = ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก, %db

ความชื้นที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้เป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง เพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่ และในการอบแห้งจำเป็นจะต้องทราบปริมาณน้ำที่ระเหย และเมื่อทราบความชื้นและมวลของวัสดุก็จะสามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปได้โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$W_f = W_i \frac{(100 - M_i)}{(100 - M_f)} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $W_i$  = น้ำหนักก่อนอบแห้ง (kg)

$W_f$  = น้ำหนักหลังอบแห้ง (kg)

$M_i$  = ความชื้นก่อนอบแห้ง %wb.

$M_f$  = ความชื้นหลังอบแห้ง %wb.

#### 2.2.5 อัตราส่วนความชื้น

อัตราส่วนความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำในวัสดุเมื่อเทียบความชื้นเริ่มต้นเมื่อเวลาการอบแห้งดำเนินต่อไปในเวลาใดๆ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $MR$  = อัตราส่วนความชื้น

$M$  = ความชื้นขณะเวลา  $t$ , %db.

$M_e$  = ความชื้นสมดุล, %db.

$M_0$  = ความชื้นเริ่มต้น, %db.

### 2.2.6 ความชื้นสมดุล

เมื่อนำวัสดุที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน เช่น นำวัสดุไปวางไว้ในอากาศที่มีสภาวะคงที่ คือ มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ วัสดุนั้นอาจจะคายความชื้นให้กับอากาศ (Desorption) หรือดูดซับความชื้นจากอากาศ (Adsorption) และเมื่อวางไว้เป็นเวลานาน วัสดุนี้จะมีค่าความชื้นคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, EMC) ในขณะนั้น วัสดุอยู่ในสภาวะสมดุล อัตราการสูญเสียความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศรอบๆ จะมีค่าเท่ากับอัตราการได้รับความชื้นจากอากาศโดยรอบ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ในขณะนั้นวัสดุอยู่ในสภาวะสมดุลนั้น ความดันไอที่ผิวของวัสดุจะมีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศโดยรอบ ค่าความชื้นสมดุลนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ชนิดของวัสดุ (มุลตาฟา, 2559)

### 2.2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งกล่าวคือ สภาวะของการอบแห้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากควบคุมสภาวะในการดำเนินการที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งได้แก่ อุณหภูมิอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อัตราการไหลอากาศของลมร้อน ความหนาของชั้นวัสดุ และ พื้นที่ผิวของวัสดุ และยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญ เช่น ขนาดของชั้นวัสดุ เป็นต้น ตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งมีดังนี้

1. อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูง อัตราการอบแห้งก็จะสูงหรือถ้าใช้อากาศร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำอัตราการอบแห้งก็จะต่ำตามไปด้วย
2. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบ เนื่องจากอากาศโดยรอบที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำก็จะดึงความชื้นที่ถ่ายเทจากวัสดุได้มากกว่าที่อากาศที่มีความชื้นสูง
3. อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านวัสดุ โดยอัตราการไหลของอากาศจะพาความชื้นถ่ายเทออกมาสู่อากาศได้ดีกว่าการให้อากาศนิ่งอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ

## 2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและมวล

### 2.3.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิของของไหลมีอุณหภูมิสูงกว่าที่ผิวของวัสดุ ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากบริเวณด้านในวัสดุสู่บริเวณผิวของวัสดุ การถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวเป็นแบบการนำความร้อน (พิริลลิตี, 2014)

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน,  $W$

$k$  คือ สภาพการนำความร้อนของของไหล,  $W/m^{\circ}C$

$A$  คือ พื้นที่ผิวของวัสดุ

$T$  คือ อุณหภูมิของของไหล,  $^{\circ}C$

การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการถ่ายเทแบบบังคับระหว่างผิวกับกระแสของไหล เขียนเป็นสมการทั่วไปของระบบที่ความร้อนจากของแข็งถูกพาไปในกระแสของไหลได้ว่า (พิริลลิตี, 2014)

$$Q = hA(T_{\infty} - T_s) \quad (2.7)$$

เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน,  $W$

$h$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน,  $W/m^{\circ}C$

$A$  คือ พื้นที่ผิวของวัสดุ

$T_{\infty}$  คือ อุณหภูมิที่ผิววัสดุ,  $^{\circ}C$

$T_s$  คือ อุณหภูมิกระแสของไหล,  $^{\circ}C$

### 2.3.2 ทฤษฎีการถ่ายเทมวล

ปริมาณการถ่ายเทมวลนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่มีมวลมากกว่าก็จะกระจายไปยังที่ที่มีความเข้มข้นมากกว่า ซึ่งจากกฎของการอนุรักษ์มวล สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้ (Brooker, 1992)

$$\dot{m}_p = \frac{dM}{dL} = \dot{m}_f = \frac{d(RH)}{dL} \quad (2.8)$$

- เมื่อ  $\dot{m}_p$  คือ อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของวัสดุ  
 $\dot{m}_f$  คือ อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของอากาศขึ้น  
 M คือ ปริมาณความชื้น, %wb.  
 RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, %  
 L คือ ความยาวของห้องอบแห้ง, m

## 2.4 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน

เครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์ แบ่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งเป็น 2 ส่วน คือ พลังงานไฟฟ้ามอเตอร์ที่ใช้ในการยกห้องอบแห้ง และมอเตอร์ที่ใช้ดูดอากาศออกจากห้องอบแห้ง อีกส่วนหนึ่งคือพลังงานจากการใช้แก๊สแอลพีจีเป็นตัวกำเนิดความร้อน ซึ่งในการวัดว่าเครื่องอบแห้งแบบใดดีหรือไม่ดีนั้น นอกจากจะพิจารณาที่ความสามารถในการลดความชื้นและคุณภาพแล้ว ยังต้องพิจารณาเรื่องการใช้พลังงานด้วย โดยพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์วัด คือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก (พิริสิทธิ์, 2558)

$$SEC = \frac{E_{thermal} + E_{electric}}{m_w} \quad (2.9)$$

- เมื่อ  $E_{electric}$  คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้า, MJ  
 $E_{thermal}$  คือ ปริมาณพลังงานความร้อน, MJ  
 $m_w$  คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg

โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการอบแห้งหอมแดง (P)

$$P = P_{after} - P_{before} \quad (2.10)$$

- เมื่อ P คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป, kWh  
 $P_{before}$  คือ หน่วยพลังงานไฟฟ้าก่อนการทดลอง, kWh  
 $P_{after}$  คือ หน่วยพลังงานไฟฟ้าหลังการทดลอง, kWh

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง ( $E_{electric}$ )

$$E_{electric} = 3.6 \times P \quad (2.11)$$

และปริมาณแก๊สที่ใช้ในการอบแห้ง ( $M_{LPG}$ )

$$M_{LPG} = M_{LPG,before} - M_{LPG,after} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $M_{LPG}$  คือ ปริมาณแก๊สที่ใช้ไป,kg

$M_{LPG,before}$  คือ น้ำหนักแก๊สก่อนการทดลอง,kg

$M_{LPG,after}$  คือ น้ำหนักแก๊สหลังการทดลอง, kg

ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ( $E_{thermal}$ )

$$E_{thermal} = 49.3 \times M_{LPG} \quad (2.13)$$

ปริมาณน้ำที่ระเหย ( $m_w$ )

$$m_w = w_i - w_f \quad (2.14)$$

เมื่อ  $m_w$  คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg

$w_i$  คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง,kg

$w_f$  คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง,kg

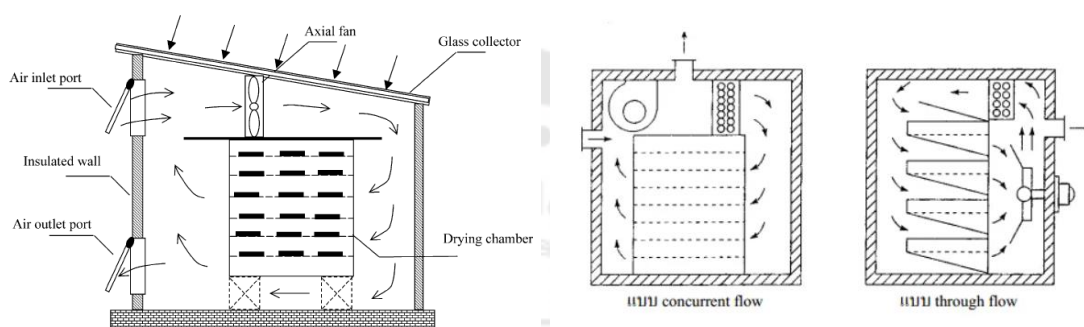
## 2.5 เครื่องอบที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

เครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ปัจจุบันมีเทคนิควิธีในการอบแห้งหลากหลายรูปแบบ ในการเลือกนำมาใช้ควรเลือกให้เหมาะสมกับวัสดุที่ต้องการนำมาอบแห้ง โดยปัจจุบันมีเครื่องอบแห้งที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่

### 2.5.1 เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ (Fixed-Tray Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้จะนำวัสดุวางไว้ในถาด หรือ ตะแกรง แล้วทำการปล่อยลมร้อนไปในทิศทางขนานไปกับผิวหน้าวัสดุที่วางตัวอยู่ในถาด หรือมีทิศทางตั้งฉากกับถาด ลมร้อนจะผ่านเข้าไปในชั้นวัสดุ เนื่องจากจะใช้ลมร้อนที่มีความเร็วไม่สูงนัก วัสดุจึงยังอยู่นิ่งไม่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนหรือการกระแทกใดๆ ไม่เกิดความเสียหายจากการแตกหัก ตู้อบแบบนี้จะทำงานแบบกะ (Batch) จึงเหมาะกับวัสดุที่ต้องการอบแห้งด้วยการควบคุมภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งที่เข้มงวด

หรืออบแห้งวัตถุดิบมากกว่าหนึ่งชนิดในจำนวนน้อยๆ โดยควบคุมแบบโปรแกรมซึ่งค่อยๆ ปรับอุณหภูมิไปตามความเหมาะสม เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่นั้นจึงเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถอบแห้งแบบนำมากองรวมกันเป็นปริมาณมาก (Bulk Drying) หรือเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง เป็นชิ้นๆ ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่นี้จะถูกแบ่งได้ออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (Tunnel Dryer) และเครื่องอบแห้งแบบตู้อบ (Cabinet Dryer) (Chou, 2003)



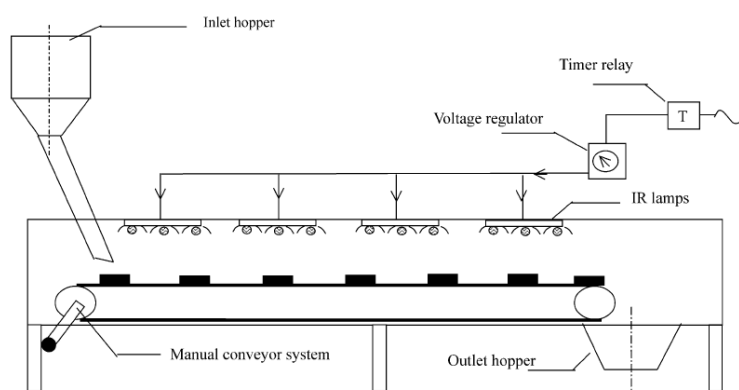
ภาพประกอบ 4 เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่

ที่มา : (Chou, 2003)

### 2.5.2 เครื่องอบแห้งแบบชั้นอบแห้งเคลื่อนที่ (Moving-Bed Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียงจะวางวัสดุไว้บนสายพานที่ทำจากแผ่นโลหะหรือยางที่มีรูพรุนซึ่งถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ เพื่อให้วัสดุเคลื่อนตัวสัมผัสกับลมร้อนแล้วทำการอบอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างอีกหนึ่งของเครื่องอบแห้งแบบนี้คือ การอบแห้งโดยใช้สายพานเคลื่อนที่ จะมีชั้นของวัสดุถูกวางบนสายพานที่มีรูเปิดที่สามารถให้อากาศร้อนไหลผ่านได้ โดยทิศทางของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาอบแห้ง บางทีอาจมีลมร้อนไหลในทิศทางเดียวหรือมีการกลับทิศทางลมร้อนเป็นช่วงเวลาเพื่อที่จะให้การอบแห้งเป็นไปอย่างทั่วถึง โดยตลอดความยาวของสายพานจะมีลักษณะอากาศที่แตกต่างกัน เช่น ช่วงเริ่มต้นของสายพานวัสดุที่นำมาอบแห้งยังมีปริมาณความชื้นที่สูงอยู่ที่ใช้อากาศร้อนซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ช่วงท้ายของสายพานก็จะใช้อากาศร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงเริ่มต้นเพราะวัสดุอบแห้งมีปริมาณความชื้นที่ลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การปรับแต่งพารามิเตอร์และโครงสร้างของวัสดุที่นำมาอบแห้ง การอบแห้งแบบสายพานมีข้อดีโดยตรงความสามารถในการอบแห้งวัสดุเพื่อให้ความชื้นต่ำกว่า 10% wb. ได้

นั้นทำได้ยากและมีความสิ้นเปลืองพลังงาน และเมื่อวัสดุมีความชื้นที่เหลืออยู่ประมาณ 30% wb. หรือต่ำกว่านั้นก็จะถูกขนส่งยังเครื่องอบแห้งตัวถัดไป เพื่อทำการลดความชื้นต่อไป (Chou, 2003)



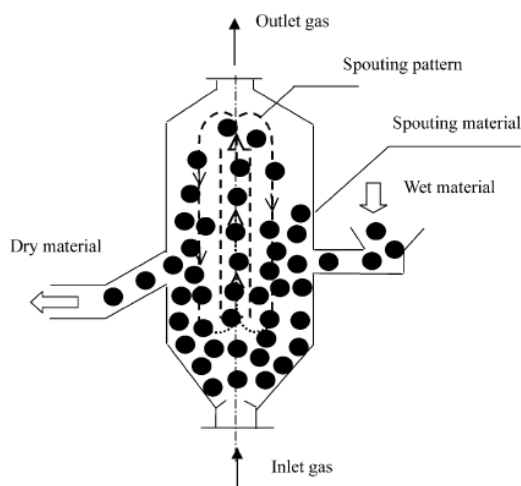
ภาพประกอบ 5 เครื่องอบแห้งสายพาน

ที่มา : (Chou, 2003)

### 2.5.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spouted Bed Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยส่วนมากจะใช้กับวัสดุที่เป็นผงหรือของแข็งเม็ดเล็ก ๆ เช่น กาแฟ ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต เมล็ดธัญพืช จะใช้เวลาในการอบแห้งเป็นช่วงเวลาที่สั้น ดังนั้นจึงจะเหมาะกับวัสดุซึ่งที่ลดความชื้นได้ง่ายเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงและระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นมาก เป็นผลมาจากการพ่นทำให้เป็นละอองแล้วตกลงอิสระ ทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อนมาก โดยทั่วไปประกอบด้วยภาชนะทรงกระบอกที่มีก้นกรวยพอดี ด้วยหัวฉีดสำหรับการนำของอากาศจะถูกส่งขึ้นในศูนย์กลางเพื่อเพิ่มความสูงที่อนุภาคเม็ดสามารถทำได้ วัสดุเปียกเข้ามาจากด้านข้างประตูทางเข้าและผ่านการพ่นด้วยความเร็วของหัวฉีดอากาศอบแห้งที่เข้ามากระทบผ่านหัวฉีดที่ศูนย์กลางที่ฐานรูปกรวย ทำปฏิกิริยากับอนุภาคได้ดี อนุภาคต่างๆสัมผัสกับอากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วผ่านโพรง ได้รับการเคลื่อนไหวถูกพ่นความชื้นออกจากพื้นผิวอนุภาค เนื่องจากที่สัมผัสกับอากาศได้ดี อัตราการอบแห้งที่สูงสามารถนำไปสู่การอบแห้งที่ดีมีข้อดีตรงที่ว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งสูง แต่การใช้ประโยชน์ของลมร้อนอาจไม่ค่อยมีประสิทธิภาพมากนัก (Chou, 2003)





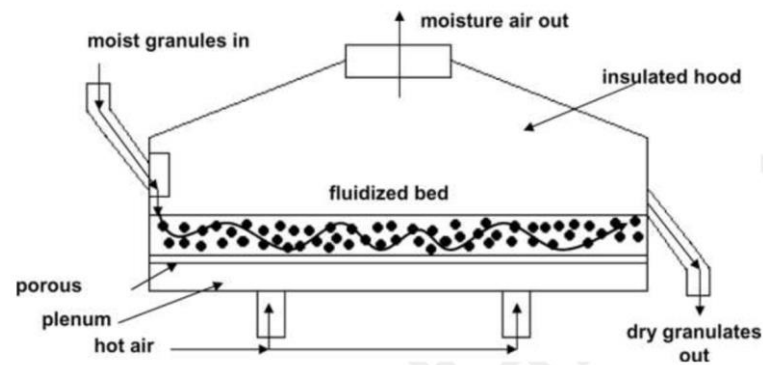
ภาพประกอบ 6 Spouted Bed Dryer

ที่มา : (Chou, 2003)

#### 2.5.4 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized Bed Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด ที่ใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นวัสดุทำให้วัสดุลอยตัวเป็นอิสระ ทำให้เกิดการคลุกเคล้าและทำให้วัสดุสัมผัสกับลมร้อนอย่างสม่ำเสมอ ลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว มีการถ่ายเทความร้อนและมวลที่สูง โดยวัสดุขึ้นเข้าสู่จากด้านหนึ่งเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดเข้าไปในบริเวณห้องอบแห้ง อากาศร้อนผ่านจากด้านล่างผ่านแผ่นตะแกรงพอรุนและทำปฏิกิริยากับวัสดุขึ้นในลักษณะ Cross-Flow นี้เกิดการคลุกเคล้าและสัมผัสกับลมร้อนส่งผลให้วัสดุที่ถูกทำให้แห้งอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้วัสดุที่แห้งแล้วปล่อยผ่านช่องทางออก ระบบดังกล่าวมีราคาถูกและง่ายต่อการออกแบบที่ต้องการต้นทุนเงินลงทุนต่ำ ประสิทธิภาพของความร้อนและมวลระหว่างอนุภาคฟลูอิดไคซ์กับอากาศแห้งค่อนข้างสูง มักจะได้รับการปรับปรุงโดยการเพิ่มความเร็วของอากาศร้อนให้เหมาะกับวัสดุที่เป็นเม็ดเล็กที่มีรูปทรงและขนาดสม่ำเสมอ (Chou, 2003)





ภาพประกอบ 7 Fluidized Bed Dryer

ที่มา : (Chou, 2003)

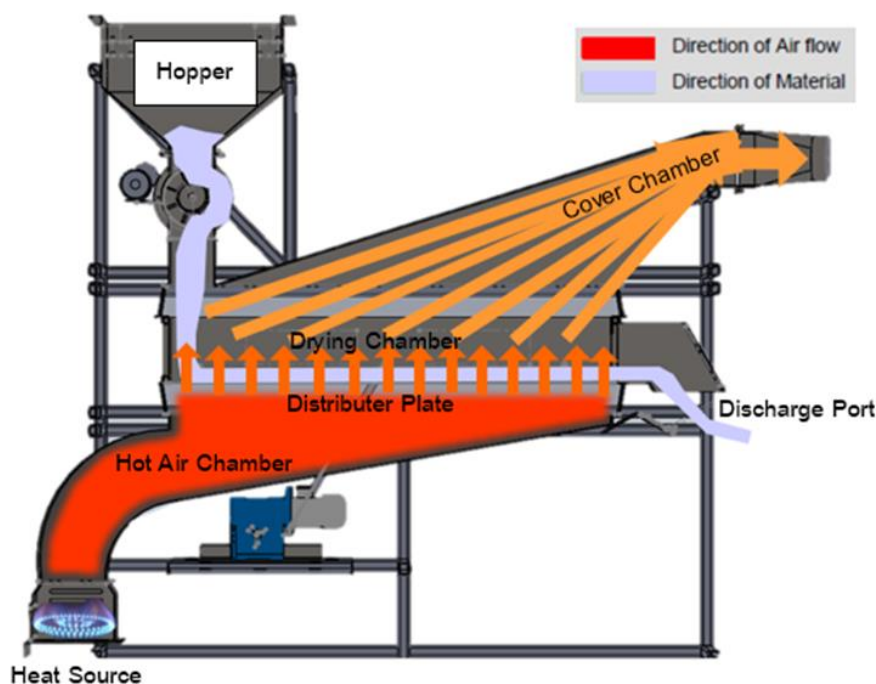
## 2.6 เครื่องอบแห้งแบบมัสท์ไฟลว์

เครื่องอบแห้งแบบมัสท์ไฟลว์เป็นการใช้วิธีอบแห้งด้วยลมร้อนโดยมีกระบวนการการถ่ายเทความร้อนและมวลของความชื้นในห้องอบแห้งบนแผ่นตะแกรงแนวระนาบระหว่างลมร้อนและวัสดุ ด้วยการนำความร้อนและการพาแบบบังคับ โดยควบคุมความชื้นสุดท้ายของวัสดุด้วยความสูงของชั้นวัสดุ



ภาพประกอบ 8 เครื่องอบแห้งแบบมัสท์ไฟลว์

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์ จะเริ่มจากการเผาแก๊สแอลพีจีเพื่อให้ ความร้อนกับอากาศ และบังคับให้อากาศร้อนไหลสู่ช่องทางเข้าของอากาศร้อน (Heat Source), ห้องผสม (Hot Air Chamber) และแผ่นกระจายอากาศ (Distributer Plane) เข้าไปทำปฏิกิริยากับ วัสดุที่อยู่ในห้องอบแห้ง (Drying Chamber) อากาศร้อนหลังทำปฏิกิริยาแล้วจะถูกดูดออกจาก ห้องอบแห้งผ่านช่องทางออกของอากาศร้อน (Cover Chamber) โดยชุดดูดอากาศออกจากห้อง อบแห้ง และชุดกรองฝุ่นจากกระบวนการอบแห้งชุดพัดลมดูดอากาศ (Suction blower) เพื่อให้ อากาศสะอาดก่อนปล่อยออกจากเครื่องอบแห้งสู่บรรยากาศภายนอก วัสดุที่อยู่ในห้องอบแห้งนั้น จะถูกป้อนเข้าทางถังพักวัสดุ (Hopper) โดยสามารถปรับปริมาณวัสดุได้โดยใช้ลิ้นปรับปริมาณ (Valve) วัสดุที่อยู่ภายในห้องอบแห้ง และทำปฏิกิริยากับอากาศร้อน จะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ตาม กลไกของเครื่องอบแห้งออกทางช่องทางออกของวัสดุ (Discharge Port) (พิรสิทธิ์, 2558; มุสตาฟา , 2559)



ภาพประกอบ 9 หลักการทำงานของเครื่องอบแบบมัสท์โฟลว์

## 2.7 การวิเคราะห์หาสารสำคัญ

### 2.7.1 โครมาโตกราฟีแบบผิวบาง (Thin Layer Chromatography, TLC)

เป็นเทคนิคการแยกสารแบบง่าย ๆ ด้วยหลักการโครมาโตกราฟีที่มีการอาศัยหลักการแยกระหว่างเฟส 2 เฟส ประกอบด้วย เฟสอยู่กับที่ และเฟสเคลื่อนที่ ความสามารถในการแยกสารเกิดจากสมบัติของการมีขั้วของสาร แต่ละชนิดที่แตกต่างกันนั้น จึงมีความจำเพาะและทำให้การเคลื่อนที่ของสารบนแผ่น TLC มีระยะที่แตกต่างกันด้วยเหตุนี้เทคนิคการแยกสารด้วย TLC นี้จึงเป็นที่นิยมกันอย่างมาก เพราะเป็นวิธีการที่มีความจำเพาะสูง ทำงานได้ง่ายและสะดวก รวดเร็วกว่าวิธีอื่น ๆ นับเป็นการวิเคราะห์สารเบื้องต้นที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่ง

### 2.7.2 แก๊สโครมาโทกราฟี (GC)

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย และกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่กึ่งระเหย โดยอาศัยหลักการแยกระหว่างเฟส 2 เฟส ประกอบด้วย เฟสอยู่กับที่ และเฟสเคลื่อนที่ สำหรับเฟสอยู่กับที่ของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี คือ สารที่เคลือบผิวหรือบรรจุอยู่ในคอลัมน์ และเฟสเคลื่อนที่ คือ แก๊สตัวพา นิยมใช้เป็นแก๊สฮีเลียม เมื่อสารผสมถูกฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ณ บริเวณหัวฉีด ซึ่งเป็นบริเวณที่ให้ความร้อนมีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้สารผสมเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส และส่วนแก๊สของสารผสมจะเคลื่อนที่เข้าสู่คอลัมน์ โดยอาศัยแก๊สตัวพา และมีการให้ความร้อนของคอลัมน์ด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ ทำให้เกิดกระบวนการแยกขึ้น จากนั้นสารผสมที่ถูกแยกภายในคอลัมน์จะเคลื่อนที่เข้าสู่ตัวตรวจวัด และผลที่ได้จะแสดงในรูปแบบของโครมาโทแกรม วิธีแก๊สโครมาโตกราฟีสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งทางคุณภาพและทางปริมาณของสาร

### 2.7.3 โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)

เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์สารต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถบอกได้ทั้งปริมาณและคุณภาพของสาร (Lunn, 1997) HPLC สามารถวิเคราะห์สารได้ทั้ง สารอินทรีย์ สารประกอบทางชีวภาพ สารประกอบที่เสถียรภาพได้ง่าย สารประกอบที่ระเหยยาก ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ต้องละลายได้อย่างสมบูรณ์ในตัวทำละลาย การแยกสารจะสมบูรณ์เมื่อสารมีอัตราการเคลื่อนที่ที่แตกต่าง กันภายในคอลัมน์ สารประกอบที่ถูกแยกนั้นจะเคลื่อนที่ไปตามช่วงความยาวของคอลัมน์ โดยมีโมบายเฟสเป็นตัวพา มีข้อดี คือ วิเคราะห์ได้ละเอียดทั้งแง่ของ

คุณภาพและปริมาณ มีความแม่นยำสูง แต่ก็มีข้อเสียคือ เครื่องมือนี้มีราคาแพง และต้องใช้ความชำนาญในการปฏิบัติงาน

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.8.1 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ

การทบทวนงานวิจัยมีการรายงานผลวิจัยและผลการทดลองรวมไปถึงการทำงานของเครื่องอบแห้งในแบบต่าง ๆ เช่น แบบฟลูอิดไดซ์เบด แบบสเปาเต็ดเบด และแบบพาความร้อนอินฟราเรด ตามลำดับ มีรายละเอียดดังนี้

พจนานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างและการพัฒนาศึกษาศาสนาที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกในช่วงความชื้นที่สูง มุสตาฟา ยะกา ได้ศึกษาการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกและทดสอบในช่วงความชื้นสูงโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่มีกำลังผลิต 1 ton/hr เพื่อต้องการให้เป็นต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรมในการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด จากการดำเนินการทดลองสมรรถนะของเครื่องสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มต้นจาก 45%db ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 24 %db ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนาน 3 นาที ที่เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก 100-120 °C ความสูงของเบด 11 cm ใช้อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.86 m<sup>3</sup>/s และยังมีการใช้อากาศร้อนหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 66.7% ใช้กำลังไฟฟ้า 6559 W ใช้เชื้อเพลิงดีเซลเฉลี่ย 5.73 L/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงาน 270 MJ/kg dry matter มีความสามารถในการระเหยน้ำได้ 140 kg-water/hr มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1.9 MJ/kg-water(มุสตาฟา, 2537)

Weerachet Jittanit ได้ศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ Fluidized bed dryer (FBD) และ spouted bed dryer (SBD) ได้แก่พิจารณาเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสำหรับการอบแห้งเมล็ดที่มีความชื้นสูง (MC; 20–25% w.b.) ถึงปานกลาง MC (18% w.b.) เงื่อนไขในการทดสอบงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองอบแห้งและทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยใช้เมล็ดข้าวและข้าวสาลีของ FBD ที่อุณหภูมิ 40,60,80 °C , ความสูงเบด 10 cm, ความเร็วลม 2.8-3.0 m / s และ SBD อุณหภูมิ 40,60,80 °C , ความเร็วลม 8-10 m / s ที่เพื่อเปรียบเทียบ FBD และ SBD เกี่ยวกับอัตราการอบแห้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการใช้พลังงานเฉพาะ จากผลการทดลองพบว่า FBD ดีขึ้นในแง่ของการอบแห้งที่เร็วขึ้นของอัตราการอบแห้งและ SBD ดีขึ้นในแง่ของการใช้พลังงานเฉพาะอย่างไรก็ตามไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่ามีเครื่องอบแห้งให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้นในแง่ของเปอร์เซ็นต์การงอก(Weerachet, 2013)

Thanit wadisevi ได้มีการประยุกต์เทคนิคฟลูอิดไดซ์ในการอบแห้งหัวหอมสับ โดยได้มีการศึกษาพารามิเตอร์หลายประการที่มีผลต่อลักษณะการอบแห้งของหัวหอมสับและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเพื่อทำนายพฤติกรรมการอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิอากาศ 32°C และความชื้นสัมพัทธ์ 62% ความเร็วการฟลูอิดไดซ์ชั้นต่ำสุดคือประมาณ 1.36, 1.20, 0.95 และ 0.62 m/s ที่ความชื้นเริ่มต้น 95, 71, 56 และ 5% w.b. ตามลำดับ อุณหภูมิอากาศในการอบแห้งและอัตราการไหลของอากาศเฉพาะคือพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง แบบจำลองของ Page สามารถทำนายค่าที่ใกล้เคียงที่สุดได้กับข้อมูลการทดลอง อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ควรต่ำกว่า 53°C เพื่อรักษาสำคัญที่เป็นที่ยอมรับของผลิตภัณฑ์แห้ง(Thanit, 2007)

G.P. Sharma , R.C. Verma , P.B. Pathare ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนอินฟราเรดในห้องปฏิบัติการได้รับการพัฒนาการอบแห้งชั้นเดียวของหัวหอมขึ้น เงื่อนไขการทดลองที่ระดับพลังงานอินฟราเรด 300 , 400 และ 500 W อุณหภูมิอากาศในการอบแห้ง 35 ,40 และ 45 ° C และ ความเร็วลมภายใน 1.0 , 1.25 และ 1.5 m/s ผลจากการทดลองพบว่าเวลาของการอบแห้งลดลงประมาณ 2.5 เท่าเมื่อเพิ่มพลังงานอินฟราเรด จาก 300W เป็น 500W อุณหภูมิอากาศในการอบแห้ง 35 ถึง 45° C และความเร็วลม 1.0 ถึง 1.5 m/s การแพร่กระจายของความชื้นจาก  $0.21 \times 10^{-10}$  ถึง  $1.57 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s และมีนัยสำคัญของ อิทธิพลจากพลังงานอินฟราเรดและอุณหภูมิอากาศ อัตราการคืนตัวความชื้นของการคายน้ำของหัวหอมอยู่ในช่วง 4.5 และ 5.3(Sharma, 2004)

Pankaj B. Patharew ได้ศึกษาการทดลองการอบแห้งขึ้นหัวหอม(ที่ความหนา 6mm) ดำเนินการอบแห้งด้วยการพาความร้อนอินฟราเรด ผลจากการทดลองพบว่าเป็นกระบวนการอัตราที่ลดลง มีประสิทธิภาพเฉลี่ยของการแพร่กระจายความชื้นของหัวหอมอยู่ในช่วง  $0.2514 \times 10^{-10}$  และ  $0.3233 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการแพร่กระจายของความชื้นเพิ่มขึ้นสำหรับค่าอุณหภูมิอากาศแห้งและความเร็วลมเดียวกัน / เมื่อความเข้มข้นของรังสีเพิ่มมากขึ้น ค่าเฉลี่ยของการแพร่กระจายความชื้นมีประสิทธิภาพลดลงในทุกอุณหภูมิอากาศ และ / ความเข้มข้นของรังสีกับการเพิ่มความเร็วอากาศ การใช้พลังงานการอบแห้งแบบพาความร้อนอินฟราเรดอยู่ระหว่าง 5.06 และ 10.63 kJ /mol ได้ระบุว่าในพลังงานที่ลดลงของการกระตุ้นทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น (Pankaj, 2006)



## 2.8.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์

การทบทวนงานวิจัยมีการรายงานผลวิจัยและผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์ มีรายละเอียดดังนี้

ณัฐพล มณีโชติ และคณะได้ทำการศึกษา ความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่มีผลต่อความดันและความเร็วของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิดขนาด 2 มิลลิเมตร ใช้Blowerที่มีกำลังขับ 2 แรงม้า ทดสอบที่ความหนาเบด 1-10 เซนติเมตร พบว่าเมื่อความหนาของชั้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ทำให้ความดันภายในห้องอบแห้งมีค่าสูงขึ้น และเมื่อลดความหนาของชั้นข้าวเปลือกความดันก็จะลดลง ความหนาของชั้นข้าวเปลือกแปรผันตรงกับความดันและแปรผกผันกับความเร็วของอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง (ณัฐพล, 2558)

พิรสิทธิ์ ทวยนาค และคณะได้ทำการศึกษา อัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ส่งผลการลดความชื้นข้าวเปลือก โดยใช้อุณหภูมิของอากาศร้อนและอัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน โดยใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 21-23%wb. โดยใช้อัตราการไหลอากาศ 0.04-0.07 m<sup>3</sup>/s และอุณหภูมิของอากาศ 80-100°C จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่ระดับอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.05 m<sup>3</sup>/s สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งได้สูงที่สุด และที่ระดับอุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง 100°C สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งได้สูงที่สุด (พิรสิทธิ์, 2558) และยังมีการศึกษาเกี่ยวกับความเร็วของอากาศร้อนที่มีผลต่อการลดความชื้นของข้าวเปลือกสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลว์ (Must Flow Dryer) โดยทดสอบการอบแห้งโดยใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 22%wb. โดยใช้ความเร็วของอากาศร้อน 1.5- 2.3 m<sup>3</sup>/s และใช้อุณหภูมิของอากาศร้อน 100°C จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิตั้ง 100°C นั้น ค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้ง มีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณ 1.8%wb ใช้พลังงานเฉลี่ย 22.25MJ/hr และมีอัตราการระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้ 8 kg<sub>water</sub>/hr (พิรสิทธิ์, 2014)

มูस्ताฟา ยะภา และคณะในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมการอบแห้งข้าวเปลือกสดจากท้องนา ไม่สามารถที่จะควบคุมระดับความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกให้อยู่ในระดับเดียวกันได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้ง คือ “เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลว์” โดยเครื่องอบแห้งชนิดนี้สามารถลดความชื้นในข้าวเปลือกให้มีความชื้นสุดท้ายที่ อยู่ในระดับเดียวกัน ซึ่งดีกว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และการลดความชื้นโดยวิธีตากแดด โดยสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์นี้ ใช้พลังงานไฟฟ้า 33 kW และมีข้าวต้นที่ระดับ

58.3% ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยที่ 15%wb. มีค่าดัชนีความขาวที่ต่ำกว่าวิธีการตากแดด (ลานคอนกรีต) และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยดัชนีความขาวจากการสีประมาณ 40.3 ในการทดลองใช้ข้าวเปลือกสด 420 ตัน(มุสตาฟา, 2559)

มุสตาฟา ยะภา และคณะ ข้าวเป็นอาหารที่สำคัญกับมนุษย์ มีสารอาหารที่ร่างกายต้องการ และยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย การผลิตข้าวเพื่อความต้องการเฉพาะด้าน ตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยเบาหวานที่มีอาการน้ำตาลในเลือดสูงเกินไปที่ไม่ควรรับประทานข้าวขาว แต่ยังสามารถรับประทานข้าวซ้อมมือได้ตามปกติ ในงานวิจัยนี้ได้นำข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวจากนาข้าวโดยตรงมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพล แล้วสีได้เป็นข้าวกล้องซ้อมมือ โดยข้าวเปลือกที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้คือ “ข้าวหอมมะลิแดง” จากจังหวัดนครนายก จำนวน 700 ตัน อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพล ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 150°C เพื่อไล่ความชื้นออกจากเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งหลังจากการอบแห้งข้าวเปลือกมีความชื้นอยู่ที่ 14.9-15.1%wb ภายใน 1 รอบของการอบแห้ง โดยข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นไม่เท่ากัน และนำข้าวที่ได้จากการอบแห้งไปสีให้ได้ข้าวกล้องซ้อมมือ และทดสอบสารอาหารที่มีในข้าวกล้องซ้อมมือ พบว่ามีสารอาหารสูงกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด จากผลการทดสอบให้ผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานรับประทานข้าวกล้องซ้อมมือที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพล พบว่าสามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ นี่จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน นอกจากนี้ ข้าวกล้องซ้อมมือยังมีกลิ่นหอมน่ารับประทาน และที่สำคัญการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพลนั้นยังสามารถลดการใช้พลังงานในการอบแห้งอีกด้วย(P. B. Mustafa Yapha, Nifahmee Hayinilah, 2014a)

มุสตาฟา ยะภา และคณะ การลดความชื้นในข้าวเปลือกเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลาและพลังงานมาก งานวิจัยต่างๆพยายามที่จะพัฒนาการลดความชื้นในข้าวเปลือก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาคุณภาพทางโภชนาการ และสามารถที่จะเก็บข้าวไว้ได้นานเท่าที่จะเป็นไปได้ ข้าวจากกระบวนการอบแห้งที่พัฒนาขึ้นนี้คาดว่าจะทำให้ผู้บริโภคสามารถที่จะเก็บข้าวได้เป็นเวลานาน ปราศจากอันตรายจาก เชื้อรา การอบแห้งแบบนี้ใช้เวลาน้อยในการอบแห้ง คือ 150s ในการอบแห้ง ความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 15.11%wb โดยใช้ข้าวเปลือก 400 ตัน อุณหภูมิในการอบแห้ง 130°C ใช้พลังงาน 3.89 MJ/kg<sub>water evap</sub> และยังทำให้มีข้าวต้นและดัชนีความขาวที่สูง(P. B. Mustafa Yapha, Nifahmee Hayinilah, 2014b)

มุสตาฟา ยะภา และณัฐวุฒิ ดุษฎี ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งโดยอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงให้เคลื่อนที่ในแนวราบและมีลมร้อนไหลตัดขวาง โดยมีกำลังการ

ผลิตอย่างต่อเนื่องขนาด 1 ton/hr ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น 23.75 %wb โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 80-100 °C โดยใช้ความเร็วของอากาศร้อนเฉลี่ย 5 เมตร/วินาที จะทำให้ข้าวเปลือกความชื้นสุดท้าย 15.5 %wb ซึ่งสามารถจัดการสภาพของการเคลื่อนที่ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงในห้องอบแห้งให้มีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ (M. C. Mustafa Yapha, Pracha Bunyawanichakul, 2014)

จากการศึกษาการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเครื่องอบแห้งที่นิยมใช้สำหรับการอบแห้งนั้นเป็นเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด สเปาเต็ดเบด และการพาความร้อนแบบอินฟาเรดโดยใช้ถาดอยู่กับที่ เนื่องมาจากสามารถอบแห้งได้รวดเร็ว และคุณภาพที่ได้หลังจากการอบแห้งก็เป็นที่ยอมรับได้ในระดับอุตสาหกรรม จากการพัฒนาต้นแบบเครื่องอบแห้งมัลติไฟลว์ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกที่ต่อเนื่องในแนวราบโดยมีลมร้อนไหลตัดขวางด้วยการใช้พัดลมดูดอากาศร้อนที่ด้านทางออกของเครื่องและมีการขยับของห้องอบแห้งเป็นจังหวะพบว่าค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ได้หลังการอบแห้งนั้นมีความสม่ำเสมอกว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด สเปาเต็ดเบด และการพาความร้อนแบบอินฟาเรดโดยใช้ถาดอยู่กับที่ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟลว์สามารถประยุกต์ใช้งานสำหรับการอบแห้งวัสดุที่เป็นก้อนได้ ซึ่งรวมถึงหอมแดงที่ตัดแต่งให้เป็นชิ้นที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟลว์ เพื่อใช้ในการอบแห้งหอมแดงเพื่อการรักษาปริมาณสารสำคัญ



### บทที่ 3

## วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการทดสอบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบมัลติโฟลว์ มีอุปกรณ์และส่วนประกอบในหลายๆส่วน ซึ่งมีความซับซ้อนในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของแต่ละเงื่อนไขในการทดลอง จำเป็นต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ในการดำเนินการทดสอบ โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนไว้ดังนี้

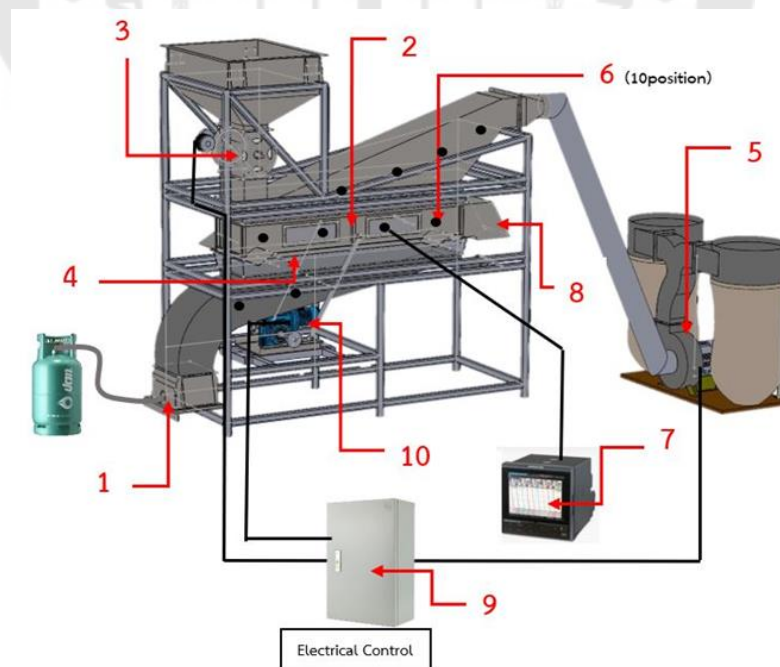
1. ข้อมูลเฉพาะเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์
2. อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง
3. ขั้นตอนการดำเนินงาน
4. การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบ
5. การทดสอบการอบแห้ง
6. การทดสอบหาค่าความชื้น
7. ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาระสำคัญในสารสกัดหอมแดง

#### 3.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องอบแบบมัลติโฟลว์ โดยโครงสร้างของเครื่องอบแห้ง โครงสร้างสร้างจากเหล็กกล่องขนาด  $2 \times 2$  นิ้ว และห้องอบแห้งและส่วนที่สัมผัสหอมแดงสร้างจากสแตนเลส เกรด 304 ห้องอบแห้งมีขนาดพื้นที่ (กว้าง  $\times$  ยาว) เป็น  $0.3 \times 1.5$  เมตร ดังภาพประกอบที่ 10 โดยข้อมูลเฉพาะของเครื่องอบแห้งประกอบด้วยข้อมูลอุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1 และมีส่วนประกอบแจกรายละเอียดดังภาพประกอบที่ 11



ภาพประกอบ 10 เครื่องอบแห้งแบบมัลติโพสิชั่น



ภาพประกอบ 11 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพสิชั่น

### 3.1.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์

1. Heat Source (แหล่งกำเนิดความร้อน)
  - เป็นส่วนของเตา KB5 ทำการเผาแก๊ส LPG เพื่อให้ได้ความร้อน
2. Drying Chamber (ห้องอบแห้ง)
  - เป็นส่วนของห้องอบแห้งที่เป็นทางผ่านของวัสดุเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวล
3. Feed Port (วาล์วควบคุมการป้อนวัสดุ)
  - เป็นส่วนของ Rotary Feed ที่เป็นกลไกในควบคุมการป้อนของวัสดุ
4. Distributer Air Plate (แผ่นกระจายอากาศ)
  - เป็นส่วนของแผ่นกระจายที่มีลักษณะเจาะรูกลม เพื่อให้อากาศร้อนไหลผ่าน
5. Suction Blower (พัดลมดูดอากาศ)
  - เป็นส่วนพัดลมที่ดูดอากาศที่มีความร้อนและความชื้นออกไปทิ้งภายนอก
6. Thermocouple (ตัววัดอุณหภูมิ)
  - เป็นส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งขณะทำการอบแห้ง
7. Data Logger (เครื่องบันทึกอุณหภูมิ)
  - เป็นส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกอุณหภูมิที่เชื่อมต่อกับ Thermocouple
8. Discharge Port (ทางออกวัสดุ)
  - เป็นส่วนของช่องทางออกของวัสดุเมื่อเคลื่อนที่มายังส่วนท้ายของเครื่องอบแห้ง
9. Electrical Control Switch (ตู้ควบคุมไฟฟ้า)
  - เป็นส่วนอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง
10. Drive unit (ชุดขับเคลื่อน)
  - เป็นส่วนมอเตอร์ที่ใช้ในการยกห้องอบแห้ง

ตาราง 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์

ข้อมูลอุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆ
ขนาดเครื่องอบแห้ง (กว้าง x ยาว x สูง)
0.65 x 1.8 x 2.0 เมตร
ขนาดพื้นที่ห้องอบแห้ง (กว้าง x ยาว)
0.3 x 1.5 เมตร หรือ (0.45 m <sup>2</sup> )
ชุดป้อนวัสดุ ประกอบด้วย โรตารีวาล์ว ขนาด 0.25 เมตร มอเตอร์ขับเคลื่อนใช้ ขนาด 24 VDC ขนาด 250W
ชุดปรับอัตราการไหลของอากาศ ประกอบด้วย พัดลมดูดอากาศพร้อมติดตั้งมอเตอร์ ขนาด 2hp 380 VAC ทำงานร่วมกับอินเวอร์เตอร์เพื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์
ชุดสร้างอากาศร้อน ประกอบด้วย หัวเตาเผาแก๊ส LPG แบบ KB5
ชุดวัดอุณหภูมิอากาศร้อนโดยใช้ Thermocouple type K ทำงานร่วมกับชุดอ่านและบันทึกค่าโดย Data Logger ช่องอินพุตสัญญาณ 10ช่องสัญญาณ
ชุดบังคับการเคลื่อนตัวของหมอบแดง หรือ ชุดเขย่าห้องอบแห้ง ประกอบด้วย มอเตอร์กระแสสลับ ขนาด 2 hp, 380 VAC ขับเคลื่อนทำงานร่วมกับ อินเวอร์เตอร์เพื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์

### 3.1.2 ระบบส่งลมร้อน

ระบบส่งลมร้อนประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ชุดกำเนิดความร้อน ( Heat Source) และชุดพัดลมดูดอากาศ ( Suction Blower ) โดยผู้วิจัยเลือกการให้ความร้อนจากการเผา Gas LPG ด้วยหัวเตาแรงดันสูง KB5 ติดตั้งพร้อมถังแก๊ส LPG ขนาด 15Kg ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่สามารถจัดหาได้ง่าย และสามารถสร้างความร้อนได้เพียงพอสำหรับการอบแห้งหมอบแดงตามเงื่อนไขในการทดสอบ



ภาพประกอบ 12 ชุดเตา KB5

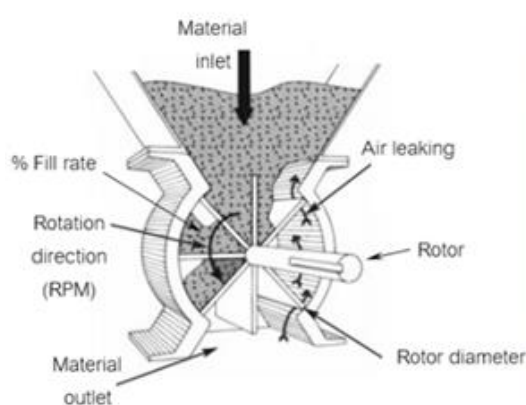
และในส่วนของชุดพัดลมดูดอากาศ ผู้วิจัยได้เลือกใช้พัดลมดูดอากาศขาออกทำงานร่วมกับถุงกรองอากาศเพื่อลดการปล่อยฝุ่นหรือมลพิษสู่อากาศโดยรอบ



ภาพประกอบ 13 ชุดพัดลมดูดอากาศ

### 3.1.3 ระบบขับเคลื่อน

ระบบขับเคลื่อนประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ชุดป้อนวัสดุ และ ชุดยกห้องอบแห้ง โดยชุดป้อนวัสดุผู้วิจัยเลือกใช้อุปกรณ์ป้อนวัสดุ (rotary feed valve) ทำหน้าที่ลำเลียงหอมแดงเข้าสู่ห้องอบแห้ง การทำงานประกอบด้วย โรตารีวาล์ว (rotary valve) และมอเตอร์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง (DC-motor) ซึ่งแกนหมุนจะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงผ่านการส่งถ่ายกำลังการหมุนด้วยมูเลย์ร่วมกับสายพาน



ภาพประกอบ 14 ชุดป้อนวัสดุ (rotary feed valve)

และในส่วนของชุดยกห้องอบแห้ง จะทำหน้าที่บังคับให้ชั้นหอมแดงเคลื่อนที่จากวาล์วทางเข้า เคลื่อนที่ผ่านห้องอบแห้งลงบนแผ่นกระจายกระแสอากาศร้อนตามแนวยาวของห้องอบแห้ง โดยการบังคับให้ส่วนของเครื่องอบแห้งเกิดการเขย่าตัวไปด้วย โดยใช้สปริงแผ่น (plate spring) เป็นระบบรองรับน้ำหนัก ชุดก้านส่งกำลังต่อเข้ากับแกนหมุนที่มีลักษณะเยื้องศูนย์กลาง ที่ต่อกับต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 2 แรงม้า





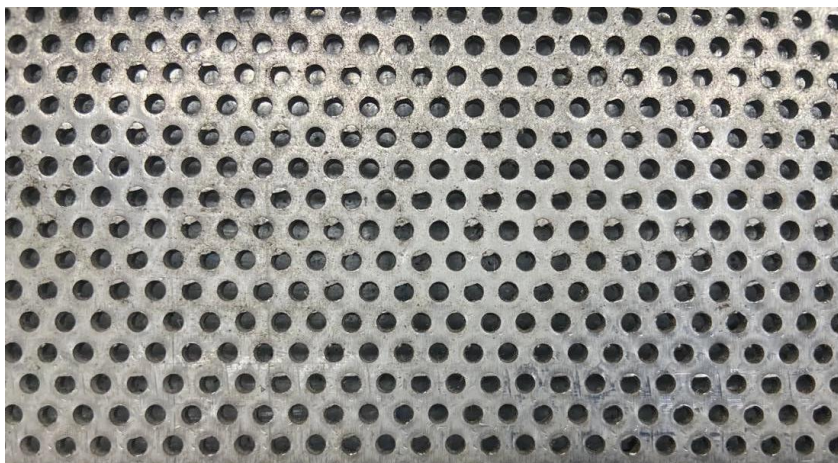
ภาพประกอบ 15 ชุดยกห้องอบแห้ง

#### 3.1.4 ห้องอบแห้ง

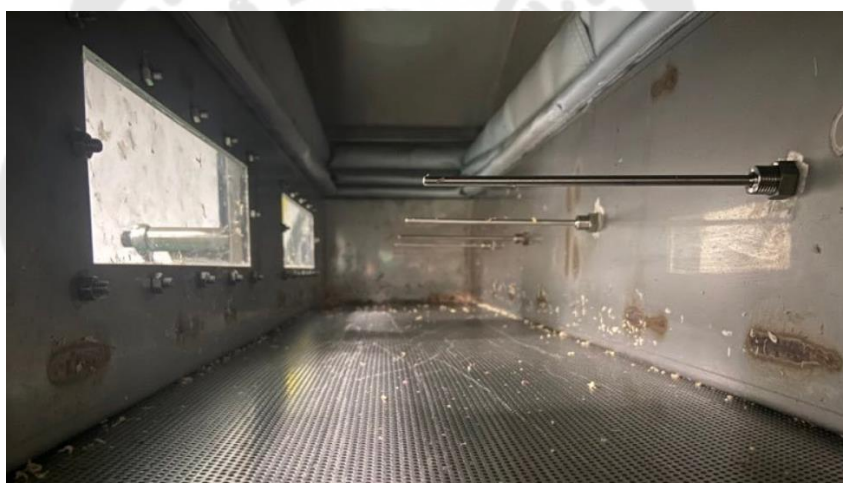
ห้องอบแห้งประกอบไปด้วยทางไหลของวัสดุในห้องอบแห้งดังแสดงในรูปที่ 16 เป็นส่วนประกอบสำคัญที่มีผลต่อการอบแห้งคือมีหน้าที่เป็นตัวกระจายอากาศร้อนส่งผ่านให้วัสดุซึ่งมีลักษณะเป็นตะแกรงพูน ตะแกรงกระจายอากาศในห้องอบแห้ง มีขนาด 300x1500 mm ลักษณะเป็นรูปพูนที่วางตัวเอียงกันทำมุม 60 องศา ขนาดรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm ลักษณะดังรูปที่ 17 ซึ่งใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยจะปล่อยให้ชิ้นหอมแดงไหลอย่างอิสระ และมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลสำหรับการวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเป็นระยะๆ ดังแสดงในรูปที่ 18



ภาพประกอบ 16 ห้องอบแห้ง



ภาพประกอบ 17 แผ่นตะแกรงกระจายอากาศภายในห้องอบแห้ง



ภาพประกอบ 18 ภายในห้องอบแห้ง

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.2.1 เครื่องอบแห้งมัลติไฟลว์

เครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟลว์เป็นการใช้วิธีอบแห้งด้วยการถ่ายเทความร้อนและมวล ความชื้นในห้องอบแห้งบนแผ่นตะแกรงแนวระนาบระหว่างลมร้อนและวัสดุด้วยการนำความร้อน และการพาแบบบังคับ โดยควบคุมความชื้นสุดท้ายของวัสดุด้วยความสูงของชั้นวัสดุ





ภาพประกอบ 19 เครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์พร้อมชุดส่วนประกอบ

### 3.2.2 หอมแดงพันธุ์เชียงใหม่

เป็นหอมแดงพันธุ์ที่มีการปลูกกัน ในท้องที่กลุ่มจังหวัดภาคเหนือ พันธุ์เชียงใหม่ มีเปลือกที่บาง มีลักษณะกลมรี สีส้มอ่อนน กลิ่นไม่ค่อยฉุน ให้รสชาติหวาน หัวจะแบ่งเป็นกลีบชัดเจนตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์



ภาพประกอบ 20 หอมแดงพันธุ์เชียงใหม่

### 3.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์ความชื้น

วิเคราะห์ความชื้นด้วยวิธีการอบแห้ง โดยใช้ตู้อบไฟฟ้า เป็นการหาน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไป แสดงดังรูปที่ 21 เนื่องจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในอาหารได้กลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดหรือที่จุดเดือดของน้ำ วิธีนี้ให้ผลค่อนข้างแน่นอน โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตามมาตรฐานของ Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 1992)



ตู้อบลมร้อน lab companion



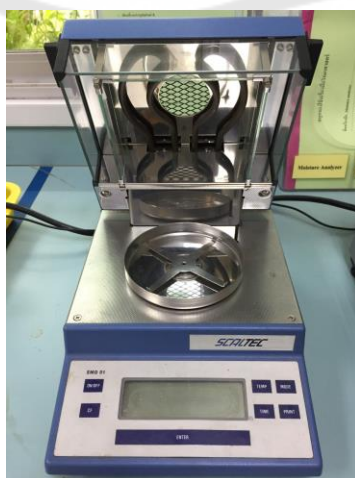
โถดูดความชื้น



เครื่องชั่งน้ำหนัก  
ความละเอียด 0.001 กรัม

### ภาพประกอบ 21 ชุดอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ความชื้น

และทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น วิเคราะห์ความชื้นด้วยวิธีการอบแห้ง โดยใช้แท่งฮีตเตอร์ไฟฟ้าในการให้ความร้อนทำการอบแล้วทำการชั่งน้ำหนักไปในตัว อบจนน้ำหนักไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นการหาน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไป แล้วเครื่องจะคำนวณค่าความชื้นออกมาโดยอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 22 เพื่อเปรียบเทียบกันเพื่อความถูกต้องของข้อมูล



ภาพประกอบ 22 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น

### 3.2.4 เครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้แสง

เครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้แสง Yokogawa Emission Thermometer 530 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิภายในห้องผสมอากาศ (Hot Air Chamber) เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิในห้องอบแห้งและวัดอุณหภูมิของวัสดุหลังจากอบแห้ง



ภาพประกอบ 23 เครื่องวัดอุณหภูมิ Yokogawa Emission Thermometer 530

### 3.2.5 ชุดบันทึกข้อมูลสภาวะการทำงานของอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ (Data Logger)

เครื่องบันทึกข้อมูล GRAPHTEC รุ่น MT100 ใช้สำหรับเก็บค่าอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่ได้ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิไว้ โดยในการทดลองจะบันทึกข้อมูลอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง ทั้งทางเข้า-ออกลมร้อน และห้องอบแห้ง เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์



ภาพประกอบ 24 เครื่องบันทึกข้อมูล GRAPHTEC รุ่น MT100

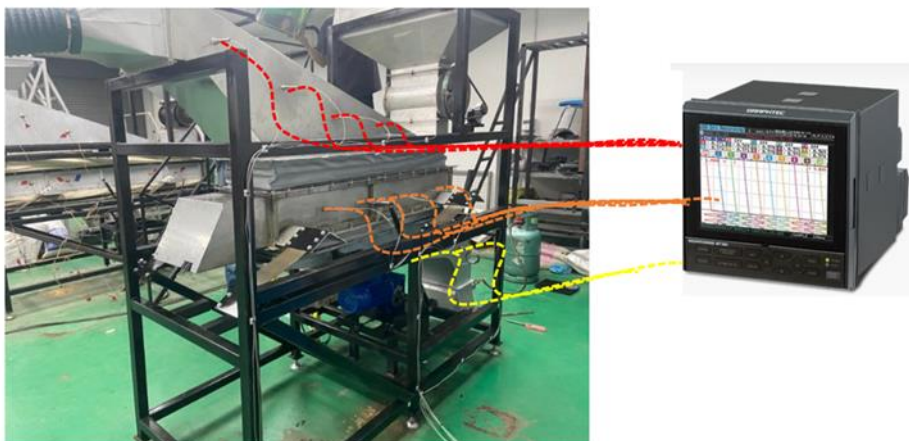
### 3.2.6 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type K ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิภายในห้องผสมอากาศ (Hot Air Chamber)



ภาพประกอบ 25 Thermocouple Type K

ชุดวัดอุณหภูมิอากาศร้อนโดยใช้ Thermocouple type K ทำงานร่วมกับชุดอ่านและบันทึกค่าโดย Data Logger ช่องสัญญาณอินพุต 10 ช่องสัญญาณ



ภาพประกอบ 26 แสดงจุดติดตั้งหัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลแบบเค

รูปที่ 26 แสดงจุดติดตั้งหัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มิคัปเปิลแบบเค ทั้งหมดจำนวน 10 จุด แบ่งออกเป็น 4 จุดบริเวณห้องอบแห้งตามความยาวห้องอบแห้งและอีก 4 จุดบริเวณทางออกของอากาศร้อน และอีก 2 จุดบริเวณห้องผสมอากาศร้อนขาเข้า สายของเทอร์มิคัปเปิลต่อเข้ากับเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger)

### 3.2.7 เครื่องวัดความเร็วลม (Hot-Wire Air Velocity Meter)

เครื่องวัดความเร็วลม (Hot-Wire Air Velocity Meter) Tenmars TM-4001 ใช้สำหรับวัดความเร็วลมของห้องผสมอากาศ และทางออกลม



ภาพประกอบ 27 เครื่องวัดความเร็วลม

### 3.2.8 เครื่องวัดความเร็วรอบ

เครื่องวัดความเร็วรอบยี่ห้อ UNI-T UT373 เครื่องวัดความเร็วรอบแบบเลเซอร์ สามารถใช้วัด จำนวนรอบ count และ RPM ใช้วัดความเร็วรอบของชุดยกห้องอบแห้ง





ภาพประกอบ 28 เครื่องวัดความเร็วรอบ และตำแหน่งวัดความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้ง

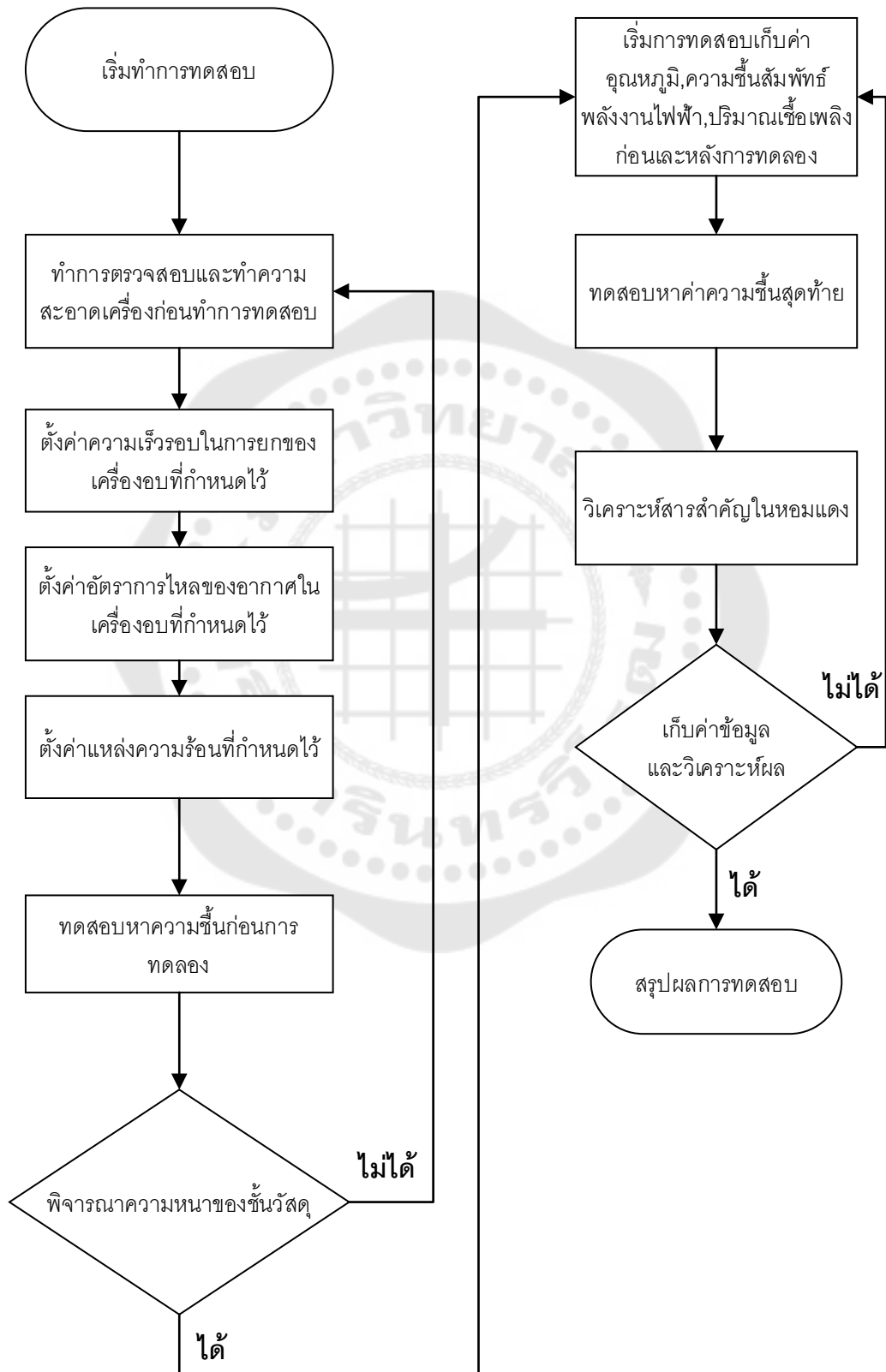
### 3.2.9 อุปกรณ์เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าและน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ไป

เครื่องชั่งน้ำหนัก ดิจิตอล รุ่น T7 ยี่ห้อ YAOHUA (ความละเอียด  $\pm 0.01$ ) ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของแก๊สแอลพีจี ที่ใช้ในการทดลอง และมิเตอร์ไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้า 3 เฟส ใช้สำหรับเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพประกอบ 29 มิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส และเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบการอบแห้ง



### 3.4 การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดลอง

การทดสอบใช้หอมแดงพันธุ์เชียงใหม่ เป็นหอมแดงพันธุ์ที่มีการปลูกกัน ในท้องที่กลุ่มจังหวัดภาคเหนือ พันธุ์เชียงใหม่ มีเปลือกที่บาง มีลักษณะกลมรี สีส้มอ่อนน กลิ่นไม่ค่อยฉุน ให้รสชาติหวาน หัวจะแบ่งเป็นกลีบชัดเจนตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์



ภาพประกอบ 30 หอมแดงพันธุ์เชียงใหม่

เมื่อได้หอมแดงมาจะทำการปอกเปลือกแล้วทำการหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆดังรูปที่ 31 แล้วนำมาผึ่งลมเพื่อลดความชื้นบริเวณผิวของชิ้นหอมแดงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปวัดความชื้นเพื่อเก็บค่าความชื้นของหอมแดงสด ก่อนนำเข้าเครื่องอบแบบมัลติฟลูว์ โดยความชื้นเริ่มต้นของหอมแดงสดจะอยู่ในช่วง 80-85 %wb.



ภาพประกอบ 31 หอมแดงหลังจากทำการปอกเปลือกแล้วทำการหั่นเป็นชิ้นเล็ก



### 3.5 การทดสอบการอบแห้ง

การทดสอบการอบแห้งตามขอบเขตของงานวิจัยมีขั้นตอนในการทดสอบการอบแห้งด้วยการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการทดลองที่กำหนด โดยกำหนดตัวแปรควบคุม, ตัวแปรต้น และตัวแปรตามดังต่อไปนี้

ตัวแปรต้น คือ การปรับตั้งพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ส่วนประกอบ

ตัวแปรตาม คือ ศึกษาผลของปริมาณความชื้นสุดท้าย ศึกษาผลของปริมาณสารเคอซิดินที่อยู่ในหอมแดงที่ได้จากหอมแดงที่ผ่านการอบแห้งด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกันออกไป และการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC)

ตัวแปรควบคุม คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของหอมแดงแห้งขึ้น อยู่ในช่วง 80-85 % (ความชื้นฐานเปียก), อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง 60,70,80 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) และ ความเร็วรอบการยกห้องอบแห้ง 120,130,140 รอบ/นาที และความเร็วลมที่ใช้ 0.30,0.35,0.40  $\text{m}^3/\text{s}$  ในแต่ละรอบการทดสอบใช้หอมแดงสดแห้งขึ้นจำนวน 2 กิโลกรัม

### 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความชื้น

#### 3.6.1 วิธีการวิเคราะห์ความชื้นด้วยวิธี Oven Method

วิเคราะห์ความชื้นด้วยวิธีการอบแห้ง โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตามมาตรฐานของ Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 1992)

#### วิธีการ

1. อบจานที่ใช้หาความชื้น ในตู้อบลมร้อนใช้อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) ประมาณ 30 นาที และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักจาน
2. ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 5 กรัม ใส่จานหาความชื้น
3. นำไปอบในตู้อบลมร้อนใช้อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) อบเป็นเวลาประมาณ 5-6 ชม. ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก
4. ทำการอบซ้ำจนครั้งละ 30 นาที และชั่งน้ำหนักจนกว่าจะได้น้ำหนักที่คงที่

### 3.6.2 วิธีการวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่อง Moisture Analyzer

การวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น เป็นเครื่องสำหรับตรวจวัดปริมาณความชื้น (Moisture Analyzer) ในงานวิจัยซึ่งจำเป็นสำหรับการควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบวัตถุดิบ รวมทั้งผลิตภัณฑ์อาหาร เคมีและเภสัชภัณฑ์ โดยจะทำการวิเคราะห์ความชื้นจะต้องทำการตั้งค่า 2 ตัวแปรคืออุณหภูมิและเวลา โดยการทดสอบหาค่าความชื้นจะตั้งค่าอุณหภูมิที่ 130 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเวลาดังค่าเป็น อัตโนมัติ เครื่องจะหยุดและอ่านผลเมื่อน้ำหนัก SAMPLE ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ขั้นตอนการใช้งานเครื่องวัดความชื้น Moisture Analyzer)

1. เสียบปลั๊ก
2. กดปุ่ม ON/OFF เพื่อเปิดเครื่อง
3. รอจนกระทั่ง ปรากฏเครื่องหมาย TAR แสดงว่าพร้อมจะทำการวัดความชื้น
4. ใส่ DISH เปล่าลงในภาชนะรองรับ กด ENTER
5. เครื่องหมาย TAR จะหายไป เครื่องจะอ่านน้ำหนัก 0.000 กรัม
6. ถ้าเครื่องไม่อ่าน 0.000 กรัม ให้กด CF แล้ว ENTER อีกครั้ง
7. กระจาย SAMPLE บน DISH (sample weight > 1 กรัม)
8. ปิดฝา เครื่องจะเริ่มทำการวัดความชื้น โดยจะปรากฏเครื่องหมาย SSS
9. เครื่องจะอ่านผลเมื่อน้ำหนัก SAMPLE ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
10. กด CF เพื่อทำการวัดความชื้นครั้งต่อไป



ภาพประกอบ 32 ผลการวิเคราะห์ความชื้นของเครื่องวิเคราะห์ความชื้นเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ

### 3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสารสำคัญในสารสกัดหอมแดง

การวิเคราะห์หาปริมาณสารเคอควิซิตินในหอมแดง ทำโดยวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง หรือ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ตรวจวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการทางเภสัชกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรมคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

#### 3.7.1 การเตรียมกราฟสารละลายมาตรฐาน

1. ชั่ง quercetin 10 mg ละลายใน methanol: 0.1% phosphoric acid ในน้ำ อัตราส่วน 1:1 ปริมาตรจนวนครบ 10 ml (100 ไมโครกรัม/ml) เป็นสารละลายตั้งต้น (stock solution)

2. บีบ stock solution 0.5, 1, 2, 3, 4 ml ปริมาตรจนวนครบ 10 ml ใน volumetric flask ได้ สารละลายความเข้มข้น 0.5, 1, 2, 3, 4 µg/ml

3. นำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC คอลัมน์ C18 (4.6 x 250 mm) วัฏภาคเคลื่อนที่เป็นแบบ gradient ดังแสดงในตาราง Flow rate เท่ากับ 0.6 ml/min ฉีดเข้าคอลัมน์ด้วยปริมาตร 60 µl ตรวจวัดด้วย UV detector ที่ 371 nm

ตาราง 2 สัดส่วนวัฏภาคเคลื่อนที่แบบ gradient

Time	Methanol	0.1% phosphoric acid
1	50	50
8	50	50
15	55	45
25	85	15
26	50	50
35	50	50

### 3.7.2 การเตรียมตัวอย่างสารสกัดหอมแดง

1. ชั่งหอมแดงที่ผ่านการอบแห้งปริมาณ 25 กรัม หมักใน 95% ethanol 250 ml เขย่าต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. กรองกากหอมแดงออกด้วยกระดาษกรอง ชนิด cellulose acetate และนำสารละลายที่ได้ไประเหยแห้งด้วย rotary evaporator (BUCHI, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
3. นำสารละลายเข้มข้นของสารสกัดหอมแดงที่ได้ไปทำแห้งต่อด้วย vacuum dryer (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความดัน 10 mbar เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ชั่งสารสกัดหอมแดงที่แห้งแล้วประมาณ 15 mg ละลายใน methanol: 0.1% phosphoric acid ในน้ำ อัตราส่วน 1:1 ปรับปริมาตรจนครบ 5 ml
5. นำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC ตามสภาวะดังกล่าวข้างต้น

### 3.7.3 สภาวะการวิเคราะห์

1. กรอง Mobile Phase ด้วยกระดาษกรองขนาดรูเปิด 0.45 ไมครอน Sonicate ใต้ฟองอากาศ
2. วิเคราะห์สารสกัดด้วยสภาวะ คอลัมน์ และ Mobile Phase ดังแสดงในตารางที่ 3

ตาราง 3 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC

Column	C18 reversed-phase column ( $\varnothing$ 4.6mm $\times$ 250 mm)
Mobile phase	Methanol : 0.01%Phosphoric acid (50:50 v/v)
Flow rate	0.6 mL/min
Detector	UV detector 371 nm
Injection volume	60 $\mu$ l

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยที่ได้จากการทดสอบจากทุกเงื่อนไขและขอบเขตของการทดสอบในการดำเนินการวิจัยทั้งหมด ซึ่งจะแสดงในรูปแบบของกราฟ และตารางชั้นที่ข้อมูล โดยมีการศึกษาจนกระทั่งประเมินผลลัพธ์และประสิทธิภาพของการอบแห้ง และอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

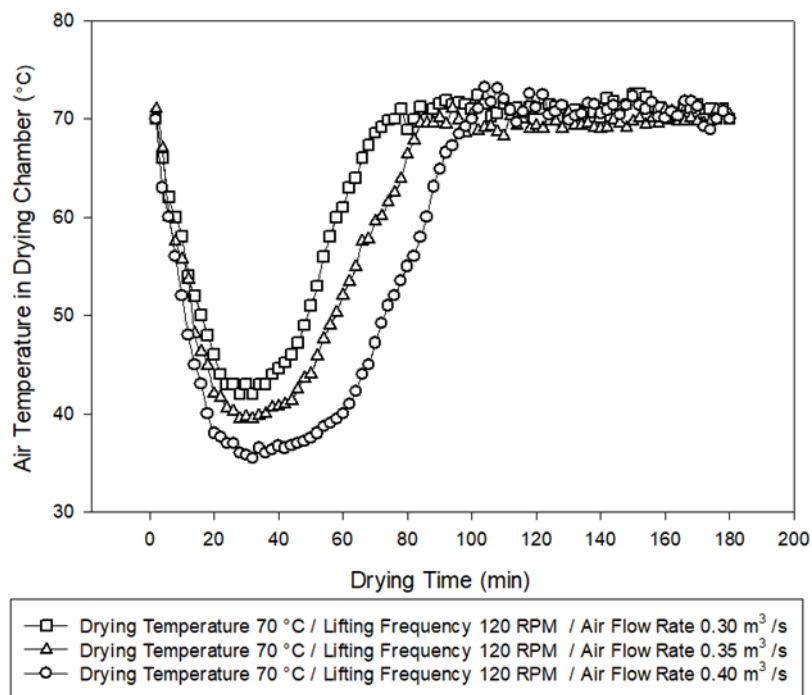
1. ผลการทดสอบการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์ต้นแบบสำหรับหอมแดง
2. ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณสารเคอซิตินของหอมแดงที่ผ่านการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์เทียบกับการอบแห้งแบบดั้งเดิม(Tray Dryer)
3. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเครื่องอบแห้งต้นแบบ

#### 4.1 ผลการทดสอบการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์ต้นแบบ

จากการทดสอบการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์ต้นแบบที่ใช้สำหรับอบแห้งหอมแดง เพื่อทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งหอมแดงและทราบถึงเงื่อนไขสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหอมแดง จากข้อมูลที่ได้รวบรวมเกี่ยวกับการลดปริมาณความชื้นของหอมแดงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ได้มีการวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งของหอมแดง และวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อลักษณะการอบแห้ง ดังนี้

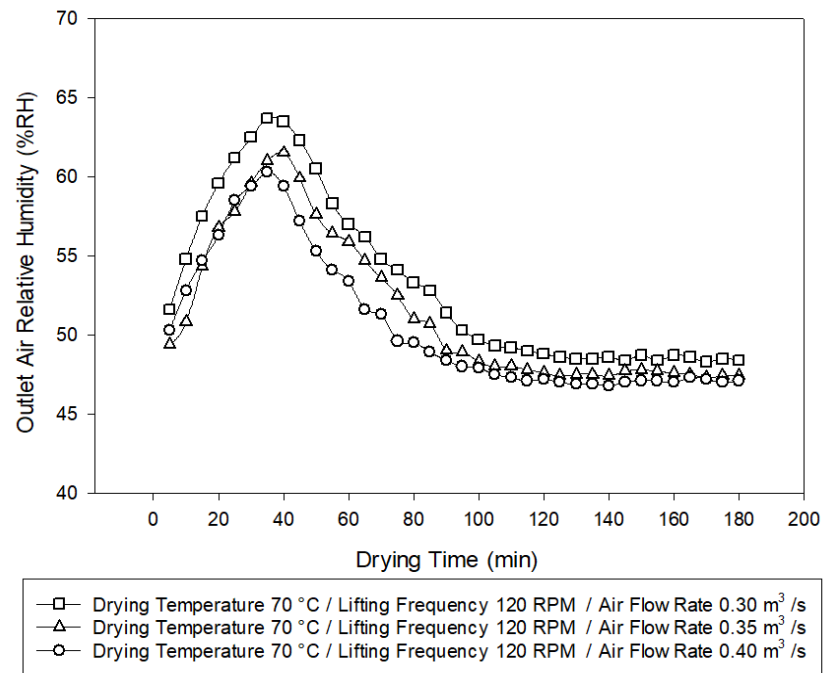
##### 4.1.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ

ในช่วงการทดสอบการอบแห้งมีการบันทึกผลของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเพื่อที่จะพิจารณาและศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในขณะที่ทำการทดลองมีผลดังนี้



ภาพประกอบ 33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนเฉลี่ยที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

ด้านการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง การทดสอบแสดงให้เห็นว่าในช่วงเริ่มต้น 20 นาทีแรก อุณหภูมิของอากาศร้อนลดลงอย่างต่อเนื่องจากนั้นจะลดลงอย่างช้าในช่วง 20-50 นาที และเริ่มเพิ่มสูงขึ้นหลังจาก 60 นาทีขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องจากช่วงแรกหอมแดงที่ถูกป้อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง หอมแดงพอเริ่มเข้าห้องอบแห้งมีอุณหภูมิต่ำจึงดึงความร้อนจากอากาศร้อน จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างหอมแดงกับอากาศร้อน ทำให้อุณหภูมิจากอากาศร้อนภายในห้องอบแห้งมีอุณหภูมิต่ำลงอย่างต่อเนื่อง หอมแดงกับอากาศร้อนเกิดการถ่ายเทความร้อน หอมแดงจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้น้ำที่อยู่ภายในหอมแดงเปลี่ยนสถานะจากน้ำกลายเป็นไอน้ำและระเหยสู่ชั้นผิวของหอมแดง และถ่ายเทไปสู่อากาศร้อน ซึ่งในช่วงท้ายของการอบแห้ง เมื่อความชื้นจะถูกพาออกจากหอมแดงทำให้ความชื้นในหอมแดงเริ่มลดลงอุณหภูมิอากาศร้อนภายในห้องอบแห้งก็จะเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเริ่มเข้าสู่ช่วงการอบแห้งลดลง ปริมาณความชื้นของหอมแดงมีสภาวะสมดุลกับปริมาณความชื้นของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งในที่สุด



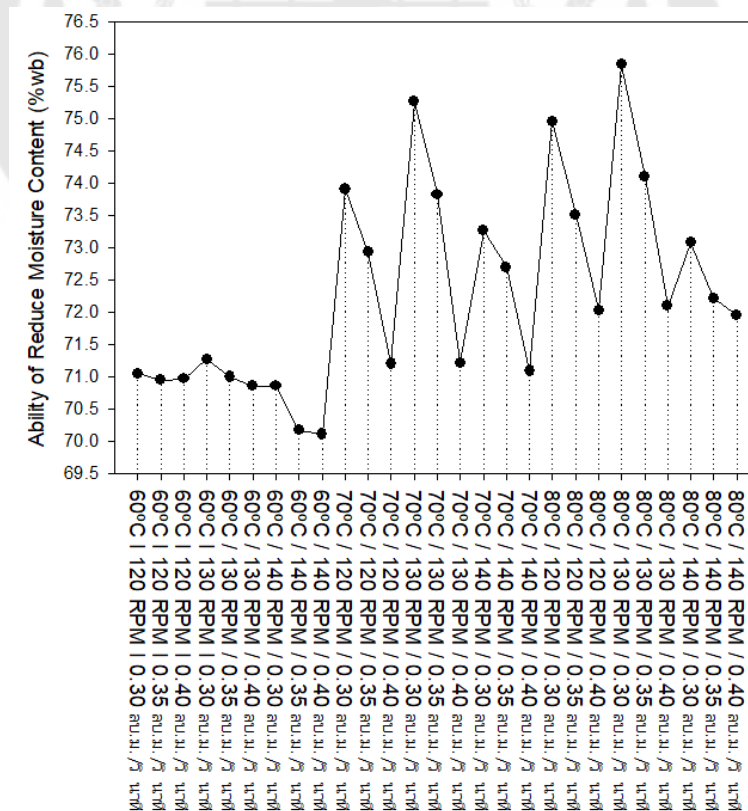
ภาพประกอบ 34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

ด้านการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) บริเวณทางออกของเครื่องอบแห้ง จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าขณะเริ่มทำการทดสอบถึง 40 นาทีแรกนั้น ความชื้นสัมพัทธ์มีการเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจากนั้นก็เริ่มลดลงต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนและมวลของไอน้ำสู่อากาศร้อน แล้วมีการปล่อยอากาศร้อนทิ้งสู่บรรยากาศ เป็นผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าสูงขึ้นดังผลข้างต้น



#### 4.1.2 ความสามารถในการลดความชื้นสุดท้าย

จากกราฟแสดงความสามารถในการลดความชื้นในแต่ละเงื่อนไขการทดลองโดยมีเงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิอากาศร้อนในการอบแห้ง 60, 70 และ 80 °C / ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120 130 และ 140 รอบ/นาที และอัตราการไหลอากาศร้อน 0.30 0.35 และ 0.40 m<sup>3</sup>/s โดยตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นก็คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 60°C สามารถลดความชื้นได้ประมาณ 70-71.5%wb. โดยความชื้นสุดท้ายหลังจากการอบแห้งอยู่ในช่วง 11-12 %wb. ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 °C สามารถลดความชื้นได้ใกล้เคียงกันคือสามารถลดความชื้นได้ประมาณ 71.5-75.5%wb. ความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 8-11 %wb. ส่วนอิทธิพลของความเร็วอากาศร้อนจากกราฟจะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหลอากาศร้อน 0.30 และ 0.35 m<sup>3</sup>/s จะสามารถลดความชื้นได้ดีกว่า 0.40 m<sup>3</sup>/s และความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 130 rpm จะสามารถลดความชื้นได้ดีที่สุดซึ่งจะได้อธิบายในรายละเอียดในลำดับถัดไป



ภาพประกอบ 35 กราฟความสามารถในการลดความชื้นสุดท้ายในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง



ตาราง 4 ปริมาณความชื้นแยกตามแต่ละเงื่อนไขการทดสอบสำหรับการทดสอบการอบแห้ง

Drying Condition			Moisture Content		
Temperature (°C)	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	Lifting frequency (rpm)	Initial Moisture (%wb.)	Final Moisture (%wb.)	Ability of Reduce Moisture (%wb.)
60	0.30	120	83.85	12.80	71.05
		130	82.53	11.26	71.27
		140	83.15	12.29	70.86
	0.35	120	83.47	12.52	70.95
		130	82.45	11.45	71.00
		140	81.43	11.26	70.17
	0.40	120	82.05	11.26	70.79
		130	83.28	12.42	70.86
		140	82.51	12.40	70.11
70	0.30	120	83.95	10.04	73.91
		130	83.52	8.25	75.27
		140	83.16	9.89	73.27
	0.35	120	82.64	9.71	72.93
		130	84.47	10.64	73.83
		140	81.23	8.53	72.70
	0.40	120	82.75	11.55	71.20
		130	83.19	11.97	71.22
		140	83.27	12.18	71.09

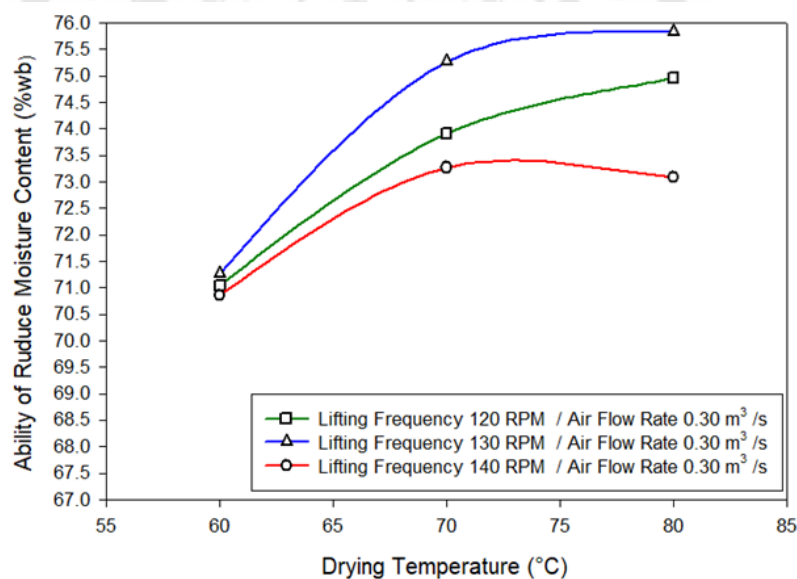
ตาราง 4 (ต่อ)

Drying Condition			Moisture Content		
Temperature (°C)	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	Lifting frequency (rpm)	Initial Moisture (%wb.)	Final Moisture (%wb.)	Ability of Reduce Moisture (%wb.)
80	0.30	120	84.11	9.15	74.96
		130	84.65	8.81	75.84
		140	83.37	10.29	73.08
	0.35	120	83.45	9.94	75.31
		130	84.90	10.80	74.10
		140	82.72	10.50	72.22
	0.40	120	83.34	11.31	72.03
		130	83.56	11.46	72.10
		140	83.54	11.59	71.95

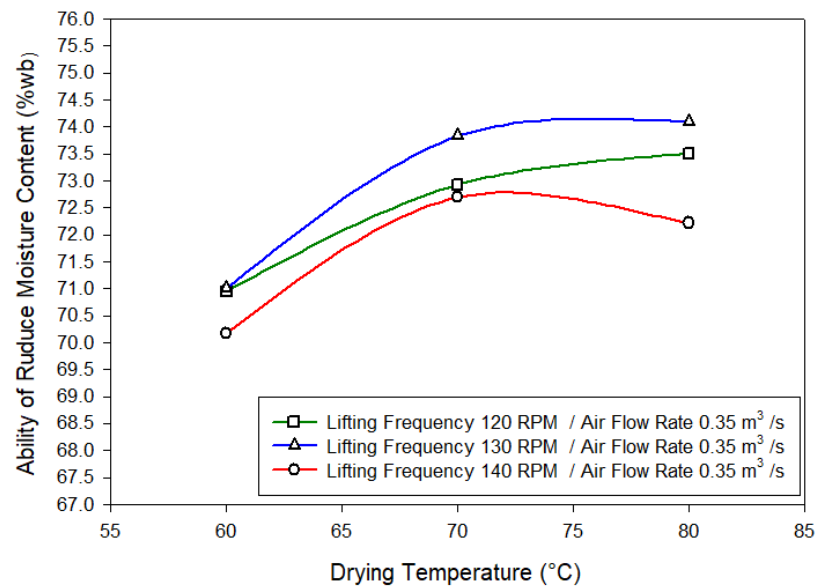
ตาราง 4 แสดงผลของปริมาณความชื้นแยกตามแต่ละเงื่อนไขการทดสอบสำหรับการทดสอบการอบแห้ง หอมแดง 2 กิโลกรัมใช้เวลาในการอบแห้ง 180 นาทีต่อเงื่อนไข จากข้อมูลพบว่าอุณหภูมิ 70 และ 80 °C ลดความชื้นได้ดีกว่า 60°C และอัตราการไหลของอากาศ 0.30 และ 0.35 ลบ.ม. / วินาที และความเร็วรอบที่ 130 rpm ลดความชื้นได้ดีกว่าทุกระดับ ดังนั้นเงื่อนไขการอบแห้งที่ดีที่สุด ที่อุณหภูมิ 80°C และอัตราการไหลของอากาศ 0.30 ลบ.ม. / วินาทีและความเร็วรอบที่ 130 rpm มีความชื้นสุดท้ายที่ 8.81%wb. สามารถลดความชื้นได้ถึง 75.84%wb. ภายใน 180 นาที และ ที่อุณหภูมิ 70°C และอัตราการไหลของอากาศ 0.30 ลบ.ม. / วินาทีและความเร็วรอบที่ 130 rpm มีความชื้นสุดท้ายที่ 8.99 %wb. สามารถลดความชื้นได้ถึง 75.27%wb. ภายใน 180 นาที

#### 4.1.3 อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนมีผลต่อการลดความชื้น

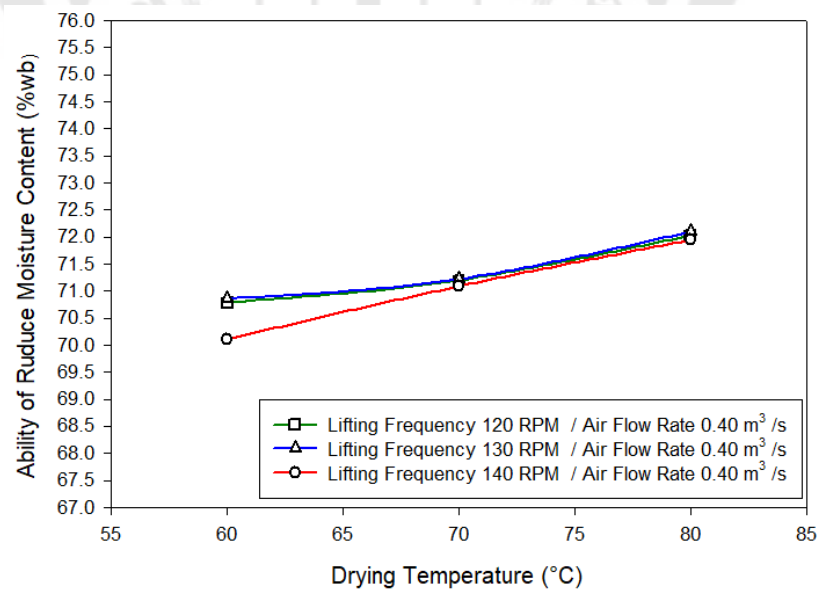
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อนการอบและหลังการอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120, 130, 140 รอบ/นาาที และอัตราการไหลอากาศร้อน 0.30 0.35 และ 0.40  $\text{m}^3/\text{s}$  แสดงในรูปที่ 36 37 และ 38 จากกราฟแสดงให้เห็นผลกระทบจากอุณหภูมิอากาศร้อนที่มีผลต่อความสามารถในการลดความชื้น กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ อัตราการกำจัดความชื้นจะสูงขึ้นส่งผลให้สามารถลดเวลาในการอบแห้งได้ โดยเนื่องจากหอมแดงถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าโดยหลักการของมัสท์โฟลว์ ดังนั้นความชื้นจึงถูกกำจัดออกอย่างต่อเนื่องภายในห้องอบแห้ง จากผลการทดลองพบว่าอัตราการลดความชื้นนั้นแปรผันตรงกับอุณหภูมิ ในทุกๆอัตราการไหลอากาศร้อน 0.30 0.35 และ 0.40  $\text{m}^3/\text{s}$  พบแนวโน้มของความสามารถในการลดความชื้นสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120, 130, 140 รอบ/นาาที และอัตราการไหลอากาศร้อน 0.30  $\text{m}^3/\text{s}$



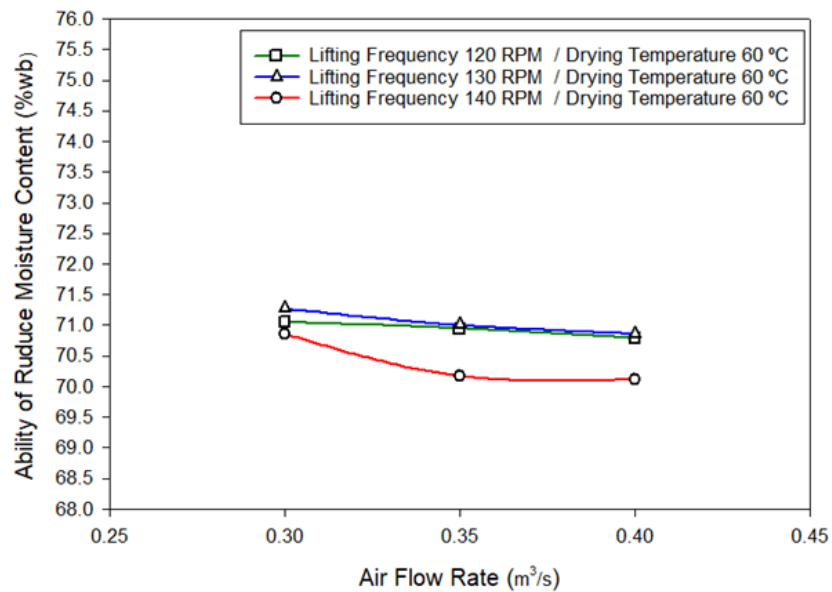
ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับ อุณหภูมิในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120,130,140 รอบ/นาที และอัตราการไหลอากาศร้อน 0.35 m<sup>3</sup>/s



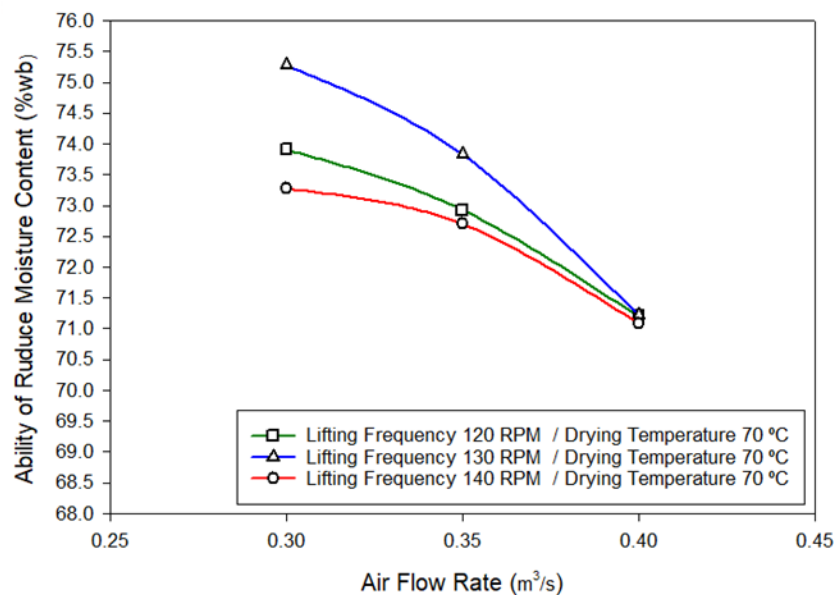
ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับ อุณหภูมิในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120,130,140 รอบ/นาที และอัตราการไหลอากาศร้อน 0.40 m<sup>3</sup>/s

#### 4.1.4 อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อการลดความชื้น

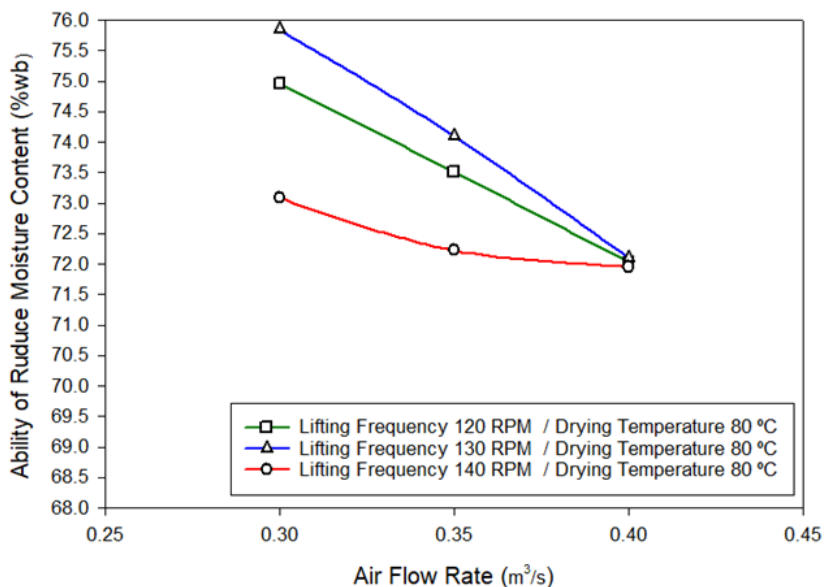
จากกราฟจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อนอบและหลังการอบแห้ง เทียบกับอัตราการไหลของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120 130 และ 140 รอบ/นาที และอุณหภูมิ 60 70 และ 80 °C แสดงในรูปที่ 39 40 และ 41 อัตราการไหลของอากาศมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นอีกตัวแปรที่สำคัญรองจากอุณหภูมิ จากกราฟแสดงให้เห็นผลกระทบจากอัตราการไหลของอากาศร้อนที่มีผลต่อความสามารถในการลดความชื้น โดยที่อุณหภูมิอากาศร้อนเดียวกัน ที่อัตราการไหลอากาศ 0.30 ลบ.ม./วินาที สามารถลดความชื้นได้มากกว่าที่อัตราการไหลอากาศ 0.35 และ 0.40 ลบ.ม./วินาที แต่พบว่าความสามารถในการลดความชื้นลดต่ำลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลอากาศเป็น 0.40 ลบ.ม./วินาที เมื่ออัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น สามารถลดปริมาณความชื้นได้ต่ำลง และเมื่ออัตราการไหลของอากาศมีความเร็วสูงขึ้นไปมากเกินไป อัตราการไหลอากาศที่สูงการไหลของอากาศจะนำพาความร้อนภายในห้องอบแห้งในขณะที่มีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลระหว่างอากาศร้อนกับหอมแดง ส่งผลให้ลดความชื้นได้น้อยลง เนื่องจากหลักการของมัสทิงเฟลด์ คือการใช้อัตราการไหลของอากาศนำพาความร้อนและความชื้นไปยังภายนอกห้องอบแห้งซึ่งเป็นข้อดีทำให้ประหยัดพลังงาน แต่การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศช่วยเร่งผลการระบายความร้อนลดอุณหภูมิที่พื้นผิวของหอมแดง อัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมจากการทดลองพบว่า การอบแห้งหอมแดงที่อัตราการไหลที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.30-0.35 ลบ.ม./วินาที อัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศมีผลอย่างมากต่อการลดความชื้นในการอบแห้ง



ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับอัตราการไหลอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120,130,140 รอบ/นาที และอุณหภูมิ 60 °C



ภาพประกอบ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับอัตราการไหลอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120,130,140 รอบ/นาที และอุณหภูมิ 70 °C



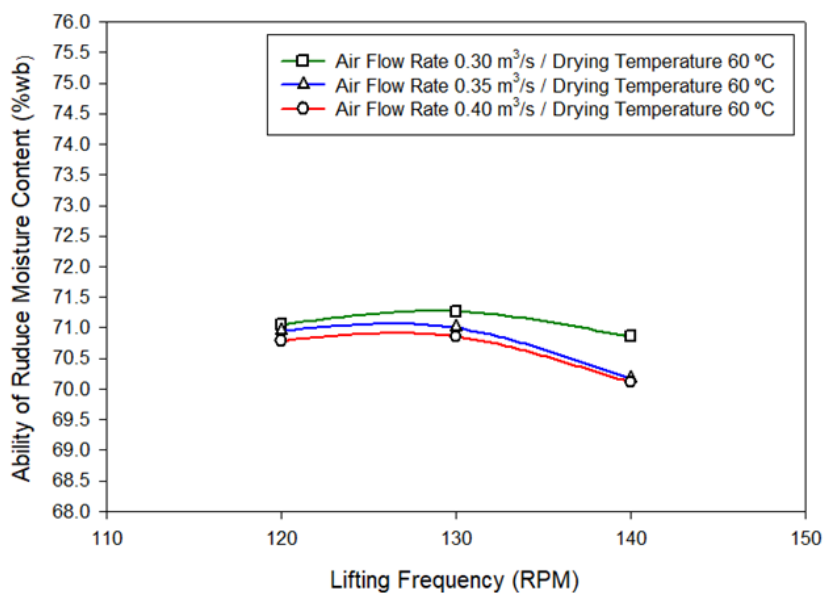
ภาพประกอบ 41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับอัตราการไหลอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120,130,140 รอบ/นาที และอุณหภูมิ 80 °C

#### 4.1.5 อิทธิพลของความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งมีผลต่อการลดความชื้น

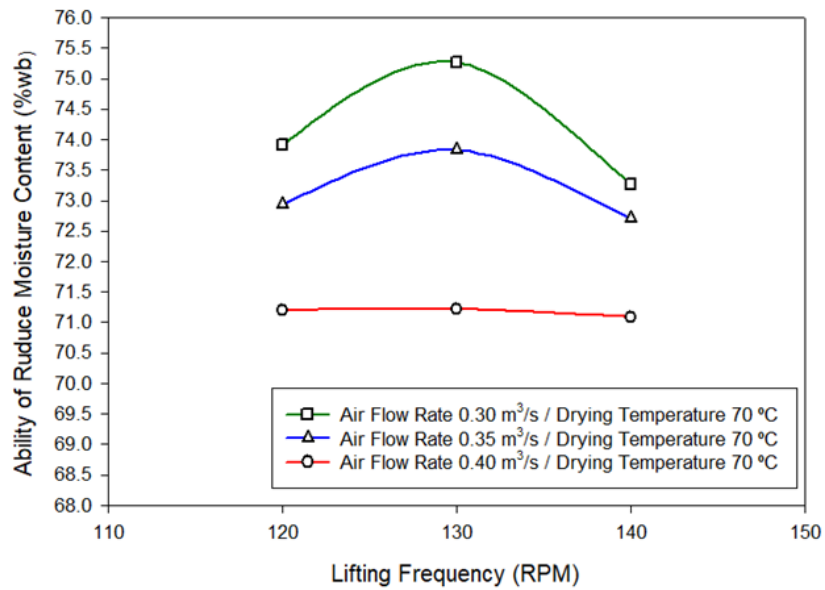
จากกราฟจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่อัตราการไหลอากาศร้อน 0.30 0.35 และ 0.40 ลบ.ม./วินาที แสดงในรูปที่ 42 43 และ 44 การอบแห้งของขึ้นหอมแดงที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่ 120 130 และ 140 rpm ในทุกอุณหภูมิในการอบแห้งจะเห็นได้ว่าที่ ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้ง 130 rpm จะสามารถลดความชื้นได้มากกว่า 120 และ 140 rpm จากกราฟพบว่าความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งยิ่งสูงจะส่งผลให้มีการเคลื่อนที่ของหอมแดงภายในห้องอบแห้งที่เร็วและมีการกระจายตัวที่ดี แต่กรณีที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งสูงเกินไปอาจมีผลให้ระยะเวลาที่หอมแดงเคลื่อนที่ภายในห้องอบแห้งน้อยลงตามไปจึงส่งผลให้ความสามารถในการลดความชื้นน้อยลง เนื่องจากความเร็วรอบมีผลโดยตรงกับระยะเวลาที่หอมแดงเคลื่อนที่ภายในห้องอบแห้ง แต่ถ้าความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งน้อยเกินไปก็จะทำให้หอมแดงเคลื่อนที่ได้ช้าจึงทำให้หอมแดงเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นชั้นหนาทำให้อากาศร้อนนั้นไหลผ่านได้ยากขึ้นส่งผลให้ลดความชื้นได้น้อยลงไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นระดับความเร็วรอบที่เหมาะสมจึงส่งผลต่อลักษณะการ



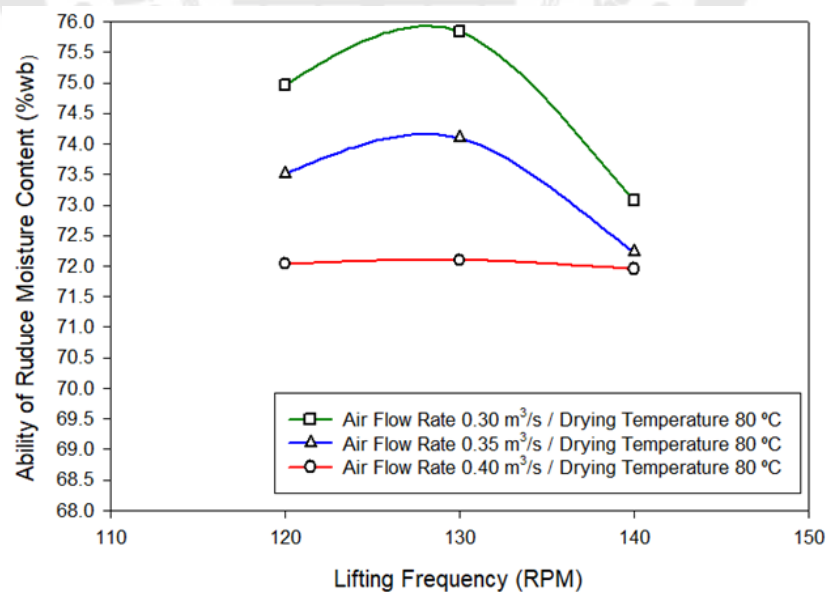
เคลื่อนที่ของหอมแดงภายในห้องอบแห้งจากการทดลองพบว่า การอบแห้งของขึ้นหอมแดงที่ความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่เหมาะสม คือ 130 รอบ/นาที



ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่อัตราการไหลอากาศร้อน 0.30, 0.35, 0.40 ลบ.ม./วินาที และอุณหภูมิ 60 °C



ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่อัตราการไหลอากาศร้อน 0.30,0.35,0.40 ลบ.ม./วินาที และอุณหภูมิ 70 °C



ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นก่อน-หลังการอบแห้งเทียบกับความเร็วรอบในการยกห้องอบแห้งที่อัตราการไหลอากาศร้อน 0.30,0.35,0.40 ลบ.ม./วินาที และอุณหภูมิ 80 °C

#### 4.1.6 อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งซึ่งสามารถคิดได้จากปริมาณน้ำที่ระเหยออก เป็นสัดส่วนต่อระยะเวลาในการอบแห้ง หรืออีกแง่กล่าวคือปริมาณความชื้นต่อระยะเวลาในการอบแห้ง ใช้บ่งบอกความสามารถในการระเหยน้ำเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งถ้าอัตราการอบแห้งมีค่าที่มากแสดงว่า มีการระเหยน้ำได้มากเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง แต่ถ้าอัตราการอบแห้งมีค่าน้อยแสดงว่ามีการระเหยน้ำได้น้อยเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการอบแห้งได้อีกแง่หนึ่ง โดยอัตราการอบแห้งที่ได้จากการทดลองของแต่ละเงื่อนไขโดยใช้เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 5

ตาราง 5 อัตราการอบแห้ง

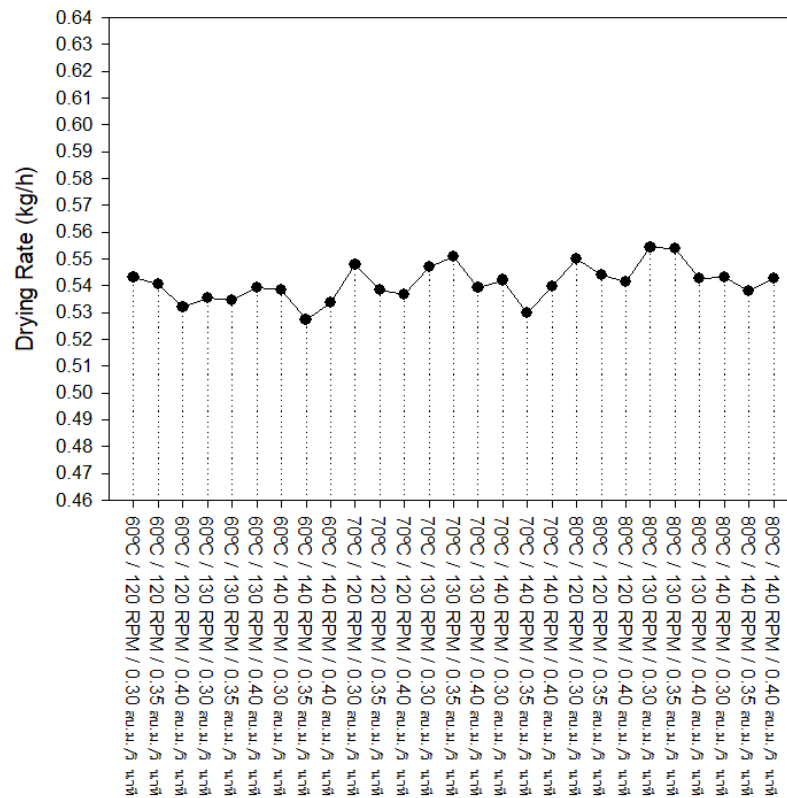
Drying Condition			Drying Rate		
Temperature (°C)	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	Lifting frequency (rpm)	Wi (kg)	Wf (kg)	DR (kg/h)
60	0.30	120	2	0.370	0.543
		130	2	0.393	0.535
		140	2	0.384	0.538
	0.35	120	2	0.377	0.540
		130	2	0.396	0.534
		140	2	0.418	0.527
	0.40	120	2	0.404	0.531
		130	2	0.381	0.539
		140	2	0.399	0.533

ตาราง 5 (ต่อ)

Drying Condition			Drying Rate		
Temperature (°C)	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	Lifting frequency (rpm)	Wi (kg)	Wf (kg)	DR (kg/h)
70	0.30	120	2	0.356	0.547
		130	2	0.359	0.546
		140	2	0.373	0.542
	0.35	120	2	0.384	0.538
		130	2	0.347	0.550
		140	2	0.410	0.529
	0.40	120	2	0.390	0.536
		130	2	0.381	0.539
		140	2	0.381	0.539
80	0.30	120	2	0.349	0.550
		130	2	0.336	0.554
		140	2	0.370	0.543
	0.35	120	2	0.367	0.544
		130	2	0.338	0.553
		140	2	0.386	0.537
	0.40	120	2	0.375	0.541
		130	2	0.371	0.542
		140	2	0.372	0.542

โดยอัตราการอบแห้งที่เครื่องอบแห้งแบบมัสทไฟลอร์ทำได้เฉลี่ยอยู่ที่ 0.54 kg/h มีอัตราการอบแห้งค่อนข้างสูงเนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้น และเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบ

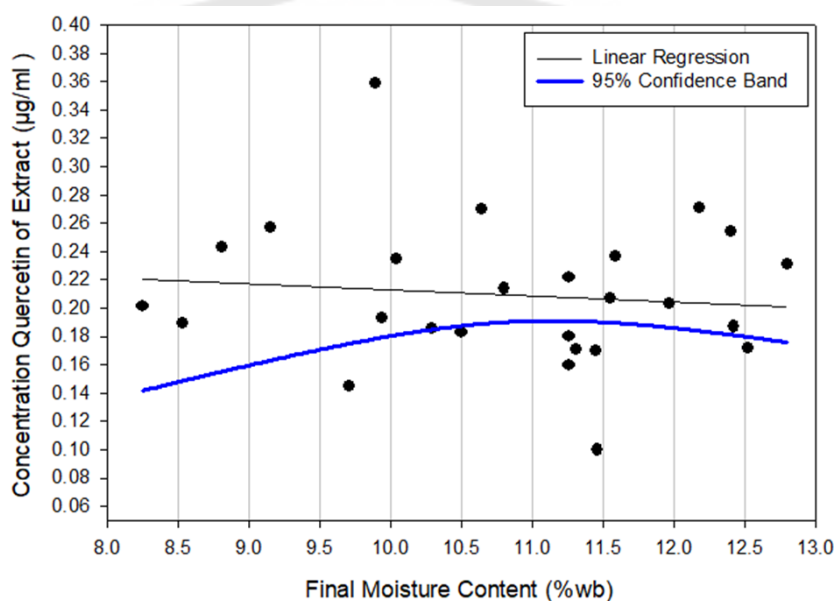
ดั้งเดิมอัตราการอบแห้งจะอยู่ที่ 0.033 kg/h ซึ่งการอบแห้งแบบดั้งเดิมมีอัตราการอบแห้งค่อนข้างที่จะต่ำเนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งที่นาน



ภาพประกอบ 455 ค่าอัตราการอบแห้งของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณสารเคอควิตินของหอมแดงที่ผ่านการอบแห้งระหว่างเครื่องอบแห้งแบบมีสทไฟลว์กับการอบแห้งแบบดั้งเดิม

จากการทดสอบการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมีสทไฟลว์ต้นแบบที่ใช้สำหรับอบแห้งหอมแดง เพื่อทดสอบวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณสารเคอควิตินของหอมแดงที่ผ่านการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งมีสทไฟลว์ (Must Flow Dryer) และหอมแดงที่ผ่านการอบแบบดั้งเดิมที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด (Batch Tray Dryer) จากข้อมูลที่ได้รวบรวมเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปริมาณสารเคอควิตินที่ได้ของหอมแดงด้วยเทคนิควิธี HPLC และวิเคราะห์ผลของสารเคอควิตินที่สกัดได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ที่ส่งผลมาจากคุณลักษณะของการอบแห้ง



ภาพประกอบ 46 ปริมาณเคอควิตินของหอมแดงที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมีสทไฟลว์

จากเส้นกราฟแทนลักษณะของข้อมูลปริมาณเคอควิตินของหอมแดงหลังจากผ่านการอบแห้งเทียบกับความชื้นสุดท้าย พบว่าปริมาณเคอควิตินมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณความชื้นสุดท้ายมีค่าสูงขึ้นกล่าวคือเมื่อหอมแดงยังคงมีความชื้นที่สูงอยู่ก็จะให้ปริมาณเคอควิตินที่น้อย

ตาราง 6 ปริมาณควอร์ซิทินของสารสกัดหอมแดง

Drying Condition			Drying by Must Flow Dryer
Temperature (°C)	Lifting frequency (rpm)	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	Concentration of Quercetin ( µg/ml of crude extract )
60	120	0.30	0.231
		0.35	0.172
		0.40	0.160
	130	0.30	0.180
		0.35	0.170
		0.40	0.187
	140	0.30	0.464
		0.35	0.222
		0.40	0.254
70	120	0.30	0.235
		0.35	0.145
		0.40	0.207
	130	0.30	0.201
		0.35	0.270
		0.40	0.203
	140	0.30	0.359
		0.35	0.189
		0.40	0.271



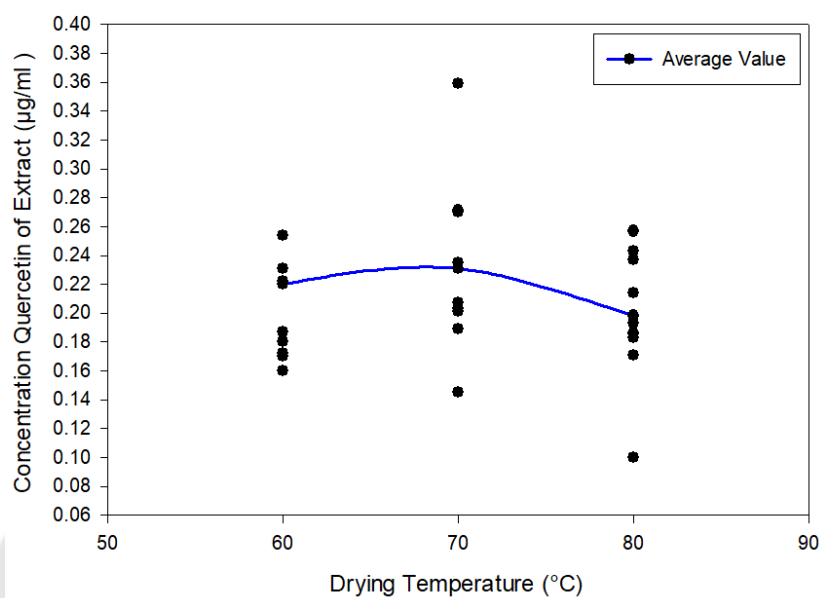
ตาราง 6 (ต่อ)

Drying Condition			Drying by Must Flow Dryer
Temperature (°C)	Lifting frequency (rpm)	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	Concentration of Quercetin ( µg/ml of crude extract )
80	120	0.30	0.257
		0.35	0.193
		0.40	0.171
	130	0.30	0.243
		0.35	0.214
		0.40	0.100
	140	0.30	0.186
		0.35	0.183
		0.40	0.237

การตรวจหาปริมาณของเคอควิซินด้วยเทคนิควิธี HPLC พบว่าเคอควิซินในตัวทำละลายที่สกัดด้วยเมทานอล จากการทดลองปริมาณสารเคอควิซินของหอมแดงที่ผ่านการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งมัสท์โฟลว์ Must Flow Dryer มีทั้งเงื่อนไขที่ให้ค่าปริมาณของเคอควิซินที่มากกว่าและน้อยกว่าสภาวะการอบแห้งแบบดั้งเดิมโดยใช้ Batch Tray Dryer โดยค่าของแต่ละเงื่อนไขแสดงไว้ดังตาราง 6 พบว่าปริมาณของเคอควิซินที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์มีปริมาณของเคอควิซินกระจายตัวอยู่ในช่วง 0.10-0.464 µg/ml ของสารสกัด และเมื่อเทียบกับสภาวะการอบแห้งแบบดั้งเดิมโดยใช้ Batch Tray Dryer ปริมาณของเคอควิซินอยู่ที่ 0.216 µg/ml ของสารสกัด

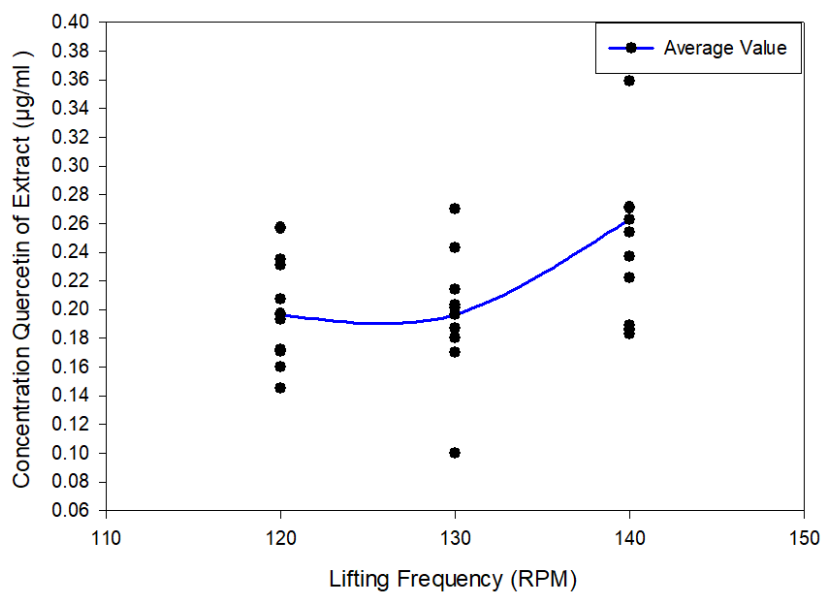
จากตาราง 6 แสดงผลของปริมาณของเคอควิซินแยกตามแต่ละเงื่อนไขการทดสอบสำหรับการทดสอบการอบแห้งหอมแดง จากข้อมูลพบว่าการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งมัสท์โฟลว์ โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 60 °C อัตราการไหลของอากาศ 0.30 ลบ.ม. /วินาที และความเร็วรอบที่ 140 รอบ/นาที เป็นเงื่อนไขที่สามารถรักษาสารเคอควิซินในหอมแดงได้ดีกว่าในทุกะดับ มีปริมาณเคอควิซินสูงสุดที่ 0.464 µg/ml ของสารสกัด เมื่อเทียบกับสภาวะการอบแห้งแบบดั้งเดิม

โดยใช้ Batch Tray Dryer ปริมาณของเคอควิซีนอยู่ที่ 0.216  $\mu\text{g/ml}$  พบว่าการอบด้วยเครื่องอบแบบมัลติฟลูว์สามารถรักษาปริมาณสารเคอควิซีนในหอมแดงไว้ได้มากกว่าการอบแห้งแบบถาดแบบดั้งเดิมได้มากถึง 2.166 เท่าของการอบแบบถาดแบบดั้งเดิม



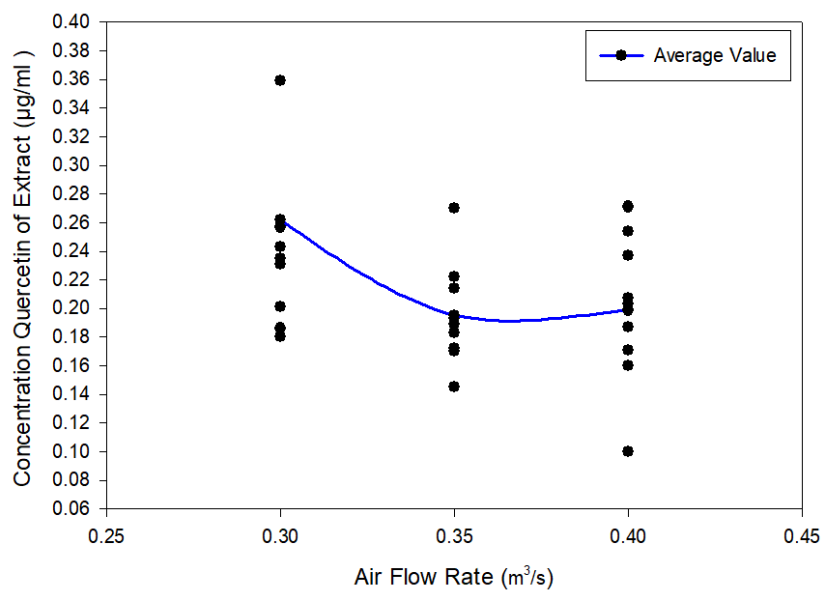
ภาพประกอบ 47 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณสารเคอควิซีน

จากภาพประกอบที่ 47 แสดงให้เห็นถึงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณสารเคอควิซีน กล่าวคือเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงเกินไปก็จะส่งผลให้ปริมาณสารเคอควิซีนลดลงไปด้วย โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์ที่สามารถรักษาปริมาณสารเคอควิซีนไว้ได้ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยแล้วจะอยู่ที่อุณหภูมิเหมาะสมที่จะใช้ในการอบแห้งคือ 60-70 °C มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบ 48 ผลของความเร็รรอบที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณสารเคอควิติน

จากภาพประกอบที่ 48 แสดงให้เห็นถึงผลของความเร็รรอบที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณสารเคอควิติน กล่าวคือเมื่อใช้ความเร็รรอบในการอบแห้งที่สูงจะส่งผลให้ยังคงรักษาปริมาณสารเคอควิตินได้มากขึ้น เนื่องจากความเร็รรอบที่สูงจะทำให้ขึ้นหอมแดงยกตัวด้วยความถี่และรวดเร็วขึ้น โดยไม่ทำให้ตัวขึ้นหอมแดงมีอุณหภูมิที่สูงมากเกินไปซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับปริมาณสารเคอควิติน แต่การใช้ความเร็รรอบที่สูงนั้นจะทำให้ลดความชื้นได้น้อยลง จะแปรผกผันการอบเพื่อรักษาปริมาณสารเคอควิติน โดยความเร็รรอบที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟเบอร์ที่สามารถรักษาปริมาณสารเคอควิตินไว้ได้ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยแล้วจะอยู่ที่ความเร็รรอบที่เหมาะสมที่จะใช้ในการอบแห้งคือ 140 รอบ/นาที



ภาพประกอบ 49 ผลของอัตราการไหลอากาศที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณสารควอซีติน

จากภาพประกอบที่ 49 แสดงให้เห็นถึงผลของอัตราการไหลอากาศที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณสารควอซีติน กล่าวคือเมื่อใช้อัตราการไหลอากาศในการอบแห้งที่ต่ำก็จะส่งผลให้รักษาปริมาณสารควอซีตินได้มากตามไปด้วย และในการใช้อัตราการไหลอากาศที่ต่ำยังเป็นผลโดยตรงทำให้มีความชื้นสุดท้ายที่ต่ำไปด้วย โดยอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์ที่สามารถรักษาปริมาณสารควอซีตินไว้ได้ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยแล้วจะอยู่ที่อัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมที่จะใช้ในการอบแห้งคือ 0.30 ลบ.ม./วินาที

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งต้นแบบที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหอมแดง การอบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)
2. ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเครื่องอบแบบมัลติฟลูว์ต้นแบบ

#### 4.3.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเป็นค่าที่ระบุการใช้พลังงานในการดำเนินการอบแห้งต่อหน่วยการผลิตของกระบวนการ ดัชนีดังกล่าวมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบและเป็นข้อมูลการใช้พลังงานเฉลี่ยในกระบวนการอบแห้ง โดยค่า SEC สูงแสดงถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสำหรับการอบแห้งต่ำ แต่ค่า SEC ต่ำแสดงถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสำหรับการอบแห้งสูง โดยค่า SEC ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 7

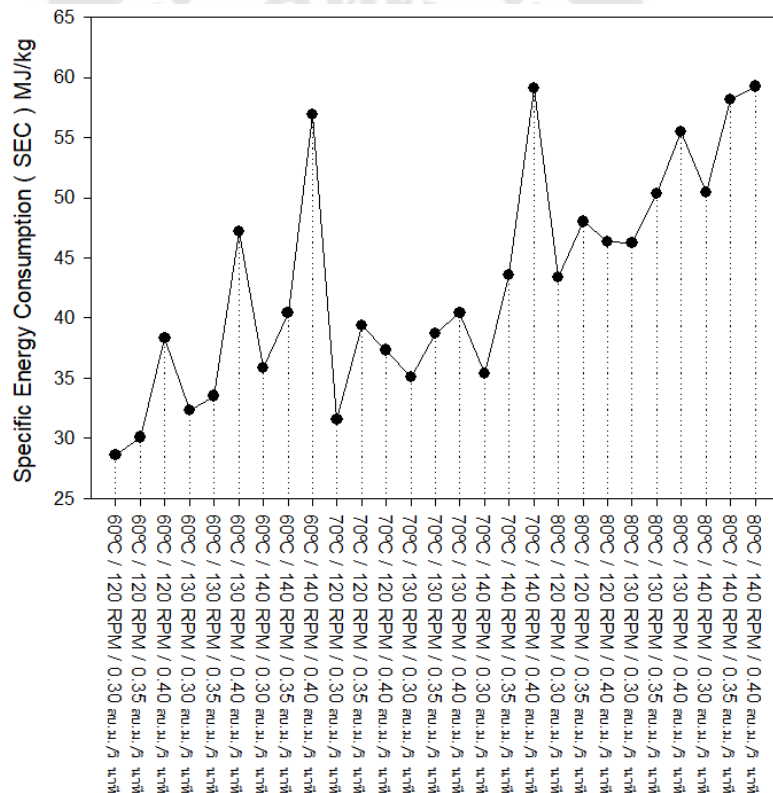
ตาราง 7 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจำเพาะ

Drying Condition			Specific Energy Consumption ( SEC )		
Temperature (°C)	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	Lifting frequency (rpm)	E <sub>Thermal</sub> (MJ)	E <sub>Electric</sub> (MJ)	SEC (MJ/Kg)
60	0.30	120	39.44	7.20	28.62
		130	44.37	7.56	32.32
		140	49.30	8.64	35.85
	0.35	120	39.44	9.36	30.08
		130	44.37	9.36	33.50
		140	54.23	9.72	40.43
	0.40	120	49.30	11.88	38.34
		130	69.09	12.24	47.17
		140	78.88	12.24	56.92

ตาราง 7 (ต่อ)

Drying Condition			Specific Energy Consumption ( SEC )		
Temperature (°C)	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	Lifting frequency (rpm)	E <sub>Thermal</sub> (MJ)	E <sub>Electric</sub> (MJ)	SEC (MJ/Kg)
70	0.30	120	44.37	7.56	31.60
		130	49.30	8.28	35.09
		140	49.30	8.28	35.40
	0.35	120	54.23	9.36	39.36
		130	54.23	9.72	38.70
		140	59.16	10.08	43.55
	0.40	120	49.30	10.80	37.33
		130	54.23	11.16	40.41
		140	83.81	11.88	59.10
80	0.30	120	64.09	7.56	43.41
		130	69.02	7.92	46.25
		140	73.95	8.28	50.47
	0.35	120	69.02	9.36	48.01
		130	73.95	9.72	50.36
		140	83.81	10.08	58.17
	0.40	120	64.09	11.16	46.32
		130	78.88	11.52	55.50
		140	83.81	12.60	59.23

ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านพลังงานที่ใช้โดยในที่นี้พลังงานที่ใช้จะมี 2 ส่วนคือ พลังงานจากการที่ให้ความร้อนกับอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องอบแห้ง เป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่ระเหยไป โดยที่เงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิ 70 °C อัตราการไหลของอากาศ 0.30 ลบ.ม. / วินาที และความเร็วยอบที่ 130 รอบ/นาที เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบจากความสามารถในการลดความชื้น เป็นเงื่อนไขที่ลดความชื้นได้สูง และมีความสามารถในการใช้พลังงานที่ต่ำและสามารถระเหยน้ำได้มากมีค่า SEC ที่อยู่ที่ 35.09 MJ/Kg และ ที่จากเงื่อนไขโดยรวมทั้งหมดมีค่า SEC ที่สูงสุดอยู่ที่ 59.23 MJ/Kg และมีค่า SEC ต่ำสุดอยู่ที่ 28.62 MJ/Kg เมื่อวิเคราะห์จากค่า SEC แล้วพบว่าเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์ ใช้พลังงานค่อนข้างต่ำและใช้เวลาในการอบแห้งไม่นานเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบดั้งเดิม



ภาพประกอบ 50 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง



#### 4.3.2 ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Value Analysis)

จากงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์จากการอบแห้งในรูปปริมาณพลังงานทั้งทางด้านพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้า คำนวณต้นทุนพลังงาน ทำการเปรียบเทียบราคาจำหน่ายของผลผลิต รวมถึงความคุ้มค่าและผลกำไรที่ได้ จากการอบแห้งหอมแดง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟลอร์ดต้นแบบ

ตาราง 8 ประมาณการต้นทุนด้านพลังงาน ราคาจำหน่าย ความคุ้มค่าและผลกำไรภายหลังการอบแห้ง

Drying Condition			Drying Cost / Kg dry shallot						Total Cost (THB)	Selling Price / Kg (THB)	Profit (THB)
Temp (°C)	Lifting frequency (rpm)	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	E <sub>Thermal</sub> Gas LPG (Kg)	THB	E <sub>Electric</sub> (KWh)	THB	Total Energy Cost (THB)	Fresh Shallot Cost (THB)			
60	0.30	120	2.5	60.50	6.3	25.00	85.50	234.38	319.88	700	380.13
		130	2.8	68.06	6.6	26.25	94.31	234.38	328.69	700	371.31
		140	3.1	75.63	7.5	30.00	105.63	234.38	340.00	700	360.00
	0.35	120	2.5	60.50	8.1	32.50	93.00	234.38	327.38	700	372.63
		130	2.8	68.06	8.1	32.50	100.56	234.38	334.94	700	365.06
		140	3.4	83.19	8.4	33.75	116.94	234.38	351.31	700	348.69
	0.40	120	3.1	75.63	10.3	41.25	116.88	234.38	351.25	700	348.75
		130	4.1	98.31	10.6	42.50	140.81	234.38	375.19	700	324.81
		140	5.0	121.00	10.6	42.50	163.50	234.38	397.88	700	302.13
70	0.30	120	2.8	68.06	6.6	26.25	94.31	234.38	328.69	700	371.31
		130	3.1	75.63	7.2	28.75	104.38	234.38	338.75	700	361.25
		140	3.1	75.63	7.8	31.25	106.88	234.38	341.25	700	358.75
	0.35	120	3.4	83.19	8.1	32.50	115.69	234.38	350.06	700	349.94
		130	3.4	83.19	8.4	33.75	116.94	234.38	351.31	700	348.69
		140	3.8	90.75	8.7	35.00	125.75	234.38	360.13	700	339.88
	0.40	120	3.1	75.63	9.4	37.50	113.13	234.38	347.50	700	352.50
		130	3.4	83.19	9.7	38.75	121.94	234.38	356.31	700	343.69
		140	5.3	128.56	10.3	41.25	169.81	234.38	404.19	700	295.81

ตาราง 8 (ต่อ)

Drying Condition			Drying Cost / Kg dry shallot						Total Cost (THB)	Selling Price / Kg (THB)	Profit (THB)
Temp (°C)	Lifting frequency (rpm)	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	E <sub>Thermal</sub> Gas LPG (Kg)	THB	E <sub>Electric</sub> (KWh)	THB	Total Energy Cost (THB)	Fresh Shallot Cost (THB)			
80	0.30	120	4.1	98.31	6.6	26.25	124.56	234.38	358.94	700	341.06
		130	4.4	105.88	6.9	27.50	133.38	234.38	367.75	700	332.25
		140	4.7	113.44	7.2	28.75	142.19	234.38	376.56	700	323.44
	0.35	120	4.4	105.88	8.1	32.50	138.38	234.38	372.75	700	327.25
		130	4.7	113.44	8.4	33.75	147.19	234.38	381.56	700	318.44
		140	5.3	128.56	8.7	35.00	163.56	234.38	397.94	700	302.06
	0.40	120	4.1	98.31	9.7	38.75	137.06	234.38	371.44	700	328.56
		130	5.0	121.00	10.0	40.00	161.00	234.38	395.38	700	304.63
		140	5.3	128.56	10.9	43.75	172.31	234.38	406.69	700	293.31

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบการประเมินราคาจำหน่าย จากผลของการอบแห้งเมื่อนำหอมแดงสด มาลดความชื้นหรือนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแล้วมีความชื้นสุดท้ายลดลง และยังส่งผลให้น้ำหนักหลังการอบแห้งลดลงไปด้วย เช่น หอมแดงสด 1000 กรัม มีความชื้นเริ่มต้นเป็น 82 %wb (ความชื้นฐานเปียก)ราคาจำหน่ายกิโลกรัมละ 20-25 บาท/กิโลกรัม ภายหลังจากอบแห้งความชื้นลดลงเหลือ 10-12 %wb ที่ความชื้นระดับนี้น้ำหนักลดลงเหลือ 150 กรัม ทำให้ราคาจำหน่ายสูงขึ้นเป็น 700 บาท/กิโลกรัม ดังแสดงช่องราคาจำหน่าย จากผลการศึกษาเมื่อพิจารณาน้ำหนักที่ลดลงแล้ว ราคาขายหลังจากการอบแห้งมีความแตกต่างกันเมื่อเทียบกับต้นทุนรวมไม่มากนักโดยที่เงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 70 °C อัตราการไหลของอากาศ 0.30ลบ.ม. / วินาที และความเร็วรอบที่ 130 rpm มีกำไรอยู่ที่ประมาณ 361.25 บาท/กิโลกรัมของหอมแดงแห้ง โดยงานวิจัยนี้มีต้นทุนด้านพลังงานความร้อนจากราคาขายก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum gas, LPG) ตามกรมการค้าภายใน แจ้งราคาจำหน่ายตามที่กระทรวงพลังงานกำหนด โดยมีราคาประมาณ 24.2 บาท / 1กิโลกรัม และต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าประมาณ 4 บาท / kWh หรือ 1หน่วยไฟฟ้า จากข้อมูลพบว่าปัจจัยที่ทำให้ต้นทุนในการอบแห้งสูงมาจากต้นทุนด้านพลังงานความร้อน โดยผู้วิจัยคิดว่าจะสามารถลดต้นทุนในการอบแห้งได้จากต้นทุนด้านพลังงานความร้อนที่มีค่าสูงจากการเลือกใช้พลังงานความร้อนทางเลือกอื่น อาทิเช่น

พลังงานความร้อนจากชีวมวล จะทำให้ต้นทุนการอบแห้งต่ำลง และยังเป็นผลพลอยได้ทางอ้อมคือ ลดการปนเปื้อนจากการเผาก๊าซปิโตรเลียมเหลวในการให้ความร้อนในกระบวนการอบแห้ง

#### 4.3.3 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break Even Point : BEP)

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องอบแห้งแบบมัลติโพลีวัตต์แบบสำหรับการอบแห้งหอมแดงโดยจะคิดอย่างง่ายจาก ระยะเวลาในการคืนทุน คือ ราคาของเครื่องอบแห้ง หหารด้วย รายได้-ต้นทุน (กำไร) โดยจะคิดจากเงื่อนไขที่เหมาะสมกับการอบแห้งหอมแดงที่ อุณหภูมิอากาศร้อน 70 °C อัตราการไหลของอากาศ 0.30 ลบ.ม. / วินาที และความเร็วรอบที่ 130 rpm

##### 1. รายได้ / เดือน

- 1 วันสามารถอบแห้งได้ 1.2 กิโลกรัม(หอมแดงแห้ง)
  - 1 เดือนสามารถอบแห้งได้  $1.2 \times 30 = 36$  กิโลกรัม(หอมแดงแห้ง)
  - รายได้/เดือน จะคิดจาก กำลังการผลิต  $\times$  ราคาขายต่อหน่วย
- เพราะฉะนั้น รายได้/เดือน =  $36 \times 700 = 25,200$  บาท/เดือน

##### 2. ต้นทุน / เดือน

- ต้นทุนด้านการอบแห้ง / 1kg(หอมแดงแห้ง) = 338.75 บาท
- ต้นทุนด้านการอบแห้ง / 36kg(หอมแดงแห้ง) =  $338.75 \times 36 = 12,195$  บาท
- ต้นทุนด้านแรงงาน 1คน 300 บาท/วัน =  $300 \times 30 = 9,000$  บาท/เดือน
- รวมต้นทุน / เดือน =  $12,195 + 9,000 = 21,195$  บาท/เดือน

##### 3. ระยะเวลาคืนทุน

- ราคาเครื่องอบแห้งหารกับ(รายได้-ต้นทุน) =  $200,000 / (25,200 - 21,195)$
- ระยะเวลาคืนทุนจะเท่ากับ 49.9 เดือน หรือ 4 ปี 2 เดือน

สรุปได้โดยรวมก็คือ การอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพลีวัตต์แบบจะมี รายได้ต่อเดือนอยู่ที่ 25,200 บาท/เดือน และมีต้นทุนด้านการอบแห้งและแรงงานอยู่ที่ 21,195 บาท/เดือน โดยจะมีกำไรจากการอบแห้งต่อเดือนอยู่ที่ 4,005 บาท จากผลกำไรจะเห็นได้ว่ามีกำไรค่อนข้างต่ำอันเนื่องมาจากกำลังการผลิตที่ค่อนข้างต่ำเพราะยังคงเป็นเครื่องต้นแบบอยู่และ ต้นทุนด้านพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งที่สูง โดยมีต้นทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพลีวัตต์อยู่ที่ 200,000 บาท พบว่าระยะเวลาที่จะคืนทุนอยู่ที่ 49.9 เดือน หรือ 4 ปี 2 เดือน เพื่อเป็นข้อมูล สำหรับผู้ที่สนใจต่อไป

## บทที่ 5

### สรุปผล

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. สภาพะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแบบมัสท์โฟลว์ที่เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศร้อน 60-70 °C อัตราการไหลของอากาศ 0.30ลบ.ม. / วินาที และความเร็วรอบที่ 130 rpm โดยพิจารณาจากค่าความชื้นสุดท้าย 8.25-10.04 %wb และความสามารถในการลดความชื้นได้มากถึง 73.91 - 75.27 %wb

2. สภาพะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแบบมัสท์โฟลว์ ที่เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศร้อน 60 °C และ 70 °C อัตราการไหลของอากาศ 0.30ลบ.ม. / วินาที และความเร็วรอบที่ 140 rpm ที่สามารถรักษาสารเคอชิตินในหอมแดงอบแห้งสูงสุดที่ 0.359 - 0.464 µg/ml ของสารสกัด เป็นเงื่อนไขการอบแห้งที่สามารถรักษาสารสำคัญไว้ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสภาพการอบแห้งแบบดั้งเดิมโดยใช้ Batch Tray Dryer ปริมาณของเคอชิตินอยู่ที่ 0.216 µg/ml ของสารสกัด พบว่าการอบด้วยเครื่องอบแบบมัสท์โฟลว์สามารถรักษาปริมาณสารเคอชิตินในหอมแดงไว้ได้มากกว่าการอบแห้งแบบถาดแบบดั้งเดิมได้มากถึง 2.166 เท่าของการอบแบบถาดแบบดั้งเดิม

3. อัตราการอบแห้งเป็นอีกค่าหนึ่งที่ยังขึ้นถึงประสิทธิภาพของการอบแห้ง ใช้บอกความสามารถในการระเหยน้ำเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยอัตราการอบแห้งที่เครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์ทำได้เฉลี่ยอยู่ที่ 0.54 kg/h มีอัตราการอบแห้งค่อนข้างสูงเนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้น และเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบดั้งเดิมอัตราการอบแห้งจะอยู่ที่ 0.033 kg/h ซึ่งการอบแห้งแบบดั้งเดิมมีอัตราการอบแห้งค่อนข้างที่จะต่ำเนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งที่นานกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์

4. คุณลักษณะของการอบแห้งมีผลโดยตรงกับการอบแห้งไม่ว่าจะเป็นในส่วนของคุณภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลกับการเปลี่ยนแปลงของสารเคอชิตินไปเป็นสารอื่นขณะการอบแห้ง ความเร็วลมมีผลโดยตรงอย่างมากต่อการลดความชื้น โดยถ้าความชื้นสูงปริมาณของสารเคอชิตินก็จะมีแนวโน้มที่น้อยลง และความเร็วรอบมีผลกับการจัดเรียงตัวของหอมแดงภายในห้องอบแห้ง การจัดเรียงตัวที่มีการกระจายตัวที่เหมาะสมจะไม่ทำให้หอมแดงเกาะตัวกันทำให้คุณภูมิของหอมแดงขณะทำการอบแห้งมีคุณภูมิที่สูงจนเกินไปจะส่งผลให้สารเคอชิตินนั้นมีค่าต่ำลงเช่นเดียวกับในส่วนของคุณภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

5. การใช้พลังงานและเวลาในการอบแห้งที่ต่ำกว่าการอบแห้งแบบดั้งเดิม โดยวิเคราะห์จากการใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องอบแบบมัลติโฟลว์ โดยเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหอมแดงโดยพิจารณาจากความสามารถในการลดความชื้นเป็นหลัก จะมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะอยู่ที่ 32.32 - 35.09 MJ/Kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง โดยการอบแห้งแบบดั้งเดิมจะมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะอยู่ที่ 160 MJ/Kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 48 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะสูงกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบมัลติโฟลว์มากถึง 4.5 เท่า และยังใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าอีกด้วย

6. ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์จากการอบแห้งหอมแดง โดยพิจารณาจากปริมาณพลังงานทั้งทางด้านพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้า คำนวณต้นทุนด้านพลังงาน ทำการเปรียบเทียบราคาจำหน่ายของผลผลิต ที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสม เมื่อเทียบน้ำหนักหลังอบแห้งได้หอมแดงแห้ง 1kg ใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซ LPG 2.8-3.1kg และใช้พลังงานไฟฟ้า 6.6-7.2kWh คิดเป็นราคาด้านพลังงาน พลังงานความร้อนจากก๊าซLPG 68.06-75.63 บาทและใช้พลังงานไฟฟ้า 26.25-28.75 บาท จากการอบแห้งหอมแดงพบว่าปัจจัยที่ทำให้ต้นทุนในการอบแห้งสูงมาจากต้นทุนด้านพลังงานความร้อน และส่งผลให้ความคุ้มค่าและผลกำไรที่ได้ค่อนข้างต่ำ โดยถ้าสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานความร้อนที่มีค่าสูงจากการเลือกใช้พลังงานความร้อนทางเลือกอื่น ก็จะสามารถลดต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นหอมแดงสด เมื่อผ่านการหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนั้น หอมแดงจะมีน้ำเกาะบริเวณผิวของหอมแดงค่อนข้างมากเมื่อนำไปใส่ลงในห้องอบแห้งจะทำให้หอมแดงเกาะติดบนตะแกรงภายในห้องอบแห้ง จึงควรที่จะทำการการลดความชื้นในวัตถุดิบก่อนอบแห้ง(Pre-drying) ในการอบแห้งไล่ความชื้นนั้นจะสามารถอบมาลดความชื้น ก่อนเข้าเครื่องอบ เช่นการผึ่งไว้ภายนอกแทนที่จะนำวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเข้าเครื่องอบโดยทันทีหรือการนำลมร้อนเหลือจากกระบวนการผลิตมาทำการลดความชื้นส่วนหนึ่งก่อน (Pre-drying)และยังสามารถลดภาระของเครื่องอบแห้งได้อีกด้วย

2. การทดลองยังต้องปรับปรุงในส่วน of แหล่งความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง การปรับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อให้การตั้งค่าอุณหภูมิละเอียดและคงที่มากยิ่งขึ้น และต้องคำนึงถึง การสูญเสียความร้อนในระบบ ที่ผนังของเครื่องอบแห้งจึงต้องทำการหุ้มฉนวนเพื่อทำให้มีการสูญเสียความร้อนที่น้อยลงและจะส่งผลให้การใช้พลังงานลดลงไปได้อีกด้วย

3. การทดลองยังต้องปรับปรุงระบบป้อนวัตถุดิบ ให้เป็นระบบอัตโนมัติเพราะจะต้องมีการวนเข้าและออกของวัตถุดิบเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการ เพื่อลดการดำเนินการของคน

4. การใช้พลังงานเครื่องอบแบบมัลติไฟลิวใช้พลังงานจากพลังงานความร้อนจากการเผา ก๊าซLPGและพลังงานไฟฟ้าใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่องอบแห้ง จากข้อมูลพบว่าปัจจัยที่ทำให้ต้นทุนในการอบแห้งสูงมาจากต้นทุนด้านพลังงานความร้อน โดยผู้วิจัยคิดว่าจะสามารถลดต้นทุนในการอบแห้งได้จากต้นทุนด้านพลังงานความร้อนที่มีค่าสูงจากการเลือกใช้พลังงานความร้อน ทางเลือกอื่น อาทิเช่น พลังงานความร้อนจากชีวมวล จะทำให้ต้นทุนการอบแห้งต่ำลง และยังเป็น ผลพลอยได้ทางอ้อมคือลดการปนเปื้อนจากการเผา ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในการให้ความร้อนใน กระบวนการอบแห้ง

นอกจากนี้ขอบเขตของงานวิจัยนี้มุ่งหาความสามารถในการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งและหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมกับการอบแห้งหอมแดงที่สามารถรักษาสารสำคัญไว้ได้แล้ว รวมไปถึงการใช้พลังงาน ของเครื่องอบแบบมัลติไฟลิว เครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟลิว นับเป็นวิวัฒนาการใหม่ของการอบแห้งวัสดุเชิงมวลที่ทำงานได้รวดเร็วและเหมาะสมกับการ ประยุกต์ใช้งานสำหรับการอบสมุนไพรที่ต้องการรักษาปริมาณ สารสำคัญมิให้สูญเสียไปในขณะ ทำการอบแห้งได้



## บรรณานุกรม

- AOAC. (1992). Journal of AOAC International. *Journal of AOAC International*.
- Brooker, Donald B. (1992). *Drying and storage of grains and oilseeds*: New York : Van Nostrand Reinhold.
- Chou, K.J. Chua and S.K. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science & Technology*.
- Lunn, George. (1997). *HPLC methods for pharmaceutical analysis*: New York : Wiley.
- Mustafa Yapha, Monthon Chuchonaak, Pracha Bunyawanichakul. (2014). Development of a Commercial Scale Must Flow Paddy Dryer. *International Journal of Mechanical and Industrial Technology*, 2(1), 45-50.
- Mustafa Yapha, Pracha Bunyawanichakul, Nifahmee Hayinilah. (2014a). Coarse Rice Products by Must Flow Fluidization Techniques for Diabetes Patients. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6(6), 99-103.
- Mustafa Yapha, Pracha Bunyawanichakul, Nifahmee Hayinilah. (2014b). Must Flow Dryer for Rough Rice. 26-30.
- Pankaj. (2006). Effective Moisture Diffusivity of Onion Slices undergoing Infrared Convective Drying. *Biosystems Engineering*, 93(3), 285-291.
- Sharma, G.P. (2004). Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*, 67(1), 361-366.
- Thanit, Swasdisevi. (2007). DRYING OF CHOPPED SPRING ONION USING FLUIDIZATION TECHNIQUE. *Drying Technology*, 17(6), 1191-1199.
- Weerachet, Jittanit (2013). Comparison Between Fluidized Bed and Spouted Bed Drying for Seeds. *Drying Technology*, 31(1), 52-56.
- Yue-ling, Ma, Yu-jie, Chen, Ding-rong, Wan, ping, Chen, & Ran, Xu. (2017). HPLC Determination of Quercetin in Three Plant Drugs from Genus Sedum and Conjecture of the Best Harvest Time. *Pharmacogn A Multifaceted Journal in the field of Natural Products and Pharmacognosy*, 9(6), 725-728.




- ณัฐพล, มณีโชติ. (2558). ผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟล. ปรินูญยานิพนธ์ (วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2558.,
- นันทวัน, บุญยะประภัสร์, อรุณช, โชคชัยเจริญพร, & มหาวิทยาลัยมหิดล, สำนักงานข้อมูลสมุนไพร. (2539). สมุนไพร : ไม้พื้นบ้าน: กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัย.
- นิจศิริ, เรืองรังษี. (2547). สมุนไพรไทย: กรุงเทพฯ : พี เฮลท์ดี.
- พิรสิทธิ์, ทวยนาถ. (2014). ผลกระทบของกระแสความเร็วของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟล. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 9, ฉบับที่ 1 (ม.ค.-มิ.ย. 2557), หน้า 28-35.
- พิรสิทธิ์, ทวยนาถ. (2558). ผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก : กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟล. ปรินูญยานิพนธ์ (วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2558.,
- มุสตาฟา, ยะกา. (2537). การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่องขนาดต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรม. (วิทยานิพนธ์ วศ.ม. เทคโนโลยีพลังงาน), คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- มุสตาฟา, ยะกา. (2559). เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลขนาดอุตสาหกรรม. ปรินูญยานิพนธ์ (ปร.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2559.,
- วรารคณา, ศิริรัตน์, มาโนชัย, รุ่งทิพย์, วิลาวรรณ, & วศิน. (2560). การวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์ซีตินในฝางด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 3 ประจำปี พ.ศ. 2560, 118-123.
- วิล, รัชดาทอง. (2552). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร = *Food processing technology* (พิมพ์ครั้งที่ 5.. ed.): กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วิลาวรรณ, พันธุ์ลพ, & วศิน. (2560). การตรวจหาสารเคอร์ซีตินในสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิค HPLC-DAD. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 3 ประจำปี พ.ศ. 2560, 971-975.
- สมชาติ, ไสภณรณฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท (พิมพ์ครั้งที่ 7.. ed.): กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อรอนงค์, ศรีพวาทกุล. (2537). การอบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบดอย่างต่อเนื่อง แนว  
ทางการอบแห้งที่เหมาะสม. วิจัยและพัฒนา สจร. ปีที่ 17, ฉบับที่ 2 (ธ.ค. 2537), หน้า 1-  
20.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
ตัวอย่างการคำนวณที่ใช้ในการออกแบบชุดขับเคลื่อนและส่งกำลัง

### การกำหนดขนาดกำลังสำหรับพัดลม

อันเนื่องมาจากการกำหนดขนาดพื้นที่หน้าตัดของห้องอบเป็น  $0.3 \times 1.5$  m ความเร็วของอากาศในห้องอบแห้งสูงสุด  $7$  m/s โดยตะแกรงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู  $2$  cm สำหรับงานวิจัยนี้ทางผู้ออกแบบกำหนดเงื่อนไขห้องอบแห้งเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตะแกรง สามารถหาได้ดังนี้

$$A = WL$$

$$A = 0.3 \times 1.5$$

$$A = 0.45 \text{ m}^2$$

ในการออกแบบระบบลมร้อนที่ไหลในท่อตามมาตรฐาน ASHREA เพื่อการออกแบบสร้างเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ประโยชน์จากลมร้อนส่งด้วยท่อ สามารถหาได้จากสมการนี้

$$Q = AV$$

โดยที่  $Q$  คือ อัตราการไหลของลมร้อนที่ผ่านห้องอบแห้ง  $\text{m}^3/\text{s}$

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของตะแกรงกระจายลมร้อน  $\text{m}^2$

$V$  คือ กระแสลมร้อนที่ไหลผ่านขึ้นหอมแดง (m/s)

เพราะฉะนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าของปริมาณลมร้อนที่ต้องการใช้ภายในห้องอบแห้งแบบมัลท์โฟลว์

$$Q = AV$$

$$Q = 0.45 \times 7$$

$$Q = 3.15 \text{ m}^3 / \text{s}$$

ดังนั้นอัตราการไหลของลมร้อนที่ผ่านห้องอบแห้งสูงสุด  $3.15 \text{ m}^3/\text{s}$

เนื่องจากการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งหอมแดงแบบมีสทิฟโพล์อัตราการไหลของกระแสลมร้อนผ่านห้องอบแห้งจะมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลโดยตรง สังเกตได้ว่ากระแสลมร้อนแบ่ง 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นลมร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงจนไปถึงแผ่นไม้ตะแกรง และส่วนที่สอง ตั้งแต่ชั้นข้าวไปจนถึงพัดลมดูดกระแสลมร้อนออกสู่บรรยากาศ ตามกฎเกณฑ์มาตรฐานห้องอบแห้งทรงสี่เหลี่ยม ASHRAE กำหนดความดันสูญเสียในระบบตามสมบัติ Industrial Blower เบื้องต้น คือ 18 m-air จากนั้นนำไปคูณด้วยค่า Safety Factor 1.2 จะได้ Total Head Loss = 21.6 m-air อ้างอิงข้อมูลจาก งานวิจัยของมูस्ताฟายะภา

$$\text{Power of blower} = \rho_a g h_L Q$$

โดยที่	$\rho$	คือ ความหนาแน่นของอากาศร้อน	0.84 kg/m <sup>3</sup>
	$g$	คือ แรงโน้มถ่วงของโลก	9.81 m/s <sup>2</sup>
	$h_L$	คือ ความดันสูญเสียทั้งหมด	21.6 m-air
	$Q$	คือ อัตราการไหลของลมร้อนที่ไหลผ่านระบบ	3.15 m <sup>3</sup> /s

จึงนำมาแทนค่า จะได้ค่าดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Power of blower} &= 0.84 \times 9.81 \times 21.6 \times 3.15 \\ &= 560.67 \text{ watts} \\ &= 560.67 / 746 = 0.75 \text{ hp} \end{aligned}$$

ดังนั้นขนาดกำลังพัดลมดูดอากาศ 1 hp

### การกำหนดขนาดกำลังสำหรับชุดยกห้องอบแห้งและชุดป้อนวัสดุ

ในด้านของมอเตอร์ใช้งานสำหรับการขับเคลื่อนห้องอบแห้ง กำหนดให้ห้องอบแห้งมีความเร็วรอบสูงสุด 140 rpm น้ำหนักห้องอบแห้ง 55 kg

$$\text{Power of motor} = \frac{2\pi TN}{60}, T=Fr$$

โดยที่ T คือ แรงบิด N\*m

N คือ ความเร็วรอบของเพลาชั้บ 140 rpm

r คือ รัศมีจุดยกห้องจากจุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยว 0.05 m

F คือ น้ำหนักห้องอบแห้งกับน้ำหนักของหอมแดง 550 N

จึงนำมาแทนค่า จะได้ค่าดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Power of Motor} &= \frac{2\pi[550 \times 0.05] \times 140}{60} \\ &= 403 \text{ N*m/s} \\ &= 403 / 746 = 0.54 \text{ hp} \end{aligned}$$

ดังนั้นมอเตอร์ระบบขับเคลื่อนห้องอบแห้ง 1 hp

ในการคำนวณมอเตอร์ที่ใช้งานสำหรับการขับเคลื่อนห้องป้อนวัสดุ พิจารณาจากการใช้ความเร็วรอบ 30 rpm น้ำหนักโดยประมาณ 15 kg คำนวณได้ดังนี้

โดยใช้สูตร

$$T = Fr$$

$$T = 150 \times 0.1524$$

$$T = 22.86 \text{ N*m}$$



คำนวณหาแรงของมอเตอร์ที่ใช้สำหรับการขับเคลื่อนของชุดป้อนวัสดุ  
โดยใช้สูตร

$$\begin{aligned} \text{Power of motor} &= \frac{2\pi TN}{60} \\ &= \frac{2\pi \times 22.86 \times 10}{60} \\ &= 23.92 \text{ N*m/s} \\ &= 23.92 / 746 \\ &= 0.03 \text{ hp} \end{aligned}$$

ดังนั้นมอเตอร์ในชุดป้อนวัสดุ 0.03 hp





### ตัวอย่างการคำนวณความชื้น และ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

จากการจัดเก็บข้อมูลดิบของตัวอย่างการอบแห้งหอมแดงครั้งละ 2 kg ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 3 ชั่วโมง อบแห้งหอมแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟลิวที่อุณหภูมิ 70°C และอัตราการไหล 0.30 m<sup>3</sup>/s ความเร็วรอบที่ใช้ในการยกห้องอบแห้ง 130 ที่ความหนาของชั้นหอมแดงภายในห้องอบแห้ง 1 cm ด้วยชุดแหล่งกำเนิดความร้อนที่จากหัวเตาแก๊ส LPG KB5 น้ำหนักหอมแดงหลังอบ 0.398 kg กำลังไฟฟ้าที่ใช้ไป 2.3 kWh ปริมาณแก๊สที่ใช้ไป 1 kg น้ำหนักของกลุ่มตัวอย่าง 10 g สำหรับทดสอบหาความชื้น น้ำหนักหลังอบสำหรับหาความชื้นก่อนการทดลอง 1.703 g น้ำหนักหลังอบสำหรับหาความชื้นหลังการทดลอง 8.567 g

#### 1. เปอร์เซ็นความชื้นมาตรฐานเปียก

จากสมการ 2.2

$$M_w = \frac{w-d}{w}(100\%)$$

$$M_w = \left( \frac{10-1.703}{10} \right) \times 100$$

จะได้ค่าความชื้นมาตรฐานเปียกก่อนอบ = 82.97 %wb

#### 2. เปอร์เซ็นความชื้นมาตรฐานเปียกหลังอบ

จากสมการ 2.2

$$M_w = \frac{w-d}{w}(100\%)$$

$$M_w = \left( \frac{10-8.567}{10} \right) \times 100$$

จะได้ค่าความชื้นมาตรฐานเปียกหลังอบ = 14.43 %wb

#### 3. ผลต่างความชื้น

$$\Delta M = 82.97 - 14.43 = 68.54\%wb$$

จะได้ผลต่างความชื้น = 68.54 %wb

4. หาค่า  $W_f$  น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง (kg)

จากสมการ 2.4

$$W_f = W_i \frac{(100 - M_i)}{(100 - M_f)}$$

$$W_f = 2 \left( \frac{100 - 82.97}{100 - 14.43} \right)$$

$$W_f = 0.398 \text{ kg}$$

5. หาค่า  $E_{electric}$  ปริมาณพลังงานไฟฟ้า, MJ

จากสมการ 2.11

$$E_{electric} = 3.6 \times P$$

$$E_{electric} = 3.6 \times 2.3$$

$$E_{electric} = 8.28 \text{ MJ}$$

6. หา  $E_{thermal}$  ปริมาณพลังงานความร้อน, MJ

จากสมการ 2.13

$$E_{thermal} = 49.3 \times M_{LPG}$$

$$E_{thermal} = 49.3 \times 1$$

$$E_{thermal} = 49.3 \text{ MJ}$$

7. หา  $m_w$  ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg

จากสมการ 2.14

$$m_w = m_i - m_f$$

$$m_w = 2 - 0.398$$

$$m_w = 1.602 \text{ kg}$$

8. หาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

จากสมการ 2.9

$$SEC = \frac{(E_{electric} + E_{thermal})}{m_w}$$

$$SEC = \frac{(8.28 + 49.3)}{1.602}$$

$$SEC = 35.94 MJ / kg$$



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อานนท์ อมรนนท์ศิริ
วัน เดือน ปี เกิด	22 พฤศจิกายน 2535
สถานที่เกิด	สมุทรปราการ
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	122/194 หมู่4 ตำบลบางเมือง อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ

