

การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบภาคหมุน และ
ศึกษารูปแบบการไหลของลมร้อนด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ



ปริญญาโทชั้นโทเป็นสาขาหนึ่งของการศึกษาด้านเทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน และ
ศึกษารูปแบบการไหลของลมร้อนด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

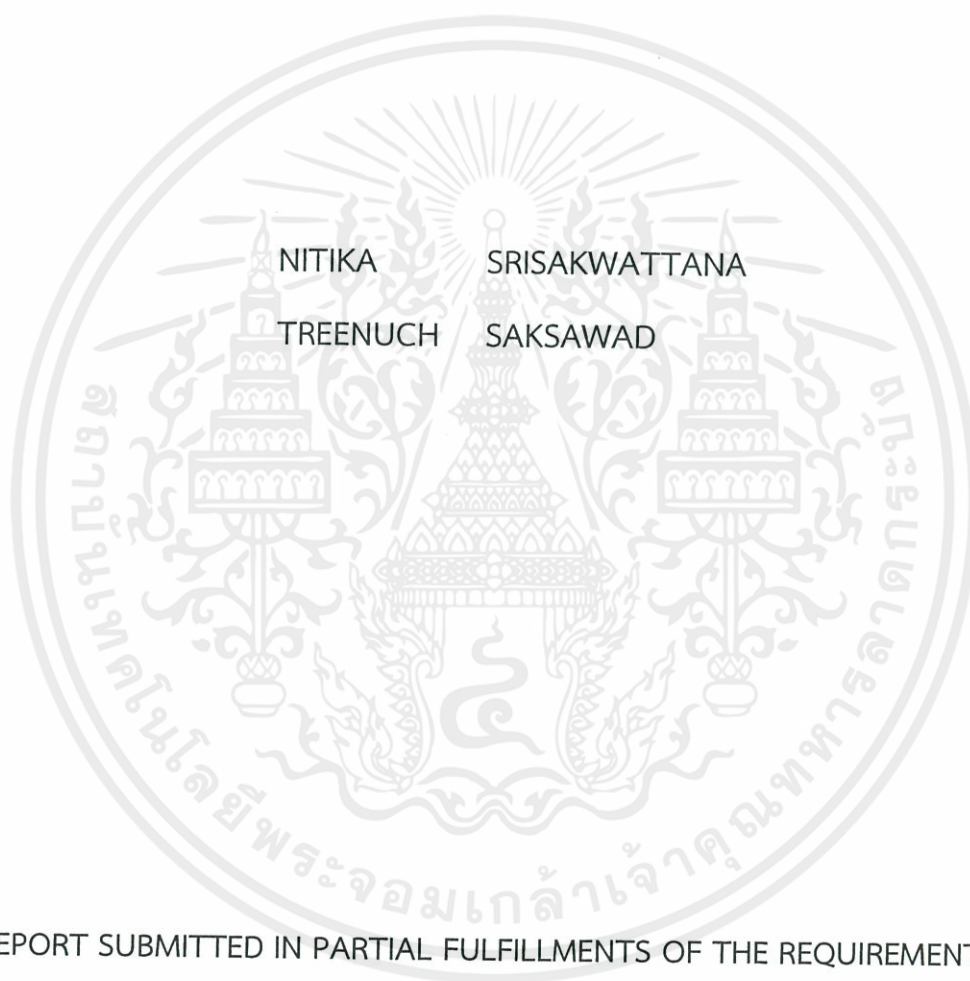
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก่อนนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF ROTATING TRAY DRYER AND
STUDY OF THE HOT AIR FLOW PATTERN WITH
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENTS OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTISUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2013

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน และ
ศึกษารูปแบบการไหลของลมร้อนด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
โดย นางสาวณัฐิกา ศรีศักดิ์วัฒน์
นางสาวตรีนุช ศักดิ์สวัสดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

.....
(อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

.....
(ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์)

.....
(ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบลาดหมุน และ ศึกษารูปแบบการไหลของลมร้อนด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
จัดทำโดย	นางสาวณัฐิกา ศรีศักดิ์วิวัฒน์ รหัสประจำตัว 53010530 นางสาวตรีนุช ศักดิ์สวัสดิ์ รหัสประจำตัว 53010548
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบลาดหมุนและศึกษารูปแบบการไหลของลมร้อนด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยหารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการป้อนลมร้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งทรงกระบอกพร้อมลาดหมุนสามชั้น รูปแบบของการป้อนลมร้อนที่ศึกษาคือการป้อนลมร้อนเข้าเครื่องอบแห้งในลักษณะลมเข้าทางเดียวร่วมกับลาดหยุดนิ่งและลาดหมุนที่ความเร็วรอบลาดหมุน 6 รอบต่อนาที ที่อัตราส่วนการป้อนลมร้อน ชั้นบน : ชั้นกลาง : ชั้นล่าง เท่ากับ 0 : 0 : 100 20 : 20 : 60 และ 30 : 30 : 40 พบว่า อัตราส่วนการแบ่งลมร้อนที่เหมาะสม คือ 30 : 30 : 40 จากนั้นนำอัตราส่วนนี้มาศึกษาต่อในรูปแบบการป้อนลมร้อนเข้าทางเดียวร่วมกับลาดหมุนและการป้อนลมร้อนสองทางร่วมกับลาดหยุดนิ่งเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการอบแห้ง โดยรูปแบบที่ให้ประสิทธิภาพการอบแห้งที่ดีที่สุดคือการป้อนลมร้อนเข้าสองทางร่วมกับลาดหยุดนิ่งที่อัตราส่วน 30 : 30 : 40 เมื่อนำรูปแบบที่เหมาะสมนี้ไปทำการอบแห้งผลหมอนสดทั้งผลเพื่อหาอัตราการอบแห้งและวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญคงเหลือในผลหมอนแห้ง ได้แก่ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลทั้งหมด พบว่าการลดลงของปริมาณสารสำคัญในผลหมอนแห้งภายหลังการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน ผลของการศึกษารูปแบบการไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD) เพื่อดูรูปแบบของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับผลการอบแห้งวัสดุทดลอง พบว่าการกระจายของอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งจากการวิเคราะห์โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณให้ผลที่สอดคล้องกับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ เช่นบนอินเทอร์เน็ต การค้าไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Development of rotating tray dryer and study of the hot air flow pattern with computational fluid dynamics

By Ms. Nitika Srisakwattana ID.NO. 53010530
Ms. Treenuch Saksawad ID.NO. 53010548

Advisor Mrs. Siripan Murathathunyaluk

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Year 2013

ABSTRACT

In this work, Development of rotating tray dryer and study of the hot air flow pattern with Computational Fluid Dynamics, the objective is to find the optimal pattern for inputting hot air into the tray dryer with three rotating trays. The examined flow patterns were inputting hot air flow in one way inlet along with stationary and rotating trays, the rotating velocity is 6 rounds per minute. The ratio of hot air inlet used were 0 : 0 : 100, 20 : 20 : 60 and 30 : 30 : 40 (upper : middle : lower trays). The optimal ratio is found to be 30 : 30 : 40. Next, this optimal ratio was used to compare the drying efficiency between inputting hot air through one-way inlet with rotating trays and inputting hot air through two-ways inlets with stationary trays. The optimal pattern for inputting the hot air is two-ways inlet of hot air with stationary trays at the ratio of 30 : 30 : 40. Then, applying this optimal pattern in drying mulberry for studying the relation between moisture content and time. Also, measuring the amount of anti-oxidant and total phenolic compounds in dried mulberry. After drying process, the quantities of anti-oxidant and total phenolic compounds are found to be approximate in each tray for each compound. Furthermore, the optimal condition is used to study the temperature profile with simulation program (Computational Fluid Dynamics, CFD) and the results from CFD are correlated with the experiments.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน และศึกษารูปแบบการไหลของลมร้อนด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณได้ดำเนินการวิจัยจนประสบความสำเร็จโดยได้รับคำปรึกษาและความอนุเคราะห์ของอาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ที่ได้คอยให้คำแนะนำที่ดี แนะนำทางในการศึกษาหาข้อมูล อีกทั้งช่วยเหลือในการทดลองต่างๆ แนะนำการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นด้วยความเอาใจใส่ ตลอดระยะเวลาของการดำเนินงาน ซึ่งทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง นอกจากนี้ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์ นายเอกราช บำรุงไทยชัยชาญ และพี่นักศึกษาปริญญาโทสำหรับความอนุเคราะห์ในการให้คำแนะนำด้วยความตั้งใจในการใช้ทฤษฎีของพลศาสตร์ของไหลและการใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณประกอบการคิดวิเคราะห์ในการดำเนินงานครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่วิจัยในการให้ความช่วยเหลือในการทำการทดลองต่างๆ

ขอขอบคุณบิดา มารดา สำหรับกำลังใจ ให้การสนับสนุนและคำแนะนำที่ดีตลอดการการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณพี่ น้องและเพื่อนๆที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้สั่งสอนความรู้ อบรมในด้านต่างๆตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำต้องขออภัยและพร้อมน้อมรับ ณ ที่นี้

ณัฐิกา ศรีศักดิ์วัฒนะ

ตรีณัฐ ศักดิ์สวัสดิ์

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

X_t	ความชื้น (Moisture content)
W	น้ำหนักวัสดุทั้งหมด
W_s	น้ำหนักวัสดุที่แห้ง
A_0	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่เติมสารสกัด
A_e	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่เติมสารสกัด
T	อุณหภูมิ
V	ปริมาตร
R	รัศมี
H	ความสูง
A	พื้นที่หน้าตัด
v	ความเร็ว
a_w	แอกทิวิตีของน้ำ (Water activity)
Re	ค่าเรย์โนลด์ (Reynolds number)
ρ	ความหนาแน่น
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง
μ	ความหนืด (Dynamic viscosity)
I	ค่าความแปรปรวน (Turbulent intensity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สัญลักษณ์.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้ง.....	4
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง.....	4
2.3 รูปแบบของการอบแห้งสำหรับผักและผลไม้.....	5
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น.....	6
2.5 ข้อมูลผลหม่อน.....	8
2.6 สารสำคัญในผลหม่อน.....	9
2.7 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ.....	12
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	17
3.2 สารเคมี.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	19
3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุอุปกรณ์.....	19
3.3.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ในการลดลงของความชื้นตาม สภาวะที่กำหนดเทียบกับเวลา.....	20
3.3.3 การหาปริมาณสารสำคัญในผลหม่อนหลังการอบแห้ง.....	21
3.3.4 ศึกษารูปแบบการไหลและพฤติกรรมของลมร้อนภายใน เครื่องอบแห้งโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ.....	22
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ในการลดลงของความชื้นเทียบกับเวลา.....	23
4.1.1 ลมร้อนเข้าท่อล่างเท่านั้น ร่วมกับถาดหยุดนิ่ง.....	23
4.1.2 ลมร้อนเข้าท่อล่างเท่านั้น ร่วมกับถาดหมุน.....	24
4.1.3 ลมร้อนเข้าทางเดียวร่วมกับถาดหมุน อัตราส่วน 20 : 20 : 60.....	26
4.1.4 ลมร้อนเข้าทางเดียวร่วมกับถาดหมุน อัตราส่วน 30 : 30 : 40.....	27
4.1.5 ลมร้อนเข้าสองทางร่วมกับถาดหยุดนิ่ง อัตราส่วน 30 : 30 : 40.....	28
4.2 การหาปริมาณสารสำคัญในผลหม่อนหลังการอบแห้ง.....	29
4.3 ศึกษารูปแบบการไหลและพฤติกรรมของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	
5.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ในการลดลงของความชื้นเทียบกับเวลา.....	34
5.2 การหาปริมาณสารสำคัญในผลหม่อนหลังการอบแห้ง.....	34
5.3 ศึกษารูปแบบการไหลและพฤติกรรมของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง.....	35
โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ	
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.....	39
ภาคผนวก ข.....	41
ภาคผนวก ค.....	44
ภาคผนวก ง.....	47
ภาคผนวก จ.....	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 การกำหนดสภาวะขอบเขตในโปรแกรม.....	31
ตารางที่ ก.1 น้ำหนักผลหมอนที่เวลาต่างๆ.....	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กราฟอัตราการรอบแห้ง.....	7
รูปที่ 2.2 ผลหม่อนสด.....	8
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติ.....	11
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสารประกอบฟีนอลที่พบในขมิ้นและองุ่น.....	12
รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง.....	19
รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางวัสดุทดลองในชั้นอบแห้ง.....	19
รูปที่ 4.1 กราฟอัตราการรอบแห้งทดลองที่อัตราส่วนลมร้อนขาเข้าเป็น 0 : 0 : 100 ร่วมกับอัตราส่วนหนึ่ง (ก) และอัตราส่วนด้วยความเร็วรอบ 6 รอบ/นาที (ข)	23
รูปที่ 4.2 กราฟอัตราการรอบแห้งทดลองในรูปแบบของลมเข้าทางเดียวร่วมกับอัตราส่วน..... สำหรับลมเข้าในอัตราส่วน 20 : 20 : 60 (ก) และ 30 : 30 : 40 (ข)	26
รูปที่ 4.3 กราฟอัตราการรอบแห้งทดลองในรูปแบบของลมเข้าสองทางร่วมกับอัตราส่วนหนึ่ง..... สำหรับลมเข้าในอัตราส่วน 30 : 30 : 40	28
รูปที่ 4.4 กราฟอัตราการรอบแห้งของผลหม่อน ในรูปแบบของลมเข้าสองทาง..... ร่วมกับอัตราส่วนหนึ่ง สำหรับลมเข้าในอัตราส่วน 30 : 30 : 40	29
รูปที่ 4.5 รูปเครื่องอบแห้งและกริดที่สร้างด้วยโปรแกรม GAMBIT.....	31
รูปที่ 4.6 รูปแบบของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่ได้จากการจำลอง..... ที่อัตราส่วน 30 : 30 : 40 ในรูปแบบของลมเข้าสองทางร่วมกับอัตราส่วนหนึ่ง	32
รูปที่ 4.7 รูปแบบของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่ได้จากการจำลอง..... ที่อัตราส่วน 0 : 0 : 100 ในรูปแบบของลมเข้าทางเดียวร่วมกับอัตราส่วนหนึ่ง	33
รูปที่ ข.1 โครงสร้างของเครื่องอบแห้งแบบอัตราส่วน.....	41
รูปที่ ข.2 โครงสร้างของอัตราส่วนในเครื่องอบแห้งแบบอัตราส่วน.....	41
รูปที่ ข.3 วาล์วปีกผีเสื้อ.....	42
รูปที่ ข.4 เครื่องวัดความเร็วลม.....	42
รูปที่ ข.5 ชุดทดลองการอบแห้ง.....	43
รูปที่ ง.1 กราฟพลาตารฐานกรดแกลลิก.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าทางใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงสื่อทางและห้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่มีมากขึ้นทำให้ปริมาณผลิตผลทางการเกษตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตผลให้มีอายุยาวนานขึ้นจึงมีความจำเป็น การนำผลิตผลทางการเกษตรมาแปรรูปจะช่วยป้องกันการล้นตลาดของผลิตผลสด ซึ่งช่วยยกระดับราคาผลิตผลไม่ให้ตกต่ำ เป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตผลทางการเกษตรมาเป็นอาหารแปรรูประดับอุตสาหกรรม ที่สามารถรับวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นอาหารจำนวนมากได้ การอบแห้งถือเป็นหนึ่งในวิธีการถนอมอาหาร ซึ่งโดยทั่วไปจะอาศัยความร้อนส่งผ่านเข้าไปให้แก่ น้ำในผลผลิต เพื่อทำให้น้ำข้างในเคลื่อนที่และระเหยออกจากผิวประสิทธิภาพในการเคลื่อนของน้ำมาที่ผิวขึ้นกับธรรมชาติของผลผลิตแต่ละชนิด อีกทั้งการอบแห้งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมที่สุด เนื่องจากสามารถทำได้ง่าย ต้นทุนค่อนข้างต่ำ ทำได้ตั้งแต่ระดับครัวเรือนจนถึงอุตสาหกรรม

กระบวนการอบแห้งที่ดีควรคำนึงถึงสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง รูปแบบของการอบแห้ง วัสดุที่นำมาอบแห้ง เป็นต้น เครื่องอบแห้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลากหลายชนิด ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย สำหรับลดความชื้นของผลิตผลทางการเกษตร แต่ปัญหาที่พบของเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่ไม่เหมาะสม รวมถึงการกระจายของอากาศร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งไม่ได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ ดังนั้น เพื่อให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง โดยในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่ในระดับอุตสาหกรรมมักต้องการประสิทธิภาพของการอบแห้งที่ดี ทั้งนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์และเวลาที่ใช้ก็เป็นส่วนที่ต้องคำนึงถึงเช่นกัน เพราะหากรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่ดูไม่มีคุณภาพหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนั้นยาวนานเกินไปก็อาจส่งผลให้เกิดการเสียประโยชน์ในด้านเงินลงทุนและเวลาได้ รูปแบบของการอบแห้งที่เหมาะสมจึงเป็นส่วนสำคัญในการลดทอนปัญหาเหล่านี้ลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาโดยใช้ผลิตผลทางการเกษตรเป็นวัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อนำสภาวะที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ได้จริง ซึ่งผลิตผลทางการเกษตรที่ได้นำมาศึกษา คือ ผลหม่อน (มัลเบอร์รี่) เนื่องจากความต้องการในการเก็บรักษาผลหม่อนในปัจจุบันมีปริมาณมาก และผลหม่อนถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้สูงให้แก่เกษตรกรไทย อีกทั้งในผลหม่อนอุดมไปด้วยสารสำคัญหลายชนิด ตัวอย่างเช่น สารต้านอนุมูลอิสระ ที่มีส่วนลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง แก้วโรซโซอิกแอซ เป็นต้น โดยภายหลังจากการอบแห้งผลหม่อนได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อหาปริมาณสารสำคัญที่เหลืออยู่ในผลหม่อนอบแห้ง

ทั้งนี้เครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนที่ทำการศึกษานั้นถูกแบ่งการศึกษาเป็นสองขั้นตอนสำหรับรูปแบบในการทดลองการอบแห้ง คือ การป้อนอากาศร้อนร่วมกับลักษณะการทำงานของถาดที่หมุนและไม่หมุน รวมถึงการศึกษาในรูปแบบการจำลองพฤติกรรมของของไหลซึ่งคืออากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics) เพื่อหาสภาวะของความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งเพื่อการพัฒนากรรมวิธีการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการป้อนลมร้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน
- 2) เพื่อศึกษาการอบแห้งผลหม่อนภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน พร้อมหาปริมาณสารสำคัญที่เหลืออยู่ในผลหม่อนภายหลังจากการอบแห้ง
- 3) เพื่อศึกษารูปแบบการไหลของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตโครงการ

- 1) ศึกษารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการป้อนลมร้อนเข้าเครื่องอบแห้ง ในลักษณะลมร้อนเข้าในทิศทางเดียวร่วมกับถาดหมุน และลมร้อนเข้าสองทิศทางร่วมกับถาดหยุดนิ่ง)
- 2) ศึกษาปริมาณสารสำคัญในผลหม่อน โดยใช้การวิเคราะห์หาค่าความสามารถต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี DPPH radical scavenging activity และหาสารประกอบฟีนอลทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocateu
- 3) ศึกษารูปแบบการไหลของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ สำหรับกรณีลมร้อนเข้าสองทิศทางร่วมกับถาดหยุดนิ่ง
- 4) นำผลการทดลอง มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนในอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) สามารถพัฒนารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการป้อนลมร้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน
- 2) สามารถวิเคราะห์หาสารสำคัญที่เหลืออยู่ในผลหม่อนภายหลังการอบแห้งได้
- 3) สามารถจำลองรูปแบบการไหลของลมร้อนที่เหมาะสมภายในเครื่องอบแห้งได้
- 4) สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การอบแห้ง (Drying) [1]

การอบแห้ง คือ การกำจัดความชื้นจำนวนน้อยที่ค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ การอบแห้งมักเป็นกระบวนการสุดท้ายก่อนการบรรจุ เพื่อป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์จากการมีความชื้นเกินค่าปลอดภัย ในวัสดุอาหารการมีความชื้นอาจทำให้เกิดเชื้อรา หรือการเกาะติดเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นเม็ด หรืออาจมีผลเสียต่อการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตขั้นต่อไป

การอบแห้งเป็นการกำจัดความชื้นออกด้วยวิธีทางความร้อน โดยการให้ความร้อนเพื่อระเหยความชื้นออกสู่ตัวกลางซึ่งส่วนใหญ่เป็นอากาศร้อนและแห้ง โดยอากาศดังกล่าวนอกจากจะเป็นแหล่งความร้อนเพื่อการระเหยแล้ว ยังทำหน้าที่พาความชื้นจากการระเหยออกจากห้องอบด้วย

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง [2]

โดยทั่วไปอัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) สภาพของเครื่องอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิกระแสเป่าแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่พื้นที่ผิวของการถ่ายเทความร้อน
- 2) คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาอบแห้ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ และอัตราการสูญเสียความชื้น
- 3) ขนาดของวัสดุที่นำมาอบแห้ง จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งทั้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง วัสดุที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการระเหยสูง และทำให้ระยะทางที่ไอน้ำเคลื่อนที่ไปยังผิวของวัสดุนั้นสั้นลง
- 4) ปริมาณไขมันในวัสดุ คือถ้าวัสดุมีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบสูงจะทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้า เนื่องจากโมเลกุลของน้ำยึดไว้ในวัสดุ
- 5) วิธีการเตรียมวัสดุก่อนนำมาอบแห้ง ถ้ามีการลดขนาดของผลิตภัณฑ์ลงจะทำให้ไอน้ำระเหยออกจากวัสดุได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 รูปแบบของการอบแห้งสำหรับผักและผลไม้

รูปแบบของระบบสำหรับอบแห้งผักและผลไม้มีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับชนิดของวัสดุอาหารแตกต่างกันออกไป รูปแบบของระบบโดยทั่วไปมีดังนี้

1) การอบแห้งแบบตู้

อบแห้งวัสดุด้วยความร้อนภายในตู้ขณะบรรจุวัสดุอยู่ อุณหภูมิความร้อนที่ใช้กันสำหรับอบแห้งประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส

2) การอบแห้งแบบอุโมงค์

เป็นวิธีการที่คล้ายกับการอบแห้งแบบตู้แต่ตัวตู้มีความยาวมาก ทำให้ดูเหมือนอุโมงค์ ภายในอุโมงค์จะมีรถเข็นจำนวนหลายคัน บรรจุวัสดุซึ่งมีผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปอบแห้ง

3) การอบแห้งแบบสายพาน

อบแห้งผลิตภัณฑ์บนเครื่องขนถ่ายวัสดุแบบสายพาน ซึ่งตัวสายพานมีรูให้อากาศไหลผ่านได้ ส่วนมากมักจะอบให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงจนถึงระดับหนึ่งก่อนที่จะนำไปอบแห้งในส่วนของการอบแห้งต่อไป

4) การอบแห้งแบบแช่แข็ง หรือแบบระเหิด

อบแห้งผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งมาแล้วภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำให้น้ำแข็งระเหิดกลายเป็นไอ ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งมีโครงสร้างที่ดีคือเป็นรูพรุน ส่งผลให้สามารถกลับคืนรูปเดิมได้ดีและรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถรักษากลิ่นของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี แต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนค่อนข้างสูง

5) การอบแห้งโดยไม่โครเวฟ

อบแห้งโดยใช้ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในตัวของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำให้แห้ง โดยคลื่นดังกล่าวจะถูกดูดกลืนโดยน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการระเหยของน้ำจึงเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก การอบแห้งด้วยวิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง

6) การอบแห้งแบบพัฟ

เหมาะกับการทำแห้งผักและผลไม้ ด้วยการนำผักและผลไม้ขนาดเล็กๆ สัมผัสกับอากาศร้อน

และภายใต้ความดันสูงในระยะเวลาสั้นๆ แล้วปล่อยให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับความดันบรรยากาศ ซึ่งจะทำให้ น้ำในผักและผลไม้ระเหยกลายเป็นไออย่างทันทีทันใด ขนาดของ

ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการอบแห้งแบบพัฟคือเป็นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 3/4 นิ้ว

7) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

อาหารที่ใช้อบควรเป็นชิ้นมีลักษณะค่อนข้างกลมสม่ำเสมอ ลอยตัวอยู่บนอากาศร้อนที่ผ่านช่องตะแกรง ชิ้นของอาหารหมุนรอบตัวลอยอยู่บนอากาศร้อนทำให้การถ่ายเทมวลสารไอน้ำระเหยออกจากชิ้นอาหารเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก สม่ำเสมอตลอดผิวหน้าของอาหาร

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น [3]

2.4.1 ความชื้น (Moisture content)

ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารหรือวัสดุใดๆ โดยทั่วไปค่าความชื้นจะกำหนดเป็นร้อยละของน้ำหนักของวัสดุ กำหนดไว้ 2 แบบ คือ

- ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) หมายถึง อัตราร้อยละของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักวัสดุทั้งหมด มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นร้อยละ คำนวณจาก

$$\text{Moisture Content (wet basis)} X_t = \frac{W - W_s}{W} \times 100\% \frac{\text{g total water}}{\text{g wet solid}}$$

- ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) หมายถึง อัตราร้อยละของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักวัสดุที่แห้ง เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ อาจบอกเป็นร้อยละ หรือจำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง คำนวณจาก

$$\text{Moisture Content (dry basis)} X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100\% \frac{\text{g total water}}{\text{g dry solid}}$$

เมื่อ X_t = ความชื้น

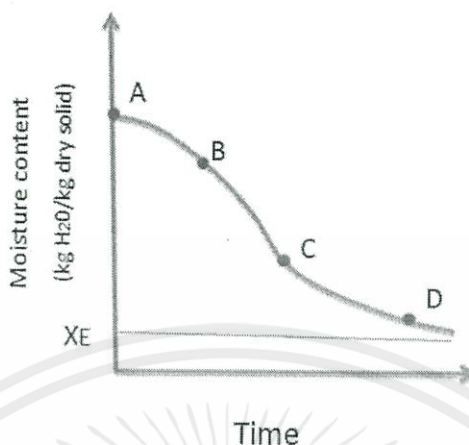
W = น้ำหนักวัสดุทั้งหมด

W_s = น้ำหนักวัสดุที่แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 กราฟอัตราการอบแห้ง (drying rate) [4]

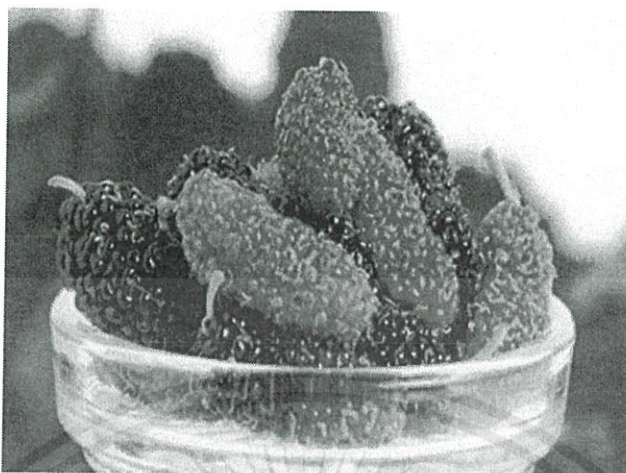
กราฟระหว่างอัตราอบแห้ง และความชื้นในสารนั้น แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ



รูปที่ 2.1 กราฟอัตราการอบแห้ง [4]

- 1) ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial Adjustment Period -AB) เป็นช่วงเริ่มต้นที่อาหารที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารยังสูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหารมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการทำแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราทำแห้งคงที่ (constant rate)
- 2) ช่วงอัตราทำแห้งคงที่ (Constant Rate Period-BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานี้ เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content)
- 3) ช่วงอัตราทำแห้งลดลง (Falling Rate Period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, X_E) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุดภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการทำแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

2.5 ข้อมูลผลหม่อน [5], [6]



รูปที่ 2.2 ผลหม่อนสด [5]

ผลหม่อน หรือ มัลเบอร์รี่ (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Morus alba* Linn.) เป็นผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ชนิดหนึ่ง รสชาติหวานอมเปรี้ยว ผลของหม่อนเมื่อสุกได้ที่แล้วจะเป็นสีดำ มีรสชาติดหวาน และถ้าเป็นสีแดงยังไม่สุกมาก จะออกรสเปรี้ยว ซึ่งผลหม่อน สามารถนำไปแปรรูปเป็นอาหารและเครื่องดื่ม เช่น น้ำหม่อนพร้อมดื่ม น้ำหม่อนสกัด น้ำหม่อนเข้มข้น และแยมหม่อน โดยประเทศที่นำเข้ามาผลิตภัณฑหม่อนผลสดจากไทย ได้แก่ เกาหลีใต้ ญี่ปุ่น และตะวันออกกลาง ซึ่งโดยปกติผลหม่อนจะให้ผลผลิตประมาณ 1,000 กิโลกรัม/ไร่/ปี และมีราคาในท้องตลาดราคากิโลกรัมละประมาณ 200-500 บาท ทำให้เกษตรกรที่ปลูกมีรายได้เพียงพอที่จะปลูกเป็นอาชีพหลักได้ อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาสำคัญที่จะต้องดำเนินการแก้ไข คือ ผลหม่อนเน่าเสียเร็ว เนื่องจากมีผิวบาง ซึ่งในอนาคตหากสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ คาดว่าแนวโน้มการปลูกและการบริโภคผลหม่อนจะขยายตัวสูงขึ้น และมีศักยภาพที่จะใช้ทดแทนการนำเข้าผลไม้ตระกูลเบอร์รี่จากต่างประเทศได้

ผลหม่อน อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด ได้แก่ กรดโฟลิก (Folic acid) สารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) เควอซีติน (Quercetin) ที่มีส่วนลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง แก้วโรคไขข้ออักเสบ ท้องผูก โลหิตจาง และขับเสมหะ เป็นต้น ซึ่งจากการค้นคว้าพบว่า ผลหม่อนมีกรดโฟลิกสูงกว่าบลูเบอร์รี่ถึง 1-2 เท่า และยังมีสารกลุ่มโพลีฟีนอล (Total polyphenol) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีประโยชน์ช่วยให้เซลล์เม็ดเลือดแดงเจริญเต็มที่เซลล์ประสาทไขสันหลังและเซลล์สมองเจริญเป็นปกติ กระแสเลือดหมุนเวียนดี และหลอดเลือดแข็งแรง รวมถึงลดอาการแพ้ต่างๆ และช่วยยืดอายุเม็ดเลือดขาวอีกด้วย นอกจากนี้ หม่อนเป็นผลไม้ที่ไม่มีการ

ใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดโรค แมลง จึงมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคอย่างยิ่ง ผลิตภัณฑ์หม่อนจึงเป็นอาหารและเครื่องดื่มที่เป็นทางเลือกใหม่ที่มีผลดีต่อสุขภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

สำหรับการศึกษาการอบแห้งผลหม่อน จะสนใจในส่วนของการสกัดสารสำคัญในผลหม่อน ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ที่คงเหลืออยู่ในผลหม่อนภายหลังจากการอบแห้ง

2.6 สารสำคัญในผลหม่อน [7], [8], [9], [10]

จากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลหม่อนพบว่า มีคาร์โบไฮเดรต 21.35 กรัม ต่อ 100 กรัม เหล็ก 43.48 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม วิตามินบี 1 50.65 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และวิตามินบี 6 930.10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ต่อน้ำหนักแห้งของผลหม่อน นอกจากนี้พบว่ามีการต้านอนุมูลอิสระ ตัวอย่างเช่น แอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดง น้ำเงิน และม่วง และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีสมบัติที่สำคัญคือ สามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคมะเร็ง แก้ววงเวียนศีรษะ และบำรุงสายตา

อนุมูลอิสระ (Free Radical) คือ โมเลกุลที่ไม่เสถียรและไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีผลต่อการทำลายโมเลกุลอื่นๆ ต่อเนื่องไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ อนุมูลอิสระอาจถือเป็นสารพิษต่อเซลล์ร่างกาย ถ้ามีมากในเซลล์ก็เป็นอันตรายได้โดยจะทำลายดีเอ็นเอ เยื่อหุ้มเซลล์ และอื่นๆ ในระยะสั้นอนุมูลอิสระมีผลต่อการอักเสบ และการทำลายเนื้อเยื่อ ในระยะยาวมีผลต่อความเสื่อมหรือการแก่ของเซลล์ ปัจจุบันผลการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่า อนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเรื้อรังชนิดไม่ติดต่อหลายชนิด โดยเฉพาะโรคมะเร็ง

สำหรับ สารต้านอนุมูลอิสระ (Anti-oxidants) คือสารที่ทำหน้าที่ป้องกันการก่อตัวของอนุมูลอิสระ โดยจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ และยับยั้งการกำเนิดใหม่ของอนุมูลอิสระ และช่วยซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดจากตัวอนุมูลอิสระที่ไปทำลายเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย รวมทั้งช่วยกำจัดและแทนที่โมเลกุลที่ถูกทำลาย

- 1) สารต้านอนุมูลอิสระจะสามารถสร้างขึ้นมาได้เองโดยร่างกายมนุษย์ซึ่งก็คือเอนไซม์บางชนิด ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ Superoxide dismutase, Catalase, Glutathione peroxidase, Glutathione reductase นอกจากนี้ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระอีกบางตัวที่พบในร่างกายซึ่งไม่ใช่เอนไซม์ ได้แก่ Ceruloplasmin Hemopexin Uric acid เป็นต้น

แต่ปัญหาคือร่างกายเรารับสารพิษเกินไป ในปัจจุบันทำให้สารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายผลิตขึ้นได้เองไม่เพียงพอ

2) ร่างกายได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกซึ่งมาจาก “อาหาร” โดยเฉพาะอาหารประเภทผักผลไม้ซึ่งผลการศึกษาทางคลินิกและระบาดวิทยาระบุว่า คนที่นิยมบริโภค ผักสด ผลไม้จะมีความเสี่ยง ในการเกิดโรคน้อยกว่าผู้ที่ไม่นิยมบริโภคผักผลไม้

ในปัจจุบันได้มีการคิดศึกษาและสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติมากขึ้นเนื่องจากผู้บริโภคได้มีการตระหนักถึงอันตรายจากสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ การสกัดโดยส่วนใหญ่มาจากผลไม้ที่มีทั้งสารต้านอนุมูลอิสระและสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น แทนนิน (Tannins) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และคาเทชิน (Catechins) ในผลไม้หลายชนิดมีสารยับยั้งอนุมูลอิสระซึ่งทำให้ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาและวิจัยอย่างแพร่หลายโดยผลไม้เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น polyphenols และ flavone ซึ่งสารเหล่านี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระและลดโอกาสในการเกิดโรคมะเร็งได้

2.6.1 การวิเคราะห์การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH assay) [11], [12]

เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งใช้ Reagent คือ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการวิเคราะห์และให้ความแม่นยำสูง ซึ่ง DPPH เป็น Stable radical ในตัวทำละลายเมทานอล (Methanol) สารละลายนี้มีสีม่วง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 515-517 นาโนเมตร (nm)

โดย DPPH● จะเกิดปฏิกิริยากับ antioxidant (AH) หรือกับ radical species (R●)



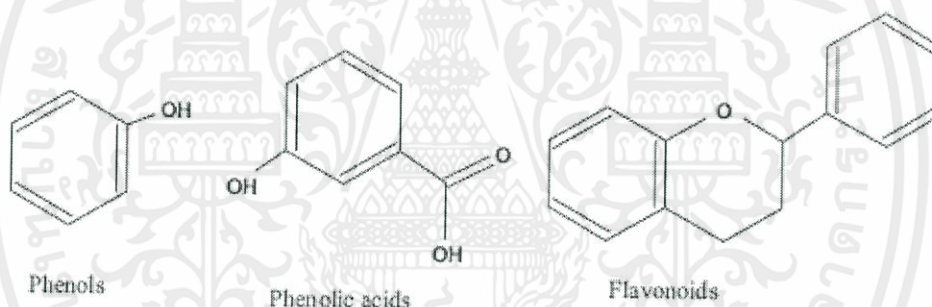
การศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ในสารตัวอย่างนิยมรายงานเป็นค่า 50% effective concentration (EC50) ซึ่งหมายถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH● ลดลง 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกเหนือจากที่กล่าวข้างต้น สารต้านอนุมูลอิสระมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ที่มีความสำคัญและพบมากในผักและผลไม้ คือ สารประกอบฟีนอล (Phenolic compound) ซึ่งเป็นสารที่พบได้ในพืชทั่วไป เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพรถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืช สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีหลายกลุ่ม และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน เช่น Flavone, Flavanone และ Flavanol

2.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Total Phenolic Compound : TPC) [13], [14]

โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) ที่เป็นอนุพันธ์ของเบนซิน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH-group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่ สารประกอบฟีนอลพื้นฐาน คือ ฟีนอล (Phenol) ประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่



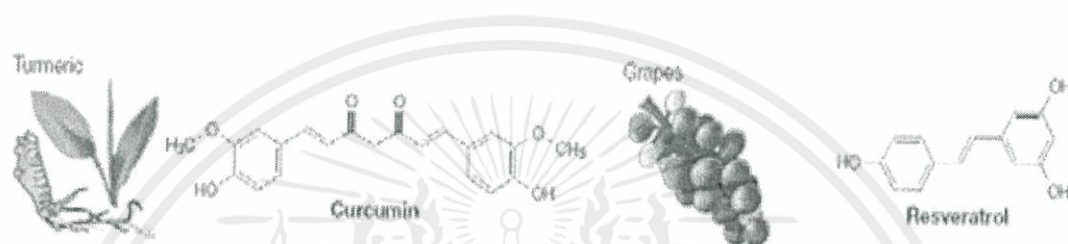
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติ [13]

สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด มีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (Phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโพลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (Lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)

สารประกอบฟีนอล ที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (Glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) และ พบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (Organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนอัลคาลอยด์ (Alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (Terpenoid) เป็นต้น

แหล่งที่พบสารประกอบฟีนอล พบได้ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) และในส่วนต่างๆ ของพืช อาทิเช่น

- ถั่วเมล็ดแห้ง ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสงและเมล็ดธัญพืชข้าว และ งา
- ผลไม้ ได้แก่ องุ่น ส้ม และไม้ผลตระกูลเบอร์รี่
- เครื่องเทศ เช่น พริกไทย พริก ขิง กระเทียม หอมแดง หอมหัวใหญ่
- พืชเครื่องดื่มได้แก่ชา โกโก้
- พืชหัว ได้แก่ มันเทศ



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสารประกอบฟีนอลที่พบในไขมันและองุ่น [14]

ในการวัดปริมาณสารประกอบกลุ่มฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic content) หลักการ คือ สารประกอบฟีนอลทั้งหมดในรูปกรดรูปกรดแกลลิก ทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent ซึ่งประกอบด้วย phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents สารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์ โดย phenolic hydroxyl groups ของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเกิดเป็น tungsten และ molybdenum blue ซึ่งให้สีน้ำเงินและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

2.7 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD)

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเป็นสาขาหนึ่งของกลศาสตร์ของไหลที่ใช้การคำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลขและระเบียบวิธี (Algorithms) เพื่อแก้และวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับของไหล การถ่ายโอนความร้อนหรือปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของกฎการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน เทคนิค CFD จะคำนวณแก้สมการเหล่านี้ ณ ตำแหน่งของกริด (Grid) ของแบบจำลองที่กำหนดไว้ โดยจะมีผลการคำนวณที่ทุกๆ ตำแหน่งของกริด ผลที่ได้จากการคำนวณ เช่น ความเร็ว ความดัน อุณหภูมิ ความหนาแน่น ความเข้มข้น เป็นต้น สามารถนำมาแสดงผลได้หลายรูปแบบ เช่น กราฟ ภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น เทคนิค CFD นี้เป็นประโยชน์และใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม ตัวอย่างที่มีการประยุกต์ใช้ได้แก่

- พลศาสตร์การไหลของอากาศยานและยานพาหนะ เช่น แร้งยกกับแรงต้าน
- พลศาสตร์ของน้ำที่เกิดขึ้นรอบลำเรือ
- เครื่องจักรผลิตกำลัง เช่น การผสมและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การไหลของสารทำงาน
- เครื่องจักรกังหัน เช่น การเคลื่อนไหวภายในช่องที่มีการหมุน การไหลผ่าน Diffuser
- วิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การทำความเย็นบนอุปกรณ์รวมทั้งวงจรไมโครอิเล็กทรอนิกส์
- วิศวกรรมเคมี เช่น การผสมและการแยกสาร การไหลและการขึ้นรูปพลาสติก
- สภาพแวดล้อมภายในและภายนอกของอาคาร ที่เกี่ยวข้องกับแรงลมที่กระทำกับอาคารและการระบายอากาศ
- วิศวกรรมทางทะเล เช่น ภาระของกระแสน้ำใต้ทะเลต่อโครงสร้างใต้น้ำ
- วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เช่น การกระจายตัวของมลพิษ

โดยทั่วไปแล้วโปรแกรมทางด้านการวิเคราะห์ผลมีราคาค่อนข้างสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการพิเศษต่างๆ ที่เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าการลงทุนของ CFD จะมีมูลค่าไม่น้อย แต่ก็ไม่มากนักเมื่อเทียบกับการทดลองที่ต้องการคุณภาพสูง นอกจากนี้ CFD ยังมีข้อได้เปรียบกว่าการทดลองเพื่อการออกแบบระบบหรืออุปกรณ์ต่างๆ พอสังเขปได้ดังนี้

- สิ่งแวดล้อม เช่น การกระจายตัวของมลพิษ
- สามารถศึกษาระบบที่การทดลองควบคุมได้ยากหรือเป็นไปไม่ได้ เช่น ในระบบใหญ่
- สามารถศึกษาระบบที่มีภาวะเสี่ยงอันตรายหรือที่มีสมรรถนะนอกเหนือข้อจำกัดปกติที่ระบบนั้นๆ ทำงานอยู่ เช่น การศึกษาความปลอดภัยและอุบัติเหตุ
- ไม่จำกัดรายละเอียดของผลลัพธ์

ต้นทุนของการทดลองโดยทั่วไปมักเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งในการทดสอบและเก็บข้อมูล หากแต่การใช้ CFD ในการวิเคราะห์ผลนั้น สามารถสร้างผลลัพธ์ในรูปแบบต่างๆ ที่เสมือนจริงได้ โดยไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และสามารถนำไปใช้ในการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ในตำแหน่งที่ซับซ้อนมากได้ ซึ่งทำให้สามารถออกแบบเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานในเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) Pre-Processor คือ ส่วนของการป้อนข้อมูลของปัญหาการไหลให้กับโปรแกรมคำนวณ ซึ่งรวมถึง
 - นิยามรูปร่างขอบเขตที่สนใจ ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของปัญหาที่ต้องการคำนวณ
 - การเลือกปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ที่จำเป็นต่อแบบจำลอง
 - นิยามคุณสมบัติของของไหล
 - การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมกับขอบเขตของปัญหา
 - การแบ่งขอบเขตของปัญหาเป็นส่วนเล็กๆ จำนวนมาก และไม่เกิดการทับซ้อนกัน โดยความแม่นยำของคำตอบจาก CFD ถูกควบคุมโดยจำนวนเซลล์ ยิ่งจำนวนเซลล์มาก คำตอบของปัญหาจะแม่นยำมากขึ้น แต่การแบ่งเซลล์ก็มีข้อจำกัดในเรื่องประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์
- 2) Solver คือ ส่วนของการแก้ปัญหา โดยในการคำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลข มีทั้งหมด 4 แบบด้วยกัน ได้แก่ Finite difference method, Finite element method, Finite volume method และ Spectral method รูปแบบพื้นฐานของการแก้ปัญหา มีขั้นตอนดังนี้
 - ประมาณตัวแปรที่ไม่ทราบค่าด้วยฟังก์ชันอย่างง่าย
 - เปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial differential equation) ให้เป็นสมการพีชคณิต ด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยการแทนค่าการประมาณลงในสมการควบคุมและจัดรูป
 - แก้ปัญหาของสมการพีชคณิต
- 3) Post-Processor เป็นส่วนของการแสดงผลที่ได้ ซึ่งได้มีการพัฒนาให้มีการแสดงผลในรูปแบบต่างๆ เช่น
 - รูปทรงโดเมน (Domain) และการแสดงกริด (Grid)
 - เวกเตอร์ (Vector)
 - เส้นและคอนทัวร์ (Contour)
 - พื้นผิว 2 และ 3 มิติ
 - การติดตามอนุภาค
 - การจัดภาพการมอง (การย้าย การหมุน การปรับ ฯลฯ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิชชุตา วิรุจน์ และสุรางค์ (2546) [2] ได้ออกแบบและพัฒนารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการป้อนลมร้อนเข้าห้องอบแห้ง ชุดทดลองมีลักษณะเป็นห้องอบทรงกระบอก ประกอบด้วยท่อลมร้อนทั้งหมด 4 ท่อ โดยสามท่อแรกถูกติดตั้งเข้ากับผนังห้องอบในแนวสัมผัส อีกหนึ่งท่อติดตั้งไว้บริเวณส่วนล่างของห้องอบ อุณหภูมิในการอบและความเร็วสัมพัทธ์ของลมร้อนอยู่ในช่วง 65-70 องศาเซลเซียส และ 2.3-4.8 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ศึกษาลักษณะการป้อนลมร้อน 3 รูปแบบ โดยอัตราส่วนของลมร้อนผ่านทั้งสามท่อด้านข้างต่อลมร้อนที่ผ่านท่อด้านล่างเป็น 60 : 40 50 : 50 และ 85 : 15 สำหรับรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ พบว่า ความชื้นของกล้วยโดยการป้อนลมรูปแบบที่ 3 ไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่การอบโดยป้อนลมในรูปแบบที่ 1 และ 2 นั้นทำให้กล้วยหลังอบมีความชื้นสม่ำเสมอขึ้นดี แต่การป้อนลมในรูปแบบที่ 2 ให้ผลดีกว่ารูปแบบที่ 1 เล็กน้อย เมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ปฎิวิทย์ ทิพวรรณ และราตรี (2554) [12] ได้ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกรวมในเปลือกผลไม้ 10 ชนิดได้แก่ ส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata*) ส้มโอ (*Citrus maxima Merr.*) กล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum Linn.*) มะไฟ (*Baccaurea ramiflora Lour.*) แตงโม (*Citrullus vulgaris*) สับปะรด (*Ananas comosus Merr.*) แคนตาลูป (*Cucumis melo var.*) มะละกอ (*Carica papaya L.*) มะม่วงดิบ และมะม่วงสุก (*Mangifera indica L.*) นำมาวิเคราะห์หาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (1,1-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging และ total antioxidant capacity) และสารประกอบฟีนอลิกรวม พบว่าเปลือกมะม่วงดิบและมะม่วงสุก มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (IC₅₀ เท่ากับ 2.32 และ 2.31 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรวม (เทียบกับกรดแอสคอบิก และแกลลิก) สูงสุด ในทำนองเดียวกัน เมื่อทำการศึกษาสารประกอบฟีนอลิกรวม พบว่าเปลือกมะม่วงดิบมีสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด เท่ากับ 72.8 mg GAE/ กรัม น้ำหนักแห้ง ดังนั้นเปลือกมะม่วงดิบจึงเป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิก

กันยวิชญ์ (2554) [13] ได้ศึกษาวิธีการและสภาวะที่เหมาะสม ในการผลิตหมอนผงเสริมเกสรดอกไม้จากผึ้ง วัตถุดิบที่ใช้เป็นผลหมอนสุก (สีม่วงดำทั้งผล) ไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบหินขัดและอบแห้งด้วยเครื่องอบ 2 แบบ คือเครื่องอบแห้งแบบถาด และเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่ใช้อินฟราเรด จากการศึกษาการเติมมอลโทเด็กซ์ทรีน พบว่าปริมาณที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 5 ของส่วนผสมหมอนบด ไม่ว่าจะอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดใดก็ตาม ยังคงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็น

ผงไม่เกาะตัวกัน และมีการดูดความชื้นกลับต่ำ จากการศึกษาการเสริมเกสรดอกไม้จากผึ้ง พบว่าการเติมเกสรชนิดสดมีความเหมาะสมมากกว่าเกสรชนิดแห้ง และพบว่าถ้ามีการเติมเกสรดอกไม้จากผึ้งในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระกลับมีแนวโน้มลดลง ในการวิจัยนี้จึงได้เลือกเติมเกสรดอกไม้จากผึ้งเพียงร้อยละ 5 ของส่วนผสม พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมของแต่ละเครื่อง ได้แก่ 60 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่ใช้อินฟราเรด ยังคงมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการอบอีกวิธีหนึ่ง ผลิตภัณฑ์เหมือนผงเสริมเกสรดอกไม้จากผึ้งที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด $2,590.33+30.35$ ไมโครกรัมต่อกรัม สารแอนโทไซยานินทั้งหมด $1,760.73+11.41$ ไมโครกรัมต่อกรัม ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระร้อยละ $33.57+0.33$ และค่าดัชนีสารแอนติออกซิแดนต์ $17.76+0.73$

วารานน (2540) [15] ได้ศึกษาพารามิเตอร์ของเครื่องอบแห้งผลไม้แบบถาดหมุนได้ และถาดหยุดนิ่ง เพื่ออบลดความชื้นของมะขามหวานให้มีความสม่ำเสมอ และประหยัดพลังงานมากที่สุด โดยใช้มะขามหวานที่มีความชื้นสูงเฉลี่ยร้อยละ 47.74 (มาตรฐานเปียก) ที่อุณหภูมิคือ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ใช้ระดับความเร็วลมคงที่เท่ากับ 0.5752 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่อัตราการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 96 พบว่าที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบลดความชื้นสูงสุด และเครื่องอบลดความชื้นแบบถาดหมุนให้ผลทางสถิติของการอบลดความชื้นมะขามหวานได้ดีกว่าเครื่องอบลดความชื้นแบบถาดหยุดนิ่ง

Shawik, Tapash, P. Srinivasa and R.K. Jain (2544) [16] แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามมิติสำหรับกรณีวิเคราะห์ทิศทางและรูปแบบการไหลภายในเครื่องอบแห้งถูกพัฒนามาเพื่อศึกษารูปแบบการไหลภายในโดยใช้โปรแกรม FLUENT สำหรับศึกษารูปแบบการไหล ซึ่งส่วนที่ได้ศึกษาเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวของการอบแห้งสำหรับวัสดุทรงกลมหรือเทียบเท่าโดยจะทำการจำลองในรูปแบบสามมิติซึ่งแบบจำลองนี้สามารถนำมาพัฒนาใช้ในการเปรียบเทียบค่าความชื้นของพริกชี้ฟ้าแดงกับการทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ของความชื้นจากการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง สำหรับแบบจำลองนี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อค่าการออกแบบเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมที่มีค่าการไหลของอากาศร้อนที่เกิดขึ้นภายในอยู่ในลักษณะที่สม่ำเสมอโดยปัจจัยที่เลือกศึกษาได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของเครื่องอบแห้ง และการเปลี่ยนแปลงวัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องอบแห้งชนิดถาดหมุน (Rotating tray dryer)
- 2) ผ้าขนหนู ขนาด 10 เซนติเมตร x 10 เซนติเมตร
- 3) อุปกรณ์สำหรับเพิ่มความชื้น (ขวดบรรจุน้ำ พร้อมหัวฉีด ขนาด 700 มิลลิลิตร)
- 4) เครื่องกำเนิดความร้อน (Heater)
- 5) เครื่องเป่าลม (Blower)
- 6) เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)
- 7) ท่อสำหรับส่งผ่านลม
- 8) ฉนวนกันความร้อน
- 9) วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) 3 ตัว
- 10) เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 11) ที่ตีสบ
- 12) ถาดรอง
- 13) กระจกนาฬิกา
- 14) ซ้อนตักสาร
- 15) กระจดาชรองชั่ง
- 16) ปีกเกอร์
- 17) แท่งแก้ว
- 18) กรวยแก้ว
- 19) ขวดวัดปริมาตร
- 20) โกร่งบดสาร
- 21) ขวดแก้วสีชา
- 22) ขวดแก้วสีใส
- 23) หลอด Centrifuge
- 24) Cuvette

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมี

- 1) ผลหม่อนสุก สีดำทั้งผล
- 2) Liquid Nitrogen
- 3) 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
- 4) Gallic Acid
- 5) Ethanol 95%
- 6) Folin-ciocalteu
- 7) Sodium Carbonate
- 8) Hydrochloric Acid
- 9) น้ำกลั่น

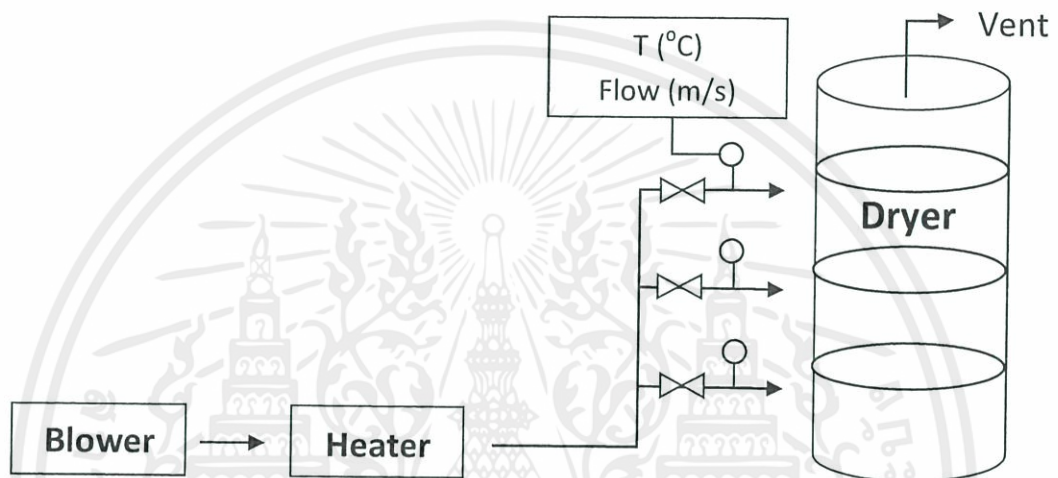


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

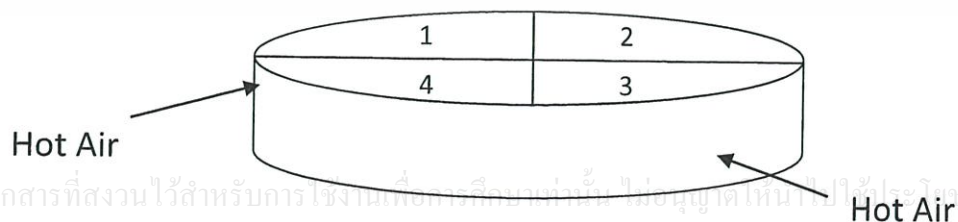
3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุอุปกรณ์

1) ติดตั้งเครื่องเป่าลมกับเครื่องกำเนิดความร้อนเพื่อสร้างลมร้อนสำหรับป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน พร้อมชุดวาล์วปีกผีเสื้อ และส่วนสำหรับวัดความเร็วลมจำนวน 3 ชุด สำหรับใช้ในการแบ่งอัตราส่วนของอัตราการไหลของลมร้อนก่อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง

2) หุ้มฉนวนบริเวณท่อส่งผ่านลมร้อน และบริเวณรอยต่อของการติดตั้งท่อผ่านชุดวาล์วเพื่อลดการสูญเสียความร้อนก่อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน เตรียมวัสดุทดลองโดยเลือกใช้ผ้าขนหนูขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตรพรมน้ำให้น้ำหนักผ้าเริ่มต้นของทุกผืนเท่ากัน มัดผ้าขนหนูให้มีลักษณะเป็นปมเช่นเดียวกันทุกผืนเพื่อใช้ในการทดลอง จำนวน 12 ชิ้นต่อ 1 การทดลอง วางวัสดุทดลอง 4 ชิ้นต่อ 1 ถาด ทั้งหมด 3 ถาด คือ ชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง โดยมีลักษณะการวางวัสดุทดลองในถาดดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางวัสดุทดลองในชั้นอบแห้ง

3.3.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ในการลดลงของความชื้นตามสภาวะที่กำหนดเทียบกับเวลา

1) ทำการปรับเครื่องเป่าลมและเครื่องกำเนิดความร้อน โดยให้ได้ความเร็วลมภายในเครื่องอบแห้งเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : แบ่งลมร้อนเข้าในอัตราส่วน 0 : 0 : 100 สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่างในรูปแบบของลมเข้าทางเดียวร่วมกับธาตุหยุดนิ่ง และธาตุหมุนที่ความเร็วรอบของธาตุ 6 รอบต่อนาที เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความชื้นของการอบแห้งแบบธาตุหยุดนิ่งและแบบธาตุหมุน

ขั้นตอนที่ 2 : ศึกษาการอบแห้งแบบธาตุหมุน โดยแบ่งลมร้อนเข้าใน 2 อัตราส่วน ได้แก่ 20 : 20 : 60 และ 30 : 30 : 40 สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่างในรูปแบบของลมเข้าทางเดียว ที่ธาตุหมุนด้วยความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที เพื่อหาอัตราส่วนการแบ่งลมร้อนเข้าที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3 : ศึกษารูปแบบของการป้อนลมร้อนเข้าเครื่องอบแห้งในลักษณะ ลมเข้าทางเดียวร่วมกับธาตุหมุนและลมเข้าสองทางร่วมกับธาตุหยุดนิ่ง โดยใช้ อัตราส่วนการแบ่งลมร้อนเข้าที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความชื้นของการป้อนลมร้อนเข้าเครื่องอบแห้งทั้งสองรูปแบบ

2) อบวัสดุทดลองภายใต้สภาวะที่ต้องการศึกษา และบันทึกน้ำหนักของวัสดุทดลองทุก 15 นาที ทำการทดลองเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง

3) นำผลที่ได้จากการทดลองมาปรับให้อยู่ในรูปของค่าความชื้น หรือ Moisture content เพื่อหาความสัมพันธ์ในการลดลงของความชื้นเมื่อเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การหาปริมาณสารสำคัญในผลหม่อนหลังการอบแห้ง

อบผลหม่อนสุกสีดำทั้งผลในเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนภายใต้สภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลองในหัวข้อ 3.2.2 โดยบรรจุผลหม่อน 25 กรัม ในภาชนะบรรจุจำนวน 12 ชั้น ทำการอบผลหม่อนและบันทึกค่าน้ำหนักผลหม่อนที่เวลาต่างๆ จนกระทั่งเหลือความชื้นในผลหม่อนเป็น 30% (ตามค่า Water activity ที่เหมาะสม ซึ่งดูรายละเอียดในภาคผนวก ค.) จึงเริ่มเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 โดยเลือกถ้วยที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดในแต่ละชั้นออกมา หลังจากนั้นเก็บนำผลที่ได้จากการทดลองมาปรับให้อยู่ในรูปของค่าความชื้น เพื่อหาความสัมพันธ์ในการลดลงของความชื้นเทียบกับเวลาแล้วนำผลหม่อนอบแห้งมาหาปริมาณสารสำคัญดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสกัดสารสำคัญในสารตัวอย่าง

- 1) นำหม่อนอบแห้งใส่โถกรองบดสารแล้วเติมไนโตรเจนเหลวพอท่วมแล้วทำการบดละเอียด
- 2) นำหม่อนอบแห้งบดละเอียดปริมาณ 1 กรัม มาสกัดด้วยสารละลาย Ethanolic (ซึ่งประกอบด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% ในอัตราส่วน 98 ต่อ 2 โดยปริมาตร) 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอด Centrifuge ขนาด 15 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
- 3) นำหลอด centrifuge ที่บรรจุสารสกัดไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10000 rpm เป็นเวลา 5 นาที แยกเอาเฉพาะสารละลายใสเก็บไว้เป็นสารสกัดสำหรับวิเคราะห์ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity [12] โดยใช้ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

- 1) เตรียมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.004% โดยชั่งน้ำหนัก DPPH 4 มิลลิกรัมละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% และเก็บในขวดสีชา เพื่อหลีกเลี่ยงการถูกแสงควรเตรียมทันทีก่อนใช้
- 2) นำตัวอย่างสารสกัดมา 0.05 มิลลิลิตรเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 10 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากันแล้วไปตั้งทิ้งไว้ในที่มีदनาน 30 นาที
- 3) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลเข้มข้น 95% เป็นสารเปรียบเทียบ (Blank) และรายงานผลเป็นค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เขียนไว้สำหรับงานใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ 50% (IC₅₀) คำนวณดังสมการ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%DPPH \text{ Reduction} = \left[\frac{A_0 - A_e}{A_0} \right] \times 100$$

เมื่อ A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่เติมสารสกัด

A_e = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่เติมสารสกัด

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Total Phenolic Compound) [13]

- 1) สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน และค่าการดูดกลืนแสง ดูวิธีสร้างกราฟอย่างละเอียดที่ภาคผนวก ง.
- 2) นำตัวอย่างสารสกัดมา 0.05 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Ethanolic 0.45 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 10% 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
- 3) เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
- 4) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายฟีนอลิกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0 ppm เป็นสารเปรียบเทียบ (Blank)
- 5) นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้น X แล้วนำค่า X คูณด้วยค่า Dilution factor จะได้ค่าความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดในสารตัวอย่าง หน่วย ppm (หรือไมโครกรัมต่อกรัม as Gallic acid) โดยใช้ค่า $\text{Dilution factor} = \frac{10 \text{ ml สารสกัด}}{1 \text{ g น้ำหนักแห้ง}}$

3.3.4 ศึกษาแบบการไหลและพฤติกรรมของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งโดยใช้วิธี

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD)

ในขั้นตอนนี้จะทำการจำลองการไหลของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งในลักษณะของลมเข้าสองทางร่วมกับพัดลมดูดอากาศเพื่อศึกษาพฤติกรรมของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งและวิเคราะห์ผลถึงความสามารถในการลดความชื้นวัสดุทดลองด้วยวิธีดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ในการลดลงของความชื้นตามสภาวะที่กำหนดเทียบกับเวลา

เมื่อทำการทดลองอบแห้งวัสดุทดลองในเครื่องอบแห้งและนำผลจากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในวัสดุอบแห้งเทียบกับเวลาได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.3

ขั้นตอนที่ 1 : แบ่งลมร้อนขาเข้าในอัตราส่วน 0 : 0 : 100

สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง

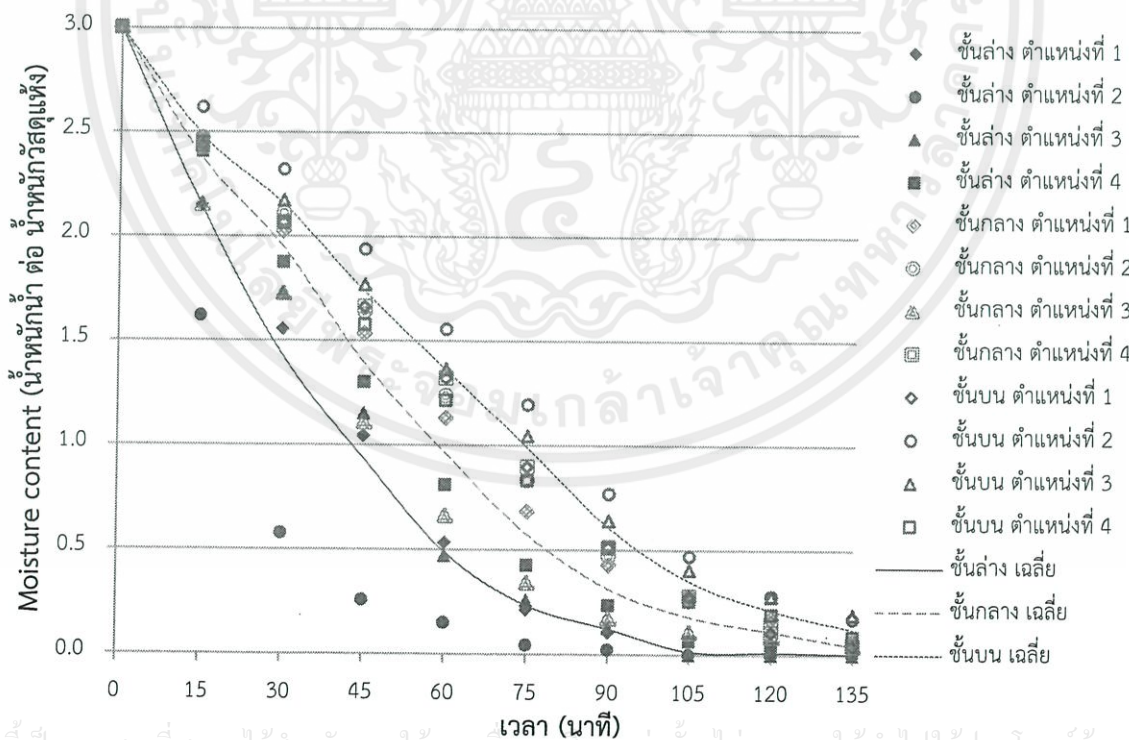
ในรูปแบบของลมเข้าทางเดียวร่วมกับภาคหยุดนิ่งและภาคหมุน

อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส

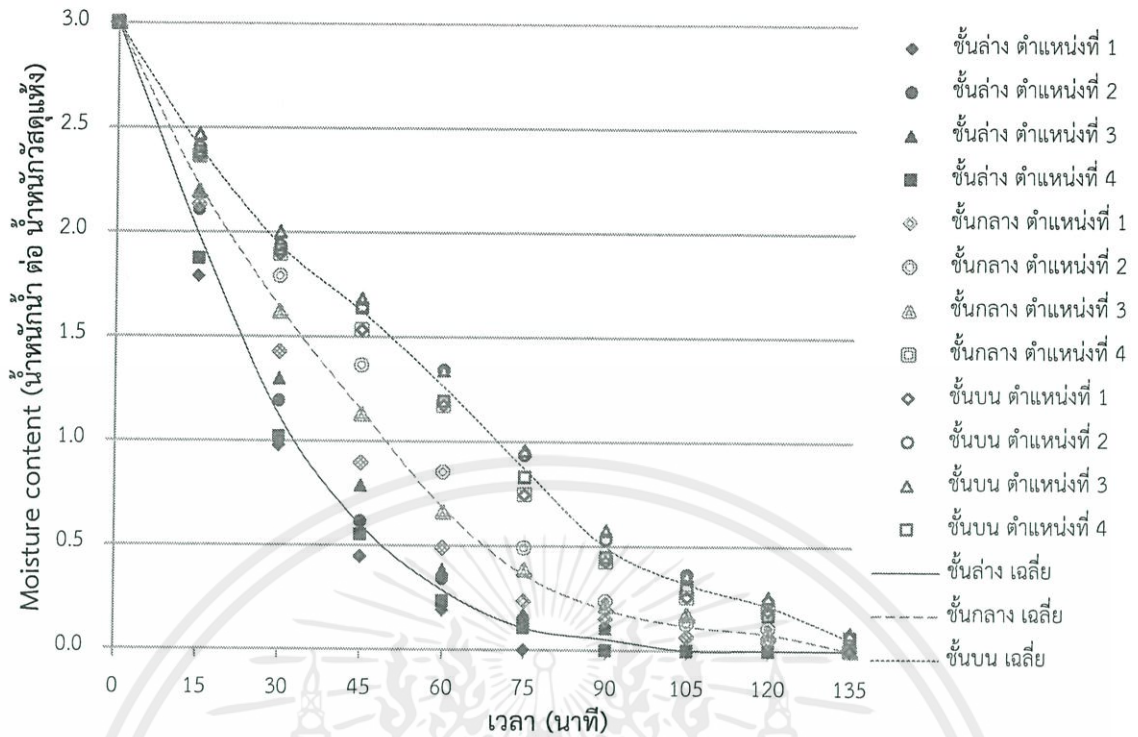
ความเร็วลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง 0.5 เมตรต่อวินาที

น้ำหนักวัสดุทดลองแห้ง 4.7 กรัม

น้ำหนักวัสดุทดลองเปียก 18.8 กรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 กราฟอัตราการอบแห้งทดลองที่อัตราส่วนลมร้อนเข้าเป็น 0 : 0 : 100

สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่างร่วมกับ

(ก) ถาดหยุดนิ่ง

(ข) ถาดหมุนด้วยความเร็วรอบ 6 รอบ/นาที

จากรูปที่ 4.1 พบว่าการลดลงของความชื้นในวัสดุอบแห้งทั้งสามชั้นเมื่อต่อลมร้อนเข้าทางด้านล่างเท่านั้น การลดลงของความชื้นมีค่าสูงสุดที่ชั้นล่างและต่ำสุดที่ชั้นบน เนื่องจากการต่อท่อลมร้อนเข้าตำแหน่งเดียวคือท่อล่างสุด ลมร้อนจะผ่านถาดชั้นล่างก่อน มายังชั้นกลางและผ่านชั้นบนจนถึงทางปล่อยลมร้อนออก โดยลมร้อนที่ผ่านชั้นล่างได้มีการถูกนำพลังงานไปใช้ในการทำให้น้ำในวัสดุอบแห้งระเหยตัวออกมาทำให้อุณหภูมิของลมร้อนลดลง และปริมาณของความชื้นในลมร้อนสูงขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำจากวัสดุอบแห้งที่ชั้นล่างสุดนั่นเอง ทำให้กระบวนการลดความชื้นของวัสดุอบแห้งในชั้นกลางและชั้นบนมีการลดลงของความชื้นลดลงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของภาคหุคหนึ่ง ดังรูปที่ 4.1(ก) พบว่าการลดลงของความชื้นของวัสดุอบแห้ง ณ ตำแหน่งต่างกันภายในภาตชั้นเดียวกันมีการลดลงของความชื้นที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการกระจายความร้อนไม่ดีและวัสดุอบแห้งที่ตำแหน่งที่ 2 ของชั้นล่างสุดมีอัตราการลดลงของความชื้นมากที่สุด เนื่องจากตำแหน่งนี้อยู่ใกล้กับช่องลมร้อนขาเข้ามากที่สุด ส่วนกรณีของภาตหมุน ดังรูปที่ 4.1(ข) พบว่าแนวโน้มการลดลงของความชื้นในแต่ละชั้นสอดคล้องกับที่ได้กล่าวไปคือชั้นล่างสุดมีอัตราการลดลงของความชื้นสูงที่สุดและลดลงสำหรับชั้นที่สูงขึ้นมา และค่าความชื้นมีการกระจายตัวน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีภาตหุคหนึ่ง ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่ากรณีของภาตหมุนนี้ช่วยในเรื่องของการกระจายลมร้อนทำให้การลดลงของความชื้นมีความสม่ำเสมอในในแต่ละภาตมากกว่า และเนื่องจากการทดลองนี้ให้ลมร้อนเข้าเฉพาะในท่อด้านล่างสุด ทำให้การลดลงของความชื้นแต่ละชั้นไม่สม่ำเสมอดังที่กล่าวมาจึงควรทำให้ลมร้อนเข้าในภาตทั้งสามชั้น เพื่อการอบที่สม่ำเสมอในทุกๆชั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

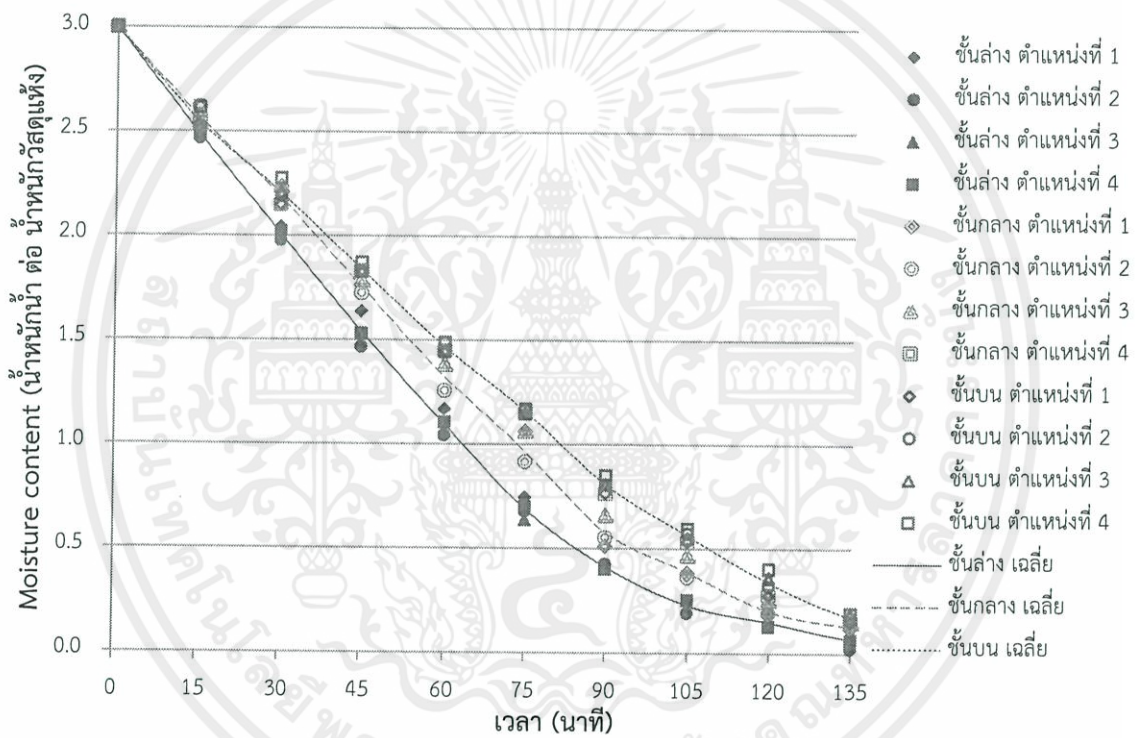
ขั้นตอนที่ 2 : แบ่งลมร้อนขาเข้าใน 2 อัตราส่วน ได้แก่

20 : 20 : 60 และ 30 : 30 : 40

สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง

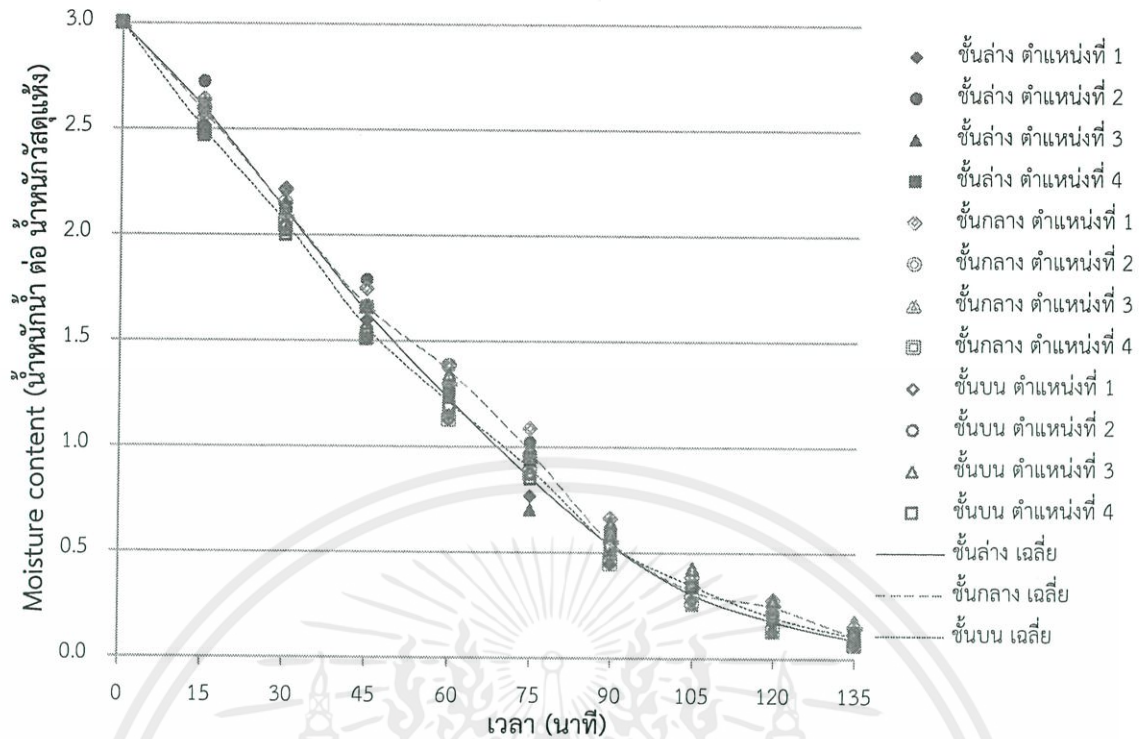
ในรูปแบบของลมเข้าทางเดียวร่วมกับพัดลมที่ความเร็วรอบ 6 รอบ/นาที

อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง	60	องศาเซลเซียส
ความเร็วลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง	0.5	เมตรต่อวินาที
น้ำหนักวัสดุทดลองแห้ง	4.7	กรัม
น้ำหนักวัสดุทดลองเปียก	18.8	กรัม



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.2 กราฟอัตราการอบแห้งทดลองในรูปแบบของลมเข้าทางเดียวร่วมกับภาคหมุน

สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่างใน 2 อัตราส่วน ได้แก่

(ก) 20 : 20 : 60

(ข) 30 : 30 : 40

จากรูป 4.2 พบว่าการที่แบ่งลมร้อนเข้าทั้ง 3 ทางทำให้มีการกระจายความร้อนดีขึ้น การลดลงของความชื้นของวัสดุทดลองแต่ละชั้นภายในชั้นมีความสม่ำเสมอมากกว่าการต่อลมร้อนเข้าทางด้านล่างเท่านั้น และพบว่า การแบ่งลมร้อนในอัตราส่วน 30 : 30 : 40 (สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง) ให้ผลการทดลองที่ดีกว่าคือการลดลงของความชื้นในแต่ละชั้นมีความใกล้เคียงกันมากกว่าอัตราส่วน 20 : 20 : 60 (สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง)

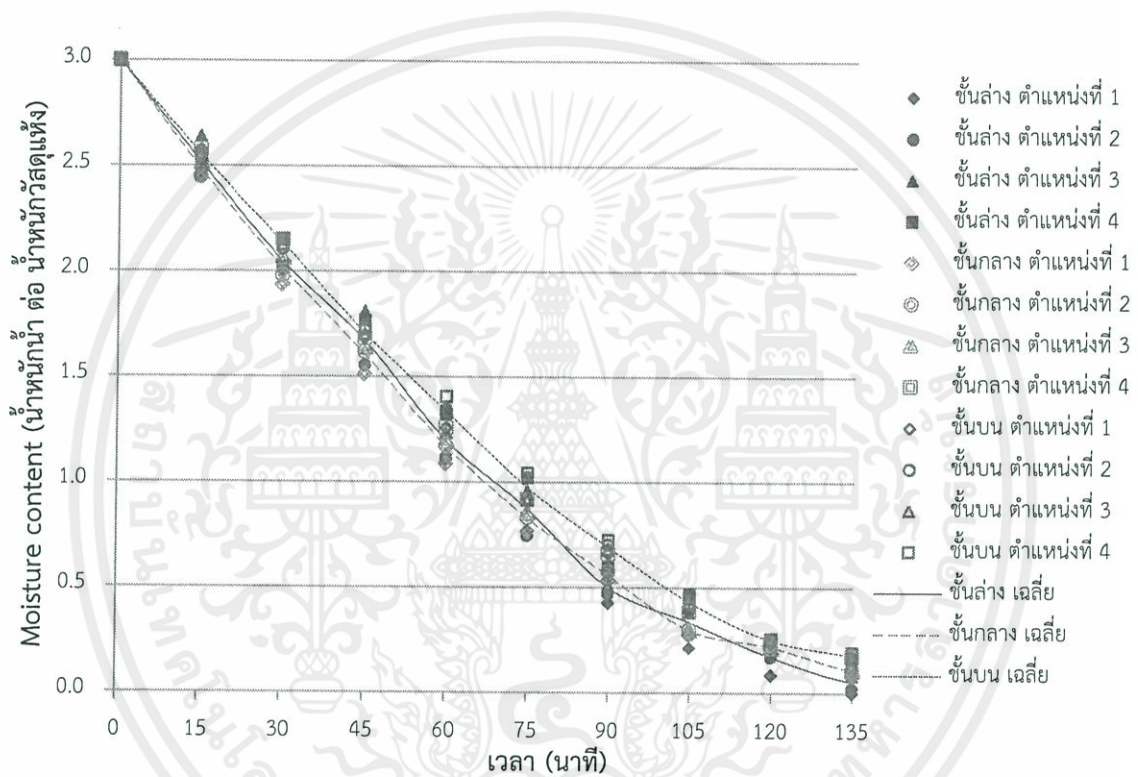
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 : แบ่งลมร้อนขาเข้าในอัตราส่วน 30 : 30 : 40

สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง

ในรูปแบบของลมเข้าสองทางร่วมกับภาคหยุดนิ่ง

อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง	60	องศาเซลเซียส
ความเร็วลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง	0.5	เมตรต่อวินาที
น้ำหนักวัสดุทดลองแห้ง	4.7	กรัม
น้ำหนักวัสดุทดลองเปียก	18.8	กรัม



รูปที่ 4.3 กราฟอัตราการอบแห้งทดลองในรูปแบบของลมเข้าสองทางร่วมกับภาคหยุดนิ่ง

สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่างในอัตราส่วน 30 : 30 : 40

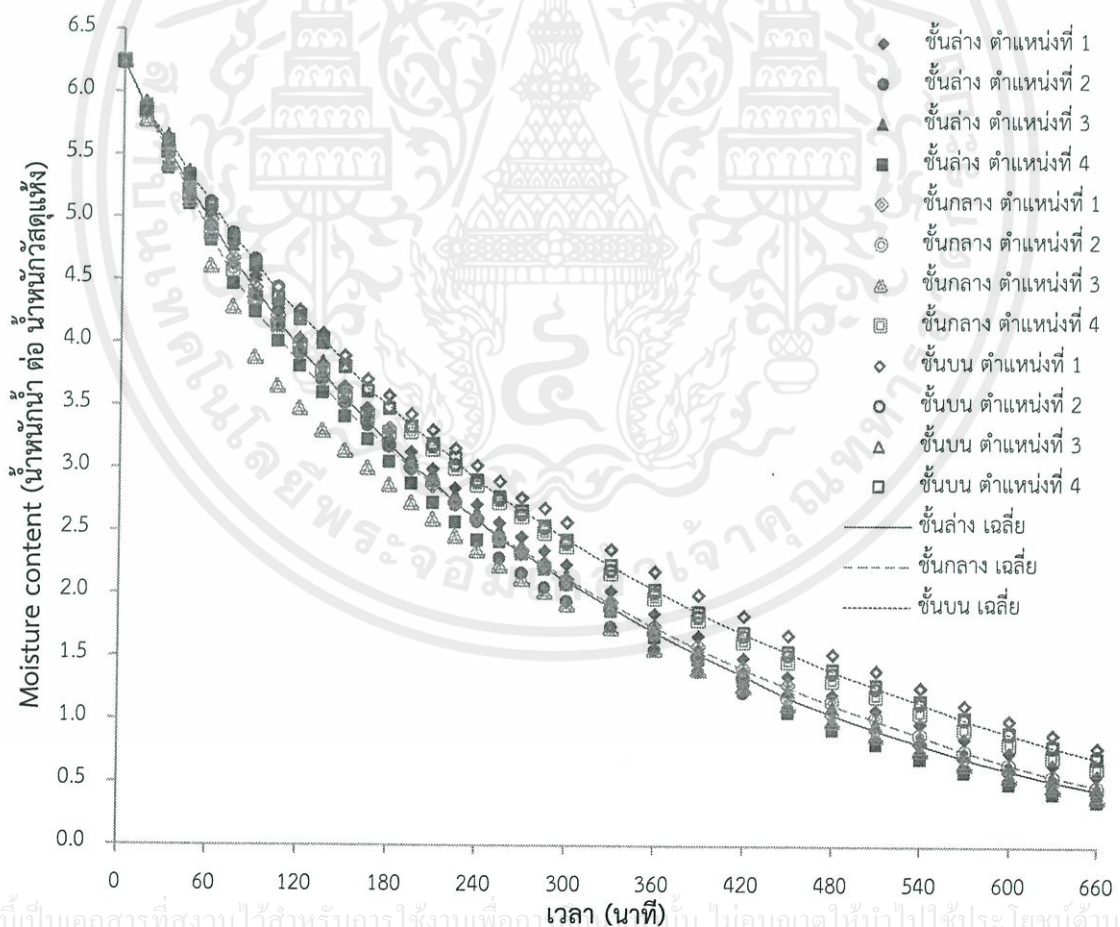
จากรูป 4.3 พบว่ามีการแบ่งลมร้อนเข้าสองทางโดยทิศทางของทางเข้าลมร้อนในลักษณะของแนวเส้นสัมผัสกับตู้อบทรงกระบอก ทำให้ลมที่เข้ามามีลักษณะการหมุนวนแบบไซโคลนเกิดการกระจายลมร้อนที่ทั่วถึง โดยกรณีรูปแบบของลมร้อน เข้าสองทางร่วมกับภาคหยุดนิ่ง มีการกระจายลมร้อนที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกับกรณีของลมร้อนเข้าทางเดียวร่วมกับภาคหมุน การลดลงของความชื้นของวัสดุทดลองแต่ละชั้นภายในชั้นค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยพบว่าการลดลงของความชื้นของทั้งสองกรณีดังกล่าวมีอัตราการลดลงของความชื้นที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก

4.2 การหาปริมาณสารสำคัญในผลหม่อนหลังการอบแห้ง

เมื่อทำการทดลองอบแห้งวัสดุทดลองในเครื่องอบแห้งและได้สภาวะที่ดีที่สุดจากการผลทดลองในหัวข้อ 4.1 แล้ว จึงทำการอบผลหม่อน และนำผลจากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในผลหม่อนอบแห้งเทียบกับเวลาได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4

โดยสภาวะที่ดีที่สุด คือ สภาวะในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งกำหนดให้ แบ่งลมร้อนเข้าในอัตราส่วน 30 : 30 : 40 สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง ในรูปแบบของลมเข้าสองทางร่วมกับพัดหยุดนิ่ง

อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง	60	องศาเซลเซียส
ความเร็วลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง	0.5	เมตรต่อวินาที
น้ำหนักวัสดุทดลองแห้ง	3.46	กรัม
น้ำหนักวัสดุทดลองเปียก	25.00	กรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.4 กราฟอัตราการอบแห้งของผลหม่อน ในรูปแบบของลมเข้าสองทางร่วมกับพัดหยุดนิ่ง

สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่างในอัตราส่วน 30 : 30 : 40

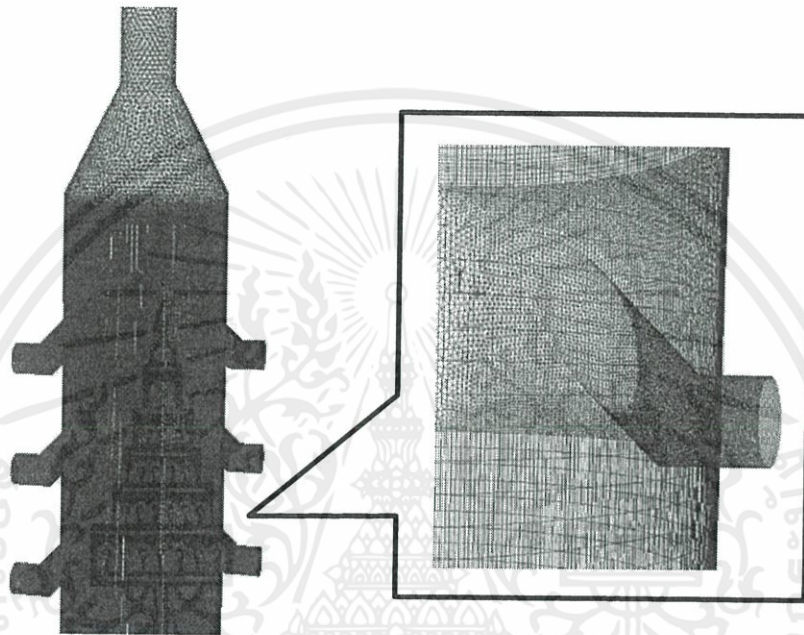
จากรูป 4.4 ในกรณีการอบผลหม่อนสุกสีดำทั้งผลด้วยการแบ่งลมร้อนเข้าทั้งสองทางร่วมกับ ภาตหยุดนิ่ง พบว่าการลดลงของความชื้นของภาคชั้นบนเป็นไปได้ช้ากว่าสองภาตล่างที่มีอัตราการ ลดลงของความชื้นที่ใกล้เคียงกันและการลดลงของความชื้นของวัสดุทดลองแต่ละชั้นภายในชั้น ค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยสาเหตุหลักของความแตกต่างในการลดลงของความชื้นของภาคชั้นบน เนื่องมาจากปริมาณความชื้นในลมร้อนที่สะสมจากการระเหยจากชั้นกลางและชั้นล่างทำให้การระเหย ของน้ำของชั้นบนเป็นไปได้ยากขึ้น จึงทำให้อัตราการลดลงของความชื้นของภาคชั้นบนต่ำกว่าภาคชั้น กลางและชั้นล่าง

โดยหลังจากการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ การวิเคราะห์การเป็นสารต้านอนุมูล อิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity และการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอล ทั้งหมด (Total Phenolic Compound) โดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของสาร ดังกล่าวจากตาราง ก.2 และวิธีคำนวณจากผนวก ง. ได้ผลว่า ค่าDPPH Reduction เท่ากับร้อยละ 77.14 และความเข้มข้นสารประกอบฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 1953.74 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ศึกษารูปแบบการไหลและพฤติกรรมของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD)

ในส่วนของขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของเครื่องอบแห้งก่อนการจำลองรูปแบบการไหลของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ด้วยโปรแกรม GAMBIT สามารถสร้างรูปและกริด ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 รูปเครื่องอบแห้งและกริดที่สร้างด้วยโปรแกรม GAMBIT

ในการจำลองรูปแบบการไหลของลมร้อน จำเป็นต้องมีการกำหนดชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องอบแห้ง ชนิดของไหลภายในเครื่องอบแห้ง และสภาวะขอบเขต เป็นต้น ในโปรแกรม FLUENT

Material Fluid : Air

 Solid : Stainless steel and iron

Boundary conditions

ตารางที่ 4.1 การกำหนดสภาวะขอบเขตในโปรแกรม

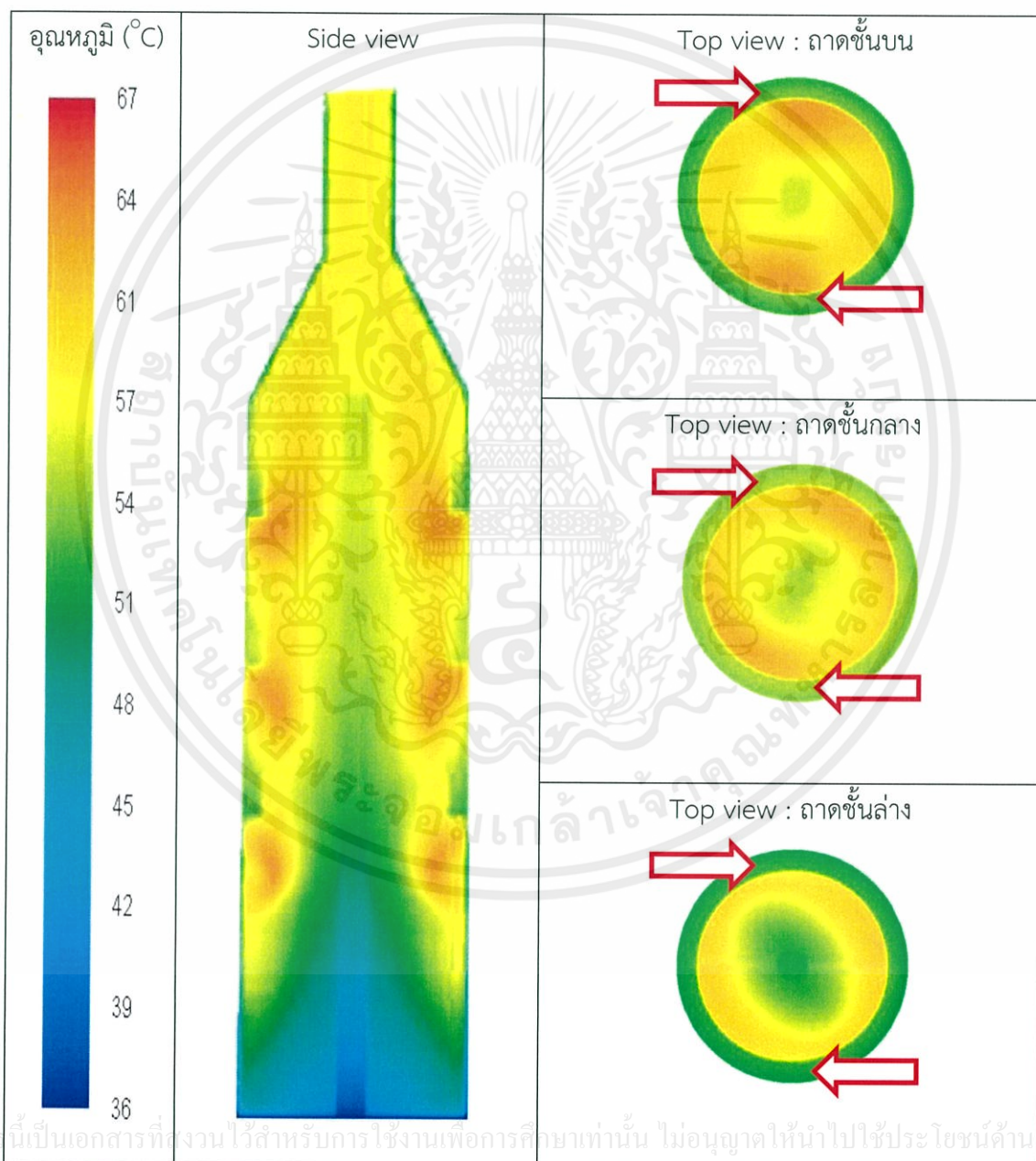
ตำแหน่ง	ชนิด	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°C)	
ท่อทางเข้า	บน	Velocity-inlet	1.475	60
	กลาง	Velocity-inlet	1.515	60
	ล่าง	Velocity-inlet	2.225	60
ผนังตู้อบ	Wall	-	**	

** ทำการวัดอุณหภูมิในแนวแกน z ที่ผนังของตู้อบ ได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$T = -79.04X^6 + 206.88X^5 - 69.96X^4 - 169.99X^3 + 98.55X^2 + 26.89X + 308.69$$

เมื่อ X คือ ความสูงจากฐานของตู้อบแห้ง

จากการจำลองรูปแบบการไหลและพฤติกรรมของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ที่อัตราส่วน 30 : 30 : 40 สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง ในรูปแบบของลมเข้าสองทางร่วมกับสภาพหยุดนิ่ง ได้ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิดังรูป



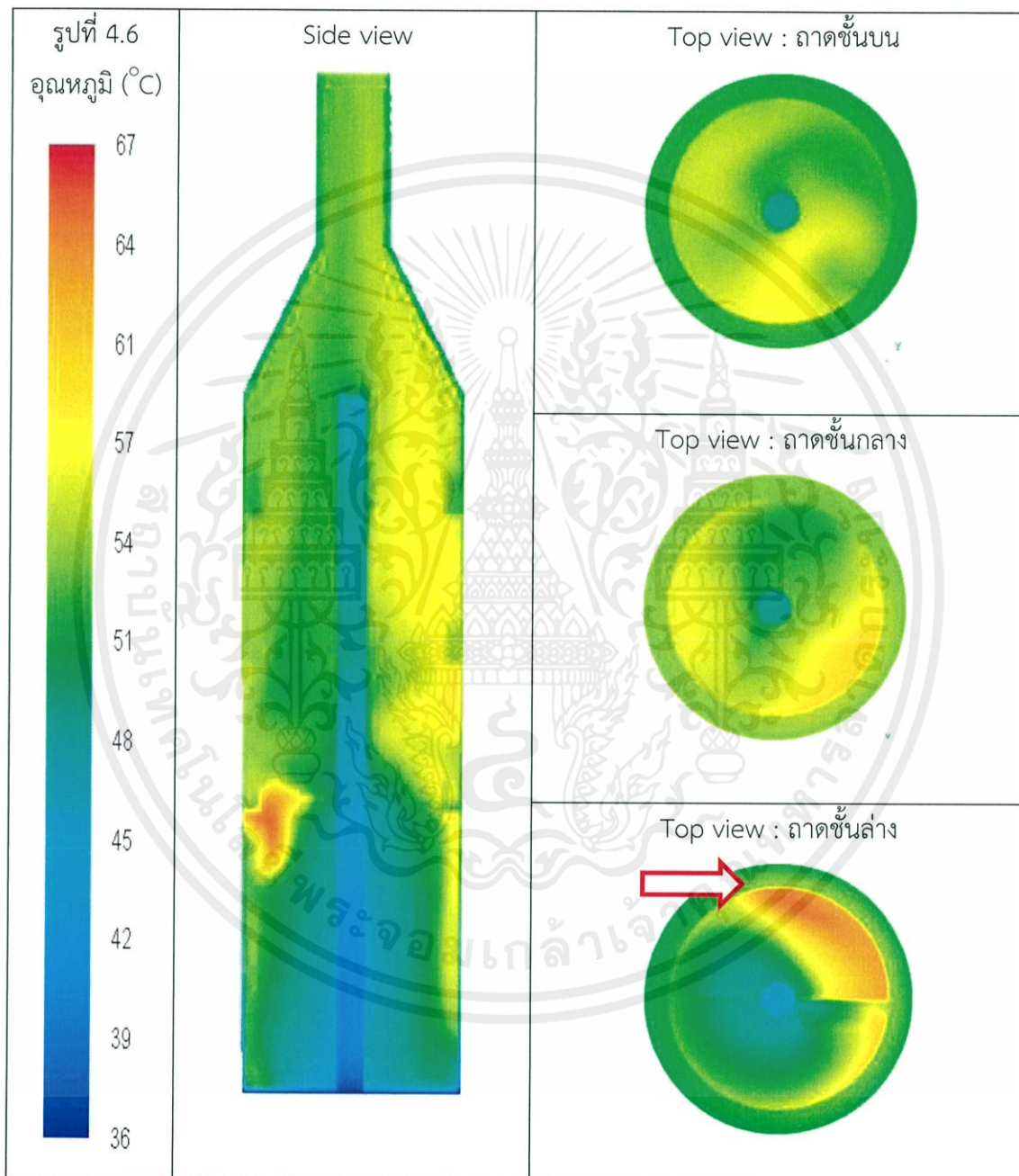
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 รูปแบบของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่ได้จากการจำลองที่อัตราส่วน 30 : 30 : 40

สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง ในรูปแบบของลมเข้าสองทางร่วมกับสภาพหยุดนิ่ง

นอกจากนี้ มีการศึกษาการจำลองรูปแบบการไหลและพฤติกรรมของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ที่อัตราส่วน 0 : 0 : 100 สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง ในรูปแบบของลมเข้าทางเดียวร่วมกับพัดลมดูดนิ่ง โดยกำหนดความเร็วของลมร้อนขาเข้าที่ท่อด้านล่างเท่ากับ 9.46 เมตรต่อวินาที ได้ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิดังรูป



รูปที่ 4.7 รูปแบบของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่ได้จากการจำลองที่อัตราส่วน 0 : 0 : 100 สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง ในรูปแบบของลมเข้าทางเดียวร่วมกับพัดลมดูดนิ่ง

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ในการลดลงของความชื้นตามสภาวะที่กำหนดเทียบกับเวลา

จากการศึกษาการออกแบบและพัฒนารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการป้อนลมร้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนโดยให้ความเร็วลมภายในเครื่องอบแห้งเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ได้ข้อสรุปว่า การแบ่งลมร้อนเข้าในอัตราส่วน 30 : 30 : 40 ในรูปแบบของลมเข้าทางเดียวร่วมกับถาดหมุนให้ผลการอบแห้งที่ดีกว่าอัตราส่วน 0 : 0 : 100 และ 20 : 20 : 60 สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง และสำหรับการแบ่งลมร้อนเข้าในอัตราส่วน 30 : 30 : 40 เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบของลมเข้าสองทางร่วมกับถาดหยุดนิ่งกับรูปแบบของลมเข้าทางเดียวร่วมกับถาดหมุน จะได้ผลการอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน การออกแบบเครื่องสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมขนาดย่อม จึงควรใช้แบบการป้อนลมร้อนเข้าทุกชั้นในอัตราส่วนที่เหมาะสมร่วมกับถาดหยุดนิ่ง เพื่อการกระจายลมร้อนอย่างทั่วถึง ง่ายต่อการออกแบบเครื่องอบแห้งและประหยัดพลังงานสำหรับการขับเคลื่อนถาดหมุน

5.2 การหาปริมาณสารสำคัญในผลหม่อนหลังการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญภายในผลหม่อน ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลทั้งหมดจากการอบผลหม่อนตามสภาวะที่เหมาะสมคือรูปแบบของลมเข้าสองทางในอัตราส่วนการป้อนลมร้อน 30 : 30 : 40 สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง ร่วมกับถาดหยุดนิ่ง โดยกำหนดการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์เมื่อความชื้นของตัวอย่างลดลงถึงค่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาอยู่ที่ 30% และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญทั้งสองคือ %DPPH Reduction และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดพบว่า ที่เวลาต่างกันของการเก็บตัวอย่างตรวจพบปริมาณของสารสำคัญทั้งสองมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่หากใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างห่างกันมากกว่ากรณีศึกษาอาจเกิดการลดลงของปริมาณสารสำคัญมีความแตกต่างกันเด่นชัดมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งนั้นมีผลต่อปริมาณสารสำคัญ เพราะหากใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาการอบที่นานจะทำให้ปริมาณสารสำคัญลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนที่ขอเรียนหนังสือไปก่อนญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ศึกษาารูปแบบการไหลและพฤติกรรมของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD)

จากการศึกษารูปแบบการไหลของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งสามารถแสดงผลความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ที่เลือกศึกษาพบว่ากรณีของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนเข้าสองทางร่วมกับพัดดูดหนึ่งที่อัตราส่วนลมร้อนเป็น 30 : 30 : 40 สำหรับท่อลมเข้า ด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง นั้นให้ผลที่ดีที่สุดสำหรับการอบแห้งที่ให้ผลของอัตราการลดลงของความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดทั้งสามชั้น และรูปแบบของลมเข้าด้านล่างทางเดียวหรือที่อัตราส่วน 0 : 0 : 100 ร่วมกับพัดดูดหนึ่งให้รูปแบบของอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากที่สุดเป็นผลให้อัตราการลดลงของความชื้นในแต่ละชั้นมีความแตกต่างกันมาก ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง โดยการศึกษาารูปแบบการไหลของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งมีประโยชน์มากสำหรับขั้นตอนการออกแบบเครื่องอบแห้งเพื่อให้ได้ผลการอบแห้งตามต้องการ

5.4 ข้อเสนอแนะ

- 1) สำหรับการพัฒนาเครื่องอบแห้งในอุตสาหกรรมการอบแห้งขนาดใหญ่ขึ้น จากผลการทดลอง จะเห็นว่า การป้อนลมร้อนเข้าสองทางร่วมกับพัดดูดหนึ่ง สามารถทดแทนการออกแบบเครื่องในลักษณะที่เป็นพัดหมุนได้ โดยให้ประสิทธิภาพของการอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้การใช้เครื่องอบแห้งแบบพัดธรรมดา (โดยไม่มีการสร้างแกนกลางเพื่อใช้ในการหมุนพัด) จะสามารถลดการใช้พลังงานในการหมุนพัด อีกทั้งการออกแบบเครื่องทำได้ง่ายขึ้น
- 2) ในการจำลองรูปแบบการไหลของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจาก ในการจำลอง ไม่ได้มีการใส่วัสดุที่ใช้อบแห้งร่วมด้วย จึงไม่มีผลของการสะสมตัวของความชื้นในเครื่องอบแห้ง ส่งผลให้การแสดงผลความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งไม่ได้มาจากปัจจัยของความชื้นที่เกิดจากวัสดุอบแห้งร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2556. บทที่ 2 การอบแห้ง (Drying).(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.ic.kmutnb.ac.th/webpage/subject/handout/Unit%202/chapter%202%20dry.pdf>
- [2] วิชชุดา ศรีประเทศ, วิรุจน์ พิพัฒศรี และสุรางค์ ตั้งมั่น. “การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน.” ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 2546.
- [3] Christie John Geankoplis. 2546. Transport Processes and Separation Process Principles.4th Edition. New Jersey : Pearson.
- [4] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนานนท์. 2556. อัตราการทำแห้ง.(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก :<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate-อัตราการทำแห้ง>
- [5] สำนักพิมพ์เดลินิวส์. 2555. ผลวิจัยหม่อนผลสด...บำรุงสมองและหลอดเลือด.(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก :<http://www.dailynews.co.th/Content/agriculture/133323>
- [6] ASTV ผู้จัดการออนไลน์. 2556. หม่อน :มัลเบอร์รี่ มหัศจรรย์แห่งผลไม้.(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก :<http://www.manager.co.th/Food/ViewNews.aspx?NewsID=9560000042923>
- [7] วสันต์นัยภิมรมย์. 2546. หม่อนรับประทานผลและการแปรรูป. สถาบันวิจัยหม่อนไหมกรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.เชียงใหม่.
- [8] ผศ.ดร.รัชนี คงคาฉุยฉาย, อ.ริญเจริญศิริ, รศ.ดร.อภิชาติวรรณวิจิตร และนายศิริพัฒน์ เรืองพยัคฆ์. “สารต้านอนุมูลอิสระ.” สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล และศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 18 กุมภาพันธ์ 2010.
- [9] Macheix, J.J., Fleuriet, A. and Billot, J. 1990. “Fruit phenolics.” Boca Raton. FL:CRC Press. 1-126.
- [10] Lee, H.E., Yeom, J.H., Ha, M.S. and Bae, H.D. 2010. “Development of Banana Peel Jelly and its Antioxidant and Textural Properties.” Journal of Food Science and Biotechnology. 19(2): 449-455.
- [11] พรรณี เต็นรุ่งเรือง. 2550. “ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเปลือกต้นวงศ์อบเชย (Lauraceae) Antioxidative Activity from Some Stem Barks of Lauraceae Plant.”กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิจัย. การจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.

- [12] ปฏิวิทย์ล้อยพิมาย และคณะ. 2554. “เปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกรวมของเปลือกผลไม้.”วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 2 (พิเศษ) พฤษภาคม-สิงหาคม 2554.
- [13] กันยวิษณุ กันจินะ.2554.ผลของวิธีการอบแห้งต่อสมบัติของหม่อนผงผสมเกสรดอกไม้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [14] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และ ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. Phenolic Compound.(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2585/phenolic-compound>
- [15] วรานน พันธุ์ฤกษ์. “การศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องอบแห้งมะขามหวาน.” ปรินญา นิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน. 2540.
- [16] Shawik Das, Tapash Das, P. SrinivasaRao, R.K. Jain. “Development of an air recirculating tray dryer for high moisture biological materials (2001).” Journal of food engineering. 50(2001), 223-227.
- [17] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และ ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. WaterActivity.(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activity-แอกติวิตีของน้ำ>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

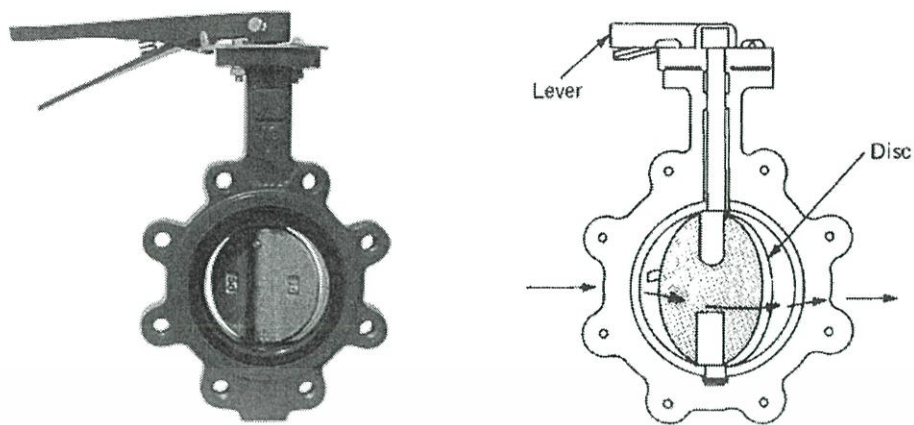
ข้อมูลดิบ

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักผลหม่อนที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาทีก) หมายเลขถ้วย	น้ำหนักผลหม่อน ชั้นล่าง (กรัม)				น้ำหนักผลหม่อน ชั้นกลาง (กรัม)				น้ำหนักผลหม่อน ชั้นบน (กรัม)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	24.99	25.00	25.04	25.06	25.06	25.06	25.06	25.06	25.01	25.00	25.06	25.02
15	23.95	23.64	23.71	23.84	23.84	23.84	23.43	23.67	23.77	23.72	23.75	23.78
30	22.96	22.48	23.03	22.10	22.73	22.56	22.21	22.56	22.88	22.84	22.85	22.86
45	21.77	21.48	22.00	21.11	21.63	21.52	21.22	21.35	21.96	21.96	22.02	21.92
60	20.90	20.49	20.95	20.11	20.68	20.50	19.40	20.27	21.15	21.17	21.18	21.09
75	20.00	19.47	19.98	18.92	19.61	19.39	18.27	19.29	20.24	20.31	20.23	20.16
90	19.12	18.60	19.16	18.14	18.81	18.53	16.88	18.52	19.53	19.59	19.49	19.41
105	18.13	17.76	18.37	17.33	18.02	17.75	16.09	17.76	18.81	18.82	18.48	18.54
120	17.40	17.01	17.43	16.65	17.33	17.01	15.48	17.11	18.20	18.14	17.94	18.02
135	16.72	16.33	16.77	15.91	16.66	16.29	14.86	16.46	17.54	17.45	17.29	17.37
150	16.07	15.66	16.07	15.25	16.04	15.63	14.31	15.85	16.93	16.62	16.63	16.65
165	15.44	15.02	15.38	14.63	15.45	15.08	13.84	15.27	16.28	16.02	15.86	15.96
180	14.82	14.42	14.73	14.01	14.91	14.44	13.37	14.80	15.84	15.51	15.34	15.48
195	14.28	13.87	14.17	13.41	13.82	13.84	12.88	14.83	15.32	14.97	14.77	14.98
210	13.81	13.48	13.70	12.88	13.36	13.41	12.43	14.35	14.89	14.44	14.27	14.50

225	13.29	12.83	13.11	12.35	12.88	12.88	11.96	13.83	14.38	13.93	13.74	14.11
240	12.84	12.37	12.63	11.86	12.46	12.43	11.56	13.37	13.91	13.45	13.15	13.51
255	12.34	11.37	12.14	11.82	11.89	11.90	11.15	12.89	13.48	12.98	12.78	13.05
270	11.95	10.96	11.71	11.48	11.58	11.49	10.79	12.51	13.02	12.56	12.39	12.66
285	11.57	10.56	11.30	11.07	11.21	11.09	10.44	12.05	12.74	12.19	11.99	12.25
300	11.19	10.18	10.91	10.66	10.79	10.65	10.09	11.69	12.35	11.78	11.55	11.86
330	10.46	9.48	10.23	9.92	10.14	9.96	9.44	10.95	11.61	11.05	10.81	11.17
360	9.85	8.84	9.48	9.21	9.51	9.29	8.86	10.27	11.00	10.41	10.13	10.50
390	9.23	8.26	8.86	8.59	8.94	8.65	8.31	9.67	10.37	9.77	9.49	9.89
420	8.63	7.68	8.28	8.02	8.34	8.07	7.85	9.07	9.79	9.23	8.89	9.33
450	8.12	7.19	7.74	7.14	7.89	7.55	7.34	8.53	9.26	8.71	8.34	8.81
480	7.64	6.74	7.31	6.67	7.09	7.42	6.91	8.01	8.74	8.21	7.84	8.32
510	7.21	6.33	6.86	6.28	6.66	6.99	6.52	7.58	8.29	7.80	7.39	7.89
540	6.84	5.95	6.44	5.88	6.30	6.51	6.12	7.12	7.83	7.38	6.97	7.46
570	6.43	5.59	6.03	5.52	5.89	6.06	5.74	6.68	7.34	6.96	6.54	7.00
600	6.05	5.29	5.71	5.20	5.54	5.70	5.40	6.28	6.93	6.59	6.16	6.59
630	5.72	5.04	5.40	4.93	5.21	5.37	5.12	5.93	6.55	6.26	5.83	6.22
660	5.43	4.82	5.13	4.72 ⁽¹⁾	4.96	5.09	4.84 ⁽¹⁾	5.62	6.19	5.96	5.54 ⁽¹⁾	5.90
720	4.94	4.46 ⁽²⁾	4.72		4.47 ⁽²⁾	4.64		5.11	5.56	5.41		5.29 ⁽²⁾
780	4.58		4.47 ⁽³⁾			4.34 ⁽³⁾		4.75	5.06	4.98 ⁽³⁾		
840	4.30 ⁽⁴⁾							4.50 ⁽⁴⁾	4.73 ⁽⁴⁾			

หมายเหตุ (1) (2) (3) (4) หมายถึง มีการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 2 3 4 ตามลำดับ



รูปที่ ข.3 วาล์วปีกผีเสื้อ



รูปที่ ข.4 เครื่องวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Blower

Heater

Butterfly valve 3 ตัว

เครื่องอบแห้งชนิดถาดหมุน



รูปที่ ข.5 ชุดการทดลองอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

ค.1. การคำนวณก่อนการทดลอง

ข้อมูลของเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน

เส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องอบแห้ง	30.00 เซนติเมตร
ความสูงของเครื่องอบแห้ง	94.95 เซนติเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกถาด	24.80 เซนติเมตร
ความสูงถาด	4.20 เซนติเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ	5.70 เซนติเมตร
ความเร็วของอากาศร้อนในเครื่องอบ	0.50 เมตรต่อวินาที

ค.1.1. การคำนวณปริมาตรเครื่องอบแห้ง

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรเครื่องอบแห้ง } V &= \pi R^2 H \\
 &= \pi \left(\frac{30 \text{ cm}}{2} \right)^2 (94.95 \text{ cm}) \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{100^3 \text{ cm}^3} \\
 &= 0.0671 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

ค.1.2. การคำนวณความเร็วของลมร้อนในท่อ

จากสมการของความต่อเนื่อง (Equation of continuity) ต้องการความเร็วลมในเครื่องอบแห้งเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที ดังนั้นความเร็วของลมร้อนในท่อ คำนวณได้จาก

$$A_{\text{ท่อ}} v_{\text{ท่อ}} = A_{\text{เครื่องอบ}} v_{\text{เครื่องอบ}}$$

$$\pi R_{\text{ท่อ}}^2 v_{\text{ท่อ}} = \pi R_{\text{เครื่องอบ}}^2 v_{\text{เครื่องอบ}}$$

$$\pi (0.0285 \text{ m})^2 (v_{\text{ท่อ}}) = \pi (0.124 \text{ m})^2 (0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_{\text{ท่อ}} = 9.46 \text{ m/s}$$

ค.1.3. การคำนวณการแบ่งอัตราส่วนความเร็วของลมร้อน

ในการทดลองหัวข้อที่ 4.1 ขั้นตอนที่ 2 การแบ่งอัตราส่วนของลมร้อนเข้าเครื่องอบแห้ง โดยใช้ชุดวาล์วปีกผีเสื้อทั้งหมด 3 ตัว แบ่งอัตราส่วนลมร้อนเป็น 2 อัตราส่วน ได้แก่ 20 : 20 : 60 และ 30 : 30 : 40 สำหรับท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง ทั้งในรูปแบบของลมเข้าทางเดียว และลมเข้าสองทางนั้น เริ่มจากการปรับวาล์วให้ได้ตามอัตราส่วนของลมร้อนที่ต้องการ และวัดความเร็วลมร้อนที่ละท่อ โดยมีตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนดังต่อไปนี้

วาล์วตัวที่ 1 วัดความเร็วลมได้ 2.95 เมตรต่อวินาที

วาล์วตัวที่ 2 วัดความเร็วลมได้ 3.03 เมตรต่อวินาที

วาล์วตัวที่ 3 วัดความเร็วลมได้ 4.45 เมตรต่อวินาที

จะได้อัตราส่วนท่อลมเข้าด้านบน : ท่อกลาง : ท่อล่าง เท่ากับ

$$\frac{2.95}{2.95 + 3.03 + 4.45} : \frac{3.03}{2.95 + 3.03 + 4.45} : \frac{4.45}{2.95 + 3.03 + 4.45} = 28.3 : 29.1 : 42.7$$

ซึ่งจะประมาณค่าได้เป็นอัตราส่วนเท่ากับ 30 : 30 : 40 นั้นเอง

สำหรับการแบ่งลมร้อนเข้าสองทางในขั้นตอนที่ 3 จะใช้ท่อรูปตัว Y ในการแบ่งลมร้อนที่ออกมาจากชุดวาล์วปีกผีเสื้อ โดยจะคำนวณความเร็วลมร้อนตามสมการ

$$A_{\text{รวม}} v_{\text{รวม}} = A_1 v_1 + A_2 v_2$$

ซึ่งในการทดลอง ขนาดของท่อที่ออกจากท่อรูปตัว Y นั้นมีขนาดเท่ากัน ($A_1 = A_2$) จึงสรุปได้ว่าความเร็วลมร้อนที่ออกจากท่อรูปตัว Y จะมีขนาดเท่ากัน ($v_1 = v_2$) และเท่ากับครึ่งหนึ่งของความเร็วลมร้อนก่อนเข้า ($v_{\text{รวม}}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2. การคำนวณหลังการทดลอง

ค.2.1. การคำนวณความชื้น

ในการหาน้ำหนักผลหม่อนแห้ง ทำได้โดยทดลองอบหม่อน 25 กรัม จนน้ำหนักหม่อนคงที่ที่ค่าน้อยที่สุด จะได้น้ำหนักผลหม่อนแห้งเท่ากับ 3.46 กรัม

คำนวณความชื้นของวัสดุทดลองและผลหม่อนโดยใช้วิธีความชื้นมาตรฐานแห้ง ตัวอย่างเช่น น้ำหนักผลหม่อนภายหลังการอบแห้งเท่ากับ 4.30 กรัม

$$\begin{aligned} \text{Moisture Content (dry basis) } X_t &= \frac{W - W_s}{W_s} \times 100\% \frac{\text{g total water}}{\text{g dry solid}} \\ &= \frac{4.30 - 3.46}{3.46} \times 100\% \frac{\text{g total water}}{\text{g dry solid}} \\ &= 24\% \frac{\text{g total water}}{\text{g dry solid}} \end{aligned}$$

ค.2.2. คำนวณแอกทिवิตี้น้ำ (Water activity : a_w) [17]

จากหัวข้อ 3.3.3 การหาปริมาณสารสำคัญในผลหม่อนหลังการอบแห้ง สำหรับการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งนิยมใช้การอบแห้ง เพื่อให้ปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต มีค่าเหมาะสมมากที่สุดในการรักษาสภาพของผลิตผลทางการเกษตรแต่ละชนิด กล่าวคือ ค่าแอกทिवิตี้น้ำ เป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำ มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยค่าแอกทिवิตี้น้ำ สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ได้แก่ อาหารสด อาหารกึ่งแห้ง และอาหารแห้ง ซึ่งสำหรับผลไม้อบแห้งนั้น จัดอยู่ในชนิดอาหารแห้ง โดยส่วนใหญ่นิยมใช้ค่าแอกทिवิตี้น้ำอยู่ที่ 0.60 ซึ่งเป็นค่าที่จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญได้ ที่ค่าแอกทिवิตี้นี้ ความชื้นในผลไม้อบแห้งจะมีค่าประมาณ 20-30%

ในการทดลองจะกำหนดให้ค่าความชื้นที่เริ่มเก็บตัวอย่างอยู่ที่ 30% โดยคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่เก็บมาเทียบกับน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างการคำนวณเช่น ที่เวลา 720 นาที ถ้วยที่ 2 ซึ่งอยู่ในสถานะชั้นล่างมีน้ำหนักของหม่อนอบแห้งเท่ากับ 4.46 กรัม จะได้ค่าความชื้นดังนี้

$$\text{Moisture Content } X_t = \frac{4.46 - 3.46}{3.46} \times 100\% = 28.90\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

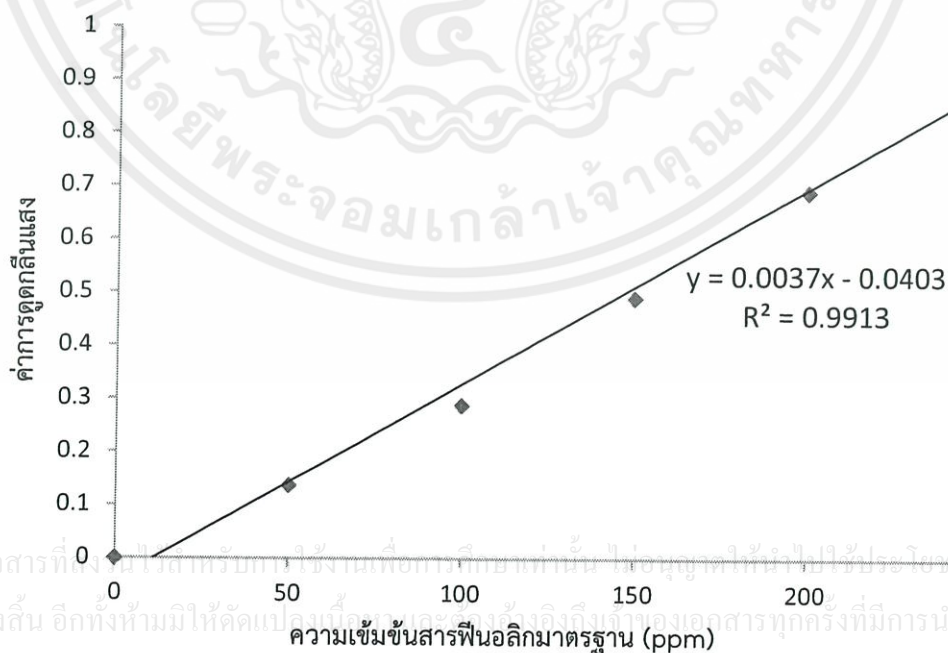
ภาคผนวก ง

การคำนวณที่เกี่ยวข้องในการหาปริมาณสารสำคัญ

ง.1. วิธีสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน

และค่าการดูดกลืนแสง

- 1) เตรียมสารละลายกรดแกลลิกเข้มข้น 250 ppm โดยชั่งกรดแกลลิก 25 มิลลิกรัม ละลายในเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- 2) นำสารละลายกรดแกลลิกเข้มข้น 250 ppm มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นเป็น 50 100 150 200 และ 250 ppm
- 3) นำตัวอย่างสารละลายกรดแกลลิก 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 10% 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
- 4) เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
- 5) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายฟีนอลิกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0 ppm เป็นสารเปรียบเทียบ (Blank)
- 6) สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) ได้ดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

ภาคผนวก จ

การคำนวณที่เกี่ยวข้องในการจำลองโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

จ.1. การคำนวณ Reynolds Number

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

ที่อุณหภูมิ 60 °C	ความหนาแน่น (ρ)	1.067	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	ความเร็ว (v)	0.5	เมตรต่อวินาที
	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	0.248	เมตร
	ความหนืด (μ)	0.0000202	กิโลกรัมเมตรต่อวินาที

จะได้ $Re = 6549.9$

ดังนั้น จากค่า Reynolds Number ซึ่งมีค่ามากกว่า 4000 แสดงว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

จ.2. การคำนวณ Turbulence Intensity

$$I = 0.16Re^{-1/8}$$

จากค่า Re ข้อ 1 จะได้ $I = 0.0533$ หรือ 5.33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้