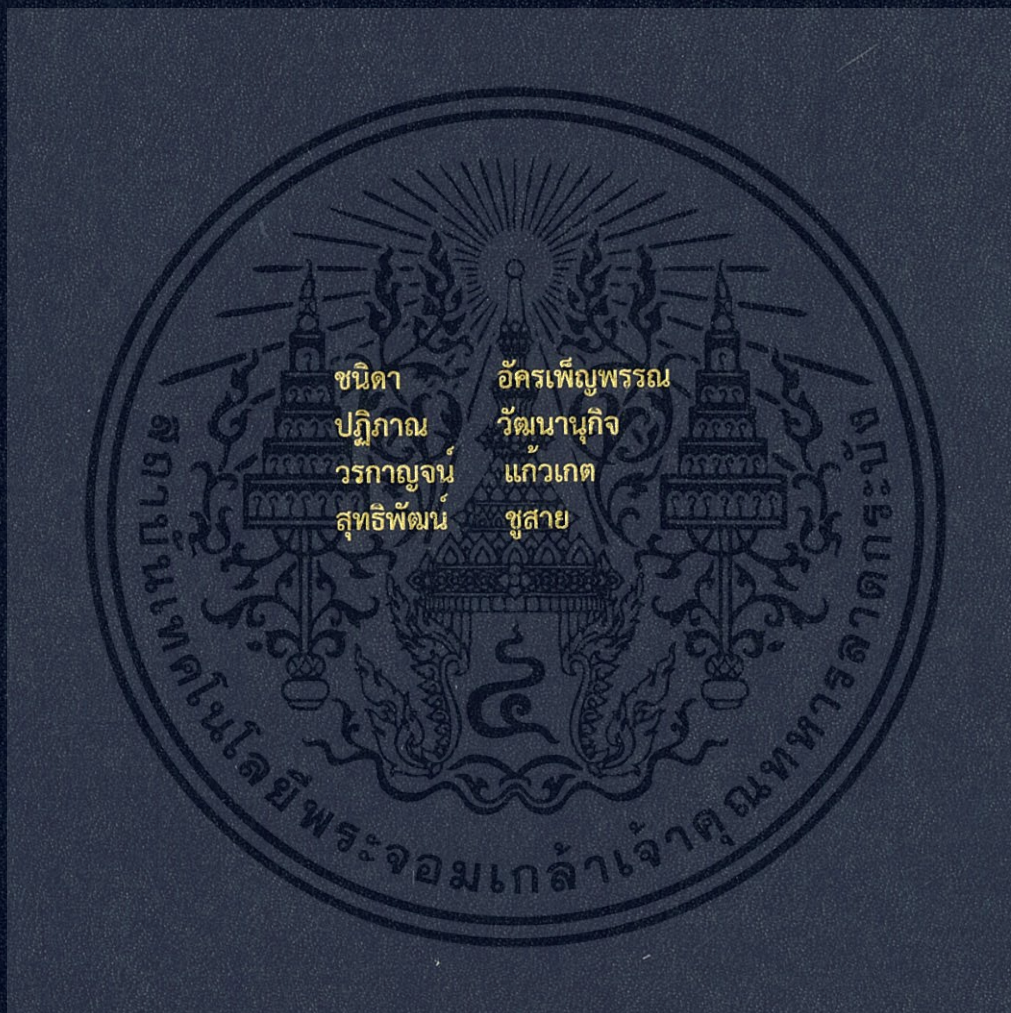


การศึกษาและออกแบบระบบลดความชื้นอากาศเข้าเครื่องทำแห้งแบบ
พ่นฝอยสำหรับน้ำส้มผง

STUDY AND DESIGN OF DEHUMIDIFIED INLET AIR DRYING SYSTEM FOR
SPRAY DRIED ORANGE JUICE POWDER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาและออกแบบระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบ
พ่นฝอยสำหรับน้ำส้มผง

STUDY AND DESIGN OF DEHUMIDIFIED INLET AIR DRYING SYSTEM FOR
SPRAY DRIED ORANGE JUICE POWDER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY AND DESIGN OF DEHUMIDIFIED INLET AIR DRYING SYSTEM FOR
SPRAY DRIED ORANGE JUICE POWDER



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2560


ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาและออกแบบระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับน้ำส้มผง
Study and Design of Dehumidified Inlet Air Drying System for Spray Dried Orange
Juice Powder

ผู้จัดทำ

- | | | |
|------------------|---------------|-----------------------|
| 1. นางสาวชนิดา | อัครเพ็ญพรรณ | รหัสประจำตัว 57010250 |
| 2. นายปฏิภาณ | วัฒนานุกิจ | รหัสประจำตัว 57010718 |
| 3. นางสาวรภาญจน์ | วชิรปัญญานนท์ | รหัสประจำตัว 57011096 |
| 4. นายสุทธิพัฒน์ | ชูสาย | รหัสประจำตัว 57011400 |


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.กนต์กนิษฐ์ ขวัญฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	การศึกษาและออกแบบระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับน้ำส้มผอง	
นักศึกษา	นางสาวชนิดา	อัครเพ็ญพรรณ
	นายปฏิภาณ	วัฒนานุกิจ
	นางสาววรกาญจน์	แก้วเกต
	นายสุทธิพัฒน์	ชูสาย
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.กัณฑ์นิษฐ์	ขวัญพุกฤษ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
ภาควิชา	วิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2560	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบลดความชื้นอากาศสำหรับต่อเข้ากับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และศึกษาผลของการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยปกติกับการใช้ระบบลดความชื้นอากาศ ปัจจัยที่ศึกษาคือการติดระบบลดความชื้นอากาศ อุณหภูมิในการทำแห้งและอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน โดยปริมาณน้ำในอากาศที่เข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยแบบปกติมีค่าเฉลี่ย 20 กรัม/กิโลกรัมอากาศแห้ง ส่วนปริมาณน้ำในอากาศที่เข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ติดระบบลดความชื้นมีค่าเฉลี่ย 10 กรัม/กิโลกรัมอากาศแห้ง ผลัดภณท์ในการทดลองคือน้ำส้มเข้มข้น ซึ่งใช้สารช่วยทำแห้งมอลโตเด็กซ์ทริน อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 1:3 และ 1:4.5 และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งคือ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และวิเคราะห์ผลผลิตภณท์น้ำส้มผองดังนี้ ผลผลิตร้อยละ ความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ความเป็นกรด-เบส ปริมาณกรดแอสคอร์บิก และโครงสร้างจุลภาค พบว่าระบบลดความชื้นมีผลต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยคืออัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น จาก 25.57 กรัม/นาที่ เป็น 42.98 กรัม/นาที่ และวิเคราะห์คุณสมบัติของผลัดภณท์ที่ได้คือการติดระบบลดความชื้นทำให้ผลได้ร้อยละและปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น ส่วนความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้มีค่าลดลง การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งทำให้ความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้มีแนวโน้มลดลง ส่วนผลได้ร้อยละมีค่าเพิ่มขึ้น และการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินทำให้ความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ความแตกต่างของกรด-เบสก่อนและหลังการทำแห้งเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับระบบลดความชื้นอากาศขาเข้า อุณหภูมิในการทำแห้งและอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่เหมาะสม สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลัดภณท์ผองได้

คำสำคัญ: ระบบลดความชื้น, น้ำส้มผอง, การทำแห้งแบบพ่นฝอย

Project Title	Study and Design of Dehumidified Inlet Air Drying System for Spray Dried Orange Juice Powder	
Students	Ms. Chanida Akkaraphenphan	Mr. Patipan Wattananukit
	Ms. Worakarn Kaewket	Mr. Suttiaphat Chusai
Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Kankanit Khwanpruk	
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Food Engineering	
Academic Year	2017	

ABSTRACT

This research aims to study and design the dehumidified air system for spray dryer. This research also investigated the effect of spray drying condition by comparing the spray drying system with/without the dehumidified air drying unit. The conventional spray dryer showed average humidity ratio 20 g/kg dry air and the spray dryer with dehumidified air drying unit showed average humidity ratio 10 g/kg dry air. Maltodextrin was used as the drying aid agent for the orange juice spray drying experiments. The weight ratio of orange juice concentrate content to maltodextrin of 1:3 and 1:4.5 and the inlet temperatures of 140 160 and 180 °C were studied. The powders were analyzed for product yield, moisture content, water activity, pH, ascorbic acid and microstructure. The drying rate was increased from 25.57 g/min to 42.98 g/min when modify the spray dryer by coupling the dehumidified air inlet system unit with the conventional spray dryer. The results showed that the spray dryer with dehumidifying unit affected increase the production yield and ascorbic acid and decrease moisture content and water activity. The drying air temperatures increase with a decrease moisture content and water activity and increase production yield. And the weight ratio of orange juice concentrate content to maltodextrin increase with an increase moisture content, water activity and pH after drying process. From these result, the combination of use dehumidifying unit, the drying air temperature and maltodextrin addition suitable condition help improving powders product properties.

Keywords: dehumidified air unit, orange juice powders and spray drying

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.กัณฑ์นิษฐ์ ขวัญพุกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ให้คำชี้แนะ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และช่วยแก้ปัญหา รวมถึงอุปสรรคต่าง ๆ ในระหว่างการทำโครงการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี นอกจากนี้ ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ อ.จิตรกร กนกนัยการ ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือพร้อมทั้งให้ความรู้เพิ่มเติมในการออกแบบระบบในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์และ คุณอำนาจ คูตะคุ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ ตลอดจนแนะนำในการทดลองและ อำนวยความสะดวกในการเก็บอุปกรณ์ต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบคุณพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจให้การสนับสนุนตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาวิศวกรรมอาหาร รุ่น 19 ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และช่วยเหลือจนโครงการวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จ ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 ข้อมูลทั่วไปของส้ม	3
2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการ	3
2.2 น้ำผลไม้เข้มข้น	5
2.3 การทำแห้ง	6
2.4 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	6
2.4.1 หลักการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	7
2.4.2 ทฤษฎีการทำแห้งแบบพ่นฝอย	8
2.4.3 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	8
2.4.4 หัวอัดฉีดในการทำแห้งแบบพ่นฝอย	9
2.4.5 ลักษณะการไหลเวียนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	11
2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผง	13
2.5 กระบวนการห่อหุ้ม	15
2.5.1 หลักการและวัตถุประสงค์	16
2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารที่ผ่านกระบวนการห่อหุ้ม	16
2.6 สารห่อหุ้ม	16
2.6.1 มอลโตเด็กซ์ตริน	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.6.2	ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส	18
2.6.3	สมบัติบางประการของมอลโตเด็กซ์ตริน	19
2.6.4	การใช้ประโยชน์จากมอลโตเด็กซ์ตรินในผลิตภัณฑ์อาหาร	20
2.7	Glass Transition temperature	22
2.8	คุณสมบัติของอากาศ	22
2.8.1	อากาศแห้งและอากาศบรรยากาศ	22
2.8.2	ความชื้นในอากาศ	22
2.8.3	ความดันไอ	23
2.8.4	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	23
2.8.5	อุณหภูมิกระเปาะเปียก	23
2.8.6	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง	24
2.8.7	ค่าความร้อนแฝงจำเพาะ หรือเอนทาลปี	24
2.8.8	แผนภูมิไซโครเมตริก	24
2.9	กระบวนการปรับอากาศ	25
2.10	การลดความชื้นในอากาศ	26
2.10.1	การเพิ่มความร้อนและลดความชื้น	26
2.10.2	การดูดคายความชื้น	26
2.10.3	การระบายความร้อนและการลดความชื้น	27
2.11	ระบบลดความชื้นอากาศ	27
2.11.1	คอยล์เย็น	27
2.12	กลศาสตร์ของไหล	29
2.12.1	การไหลเชิงปริมาตร	29
2.14	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3	วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	32
3.1	ระบบลดความชื้นเบื้องต้น	32
3.1.1	การหาขนาดของหน้าตัดคอยล์เย็นของระบบลดความชื้น	32
3.1.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น	34
3.1.3	วิธีการทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น	34
3.2	ระบบลดความชื้นต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	35

สารบัญ (ต่อ)

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองระบบลดความชื้นต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	35
3.2.2 วิธีการทดลองระบบลดความชื้นต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	36
3.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	37
3.3.1 วัตถุประสงค์	37
3.3.2 สารเคมี	37
3.3.3 วัสดุและอุปกรณ์	37
3.3.4 การวางแผนการทดลอง	38
3.3.5 การเตรียมน้ำส้มเข้มข้นสำหรับการผลิต	39
3.3.6 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	40
3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์	42
3.4.1 ความสามารถในการทำแห้ง	42
3.4.2 ร้อยละผลผลิต	42
3.4.3 ปริมาณความชื้น	42
3.4.4 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	43
3.4.5 ปริมาณกรดแอสคอบิก	43
3.4.6 ความเป็นกรด-เบส	44
3.4.7 โครงสร้างจุลภาค	44
3.4.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	45
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	46
4.1 ผลการทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น	46
4.1.1 ผลการทดลองอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ	46
4.1.2 ผลการทดลองความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ	47
4.1.3 ผลการทดลองความเร็วของลมที่ตำแหน่งต่าง ๆ	48
4.1.4 ผลการทดลองอัตราการไหลของน้ำเย็น	49
4.1.5 วิเคราะห์ผลการทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น	50
4.2 ผลการทดลองระบบลดความชื้นร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย	51
4.2.1 ผลการทดลองระบบลดความชื้นร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย	51
4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองระบบลดความชื้นร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย	52

สารบัญ (ต่อ)

4.3 ผลของการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์	55
4.3.1 ผลผลิตร้อยละ	57
4.3.2 ความชื้น	58
4.3.3 วอเตอร์แอกติวิตี	59
4.3.4 ค่าความเป็นกรด-เบส	60
4.3.5 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก	61
4.3.6 โครงสร้างจุลภาค	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 ปัญหาที่พบ	67
5.3 ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลองระบบลดความชื้น	73
ภาคผนวก ข. ผลผลิตของผลิตภัณฑ์น้ำส้มผงบ	79
ภาคผนวก ค. รูปภาพการทดลอง	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณค่าทางโภชนาการของส้ม	4
2.2 การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินในอาหารประเภทต่าง ๆ	21
3.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล	39
3.2 แสดงปริมาณของสารละลายน้ำส้มเข้มข้นที่ใช้ในการทดลอง	39
4.1 ผลการทดลองระบบลดความชื้นต่อรวมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยขณะทำการ ทำแห้ง	52
4.2 อัตราการทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	54
4.3 สภาพะในการเตรียมสารละลายส้ม และควบคุมสภาวะเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ตาม เงื่อนไขในการทดลอง	55
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มเข้มข้นผงที่สภาวะต่าง ๆ	56
4.5 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส	60
4.6 ผลการวิเคราะห์การคงสภาพของกรดแอสคอร์บิก	62
ก.1 ตารางคุณสมบัติของน้ำ	74
ก.2 ตารางการทดลองระบบลดความชื้นครั้งที่ 1	75
ก.3 ตารางการทดลองระบบลดความชื้นครั้งที่ 2	76
ก.4 ตารางการทดลองระบบลดความชื้นครั้งที่ 3	77
ก.5 อุณหภูมิและความชื้นของการทำแห้งที่อัตราส่วน 1:3	78
ก.6 อุณหภูมิและความชื้นของการทำแห้งที่อัตราส่วน 1:4.5	78
ข.1 แสดงผลร้อยละผลผลิต	80
ข.2 แสดงผลปริมาณความชื้น	81
ข.3 แสดงผลค่าวอเตอร์แอกติวิตี	82
ข.4 แสดงผลความเป็นกรด-เบส	83
ข.5 แสดงผลกรดแอสคอร์บิก	84
ข.6 แสดงผลการคงอยู่ของกรดแอสคอร์บิก (%Retention)	85

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะทางกายภาพของผลส้ม	3
2.2 การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	7
2.3 หัวฉีดแบบแรงดัน	10
2.4 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง	10
2.5 หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด	11
2.6 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน	12
2.7 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลตามกัน	12
2.8 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลผสมกัน	13
2.9 ความหนืดของสารละลายมอลโตเด็กซ์ทริน	19
2.10 แผนภาพของแผนภูมิ	25
2.11 กระบวนการปรับอากาศ	26
2.12 การระบายความร้อนและการลดความชื้น	27
3.1 ขนาดของท่อลมขาออกส่วนท่อลมขาออกจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 5.93 เซนติเมตร	32
3.2 คอยล์พื้นที่หน้าตัดมากกว่า 0.012 m ²	33
3.3 แบบชุดทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น	33
3.4 หลักการทำงานของระบบลดความชื้นต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	35
3.5 รูปแบบการไหลของอากาศทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	36
3.6 ระบบลดความชื้นต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	36
3.7 แสดงสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 40 องศาบริกซ์	40
3.8 (ก) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	40
3.8 (ข) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับเครื่องลดความชื้น	41
4.1 ตำแหน่งการวัดต่าง ๆ และค่าที่วัด	46
4.2 อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ณ เวลาต่าง ๆ	47
4.3 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ณ เวลาต่าง ๆ	48
4.4 ความเร็วลมขาเข้าและขาออก ณ เวลาต่าง ๆ	49
4.5 อัตราการไหลของน้ำเย็น ณ เวลาต่าง ๆ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

4.6 แผนภูมิไฮโครเมตริกของการทดลองระบบลดความชื้น ก่อนและหลังอากาศผ่านระบบลดความชื้น	50
4.7 แผนภูมิไฮโครเมตริกของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส	52
4.8 แผนภูมิไฮโครเมตริกของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส	53
4.9 แผนภูมิไฮโครเมตริกของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส	53
4.10 อัตราการทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่าง ๆ	54
4.11 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อผลผลิตร้อยละ	57
4.12 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์	58
4.13 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อวอเตอร์แอกติวิตี้	59
4.14 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อความเป็นกรด-เบส	61
4.15 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อปริมาณกรด แอสคอร์บิก	62
4.16 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อการคงสภาพของกรด แอสคอร์บิก	63
4.17 แสดงโครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มผงที่ไม่ติดระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าและอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:3 (ก) อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส	63
4.17 แสดงโครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มผงที่ไม่ติดระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าและอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:3 (ข) อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส	64
4.17 แสดงโครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มผงที่ไม่ติดระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าและอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:3 (ค) อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส	64

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

4.18 แสดงโครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มผงที่ไม่ติดระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าและอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:4.5 (ก) อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส	64
4.18 แสดงโครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มผงที่ไม่ติดระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าและอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:4.5 (ข) อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส	65
4.18 แสดงโครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มผงที่ไม่ติดระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าและอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:4.5 (ค) อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส	65
ค.1 ตำแหน่งวัดความเร็วลมขาออก	87
ค.2 แผงคอยล์เย็น	87
ค.3 ชุดทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น	88
ค.4 จุดต่อก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	88
ค.5 ผลึกภัณฑ์หลังผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย	89
ค.6 การติดขอบผนังห้องทำแห้ง	89



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในอุตสาหกรรมอาหาร กระบวนการทำแห้งเป็นที่นิยมในการถนอมอาหาร และแปรรูปอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยกำจัดน้ำออกจากอาหาร เพื่อหยุดหรือชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (วิไล, 2547) การแปรรูปน้ำผลไม้ให้เป็นผงนั้นมีประโยชน์มากมายรวมถึงในทางเศรษฐกิจ ตัวอย่างเช่นการลดปริมาตรหรือน้ำหนัก ขนาดของบรรจุภัณฑ์ที่เล็กลง การจัดการและขนส่งได้ง่ายขึ้น และเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ลักษณะทางกายภาพที่เป็นผงทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายซึ่งโดยทั่วไปมักถูกใช้ในทางผลิตภัณฑ์อาหารและยา เช่น เครื่องปรุงรสและสี (Shrestha et al., 2007)

จากงานวิจัยพบว่าเมื่อทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีค่าความชื้นที่ลดลง แต่นั่นจะทำให้คุณค่าทางอาหารบางอย่างถูกทำลายไป เช่น ปริมาณวิตามินซีในน้ำผลไม้ผง มีค่าลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้น (Islam et al., 2016)

ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อมีการลดความชื้นของอากาศทำแห้งจะทำให้ประสิทธิภาพของการทำแห้งนั้นดีกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยปกติ ในเรื่องการลดปัญหาของการเกาะติดผนังเครื่องทำแห้ง โดยวิธีการนี้จะทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยปกติ (Goula et al., 2005)

ผู้วิจัยเห็นความสำคัญในเรื่องคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมรวมถึงด้านคุณค่าทางอาหาร จึงได้ทำการศึกษาและออกแบบระบบลดความชื้นเพื่อนำมาต่อเข้าร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อที่จะใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ต่ำกว่าคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ และยังคงลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองนั้นคือน้ำส้มเข้มข้น โดยองค์ประกอบหลักของน้ำส้ม เช่น ฟรุคโตส กลูโคส และกรดซิตริกมีค่า Tg ต่ำมากโดยมีค่า 14, 31, และ 16 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในสภาวะที่แห้งหรือมีความชื้นต่ำมากนั้นจะทำให้ Tg น้ำผลไม้ต่ำ จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดน้ำกลับสูง จุดหลอมเหลวต่ำ ความสามารถในการละลายน้ำสูง ทำให้เกิดปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ได้นีเยวเมื่อพ่นฝอย (Shrestha et al., 2007) และจากงานวิจัยพบว่าเพื่อแก้ปัญหาความหนืดและปัญหาการไหลของผง สามารถใช้สารเสริมหรือสารตัวแทน (มอลโตเด็คซ์ ทริน, กัม, สตาร์ช หรือ เจลาติน) เป็นสารตัวช่วยได้ (Saenz et al., 2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในเรื่อง การลดความชื้นของอากาศขาเข้า, อุณหภูมิอากาศขาเข้า, และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน เพื่อให้เห็นถึงความสามารถในการแก้ปัญหาดังกล่าวของระบบลดความชื้นที่ต่อเข้าร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและสร้างชุดทดลองระบบลดความชื้นอากาศที่ใช้ร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
2. เพื่อศึกษาความชื้นอากาศที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย
3. เพื่อศึกษาอุณหภูมิอากาศขาเข้าและขาออกของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์
4. เพื่อศึกษาปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1.3 ขอบเขต

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบลดความชื้นอากาศที่ใช้ร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมีขอบเขตการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ชุดทดลองระบบลดความชื้นอากาศเป็นระบบควบแน่น โดยใช้คอยล์เย็น ใช้น้ำเป็นสารทำความเย็นที่อุณหภูมิ 7 ± 1 องศาเซลเซียส
2. เปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงระหว่างสองกรณี คือ ติดชุดทดลองระบบลดความชื้นอากาศที่ใช้ร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย กับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยปกติ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีคุณภาพที่ดีขึ้น เมื่อใช้งานร่วมกับระบบลดความชื้นอากาศ

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลทั่วไปของส้ม (Orange)



รูปที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของผลส้ม (อำไพวรรณ และคณะ, 2527)

ชื่อสามัญ : Orange
วงศ์ : Rutaceae
สกุล : Citrus

2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการ

ส้มเป็นแหล่งของวิตามินซีชั้นเยี่ยม โดยให้วิตามินซีมากถึง 64% ต่อปริมาณสารอาหารที่ควรได้รับใน 1 วัน ส่วนสารอาหารที่จำเป็นอื่น ๆ ก็พบในส้มเช่นกัน แต่จะมีปริมาณที่ควรได้รับใน 1 วัน น้อยกว่าวิตามินซี ดัง ตารางที่ 2.1 แสดงถึงคุณค่าทางโภชนาการของส้มเมื่อเทียบกับน้ำหนักส้ม 100 กรัม

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของส้ม (USDA, 2018)

Nutrient	Unit	1 Value / 100g	Daily Value
Proximates			
Water	G	86.75	
Energy	kcal	47	
Protein	G	0.94	
Total lipid (fat)	G	0.12	
Carbohydrate, by difference	G	11.75	
Fiber, total dietary	G	2.4	
Sugars, total	G	9.35	
Minerals			
Calcium, Ca	mg	40	4 %
Iron, Fe	mg	0.10	1 %
Magnesium, Mg	mg	10	3 %
Phosphorus, P	mg	14	2 %
Potassium, K	mg	181	4 %
Zinc, Zn	mg	0.07	1 %
Vitamins			
Vitamin C, total ascorbic acid	mg	53.2	64 %
Thiamin	mg	0.087	8 %
Riboflavin	mg	0.04	3 %
Niacin	mg	0.282	2 %
Vitamin B6	mg	0.06	5 %
Folate, DFE	µg	30	8 %
Vitamin A, RAE	µg	11	1 %
Pantothenic acid (B5)	mg	0.25	5 %
Vitamin E (alpha-tocopherol)	mg	0.18	1 %
Lipids			
Fatty acids, total saturated	G	0.015	
Fatty acids, total monounsaturated	G	0.023	
Fatty acids, total polyunsaturated	G	0.025	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำผลไม้เข้มข้น (Concentrated fruit juice)

ผลไม้สามารถนำไปแปรรูปเป็นน้ำผลไม้พร้อมรับประทาน และน้ำผลไม้เข้มข้น โดยน้ำผลไม้พร้อมรับประทานนั้นมีข้อเสียคือ ปริมาณที่มากทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ ไม่สะดวกต่อการขนส่ง ส่วนการแปรรูปเป็นน้ำผลไม้เข้มข้นนั้นจะช่วยลดพื้นที่ในการขนส่ง ยืดอายุในการเก็บรักษาเนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ที่ต่ำ (จิราวรรณ, 2554)

การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นซึ่งเป็นกระบวนการแยกหรือระเหยน้ำออกจากน้ำผลไม้ สามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1. การทำให้เข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration) เป็นการทำให้อาหารที่เป็นของเหลวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยใช้หลักการลดอุณหภูมิของอาหารเหลวให้ต่ำลงจนกระทั่งอาหารบางส่วนแข็งตัว อาหารในช่วงนี้มีลักษณะเป็นกึ่งของเหลวกึ่งของแข็ง (Slurry) เพราะในอาหารเหลวประกอบไปด้วยผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) อยู่ร่วมกับส่วนที่เป็นของเหลว ทำให้อาหารมีความเข้มข้นมากขึ้นเนื่องจากน้ำในอาหารเหลวบางส่วนเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ถ้าผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นในสถานะที่เหมาะสมผลึกน้ำแข็งที่ได้จะมีความบริสุทธิ์มาก เมื่ออาหารเหลวมีลักษณะเป็น slurry แล้วก็จะทำการแยกเอาผลึกน้ำแข็งออกจากของเหลว ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ อาหารเหลวที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ข้อจำกัดของการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง คือ ความเข้มข้นของอาหารที่ได้ต่ำกว่าวิธีการระเหย ซึ่งถ้าใช้วิธีการระเหยจะทำให้ได้อาหารที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70-95 แต่ถ้าทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งจะได้อาหารที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40-55 (จิราวรรณ, 2554)

2. การทำให้เข้มข้นโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum evaporation) วิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum evaporation) วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารหรือผลไม้ที่มีสารที่ไม่ทนต่อความร้อน (Heat sensitivity) การระเหยใช้สภาวะสุญญากาศค่อนข้างสูง (ความดันต่ำ) ซึ่งจะสามารถกำจัดปริมาณน้ำออกจากอาหารเหลวได้มาก โดยไม่ทำลายคุณภาพของส่วนประกอบที่ไวต่อความร้อนมากนัก เนื่องจากในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum) จะทำให้น้ำระเหยที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงลดความเสียหายเนื่องจากความร้อนได้ (รุ่งนภา, 2535) เครื่องมือที่ใช้ในการทำเข้มข้นโดยการระเหย ภายใต้สุญญากาศปัจจุบันมีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการทำน้ำผลไม้เข้มข้นได้แก่ เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศแบบโรตารี (Rotary vacuum evaporator) และเครื่องระเหยภายใต้ สุญญากาศแบบไหลเป็นฟิล์มบาง (Climbing film evaporator) ซึ่งกระบวนการทำให้เข้มข้นด้วย เทคนิคนี้มีข้อดีคือ สามารถรักษาคุณภาพของน้ำผลไม้ไว้ได้มาก เนื่องจากมีการใช้ความร้อนต่ำในการระเหยน้ำออกไป ส่วนข้อด้อยคือต้นทุนในการผลิตสูง

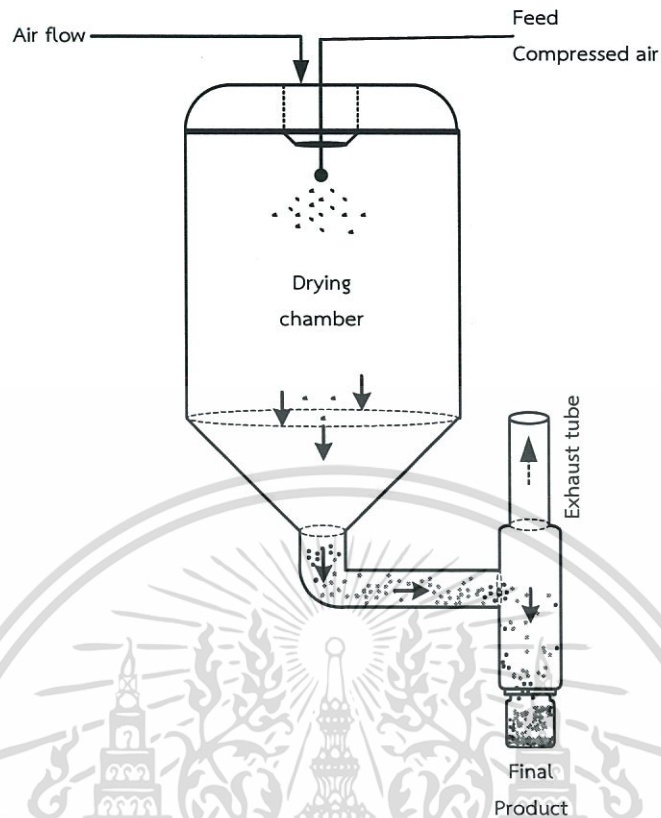
3. การระเหยโดยการต้มเดือด (High temperature evaporation) วิธีการนี้ใช้ความร้อนสูงในการระเหยน้ำออก เนื่องจากเป็นการต้มระเหยน้ำภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) วิธีการนี้ สามารถทำได้ง่าย ได้น้ำผลไม้ที่มีความเข้มข้นตามต้องการ และต้นทุนที่ใช้ในการผลิตต่ำ สามารถใช้เครื่องมือไม่ซับซ้อน จึงเหมาะสำหรับการผลิตในครัวเรือน เช่น การทำน้ำตาลปีบจากน้ำอ้อย เป็นต้น ส่วนข้อเสีย นั้น มีผลต่อสารหอมระเหยหลายชนิดที่ระเหยง่าย เกิดการสูญเสียระหว่างการผลิต ทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นมีคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติต่ำ และมีการสูญเสียคุณค่าทางด้านโภชนาการของอาหารเหลืออีกด้วย (รุ่งนภา, 2535)

2.3 การทำแห้ง (Dehydration)

การทำแห้ง (Dehydration) คือการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการทำแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) โดยมีวัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร โดยลดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการจะไม่สูงพอที่จะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้การลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกแก่ผู้บริโภค แต่การทำแห้งสามารถก่อให้เกิดการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเพื่อให้มีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด ตัวอย่างอาหารแห้งที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญได้แก่ น้ำตาล กาแฟ นม มันฝรั่ง แป้ง ถั่วลิสง ส่วนผสมสำหรับทำขนมปัง อาหารประเภทที่ทำมาจากธัญพืช ชาและเครื่องดื่ม (วิไล, 2552)

2.4 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)

เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้รับความนิยมมากในอุตสาหกรรมอาหารที่จะได้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของผงแห้ง เช่น ผลิตภัณฑ์นม ไข่ผง กาแฟสำเร็จรูป ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้หรือมะเขือเทศ (Master, 1979) เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตน้อย มีกำลังการผลิตสูง ใช้งานง่าย สามารถควบคุมและปรับสภาวะการผลิตตามผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตต้องการ เช่น ขนาดอนุภาค ปริมาณความชื้น ความหนาแน่นของอนุภาค (Bulk density) และลักษณะปรากฏ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา: ดัดแปลงจาก Islam & Kim, 2017

2.4.1 หลักการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวทำแห้ง กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นของเหลว (Feed) ออกมาจนเป็นละอองขนาดเล็ก เข้าไปผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปได้ทั้งหมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้งสำหรับกระบวนการทำแห้งให้กับผลิตภัณฑ์นั้น เริ่มทำตั้งแต่ใส่ของเหลวลงในเครื่อง แล้วรอนของเหลวมีความชื้นในระดับที่เหมาะสมต่อการฉีดออกมาเป็นละออง จากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา สำหรับตัวอย่างของเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็น ตัวทำละลายประเภทอิมัลชัน (Emulsion) หรือสารแขวนลอยก็ได้ ส่วนเครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคือ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ทฤษฎีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการทำแห้งที่ประยุกต์ใช้กับการแปรรูปอาหารได้ทุกประเภทซึ่งอาหารที่ต้องการทำแห้งอาจจะอยู่ในสภาพของสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกันหรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันที่อยู่ในรูปของสารละลายผสมระหว่างของแข็งกับของเหลว (Slurry) หรือของเหลวกับของเหลว (Emulsion) หลักการทำแห้งดำเนินการโดยทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็ก ๆ แล้วไหลผ่านไปในห้องทำแห้งซึ่งมีอากาศร้อนไหลผ่านในขณะเดียวกัน เนื่องจากของเหลวที่มีขนาดเล็กประมาณ 100-200 ไมโครเมตร ทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากขึ้นเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายโอนมวลและความร้อน การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของหยดของอนุภาคเล็ก ๆ อย่างรวดเร็ว (Master, 1979)

การระเหยระหว่างการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการระเหยที่ให้อัตราการระเหยคงที่ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความชื้นภายในละอองของอาหารเหลวที่มีอยู่มากพอ ที่จะกระจายไปที่ผิวของละอองของเหลวอย่างคงที่ จนกระทั่งเกิดสภาวะอิ่มตัวถึงขณะหนึ่ง เมื่อปริมาณความชื้นลดลงต่ำกว่าสภาวะอิ่มตัวและเข้าสู่จุดวิกฤต (critical point) ผิวของละอองของเหลวจะเริ่มแห้ง อัตราการระเหยจะไม่คงที่ ในช่วงนี้อัตราการระเหยจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายของความชื้นผ่านผิวนอกที่แห้ง ซึ่งความหนาของชั้นผิวนอกที่แห้งจะเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา อัตราการระเหยจึงมีค่าลดลง (Master, 1979) และพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยในการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย คือ ความเข้มข้นของอาหารเหลว โดยการเพิ่มความเข้มข้นของอาหารเหลวจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่และมีความหนาแน่นปรากฏสูงขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิผสมเข้าโดยที่อัตราการไหลของของอาหารเหลวเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ จะทำให้ความหนาแน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์ลดลงและมีความโปร่งมากขึ้น เนื่องจากอัตราการระเหยเกิดขึ้นเร็ว

2.4.3 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เมื่ออาหารเหลวถูกฉีดเป็นละอองและสัมผัสกับอากาศร้อนภายในห้องทำแห้งทำให้น้ำในอาหารระเหยไปอย่างรวดเร็วจากนั้นผงของอาหารแห้งตกลงมาแล้วถูกแยกออกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไป กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การทำของเหลวให้มีอนุภาคขนาดเล็ก ๆ หรือหยดของเหลว (Atomization) การทำของเหลวให้มีอนุภาคขนาดเล็ก ๆ หรือหยดของเหลวนั้น เป็นปัจจัยหลักในการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพราะเป็นตัวทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งถ้ามีพื้นที่ผิวมากจะสามารถระเหยน้ำออกจากอาหารได้อย่างรวดเร็ว และเป็นตัวทำให้เกิดอนุภาคเล็ก ๆ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเฉพาะทั้ง

ขนาด รูปร่าง ตลอดจนความหนาแน่น เมื่อของเหลวมีขนาดเล็กลงจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ถ่ายโอนความร้อนได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (Master, 1979)

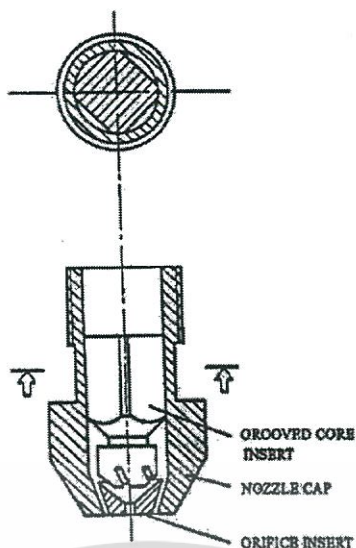
2. การทำให้ของเหลวพ่นกระจายเป็นละออง (Atomization of Feed) กระบวนการนี้เป็นการทำให้ของเหลว (Feed) พ่นกระจายตัวกลางให้เป็นละอองโดยใช้หัวฉีดซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

3. การสัมผัสกันระหว่างละอองหยดของเหลวกับอากาศร้อน ในขั้นตอนนี้อุณหภูมิของอาหารเกิดการสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อให้ น้ำในอาหารเหลวรับความร้อนจากอากาศร้อนทำให้เกิดการระเหยน้ำออกไป การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงมาก เพราะถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมทำให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นกับจุดประสงค์ของการทำแห้ง ลักษณะของอาหารที่ต้องการทำแห้ง คุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

2.4.4 หัวฉีดในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

หัวฉีด มีหน้าที่ทำให้อาหารเหลวแตกตัวเป็นละอองฝอย เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับความร้อนให้มากขึ้นและยังเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของอาหารเหลวไปยังห้องทำแห้ง ซึ่งเป็นทั้งตัวกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ และขนาดอีกด้วย ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยหัวฉีด หรือหัวฉีดมีหลายระบบด้วยกัน ซึ่งในแต่ละระบบนั้นมีคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน การเลือกชนิดของตัวทำละอองนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลวเริ่มต้น เช่น ความหนืด และคุณสมบัติอาหารที่ต้องการ เช่น ขนาดของอนุภาค การละลาย ความหนาแน่น การเปียกน้ำ ซึ่งหัวฉีดที่นิยมใช้ได้แก่

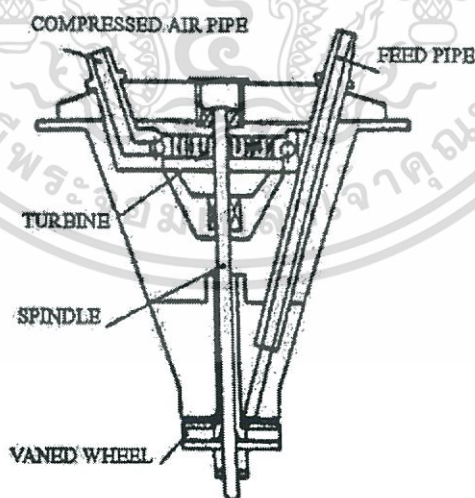
1. หัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure Nozzle) หัวฉีดนี้เป็นตัวทำให้อาหารเหลวไหลผ่านรูเล็ก ๆ โดยใช้ความดันสูงในการฉีดอาหารเหลว ทำให้เกิดแผ่นของเหลวขึ้นเพื่อแตกออกเป็นหยดเล็ก ๆ ตามต้องการ อนุภาคที่ได้จะมีขนาดอยู่ที่ 120-250 ไมครอน โดยขนาดของอนุภาคที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอาหาร ความหนืด และความดัน



รูปที่ 2.3 หัวฉีดแบบแรงดัน (ปรัชญา, 2543)

2. หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers)

หัวฉีดชนิดนี้จะฉีดอาหารเหลวลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลาง จานหมุนจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 5,000-10,000 รอบต่อนาที สารละลายจะถูกเหวี่ยงกระจายออกเป็นแผ่น หัวฉีดประเภทนี้สามารถใช้กับอัตราการป้อนและคุณสมบัติของเหลวได้ในช่วงกว้าง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของจานหมุนและอัตราการป้อน

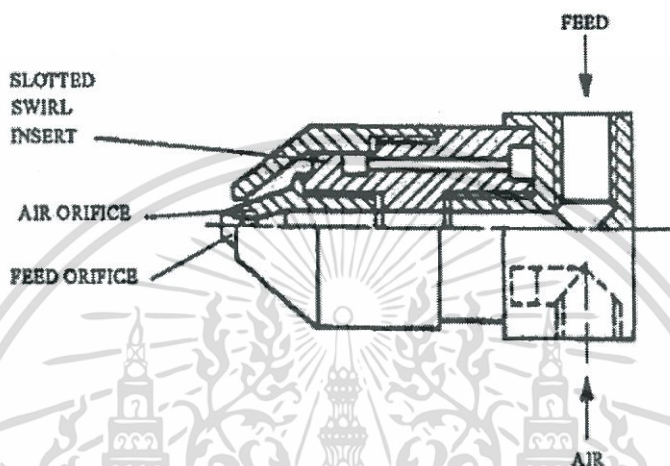


รูปที่ 2.4 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (ปรัชญา, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two – Fluid nozzle Atomizers)

หัวฉีดนี้ของเหลวและอากาศจะไหลผ่านหัวของหัวฉีด เป็นการใช้กระแสก๊าซความเร็วสูงเพื่อให้กระทบกับอาหารเหลวที่ความเร็วต่ำ และจึงแตกออกเป็นละอองฝอย โดยทั่วไปหัวฉีดเหล่านี้มักใช้กำลังมาก และอาจไม่ประหยัดที่ความจุสูง หยดของเหลวละเอียด สามารถเกิดขึ้นที่อัตราการไหลต่ำ และใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง



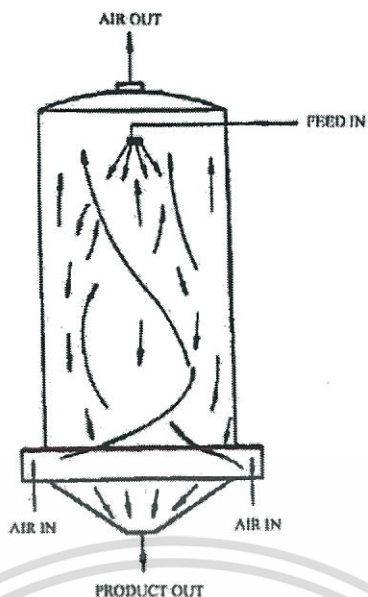
รูปที่ 2.5 หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (ปรัชญา, 2543)

2.4.5 ลักษณะการไหลเวียนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

อากาศที่ถูกดูดผ่านระบบการกรองและผ่านการทำให้ร้อนแล้วนั้น จะสัมผัสเข้ากับอาหารเหลวที่ถูกพ่น ออกมาในบริเวณที่เกิดการทำแห้ง โดยการสัมผัสกันระหว่างอากาศร้อนกับอาหารเหลวนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ หลายทิศทาง โดยจะแบ่งลักษณะการไหลเวียนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยออกเป็น 4 ประเภท

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน

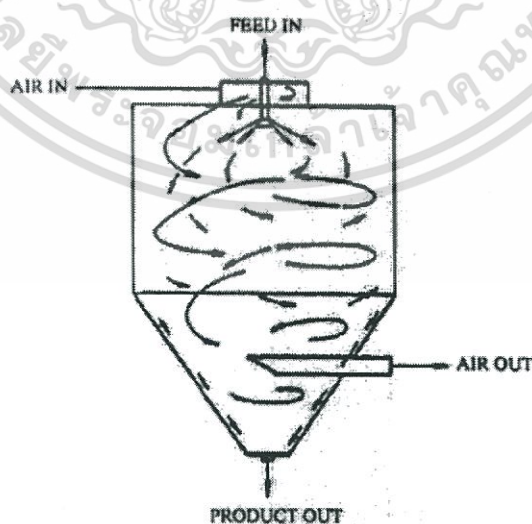
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน อากาศจะถูกนำเข้าเครื่องทางด้านล่างของห้องทำแห้ง ในขณะที่อาหารเหลวจะถูกพ่นออกมาทางด้านบนของห้องทำแห้ง โดยที่อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ออกทางด้าน บนซึ่งมีอุณหภูมิสูง โดยสัมผัสโดยตรงกับอาหารเหลว ข้อเสียของเครื่องทำแห้งประเภทนี้ คือ คุณภาพของ ผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศมีผลต่อผลิตภัณฑ์และอัตราการไหลที่ทำได้น้อยเนื่องจาก ป้องกันการไหลติดกันไปของอาหารเหลวและอากาศที่ถูกดูดออกทางด้านบนของเครื่อง



รูปที่ 2.6 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไนต์ไหลสวนทางกัน (ปรีชญา, 2543)

2. เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไนต์ไหลตามกัน

เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไนต์ไหลตามกัน จะมีการผสมของอากาศและของเหลวโดยหัวอัดฉีด ผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศจะไหลไปในทิศทางเดียวกันโดยกระบวนการการทำแห้งจะดำเนินต่อไป โดยผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศจะไหลออกทางด้านล่างผ่านทางแยก การจัดการ เช่นนี้เหมาะแก่การใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อนเนื่องจากผลิตภัณฑ์เหลวจะสัมผัสกับอากาศ น้อยที่เข้ามาแต่ผลิตภัณฑ์แห้งจะสัมผัสกับอากาศที่ลดอุณหภูมิต่ำลงมาก



รูปที่ 2.7 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไนต์ไหลตามกัน (ปรีชญา, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน ผลิตภัณฑ์จะเข้าเครื่องด้วยหัวฉีดบริเวณ ศูนย์กลางของห้องทำแห้ง อากาศจะไหลเข้าทางด้านบนมาสัมผัสกับอาหารก่อนที่จะเคลื่อนที่ขึ้น ด้านบนไปยังช่องอากาศภายนอก ผลิตภัณฑ์แห้งจะได้ออกทางด้านล่างของห้องทำแห้ง อุณหภูมิ อากาศเข้าที่สูงจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ แต่ลักษณะแบบนี้จะทำให้อัตราการระเหยต่อหน่วยมี ปริมาณสูงขึ้น



รูปที่ 2.8 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลผสมกัน (ปรีชญา, 2543)

4. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกันการไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศจะไหลอย่าง สม่ำเสมอจากทางด้านบนสู่ด้านล่างในห้องทำแห้งที่แคบ ผลิตภัณฑ์แห้งและอากาศจะออกจากห้องทำ แห้งด้วยกัน และเคลื่อนที่ไปยังระบบแยก ลักษณะการไหลแบบนี้แตกต่างจากการไหลจามกัน คือ ความเร็วลมที่ใช้สูงอยู่ที่ 2-3 เมตรต่อวินาที ทำให้อุณหภูมิอากาศเข้าสูง

2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผง

1. อัตราการพ่นกระจาย (Atomize speed)

อัตราการพ่นกระจายนั้นมีผลต่อขนาดและโครงสร้างของอนุภาคที่ได้ เมื่อควบคุมให้อัตราการ ป้อนของเหลวคงที่ แล้วทำการเพิ่มความเร็วในการพ่นกระจาย จะทำให้อนุภาคที่ได้นั้นมีขนาดเล็กลง

ส่วนความหนาแน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่นที่สูงกว่า เนื่องจากขนาดที่เล็กกว่าสามารถแทนที่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคที่ใหญ่ได้

2. คุณสมบัติในการป้อน (Feed properties)

ปริมาณของแข็งของสารละลายนั้น มีผลต่อขนาดและลักษณะของอนุภาคที่ได้ในด้านความหนาแน่นปรากฏ นอกจากนี้การป้อนสารละลายด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นหรือการลดอุณหภูมิผสมร้อนขาเข้าจะส่งผลให้อนุภาคที่ได้มีความหยาบ และทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นรวมถึงอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การระเหยน้ำช้ากว่าในสารละลายที่มีปริมาณของแข็งน้อยกว่า

3. ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดมีผลโดยตรงต่อการเลือกชนิดและความเข้มข้นของวัสดุห่อหุ้ม เนื่องจากถ้าของเหลวมีความหนืดสูง เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยแล้วจะทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ และถ้าหากมีความหนืดที่สูงมาก จะทำให้ของเหลวที่พ่นออกมามีลักษณะคล้ายกับเส้นด้าย ส่งผลให้อาหารนั้นไม่แห้งตามที่ต้องการหรืออาจมีผลทำให้เกิดการอุดตันของหัวฉีดได้ ดังนั้นควรเลือกชนิดและวัสดุห่อหุ้มที่เหมาะสม

4. ชนิดของหัวฉีด (Type of atomized)

ชนิดของหัวฉีด มี 3 แบบคือ หัวฉีดแรงดันสูง (Centrifugal Pressure Nozzle) หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers) และ หัวฉีดแบบไหลสองชนิด (Two – Fluid Atomizers) ซึ่งแต่ละลักษณะนั้นมีผลต่อลักษณะขนาดของอนุภาคจะแตกต่างกัน โดยที่หัวฉีดแบบแรงดันสูง (Centrifugal Pressure Nozzle) จะให้อนุภาคฝงที่มีลักษณะที่หยาบกว่า

5. การไหลของอากาศ (Air flow)

อัตราการไหลของอากาศภายในห้องทำแห้งมีผลต่อเวลาของฝงที่อยู่ในห้องทำแห้งหรือเวลาที่ใช้ในการทำแห้งโดยตรง ถ้าอัตราการไหลของอากาศลดลงส่งผลให้เวลาที่อยู่ในห้องทำแห้งของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการทำแห้งเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่ถูกระเหยมีมากขึ้นมีผลให้ความชื้นลดลงและยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งในด้าน คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาสีนน้ำตาล อันเนื่องมาจากความร้อนส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ได้มีสีเข้มและเกิดกลิ่นไหม้ นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศยังมีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อระยะเวลาที่อยู่ในห้องทำแห้งของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการทำแห้งโดยตรง ถ้าอัตราการไหลของอากาศลดลง จะส่งผลให้ละอองสัมผัสกับอากาศ

ร้อนเป็นเวลานาน ปริมาณน้ำในอาหารจะระเหยมากขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง

6. อุณหภูมิในการทำแห้ง (Drying temperature)

อุณหภูมิของลมร้อนในการทำแห้งทั้งขาเข้าและขาออกมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์เมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการไหลคงที่ จะส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำออกไปได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อุณหภูมิขาเข้าที่สูง ยังมีผลให้ความหนาแน่นปรากฏรวมมีค่าลดลง ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีรูพรุนในอนุภาคผงมากกว่า ในขณะที่อุณหภูมิขาออกจะส่งผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขาออกให้สูงขึ้น มีผลให้ปริมาณความชื้นที่เหลือลดลง ดังนั้นการกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาออก จึงขึ้นกับปริมาณความชื้นของ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสำคัญ ผลของความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะส่งผลต่อคุณภาพในด้านต่าง ๆ เช่น การ ละลาย (Solubility) ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) ขนาด (Particle size) การดูดความชื้น (Hygroscopicity) และ อายุการเก็บรักษา (Shelf life)

อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมักเกิดปัญหาในเรื่องการ สูญเสีย กลิ่นรส และการจับตัวกันเป็นก้อนทั้งในระหว่างและหลังการทำแห้ง การแก้ปัญหาเหล่านี้ ทำได้โดยการเติมสารช่วยในการทำแห้งและกักเก็บกลิ่นรส (กลยาณี, 2540) ซึ่งมีคุณสมบัติในการช่วยรักษา กลิ่นรสของอาหารไว้ได้ และช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบ ก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยที่ตัวพามีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ ไม่มีกลิ่นรส และสามารถละลายได้ดี เช่น มอลโต เด็กซ์ตริน

2.5 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)

กระบวนการห่อหุ้มอาจจะกล่าวได้ว่าเป็นกระบวนการ เพื่อดักจับสารๆหนึ่งไว้กับอีกสารหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นหน่วยนาโนเมตร ไปจนถึงมิลลิเมตร สารที่ได้รับกระบวนการห่อหุ้มเรียกว่า วัสดุหลัก สารทำงาน สารชั้นใน หรือ สารบรรจุ ส่วนสารที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มเรียกว่า สารเคลือบ เมมเบรน (Membrane) สารเปลือกนอก วัสดุผนัง วัสดุพาหะ สารชั้นนอก เมทริกซ์ (Matrix) สารทำหน้าที่เคลือบควรจะมีเกรดเฉพาะสำหรับใช้กับอาหาร และสามารถที่จะเป็น ฉนวนกั้นระหว่างสารที่ถูกเคลือบกับภายนอกได้ (Zuldarn & Nedovic, 2010)

2.5.1 หลักการและวัตถุประสงค์

กระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกห่อหุ้มด้วยสารชนิดอื่น สารถูกกักเก็บส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวแต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็ง หรือก๊าซซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปเช่น Core material หรือ Internal phase สารห่อหุ้มเรียกว่า Wall material carrier membrane shell หรือ Capsule ซึ่งสารที่นำมาห่อหุ้มสามารถป้องกันการสูญเสียสารที่ถูกห่อหุ้มจากกระบวนการทางความร้อนเช่น การทอด การฆ่าเชื้อ การอบ และการแปรรูปต่าง ๆ วัตถุประสงค์ของการห่อหุ้ม (Madene et al., 2006) มีดังนี้

1. ควบคุมการปลดปล่อยสารของวัตถุดิบ
2. ทำให้ของเหลวมีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง
3. การแยกสารที่ทำปฏิกิริยาแยกออกจากกัน
4. หลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารกับสิ่งแวดล้อม
5. เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของวัตถุดิบ
6. ลดความเป็นพิษของวัตถุดิบ
7. ลดการระเหยของของเหลว
8. ทำให้รสขมของสารหลังจากการผสมกันแล้วลดลง

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารที่ผ่านกระบวนการห่อหุ้ม

1. คุณสมบัติทางเคมีของสารถูกกักเก็บที่ผ่านกระบวนการห่อหุ้ม ได้แก่ โครงสร้างทางเคมี ความมีขั้วและความสามารถในการระเหย
2. คุณสมบัติของสารห่อหุ้ม
3. สภาพที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการห่อหุ้ม สารห่อหุ้มที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้มสารถูกกักเก็บต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารถูกกักเก็บ มีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง ปกป้องสารถูกกักเก็บจากสภาวะแวดล้อม มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่ความเสถียร และสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารถูกกักเก็บภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ

2.6 สารห่อหุ้ม

1. สตาร์ช (Starch) และ Ingredients ที่ผลิตจากสตาร์ช เช่น สตาร์ชดัดแปลง (Modified starch) มอลโตเด็คซ์ตริน และ บีตา-ไซโคลเด็คซ์ตริน (Beta-cyclodextrin) ถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อกักเก็บและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันสารให้กลีนิรส โดยกลไกของการจับตัวระหว่างสารให้กลีนิรสกับสตาร์ชแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ โดยรูปแบบแรก สารให้กลีนิรสจะถูก ล้อมรอบด้วย Amylase helix โดยการจับกันเป็น Hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะกักสารให้กลีนิรสไว้ ภายในโมเลกุล (Inclusion complex) และในรูปแบบที่สองนั้นจะเกิด Polar interaction โดยพันธะ ไฮโดรเจนระหว่าง Hydroxyl groups ของสตาร์ชและสารให้กลีนิรส (Arvisenet et al., 2002; Boutboul et al., 2002)

2. มอลโตเด็คซ์ทริน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดบางส่วนโดย การใช้กรด หรือเอนไซม์ โดยผลิตจำหน่ายในรูปแบบ Dextrose Equivalent (DE) โดยมี DE value เป็นการวัด ระดับของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ช ซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบผิว (Kenyon & Aderson, 1988; Shahidi & Han, 1993)

3. กัม (Gum) หรือ Gumarabic จะถูกนำมาใช้ในสารเคลือบ เนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และสามารถกักเก็บสารให้กลีนิรสได้ดี ไมโคร แคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูลสารให้กลีนิรส โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งจะใช้ ส่วนผสมของมอลโตเด็คซ์ทรินและ Gumarabic เป็นสารเคลือบ จะมีขนาดตั้งแต่ 10-200 ไมครอน และสามารถกักเก็บสารให้กลีนิรสได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่าง กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศของอากาศร้อน ความเข้มข้นของอิมัลชัน ความหนืด สัดส่วนของ Gumarabic และมอลโตเด็คซ์ทริน (Williams & Philips, 2000)

4. โปรตีน (Protein) โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ของสารเคลือบ เช่น ค่าการ ละลาย (Solubility) ความหนืด (Viscosity) Emulsification และคุณสมบัติของการทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูลชั้นระหว่างการเกิดอิมัลชันโมเลกุลของโปรตีน จะดูดซับที่บริเวณ Oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด Stericstabilizinglayer ชั้นตันที่จึง สามารถปกป้องหยดน้ำมันจากการกลับมารวมตัวอีกครั้ง ทำให้เกิดความเสถียรภาพทางกายภาพของ อิมัลชันระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา (Dalgleish, 1997; Dickenson, 2001)

5. เวย์โปรตีน (Whey protein) เวย์โปรตีนจะให้คุณสมบัติทางหน้าที่ในการเป็นสารเคลือบ (Amrita et al., 1999) เวย์โปรตีนที่จำหน่ายจะมีโปรตีน 95-96 เปอร์เซ็นต์ เวย์โปรตีนเป็นสารเคลือบ ที่สามารถต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเอนแคปซูลน้ำมันส้มโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบ พ่นฝอย (Kim & Morr, 1996) การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับคาร์โบไฮเดรตสามารถใช้เป็นสารเคลือบใน การเอนแคปซูลสารให้กลีนิรส (Young et al., 1993; Sheu & Rosenberg, 1995) โดยเวย์โปรตีน จะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มในขณะที่มอลโตเด็คซ์ทริน จะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้ เกิดเมทริกซ์ (Sheu & Rosenberg, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. โปรตีนชนิดอื่น ๆ เช่น โปรตีนถั่วเหลืองหรืออนุพันธ์ของเจลาติน มีคุณสมบัติในการทำให้ออกซิเจนที่เสถียรกับสารให้กลิ่นรส เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายของคอลลาเจนถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบในการเอนแคปซูลของสารให้กลิ่นรสโดยเทคนิคและเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Ducel et al., 2004) เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดีและมีคุณสมบัติในการเคลือบผิว (Lee et al., 1999) ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสโดยใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส (Gourdell & Tronel, 2001)

2.6.1 มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin)

มอลโตเด็กซ์ตริน $[(C_6H_{10}O_5)_n H_2O]$ คือ สายโพลีเมอร์ของแซคคาไรด์ที่ได้จากการ ไฮโดรไลซ์แป้ง ประกอบด้วย α -D-glucose ยูนิท หลาย ๆ ยูนิทต่อกันด้วย (1 - 4) glycosidic bonds มีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose equivalent หรือ DE) ต่ำกว่า 20 โดยทั่วไปที่นิยมผลิตจะมีค่าสมมูลเด็กซ์โทรสอยู่ในช่วง 5 - 19 ค่าสมมูลเด็กซ์โทรสเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ในน้ำเชื่อมโดยคำนวณจากเด็กซ์โทรสของปริมาณน้ำหนักแห้ง มอลโตเด็กซ์ตรินจัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกับกลูโคสไซรัป ได้จากการย่อยสลายโมเลกุลของสตาร์ช ด้วยกรดหรือเอนไซม์ (Macrae et al., 1993; Kearsley & Dziedzic, 1995)

2.6.2 ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose Equivalent หรือ DE)

ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (DE) หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่ในตัวอย่าง เมื่อใช้วิธีตรวจวัดโดยวิธีรีดักชัน (reduction) ในการบัญญัติศัพท์ภาษาไทย กำหนดให้เรียก DE ว่า ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส นั่นคือ ปริมาณร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) คิดเป็นปริมาณน้ำตาลเด็กซ์โทรส (Dextrose) ที่มีอยู่ในคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

การคำนวณค่า DE (Kearsley & Dziedzic, 1995)

$$DE = \frac{\text{Reducing Value of Hydrolysate Material}}{\text{Reducing Value of Dextrose}} \times 100 \quad (2.1)$$

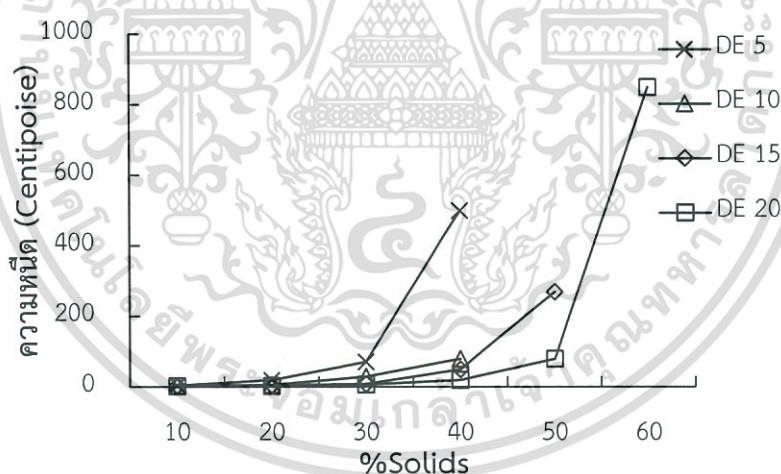
ในอุตสาหกรรมอาหาร ข้อกำหนดคุณลักษณะของคาร์โบไฮเดรต ที่ใช้เป็นสารให้ความหวาน (Sweetener) จะไม่นิยมกำหนดค่าความหวาน (Relative sweetness) แต่จะกำหนดเป็นค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (DE) แทน ซึ่งค่า DE แสดงถึงระดับการย่อยแป้ง (flour) หรือ สตาร์ช (Starch) ให้เป็นน้ำตาลกลูโคสหรือเด็กซ์โทรส โดยสตาร์ช (Starch) มีค่า DE เท่ากับ 0 ขณะที่น้ำตาลกลูโคสหรือเด็กซ์

โทรสมิตค่า DE เท่ากับ 100 ตัวอย่างค่า DE ของคาร์โบไฮเดรตบางชนิด เช่น มอลโตเด็กซ์ทริน มีค่า DE น้อยกว่า 20 เป็นต้น

2.6.3 สมบัติบางประการของมอลโตเด็กซ์ทริน

1. ความสามารถในการดูดความชื้น (Hygroscopicity) มอลโตเด็กซ์ทรินมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ดี (Non-hygroscopic) เนื่องจากมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่น้อยจึงมีลักษณะเป็นผงแห้งที่ไหลได้ดี (Free flowing) เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่แห้ง ซึ่งความสามารถในการดูดความชื้นของมอลโตเด็กซ์ทรินจะเพิ่มตามค่าสมมูลเด็กซ์โทรสที่สูงขึ้น (Kenyon & Anderson, 1988)

2. ความหนืด (Viscosity) สารละลายมอลโตเด็กซ์ทรินจะแสดงลักษณะความหนืดเป็นแบบ newtonian กล่าวคือเมื่อสารละลายได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ความหนืดมีค่าลดลง โดยระดับค่า DE นั้น เมื่อสารละลายมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำจะมีความหนืดสูง ความเข้มข้นของสารละลายมอลโตเด็กซ์ทรินมีผลต่อความหนืดเช่นกัน ซึ่งค่าความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายมอลโตเด็กซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (Kenyon & Anderson, 1988)



รูปที่ 2.9 ความหนืดของสารละลายมอลโตเด็กซ์ทริน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kenyon & Anderson, 1988

3. ความสามารถในการละลาย (Solubility) มอลโตเด็กซ์ทรินชนิดที่มีค่า DE สูงจะละลายน้ำได้ดีกว่าชนิดที่มีค่า DE ต่ำ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มอลโตเด็กซ์ทรินผงที่มีค่า DE อยู่ในช่วง 9 - 12, 13 - 17 และ 18 - 20 จะละลายในน้ำได้ร้อยละ 40, 60 และ 70 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำกว่า จะมีปริมาณแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำอยู่จำนวนมากกว่าพวกที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า DE สูงกว่า ซึ่งแซคคาไรด์ขนาดใหญ่เหล่านี้จะละลายน้ำได้ยาก และเป็นสาเหตุให้มอลโตเด็กซ์ทรินมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย เมื่อระดับสมมูลเด็กซ์โทรสมมีค่าต่ำลง (Howling & Jackson, 1990)

4. การควบคุมการเกิดผลึก (Crystallization control) มอลโตเด็กซ์ทรินถูกใช้ในอาหารเนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยควบคุมการตกผลึกของน้ำตาลในอาหารได้โดยจะขัดขวางไม่ให้น้ำตาลที่มีปริมาณมากเกินไปจนจุดอิ่มตัวเกิดการรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง (Pancoast & Junk, 1980)

5. การทำให้อิมัลชันคงตัว (Emulsion stability) มอลโตเด็กซ์ทรินไม่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์อย่างแท้จริง เนื่องจากขาดสมบัติของการเป็นสารชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic/Lipophilic properties) แต่สามารถทำให้อิมัลชันคงตัวอยู่ได้ เนื่องจากส่วนที่เป็นโมเลกุลแซคคาไรด์สายยาว ทำให้เกิดความหนืดขึ้นซึ่งจะช่วยรักษาสภาพอิมัลชันไว้ได้ ดังนั้นถ้านำมอลโตเด็กซ์ทรินมาผสมกับสารที่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ เช่น กัมอาราบิก ก็จะช่วยปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชันให้ดีขึ้นกว่าการใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเพียงอย่างเดียว (Kenyon & Anderson, 1988)

6. การเกิดแผ่นฟิล์ม (Film-forming properties) สารละลายมอลโตเด็กซ์ทรินสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะมันวาว และมีสมบัติสามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของออกซิเจนได้ (Oxygen barrier properties) จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการกักเก็บกลิ่นรส (Encapsulation) ของสารที่ให้กลิ่นรส (flavoring agent) เพราะช่วยลดการสูญเสียของสารให้กลิ่นรสเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยพบว่ามอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE สูงจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มได้ดีกว่ามอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำ เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำจะมีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำอยู่จำนวนมากกว่า ซึ่งแซคคาไรด์เหล่านี้จะมีผลไปรบกวนการเกิดฟิล์ม ทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้เกิดความไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นแผ่นฟิล์มจากมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำกว่า จึงมีคุณภาพไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มจากมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE สูงกว่า (Inglett et al., 1988; Kenyon & Anderson, 1988)

2.6.4 การใช้ประโยชน์จากมอลโตเด็กซ์ทรินในผลิตภัณฑ์อาหาร

เนื่องจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอลโตเด็กซ์ทริน จึงมีการนำไปใช้ในอาหารประเภทต่าง ๆ เช่น ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย นิยมใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มเพื่อช่วยรักษาสีและกลิ่นรสที่ถูกทำลายได้ง่ายโดยความร้อน อีกทั้งใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณ ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมหวานได้อีกด้วย และเนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารตัวกลางพากลิ่นรสที่ดี จึงนิยมใช้เป็นสารเชื่อม (Binder) และสารเคลือบ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารทดแทนไขมันใน

อาหารประเภทไขมันต่ำอีกด้วย (Macrae et al., 1993) ตัวอย่างการใช่มอลโตเด็กซ์ทรินในอาหารประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การใช่มอลโตเด็กซ์ทรินในอาหารประเภทต่าง ๆ (Macrae et al., 1993)

ผลิตภัณฑ์	DE	เหตุผล
เครื่องดื่มผง	1, 5, 10, 15	ไม่จับตัวเป็นก้อน กระจายตัวและละลายน้ำได้ดี ให้น้ำเชื่อมสัมผัส ช่วยให้อายุการเก็บรักษาอยู่ ทำให้ง่าย
อาหารเด็กอ่อน	15	ทำให้ง่าย มีคุณค่าทางอาหารสูง
ซูปและซอส	5, 10, 15	เนื้อสัมผัส ไม่จับตัวเป็นก้อน กระจายตัวในไขมัน
เครื่องเทศ	10, 15	ไม่จับตัวเป็นก้อน ยืดอายุการเก็บ ไม่มีกลิ่นรส
สารให้ความหวานสังเคราะห์	5, 10, 15	เพิ่มปริมาณ เจือจางความหวาน ไม่จับตัวเป็นก้อน
ครีมเทียม	10, 15	เพิ่มปริมาณ ให้ความรู้สึกในปาก กระจายตัวในไขมัน
เนยแข็งเทียม	10	ป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ปรับปรุงเนื้อสัมผัส ไม่มีกลิ่นรส
ไส้ขนมชนิดครีม	10	ละลายได้ง่าย ให้น้ำเชื่อมเหนียว กระจายตัวในไขมัน
สารเคลือบผิวหน้าขนม	5, 10, 15	ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล ให้น้ำเชื่อมเหนียว
สารเคลือบเมล็ดถั่วและอาหารว่าง	10, 15	เกิดแผ่นฟิล์มป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้บางส่วน ตัวกลางพากลิ่นรส ยืดอายุการเก็บ
อาหารว่าง	10	เชื่อมเนื้ออาหาร ไม่เหนียวติดกัน ไม่มีกลิ่นรส
ขนมหวานชนิดอัดตัว	10, 15	เป็นสารยึดเกาะ มันทาว เป็นตัวเชื่อม บีบอัดได้
ขนมหวานชนิดเคี้ยวได้นาน	10, 15	ละลายได้ดี ความหนืดสูง ไม่มีกลิ่นรส
สารเคลือบ	10, 15	เกิดแผ่นฟิล์มป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้บางส่วน ไม่มีกลิ่นรส มีความมันวาว เป็นสารยึดเกาะ
ลูกกวาดชนิดแข็ง	10	ลดความชื้นในอากาศได้น้อย ไม่เหนียวติดกัน
อาหารแช่แข็ง	10	ให้ความหนืด ป้องกันการเกิดผลึก ควบคุมความชื้น
สารตัวกลางพากลิ่นรส	1, 5, 10, 15	เพิ่มปริมาณ เป็นสารกักเก็บกลิ่นรส
สารช่วยทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับชีส ไขมัน กลิ่นรส น้ำผลไม้ และน้ำเชื่อม	10	กระจายตัวและละลายน้ำได้ดี กระจายตัวในไขมัน ลดความชื้นจากอากาศได้น้อย มีสมบัติไหลได้ (free flowing) ไม่มีกลิ่นรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Glass Transition temperature (T_g)

ผลิตภัณฑ์ผงในสถานะของแข็งประกอบด้วยบริเวณที่เป็นผลึก หรืออสัณฐาน ซึ่งปริมาณของทั้งสองบริเวณนี้ขึ้นกับความสามารถในการจัดเรียงตัวของว่าเป็นระเบียบหรือไม่ สมบัติทางความร้อนของอาหารผงที่สำคัญ คือ อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (Melting point temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ส่วนที่เป็นผลึกเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว คล้ายกับการหลอมเหลวของผลึกของแข็งโมเลกุลเล็กชนิดอื่น สมบัติทางความร้อนที่สำคัญและเป็นเอกลักษณ์ของวัสดุอาหาร คือ อุณหภูมิการเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิด ขึ้นกับอาหารผงโดยไม่เปลี่ยนสถานะ (ยังคงอยู่ในสถานะของแข็ง) แต่เกี่ยวข้องกับการได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า อาหารผงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ยากมาก (เปรียบเหมือนถูกแช่แข็งไว้) จึงจัดเป็นของแข็งในสถานะคล้ายแก้ว (Glassy state) ซึ่งค่อนข้างแข็งแต่เปราะ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นโมเลกุลจะได้รับพลังงานมากขึ้น จนถึงอุณหภูมิเฉพาะของอาหารผงแต่ละชนิด จะรับพลังงานมากพอที่จะทำให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น จัดเป็นของแข็งสถานะคล้ายยาง (Rubbery state) (Xiao, 2008)

Glass Transition temperature (T_g) เป็นลักษณะคุณสมบัติของวัสดุอสัณฐาน (Amorphous) สำหรับอาหาร สามารถอธิบายได้จากความเหนียว ความเปราะของผลิตภัณฑ์ผงระหว่างกระบวนการผลิต หรือระหว่างการเก็บรักษา อาหารผงส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอสัณฐาน (Amorphous) ที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ตัวอย่างเช่น นมผงที่มีแลคโตส ร่วมกับโปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ วัสดุอสัณฐานจะพิจารณาจากหลักทางความร้อน

2.8 คุณสมบัติของอากาศ

2.8.1 อากาศแห้งและอากาศบรรยากาศ

อากาศ คือ ของผสมระหว่างไนโตรเจน ออกซิเจน และแก๊สอื่น ๆ ที่มีปริมาณเล็กน้อย โดยทั่วไปอากาศในบรรยากาศมักจะมีไอน้ำหรืออาจเรียกว่าความชื้นรวมอยู่ด้วย แม้ว่าปริมาณของไอน้ำในอากาศจะน้อย แต่ไอน้ำในอากาศก็มีบทบาทสำคัญต่อความรู้สึกของเรา ดังนั้น ปริมาณน้ำในอากาศจึงเป็นสิ่งที่เราควรพิจารณาในกระบวนการปรับอากาศ (Çengel & Boles, 1998)

2.8.2 ความชื้นในอากาศ

ปริมาณของไอน้ำในอากาศอาจถูกกำหนดได้หลายวิธี วิธีที่นิยมใช้กันคือ การกำหนดมวลของไอน้ำที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง ซึ่งเราจะเรียกการกำหนดโดยวิธีนี้ว่า ความชื้นสัมบูรณ์หรือความชื้นจำเพาะ (Absolute or specific humidity) หรืออาจเรียกว่า อัตราส่วนความชื้น (Humidity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ratio) และกำหนดด้วยสัญลักษณ์ : ω (kg water vapor/kg dry air) ปริมาณความชื้นในอากาศจะมีผลต่อความรู้สึกในความสบายของร่างกาย แต่ระดับความรู้สึกในความสบายนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่เทียบกับปริมาณความชื้นมากที่สุดที่จะมีอยู่ได้ในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน อัตราส่วนระหว่างปริมาณทั้งสองนี้จะถูกเรียกว่า ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity; ϕ) (Çengel & Boles, 1998)

2.8.3 ความดันไอ

ความดันไอ คือ ความดันย่อยของไอน้ำ และความดันย่อยนี้จะหมายถึง ความดันของไอน้ำที่กระทำโดยโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น ความดันของอากาศชื้นในบรรยากาศจะเท่ากับผลรวมของความดันย่อยขององค์ประกอบต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้ (Çengel & Boles, 1998)

$$P = P_a + P_v \quad (2.2)$$

เมื่อ P = ความดันของอากาศชื้นในบรรยากาศ
 P_a = ความดันย่อยของอากาศแห้ง
 P_v = ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ

2.8.4 อุณหภูมิกะเปาะแห้ง

อุณหภูมิกะเปาะแห้ง คืออุณหภูมิของอากาศที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐานที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป อุณหภูมิกะเปาะแห้งเป็นอุณหภูมิที่เกิดจากปริมาณความร้อนในอากาศโดยตรงไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศ เมื่อก้าวถึงอุณหภูมิของอากาศเฉยๆ โดยไม่ได้บอกว่าเป็นอุณหภูมิกะเปาะเปียก อุณหภูมิดังกล่าวให้ถือว่าเป็นอุณหภูมิกะเปาะแห้ง (Çengel & Boles, 1998)

2.8.5 อุณหภูมิกะเปาะเปียก

อุณหภูมิกะเปาะเปียก คืออุณหภูมิของอากาศชื้นที่มีการซึบออกโดยเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งกระเปาะถูกหุ้มด้วยผ้าเปียกชุบน้ำ และมีการเป่าอากาศผ่านสำลีนั่น อุณหภูมิกะเปาะเปียกนี้บางที่เรียกว่าอุณหภูมิกะเปาะเปียกเชิงไซโครเมตริก (Çengel & Boles, 1998)

2.8.6 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง

คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการควบแน่นเกิดขึ้นเมื่ออากาศถูกทำให้เย็นตัวลงที่ความดันคงที่ อากาศที่เย็นลงนั้นหมายถึงปริมาณความชื้นสูงสุดที่อยู่ในอากาศมีการลดน้อยลง (ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้น) และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงจนความจุความชื้นของอากาศมีค่าเท่ากับปริมาณความชื้นในอากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าเท่ากับ 100% หรือเรียกว่าเป็นจุดที่อากาศอิ่มตัว แต่ถ้าหากอุณหภูมิของอากาศยังลดต่ำลงจะทำให้เกิดการควบแน่นเกิดขึ้น (Çengel & Boles, 1998)

2.8.7 ค่าความร้อนแฝงจำเพาะ หรือเอนทาลปี

เอนทาลปี, h (kJ/kg dry air) คือ สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสสารที่อุณหภูมิกำหนดให้ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิอ้างอิง ถ้าอุณหภูมิอ้างอิงของน้ำและอากาศที่ 0 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ดังนั้นเอนทาลปีของอากาศชื้นที่มีอัตราส่วนความชื้น W อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส และทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอหมด (สุจิตต์, 2550)

$$h = h_a + wh_w \quad (2.3)$$

หรือประมาณได้จากสมการดังนี้

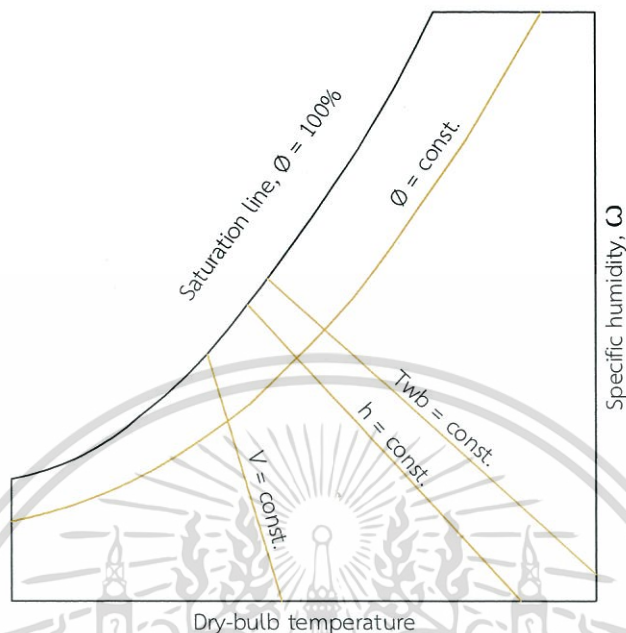
$$h = 1.003T + (2501 + 1.775T)w \quad (2.4)$$

2.8.8 แผนภูมิไซโครเมตริก

คุณสมบัติต่าง ๆ ของอากาศจะมีความสัมพันธ์กันซึ่งนอกจากการหาค่าต่าง ๆ โดยการคำนวณแล้ว ในอีกแนวทางหนึ่งยังสามารถใช้แผนภูมิเพื่อหาคุณสมบัติของอากาศ โดยแผนภูมินี้ใช้สำหรับการออกแบบระบบปรับอากาศ เพราะว่ามีความสะดวกรวดเร็วกว่าวิธีคำนวณมากการทราบคุณสมบัติ 2 ค่าก็สามารถทราบคุณสมบัติอื่น ๆ ของอากาศได้

ลักษณะพื้นฐานทั่วไปของแผนภูมิไซโครเมตริกเป็นดังรูปที่ 2.10 อุณหภูมิกระเปาะแห้งถูกแสดงไว้เป็นแกนนอน และค่าความชื้นจำเพาะถูกแสดงไว้เป็นแกนตั้ง ที่ส่วนปลายด้านซ้ายของแผนภูมิ เส้นโค้งคือเส้นอิ่มตัว โดยที่เส้นโค้งนี้คือเส้นที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เส้นของอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่มีลักษณะเฉียงลงมาทางขวามือ และเส้นของปริมาตรจำเพาะคงที่จะมีความชัน

มากกว่าเส้นของอุณหภูมิกะเปาะเปียก ส่วนเส้นของค่าเอนทัลปีคงที่จะขนานกับเส้นของอุณหภูมิกะเปาะเปียกคงที่

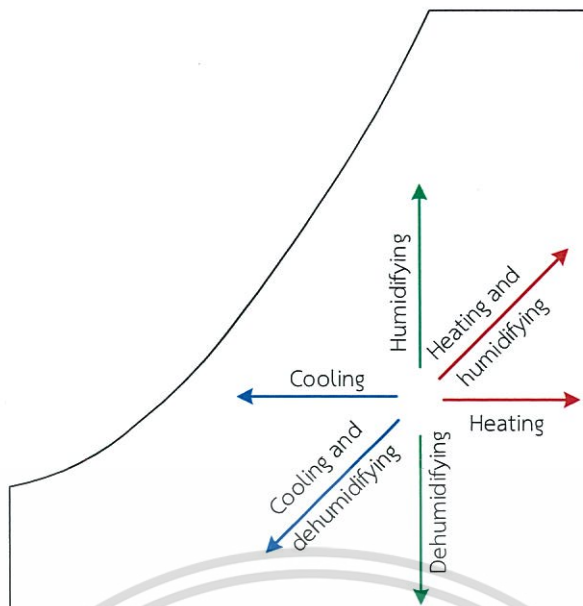


รูปที่ 2.10 แผนภาพของแผนภูมิ

ที่มา: ตัดแปลงจาก Çengel & Boles, 1998

2.9 กระบวนการปรับอากาศ

การรักษาบริเวณที่อยู่อาศัยและสิ่งอำนวยความสะดวกในอุตสาหกรรมให้มีอุณหภูมิและความชื้นตามต้องการนั้น ต้องอาศัยกระบวนการที่เรียกว่า กระบวนการปรับอากาศ กระบวนการเหล่านี้ระรวมถึงการให้ความร้อนอย่างง่าย หรือการเพิ่มอุณหภูมิ การทำความเย็นอย่างง่าย หรือการลดอุณหภูมิ การเพิ่มความชื้น และการลดความชื้น ในการทำให้อากาศอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมทั้งอุณหภูมิ และความชื้นจำเป็นต้องใช้หลักการเหล่านี้



รูปที่ 2.11 กระบวนการปรับอากาศ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Çengel & Boles, 1998

กระบวนการปรับอากาศแสดงในรูปที่ 2.11 ข้อสังเกตคือ กระบวนการให้ความร้อนและกระบวนการทำความเย็นอย่างง่ายจะปรากฏเป็นเส้นแนวนอนบนแผนภูมิ เพราะค่าปริมาณความชื้นของอากาศคงที่ในระหว่างกระบวนการ

2.10 การลดความชื้นในอากาศ

2.10.1 การเพิ่มความร้อนและลดความชื้น

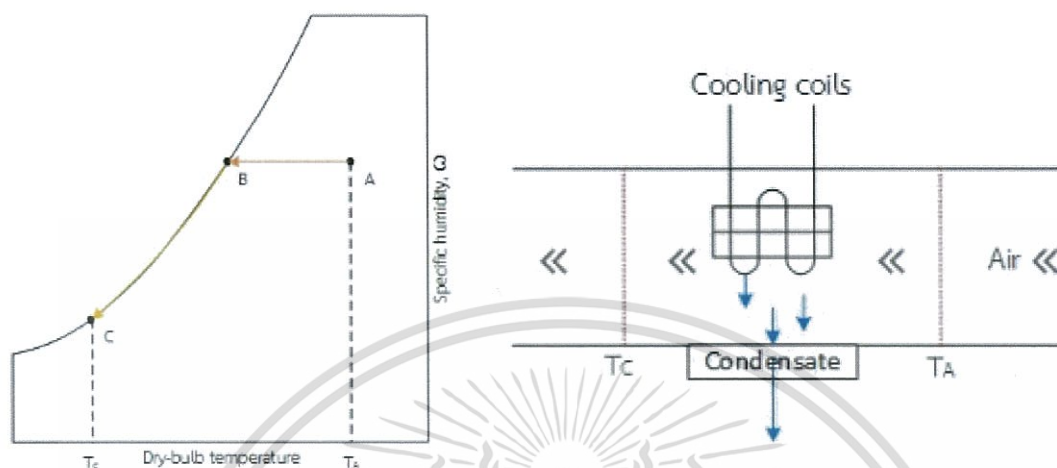
ในการให้ความร้อนกับอากาศปริมาณความชื้นในอากาศจะมีค่าคงที่ เพราะไม่มีการนำเอาความชื้นออกจากอากาศ ค่าความชื้นจำเพาะของอากาศจะมีค่าคงที่แต่ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง นั่นเพราะว่าความชื้นสัมพัทธ์คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นต่อความจุของความชื้นที่มีได้มากที่สุด ในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน และความจุของความชื้นจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ (Çengel & Boles, 1998)

2.10.2 การดูดคายความชื้น

คือการดูดความชื้นออกจากอากาศโดยใช้สารดูดความชื้น ทำให้ปริมาณน้ำในอากาศลดลง และความชื้นสัมพัทธ์ลดลงเช่นกัน

2.10.3 การระบายความร้อนและการลดความชื้น

ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากเกินไปกว่าระดับที่ต้องการ ความชื้นบางส่วนมีความจำเป็นที่จะต้องถูกกำจัดออกโดยการทำให้อากาศนั้นเย็นตัวลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง



รูปที่ 2.12 การระบายความร้อนและการลดความชื้น

ที่มา: ดัดแปลงจาก Çengel & Boles, 1998

จากรูปที่ 2.12 ในแผนภูมิไซโครเมตริก อากาศที่ร้อนชื้นเข้าสู่ส่วนที่มีการทำความเย็นที่สถานะที่ 1 ขณะที่อากาศร้อนชื้นที่ไหลผ่านคอยล์เย็น อุณหภูมิของอากาศจะลดลงแต่ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นโดยที่ความชื้นจำเพาะคงที่ ถ้าส่วนทำความเย็นนี้มีความยาวมากเพียงพอ อากาศจะเข้าสู่จุดน้ำค้าง (สถานะที่ 2, อากาศอิ่มตัว) ถ้ามีการทำให้อากาศเย็นตัวลงมากขึ้น ก็จะมีผลทำให้เกิดการควบแน่นของความชื้นส่วนหนึ่งในอากาศ อากาศจะยังคงอยู่ในสภาพอิ่มตัวตลอดทั้งกระบวนการควบแน่น และจะดำเนินไปตามแนวเส้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100% จนกระทั่งถึงสถานะสุดท้าย ใอน้ำที่ควบแน่นออกจากอากาศ (Çengel & Boles, 1998)

2.11 ระบบลดความชื้นอากาศ

2.11.1 คอยล์เย็น

ทำหน้าที่ดูดซับปริมาณความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับสารทำความเย็นที่ไหลอยู่ภายในท่อ

ความเร็วของการผ่านหน้าคอยล์เย็นในการทำความเย็นและลดความชื้นนั้นถูกจำกัดไว้ที่ 500 fpm หรือ 2.5 m/s เพื่อหลีกเลี่ยงการที่น้ำที่ควบแน่นกระเด็นหลุดจากคอยล์ไปกับลม (Mansour & Hassab, 2012)

กระบวนการปรับอากาศส่วนใหญ่สามารถจำลองให้เป็นกระบวนการไหลคงตัว ดังนั้น เราสามารถวิเคราะห์กระบวนการเหล่านี้โดยใช้กฎอนุรักษ์มวลสารในลักษณะการไหลคงตัว (ทั้งในกรณีของอากาศแห้งและน้ำ) และกฎอนุรักษ์พลังงานดังนี้

$$\text{มวลของอากาศแห้ง : } \sum_{in} \dot{m}_a = \sum_{out} \dot{m}_a$$

$$\text{มวลของน้ำ : } \sum_{in} \dot{m}_w = \sum_{out} \dot{m}_w \text{ หรือ } \sum_{in} \dot{m}_a \omega = \sum_{out} \dot{m}_a \omega$$

$$\text{พลังงาน : } \dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_i h_i$$

เมื่อ ตัวห้อย i และ e หมายถึงสถานะที่ทางเข้าและทางออกตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ถือว่าน้อยมาก เทอมของงานมักจะประกอบด้วยงานเกี่ยวกับพัดลม ซึ่งจะมีค่าค่อนข้างน้อยมากเมื่อเทียบกับเทอมอื่น ๆ ของพลังงานในสมการ (Çengel & Boles, 1998)

โดยอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ หมายถึง มวลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดต่อหน่วยเวลา ในแต่ละค่าสามารถทำได้โดยการคำนวณจากความเร็วลมเฉลี่ยที่วัดได้ กับพื้นที่หน้าตัดที่อากาศไหลผ่าน สำหรับอัตราการไหลเชิงมวลสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้ (Çengel & Boles, 1998)

$$\dot{m}_a = \rho V_{avg} A_c = \frac{V_{avg} A_c}{v} \quad (2.5)$$

เมื่อ	ρ	=	ความหนาแน่นของของไหล
	v	=	ปริมาตรจำเพาะของของไหล = $\frac{1}{\rho}$
	A_c	=	พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลนั้น
	V_{avg}	=	ความเร็วลมเฉลี่ยของการไหลตลอดหน้าตัด

2.12 กลศาสตร์ของไหล

2.12.1 การไหลเชิงปริมาตร

อัตราการไหล (Flow rate หรือ Discharge) คือปริมาณของไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดใด ๆ ที่กำหนดต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยที่ถ้าหากความหนาแน่นและความเร็วคงที่เหนือพื้นที่หน้าตัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรจะมีสมการดังนี้ (White, 2011)

$$Q = Av \quad (2.6)$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดการไหล
 V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐรีพร (2548) ได้ศึกษาคุณภาพของเครื่องต้มบวียงผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของเครื่องต้มบวียงผงเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 เดือน จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องต้มบวียงผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ปริมาณ มอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 10 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 180 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์เครื่องต้มบวียงผงที่มีคุณภาพทางเคมี กายภาพและทางประสาทสัมผัสที่ดีที่สุด สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องต้มบวียงผงสำเร็จรูป คือ อัตราส่วนของเครื่องต้มบวียงต่อน้ำตาลเท่ากับร้อยละ 21.74 ต่อ 78.26 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขงละลายของเครื่องต้มบวียงผงสำเร็จรูปต่อน้ำอุ่นเท่ากับ 1 ต่อ 5 ซึ่งให้ค่าการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมสูงสุด เครื่องต้มบวียงผงสำเร็จรูปมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 0.51 และค่า 2 เท่ากับ 0.42 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งประเภทเครื่องต้มผงสำเร็จรูป

Islam et al. (2016) ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการทำแห้งแบบพ่นฝอยแบบสุญญากาศของน้ำส้ม โดยตัดแปลงเครื่องทำแห้งเพื่อให้สามารถใช้งานกับอาหารเหลวที่อุณหภูมิต่ำ และใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส เป็นตัวกลาง และใช้ส่วนผสมของน้ำส้ม(ของแข็ง) ต่อมอลโตเด็กซ์ทรินเป็น 60:40, 50:50, 40:60 และ 30:70 พบว่าปริมาณความชื้น การดูดความชื้น A_w ขนาดของอนุภาค สัณฐานวิทยาของอนุภาค ลักษณะสี และการเก็บรักษาวิตามินซีได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ทรินและสภาวะการทำแห้ง (เมื่อทำการทำแห้งแบบพ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝอยที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีค่าความชื้นที่ลดลง แต่นั่นจะทำให้คุณค่าทางอาหารบางอย่างถูกทำลายไป เช่น ปริมาณวิตามินซีในน้ำผลไม้ฝง มีค่าลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้น)

สโรบล และคณะ (2549) ทำการศึกษาอุณหภูมิอากาศขาเข้า และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ-เคมีและการเก็บรักษาคุณค่าทางโภชนาการของสับปะรดฝง การทดลองดำเนินการโดยการปรับอุณหภูมิของอากาศขาเข้าที่อุณหภูมิ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 3 ระดับ คือ 37, 40 และ 43% ของน้ำหนักแห้ง จากการวิเคราะห์ความแปรผันทางสถิติมีระดับความน่าเชื่อถือที่ 95% และพบว่าความชื้น ความหนาแน่นของการบรรจุ ความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิน้ำ 30 องศาเซลเซียส และการเปลี่ยนแปลงของสี เป็นผลมาจากอิทธิพลร่วมของปฏิกริยาระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณของมอลโตเด็กซ์ทริน โดยผลการทดลองดังกล่าว สามารถแสดงออกมาเป็นความสัมพันธ์ได้ โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง และหาความสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัยได้โดยสมการคณิตศาสตร์กำลังสอง ในขณะที่ปริมาณฝงที่ได้ ความหนาแน่นรวม ความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิน้ำ 4 องศาเซลเซียส ความสามารถในการดูดความชื้น ความสามารถในการกระจายตัวในน้ำ และปริมาณฟีนอลที่คงอยู่ ขึ้นกับอิทธิพลหลักของอุณหภูมิลมร้อนในการทำแห้ง และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ใช้

Shrestha et al. (2007) กล่าวว่า การแปรรูปน้ำผลไม้ให้เป็นฝงนั้นมีประโยชน์มากมายรวมถึงในทางเศรษฐกิจ ตัวอย่างเช่น การลดปริมาตรหรือน้ำหนัก ขนาดของบรรจุภัณฑ์ที่เล็กลง การจัดการและขนส่งได้ง่ายขึ้น และเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ลักษณะทางกายภาพที่เป็นฝงทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายซึ่งโดยทั่วไปมักถูกใช้ในทางผลิตภัณฑ์อาหารและยา และในสถานะที่แห้งหรือมีความชื้นต่ำมากนั้นจะทำให้ T_g น้ำผลไม้ต่ำ จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดน้ำกลับสูง จุดหลอมเหลวต่ำ ความสามารถในการละลายน้ำสูง ทำให้เกิดปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ได้เหนียวเมื่อทำการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Goula et al. (2010) ทำการศึกษาและพัฒนาวิธีในการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำส้มเข้มข้น โดยทำการลดความชื้นอากาศขาเข้าที่เป็นตัวกลางในการทำแห้งด้วยการปรับปรุงเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีอยู่แล้ว มาต่อกับเครื่องดูดความชื้นอากาศ และใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารทำแห้ง (DE 21, DE 12 และ DE 6) ทำการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศภายใน 110, 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของแข็งของน้ำส้มเข้มข้นต่ออัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ทริน คือ 4, 2, 1 และ 0.25 หลังจากทำการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้มีการรวบรวมและวิเคราะห์ปริมาณน้ำส้มฝง (ผลิตภัณฑ์และส่วนที่ติดผนังห้องทำแห้ง) ความชื้น ความหนาแน่น การดูดความชื้นและ degree of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

caking พบว่า การสะสมของน้ำสัมผงจะลดลงบริเวณห้องทำแห้ง เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้ากับ DE ลดลง ความชื้นลดลง เมื่ออุณหภูมิของอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินกับ DE ลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อ DE เพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิของอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินลดลง ความสามารถในการดูดกลับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของอากาศขาเข้า และเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน กับ DE ลดลง ความสามารถในการดูดความชื้นและระดับการกักความร้อนลดลงเมื่อเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน กับ DE ลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

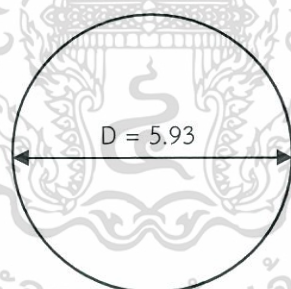
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 ระบบลดความชื้นเบื้องต้น

เนื่องจากระบบลดความชื้นนี้เป็นการออกแบบเพื่อใช้ร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยเป็นการลดความชื้นของอากาศขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้ง จึงได้มีการวัดปริมาณลมที่ใช้สำหรับการทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อหาขนาดของระบบลดความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีการออกแบบระบบลดความชื้นดังนี้

3.1.1 การหาขนาดของหน้าตัดคอยล์เย็นของระบบลดความชื้น

การหาขนาดหน้าตัดของคอยล์เย็นนั้นเป็นการเลือกขนาดของคอยล์เย็นเพื่อให้สามารถทำการลดความชื้นได้ โดยความเร็วของลมที่ผ่านหน้าคอยล์เย็นนั้นต้องมีความเร็วต่ำกว่า 2.5 m/s เพื่อหลีกเลี่ยงการที่น้ำที่ควบแน่นหลุดจากคอยล์ไปกับลม (Mansour & Hassab, 2012) โดยความเร็วของลมที่ผ่านคอยล์นั้นได้มาจากการวัดค่าลมทำแห้งขาออกของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการวัดเบื้องต้นจากเครื่องมือวัดความเร็วลม DIGICON DA-43A ได้ความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 10 m/s



รูปที่ 3.1 ขนาดของท่อลมขาออกส่วนท่อลมขาออกจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 5.93 เซนติเมตร

จากสมการการไหลเชิงปริมาตร

เมื่อ

$$Q = Av \tag{3.1}$$

$$Q = \frac{\pi(0.0593)^2}{4} \text{ m}^2 \times 10 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.03 \text{ m}^3/\text{s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลที่ได้มีค่าเท่ากับ $108 \text{ m}^3/\text{h}$ โดยการหาขนาดหน้าตัดคอยล์กำหนดให้ความเร็วลมมีค่าเท่ากับ 2.5 m/s จากสมการการไหลเชิงปริมาตร

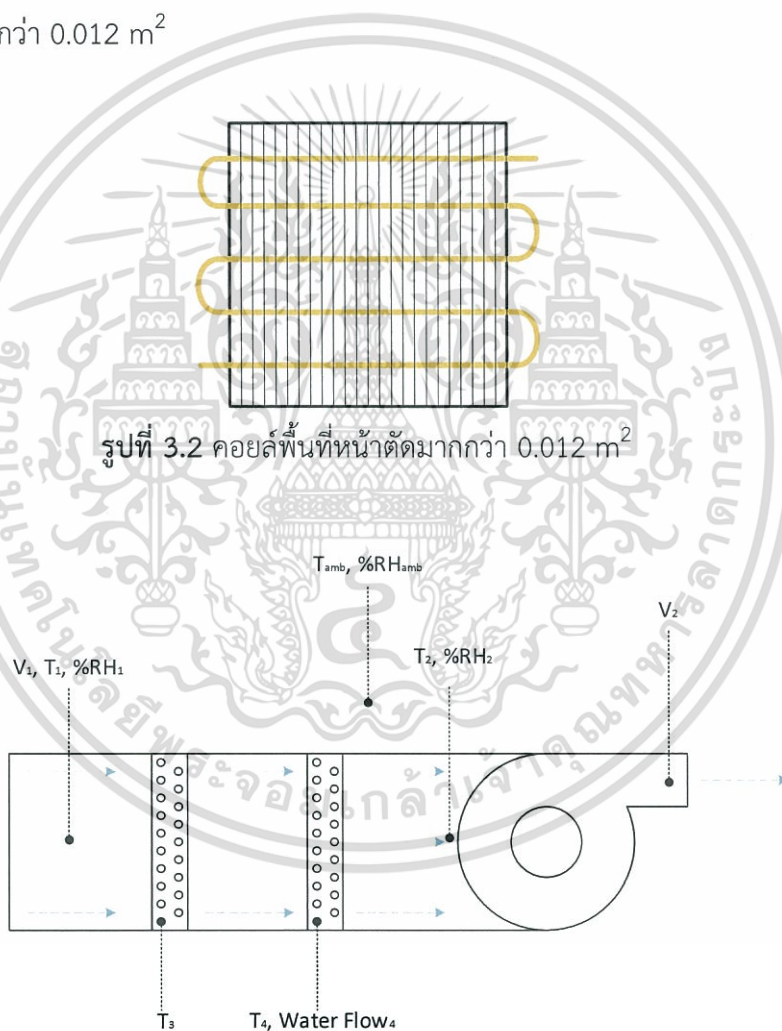
เมื่อ

$$Q = Av$$

$$0.03 \text{ m}^3/\text{s} = A (2.5 \text{ m/s})$$

$$A = 0.012 \text{ m}^2$$

พื้นที่หน้าตัดของคอยล์ที่มีขนาดเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในระบบลดความชื้นต้องมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า 0.012 m^2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น

1. เเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
2. แผงคอยล์เย็น ขนาดพื้นที่หน้าตัด 29 เซนติเมตร x 29 เซนติเมตร
3. ท่อลมแบบอ่อนอะลูมิเนียมพรอยเชื่อมต่อระบบลดความชื้นเข้ากับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว
4. กล่องโฟมเก็บความเย็น ขนาด 49 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร
5. ท่อน้ำขาเข้า และขาออกความยาว 2 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว
6. ปัมป์แบบจมน้ำ 6000 ลิตร/ชั่วโมง
7. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย JCM MINILAB SPRAY DRYER SDE 10 MINILAB 2.31 เมตร x 1.30 เมตร x 1.76 เมตร
8. เครื่องวัดความเร็วลม DIGICON DA-43A
9. เครื่องวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ DIGICON HT-770

3.1.3 วิธีการทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น

โดยการทดลองนั้นเป็นการติดตั้งระบบลดความชื้นของอากาศเข้ากับตัวเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้น้ำเย็นเข้าที่คอยล์เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศทำให้เกิดการควบแน่นที่คอยล์เย็น โดยที่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจะมีการดูดอากาศผ่านคอยล์เย็น โดยการทดลองนั้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เปิดการทำงานของปั๊มแบบจมน้ำโดยการทดลองนั้นจะใช้เวลา 1 ชั่วโมง พร้อมทั้งจดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ทั้งหมด 3 ครั้ง
2. วัดและบันทึกอุณหภูมิ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิหลังจากเครื่องทำงานทุก ๆ 10 นาทีจนสิ้นสุดการทดลอง เพื่อทำการหาอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยแต่ละจุดภายในระบบ
3. วัดและบันทึกความเร็วของลม ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดความเร็วลมหลังจากเครื่องทำงานทุก ๆ 10 นาที จนสิ้นสุดการทดลอง เพื่อทำการหาความเร็วลมของอากาศเฉลี่ยแต่ละจุดภายในระบบ
4. วัดและบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ หลังจากเครื่องทำงานทุก ๆ 10 นาทีจนสิ้นสุดการทดลอง เพื่อทำการหาความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยแต่ละจุดภายในระบบ

5. วัดและบันทึกอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ตำแหน่งน้ำขาออกด้วยการจับเวลาจนน้ำถึงปริมาตรที่กำหนดหลังจากเครื่องทำงานทุก ๆ 10 นาทีจนสิ้นสุดการทดลอง เพื่อทำการหาอัตราการไหลของน้ำเย็นเฉลี่ยในระบบ

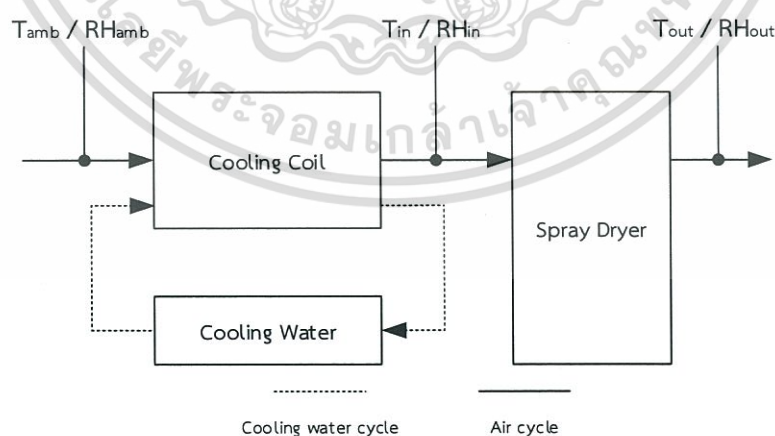
6. ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง โดยวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของอากาศประสิทธิภาพทางความเย็นของระบบ

3.2 ระบบลดความชื้นต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

โดยการทดลองนี้จะเป็นการนำระบบลดความชื้นนำมาต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ขณะที่กำลังทำแห้งอยู่โดยจะเป็นการศึกษา อุณหภูมิขาเข้า/ออก ความชื้นขาเข้า/ออก จากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์อัตราการทำแห้ง(อัตราการดึงความชื้น) ที่เปลี่ยนไปของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

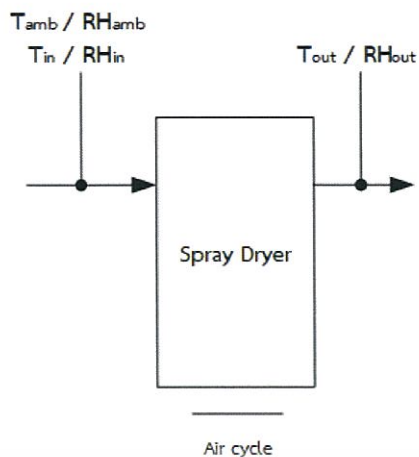
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองระบบลดความชื้นต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. ระบบลดความชื้น
2. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย JCM MINILAB SPRAY DRYER SDE 10 MINILAB 2.31 เมตร x 1.30 เมตร x 1.76 เมตร
3. เครื่องวัดความเร็วลม DIGICON DA-43A
4. เครื่องวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ DIGICON HT-77

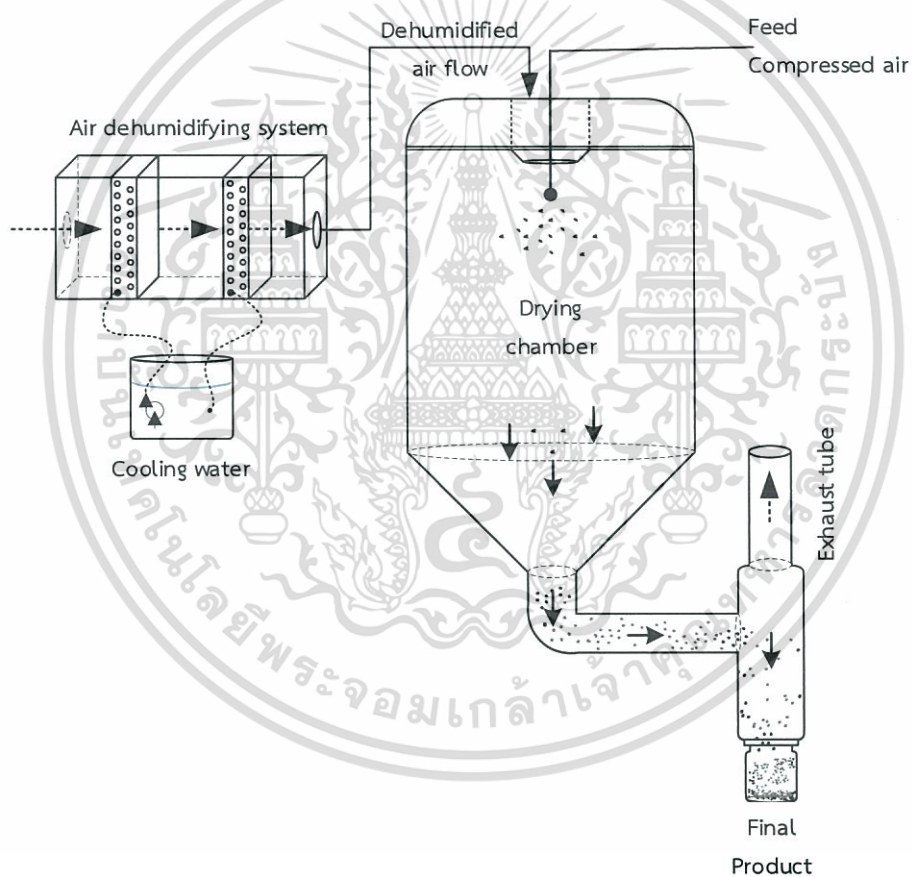


รูปที่ 3.4 หลักการทำงานของระบบลดความชื้นต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 รูปแบบการไหลของอากาศทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ 3.6 ระบบลดความชื้นต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.2.2 วิธีการทดลองระบบลดความชื้นต่อร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

โดยการทดลองนั้นเป็นการติดตั้งระบบลดความชื้นของอากาศเข้ากับตัวเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้น้ำเย็นเข้าที่คอยล์เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศทำให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบแน่นที่คอยล์เย็น โดยที่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจะมีการดูดอากาศผ่านคอยล์เย็นและผ่านชุดลดทำความร้อนเพื่อนำอากาศไปทำแห้งเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ไม่ทำการติดตั้งระบบลดความชื้น โดยการทดลองนั้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ต่อระบบลดความชื้นเข้ากับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยรอจนกว่าอุณหภูมิ และความชื้นขาออกจากระบบลดความชื้นคงที่ในกรณีติดตั้งระบบลดความชื้น
2. เริ่มทำการทำแห้งแบบพ่นฝอย แล้ววัด และบันทึกอุณหภูมิ ที่ตำแหน่งขาเข้าและขาออก เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิหลังจากเริ่มทำการทำแห้ง เพื่อทำการหาอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยที่ตำแหน่งขาเข้าและขาออกเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
3. วัดและบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งขาเข้าและขาออกเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ด้วยเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์หลังจากเครื่องทำงาน เพื่อทำการหาความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยที่ตำแหน่งขาเข้าและขาออกเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง โดยวิเคราะห์อัตราการทำแห้ง (อัตราการดึงความชื้น) ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเปรียบเทียบกับระหว่างสองกรณี

3.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.3.1 วัสดุดิบ

น้ำส้มเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ จากบริษัท สยามออร์จินัลฟู้ด จำกัด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

3.3.2 สารเคมี

1. มอลโตเด็คซ์ตริน (DE-10) จากบริษัท แม็กซ์เวย์ จำกัด
2. กรดออกซาลิก (Oxalic acid) จากห้างหุ้นส่วนจำกัด แล็บ วัลเลย์
3. 2,6-dichlorophenolindophenol (DPPH) จากห้างหุ้นส่วนจำกัด แล็บ วัลเลย์
4. น้ำกลั่น

3.3.3 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย JCM MINILAB SDE 10 MINILAB
2. หม้อและทัพพีสแตนเลส
3. เครื่องแก้วต่าง ๆ ได้แก่ ปีกเกอร์ หลอดทดลอง แท่งแก้วคนสาร ขวดปรับปริมาตร
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UX3200G
6. ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
7. ตู้อบลมร้อนสุญญากาศ (Vacuum Oven) ยี่ห้อ MMM รุ่น Vacucell
8. เครื่องวัดวอเตอร์แอกติวิตี ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น MODEL SERIES 3TE
9. ที่วางหลอดทดลองสแตนเลส
10. ปีเปต
11. เตาแผ่นความร้อนไฟฟ้าอินฟราเรด ยี่ห้อ Imarflex รุ่น IF-401
12. เครื่องวัด pH meter ยี่ห้อ Consort รุ่น C830
13. รีแฟกโตมิเตอร์ ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Pal- α

3.3.4 การวางแผนการทดลอง

ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (ดังตารางที่ 3.1) โดยประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ ระบบลดความชื้นอากาศขาเข้า อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า โดยระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งมี 2 ระดับคือ ติดระบบลดความชื้นกับไม่ติดระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 2 ระดับคือ 1:3 และ 1:4.5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 3 ระดับ คือ 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ทั้งหมด 24 การทดลอง

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

การทดลองที่	ระบบลดความชื้น	อัตราส่วนปริมาณของแข็งใน น้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอล โตเด็กซ์ตริน	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)
1			140
2		1:3	160
3			180
4	ดีระบบลดความชื้น		140
5		1:4.5	160
6			180
7			140
8		1:3	160
9			180
10	ไม่ดีระบบลดความชื้น		140
11		1:4.5	160
12			180

3.3.5 การเตรียมน้ำส้มเข้มข้นสำหรับการผลิต (Feed Solution)

1. ชั่งน้ำส้ม สารมอลโตเด็กซ์ตริน และน้ำ ให้ได้ตามตารางที่ 3.2 ไป โดยจะเตรียมสารละลาย
ครั้งละ 1000 กรัม และมีความเข้มข้นของสารละลาย 40 องศาบริกซ์

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณของสารละลายน้ำส้มเข้มข้นที่ใช้ในการทดลอง

อัตราส่วน O:M	น้ำส้มเข้มข้น (g)	สารมอลโตเด็กซ์ตริน (g)	น้ำ (g)
1:3	153	300	547
1:4.5	112	327	561

หมายเหตุ อัตราส่วน O:M คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อมอลโตเด็กซ์ตริน

2. นำมอลโตเด็กซ์ตริน (DE10) ผสมกับน้ำเปล่า ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ละนิด พร้อม
กับคนจนละลายเข้าด้วยกัน

3. เติมน้ำส้มเข้มข้นลงไปนึ่งละลายแล้วคนเข้าด้วยกัน ซึ่งเมื่อวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเครื่องรีแฟกโตมิเตอร์ ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Pal- α จะได้ความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ ดังรูปที่ 3.7 จากนั้นทำการทดลองการทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ 3.7 แสดงสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 40 องศาบริกซ์

3.3.6 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองแบ่งเป็น 12 สภาวะ ดังตารางที่ 3.1 จึงทำการทดลอง ดังนี้

1. ติดตั้งส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังรูปที่ 3.8(ก) เมื่อทำแห้งแบบพ่นฝอยปกติและดังรูปที่ 3.8(ข) เมื่อทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับเครื่องลดความชื้น ก่อนเปิดสวิตช์เมน



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.8 (ก) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (ข) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับเครื่องลดความชื้น

2. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (JCM MINILAB SPRAY DRYER SDE 10 MINILAB) ตั้งค่าสถานะเครื่องดังนี้

- ความดันหัวฉีดแบบของไหลสองกระแส (Two-fluid nozzle) 0.1 เมกะปาสคาล
- อัตราการป้อนของอาหาร (feed rate) 13.11 มิลลิลิตรต่อนาที
- อัตราการไหลของอากาศ 108 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
- อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิป้อนสารละลาย 50 องศาเซลเซียส

3. เริ่มต้นการทดลองทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยการใช้น้ำเปล่าป้อนเข้าไป จนอุณหภูมิภายในห้องทำแห้งคงที่ตามที่กำหนด

4. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องทำแห้งคงที่ จึงป้อนสารละลายน้ำส้มเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และเปิดแฮมเมอร์เพื่อป้องกันการติดค้างของผลิตภัณฑ์

5. เก็บผลิตภัณฑ์ผงที่ได้บรรจุในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ และซีลด้วยเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

3.4.1 ความสามารถในการทำแห้งตัดแปลงมาจาก (Vittayapadung & Chaitep, 2004)

$$\text{อัตราการทำแห้ง} = m_a(\omega_i - \omega_o) \quad (3.2)$$

เมื่อ หน่วยคือกรัมน้ำระเหยต่อนาที

m_a = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่เข้าเครื่องทำแห้ง

ω_i = อัตราส่วนความชื้นที่เข้าเครื่องทำแห้ง

ω_o = อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องทำแห้ง

3.4.2 ร้อยละผลผลิต

เครื่องมือ

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

วิเคราะห์

ร้อยละผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาได้โดยชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น และนำมาคำนวณร้อยละผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากสมการ

$$\text{ร้อยละผลิตภัณฑ์ผงที่ได้} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้}}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3.3)$$

3.4.3 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

เครื่องมือ

1. ตู้อบร้อนสุญญากาศ (Vacuum Oven) ยี่ห้อ MMM รุ่น Vacucell
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. โถดูดความชื้น

การวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียม แล้วบันทึกค่าที่แน่นอน
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3 กรัม เกลี่ยตัวอย่างให้มีความสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำไปเข้าตู้อบลมร้อนสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ปิดฝา นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก
5. หาน้ำหนักที่หายไป วิเคราะห์หาร้อยละปริมาณความชื้น ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}-\text{ตัวอย่างน้ำหนักหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100 \quad (3.4)$$

3.4.4 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w)

เครื่องมือ

เครื่องวัดปริมาณความชื้นอิสระ ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น MODEL SERIES 3TE

การวิเคราะห์

1. ทำการสอบเทียบ (Calibrate) เครื่องวัดปริมาณความชื้นอิสระโดยการปรับด้วยน้ำเปล่าให้มีค่า a_w เท่ากับ 1
2. นำตัวอย่างสัมผังที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใส่ลงในตลับพลาสติกประมาณ 1/3 ของตลับหรือไม่เกินครึ่งหนึ่ง แล้วเกลี่ยตัวอย่างให้ครอบคลุม ทำการวัด 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.4.5 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ขวดรูปชมพู่ 50 มิลลิลิตร
3. ปิเปต
4. บิวเรต
5. ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกด้วยด้วยวิธีการไทเทรตโดยดัดแปลงมาจาก (AOAC, 1995)

โดยการนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ทำการละลายน้ำกลั่นโดยทำให้เป็นสารละลายความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ จากนั้นนำสารละลาย 10 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยกรดออกซาลิกความเข้มข้น 0.4% (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร) จนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ปรับปริมาตรแล้ว 10 มิลลิลิตรไปทำการไทเทรตด้วย 2,6-dichlorophenolindophenol จนถึงจุดวิกฤตสารละลายมีสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชมพู โดยเส้นโค้งมาตรฐานนั้นใช้กรด L-ascorbic เป็นมาตรฐาน เป็นมาตรฐานปริมาตร 1 มิลลิลิตร dye solution สามารถไทเทรตวิตามินซีได้ 0.61 มิลลิกรัม โดยสามารถหาปริมาณกรดแอสคอบิกได้จากสมการ

$$\text{mg Ascorbic acid/mL} = (X-B) (F/E) (V/Y) \quad (3.5)$$

- เมื่อ
- X = ปริมาตรของ dye solution ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 - B = ปริมาตรเฉลี่ยของ dye solution ที่ใช้ไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)
 - F = mg. Equivalent ascorbic acid/ 1 ml. Dye solution
 - E = ปริมาตร standard ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
 - V = ปริมาตรสารละลายที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
 - Y = ปริมาตรสารละลายทั้งหมดที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

3.4.6 ความเป็นกรด-เบส (pH)

เครื่องมือ

เครื่องวัด pH ยี่ห้อ Consort รุ่น C830

การวิเคราะห์

วัดค่า pH ของสารละลายน้ำส้มเข้มข้นที่ความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ ด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ Consort รุ่น C830 เปรียบเทียบกับสารละลายน้ำส้มเข้มข้นคั้นรูป ที่เข้มข้นเท่ากัน โดยการอ่านค่า pH ของสารตัวอย่าง 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.4.7 โครงสร้างจุลภาค

เครื่องมือ

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ยี่ห้อ ZEISS รุ่น EVO MA 10

การวิเคราะห์

ถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลวัตต์ กำลังขยาย 200 เท่า และ 1000 เท่า ขนาด 10 ไมโครเมตร

3.4.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ได้จากการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 16 และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยค่าที่ได้จากการทดลองจะถูกแสดงโดยค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



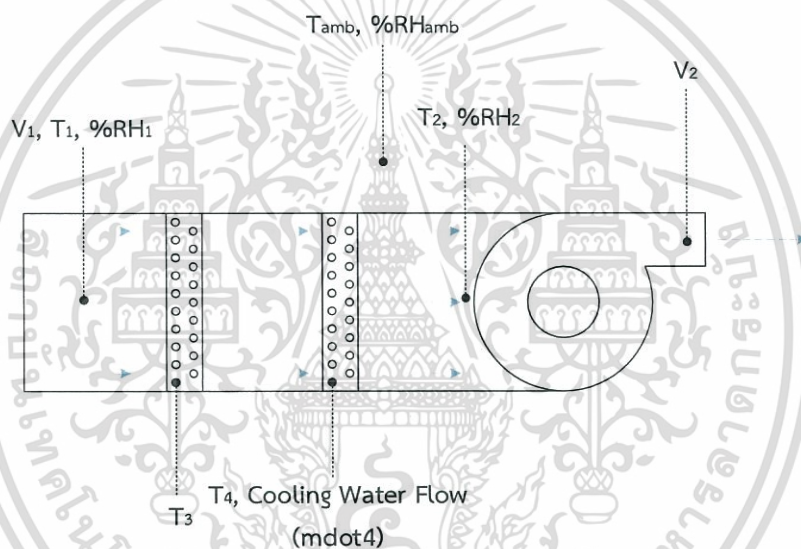
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น

ในการทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้นนั้นได้ทำการวัด ความเร็วลม (V) อุณหภูมิ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และอัตราการไหลของน้ำเย็น (\dot{m}_4) โดยตำแหน่งการวัดนั้นคือ ก่อนเข้าระบบลดความชื้น ตำแหน่ง amb 1 และ 3 หลังออกจากระบบลดความชื้น ตำแหน่ง 2 และ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.1



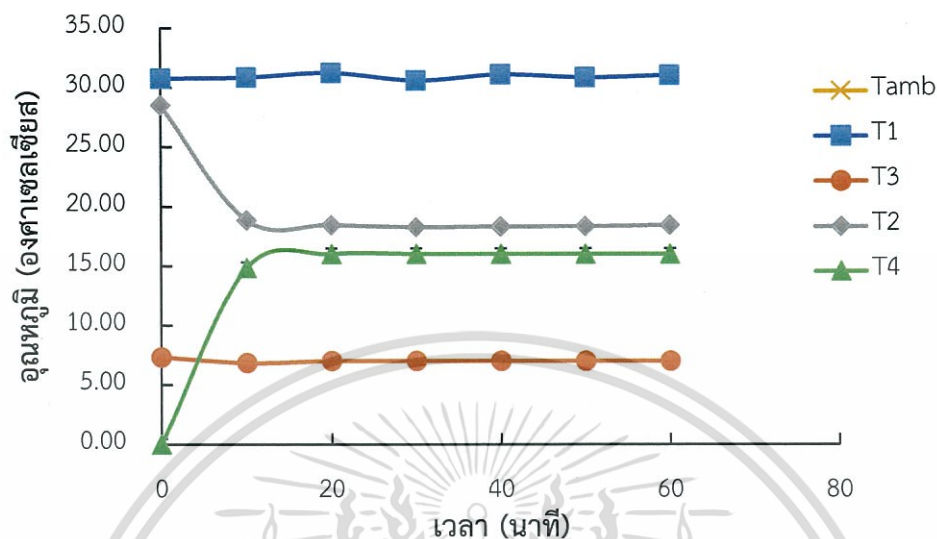
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งการวัดต่าง ๆ และค่าที่วัด

4.1.1 ผลการทดลองอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ทำการวัดอุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยทำการวัดอุณหภูมิเพื่อหาความสามารถในการทำความเย็นของระบบลดความชื้น โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิขาออกจากระบบลดความชื้นนั้นจะลดลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจากระบบ สังเกตได้ว่าระบบลดความชื้นนั้นมีอุณหภูมิขาออกคงที่เมื่อเวลาผ่านไป โดยอุณหภูมิอากาศขาเข้าระบบลดความชื้นอยู่ที่ 30.90 ± 0.22 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออกจากระบบลดความชื้นอยู่ที่ 18.45 ± 0.21 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าอยู่ที่ 7.02 ± 0.15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกอยู่ที่ 15.81 ± 0.48 องศาเซลเซียส ผลที่ได้แสดงว่าความสามารถในการลดอุณหภูมิของระบบลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

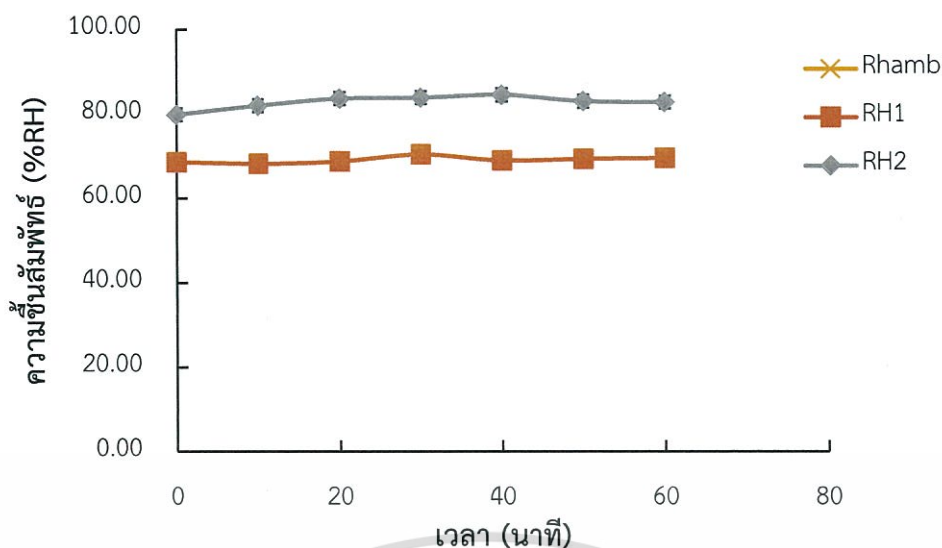
ความชื้นมีค่าที่คงที่สามารถนำไปใช้กับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งมีระยะเวลาในการทำแห้งที่นาน
ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ณ เวลาต่าง ๆ

4.1.2 ผลการทดลองความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ

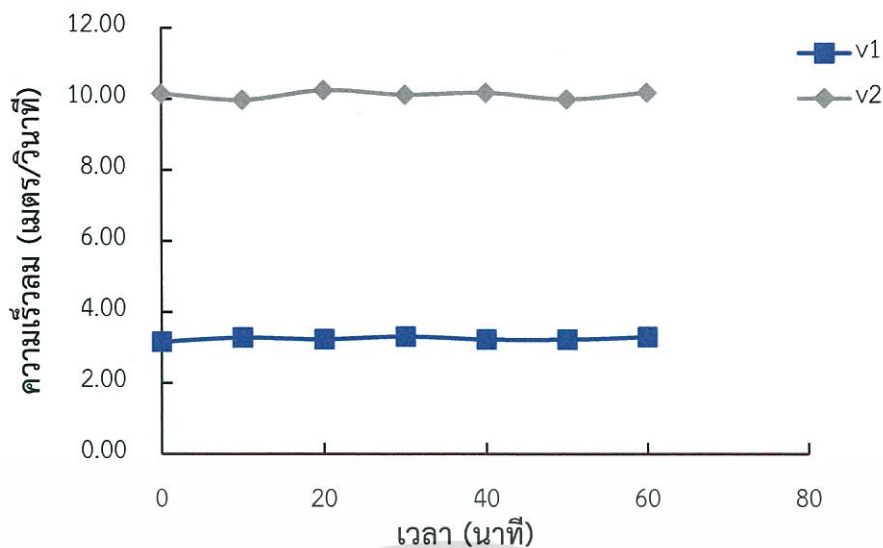
ทำการวัดความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยทำการวัดความชื้นสัมพัทธ์เพื่อหาความสามารถในการลดความชื้นของระบบลดความชื้น โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกนั้นจะมีค่าที่สูงกว่าโดยขาออกจากระบบลดความชื้นนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ที่ 82.76 ± 1.55 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอากาศขาเข้าระบบลดความชื้นนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ที่ 69.07 ± 0.73 เปอร์เซ็นต์ โดยสาเหตุที่ทำให้ความชื้นของอากาศขาออกจากระบบลดความชื้นสูงกว่าขาเข้าระบบลดความชื้นนั้นมาจากอุณหภูมิของอากาศนั้นลดลงทำให้ความสามารถในการเก็บน้ำในอากาศลดน้อยลง ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของอากาศที่สามารถเก็บน้ำไว้ได้ ซึ่งที่อากาศขาออกจากระบบลดความชื้นมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงจนอากาศไม่สามารถที่จะเก็บน้ำที่อยู่ในอากาศไว้ได้ทำให้น้ำที่อยู่ในอากาศนั้นควบแน่นออกมาจากอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ณ เวลาต่าง ๆ

4.1.3 ผลการทดลองความเร็วของลมที่ตำแหน่งต่าง ๆ

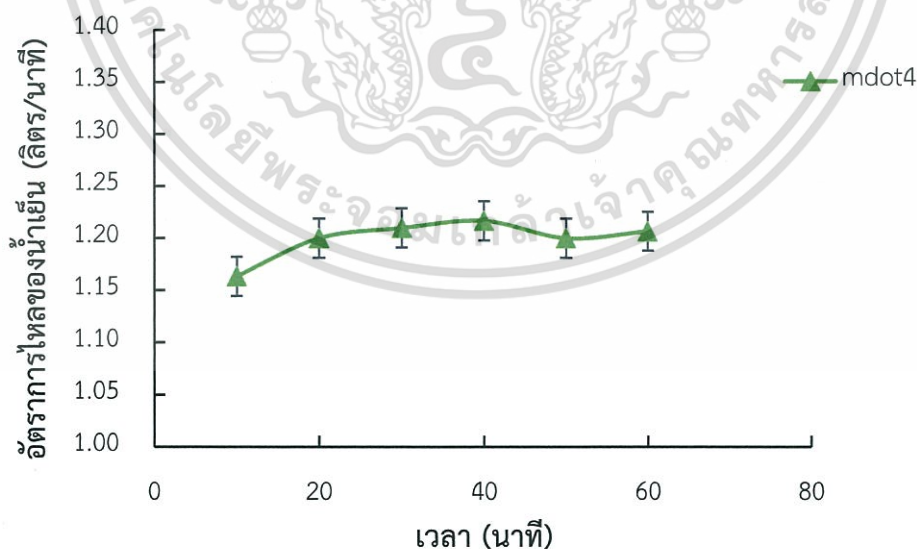
ทำการวัดความเร็วลมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยทำการวัดความเร็วลม เพื่อหาความเร็วลมขาเข้าระบบลดความชื้น และขาออกจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าความเร็วของลมนั้นคงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนไปโดยที่ความเร็วของลมขาเข้าระบบลดความชื้นนั้นมีค่า 3.24 ± 0.05 เมตร/วินาที ความเร็วลมขาออกจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่า 10.12 ± 0.10 เมตร/วินาที โดยที่ความเร็วลมขาออกจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นมีค่าที่สูงกว่า ขาเข้าระบบลดความชื้นมาจากขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อลมไม่เท่ากันโดย ขนาดพื้นที่หน้าตัดท่อลมขาออกจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีขนาดเล็กกว่า ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าเมื่อเทียบให้ทั้งขาเข้าและขาออกมีพื้นที่หน้าตัดท่อลมที่เท่ากันจะพบว่าความเร็วของลมนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าระบบลดความชื้นจะไม่ทำให้ปริมาณลมที่เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความเร็วลมขาเข้าและขาออก ณ เวลาต่าง ๆ

4.1.4 ผลการทดลองอัตราการไหลของน้ำเย็น

ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยทำการวัดอัตราการไหลของน้ำเย็น เพื่อหาอัตราการไหลของปั๊มแบบจมน้ำ โดยที่อัตราการไหลของน้ำเย็นนั้นมีค่า 1.20 ± 0.06 ลิตร/นาที ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของน้ำเย็นนั้นค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 4.5

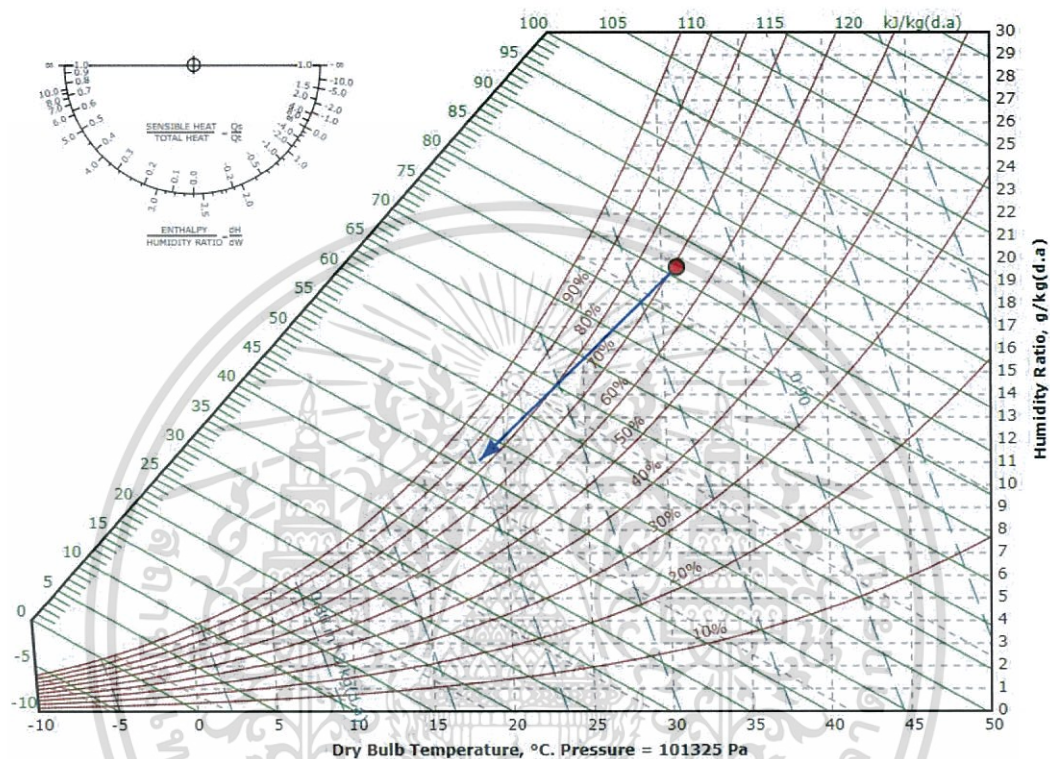


รูปที่ 4.5 อัตราการไหลของน้ำเย็น ณ เวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 วิเคราะห์ผลการทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น

ค่าที่ได้จากการทดลองนั้นเมื่อนำมาพล็อตลงในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเห็นได้ว่าระบบลดความชื้นนั้นสามารถลดปริมาณน้ำในอากาศ (อัตราส่วนความชื้น) ได้จากประมาณ 19.64 g/kg(dry air) ลงมาจนถึงประมาณ 11.02 g/kg(dry air)



รูปที่ 4.6 แผนภูมิไซโครเมตริกของการทดลองระบบลดความชื้น ก่อนและหลังอากาศผ่านระบบลดความชื้น

และประสิทธิภาพทางความเย็นของระบบลดความชื้นสามารถคำนวณได้จากกฎอนุรักษ์มวลสาร และกฎอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้

$$\text{มวลของอากาศแห้ง : } \sum \dot{m}_{a,i} = \sum \dot{m}_{a,e} \quad (4.1)$$

$$\text{เมื่อ } \dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a$$

$$\text{มวลของน้ำ : } \sum \dot{m}_{w,i} = \sum \dot{m}_{w,e} \quad (4.2)$$

$$\text{เมื่อ } \dot{m}_{a_1} \omega_1 = \dot{m}_{a_2} \omega_2 + \dot{m}_w$$

$$\text{หรือ } \dot{m}_w = \dot{m}_a (\omega_1 - \omega_2) \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\omega_1 = 19.641 \text{ g/kg(d.a.)}$

$\omega_2 = 11.022 \text{ g/kg(d.a.)}$

พลังงาน : $\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_i h_i$ (4.4)

$\dot{Q} = \dot{m}_{a_2} h_2 - \dot{m}_{a_1} h_1 + \dot{m}_w h_w$ (4.5)

$\dot{Q} = \dot{m}_a (h_2 - h_1) + \dot{m}_w h_w$ (4.6)

เมื่อ $h_2 = 46.491 \text{ kJ/kg(d.a.)}$

$h_1 = 81.308 \text{ kJ/kg(d.a.)}$

$h_w = 77.5 \text{ kJ/kg}$

อัตราการไหลอากาศ : $\dot{m}_a = \rho A v$ (4.7)

$\dot{m}_a = 1.161 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.03 \text{ m}^3/\text{s}$

$\dot{m}_a = 0.03483 \text{ kg/s}$

จากสมการที่ (4.3)

$\dot{m}_w = 0.03483 \text{ kg/s} (19.641 - 11.022) \text{ g/kg(d.a.)}$

$\dot{m}_w = 0.3002 \text{ g/s}$

ดังนั้น จากสมการที่ (4.6)

$\dot{Q} = 0.03483 \text{ kg/s} (46.491 - 81.308) \text{ kJ/kg(d.a.)} + 0.0003002 \text{ kg/s} \times 77.5 \text{ kJ/kg}$

$\dot{Q} = -1.19 \text{ kJ/s}$ หรือ 1.19 kW

4.2 ผลการทดลองระบบลดความชื้นร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.2.1 ผลการทดลองระบบลดความชื้นร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ทำการวัดอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ ขาเข้าและขาออกจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ของการทำแห้งแบบพ่นฝอยทั้งแบบติดระบบลดความชื้นและไม่ติดระบบลดความชื้น ดังแสดงใน ตารางที่ 4.1

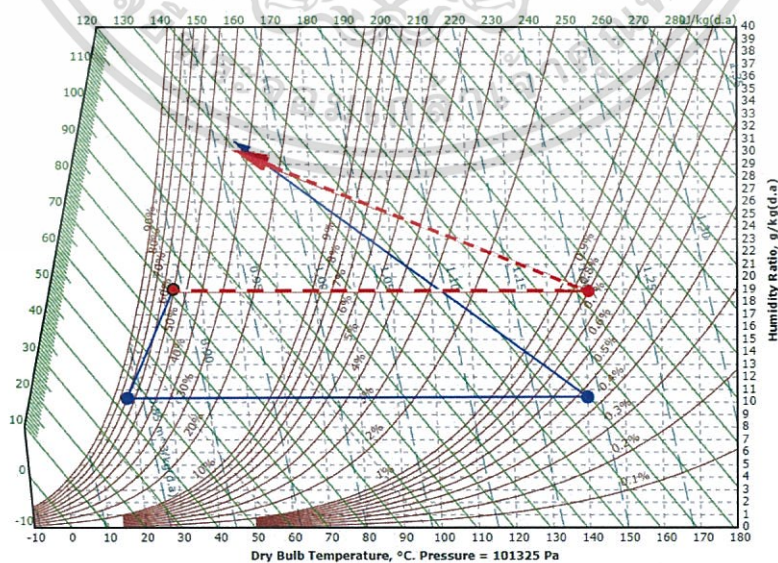
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระบบลดความชื้นต่อรวมกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยขณะทำการ
ทำแห้ง

การติระบบ ลดความชื้น	อุณหภูมิ ทำแห้ง (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิเข้า เครื่อง (°C)	อุณหภูมิออก เครื่อง (°C)	%RH อากาศ	%RH เข้า	%RH ออก
ติด	140	31.96	18.02	51.15	61.28	79.26	35.21
	160	31.10	17.86	57.65	62.51	81.87	26.78
	180	31.04	17.92	64.00	64.86	81.59	20.24
ไม่ติด	140	31.27	31.27	51.26	62.18	62.18	36.27
	160	31.70	31.70	60.24	67.32	67.32	24.29
	180	31.61	31.61	65.14	63.37	63.37	19.17

4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองระบบลดความชื้นร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ผลที่ได้จากการทดลองจากตารางที่ 4.1 นำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริกเพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ทำการติระบบลดความชื้นและไม่ติระบบลดความชื้น

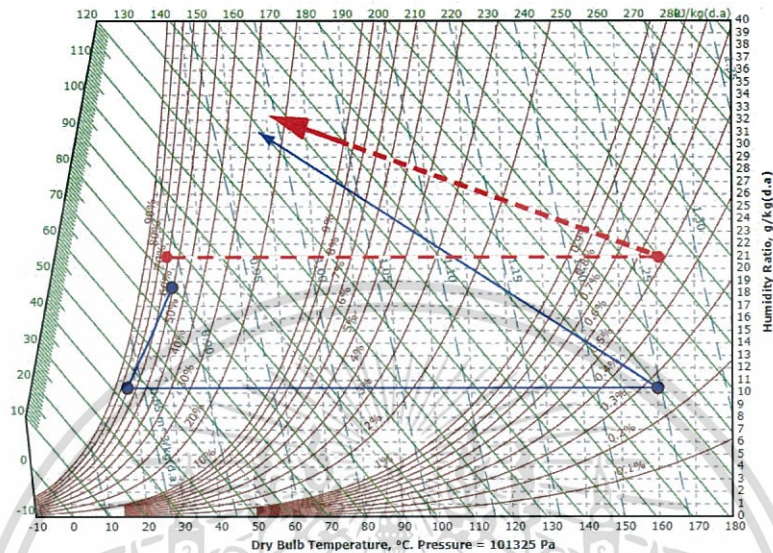
1. จากรูปที่ 4.7 แผนภูมิไซโครเมตริกของการทำแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เส้นสีน้ำเงิน (เส้นทึบ) คือการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยติระบบลดความชื้น เส้นสีแดง (เส้นประ) คือการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยไม่ติระบบลดความชื้น



รูปที่ 4.7 แผนภูมิไซโครเมตริกของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

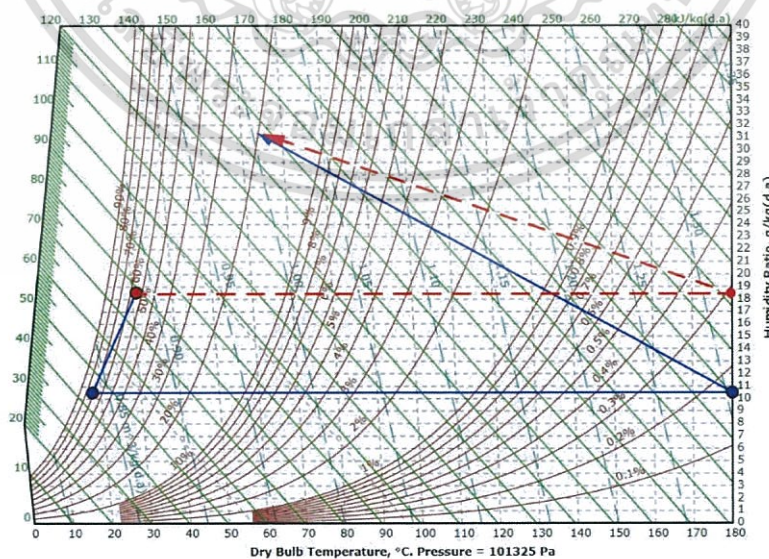
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แผนภูมิไซโครเมตริกของการทำแห้งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เส้นสีน้ำเงิน (เส้นทึบ) คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยติดระบบลดความชื้น เส้นสีแดง (เส้นประ) คือการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยไม่ติดระบบลดความชื้น



รูปที่ 4.8 แผนภูมิไซโครเมตริกของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

3. แผนภูมิไซโครเมตริกของการทำแห้งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เส้นสีน้ำเงิน (เส้นทึบ) คือการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยติดระบบลดความชื้น เส้นสีแดง (เส้นประ) คือการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยไม่ติดระบบลดความชื้น



รูปที่ 4.9 แผนภูมิไซโครเมตริกของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

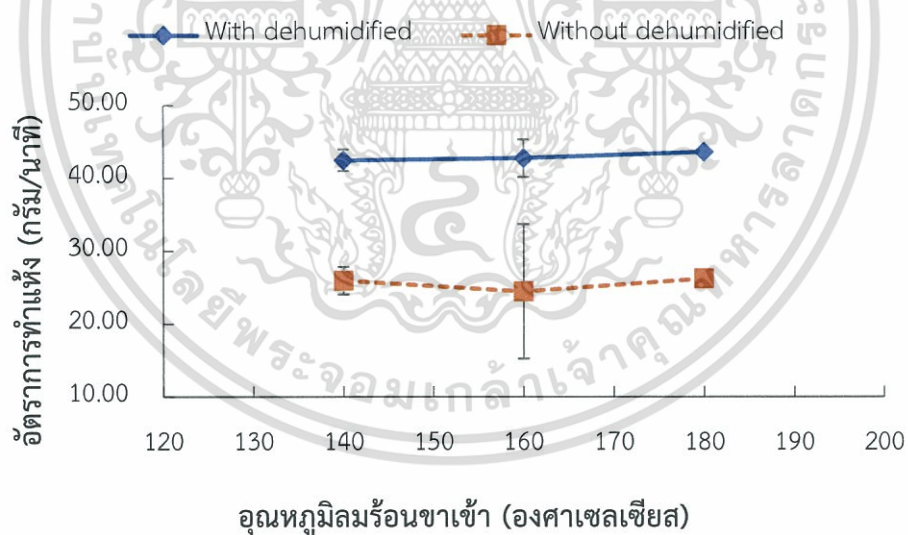
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โดยอัตราการทำให้แห้งได้จากสมการอัตราการดึงความชื้น

$$\text{เมื่อ} \quad \text{MCR} = \dot{m}_{a,e} (\omega_{e,i} - \omega_{e,o}) \text{ g/min} \quad (4.8)$$

ตารางที่ 4.2 อัตราการทำให้แห้งของเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอย

การติระบบ ลดความชื้น	อุณหภูมิ (°C)	ω_1 g/kg (dry air)	ω_2 g/kg (dry air)	$\Delta\omega$ g/kg (dry air)	Drying rate (g/min)
ติด	140	10.26	29.72	19.46	42.50
	160	10.50	30.97	20.47	42.79
	180	10.50	31.37	20.87	43.64
ไม่ติด	140	18.00	30.83	12.83	25.98
	160	20.04	31.73	11.69	24.49
	180	18.73	31.26	12.54	26.25



รูปที่ 4.10 อัตราการทำให้แห้งที่อุณหภูมร้อนขาเข้าต่าง ๆ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการติดตั้งระบบลดความชื้นเข้ากับเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอยทำให้เครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอยนั้นมีอัตราการทำให้แห้งที่สูงขึ้น โดยเมื่อติดระบบลดความชื้นจะมีอัตราการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส มีค่า 42.50 g/min 160 องศาเซลเซียส มีค่า 42.79 g/min 180 องศาเซลเซียส มีค่า 43.64 g/min อัตราการทำให้แห้งเมื่อไม่ติดระบบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส มีค่า 25.98 g/min 160 องศาเซลเซียส มีค่า 24.49 g/min 180 องศาเซลเซียส มีค่า 26.25 g/min เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียส มีค่า 25.98 g/min 160 องศาเซลเซียส มีค่า 24.49 g/min 180 องศาเซลเซียส มีค่า 26.25 g/min

4.3 ผลของการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำส้มเข้มข้น โดยเริ่มต้นมีสภาวะในการเตรียมสารละลายส้ม และควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังตารางที่ 4.3 และเมื่อทำการทดลองครบทุกสภาวะ จึงนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีต่างๆ ประกอบด้วย ผลผลิตร้อยละ ความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี ความเป็นกรด-เบส ปริมาณกรดแอสคอร์บิก โครงสร้างจุลภาค แสดงดังตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 สภาวะในการเตรียมสารละลายส้ม และควบคุมสภาวะเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ตามเงื่อนไขในการทดลอง

ลำดับ	อุปกรณ์	ตัวแปรปรับแต่ง	ตัวแปรควบคุม
1	เครื่องลดความชื้น	ติดเครื่องลดความชื้น , ไม่ติดเครื่องลดความชื้น	-
2	อัตราส่วนปริมาณของแข็งใน น้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโต เด็กซ์ตริน	1:3 , 1:4.5	-
3	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศา เซลเซียส)	140 , 160 , 180	-
4	หัวฉีดสารละลาย	-	Two-fluid nozzle
5	ความดันหัวฉีด (เมกะปาสคาล)	-	0.1
6	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	-	108
7	อัตราการป้อนอาหาร (มิลลิลิตร ต่อนาที)	-	13.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

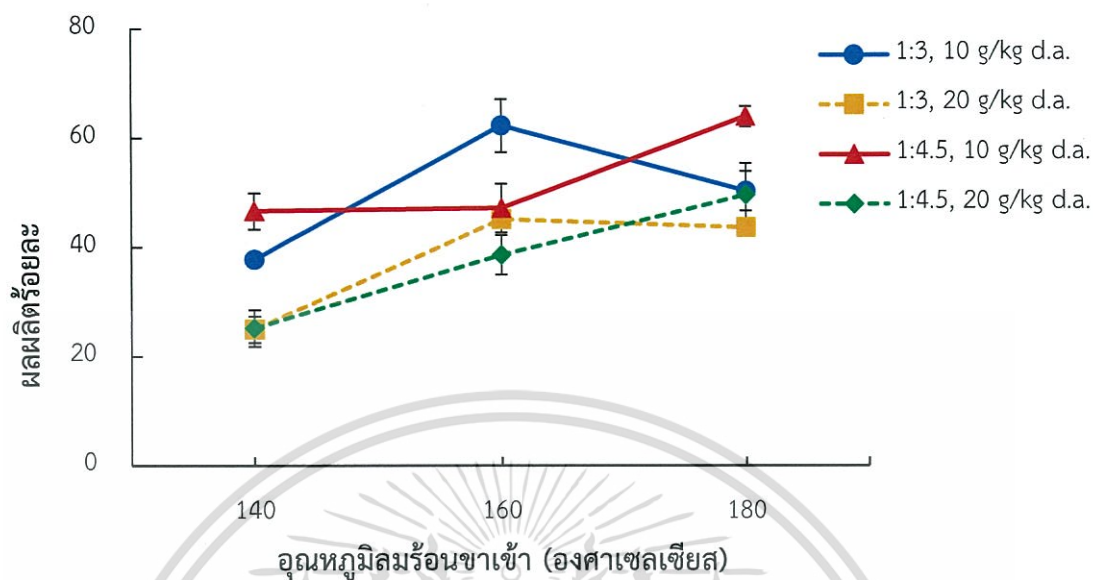
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มเข้มข้นผงที่สภาวะต่าง ๆ

ปริมาณน้ำใน อากาศ (g/kg d.a.)	อัตราส่วน O:M	อุณหภูมิลมร้อน ขาเข้า (°C)	ผลผลิตร้อยละ	ปริมาณ ความชื้น (%wb)	วอเตอร์แอกติ วิต	pH	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (mg/g powder)
10	1:3	140	37.79±0.91 ^{cde}	1.59±0.21 ^{abc}	0.370±0.01 ^{ab}	3.05±0.02 ^a	2.94±0.04 ^a
		160	62.28±4.88 ^{ab}	0.81±0.40 ^c	0.327±0.00 ^{bc}	3.07±0.03 ^a	2.73±0.08 ^{ab}
		180	50.32±3.63 ^{bc}	0.55±0.20 ^c	0.314±0.01 ^{bc}	3.08±0.0 ^a	1.47±0.04 ^h
	1:4.5	140	46.63±3.34 ^c	2.83±0.04 ^a	0.395±0.00 ^a	3.05±0.00 ^a	2.50±0.19 ^{bcd}
		160	47.19±4.47 ^c	1.78±0.97 ^{abc}	0.316±0.01 ^{bc}	3.06±0.00 ^a	2.39±0.00 ^{bcde}
		180	63.98±1.83 ^a	0.98±0.19 ^{bc}	0.281±0.01 ^c	3.07±0.01 ^a	1.96±0.11 ^{efg}
20	1:3	140	24.95±2.41 ^e	1.89±0.28 ^{abc}	0.392±0.02 ^a	3.06±0.01 ^a	2.63±0.04 ^{abc}
		160	45.15±0.43 ^c	1.43±0.50 ^{abc}	0.332±0.02 ^{bc}	3.07±0.00 ^a	2.15±0.04 ^{defg}
		180	43.59±1.28 ^c	0.85±0.52 ^c	0.329±0.00 ^{bc}	3.10±0.00 ^a	1.82±0.08 ^{gh}
	1:4.5	140	25.17±3.36 ^{de}	2.93±0.29 ^a	0.402±0.00 ^a	3.06±0.03 ^a	2.39±0.11 ^{bcde}
		160	38.61±3.63 ^{cd}	2.62±0.56 ^{ab}	0.392±0.01 ^a	3.08±0.02 ^a	2.23±0.11 ^{cdef}
		180	49.61±5.84 ^{bc}	1.46±0.36 ^{abc}	0.282±0.04 ^c	3.09±0.01 ^a	1.99±0.19 ^{efg}

หมายเหตุ ปริมาณน้ำในอากาศ 10 g/kg d.a. คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับระบบลดความชื้นและปริมาณน้ำในอากาศ 20 g/kg d.a. คือการทำแห้งแบบพ่นฝอยปกติ

อัตราส่วน O:M คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน

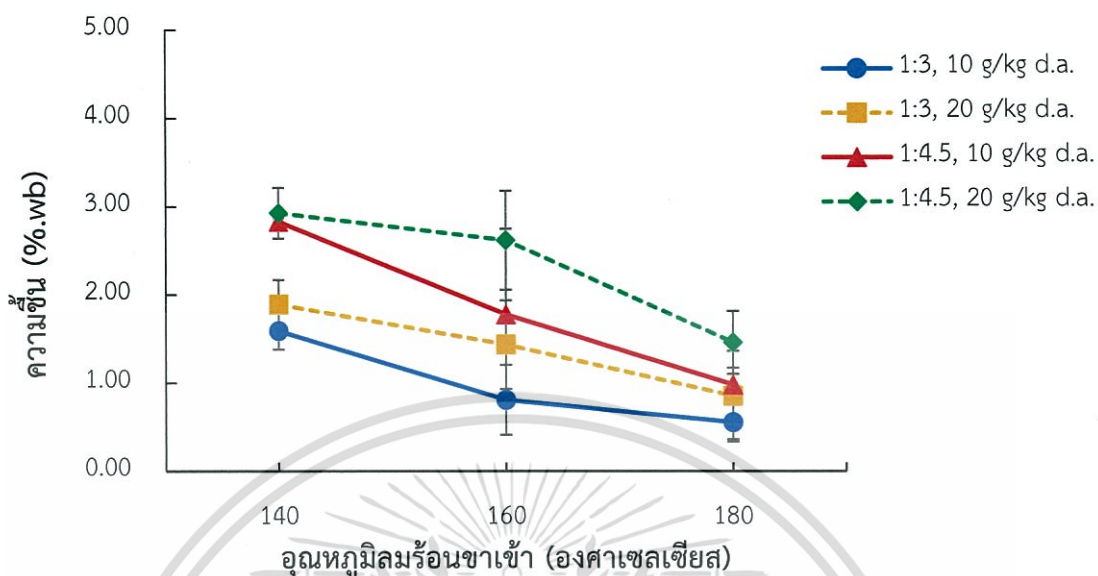
4.3.1 ผลผลิตร้อยละ (Production yield)



รูปที่ 4.11 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน อุณหภูมิสมุนไพร และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อผลผลิตร้อยละ

ผลผลิตร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยปกติมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 24.95-49.61 และการทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับเครื่องลดความชื้นอากาศขาเข้ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 37.79-63.98 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งการทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับเครื่องลดความชื้น แสดงให้เห็นว่าผลผลิตร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นมีค่าสูงกว่า จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การติดเครื่องลดความชื้นและอุณหภูมิสมุนไพรขาเข้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อผลผลิตร้อยละ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

4.3.2 ความชื้น (Moisture content)



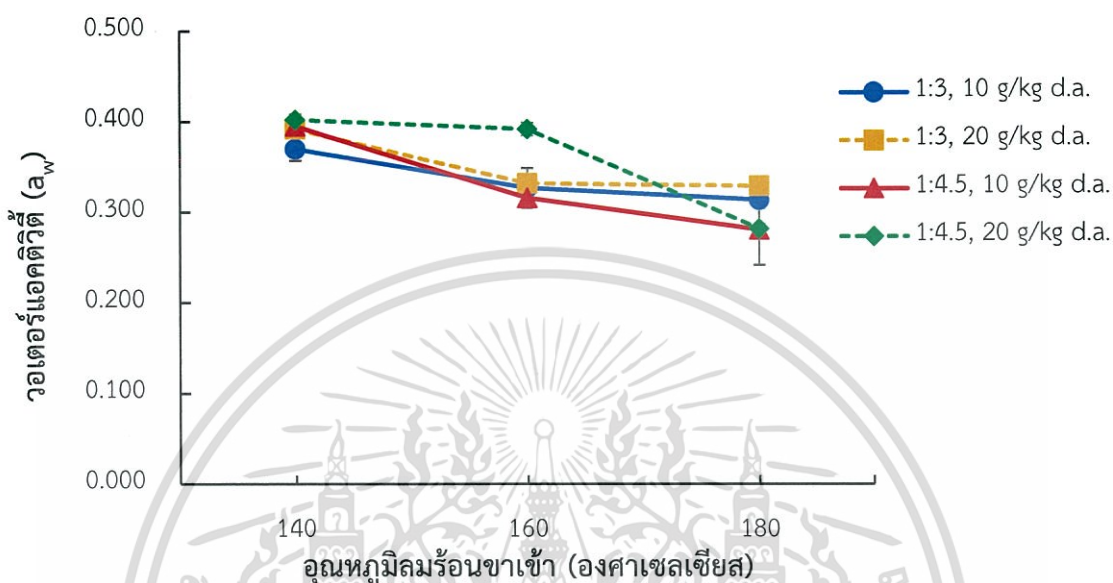
รูปที่ 4.12 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิความร้อนขาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์

ความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นผงที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.85-2.93 และการทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับเครื่องลดความชื้นมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.55-2.83 ดังที่แสดงในตารางที่ 4.4 โดยความชื้นของน้ำส้มเข้มข้นผงที่ใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับระบบลดความชื้นมีค่าต่ำกว่า ซึ่งปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ จะช่วยเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับน้ำส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย และเมื่อถึงระดับหนึ่งพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลน้ำจะถูกทำลายจนหมด ทำให้น้ำเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ จึงส่งผลต่ออัตราการระเหยน้ำที่สูงขึ้น (Quek et al., 2007) และการลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นการเพิ่มการถ่ายเทมวล ทำให้อากาศสามารถรับปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ได้เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะเป็นผงความชื้นต่ำ (Goula & Adamopoulos, 2005)

นอกจากนั้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนจาก 1:3 เป็น 1:4.5 ของปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ส่งผลให้ความชื้นเพิ่มขึ้น ในการวิเคราะห์สถิติพบว่า อัตราส่วนปริมาณ

ของแข็งในน้ำสัมผัสชั้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิร้อนขาเข้าและการติดเครื่องลดความชื้นส่งผลต่อความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

4.3.3 วอเตอร์แอกติวิตี้ (Water activity)



รูปที่ 4.13 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำสัมผัสชั้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิร้อนขาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อวอเตอร์แอกติวิตี้

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์น้ำสัมผัสชั้นผงที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในช่วง 0.282-0.402 และการทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับเครื่องลดความชื้นมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในช่วง 0.281-0.395 ดังที่แสดงในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้จะแปรผันตามปริมาณความชื้น จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำสัมผัสชั้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิร้อนขาเข้าและการติดเครื่องลดความชื้นส่งผลต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

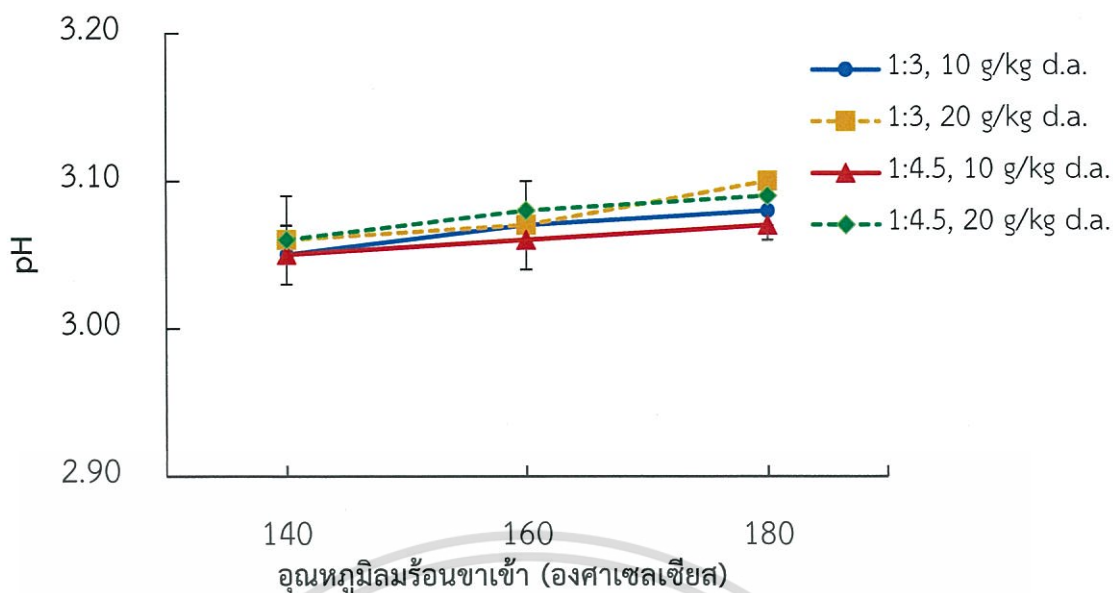
4.3.4 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส

ปริมาณน้ำ ในอากาศ (g/kg d.a.)	อัตราส่วนปริมาณ ของแข็งในน้ำสัมผัสชั้น ต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ ทริน	อุณหภูมิลมร้อนชา เข้า (°C)	กรด-เบส		
			ก่อน	หลัง	
10	1:3	140	2.79	3.05±0.02	
		160	2.79	3.07±0.03	
		180	2.79	3.08±0.00	
	1:4.5	140	2.81	3.05±0.00	
		160	2.81	3.06±0.00	
		180	2.81	3.07±0.01	
	20	1:3	140	2.79	3.06±0.01
			160	2.79	3.07±0.00
			180	2.79	3.10±0.00
1:4.5		140	2.81	3.06±0.03	
		160	2.81	3.08±0.02	
		180	2.81	3.09±0.01	

ความเป็นกรด-เบส ก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อัตราส่วน 1:3 และ 1:4.5 มีค่า 2.79 และ 2.81 ตามลำดับ และหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 3.05-3.10 ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งจะพบว่าค่าความเป็นกรดลดลงเพราะว่าปริมาณกรดถูกทำลายเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน ในการวิเคราะห์สถิติพบว่า อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำสัมผัสชั้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน อุณหภูมิลมร้อนชาเข้าและการติดเครื่องลดความชื้นส่งผลต่อความแตกต่างของความเป็นกรด-เบสของก่อนการทำแห้งและหลังการทำแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิร้อนขาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อความเป็นกรด-เบส

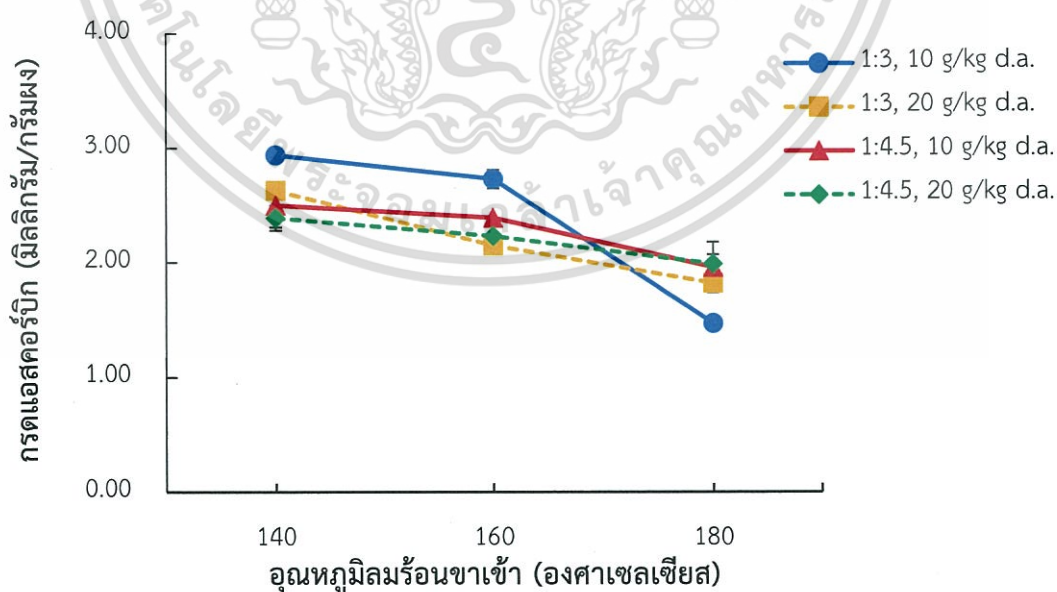
4.3.5 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid)

ปริมาณกรดแอสคอร์บิกก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:3 และ 1:4.5 มีค่า 3.94 และ 2.77 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:3 มีค่าในช่วง 1.47-2.41 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:4.5 มีค่าในช่วง 1.58-2.06 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอัตราส่วนจาก 1:3 เป็น 1:4.5 ของปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ส่งผลให้การคงสภาพของกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดแอสคอร์บิกก่อนการทำแห้ง เพราะมอลโตเด็กซ์ตรินสามารถช่วยห่อหุ้มผนังเซลล์ ในการวิเคราะห์สถิติพบว่า อุณหภูมิร้อนขาเข้าและการติดเครื่องลดความชื้นส่งผลต่อความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

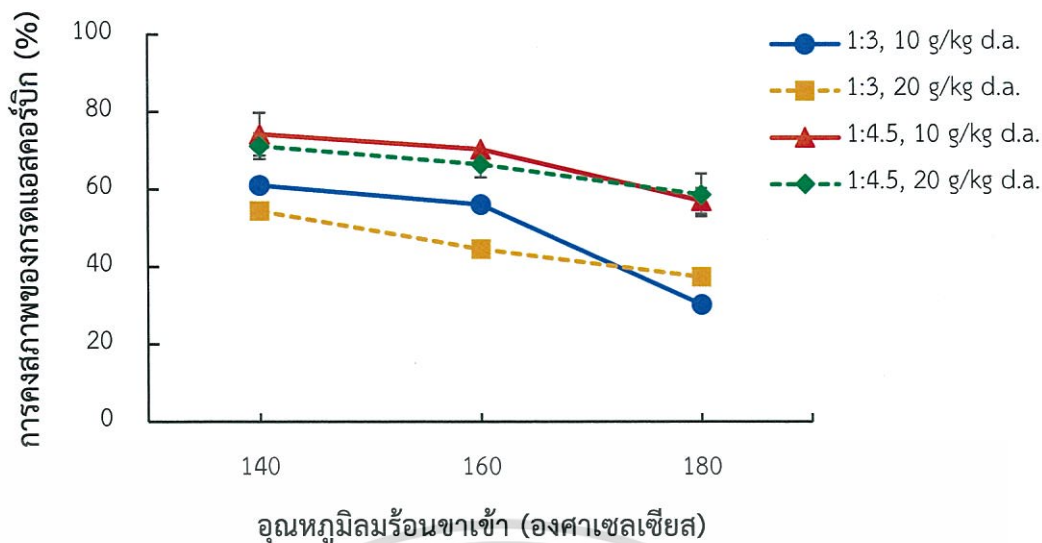
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์การคงสภาพของกรดแอสคอร์บิก

ปริมาณน้ำ ในอากาศ (g/kg d.a.)	อัตราส่วนปริมาณของแข็ง ในน้ำสัมผัสชั้นต่อปริมาณ มอลโตเด็กซ์ตริน	อุณหภูมิลม ร้อนขาเข้า (°C)	กรดแอสคอร์บิก (mgacid/ml)	%Retention
10	1:3	140	2.41	60.99
		160	2.21	56.04
		180	1.19	30.22
	1:4.5	140	2.06	74.22
		160	1.95	70.31
		180	1.58	57.03
20	1:3	140	2.15	54.40
		160	1.76	44.51
		180	1.47	37.36
	1:4.5	140	1.97	71.10
		160	1.84	66.41
		180	1.63	58.59



รูปที่ 4.15 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำสัมผัสชั้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิก

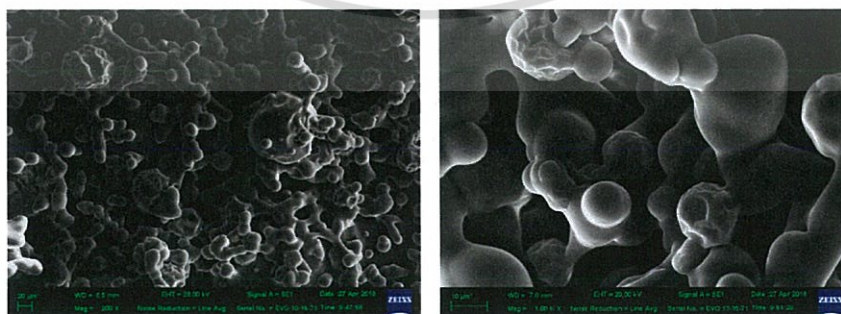
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ผลของอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน อุณหภูมิหมัก ร้อนชาเข้า และปริมาณความชื้นอากาศทำแห้งต่อการคงสภาพของกรดแอสคอร์บิก

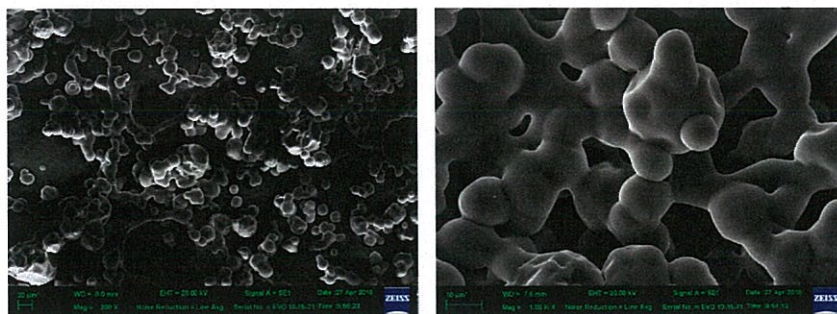
4.3.6 โครงสร้างจุลภาค

จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มหมักที่อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 1:3 และอุณหภูมิหมักร้อนชาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 3 ระดับ คือ 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ที่ไม่ติดระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้ง แสดงดังรูปที่ 4.17 และอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 1:3 และอุณหภูมิหมัก ร้อนชาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 3 ระดับ คือ 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ที่ติดระบบลด ความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้ง แสดงดังรูป 4.18 พบว่า เมื่ออุณหภูมิหมักสูงขึ้น จะทำให้ โครงสร้างจุลภาคของส้มยวบตัว และเมื่อติดระบบลดความชื้นทำให้โครงสร้างจุลภาคเรียงตัวแยกจาก กัน นั่นคือ ทำให้เห็นว่าส้มมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า

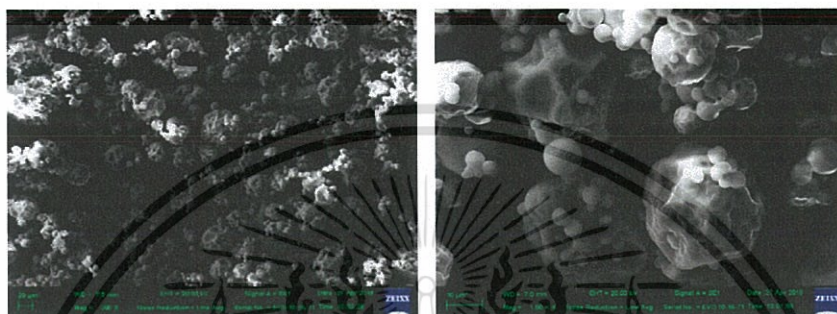


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



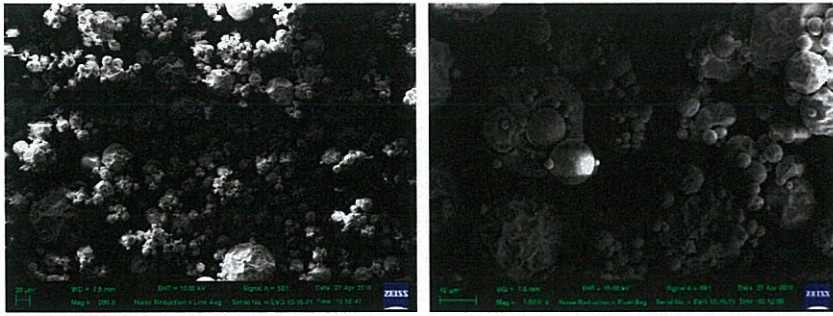
(ค)

รูปที่ 4.17 แสดงโครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มผงที่ไม่ได้ดื่บลดความชื้นอากาศขาเข้าและอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:3 (ก) อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส (ข) อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ค) อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส กำลังขยาย: ซ้าย 200 เท่า และ ขวา 1000 เท่า

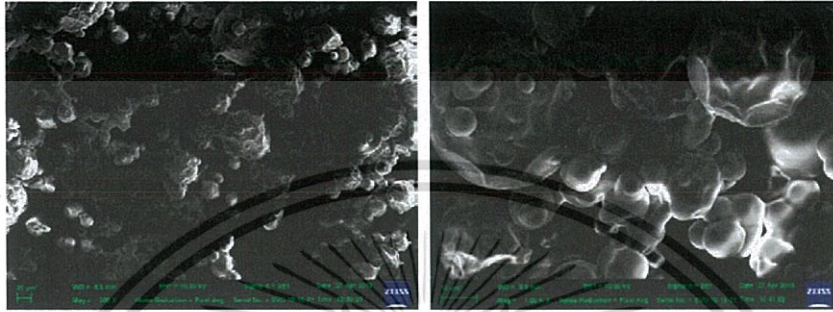


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มผงติดระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าและอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1:3 (ก) อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส (ข) อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ค) อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส กำลังขยาย: ซ้าย 200 เท่า และ ขวา 1000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและออกแบบระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับน้ำส้มผง โดยศึกษาค่าอุณหภูมิการทำแห้งที่ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส ใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินเท่ากับ 1:3 และ 1:4.5 โดยมวล และนำระบบลดความชื้นมาต่อเข้ากับอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมาเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยปกติในการทำน้ำส้มผง เมื่อทำการศึกษาผลของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ผลผลิตร้อยละของน้ำส้มผงมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาคือ ผลผลิตร้อยละจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อติระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้ง ส่วนอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินไม่มีผลต่อผลผลิตร้อยละของน้ำส้มผง

2. ปริมาณความชื้นของน้ำส้มผงมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาคือ ปริมาณความชื้นของน้ำส้มผงจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อติระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินและการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจะส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

3. ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของน้ำส้มผงมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาคือ ค่าวอเตอร์แอกติวิตีจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อติระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินและการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจะส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4. ความเป็นกรด-เบสของน้ำส้มผง เมื่อผ่านการทำแห้งจะทำให้มีค่าความเป็นกรดลดลงทุกอุณหภูมิการทำแห้ง โดยความแตกต่างของความเป็นกรด-เบสของก่อนและหลังการทำแห้งนั้นจะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาคือ ความแตกต่างของความเป็นกรดหลังการทำแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้ง ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินและติระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยส่งผลให้ความเป็นกรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาคือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นและการติระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราส่วนปริมาณของแข็งในน้ำส้มเข้มข้นต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิก

6. โครงสร้างจุลภาคของน้ำส้มผงจะมีการยุบตัวเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งที่เพิ่มขึ้น และการติระบบลดความชื้นจะทำให้เห็นว่าผงมีการแยกตัวไม่เกาะติดกัน

แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับระบบลดความชื้นอากาศขาเข้าสามารถช่วยเรื่องคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ผงได้

5.2 ปัญหาที่พบ

เนื่องจากอายุการใช้งานของอุปกรณ์ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มากนั้น บางครั้งระหว่างการทดลองอุปกรณ์ต้องทำการซ่อมหรือเปลี่ยน ทำให้เกิดความล่าช้าในการทดลอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการปรับปรุงระบบลดความชื้นให้สามารถลดความชื้นในอากาศได้มากกว่านี้ โดยยังคงอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ไม่ต่ำจนเกินไปเพื่อไม่ให้เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานในการอุ่นอากาศ

2. ควรมีการลดความชื้นในลมอัด เนื่องจากลมอัดนั้นยังคงมีความชื้นอยู่ซึ่งเกิดได้จากละอองน้ำที่ออกมาจากลมอัด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่มากนัก

บรรณานุกรม

- กัลยาณี โสมนัส. 2540. “การผลิตกล้วยหอมผงโดยการทำแห้งแบบโฟมและแบบพ่นฝอย.”
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิรวรรณ ฤกษ์จิตร. 2554. “การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นพร้อมดื่มจากน้ำมะเกี๋ยงผสมน้ำหม่อนโดยการ
ระเหยภายใต้สุญญากาศ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ณัฐรีพร จันทพันธ์. 2548. “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มบิวต์ผงโดยวิธีอบแห้ง
แบบพ่นฝอย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ไทรท ศรีโยธา, คมสันต์ อัทพงศ์พิเชษฐ, พิศาล ฝ้ายขาวนา และสมรรถ ชันทะมุล. 2551. “การศึกษา
ระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอย.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.
- ปรัชญา วงศ์ธนบัตร. 2543. “ผลของปัจจัยการแปรรูปต่อคุณภาพของน้ำกะทิอบแห้งแบบพ่นฝอย.”
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตย์. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหารการถนอมอาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียน
สโตร์.
- วีไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 286-288.
- สโรบล สโรชวิสิต และชัยรัตน์ ตั้งดวงดี. 2554. “ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อ
คุณภาพของน้ำสัปปะรดผงโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย.” วารสารวิจัยและพัฒนาจร. 34: 203-215.
- สุกิตต์ อายูยีน. 2550. “การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศโดยการลดเอนทัลปี ของ
อากาศใหม่.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อำไพวรรณ ภราดรน์วัฒน์, วิชัย ก่อประดิษฐ์สกุล, วิเชียร กำจายภัย, สุพัฒน์ อรรถธรรม และนิพนธ์
ทวีชัย. 2527. โรคส้มในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: หจก.ฟีนนี่พับบลิชซิง.
- Amrita, K., Dabur, R.S. and Kapoor, C.M. 1999. “Application of microencapsulation
technology in dairy industry.” *Indian Food Industry*. 18: 57-64.
- AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemists,
15th ed. Washington D.C.: AOAC International.
- AOAC. 1995. *Official methods of analysis*. 17th ed. Gaithersburg. Maryland. USA: AOAC
International.

- Arvisenet, G., Voilley, A. and Cayot, N. 2002. "Retention of aroma compound in starch matrices: competitions between aroma compound toward amylose and amylopectin." *Journal of agriculture and food chemistry*. 50: 7345-7349.
- Bhandari, B.R., Dumoulin, E.D., Richard, H.M.J., Noleau, I., and Lebert, A.M. 1992. "Flavor encapsulation by spray drying: application to citral and linalyl acetate." *Journal of Food Science*. 57(1): 217-221.
- Boutboul, A., Giampaoli, G., Feigenbaum, A. and Duvruet, V. 2002. "Use of inverse gas chromatography with humidity control of carrier gas to characterize aroma-starch interaction." *Food Chemistry*. 71: 387-392.
- Cai, Y.Z. and Corke, H. 2000. "Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments." *Journal of Food Science*. 65(6): 1248-1252.
- Dalgleish, G.D. 1997. "Adsorption of protein and the stability of emulsions." *Trends Food Science and Technology*. 8: 1-6.
- Dickinson, E. 2001. "Milk protein interfacial layers and the relationship to emulsion stability and rheology." *Colloids Interfaces B*. 20: 197-210.
- Douglas, M.C. and Glenn, P.E. 1982. *Food and Food Production Encyclopedia*. New York: Van Nostrand Company.
- Ducel, V., Richard, J., Saulnier, P., Popineau, Y. and Boury, F. 2004. **Evidence and Characterization of complex coacervates containing plant proteins: application to the microencapsulation of oil droplets.** *Colloids and Surfaces A: Physicochemical engineering Aspects*. 239-247.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2005. "Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery." *Journal of Food Engineering*. 2005(66): 25-34.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2010. "A new technique for spray drying orange juice concentrate." *Innovative Food Science and Engineering Technology*. 2010(11): 342-351.
- Gourdel, Y. and Tronel, J. 2001. **Flavoured Gelatin Capsules Capable of Containing Various Substances Used in the Food, Animal Feed, Dietetic and Pharmaceutical Sector.** French Patent Application FR 2 807 677 A1. France.
- Howling, D., and Jackson, E.B. 1990. **Glucose syrups and starch hydrolysates.** In Jackson, E.B. ed. *Sugar Confectionery Manufacture*. New York: Van Nostrand Reinhold.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Inglett, G.E., P. Gelbman, and Reineccius G.A. 1988. **Encapsulation of Orange Oil**. In Rish, S.J., and Reineccius, G.A. ed. *Flavor Encapsulation*. Washington D.C.: American Chemical Society.
- Islam, M.Z. and Kim, W. 2017. "Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices." **Trends in Food Science & Technology**. 65: 49-67.
- Islam, M.Z., Yutaka, K., Yoshitsugu, Y. and Mai, K. 2016. "Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder." **Journal of Food Engineering**. 2016 (169): 131-140.
- Kearsley, M.W. and Dziejczak, S.Z. 1995. **Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives**. London: Blackie Academic & Professional.
- Kenyon, M.M. and Anderson, R.J. 1988. "Maltodextrin and Low-Dextrose Equivalence Corn Syrup Solid." **Food Chemistry**. 2: 7-11.
- Kim, Y.D. and Morr, C.V. 1996. "Microencapsulation properties of gum Arabic and several food proteins: spray-dried orange oil emulsion particles." **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 44: 2371-2399.
- Lee, S.W., Kim, M.H. and Kim, C.K. 1999. "Encapsulation of ethanol by spray-drying technique: effects of sodium lauryl sulfate." **International Journal of Pharmaceutics**. 187: 13-198.
- Macrae, R., Robinson, R.K. and Sadler, M.J. 1993. **Encyclopedia of Food Science**. Food Technology and Nutrition Vol 2. London: Academic Press Limited.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. and Desobry, S. 2006. "Flavour encapsulation and controlled release." **International Journal of Food Science and Technology**. 41: 1-21.
- Mansour, M.K. and Hassab, M. 2012. **Heat Exchangers – Basics Design Applications**. Rijeka: InTech.
- Masters, K. 1979. **Spray Drying Handbook**. 3rd ed. London: George Godwin Ltd.
- Pancoast, H.M. and Junk, W.R. 1980. **Handbook of Sugar**. 2nd ed. Westport: AVI Publishing Company INC.
- Quek, S.Y., Chok, N.K. and Swedlund, P. 2007. "The physicochemical properties of spray dried watermelon powders." **Chemical engineering and processing: process intensification**. 46: 386-392.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Shahidi, F. and Han, X.Q. 1993. "Encapsulation of food ingredients." **Critical Reviews in Food science and Nutrition**. 33: 501-547.
- Sheu, T.Y. and Rosenberg, M. 1995. "Microencapsulation by spray-drying ethyl caprylate in whey protein and carbohydrates wall system." **Journal of Food Science**. 60: 98-103.
- Sheu, T.Y. and Rosenberg, M. 1998. "Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates." **Journal of Food Science**. 63: 491-494.
- Shrestha, A.K., Bhandari, B.R. and Ua-arak. 2007. "Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT)." **International Journal of Food Properties**. 10: 661-673.
- USDA. 2018. **Statistics Report 09200, Oranges, raw, all commercial varieties**. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture.
- Vittayapadung, S. and Chaitep, S. 2004. "Performance Testing of a Dehumidifier Applied from Window-Type Air Conditioner." 26-31. **The 11th Tri-University International Joint Seminar and Symposium**. Chiang Mai University.
- White, F.M. 2011. **FLUID MECHANICS**. 7th ed. New York: McGraw Hill.
- Williams, P.A. and Phillips, G.O. 2000. In **handbook of Hydrocolloids**. CRC Press: Cambridge. 155-168.
- Xiao, D.C. and Mujumder, A.S. 2008. **Drying Technologies in Food Processing**. United Kingdom: Blackwell. 144-146.
- Young, S.L., Sarda, X. and Rosenberg, M. 1993. "Microencapsulating properties of whey proteins. 2. Combination of whey protein with carbohydrates." **Journal of Dairy Science**. 76: 2878-2885.
- Yunus A. Çengel and Michale A. Boles. 1998. **Thermodynamics: An Engineering Approach**. 3rd ed. New Jersey: McGraw Hill
- Zuldarn, N.J. and Nedovic, V.A. 2010. **Overview of Microencapsulates for Use in Food Product or Processes and Methods to Make Them Encapsulation Technogies for Active Food Ingredients and Food Processing**. New York: Springer-Verlag.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางคุณสมบัติของน้ำ

Saturated water—Temperature table

Temp., T °C	Sat. press., P _{sat} kPa	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg·K		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางการทดลองระบบลดความชื้นครั้งที่ 1

Time (min)	Temperature °C					Wind Velocity (m/s)		Relative Humidity (%RH)			Water Flow (l/min)
	Tamb	T1	T2	T3	T4	v1	v2	RHamb	RH1	RH2	mdot4
0	31.32	31.32	29.56	8.00	n/a	3.17	10.29	64.45	64.45	76.13	n/a
10	30.18	30.18	18.29	7.00	12.00	3.29	9.73	69.97	69.97	81.53	1.17
20	31.22	31.22	18.23	7.00	16.00	3.25	10.67	69.06	69.06	82.13	1.19
30	30.02	30.02	18.09	7.00	16.00	3.30	10.13	70.67	70.67	82.88	1.21
40	30.97	30.97	17.83	7.00	16.00	3.23	9.84	67.36	67.36	82.63	1.24
50	30.28	30.28	18.03	7.00	16.00	3.13	10.08	69.57	69.57	81.82	1.18
60	30.19	30.19	18.23	7.00	16.00	3.26	10.15	68.70	68.70	79.82	1.15
Average	30.60	30.60	19.75	7.14	15.33	3.23	10.13	68.54	68.54	80.99	1.19
S.D.	0.55	0.55	4.33	0.38	1.63	0.06	0.31	2.08	2.08	2.36	0.03

ตารางที่ ก.3 ตารางการทดลองระบบลดความชื้นครั้งที่ 2

Time (min)	Temperature °C					Wind Velocity (m/s)		Relative Humidity (%RH)			Water Flow (l/min)
	Tamb	T1	T2	T3	T4	v1	v2	RHamb	RH1	RH2	mdot4
0	30.03	30.03	27.02	8.00	n/a	3.08	10.31	73.05	73.05	91.67	n/a
10	30.98	30.98	18.92	7.00	16.00	3.37	10.29	67.22	67.22	82.84	1.12
20	31.22	31.22	18.31	7.00	16.00	3.24	10.08	69.53	69.53	86.28	1.27
30	31.77	31.77	18.26	7.00	16.00	3.33	10.07	68.53	68.53	85.10	1.14
40	31.39	31.39	18.58	7.00	16.00	3.16	10.56	69.52	69.52	85.36	1.2
50	30.76	30.73	18.50	7.00	16.00	3.25	9.83	68.93	68.93	83.50	1.24
60	31.36	31.36	18.59	7.00	16.00	3.34	10.10	69.78	69.78	83.29	1.23
Average	31.07	31.07	19.74	7.14	16.00	3.25	10.18	69.51	69.51	85.43	1.2
S.D.	0.56	0.56	3.22	0.38	0.00	0.10	0.23	1.79	1.79	3.02	0.06

ตารางที่ ก.4 ตารางการทดลองระบบลดความชื้นครั้งที่ 3

Time (min)	Temperature °C					Wind Velocity (m/s)		Relative Humidity (%RH)			Water Flow (l/min)
	Tamb	T1	T2	T3	T4	v1	v2	RHamb	RH1	RH2	mdot4
0	30.94	30.94	28.95	6.00	n/a	3.23	9.84	68.16	68.16	71.59	n/a
10	31.35	31.35	19.33	6.50	16.50	3.17	9.89	67.27	67.27	81.38	1.2
20	31.23	31.23	18.85	7.00	16.00	3.20	9.98	67.50	67.50	82.36	1.14
30	29.91	29.91	18.42	7.00	16.00	3.29	10.15	71.84	71.84	83.48	1.28
40	30.87	30.87	18.57	7.00	16.00	3.28	10.12	69.85	69.85	85.47	1.21
50	31.49	31.49	18.48	7.00	16.00	3.28	10.07	69.48	69.48	83.59	1.18
60	31.55	31.55	18.51	7.00	16.00	3.27	10.29	70.06	70.06	85.16	1.24
Average	31.05	31.05	18.69	6.79	16.08	3.25	10.05	69.17	69.17	83.57	1.15
S.D.	0.56	0.56	3.89	0.39	0.20	0.05	0.16	1.63	1.63	4.75	0.05

ตารางที่ ก.5 อุณหภูมิและความชื้นของการทำแห้งที่อัตราส่วน 1:3

การติดตั้งระบบ ลดความชื้น	อุณหภูมิ ทำแห้ง (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิเข้า เครื่อง (°C)	อุณหภูมิออก เครื่อง (°C)	%RH อากาศ	%RH เข้า	%RH ออก
ติด	140	33.15	18.07	49.53	58.67	79.49	38.80
	140	32.15	17.96	52.90	62.68	79.89	33.89
	160	32.86	17.87	58.29	57.62	82.63	26.89
	160	31.32	17.83	57.00	64.45	79.82	26.75
	180	31.22	18.03	63.78	61.28	81.82	19.45
	180	31.75	17.84	64.00	66.73	82.88	19.32
ไม่ติด	140	32.71	32.71	51.10	62.70	62.70	36.67
	140	31.58	31.58	50.00	60.50	60.50	36.00
	160	31.86	31.86	62.00	69.57	69.57	25.00
	160	32.59	32.59	59.00	67.36	67.36	24.00
	180	31.57	31.57	64.83	64.06	64.06	18.97
	180	33.00	33.00	65.02	59.55	59.55	18.79

ตารางที่ ก.6 อุณหภูมิและความชื้นของการทำแห้งที่อัตราส่วน 1:4.5

การติดตั้งระบบ ลดความชื้น	อุณหภูมิ ทำแห้ง (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิเข้า เครื่อง (°C)	อุณหภูมิออก เครื่อง (°C)	%RH อากาศ	%RH เข้า	%RH ออก
ติด	140	31.32	17.97	50.45	63.28	76.13	34.28
	140	31.22	18.09	51.70	60.50	81.53	33.87
	160	30.18	18.03	57.05	65.85	82.13	26.62
	160	30.02	17.72	58.25	62.12	82.88	26.85
	180	30.91	17.82	64.13	66.02	81.82	20.98
	180	30.28	17.97	64.08	65.42	79.82	21.22
ไม่ติด	140	30.19	30.19	52.17	63.28	63.28	35.48
	140	30.6	30.6	51.78	62.22	62.22	36.92
	160	31.49	31.49	60.04	66.73	66.73	24.00
	160	30.87	30.87	59.93	65.63	65.63	24.14
	180	30.94	30.94	65.78	60.18	60.18	19.72
	180	30.91	30.91	64.91	69.67	69.67	19.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่ควรนำเอาไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

ผลผลิตของผลิตภัณฑ์น้ำส้มผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงผลร้อยละผลผลิต

การทดลองครั้งที่	ปริมาณน้ำในอากาศ (g/kg d.a.)	อุณหภูมิลมร้อน ขาเข้า (°C)	อัตราส่วน O:M	ร้อยละผลผลิต
1	20	140	1:3	26.65
2	20	140	1:4.5	27.55
3	20	160	1:3	45.45
4	20	160	1:4.5	41.18
5	20	180	1:3	44.49
6	20	180	1:4.5	53.74
7	10	140	1:3	37.15
8	10	140	1:4.5	48.99
9	10	160	1:3	58.83
10	10	160	1:4.5	50.35
11	10	180	1:3	52.88
12	10	180	1:4.5	62.69
13	20	140	1:3	23.24
14	20	140	1:4.5	22.79
15	20	160	1:3	44.84
16	20	160	1:4.5	36.05
17	20	180	1:3	42.68
18	20	180	1:4.5	45.48
19	10	140	1:3	38.43
20	10	140	1:4.5	44.27
21	10	160	1:3	65.73
22	10	160	1:4.5	44.03
23	10	180	1:3	47.75
24	10	180	1:4.5	65.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงผลปริมาณความชื้น

การทดลองครั้งที่	ปริมาณน้ำในอากาศ (g/kg d.a.)	อุณหภูมิลมร้อน ขาเข้า (°C)	อัตราส่วน O:M	ปริมาณความชื้น (%wb)
1	20	140	1:3	1.69
2	20	140	1:4.5	3.13
3	20	160	1:3	1.08
4	20	160	1:4.5	2.22
5	20	180	1:3	0.49
6	20	180	1:4.5	1.71
7	10	140	1:3	1.44
8	10	140	1:4.5	2.80
9	10	160	1:3	1.09
10	10	160	1:4.5	2.46
11	10	180	1:3	0.42
12	10	180	1:4.5	1.11
13	20	140	1:3	2.09
14	20	140	1:4.5	2.72
15	20	160	1:3	1.79
16	20	160	1:4.5	3.01
17	20	180	1:3	1.21
18	20	180	1:4.5	1.21
19	10	140	1:3	1.74
20	10	140	1:4.5	2.86
21	10	160	1:3	0.53
22	10	160	1:4.5	1.09
23	10	180	1:3	0.69
24	10	180	1:4.5	0.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 แสดงผลค่าวอเตอร์แอกติวิตี้

การทดลองครั้งที่	ปริมาณน้ำในอากาศ (g/kg d.a.)	อุณหภูมิลมร้อน ขาเข้า (°C)	อัตราส่วน O:M	วอเตอร์แอกติวิตี้
1	20	140	1:3	0.403
2	20	140	1:4.5	0.402
3	20	160	1:3	0.320
4	20	160	1:4.5	0.387
5	20	180	1:3	0.326
6	20	180	1:4.5	0.254
7	10	140	1:3	0.379
8	10	140	1:4.5	0.395
9	10	160	1:3	0.330
10	10	160	1:4.5	0.324
11	10	180	1:3	0.315
12	10	180	1:4.5	0.277
13	20	140	1:3	0.381
14	20	140	1:4.5	0.401
15	20	160	1:3	0.344
16	20	160	1:4.5	0.396
17	20	180	1:3	0.331
18	20	180	1:4.5	0.310
19	10	140	1:3	0.361
20	10	140	1:4.5	0.395
21	10	160	1:3	0.324
22	10	160	1:4.5	0.309
23	10	180	1:3	0.312
24	10	180	1:4.5	0.285

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 แสดงผลความเป็นกรด-เบส

การทดลองครั้งที่	ปริมาณน้ำในอากาศ (g/kg d.a.)	อุณหภูมิลมร้อน ขาเข้า (°C)	อัตราส่วน O:M	ความเป็นกรด-เบส
1	20	140	1:3	3.07
2	20	140	1:4.5	3.04
3	20	160	1:3	3.08
4	20	160	1:4.5	3.09
5	20	180	1:3	3.10
6	20	180	1:4.5	3.10
7	10	140	1:3	3.06
8	10	140	1:4.5	3.05
9	10	160	1:3	3.08
10	10	160	1:4.5	3.06
11	10	180	1:3	3.09
12	10	180	1:4.5	3.06
13	20	140	1:3	3.05
14	20	140	1:4.5	3.07
15	20	160	1:3	3.07
16	20	160	1:4.5	3.06
17	20	180	1:3	3.10
18	20	180	1:4.5	3.08
19	10	140	1:3	3.03
20	10	140	1:4.5	3.06
21	10	160	1:3	3.05
22	10	160	1:4.5	3.06
23	10	180	1:3	3.07
24	10	180	1:4.5	3.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 แสดงผลกรดแอสคอร์บิก

การทดลองครั้งที่	ปริมาณน้ำในอากาศ (g/kg d.a.)	อุณหภูมิลมร้อน ขาเข้า (°C)	อัตราส่วน O:M	กรดแอสคอร์บิก (mg/g powder)
1	20	140	1:3	2.60
2	20	140	1:4.5	2.31
3	20	160	1:3	2.12
4	20	160	1:4.5	2.31
5	20	180	1:3	1.77
6	20	180	1:4.5	2.12
7	10	140	1:3	2.92
8	10	140	1:4.5	2.37
9	10	160	1:3	2.79
10	10	160	1:4.5	2.39
11	10	180	1:3	1.50
12	10	180	1:4.5	2.04
13	20	140	1:3	2.65
14	20	140	1:4.5	2.47
15	20	160	1:3	2.17
16	20	160	1:4.5	2.15
17	20	180	1:3	1.88
18	20	180	1:4.5	1.86
19	10	140	1:3	2.97
20	10	140	1:4.5	2.63
21	10	160	1:3	2.68
22	10	160	1:4.5	2.39
23	10	180	1:3	1.45
24	10	180	1:4.5	1.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการคงอยู่ของกรดแอสคอร์บิก (%Retention)

การทดลองครั้งที่	ปริมาณน้ำในอากาศ (g/kg d.a.)	อุณหภูมิร้อน ขาเข้า (°C)	อัตราส่วน O:M	%Retention
1	20	140	1:3	53.85
2	20	140	1:4.5	68.75
3	20	160	1:3	43.96
4	20	160	1:4.5	68.75
5	20	180	1:3	36.26
6	20	180	1:4.5	62.50
7	10	140	1:3	60.44
8	10	140	1:4.5	70.31
9	10	160	1:3	57.14
10	10	160	1:4.5	70.31
11	10	180	1:3	30.77
12	10	180	1:4.5	59.38
13	20	140	1:3	54.95
14	20	140	1:4.5	73.44
15	20	160	1:3	45.06
16	20	160	1:4.5	64.06
17	20	180	1:3	38.46
18	20	180	1:4.5	54.69
19	10	140	1:3	61.54
20	10	140	1:4.5	78.13
21	10	160	1:3	54.95
22	10	160	1:4.5	70.31
23	10	180	1:3	29.67
24	10	180	1:4.5	54.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

รูปภาพการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ตำแหน่งวัดความเร็วลมขาออก



รูปที่ ค.2 แผงคอยล์เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

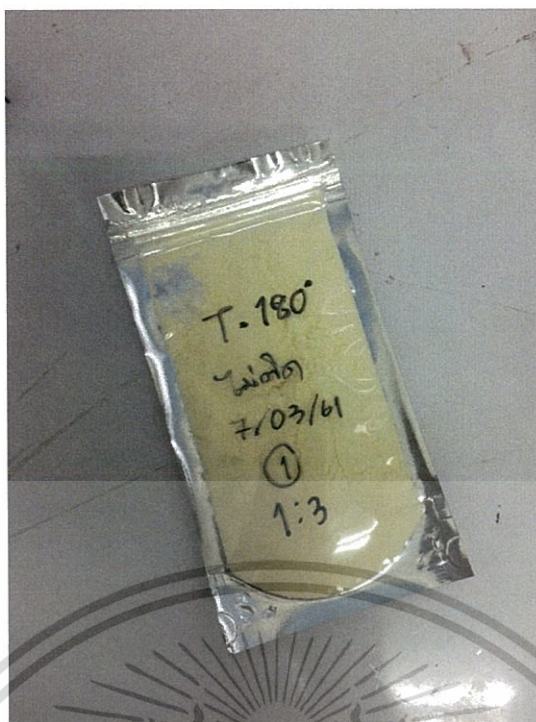


รูปที่ ค.3 ชุดทดลองระบบลดความชื้นเบื้องต้น



รูปที่ ค.4 จุดต่อก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.5 ผลึกภักดิ์หลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ ค.6 การติดขอบผนังห้องทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้