

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง
สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลำไยผงด้วย
วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

THE OPTIMIZATION OF SPRAY DRYING CONDITIONS
FOR LONGAN DRINK POWDER



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62386
วัน,เดือน,ปี 16 ส.ค. 2549

b. 1162209x
i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE OPTIMIZATION OF SPRAY DRYING CONDITIONS
FOR LONGAN DRINK POWDER

Mr. Pipat Patamarajvichian
Miss. Sasithorn Namkhot
Miss. Sirirat Amornviriyakul

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE
DEGREE OF BACHELOR OF FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทบริหารการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลำไยผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

The Optimization of Spray Drying Conditions for Longan Drinking Powder

ผู้จัดทำ

- | | |
|--------------------|----------------|
| 1. นายพิพัฒน์ | ปัทมราชวิเชียร |
| 2. นางสาวศศิธร | นามโคตร |
| 3. นางสาวศิริรัตน์ | อมรวิริยะกุล |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง	การหาจุดเหมาะสมในการทำน้ำลำไยผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย
โดย	นาย พิพัฒน์ ปัทมราชวิเชียร นางสาวศศิธร นามโคตร นางสาวศิริรัตน์ อมรวิริยะกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ลำไยจัดเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2547 ในปัจจุบันจึงมีความนิยมปลูกกันมากจนเกินความต้องการของตลาด ทำให้เกิดการเน่าเสียของลำไย การทำน้ำลำไยผงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในแก้ไขปัญหาผลผลิตลำไยที่ล้นตลาดและเป็นการเพิ่มมูลค่าของลำไย เนื่องจากสามารถทำการส่งออกได้ในรูปแบบของเครื่องดื่มกึ่งสำเร็จรูปซึ่งเป็นที่นิยมในแถบประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวเย็นเช่นประเทศจีน การผลิตน้ำลำไยผงให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถละลายน้ำเพื่อดื่มได้ทันทีจึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคเนื่องจากง่ายต่อการบริโภคและสามารถเก็บได้นาน ในโครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตน้ำลำไยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตซึ่งประกอบซึ่งในรายงานนี้เลือก ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตริน 0.4,0.5,0.6 กรัม / กรัมของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ อัตราไหลของลมร้อน 1.45,1.68,1.8 m³/min อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง 165°C,175°C,185°C วางแผนการทดลองแบบ Box Behnken method ประกอบด้วย 15 การทดลอง ผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้แก่ รัยยะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ความชื้น ความหนาแน่น Aw และความสามารถในการละลายด้วยวิธี Response Surface Method (RSM) จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแล้วให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ลำไยผงสูงสุด (ปัจจัยทั้งสามประการต่างมีผลต่อคุณลักษณะของลำไยผงที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญ) ซึ่ง RSM ที่ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตริน 0.6 อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

185 C และช่วงปริมาณอัตราการไหลลมร้อนระหว่าง 1.5 – 1.7 m³/min ซึ่งให้ค่าเปอร์เซ็นต์
ผลิตภัณฑ์เกิน 40 % ขึ้นไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title The Optimization of Spray Drying Condition for Longan
Drinking Powder

By Mr. Pipat Patamarajvichian
 Miss. Sasithorn Namkhot
 Miss. Sirirat Amornviriyakul

Advisor Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong

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

Abstract

Longan is considered as one of the important fruit in Thailand. At present the problem occurs since the supply of the longan is higher than the market demand. Longan can be spoilage easily. Therefore converting to the form of longan drink powder would be more efficient and gain higher value product. The objection of this study is to investigate the effects of processing parameters including ratio of moltodextrin at 0.4,0.5,0.6 g / g of total soluable solid, drying air temperature at 165,175,185 °C and air flow rate at 1.45,1.68,1.80 m³/min on longan product. Yield and characteristics of spray spray dried at the result showed that the percent maximum yield at high ratio of moltodexdrin added, high drying air temperature and low air flow rate. In order to choose the optimum condition to operate the best performance of spray dried longan product. The objective should be clearly specified ,due to production the significant interactions among this three parameters.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ คำชี้แนะและแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานที่ดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณ คุณนันทวัน แหนคำ(พี่แป้ง) คุณอำนาจ กุตะกู (พี่แมน) และ คุณบุญนำ ผลโพธิ์ (พี่บุญนำ) เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้

ขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาด จนทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นาย พิพัฒน์	บัทมราชวิเชียร
น.ส. ศศิธร	นามโคตร
น.ส. ศิริรัตน์	อมรวิริยะกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	VI
กิตติกรรมประกาศ.....	VII
สารบัญ.....	VIII
สารบัญตาราง.....	XI
สารบัญรูปภาพ.....	XII
สัญลักษณ์และคำย่อ	
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลำไย.....	3
2.2 การอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	6
2.2.1 ลักษณะการไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	7
2.2.2 หัวฉีดที่ใช้พ่นของเหลวในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	8
2.2.3 การส่งผ่านความร้อนและมวลในห้องอบแห้ง.....	9
2.2.4 การแยกอาหารผงจากระบบการอบแห้ง.....	9
2.3 คำปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์.....	9
2.3.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง.....	9
2.3.2 ความเข้มข้น.....	10
2.3.3 อัตราการป้อน.....	10
2.3.4 การไหลเวียนของลมร้อน.....	10
2.3.5 บีม.....	10
2.3.6 อัตราการพ่น.....	11
2.4 การคืนรูปของอาหารแห้ง.....	12
2.5 มอลโตเด็คซ์ตริน.....	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 วิธีวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ.....	16
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	17
3.1 วัสดุดิบ.....	17
3.2 วัสดุและเครื่องมือ.....	17
3.3 วิธีการทดลอง.....	18
3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ได้.....	20
3.4.1 การหาค่าความชื้น.....	20
3.4.2 การละลาย.....	21
3.4.3 การหาค่า Bulk density.....	21
3.4.4 เปอร์เซ็นต์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้.....	22
3.4.5 การหาค่า Water activity.....	22
3.4.6 การวัดค่าสี.....	22
3.5 การวางแผนและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	23
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	25
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะที่สภาวะต่างๆ ตาม Box behnken Design.....	26
4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่างๆ ของลำไยผงที่ได้.....	29
4.2.1 เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้.....	29
4.2.2 ความชื้นของผลิตภัณฑ์.....	32
4.2.3 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์.....	35
4.2.4 ความสามารถในการละลาย.....	38
4.2.5 Water activity ของผลิตภัณฑ์.....	41
4.2.6 ค่าความเปลี่ยนแปลงของสีทั้งหมด.....	44
4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ลำไยผงด้วย กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	46
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	53
ภาคผนวก ก.....	54
ภาคผนวก ข.....	55
ภาคผนวก ค.....	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของลำไย.....	6
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าปัจจัยตัวแปรในกระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อ ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้.....	11
ตารางที่ 3.1 Box Behnken 3 ตัวแปร.....	24
ตารางที่ 3.2 แสดงสภาวะการเตรียมตัวอย่าง.....	24
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ลำไยผง.....	26
ตารางที่ ข.1 แสดงค่า Glass transition Temperature(T_g), Change of Specific Heat at $T_g(\Delta C_p)$ ของน้ำตาล ค่า T_g วัดโดยใช้ differential scanning calorimetry (DSC).....	55
ตารางที่ ข.2 ค่า Water activity (A_w) ต่ำที่สุดสำหรับจุลินทรีย์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร.....	56
ตารางที่ ข.3 ตารางเก็บข้อมูลการทดลองน้ำลำไยผง.....	57
ตารางที่ ค.1 แสดงคุณสมบัติของน้ำลำไยที่สภาพการเติมมอลโตเดกซ์ตริน.....	58
ตารางที่ ค.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการความสัมพันธ์ ของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์.....	59
ตารางที่ ค.3 แสดงสภาวะอากาศที่ใช้การทำแห้งที่การทดลองต่างๆ.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงช่องทางทางการตลาดของลำไยในปี พ.ศ. 2548.....	3
รูปที่ 2.2 แสดงปริมาณลำไยที่ส่งออกในปี พ.ศ. 2547.....	4
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างจาก Amorphous glass ผ่าน rubbery เป็น crystal ที่สัมพันธ์กับเวลา.....	14
รูปที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของหยดผลิตภัณฑ์ ในระหว่าง การทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	15
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมน้ำลำไยเริ่มต้น.....	18
รูปที่ 3.2 เครื่อง Spray dryer ที่ใช้ในการทดลอง.....	19
รูปที่ 3.3 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง.....	20
รูปที่ 3.4 ภาพแสดงการติดตั้งกรวย.....	21
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ผลิตได้จากการทดลอง และจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 1.....	29
รูปที่ 4.2 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ผลิตได้ตามสมการที่ 1 โดยกำหนดอัตราไหลลมร้อนคงที่ที่ (a) 1.679 m ³ /min (b) 1.8007 m ³ /min.....	30
รูปที่ 4.3 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ผลิตได้ตามสมการที่ 1 โดยกำหนดปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินคงที่ที่ 0.5.....	31
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้ จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	32
รูปที่ 4.5 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 2 โดยกำหนดปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินคงที่ที่ (a) 0.4 (b) 0.6.....	33
รูปที่ 4.6 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 2 โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนคงที่ที่ 165 C.....	34
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 3.....	35
รูปที่ 4.8 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 3 โดยปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินคงที่ (a) 0.5 (b) 0.6.....	36
รูปที่ 4.9 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 3 โดยกำหนดปริมาณการไหลลมร้อนคงที่ที่ (a) 1.452 m ³ /min (b),(d)1.679 m ³ /min (c)1.8007 m ³ /min.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าเวลาที่ใช้ในการละลาย ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 4.....	38
รูปที่ 4.11 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าเวลาที่ใช้ละลายผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 4 โดยกำหนดอุณหภูมิร้อนคงที่ที่ (a) 165 C (b) 175 C.....	39
รูปที่ 4.12 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าเวลาที่ใช้ละลายผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 4 โดยกำหนดอัตราการไหลลมร้อนคงที่ที่ 1.452 m ³ /min.....	39
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 5.....	41
รูปที่ 4.14 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่า water activity ผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 5 โดยกำหนดอุณหภูมิร้อนคงที่ที่(a) 165 C (b) 185 C.....	42
รูปที่ 4.15 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่า water activity ผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 5 โดยกำหนดปริมาณสัดส่วนมวลโตนเดกซ์ทรินคงที่ที่(a) 0.4 (b) 0.5 (c) 0.6 (d) 0.5....	43
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 5.....	44
รูปที่ 4.17 รูปแสดงพื้นผิวตอบของเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ผลิตได้ตามสมการที่ 6 โดยกำหนดปริมาณปริมาณลมร้อนที่ใช้คงที่ที่ (a) 1.45 m ³ / min (b) 1.80 m ³ / min..	45
รูปที่ 4.18 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 6 โดยกำหนดสัดส่วนมวลโตนเดกซ์ทรินคงที่ที่ 0.5	46
รูปที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ blower กับความเร็วลมของ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ลำไย (longan) จัดเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ทำรายได้เข้าประเทศเป็นอันดับต้นของกลุ่มสินค้าเกษตร รูปแบบที่ส่งออกมีทั้งในรูปแบบของลำไยสดและลำไยแปรรูป เช่น ลำไยกระป๋อง ลำไยแช่แข็ง ลำไยอบแห้ง โดยลำไยอบแห้งคิดเป็นสัดส่วนของของผลผลิตภัณฑ์ทั้งหมดร้อยละ 44 มีปริมาณและมูลค่า 6770 ตัน และ 436,727,000 บาท [1] ลำไยเป็นผลไม้ที่มีรสชาติหอมหวาน มีประโยชน์ทางโภชนาการ เป็นที่นิยมบริโภค ลำไยจึงเป็นผลไม้ที่มีราคาสูง แต่เนื่องจากแผนปรับโครงสร้างและระบบการเกษตรของรัฐบาลที่เปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวไม่เหมาะสมเป็นพื้นที่ปลูกผลไม้ทำให้เกษตรกรหันมาทำการปลูกลำไยกันเพิ่มขึ้น อีกทั้งมีการค้นพบสารเคมีที่ช่วยกระตุ้นการออกดอกลำไย ทำให้ลำไยออกผลผลิตได้ตลอดทั้งปี และเมื่อถึงฤดูกาล ผลผลิตลำไยสดจึงมีจำนวนมากเกินความต้องการบริโภคเกิดปัญหาลำไยล้นตลาด ทำให้มูลค่าลำไยลดลง อีกทั้งลำไยเป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย โดยลำไยสดที่ถูกเก็บจากต้นจะอยู่ได้เพียงแค่ 2-3 วันก็จะเกิดการเน่าเสีย ซึ่งเกิดจากเชื้อราและการเก็บที่ไม่เหมาะสมในที่ชื้นเนื่องจากมีพื้นที่การเก็บรักษาไม่พอกับปริมาณผลผลิต การแปรรูปจึงเป็นวิธีที่ช่วยขจัดปัญหาการเน่าเสียทั้งเพิ่มมูลค่าของสินค้าและสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

ในปัจจุบันการแปรรูปลำไยที่ใช้ยู่มีหลายวิธี เช่น การบรรจุกระป๋อง กวน อบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งส่วนใหญ่ลำไยเกือบครึ่งจะถูกแปรรูปด้วยการอบแห้ง ประเทศที่รับซื้อลำไยอบแห้งแหล่งใหญ่ได้แก่ จีน เกาหลีใต้ ฮองกง ซึ่งเป็นประเทศเมืองหนาวที่นิยมนำลำไยแห้งมาบริโภคโดยนำมาปรุงอาหาร เป็นส่วนผสมยา และเครื่องดื่มร้อน ชาวจีนเชื่อว่าลำไยเป็นผลไม้มงคล มีสรรพคุณเป็นยาบำรุงหัวใจ บำรุงประสาท บำรุงเลือด ช่วยทำให้เจริญอาหารเป็นสมุนไพร รูปแบบการบริโภคลำไยแห้งที่เป็นที่นิยมมากคือการทำเป็นน้ำลำไย แต่การทำน้ำลำไยแต่ละครั้งผู้บริโภคจะต้องใช้เวลาในการต้มนานเพื่อให้เนื้อลำไยคินตัวและสารในลำไยละลายออกมาจึงไม่สะดวกต่อการบริโภค สำหรับแนวโน้มของผลิตภัณฑ์อาหารในปัจจุบันพัฒนาไปสู่รูปแบบที่สะดวกและง่ายต่อการเก็บรักษาและพร้อมบริโภคได้ทันที ดังนั้นแนวทางที่จะศึกษาการทำลำไยผงที่ละลายน้ำดื่มได้ทันทีย่อมเป็นสิ่งที่น่าสนใจกับสถานการณ์ทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

การแปรรูปอาหารผงมีหลายวิธี อาทิเช่น โฟม-แมท (foam-mat) สเปาท์-เบด (spout-bed) และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) จากการสำรวจพบว่าได้มีผู้ศึกษาทดลองทำลำไยผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบระเหิด วิธีนี้มีขั้นตอนที่ซับซ้อนเนื่องจากจะต้องนำของเหลวมาทำเป็นโฟมก่อนนำไปจัดใส่ตะแกรงเพื่อทำการอบแห้งด้วยลมร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย [7] ส่วนการทำแห้งแบบระเหิดต้องใช้เวลาและแรงงานมากกว่า การทำผงโดยการใช้วิธีการทำแห้งแบบระเหิดไม่เหมาะกับอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงเพราะจะส่งผลให้ค่าความหนืดในโครงสร้างอาหารลดลง จึงเกิดความไม่สมดุลระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักกับแรงดึงดูด สำหรับการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม การทำผลิตภัณฑ์ผง

โดยทั่วไปการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ได้หลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิร้อนขาเข้า อุณหภูมิลมขาออก อัตราการไหลของลม อัตราการป้อนอาหารเหลว ความเข้มข้นของอาหารเหลวเริ่มต้น เป็นต้น และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มักพิจารณาจากความชื้น ความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการละลาย และสี ดังนั้นความเข้าใจถึงผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อสภาวะการผลิตย่อมเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมการผลิตให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ผงตาม ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของปัจจัยในการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อน ปริมาณลมร้อนที่ใช้ อัตราการป้อน และปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน ต่อคุณภาพของลำไยผงที่ได้

1.2.2 เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตลำไยผง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 วัตถุประสงค์ลำไยเตรียมจากลำไยแห้ง โดยใช้ลำไยแห้ง : น้ำในอัตราส่วน 1:4

1.3.2 ทำการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งรุ่น minilab SDE-10 ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอาหาร

1.3.3 ศึกษาค่าตัวแปรต้นที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ คือ

1.3.3.1 อุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าในช่วง $165 - 185^{\circ}\text{C}$

1.3.3.2 ปริมาณลมร้อนที่ใช้ในช่วง $1.452 - 1.679 \text{ m}^3/\text{min}$

1.3.3. ปริมาณการอัตราให้มอลโตเด็คซ์ตรินต่อของแห้งในลำไยเริ่มต้น 0.4 - 0.6

1.3.4 ตัวแปรตามที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความหนาแน่น การละลาย และเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ สี

1.3.5 ศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรกับลักษณะผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อน ปริมาณลมที่ใช้ อัตราการป้อน และปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินต่อคุณภาพลำไยผงที่ได้

1.4.2 ได้แนวทางของสภาวะการผลิตที่เหมาะสมต่อการทำแห้งลำไยผง

1.4.3 ช่วยส่งเสริมการแปรรูปลำไยให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นและลดการสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

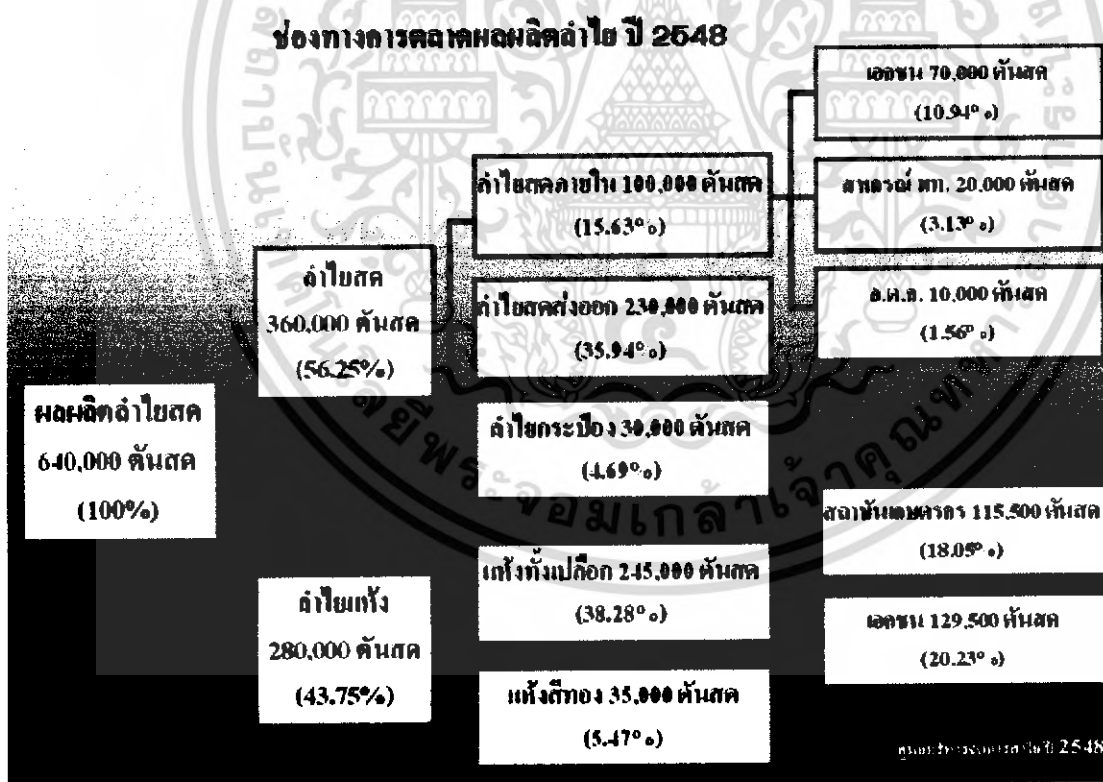
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลำไย ลักษณะกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ในอาหารจำพวกน้ำผลไม้ ผัก อาหารที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ และอื่นๆ เป็นต้น

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลำไย

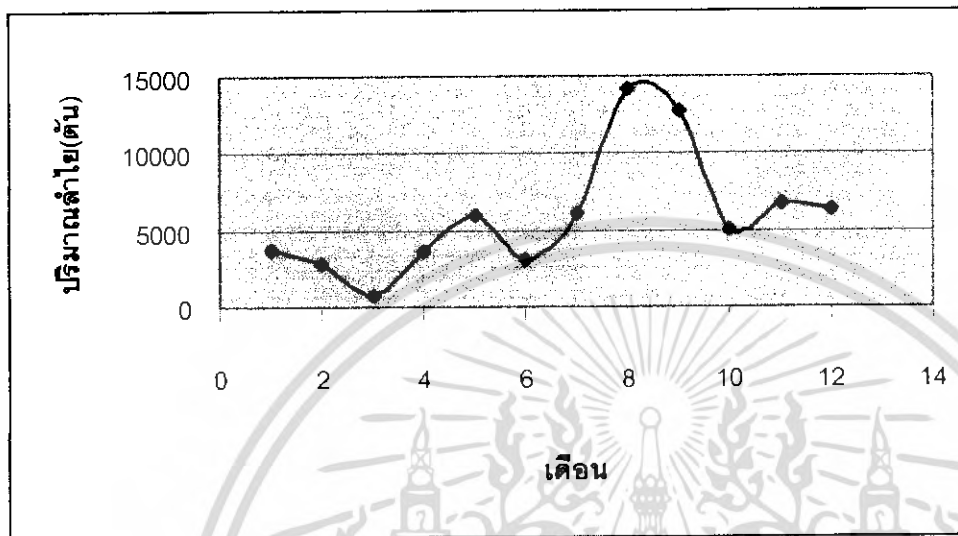
ลำไยจัดเป็นเป็นผลไม้เขตร้อนและกึ่งร้อนเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย มีการปลูกกันแพร่หลายในตอนเหนือของไทย ในปี พ.ศ. 2547 ปริมาณผลผลิตและมูลค่าของลำไยที่ส่งออก มีจำนวนถึง 71,563 ตันคิดเป็นมูลค่า 1,541 ล้านบาทและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากในปีปัจจุบัน (พ.ศ. 2548) ดังภาพที่แสดงถึงช่องทางทางการตลาดผลผลิตลำไย ดังรูป



รูปที่ 2.1 แสดงช่องทางทางการตลาดของลำไยในปี พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณผลผลิตของลำไยจะออกสู่ตลาดมากที่สุดในช่วงเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมของทุกปีดังแสดงในรูปที่ 2.2 8 จังหวัดที่มีการเพาะปลูกกันมากทางภาคเหนือ คือ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูนแพร่ น่าน ตาก และพะเยาซึ่งมีปริมาณสูงที่สุดในประเทศ [2]



รูปที่ 2.2 แสดงปริมาณลำไยที่ส่งออกในปี พ.ศ. 2547

พันธุ์ลำไยที่มีการปลูกกันในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 5 พวก [3]

1. ลำไยกะโหลก เป็นพันธุ์ที่ให้ผลขนาดใหญ่ มีเนื้อหนาและมีรสหวาน ปริมาณน้ำตาล 16 – 24 เปอร์เซ็นต์ มีหลายพันธุ์ คือ

1.1 พันธุ์สีชมพู ผลแบน เบี้ยว มีขนาดปานกลาง เปลือกมีสีน้ำตาลอ่อนปนเขียว เนื้อมีสีชมพู รสหอมหวาน มีขนาดเล็กกว่าทุกพันธุ์ ไม่หน้างัด เกิดดอกติดผลง่ายปานกลางไม่ล่าเสมอ

1.2 ตลับนาค ผลผลิตที่ได้มีจำนวนมาก และมีผลขนาดใหญ่ ค่อนข้างกลม เนื้อหนามีสีสีขาว เมล็ดเล็ก รสไม่ค่อยหวาน

1.3 พันธุ์เขียวเบี้ยว พันธุ์นี้สังเกตได้จากผลที่มีลักษณะเบี้ยวกว่าทุกพันธุ์ เมื่อแก่เต็มที่เปลือกจะมีสีเขียวตลอดเวลา เนื้อสีขาวนวล หรือเหลืองอ่อน มีรสหวานกรอบ และมีกลิ่นหอมเปลือกเป็นสีน้ำตาลอมเขียวและหนามาก ทำให้ทนต่อการขนส่ง

1.4 พันธุ์ชื่อ "ตอ" ทางภาคเหนือแปลว่า เบาท หรือ ก้อน ตั้งชื่อตามลักษณะที่เป็นพันธุ์เบา คือ ออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น ประมาณปลายเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พันธุ์ตอแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1.4.1. พันธุ์ช็อคช็อคแคระ(ช็อคแดง) ลำต้นมีการเจริญเติบโตเร็ว แต่ไม่นิยมปลูก เนื่องจากออกดอกติดผลไม่ดี และเมื่อผลสุกกักเก็บผลไม่ทันผลจะร่วงเสียหายมาก

1.4.2 พันธุ์ช็อคช็อคเขียว ออกดอกติดผลง่ายแต่อาจไม่สม่ำเสมอ เปลือกมีสีน้ำตาลแก่ เนื้อสีส้มค่อนข้างเหนียว ไม่กรอบ รสหวาน มีปริมาณน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์

1.5 พันธุ์แดง พันธุ์นี้มีเปลือกลักษณะค่อนข้างเป็นสีแดง ผลกลมเนื้อมี กลิ่นคาวคล้ายกำมะถัน ไม่ทนแล้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือพันธุ์แดง 1 กับพันธุ์แดง2 มีเนื้อบางกว่า เมล็ดค่อนข้างใหญ่ ต่างกับที่แดง 2 มีสีของผลคล้ำกว่าและมีน้ำหนักมากกว่า มีปริมาณน้ำตาล 17 เปอร์เซ็นต์

1.6 พันธุ์ดำ พันธุ์นี้มีเปลือกบางมีผิวขรุขระสีเขียวคล้ำ เนื้อมีสีขาวใสหรือสีฟ้า กรอบล่อน รสหวานจัด เมล็ดมีขนาดเล็ก เป็นพันธุ์ที่สามารถทนแล้งได้ดี มีปริมาณน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์

1.7 พันธุ์เหลือง ออกผลดกผลค่อนข้างกลม เนื้อมีสีขาวนวล

1.8 พันธุ์หัว แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ พันธุ์หัวช็อคแดง ผลกลมแป้น เนื้อสีขาวครีม หวานกรอบรสไม่จัด เปลือกมีสีน้ำตาลไหม้ ส่วนพันธุ์หัวช็อคขาว มีผลเป็นรูปหัวใจกลมหัวเบี้ยว เปลือกมีสีน้ำตาลอ่อน เนื้อกรอบ ไม่หวานจัด

2. ลำไยกระดุก เป็นพันธุ์พื้นเมืองออกดอกและเก็บผลพร้อมกับพันธุ์กะโหลก มีผลกลม ขนาดเล็ก เปลือกหนาเป็นสีน้ำตาลแดง เนื้อมีน้ำมาก และมีเนื้อน้อย

3. ลำไยธรรมดา หรือเรียกว่าพันธุ์กะโหลกไม้เท้า มีผลขนาดกลางระหว่างลำไยกะโหลกและลำไยกระดุก มีเนื้อหนากว่าลำไยกระดุก เนื้อกรอบบางให้ผลดก

4. ลำไยสายน้ำผึ้ง มีลักษณะเหมือนลำไยธรรมดา มีเนื้อเหลือง เนื้อกรอบ มีกลิ่นหอม เมล็ดเล็ก รสหวาน

5. พันธุ์พิเศษ ได้แก่ลำไยเถา หรือลำไยเครือ มีใบดกและผลคล้ายลำไย ปลูกเพื่อเป็นไม้ประดับ มากกว่าที่รับประทาน

แต่อย่างไรก็ตามลำไยพันธุ์ช็อคช็อคเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมาก และเป็นพันธุ์ที่มีการนำไปแปรรูปเป็นลำไยแห้งจำนวนมาก ในการผลิตน้ำลำไยผู้ผลิตมักใช้ลำไยอบแห้งมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นมากกว่าลำไยสดเนื่องจากลำไยอบแห้งจะให้กลิ่นรสของน้ำลำไยที่ดีกว่า

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของลำไย

สารอาหาร	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยแห้ง
ความชื้น	81.10	17.80
ไขมัน	0.11	0.40
เส้นใย	0.28	1.60
โปรตีน	0.97	4.60
เถ้า	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต	16.98	72.70
พลังงานความร้อน(กิโลแคลอรี/100กรัม)	72.79	311.80
แคลเซียม(มิลลิกรัม/100กรัม)	5.70	27.70
เหล็ก(มิลลิกรัม/100กรัม)	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100กรัม)	35.30	159.50
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100กรัม)	69.20	137.80
โซเดียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	-	4.50
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	-	2012.00
ไนอาซีน (มิลลิกรัม/100กรัม)	-	3.03
วิตามินบี (มิลลิกรัม/100กรัม)	-	0.375

2.2 การอบแห้งแบบพ่นฝอย [4]

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้นที่เป็นของเหลวที่เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน(homogeneous solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน(non-homogeneous solution) เป็นการการอบแห้งแบบรวดเร็ว อาหารจะสัมผัสกับความร้อนในระยะเวลานั้น การอบแห้งแบบพ่นฝอยจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ จะให้ของเหลวหรืออาหารถูกทำเป็นละอองฝอยด้วยหัวฉีด (atomizer) เข้าไปในห้องทำแห้ง ซึ่งมีลมร้อนไหลผ่านเข้ามา ทำให้ละอองฝอยของอาหารสัมผัสกับลมร้อนและเกิดการระเหยน้ำในละอองฝอย อนุภาคที่แห้งจะลอยกระจายในลมร้อนแล้วเข้าสู่เครื่องแยกไซโคลน ออกจากเครื่องเป็นผลิตภัณฑ์ผง อาหารที่ป้อนเข้าไปจะถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ตัวแปรที่ถูควบคุมเช่น ความหนืด ความเข้มข้น และองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ลักษณะการไหล ตัว Atomizer (หัวฉีด) การส่งผ่านความร้อนและมวล การแยกอาหารแห้งออกจากกระแสลม เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะอาหารผงและประสิทธิภาพการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารที่ใช้ในการ Spray drying สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.แบบไม่เหนียวเหนียว (Non-sticky) ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพแน่นอน มีการดูดซับน้ำที่น้อยกว่าและมีอัตราการไหลไปยัง chamber ที่คงที่ การออกแบบกระบวนการผลิตและเครื่อง spray drying สามารถทำได้โดยง่าย เช่นผลิตภัณฑ์ประเภท หางนม โปรตีน แบ่ง

2.แบบเหนียวเหนียว (Sticky) จะมีผลิตภัณฑ์ที่คงเหลืออยู่ในรูปของไคร์ปหรือติดอยู่ตามผนังของห้อง chamber ซึ่งจะทำให้ค่าประสิทธิภาพต่ำลงและเกิดปัญหาในกระบวนการ โดยอาจจะเกิดการการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงไม่กี่องศาระหว่างกระบวนการผลิตก็อาจจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ขึ้นได้ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภท น้ำผัก น้ำผลไม้ พวกร้านตาลแลคโตส

2.2.1 ลักษณะการไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

มีหลายแบบโดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งได้ 4 แบบ

1. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดสวนทางกัน

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดสวนทางกัน ของเหลวจะถูกพ่นใกล้กับส่วนบนของห้องอบแห้งและตกลงมา ขณะที่อากาศจะนำเข้าสู่เครื่องใกล้กับด้านล่างของห้องอบแห้ง และเคลื่อนที่สู่ด้านบนผ่านหยดเหลว ผลิตภัณฑ์ที่แห้งจะออกจากด้านล่างของห้อง ขณะที่อากาศจะถูกกำจัดออกไปใกล้ส่วนบนของห้องอบแห้ง อากาศที่เข้าซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง จะสัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ซึ่งแห้งหรือเกือบแห้ง แต่ข้อเสียของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากความร้อนที่มีต่อผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ อัตราไหลของอากาศต้องค่อนข้างต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์ติดไปกับอากาศในปริมาณมาก เมื่ออากาศถูกดูดออกจากด้านบนของเครื่อง

2. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน จะมีการผสมอากาศเข้ากับหยดของเหลวที่เกิดขึ้นใหม่ที่เครื่อง Atomizer หลังจากการผสมตอนต้นแล้ว ผลิตภัณฑ์และอากาศจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับขณะที่กระบวนการทำแห้งดำเนินต่อไปผลิตภัณฑ์และอากาศส่วนใหญ่จะออกจากเครื่องอบแห้งที่ทางออกด้านล่างและเคลื่อนไปยังระบบแยก การจัดตัวเช่นนี้เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อความร้อน เนื่องจากผลิตภัณฑ์เหลวสัมผัสกับอากาศเข้าอุณหภูมิสูงและผลิตภัณฑ์แห้งสัมผัสกับอากาศร้อนหลังจากอุณหภูมิลดลงอย่างมาก

3. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน

การไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน ผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่เครื่องด้วยตัว Atomizer ที่อยู่ใกล้กับศูนย์กลางห้องอบแห้ง อากาศที่เข้าส่วนบนจะเคลื่อน ที่ลงมาด้านล่างของห้องอบแห้ง ซึ่งจะสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนไปยังช่องอากาศภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์จะออกจากเครื่องทางออกใกล้กับส่วนล่างของห้องอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องสูง อาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ระบบนี้มีความสามารถในการระเหยต่อหน่วยปริมาตรสูงขึ้น

4. เครื่องอบแห้งแบบฝอยที่มีการไหลขนานกัน

เครื่องอบแห้งแบบฝอยที่มีการไหลขนานกัน การไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศค่อนข้างจะเป็นเส้นตรงมาเสมอ จากด้านบนสู่ด้านล่างของห้องอบแห้งที่แคบ ผลิตภัณฑ์และอากาศจะออกจากห้องอบแห้งด้วยกัน แล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่ใช้แยกของระบบ ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบนี้จะแตกต่างจากชนิดกระแสน้ำไหลตามกันคือ ความเร็วลมที่ใช้สูง ทำให้อุณหภูมิอากาศเข้าสูง ความเร็วลมนี้โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 2-3 เมตรต่อวินาที

2.2.2 หัวฉีดที่ใช้พ่นของเหลวในเครื่องอบแห้ง

มีหลายชนิดจำแนกออกเป็น 4 ชนิด คือ

1. Centrifugal pressure nozzle หัวจ่ายนี้จำเป็นต้องใช้ความดันในการอัดของเหลวผ่านช่องเปิดเล็กๆ แล้วเกิดแผ่นของเหลวขึ้นซึ่งจะแตกออกเป็นหยดเล็กๆ ตามต้องการสำหรับการอบแห้งแบบฝอย เครื่อง nozzle นี้จะทำให้เกิดแผ่นของเหลวลักษณะเป็นกรวย ซึ่งเกิดจากการบีบของเหลวให้ไหลผ่านช่องเปิดวงแหวนแคบๆ

2. Fan-spray nozzle ใช้ทำให้เกิดหยดเหลวโดยกระทบกระแสน้ำของเหลวบนช่องเปิดเล็กๆ ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้เกิดแผ่นของเหลวในระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบของกระแสน้ำของเหลว แผ่นบางๆ ของของเหลวจะเกิดขึ้นแล้วแตกออกเป็นหยดของเหลว Fan-spray nozzle จะทำงานได้ดีที่สุดที่ความดันสูง และมีมุมการพ่นกว้างมาก

3. Two-fluid atomizer หลักการคือการใช้กระแสก๊าซความเร็วสูงเพื่อให้กระทบกับกระแสน้ำของเหลวความเร็วต่ำ แล้วแตกออกเป็นหยดของเหลวเล็กๆ การกระทบของตัวของของเหลวในกระแสก๊าซจริงๆ อาจเกิดขึ้นภายในตัวอะตอมไมเซอร์ โดยทั่วไปตัวอะตอมไมเซอร์นี้ มักจะใช้กำลังมากและอาจจะไม่ประหยัดที่ความจุสูง หยดของของเหลวละเอียดเล็กๆ สามารถเกิดขึ้นที่อัตราการไหลต่ำ และใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง

4. Rotary atomizers จะใช้แรงเหวี่ยงให้เกิดแผ่นของของเหลว ซึ่งแตกออกเป็นหยดตามต้องของเหลวจะส่งเข้าไปยังผิวที่หมุนและเคลื่อนผ่านผิวเพื่อให้เกิดแผ่นบางที่เส้นรอบวง เนื่องจากแรงที่ทำให้เกิดแผ่นของเหลวขึ้นกับความเร็วของการหมุนโดยตรง ตัวอะตอมไมเซอร์ชนิดนี้สามารถใช้กับอัตราการป้อน และคุณสมบัติของเหลวได้ในช่วงกว้างขนาดของหยดเหลว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของจานและอัตราการป้อน

2.2.3 การส่งผ่านความร้อนและมวลในห้องอบแห้ง

รายละเอียดเกี่ยวกับการส่งผ่านความร้อนและมวลในห้องอบแห้งที่แท้จริงยังไม่ทราบมาก เนื่องจากมีปัจจัยหลายตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และการกระจายตัวของละออง ทำการวัดค่าได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามจากทฤษฎีสามารถอธิบายดังนี้

1. ในระยะเริ่มต้น อุณหภูมิของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก
2. ในระยะที่สอง เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นภายในอนุภาคเพิ่มขึ้นและค่า ปริมาณน้ำอิสระ ที่ผิวหน้ามีค่าลดลง ดังนั้นทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าสูงถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก
3. ในระยะที่สามการแพร่ภายในจะถูกจำกัดลง
4. ปริมาณความชื้นวิกฤตจะลดต่ำลง จนทำให้ผิวหน้าของอนุภาคไม่ยอมให้สารกลืนรสผ่านไป ได้ ดังนั้นสามารถป้องกันการสูญเสียกลืนรสได้

2.2.4 การแยกอาหารผงจากระบบการอบแห้ง

เมื่อการระเหยนี้ออกจากหยดของเหลวเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว อาหารผงจะตกลงสู่ส่วนล่างของถังอบแห้งและถูกดูดออกมาตามท่อลมออก ซึ่งอาหารผงสามารถแยกออกจากอากาศร้อนด้วยระบบไซโคลน (Cyclone separator) โดยอาศัยแรงเหวี่ยงและการถ่ายเทโมเมนตัม สามารถแยกของแข็งได้ถึงร้อยละ 95-98 ของปริมาณของแข็ง

2.3 ค่าปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้^[5]

ได้มีรายงานแสดงผลความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ผง ดังนี้

2.3.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

ที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ อุณหภูมิอากาศเข้าและอุณหภูมิอากาศออกมีผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศเข้าเป็นการเพิ่มแรงขับ (driving force) ของน้ำในอนุภาคที่จะระเหยออกไป เป็นผลให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) ของการอบแห้ง ในสภาพการทำงานจริง ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นสุดท้ายค่าหนึ่งเท่านั้น เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามต้องการ ดังนั้นอุณหภูมิอากาศออกต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้แน่นอน ในบางกรณีต้องเลือกสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิอากาศออกต่ำซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เพื่อป้องกันการรวมตัวหรือดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ

2.3.2 ความเข้มข้น

ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายป้อน โดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ จะมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปริมาณของแข็งในอนุภาคที่พ่นฝอยจะเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการระเหยน้ำยังคงเดิม ดังนั้นอัตราส่วนของความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่ในอนุภาคจะน้อยกว่าในกรณีที่มีปริมาณของแข็งในสารละลายป้อนต่ำ ผลที่ได้ตามมาคือ ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง

2.3.3 อัตราการป้อน

การเพิ่มอัตราการป้อน โดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้อนุภาคที่พ่นฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ด้วยและความหนาแน่นต่ำ และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนโดยที่อัตราการไหลของอากาศร้อนเข้าและปริมาณความร้อนที่ให้ระบบคงที่มีผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

2.3.4 การไหลเวียนของลมร้อน

ลมแห้งที่เข้าในห้องอบแห้งจะถูกควบคุมอัตราการไหลโดยมอเตอร์ สามารถปรับระดับให้อัตราลมร้อนเข้าออกเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ การปรับการไหลเวียนลมร้อนมีผลต่อความดันภายในห้องอบลมร้อน ถ้าความดันเปลี่ยนก็จะมีผลต่อปริมาณการระเหยของไอน้ำ ดังนั้นระดับการหมุนเวียนลมภายในห้องอบแห้งมีผลต่อประสิทธิภาพอุปกรณ์ต่อการทำแห้ง โดยอัตราการไหลเวียนลมร้อนสูงทำให้การแยกในไซโคลนมีประสิทธิภาพสูงและอัตราการไหลเวียนลมร้อนต่ำทำให้ระดับความชื้นคงเหลือในผลิตภัณฑ์ต่ำ

2.3.5 บีบ

บีบที่ใช้อัดของเหลวเข้าสู่หัวฉีด ความเร็วของบีบมีผลต่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและออก อัตราเร็วบีบมีผลต่ออัตราการไหลเข้า ปริมาณของเหลวผ่านมากก็ต้องใช้พลังงานมากในการระเหยน้ำออก การที่อุณหภูมิทางออกลดลงนี้เป็นข้อจำกัดบีบทำให้อนุภาคไม่แห้งพอมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เหนียวเหนืดหรือผนังห้องอบแห้งเปียก ขนาดบีบขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ความหนืดของของเหลวที่จะทำแห้ง และขนาดของท่อ

การเพิ่มขนาดบีบทำให้อุณหภูมิทางออกลดลงและทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทางเข้าและออกเพิ่มขึ้น การลดขนาดของบีบและคงอุณหภูมิขาเข้าและอัตราการไหลเวียนลมร้อนไว้จะเพิ่มความแห้งให้กับตัวผลิตภัณฑ์

2.3.6 อัตราการพ่น (spray)

อัตราการพ่นคือปริมาณลมพองเพียงที่ใช้อัดให้ของเหลว(ของผสม สารแขวนลอย)เกิดการกระจาย อาจใช้แก๊สอื่นในการอัดได้ อัตราการพ่นมีผลต่อขนาดผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้ขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้เล็กลงและความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้นทำให้อนุภาคของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีขนาดใหญ่และความพรุนมาก

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าปัจจัยตัวแปรในกระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

ตัวแปร ต้น / ตัวแปร ตาม	อัตราการดูดอากาศออก(เพิ่ม)	ความชื้นของอากาศ(เพิ่ม)	อุณหภูมิขาเข้า(เพิ่ม)	อัตราของอากาศที่เข้า (เพิ่ม)	อัตราการป้อนวัตถุดิบ(เพิ่ม)	ตัวทำละลายที่แทนที่น้ำ	ความเข้มข้น(เพิ่ม)
อุณหภูมิขาออก	(เพิ่ม) ความร้อนสูญเสียในกระบวนการผลิตน้อยลง	(เพิ่ม เล็กน้อย) มีพลังงานถูกเก็บสะสมในรูปความชื้น	(เพิ่มมาก) เป็นอัตราส่วนโดยตรง	(ลด เล็กน้อย) ปริมาณอากาศที่ต้องให้ความร้อนเพิ่มขึ้น	(ลด)เพิ่ม ปริมาณพลังงานในการให้ความร้อน	(เพิ่มมาก) สูญเสียพลังงานในการทำให้ตัวทำละลายร้อนน้อยลง	(เพิ่ม) น้ำที่ระเหยมีปริมาณลดลง
ขนาดอนุภาค	-	-	-	(ลดลง มาก) ต้องใช้พลังงานมากในการกระจาย	(เพิ่ม เล็กน้อย) ทำให้ของไหลมีการกระจายดีขึ้น	(ลด เล็กน้อย) ลดแรงตึงผิว	(เพิ่มมาก) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น
ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์	(เพิ่ม) จะสูญเสียความดันบางส่วนในการระเหยน้ำ	(เพิ่ม) จะสูญเสียความดันบางส่วนในการทำให้อากาศแห้ง	(ลด) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะต่ำลง	-	(เพิ่ม) น้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น	(ลดลง มาก) ไม่มีการป้อนน้ำทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งมากขึ้น	(ลด เล็กน้อย) น้ำที่ระเหยน้อยลงทำให้สูญเสียความดันลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า yield	(เพิ่ม) ทำให้	(ลด เล็กน้อย)	(เพิ่ม เล็กน้อย)	-	ขึ้นอยู่กับ การปรับแต่ง	(เพิ่ม) พวก ที่มี คุณสมบัติ ไม่ชอบน้ำ จะทำให้ การทำแห้ง ง่ายขึ้น	(เพิ่มเล็ก น้อย) อนุภาคที่ ใหญ่ทำให้ ประสิทธิภาพ ใน การแยก ขนาดดีขึ้น
	ประสิทธิภาพ ในการ แยกขนาด ที่ไซโคลอนดี ขึ้น	ความชื้นที่ มากขึ้นจะ ทำให้ ผลผลิตกัณฑ์ ติดกัน	ผลผลิตกัณฑ์ ที่แห้งจะ ช่วย ป้องกันการ ติดกัน				

2.4 การคืนรูปของอาหารแห้ง [6]

การคืนรูปของอาหารแห้งหมายถึง “การดูดกลับคืนของอาหารแห้งเพื่อเข้าสู่สภาพเดิมคล้ายก่อนการทำแห้ง” การคืนรูปของอาหารแห้งจะไม่มีลักษณะเป็นการย้อนกลับของการทำแห้ง เนื่องจากเหตุผลหลายประการ คือ เกิดจากปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ขององค์ประกอบ หรือเกิดจากการพองตัวของผิวด้านนอกเมื่อดูดน้ำเข้าไปก่อน และส่วนนี้จะกีดกัณฑ์อาหารที่หดตัวอยู่ด้านในไม่ให้คืนรูป หรือ จากการที่มีตัวถูกละลายบางส่วนจากอาหารละลายออกมากับน้ำที่ใช้คืนรูปทำให้เกิดการหดตัวของเซลล์

ในกรณีที่อาหารแห้งมีลักษณะเป็นชิ้น เช่นอาหารที่หั่นเป็นแผ่นบาง หรือหั่นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ การคืนรูปจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของชิ้นอาหารนั้น และขึ้นกับว่าองค์ประกอบของอาหารที่สามารถยึดเกาะน้ำไว้ได้ เช่น โปรตีน และแป้ง เกิดการเปลี่ยนแปลงจากความร้อนในระหว่างทำแห้งมากน้อยเพียงใด ผักแห้งที่ได้จากกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนจะมีการคืนรูปขึ้นกับอัตราการทำแห้งในช่วงแรก อาหารที่ได้จากการทำแห้งในสภาวะแช่แข็งจะคืนรูปได้รวดเร็วเนื่องจากมีโครงสร้างโปร่ง ถ้าในระหว่างการอบแห้งเกิดการทำลายจากความร้อนมากเกินไปหรือเกิดความเสียหายเนื่องจากกระบวนการการแช่แข็งในกรณีของการทำแห้งในสภาวะแช่แข็ง จะทำให้ความสามารถในการยึดเกาะน้ำของอาหารคืนรูปต่ำลง ทำให้อาหารหลังจากคืนรูปมีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสไม่ดี

ส่วนในกรณีของอาหารแห้งที่เป็นผง ปัจจัยที่มีผลต่อการคืนรูปจะมีหลายอย่าง คือ

1. ความสามารถในการเปียกน้ำ (wet ability) ซึ่งหมายถึง “ความสามารถของผงอาหารที่จะดูดน้ำที่ผิวของชิ้น” ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของการคืนรูป สมบัติข้อนี้จะขึ้นกับขนาดชิ้นอาหาร อาหารที่มีขนาดเล็กจะมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง การเปียกน้ำมักจะเกิดขึ้นในลักษณะที่เป็นก้อนใหญ่ ซึ่งภายในยังคงมีอาหารที่แห้งอยู่น้ำจะซึมเข้าไปภายในก้อนได้ยากขึ้นทำให้ผงแห้งที่อยู่ภายในเปียกน้ำได้ยากขึ้น ถ้าผงอาหารมีขนาดใหญ่ขึ้น การเกาะกันเป็นก้อนเมื่อคืนรูปนี้จะลดลง ลักษณะผิวตามธรรมชาติของผงอาหารก็จะมีผลต่อการเปียกน้ำ ตัวอย่างเช่น ถั่วที่ผิวมีไขมันอิสระ การเปียกน้ำจะลดลง การเลือกใช้สารบางอย่างที่เป็น surface active เช่น เลซิทีน จะช่วยให้อาหารที่มีส่วนประกอบของไขมันเปียกน้ำได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **ความสามารถในการจม (Sink ability)** หมายถึง “ความสามารถที่ผงของอาหารจะจมลงในน้ำอย่างรวดเร็ว” ลักษณะนี้ขึ้นกับขนาดและความหนาแน่นของผงอาหาร อาหารที่มีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นมากจะจมน้ำได้เร็วกว่าอาหารที่ละเอียดและมีความหนาแน่นต่ำ อาหารที่มีโครงสร้างโปร่ง ภายในมีอากาศอยู่มากจะจมช้า เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ

3. **ความสามารถในการกระจายตัว (Disperse ability)** หมายถึง “ความสามารถของผงอาหารที่จะกระจายออกไปในน้ำ” ผงอาหารที่จับกันเป็นก้อนได้ง่ายเมื่อละลายน้ำจะมีความสามารถในการกระจายตัวต่ำ และอาหารที่มีความสามารถในการจมมากขึ้นจะมีการกระจายตัวที่ดีขึ้น

4. **ความสามารถในการละลาย (Solubility)** หมายถึง “อัตราเร็วของผงอาหารที่ละลายน้ำ” ซึ่งจะขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของอาหารและสถานะทางกายภาพ

สมบัติทั้ง 4 ประการนี้ จะมีผลต่อการคืนรูปของอาหารแห้งที่เป็นผง โดยสมบัติเหล่านี้จะต้องสมดุลกัน ถ้าสมบัติประการใดเปลี่ยนแปลงไป พฤติกรรมการคืนรูปของอาหารนั้นจะเปลี่ยนไปด้วย สมบัติอย่างเช่น ขนาดของชิ้น และความหนาแน่น นอกจากจะมีผลต่อกาคืนรูปแล้ว ยังมีผลต่อการขนถ่ายและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์อีกด้วย การเปลี่ยนแปลงสมบัติของอาหารที่ป้อนเข้าเครื่อง คือ อุณหภูมิ ความหนืด ปริมาณของแข็ง การเปลี่ยนแปลงการจับกันเป็นฝอย คือ ชนิดของหัวฉีด ความดันหรือความเร็วที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงของอากาศร้อนที่ใช้ คือ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นและความหนา การปรับสภาวะเหล่านี้ให้เหมาะสมจะทำให้อาหารแห้งที่ได้มีการคืนรูปที่ดีขึ้น

การปรับปรุงความสามารถในการคืนรูปอีกประการหนึ่ง อาจทำได้โดยการทำให้อาหารแห้งที่มีขนาดเล็กเกินกว่าจะมีการคืนรูปได้ดีรวมกันมีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดของชิ้นอาหารที่เหมาะสมจะทำให้อาหารแห้งเกิดการเป็ยกและการกระจายตัวดียิ่งขึ้น

2.5 มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) [6]

มอลโตเด็กซ์ตริน เป็นส่วนผสมของแซคคาไรด์ที่มีคุณค่าทางอาหาร และทำให้บริสุทธิ์แล้ว ได้จากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสแป้ง โดยมีค่า Dextrose Equivalent (DE) น้อยกว่า 20

มอลโตเด็กซ์ตรินมีคุณสมบัติค่อนข้างที่จะไม่ดูดความชื้นเมื่อเทียบกับแอมไซ (Corn syrup) โดยเฉพาะที่มีค่า DE ต่ำๆ จะมีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อยที่สุด นอกจากนี้มอลโตเด็กซ์ตรินยังมีคุณสมบัติให้ลักษณะความเป็นเนื้อ (body) แก่ผลิตภัณฑ์

มอลโตเด็กซ์ตรินมักจะผลิตออกมาในรูปผงแห้ง มากกว่าที่จะผลิตในรูปของสารละลายโดยมีความชื้นน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นผงสีขาว ร้อน มี Bulk density อยู่ในวง 32 ถึง 36 ปอนด์ต่อตารางฟุต และมีความหวานเล็กน้อยหรืออาจจะไม่หวานเลยขึ้นอยู่กับค่า DE มอลโตเด็กซ์ตริน และมีคุณสมบัติอย่างอื่นที่เป็นประโยชน์อีก คือช่วยในการเก็บรักษากลิ่นได้อีกมีการใช้

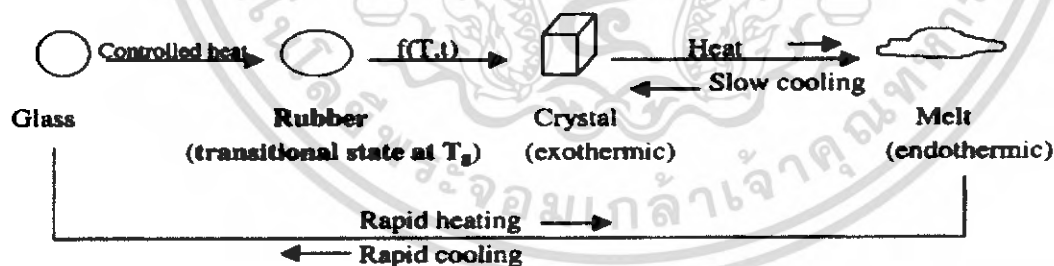
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ encapsulation มีความหนืดลดลงเมื่อค่า DE สูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณของแข็งด้วย ถ้าหากมีปริมาณของแข็งสูง ความหนืดก็จะสูงขึ้น เมื่อนำมอลโตเด็คตรินไปละลายน้ำอาจได้สารละลายใสหรือขุ่นขึ้นอยู่กับชนิดของมอลโตเด็คตรินที่นำมาใช้ นอกจากนี้มอลโตเด็คตรินยังสามารถละลายในอาหารที่เป็นของเหลว เช่น นม น้ำผลไม้ ชูป และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เป็นสารละลายน้ำได้ดี โดยอาจจะใส่เป็นผงโดยตรงหรือนำมาละลายในน้ำก่อน ซึ่งความสามารถในการละลายของมอลโตเด็คตรินจะขึ้นอยู่กับค่า DE และชนิดของอาหารที่จะนำมาใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Master K. [7] ได้รายงานว่า อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลหรือกรดสูงเมื่อนำมาอบแห้งแบบพ่นฝอยพบว่าเกิดปัญหาไม่สามารถให้ผลิตภัณฑ์ผงออกมาจากเครื่องได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเหนียวเหนียว (sticky) ติดกับบริเวณผนังห้องอบแห้ง (drying chamber) และตามทางผ่านก่อนออกจากเครื่องแยก ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจากเครื่อง (recovery product) ต่ำหรือแทบจะไม่ออกเลย

Bhandari และคณะ [8] ศึกษาพบว่าลักษณะเหนียว(sticky)ของผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดขึ้นในการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีความสัมพันธ์กับค่า อุณหภูมิของอาหารค่าหนึ่งที่เรียกว่า Glass transition temperature (T_g) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดส่วนประกอบและความชื้นของอาหาร ของเหลวที่ถูกทำแห้งอย่างรวดเร็วจะมีรูปร่างไม่เป็นผลึก (amorphous) มีลักษณะคล้ายแก้ว(glassy) เมื่อให้อุณหภูมิไปเรื่อยๆ จะเกิดเป็นลักษณะเป็นยางเหนียว (rubber) ที่อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้คือ T_g ซึ่งค่านี้ใช้บ่งชี้อุณหภูมิที่อาหารเริ่มมีเกิดลักษณะเหนียวเมื่อถูกทำแห้งอย่างรวดเร็วได้



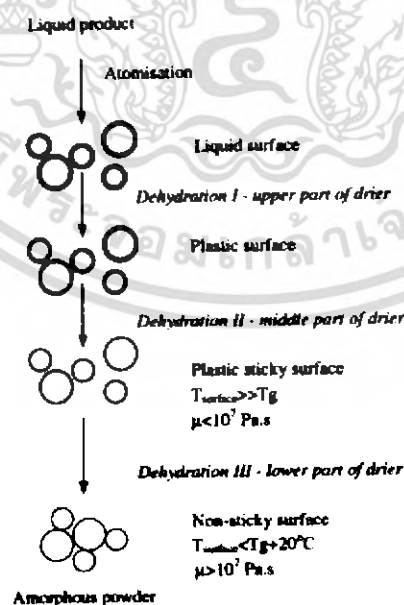
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างจาก Amorphous glass ผ่าน rubbery เป็น crystal ที่สัมพันธ์กับเวลา

Roos & Karel [9] ได้ทำการศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์กับค่าความหนืด (viscosity) ของอาหารในการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าที่ระดับช่วงอุณหภูมิ $T_g + 10 - 20$ °C ลงไปจะมีค่าความหนืดมากกว่า 10^7 Pa.s ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นจุดที่ผลิตภัณฑ์ไม่เกิด sticky ผลิตภัณฑ์ผงมีการไหลอิสระไม่ติดกัน แต่การใช้อุณหภูมิดังกล่าวในการทำแห้งอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงโดยไม่เติมมอลโตเด็คตรินเลยจะทำให้มีการเสียดำใช้จ่ายสูงไม่คุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bhandari และคณะ [10] ศึกษาการอบแห้งแบบพ่นฝอยอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงจะเกิด sticky เนื่องจากน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในอาหารมี ค่า T_g ต่ำกว่าอุณหภูมิสุดท้ายของอาหารผงที่ออกจากกระบวนการอบแห้ง (ค่า T_g ของน้ำตาลบางชนิดแสดงในตารางที่ ข ในภาคผนวก) จึง ได้มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในอาหารเหลวเพื่อช่วยในการทำแห้ง โดยการเติมมอลโตเดกซ์ตรินที่มี T_g สูงจะทำให้ ค่า T_g โดยรวมของอาหารเพิ่มขึ้น และสร้างสมการค่าดัชนีการทำแห้งสำเร็จที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงออกจากเครื่องที่ 50% ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างอาหาร น้ำสับประรด และน้ำผึ้งใช้อุณหภูมิลมร้อน ขาเข้า/ขาออก คือ $150/65^\circ\text{C}$ ที่ความเข้มข้น 75°Brix และเติมมอลโตเดกซ์ตริน DE 6 โดยคำนวณปริมาณการเติมมอลโตเดกซ์ตรินจากสมการดังกล่าว พบว่าในอาหารทั้ง 2 ชนิดต้องมีการเติม มอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณเกินร้อยละ 40 ของปริมาณของแข็งเพื่อทำแห้งแบบพ่นฝอยได้สำเร็จ

Athanasia M. Goula [11] [12] และคณะได้ทำการทดลองการทำแห้งน้ำมะเขือเทศแบบพ่นฝอยโดยใช้ของเหลวที่มีความเข้มข้น 14 % อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่ำประมาณ $120-140^\circ\text{C}$ อัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ทดลองประมาณ $17.5 - 22.75 \text{ m}^3/\text{h}$ และทำการลดความชื้นลมร้อนก่อนใช้อบแห้งร่วมด้วยพบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูง อัตราการไหลของลมร้อนมากจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้มากขึ้น ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเพิ่ม แรงดันอากาศที่หัวพ่นของเหลว และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และลดอัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มเมื่อลดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและอัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ทำแห้งและเพิ่ม แรงดันอากาศที่หัวพ่นของเหลว การละลายของผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้นเมื่อลด แรงดันอากาศที่หัวพ่นของเหลวและอัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ทำแห้งและเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า



รูปที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของหยดผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Milton Cano-Chauca และคณะ[13] ได้ทำการศึกษาสารที่ใช้เติมในอาหารเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มะม่วงผอบแห้งด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย สารช่วยทำแห้งที่ใช้ศึกษา คือมอลโตเด็คซ์ตริน (DE20), Arabic gum และ waxy starch ใช้ความเข้มข้นของเหลวที่ทำแห้ง 12°Brix อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C อุณหภูมิลมร้อนขาออกประมาณ 70 -75 °C อัตราการป้อนของเหลว 10 mL/min อัตราการไหลของลมร้อน 0.7 m³/min คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาคือลักษณะโครงสร้างของผอบแห้ง hygroscopicity stickiness และการละลาย โดยพบว่า ที่การละลายที่มีเซลลูโลส 9 % ปริมาณการเติมมอลโตเด็คซ์ตริน , Arabic gum และ waxy starch เท่ากับ 72%, 71% และ31% ตามลำดับ

2.7 วิธีวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ

วิธีวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบในการใช้เทคนิคทางสถิติและคณิตศาสตร์ที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาที่มีผลตอบอยู่หลายตัวแปร(Dependent Variable) และมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้ โดยจะใช้การออกแบบการทดลอง Box –Behnken หรือ Central Composite Design ซึ่งเป็นการออกแบบสำหรับใช้หาพื้นที่ผิวตอบ การออกแบบนี้มีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนการทดลองที่ต้องการและการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนได้อีกด้วย

เมื่อทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ เนื่องจากวิธีพื้นที่ผิวตอบให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับผลตอบ ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ในรูปสมการทั่วไปดังนี้

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + \epsilon$$

โดยค่า ϵ คือค่าความผิดพลาดของผลตอบ Y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง และ x_n คือตัวแปรอิสระ

ในปัญหาเกี่ยวกับพื้นที่ผิวตอบส่วนมากจะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ ดังนั้นจึงต้องการตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะให้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงซึ่งตามปกติจะใช้จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังต่ำๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตของตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้ในการประมาณความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น จะใช้แบบจำลองกำลังหนึ่ง แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น [14]

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบ

1. ล้าโยบแห้งพันธุ้อุด
2. มอลโตเด็กซ์ตริน DE 10

3.2 วัสดุและเครื่องมือ

1. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย JCM รุ่น minilab SDE-10
2. บั้มลม
3. รีแพคโตมิเตอร์
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. เครื่องปั่น
6. เตาแก๊ส
7. ฝูงพลาสติก , ฝูงฟอยด์
8. หม้อสแตนเลส
9. ทัพพีสแตนเลส
10. เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง
11. เครื่องวัดความเร็วลม
12. ตู้แช่แข็ง
13. เครื่อง Seal
14. ตู้อบสุญญากาศ

62386

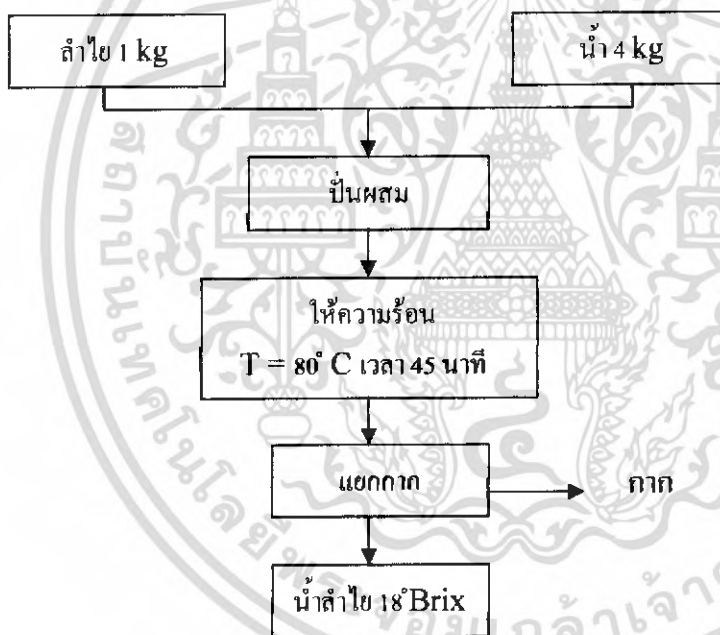
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้กำหนดตัวแปรอิสระ 3 ค่า คือ ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่ใช้ อัตราการไหลลมร้อนและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ตัวแปรตามคือ ความชื้น ความหนาแน่น ความสามารถในการละลาย และปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ (% yields)

ตอนที่ 1 การเตรียมน้ำลำไย

1. นำลำไยอบแห้ง จำนวน 1 กิโลกรัม มาบดด้วยเครื่องบด
2. นำลำไยที่ได้จากการบดผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1: 4 โดยน้ำหนัก
3. นำใส่ถุงผ้าขาวบาง ต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 45 นาที จนได้น้ำลำไยที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 18° Brix
4. แยกกากออกจากน้ำลำไย



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมน้ำลำไยเริ่มต้น

5. นำน้ำลำไยที่เตรียมไว้ซึ่งมีค่าความเข้มข้น 18° Brix มาผสมกับมอลโตเดกซ์ตรินที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแข็งในน้ำลำไยต่อมอลโตเดกซ์ตรินตามตารางแผนการทดลอง

$$\text{สัดส่วนน้ำหนักมอลโตเดกซ์ตริน} = M / (M + S)$$

M = ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่เติมในน้ำลำไย

S = ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำลำไย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปรับอุณหภูมิของน้ำลำไยที่ผสมให้มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40°C

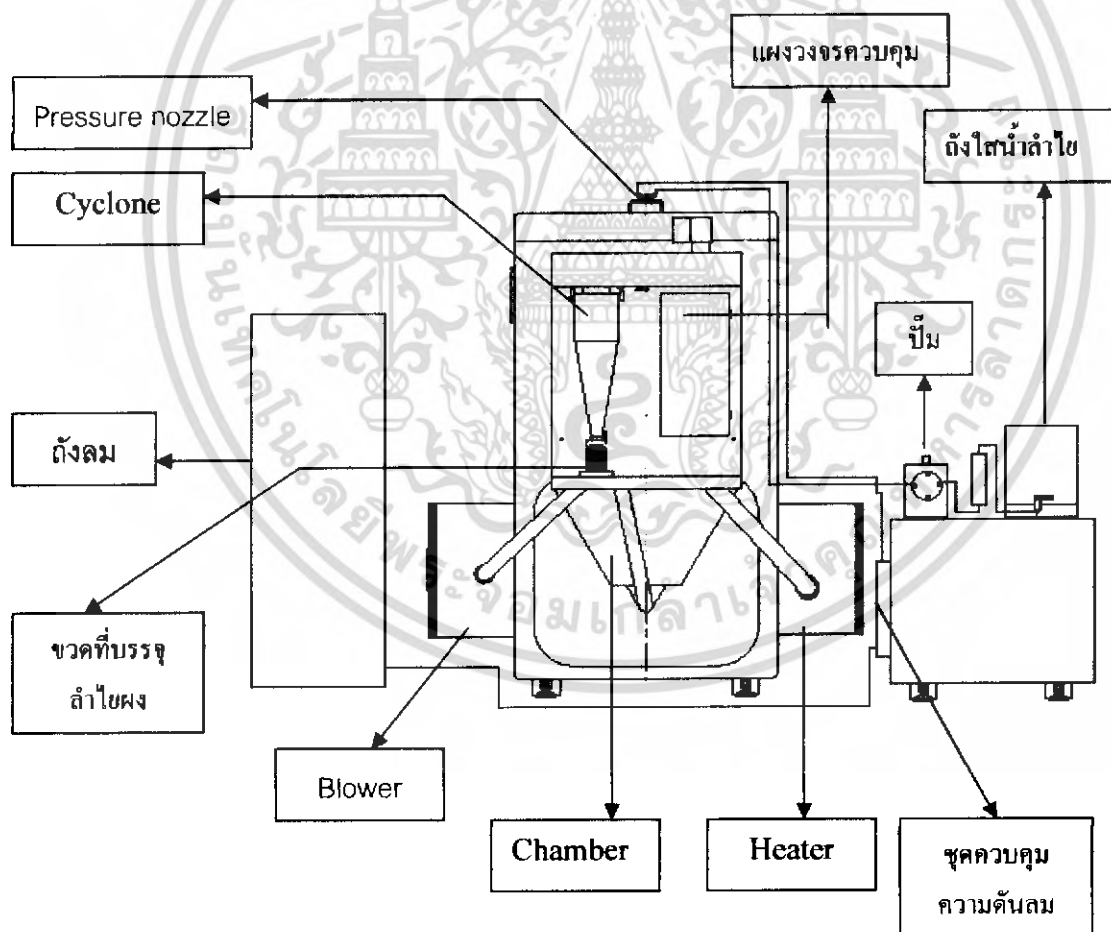
ตอนที่ 2 การเตรียม Spray dryer

1. เปิดเมนสวิตช์ของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยพร้อมทั้งปรับค่าอุณหภูมิลมร้อนและอัตราการไหลของลมร้อนตามตารางแผนการทดลอง

2. เตรียมเครื่อง Spay dryer โดยนำหัวฉีด two fluid nozzle ต่อท่อจ่ายลมและท่อจ่ายของเหลว โดยเริ่มต้นใช้น้ำทดลองจ่ายและปรับความดันลม (ความดันลมที่ 0.2 MPa) ให้หัวฉีดพ่นอย่างสม่ำเสมอ ก่อน จึงเปลี่ยนเป็นน้ำลำไย

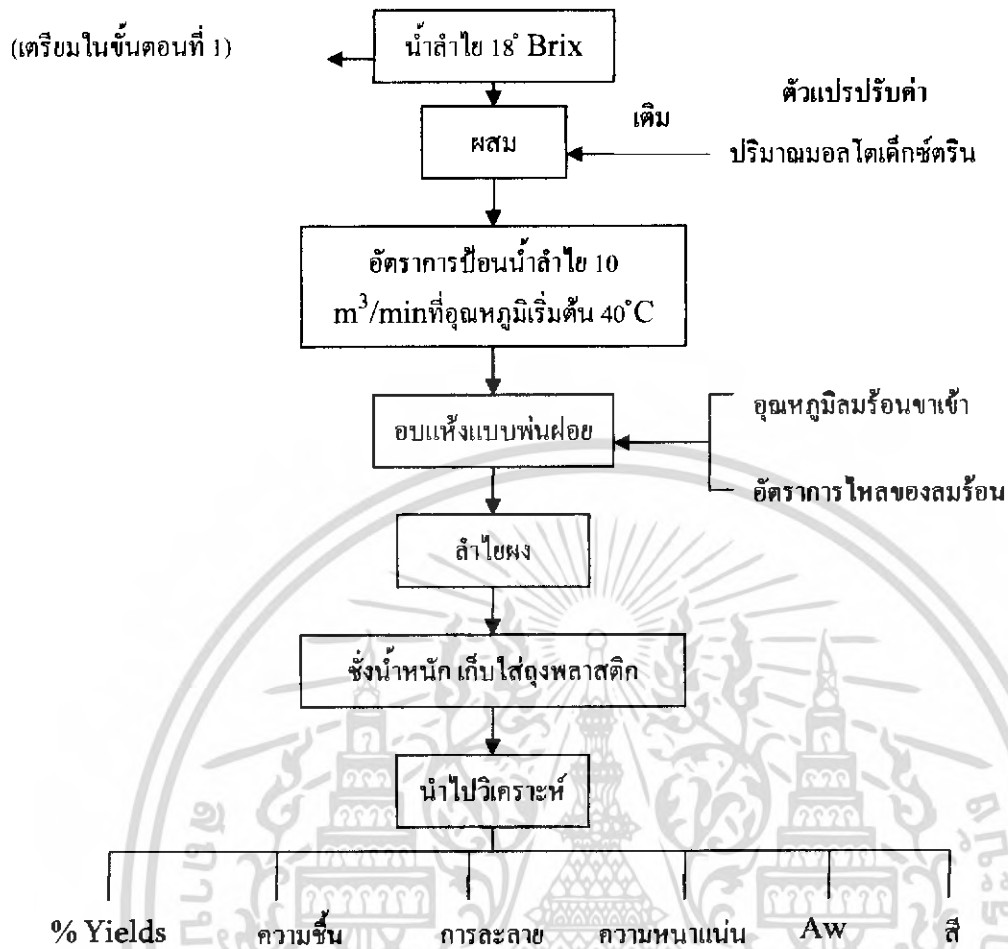
3. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่(ใช้เวลาประมาณ 30 นาที) เริ่มทำการป้อนน้ำลำไยเข้าห้องแห้งโดยปรับวาล์วมอเตอร์จ่ายของเหลว ให้ได้อัตราการไหลตามตารางแผนการทดลอง

4. เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แห้งทั้งหมดที่ได้นำมาชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บเข้าถุงพอยด์ จากนั้นปิดปากถุงให้สนิท เพื่อรอนำไปสู่กระบวนการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.2 เครื่อง Spray dryer ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนภาพขั้นตอนการผลิต

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้

3.4.1 การหาค่าความชื้น [15]

1. อบด้วยอุณหภูมิในตู้อบอุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. นำไปใส่ในเตชิตเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น
3. ชั่งน้ำหนัก
4. อบอย่างน้อย 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักของตัวอย่างอุณหภูมิคงที่ คือมีน้ำหนักต่างกันน้อยกว่า 2%
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 กรัมให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน เกลี่ยให้สม่ำเสมอในตัวอย่างอุณหภูมิ
6. นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 ± 1 °C เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมง
7. ปิดฝา นำมาทำให้เย็นในเตชิตเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก
8. อบซ้ำอีกประมาณครึ่งชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

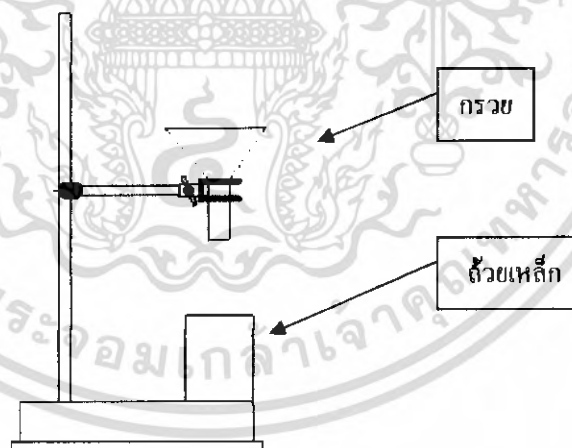
$$\% \text{ ความชื้นมาตรฐานเปียก} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

3.4.2 ความสามารถในการละลาย [16]

ชั่งตัวอย่างด้วยน้ำหนักที่แน่นอน 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร กวนของผสมทั้งหมดด้วย Magnetic stirrer ที่ความเร็วระดับ 5 วัตต์เวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างสมบูรณ์

3.4.3 การหาค่าความหนาแน่น (Bulk density) [17]

1. ติดตั้งกรวยตามภาพ
2. ชั่งน้ำหนักด้วยเหล็กเปล่า
3. หาปริมาตรของถ้วยเหล็ก โดยใช้น้ำแทนที่
4. นำเอาตัวอย่างใส่ลงไปในตัวเหล็กให้เต็ม อย่างกต หรืออัดตัวอย่างลงไป ค่อยๆ ใส่แล้วเคาะ 5 ครั้ง ใส่ตัวอย่างลงไปอีกจนท่วมปาก
5. ใช้ไม้บรรทัดปาดตัวอย่างดังกล่าว โดยวางไม้บรรทัดขนานกับปากถ้วย แล้วค่อยๆ ปาด
6. นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงการติดตั้งกรวย

7. การคำนวณ $\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรถ้วย}} = \text{Bulk density,}$ น้ำหนักตัวอย่างต้องลบออกด้วย น้ำหนักถ้วยเหล็กเปล่า
8. ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 เปอร์เซ็นต์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้(% yields)

ในแต่ละการทดลองจะวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาโดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้นวัดโดยนำตัวอย่างน้ำลำไย 18 brix หาความชื้นและนำมาคำนวณโดย

$$\% \text{ ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้} = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้} \times 100}{[(100 - \text{ค่าความชื้นน้ำลำไย 18 brix})/100] \times \text{น้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้น} + \text{มวลลโตเดกซ์ตริน}}$$

3.4.5 การหาค่า Water activity (Aw)

ใช้เครื่องวัดค่า Aw อัดโนมิติยี่ห้อ AQUA LAB model series 3 TE อ่านค่า Aw โดยทำการหาค่า Aw ของผลิตภัณฑ์ 2 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.4.6 การวัดค่าสี [16]

ค่าที่ได้ทำการวัดทั้งหมด 3 ค่า คือ L^* a^* b^* โดยทั้ง 3 ค่านี้เป็นค่าสีที่อยู่ในระบบ C.I.E LAB

ความหมายของค่าสีในระบบ C.I.E LAB

ค่า L^* (lightness) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสว่างโดยยิ่ง L^* มีค่าเข้าใกล้ 0 มากเท่าไรก็จะมีควมมืดมากเท่านั้น

ค่า a^* เป็นค่าแสดงความเป็นสีแดงหรือสีเขียว

a^* เป็นบวก แสดงความเป็นสีแดง

a^* เป็นลบ แสดงความเป็นสีเขียว

ค่า b^* เป็นค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีฟ้า

b^* เป็นบวก แสดงความเป็นสีเหลือง

b^* เป็นลบ แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

- ขั้นตอนการหาค่าสี

- เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องวัดค่าสี

- ทำการตั้งมาตรฐานด้วยแผ่นตั้งค่ามาตรฐาน

- ตรวจสอบค่าที่แผ่นมาตรฐานว่าตรงกับค่าที่อ่านได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์

หรือไม่ ถ้าไม่ตรงให้ทำการตั้งค่าใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว นำลำไยผงที่ต้องการวัดมาใส่ลงในตลับพลาสติกแล้วนำมาวางลงบนช่องสำหรับวัดค่าสี
- วัดค่าลำไยผงตัวอย่างละ 2 ครั้ง
- เมื่อวัดครบแล้วให้จดบันทึกค่า L^* a^* b^* ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์
- การคำนวณ
 - หาค่าความแตกต่างระหว่างค่าสีทั้งหมด หรือ Total Difference (E^*) ได้จาก

$$E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

- ตัวอย่างการคำนวณ

ใช้ข้อมูลการทดลองที่ 1 โดยมีสัดส่วนมอลโตเด็คทรีน 0.4 ปริมาณลมร้อนที่ใช้ $1.679 \text{ m}^3/\text{min}$ และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ คือ $165 \text{ }^\circ\text{C}$ ส่วนค่าสีของลำไย 18 brix คือ $L^* = 13.85$, $a^* = 6.15$, $b^* = 10.37$

$$\begin{aligned} E^* &= [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \\ &= [(60.24 - 13.85)^2 + (11.14 - 6.15)^2 + (33.82 - 10.37)^2]^{1/2} \\ &= 52.219 \end{aligned}$$

แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าสี 52.219

3.5 การวางแผนและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการศึกษาการทำลำไยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิลมร้อนเข้า ปริมาณลมร้อนที่ใช้ สัดส่วนน้ำหมักมอลโตเด็คทรีน ใช้วิธีการวิเคราะห์ผล สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรมทางสถิติโดยใช้ โปรแกรม statistica 6.0 และหาสภาพที่เหมาะสม โดยสร้างพื้นผิวผลตอบ (response surface) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม matlab วางแผนการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken ประกอบด้วยการทดลอง 15 การทดลอง ซึ่งแบ่งค่าตัวแปรออกเป็น 3 ระดับ ดังแผนการทดลองแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 Box Bahken 3 ตัวแปร

การทดลองที่	X1	X2	X3
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	1
7	-1	0	1
8	0	0	-1
9	0	-1	-1
10	0	1	1
11	0	-1	1
12	0	0	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

ตารางที่ 3.2 แสดงสภาวะการเตรียมตัวอย่าง

การทดลองที่	สัดส่วนน้ำหนัก มอลโตเดกซ์ทริน	อุณหภูมิร่อนทางเข้า (องศาเซลเซียส)	ปริมาณลมร่อน (ลูกาศก์เมตรต่อนาที)
1	0.4	165	1.6
2	0.6	165	1.6
3	0.4	185	1.6
4	0.6	185	1.6
5	0.4	175	1.4
6	0.6	175	1.4
7	0.4	175	1.8
8	0.5	175	1.8
9	0.5	165	1.4
10	0.5	185	1.4
11	0.5	165	1.8
12	0.5	175	1.8
13	0.5	175	1.6
14	0.5	175	1.6
15	0.5	175	1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทดลองอบแห้งลำไยแบบพ่นฝอย ได้เตรียมลำไยตามหัวข้อ 3.3 ซึ่งได้น้ำลำไยความเข้มข้น 18 brix โดยนำตัวอย่างลำไยมาวัดปริมาณความชื้นได้ 83.885 % และเติมมวลโตนเดกซ์ตรินเป็นปริมาณตามตารางสภาวะการทดลองที่ 3.3 ควบคุมเครื่องอบพ่นฝอยตามตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

No.	อุปกรณ์		ค่าที่ปรับ	หมายเหตุ
1	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	ค่าปรับการป้อน	10(สเกลที่ปรับค่า)	2.28 ลิตรต่อชั่วโมง
2	อุณหภูมิลมร้อน	ทางเข้า	165 – 185 °C	คงที่ทุกการทดลอง
		ทางออก	90 °C	
3	เครื่องดูดลม(blower)	ความเร็วรอบ	2800-3200 rpm	1.45 -1.80 m ³ /min
4	หัวพ่นวัตถุดิบ	ชนิด	two -fluid nozzle	
		ทิศทางการทำแห้ง	parallel	
		ความดันอากาศที่หัวพ่น	0.2 MPa	
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	ใช้ 2 ชุด (3, 3 kW)	ควบคุมอัตโนมัติ 1 ตัว

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะที่สภาวะต่างๆ ตาม Box behnken Design

จากการดำเนินการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ ที่กำหนดนั้น ให้ผลของค่าตัวแปรตามต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลของการทดลองการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ต่ำโยนง

การทดลองที่	ปริมาณสัดส่วน maltodex trik* (g / g total souable solid)	อุณหภูมิลมร้อน (C)	อัตราไหลลมร้อน (m ³ /min)	ความหนาแน่น (g/cm)	สภาพการละลาย (วินาที)	ความชื้น (% wb)	ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ (g)	ค่าสถิติเปลี่ยนแปลงทั้งหมด	ค่าสีของผลิตภัณฑ์ต่ำโยนง			
									ระบบ C.I.E. Lab			
									L*	a*	b*	ΔE
1	0.4	165	1.6	0.44849	90	1.5040	291	52.22	11.14	33.82	52.22	
2	0.6	165	1.6	0.44029	129	1.2454	377	64.00	7.1	29.78	64.00	
3	0.4	185	1.6	0.54085	278	1.4743	43	62.52	7.41	28.94	62.52	
4	0.6	185	1.6	0.34850	129	0.2304	370	62.22	7.94	29.64	62.22	
5	0.4	175	1.4	0.41673	114	2.1322	36	60.76	7.32	28.83	60.76	
6	0.6	175	1.4	0.43230	158	1.7078	582	59.82	7.55	29.19	59.82	
7	0.4	175	1.8	0.40910	107	2.2910	70	64.07	6.92	28.85	64.07	
8	0.5	175	1.8	0.32731	131	2.2762	380	62.84	7.03	29.35	62.84	
9	0.5	165	1.4	0.32023	80	1.8710	102	65.91	5.23	24.2	65.91	
10	0.5	185	1.4	0.36873	120	1.7787	50	59.91	8.4	31.39	59.91	
11	0.5	165	1.8	0.36753	137	1.5518	131	61.16	6.78	26.68	61.16	
12	0.5	175	1.8	0.47388	146	0.7491	118	63.18	6.48	26.82	63.18	
13	0.5	175	1.6	0.42440	166	1.1924	150	62.96	7.05	27.25	62.96	
14	0.5	175	1.6	0.22982	185	0.4200	495	61.99	7.18	28.62	61.99	
15	0.5	175	1.6	0.41346	84	0.4617	228	50.64	8.05	29.8	50.64	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้ต้องการที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์กับปัจจัยการอบแห้งโดยจะหาช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต จึงได้มีการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาขอบเขตที่จะศึกษาโดยเลือกตัวแปรที่จะศึกษา ที่มีผลต่อกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำลำไยผง จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำลำไยเกิดปัญหาการเหนียวติดทำให้ไม่สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นผงแห้งได้ ผลิตภัณฑ์เหนียวติดกันภายในผนังห้องอบแห้งและบริเวณท่อลำไยผงเข้าสู่ส่วนแยกผลิตภัณฑ์ จึงมีการศึกษารายงานการการอบแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลส่วนใหญ่ พบว่าน้ำตาลซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำลำไย มีค่า transition temperature (T_g) อยู่ในระดับต่ำไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส(ดูเพิ่มเติมจากตาราง ข ภาคผนวก) จึงมีการหาวิธีเพิ่ม T_g ของน้ำลำไยที่เตรียมทำแห้ง โดยเติม สารช่วยในการทำแห้ง เพื่อเพิ่มค่า T_g โดยรวมของผลิตภัณฑ์ มีรายงานว่ามอลโตเดกซ์ตริน เป็นสารที่นิยมใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลเป็นหลัก – เนื่องจากมอลโตเดกซ์ตรินสามารถเพิ่มค่า T_g โดยรวมของผลิตภัณฑ์ได้ [9] มอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า dextrose equivalent (DE) ต่ำ ๆ จะมีค่า T_g สูงกว่ามอลโตเดกซ์ตรินที่ DE สูง[8] ในงานทดลองนี้จึงเลือกใช้มอลโตเดกซ์ตรินที่มี DE ต่ำมาช่วยในการทำแห้ง โดยปริมาณที่เติมคำนวณจากปริมาณองค์ประกอบของของแข็งที่ละลายในน้ำลำไย[10] ทำการทดลองเติมมอลโตเดกซ์ตรินในน้ำลำไยที่ 3 ระดับ คือที่อัตราส่วน 0.4 0.5 0.6 กรัม/กรัมของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

จากผลการทดลองพบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ตรินที่อัตราส่วน 0.6 ในการทดลองที่ 2, 4, 6 ทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่แยกได้จากส่วนแยกผลิตภัณฑ์มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด เมื่อคิดเป็นปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ พบว่าในการทดลองที่ 6 และ 14 มีปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ อยู่ในระดับสูงประมาณ 50 % ในการทดลองนี้ ส่วนการทดลองที่ 5 พบว่าให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ต่ำที่สุดในการทดลอง เนื่องจากอาจเป็นผลจากการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในอัตราส่วนต่ำและปริมาณลมร้อนที่ใช้ต่ำ อีกทั้งความชื้นของอากาศที่ใช้ทำแห้งสูง(ดูสภาพอากาศที่ใช้ทำแห้งได้จากตาราง ง ภาคผนวก)

อุณหภูมิลมร้อนและปริมาณลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง จากการศึกษาพบว่าปัจจัยทั้ง 2 ตัวนี้มีผลต่อประสิทธิภาพโดยตรงในการทำแห้งแบบพ่นฝอย คืออัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้จะมีผลต่อระยะเวลาที่อนุภาคของเหลวทำการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในห้องอบแห้ง ซึ่งเรียกว่า Residence time [7] และอุณหภูมิลมร้อนนี้มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์เมื่อระดับความชื้นต่ำเพียงพอที่จะทำให้อนุภาคของแข็งมีการไหลอิสระไม่ติดกัน อย่างไรก็ตามปริมาณลมร้อนที่ใช้ทำแห้งก็ไม่ควรต่ำเกินไปเนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในอุปกรณ์แยกผลิตภัณฑ์ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับ

คือ 165, 175 และ 185 องศาเซลเซียส และปริมาณลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง 1.45, 1.68 และ 1.80 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้ถูกนำมาทดสอบความสามารถในการละลายโดยพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการละลาย เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ผงกาแฟสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในตลาด พบว่าผลิตภัณฑ์ลำไยผงใช้เวลาในการละลายน้อยกว่าหลายเท่า ซึ่งกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์ลำไยผงมีการละลายที่ดี

สีของผลิตภัณฑ์ลำไยผงวัดโดยใช้ระบบ C.I.E Lab ได้ค่า L^* a^* b^* ค่าความแตกต่างระหว่างค่าสีทั้งหมด พบว่าค่าความแตกต่างระหว่างค่าสีทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ผงแต่ละการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดที่ค่า 1.3 ส่วนค่าความสว่างของสีพบว่า ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ในการทดลองที่ 1, 3 และ 5 มีค่าน้อยกว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ในการทดลองอื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีมากกว่า เนื่องจากการทดลองที่มีค่าความแตกต่างสีมีการใช้ปริมาณการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในอัตราส่วน 0.4 ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุดในการทดลอง ทำให้ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ผลิตได้มีสัดส่วนปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่ต่ำกว่าจึงมีสีเข้มกว่าการทดลองอื่น ค่าสีของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินที่ใช้มากกว่าปัจจัยอื่น

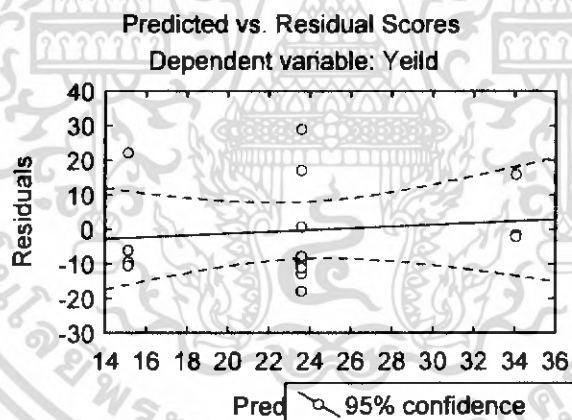
4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่างๆ ของลำไยผงที่ได้

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่างๆ ที่ศึกษากับตัวแปรที่ศึกษาโดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ โดยใช้หลัก Multiple Regression ในรูปแบบ 2nd order polynomial โดยค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการและค่าความสัมพันธ์ทางสถิติต่าง ๆ แสดงไว้ดังนี้

4.2.1 เปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ (% Yields)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่าง เปอร์เซนต์ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้กับปริมาณมอลโตเด็กทรีนซ์ (M) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_{inlet}) และอัตราการไหลของลมร้อน (Q_{air}) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \% \text{ Yields} &= -1232.74 M - 1.28593 T_{\text{inlet}} + 559.513 Q_{\text{air}} \\ &+ 302.585 M^2 - 0.023254 T_{\text{inlet}}^2 - 249.444 Q_{\text{air}} \\ &+ 9.498137 M T_{\text{inlet}} + 2.56697 T_{\text{inlet}} Q_{\text{air}} - 377.233 X_1 Q_{\text{air}} \dots (1) \\ R^2 &= 0.84243, \quad \text{Std. Error of estimate} = 17.5649, \quad p < 0.01 \end{aligned}$$



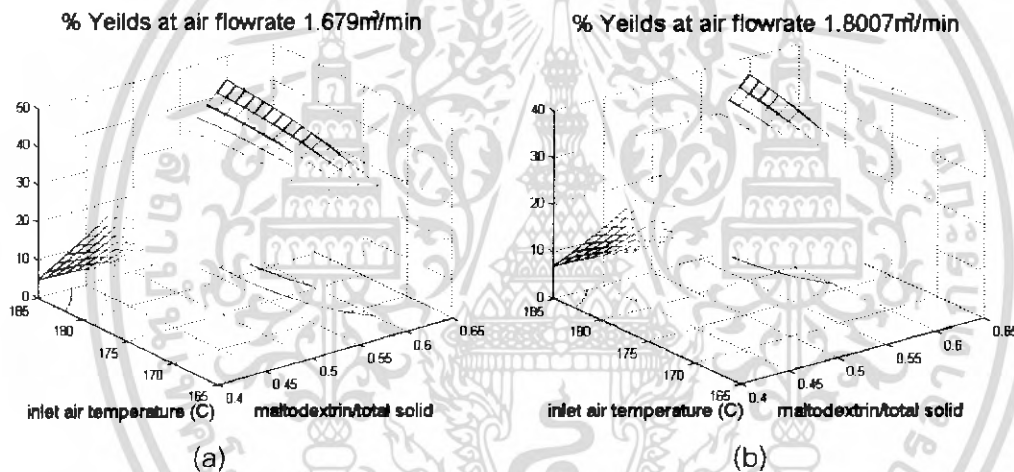
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ผลิตได้จากการทดลองกับและจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 1

ค่าเปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 4.47 – 52.38

% จากรูปที่ 4.2 กำหนด ให้ปริมาณสัดส่วนมอลโตเด็กทรีนซ์ที่ค่าต่ำที่ 0.4 และ อัตราการไหลของลมคกที่ พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่า เปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้จะลดลง เนื่องจากเมื่อให้

อุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น ค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นทำให้อัตราแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ที่สิ้นสุดการทำแห้ง (T_{pf}) สูงขึ้น ซึ่งถ้าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งอย่างรวดเร็วและมีอุณหภูมิผลิตภัณฑ์สิ้นสุดการทำแห้งมากกว่า ค่า T_g ของผลิตภัณฑ์ ($T_{pf} > T_g$) จะทำให้เกิดลักษณะเหนียว (sticky) [10] ผลิตภัณฑ์ไหลสัมผัสกันเองหรือสัมผัสกับผนังห้องอบแห้งก็จะไปติดกันอยู่ภายใน ทำให้ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตและแยกออกจากส่วนแยกลดลง

แต่ช่วงที่ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินคงที่ที่ค่าสูงคือที่ 0.6 เมื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ ค่า T_g ของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิผลิตภัณฑ์สิ้นสุดการทำแห้ง ($T_{pf} < T_g$) จึงทำให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ค่า เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น



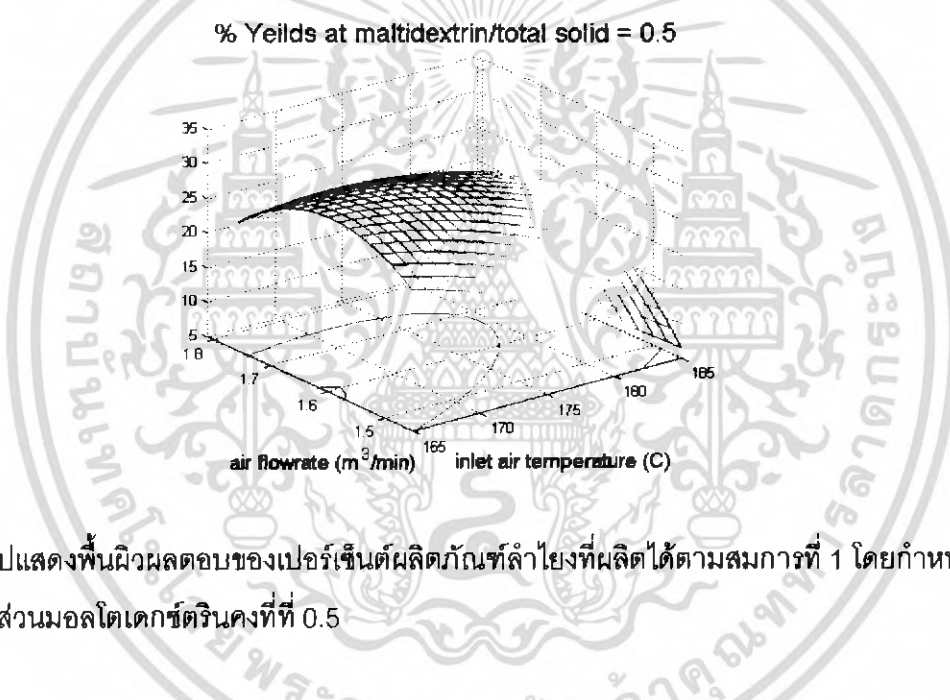
รูปที่ 4.2 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ผลิตได้ตามสมการที่ 1 โดยกำหนดอัตราไหลลมร้อนคงที่ที่ (a) 1.68 m³/min (b) 1.80 m³/min

อัตราการไหลของลมที่ใช้ในการทดลองคือ 1.45 , 1.68 , 1.80 m³/min จากรูป 4.2 เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินคงที่ พบว่าอัตราการไหลของลมที่ค่าต่ำ 1.68 m³/min จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงมีค่ามากกว่าเมื่อให้อัตราการไหลของลมที่ค่าสูง 1.80 m³/min แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราการไหลของลมร้อนทำให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้มีค่าลดลง เนื่องจากโดยอัตราการไหลของลมร้อนมีผลต่อความชื้นคือ อัตราการไหลลมร้อนเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ซึ่งผ่านบริเวณทำแห้งที่มีการกระจายลมร้อนภายในห้องอบแห้ง ถ้าอัตราการไหลลมร้อนมากก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีช่วงเวลากการทำแห้งสั้นทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีโอกาสปนไปกับลมร้อนขึ้นที่ออกไปจากเครื่องได้มากกว่า ดังนั้นเมื่อใช้อัตราการไหลของลมร้อนที่มีค่าสูงจะทำให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้มีค่าลดลง

อีกทั้งเมื่ออัตราการไหลของลมร้อนสูงอาจมีผลต่อรูปแบบการไหลของลมร้อนภายในห้องอบแห้ง มีลักษณะปั่นป่วนมีการไหลหมุนเวียนของลมร้อนภายในทำให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งผ่านการระเหยน้ำแห้งแล้วไหลย้อนกลับไปยังส่วนบนที่มีอนุภาคของเหลวที่เริ่มผ่านเข้ามาในห้องอบแห้ง เกิดการจับตัวกันกลายเป็นอนุภาคใหญ่และมีอัตราการแห้งลดลง ความชื้นคงเหลือสูงเกิดติดกับฝาและผนังห้องอบแห้งเช่นเดียวกัน และจากผลของความเร็วมียผลต่อประสิทธิภาพของส่วนแยกผลิตภัณฑ์ที่เป็นไซโคลน ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงบางส่วนถูกดูดออกไปพร้อมกับอากาศ ดังนั้นจึงทำให้ที่ค่าอัตราการไหลของลม 1.8007 m³/min มีเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ที่ลดลง



รูปที่ 4.3 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ลำไยที่ผลิตได้ตามสมการที่ 1 โดยกำหนดปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินคงที่ที่ 0.5

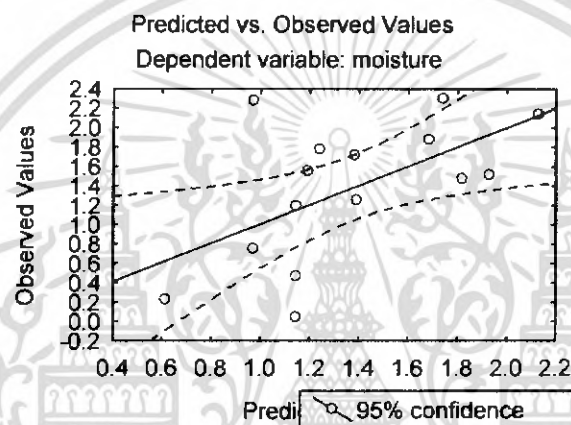
จากรูปที่ 4.3 แสดงว่าเมื่อ ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินคงที่ การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลของลม และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นสูงสุดที่สภาวะหนึ่งเท่านั้น และมีแนวโน้มว่าค่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้สูงนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น อุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นและอัตราการไหลลมร้อนมีค่าเท่ากับ 1.68 m³/min

4.2.2 ความชื้นของผลิตภัณฑ์

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์กับปริมาณมอลโตเด็กตรินท์ (M) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_{inlet}) และอัตราการไหลของลมร้อน (Q_{air}) สามารถแสดงได้ดังนี้

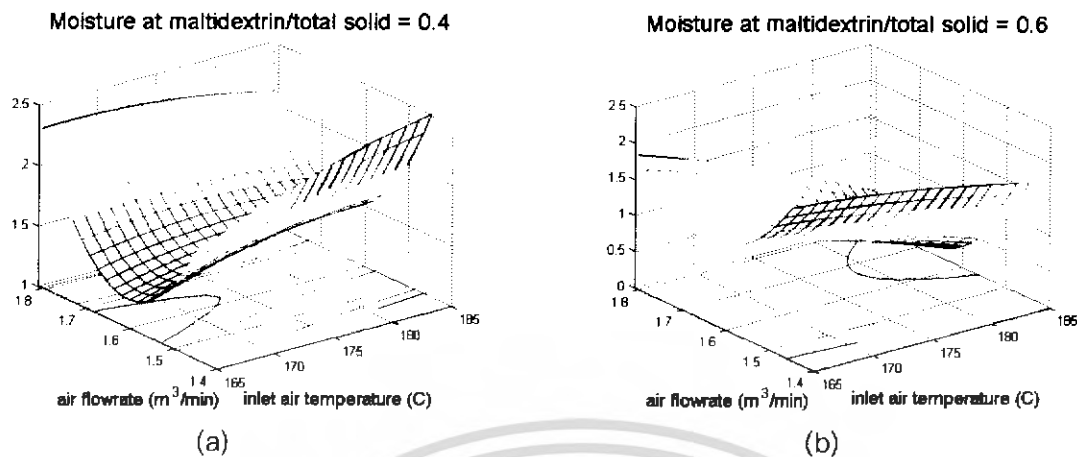
$$\begin{aligned} \text{ความชื้นของผลิตภัณฑ์} &= 25.8300 M + 0.5740 T_{inlet} - 64.8719 Q_{air} \\ &+ 36.7141 M^2 + 0.00072 T_{inlet}^2 + 27.7204 Q_{air} \\ &- 0.2858 M T_{inlet} - 0.1217 T_{inlet} Q_{air} - 9.8302 X_1 Q_{air} \dots (2) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.93873566, \text{ Std. Error of estimate} = 0.59955, p < 0.01$$



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

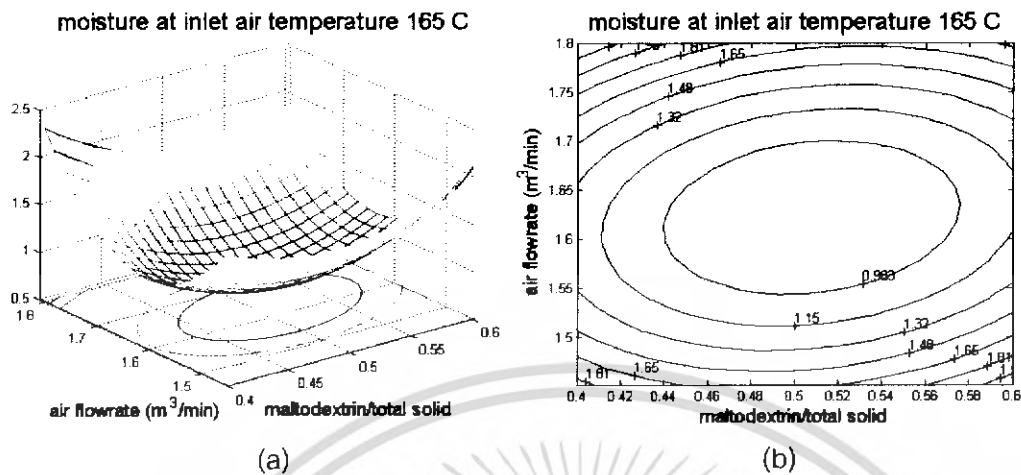
จากรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และ ค่า Std. Error อยู่ในเกณฑ์ดี



รูปที่ 4.5 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 2 โดยกำหนด ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินคงที่ที่ (a) 0.4 (b) 0.6

ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่วัดได้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 0.2304 -2.2911 g/cm³ จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงกับตัวแปรศึกษาที่ศึกษา เมื่อให้อัตราการไหลของลมร้อนคงที่ มีแนวโน้มว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินจะทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลง เนื่องจากลมร้อนที่ใช้ทำแห้งที่อุณหภูมิสูงมีความสามารถในการระเหยน้ำและจับความชื้นได้ปริมาณมากกว่าลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนการเพิ่มปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินทำให้น้ำลำไยมีความเข้มข้นมากขึ้น ปริมาณน้ำที่ต้องระเหยจึงลดลงด้วยทำให้อัตราการไหลของลมร้อนที่ผลิตได้มีความชื้นต่ำลง

ผลกระทบของอัตราการไหลของลมร้อนมีผลต่อค่าความชื้น พบว่าเมื่อใช้อัตราการไหลลมร้อน 1.68 m³/min ให้ค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ลำไยผงต่ำสุด โดยอัตราการไหลของลมร้อนมีผลต่อค่าความชื้นคืออัตราการไหลลมร้อนเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ซึ่งผ่านบริเวณทำแห้งที่มีการกระจายลมร้อนภายในห้องอบแห้ง ถ้าอัตราการไหลลมร้อนมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีช่วงเวลากการทำแห้งสั้นทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น อัตราการไหลลมร้อนที่สูงขึ้นหรือต่ำลงมีผลให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่ออัตราการไหลลมร้อนมีค่าสูง เกิดลักษณะการไหลที่ปั่นป่วนมากขึ้นภายในห้องอบแห้งแบบพ่นฝอย ผลิตภัณฑ์ที่แห้งเกิดการผสมกับอนุภาคที่มีความชื้นสูง ทำให้อัตราการไหลที่ออกมาที่มีความชื้นสูงขึ้น ในขณะที่การใช้อัตราการไหลลมร้อนที่ต่ำทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างลมร้อนกับน้ำลำไยมีค่าน้อยลง ผลิตภัณฑ์จึงมีปริมาณความชื้นเหลืออยู่มากขึ้น



รูปที่ 4.6 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 2 โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนคงที่ที่ 165 C

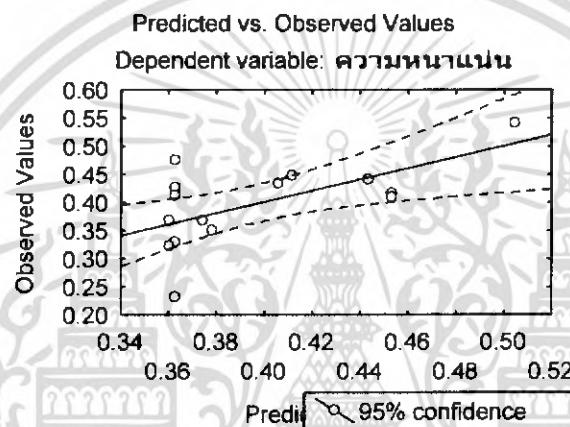
จากรูปที่ 4.6 สภาวะที่ให้ค่าความชื้นต่ำสุดที่อุณหภูมิลมร้อน 165 C อัตราการไหลลมร้อน 1.6 m³/min และ ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินที่ค่า 0.5 กรัม / กรัมของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และมีแนวโน้มว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะให้ค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ลดลงอีก จุดสภาวะที่ให้ค่าความชื้นต่ำสุดจะเปลี่ยนไป ที่ตำแหน่งที่มีปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินและปริมาณลมร้อนเพิ่มขึ้น

4.2.3 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ (Bulk Density)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์กับปริมาณมอลโตเด็ก (M) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_{inlet}) และอัตราการไหลของลมร้อน (Q_{air}) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Bulk Density} &= 2.703818 M - 0.018039 T_{inlet} + 1.467747 Q_{air} \\ (\text{g/cm}^3) &+ 6.200517 M^2 + 0.000138 T_{inlet}^2 - 0.070945 Q_{air}^2 \\ &- 0.044609 M T_{inlet} - 0.004402 T_{inlet} Q_{air} - 0.817241 M Q_{air} \dots (3) \end{aligned}$$

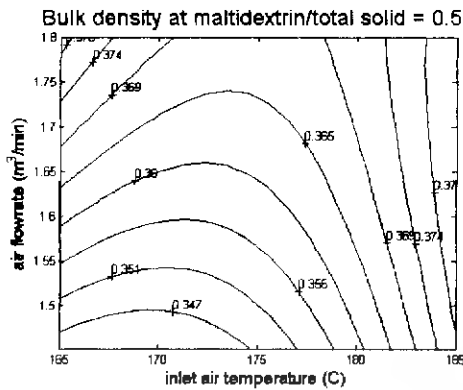
$$R^2 = 0.9817, \text{ Std. Error of estimate} = 0.8616, p < 0.001$$



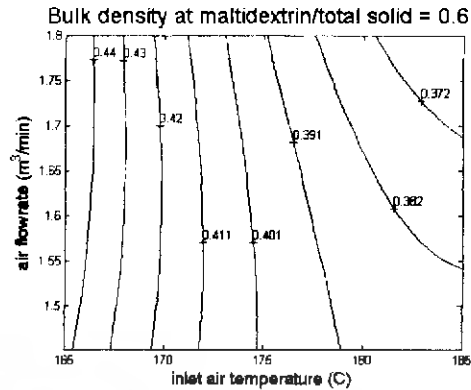
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 3

จากรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และ ค่า Std. Error อยู่ในเกณฑ์ดี

ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 0.2298 – 0.5408 g/cm³ จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าปริมาณสัดส่วนมอลโตเด็กที่ 0.6 เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง การเปลี่ยนแปลงค่าเป็นผลเนื่องจากการที่ลมร้อนมีอุณหภูมิสูงทำให้อัตราการทำแห้งสูงสามารถระเหยน้ำได้เร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งมีความพรุน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความหนาแน่นต่ำ



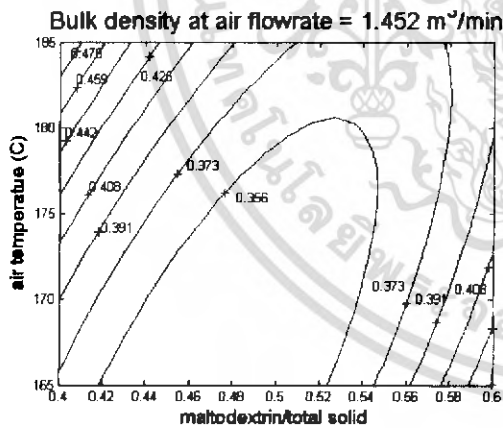
(a)



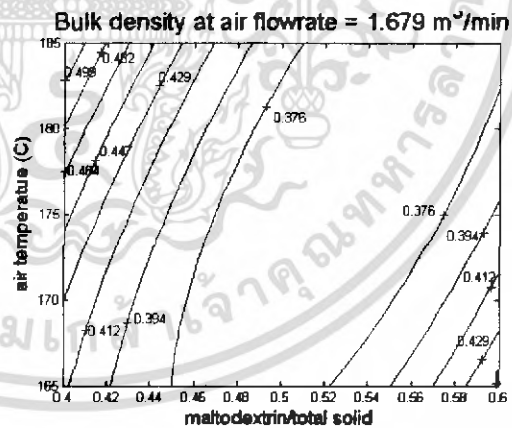
(b)

รูปที่ 4.8 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 3 โดยปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินคงที่ (a) 0.5 (b) 0.6

ในขณะที่ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินต่ำที่ 0.5 และ 0.4 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของลมร้อน มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น อาจเป็นเพราะเนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ลักษณะเหนียวติดกัน (Sticky) เนื่องจากมีปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินที่ต่ำ จึงทำให้เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง อนุภาคแห้งมีน้ำหนักมาก ส่งผลให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มากตามซึ่งตรงกับรายงานของ Master, K. ว่าการเพิ่มความชื้นผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นสูง [7]

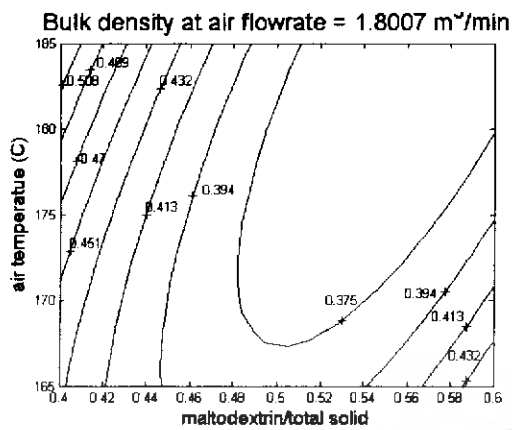


(a)

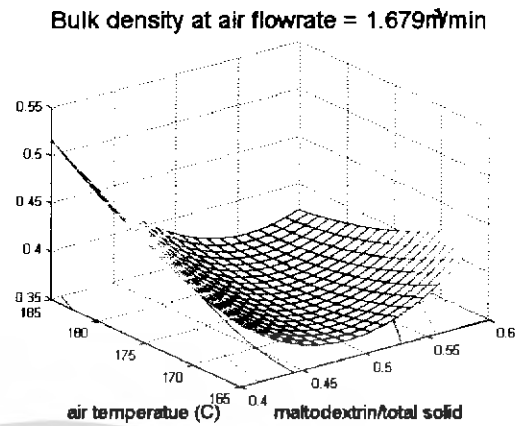


(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)



(d)

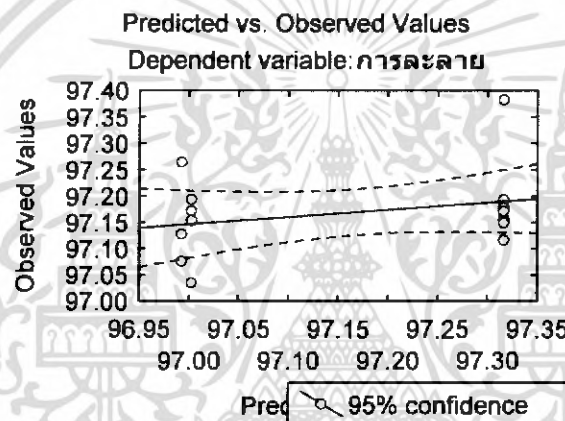
รูปที่ 4.9 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 3 โดยกำหนดปริมาณการไหลลมร้อนคงที่ที่ (a) 1.452 m³/min (b),(d) 1.679 m³/min (c) 1.8007 m³/min

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะการอบแห้งที่ค่าปริมาณการไหลของลมร้อนที่ใช้มีค่าคงที่จะมีช่วงอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินที่เหมาะสมซึ่งให้ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงต่ำสุด โดยจากรูปที่ 4.9 ที่อัตราการไหลของลมร้อนที่ 1.45 m³/min สภาวะที่ทำให้มีค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ต่ำสุดอยู่ที่ปริมาณอัตราส่วนมอลโตเดกซ์ตรินที่ 0.48 และอุณหภูมิลมร้อนที่ 170 C จุดค่าความหนาแน่นต่ำสุดมีแนวโน้มเคลื่อนที่ไปในจุดที่มีสภาวะ ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น

4.2.4 ความสามารถในการละลาย

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการละลายผลิตภัณฑ์กับปริมาณมอลโตเด็กตรินซ์ (M) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_{inlet}) และอัตราการไหลของลมร้อน (Q_{air}) สามารถแสดงได้ดังนี้

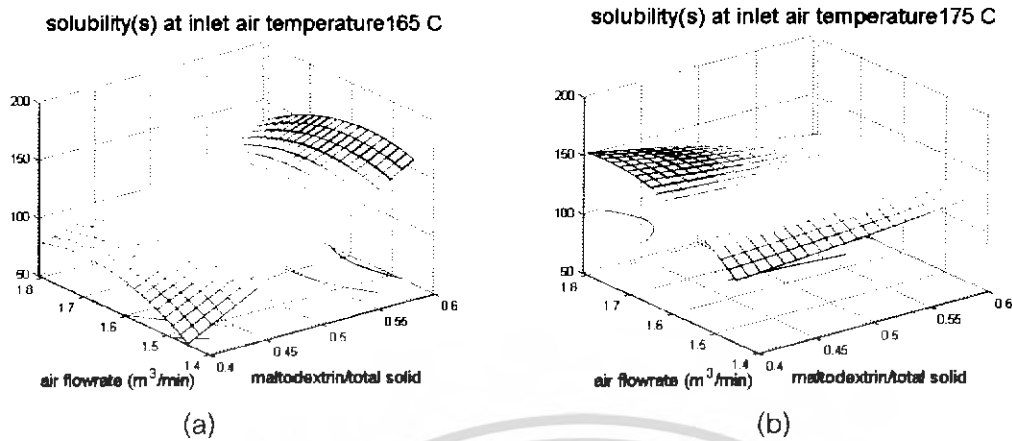
$$\begin{aligned} \text{Solubility}(s) = & 8976.987 M - 38.91564 T_{inlet} + 1182.8998 Q_{air} \\ & + 116.8078 M^2 + 0.15731 T_{inlet}^2 - 552.2852 Q_{air}^2 \\ & - 45.21299 M T_{inlet} + 6.054481 T_{inlet} Q_{air} - 757.9136 X_1 Q_{air} \quad \dots (4) \\ R^2 = & 0.84243, \text{ Std. Error of estimate} = 17.5649, p < 0.005 \end{aligned}$$



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าเวลาที่ใช้ในการละลาย ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 4

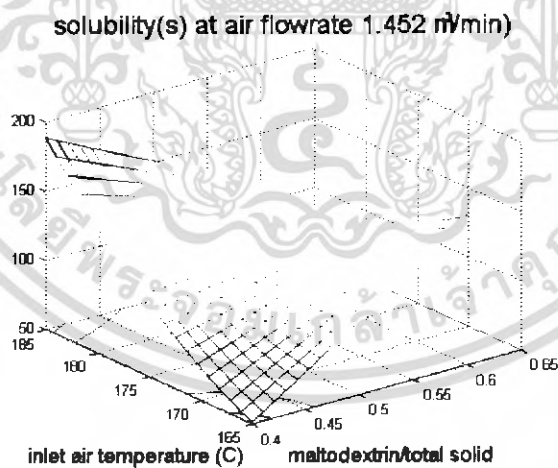
จากรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และ ค่า Std. Error อยู่ในเกณฑ์ดี

ค่าเวลาที่ใช้ในการละลายของผลิตภัณฑ์ลำไยผงในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 80 – 278 วินาที จากรูปที่ 4.11 เมื่อให้ค่าปริมาณลมร้อนคงที่ที่ 165 C เวลาที่ใช้ในการละลายลดลงเมื่อใช้ปริมาณสัดส่วนมอลโตเด็กตรินต์ต่ำที่ 0.4



รูปที่ 4.11 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าเวลาที่ใช้ละลายผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 4 โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนคงที่ที่ (a) 165 C (b) 175 C

และเมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนที่ค่าสูงขึ้นไป 175 C ที่ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินต่ำ 0.4 มีเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้ามคือเวลาที่ใช้ในการละลายลดเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่การใช้อุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลมากกว่ามอลโตเดกซ์ตริน อนุภาคมีการเกาะตัวแน่นเมื่อนำไปละลายจึงต้องใช้เวลานานมากกว่าเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีการแตกตัวกระจาย (disperse ability)



รูปที่ 4.12 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าเวลาที่ใช้ละลายผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 4 โดยกำหนดอัตราการไหลลมร้อนคงที่ที่ 1.452 m³/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.12 สามารถแบ่งลักษณะการเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการละลาย 2 ลักษณะคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิความร้อนที่อัตราส่วนมอลโตเดกซ์ตรินมีค่าต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ใช้เวลาในการละลายเพิ่มขึ้น และช่วงอุณหภูมิร้อนลดลงเมื่อใช้อัตราส่วนมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์ใช้เวลาในการละลายลดลง การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในลักษณะนี้อาจเกิดจากการที่ความสามารถในการละลายขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของอาหาร โดยที่ปริมาณสัดส่วนการเติมมอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

อัตราการไหลของลมร้อนมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการละลายในการทดลองนี้ คือมีแนวโน้มที่ผลิตภัณฑ์ใช้เวลาในการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อัตราการไหลของลมร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลของลมร้อนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงทำให้มีการกระจายตัวได้ยากขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการละลายนานขึ้น



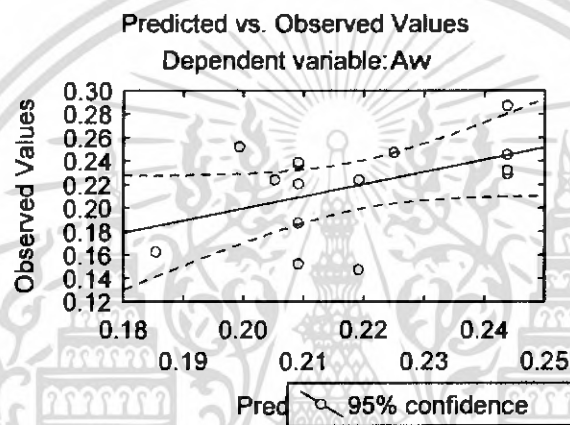
4.2.5 Water activity ของผลิตภัณฑ์

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่าง Water activity กับปริมาณมอลโตเด็กทรีนซ์ (M)

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_{inlet}) และอัตราการไหลของลมร้อน (Q_{air}) สามารถแสดงได้ดังนี้

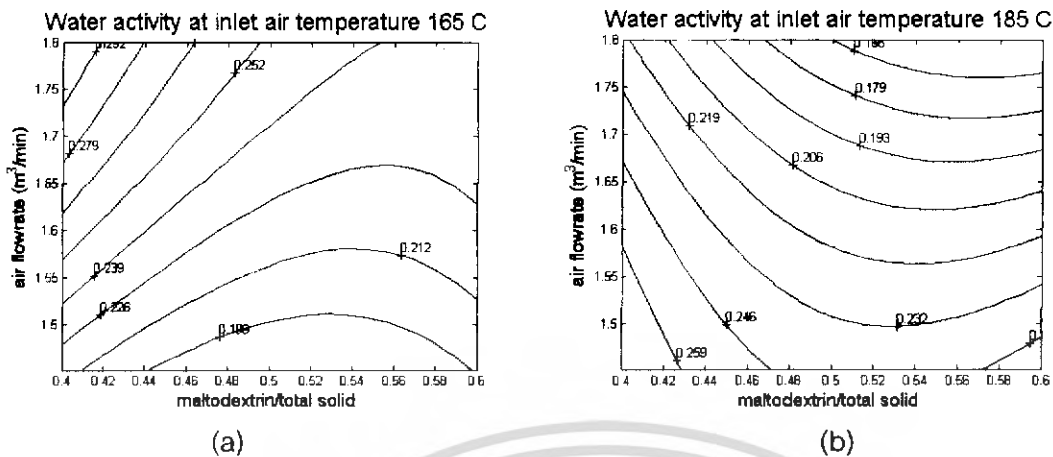
$$Aw = 1.967062 M - 0.05577T_{inlet} + 5.74905Q_{air} + 1.57164 M^2 + 0.00258T_{inlet}^2 - 0.50379 Q_{air}^2 - 0.00744 M T_{inlet} - 0.01919 T_{inlet} Q_{air} - 1.50772 X_1 Q_{air} \dots(5)$$

$$R^2 = 0.84243 \quad , \quad \text{Std. Error of estimate} = 17.5649 \quad , \quad p < 0.001$$



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 5

จากรูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และ ค่า Std. Error อยู่ในเกณฑ์ดี

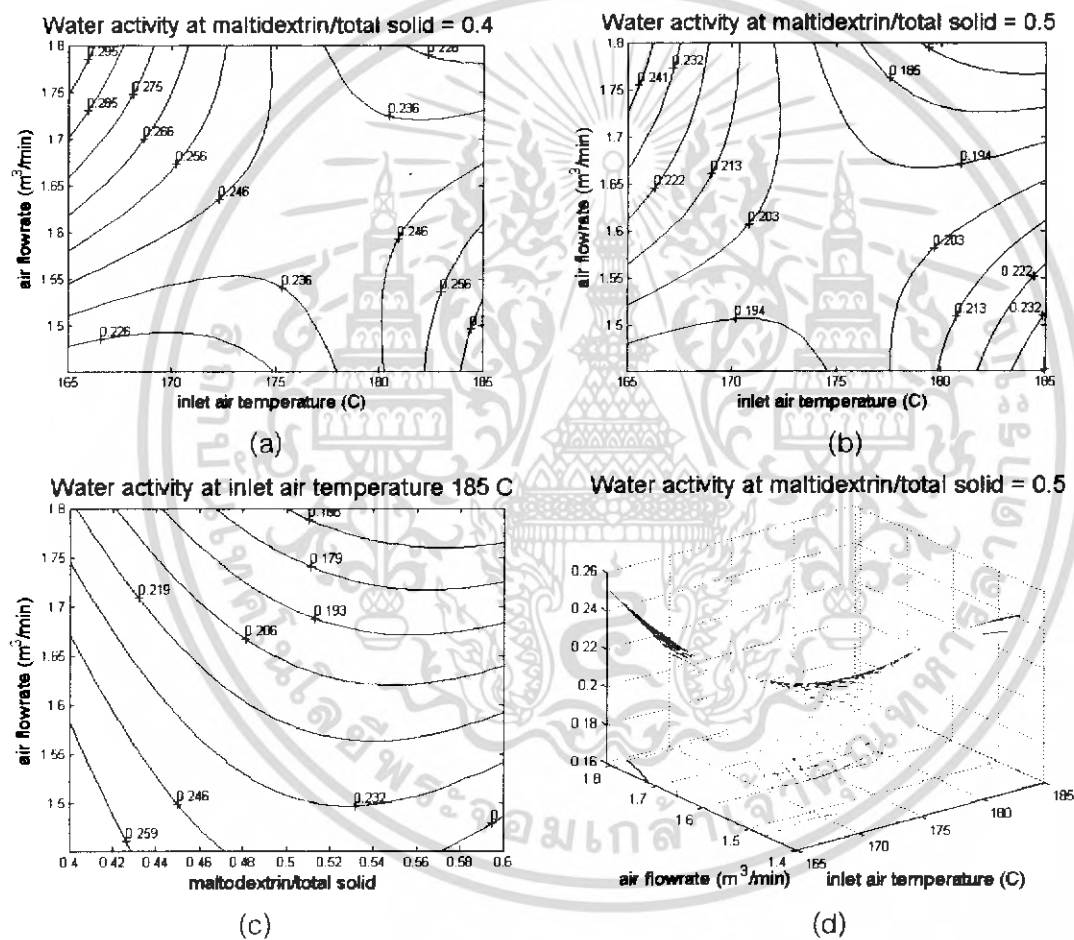


รูปที่ 4.14 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่า water activity ผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 5 โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนคงที่ที่ (a) 165 C (b) 185 C

ค่า water activity ที่วัดจากผลิตภัณฑ์ลำไยผงในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 0.146 – 0.287 จากรูปที่ 4.14 เมื่อให้ค่าปริมาณลมร้อนอบแห้งและอุณหภูมิลมร้อนเข้าคงที่ พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า A_w ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า A_w เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินมี 2 ลักษณะ คือ แบบแรก ในสภาวะที่มีอุณหภูมิลมร้อนคงที่ 165 C มีแนวโน้มว่าค่า A_w จะค่อยลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นจาก 0.4 ถึง 0.56 เป็นเพราะเนื่องจากการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออกจากวัตถุดิบเหลวที่จะทำการทำแห้งลดลง เมื่ออัตราการทำแห้งคงที่ที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำ ปริมาณน้ำที่อากาศสามารถระเหยออกสูงขึ้นทำให้ความชื้นลด ส่งผลให้ค่า A_w ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงตามการเพิ่มสัดส่วนของมอลโตเดกซ์ตรินจึงทำให้ค่า A_w ของผลิตภัณฑ์ลดลง แบบที่สอง ในช่วงที่เริ่มมีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในอัตราส่วนที่มากขึ้นมากกว่าช่วงแรก มีแนวโน้มว่าค่า A_w จะค่อยเปลี่ยนจากลดลงเป็นเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะเนื่องจาก การที่อุณหภูมิของวัตถุดิบเหลว ที่ถูกพ่นใน chamber เมื่อมีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินที่มากเกินไปทำให้ขณะที่มีการถ่ายเทความร้อนอย่างรวดเร็วในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย บริเวณผิววนอกของอนุภาคเกิดการระเหยน้ำออกเร็วกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำในอนุภาคออกมาที่ผิววนอกทำให้บริเวณผิววนอกแห้งเร็วกว่าเกิดเป็นผิวแข็งเคลือบส่วนในที่ยังมีความชื้นสูงไว้คล้ายกับกระบวนการ encapsulation เมื่ออนุภาคของผลิตภัณฑ์ถูกแยกออกจากส่วนแยกผลิตภัณฑ์ของเครื่อง และถูกเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิที่เย็นลงที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาหนึ่ง ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เข้าสู่สภาวะสมดุล มีผลทำให้ความชื้นที่ผิววนอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า A_w เพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการใช้ของลมร้อนมีผลต่อค่า A_w ของผลิตภัณฑ์แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ แบบแรก ช่วงค่า A_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่สภาวะปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินคงที่และอุณหภูมิลมร้อนคงที่ ค่าต่ำที่ 165 C ที่อัตราการใช้ลมร้อนเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำความสามารถในการระเหยน้ำของลมร้อนมีน้อยไม่เพียงพอทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่า A_w เพิ่มมากขึ้น แบบที่สองช่วงค่า A_w มีแนวโน้มลดลงที่สภาวะปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินคงที่และอุณหภูมิลมร้อนคงที่ค่าสูงที่ 185 C เนื่องจาก การเพิ่มอัตราการใช้ของลมร้อนที่อุณหภูมิสูงมีความสามารถในการระเหยน้ำและพาไอน้ำได้ดีกว่าช่วงที่อุณหภูมิต่ำจึงทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง ค่า A_w จึงลดลง



รูปที่ 4.15 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่า water activity ผลิตภัณฑ์ลำไยผงได้ตามสมการที่ 5 โดยกำหนดปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินคงที่ที่ (a) 0.4 (b) 0.5 (c) 0.6 (d) 0.5

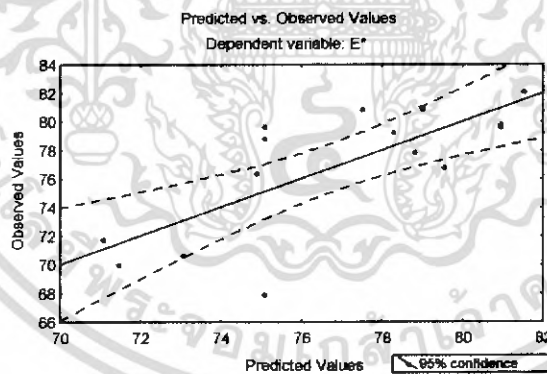
จากรูปที่ 4.15 เมื่อให้อัตราส่วนมวลโตเดกซ์ตรินที่ใช้คงที่ ให้ค่าอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณลมร้อนมีการเปลี่ยนแปลง สามารถแบ่งการเปลี่ยนค่า Aw ได้เป็น 2 ช่วง โดยมีจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า Aw คงที่เป็นหลัก จุดดังกล่าวจะมีตำแหน่งเปลี่ยนไปเมื่อ ปริมาณสัดส่วนมวลโตเดกซ์ตรินที่ใช้เปลี่ยน ในช่วงที่หนึ่งช่วงที่ค่า Aw มีแนวโน้มลดลง จะมีสถานะอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณลมร้อนลดลง และในช่วงสถานะที่มีปริมาณลมร้อน และอุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น ส่วนในช่วงที่ Aw มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาณลมร้อนเพิ่มขึ้นอุณหภูมิลมร้อนต่ำลง และช่วงที่ปริมาณลมร้อนลดลงอุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น

4.2.5 ค่าความเปลี่ยนแปลงของสีทั้งหมด

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความเปลี่ยนแปลงสีทั้งหมด (ΔE) กับปริมาณมวลโตเดกซ์ตริน (M) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_{inlet}) และอัตราการไหลของลมร้อน (Q_{air}) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \Delta E &= 420.3318 M + 2.158162 T_{inlet} - 284.519 Q_{air} \\ &\quad - 102.228 M^2 - 0.00814 T_{inlet}^2 - 62.32915 Q_{air}^2 \\ &\quad - 1.01786 M T_{inlet} + 0.723852 T_{inlet} Q_{air} - 67.8764 X_1 Q_{air} \dots(6) \end{aligned}$$

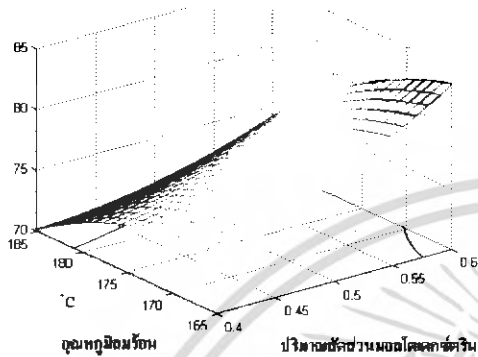
$$R^2 = 0.998352, \text{ Std. Error of estimate} = 4.935862, p < 0.001$$



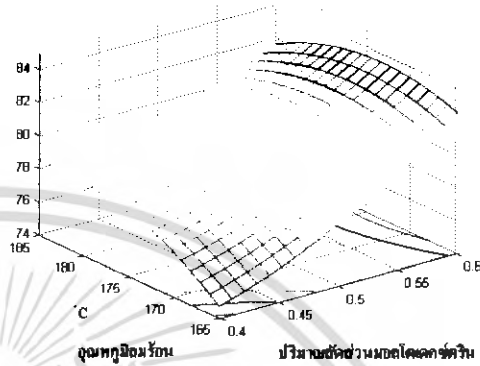
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 5

จากรูปที่ 4.16 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และ ค่า Std. Error อยู่ในเกณฑ์ดี

รูป ค่าสีที่เปลี่ยนแปลง(E*) ที่อัตราการไหลของร้อนคงที่ 1.4 ลูกบาศก์เมตร/นาที



รูป ค่าสีที่เปลี่ยนแปลง(E*) ที่อัตราการไหลของร้อนคงที่ 1.8 ลูกบาศก์เมตร/นาที

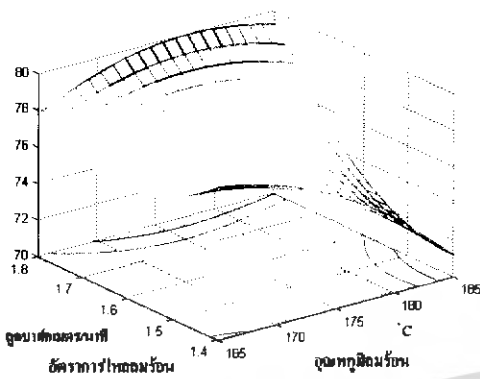


รูปที่ 4.17 รูปแสดงพื้นผิวตอบของเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ผลิตได้ตามสมการที่ 6 โดยกำหนดปริมาณปริมาณลมร้อนที่ใช้คงที่ที่ (a) $1.45 \text{ m}^3 / \text{min}$ (b) $1.80 \text{ m}^3 / \text{min}$

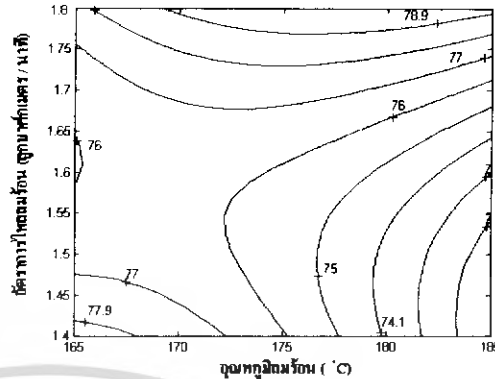
ปริมาณมอลโตเด็ทรีนที่ใช้ในการทดลอง คือ 0.4 , 0.5 , 0.6 กรัม / กรัมของของแข็งที่ละลายได้หลังการเติมมอลโตเด็ทรีนแล้ว จากรูป 4.17 เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิลมร้อนและอัตราการไหลลมร้อนคงที่ พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณมอลโตเด็ทรีน ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมอลโตเด็ทรีนทำให้มีมวลของแข็งที่ละลายได้ในน้ำลำไยสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่น้อยลง ทำให้การเกิดการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลไหม้ (caramelization) น้อยลง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลซึ่งทำให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีทั้งหมดเพิ่มขึ้น

ผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีทั้งหมด พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนจะเป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้งหมดลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะเป็นผลให้การเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลไหม้ดีขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลซึ่งทำให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสีของน้ำลำไยก่อนทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยมากขึ้น

รูป ค่าสีที่เปลี่ยนแปลง (E*) ที่มีปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ทรินคงที่ 0.5



รูป ค่าสีที่เปลี่ยนแปลง (E*) ที่มีปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ทรินคงที่ 0.5



รูปที่ 4.18 รูปแสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความขึ้นผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้ตามสมการที่ 6 โดยกำหนดสัดส่วนมอลโตเดกซ์ทรินคงที่ที่ 0.5

จากรูป 4.18 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเราทำการลดอัตราการใช้ความร้อนให้ลดลง จะส่งผลให้ค่าสีที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดมีค่าลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะอยู่ในห้องอบแห้งแบบพ่นฝอยนานขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาน้ำตาลไหม้มากขึ้น ทำให้ค่าสีที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำลำไยก่อนการบ้อนมากขึ้น

4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ลำไยผงด้วยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ในการผลิตลำไยผง ปัจจัยที่สำคัญในการบ่งชี้ว่าเป็นสภาวะกระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้ ได้ให้ ค่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ค่าสูงสุด และ ระดับค่า water activity ต่ำอยู่ในระดับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิบรรยากาศโดยไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์เป็นเกณฑ์ตัดสิน จากการศึกษาพบว่าค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ผลิตได้ในการทดลองนี้ อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าค่า water activity ต่ำสุดที่ 0.6 เป็นค่าที่จุลินทรีย์สามารถมีชีวิตอยู่ได้ [20] (ตามตารางที่ ข.2 ภาคผนวก) จึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ผลิตได้ทั้งหมดนี้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเสื่อมเสียของจุลินทรีย์

เมื่อพิจารณาเกณฑ์การผลิตจากเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่า การเพิ่มมอลโตเดกซ์ทรินและอุณหภูมิความร้อนจะทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มของอัตราการใช้ความร้อน ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลง ช่วงสภาวะกระบวนการผลิตที่ให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์สูงสุดอยู่ที่ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ทริน 0.6 กรัม / กรัมของปริมาณของแข็งที่ละลายได้

อุณหภูมิความร้อนที่ใช้ทำแห้ง 185 C และช่วงปริมาณอัตราการไหลลมร้อนระหว่าง 1.5 – 1.7 m³/min ซึ่งให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเกินกว่า 40 % แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลจากการทดลองพบว่าที่สภาวะการทดลอง ที่ 6 และ 14 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเกิน 48.9 และ 52.4% ตามลำดับ ในขณะที่สภาวะการทดลองที่ 4 ซึ่งควรจะเป็นสภาวะที่ดีที่สุด แต่ให้ค่าค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตต่ำ ซึ่งอาจเป็นเพราะความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองและผลกระทบจากปัจจัยอื่น เช่น ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้ครอบคลุม มีรายงานว่า การลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนทำการอบแห้ง จะทำให้ปริมาณของผลผลิตที่ผลิตแยกได้ออกจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น[11]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอนแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้

- เปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาคือ เปอร์เซนต์ของผลิตภัณฑ์ลำไยผจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ อุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น และอัตราการไหลของลมร้อนลดลง
- ความชื้นของผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาคือ มีค่าลดลงเมื่อ อุณหภูมิลมร้อนและปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของลมร้อนลดลง
- ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาคือ มีค่าลดลง เมื่อ อุณหภูมิลมร้อนและปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตริน และลดอัตราการไหลของลมร้อน
- การละลาย มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาคือ เวลาที่ผลิตภัณฑ์ใช้ในการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำ และปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินลดลงที่อุณหภูมิลมร้อนสูง
- ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาคือ มีค่าลดลงเมื่อ อุณหภูมิลมร้อนและปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของลมร้อนลดลง

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ผลิตภัณฑ์ลำไยด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยเลือกเงื่อนไขการผลิตให้ได้เปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์สูงสุดอยู่ที่ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตริน 0.6 อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง 185 C และช่วงปริมาณอัตราการไหลลมร้อนระหว่าง 1.5 – 1.7 m³/min ซึ่งให้ค่าเปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์เกิน 40 %ซึ่งหาจาก สมการ (1) ที่มีนัยสำคัญที่ 0.95

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์ผึ่งที่ผลิตได้} = & -1232.74 M - 1.28593 T_{\text{inlet}} + 559.513 Q_{\text{air}} \\ & + 302.585 M^2 - 0.023254 T_{\text{inlet}}^2 - 249.444 Q_{\text{air}} \\ & + 9.498137 M T_{\text{inlet}} + 2.56697 T_{\text{inlet}} Q_{\text{air}} - 377.233 X_1 Q_{\text{air}} \quad (1) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการทดลองหาสภาวะการผลิตลำไยฝงที่เหมาะสมนั้น อุปกรณ์ในการป้อนของเหลวเข้าอบแห้งยังไม่มีเครื่องมือในการควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นของวัตถุดิบเหลว จึงอาจมีปัญหาคัดลอกมีความคาดเคลื่อนได้ จึงควรมีการสร้างต่อเติมเสริมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

5.2.2 ในส่วนของอากาศที่ใช้ทำแห้งที่ใช้ทดลอง ได้ใช้อากาศที่ไม่มีการควบคุมความชื้นในการทดลองแต่ละครั้งจึงมีความแปรปรวนของคุณภาพอากาศที่ใช้ทำแห้ง จึงควรมีการสร้างอุปกรณ์ควบคุมความชื้นของอากาศ การลดความชื้นของอากาศที่ใช้ทำแห้งก่อนเพิ่มเป็นค่าอุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการพาไอน้ำของอากาศที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน อีกทั้งสามารถลดอุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งได้ในกรณีที่ ผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำแห้งต้องการอุณหภูมิหลังจากผ่านการทำแห้งที่ต่ำลงดังเช่นการทดลองนี้

5.2.3 ระบบควบคุมเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนเข้า ด้วยการส่งสัญญาณจากส่วนควบคุมไปปิด – เปิด แฉงทำความร้อนอัตโนมัติ ซึ่งการปิด-เปิดการ จ่ายไฟให้กับแฉงทำความร้อนทำให้อุณหภูมิลมร้อนไม่ค้อยคงที่ และมีการควบคุมอุณหภูมิขาออกคงที่เพื่อให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่สูงเกิน ด้วยการปรับอัตราการป้อนของเหลวเข้าเครื่องอบแห้งทำให้ อัตราการป้อนของเหลวไม่คงที่ตลอดช่วงการทดลอง จึงควรมีการปรับเปลี่ยนและหาแก้ไข เพื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อนและอัตราการป้อนของเหลวให้คงที่ เพื่อการศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นกับปัจจัยแต่ละปัจจัยอย่างชัดเจน หรืออาจมีการดัดแปลงเปลี่ยนเป็นควบคุมแบบ manual ซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยการอบแห้งได้อย่างคงที่เช่นอัตราการป้อนผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

5.2.4 ควรมีการศึกษาต่อไปในเรื่องลักษณะการป้อนของเหลวว่า หัวพ่นชนิดใดเหมาะสมผลิตภัณฑ์ ขนาดอนุภาคของของเหลวที่พ่น

5.2.5 ในการทดลองผลิต ผลิตภัณฑ์ลำไยฝงที่สภาวะต่างๆ ตามการออกแบบการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ติดอยู่ภายในผนังของห้องอบแห้งมีอยู่ในปริมาณสูงเกิน 50% ซึ่งมีลักษณะเป็นผลิตภัณฑ์แห้งร่วน สามารถขูดออกได้จากผนังห้องอบแห้ง แต่มีกลิ่นและสีไหม้ในส่วนที่ติดอยู่ตอนบนของส่วนห้องอบแห้งและบริเวณฝาซึ่งเป็นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงเนื่องจากเป็นบริเวณที่ลมร้อนเข้ามาในห้องอบแห้ง ถ้าสามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ติดอยู่ที่ผนังห้องทำแห้งออกที่ผลิตภัณฑ์ที่มีการไหม้เกิดขึ้นก็สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ได้ เครื่องที่ใช้ในการทดลองนี้มีค้อนช่วยกระแทกผนังห้องอบแห้งให้ผลิตภัณฑ์หลุดออกมา แต่ก็ยังมีประสิทธิภาพไม่ดีนัก จึงควรมีการออกแบบเครื่องมือ

ช่วยในการเอาผลิตภัณฑ์ที่ติดอยู่ที่ผนังห้องอบแห้ง ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่นการ ทำใบมีดกวาดผนังห้องอบลมร้อน เป็นต้น

5.2.6 ควรมีการศึกษาถึงระดับความสูงของหัวฉีดจากด้านบนของ chamber ที่เหมาะสม เนื่องจากพบปัญหาเมื่อทำการฉีดละอองน้ำลำโพงออกมา นั้นถูกลมร้อนพัดให้ไปติดรวมกันที่ผนังด้านบนเป็นจำนวนมาก

5.2.7 ควรมีการศึกษาถึงทิศทางการไหลของกระแสลมร้อนในห้อง chamber เพื่อที่จะได้เลือกใช้หัวฉีด และลักษณะการไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสมต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



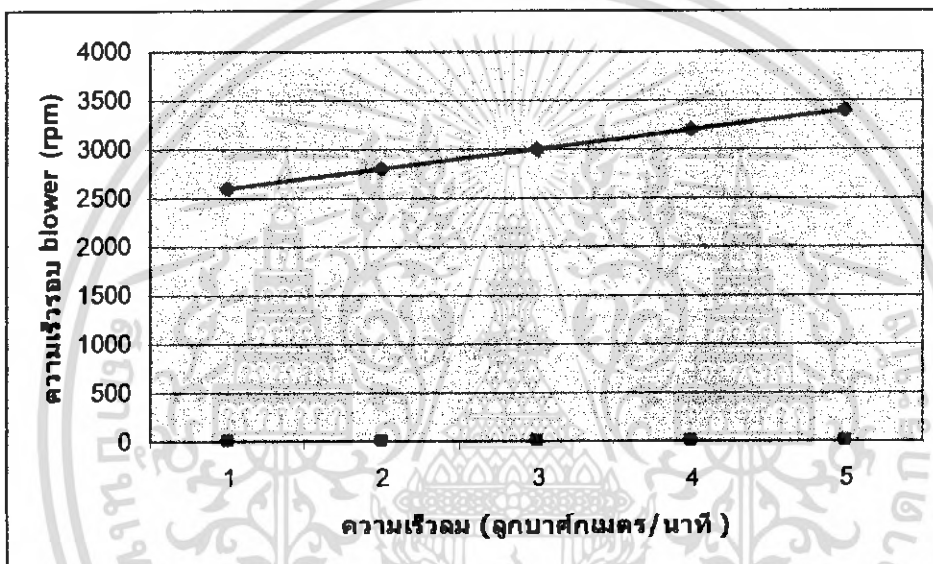
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การปรับค่าปริมาณลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง

ปริมาณลมร้อนที่ใช้ทำแห้งในเครื่องอบแห้งแบบฝอยร่วน minilab SDE-10 สามารถปรับค่าได้จากการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ ในการวัดปริมาณการใช้ลมทำโดยวัดค่าความเร็วลมที่ท่อปล่อยลมร้อนที่ออกจากเครื่องนำมาคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณลมร้อนที่ใช้ (m}^3\text{/min)} = \text{ความเร็วลมร้อน (m/s)} \times \text{พื้นที่หน้าตัดท่อ (m}^2\text{)} \times 60$$



รูปที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ blower กับความเร็วลมของอบแห้งแบบฝอย

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข.1 แสดงค่า Glass transition Temperature(T_g), Change of Specific Heat at T_g (ΔC_p)ของน้ำตาล ค่า T_g วัดโดยใช้ differential scanning calorimetry (DSC) [8]

Compound	T_g ($^{\circ}\text{C}$)	ΔC_p (J/g $^{\circ}\text{C}$)
Hexoses		
Fructose	5	0.75
Fucose	26	-
Galactose	30	0.50
Glucose	31	0.63
Mannose	25	0.72
Rhamnose	-7	0.69
Sorbose	19	0.69
Disaccharides		
Lactose	101	-
Maltose	87	0.61
Melibiose	85	0.58
Sucrose	62	0.60
Trehalose	100	0.55
Alditols		
Maltitol	39	0.56
Sorbitol	-9	0.96
Xylitol	-29	1.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ค่า Water activity (Aw) ต่ำที่สุดสำหรับจุลินทรีย์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร [19]

จุลินทรีย์	Aw ต่ำสุด	จุลินทรีย์	Aw ต่ำสุด
<i>Most spoilage bacteria</i>	0.90-0.91	<i>Stephylococcus albus</i>	0.88-0.92
<i>Aciinetobactor</i>	0.95-0.98	<i>Stephylococcus aureus</i>	0.84-0.92
<i>Aerompnas</i>	0.95-0.98	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0.93-0.98
<i>Alcaligenes</i>	0.95-0.98	<i>Halophilic bacteria</i>	0.75
<i>Arthrobactor</i>	0.95-0.98	<i>Most yeasts</i>	0.87-0.94
<i>Bacillus</i>	0.90-0.99	<i>Osmophilic yeasts</i>	0.60-0.78
<i>Bacillus. Cereus</i>	0.92-0.95	<i>Most molds</i>	0.70-0.80
<i>Citrobactor</i>	0.95-0.98	<i>Xerophilic molds</i>	0.60-0.70
<i>Clostridium botulinum</i>	0.90-0.98	<i>Aspergillus</i>	0.68-0.88
Type A	0.95	<i>Aspergillus glaucus</i>	0.70-0.75
Type B	0.94	<i>Aspergillus flavus</i>	0.80-0.90
Type C	0.97	<i>Aspergillus halophilicus</i>	0.68
<i>Corynebacterium</i>	0.95-0.98	<i>Aspergillus niger</i>	0.80-0.84
<i>Enterobscctor</i>	0.95-0.98	<i>Botrtis cinerea</i>	0.93
<i>Escherichia coli</i>	0.94-0.97	<i>Debaryomyces</i>	0.87-0.91
<i>Flavobacterium</i>	0.95-0.98	<i>Fusarium</i>	0.80-0.92
<i>Klebsiella</i>	0.95-0.98	<i>Hansenula</i>	0.89-0.90
<i>Lactobacillus</i>	0.90-0.94	<i>Mucur</i>	0.80-0.93
<i>Leuconostoc</i>	0.96-0.98	<i>Penicellium</i>	0.80-0.90
<i>Micrococcus</i>	0.90-0.95	<i>Penicillium rubrum</i>	0.67
<i>Micrococcus rocus</i>	0.90-0.93	<i>Rhodotorula</i>	0.89-0.92
<i>Pseudomonas aeruginose</i>	0.96-0.98	<i>Sacchaomyces cerevisiae</i>	0.90-0.94
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0.95-0.97	<i>Saccharomyces rouxii</i>	0.62-0.81
<i>Salmonella</i>	0.93-0.96	<i>Xeromyces bisporus</i>	0.62-0.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ตารางเก็บข้อมูลการทดลองน้ำลำไยผง

วันที่ทำการทดลอง..... การทดลองครั้งที่.....

ข้อมูลวัตถุดิบก่อนป้อน

น้ำลำไย 18 brix นน. g.

ไข่ มอลโตเด็กตรินซ์ (%) เดิม..... g.

หลังเติม มอลโตเด็กตรินซ์ มีความเข้มข้น.....brix

น้ำหนักวัตถุดิบก่อนป้อน..... g. อุณหภูมิเริ่มต้น..... °C

สภาวะเครื่อง

1.	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	ปรับการหมุนปั๊ม no. 1		
2.		ปรับการหมุนปั๊ม no. 2		
3.	Hot Air	Inlet temp.(C)	(sp)	
4.		Outlet temp.(C)	(sp)	
5.		Blower (rpm)	(sp)	
6.	Chamber	P (inc WC)		
7.	หัวฉีด	P. nozzle (Mpa)	(sp)	
8.		P. Air Tank (Mpa)		
9.	Heater	3 kW Auto.		On / Off
10.		1.5 kW		On / Off
11.		3 kW		On / Off
12.		3 kW		On / Off

สภาพอากาศที่ทำการทดลอง

อุณหภูมิห้อง °C db °C

ความชื้น %RH

ผลการทดลองที่ได้

ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ออกจากเครื่องในอุปกรณ์แยกน้ำหนัก..... g.

ความชื้น ความหนาแน่น

สภาพการละลาย.....

การวิจารณ์.....

.....
.....

ภาคผนวก ค.

แสดงข้อมูลวิเคราะห์สถิติของแต่ละ model

ตารางที่ ค.1 แสดงคุณสมบัติของน้ำลำไยที่สภาพการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน

Brix	จำนวนมอลโตเด็กซ์ตริน	ความหนาแน่น (g / ml)	ทอร์ก	ความหนืด
18.0	0%	1.0523	2.1	1.9194
25.0	40%	1.1112	3.7	3.3818
31.5	50%	1.0856	5.6	5.1100
36.0	60%	1.0976	8.5	7.7690

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการความสัมพันธ์ ของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์

ค่าสัมประสิทธิ์ ของสมการ	Y_i				
	% yields	ความชื้น	ความ หนาแน่น	การละลาย	Water activity
a_1	-1232.74	25.83005	2.703818	8976.986*	1.967062
a_2	-1.28593	0.574029*	-0.01804	-38.9156*	-0.05577*
a_3	559.5138	-64.8719*	1.467747	1182.9	5.74905*
a_4	302.5851	36.71407*	6.200517*	116.8078	1.571544
a_5	-0.02325	-0.00072	0.000138	0.15731*	0.000258*
a_6	-249.444*	27.72041**	0.07094	-552.285	-0.50379
a_7	9.4.49814*	-0.28577*	-0.04461*	-45.213*	-0.00744
a_8	2.566977	-0.12168*	-0.0044	6.054481	-0.01919*
a_9	-377.3492	-9.83019	-0.81724	-757.914	-1.50772
R^2	0.842432	0.938735	0.98179	0.955974	0.987041
p	0.00876	0.009874	0.000512	0.004455	0.000221
Standard	17.56497	0.59548	0.086161	48.0733	0.039895

หมายเหตุ * $p < 0.5$, ** $p < 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Tdb°C	27	30	29.5	30.5	32	31	31.2	31	29	29	28	25	26	27	30
Twb°C	21	24	22	23	26	26.5	25.5	25	25	26	24	1	18.5	20	23.5
%RH	58.78	61.11	52.27	53.15	62.48	70.5	62.15	61.82	72.58	79.04	72.05	50.75	48.81	52.78	58.26
Tdp1°C	18.25	21.69	18.7	19.89	23.94	25	23.38	22.82	23.57	25	22.49	14.1	14.41	16.55	20.91
W1(g/kg)	13.2	16.42	13.59	14.66	18.89	20.2	18.24	17.62	18.47	20.16	17.26	10.07	10.29	11.83	15.63
Tout2°C	165	165	185	185	175	175	175	175	165	185	165	175	175	175	175
%RH2	0.32	0.37	0.19	0.21	0.33	0.36	0.32	0.31	0.42	0.28	0.39	0.18	0.18	0.21	0.28
H2(kj/kg)	205.5	214.5	228.1	231.2	232.3	236	230.5	228.7	220.3	246.8	216.9	207.37	208.06	212.35	223.09
W100%RH	62.4	65.51	70.23	52.76	71.7	73	71.04	70.44	67.52	76.76	66.33	63.03	63.28	64.77	68.48
Tdb100%RH	44.17	45.06	46.28	46.56	46.61	46.9	46.46	46.31	45.56	47.82	95.26	44.39	44.44	44.83	45.83
W 90C	43.15	46.54	51.63	53.2	53.2	54.6	52.51	51.85	48.69	58.63	47.42	43.85	44.11	45.72	49.74
%RH90C	29.33	10.01	11.02	11.33	11.33	11.6	11.19	11.07	10.44	12.39	10.19	9.47	9.52	9.85	10.65

Calculate from program 'PsyCalc@98' Lintric Company

ตารางที่ ค.3 แสดงผลการอากาศที่ใช้ทำแห้งที่การทดลองต่างๆ

SUMMARY OUTPUT

yeild

Regression Statistics

Multiple R	0.950345
R Square	0.903156
Adjusted R	0.411046
Standard E	16.86537
Observatic	15

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regressor	11	10610.65	964.6049	3.391235	0.17165
Residual	4	1137.762	284.4406		
Total	15	11748.42			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
X Variable	-8550.14	7466.689	-1.1451	0.316024	-29281	12180.71	-29281	12180.71
X Variable	161.5591	266.642	0.605902	0.57728	-578.758	901.876	-578.758	901.876
X Variable	-11110.9	133903.3	-0.08298	0.937856	-382886	360664.3	-382886	360664.3
X Variable	-460.841	778.1058	-0.59226	0.585533	-2621.21	1699.527	-2621.21	1699.527
X Variable	1844.334	1618.41	1.139596	0.318064	-2649.09	6337.761	-2649.09	6337.761
X Variable	-0.90365	1.432183	-0.63096	0.562324	-4.88002	3.072732	-4.88002	3.072732
X Variable	-1382590	1147875	-1.20448	0.294798	-4569601	1804421	-4569601	1804421
X Variable	35.98865	28.45009	1.264975	0.274556	-43.0015	114.9788	-43.0015	114.9788
X Variable	441.6749	564.1958	0.78284	0.477473	-1124.78	2008.134	-1124.78	2008.134
X Variable	25717.58	57935.15	0.443903	0.680069	-135136	186571.3	-135136	186571.3
X Variable	2.52185	4.232235	0.595867	0.583344	-9.22872	14.27242	-9.22872	14.27242

RESIDUAL OUTPUT

Observation	Predicted Y	Residuals	Standard Residuals
1	38.3685	-1.4485	-0.16632
2	35.489	-3.239	-0.3719
3	3.070479	2.389521	0.274366
4	31.73667	-0.08667	-0.00995
5	3.053403	1.516597	0.174137
6	46.5427	3.247302	0.372857
7	11.45517	-2.57517	-0.29568
8	29.26731	11.11269	1.275966
9	12.46469	-1.62469	-0.18655
10	8.744241	-3.43424	-0.39432
11	8.876347	5.043653	0.579115
12	26.53488	-14.0049	-1.60805
13	28.65538	-12.7154	-1.45999
14	29.63125	22.96875	2.637286
15	31.38782	-7.15782	-0.82187

PROBABILITY OUTPUT

Percentile	Y
3.333333	4.57
10	5.31
16.66667	5.46
23.33333	8.88
30	10.84
36.66667	12.53
43.33333	13.92
50	15.94
56.66667	24.23
63.33333	31.65
70	32.25
76.66667	36.92
83.33333	40.38
90	49.79
96.66667	52.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUMMARY OUTPUT

ความหนาแน่น

Regression Statistics	
Multiple R	0.990853
R Square	0.98179
Adjusted R	0.790843
Standard E	0.086161
Observatic	15

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regressor	9	2.401498	0.266833	35.94325	0.000512
Residual	6	0.044542	0.007424		
Total	15	2.44604			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
X Variable	2.703818	10.5276	0.256832	0.805889	-23.0563	28.46392	-23.0563	28.46392
X Variable	-0.01804	0.069061	-0.2612	0.802674	-0.18702	0.150947	-0.18702	0.150947
X Variable	1.467747	6.397973	0.229408	0.826172	-14.1875	17.12302	-14.1875	17.12302
X Variable	6.200517	4.913608	1.261907	0.253817	-5.82265	18.22368	-5.82265	18.22368
X Variable	0.000138	0.000268	0.516822	0.623771	-0.00052	0.000793	-0.00052	0.000793
X Variable	-0.07094	1.595556	-0.04446	0.965977	-3.97513	3.833241	-3.97513	3.833241
X Variable	-0.04461	0.042368	-1.0529	0.332931	-0.14828	0.059062	-0.14828	0.059062
X Variable	-0.0044	0.022935	-0.19194	0.854119	-0.06052	0.051717	-0.06052	0.051717
X Variable	-0.81724	2.881112	-0.28365	0.786209	-7.86707	6.232586	-7.86707	6.232586

RESIDUAL OUTPUT

PROBABILITY OUTPUT

Observator	Predicted Y	Residuals	Standard Residuals	Percentile	Y
1	0.414283	0.034207	0.627737	3.333333	0.22982
2	0.448607	-0.00832	-0.15262	10	0.32023
3	0.516937	0.023913	0.438822	16.66667	0.327309
4	0.372824	-0.02432	-0.44636	23.33333	0.3485
5	0.418104	-0.00137	-0.02522	30	0.36753
6	0.400312	0.031988	0.587006	36.66667	0.36873
7	0.466823	-0.05773	-1.05931	43.33333	0.409098
8	0.367425	-0.04012	-0.73616	50	0.41346
9	0.344323	-0.02409	-0.44213	56.66667	0.41673
10	0.377744	-0.00901	-0.16542	63.33333	0.4244
11	0.379895	-0.01236	-0.2269	70	0.4323
12	0.367425	0.106455	1.953557	76.66667	0.44029
13	0.362327	0.062073	1.139098	83.33333	0.44849
14	0.362327	-0.13251	-2.43163	90	0.47388
15	0.362327	0.051133	0.938338	96.66667	0.54085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUMMARY OUTPUT

ความถี่ 1

Regression Statistics

Multiple R	0.968884
R Square	0.938736
Adjusted R	0.690383
Standard E	0.599548
Observatic	15

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	9	33.04725	3.671917	10.21514	0.009874
Residual	6	2.15675	0.359458		
Total	15	35.204			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
X Variable	25.83005	73.25584	0.352601	0.736444	-153.421	205.0806	-153.421	205.0806
X Variable	0.574029	0.480557	1.194508	0.277353	-0.60185	1.749909	-0.60185	1.749909
X Variable	-64.8719	44.52004	-1.45714	0.195341	-173.809	44.06469	-173.809	44.06469
X Variable	36.71407	34.19114	1.073789	0.324192	-46.9486	120.3768	-46.9486	120.3768
X Variable	-0.00072	0.001862	-0.38631	0.712596	-0.00528	0.003837	-0.00528	0.003837
X Variable	27.72041	11.10261	2.496747	0.046733	0.553296	54.88753	0.553296	54.88753
X Variable	-0.28577	0.294818	-0.96932	0.369821	-1.00717	0.435621	-1.00717	0.435621
X Variable	-0.12168	0.159591	-0.76243	0.474699	-0.51218	0.268828	-0.51218	0.268828
X Variable	-9.83019	20.0481	-0.49033	0.641314	-58.8861	39.22574	-58.8861	39.22574

RESIDUAL OUTPUT

PROBABILITY OUTPUT

Observator	Predicted Y	Residuals	Standard Residuals	Percentile	Y
1	1.390088	0.113962	0.300543	3.333333	0.042
2	1.167444	0.078006	0.205719	10	0.2304
3	1.463125	0.011225	0.029603	16.66667	0.4617
4	0.097391	0.133009	0.350772	23.33333	0.74915
5	2.248735	-0.11649	-0.3072	30	1.1924
6	1.900837	-0.19299	-0.50895	36.66667	1.24545
7	2.272711	0.018339	0.048365	43.33333	1.47435
8	1.388842	0.887358	2.340155	50	1.50405
9	1.608758	0.262292	0.691721	56.66667	1.5518
10	1.662663	0.116037	0.306015	63.33333	1.70785
11	1.714242	-0.16244	-0.42839	70	1.7787
12	1.388842	-0.63969	-1.68701	76.66667	1.87105
13	0.734306	0.458094	1.208092	83.33333	2.13225
14	0.734306	-0.69231	-1.82576	90	2.2762
15	0.734306	-0.27261	-0.71892	96.66667	2.29105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUMMARY OUTPUT

ความขึ้น 2

Regression Statistics

Multiple R	0.974331
R Square	0.949321
Adjusted R	0.572625
Standard E	0.66785
Observatic	15

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regressor	11	33.41991	3.038174	6.811693	0.070416
Residual	4	1.784093	0.446023		
Total	15	35.204			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95 0%	Upper 95 0%
Intercept	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
X Variable	-154.693	295.6726	-0.52319	0.628486	-975.612	666.2257	-975.612	666.2257
X Variable	8.967749	10.55873	0.849321	0.443546	-20.348	38.28348	-20.348	38.28348
X Variable	-7524.12	5302.423	-1.419	0.228901	-22246	7197.763	-22246	7197.763
X Variable	-24.7494	30.81212	-0.80324	0.466855	-110.298	60.79874	-110.298	60.79874
X Variable	64.00738	64.08725	0.998754	0.374436	-113.927	241.9421	-113.927	241.9421
X Variable	-0.04583	0.056713	-0.80816	0.46432	-0.20329	0.111627	-0.20329	0.111627
X Variable	105702.7	45454.56	2.325458	0.080653	-20499.4	231904.8	-20499.4	231904.8
X Variable	0.42348	1.126592	0.375895	0.726081	-2.70444	3.5514	-2.70444	3.5514
X Variable	8.794084	22.34153	0.393621	0.713942	-53.2359	70.82411	-53.2359	70.82411
X Variable	606.0014	2294.168	0.264149	0.804717	-5763.63	6975.632	-5763.63	6975.632
X Variable	0.134444	0.167592	0.802211	0.467384	-0.33087	0.599753	-0.33087	0.599753

RESIDUAL OUTPUT

PROBABILITY OUTPUT

Observator	Predicted Y	Residuals	Standard Residuals
1	1.544393	-0.04034	-0.11698
2	1.158949	0.086501	0.250818
3	1.584538	-0.11019	-0.3195
4	0.232969	-0.00257	-0.00745
5	2.139844	-0.00759	-0.02202
6	1.793979	-0.08613	-0.24974
7	2.136221	0.154829	0.448942
8	1.63848	0.63772	1.849128
9	1.866634	0.004416	0.012804
10	1.697665	0.081035	0.234967
11	1.637942	-0.08614	-0.24978
12	1.467438	-0.71829	-2.08274
13	0.459147	0.733253	2.126136
14	0.520233	-0.47823	-1.38668
15	0.630188	-0.16849	-0.48855

Percentile	Y
3.333333	0.042
10	0.2304
16.66667	0.4617
23.33333	0.74915
30	1.1924
36.66667	1.24545
43.33333	1.47435
50	1.50405
56.66667	1.5518
63.33333	1.70785
70	1.7787
76.66667	1.87105
83.33333	2.13225
90	2.2762
96.66667	2.29105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUMMARY OUTPUT

การกระจาย

<u>Regression Statistics</u>	
Multiple R	0.825278
R Square	0.681084
Adjusted R	0.089195
Standard E	3.229371
Observatic	15

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	9	133.6321	14.84801	1.423746	0.364187
Residual	6	62.57301	10.42883		
Total	15	196.2051			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
X Variable	236.486	394.5807	0.599335	0.570871	-729.018	1201.99	-729.018	1201.99
X Variable	-1.39674	2.588441	-0.53961	0.608895	-7.73043	4.936948	-7.73043	4.936948
X Variable	75.90039	239.8	0.316515	0.762334	-510.869	662.6698	-510.869	662.6698
X Variable	-120.68	184.165	-0.65528	0.536585	-571.316	329.9554	-571.316	329.9554
X Variable	0.002674	0.01003	0.266594	0.798707	-0.02187	0.027216	-0.02187	0.027216
X Variable	-46.847	59.80243	-0.78336	0.463205	-193.178	99.4843	-193.178	99.4843
X Variable	-0.5328	1.587989	-0.33552	0.748657	-4.41846	3.352873	-4.41846	3.352873
X Variable	0.484353	0.85961	0.563456	0.593541	-1.61904	2.587743	-1.61904	2.587743
X Variable	-14.9802	107.9858	-0.13872	0.894207	-279.212	249.2516	-279.212	249.2516

RESIDUAL OUTPUT

PROBABILITY OUTPUT

Observation	Predicted Y	Residuals	Standard Residuals	Percentile	Y
1	1.951874	-0.44687	-0.2188	3.333333	1.335
2	2.500399	-0.3354	-0.16422	10	1.415
3	4.736792	-0.09679	-0.04739	16.66667	1.505
4	3.154132	-0.99413	-0.48674	23.33333	1.79
5	1.262727	0.642273	0.314465	30	1.905
6	1.425763	1.214237	0.594505	36.66667	2.005
7	2.061547	-0.27155	-0.13295	43.33333	2.16
8	2.827506	-0.63751	-0.31213	50	2.165
9	3.058258	-1.72326	-0.84373	56.66667	2.19
10	2.578623	-0.57362	-0.28085	63.33333	2.285
11	1.645779	0.639221	0.31297	70	2.435
12	2.827506	-0.39251	-0.19218	76.66667	2.64
13	4.025208	-1.25521	-0.61457	83.33333	2.77
14	4.025208	6.829792	3.343948	90	4.64
15	4.025208	-2.61021	-1.27799	96.66667	10.855

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการค้าภายใน. 2546. **ปริมาณการแปรรูปลำไยปี 2546**. กรุงเทพฯ : กรมการค้าภายใน
- [2] ศูนย์วิจัยและพัฒนาลำไยและลิ้นจี่. 2543. **การผลิตลำไย**. โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตลำไยและลิ้นจี่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [3] กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. **"มูลค่าและปริมาณการส่งออกลำไย"**.
[Online]. Available : <http://www.oae.go.th> .2005
- [4] วิไล รังสาดทอง. 2546. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. กรุงเทพฯ : บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัลพับลิเคชัน จำกัด.
- [5] Buchi labortechnik AG. Training Papers Spray Drying. 1997-2002
- [6] โชษิติน ทองสุกานนท์, 2536. **การศึกษาเบื้องต้นในการแปรรูปน้ำหวานทางจระเข้ผงโดยวิธีอบแห้งแบบเชือกแห้ง**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [7] Master, K. 1991. *Spray Drying Handbook*. 5th edit. Longman Scientific and Technical. England
- [8] Bhandari, B.R. and Howes, T. 1999. **Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods**. *Journal of Food Engineering*, 40, 71-79.
- [9] Roos, Y. and Karel, M. 1991b. **Plasticizing effect of water on thermal behaviour and crystallization of amorphous food models**. *Journal of food science*, 56(1), 38-43
- [10] Bhandari B.R. , Datta N. , Crooks R. , Howe, T and Rigby, S. 1997b. **A semi-empirical approach to optimise the quantity required to spray dry sugar rich foods**. *Drying Technology*, 15(10), 2509-2525
- [11] Athanasia M. Goula and Konstantinos G. Adamopoulos. 2005. **Spray drying of tomato pulp in dehumidified air:II. The effect on powder properties**. *Journal of Food Engineering*. 66, 35-42
- [12] Athanasia M. Goula and Konstantinos G. Adamopoulos. 2005. **Spray drying of tomato pulp in dehumidified air:I. The effect on product recovery**. *Journal of Food Engineering*. 66, 25-34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Milton Cano-Chauca, P.C. Stringheta , A.M. Ramos and J. Cal-Vidal. 2005. **Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization**. Innovative Food Science and Emerging Technologies.
- [14] ปารเมศ ชูติมา. 2545. **การรอกแบบการทดลองทางวิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [15] A.O.A.C. 1984. **Official Method of Analysis**. 17th ed. Association of Official Analytical, Washington D.C. 1236p
- [16] กมลกาญจน์ จิฎุกาญจน์ และคณะ. 2543. **การผลิตเมล็ดเชครตสมุนไพรมังและผลิตภัณฑ์**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารฯ ลาดกระบัง
- [17] ดาริกา สิมพัฒน์พงศ์ และคณะ. 2545. **การศึกษาการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. ภาควิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารฯ ลาดกระบัง
- [18] G.P. Sharma, Suresh Prasad. 2006. **Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves**, Journal of food Engineering. 75, 441-446
- [19] B. Adhikari, T. Howes, D. Lecomete, B. R. Bhandari, 2005 **A glass transition temperature approach for the prediction of surface stickiness of drying droplet during spray drying**, Powder Technology. 49, 168-179
- [20] วิไล รังสาดทอง. 2546. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น