สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของสภาวะการผลิตต่อการผลิตน้ำลำไยผง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

EFFECT OF THE OPERATING PARAMETERS ON SPRAY DRYING OF LONGAN DRINK POWDER

นางสาวญาณิกา มณีศรี
นางสาวณัฏฐ์นิรินธน์ พันธุมจินดา
นางสาววิริยา ศนีบุตร

มพ.
ญ 942ผ
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 71969
วัน,เดือน,ปี - 7 มิ.ย. 2550

.b 11761120
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF THE OPERATING PARAMETERS ON SPRAY DRYING OF LONGAN DRINK POWDER

Miss.Yanika Maneesri
Miss.Natnirin Phanthumchinda
Miss.Viriya Saneebuttra

A REPORT SUBMITED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของสภาวะการผลิตต่อการผลิตน้ำลำไยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

Effect of the Operating Parameters on Spray Drying of Longan Drink Powder

ผู้จัดทำ

1.นางสาวญาณิกา มณีศรี

2.นางสาวณัฏฐ์นิรินธน์ พันธุมจินดา

3.นางสาววิริยา ศนีบุตร

.....

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ผลของสภาวะการผลิตต่อการผลิตน้ำลำไยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

โดย นางสาวญาณิกา มณีศรี
นางสาวณัฏฐ์นิรินธน์ พันธุมจินดา
นางสาววิริยา ศนีบุตร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ลำไยจัดเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปัจจุบันจึงมีความนิยมปลูกกันมากจนเกินความต้องการของตลาด ทำให้เกิดการเน่าเสียของลำไย การทำน้ำลำไยผงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาผลผลิตลำไยที่ล้นตลาดและเป็นการเพิ่มมูลค่าของลำไย การผลิตน้ำลำไยผงให้อยู่รูปแบบที่สามารถละลายน้ำเพื่อดื่มได้ทันทีจึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภค เนื่องจากง่ายต่อการบริโภคและสามารถเก็บได้นาน โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาวะการผลิตในการผลิตน้ำลำไยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ปริมาณลมที่หัวฉีด (198-509 cm^3/s), อุณหภูมิลมร้อนขาออก (60-80 °C) และอัตราการป้อน (2.28-3.42 L/hr) โดยให้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าคงที่ที่ 175 ° C ใช้หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง ประกอบด้วย 18 การทดลอง ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ อาทิ ปริมาณความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ ค่าความหนาแน่น ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ สี พร้อมทั้งสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าตัวแปรของสภาวะการผลิตกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่าปัจจัยทั้งสาม ได้แก่ ปริมาณลมที่หัวฉีด อุณหภูมิลมร้อนขาออก และอัตราการป้อน ต่างมีผลต่อคุณลักษณะของลำไยผงที่ได้ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Effect of the Operating Parameters on Spray Drying of Longan Drink Powder	
By	Miss.Yanika	Maneesri
	Miss.Natnirin	Phanthumchinda
	Miss.Viriya	Saneebuttra
Advisor	Asst.Prof.Dr.Maradee	Phongpipatpong
Report for	Bachelor's 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 into the form of longan drink powder would be more efficient and gain higher value product. The objective of this study is to investigate the effects of processing parameters including air out temperature at 60, 70, 80 degree Celsius, air flow rate in atomizer at 198 , 339 , 509 cm^3 / s and feed rate at 2.28 , 3.42 L/hr. Analyzes of moisture content, solubility, bulk density, yield, color was performed on the product. The results showed that these three parameters are related to the quality and quantity of the product. The most important parameter are the air flow rate and air outlet temperature respectively, while feed rate does not significantly affected the product characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ คำชี้แนะและแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานที่ดี

ขอขอบพระคุณพ่อ แม่ และทุกคนในครอบครัวสำหรับกำลังใจ ความห่วงใย และการสนับสนุนเป็นอย่างดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณ คุณนันทวัน แหนคำ คุณอำนาจ คูตะคุ และ คุณบุญนำ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึษาและความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวญาณิกา มณีศรี
นางสาวณัฏฐ์นิรินธน์ พันธุมจินดา
นางสาววิริยา ศนีบุตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... V
กิตติกรรมประกาศ.....VI
สารบัญ..... VII
สารบัญตาราง.....X
สารบัญรูปภาพ.....XI
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลำไย..... 3
2.1.1 ปัญหาของลำไยข้อจำกัดและโอกาส..... 3
2.1.2 พันธุ์ลำไย.....4
2.2 การอบแห้งแบบพ่นฝอย.....6
2.2.1 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....6
2.2.2 หัวฉีดที่ใช้พ่นของเหลวในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....6
2.2.3 ลักษณะการไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....7
2.2.4 ระบบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....8
2.3 ตัวแปรในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์.....9
2.3.1 ความหนืดของอาหารเหลว..... 9
2.3.2 อัตราการไหลของอาหารเหลว..... 9
2.3.3 อัตราไหลของอากาศ..... 9
2.3.4 อุณหภูมิขาเข้าของลมร้อน.....9
2.3.5 อุณหภูมิขาออกของลมร้อน.....10
2.3.6 อัตราการพ่น.....10
2.4 สารช่วยทำแห้ง (Drying Aids).....10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 วิธีพื้นผิวผลตอบ.....11
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....11
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....13
3.1 วัสดุ อุปกรณ์.....13
3.2 วิธีการทดลอง.....13
3.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้.....15
3.3.1 การหาค่าความชื้น..... 15
3.3.2 ความสามารถในการละลาย.....16
3.3.3 การหาค่าความหนาแน่น.....16
3.3.4 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้.....16
3.3.5 การวัดค่าสี.....17
3.4 การวางแผนการทดลอง.....13
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....20
4.1 ตารางผลการทดลอง.....20
4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่างๆ ของลำไยผงที่ได้.....21
4.2.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้.....21
4.2.2 ปริมาณความชื้น.....23
4.2.3 ความหนาแน่น.....25
4.2.4 ความสามารถในการละลาย.....27
4.2.5 ค่าการเปลี่ยนแปลงสี.....29
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....31
5.1 สรุปผลการทดลอง.....31
5.2 ข้อเสนอแนะ.....32
เอกสารอ้างอิง.....33
ภาคผนวก.....35
ภาคผนวก ก แสดงการการปรับค่าปริมาณลมที่หัวฉีด 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสมการความสัมพันธ์
ระหว่างสภาวะการผลิตกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ลำไยผง.....37
ภาคผนวก ค แสดงรูปอุปกรณ์ วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง.....43
ภาคผนวก ง การปรับค่าตัวแปรการผลิตในการทดลอง.....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงแสดงองค์ประกอบทางเคมีของลำไย 5
ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะการทดลอง.....19
ตารางที่ 3.2 แสดงสภาวะควบคุมของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง.....19
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ลำไย.....20
ตารางที่ ข.1 แสดงค่าสัมประสิทธิของสมการความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ
ของผลิตภัณฑ์.....37
ตารางที่ ข.2 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่าง %YIELD
กับค่าตัวแปรที่ศึกษา 38
ตารางที่ ข.3 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น
กับค่าตัวแปรที่ศึกษา.....39
ตารางที่ ข.4 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น
กับค่าตัวแปรที่ศึกษา.....40
ตารางที่ ข.5 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถ
ในการละลายกับค่าตัวแปรที่ศึกษา.....41
ตารางที่ ข.6 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงสี
กับค่าตัวแปรที่ศึกษา.....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดง Rotary Atomizer.....6
รูปที่ 2.2 แสดงPressure Nozzles Atomizer.....7
รูปที่ 2.3 แสดงการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....8
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมน้ำลำไยเริ่มต้น.....14
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง.....15
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลองกับจากการ
คำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 1.....21
รูปที่ 4.2 แสดงพื้นผิวผลตอบของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้โดยกำหนดอัตาการป้อนวัตถุดิบ
คงที่ที่ (a) 2.28 L/hr (b)3.42 L/hr.....22
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลอง
กับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 2.....23
รูปที่ 4.4 แสดงพื้นผิวผลตอบของความชื้นโดยกำหนดอัตราการป้อนวัตถุดิบ
คงที่ที่ (a) 2.28 L/hr (b) 3.42 L/hr.....24
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณ
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 3.....25
รูปที่ 4.6 แสดงพื้นผิวผลตอบของความหนาแน่นโดยกำหนดอัตราการป้อนวัตถุดิบ
คงที่ที่ (a) 2.28 L/hr (b) 3.42 L/hr.....26
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบความสามารถการละลายที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณ
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 4.....27
รูปที่ 4.8 แสดงพื้นผิวผลตอบของความสามารถการละลายโดยกำหนดอัตราการป้อนวัตถุดิบ
คงที่ที่ (a) 2.28 L/hr (b) 3.42 L/hr.....28
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสีที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบ
จำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 5.....29
รูปที่ 4.10 แสดงพื้นผิวผลตอบของค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยกำหนดอัตราการป้อนวัตถุดิบ
คงที่ที่ (a) 2.28 L/hr (b) 3.42 L/hr.....30
รูปที่ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความดันลม
ที่หัวฉีด Rotary Atomizer.....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ค.1 แสดงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....43
รูปที่ค.2 แสดง Rotary Atomizer ที่ใช้ในการทดลอง.....43
รูปที่ค.3 แสดงลำไยอบแห้งพันธุ์อีดอที่ใช้ในการทดลอง.....44
รูปที่ค.4 แสดงน้ำลำไยเริ่มต้น เตรียมเข้าอบแห้งแบบพ่นฝอย.....44
รูปที่ค.5 แสดงผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้.....45
รูปที่ง.1 แสดงแผงควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....46
รูปที่ง.2 แสดงอุปกรณ์ปรับอัตราการไหลของลมร้อนที่หัวฉีด.....47
รูปที่ง.3 แสดงชุดป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ลำไย (Longan)เป็นพืชไม้ผลเขตร้อน จัดเป็นผลไม้ที่สร้างรายได้ให้กับประเทศและเป็นที่นิยมของผู้บริโภคในประเทศเนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ที่มีรสชาติหอมหวานและมีสารอาหารสำคัญ ลำไยจึงเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีความต้องการทางตลาดสูง เกษตรกรจึงมีการเร่งผลิต ซึ่งทำให้เกิดปัญหาปริมาณลำไยล้นตลาด ราคาตกต่ำ อีกทั้งลำไยเป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นการแปรรูปจึงเป็นวิธีที่ช่วยขจัดปัญหาการเน่าเสีย สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถมีผลิตภัณฑ์ลำไยบริโภคได้ตลอดทั้งปี (กรมการค้าภายใน,2546)

การแปรรูปลำไยที่ใช้มีอยู่หลายวิธี เช่น ลำไยอบแห้ง ลำไยกระป๋อง น้ำลำไย เป็นต้น การบริโภคลำไยแห้งนิยมทำเป็นน้ำลำไย แต่การทำน้ำลำไยแต่ละครั้งผู้บริโภคต้องใช้เวลานานในการต้มจึงไม่สะดวกต่อการบริโภค ดังนั้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลำไยไปสู่รูปแบบที่สะดวก ง่ายต่อการเก็บรักษาและพร้อมบริโภคได้ทันทีย่อมเป็นประโยชน์และส่งเสริมการบริโภคมากขึ้น จึงมีการคิดค้นการแปรรูปลำไยแบบใหม่ โดยการผลิตเป็นลำไยผงเพื่อใช้แทนลำไยสดหรือลำไยอบแห้งในการทำเครื่องดื่มหรืออาหารอื่น ๆ นอกจากนี้จากข้อมูลทางการตลาดพบว่าความต้องการบริโภคลำไยของตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ลำไยผงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคที่ที่นิยมลำไย แต่ปัญหาสำคัญที่มักพบในระหว่างการทำแห้งน้ำผลไม้ หรืออาหารเหลวที่มีความหวานสูงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย คือจะเกิดลักษณะเหนียวติดเครื่อง จึงต้องแก้ปัญหาโดยการหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยก่อนทำการอบแห้ง เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์น้ำลำไยผงที่มีคุณลักษณะตรงตามความต้องการได้

การผลิตอาหารผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีการทำแห้งที่เหมาะกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้นที่เป็นของเหลวที่เป็นสารละลายเนื้อเดียว (homogeneous solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (non - homogeneous solution) เป็นการอบแห้งแบบรวดเร็ว การอบแห้งแบบพ่นฝอยอาหารเหลวจะถูกทำให้เป็นละอองฝอยด้วยหัวฉีด (atomizer) เข้าไปในห้องทำแห้งซึ่งมีลมร้อนไหลผ่านเข้ามาทำให้ละอองฝอยของอาหารสัมผัสกับลมร้อนและเกิดการระเหยน้ำในละอองฝอยได้อนุภาคที่แห้งเข้าสู่เครื่องแยกไซโคลนออกจากเครื่องเป็นผลิตภัณฑ์ผงที่ต้องการกระบวนการผลิตอาหารด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยากและมีประสิทธิภาพสูงสามารถปรับใช้กับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทำลำไยผงได้ง่าย (วิไล ,2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในโครงงานนี้ สนใจที่จะพัฒนากรรมวิธีการผลิตน้ำลำไยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อเพิ่มมูลค่าและเป็นแนวทางในการหาสภาวะเหมาะสมต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลำไยผงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหาผลของสภาวะการผลิต(ปริมาณลมที่หัวฉีด อุณหภูมิขาออกและอัตราการป้อนอาหารเหลว)ต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำลำไยผงที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.2.2 เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 วัตถุดิบน้ำลำไยเตรียมจากลำไยแห้งพันธุ์อีดอ โดยใช้ลำไยแห้งต่อน้ำในอัตราส่วน 1:4

1.3.2 ทำการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย JCM รุ่น minilab SDE – 10 ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอาหาร

1.3.3 ค่าตัวแปรที่ศึกษา คือ

1.3.3.1 อัตราการป้อนวัตถุดิบในช่วง 2.28 - 3.42 L/hr

1.3.3.2 ปริมาณลมที่หัวฉีดในช่วง 198 - 509 cm^3/s

1.3.3.3 อุณหภูมิลมร้อนขาออกในช่วง 60 - 80 องศาเซลเซียส

1.3.4 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้แก่ เปอร์เซนต์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ ความชื้น ความหนาแน่น ความสามารถในการละลายและสี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แนวทางในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ลำไยผงจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.4.2 ได้ประสบการณ์การใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร

1.4.3 เป็นการพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้มีมูลค่าสูงขึ้น ลดการสูญเสียลำไยสดและง่ายต่อการบริโภคมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลำไย (กรมวิชาการเกษตร, 2549)

ลำไย เป็นพืชไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อนมีการปลูกมากถึง 157,220ไร่ เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมีการปลูกกันแพร่หลายในตอนเหนือของไทย ที่ผ่านมาทำรายได้เข้าประเทศปีละประมาณ 3,000-5,000 ล้านบาท และเป็นพืชที่ทำรายได้หลักให้กับเกษตรกรภาคเหนือของไทย แต่อย่างไรก็ตามจากการที่ลำไยมีผลผลิตเป็นจำนวนมากทำให้เกิดปัญหาราคาตกต่ำมาอย่างต่อเนื่อง โดยมีสาเหตุมาจากผลผลิตที่ยังไม่ได้คุณภาพมาตรฐาน การแปรรูปยังไม่หลากหลาย ในปัจจุบันการแปรรูปลำไยที่ใช้มีอยู่หลายวิธี เช่น ลำไยอบแห้ง ลำไยกระป๋อง ลำไยดอง

ปัญหาของลำไย ข้อจำกัดและโอกาส

- การแปรรูปเป็นลำไยอบแห้ง บางส่วนยังไม่ได้คุณภาพมาตรฐาน ก่อให้เกิดปัญหา ด้านการส่งออกและส่งผลกระทบถึงราคา
- การรมควันลำไยสดด้วยสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในปริมาณที่มากเกินไป ก่อให้เกิดปัญหาด้านการส่งออกและส่งผลกระทบถึงราคา
- ออกดอกออกผลไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผลผลิตไม่แน่นอนในแต่ละปี
- ขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยว
- ผลผลิตต่อไร่ต่ำ
- ผลผลิตกระจุกตัวออกสู่ตลาดพร้อมกันในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลให้ราคาตกต่ำในช่วงดังกล่าว
- คุณภาพของผลผลิต บางส่วนไม่ได้มาตรฐานส่งออก
- การกระจายผลผลิตไปสู่ผู้บริโภคภายในประเทศยังไม่ทั่วถึง
- ขาดห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาผลผลิตเพื่อรอการจำหน่าย/แปรรูป
- ผู้ประกอบการลำไยอบแห้ง ขาดแคลนเงินทุนหมุนเวียน ในการดำเนินการทำให้ขาดอำนาจการต่อรองในการซื้อขาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุ์ลำไย

ลำไยจำแนกออกตามลักษณะผลเนื้อเมล็ดและรสชาติแบ่งได้หลากหลายพันธุ์ซึ่งในที่นี้จะแบ่งเป็น 5 จำพวก คือ

1. ลำไยกะโหลก เป็นพันธุ์ลำไยที่ให้ผลขนาดใหญ่มีเนื้อหนารสหวาน ปริมาณ น้ำตาล 16-24 เปอร์เซ็นต์ มีหลายพันธุ์ คือ

1.1 สีชมพู ผลใหญ่ เนื้อหนา มีขนาดปานกลาง เมล็ดเล็ก เนื้อมีสีชมพู รสดีมากที่สุดกว่าทุกพันธุ์ ไม่ทนแล้ง เกิดดอกออกผลง่าย

1.2 ตลับนาค ผลใหญ่ เนื้อหนา เมล็ดเล็ก หวานกรอบแห้ง เปลือกบาง

1.3 เบี้ยวเขียว ผลใหญ่กลมเบี้ยว เนื้อหนา เมล็ดเล็ก หวานกรอบ เมื่อแก่เต็มที่เปลือกจะมีสีเขียวตลอดเวลา และมีกลิ่นหอมเปลือกเป็นสีน้ำตาลอมเขียวและหนามาก ทำให้ทนต่อการขนส่ง

1.4 อีดอ ผลขนาดปานกลาง เมล็ดเล็ก รสหวาน ออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น ๆ แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

- อีดอยอดแดง ใบอ่อนมีสีแดง ไม่นิยมปลูกเรื่องจากออกดอกติดผลไม่ดี และเมื่อสุกแล้วถ้าเก็บผลไม่ทันมันจะร่วงเสียหายมาก

- อีดอยอดเขียว ใบอ่อนมีสีเขียว ออกดอกติดผลง่ายแต่อาจไม่สม่ำเสมอ เปลือกมีสีน้ำตาลแก่ เนื้อสีวุ่นค่อนข้างเหนียว รสหวาน

1.5 อีแดง สีเปลือกของผลค่อนข้างแดง เป็นพันธุ์กลาง กิ่งเปราะหักง่าย ผลกลมใหญ่ เมล็ดใหญ่ มีกลิ่นาวคล้ายกำมะถัน รสหวานแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- อีแดง (อีแดงเปลือกหนา) มีใบป้อมใหญ่ผลใหญ่

- อีแดง (อีแดงเปลือกบาง) ใบยาวผลเล็กกว่าอีแดงเปลือกหนา

1.6 อีดำ ผลใหญ่ ใบดำ เนื้อหนา เมล็ดเล็ก หวานกรอบ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

- อีแห้วยอดแดง เมล็ดปานกลาง

- อีแห้วยอดขาว ผลกลมใหญ่ หัวเบี้ยว เนื้อกรอบ ไม่หวาน

2. ลำไยกระดูก เป็นพันธุ์พื้นเมือง ทรงพุ่มกว้างใบหนาทึบ ผลเล็กมีน้ำมาก เนื้อน้อยไม่หวาน มีน้ำตาลประมาณ ๑๓.๗๕% ขึ้นได้ทั่วไปปลูกง่าย เหลือให้เห็นน้อย เพราะไม่นิยมปลูก ไม่มีราคา

3. ลำไยธรรมดา ผลปานกลาง เนื้อหนากว่าลำไยพันธุ์กระดูก เนื้อกรอบบางมีน้ำมาก ให้ผลดก

4. ลำไยสายน้ำผึ้ง ลักษณะคล้ายลำไยธรรมดา แต่เนื้อมีสีเหลืองอ่อน เนื้อมีรสดี หอมกรอบ เมล็ดเล็ก

5. ลำไยเถาหรือลำไยเครือ มีลำต้นเลื้อยคล้ายเถาวัลย์ นิยมปลูกไว้ประดับมากกว่าปลูกไว้รับประทาน ชอบขึ้นตามป่าแถบภูเขาบรรทัด ภูเขาดงเล็ก ลำต้นไม่มีแก่นจึงพันเข้ากับรั้วหรือหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามลำไยพันธุ์อีดอ เป็นลำไยพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมาก และเป็นพันธุ์ที่มีการนำไปเป็นลำไยแปรรูปเป็นลำไยแห้งเป็นจำนวนมาก ในการผลิตน้ำลำไยผู้ผลิตมักใช้ลำไยอบแห้งมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นมากกว่าลำไยสด เนื่องจากลำไยอบแห้งให้กลิ่นรสของน้ำลำไยที่ดีกว่า

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของลำไย

คุณค่าทางอาหารของลำไย

สารอาหาร	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยแห้ง
ความชื้น ร้อยละ	81.10	17.80
ไขมัน ร้อยละ	0.11	0.40
เส้นใย ร้อยละ	0.28	1.60
โปรตีน ร้อยละ	0.97	4.60
เถ้า ร้อยละ	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ	16.98	72.70
ค่าพลังงานความร้อน กิโลแคลอรี่ / 100 กรัม	72.79	311.80
แคลเซียม มิลลิกรัม / 100 กรัม	5.70	27.70
เหล็ก มิลลิกรัม / 100 กรัม	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส มิลลิกรัม / 100 กรัม	35.30	159.50
วิตามินซี มิลลิกรัม / 100 กรัม	69.20	137.80
โซเดียม มิลลิกรัม / 100 กรัม	-	4.50
โปแตสเซียม มิลลิกรัม / 100 กรัม	-	2,012.00
ไนอาซีน มิลลิกรัม / 100 กรัม	-	3.03
กรดแพนโทธินิค มิลลิกรัม / 100 กรัม	-	0.57
วิตามินบี 2 มิลลิกรัม / 100 กรัม	-	0.37

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) (วิไล ,2546)

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอากาศร้อน กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นอาหารเหลว ออกมาจนเป็นละอองขนาดเล็ก เข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผง จากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เริ่มจากเป็นการทำให้เกิดการกระจายตัวเป็นละอองฝอยของอาหารเหลว โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำให้เป็นละอองฝอยถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) มี 3 ชนิด คือ Rotary Atomizer , Pressure Nozzles AtomizerและTwo-fluid Nozzle Atomizer

Rotary Atomizer

Atomizer ชนิดนี้ อาหารเหลว จะไหลลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลาง โดยจานหมุนจะมีความเร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที feed ที่ตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30-120 ไมครอน ซึ่งขนาดเฉลี่ยนี้จะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของอาหารเหลวและความหนืด แต่จะแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน

รูปที่ 2.1 แสดงRotary Atomizer

Pressure Nozzles Atomizer

Atomizer ชนิดนี้อาหารเหลว จะไหลผ่านช่องของหัวฉีดภายใต้ความดันสูง ทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดกระจายเป็นละอองฝอยได้โดยที่ไม่ต้องใช้อากาศ อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 120-250 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของ feed และความหนืด แต่จะแปรผกผันกับความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 แสดงPressure Nozzles Atomizer

Two-fluid Nozzle Atomizer (Pneumatic Nozzle Atomizer)

Atomizer ชนิดนี้อาหารเหลวและอากาศจะไหลผ่านหัวของ nozzle ซึ่งจะทำให้อาหารเหลว แตกเป็นละอองฝอย เนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายใน nozzle การปรับอัตราการไหลของอากาศ จะช่วย ในการกระจายเป็นละอองของอาหารเหลว วิธีนี้นิยมใช้กับ อาหารเหลว ที่มีความหนืดสูง แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีค่าดำเนินการที่สูงแต่ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ

จากนั้น ละอองของอาหารเหลว ที่ถูกฉีดออกมาจะสัมผัสหรือเข้าผสมกับอากาศร้อน และเมื่อละอองฝอยสัมผัสกับอากาศร้อน จะเกิดการระเหยในชั้นไอน้ำอิ่มตัวบริเวณผิวของละอองอย่างรวดเร็ว โดยจะมีอุณหภูมิที่ผิวของละอองอยู่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอุณหภูมิอากาศแห้ง และจะแพร่เข้าสู่ชั้นผิวด้านในซึ่งอยู่ในสภาวะอิ่มตัว ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่อัตราระเหยคงที่ จนกระทั่งความชื้นอยู่ในระดับต่ำและไม่มีการแพร่เข้าสู่ผิวด้านในแล้ว ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นชั้นแห้งหนาขึ้นตามเวลา และมีอัตราการระเหยลดลง

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตำแหน่งของ Atomizer กับอากาศแห้งขาเข้าจะสามารถแบ่งรูปแบบของการสัมผัสกับอากาศร้อนได้ ดังนี้

การไหลผ่านทางเดียวกัน *(Co-current flow)*

ทิศทางการฉีดอาหารเหลว เป็นทิศทางเดียวกับการไหลของอากาศร้อน ละอองอาหารเหลว จะสัมผัสและผสมเข้ากับกับอากาศร้อนขณะที่ยังมีความชื้นสูงหรือมีน้ำภายในอนุภาคมากอยู่ จากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้ระเหยทันทีจนกลายเป็นผง วิธีนี้เป็นวิธีการทำแห้งของเครื่อง Spray Dryer โดยทั่วไป

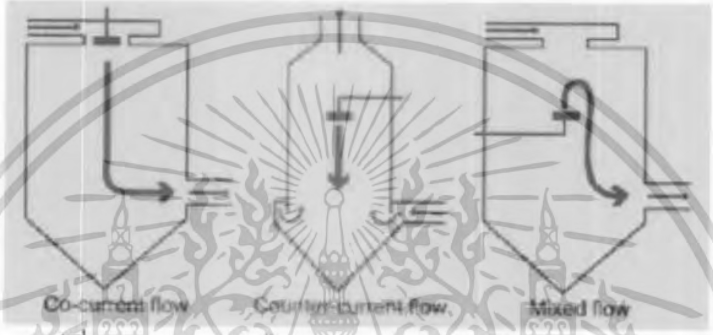
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลผ่านสวนทางกัน (Counter-current flow)

ทิศทางการฉีดอาหารเหลว เป็นทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลของอากาศร้อน โดยอาหารเหลว จะถูกฉีด ลงมาจาก ด้านบนในขณะที่อากาศร้อนจะไหลขึ้นจากด้านล่าง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความร้อนสูงมาก วิธีนี้จึงเหมาะเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เสถียรต่อความร้อนสูงเท่านั้น

การไหลผ่านแบบผสม (Mixed flow)

การไหลของอาหารเหลว จะเคลื่อนที่ผ่านทั้งห้อง Co-current และ Counter-current วิธีนี้เหมาะสำหรับทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงหยาบ และทนความร้อนได้สูงมาก



รูปที่ 2.3 แสดงการไหลของอากาศภายใน Spray Dryer

การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้ Cyclone เป็นตัวเก็บผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่าง ส่วนอากาศที่ออกจากด้านบนของ cyclone จะผ่านไปยังตัวเก็บขั้นสุดท้ายซึ่งอาจเป็น wet scrubber, bag filter หรือ electrostatic precipitator ขึ้นอยู่กับปริมาณผงที่มี และประสิทธิภาพการนำกลับมา

ระบบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

Open Cycle System

ระบบนี้ อากาศที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นอากาศจากบรรยากาศซึ่งจะถูกนำเข้ามาในระบบโดยผ่านตัวกรอง จากนั้นหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการโดยที่ในอากาศไม่มีผลิตภัณฑ์หลงเหลืออยู่แล้วจึงถูกปล่อยกลับออกสู่บรรยากาศตามเดิม

Closed Cycle System

ระบบนี้จะใช้ก๊าซ เช่น ไนโตรเจนในการหมุนเวียนอากาศภายในระบบ โดยที่ไม่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือเป็นระบบปิด ระบบนี้มักใช้กับการทำแห้งสารละลายที่ติดไฟได้ สารมีพิษและสารที่มีความไวต่อออกซิเจน

เครื่อง Spray Dryer โดยทั่วไปเป็นระบบเปิด และมีการไหลของอากาศเป็นแบบทางเดียวกัน (Co-current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ตัวแปรในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ (Buchi ,1997)

ตัวแปรสำคัญที่กำหนดประสิทธิภาพของการทำแห้งแบบพ่นฝอยให้ได้ตามต้องการ มีหลายประการ ดังนี้

2.3.1 ความหนืดของอาหารเหลว

ถ้าอาหารเหลวที่ป้อน มีความหนืดสูง (อาจเกิดจากการลดลงของอุณหภูมิของอาหารเหลวที่ป้อน) จะทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่สภาวะของ atomizer เดียวกัน และหากมีความหนืดสูงมาก จะทำให้อาหารเหลว ที่ฉีดออกมามีลักษณะคล้ายเส้นด้ายได้ ดังนั้น จึงไม่ควรใส่ของเหลวที่มีความหนืดสูงเกินไป

2.3.2 อัตราการไหลของอาหารเหลว

ถ้าอัตราการไหลของอาหารเหลวที่ป้อนสูงขึ้นจะทำให้ได้ละอองที่หยาบขึ้น เพราะใช้เวลาที่สัมผัสกับอากาศน้อยเกินไป จึงควรควบคุมอัตราการไหลของ อาหารเหลวที่ป้อนให้เหมาะสม

2.3.3 อัตราไหลของอากาศ

หากอัตราการไหลลดลงจะทำให้เวลาที่ละอองอยู่ในห้องอบแห้งนานขึ้น ซึ่งจะทำให้สัมผัสกับอากาศร้อนนานขึ้น และเป็นผลให้ลดความชื้นได้ดีขึ้น แต่หากอัตราการไหลของอาหารเหลวที่ป้อนสูง และอัตราการไหลของอากาศต่ำเกินไป และมีอุณหภูมิไม่สูงเพียงพอ ก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูง และเกาะติดอยู่กับผนังของห้องอบแห้ง ได้

2.3.4 อุณหภูมิอากาศขาเข้าของลมร้อน

การเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระเหยได้ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นกับการไหลของอากาศด้วย ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 อุณหภูมิขาออกของลมร้อน

จะเป็นค่าที่อธิบายถึงกระบวนการถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์ผงที่เกิดขึ้นภายใน chamber และเป็นตัวควบคุมการป้อนของวัตถุดิบด้วยซึ่งถ้าภายใน chamber มีค่าอุณหภูมิขาออกที่ต่ำกว่าที่ได้ตั้งค่าไว้ วัตถุดิบก็จะไม่ถูกดูดด้วยปั๊มทำให้เกิดชะงักของการป้อนวัตถุดิบ

2.3.6 อัตราการพ่น

เป็นปริมาณลมที่เพียงพอในการอัดให้ของเหลวเกิดการกระจาย อาจใช้แก๊สในการอัดได้ อัตราการพ่นมีผลต่อขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้เล็กลงและความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้นทำให้อนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดใหญ่และมีความพรุนมาก

2.4 สารช่วยทำแห้ง (Drying Aids)

มอลโตเด็กซ์ตริน (Moltodextrin)

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

มอลโตเด็กซ์ตรินมีคุณสมบัติค่อนข้างที่จะไม่ดูดความชื้น โดยเฉพาะค่า DE ต่ำ ๆ จะมีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อยที่สุด นอกจากนี้มอลโตเด็กซ์ตรินยังมีสมบัติให้ลักษณะความเป็นเนื้อ (Body) แก่ผลิตภัณฑ์ (โชชิณ ,2536)

มอลโตเด็กซ์ตรินมักอยู่ในรูปของผงแห้ง มากกว่าที่จะอยู่ในรูปของสารละลายโดยมีความชื้นน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นผงสีขาว ร่อน และมีความหวานเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์อีก คือ ช่วยในการเก็บรักษากลิ่นได้อีก เมื่อนำสารนี้ไปละลายน้ำอาจได้สารละลายใสหรือขุ่นขึ้นกับชนิดที่นำมาใช้ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในอาหารที่เป็นของเหลว เช่น ซุป น้ำผลไม้ และเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี โดยอาจใส่เป็นผงโดยตรงหรือนำมาละลายในน้ำก่อน ซึ่งความสามารถในการละลายนี้ขึ้นกับค่า DE และชนิดของอาหารที่จะนำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วิธีพื้นผิวผลตอบ

วิธีพื้นผิวผลตอบเป็นการรวบรวมเทคนิคทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยผลตอบที่น่าสนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร

เมื่อทำการทดลองที่ได้ออกแบบแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ เนื่องจากวิธีการพื้นผิวผลตอบให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับผลตอบ ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงในรูปสมการทั่วไปดังนี้ (Cochran, 1957)

$$Y = \varphi(x_1, x_2, \ldots, x_k) + e$$

โดย y คือผลตอบ φ คือพื้นผิวผลตอบ x_k คือตัวแปรอิสระ และ e คือค่าความผิดพลาด

ฟังก์ชันφ สามารถใช้อธิบายผลสรุปของการทดลองได้ รวมถึงสามารถพยากรณ์ผลตอบสำหรับค่าตัวแปรอิสระที่ไม่ได้ทดลอง (Cochran, 1957)

แต่โดยทั่วไป ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบจะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระนี้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสม สำหรับใช้เป็นตัวแทนแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริง ซึ่งตามปกติจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังต่ำ ที่อยู่ภายในอาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ (ปารเมศ, 2545)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bhandarin และคณะ(2004) ทำการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยอาหารพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ไม่หนืด(non-sticky) และ หนืด (sticky) ผลิตภัณฑ์ที่หนืดมักเกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์เนื่องจากมีปัญหาการเหนียวติดกับผนังห้องอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ลักษณะนี้จะเป็นสารที่มีน้ำตาลสูง เช่น น้ำผลไม้ นำผึ้ง ต้องมีการเติม Maltodextrin ซึ่งสารนี้เรียกว่า Drying Aids หรือสาร Carrier ก่อนที่จะทำการอบแห้ง เพื่อช่วยไม่ให้เกิดการหนืดขึ้น การหนืดของผลิตภัณฑ์ผงจะขึ้นอยู่กับค่าที่เรียกว่า Glass Transition Temperature (T_g) ผลิตภัณฑ์ผงพวกนี้จะมีค่า T_g ต่ำ เมื่อมีการเติม Maltodextrin ในวัตถุดิบก่อนการทำแห้งจะทำให้โมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ได้ยากขึ้น ทำให้ลดการหนืดได้

Miton Cano-Chauca และคณะ(2005) ได้ศึกษาการอบแห้งแบบพ่นฝอยของมะม่วงผง โดยการใช้สาร Drying Aids 3 ชนิดคือ Maltodextrin, Gum Arabic และ Waxy(Corn) starch โดยผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นมีความเข้มข้น 12 องศาบริกซ์ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนขาออก 70-75 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของเหลว 10 mL/min อัตราการไหลลมร้อน 0.7 m^3/min ได้นำไปวิเคราะห์พบว่ารูปร่างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์มีผลต่อความหนืด เนื่องจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการจัดเรียงตัวเป็น แบบอสัณฐาน ของแข็งที่มีรูปร่างลักษณะนี้ทำให้โมเลกุลสามารถดูดน้ำกลับได้ดีกว่ารูปร่างที่เป็นผลึกจึงเกิดการหนืดขึ้น

Roos & Karel (1991)ได้ศึกษาอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์กับความหนืด (Viscosity) ของอาหารในการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าที่ระดับช่วงอุณหภูมิ T_g+10-20 องศาเซลเซียส ลงไปจะมีค่าความหนืดมากกว่า 107 Pa.s ซึ่งเป็นจุดที่ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการหนืดขึ้น ไม่มีการเหนียวติดกันแต่ที่อุณหภูมิดังกล่าวถ้าไม่มีการเติม Maltodextrin จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช่จ่ายในการทำแห้งทำให้ไม่คุ้มค่า

Athanasia M.Goulaและคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการทำแห้งน้ำมะเขือเทศแบบพ่นฝอยโดยใช้ของเหลวที่มีความเข้มข้น 14% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าประมาณ 120-140 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ทดลองประมาณ 17.5-22.75 m3/h และทำการลดความชื้นลมร้อนก่อนใช้การอบแห้งร่วมด้วย พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูง อัตราการไหลของลมร้อนมากจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มากขึ้น ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลงลงเมื่อเพิ่ม แรงดันอากาศที่หัวพ่นของเหลว และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและลดอัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มเมื่อลดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและอัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ทำแห้งและเพิ่มแรงดันอากาศที่หัวพ่นของเหลว การละลายของผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้นเมื่อลดแรงดันอากาศที่หัวพ่นของเหลว และอัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ทำแห้งและเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ อุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1. ลำไยอบแห้งพันธุ์อีดอ
2. มอลโตเด็กซ์ตริน DE 10

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย JCM รุ่นminilab SDE10
2. ปั๊มลม
3. เครื่องปั่น
4. เครื่องเหวี่ยงแยกกาก
5. เตาแก๊ส
6. หม้อสแตนเลส
7. ทัพพีสแตนเลส
8. เครื่องวัดความเร็วลม
9. รีแฟคโตมิเตอร์
10. เทอร์โมมิเตอร์
11. ถุงพลาสติก ,ฟอยด์
12. เครื่องชีล
13. เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง

3.2 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมน้ำลำไย

1. นำลำไยอบแห้งจำนวน 1 กิโลกรัม มาผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปบดโดยการนำไปเข้าเครื่องปั่น

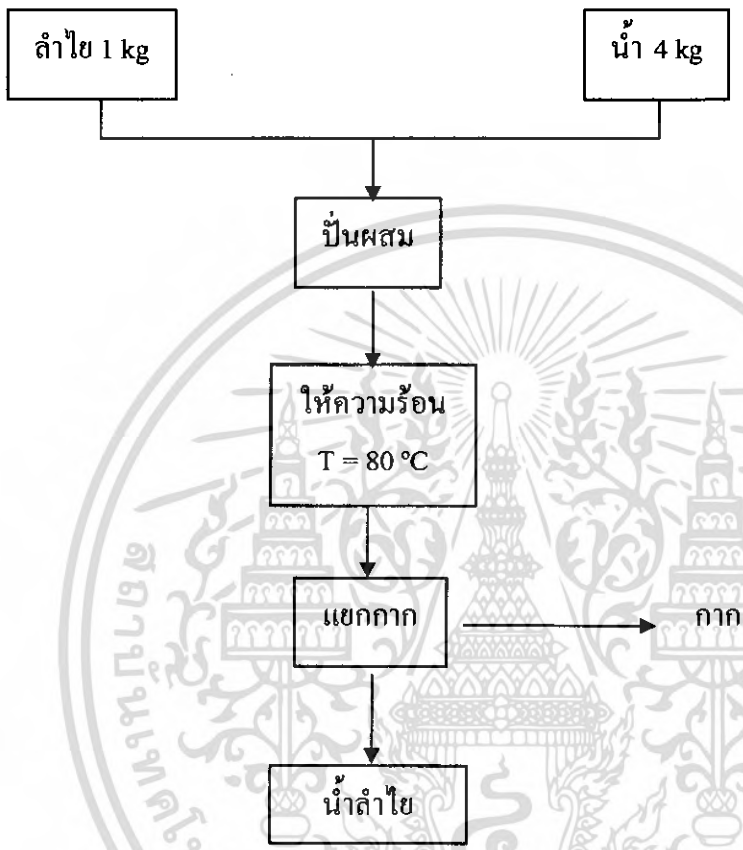
2. นำน้ำลำไยที่ปั่นผสมแล้วมาต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 45 นาที จนได้น้ำลำไยที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 18 °Brix

3. นำน้ำลำไยที่ได้มาแยกกากออกโดยใช้เครื่องเหวี่ยงแยกกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำน้ำลำไยที่เตรียมไว้ซึ่งมีค่าความเข้มข้น 18 °Brix มาผสมกับมอลโตเดกซ์ตรินที่ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินเท่ากับ 0.6 กรัมของมอลโตเดกซ์ตรินต่อกรัมของของแข็งทั้งหมด(พิพัฒน์และคณะ, 2548)

5. ปรับอุณหภูมิของน้ำลำไยที่ผสมแล้วให้มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40 °C



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมน้ำลำไยเริ่มต้น

ตอนที่ 2 การอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยให้เรียบร้อย

2. เปิดเมนสวิทช์ของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยพร้อมทั้งปรับ ค่าอุณหภูมิลมร้อนที่ 175°C รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ (พิพัฒน์และคณะ,2548)

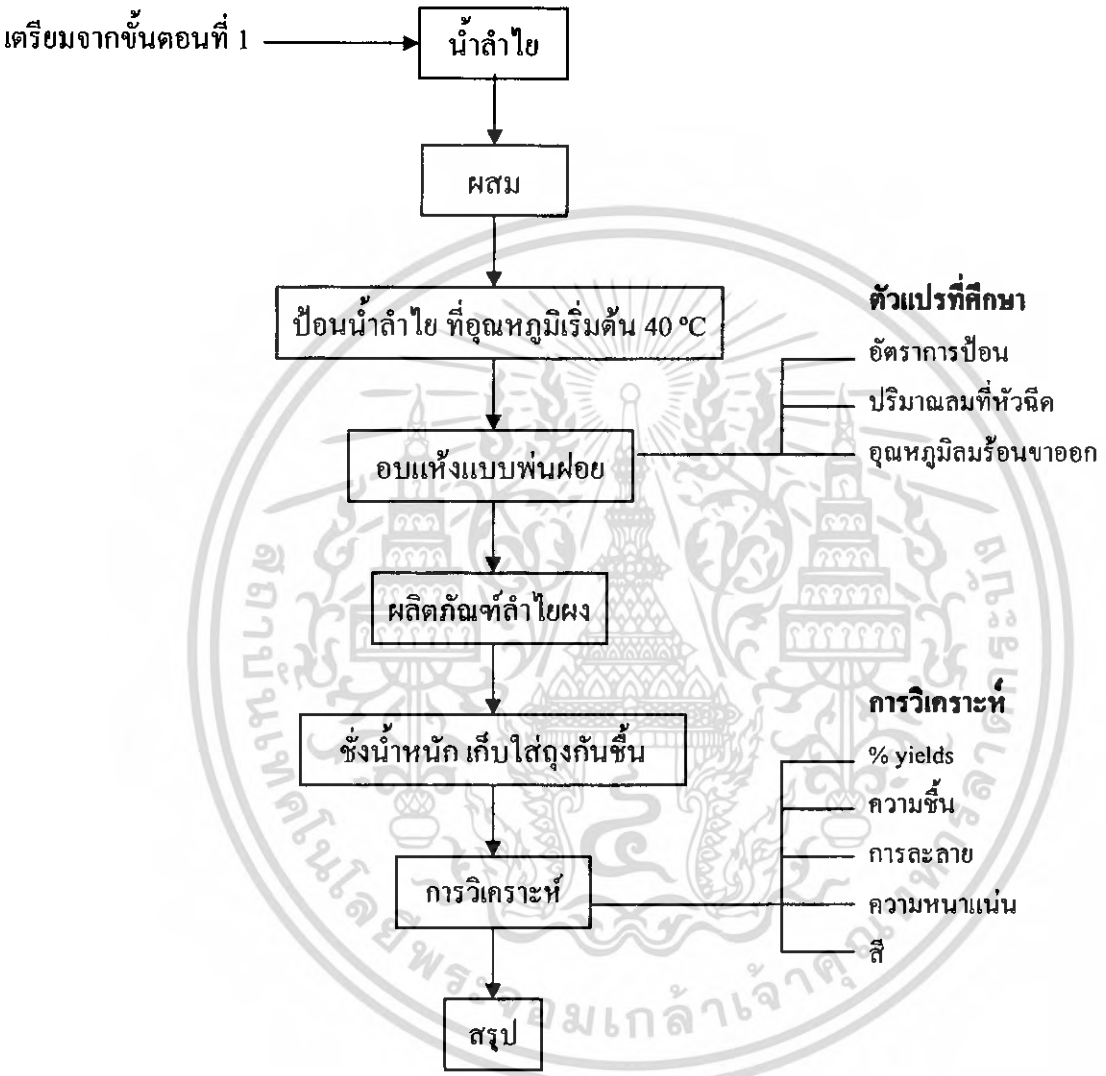
3. นำหัวฉีดแบบ Rotary atomizer ต่อกับท่อจ่ายลมและท่อจ่ายของเหลวให้เรียบร้อย

4. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งมีค่าสูงกว่า 110 °C เริ่มทำการเปิดปั๊มป้อนอาหารเหลว เริ่มต้นให้ทดลองป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่องก่อนโดยปรับความดันลมตามการออกแบบการทดลองจนกระทั่งให้หัวฉีดพ่นอย่างสม่ำเสมอก่อนจึงเปลี่ยนเป็นน้ำลำไย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ตามที่ตั้งไว้คือที่ 175 °C (ใช้เวลาประมาณ 30 นาที) เริ่มทำการป้อนน้ำลำไยเข้าทำแห้ง

6. เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แห้งทั้งหมดที่ได้นำมาชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บเข้าถุงพลาสติกPEที่กันความชื้นและแสงเพื่อนำไปสู่กระบวนการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง

3.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้

3.3.1 การหาค่าความชื้น (A.O.A.C ,1995)

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมในตู้อบอุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. นำไปใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำถ้วยเดิมมาอบต่ออย่างน้อย 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักของถ้วยคงที่ คือมีน้ำหนักต่างกันน้อยกว่า 2 %
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 กรัมให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน เกลี่ยให้สม่ำเสมอในถ้วยอะลูมิเนียม
5. นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 $\pm$ 1 °C เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักสุดท้ายเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสมการความสัมพันธ์

$$\%\text{ความชื้นมาตรฐานเปียก} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ-น้ำหนักหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

3.3.2 ความสามารถในการละลาย (กมลกาญจน์, 2543)

ชั่งตัวอย่างด้วยน้ำหนักที่แน่นอน 10 กรัม ละลายลงในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 250 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร กวนของผสมทั้งหมดด้วย Magnetic stirrer ที่ความเร็วระดับ 5 วัดเวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่าง

3.3.3 การหาค่าความหนาแน่น (Bulk density)(ดาริกา, 2545)

1. เตรียมกระบอกตวงที่ทราบค่าแน่นอนขนาดปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำหนักกระบอกตวงที่เตรียมไว้
3. นำเอาตัวอย่างผงผลิตภัณฑ์ค่อยๆเทใส่ลงไปในกระบอกตวงปริมาตร 10 มิลลิลิตร
4. นำไปชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณค่าความหนาแน่น

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของผงผลิตภัณฑ์ในกระบอกตวง 10 มิลลิลิตร}}{\text{ปริมาตรของกระบอกตวง(10 มิลลิลิตร)}}$$

3.3.4 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้(% yields)(ดาริกา, 2545)

ในแต่ละการทดลองจะวัดปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน

$$\%\text{ yields} = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักแห้งของน้ำลำไยที่ป้อน}} \times 100$$

น้ำหนักแห้งของน้ำลำไยที่ป้อน = [[(100 – ความชื้นน้ำลำไย) /100] x น้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้น]+มอลโตเดกซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การวัดค่าสี (ปานมนัส, 2538)

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

ความหมายของค่าสีในระบบ C.I.E LAB

ค่า L * (lightness) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสว่างโดย ถ้า L * มีค่าเข้าใกล้ 0 มากก็จะมีความมืดมาก

ค่า a * เป็นค่าแสดงความเป็นสีแดงหรือสีเขียว

a * เป็นบวกแสดงความเป็นสีแดง

a * เป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว

ค่า b * เป็นค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

b * เป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลือง

b * เป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

หาค่าความแตกต่างระหว่างค่าสีทั้งหมด หรือ Total Difference (E*) ได้จาก

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

3.4 การวางแผนการทดลอง

ในการทดลองนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตซึ่งประกอบด้วย ปริมาณลมที่หัวฉีด อุณหภูมิลมร้อนขาออกและอัตราการป้อนน้ำลำไย

3.4.1 ตัวแปรที่ศึกษา

1. อัตราการป้อนน้ำลำไย
   1) 2.28 L/hr
   2) 3.42 L/hr
2. ปริมาณลมที่หัวฉีด 3 ระดับ
   1) 198 cm^3/s
   2) 339 cm^3/s
   3) 509 cm^3/s
3. อุณหภูมิลมร้อนขาออก 3 ระดับ
   1) 60 องศาเซลเซียส
   2) 70 องศาเซลเซียส
   3) 80 องศาเซลเซียส

71969
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ (% yields)
- ความชื้น
- ความหนาแน่น
- ความสามารถในการละลาย
- สี

การวางแผนการออกแบบการทดลองแบบการจัดการทดลองแบบ Factorial แบบ 2 x 3 x 3 ประกอบด้วย 18 การทดลอง โดยมีการเตรียมสภาวะการทดลองและแผนการทดลองที่ควบคุมสภาวะต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ดังตารางที่ 3.1

ในการทดลองการอบแห้งลำไยผงแบบพ่นฝอย ใช้น้ำลำไยที่ได้จากการเตรียมความเข้มข้น 18 ° Brix ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตริน 0.6 กรัมของมอลโตเดกซ์ตรินต่อกรัมของของแข็งทั้งหมด โดยน้ำลำไยมีปริมาณความชื้น 69.1 %และปรับสภาวะต่างๆของเครื่องตามตารางที่ 3.1 โดยควบคุมเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามตารางที่ 3.2

ผลการทดลองที่ได้นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธิบายผลของสภาวะต่างๆต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้ โดยอาศัยโปรแกรม Statistica 7.0 และใช้วิธี Multiple Regression

$$Y_k = b_{0i} + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j$$

Y_k = คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ลำไยผง

x_i = ตัวแปรสภาวะการผลิต

i = 1,2,3 (อัตราการป้อน , อุณหภูมิลมร้อนขาออก , ปริมาณลมที่หัวฉีด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสภาวะการทดลอง

การทดลองที่	อัตราการป้อน (L/hr)	อุณหภูมิลมร้อนขาออก (°C)	ปริมาณลมที่หัวฉีด(cm^3/s)
1	2.28	70	198
2	2.28	70	339
3	2.28	70	509
4	2.28	80	509
5	2.28	60	509
6	3.42	60	509
7	3.42	80	509
8	3.42	70	509
9	2.28	60	198
10	2.28	80	198
11	3.42	70	198
12	3.42	70	339
13	3.42	80	339
14	2.28	80	339
15	3.42	60	339
16	3.42	80	198
17	2.28	60	339
18	3.42	60	198

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงสภาวะการควบคุมของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

No.	อุปกรณ์		ค่าที่ปรับ	หมายเหตุ
1	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	ค่าปรับการป้อน	10,15 (สเกลที่ปรับค่า)	ตามการออกแบบการทดลอง
2	อุณหภูมิลมร้อน	ทางเข้า	175 °C	คงที่ทุกการทดลอง
		ทางออก	60,70,80 °C	ตามการออกแบบการทดลอง
3	เครื่องดูดลม (blower)	ความเร็วรอบ	3600 rpm	2.19 ลบ.เมตรต่อนาที
4	หัวฉีดวัตถุดิบ	ชนิด	Rotary atomizer	คงที่ทุกการทดลอง
		ทิศทางการทำแห้ง	parallel	
		ปริมาณลมที่หัวฉีด	198, 339,509 (cm^3/s)	ตามการออกแบบการทดลอง
5	ชุดความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	ใช้ 2 ชุด(3,3 kW)	ควบคุมอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์การทดลอง

4.1 ตารางผลการทดลอง

การทดลองผลของการอบแห้งลำไยผงแบบพ่นฝอย น้ำลำไยเริ่มต้นมีความเข้มข้น 18 ° Brix ปริมาณสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตริน 0.6 กรัมของมอลโตเดกซ์ตรินต่อกรัมของของแข็งทั้งหมด ปริมาณความชื้นของน้ำลำไย 69.1 % ให้ผลการทดลองตามค่าตัวแปรต่างๆดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ลำไยผง

การทดลองที่	อัตราการป้อน (ลิตร/ชม.)	อุณหภูมิลมร้อนขาออก (°C)	ปริมาณลมที่หัวฉีด (cm^3/s)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ความชื้น (%wb)	การละลาย (วินาที)	ค่าสีที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด
1	2.28	70	198	13.62	0.6853	2.88	35	37.47
2	2.28	70	339	23.42	0.7795	2.02	49	42.33
3	2.28	70	509	6.60	0.6290	1.89	176	45.36
4	2.28	80	509	9.76	0.6209	1.88	184	41.21
5	2.28	60	509	29.13	0.6723	2.14	98	46.80
6	3.42	60	509	24.83	0.5753	2.33	88	53.54
7	3.42	80	509	9.69	0.5865	2.38	137	56.88
8	3.42	70	509	6.50	0.5942	1.94	124	53.09
9	2.28	60	198	36.04	0.7766	3.46	31	37.84
10	2.28	80	198	6.84	0.6686	2.01	44	38.10
11	3.42	70	198	12.49	0.7644	2.86	32	44.01
12	3.42	70	339	17.91	0.8185	2.87	42	36.72
13	3.42	80	339	24.26	0.8017	2.01	205	27.77
14	2.28	80	339	26.47	0.6993	2.00	77	41.12
15	3.42	60	339	43.17	0.8389	3.07	43	44.74
16	3.42	80	198	6.71	0.6018	2.46	45	46.54
17	2.28	60	339	28.29	0.7889	2.75	54	42.37
18	3.42	60	198	33.83	0.7803	3.09	31	37.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่าง ๆของลำไยผงที่ได้

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์โดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ โดย Multiple Regression ในรูปแบบ 2^{nd} Order polynomial ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.2.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)

ปริมาณผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 6.50 - 43.17%

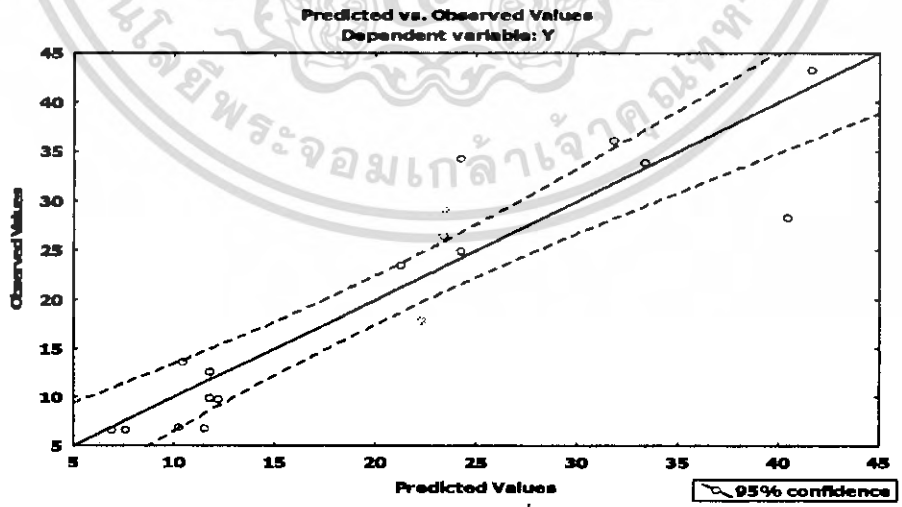
ผลการทดลองที่ได้นำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่าง ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Y,%) กับอัตราการป้อน(F,L/hr) ปริมาณลมที่หัวฉีด (Q, cm^3/s) และอุณหภูมิลมร้อนขาออก (T,$^\circ$C) สามารถแสดงได้ดังนี้

ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield) = $52.0457 F - 48.6558T + 3.9163Q - 28.2626F^2$
$+ 23.0325T^2 - 3.6202Q^2 - 0.1066FT - 0.1016FQ$
$+ 1.7508TQ$ .....(1)

$R^2 = 0.96092803$, Standard Error of Estimate = 6.5982 , $p < 0.0001$

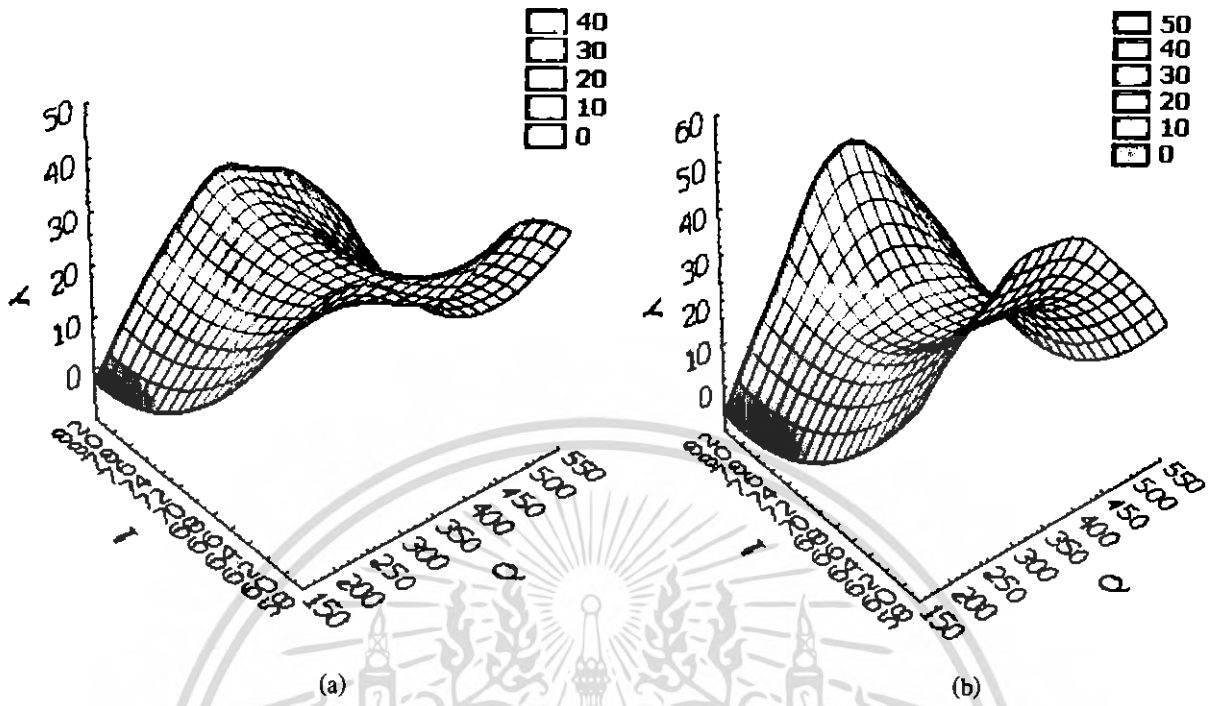
(ภาคผนวก ข แสดงรายละเอียดผลวิเคราะห์ทางสถิติ)

พบว่าค่าสหสัมพันธ์ R^2, SE ที่ได้ อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังรูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 4.2 แสดงพื้นผิวผลตอบของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้โดยกำหนดอัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่ (a) 2.28 L/hr (b)3.42 L/hr

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณลมที่หัวฉีด อุณหภูมิลมร้อนขาออกและอัตราการป้อนน้ำลำไยจะมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณลมที่หัวฉีดจาก198 cm^3/s ถึง339 cm^3/s ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณลมที่หัวฉีดเพิ่มมากขึ้นอีกปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณลมที่หัวฉีดมีผลทำให้ขนาดอนุภาคของน้ำลำไยที่พ่นออกมามีขนาดเล็กลงมากอาจทำให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ผงไปกับลมร้อนนั้นและบางส่วนติดอยู่กับผนังของเครื่อง

ส่วนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิลมร้อนขาออก พบว่า เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาออกต่ำลงจะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงมากขึ้นที่ปริมาณลมที่หัวฉีดมีค่าต่ำ ขณะที่ที่ปริมาณลมหัวฉีดมีค่าสูงขึ้นปริมาณผลิตภัณฑ์ผงจะมีค่าต่ำที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกประมาณ 70 °C แต่เมื่อเพิ่มหรือลดอุณหภูมิลมร้อนขาออก จะมีผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่าสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบอัตราการป้อน 2 ระดับคือ 2.28 L/hr และ 3.42 L/hr พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เพิ่มขึ้นเพราะเมื่ออัตราการป้อนมีค่ามากขึ้นปริมาณของของแข็งที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณความชื้น (%wb)

ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้มีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 1.88-3.46%

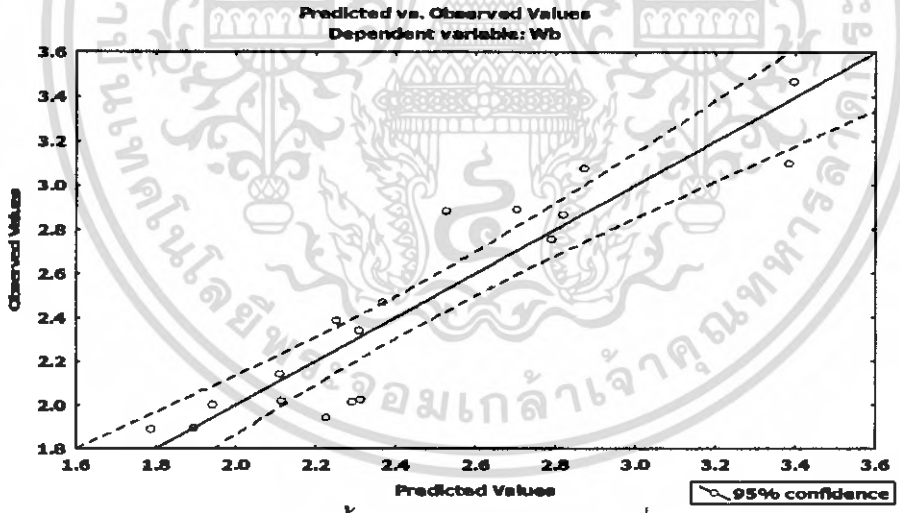
ผลการทดลองที่ได้นำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่าง ค่าความชื้น(Wb,%)กับอัตราการป้อน(F,L/hr) ปริมาณลมที่หัวฉีด (Q, cm^3/s) และอุณหภูมิลมร้อนขาออก (T, $^{\circ}C$) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%wb)} = 11.37656F - 5.58113T - 2.29357Q - 6.74996F^2 + 1.11294T^2 + 0.06719Q^2 + 0.96853FT + 0.25794FQ + 1.60976TQ \quad \text{.....(2)}$$

$R^2 = 0.99480244$, Standard Error of Estimate = 0.25479 , $p < 0.0001$

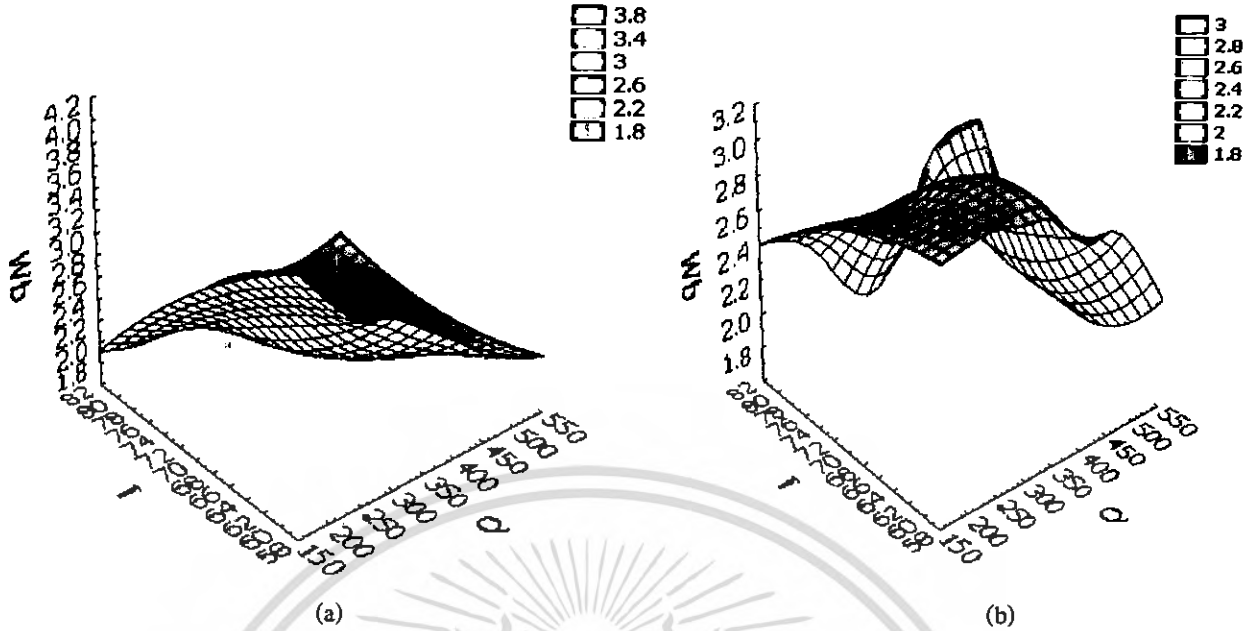
(ภาคผนวก ข แสดงรายละเอียดผลวิเคราะห์ทางสถิติ)

พบว่าค่าสหสัมพันธ์ R^2 , SE ที่ได้ อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังรูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 4.4 แสดงพื้นผิวผลตอบของความชื้นโดยกำหนดอัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่
(a) 2.28 L/hr (b) 3.42 L/hr

จากรูป 4.4 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณลมที่หัวฉีด อุณหภูมิลมร้อนขาออกและอัตราการป้อนน้ำลำไย มีผลต่อค่าปริมาณความชื้นของลำไยผงคือ เมื่อปริมาณลมที่หัวฉีดและอุณหภูมิขาออกมีค่าต่ำค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงจะมีค่าสูง และเมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ส่วนผลของปริมาณลมที่หัวฉีด พบว่า เมื่อปริมาณลมหัวฉีดเพิ่มขึ้น ทำให้ ความชื้นของลำไยผงลดลง เนื่องจากปริมาณลมที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ขนาดของผลิตภัณฑ์ลำไยผงเล็กลงและแห้งมากขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ดี

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการป้อน 2 ระดับคือ 2.28 L/hr และ 3.42 L/hr พบว่าการเพิ่มอัตราการป้อน ที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้ขนาดอนุภาคที่พ่นฝอยมีขนาดใหญ่ทำให้ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้มีความชื้นเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ความหนาแน่น (Bulk Density)

ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.5753 - 0.8389 g/cm^3

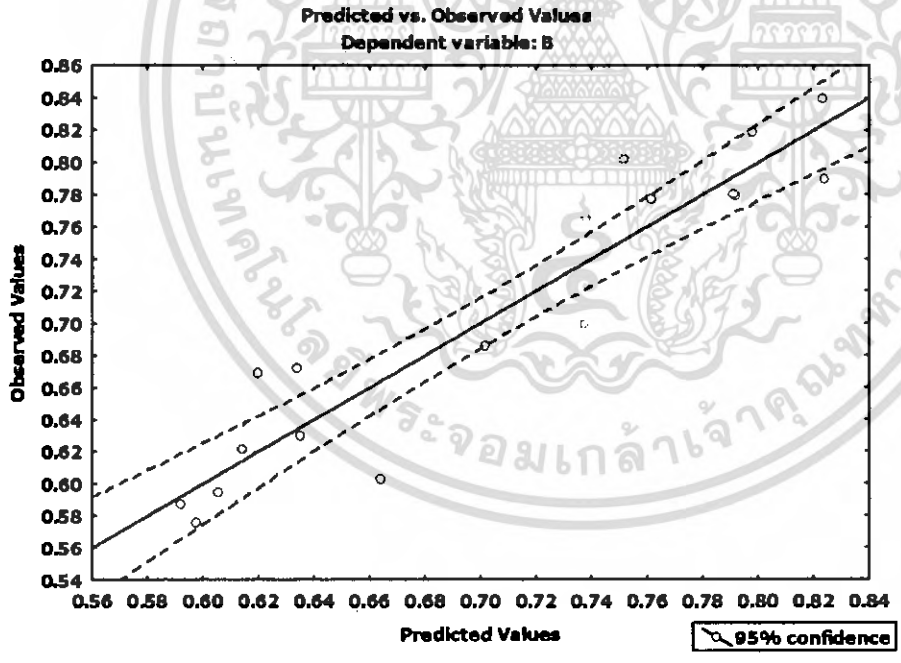
ผลการทดลองที่ได้นำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความหนาแน่น(B)กับอัตราการป้อน(F,L/hr) ปริมาณลมที่หัวฉีด (Q, cm^3/s) และอุณหภูมิลมร้อนขาออก (T, $^\circ$C) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่น (Bulk Density)} = 1.35260F + 0.27595T + 1.24825Q - 0.68613F^2 - 0.78073T^2 - 1.16702Q^2 + 0.18725FT - 0.28332FQ + 0.72034TQ \quad \text{.....(3)}$$

$R^2 = 0.99826978$, Standard Error of Estimate = 0.04176, $p < 0.0001$

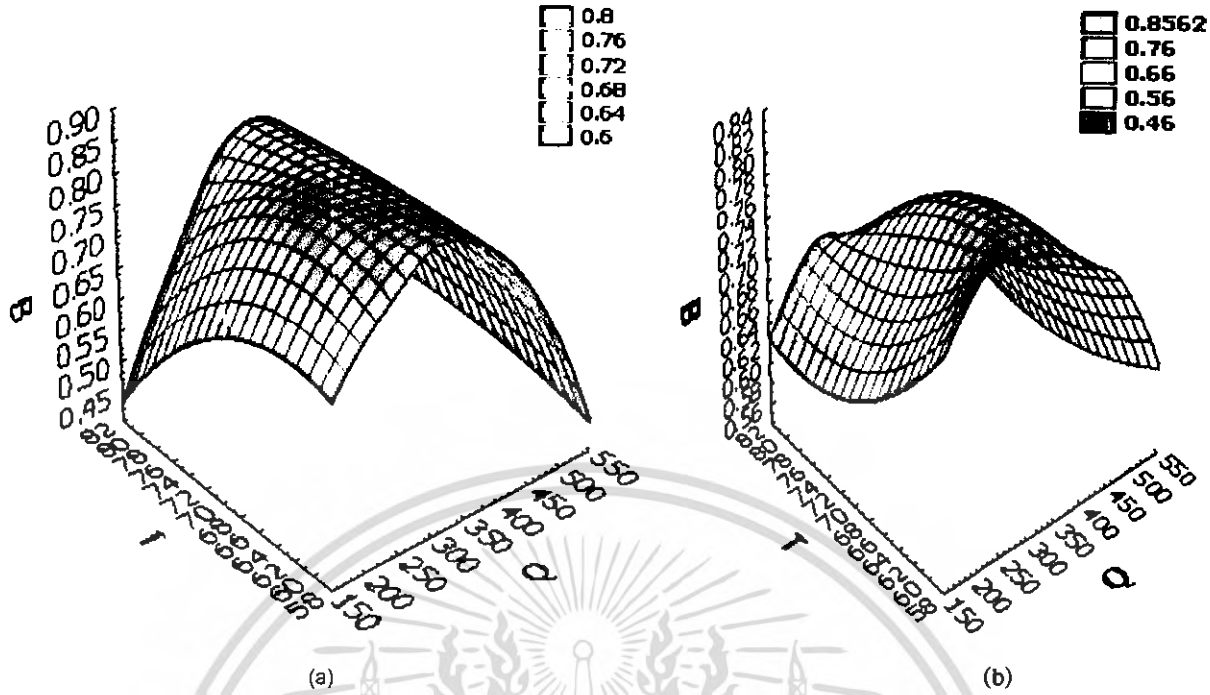
(ภาคผนวก ข แสดงรายละเอียดผลวิเคราะห์ทางสถิติ)

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ ค่าสหสัมพันธ์ของสมการ(R^2, SE) อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังรูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 4.6 แสดงพื้นผิวผลตอบของความหนาแน่นโดยกำหนดอัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่

(a) 2.28 L/hr (b) 3.42 L/hr

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้ปริมาณลมที่หัวฉีดในระดับปานกลาง ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จะมีค่าสูงสุด หากเพิ่มหรือลดปริมาณลมที่หัวฉีดจะเป็นผลให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำลง เนื่องจากถ้ามีปริมาณลมที่หัวฉีดสูงเกินไปจะมีผลให้ขนาดอนุภาคของลำไยผงมีขนาดเล็ก เบาและแห้งมากเนื่องจากสัมผัสกับลมร้อนได้มาก

ส่วนผลของอุณหภูมิขาออกของลมร้อนพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนจะทำให้ค่าความหนาแน่นของลำไยผงมีค่าต่ำลง ในขณะที่การเพิ่มอัตราการป้อนน้ำลำไยไม่ค่อยมีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ความสามารถในการละลาย

ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้ใช้เวลาในการละลายอยู่ในช่วง 31 - 205 วินาที ซึ่งค่าเวลาการละลายต่ำแสดงว่าผลิตภัณฑ์ผงสามารถละลายได้เร็ว

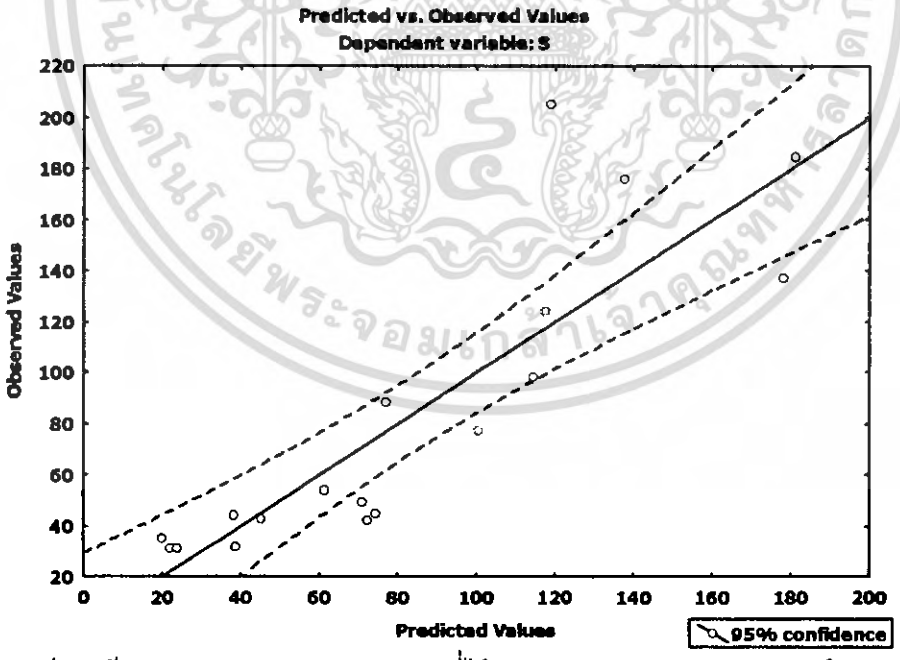
ผลการทดลองที่ได้นำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าเวลาการละลาย(S)กับอัตราการป้อน(F,L/hr) ปริมาณลมที่หัวฉีด (Q, cm^3/s) และอุณหภูมิลมร้อนขาออก (T,˚C) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{ความสามารถการละลาย} = 12.0123F - 12.8872T - 0.0540Q - 7.6251F^2 + 5.1202T^2 + 0.1721Q^2 + 3.0730FT - 1.1816FQ + 2.1207TQ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

$R^2 = 0.92109207$, Standard Error of Estimate = 39.874 , $p<0.0001$

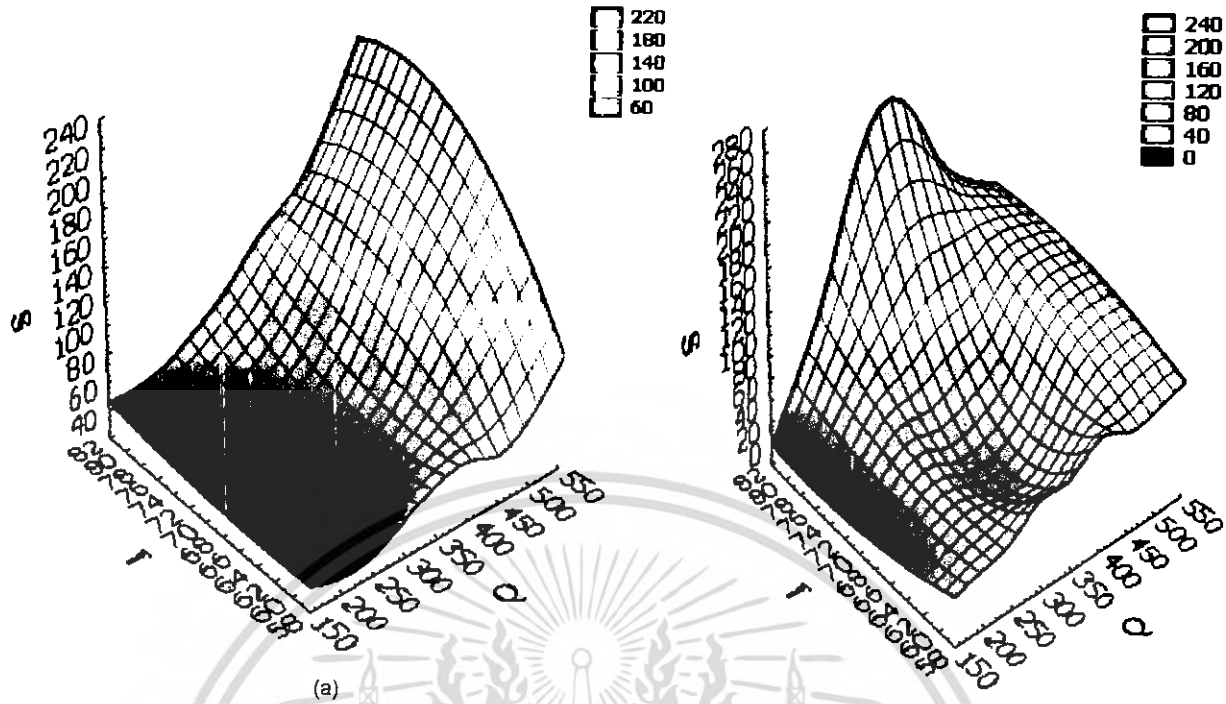
(ภาคผนวก ข แสดงรายละเอียดผลวิเคราะห์ทางสถิติ)

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ ค่าสหสัมพันธ์ของสมการ(R^2 , SE) อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังรูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบความสามารถการละลายที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงพื้นผิวผลตอบของความสามารถการละลาย โดยกำหนดอัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่ (a) 2.28 L/hr (b) 3.42 L/hr

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณลมที่หัวฉีดและอุณหภูมิลมร้อนขาออกมีค่าสูง ลำไยผงที่ได้จะใช้เวลาในการละลายมาก มีความสามารถการละลายต่ำลง

ปริมาณลมที่มากขึ้น ทำให้อนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กและความชื้นผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่าต่ำ การกระจายตัวขณะละลายเกิดขึ้นได้น้อยลงจึงต้องใช้ เวลาในการละลายมากขึ้น

นอกจากนั้นอุณหภูมิขาออกที่สูงขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้มีการเกาะตัวแน่น เมื่อนำไปละลายจึงใช้เวลานานมากกว่า เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีการแตกกระจาย (Disperse Ability)

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการป้อน 2 ระดับคือ 2.28 L/hr และ 3.42 L/hr พบว่า อัตราการป้อนมากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้มีความชื้นสูง ทำให้ละลายได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีโพรงอากาศแทรกอยู่ระหว่างอนุภาคของผงผลิตภัณฑ์อยู่น้อย ทำให้น้ำแทรกเข้าไปภายในเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เปียกก่อนที่จะละลายทำได้ง่าย ทำให้มีการละลายได้ดี (เปาว์ คงสุนทรกิจกุล, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (E*)

ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในช่วง 27.77 - 56.88

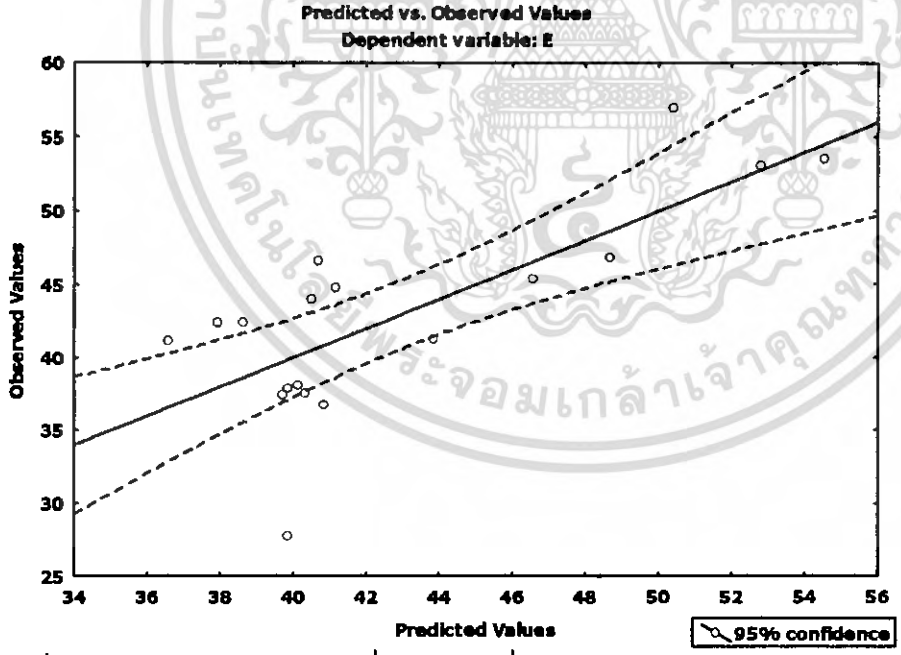
ผลการทดลองที่ได้นำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงสี(E) กับอัตราการป้อน(F,L/hr) ปริมาณลมที่หัวฉีด (Q, cm^3/s) และอุณหภูมิลมร้อนขาออก (T,°C) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{ค่าการเปลี่ยนแปลงสี } (E^*) = 1.73602F + 0.87729T - 0.98211Q - 1.14522F^2 - 0.36305T^2 + 0.83070Q^2 + 0.14871FT + 0.42055FQ - 0.49892TQ \quad \ldots\ldots(5)$$

$R^2 = 0.98962942$, Standard Error of Estimate = 6.2643, $p<0.0001$

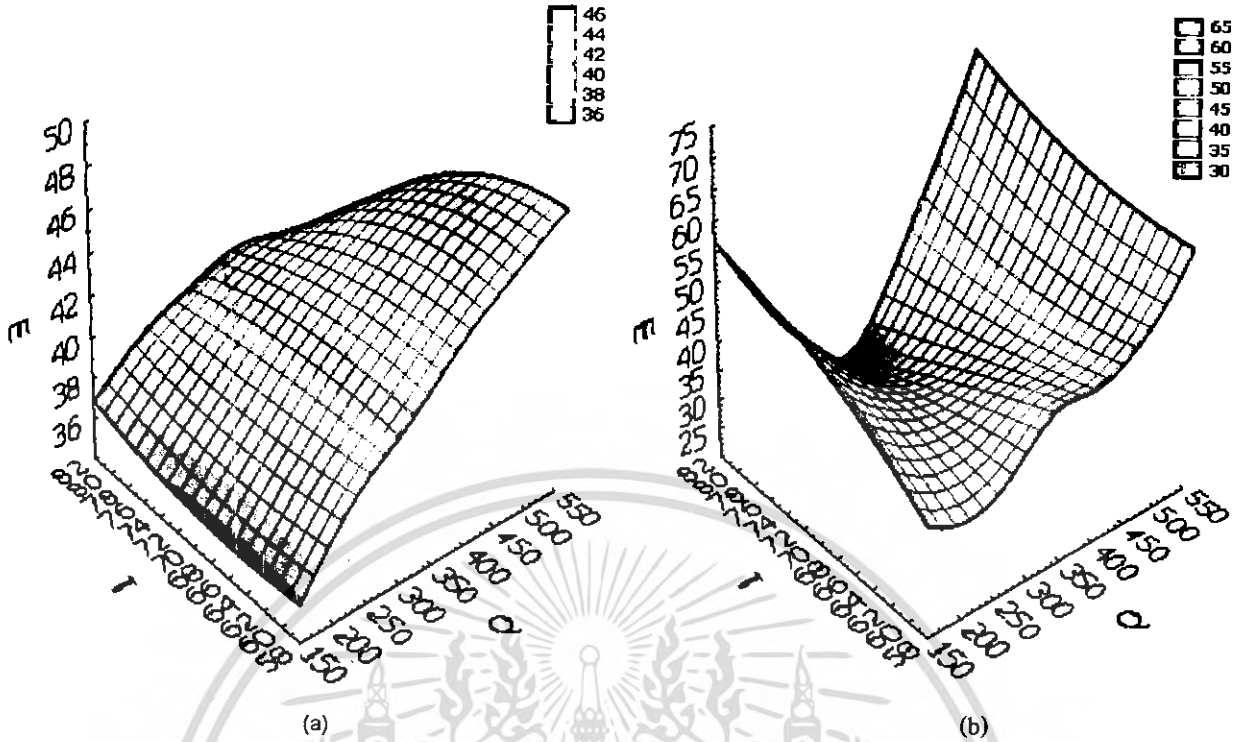
(ภาคผนวก ข แสดงรายละเอียดผลวิเคราะห์ทางสถิติ)

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ ค่าสหสัมพันธ์ของสมการ(R^2 , SE) อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังรูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสีที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงพื้นผิวผลตอบของค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยกำหนดอัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่ (a) 2.28 L/hr (b) 3.42 L/hr

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกของลมร้อนไม่ค่อยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้ ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณลมที่หัวฉีดที่อัตราการป้อนน้ำลำไยต่ำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้น เนื่องจากลำไยผงสัมผัสกับลมร้อนได้ดีและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Caramelization) ผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้จะมีสีเข้มขึ้น

ส่วนที่อัตราการป้อนมีค่าสูง พบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้นน้อยที่สุดที่ปริมาณลมที่หัวฉีดมีค่าประมาณ 350 cm^3/s แต่เมื่อเพิ่มปริมาณลมที่หัวฉีดหรือลดค่าลงจะทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ลำไยผงมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการที่ปริมาณลมที่หัวฉีดอยู่ในค่าที่สูงจะมีผลทำให้ขนาดของน้ำลำไยที่ถูกเหวี่ยงออกจาก Atomizerมีขนาดเล็กและสัมผัสกับลมร้อนอย่างรวดเร็ว เกิดการเปลี่ยนแปลงสีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 . สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- ปริมาณลมที่หัวฉีดและอุณหภูมิลมร้อนขาออก ซึ่งมีผลต่อขนาดอนุภาค เป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณลักษณะของการทำแห้งน้ำลำไยผง ส่วนอัตราการป้อนไม่ค่อยมีผลอย่างมีนัยสำคัญ
- การเพิ่มของปริมาณลมหัวฉีดและอุณหภูมิขาออก มีผลให้ความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นและความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ลำไยผงมีค่าลดลง
- ผลิตภัณฑ์ลำไยผงมีคุณสมบัติการละลายที่ดี เมื่อใช้อุณหภูมิขาออกของลมร้อน ปริมาณลมที่หัวฉีด และอัตราการป้อนให้มีค่าต่ำ
- ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีของผลิตภัณฑ์ลำไยผงมีค่าน้อย เมื่ออุณหภูมิขาออกและปริมาณลมที่หัวฉีดมีค่าต่ำ
- สมการความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ลำไยผงมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในเกณฑ์ดีอยู่ในรูปแบบของสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- จากการทดลองหาผลของสภาวะการผลิตต่อการผลิตน้ำลำไยผงนั้น อุปกรณ์ในการป้อนของเหลวเข้าห้องอบแห้งยังไม่มีเครื่องมือในการควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นของวัตถุดิบเหลว จึงอาจมีปัญหาการทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้ จึงควรมีการสร้างต่อเติมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ
- ในการทดลอง ผลิตภัณฑ์น้ำลำไยผงที่สภาวะต่าง ๆ ตามการออกแบบการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ติดอยู่ภายในผนังห้องอบแห้งมีอยู่ปริมาณสูงเกิน 50% ซึ่งมีลักษณะเป็นผลิตภัณฑ์แห้งร่วน สามารถขูดออกได้จากผนังห้องอบแห้ง แต่มีกลิ่นและสีไหม้ในส่วนที่ติดอยู่ตอนบนของส่วนห้องอบแห้งและบริเวณฝา ซึ่งเป็นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงเนื่องจากเป็นบริเวณที่ลมร้อนเข้ามาในห้องอบแห้ง ถ้าสามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ติดอยู่ที่ผนังห้องทำแห้งออกมาได้ก็จะเพิ่มเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ได้ เครื่องที่ใช้ในการทดลองมีค้อนช่วยกระแทกผนังห้องอบแห้งให้ผลิตภัณฑ์หลุดออกมา แต่ยังมีประสิทธิภาพไม่ดีนัก จึงควรมีการออกแบบเครื่องมือที่ช่วยเอาผลิตภัณฑ์ผงที่ติดอยู่ที่ผนังห้องอบแห้งออกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- การวัดความเร็วรอบที่หัวฉีดโดยตรงสามารถทำได้ยาก เนื่องจากหัวฉีดทำจากวัสดุที่มีความมันวาวสะท้อนแสง จึงไม่สามารถวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบได้ จึงควรมีเครื่องมือที่ใช้ในการวัดที่ดีกว่านี้
- ควรเก็บน้ำลำไยผงในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันความชื้น การซึมผ่านของก๊าซ และแสงแดด
- ควรมีการศึกษาทิศทางการไหลของกระแสลมร้อนในห้องอบแห้ง เพื่อที่จะได้เลือกใช้หัวฉีด และลักษณะการไหลของลมร้อนในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กมลกาญจน์ จิญกาญจน์. 2543. **การผลิตมิลค์เชรคสมุนไพรผงและผลิตภัณฑ์.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กรมการค้าภายใน.2546.**ปริมาณการแปรรูปลำไยปี 2546**.กรุงเทพ : กรมการค้าภายใน

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. **"มูลค่าปริมาณการส่งออกลำไย** .: http://www.oae.go.th .2006

โชษิณ ทองสุภานนท์. 2536. **การศึกษาเบื้องต้นในการแปรรูปน้ำว่านหางจระเข้ผงโดยวิธีอบแห้งแบบเยือกแข็ง.** ปัญหาพิเศษ. ภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ดาริกา สิมาพัฒน์พงศ์. 2545. **การศึกษาการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่.** ปริญญานิพนธ์. ภาควิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปานมนัส ศิริสมบูรณ์,พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และสาธิป รัตนภาสกร. 2538. **สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ.** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปารเมศ ชุติมา. **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ปราณี จิระกิตติเจริญและคณะ. 2548.**การทำผงโปรตีนไก่จากน้ำนึ่งไก่**.ปริญญานิพนธ์.ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เปาว์ คงสุนทรกิจกุล. 2546. **กรมพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมะเขือเทศ(Lycopersicum esculentum P.Mill) ผงสำเร็จรูป.** ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิพัฒน์ ปัทมราชวิเชียร, ศศิธร นามโคตรและศิริรัตน์ อมรวิริยะกุล. 2548. **สภาวะที่เหมาะในการผลิตน้ำลำไยผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย.** ปริญญานิพนธ์.ภาควิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิไล รังสาดทอง. 2546. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ .เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A. O. A. C. 1995. **Official Method of Analysis**. 16th ed .Washington D.C. Association of Official Analytical Chemists.

Athanasia M.Goula and Konstantinos G. Adamopouloa. 2005. **Spray drying of tomato pulp in dehumidified air:I. The effection on product recovery.** Food Engineering,60(2)

Bhandari B.R., Howes T., Troung V. 2004. **Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods.Part I-Moisture and glass transition temperature profile during drying.** Food Engineering, 56(1)

Cocrh, W.G,Cox, G.M c1957.**Experimental Designs**.John Wiley & Sons Inc.

Master, K.1991.**Spray Drying Handbook**. 5th edit. Longman Scientific and Technical, England.

Miiton 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 function characterization**. Innovative Food Science and Emerging Technologies, University Federal of Vicosa.

Roos,Y and Karel, M.1991. **Plasticizing effect of water on the thermal behaviour and crystallization of amorphous food models.** Food science,56(1),38-43.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

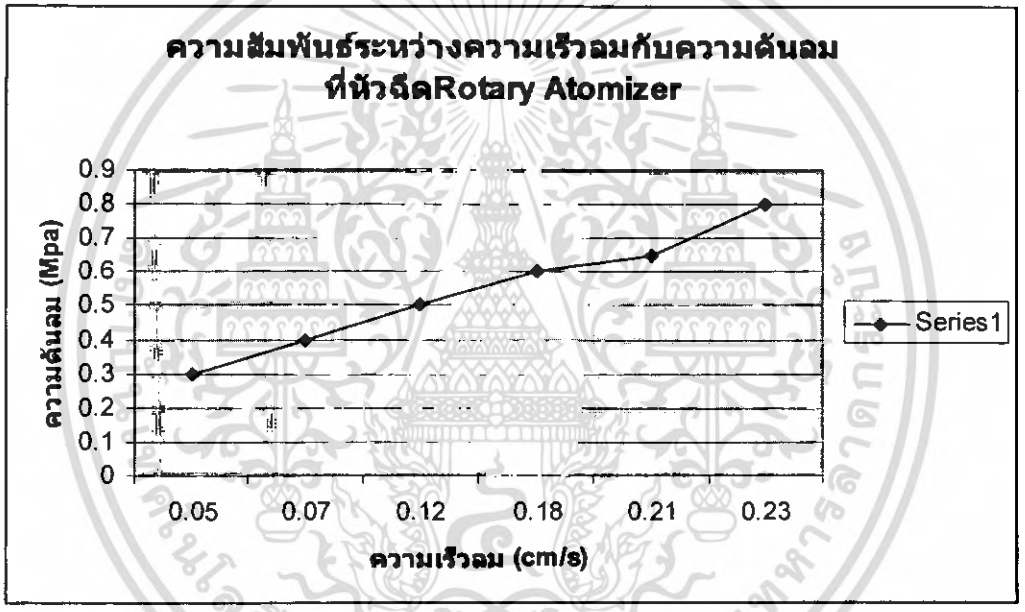
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การปรับค่าปริมาณลมที่หัวฉีด

ปริมาณลมที่หัวฉีด Rotary Atomizer สามารถปรับค่าได้จากการปรับค่าความดันลม ซึ่งการวัดค่าปริมาณลมที่หัวฉีดทำได้โดยการปล่อยลมจากหัวฉีดเข้าไปในchamberที่ลมสามารถออกได้เพียงทางท่อลมออกเท่านั้น จากนั้นวัดค่าความเร็วที่ท่อลมออกเพื่อคำนวณหาค่าปริมาณลมจากความสัมพันธ์

ปริมาณลม(m^3/s) = ความเร็วลม(m/s) x พื้นที่หน้าตัดท่อ (m^3)



รูปที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความดันลมที่หัวฉีด Rotary Atomizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รายละเอียดผลวิเคราะห์ทางสถิติของแต่ละ model

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าสัมประสิทธิของสมการความสัมพันธ์ของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบ 2 nd polynomial equation

สัมประสิทธิ์ของสมการ	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้	ความชื้น	ความหนาแน่น	ความสามารถในการละลาย	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี
a1 : F	52.0457	11.37656	1.35260	12.0123	1.73602
a2 : T	-48.6558	-5.58113	0.27595	-12.8872	0.87729
a3 : Q	3.9163	-2.29357	1.24825	-0.0540	-0.98211
a4 : F^2	-28.2626	-6.74996	-0.68613	-7.6251	-1.14522
a5 : T^2	23.0325	1.11294	-0.78073	5.1202	-0.36305
a6 : Q^2	-3.6202	0.06719	-1.16702	0.1721	0.83070
a7 : FT	-0.1066	0.96853	0.18725	3.0730	0.14871
a8 : FQ	-0.1016	0.25794	-0.28332	-1.1816	0.42055
a9 : TQ	1.7508	1.60976	0.72034	2.1207	-0.49892
R^2	0.9609*	0.9948*	0.9982*	0.9211*	0.9896*
SE	6.5982	0.25479	0.04176	39.874	6.2643

<u>หมายเหตุ</u> มีนัยสำคัญทางสถิติ * $p < 0.0001$

F = อัตราการป้อนอาหารเหลว [2.28 - 3.42 L/hr]

T = อุณหภูมิลมร้อนขาออก [198 - 509 cm^3/s]

Q = ปริมาณลมที่หัวฉีด [60 - 80 °C]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Multiple Regression ในรูปแบบ 2nd Order polynomial

1)ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%YIELD)

R= 0.98026937

R^2= 0.96092803

Adjusted R^2= 0.92185606

F(9,9)=24.594 p< 0.0001

Std.Error of estimate: 6.5982

ตารางที่ ข.2 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่าง %YIELD กับค่าตัวแปรที่ศึกษา

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(9)	p-level
F	52.0457	15.20481	422.6718	123.4809	3.42297	0.007592
T	-48.6558	14.17806	-16.2961	4.7486	-3.43177	0.007487
Q	3.9163	2.46164	0.2491	0.1566	1.59095	0.146084
F2	-28.2626	8.81761	-73.7075	22.9959	-3.20524	0.010741
T2	23.0325	7.12376	0.1067	0.0330	3.23319	0.010270
Q2	-3.6202	0.96465	-0.0005	0.0001	-3.75264	0.004535
FT	-0.1066	2.89985	-0.0123	0.3342	-0.03675	0.971486
FQ	-0.1016	0.98064	-0.0022	0.0215	-0.10361	0.919749
TQ	1.7508	1.65997	0.0016	0.0015	1.05470	0.319053

<u>หมายเหตุ</u>

F = อัตราการป้อนอาหารเหลว [2.28 - 3.42 L/hr]

T = อุณหภูมิลมร้อนขาออก [198 - 509 cm^3/s]

Q = ปริมาณลมที่หัวฉีด [60 - 80 °C]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ปริมาณความชื้น (% Wb)

R= 0.99739783

R^2= 0.99480244

Adjusted R^2= 0.98960488

F(9,9)=191.40 p< 0.0001

Std.Error of estimate: 0.25479

ตารางที่ ข.3 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับค่าตัวแปรที่ศึกษา

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(9)	p-level
F	11.37656	5.545596	9.78174	4.768191	2.05146	0.070447
T	-5.58113	5.171113	-0.19790	0.183366	-1.07929	0.308532
Q	-2.29357	0.897825	-0.01544	0.006046	-2.55458	0.030961
F2	-6.74996	3.216013	-1.86375	0.887982	-2.09886	0.065239
T2	1.11294	2.598223	0.00055	0.001274	0.42835	0.678466
Q2	0.06719	0.351834	0.00000	0.000005	0.19098	0.852780
FT	0.96853	1.057653	0.01182	0.012904	0.91574	0.383686
FQ	0.25794	0.357663	0.00060	0.000829	0.72117	0.489115
TQ	1.60976	0.605433	0.00015	0.000058	2.65885	0.026095

หมายเหตุ

F = อัตราการป้อนอาหารเหลว [2.28 - 3.42 L/hr]

T = อุณหภูมิลมร้อนขาออก [198 - 509 cm^3/s]

Q = ปริมาณลมที่หัวฉีด [60 - 80 °C]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความหนาแน่น (BULK DENSITY)

R= 0.913452

R^2= 0.99826978

Adjusted R^2= 0.99653956

F (9,9)=576.96 p< 0.0001

Std.Error of estimate: 0.04176

ตารางที่ ข.4 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าตัวแปรที่ศึกษา

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(9)	p-level
F	1.35260	3.199626	0.330384	0.781537	0.42274	0.682409
T	0.27595	2.983562	0.002780	0.030055	0.09249	0.928335
Q	1.24825	0.518015	0.002388	0.000991	2.40969	0.039269
F2	-0.68613	1.855534	-0.053819	0.145546	-0.36978	0.720101
T2	-0.78073	1.499089	-0.000109	0.000209	-0.52080	0.615074
Q2	-1.16702	0.202997	-0.000005	0.000001	-5.74898	0.000277
FT	0.18725	0.610231	0.000649	0.002115	0.30685	0.765936
FQ	-0.28332	0.206360	-0.000186	0.000136	-1.37292	0.203011
TQ	0.72034	0.349315	0.000020	0.000009	2.06214	0.069240

<u>หมายเหตุ</u>

F = อัตราการป้อนอาหารเหลว [2.28 - 3.42 L/hr]

T = อุณหภูมิลมร้อนขาออก [198 - 509 cm^3/s]

Q = ปริมาณลมที่หัวฉีด [60 - 80 °C]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ความสามารถในการละลาย

R= 0.95973542

R^2= 0.92109207

Adjusted R^2= 0.84218414

F(9,9)=11.673 p<0.0001

Std.Error of estimate: 39.874

ตารางที่ ข.5 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการละลายกับค่าตัวแปรที่ศึกษา

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(9)	p-level
F	12.0123	21.60771	414.8344	746.2065	0.555924	0.591812
T	-12.8872	20.14859	-18.3542	28.6962	-0.639606	0.538367
Q	-0.0540	3.49826	-0.0146	0.9461	-0.015428	0.988027
F2	-7.6251	12.53079	-84.5621	138.9663	-0.608508	0.557894
T2	5.1202	10.12365	0.1006	0.1994	0.505763	0.625178
Q2	0.1721	1.37088	0.0001	0.0008	0.125537	0.902858
FT	3.0730	4.12101	1.5058	2.0194	0.745692	0.474878
FQ	-1.1816	1.39359	-0.1100	0.1297	-0.847908	0.418468
TQ	2.1207	2.35899	0.0081	0.0091	0.898989	0.392075

<u>หมายเหตุ</u>

F = อัตราการป้อนอาหารเหลว [2.28 - 3.42 L/hr]

T = อุณหภูมิลมร้อนขาออก [198 - 509 cm^3/s]

Q = ปริมาณลมที่หัวฉีด [60 - 80 °C]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (E*)

R = 0 .99480120

R^2 = 0.98962942

Adjusted R^2 = 0 .97925884

F(9,9)=95.427 p<0.0001

Standard Error of estimate: 6.2643

ตารางที่ ข.6 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงสีกับค่าตัวแปรที่ศึกษา

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(9)	p-level
F	1.73602	7.833394	25.98061	117.2316	0.221618	0.829558
T	0.87729	7.304421	0.54146	4.5083	0.120104	0.907039
Q	-0.98211	1.268216	-0.11510	0.1486	-0.774399	0.458555
F2	-1.14522	4.542757	-5.50382	21.8321	-0.252098	0.806628
T2	-0.36305	3.670103	-0.00310	0.0313	-0.098920	0.923370
Q2	0.83070	0.496981	0.00022	0.0001	1.671499	0.128957
FT	0.14871	1.493981	0.03158	0.3173	0.099538	0.922893
FQ	0.42055	0.505215	0.01696	0.0204	0.832408	0.426714
TQ	-0.49892	0.855200	-0.00083	0.0014	-0.583393	0.573955

<u>หมายเหตุ</u>

F = อัตราการป้อนอาหารเหลว [2.28 - 3.42 L/hr]

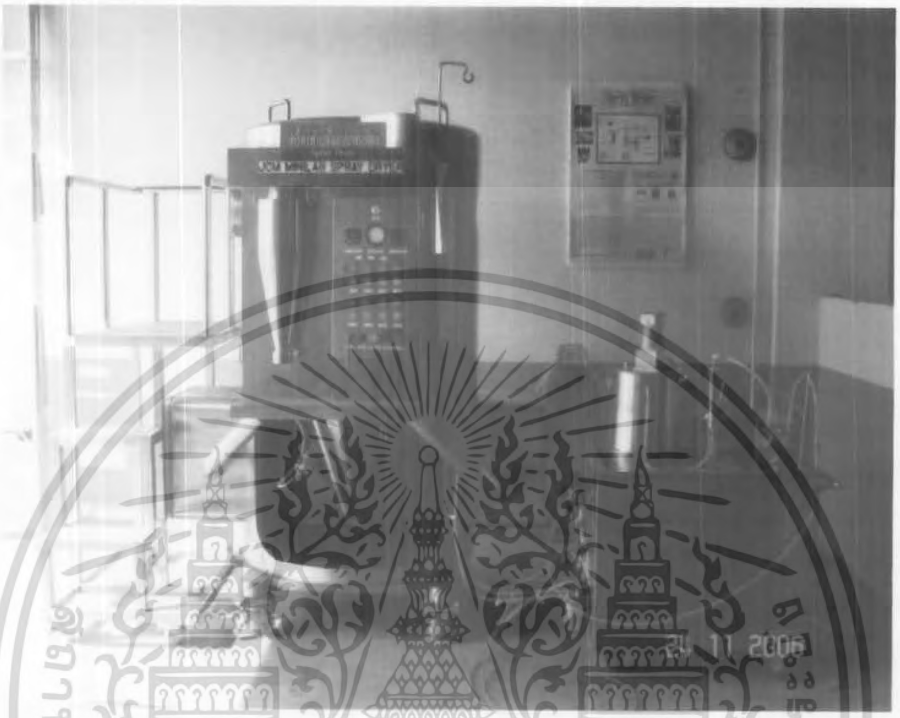
T = อุณหภูมิลมร้อนขาออก [198 - 509 cm^3/s]

Q = ปริมาณลมที่หัวฉีด [60 - 80 °C]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

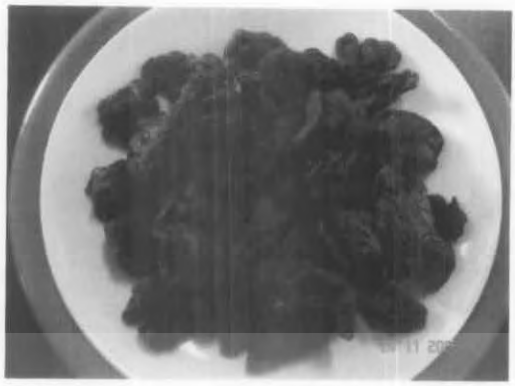
รูปอุปกรณ์ วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง



รูปที่ค.1 แสดงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

รูปที่ค.2 แสดง Rotary Atomizer ที่ใช้ในการทดลอง

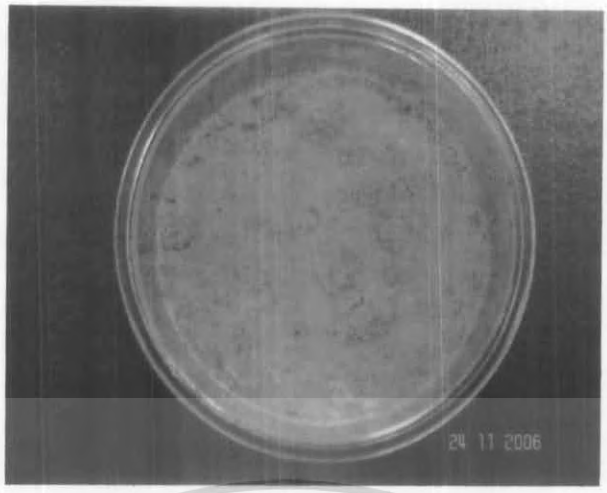
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ค.3 แสดงลำไยอบแห้งพันธุ์อีดอที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ค.4 แสดงน้ำลำไยเริ่มต้น เตรียมเข้าอบแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

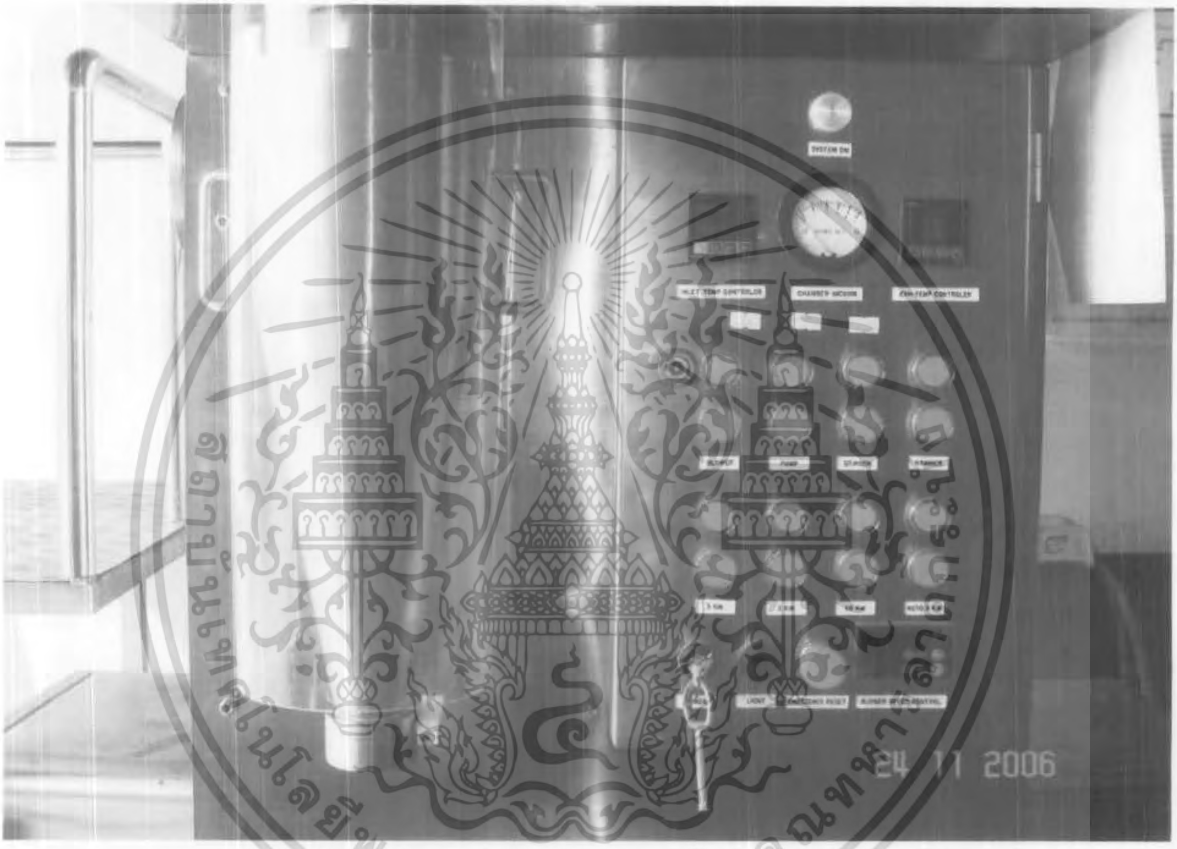


รูปที่ค.5 แสดงผลิตภัณฑ์ลำไยผงที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

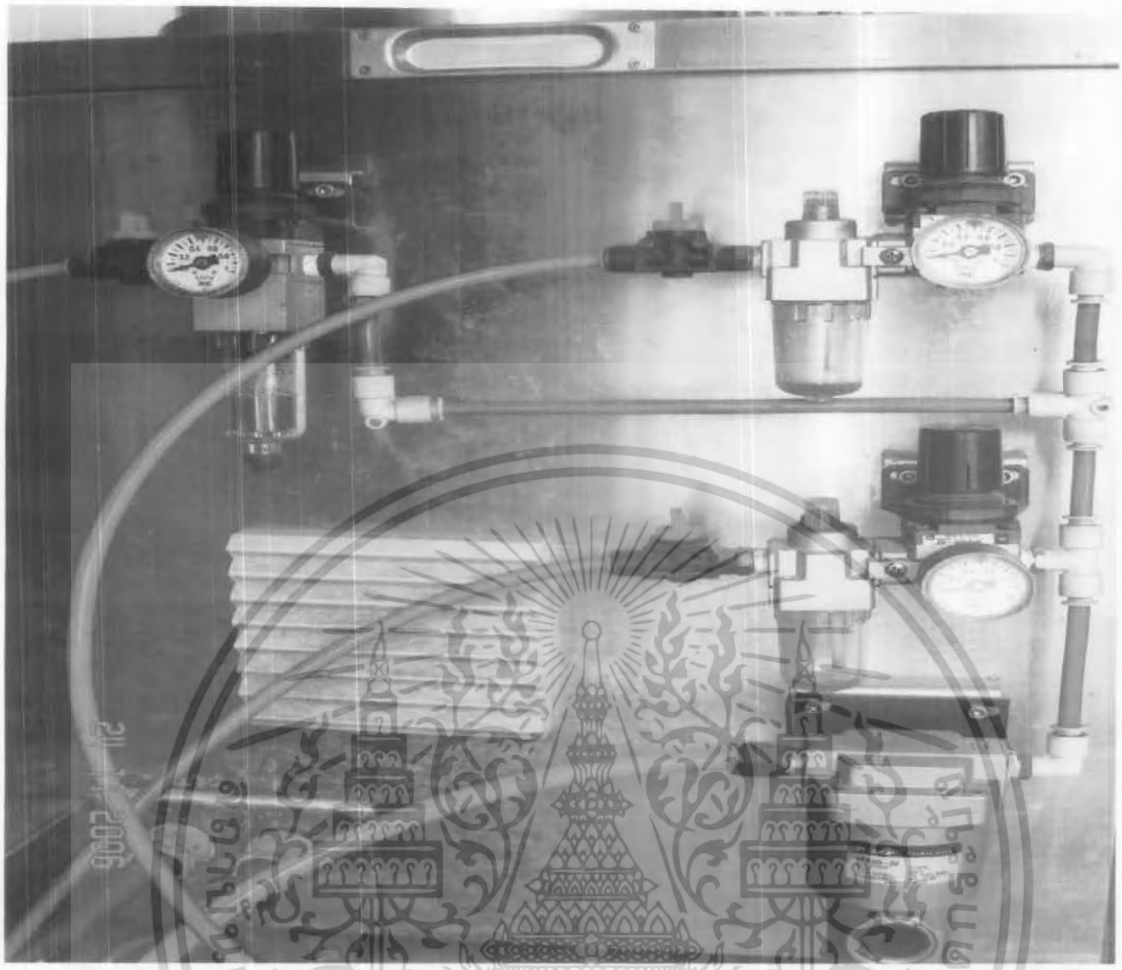
การปรับค่าตัวแปรการผลิตในการทดลอง



รูปที่ง.1 แสดงแผงควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

อุณหภูมิลมร้อนขาออก 3 ระดับคือ 60,70 และ 80 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ง.2 แสดงอุปกรณ์ปรับอัตราการไหลของลมร้อนที่หัวฉีด

ปริมาณลมที่หัวฉีด 3 ระดับคือ 198 , 339 และ 509 cm^3/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ง.3 แสดงชุดป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

อัตราการป้อนวัตถุดิบ 2 ระดับ 2.28 L/hr และ 3.42 L/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้