สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำนมถั่วเหลืองผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่มีอนุภาคเฉื่อย

(Soybean Milk Powder by Spouted Vortex-bed Dryer with Inert Particle)

T045818

โดย

นางสาวนวลพรรณ บุราณศรี

นางสาววรางคณา วิบูลย์รุจิราพงษ์

นายสมยศ กาญจนจิตกร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45818
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำนมถั่วเหลืองผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่มีอนุภาคเฉื่อย

(Soybean Milk Powder by Spouted Vortex-bed Dryer with Inert Particle)

โดย

นางสาวนวลพรรณ บุราณศรี

นางสาววรางคณา วิบูลย์รุจิราพงษ์

นายสมยศ กาญจนจิตกร

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทำนมถั่วเหลืองผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่มีอนุภาคเฉื่อย

Soybean Milk Powder by Spouted Vortex - Bed Dryer with Inert Particles

ผู้จัดทำ

1.นางสาวนวลพรรณ บุราณศรี

2.นางสาววรางคณา วิบูลย์รุจิราพงษ์

3.นายสมยศ กาญจนจิตกร

.....

(อาจารย์กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำนมถั่วเหลืองผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่มีอนุภาคเฉื่อย

(Soybean Milk Powder by Spouted Vortex Bed Dryer with Inert Particles)

โดย

นางสาวนวลพรรณ บุราณศรี

นางสาววรางคณา วิบูลย์รุจิราพงษ์

นายสมยศ กาญจนจิตกร

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับนมถั่วเหลืองผงที่ผลิตด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่มีอนุภาคเฉื่อย ปัจจัยสำคัญที่ศึกษาคือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(100,120,140°ซ) และความเข้มข้นเป็นเปอร์เซนต์ของแข็งนมถั่วเหลือง(6%,8%,12%) โดยทดลองที่อัตราการไหล 2.2 ลบ.ม./นาที นมถั่วเหลืองผงที่ได้นำมาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้คืน,ความชื้น, สี และขนาดอนุภาคเฉลี่ย

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อปริมาณความชื้น,ดัชนีความขาว และค่าความสว่างของนมถั่วเหลืองผง โดยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่ำจะให้ปริมาณความชื้นสูง ดัชนีความขาวสูงและค่าความสว่างมาก ความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์ของแข็งของนมถั่วเหลืองมีผลต่อดัชนีความขาวและการเกาะติดบริเวณภายในห้องผนังห้องอบแห้ง โดยที่ความเข้มข้นต่ำจะได้ดัชนีความขาวสูง นอกจากนี้ยังไม่มีปัญหาการเกาะติดบริเวณภายในผนังห้องอบแห้งอีกด้วย ขนาดอนุภาคของนมถั่วเหลืองผงไม่มีความแตกต่างกันคืออยู่ในช่วง 452-499 ไมครอนและค่าความเป็นสีเหลืองของนมถั่วเหลืองมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 12-14.2 ค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อนเท่ากับ 59.50 %ของความร้อนที่ให้ทั้งหมด ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 24.70 วัตต์/ม^2 เคลวิน สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตนมถั่วเหลืองผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด คือ อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส และความเข้มข้น 6%ของแข็งของน้ำนมถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Soybean Milk Powder by Spouted Vortex Bed Dryer with Inert Particles

By

Miss Nuanpan Buransri

Miss Warangkana Wiboonrujirapong

Mr. Somyot Kanjanajittakorn

Adviser

Ms. Kankanit Khwanpruk

Abstract

This experiment study in the optimum condition for soybean milk powder was produced by spouted vortex - bed dryer with inert particles .Important factors to study were air inlet temperatures (100,120 and 140 ^{o}C) and concentration levels showed in percent solid soybean milk (6,8 and 12 %) to test at constant airflow rate (2.2 m^3/min). Soybean milk powder product was analyzed in terms of the percent solid by weight of dried powder , moisture content ,color and average particle size .

Result showed that air inlet temperature effected to product moisture content , whiteness and lightness of dried powder.The low inlet temperature resulted to the high moisture content , high whiteness and high lightness. The concentration (percent solid soybean milk) effected to the whiteness and the liquid stuck inside the wall of drying chamber. The low concentration level resulted to the high whiteness and without problem about liquid feed stuck inside drying chamber. Particle size in product had no significant difference range from 452-499 micron and yellowness of dried powder had narrow range from 12-14.2 .Thermal utilization was 59.50 % of total heat input. The heat transfer coefficient (h) was 24.70 W/m^2k. The optimum condition for produce soybean milk powder by spouted vortex- bed is inlet temperature 100 ^{o}C and concentration level at 6 % solid soybean milk.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูปภาพ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
ชนิดของเครื่องอบแห้ง	4
ถั่วเหลือง	14
ผลิตภัณฑ์อาหารผงสำเร็จรูป	21
การทำแป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันเต็ม	22
การผลิตนมผงที่ละลายน้ำได้ดี	24
การใช้เครื่องสเปาท์เบดในอุตสาหกรรม	25
ผลงานที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	28
อุปกรณ์การทดลอง	28
การเตรียมวัตถุดิบ	32
ขั้นตอนการทำนมถั่วเหลืองผง	33
วิธีการทดลอง	33
การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์	34
ศึกษาลักษณะของผนังอบแห้ง	34
ศึกษาการเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอน	34
การคำนวณการใช้ประโยชน์ทางความร้อน	34
การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	35
การวิเคราะห์ทางสถิติ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
บทที่4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	36
	ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของนมถั่วเหลืองผงโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ	36
	พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อน	46
	ลักษณะของผนังห้องอบแห้ง	46
	การเคลื่อนที่ของอนุภาคเฉื่อย	47
	การเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตนมถั่วเหลืองผง	49
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	51
	สรุปผลการทดลอง	51
	ข้อเสนอแนะ	51
รายการอ้างอิง		52
ภาคผนวก		53
ประวัติผู้เขียน		75
กิตติกรรมประกาศ		76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์	5
2.2	เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	7
2.3	เครื่องอบแห้งแบบSpray Dryที่พบได้ทั่วไป	8
2.4	เครื่องอบแห้งแบบวอร์เทคเบด	11
2.5	การเกิดสเปาท์เบด	14
2.6	ลักษณะของผงอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ทันที	22
2.7	ขั้นตอนการทำผงอาหารเกาะกันเป็นก้อนหลวมๆ	22
3.1	ภาพฉายด้านหน้าของเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด	29
3.2	เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้ในการทดลอง	30
3.3	ห้องอบแห้ง	31
4.1	ค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความชื้น	37
4.2	ค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว	39
4.3	ค่าความเข้มข้นที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว	41
4.4	ค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสว่าง	43
4.5	ค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	45
4.6	ค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อขนาดอนุภาคที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	48
4.7	ภาพนมถั่วเหลืองผงที่ผลิตที่สภาวะอัตราการไหลลมร้อน 2.2 ลบ.ม/นาทีความเข้มข้น 6 % ของแข็ง และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100,120และ140 องศาเซลเซียส	50
4.8	ภาพนมถั่วเหลืองผงที่ผลิตที่สภาวะอัตราการไหลลมร้อน 2.2 ลบ.ม/นาที อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100 องศาเซลเซียสและความเข้มข้น 6 %,8%และ12% ของแข็ง	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	ส่วนประกอบของน้ำนมถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับนมวัวใน 100 กรัม	20
2.	สารอาหารที่มีอยู่ในแป้งถั่วเหลือง 3.5 ออนซ์	24
4.1	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิของลมร้อนต่างๆกัน	36
4.2	ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวที่อุณหภูมิของลมร้อนต่างๆกัน	38
4.3	ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวที่ความเข้มข้น(เปอร์เซ็นต์ของแข็ง)ต่างๆกัน	40
4.4	ค่าเฉลี่ยความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิของลมร้อนต่างๆกัน	42
4.5	ค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆกัน	44
4.6	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆกัน	46
ข.1	ตารางการคำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ จำแนกตามความเข้มข้น 3 ระดับ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ	57
ข.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยพิจารณา ความเข้มข้น และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	58
ข.3	ตารางการคำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของปริมาณดัชนีความขาวของผลิตภัณฑ์ จำแนกตามความเข้มข้น 3 ระดับ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ	59
ข.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าดัชนีความขาวในผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยพิจารณา ความเข้มข้น และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	60
ข.5	ตารางการคำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ จำแนกตามความเข้มข้น 3 ระดับ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ	61
ข.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าความสว่างในผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยพิจารณา ความเข้มข้น และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	62
ข.7	ตารางการคำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของปริมาณความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์จำแนกตามความเข้มข้น 3 ระดับ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ	63
ข.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าความเป็นสีเหลืองในผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยพิจารณา ความเข้มข้น และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	64
ข.9	ตารางการคำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของค่าขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ จำแนกตามความเข้มข้น 3 ระดับ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย(ไมครอน) ในผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยพิจารณา ความเข้มข้น และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	66
ข.11	ปริมาณของแข็งที่ได้(กรัม) และ %ของแข็งที่ได้โดยมวลที่สภาวะต่างๆ	67
ข.12	ปริมาณความชื้น(%) และ ค่าความสว่าง ที่สภาวะต่างๆ	68
ข.13	ค่าความเป็นสีเหลืองและ ค่าดัชนีความขาว ที่สภาวะต่างๆ	69
ข.14	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย(ไมครอน)ที่สภาวะต่างๆ	70
ข.15	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และ ค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อน ที่ระดับอุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำและวัตถุประสงค์

1.1 บทนำ

ถั่วเหลืองเป็นธัญพืชที่มีประโยชน์มากมาย โดยปกติองค์ประกอบในถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีโปรตีนสูง สามารถใช้แทนเนื้อสัตว์ได้ จึงเหมาะกับการนำมาแปรรูปเป็นอาหารประเภทที่มีคุณค่าทางโภชนาการเทียบกับโปรตีนที่ได้จากเนื้อสัตว์แต่เป็นโปรตีนที่มาจากพืชที่สามารถผลิตได้ในราคาถูกมากกว่า ประโยชน์ของถั่วเหลืองคือป้องกันและรักษาโรคที่สำคัญได้แก่ โรคหัวใจเส้นเลือดอุดตัน ความดันโลหิตสูงและมะเร็ง จากการวิจัยพบว่า ผู้ที่บริโภคถั่วเหลือง หรือผลผลิตจากถั่วเหลืองเป็นประจำ จะช่วยให้ระดับคลอเรสเตอรอลในเลือดต่ำ ช่วยป้องกันโรคหัวใจและช่วยรักษาระดับความดันในเส้นเลือด[1]

การแปรรูปถั่วเหลืองทำได้หลายอย่าง เช่น เต้าหู้อ่อน เต้าหู้แข็ง ซีอิ๊วถั่วเหลือง น้ำมันถั่วเหลือง (น้ำมันหุงต้ม มาการีน มายองเนส น้ำเคล้าสลัด) นมถั่วเหลือง นัตโต เทมเป้ แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม นมข้น โยเกิร์ต นมถั่วเหลืองผง เป็นต้น การยืดอายุการเก็บนมถั่วเหลืองโดยวิธีที่สะดวกที่สุดคือการดึงน้ำออกให้เป็นผง นั่นคือทำเป็นนมถั่วเหลืองผง เพื่อทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์น้อยลง ช่วยลดปริมาตรและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ และสะดวกแก่การนำไปบริโภคได้ทันที[2]

วิธีการแปรรูปนมถั่วเหลืองผงมีหลายชนิดเช่น วิธีทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (Drum drying) วิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) หรือใช้วิธีทำแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด (Spouted Vortex Bed)

เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นในรัสเซียในปี พ.ศ.2523 ซึ่งให้ประสิทธิภาพความร้อนสูง ตัวเครื่องมีขนาดเล็ก ราคาถูกสามารถนำไปใช้ในการอบแห้งกับผลิตภัณฑ์อาหารเหลวได้หลายชนิดที่มีช่วงของปริมาณของแข็ง(Solid Content) ตั้งแต่ 1% ถึง 48% ได้และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี[3]

ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งโดยวิธีแบบสเปาท์วอร์เทคเบดมีหลายปัจจัยเช่น อัตราการไหลของลมร้อน อุณหภูมิของลมร้อน ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่จะใช้อบแห้ง ฯลฯ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีความเกี่ยวข้องกับการอบแห้งของผลิตภัณฑ์

ดังนั้นการศึกษาปัจจัยเหล่านี้ จึงเป็นเรื่องสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อศึกษาการทำนมถั่วเหลืองผงโดยวิธีสเปาท์วอร์เทคเบด
2) เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อยที่มีต่อการทำนมถั่วเหลืองผง สภาวะที่ศึกษาคืออุณหภูมิลมขาเข้า และความเข้มข้นของนมถั่วเหลือง
3) เพื่อศึกษาคุณสมบัติบางประการของนมถั่วเหลืองผงที่ได้ เช่น ความชื้น,สี และขนาดอนุภาคเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 กลไกการทำแห้ง[4]

เมื่ออากาศร้อนหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆลดต่ำลง เมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อาหารแห้ง ความแตกต่างนี้จะทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่ไอน้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกต่อไปนี้

1) การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี่
2) การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ
3) การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร
4) การแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหารซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความดันไอ

เมื่อนำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง ช่วงเวลาสั้นๆตอนเริ่มการอบแห้งจะเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอาหารถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกแล้วจึงเริ่มการทำให้แห้ง โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าจึงยังเปียกอยู่ เรียกช่วงนี้ว่าเป็นช่วงอัตราเร็วคงที่(constant rate period) และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นวิกฤต (critical moisture content)แต่ในทางปฏิบัติ ผิวหน้าของอาหารจะค่อยๆแห้งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกันและอัตราการทำให้แห้งโดยรวมจะค่อยๆ ลดลงในช่วงของอัตราเร็วคงที่ ดังนั้นจุดความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้งและอัตราการทำให้แห้ง ลักษณะที่สำคัญของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำแห้งในช่วงอัตราเร็วคงที่ได้แก่

1) ต้องมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูง
2) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ
3) มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

ฟิล์มอากาศที่อยู่รอบอาหารจะกีดขวางการถ่ายเทความร้อนและไอน้ำระหว่างการทำแห้ง ความเร็วของอากาศหรือลมจะเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์ม ถ้าความเร็วลมต่ำเกินไป ไอน้ำจะเคลื่อนที่จากผิวหน้าของอาหารและยังคงอยู่รอบๆอาหารทำให้มีความแตกต่างระหว่างความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันไอและอัตราการทำแห้งไม่สูงนัก ถ้าอุณหภูมิของอากาศแห้งต่ำหรือมีความชื้นสูงจะทำให้อัตราเร็วในการระเหยและการทำแห้งลดลง

2.2 ชนิดของเครื่องอบแห้ง

2.2.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด(Fluidized bed dryers)[3] สำหรับวัสดุเหลวและวัสดุคล้ายแป้งเปียกได้รับการพัฒนาและปรับปรุงโดยพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลักเป็นสำคัญ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้งและเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์

สำหรับวัสดุที่สามารถนำมาอบแห้งในเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดได้นั้นมีลักษณะอยู่ในช่วงตั้งแต่ความหนืดมากจนถึงเหลว

<u>การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดสามารถทำได้ 2 แบบ</u>

1) แบบเบดที่ถูกก่อตัวจากวัสดุที่เริ่มแห้ง ใช้กับวัสดุที่มีความหนืดมากจนถึงความหนืดน้อย
2) แบบเบดที่ถูกก่อตัวจากวัสดุเฉื่อย หรือเรียกว่า เบดเฉื่อย(inert Bed) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้โดยกว้างขวางในวัสดุที่มีลักษณะหนืดมากจนถึงสารแขวนลอยหรือสารตกตะกอน

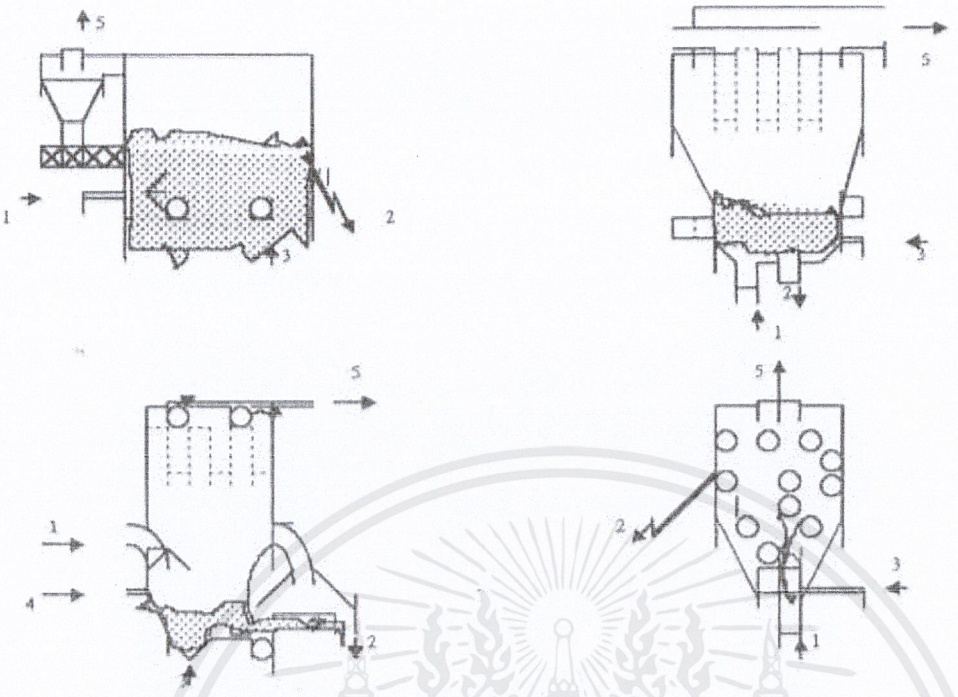
<u>รูปแบบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีหลายแบบ</u> ดังนี้

1) แบบขั้นเดียวหรือแบบหลายขั้น
2) แบบลักษณะเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของอนุภาค(การเคลื่อนที่แบบฟลูอิดไดซ์แบบสเปาท์เบด)
3) แบบลักษณะทางกายภาพของห้องอบแห้ง(ทรงกระบอก ทรงสี่เหลี่ยม ทรงกรวย)
4) แบบโม่พร้อมกับการอบแห้งหรือไม่ต้องโม่ก็ได้

สำหรับการทำแห้งวัสดุที่หนืดและเหลว เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดนี้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ในกรณีวัสดุเหลววัตถุดิบจะถูกป้อนโดยหัวฉีดแบบท่อเดียวหรือหลายท่อ ส่วนวัสดุหนืดจะใช้การป้อนโดยสกรูลำเลียง การป้อนโดยการสั่นสะเทือน

สำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด สามารถหาอัตราการระเหยได้โดยใช้วัตถุดิบซึ่งมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง $1*10^{-2}$ ถึง $4*10^{-2}$ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ส่วนเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีค่าไม่เกิน$3*10^{-3}$ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์

1.วัสดุเปียกที่ป้อน 2. ผลิตภัณฑ์แห้ง 3. ลมร้อน

4.เบดที่เริ่มก่อตัว 5. ทางออกของลมร้อน

รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์[3]

<u>ข้อดีข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด</u> มีดังนี้

<u>ข้อดี</u>

1) การไหลของอนุภาคมีลักษณะคล้ายการไหลของน้ำ เป็นการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งกระบวนการไหลจะถูกควบคุมอย่างต่อเนื่องโดยอัตโนมัติด้วยวิธีการง่ายๆ
2) การผสมและปะปนกันของอนุภาคของแข็งอย่างรวดเร็ว นำไปสู่สภาวะอุณหภูมิคงที่ทั่วระบบเครื่องอบแห้ง ทำให้สามารถควบคุมกระบวนการได้ง่ายและน่าเชื่อถือ
3) การหมุนเวียนของของแข็งระหว่างชั้นของเบด จะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดี ความร้อนเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากหากใช้เครื่องอบแห้งที่มีขนาดใหญ่
4) มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในกระบวนการขนาดใหญ่
5) การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างอากาศร้อนกับอนุภาคจะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่น
6) อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างฟลูอิดไดซ์เบดและวัตถุจมจะมีค่าสูง ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในฟลูอิดไดซ์เบดจึงต้องการพื้นที่ผิวน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย

1) ลักษณะการไหลของลมร้อนไม่มีทิศทางที่แน่นอนและเกิดการหักเห เนื่องจากการอุดช่องการไหลของลมร้อน ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง
2) การผสมปะปนของอนุภาคของแข็งในเบด จะทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งของของแข็งในห้องอบแห้งไม่คงตัว
3) ของแข็งที่แห้งกรอบจนกลายเป็นผงจะถูกลมร้อนเป่าพ่นออกไปที่ช่องทางออกของผลิตภัณฑ์ เพราะฉะนั้นจึงต้องนำวัตถุดิบมาป้อนแทนทันทีเพื่อเกิดความต่อเนื่อง
4) การสึกหรอของท่อและผนังของตัวเครื่อง เนื่องจากการขัดสีอย่างรุนแรงของอนุภาค
5) เมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งสูงเกินไป อนุภาคที่ได้จะเกาะรวมตัวกันและไหม้ ฉะนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์บังคับอุณหภูมิของกระบวนการให้ต่ำลง

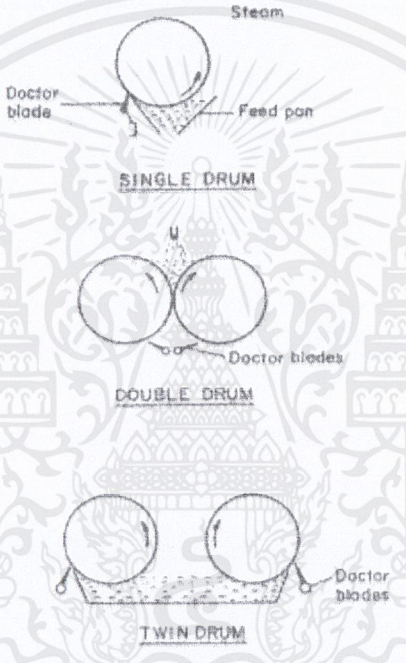
2.2.2 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง(Drum dryers หรือ roller dryers)[4] มีการให้ความร้อนลูกกลิ้งที่ทำจากโลหะเหล็กทรงกระบอกกลวงซึ่งหมุนอย่างช้าๆ โดยใช้ไอน้ำความดันสูงที่อุณหภูมิ 120-170°ซ อาหารจะแผ่เป็นชั้นบางๆ อย่างสม่ำเสมอบนผิวของลูกกลิ้งโดยการจุ่มการฉีดพ่นหรือการแผ่บางๆ อาหารแห้งนี้จะถูกขูดออกโดยใบมีดซึ่งจะสัมผัสกับผิวของลูกกลิ้งอย่างสม่ำเสมอก่อนที่ลูกกลิ้งจะหมุนครบ 1 รอบ(ภายใน20วินาที-3วินาที) เครื่องอบแห้งนี้อาจประกอบด้วยลูกกลิ้ง 1 หรือ 2 ลูกก็ได้ซึ่งนิยมใช้ลูกกลิ้งเดี่ยวมากกว่าเพราะมีการยืดหยุ่นในการใช้มากกว่าแบบ 2 ลูก เนื่องจากมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของลูกกลิ้งที่ใช้ในการอบแห้งสูงกว่า ดูแลรักษาง่ายไม่มีความเสียหายเนื่องจากวัตถุโลหะหล่นลงมาระหว่างลูกกลิ้ง ถูกฉีดพ่นเป็นฝอยขนาดเล็กประมาณ 10-200ไมครอนเข้าไปในท่ออบแห้งเพื่อสัมผัสลมร้อน เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งให้อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพสูงการใช้พลังงานสูง เหมาะกับอาหารเหลวที่มีขนาดอนุภาคใหญ่เกินกว่าจะใช้เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย อย่างไรก็ตามจะใช้ต้องเงินลงทุนสูงและอาหารที่ไวต่อความร้อนอาจเกิดความเสียหายได้ จึงทำให้มีผู้หันไปใช้เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย มีการใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งในการอบแห้งอาหารชนิดต่างๆ ได้แก่ อาหารแห้งหลายชนิด มันฝรั่งแผ่น ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้สุกแล้วจากธัญพืช กากน้ำตาล ซุปแห้งและเนื้อผลไม้บางชนิด โปรตีน หางนม

มีการพัฒนาการออกแบบลูกกลิ้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการทั้งการใช้ลูกกลิ้งเสริมเพื่อแยกและเติมอาหารใหม่ระหว่างการอบแห้ง หรือการใช้ความเร็วลมสูงเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้งหรือการใช้อากาศเย็นเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลง มีการใช้ลูกกลิ้งในระบบสุญญากาศเพื่ออบแห้งอาหารที่อุณหภูมิต่ำลง แต่จะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและจำกัดการใช้ ถูกฉีดพ่นเป็นฝอยขนาดเล็กประมาณ 10-200ไมครอน เข้าไปในท่ออบแห้งเพื่อสัมผัสกับลมร้อน ทำเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งให้อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพสูงการใช้พลังงานสูง เหมาะกับอาหารเหลวที่มีขนาดอนุภาคใหญ่เกินกว่าจะใช้เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย อย่างไรก็ตามจะใช้ต้องเงินลงทุนสูงและอาหารที่ไวต่อความร้อนอาจเกิดความเสียหายได้ จึงทำให้มีผู้หันไปใช้เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย มีการใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งในการอบแห้งอาหารชนิดต่างๆ ได้แก่ อาหารแห้งหลายชนิด มันฝรั่งแผ่น ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้สุกแล้วจากธัญพืช กากน้ำตาล ซุปแห้งและเนื้อผลไม้บางชนิด โปรตีน หางนม

มีการพัฒนาการออกแบบลูกกลิ้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการทั้งการใช้ลูกกลิ้งเสริมเพื่อแยกและเติมอาหารใหม่ระหว่างการอบแห้ง หรือการใช้ความเร็วลมสูงเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้งหรือการใช้อากาศเย็นเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลง มีการใช้ลูกกลิ้งในระบบสุญญากาศเพื่ออบแห้งอาหารที่อุณหภูมิต่ำลง แต่จะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและจำกัดการใช้ระบบดังกล่าวกับอาหารที่ไวต่อความร้อนที่มีคุณค่าสูงเท่านั้น



รูปที่ 2.2 แสดงเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง[4]

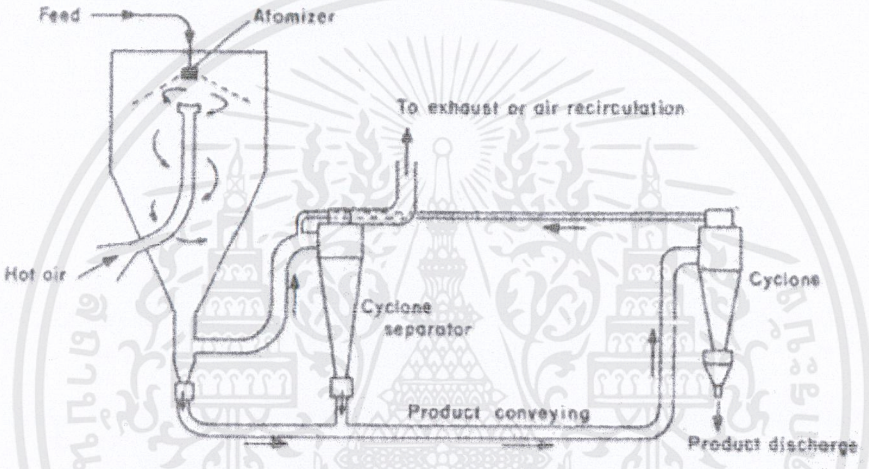
2.2.3 เครื่องอบแห้งสุญญากาศ (Vacuum Bandและ Vacuum shelf dryers)[4] อาหารเหลวจะถูกฉีดพ่นหรือแผ่บนสายพาน โลหะซึ่งเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งกลวง 2 ลูกในถังสุญญากาศที่ความดัน 1-70 ทอร์ อาหารจะถูกอบแห้งด้วยลูกกลิ้งก่อนและขดลวดที่ทำให้ร้อนด้วยไอน้ำหรือเครื่องทำความร้อนด้วยรังสีความร้อนซึ่งติดตั้งไว้เหนือสายพาน ลูกกลิ้งที่ทำให้เย็นด้วยน้ำเย็นตัวที่สองจะทำให้อาหารแห้งนี้เย็นลงและอาหารจะถูกขูดออกด้วยใบมีด ตู้อบแห้งสุญญากาศจะประกอบด้วยชั้นกลวงในตู้สุญญากาศ ชิ้นอาหารบางๆบรรจุอยู่บนถาดโลหะราบซึ่งสัมผัสกับอาหารได้ดี ความดันไอย่อยในตู้จะเท่ากับ 1-70 ทอร์ ใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำไหลผ่านชั้นเพื่อทำให้อาหารแห้ง

วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อนเนื่องจากสามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็วเกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนน้อย แต่จะต้องระมัดระวังไม่ให้อาหารแห้งไหม้ติดถาดในตู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบสุญญากาศ และการหดตัวจะลดการสัมผัสระหว่างอาหารกับผิวร้อนของเครื่องมือทั้ง 2 ชนิด เครื่องทั้งสองต้องใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายสูง แต่ให้อัตราการผลิตต่ำ

2.2.4 เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย(Spray Dryer)[4]สารที่ต้องการทำให้แห้งจะให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากอนุภาคของสารที่เราต้องการอย่างรวดเร็วภายในเวลาสั้นๆ ประมาณ 1-10 วินาที เนื่องจากอนุภาคของสารจะถูกฉีดพ่นให้กระจายเป็นละอองขนาดเล็กทำให้มีสัดส่วนต่อปริมาตรสูง จึงก่อให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารได้ดี และน้ำที่อยู่ในสารละลายจะระเหยเป็นไอออกมาทางช่องลมออกส่วนผลแห้งจะถูกดูดไปตามท่อและแยกออกตามลมร้อนโดยระบบไซโคลน(cyclone) ตกลงในขวดหรือภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องอบแห้งแบบSpray Dry ที่พบได้ทั่วไป[4]

<u>ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย[5]</u> คือ

1) ภาชนะทำแห้ง(drying chamber) จะมีลักษณะเป็นกระบอกสูง และเป็นส่วนที่จะมีการถ่ายเทความร้อนกับละอองของสารละลาย
2) หัวฉีด(atomizer,nozzle)ทำหน้าที่ฉีดหรือเหวี่ยงสารละลายให้เป็นละอองฝอย ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็นหัวฉีดที่ฉีดสารละลายออกมาทางรูเล็กๆ และประเภทจานหมุน(rotary disc)
3) ที่กระจายลม(Air Disperser)เป็นส่วนกระจายลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง เพื่อให้ถูกกับอาหารเหลวที่พ่นออกมาเป็นละออง การเป่าลมร้อนอาจกระทำไปในทิศทางเดียว หรือสวนทางกับอาหาร
4) ระบบแยกอาหารผงออกจากความร้อน(Recovery System)เป็นการแยกผงที่ได้ออก จากลมร้อนโดยอาศัยหลักการหมุนของกระแสลมร้อนให้มากระทบกับผนังท่อเพื่อผงซึ่งหนักกว่าจะได้ตกลงสู่เบื้องล่าง คุณสมบัติของผงที่ได้จะขึ้นกับความเข้มข้นของอาหารเหลวที่เริ่มต้น อุณหภูมิของลมร้อนเข้าและออกจากเครื่องความเร็วในการหมุนของหัวเหวี่ยง เปอร์เซ็นต์ความชื้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารและวัตถุดิบ ความสูงของห้องทำแห้ง อาหารผงที่ได้จะมีความชื้นไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และสามารถละลายน้ำได้ดีมาก ตัวอย่างของการทำอาหารผงคือ กาแฟผง นมผง และเครื่องดื่มผง

การแยกอนุภาคผงแห้งออก โดยใช้ไซโคลนนั้นเป็นการอาศัยแรงเฉื่อย ในขณะที่อากาศผ่านเข้ามาทางด้านบนสุดของไซโคลน จะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนเป็นเกลียว (vortex)ในทิศทางลม เมื่อถึงส่วนล่างสุดของทรงกรวย การหมุนของอากาศจะกลับทิศทาง แต่ยังคงรักษาทิศทางในการหมุน

ปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

1) ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น
2) อัตราการป้อนของสารละลาย
3) อุณหภูมิของสารละลายป้อน
4) สภาวะการใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอย เช่น อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออกจากเครื่อง ความเร็วในการหมุนของหัวฉีด ทิศทางการเคลื่อนที่ระหว่างลมร้อนกับละอองของสารละลาย ความเร็วและอัตราลมร้อนที่ใช้ เป็นต้น

ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอยเป็นแบบopen-cycle cocurrent ซึ่งการทำงานจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ

1) การฉีดพ่น(atomization)
2) การสัมผัสกับอากาศร้อนที่พ่นออกมา(spray-air contact)
3) การระเหยเป็นไอน้ำ(evaporation)
4) การเก็บเกี่ยวผลิตภัณฑ์และการทำความสะอาดอากาศ(product recovery and air cleaning)

ประโยชน์ของการอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอย

1) การดำเนินการเป็นไปโดยต่อเนื่อง
2) สามารถดัดแปลงเพื่อการควบคุมแบบอัตโนมัติได้เต็มที่
3) รายละเอียดของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องทำแห้ง และความยืดหยุ่นของการปฏิบัติ
   3.1) ลักษณะหรือรูปแบบผลิตภัณฑ์เป็นไปตามความต้องการ
   3.2) คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามความต้องการ
4) ประยุกต์ใช้ได้ทั้งวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อนหรือต้านทานต่อความร้อน
5) ประสิทธิภาพทางการให้ความร้อนสูง
6) อาหารสัตว์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย หรือสารละลายที่มีลักษณะเหนียวข้น(slurry,paste) ก็สามารถทำให้แห้งได้ด้วยวิธีนี้
7) สามารถใช้กับอาหารที่มีความสามารถในการกัดกร่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ขนาดของเครื่องทำแห้งมีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 2-3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ถึง 150 ตันต่อชั่วโมงหรือมากกว่าทำให้สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง
9) ความต้องการในการดำเนินการเหมือนกันทั้งเครื่องขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ดังนั้นการควบคุมหรือการดูแลรักษาทำได้ง่าย
10) สามารถออกแบบได้หลายอย่างเพื่อให้เหมาะสมกับการทำงาน เช่น การระเหยตัวทำละลายอินทรีย์โดยป้องกันการระเบิด
11) เครื่องอบแห้งที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติถ้ามีความซับซ้อนมากควรใช้คนควบคุม

อาจกล่าวได้ว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดี น้ำจึงสามารถระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ได้เร็ว จึงใช้เวลาการทำแห้งสั้นมาก เป็นการประหยัดเวลา และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงของสด และผงมีลักษณะสม่ำเสมอ คือ มีขนาดรูปร่างและความชื้นเหลืออยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงในทุกๆอนุภาคผง [6]

2.2.5 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด (Spouted vortex bed dryer)[3]

ในปี 1980 strumillo และคณะ รายงานว่าภายหลังได้มีการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดสำหรับวัตถุดิบที่มีความยืดหยุ่นตัว เช่นสารละลายหรือสารแขวนลอย มีชื่อว่า วอร์เทคเบด

รูปแบบการไหลของอนุภาคในเครื่องสเปาท์วอร์เทคเบด แตกต่างไปจากเครื่องอบแห้งสเปาท์เบดธรรมดาตรงที่การเคลื่อนที่ของอนุภาค เครื่องแบบวอร์เทคเบดจะมีความรุนแรงมากกว่าการไหลของอนุภาคในช่องว่างระหว่างผนังช่องทางออกและภายในกรวยจะมีการเคลื่อนที่แบบไหลวนตกลงมาข้างล่างแสดงดังรูปที่ 2.4

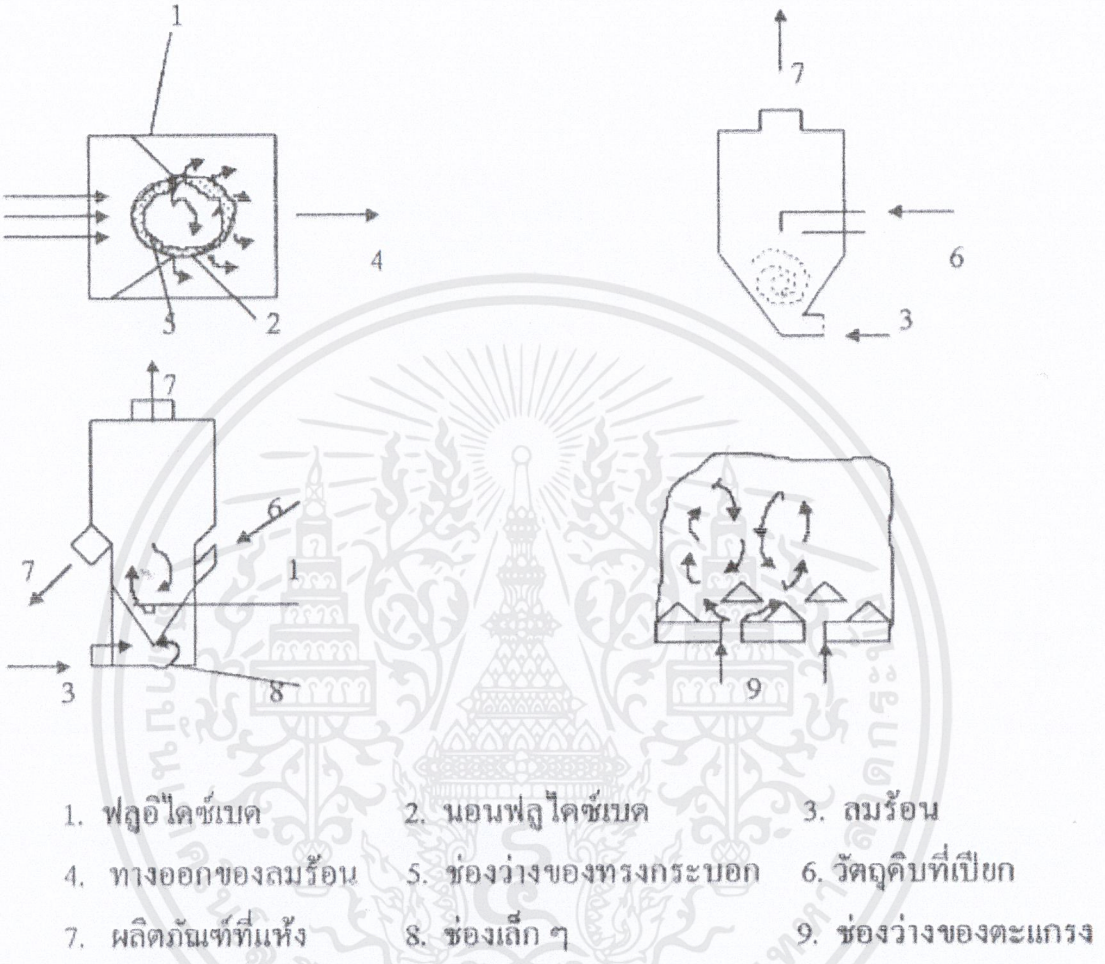
2.2.6 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบด (spouted bed dryer)[3]

เม็ดของแข็งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีรูปร่างแปลกๆ ต่างกันออกไปนำมาผ่านกระบวนการของ ฟลูอิดไดซ์เซชันธรรมดากระทำได้ยาก ก๊าซมักจะผ่านขึ้นมาบนเบดเป็นช่อง (channelling) หรือถ้าเกิดก็มักจะไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งเบด ตัวอย่างที่มักจะพบกันทั้งในประเทศและต่างประเทศ ก็คือข้าวทุกชนิดซึ่งมีรูปร่างรีๆยาวๆ ถ้าจะนำมาทำให้แห้งด้วยฟลูอิดไดซ์ธรรมดามักจะเกิดปัญหาอยู่เสมอ หรือการเคลือบเม็ดยาที่มีรูปร่างแปลกๆเป็นต้น

ดังนั้น สเปาท์เบดจึงเป็นเทคนิคอีกอันหนึ่งที่จะใช้ได้ดีกับ วัตถุที่มีรูปร่างแปลกๆ วัตถุจะเคลื่อนที่ขึ้นลงภายในเบดอย่างรุนแรงเสมือนกับมีเครื่องกวนอยู่ในเบดด้วย แรกเริ่มทีเดียวสเปาท์เบดนี้พัฒนาจากวิธีที่จะทำให้มีการสัมผัสระหว่างเม็ดของแข็งขนาดใหญ่กับก๊าซ โดยผ่านก๊าซที่มีความเร็วสูง ในลักษณะของเจ๊ท (Jet) ขึ้นมาได้ระยะหนึ่งก็จะตกลงไปทางรอบข้างผนังของหอทดลอง การทำงานโดยใช้เทคนิคสเปาท์เบดในปัจจุบันได้รับความสนใจไม่น้อยทีเดียวดังลักษณะของงานคือ สารที่อยู่ในรูปของสารละลายหรือหลอมละลายถูกฉีดพ่นเข้าไปในเบดที่มีเม็ดของแข็งที่มีขนาดเล็กอยู่ สารละลายก็จะไปพอกเป็นชั้นๆได้เป็นเมล็ดใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตากแห้งของสารแขวนลอยและสารละลาย ลักษณะของงานคือกลไกการทำงานเหมือนกัน เพียงแต่ว่าตัวนิวคลีไอใช้พวกสารที่เป็นฉนวนเช่น ลูกแก้ว สารละลายเกาะติดบนลูกแก้วพอแห้งก็แตกและปลิวออกไป



รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งแบบวอร์เทคเบด[3]

2.2.6.1 ลักษณะของสเปาท์เบด

สเปาท์เบดก่อตัวขึ้นจากกระแสเจ็ดของไหลผ่านเข้ามาในเบดกระแสของไหลนี้มีความเร็วสูง โมเมนตัมมากจะดันเม็ดของแข็งให้ลอยขึ้นเป็นแนวตามแกนของหอทดลอง เมื่อพ้นเบดแล้วเม็ดของแข็งก็ตกกลับลงมาใหม่

จะเห็นเบดประกอบด้วยโซน 2 โซน คือโซนที่เป็นเบดเบาบางที่เราเรียกว่าสเปาท์ บริเวณนี้เม็ดของแข็งจะเคลื่อนที่ขึ้น กับอีกโซนที่เป็นเบดหนาแน่น บริเวณนี้อยู่รอบผนังของหอทดลองเม็ดของแข็งบริเวณนี้ เคลื่อนลงด้านล่าง ตรงด้านล่างของเบดจะเป็นรูปกรวยเพื่อให้เม็ดของแข็งเข้าหากระแสเจ็ดได้ง่าย บางครั้งเราอาจจะคิดว่าเป็นเบดที่เกิดจากการไหลเป็นช่องทาง แต่การเกิดเบดชนิดหลังนี้ เม็ดของแข็งมิได้ขยับเคลื่อนที่เลยของไหลหลังจากผ่านพ้นท่อขึ้นมาแล้วส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่ก็จะอยู่ตรงบริเวณแกน มีบางส่วนไหลซึมผ่านไปด้านรอบๆของเบด ยิ่งสูงการซึมผ่านของก๊าซยิ่งมาก ทั้งนี้เกิดจากแรงขับที่มาก ผลต่างของปริมาณของไหลตรงกลางมากกว่าด้านข้าง สิ่งแตกต่างที่เห็นได้ชัดตรงบริเวณผิวหน้าของเบด ก็คือความเร็วของเม็ดของแข็งที่บริเวณตรงสเปาท์จะมีความเร็วมากกว่าบริเวณรอบๆมากทีเดียว เม็ดของแข็งที่ลอยมาตามกระแสของเจ๊ดมักจะชนกับเม็ดของแข็งที่เคลื่อนที่ลงมาตรงบริเวณใกล้แกน ดังนั้นตรงบริเวณที่ใกล้ๆกับท่อเจ๊ดจะมีปริมาณของแข็งน้อยกว่าทีระดับสูงๆขึ้นไป

ด้วยคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกับฟลูอิดไดซ์เซชันธรรมดา ดังกล่าวแล้ว ภายในเบดยังมีส่วนที่แตกต่างออกไปอีก ได้แก่ความดันต่างภายในเบดจะไม่เท่ากันตลอดทั้งหมด โดยจะมีค่าความดันต่างน้อยที่ใกล้บริเวณเจ๊ดและค่อยๆเพิ่มมากจนสูงสุด อยู่ที่ผิวหน้าของเบด ส่วนความดันตกนั้นมีสองส่วนที่ขนานกัน ส่วนแรกเป็นส่วนบริเวณสเปาท์ที่มีบริเวณของแข็งอยู่น้อยกับบริเวณที่เบดหนาแน่น ที่เม็ดของแข็งเคลื่อนที่ลงสวนทางกับของไหล ความดันตกที่ระดับต่างๆของเบดมักจะอยู่ในสมดุลย์ ยกเว้นบริเวณที่อยู่ใกล้กับทางเข้าของไหลที่ความดันตกจะมาก กรณีที่ก๊าซออกจากบริเวณสเปาท์เข้าไปในบริเวณวงแหวนรอบๆ สเปาท์มากพอจนเกิดเป็นฟลูอิดไดเซชันได้สเปาท์

ความสูงของเบดที่วัดได้ในขณะนี้เราเรียกว่าความสูงสูงสุดของเบดที่สามารถทำให้เป็น สเปาท์เบด (maximum spoutable bed depth) เพราะถ้าความเร็วของไหลมากกว่านี้ เม็ดของแข็งจะหลุดลอยออกไปเป็นการขนส่งไปในที่สุด

การที่เบดสามารถเกิดสเปาท์ได้อย่างถาวรนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะมากมายที่จะทำให้การเคลื่อนที่นี้สามารถเข้าไปสู่สภาวะฟลูอิดไดเซชันแบบเดือดพล่าน หรือแบบสลักกิ้ง (Slugging) ได้เมื่อความเร็วของไหลเพิ่มขึ้น ตัวแปรที่สำคัญๆในเรื่องนี้ได้แก่ขนาดของเม็ดของแข็ง ขนาดของท่อที่ให้ของไหลไหลเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอทดลอง มุมของกรวย อัตราการไหลของก๊าซ และความสูงของเบดซึ่งตัวแปรเหล่านี้สัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

สภาวะที่ทำให้เกิดสเปาท์เบดได้ดีนั้น เม็ดของแข็งควรมีขนาดใหญ่ เพราะถ้าเล็กแล้วโอกาสที่จะเกิดเป็นสเปาท์นั้นยากมาก หรือในเบดที่มีขนาดเม็ดของแข็งหลายๆขนาดผสมอยู่ด้วยกัน มักจะทำให้ก๊าซที่ไหลผ่านเข้ามากระจายออกไปแทนที่จะเกิดเป็นเจ๊ด

ความลึกของเบดก็มีอิทธิพลต่อการเกิดเป็นสเปาท์ได้เหมือนกัน แต่ความลึกมีความสัมพันธ์อยู่กับขนาดของเมล็ด

2.2.6.2 การไหลของก๊าซในเบด

ก๊าซที่ไหลในเบดแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนที่มีความเร็วสูงเป็นสเปาท์ ส่วนรอบๆสเปาท์หรือส่วนที่ใกล้ผนังหอทดลองมีความเร็วต่ำพอที่จะทำให้เบดอยู่ในลักษณะหลวมๆ

ความเร็วของก๊าซอาจวัดได้จากความดันต่างโดยสมมติว่าบริเวณรอบๆมีความเร็วก๊าซใกล้เคียงความเร็วฟลูอิดไดเซชันต่ำสุด หรือใช้วัดด้วยปิตอททิวโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศที่ออกจากออริฟิส มีความเร็วสูงมากส่วนใหญ่อยู่ตรงบริเวณสเปาท์ อีกส่วนแยกเข้าไปในส่วนรอบๆกับส่วนที่แยกไปมีมากขึ้นทุกทีตามความสูงของเบด

2.2.6.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็งในสเปาท์เบด

การเคลื่อนที่เม็ดของแข็งในสเปาท์เบดต่างจากฟลูอิดไดเซชันธรรมดา ทั้งนี้เพราะเม็ดของแข็งเคลื่อนที่จากด้านล่างไปยังผิวของเบดด้วยความเร็วที่สูงมากแล้วเคลื่อนที่ย้อนจากด้านบนลงมาด้านล่างตรงบริเวณรอบนอก

เปรียบเทียบ ประโยชน์ของสเปาท์เบดมีมากกว่าในฟลูอิดไดซ์ธรรมดา ตรงที่การอบแห้งโดยวิธีสเปาท์เบด สามารถทำการอบแห้งวัสดุที่ไวต่อความร้อนได้ดีกว่าการอบแห้งโดยวิธีฟลูอิดไดซ์ (ถ้าอุณหภูมิสูงวัสดุนั้นจะเปลี่ยนสภาพไป) ถึงแม้เราจะใช้อุณหภูมิสูงมากๆก็ตามแต่อุณหภูมิของเม็ดของแข็งในเบดมีอุณหภูมิไม่เกินครึ่งหนึ่งของอากาศร้อน สเปาท์เบดนี้ใช้ได้ดีกับวัสดุที่เป็นของเหลวมีของแข็งปนอยู่มากๆ

2.2.7 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย(spouted bed dryer with inert particle)[3]

การทำแห้งเริ่มจากการป้อนวัสดุเหลวเข้าไปในเครื่องอบแห้ง วัสดุเหลวจะเคลือบบางๆ ที่ผิวของอนุภาคเฉื่อย เนื่องจากการระเหยของน้ำทำให้มีการเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพจากพลาสโตอิเล็กตริก(Plastoelectric) เป็นอิลาสโตบริทเทิล (Elastrobrittle) วัสดุเหลวที่เคลือบอยู่ที่ผิวอนุภาคเฉื่อย เมื่อถูกทำให้แห้งจะมีลักษณะเป็นผงหลุดออกจากอนุภาคเฉื่อยเนื่องจากความเร็วของกระแสลมร้อน กระบวนการทางกลศาสตร์ในการทำแห้งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การเคลื่อนที่ในระหว่างการทำแห้ง(drying) และการเคลื่อนที่เมื่อหลุดออกจากอนุภาคเฉื่อย (attrition) ซึ่งกระบวนการทั้ง 2 ส่วน เกี่ยวข้องกับอัตราการทำแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่กระบวนการที่ 2 (attrition) ช้ากว่ากระบวนการแรก (drying) วัสดุเหลวที่เคลือบอนุภาคเฉื่อยอยู่จะถูกดึงให้รวมกันไว้ (blocked)

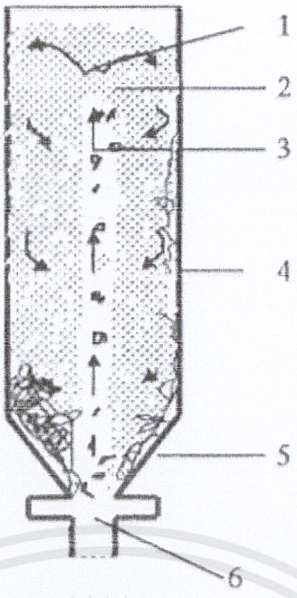
การทำแห้งโดยวิธีนี้มีห้องเครื่องเป็นทรงกระบอกกรวยซึ่งเป็นที่นิยมมากที่สุด ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์และอัตราการทำแห้ง คือ อุณหภูมิลมร้อนทางเข้า อุณหภูมิลมร้อนทางออก อัตราการไหลของลมร้อน มวลของอนุภาคเฉื่อยที่อยู่ในเบด อัตราการป้อนวัสดุเหลวและความชื้นของวัสดุที่นำมาทำแห้ง

<u>ค่าปัจจัยที่ได้ขึ้นอยู่กับการเลือกวัสดุที่นำมาทำแห้งรวมทั้ง</u>

1. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (อัตราส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อความร้อนทั้งหมด)
2. อัตราการระเหยเชิงปริมาตร (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรชั่วโมง)
3. ข้อจำกัดของเบด เช่นอัตราการป้อนวัสดุต่อมวลของอนุภาคเฉื่อยโดยไม่มีการถูกดึงให้รวมกัน

ถ้าเราทราบค่าสัมประสิทธิ์และอุณหภูมิลมร้อนก็จะสามารถกำหนดค่าสมรรถนะของเครื่องพิจารณาค่าปริมาตรของเครื่องและมวลของเบดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1) น้ำพุ 2) พื้นผิวของชั้นเบด 3) พ่น

4) ผนังห้องอบแห้ง 5) กรวย 6) ทางเข้าลมร้อน

รูปที่ 2.5 การเกิดสเปาท์เบด [3]

2.2.8 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย(Spouted Vortex-bed Dryer with inert Particle)[3]

ลักษณะสำคัญของการอบแห้งวิธีนี้คือ เป็นการผสมฟลูอิดไดซ์เบดและลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุนวนของอนุภาคเฉื่อย ซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการทำแห้ง โดยหลีกเลี่ยงการเกาะกัน

การอบแห้งโดยวิธีนี้จะใช้พลังงานต่ำ ปริมาตรของห้องอบแห้งน้อยกว่าห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สมรรถนะเดียวกัน

การหมุนของอนุภาคเฉื่อยนั้นต้องการความเร็วของกระแสลมร้อนสูง ทำให้ความดันของระบบสูง มวลของอนุภาคเฉื่อยมีผลโดยตรงต่อการเคลื่อนที่รวมไปถึง พื้นที่ผิวสัมผัสอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของลมร้อนและอัตราการป้อนเข้าของของเหลว

2.2.9 เครื่องอบแห้งแบบระเหิด(Freeze Drying, Lyophilisation)[5]

การอบแห้งแบบการระเหิด เป็นกระบวนการกำจัดน้ำให้ออกจากผลิตภัณฑ์ โดยการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของแข็งให้กลายเป็นไอโดยการระเหิด(sublimation) ภายใต้ความดันที่อุณหภูมิต่ำ

2.3 ถั่วเหลือง[2]

ถั่วเหลือง (Soybean) เป็นพืชที่ให้ทั้งน้ำมันและโปรตีนสูง โดยปกติองค์ประกอบในถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีประโยชน์อย่างมาก กล่าวคือ เมล็ดของถั่วเหลืองเหมาะสมทั้งที่จะนำมาแปรรูปเป็นอาหารประเภทมีคุณค่าทางโภชนาการเทียบเท่ากับโปรตีนที่ได้จากการบริโภคเนื้อสัตว์ แต่โปรตีนที่มาจากพืชสามารถผลิตได้ในราคาถูกกว่ามาก เช่น เต้าหู้ และเนื้อเทียมต่างๆและเนื่องด้วยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่องค์ประกอบของเมล็ด มีน้ำมันในปริมาณสูง ผลผลิตถั่วเหลืองจึงสามารถนำมาแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อบริโภคอีกรูปหนึ่งคือน้ำมันพืช ที่ใช้สำหรับปรุงอาหาร และสำหรับผสมในเนื้อสัตว์บรรจุกระป๋องใช้สำหรับบริโภคเท่านั้น แต่ยังถูกใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ , สี, เรซิน, และน้ำมันขัดเงาบางประเภทด้วย ที่สำคัญถั่วเหลืองมีประโยชน์ในการป้องกันและรักษาโรคที่สำคัญของมนุษย์ซึ่งกำลังเผชิญในปัจจุบันได้แก่ โรคหัวใจเส้นเลือดอุดตัน ความดันโลหิตสูงและมะเร็ง จากการวิจัยพบว่า ผู้ที่บริโภคถั่วเหลือง หรือผลผลิตจากถั่วเหลืองเป็นประจำ จะช่วยให้ระดับคลอเรสเตอรอลในเลือดต่ำ ช่วยป้องกันโรคหัวใจและช่วยรักษาระดับความดันในเส้นเลือด

ถ้าเปรียบเทียบนมถั่วเหลืองกับนมวัว จะพบว่านมวัวได้ให้สารอาหารแก่คนมาเป็นระยะเวลานาน ในปัจจุบันได้พิสูจน์ว่าบางคนไม่สามารถที่จะย่อยนมวัวได้ เป็นที่น่าสังเกตว่าประชากรโลกจำนวนหนึ่งเกิดสภาวะที่สูญเสียความสามารถในการย่อยแลกโทสหลังจากเลิกดื่มนม ซึ่งเป็นสาเหตุให้ความต้องการในการบริโภคนมต่ำ ส่วนประกอบที่สำคัญสองสิ่งในนมวัวก็คือโปรตีนและแลกโทส ซึ่งอาจจะทำให้ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ในสองปีแรก สำหรับคนที่ไม่สามารถทานนมวัวได้ จึงเปลี่ยนเป็นอย่างอื่นดื่มทดแทนเช่นนมถั่วเหลือง ในพื้นที่ที่มีนมวัวจำหน่ายอยู่น้อย นมถั่วเหลืองจึงเป็นสิ่งสำคัญทางเศรษฐกิจและได้รับการยอมรับในการบริโภคแทนนมวัว

เหตุผลที่ทำให้ถั่วเหลืองได้รับความนิยม มาจากสารอาหารเป็นจุดสำคัญ ซึ่งถั่วเหลืองมีความได้เปรียบพืชชนิดอื่นๆ คือเป็นแหล่งกำเนิดของโปรตีนคิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้งรวม,มีกรดอะมิโนที่จำเป็นยกเว้น เมไทโอนิน ซึ่งมีอยู่บ้างแต่น้อยมาก ถั่วเหลืองยังประกอบด้วยน้ำมันประมาณ 20 % และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยเมื่อเทียบกับพืชตระกูลถั่วอื่นๆ

นอกจากการบริโภคถั่วเหลืองในรูปอาหารโปรตีนสูง และน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อปรุงอาหารโดยตรง มนุษย์ยังสามารถบริโภคถั่วเหลืองโดยทางอ้อมได้ด้วย ในรูปเนื้อสัตว์ที่ได้รับการเลี้ยงโดยอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นสำคัญ กากถั่วเหลืองดังกล่าวนี้เป็นผลผลิตที่เหลือภายหลังจากถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธีการสกัดน้ำมันพืช ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชนั่นเอง ปัจจุบันพบว่าอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมาก และอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมาก และอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์แทบทุกชนิด เช่น ไก่ สุกร กุ้ง และปลา จำเป็นต้องใช้กากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารทั้งสิ้น ดั้งนั้นความต้องการถั่วเหลืองเพื่อประกอบอาหารสัตว์จึงเพิ่มขึ้นมากภายในประเทศ

ดังนั้นวิธีหนึ่งที่ง่ายต่อการนำถั่วเหลืองไปใช้ คือการทำเป็นนมถั่วเหลือง นมถั่วเหลืองเป็นการสกัดน้ำจากถั่วเหลืองหรือเป็นอิมัลชันที่ละเอียดของแป้งถั่วเหลืองเพราะว่ายังปรากฏลักษณะของนมอยู่ นมถั่วเหลืองมีการรายงานว่ามีการพัฒนาในประเทศจีนและถั่วเหลืองถูกเรียกว่า " cow of china" นมถั่วเหลืองสามารถเตรียมได้อย่างง่ายๆและคุณค่าทางอาหารเทียบเท่ากับนมวัว

นมถั่วเหลืองได้รับความนิยมและได้รับการยอมรับในประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง นมถั่วเหลืองมีโปรตีน น้ำตาล และไขมัน เป็นสารตั้งต้นสำหรับการเจริญเติบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โตของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์คือ ตัวอันตรายที่มีผลต่ออายุการเก็บของนมถั่วเหลือง นั่นเป็นสาเหตุที่ทำให้นมถั่วเหลืองเหมือนกับนมสด คือเน่าเสียได้ง่ายซึ่งเป็นผลให้มีการถนอมอาหารและออกแบบเพื่อเป็นการกำจัดอันตรายจากจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บให้นานยิ่งขึ้น

2.3.1 องค์ประกอบของเมล็ดถั่วเหลือง[7]

มนุษย์ใช้เมล็ดถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารมาเป็นเวลานานนับพันๆปี ทั้งนี้เพราะเมล็ดถั่วเหลืองมีคุณค่าทางอาหารที่ดีเด่นกว่าเมล็ดพืชอื่นๆ คือ ปริมาณน้ำมันและโปรตีน อีกทั้งราคาถูก สามารถปลูกและหาได้ง่าย จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของงานวิจัยเคมีพืชและผลิตกองเกษตรเคมีพบว่าถั่วเหลือง มีองค์ประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้ คือ

ไขมัน	20	เปอร์เซ็นต์
โปรตีน	40	เปอร์เซ็นต์
คาร์โบไฮเดรต	25.04	เปอร์เซ็นต์
เกลือแร่ธาตุต่างๆ	5.06	เปอร์เซ็นต์
เส้นใย	1.5	เปอร์เซ็นต์
ความชื้น	8.4	เปอร์เซ็นต์

2.3.2 การใช้ประโยชน์จากถั่วเหลือง[1]

ในแง่อุตสาหกรรม การนำเอาวัตถุดิบประเภทถั่วเหลืองมาทำเป็นอาหารสำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูปโดยผ่านกระบวนการในด้านของการผลิตหลายขั้นตอน และในแต่ละกระบวนการนี้ก็จะใช้เทคโนโลยีแตกต่างกันไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดและเป็นไปตามความชอบของผู้บริโภค ฉะนั้นจึงเห็นได้ว่าปัจจุบันได้มีการนำถั่วเหลืองมาใช้เพื่อผลิตเป็นอาหารมนุษย์เรามากขึ้นเป็นลำดับ โดยทำมาเป็นอาหารนานาชนิด เพื่อให้เกิดความสะดวกในการบริโภคของคนซึ่งมีเวลาในการประกอบอาหารจำกัดมากขึ้น ขณะเดียวกันถั่วเหลืองก็เป็นแหล่งของสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะมีสารอาหารประเภทโปรตีนและไขมันสูง ทั้งยังป้องกันและรักษาโรคที่สำคัญได้แก่ โรคหัวใจเส้นเลือดอุดตัน ความดันโลหิตสูงและมะเร็ง จากการวิจัยพบว่า ผู้ที่บริโภคถั่วเหลือง หรือผลผลิตจากถั่วเหลืองเป็นประจำ จะช่วยให้ระดับคลอเรสเตอรอลในเลือดต่ำ ช่วยป้องกันโรคหัวใจและช่วยรักษาระดับความดันในเส้นเลือด ฉะนั้นปริมาณการใช้ถั่วเหลืองในปัจจุบันจึงเน้นหนักทางด้านอุตสาหกรรมมากกว่าทางด้านคหกรรม

การนำถั่วเหลืองมาผลิตทางอุตสาหกรรมได้เป็นลักษณะต่างๆดังนี้ การทำน้ำมันถั่วเหลือง การทำน้ำนมถั่วเหลือง การทำเต้าหู้ การทำเต้าฮวย การทำฟองเต้าหู้ การทำถั่วงอกหัวโต และการทำแป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันเต็ม

ปัจจุบันการใช้ถั่วเหลืองมาผลิตเป็นน้ำนมถั่วเหลืองหรือน้ำเต้าหู้มีมากขึ้น เพราะเห็นประโยชน์และคุณค่าของถั่วเหลือง การยืดอายุการเก็บน้ำเต้าหู้โดยวิธีที่สะดวกที่สุดในการปรับปรุงอายุการเก็บของนมถั่วเหลืองคือการดึงน้ำออกให้เป็นผง สิ่งสำคัญคือค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แต่ค่าใช้จ่ายที่สูงนี้จะถูกชดเชยโดยค่าขนส่งที่ต่ำ อายุการเก็บที่นานขึ้น พื้นที่ในการเก็บลดลง ไม่จำเป็นต้องแช่เย็นหรือบรรจุหีบห่อแบบปลอดเชื้อ วิธีโดยทั่วไปในการอบนมถั่วเหลืองโดยไม่เติมสารใดๆ การเก็บรักษาและการควบคุมกระบวนการใช้ค่าใช้จ่ายสูงบ่อยๆ เป็นผลให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดึงน้ำออกต่ำ ปรากฏว่ามีความพยายามที่ดีที่จะดึงน้ำออกจากนมถั่วเหลืองให้มีคุณภาพดีและเก็บได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยยังคุณภาพเอาไว้ เป้าหมายสุดท้ายของการดึงเอาน้ำออกจากนมถั่วเหลืองคือต้องได้ผลิตภัณฑ์แห้งซึ่งเมื่อนำไปละลายแล้วต้องไม่ปรากฏความเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับนมถั่วเหลืองต้นแบบ

2.3.3 อุตสาหกรรมทำน้ำนมถั่วเหลือง[7]

ปัจจุบันการใช้ถั่วเหลืองมาผลิตเป็นน้ำนมถั่วเหลืองมีมากขึ้น ทั้งนี้เพราะประชาชนเกิดความรู้ความเข้าใจในคุณค่าทางโภชนาการของน้ำนมถั่วเหลืองมากขึ้น ประกอบกับน้ำนมถั่วเหลืองสามารถใช้เป็นอาหารเสริมดื่มแทนนมวัวได้ดีพอสมควร ซึ่งนมวัวนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ส่วนใหญ่แล้วต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ฉะนั้นทำให้ราคาของนมถั่วเหลืองเมื่อเทียบกับนมวัวแล้ว นมถั่วเหลืองจะมีข้อได้เปรียบในเรื่องราคาค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามถึงแม้คุณค่าทางโภชนาการของนมถั่วเหลืองล้วนๆอาจจะด้อยกว่าน้ำนมวัว แต่หลังจากที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วสามารถที่จะทำให้คุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำนมวัวทั่วๆไป โดยได้เปรียบเรื่องราคาเช่นเดิม

ในปัจจุบันเชื่อกันว่าถั่วเหลืองถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการทำน้ำนมถั่วเหลืองมีสูงถึงประมาณ10% ของปริมาณถั่วเหลืองที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมอาหารมนุษย์ต่อไป อุตสาหกรรมในครัวเรือนเช่น กลุ่มแรกการทำน้ำเต้าหู้ใส่รถเข็นไปขายโดยทั่วไป ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก ในแหล่งชุมชนที่อยู่อาศัยพวกนี้จะทำวันต่อวัน กลุ่มที่สองที่ยังถือว่าเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน คือกลุ่มผู้ที่ทำในปริมาณมากขึ้น แล้วกรองใส่ขวดหรือถุงพลาสติกโดยไม่มีการผ่านความร้อนอย่างถูกวิธีทั้งนี้เพื่อจำหน่ายในย่านนั้นๆหรือส่งให้ผู้บริโภคเป็นประจำวัน โดยที่นมนั้นสามารถเก็บในตู้เย็นได้2-3 วัน กลุ่มที่สามเป็นกลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรม ถือเป็นผู้ผลิตที่มีใบอนุญาตผลิตตามกฎเกณฑ์ของกระทรวงอุตสาหกรรม และกระทรวงสาธารณสุข อัตราส่วนการบริโภคนมถั่วเหลืองเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการบริโภคนมทั้งหมดนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก ทั้งนี้เพราะมีการขยายตัวของนมและผลิตภัณฑ์มีสูงขึ้นทุกปี

สำหรับกรรมวิธีในการทำน้ำนมถั่วเหลือง ได้มีผู้ค้นคว้าและวิจัยมากมายเพื่อต้องการให้ได้มาซึ่งคุณค่าทั้งทางรสชาติและทางกายภาพ เป็นไปตามความยอมรับของผู้บริโภคในแต่ละท้องถิ่น กรรมวิธีการทำน้ำนมถั่วเหลืองมีอยู่หลายแบบและวิธีด้วยกัน โดยเริ่มตั้งแต่แบบง่ายๆที่ทำกันในบ้าน ซึ่งเป็นวิธีของจีนโบราณจนถึงสมัยใหม่ ซึ่งมีกระบวนการซับซ้อนในอุตสาหกรรม โดยทั่วไปอาจแบ่งเป็น 4 แบบด้วยกันคือ

1) การใช้น้ำสกัด(Water Extract process)
2) การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ(Water Emulsion process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45818

3) การใช้โปรตีนบริสุทธิ์(Protein Isolate process)

4) การใช้แป้งถั่วเหลืองในไขมันเต็ม(Full Fat soy flour process)

ในที่นี้จะกล่าวถึงการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองโดยการใช้น้ำสกัด ก่อนนำมาผลิตเป็นนมถั่วเหลืองผง

วิธีการใช้น้ำสกัด (Water extract process)

การทำน้ำนมถั่วเหลืองแบบนี้เป็นวิธีการที่ใช้กันมานานจนถือว่าเป็นวิธีเก่าแก่ที่สุดอันหนึ่ง โดยการใช้ถั่วเหลืองทั้งเมล็ดมาแช่น้ำให้นิ่ม และจะพองตัวขึ้นอีก 1 - 1.2 เท่า ระยะเวลาการแช่เพื่อให้ถั่วนิ่มตัวจะใช้ได้ตั้งแต่ 1 - 20 ชม. แล้วแต่อุณหภูมิของน้ำที่แช่ถั่วเหลือง คือถ้าใช้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงก็จะนิ่มตัวเร็วกว่าการใช้น้ำที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นถั่วจะถูกนำมาบดกับน้ำในสัดส่วนที่ต้องการ และกรองเอาส่วนที่ไม่ละลายน้ำออกไป น้ำที่กรองออกมาได้จะมีลักษณะคล้ายน้ำนมและมีกลิ่นเหม็นเขียวตามลักษณะของถั่วเหลืองอยู่ ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าวิจัยหลายต่อหลายคนพยายามทดสอบทดลองคิดค้นที่จะทำลายกลิ่นถั่วเหลือง ซึ่งจัดว่าเป็นความรู้สึกที่ไม่ต้องการให้มีอยู่ในน้ำนมถั่วเหลืองให้หมดไปโดยใช้วิธีการต่างๆนานา ซึ่งผลก็เป็นทราบกันดีว่า อุณหภูมิ เวลา และสารเคมี เช่น แอลกอฮอลล์ เป็นสารที่กำจัดหรือลดความรุนแรงของกลิ่นถั่วเหลืองได้ในการทำนมถั่วเหลือง ขณะเดียวกันก็พบว่าการใช้ความร้อนที่ถูกต้อง เหมาะสมยังทำให้สารต่างๆนานาที่อยู่ในถั่วเหลืองที่ไม่ต้องการถูกทำลายหรือสลายตัวไปได้ด้วย เช่น สารยับยั้งการย่อยสลายและการดูดซึมของโปรตีน คือ Trypsin inhibitors, Phytic acid สาร Saponins และ Remagglutinins เป็นต้น ซึ่งในเรื่องของการปรับปรุงกรรมวิธีทำน้ำนมถั่วเหลืองเพื่อให้เกิดผลดีในด้านคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้นควบคู่ไปกับการทำลายกลิ่นเหม็นเขียวที่ไม่เป็นที่นิยมนี้ Dr. Miller ซึ่งเป็นแพทย์ชาวจีนได้นำมาใช้ตั้งแต่แรก โดยเขาได้นำวิธีการกำจัดกลิ่นโดยการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองตามวิธีดังกล่าวมาแล้ว และเอาน้ำนมถั่วเหลืองนั้นมาต้มที่อุณหภูมิสูง 240 ซ ด้วยหม้อต้มความดัน โดยใช้เวลา 5 นาที ซึ่งนอกจากจะทำลายกลิ่นถั่วเหลืองอันเกิดจาก enzymes Lipoxygenase แล้วยังทำลาย Trypsin inhibitors และจุลินทรีย์ต่างๆอันอาจปะปนในขณะผ่านขั้นตอนการทำด้วย น้ำนมที่ได้ก็จะนำมาผ่านเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน น้ำนมที่ได้ Dr. Miller ได้ทำการวิเคราะห์พบว่ามีส่วนประกอบคือ 3.5% โปรตีน ,1.75 %ไขมัน, 1% คาร์โบไฮเดรต น้ำนมถั่วเหลืองนี้เมื่อนำมาปรุงแต่งส่วนประกอบคือ นำมาเติมไขมันตามส่วน น้ำตาลทราย และน้ำตาลจากข้าวมอลล์ และเกลือแกงแล้ว ก็จะพบว่ามีส่วนประกอบคือ 3.5% โปรตีน ,3.5 %ไขมัน, 5% คาร์โบไฮเดรต และ 0.25 % เกลือแกง สามารถนำไปใช้เลี้ยงเด็กในโรงพยาบาลของเขา

สำหรับขั้นตอนการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง วิธีการใช้น้ำสกัดกั้นได้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากคนไทยส่วนใหญ่มีเชื้อสายจีนปนอยู่มาก ซึ่งไม่รังเกียจ กลิ่นถั่วเหลืองที่ติดมากับน้ำนมถั่วเหลือง อีกทั้งกรรมวิธีง่ายต่อการทำ ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการผลิตน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติ ของผู้ผลิตแต่ละแห่งมีข้อแตกต่างกันในส่วนปลีกย่อยเล็กน้อย อย่างไรก็ตามคุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้ก็มีความคล้ายคลึงกันมาก แตกต่างกันออกไป ก็องค์ประกอบของวัตถุดิบที่เติมแต่งเข้าไปเพื่อให้มีกลิ่นและรส มีความเป็นผลิตภัณฑ์เฉพาะตัว ขั้นตอนในการทำน้ำนมถั่วเหลืองแบบ Water extract process จึงอาจกล่าวโดยสรุปเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ถั่วเหลืองนำมาผ่านการคัดเลือกเอาเมล็ดเสีย ลีบ เน่า และดำออกทิ้งไป (โดยทั่วไปแล้วถั่วเหลืองเปลือกเหลืองและใบเลี้ยงสีเหลืองเท่านั้นจะเป็นสิ่งนำมาใช้ทำเป็นน้ำนมถั่วเหลือง)รวมทั้งการคัดเลือกเอาสิ่งที่ไม่ต้องการอื่นๆออกไปด้วย เช่น ดิน หิน โลหะ และฝุ่น เป็นต้น จากนั้นจึงนำมาโม่ผ่าซีก เพื่อแยกเอาเปลือกบางส่วน หรืออาจไม่ผ่าซีกก็ได้
2) ล้างน้ำให้สะอาด เพื่อเอาฝุ่นละอองออกไป
3) แช่น้ำให้นิ่มตัว อุณหภูมิในการแช่ถั่วขึ้นอยู่กับความต้องการในการกำจัดกลิ่นถั่ว กล่าวคือการแช่ที่อุณหภูมิสูงกลิ่นถั่วจะลดลง และถ้าแช่ที่อุณหภูมิต่ำกลิ่นถั่วจะมีมากกว่าหรือในช่วงนี้อาจใช้สารเคมี เช่น Sodium bicarbonate หรือ Sodium carbonate ในอัตราส่วนไม่เกิน 0.5 % ของน้ำแช่ร่วมด้วย เพื่อกำจัดสีของถั่วให้มีความขาวขึ้น รวมทั้งมีผลในการลดความเข้มข้นของกลิ่นถั่ว ขณะเดียวกันก็จะช่วยกำจัดรสขมที่อาจมีในถั่วให้ลดลงออกไปจากถั่วด้วย การแช่ถั่วนี้จะใช้อัตราส่วนของถั่ว ต่อ น้ำ ไม่น้อยกว่า 1 ต่อ 3
4) ล้างให้สะอาดและเป็นการกำจัดเอาเปลือกถั่วที่หลุดออกมาจากใบเลี้ยงทั้งนี้เพราะส่วนนี้ถือเป็นส่วนที่ไม่ต้องการเพราะไม่ให้สารอาหารที่มีคุณค่าต่อร่างกาย
5) การบดให้ละเอียด ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้โม่หิน หรืออาจเป็นเครื่องบดโดยใช้แรงฉุดมอเตอร์ไฟฟ้า และมีประสิทธิภาพในการบดให้ละเอียด มีประสิทธิภาพสูงเป็นต้น การบดจะใช้น้ำบางส่วนร่วมด้วยเพื่อทำให้การบดเป็นไปอย่างสะดวกและต่อเนื่อง และการบดนี้ก็จะบดให้ละเอียดที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรือเพื่อให้เป็นไปตามความสามารถของเครื่องกรองที่จะสามารถรับได้เป็นเกณฑ์ อัตราส่วนของน้ำ ต่อ ถั่วเหลืองหลังจากบดแล้ว อาจเป็นอัตราส่วนคือ 1 ต่อ 10
6) การกรองเอาส่วนที่ไม่ละลายน้ำออก (กาก) การทำในปริมาณน้อย อาจใช้สิ่งที่ง่ายที่สุด คือ ผ้าขาวบางกรอง ซึ่งก็สามารถทำได้ ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ขึ้นไปก็มีเครื่องกรองอยู่หลายแบบให้เลือกใช้ อาจเป็นชนิดที่ไม่ต่อเนื่อง (Batch) หรือชนิดต่อเนื่อง (Continuous) เช่นแบบเป็น Batch ได้แก่ Filter press แบบต่อเนื่องได้แก่ Decanter หรือ Saparator เป็นต้น
7) การต้มให้สุก น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดออกมาแล้วจะนำมาต้มให้สุกก่อน เพื่อทำลายและหยุดยั้งปฏิกิริยาทางเคมีจะมีขึ้น ตามมาอีกมากมายเช่น กลิ่น รส ที่จะเปลี่ยนแปลงไป
8) การเติมแต่ง เนื่องจากน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้ยังมีรสชาติและกลิ่นรวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการยังไม่เป็นที่ยอมรับและดีเท่าที่ควร ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องนำมาปรับปรุงให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำนมวัวให้มากที่สุด ก็จะเกิดประโยชน์ต่อผู้ดื่มมากขึ้น การเติมแต่งนี้จะใช้น้ำตาลทรายเพื่อทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรสหวานขึ้น การใช้น้ำมันพืช เพื่อทำให้น้ำนมมีคุณค่าทางโภชนาการด้านไขมันมีปริมาณเท่าเทียมกับน้ำนมวัว และการปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยเกลือแกง เป็นต้น

9) การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenization) นมถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมแต่งด้วยสารดังกล่าวและจะยังไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันต้องผ่านกระบวนการ Homogenization เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยเฉพาะด้านไขมันที่เติมลงไปก็จะถูกทำให้เป็นเม็ดเล็กๆ กระจายสม่ำเสมออยู่ในเนื้อนม โปรตีนที่อาจจับตัวเป็นก้อนเล็กๆ ก็จะถูกตีแตกให้กระจายเป็นเนื้อเดียวกัน นมที่ผ่านการ Homogenization แล้วจะมีความข้นใส (Viscosity) Homogenization เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีรสชาติสม่ำเสมอโดยตลอด การทำ Homogenization นี้จะใช้เครื่อง Homogenization ที่ความดันรวมประมาณ 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิไม่ควรจะต่ำกว่า 70° ซ.

10) การฆ่าเชื้อ (Heat Treatment) นมถั่วเหลืองที่ได้จะผ่านการบรรจุในภาชนะบรรจุ ซึ่งอาจมีหลายแบบเช่น ถุงพลาสติก ขวดแก้ว กล่องกระดาษ กระป๋อง เป็นต้น ทำให้อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อแบบที่เรียกว่า Sterilization ในภาชนะเช่น ขวดแก้ว และกระป๋อง ส่วนในภาชนะบรรจุที่เป็นกล่องกระดาษที่เรียกว่า tetra brix มักใช้วิธีที่เรียกว่า UHT คือจะใช้อุณหภูมิในช่วง 135 - 140° ซ. เป็นระยะเวลา 3 - 6 นาที ซึ่งนมที่ผ่านการ Sterilization แบบที่กล่าวมาแล้วบรรจุในภาชนะปิดสนิท จะสามารถเก็บในภาวะปกติได้เป็นระยะเวลายาวนาน ส่วนประกอบของนมถั่วเหลืองที่ทำโดยวิธี water extract process เปรียบเทียบกับน้ำนมวัวดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของน้ำนมถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับนมวัวใน 100 กรัม

ส่วนประกอบ	นมถั่วเหลือง(กรัม)	นมวัว(กรัม)
น้ำ	92.5	87.0
โปรตีน	3.4	3.5
ไขมัน	1.5	3.9
คาร์โบไฮเดรต	2.1	4.9
เถ้า	0.5	0.7
แคลเซียม	0.021	0.118
ฟอสฟอรัส	0.047	0.093
เหล็ก	0.0007	0.0001
Thiamine	0.00009	0.00004
Riboflavin	0.00004	0.00017
Niacin	0.0003	0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผลิตภัณฑ์อาหารผงสำเร็จรูป[4]

สำหรับอาหารแห้งผงนั้นองค์ประกอบของอาหาร วิธีทำแห้ง และขนาดของผลิตภัณฑ์จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส การแปรรูปอาหารที่มีไขมันต่ำ เช่น น้ำผลไม้ มันฝรั่ง และกาแฟ ให้เป็นผงแห้งทำได้ง่ายกว่านมผงที่มีไขมันเนยหรือสารสกัดจากเนื้อ การทำให้ผงแห้งเหล่านี้สามารถละลายได้ทันทีทำได้โดยการทำให้เกิดกลุ่มก้อนที่เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ (agglomeration) โดยกลุ่มก้อนนี้จะมีจุดสัมผัสกันน้อย(รูปที่ 2.6) ผิวของแต่ละอนุภาคเปียกง่ายเมื่อมีการเติมน้ำใหม่ และผงเหล่านี้จะจมลงใต้ผิวน้ำทำให้กระจายตัวได้ง่ายในของเหลว ลักษณะดังกล่าวเรียกว่าความสามารถในการเปียก(wettability) ความสามารถในการจม(sinkability) ความสามารถในการกระจาย(dispersibility) และความสามารถในการละลาย(solubility) ตามลำดับ สำหรับผงละลายทันที(instant) ต้องใช้เวลาสำหรับขั้นตอนทั้ง 4 เป็นเวลาไม่กี่วินาที รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนในการทำให้ผงอาหารเกาะกันเป็นก้อนหลวมๆ

ผลิตภัณฑ์อาหารผงที่ดีนั้นจะต้องสามารถกระจายและละลายน้ำได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติ คือ มีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับน้ำมาก จมน้ำได้ดี และ การแพร่กระจายของการละลาย

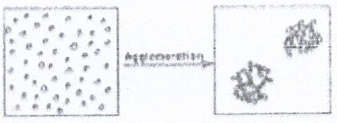
คุณสมบัติการเปียก(wettability)ของอาหารผงนั้น ขึ้นกับพื้นที่ผิวทั้งหมดของอนุภาคและขึ้นกับคุณสมบัติของผิวหน้าของอนุภาค อาหารที่มีไขมันอยู่ที่ผิวหน้าของอนุภาคจะทำให้ผิวหน้ามีขั้วสำหรับการจับตัวกับของเหลว หรือของเหลวกับของแข็งไม่เพียงพอ วิธีการแก้ไขอาจทำได้โดยการเติมสารลดแรงตึงผิว เช่น เลซิติน หรือสารเพิ่มความเปียก แต่อาจจะทำให้คุณสมบัติของอาหารเปลี่ยนไป

ผลิตภัณฑ์ชนิดรวมกลุ่มเป็นก้อนที่มีลักษณะรูพรุน(agglomerate)เกิดจากการรวมตัวของแต่ละอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ การจับตัวของแต่ละอนุภาคนั้นจะสัมผัสกันน้อยมาก เพื่อให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำมากนั่นเอง อนุภาคที่รวมตัวค่อนข้างคงตัวพอที่จะไม่จับตัวกันเป็นก้อนเมื่อถูกกับของเหลว อนุภาคจะแตกตัวออกจากกันหลังจากแต่ละอนุภาคได้ดูดซับของเหลวอย่างทั่วถึงแล้วเท่านั้น

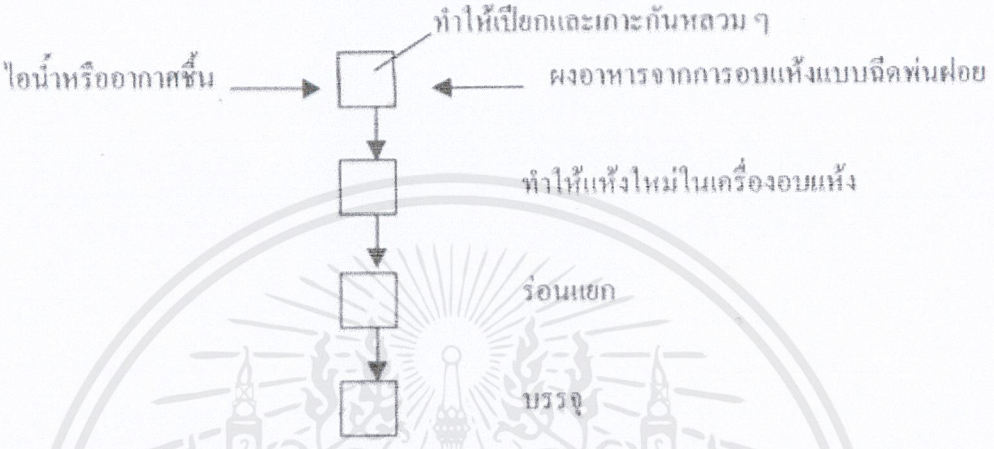
การผลิตจะทำได้โดยหลังจากวัตถุดิบผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยแล้วนำมาทำให้เปียกใหม่ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญต้องควบคุมให้ดี ปริมาณความชื้นของอาหารและขนาดอนุภาคมีผลต่อการคืนรูปของผง

ในการผลิตอาหารผงละลายทันทีต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มในการผลิต บรรจุ และการขนส่ง แต่มีความสะดวกในการใช้ การทำอาหารผงนี้ทำได้โดยทำให้ผงมีความหนาแน่นก่อนการอัดสูง และอนุภาคมีหลายขนาด อนุภาคเล็กๆนี้จะอุดช่องว่างระหว่างอนุภาคใหญ่ๆ จึงช่วยขจัดอากาศและช่วยให้มีอายุเก็บรักษานานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.6 ลักษณะของอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ทันที [4]



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนในการทำให้ผงอาหารเกาะกันเป็นก้อน [4]

การดูดคืนน้ำ[4]

การดูดคืนน้ำไม่ใช่ปฏิกิริยาย้อนกลับของการทำแห้ง การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะเนื้อสัมผัส การเคลื่อนที่ของตัวละลายและการสูญเสียสารระเหยไม่สามารถเกิดแบบย้อนกลับไปเหมือนเดิมได้ ความร้อนลดระดับการดูดคืนน้ำของแป้งและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ ทำให้โปรตีนจับตัวกันและลดความสามารถในการอุ้มน้ำ อัตราเร็วและระดับของการดูดคืนน้ำอาจใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารได้ อาหารที่ทำแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมากกว่าเกิดความเสียหายน้อยกว่าและดูดคืนน้ำได้เร็วกว่าอาหารที่ทำแห้งที่สภาวะที่เหมาะสมน้อยกว่า

2.5 การทำแป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันเต็ม(Full Fat soy flour)[1]

การใช้แป้งถั่วเหลืองในรูปของแป้งถั่วเหลืองมีแนวโน้มมากขึ้น เนื่องจากได้มีการกระจายความรู้ความเข้าใจในการนำเอาแป้งถั่วเหลืองไปใช้ได้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหารเสริมเด็กอ่อน อุตสาหกรรมทำขนมอบ และอุตสาหกรรมการทำนมถั่วเหลือง เป็นต้น แป้งถั่วเหลืองต่างๆมี ดังนี้

1) แป้งถั่วเหลือง(soy flour) คือการนำเอาส่วนของเนื้อถั่วเหลืองที่มีไขมันอยู่เต็มอัตรา เนื้อถั่วเหลืองที่ถูกสกัดเอาไขมันออกแล้วไปผ่านขั้นตอนบดให้ละเอียด ซึ่งความละเอียดของแป้งให้เป็นไปตามข้อกำหนดโดย soy food research council โดยกำหนดไว้ว่าจะต้องมีไม่น้อยกว่า 97 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งผ่านตะแกรงร่อน U.S. No.100 mesh ของตะแกรงมาตรฐาน คำว่าแป้งถั่วเหลืองอาจทำให้เกิดการเข้าใจผิดกับบางคน เพราะเป็นคำที่ซ้ำกับคำว่าแป้งสาลี หรือแป้งอื่นๆ ซึ่งอาจทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เข้าใจว่ามีคุณสมบัติและองค์ประกอบเหมือนกัน ซึ่งความจริงแล้วไม่เป็นเช่นนั้น เนื่องจากโปรตีนในแป้ง 2 ชนิดที่แตกต่างกัน กล่าวคือ แป้งสาลีเป็นชนิดที่เรียกว่า gluten ซึ่งเป็นตัวแสดงคุณสมบัติของแป้งสาลี และแป้งถั่วเหลืองเองก็ไม่มีส่วนประกอบที่เรียกว่า Starch อยู่

ชนิดของแป้งถั่วเหลืองและส่วนประกอบ

1.1) แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม(full fat soy flour) คือแป้งถั่วเหลืองที่ทำมาจากถั่วเหลืองที่กำจัดเปลือกออกแล้วผ่านขั้นตอนการบดให้ละเอียดเป็นไปตามข้อกำหนด และมีส่วนประกอบของไขมันและโปรตีนอยู่ดังเช่นที่มีอยู่ในใบเลี้ยงตามปรกติ โดยปรกติแล้วจะมีไขมันอยู่ไม่ต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์

1.2) แป้งถั่วเหลืองปราศจากไขมัน(defatted soy flour) คือแป้งถั่วเหลืองที่ทำจากถั่วเหลืองที่กำจัดเอาเปลือกและผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว ผ่านการบดให้เป็นไปตามข้อกำหนด โดยปรกติแล้วจะมีไขมันน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

1.3) แป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันน้อย(low fat soy flour) คือแป้งถั่วเหลืองที่เกิดจากการเติมไขมันลงไปในแป้งถั่วเหลืองปราศจากไขมัน ให้มีปริมาณตามโดยทั่วไปแล้วจะมีไขมันอยู่ในช่วง 4.5-9 เปอร์เซ็นต์

1.4) Lecithinated soy flour ซึ่งเป็นแป้งชนิดเติม lecithin ลงในแป้งถั่วเหลืองที่ปราศจากไขมัน โดยให้มีระดับต่างๆอาจจะสูงถึง 15%

1.5) Enzyme active soy flour โดยทั่วไปจะหมายถึงแป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันเต็มหรือแป้งถั่วเหลืองที่ปราศจากไขมันที่ผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนเล็กน้อยไม่พอในการที่จะทำลาย Enzyme ที่มีอยู่ในถั่วเหลือง

1.6) แป้งถั่วเหลืองชนิดอื่นๆ เป็นแป้งถั่วเหลืองที่ทำขึ้นมาเพื่อให้เป็นไปตามลักษณะการใช้งานอื่นๆเช่นแป้งถั่วเหลืองที่มีโปรตีนสูง 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก็ทำมาจากการผสมระหว่าง 70 เปอร์เซ็นต์ Protein concentrate กับ 50 เปอร์เซ็นต์ defatted soy flour

ในขั้นตอนของการทำแป้งถั่วเหลืองนั้นจำเป็นต้องผ่านความร้อนไม่ตอนใดก็ตอนหนึ่ง เช่น การเอาเปลือกออก การอบ การบด ทั้งนี้เพื่อจุดประสงค์ตามต้องการ ผลของความร้อนนี้จะมีต่อปฏิกิริยาของเอมไซน์ กลิ่น สี คุณค่าทางโภชนาการของแป้งถั่วเหลือง และการละลายตัวของโปรตีนในถั่วนั้น ในเรื่องของผลที่มีต่อการละลายของโปรตีนอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ก็จะยังผลต่อเนื่องไปยังการนำเอาแป้งถั่วเหลืองนั้นไปใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆอีกด้วย เป็นต้นว่าถ้าต้องการนำไปใช้ทำเป็นน้ำเต้าหู้ถ้าการละลายของโปรตีนต่ำเนื่องมาจากการใช้ความร้อน ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่างออกไป

การทำแป้งถั่วเหลืองในอุตสาหกรรมมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของแป้งถั่วเหลืองที่ต้องการเพื่อการใช้งาน การทำโดยวิธีที่เรียกว่า Extruder Cooker processing, Debittering Method จำเป็นที่ต้องเกี่ยวกับความร้อนส่วนหนึ่งซึ่งจะทำให้แป้งถั่วเหลืองที่ได้มีข้อดีในด้านกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหม็นเขียวที่น้อยลง ในด้านคุณค่าทางโภชนาการนั้น จากแป้งถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่จำเป็นต้องไปผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นอาหารพร้อมบริโภคอีกที ฉะนั้นจึงจำเป็นที่ต้องใช้ความร้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโปรตีนที่มีอยู่

2) ถั่วเหลืองผง(soy grit) เป็นส่วนของเนื้อถั่วเหลือง อาจเป็นส่วนที่มีไขมันอยู่เต็มหรือส่วนที่สกัดไขมันออกแล้วนำมาผ่านขั้นตอนการบดให้ละเอียดเป็นขนาดต่างๆ โดยถือเอาขนาดที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ คือ

หยาบ (Coarse) ผ่าน Mesh size No. 10-20

กลาง (Medium) ผ่าน Mesh size No. 20-40

ละเอียด (Fine) ผ่าน Mesh size No. 40-80

ตารางที่ 2 แสดงสารอาหารที่มีอยู่ในSoy Flour 3.5 ounces (by weight)[7]

Soy Flour	Full-fat, roasted	Defatted
Calories	441	329
Protein (gm)	34.80	47.00
Fat (gm)	21.90	1.20
Carbohydrate (gm)	33.70	38.40
Fiber (gm)	2.20	4.30
Calcium (mg)	188.00	241.00
Iron (mg)	5.80	9.20
Zinc (mg)	3.50	2.40
Thiamine (B1) (mg)	41.00	7.00
Riboflavin (mg)	94.00	25.00
Niacin (mg)	3.29	2.61

2.6 การผลิตนมผงที่ละลายน้ำได้ดี (Instant Power)[8]

นมผงที่มีคุณภาพดีจะต้องมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี การทำให้มีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี เรียกว่า **อินสแตนไตซ์** วิธีการทำอินสแตนไตซ์ก็โดยทำให้เม็ดนมผงขยายตัวขึ้น ทำให้มีช่องอากาศมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายดีขึ้น การทำอินสแตนไตซ์เริ่มจากนมผงที่แห้งแล้วโดยการทำให้กลับชื้น(Humidified) พอมีความชื้นนมผงจะขยายตัวขึ้นแล้วกลับทำให้นมนี้แห้งสนิทอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งอาจจะใช้เครื่องพ่นฝอยแบบมีจานหมุนก็ได้ หรือจะใช้เครื่องอีกชุดหนึ่งที่สำหรับการทำอินสแตนไตซ์ โดยเฉพาะเรียกว่าฟลูอิด เบด ดรายอิ้ง (Fluid Bed Drying)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบความสามารถในการละลาย

ความสามารถในการละลายน้ำเป็นสมบัติที่สำคัญของนมผง เพราะก่อนที่จะบริโภคต้องมีการเติมน้ำลงไปในนมผง ถ้านมผงนั้นมีความสามารถในการละลายได้ไม่ดี ทำให้ยุ่งยาก เสียเวลา และไม่น่าดื่ม นมผงที่ผลิตได้มาตรฐานจะละลายน้ำได้เป็น 3.5 เท่าของปริมาตร ส่วนหางนมผงสามารถละลายน้ำได้ถึง 5 เท่าของปริมาตร ถ้าเป็นนมผงจากเครื่องแบบพ่นฝอยแบบธรรมดา การผสมกับน้ำจะต้องทำอย่างมีขั้นตอน คือใส่น้ำในปริมาณเท่าๆกับ นมผงที่อุณหภูมิ 30- 50 °ซ แล้วคนแรงๆจนเข้ากันดีแล้วจึงเติมน้ำส่วนที่เหลือลงไป ถ้าจะทำให้การละลายเข้ากันดีจริงๆ ควรนำน้ำนมผสมเข้าเก็บเย็นแล้วทิ้งไว้ค้างคืน จะทำให้ได้น้ำนมที่ผสมกันดีขึ้น

ถ้าเป็นนมผงที่ผ่านการทำอินสแตนไตซ์แล้วไม่จำเป็นจะต้องมีขั้นตอนมากนัก เพราะการละลายดีอยู่แล้ว เพียงแต่ใส่นมผงลงไปในน้ำแล้วคนสักพักเดียวก็จะเข้ากันดี แม้แต่ใช้น้ำเย็นการละลายก็จะมีผลเช่นเดียวกับการใช้น้ำร้อน และน้ำนมก็จะใช้ดื่มได้ทันที โดยไม่ต้องเก็บค้างคืน

2.7 การใช้เครื่องสเปาท์เบดในอุตสาหกรรม[9]

เครื่องมือเกี่ยวกับสเปาท์เบดและการสร้างเครื่องมือจะใช้แก้ปัญหาขั้นต้นของการอบแห้งเมล็ดพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าว และผลิตภัณฑ์อาหารเหลวได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามก็มีความต้องการที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งให้มีความหลากหลายในการใช้ในระดับอุตสาหกรรม เป็นผลให้เกิดการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางและมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งใหม่ๆเกิดขึ้น การปรับปรุงเครื่องสเปาท์เบดได้ถูกนำมาพิสูจน์แล้วว่ามีความเหมาะสมสำหรับการประหยัดพลังงาน ซึ่งสามารถอบแห้งวัสดุทางอุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี และอื่นๆ โดยสามารถทำให้เป็นผงได้โดยง่าย

ผลของการวิจัยจากสถาบันthe Research Institute of Chemical Engineering of the Hungarian Academy of Sciencesในเทคนิคการใช้เครื่องสเปาท์เบดได้มีการออกแบบ และการเลือกตัวแปรกระบวนการที่เหมาะสมซึ่งสามารถนำเครื่องนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เช่น การอบแห้งวัสดุเปียก เมล็ด หรือวัสดุเหลวในช่วงของขนาดอนุภาคที่เป็นไปได้ ซึ่ง SBD เหมาะสำหรับวัสดุที่ไวต่อความร้อน แต่การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมไม่ได้ถูกรายงานไว้เป็นลายลักษณ์อักษร มีแนวโน้มว่า SBD จะมีความสำคัญต่อไปในอนาคต

ในปี 1995 Jindal และ Haiได้ออกแบบสร้างและทดสอบการทำแห้งของของเหลวโดยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย โดยการใช้น้ำผลไม้ชนิดต่างๆกัน ลูกทรงกลมที่ใช้ทำจากเทฟลอนใช้ในการฟอร์มตัวโดยให้วัสดุเหลวเกาะที่ผิวหน้าของลูกทรงกลม ถูกทำให้แห้งโดยลมร้อน วัตถุที่แห้งจะถูกกระแสลมร้อนพัดให้ปลิวออกจากผิวของลูกทรงกลม การหมุนของลูกทรงกลมนั้นต้องการความเร็วของกระแสลมร้อนสูง ทำให้ความดันของระบบสูง มวลของลูกทรงกลมมีผลโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ รวมไปถึง พื้นที่ผิวสัมผัส อุณหภูมิทางเข้าและทางออกของลมร้อนและอัตราการป้อนเข้าของของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

- ในปี 1954 Gisgler Mathur [2] มีความคิดในการใช้ Spouted Bed drying เป็นครั้งแรกใน National Research Council ของแคนาดาโดย เทคนิคครั้งแรกถูกใช้โดยการสัมผัสกับก๊าซและของแข็ง การวิจัยเกิดขึ้นมากมายเพื่อศึกษาถึงแง่ต่างๆของ Spouted Bed drying ของเมล็ด,เยื่อหุ้ม,ความร้อนและความเย็นของวัตถุที่เป็นเมล็ด เมื่อก่อนฟลูอิดไดซ์เบดใช้อบแห้งเมล็ดพืช แต่ต่อมาได้ใช้ในการอบแห้งวัตถุที่ข้นหนืดและของเหลว ฟลูอิดไดซ์มีปัญหาบางอย่าง คือ ไม่สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่เล็ก ใหญ่ หรือเหนียวเกินไป ถ้ามีการเกิดเป็นฟองและความเฉื่อยขึ้น วิธีในการแก้ปัญหาความเฉื่อยคือให้มีความเร็วลมสูงผ่านเข้ามาในเบดของผลิตภัณฑ์เมล็ด ผ่านไปยังช่องเล็กๆที่ศูนย์กลางของฐานกรวย ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการฟุ้งอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้เรียกว่าสเปาท์เบดซึ่งแกนตรงกลางเรียกว่า สเปาท์ และเส้นรอบวงที่เป็นขอบเขต เรียกว่า annulus

- ในปี 1959 Szentmarjay และ Palli [2] ใช้สเปาท์เบดในการอบของเหลวโดยใช้ลูกแก้วเป็นอนุภาคเฉื่อย วัสดุจำลองที่ใช้คือ โคบอลต์คาร์บอเนตและซิงค์คาร์บอเนต ที่ชื้นอยู่ เขาปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดและใช้ความสามารถทางกลสำหรับการหมุนวนของอนุภาคในการลดความดันตกได้ถึง 25-30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดปกติ เขาเปรียบเทียบการอบเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดที่ใช้ถาด และรายงานว่าใช้เวลามากกว่าการอบแห้งเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดปกติถึง 3 เท่า เขารายงานว่าการอบเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดนั้นจะมีความประหยัด มีความจุในการอบสูงสำหรับของเหลวที่ไวต่อความร้อน

เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดนั้นมีข้อได้เปรียบที่สามารถเพิ่มขนาดได้ ปริมาตรเบดและเส้นผ่านศูนย์กลางเบดมีอัตราส่วนสูงจึงสามารถเลือกได้อย่างอิสระ และเวลาที่ใช้ในการหมุนวนอนุภาคและอัตราสามารถาควบคุมได้ภายในช่วงกว้าง กระบวนการนี้สามารถใช้ได้ดีกับการอบแห้งของที่เหนียวข้น ของที่บดจนเหลวละเอียด และมีความชื้นสูง

- ในปี 1969 Minchev และคณะ [10] ได้ทดลองใช้วัตถุดิบป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย พบว่าอิทธิพลสำคัญที่มีผลต่อความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์คืออุณหภูมิลมร้อนทางออก ส่วนอุณหภูมิลมร้อนทางเข้า อัตราการไหลของลมร้อนและมวลอนุภาคเฉื่อยไม่มีผล

- ในปี 1974 Mathur และ Epstein [2] พิสูจน์ได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ทำให้การพุ่งเกิดขึ้นประมาณ 1 mm. มิฉะนั้นจะทำให้ของไหลพุ่งขึ้นแทนและรายงานด้วยว่าอนุภาคจะสามารถพุ่งขึ้นได้ก็ต่อเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อออริฟิสมีขนาดมากกว่า 30 เท่าของขนาดอนุภาค การที่สัดส่วนของอนุภาคมีความหยาบหรือละเอียดทำให้เสถียรภาพของการพุ่งเสียไป ความหนาแน่นอนุภาค นั้นไม่มีผลกระทบเป็นนัยสำคัญต่อการพุ่งความสูงเบดที่ต่ำสุดและที่สูงสุด ความเร็วลม ความดันตก ได้นำมาบ่งชี้ด้วย ความดันตกใน fluidzed bed มีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบสเปาร์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในปี 1978 Polotmikova และคณะ[11] ศึกษากระบวนการอบแห้งวัตถุดิบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบวอร์เทคเบด พบว่าอุณหภูมิลมร้อนทางออกมีอิทธิพลมากที่สุดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าและทางออกที่ใช้สำหรับวัตถุดิบมีค่า 200^{0}ซ และ 100 ^{0}ซ ตามลำดับ ลมร้อนทางเข้ามีความเร็ว 65 ถึง 70 เมตร/วินาที ความเข้มข้นของวัตถุดิบที่ป้อนเข้ามี 15- 20 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และใช้ความร้อนเท่ากับ 3800 กิโลจูล/กิโลกรัม

- ในปี 1980 Fane รายงานว่า ทั้ง Spray dry และ Spouted bed มีความเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ซึ่งอุณหภูมิออกต่ำ สเปาท์เบดจะมีความจุปริมาตรสูงกว่าเมื่อดูจากสิ่งที่ระเหยไปสำหรับที่อุณหภูมิลมเข้าเท่ากัน สเปาท์เบดจะมีความจุปริมาตรอย่างน้อย 10 เท่าของ Spray dry ประมาณ 1.5 เท่า overall thermal coefficient ซึ่งดูจากอุณหภูมิลมตกตัดขวางการอบเหนืออุณหภูมิลมที่เพิ่มตัดขวาง heater

- ในปี 1984 Kushakova และคณะ[12] พบว่าอุตสาหกรรมในสหภาพโซเวียตมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ใช้การทำแห้งแบบวิธีสเปาท์เบดโดยนำอนุภาคเฉื่อยเข้าร่วมด้วย ซึ่งอนุภาคเฉื่อยที่ใช้ในเบดคือเทฟลอน

- ในปี 1989 Szentmarjay และคณะ [13] ได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย โดยให้ลมร้อนที่เข้าไปในห้องอบแห้งมีทิศสัมผัสกับเส้นรอบวงของห้องอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

- Yu (1996) [2]รายงานว่า heat transfer coefficient มีผลกระทบจากอัตราการป้อนพื้นที่ผิวและอุณหภูมิลมขาเข้า เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้น heat transfer coefficient ก็เพิ่มขึ้นแต่พื้นที่ผิวและอุณหภูมิลมขาเข้า เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้น heat transfer coefficient จะลดลง อัตราการไหลอากาศมีผลน้อยมากต่อค่า heat transfer coefficient การทดลองใช้ความเข้มข้นของนมที่ต่างกันเพื่อหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายในเทอมของปริมาณความชื้น,ดัชนีการละลาย,สี ของนมผง ปริมาณความชื้น จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและ ดัชนีการละลายจะเพิ่มเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย

เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญ ดังรูปที่ 3.1

1) ห้องอบแห้ง

ลักษณะและขนาดแสดงดังรูป 3.3 โครงสร้างประกอบด้วยแผ่นเหล็กสแตนเลส ส่วนล่างของห้องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นกรวย ระหว่างผนังห้องแนวตั้งกับผนังห้องที่ทำมุม 60 องศากับแนวระดับ

2) เครื่องพัดลม

เครื่องพัดลมใช้ขนาดความจุมากที่สุดเท่ากับ 10 ลูกบาศก์เมตร/นาที มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า

3) ชุดอุปกรณ์ทำความร้อนประกอบด้วยชุดควบคุมและขดลวดไฟฟ้า

4) ไซโคลน

5) หัวฉีดสำหรับป้อนของเหลว

6) หัวฉีดสำหรับลมออก

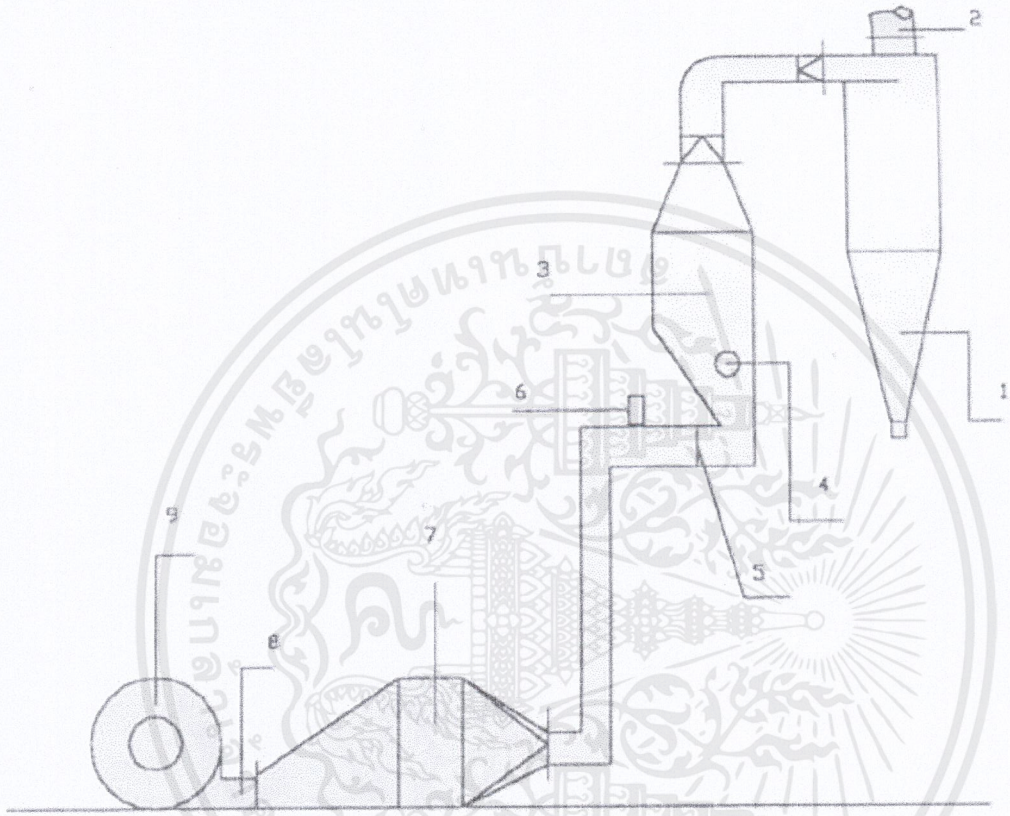
7) อนุภาคเฉื่อย

ใช้เทฟลอนรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.4*0.5*0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 0.3 กิโลกรัม มีความหนาแน่นโดยมวลเท่ากับ 825 กิโลกรัม /ลูกบาศก์เมตร คุณลักษณะของเทฟลอนคือสามารถใช้ในอุณหภูมิที่สูงได้เนื่องจากเป็นอนุภาคเฉื่อยและมีคุณสมบัติไม่ยึดติดระหว่างผิวกัน

การติดตั้งค่าต่างๆของเครื่องเริ่มจากเมื่อมีวัตถุดิบเหลวป้อนเข้ามาจะถูกส่งเข้าไปในห้องอบแห้งด้วยปั๊มลม โดยที่การทำงานของปั๊มลมจะสัมพันธ์กับการใช้อัตราการไหลของลมที่ความดันสูง ซึ่งมีปั๊มลมเป็นตัวจ่าย ความดันของลมนี้สามารถปรับค่าได้ถึง 3 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ส่วนการควบคุมอัตราการไหลของวัตถุดิบสามารถทำได้โดยปรับค่าความดัน อัตราการไหลของลมใช้อินเวอร์เตอร์ ควบคุมความถี่ที่ป้อนให้กับพัดลม ซึ่งเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของลม

สำหรับอุณหภูมิทำการวัดที่ทางเข้าของลม และทางออกของลมวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

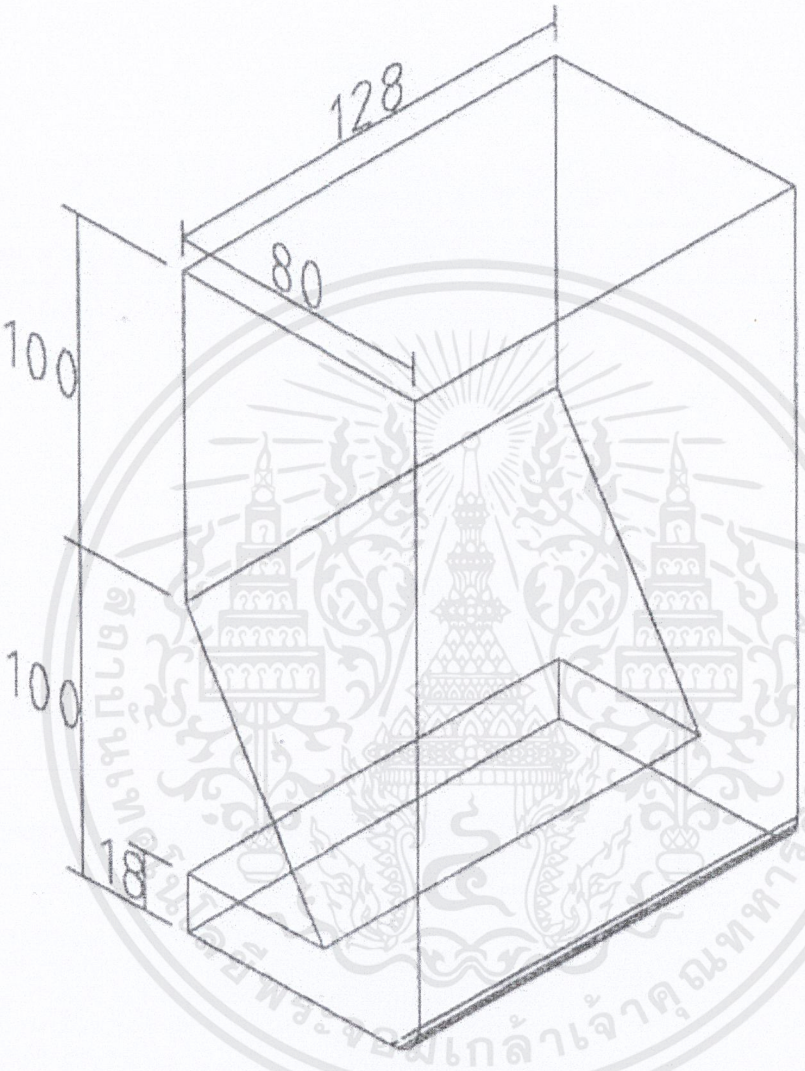


1. ไซโคลน
2. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิลมร้อนขาออก
3. ห้องอบแห้ง
4. ชุดปีอนวัดฤดิบ
5. ตาข่าย
6. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า
7. ชุดทำความร้อน
8. ออริฟิส
9. พัดลม

รูปที่ 3.1 ภาพฉายด้านหน้าของเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด [3]

รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ห้องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้หาคุณสมบัติของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์

1) เครื่องวัดสี (Colorimeter)

2) เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Hand Refractometer)

3) เครื่องวัดขนาดอนุภาคแบบตะแกรงร่อน(Sieve tester)

3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

3.2.1 การคัดเลือกเมล็ดถั่วเหลือง[1]

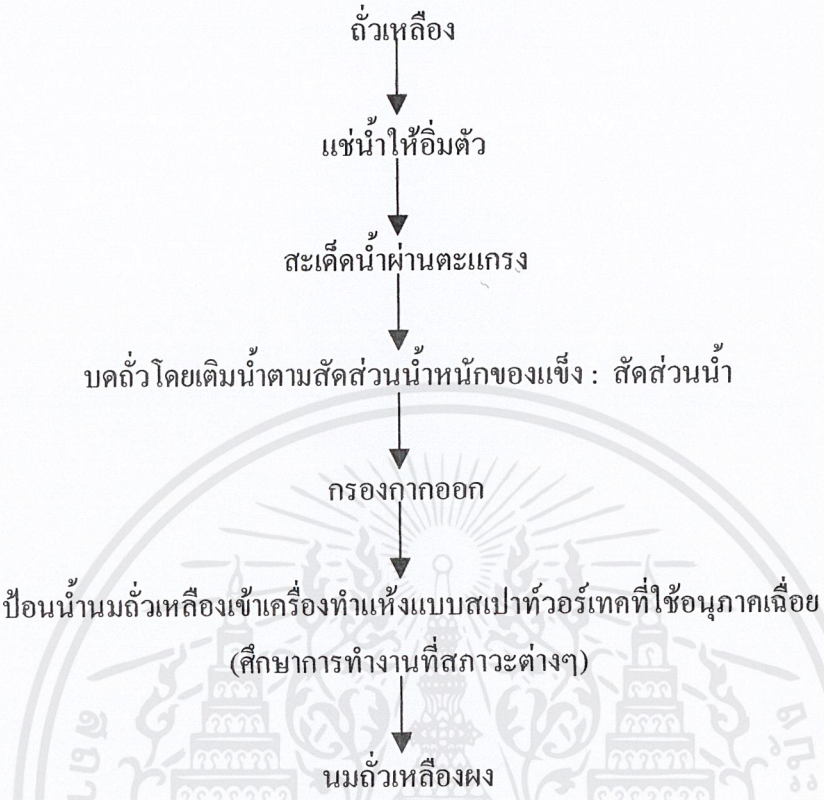
นมถั่วเหลืองถูกเตรียมจากเมล็ดถั่วเหลืองสด การเลือกถั่วเหลืองที่นำมาใช้ ต้องเลือกถั่วที่ไม่เก็บไว้นานหลายเดือนหรือเป็นถั่วเหลืองเก่าเก็บ และควรเป็นถั่วเหลืองที่เก็บไว้ในสถานที่พอเหมาะ กล่าวคืออุณหภูมิและความชื้นต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากถั่วเหลืองที่เก็บไว้นานเกินไปหรือเก็บไว้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะมีค่าของ Nitrogen solubility Index ต่ำลง ทำให้การสกัดเอาโปรตีนในนมถั่วเหลืองน้อยลง ซึ่งมีผลคุณภาพและลักษณะเนื้อนมถั่วเหลืองผงที่ได้

3.2.2 ขั้นตอนการทำน้ำนมถั่วเหลือง[7]

นำเมล็ดถั่วเหลืองจำนวน 1 กิโลกรัม ไปแช่น้ำเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง หลังจากนั้นเมื่อเมล็ดถั่วเหลืองขยายตัวแล้ว ให้เอาน้ำที่แช่เมล็ดทิ้งแล้วทำการสะเด็ดน้ำผ่านตะแกรงก่อนนำไปทำน้ำนมถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่แล้วจะถูกนำไปผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 , 1:2, 1:3 เพื่อให้ได้ความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์ของแข็งคือ 12% ,8%, 6% นำถั่วกับน้ำตามสัดส่วนไปบดและทำการกรองแยกกากออกจะได้น้ำนมถั่วเหลืองดิบ นำมาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (total soluble solids) ด้วยเครื่องแฮนด์รีแฟรกโตมิเตอร์ (Hand Refractometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทำนมถั่วเหลืองผง



3.4 วิธีการทดลอง

1) เตรียมน้ำนมถั่วเหลืองที่มีความเข้มข้นเปอร์เซ็นต์ของแข็ง 3 ระดับ คือ 6%,8%,12%โดยทำการเตรียมจากน้ำหนักถั่วแห้งเริ่มต้นที่ 1 กิโลกรัม เท่ากัน
2) เปิดสวิตซ์การทำงานของเครื่องเป่าลม,ชุดอุปกรณ์ความร้อนและเครื่องปั๊มลม ปรับค่าอัตราการไหลลมร้อนไว้ที่ 2.2 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที และอุณหภูมิลมร้อนตามที่ได้กำหนดไว้ (อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ทดลองมี 3 ระดับ คือ 100,120,140 °ซ) เครื่องจะทำงานโดยปราศจากการป้อนวัตถุดิบ จนกระทั่งอยู่ในสภาวะคงที่ (steady state) จึงทำการป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องอบแห้ง
3) ตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบ โดยการปรับค่าความดันที่เครื่องอัดลมร้อนให้สัมพันธ์กับอุณหภูมิลมร้อน เมื่อสิ้นสุดการป้อนวัตถุดิบ เครื่องทำแห้งยังคงทำงานต่อไปโดยใช้น้ำแทนวัตถุดิบ เพื่อเป็นการทำความสะอาดพื้นผิวของอนุภาคเฉื่อยและผนังภายในของเครื่องอบแห้ง
4) หลังสิ้นสุดการทำแห้ง เครื่องจะหยุดการทำงาน ตามลำดับดังนี้ ปิดสวิตซ์ปั๊มลม หลังจากนั้นปิดสวิตซ์ ชุดอุปกรณ์ทำความร้อน เมื่ออุณหภูมิทางเข้าของลมร้อน ประมาณ 50°ซ จึงปิดสวิตซ์เครื่องพัดลม
5) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ที่ส่วนรองรับซึ่งต่อจากไซโคลน
6) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและคุณสมบัติอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีปัจจัยและระดับที่ใช้ศึกษา ดังนี้

ก) อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับ คือ 100° ซ, 120 °ซ, 140 °ซ

ข) ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 6%,8%,12% (เปอร์เซ็นต์ของแข็งของน้ำนมถั่วเหลือง)

ค) ปริมาณลมร้อนที่ 2.2 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์

3.5.1 ปริมาณความชื้นของนมถั่วเหลืองผง[3]

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{มวลก่อนอบ - มวลหลังอบ}}{\text{มวลก่อนอบ}} * 100 \quad \ldots(3.1)$$

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นดังภาคผนวก ก

3.5.2 วัดสีของนมถั่วเหลืองผง[2]

วัดโดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) วัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) บันทึกค่าในระบบ Hunter (L,a,b) และระบบ C.I.E.Lab ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลือง(L*,b*)

นำค่า L ,a,b มาคำนวณหาดัชนีความขาวจากสูตรดังนี้

$$W = 100 - [(100 - L)^2 + (a^2 + b^2)]^{1/2} \quad \ldots(3.2)$$

เมื่อ W คือ ดัชนีความขาว

L คือ ค่าความสว่าง

a คือ ค่าความเป็นสีแดง

b คือ ค่าความเป็นสีเหลือง

(ภาคผนวก ก)

3.5.3 วัดขนาดอนุภาคของนมถั่วเหลืองผง[2]

วัดโดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาคแบบตะแกรงร่อน(Sieve tester)

3.6 ศึกษาลักษณะของผนังอบแห้ง

ศึกษาผนังห้องอบแห้งที่การทดลองต่างๆ

3.7 ศึกษาการเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอน

ศึกษาการเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอนที่การทดลองต่างๆ

3.8 การคำนวณหาการใช้ประโยชน์ทางความร้อน[3]

$$\text{การใช้ประโยชน์ทางความร้อน} = (T_{in}-T_{out})*100/(T_{in}-T_0) \quad \ldots(3.3)$$

โดยที่ T_0 = อุณหภูมิห้อง

T_{in} = อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของห้องอบแห้ง

T_{out} = อุณหภูมิลมร้อนขาออกของห้องอบแห้ง

(ภาคผนวก ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้ง[3]

$$hA(\Delta T)_{in} = m\lambda \quad \ldots(3.4)$$

(ภาคผนวก ค)

3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบ ANOVA (Comparing k sample Mean by Analysis of variance) โดยใช้แผนการทดลองแบบ factorial 3x 3 กรรมวิธี x 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีโดยวิธีค่าความแตกต่างน้อยสุดที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Least - Significant different, LSD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของนมถั่วเหลืองผงโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ two-way analysis of varience และ Least-Significant Different(LSD)

4.1.1 ผลของปัจจัย(อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้น)ที่มีต่อความชื้นผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น โดยพิจารณาปัจจัย อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้น 3 ระดับ ดังแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.2

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ณ สภาวะต่างๆ พบว่า อุณหภูมิลมร้อนมีผลต่อปริมาณความชื้นของนมถั่วเหลืองผง แต่ความเข้มข้นไม่มีผลต่อความชื้นของนมถั่วเหลืองผง

4.1.1.1 การเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนต่างๆ

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างๆกันมีผลต่อค่าปริมาณความชื้นของนมถั่วเหลืองผง โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้การระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิลมร้อน 100 °ซ และ 140°ซ ค่าปริมาณความชื้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่ อุณหภูมิ 120 °ซ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กับทั้งที่อุณหภูมิ 100°ซ และที่อุณหภูมิ 140°ซ โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความชื้นเนื่องจากอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 2-3%

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์ความชื้นที่อุณหภูมิของลมร้อนต่างๆกัน

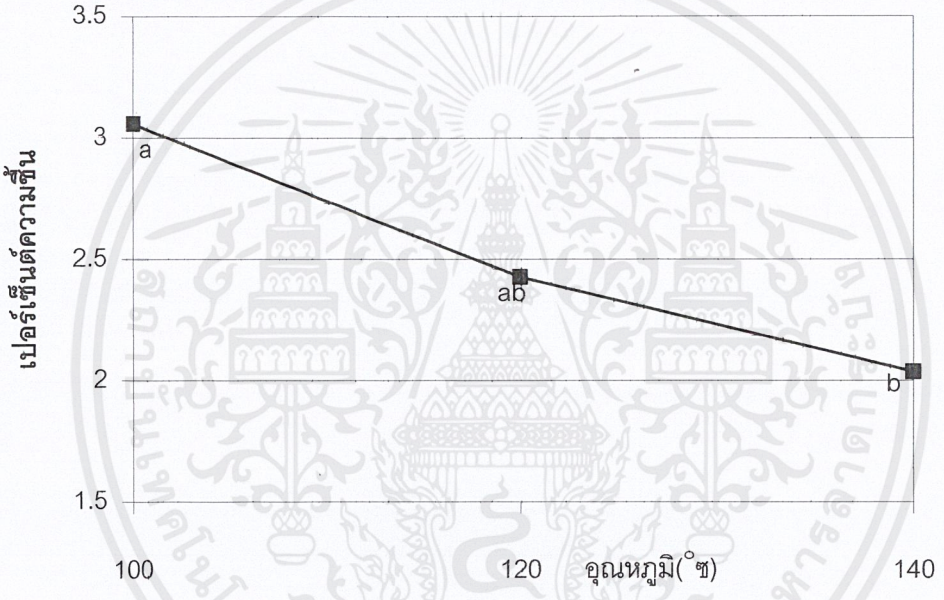
อุณหภูมิของลมร้อน	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์ความชื้น*
100	3.06[a]
120	2.43[ab]
140	2.04[b]

* ค่าที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันแสดงความไม่ต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์ความชื้นและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าแสดงดังรูปที่ 4.1

จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 120°ซ เป็น 140°ซ ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยจะลดลงจาก 2.43 เป็น2.04 เป็นต้น และที่อุณหภูมิลมร้อน 140°ซ ให้ค่าปริมาณความชื้น เฉลี่ยต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลของปัจจัย(อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้น)ที่มีต่อค่าดัชนีความขาวของผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์ค่าดัชนีความขาวโดยพิจารณาปัจจัย อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้น 3 ระดับ ดังแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.4

จากผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความขาวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ณ สภาวะต่างๆ พบว่าอุณหภูมิลมร้อน และความเข้มข้นมีผลต่อดัชนีความขาวของนมถั่วเหลืองผง

4.1.2.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว ที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนต่างๆ

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนต่างๆกันมีผลต่อค่าดัชนีความขาวของนมถั่วเหลืองผง โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าดัชนีความขาวเฉลี่ยจะมีค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิลมร้อน 100°ซ และ140°ซ ค่าดัชนีความขาวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่อุณหภูมิ 120°ซ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กับทั้งที่อุณหภูมิ 100°ซ และอุณหภูมิ140°ซ โดยค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวเนื่องจากอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 83-85

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวที่อุณหภูมิของลมร้อนต่างๆกัน

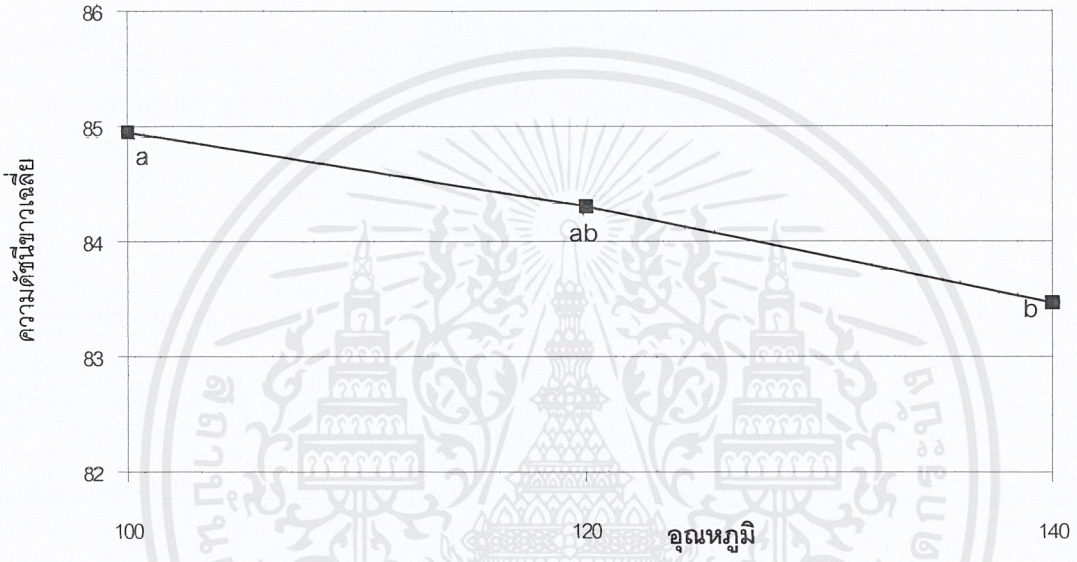
อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว *
100	84.94[a]
120	84.31[ab]
140	83.46[b]

* ค่าที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันแสดงความไม่ต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าแสดงดังรูปที่ 4.2

จากรูปที่ 4.2 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 120°ซ เป็น 140°ซ ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวจะลดลงจาก 84.31 เป็น 83.46 เป็นต้น และที่อุณหภูมิลมร้อน 100°ซ ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวสูงที่สุดคือ 84.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(องศาเซลเซียส) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าที่ความเข้มข้นต่างๆกันมีผลต่อค่าดัชนีความขาวของนมถั่วเหลืองผง โดยเมื่อความเข้มข้นเพิ่มจาก 6% เป็น 8% ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเพิ่มจาก 8% เป็น 12% ค่าความขาวจะเพิ่มขึ้น โดยค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวเนื่องจากความเข้มข้นจะอยู่ในช่วง 83-85

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวที่ความเข้มข้น(%ของแข็ง)ต่างๆกัน

ความเข้มข้น(%ของแข็งที่ละลายได้)	ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว
6	85.09[a]
8	83.61[b]
12	84.01[ab]

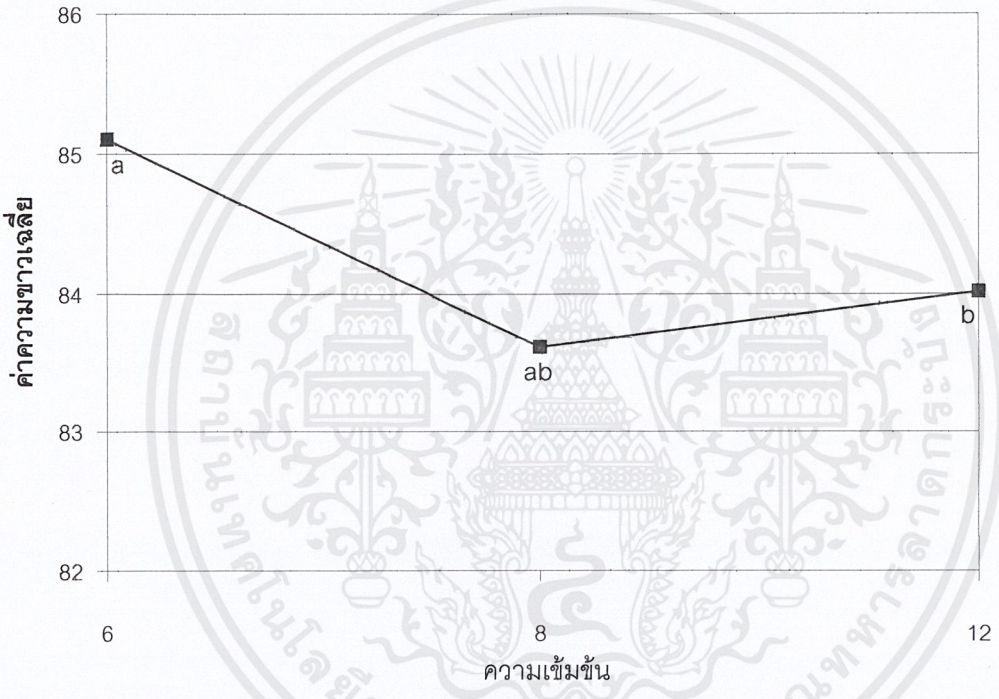
* ค่าที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันแสดงความไม่ต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าแสดงดังรูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มจาก 6% เป็น 8% ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวจะลดลงจาก 85.09 เป็น 83.61 เป็นต้น และที่ความเข้มข้น 6% ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวสูงที่สุด คือ85.09

จากผลการทดลองตารางที่ ข.13 จะพบว่าค่าดัชนีความขาวมีค่าใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความขาวจะอยู่ในช่วง 81- 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ค่าความเข้มข้นที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลของปัจจัย(อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้น)ที่มีต่อค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์ค่าความสว่างของนมถั่วเลืองผงโดยพิจารณาปัจจัย อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้น 3 ระดับ ดังแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.6

จากผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ ที่ได้ ณ สภาวะต่างๆ พบว่าอุณหภูมิลมร้อน มีผลต่อความสว่างของนมถั่วเหลืองผง แต่ความเข้มข้นไม่มีผลต่อความสว่างของนมถั่วเหลืองผง

4.1.3.1การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนต่างๆ

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนต่างๆกัน มีผลต่อค่าความสว่างของนมถั่วเหลืองผง โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยความสว่างจะลดลง โดยที่อุณหภูมิลมร้อน 100°ซ และ 140°ซ ค่าความสว่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่อุณหภูมิ 120°ซ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งที่อุณหภูมิ 100°ซ และอุณหภูมิ 140°ซ ซึ่งค่าความสว่างเฉลี่ยเนื่องจากอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 93-95

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิของลมร้อนต่างๆกัน

อุณหภูมิ(°ซ)	ค่าเฉลี่ยความสว่าง
100	95.03[a]
120	94.52[ab]
140	93.08[b]

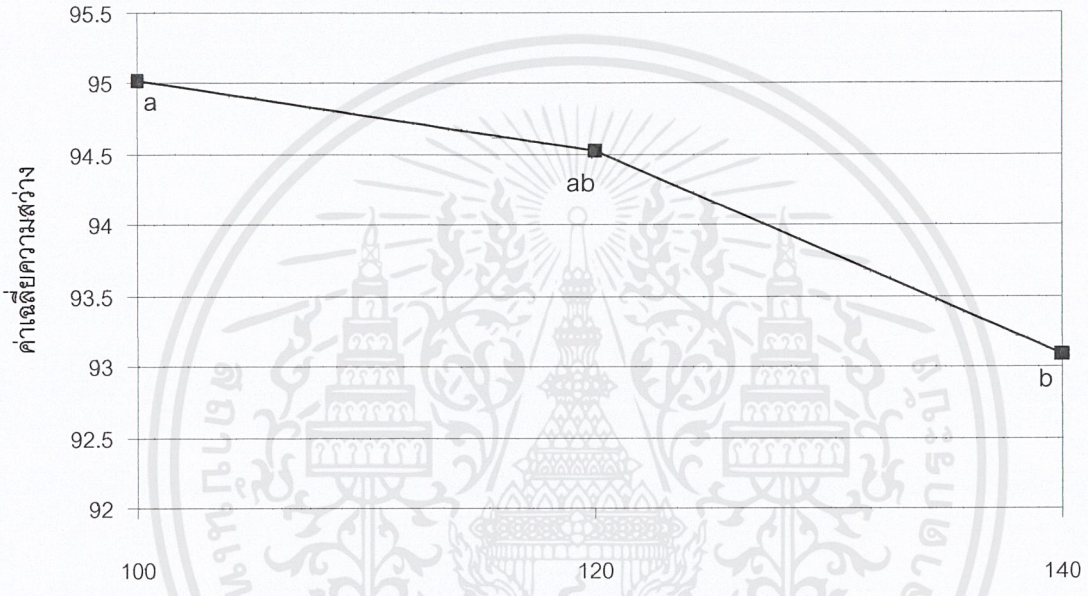
* ค่าที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันแสดงความไม่ต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่าง และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าแสดงดังรูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.4 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าเฉลี่ยความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 100°ซ เป็น 120°ซ ค่าเฉลี่ยความสว่างจะลดลงจาก 95.03 เป็น 94.52 เป็นต้น และที่อุณหภูมิ 100°ซ ให้ค่าเฉลี่ยความสว่างสูงที่สุด

จากตารางที่ ข.12 จะพบว่าค่าความสว่างมีค่าใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงจะอยู่ในช่วง 88-98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ผลของปัจจัย(อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้น)ที่มีต่อค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลืองของนมถั่วเหลืองผงโดยพิจารณาปัจจัย อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้น 3 ระดับ ดังแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.8

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ ที่ได้ ณ สภาวะต่างๆ พบว่าทั้งอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และ ระดับความเข้มข้นต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง แสดงว่าค่าความเป็นสีเหลืองของนมถั่วเหลืองผงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่4.5แสดงค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น	ค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลือง		
	100	120	140
6%	13.29	12.32	12.71
8%	13.51	14.18	13.68
12%	13.45	13.82	13.14

จากตารางที่4.5 ค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 12-14.2 และจากรูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จะเห็นว่าที่ความเข้มข้น 6%

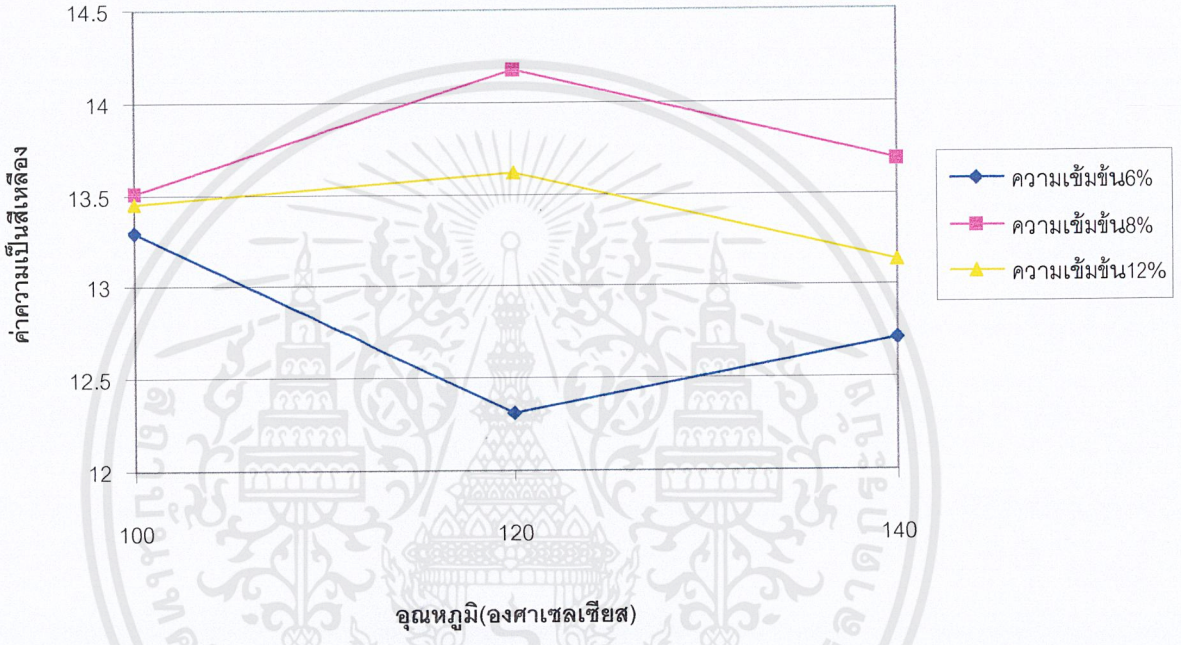
เมื่ออุณหภูมิ เพิ่มจาก 100°ซ เป็น 120°ซ ค่าความเป็นสีเหลืองจะลดลงจาก 13.29 เป็น 12.32 และเมื่ออุณหภูมิ เพิ่มจาก 120°ซ เป็น 140°ซ ค่าความเป็นสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นจาก12.32 เป็น 12.71

ที่ความเข้มข้น 8%

เมื่ออุณหภูมิ เพิ่มจาก 100°ซ เป็น 120°ซ ค่าความเป็นสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นจาก 13.51 เป็น14.18 และเมื่ออุณหภูมิ เพิ่มจาก 120°ซ เป็น 140°ซ ค่าความเป็นสีเหลืองจะลดลงจาก14.18 เป็น 13.68

จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลืองที่ระดับความเข้มข้นต่างๆมีแนวโน้มไม่คงที่ แสดงว่าไม่ว่าความเข้มข้น หรืออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าระดับใด ก็ไม่ทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองเกิดการเปลี่ยนแปลงจนแตกต่างกันอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ขนาดอนุภาค

ขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ระดับอุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ย(ไมครอน) ที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆกัน

ความเข้มข้น	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย(ไมครอน)		
	100	120	140
6%	483.00	463.00	457.33
8%	452.00	498.33	492.67
12%	496.00	494.00	494.67

จากภาคผนวก ข ตาราง ข.10 ผลการวิเคราะห์ค่าขนาดอนุภาคของนมถั่วเหลืองผง ที่ได้ ณ สภาวะต่างๆ พบว่าค่าขนาดอนุภาคของนมถั่วเหลืองผงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากตาราง 4.6 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ได้จะมีขนาดอยู่ในช่วง 452-499 ไมครอน รูปที่4.6 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ จากรูป 4.6 พบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันความเข้มข้นต่างกันขนาดอนุภาคเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางไม่แน่นอน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเฉลี่ย

4.2 พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อน

จากการคำนวณในภาคผนวก ค พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อน ของการอบแห้งโดยวิธีสเปาท์วอร์เทคเบดของนมถั่วเหลืองผง ที่ความเข้มข้น 6 % อุณหภูมิลมร้อน 100°ซ มีค่า 24.70 วัตต์/ม^2.เคลวิน และ 59.52% ตามลำดับ จากการพิจารณาค่าความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้ได้เท่ากับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ต้องการเปรียบเทียบกับความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบ สำหรับค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อนขึ้นอยู่กับ ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างลมร้อนกับวัตถุดิบที่เคลือบผิวอนุภาคเฉื่อย และปริมาณอนุภาคเฉื่อยในห้องอบแห้งโดยที่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสกับลมร้อนไม่ทั่วถึง ค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ได้จะต่ำ แต่ถ้าปริมาณน้อยเกินไปจะเกิดการสูญเสียลมร้อน

4.3 ลักษณะของผนังห้องอบแห้ง

สภาวะผนังห้องอบแห้งที่มีการทำงานแตกต่างกันตามการควบคุมปัจจัยต่างๆ จากการสังเกตจะพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำๆเกินไป ผนังห้องอบแห้งจะมีลักษณะเปียก เมื่อป้อนวัตถุดิบไปได้ระยะเวลาหนึ่งผลิตภัณฑ์ติดแน่นที่ผนังห้อง และเกาะกันเป็นชั้นหนา ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิสูงไม่เพียงพอต่อการระเหยของน้ำได้ทันกับอัตราการป้อนวัตถุดิบ เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นจะพบว่าการเกาะติดที่ผนังของห้องอบแห้งมีค่าน้อยลง แต่อุณหภูมิก็ไม่ควรสูงเกินไปจนทำให้เกิดการไหม้ของน้ำนมถั่วเหลืองติดที่ผนังห้องอบแห้งได้ และทำให้ค่าเฉลี่ยความสว่างลดลง ที่

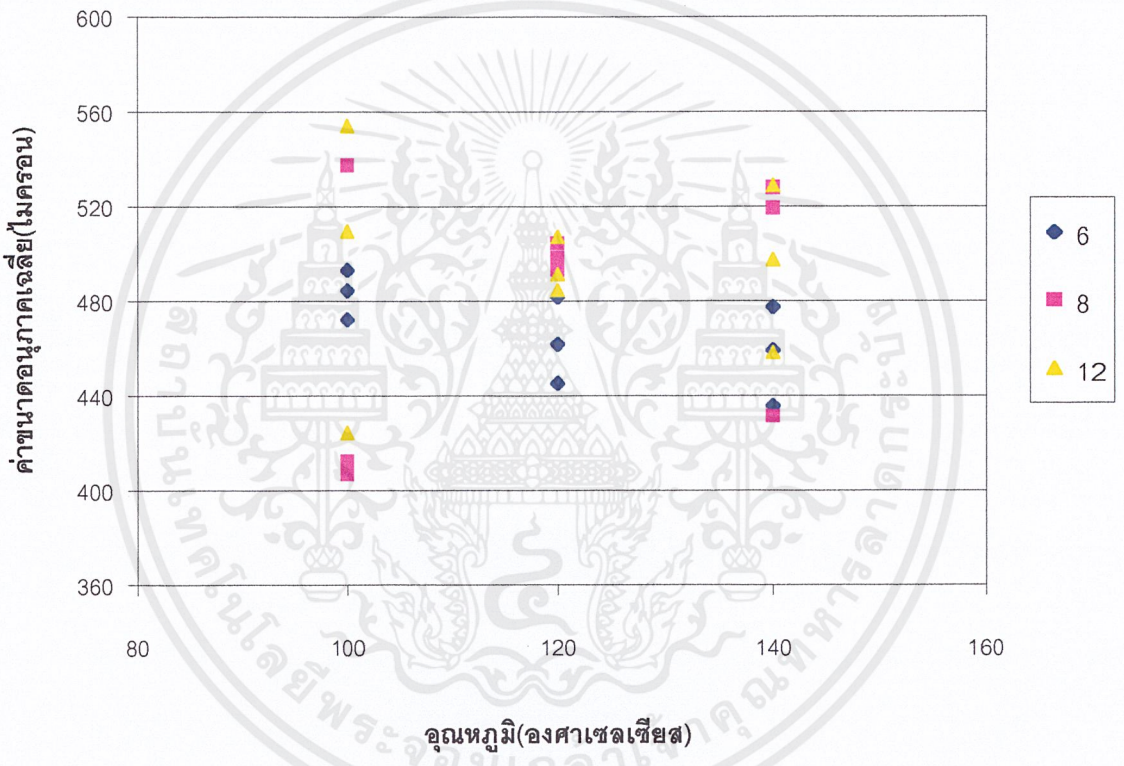
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ถ้าควบคุมอัตราการป้อนวัตถุดิบให้เหมาะสมก็จะสามารถช่วยลดการเกิดสภาวะการเกาะติดผนังได้

4.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคเฉื่อย

การเคลื่อนที่ ที่ช้า และเบา จะทำให้เม็ดเทฟลอนติดอยู่บริเวณส่วนล่างอย่างหนาแน่น การสัมผัสกันระหว่างพื้นที่ผิวจะลดลง ทำให้วัตถุดิบเปียกเกาะติดผนังห้องอบแห้ง ผนังห้องอบแห้งจะเปียกทำให้เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยมวลลดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อขนาดอนุภาค(ไมครอน)ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

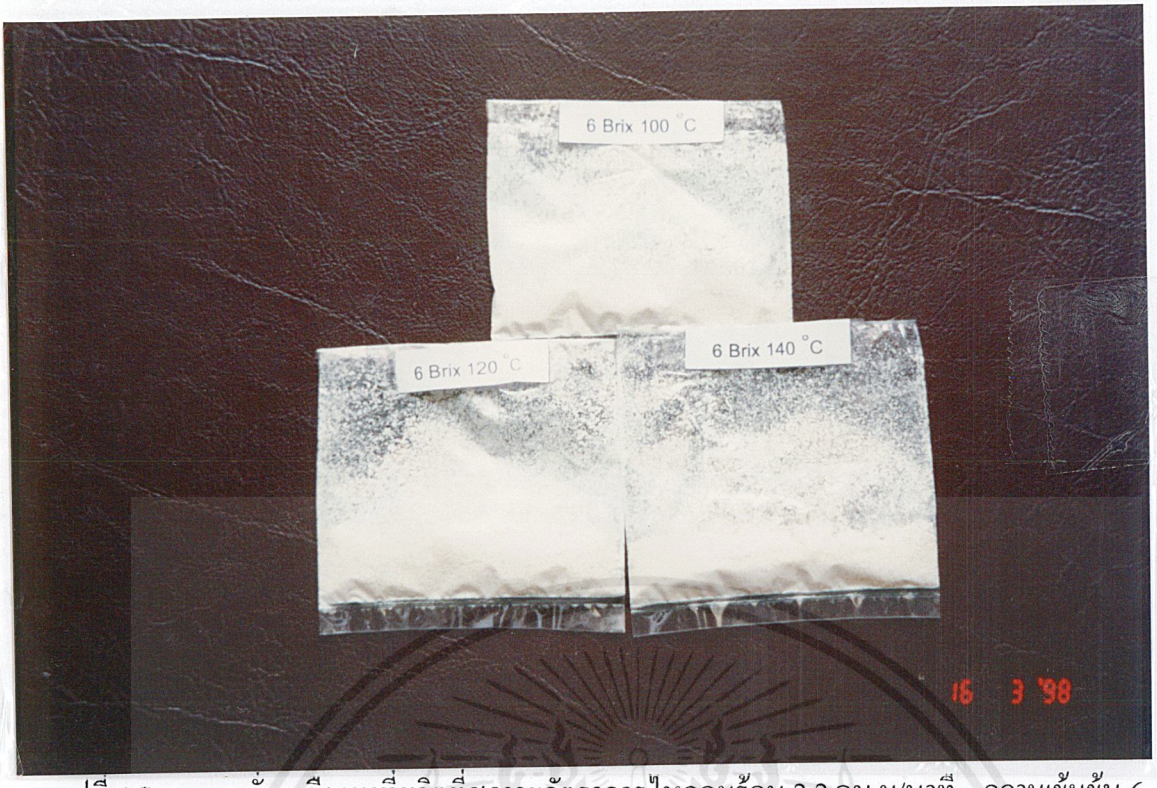
4.5 การเลือกสภาวะที่เหมาะสม

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถนำมาเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตนมถั่วเหลืองผงโดยพิจารณาดังนี้

- ที่อุณหภูมิลมร้อนสูงสุด 140°ซ ให้ค่าปริมาณความชื้นต่ำที่สุดแต่จะมีผลต่อ ค่าดัชนีความขาวและค่าเฉลี่ยความสว่าง โดยที่อุณหภูมิขาเข้าสูงจะมีผลให้ค่าดัชนีความขาว และค่าเฉลี่ยความสว่างลดลง(เกิดการไหม้)
- ที่อุณหภูมิ 100°ซ ให้ค่าเฉลี่ยความสว่างสูงที่สุด และให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวสูง การเกิดการไหม้ของผลิตภัณฑ์มีน้อย
- ที่ความเข้มข้นต่ำที่สุด 6% ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความขาวสูงที่สุด และง่ายต่อการป้อนวัตถุดิบ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากปัจจัยต่างๆจะได้สภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส และความเข้มข้น 6%ของแข็งของน้ำนมถั่วเหลือง ซึ่งจะให้ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าเฉลี่ยการใช้ประโยชน์ทางความร้อนสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ภาพนมถั่วเหลืองผงที่ผลิตที่สภาวะอัตราการไหลลมร้อน 2.2 ลบ.ม/นาที ความเข้มข้น 6 %ของแข็ง และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100,120และ140 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.8 ภาพนมถั่วเหลืองผงที่ผลิตที่สภาวะอัตราการไหลลมร้อน 2.2 ลบ.ม/นาที อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100 องศาเซลเซียสและความเข้มข้น 6 %,8%และ12% ของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) ค่าความเข้มข้นมีผลต่อดัชนีความขาวและการเกาะติดบริเวณภายในห้องผนัง ห้องอบแห้งโดยที่ความเข้มข้นต่ำดัชนีความขาวสูง
2) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อปริมาณความชื้น,ปริมาณของแข็ง,ดัชนีความขาวและค่าความสว่างของนมถั่วเหลืองผง โดยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่ำจะให้ความชื้นสูง ปริมาณของแข็งต่ำดัชนีความขาวสูงและค่าความสว่างมาก
3) เมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของนมถั่วเหลืองผง ที่อุณหภูมิ (100,120 140 °ซ)และความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (6%,8%,12%) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ คืออยู่ในช่วง 452-499 ไมครอน
4) เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นสีเหลืองของนมถั่วเหลืองผง ที่อุณหภูมิ (100,120 140 °ซ)และความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (6%,8%,12%) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ คือ อยู่ในช่วง 12-14.2
5) สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตนมถั่วเหลืองผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด คือ อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส และความเข้มข้น 6%ของแข็งของน้ำนมถั่วเหลือง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรทำความสะอาดเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อยทุกครั้งหลังการใช้งาน เพื่อป้องกันการติดค้างของผลิตภัณฑ์เดิม ซึ่งจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่จะทำในครั้งต่อไป
2) เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องมากขึ้นควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการทดลองขึ้นอีก
3) เปอร์เซนต์ของแข็งที่ได้คืนในผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยมากเนื่องจากเกิดการสูญเสียภายในท่อของเครื่องสเปาท์วอร์เทคเบดและเกิดการลอยออกไปภายนอก หากต้องการปรับปรุงเครื่องอบแห้งควรปรับปรุงให้ผนังไซโคลนมีโอกาสสัมผัสกับอนุภาคให้มากขึ้น โดยการลดขนาดไซโคลนหรือการทำให้อนุภาคนมถั่วเหลืองผงมีขนาดใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

1. วันชัย สมชิต. **ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย** คณะเกษตรศาสตร์ , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,ไม่ปรากฏปีพ.ศ.
2. Javid Ullah. **Drying Soymilk in a Spouted Bed of Inert Particles.** Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development Bangkok ,Thailand December 1998
3. ณัฐพล พี่พาณิชย์และคณะ.**การทำกล้วยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่มีอนุภาคเฉื่อย** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล,2541.
4. วิไล รังสาดทอง . **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร** , พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ. สถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ ,2543.
5. จักรกริน กงแก้วและคณะ. **การศึกษาปัจจัยของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์** .ปพ . จ214ก 2541 , ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ ,คณะวิทยาศาสตร์ สจล, 2541.
6. กัลยาณี โสมนัส. **การผลิตกล้วยหอมผงโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย** . วพ. TP374B.35 ก117, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.
7. นิพนธ์ รุ่งแสง และคณะ. **การพัฒนาเครื่องผลิตน้ำนมถั่วเหลือง.** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล,2541.
8. นรินทร์ ทองศิริ. **เทคโนโลยีอาหารนม**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์,มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, พิมพ์ครั้งที่ 1 อักษรการพิมพ์ ,2528.
9. Arun S.Mujumdar.**Handbook of Industrial Drying.** Vol. 1,second edition,New York:Marcel Dekker,Inc.
10. Minchev,A.D. Romankov, P.G. and N.B. Rash kovskaya,Zh. Priki. Khim.,(Leningrad) Vol.XLII,p.2150 (Thesis no. AE-95-18.AIT,Thailand),1969.
11. Polotnikova, N.M.and N.B. Rashkovskaya, Khim.Prom.(Moacow), Vol.6, p.459 (Thesis no. AE-95-18.AIT,Thailand),1978.
12. Kushakova V.E. and Utrin. **Drying protein extract in fluidized-bed using inert particles.** U.V.:1984.
13. Szalay,A. and Szentmarjay ,T., **Abrasion in a mechanically spouted bed dried with an Inert packing.** p.523-536,1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วัสดุอุปกรณ์

1.ตัวอย่างอาหาร

2.ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝา

3.ตู้อบไฟฟ้า

4.เครื่องชั่ง

วิธีการ

1.บดตัวอย่างให้เป็นชิ้นเล็กๆ

2.ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง2-5 กรัม ใส่ถ้วยอลูมิเนียม จนได้น้ำหนักที่แน่นอนที่ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ทำซ้ำ 3 ตัวอย่าง

3.อบในตู้อบไฟฟ้าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.นำตัวอย่างออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งมวล และบันทึกผล นำไปอบต่อ

5.นำตัวอย่างออกมาชั่งทุกๆ 1ชั่วโมง จนกว่ามวลจะคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดสี

วัสดุอุปกรณ์

1) ตัวอย่างสำหรับทดลอง(นมถั่วเหลืองผง)
2) เครื่องวัดสี (Colorimeter)

วิธีการทดลอง

1) เตรียมนมถั่วเหลืองผงที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาตัวอย่างละ 1 กรัม
2) นำวัสดุสีขาวมาตรฐานมาวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี (JUKI Colorimeter Software) บันทึกค่าในระบบ Hunter (L,a,b) และระบบ C.I.E.LAB (L*,a*,b*) และตรวจสอบค่าวัดสีที่ได้ให้มีค่าเท่ากับคู่มือมาตรฐาน
3) นำนมถั่วเหลืองผงที่เตรียมไว้จากข้อ 1 มาวัดสีวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) บันทึกค่าในระบบ Hunter (L,a,b) และระบบ C.I.E.LAB (L*,a*,b*)
4) นำผลที่ได้ไปหาค่าดัชนีความขาว,ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดขนาดอนุภาค

เครื่อง SIEVE TESTER ที่ใช้ ของ GILSON COMPANY,INC

model no. ss-15 serial no.3473 stainless steel

วิธีการใช้ SIEVE TESTER

1) เตรียมตะแกรงร่อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาดต่างๆกัน ตะแกรงที่นำมาใช้ คือ

ขนาด 75 ไมครอน mesh no 200

ขนาด 150 ไมครอน mesh no 100

ขนาด 300 ไมครอน mesh no 50

ขนาด 600 ไมครอน mesh no 30

ขนาด 1.18 มิลลิเมตร mesh no 16

(mesh คือ ช่องเปิดในเส้นตรงขนาด 1 นิ้ว เช่น 100 mesh หมายถึง มีตารางเปิด 100 ช่อง ในระยะความยาว 1 นิ้ว)และตะแกรงรองก้น (ตะแกรงทุกชั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว) นำตะแกรงแต่ละชั้นมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกไว้

2) นำตะแกรงทั้งหมดใส่บนเครื่องสั่น นำผงตัวอย่างมาใส่ที่ชั้นบนสุด โดยใช้ตัวอย่าง 1 กรัม ปิดฝาครอบ ขันเกลียวให้แน่นแล้วปรับเวลา ตั้งเวลาไว้ที่ 5 นาที ปล่อยให้เครื่องสั่นทำงาน

3) เมื่อเครื่องสั่นหยุดทำงาน ให้นำตะแกรงแต่ละชั้นมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกไว้

(น้ำหนักที่หักลบจากตะแกรงก็คือ น้ำหนักผงในแต่ละชั้น)

4)นำผงในแต่ละชั้นออกจากตะแกรงเช็ดให้สะอาดแล้วนำผงตัวอย่างต่อไปมาทดสอบในแต่ละตัวอย่างสามารถหาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยจาก

$d_{av} = (d_1m_1+d_2m_2+d_3m_3+d_4m_4+d_5m_5)/m_{tot}$ (ไมครอน)

d_{av} = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (ไมครอน)

d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 = เส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงในแต่ละชั้น (ไมครอน)

m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 = มวลของตัวอย่างในแต่ละชั้น

m_{tot} = มวลผงตัวอย่างที่ใช้ตอนเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ตารางการคำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ จำแนกตามความเข้มข้น 3 ระดับ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ

ผลสรุป	T1=100	T2=120	T3=140	ผลรวม
ความเข้มข้น6%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	10.33	7	4.92	22.25
ค่าเฉลี่ย	3.4433	2.3333	1.64	2.4722
ค่าประมาณความแปรปรวน	2.2800	0.0056	0.0147	1.1957
ความเข้มข้น8%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	8.73	7.03	6.33	22.09
ค่าเฉลี่ย	2.91	2.3433	2.11	2.4544
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.2457	0.9637	0.2443	0.4904
ความเข้มข้น12%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	8.465	7.81	7.07	23.345
ค่าเฉลี่ย	2.8217	2.603	2.3567	2.5939
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.9037	0.1926	0.1312	0.3475
ผลรวมทั้งหมด				
จำนวนตัวอย่าง	9	9	9	
ผลรวม	27.525	21.84	18.32	
ค่าเฉลี่ย	3.0583	2.4267	2.0356	
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.9422	0.3081	0.1969	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยพิจารณา ความเข้มข้น และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ ค่าปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่พิจารณา ค่าความเข้มข้น อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

Source of Variation	*SS(ผลบวกกำลังสอง*	*df(องศาเสรี)*	*MS(ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสอง)*	*(ค่าสถิติ)F*	*P-value*	*F crit*
ความเข้มข้น	0.1037	2	0.0518	0.0937	0.9110ns	3.5546
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	4.7941	2	2.3971	4.3306	0.0291*	3.5546
ผลกระทบร่วม	1.5110	4	0.3777	0.6825	0.6132ns	2.9277
ส่วนที่เหลือ	9.9632	18	0.5535			
ทั้งหมด	16.3720	26				

% c.v.=29.68%

ns = not significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

* = significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ตารางการคำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของปริมาณดัชนีความขาวของผลิตภัณฑ์ จำแนกตามความเข้มข้น 3 ระดับ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ

ผลสรุป	T1=100	T2=120	T3=140	ผลรวม
ความเข้มข้น6%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	255.83	256.4	253.65	765.88
ค่าเฉลี่ย	85.2767	85.4667	84.55	85.0978
ค่าประมาณความแปรปรวน	2.1894	1.0337	1.0012	1.2316
ความเข้มข้น8%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	254.2	248.39	249.93	752.52
ค่าเฉลี่ย	84.7333	82.7967	83.31	83.6133
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.03403	2.3577	1.7067	1.7796
ความเข้มข้น12%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	254.47	254.01	247.59	756.07
ค่าเฉลี่ย	84.8233	84.67	82.53	84.0078
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.24903	0.1477	1.9939	1.8305
ผลรวมทั้งหมด				
จำนวนตัวอย่าง	9	9	9	
ผลรวม	764.5	758.8	751.17	
ค่าเฉลี่ย	84.9444	84.3111	83.4633	
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.6817	2.2939	1.9538	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าดัชนีความขาวในผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยพิจารณา ความเข้มข้น และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ ค่าดัชนีความขาวในผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่พิจารณา ค่าความเข้มข้น อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

Source of Variation	*SS(ผลบวกกำลังสอง*	*df(องศาเสรี)*	*MS(ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสอง)*	*(ค่าสถิติ)F*	*P-value*	*F crit*
ความเข้มข้น	10.6418	2	5.3209	4.4699	0.0265*	3.5546
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	9.9406	2	4.9703	4.1754	0.0324*	3.5546
ผลกระทบร่วม	7.3664	4	1.8416	1.5471	0.2311ns	2.9277
ส่วนที่เหลือ	21.4269	18	1.1904			
ทั้งหมด	49.3757	26				

% c.v.=1.295%

ns = not significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

* = significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ตารางการคำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ จำแนกตามความเข้มข้น 3 ระดับ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ

ผลสรุป	T1=100	T2=120	T3=140	ผลรวม
ความเข้มข้น6%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	286.2	287.19	281.84	855.23
ค่าเฉลี่ย	95.4	95.73	93.9467	95.0256
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.6597	2.7979	0.1454	1.5759
ความเข้มข้น8%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	282.94	277.27	279.39	839.6
ค่าเฉลี่ย	94.3133	92.4233	93.13	93.2889
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.03423	2.1016	1.6828	1.6386
ความเข้มข้น12%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	286.09	286.26	276.52	848.87
ค่าเฉลี่ย	95.3633	95.42	92.1733	94.3189
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.3308	0.2811	11.2672	5.5598
ผลรวมทั้งหมด				
จำนวนตัวอย่าง	9	9	9	
ผลรวม	855.23	850.72	837.75	
ค่าเฉลี่ย	95.0256	94.5244	93.0833	
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.5418	3.7964	3.8647	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าความสว่างในผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยพิจารณา ความเข้มข้น และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ ค่าความสว่างในผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่พิจารณา ค่าความเข้มข้น อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

Source of Variation	*SS(ผลบวกกำลังสอง*	*df(องศาเสรี)*	*MS(ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสอง)*	*(ค่าสถิติ)F*	*P-value*	*F crit*
ความเข้มข้น	13.7289	2	6.8644	3.2009	0.0647ns	3.5546
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	18.3004	2	9.1502	4.2667	0.0304*	3.5546
ผลกระทบร่วม	13.2928	4	3.3232	1.5496	0.2305ns	2.9277
ส่วนที่เหลือ	38.6017	18	2.1445			
ทั้งหมด	83.9239	26				

% c.v.=1.554%

ns = not significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

* = significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ตารางการคำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของปริมาณความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ จำแนกตามความเข้มข้น 3 ระดับ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ

ผลสรุป	T1=100	T2=120	T3=140	ผลรวม
ความเข้มข้น6%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	39.88	36.95	38.13	114.96
ค่าเฉลี่ย	13.2933	12.3167	12.71	12.7733
ค่าประมาณความแปรปรวน	1.6508	1.0216	1.6639	1.2652
ความเข้มข้น8%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	40.53	42.54	41.04	124.11
ค่าเฉลี่ย	13.51	14.18	13.68	13.79
ค่าประมาณความแปรปรวน	1.0533	2.9991	4.1209	2.1343
ความเข้มข้น12%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	40.36	40.85	39.42	120.63
ค่าเฉลี่ย	13.45333	13.61667	13.14	13.40333
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.147233	0.105633	0.9436	0.343125
ผลรวมทั้งหมด				
จำนวนตัวอย่าง	9	9	9	
ผลรวม	120.77	120.34	118.59	
ค่าเฉลี่ย	13.41889	13.3711	13.1767	
ค่าประมาณความแปรปรวน	0.7223	1.7165	1.8593	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าความเป็นสีเหลืองในผลิตภัณฑ์ ที่ ได้โดยพิจารณา ความเข้มข้น และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ ค่าความเป็นสีเหลืองในผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่พิจารณา ค่าความเข้มข้น อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

Source of Variation	*SS(ผลบวกกำลังสอง*	*df(องศาเสรี)*	*MS(ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสอง)*	*(ค่าสถิติ)F*	*P-value*	*F crit*
ความเข้มข้น	4.7401	2	2.3700	1.5563	0.2380ns	3.5546
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	0.2963	2	0.1481	0.0973	0.9078ns	3.5546
ผลกระทบร่วม	2.2324	4	0.5581	0.3665	0.8293ns	2.9277
ส่วนที่เหลือ	27.4123	18	1.5229			
ทั้งหมด	34.6811	26				

% c.v.=9.265%

ns = not significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

* = significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ตารางการคำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของค่าขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ จำแนกตามความเข้มข้น 3 ระดับ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ

ผลสรุป	T1=100	T2=120	T3=140	ผลรวม
ความเข้มข้น6%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	1449	1389	1372	4210
ค่าเฉลี่ย	483	463	457.3333	467.7778
ค่าประมาณความแปรปรวน	111	343	422.3333	355.4444
ความเข้มข้น8%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	1356	1495	1478	4329
ค่าเฉลี่ย	452	498.3333333	492.6667	481
ค่าประมาณความแปรปรวน	5425	30.33333333	2872.333	2561
ความเข้มข้น12%				
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	9
ผลรวม	1488	1482	1484	4454
ค่าเฉลี่ย	496	494	494.6667	494.8889
ค่าประมาณความแปรปรวน	4372	139	1264.333	1444.611
ผลรวมทั้งหมด				
จำนวนตัวอย่าง	9	9	9	
ผลรวม	4293	4366	4334	
ค่าเฉลี่ย	477	485.1111111	481.5556	
ค่าประมาณความแปรปรวน	2860.25	406.6111111	1470.528	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย(ไมครอน)ในผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยพิจารณา ความเข้มข้น และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ ค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย(ไมครอน)

ปัจจัยที่พิจารณา ค่าความเข้มข้น อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

Source of Variation	*SS(ผลบวกกำลังสอง*	*df(องศาเสรี)*	*MS(ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสอง)*	*(ค่าสถิติ)F*	*P-value*	*F crit*
ความเข้มข้น	3308.2222	2	1654.1111	0.9938	0.3896ns	3.5546
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	297.5556	2	148.7778	0.0894	0.9149ns	3.5546
ผลกระทบร่วม	4632.2222	4	1158.0556	0.6958	0.6046ns	2.9277
ส่วนที่เหลือ	29958.6667	18	1664.3704			
ทั้งหมด	38196.6667	26				

% c.v.=8.478%

ns = not significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

* = significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ปริมาณของแข็งที่ได้(กรัม) และ %ของแข็งที่ได้โดยมวลที่สภาวะต่างๆ

ความเข้มข้น	ปริมาณของแข็งเริ่มต้น	อุณหภูมิ	ปริมาณของแข็งที่ได้ (กรัม)			%ของแข็งที่ได้(โดยมวล)		
%	กรัม/1000ml	(°C)	1	2	3	1	2	3
6	125	100	2.42	2.53	1.73	1.98	2.024	1.98
		120	1.71	2.05	2.905	1.37	1.64	2.32
		140	2.37	2.21	2.44	1.896	1.768	1.96
8	207	100	4.975	3.498	3.21	2.4	1.69	1.55
		120	4.853	3.562	6.23	2.35	1.72	3.01
		140	3.62	3.612	5.77	1.75	1.75	2.79
12	285.71	100	7.103	4.77	4.55	2.49	1.67	1.59
		120	5.312	4.94	4.26	1.86	1.73	1.49
		140	7.85	5.49	5.11	2.75	1.92	1.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ปริมาณความชื้น(%) และ ค่าความสว่าง ที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิเข้า	ความเข้มข้น	ปริมาณความชื้น%			ค่าความสว่าง		
°C	%	1	2	3	1	2	3
100	12	3.898	2.47	2.097	95.93	95.38	94.78
	8	3.24	2.34	3.15	94.41	94.1	94.43
	6	4.02	4.58	1.73	94.48	95.04	96.33
120	12	3.11	2.36	2.34	95.68	95.77	94.81
	8	2.93	1.21	2.89	93.22	93.30	90.75
	6	2.42	2.29	2.29	94.7	94.83	97.66
140	12	2.44	2.67	1.96	88.49	92.97	95.06
	8	1.8	1.85	2.68	92.689	94.586	92.11
	6	1.66	1.51	1.75	93.84	93.63	94.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 ค่าความเป็นสีเหลืองและ ค่าดัชนีความขาว ที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิเข้า	ความเข้มข้น	ค่าความเป็นสีเหลือง			Whiteness		
°C	%	1	2	3	1	2	3
100	12	13.17	13.3	13.89	85.21	85	84.26
	8	13.14	12.72	14.67	84.53	84.78	84.89
	6	14.01	14.06	11.81	84.5	84.86	86.92
120	12	13.29	13.62	13.94	84.94	84.84	84.23
	8	13.63	12.79	16.12	83.81	83.55	81.03
	6	13.03	12.76	11.16	84.7	85.08	87.97
140	12	12.04	13.5	13.88	80.9	83.31	83.38
	8	12.23	12.81	16.00	83.24	84.65	82.04
	6	13.93	12.69	11.36	83.57	84.51	87.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย(ไมครอน)ที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิเข้า	ความเข้มข้น	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย(ไมครอน)		
°C	%	1	2	3
100	12	424	554	510
	8	407	537	412
	6	472	493	484
120	12	491	484	507
	8	504	493	498
	6	445	462	482
140	12	529	497	458
	8	519	431	528
	6	436	459	477

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และ ค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อน ที่ระดับอุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น	T_{in}	T_{out}(°ซ)			h(วัตต์/ม^2.เคลวิน)				การใช้ประโยชน์ทางความร้อน(%)			
%	(°ซ)	1	2	3	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
6	100	58	60	57	24.6738	24.5733	24.7252	24.6575	60.0000	57.1429	61.4286	59.5238
	120	78	67	56	23.1853	23.6680	24.2261	23.6931	46.6667	58.8889	71.1111	58.8889
	140	68	85	90	23.1035	22.3702	22.1781	22.5506	65.4545	50.0000	45.4545	53.6364
8	100	70	74	61	24.1107	23.9410	24.5242	24.1920	42.8571	37.1429	55.7143	45.2381
	120	68	83	69	23.6214	22.9844	23.5754	23.3937	57.7778	41.1111	56.6667	51.8519
	140	77	101	81	22.6980	21.7842	22.5307	22.3376	57.2727	35.4545	53.6364	48.7879
12	100	63	68	68	24.4280	24.1986	24.1986	24.2751	52.8571	45.7143	45.7143	48.0952
	120	72	79	70	23.4409	23.1443	23.5300	23.3718	53.3333	45.5556	55.5556	51.4815
	140	82	80	92	22.4900	22.5718	22.1037	22.3885	52.7273	54.5455	43.6364	50.3030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาการใช้ประโยชน์ทางความร้อน

โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ ดังสมการต่อไปนี้

การใช้ประโยชน์ทางความร้อน $=(T_{in}-T_{out})*100/(T_{in}-T_0)$

โดยที่ T_0 =อุณหภูมิห้อง(°ซ)

T_{in} =อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของอบแห้ง(°ซ)

T_{out} =อุณหภูมิลมร้อนขาออกของอบแห้ง(°ซ)

การหาการใช้ประโยชน์ทางความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด

ในการผลิตนมถั่วเหลืองผงได้ทำการผลิตที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส โดยกระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้อุณหภูมิลมร้อนขาออกคือ 58 องศาเซลเซียส ดังนั้นสามารถคำนวณหาการใช้ประโยชน์ทางความร้อนได้ดังนี้

การใช้ประโยชน์ทางความร้อน = (100-58)*100/(100-30)

= 59.52%

ดังนั้น จะได้การใช้ประโยชน์ทางความร้อนของการอบแห้งโดยวิธีสเปาท์เบด 59.52%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้ง

สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$hA(\Delta T)_{ln}=m\lambda$

โดยที่ h:สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ม^{2}เคลวิน)

A:พื้นที่ผิวของอนุภาคเฉื่อย (ม^2)

m:อัตราการไหลโดยมวล (กิโลกรัม/วินาที)

T:อุณหภูมิ(°ซ)

λ:ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ(จูน/กิโลกรัม)

h_G:เอนทาลปีของสภาวะไอน้ำ (จูน/กิโลกรัม)

h_L:เอนทาลปีของสภาวะน้ำ (จูน/กิโลกรัม)

w:เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก

f:อัตราการป้อน

i:ทางเข้า

o:ทางออก

คำนวณหา $(\Delta T)_{ln}$ และ λ ได้ดังนี้

$$(\Delta T)_{ln}=\frac{T_i-T_o}{\ln(T_i-T_{wo})/(T_o-T_{wo})}$$

$$\lambda^*=(1+0.1)(h_G-h_1)$$

(* เนื่องจากλของวัตถุดิบมีค่ามากกว่า λ ของน้ำอยู่ 10%)

การหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้งแบสเปาท์วอร์เทคเบด

ในการผลิตได้ทำการผลิตที่ 3.87× 10^{-4} kg/s มีสภาวะดังนี้

- อัตราการไหลโดยมวล = 3.87× 10^{-4} กิโลกรัม/วินาที
- พื้นที่ผิวของอนุภาคเฉื่อย = 0.12 ม^2
- อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่เหมาะสม = 100 °ซ
- อุณหภูมิลมร้อนขาออก = 58 °ซ

โดยสามารคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ดังสมการ

$$h=\frac{m\lambda}{A(\Delta T)_{ln}}$$

คำนวณหาค่า $(\Delta T)_{ln}=\frac{T_i-T_o}{\ln(T_i-T_{wo})/(T_o-T_{wo})}$

= 51.16°ซ (324.16 เคลวิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda = (1+0.1)(h_G - h_L)$$

ที่ตารางไอน้ำอิ่มตัว $h_G = 2676*10^3$ (จูล/กิโลกรัม), h_L=419.06 (จูล/กิโลกรัม)

$\therefore \lambda = 2482634$ (จูล/กิโลกรัม)

ดังนั้นจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) = $3.87*10^{-4}*2482634/(0.12*324.16)$

= 24.70 วัตต์/$ม^2$เคลวิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนวลพรรณ บุราณศรี

เกิด วันที่ 9 มิถุนายน 2523

ภูมิลำเนาเดิม จ.ปราจีนบุรี

จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนปราจิณราษฎรอำรุง

อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี

เข้าศึกษาระดับอุดมศึกษาที่ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ 2541

2 เมษายน 2544- 31 พฤษภาคม 2544

เข้าฝึกงานที่บริษัท ยูโรเปี้ยนฟูดส์ จำกัด (มหาชน) อ.ศรีมหาโพธิ์ จ.ปราจีนบุรี

นางสาววรางคณา วิบูลย์รุจิราพงษ์

เกิด วันที่ 25 พฤศจิกายน 2522

ภูมิลำเนาเดิม จ.นครพนม

จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนธาตุพนม

อ.ธาตุพนม จ.นครพนม

เข้าศึกษาระดับอุดมศึกษาที่ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ 2541

2 เมษายน 2544- 31 พฤษภาคม 2544

เข้าฝึกงานที่บริษัท ฟาร์มกรุงเทพ จำกัด

ถ.บางนา-ตราด จ.กรุงเทพฯ

นายสมยศ กาญจนจิตกร

เกิด วันที่ 16 พฤศจิกายน 2522

ภูมิลำเนาเดิม จ.กรุงเทพฯ

จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนพระโขนงพิทยาลัย

เขตพระโขนง จ. กรุงเทพฯ

เข้าศึกษาระดับอุดมศึกษาที่ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ 2541

12 มีนาคม 2544- 12 พฤษภาคม 2544

เข้าฝึกงานที่บริษัท ดอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด อ.ฝาง จ.เชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์หลายๆท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทาง พร้อมทั้งช่วยเหลือในด้านต่าง ดังนี้

อาจารย์กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

อาจารย์เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน

ภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทดลอง

รุ่นพี่ภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่ให้คำแนะนำ

เพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้