การทำกล้วยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่มีอนุภาคเฉื่อย

(Banana powder by Spouted Vortex-bed dryer with Inert Particles)

T033975

โดย

นายณัฐพล พี่พาณิชย์

นางสาวนวภัทรา พิธิยากูล

นางสาวผการัตน์ เหล็กสีไทย

นายปรินทร์ ฐิติสโรช

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....33975
วัน, เดือน, ปี 2 3 ก.ย. 2542

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทำกล้วยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่มีอนุภาคเฉื่อย

Banana powder by Spouted Vortex-bed dryer with Inert Particles

ผู้จัดทำ

1. นายณัฐพล พี่พาณิชย์
2. นางสาวนวภัทรา พิธิยากูล
3. นางสาวผการัตน์ เหล็กสีไทย
4. นายปรินทร์ ฐิติสโรช

.....

(อาจารย์ กันต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาทิป รัตนภาสกร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำกล้วยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่มีอนุภาคเฉื่อย

โดย

นายณัฐพล พี่พาณิชย์

นางสาวนวภัทรา พิธิยากูล

นางสาวผการัตน์ เหล็กสีไทย

นายปรินทร์ ฐิติสโรช

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ กันต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาทิป รัตนภาสกร

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกล้วยผงที่ผลิตด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย โดยใช้กล้วยที่ระยะการสุก 5-6 และใช้หางนมผงเป็นตัวพา ปัจจัยสำคัญที่ศึกษาคือ อัตราการไหลของลมร้อน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้นกล้วยบด

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า อัตราการไหลของลมร้อน มีผลต่อเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)และความชื้นของกล้วยผง โดยที่อัตราการไหลของลมร้อนต่ำจะได้เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)ต่ำและมีความชื้นสูง อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า มีผลต่อ ความชื้น ความสว่าง และความเป็นสีเหลืองของกล้วยผง โดยที่อุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น ค่าความชื้นจะสูงขึ้น ค่าความสว่างลดลง และค่าความเป็นสีเหลืองจะเพิ่มขึ้น ความเข้มข้น(%ของแข็งของกล้วยบด) มีผลต่อความสว่างและการเกาะติดบริเวณภายในผนังห้องอบแห้ง ที่ความเข้มข้นต่ำ ค่าความสว่างจะต่ำและไม่มีปัญหาการเกาะติดภายในผนังห้องอบแห้ง การใช้ประโยชน์ทางความร้อนเท่ากับ 18.31% ของความร้อนที่ให้ทั้งหมด ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.168 W/m^2k และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำกล้วยผงคือ อัตราการไหลของลมร้อน 6.09 m^3/min อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100 ^0C และความเข้มข้น 8 %ของแข็งของกล้วยบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Banana powder by Spouted Vortex-bed dryer with Inert Particles

By

Mr. Nattapol Peepanitch

Miss Navaphattra Bhitiyakul

Miss Pakarat Lexseethai

Mr. Parin Thitisaroch

Adviser

Miss Kankanit Tanasiriwatana

Assi.Prof. Satip Ratanapasgorn

Abstract

Study in optimum condition for banana powder was produced by spouted vortex-bed dryer with inert particles. Banana at PCI maturity of 5-6 was used in drying process and skimed milk powder was used as carrier. Important factors to study were air flow rate, air inlet temperature and concentration(% total solid of banana puree)

Result showed that air flow rate effected to percent solid and moisture of product. When air flow rate was decreased as a result decreased percent solid and increased moisture.Air inlet temperature effected to moisture, lightness and yellow color of product. When temperature was increased as a result decreased lightness and increased yellow color. Concentration(% solid in banana puree) effected to lightness of product stickiness inside the drying chamber. When concentration was decreased as a result decreased lightness and no problem to stickiness inside the drying chamber. Thermal utilization was 18.31% of total heat input. Heat transfer coefficient was 0.168 W/m^2 k and optimum condition of banana powder was air flow rate 6.09 m^3/min ,air inlet temperature 100 ^{0}C and concentration 8% solid of banana puree.

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
ชนิดเครื่องอบแห้ง	3
กล้วย	10
ผลงานที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	16
อุปกรณ์การทดลอง	16
การเตรียมวัตถุดิบ	19
วิธีการทดลอง	19
เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยมวล	20
ศึกษาลักษณะของผนังอบแห้ง	20
ศึกษาการเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอน	20
การคำนวณหาการใช้ประโยชน์ทางความร้อน	22
การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้ง	22
การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์	22
การวิเคราะห์ผลของตัวพา(หางนมผง)ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์	22
การวิเคราะห์ทางสถิติ	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	23
เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)	23
ลักษณะของผนังห้องอบแห้ง	27
การเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอน	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพ(ความชื้น ความสว่าง และความเป็นสีเหลือง)ของกล้วยผงโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ 28

พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อน 38

การพิจารณาตัวพา(หางนมผง)ที่มีผลต่อคุณภาพของกล้วยผงที่ผลิตโดยวิธีสเปาท์เบด 38

การเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตกล้วยผง 40

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 41

สรุปผลการทดลอง 41

ข้อเสนอแนะ 43

รายการอ้างอิง 44

ภาคผนวก 46

กิตติกรรมประกาศ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์	4
2-2	เครื่องอบแห้งแบบวอร์เทคเบด	6
2-3	รายละเอียดการเกิดสเปาท์เบด	9
3-1	ภาพฉายด้านหน้าของเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด	17
3-2	ห้องอบแห้ง	18
3-3	กระบวนการผลิตกล้วยผงโดยการทำแห้งแบบสเปาท์เบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย	21
4-1	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล) กับปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	24
4-2	ความความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล) กับปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส	25
4-3	ความความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล) กับปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	26
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซนต์ความชื้นเฉลี่ยกับอัตราการไหลของลมร้อน	29
4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างกับความเข้มข้น	31
4-6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	33
4-7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองกับอัตราการไหลลมร้อน	34
4-8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	37
4-9	ภาพแสดงกล้วยผงที่ผลิตที่สภาวะที่เหมาะสม	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ปริมาณส่วนประกอบคุณค่าอาหารของกล้วยในส่วนที่รับประทาน 100 กรัม	11
2-2	ส่วนประกอบของกรดอะมิโนและโปรตีนในส่วนที่กินได้ 100 กรัม	12
4-1	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ปริมาณผงที่ได้กับค่าความเข้มข้น, อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และอัตราการไหลของลมร้อน ที่ระดับต่าง ๆ	23
4-2	ค่าเปอร์เซนต์ความชื้นเฉลี่ยที่อัตราการไหลของลมร้อนต่าง ๆ	28
4-3	ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างที่ความเข้มข้น (%ของแข็งของกล้วยบด)ต่าง ๆ กัน	30
4-4	ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างที่อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าต่าง ๆ กัน	32
4-5	ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลืองที่อัตราการไหลของลมร้อนต่าง ๆ กัน	35
4-6	ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลืองที่อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าต่าง ๆ กัน	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำและวัตถุประสงค์

1.1 บทนำ

กล้วยเป็นผลไม้ชนิดแรกที่คนปลูกเพื่อใช้เป็นอาหาร[1] เนื่องจากกล้วยมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้แก่ คาร์โบไฮเดรต วิตามินและเกลือแร่ รวมทั้งกล้วยบางชนิดเช่น กล้วยน้ำว้า จะมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับนมแม่[2] ทำให้มีการปลูกกล้วยไว้เพื่อจำหน่ายกันเป็นจำนวนมาก

เพื่อเป็นการรองรับผลผลิตกล้วยสดพันธุ์ต่าง ๆ ที่ได้รับการส่งเสริมให้มีการผลิตในรูปแบบสวนขนาดใหญ่ อันจะทำให้มีผลิตผลจำนวนหนึ่งที่มีคุณภาพไม่เหมาะสมแก่การขายสดหรือไม่สามารถสั่งขายสดได้ทันเนื่องจากปัญหาด้านขนาด ตำหนิหรือความสุกแก่(Maturity) จึงควรศึกษาหากระบวนการใช้ประโยชน์จากกล้วยเพื่อเป็นอาหารในรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ [3]

การแปรรูปกล้วยจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะช่วยให้การใช้ประโยชน์จากกล้วยได้มาก เช่น การทำกล้วยผง กล้วยผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปโดยการอบแห้งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักเบา สามารถเก็บไว้ได้นานและสะดวกต่อการนำไปใช้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารเด็กอ่อน ขนมอบและขนมหวานต่างๆ อีกทั้งสามารถส่งออกเป็นผลิตภัณฑ์ มูลค่าเพิ่มเพื่อนำรายได้เข้าสู่ประเทศได้[3]

วิธีการแปรรูปกล้วยผงมีหลายชนิดเช่น วิธีทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก(Drum drying) วิธีโฟมแมทดราย(Foam-mat dry) วิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย(Spray drying) หรือใช้วิธีทำแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด(Spouted Vortex Bed)[4]

เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของวิธีฟลูอิไดซ์เบด ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นในรัสเซียในปี พ.ศ.2523 ซึ่งให้ประสิทธิภาพความร้อนสูง ตัวเครื่องมีขนาดเล็ก ราคาถูกสามารถนำไปใช้ในการอบแห้งกับผลิตภัณฑ์อาหารเหลวได้หลายชนิดที่มีช่วงของปริมาณของแข็ง(Solid Content) ตั้งแต่ 1%ถึง48% ได้และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี[5]

ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งโดยวิธีสเปาท์วอร์เทคเบดมีหลายปัจจัยเช่น อัตราการไหลของลมร้อน อุณหภูมิของลมร้อน ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่จะใช้อบแห้ง ฯลฯ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีความเกี่ยวข้องกับการอบแห้งของผลิตภัณฑ์

ดังนั้นการศึกษาปัจจัยเหล่านี้ จึงเป็นเรื่องสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำกล้วยผลโดยวิธีสเปาท์เบด
2. เพื่อศึกษาผลของปริมาณการไหลของลมร้อน,อุณหภูมิลมร้อนและความเข้มข้นของกล้วยบด(banana puree)ที่เหมาะสมในการผลิตกล้วยผงที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดเครื่องอบแห้ง

2.1.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด(Fluidized bed dryer)[5]

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดสำหรับวัสดุคล้ายแป้งเปียกและวัสดุเหลวได้รับการพัฒนาและปรับปรุงโดยพิจารณาถึงเวลาในการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นหลักสำคัญ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้งและเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์

สำหรับวัสดุที่สามารถนำมาอบแห้งในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดได้นั้นมีลักษณะอยู่ในช่วงตั้งแต่ความหนืดมากจนถึงเหลว(สารละลายและสารแขวนลอย)

การอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดสามารถทำได้ 2 แบบ

1. แบบเบดที่ถูกก่อตัวจากวัสดุที่เริ่มแห้ง วิธีนี้จะใช้กับวัสดุที่มีความหนืดมากจนถึงความหนืดน้อย
2. แบบเบดที่ถูกก่อตัวจากวัสดุเฉื่อยหรือเรียกว่า เบดเฉื่อย(inert bed) ในแบบที่ 2 เบดเฉื่อยจะสามารถประยุกต์ใช้ได้กว้างในวัสดุที่มีลักษณะหนืดมากจนถึงสารแขวนลอยหรือสารละลาย

รูปแบบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดมีหลายแบบ สามารถแบ่งแยกออกได้ตามลักษณะดังนี้

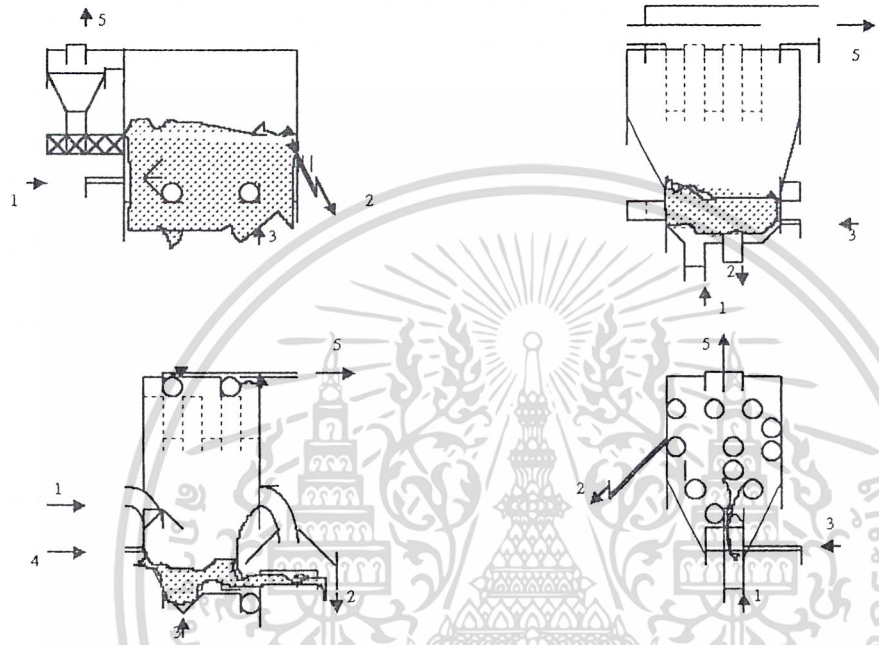
1. แบบขั้นเดี่ยวหรือหลายขั้น (single-stage or multistage)
2. แบบลักษณะการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของอนุภาค (การเคลื่อนที่แบบฟลูอิไดซ์ แบบสเปาท์เบด ฯลฯ)
3. แบบลักษณะทางกายภาพของห้องอบแห้ง (ทรงกระบอก ทรงเหลี่ยม ทรงกรวย)
4. แบบโม่พร้อมกับการอบแห้งหรือไม่ต้องโม่ก็ได้

ระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด ดังแสดงในรูปที่ 2.1

สำหรับการทำแห้งวัสดุที่หนืดและเหลว เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดนี้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางทั้งในวัสดุเหลวและวัสดุหนืด ในกรณีวัสดุเหลววัตถุดิบจะถูกป้อนโดยหัวฉีดแบบท่อเดี่ยวหรือหลายท่อ ส่วนวัสดุหนืดจะใช้การป้อนโดยสกรูลำเลียง การป้อนโดยการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด สามารถหาอัตราการระเหยได้โดยใช้วัตถุดิบซึ่งมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง $1*10^{-2}$ ถึง $4*10^{-2}$ kg/m^{3}s ส่วนเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีค่าไม่เกิน $3*10^{-3}$ kg/m^{3}s



รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์[6]

1.วัสดุเปียกที่ป้อน 2. ผลิตภัณฑ์แห้ง 3. ลมร้อน

4.เบดที่เริ่มก่อตัว 5. ทางออกของลมร้อน

ข้อดีและข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด มีดังนี้

ข้อดี

1. การไหลของอนุภาคมีลักษณะคล้ายการไหลของน้ำ เป็นการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งกระบวนการไหลจะถูกควบคุมอย่างต่อเนื่องโดยอัตโนมัติด้วยวิธีง่าย ๆ
2. การผสมและปะปนกันของอนุภาคของแข็งอย่างรวดเร็ว นำไปสู่สภาวะอุณหภูมิคงที่ทั่วระบบในเครื่องอบแห้ง ทำให้สามารถควบคุมกระบวนการได้ง่ายและน่าเชื่อถือ
3. การหมุนเวียนของของแข็งระหว่างชั้นของเบด จะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดี ซึ่งความร้อนเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากหากใช้เครื่องอบแห้งที่มีขนาดใหญ่
4. มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในกระบวนการขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างอากาศร้อนกับอนุภาคจะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่น
6. อัตราของการถ่ายเทความร้อนระหว่างฟลูอิไดซ์เบดและวัตถุจมจะมีค่าสูง ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในฟลูอิไดซ์เบดจึงต้องการพื้นที่ผิวน้อย

ข้อเสีย

1. ลักษณะการไหลของลมร้อนไม่มีทิศทางที่แน่นอนและเกิดการหักเห เนื่องจากการอุดช่องทางการไหลของลมร้อน ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง
2. การผสมปะปนของอนุภาคของแข็งในเบดจะทำให้ เวลาที่ใช้อบแห้งของของแข็งในห้องอบแห้งไม่คงตัว
3. ของแข็งที่แห้งกรอบจนกลายเป็นผงจะถูกลมร้อนเป่าพ่นออกไปที่ช่องทางออกของผลิตภัณฑ์ เพราะฉะนั้นจึงต้องนำวัตถุดิบมาป้อนแทนที่ทันทีเพื่อเกิดความต่อเนื่อง
4. การสึกหรอของท่อและผนังของตัวเครื่อง เนื่องจากการขัดสีอย่างรุนแรงของอนุภาค
5. เมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งสูงเกินไป อนุภาคที่ได้จะเกาะตัวรวมกันและไหม้ ฉะนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์บังคับอุณหภูมิของกระบวนการให้ต่ำลง

2.1.2 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด (Spouted Vortex-bed Dryer) [5]

ในปี 1980 Strumilloและคณะ[7] รายงานว่าภายหลังได้มีการดัดแปลงการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด สำหรับวัตถุดิบที่มีความยืดหยุ่นตัว ดังเช่น สารละลายและสารแขวนลอย มีชื่อว่าวอร์เทคเบด

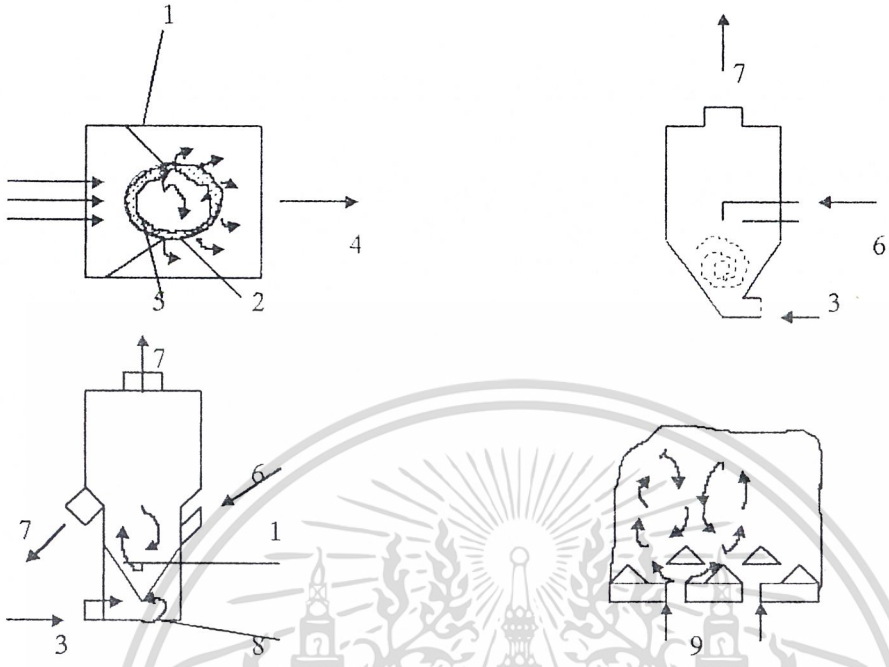
รูปแบบการไหลของอนุภาคในเครื่องสเปาท์วอร์เทคเบด แตกต่างไปจากเครื่องอบแห้งสเปาท์เบดธรรมดาตรงที่ การเคลื่อนที่ของอนุภาค เครื่องแบบวอร์เทคเบดจะมีความรุนแรงมากกว่า การไหลของอนุภาคในช่องว่างระหว่างผนังช่องทางออกและภายในกรวยจะมีการเคลื่อนที่แบบไหลวนตกลงมาข้างล่าง

แสดงดังรูปที่2.2 ซึ่งยกมาเป็นตัวอย่าง

2.1.3 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบด(Spouted bed dryer)[8]

เม็ดของแข็งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีรูปร่างแปลก ๆ ต่างกันออกไปนำมาผ่านกระบวนการของฟลูอิไดเซชั่นธรรมดากระทำได้ยาก ก๊าซมักจะผ่านขึ้นมาบนเบดเป็นช่อง (channelling) หรือถ้าเกิดก็มักจะไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งเบด ตัวอย่างที่มักพบกันทั้งในประเทศและต่างประเทศก็คือข้าวทุกชนิดซึ่งมีรูปร่างรีๆยาวๆ ถ้าจะนำมาทำให้แห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดธรรมดามักจะเกิดปัญหาอยู่เสมอ หรือการเคลือบเม็ดยาที่มีรูปร่างแปลก ๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. ฟลูอิไดซ์เบด 2. นอนฟลูไดซ์เบด 3. ลมร้อน
4. ทางออกของลมร้อน 5. ช่องว่างของทรงกระบอก 6. วัตถุดิบที่เปียก
7. ผลิตภัณฑ์ที่แห้ง 8. ช่องเล็ก ๆ 9. ช่องว่างของตะแกรง

รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งแบบวอร์เทคเบด[6]

ดังนั้น สเปาท์เบดจึงเป็นเทคนิคอีกอันหนึ่งที่จะใช้ได้ดีกับ วัตถุที่มีรูปร่างแปลก ๆ วัตถุจะเคลื่อนที่ขึ้นลงภายในเบดอย่างรุนแรงเสมือนกับมีเครื่องกวนอยู่ในเบดด้วย แรกเริ่มทีเดียว สเปาท์เบดนี้พัฒนาจากวิธีที่จะทำให้มีการสัมผัสระหว่างเม็ดของแข็งขนาดใหญ่กับก๊าซ โดยผ่านก๊าซที่มีความเร็วสูง ในลักษณะของเจ๊ด(jet)ขึ้นมาได้ระยะหนึ่งก็จะตกลงไปทางรอบข้างผนังของหอทดลอง การทำงานโดยใช้เทคนิคสเปาท์เบดในปัจจุบันได้รับความสนใจไม่น้อยทีเดียวดังลักษณะของงานคือ สารที่อยู่ในรูปของสารละลายหรือหลอมละลายถูกฉีดพ่นเข้าไปในเบดที่มีเม็ดของแข็งที่มีขนาดเล็กอยู่สารละลายก็จะไปพอกเป็นชั้น ๆ ได้เป็นแมล็ดใหญ่ขึ้น

การตากแห้งของสารแขวนลอยและสารละลายลักษณะของงานคือกลไกการทำงานเหมือนกันเพียงแต่ว่าตัวนิวคลีโอใช้พวกสารที่เป็นฉนวนเช่น ลูกแก้ว สารละลายเกาะติดบนลูกแก้วพอแห้งก็แตกและปลิวออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของสเปาท์เบด

สเปาท์เบดก่อตัวขึ้นจากกระแสเจ็ดของไหลผ่านเข้ามาในเบด กระแสของไหลนี้มีความเร็วสูงโมเมนตัมมากจะดันเม็ดของแข็งให้ลอยขึ้นเป็นแนวตามแกนของหอทดลอง เมื่อพ้นเบดแล้วเม็ดของแข็งก็ตกกลับลงมาใหม่

จะเห็นเบดประกอบด้วยโซนสองโซน คือ โซนที่เป็นเบดเบาบางที่เราเรียกว่าสเปาท์บริเวณนี้ เม็ดของแข็งจะเคลื่อนที่ขึ้น กับอีกโซนที่เป็นเบดหนาแน่น บริเวณนี้อยู่รอบผนังของหอทดลองเม็ดของแข็งบริเวณนี้ เคลื่อนลงด้านล่างตรง ด้านล่างของเบดจะเป็นรูปกรวยเพื่อให้เม็ดของแข็งเคลื่อนที่เข้าหากระแสเจ็ดได้ง่าย บางครั้งเราอาจจะคิดว่าเป็นเบดที่เกิดการไหลเป็นช่องทาง แต่การเกิดเบดชนิดหลังนี้ เม็ดของแข็งมิได้ขยับเคลื่อนที่เลยของไหลหลังจากผ่านพ้นท่อขึ้นมาแล้วส่วนใหญ่ก็จะอยู่ตรงบริเวณแกน มีบางส่วนไหลซึมผ่านไปทางด้านรอบ ๆ ของเบด ยิ่งสูงการซึมผ่านของก๊าซยิ่งมาก ทั้งนี้เกิดจากแรงขับที่มาก ผลต่างของปริมาณของไหลตรงกลางมากกว่าด้านข้าง สิ่งที่แตกต่างเห็นได้ชัดตรงบริเวณผิวหน้าของเบดก็คือความเร็วของเม็ดของแข็ง ที่บริเวณตรงสเปาท์จะมีความเร็วมากกว่าบริเวณรอบ ๆ มากทีเดียว เม็ดของแข็งที่ลอยมาตามกระแสของเจ็ดมักจะชนกับเม็ดของแข็งที่เคลื่อนที่ลงมาตรงบริเวณใกล้แกน ดังนั้นตรงบริเวณที่ใกล้ ๆ กับท่อเจ็ดจะมีปริมาณของแข็งน้อยกว่าที่ระดับสูง ๆ ขึ้นไป

ด้วยคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกับฟลูอิไดเซชั่นธรรมดา ดังกล่าวแล้ว ภายในเบดยังมีส่วนที่แตกต่างออกไปอีกได้แก่ ความดันต่างภายในเบดจะไม่เท่ากันตลอดทั้งหมด โดยจะมีค่าความดันต่างน้อยที่ใกล้บริเวณเจ็ดและค่อย ๆ เพิ่มมากขนสูงสุดอยู่ที่ผิวหน้าของเบด ส่วนความดันตกนั้นมีสองส่วนที่ขนานกันส่วนแรกเป็นส่วนบริเวณสเปาท์ที่มีบริเวณของแข็งอยู่น้อย กับบริเวณที่เบดหนาแน่นที่เม็ดของแข็งเคลื่อนที่ลงสวนทางกับของไหล ความดันตกที่ระดับต่าง ๆ ของเบดมักจะอยู่ในสมดุลย์ ยกเว้นบริเวณที่อยู่ใกล้กับทางเข้าของไหลที่ความดันตกจะมาก กรณีที่ก๊าซออกจากบริเวณสเปาท์เข้าไปในบริเวณวงแหวนรอบ ๆ สเปาท์มากพอจนเกิดเป็นฟลูอิไดเซชั่นได้ สเปาท์

ความสูงของเบดที่วัดได้ในขณะนี้เราเรียกว่าความสูง สูงสุดของเบดที่สามารถทำให้เป็นสเปาท์เบด (maximum spoutable bed depth) เพราะถ้าความเร็วของไหลมากกว่านี้ เม็ดของแข็งจะหลุดลอยออกไปกลายเป็นการขนส่งไปในที่สุด

การที่เบดสามารถเกิดสเปาท์ได้อย่างถาวรนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะมากมายที่จะทำให้การคลื่อนที่ของเม็ดเป็นอย่างสุ่มๆ การเคลื่อนที่นี้สามารถเข้าไปสู่สภาวะฟลูอิไดเซชั่นแบบเดือดพล่าน หรือแบบสลักกิ้ง(slugging)ได้เมื่อความเร็วของไหลเพิ่มขึ้น ตัวแปรที่สำคัญ ๆ ในเรื่องนี้ได้แก่ขนาดของเม็ดของแข็ง ขนาดของท่อที่ให้ของไหลไหลเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอทดลอง มุมของกรวย อัตราการไหลของก๊าซและความสูงของเบดซึ่งตัวแปรเหล่านี้สัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ทำให้เกิดสเปาท์เบดได้ดีนั้น เม็ดของแข็งควรมีขนาดใหญ่เพราะถ้าเล็กแล้วโอกาสที่จะเกิดเป็นสเปาท์นั้นยากมาก หรือในเบดที่มีขนาดเม็ดของแข็งหลาย ๆ ขนาดผสมอยู่ด้วยกัน มักจะทำให้ก๊าซที่ไหลผ่านเข้ามากระจายออกไปแทนที่จะเกิดเป็นเจ็ด

ความลึกของเบดก็มีอิทธิพลต่อการเกิดเป็นสเปาท์เบดได้เหมือนกัน แต่ความลึกมีความสัมพันธ์อยู่กับขนาดของเมล็ด

การไหลของก๊าซในเบด

ก๊าซที่ไหลในเบดแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนที่มีความเร็วสูงเป็นสเปาท์ ส่วนรอบ ๆ สเปาท์หรือส่วนใกล้ผนังหอทดลองมีขนาดความเร็วต่ำพอที่จะทำให้เบดอยู่ในลักษณะหลวม ๆ

ความเร็วของก๊าซอาจวัดได้จากความดันต่างโดยสมมติว่าบริเวณรอบ ๆ มีความเร็วก๊าซใกล้เคียงความเร็วฟลูอิไดเซชั่นต่ำสุด หรือใช้วัดด้วยปีตอททิว โดยตรง

อากาศที่ออกจากออริฟิด มีความเร็วสูงมากส่วนใหญ่อยู่ตรงบริเวณสเปาท์ อีกส่วนแยกเข้าไปในส่วนรอบ ๆ กับส่วนที่แยกไปมีมากขึ้นทุกทีตามความสูงของเบด

ลักษณะการเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็งในสเปาท์เบด

การเคลื่อนที่เม็ดของแข็งในสเปาท์เบดต่างจากฟลูอไดเซชั่นธรรมดา ทั้งนี้เพราะเม็ดของแข็งเคลื่อนที่จากด้านล่างไปยังผิวของเบดด้วยความเร็วที่สูงมากแล้วเคลื่อนที่ย้อนจากด้านบนลงมาด้านล่างตรงบริเวณรอบนอก

เปรียบเทียบ ประโยชน์ของสเปาท์เบดมีมากกว่าในฟลูอิไดซ์ธรรมดา ตรงที่การอบแห้งโดยวิธีสเปาท์เบดสามารถทำการอบแห้งวัสดุที่ไวต่อความร้อนได้ดีกว่าการอบแห้งโดยวิธีฟลูอิไดซ์ (ถ้าอุณหภูมิสูงวัสดุนั้นจะเปลี่ยนสภาพไป) ถึงแม้เราจะใช้อุณหภูมิสูงมาก ๆ ก็ตามแต่อุณหภูมิของเม็ดของแข็งในเบดมีอุณหภูมิไม่เกินครึ่งหนึ่งของอากาศร้อน สเปาท์เบดนี้ใช้ได้ดีกับวัสดุที่เป็นของเหลวมีของแข็งปนอยู่มาก ๆ

2.1.4 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย(Spouted bed dryer with Inert particles)[5]

การทำแห้งเริ่มจากการป้อนวัสดุเหลวเข้าไปในเครื่องอบแห้ง วัสดุเหลวจะเคลือบบางๆ ที่ผิวของอนุภาคเฉื่อย เนื่องจากการระเหยของน้ำทำให้มีการเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพจาก พลาสโตอิลาสติก(Plastoelastic) เป็นอิลาสโตบลิทเทิล(Elastobrittle) วัสดุเหลวที่เคลือบอยู่บนผิวอนุภาคเฉื่อย เมื่อถูกทำให้แห้งจะมีลักษณะเป็นผงหลุดออกจากอนุภาคเฉื่อยเนื่องจากความเร็วของกระแสลมร้อนกระบวนการทางกลศาสตร์ในการทำแห้งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ การเคลื่อนที่ในระหว่างการทำแห้ง(drying)และการเคลื่อนที่เมื่อหลุดจากอนุภาคเฉื่อย(attrition) ซึ่งกระบวนการทั้ง 2 ส่วนเกี่ยวข้องกับอัตราการทำแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่กระบวนการที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(attrition) ช้ากว่ากระบวนการแรก (drying) วัสดุเหลวที่เคลือบอนุภาคเฉื่อยอยู่จะถูกดึงให้รวมกันไว้(blocked)

การทำแห้งโดยวิธีนี้มีห้องเครื่องเป็นทรงกระบอกกรวยซึ่งเป็นที่นิยมมากที่สุด ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์และอัตราการทำแห้ง คือ อุณหภูมิลมร้อนทางเข้า อุณหภูมิลมร้อนทางออก อัตราการไหลของลมร้อน มวลของอนุภาคเฉื่อยที่อยู่ในเบด อัตราการป้อนวัสดุเหลวและความชื้นของวัสดุที่นำมาทำแห้ง

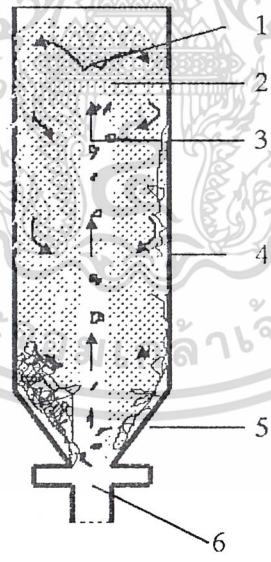
ค่าปัจจัยที่ได้ขึ้นอยู่กับการเลือกวัสดุที่นำมาทำแห้งรวมทั้ง

1.สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(อัตราส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อความร้อนที่ใช้ทั้งหมด)

2.อัตราการระเหยเชิงปริมาตร(kg/m^3h)

3.ข้อจำกัดของเบด เช่น อัตราการป้อนวัสดุต่อมวลของอนุภาคเฉื่อยโดยไม่มีการถูกดึงให้รวมกันไว้

ถ้าเราทราบค่าสัมประสิทธิ์และอุณหภูมิลมร้อนก็จะสามารถกำหนดค่าสมรรถนะของเครื่องพิจารณาค่าปริมาตรของเ ครื่องและมวลของเบดได้



1. น้ำพุ 2. พื้นผิวของชั้นเบด 3.พ่น 4. ผนังห้องอบแห้ง
5. กรวย 6. ทางเข้าลมร้อน

รูปที่ 2.3 รายละเอียดการเกิดสเปาท์เบด[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย(Spouted Vortex-bed Dryer with Inert Particles)[5]

ลักษณะสำคัญของการอบแห้งวิธีนี้คือ เป็นการผสมฟลูอิไดซ์เบดและลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุนวนของอนุภาคเฉื่อย ซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการทำแห้ง โดยหลีกเลี่ยงการเกาะกันเป็นก้อน

การอบแห้งโดยวิธีนี้จะใช้พลังงานต่ำ ปริมาตรของห้องอบแห้งน้อยกว่าห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สมรรถนะเดียวกัน

การหมุนของอนุภาคเฉื่อยนั้นต้องการความเร็วของกระแสลมร้อนสูง ทำให้ความดันของระบบสูง มวลของอนุภาคเฉื่อยมีผลโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ รวมไปถึง พื้นที่ผิวสัมผัสอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของลมร้อนและอัตราการป้อนเข้าของของเหลว

2.2 กล้วย[1]

กล้วย(*Musa paradisiaca* L. var. *sapientum* O.Ktze.) เป็นพืชที่คนไทยรู้จักคุ้นเคยและใช้ประโยชน์มาเป็นเวลานานแล้ว เพราะมีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในปัจจุบันการปลูกกล้วยในประเทศเรานอกจากจะปลูกเพื่อบริโภคในประเทศแล้วยังนิยมส่งกล้วยบางชนิด เช่น กล้วยหอมไปขายยังต่างประเทศ ซึ่งได้รับความสนใจจากต่างประเทศมาก ประโยชน์ของกล้วยนั้นอาจกล่าวได้ว่า มีประโยชน์ไปหมดทุกส่วน เช่น หัวปลีใช้แก้โรคโลหิตจาง โรคเกี่ยวกับลำไส้ ผลดิบเป็นยาสมานแผลห้ามเลือด ผลสุกเป็นยาระบาย แก้โรคท้องเสีย โรคในกระเพาะอาหารและโรคอาหารไม่ย่อย กล้วยสามารถนำมาบริโภคทั้งดิบ สุก โดยทำเป็นอาหารได้ทั้งคาว หวาน และรับประทานเล่นหรืออาจผสมกับผลไม้ชนิดอื่นเป็นสลัดผลไม้ หรือนำมาคั้นหรือปั่นเป็นเครื่องดื่มก็ได้ ไม่เพียงแต่จะนำมารับประทานสด และปรุงแต่ง ยังมีการใช้วิธีถนอมอาหารมาช่วยเก็บกล้วยไว้รับประทานนอกฤดูกาลได้นานขึ้น เช่น แยมกล้วย,กล้วยกวน,ท๊อฟฟี่กล้วย ซึ่งนับวันอาจจะยิ่งเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น เมื่อมีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาช่วยให้เหมาะสมกับความก้าวหน้าของโลกในอนาคต

ในอุตสาหกรรมได้มีการส่งออกกล้วยไปยังต่างประเทศ เช่น ในรูปของกล้วยกระป๋องซึ่งให้ความสำคัญในการบรรจุเนื่องจากกล้วยเป็นพืชผลที่บอบบางง่ายและมีปัญหาในการเปลี่ยนแปลงของสี ลักษณะเนื้อ กลิ่นและรส เพราะในกล้วยจะมีปริมาณแป้งและน้ำตาลอยู่สูง การนำกล้วยมาลดความชื้นโดยวิธีอบแห้ง จะได้กล้วยผงซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน อยู่ในสภาพที่สะดวกต่อการนำไปใช้ในรูปแบบต่าง ๆ อีกทั้งสามารถส่งออกเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม เพื่อนำรายได้เข้าสู่ประเทศ อีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 คุณค่าทางอาหารของกล้วย

กล้วยมีคุณค่าทางอาหารสูงมากทั้งโปรตีน แป้ง น้ำตาลและเกลือแร่ต่าง ๆ ส่วนหัวปลีมีธาตุเหล็ก ดังแสดงในตารางที่ 2.1[10]

ตารางที่ 2.1 ปริมาณส่วนประกอบคุณค่าอาหารของกล้วยในส่วนที่รับประทาน 100กรัม [10]

คุณค่าทางอาหาร	กล้วย
พลังงานเป็นกิโลแคลอรี่	122.00
โปรตีนเป็นกรัม	1.20
คาร์โบไฮเดรทเป็นกรัม	26.10
ไขมันเป็นกรัม	0.30
วิตามินต่างๆ	
เอ เป็นหน่วยสากล	375.00
บีหนึ่ง เป็นมิลลิกรัม	0.03
บีสอง เป็นมิลลิกรัม	0.04
ไนอาซินเป็นมิลลิกรัม	0.60
ซี เป็นมิลลิกรัม	14.00
เกลือแร่เป็นมิลลิกรัม	
แคลเซียม	12.00
ฟอสฟอรัส	32.00
เหล็ก	0.80
น้ำเป็นกรัม	71.60

จากการที่มีคุณค่าทางอาหารสูงนี้ จึงนิยมใช้กล้วยเป็นอาหารเสริมสำหรับทารก เพิ่มจากนมแม่กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขเคยวิเคราะห์พบว่ากล้วยน้ำว้ามีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับนมแม่ ซึ่งผลการวิเคราะห์ปรากฏในตารางที่ 2.2 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.2 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนและโปรตีนในส่วนที่กินได้ 100 กรัม[2]

โปรตีนเป็นกรัม ชนิด และกรดอะมิโนเป็นมิลลิกรัม	กล้วย	นมแม่	ไข่
โปรตีน	1.0	1.0	13. 3
กรดอะมิโนทั้งหมด	596.0	1 111.0	8533.0
กรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมด	261.0	522.0	4020.0
ไอโซลูซิน	28.0	64.0	465.0
ลูซิน	45.0	108.0	707.0
ไลซิน	36.0	83.0	631.0
กรดอะมิโนที่มีกำมะถัน เป็นองค์ประกอบทั้งหมด	12.0	36.0	489.0
เมทิโอนิน	3.0	16.0	243.0
ซิสตีน	9.0	20.0	246.0
กรดอะมิโนที่มีสูตร โครงสร้างเป็นวง	49.0	84.0	694.0
เฟนิลาลานิน	30.0	43.0	402.0
ไทโรซิน	19.0	41.0	292.0
และ ทรีโอนิน	36.0	63.0	357.0
ทริพโตแฟน	18.0	25.0	193.0
วาลิน	37.0	59.0	484.0
กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น			
อารจินิน	31.0	49.0	626.0
ฮิสติดิน	31.0	30.0	192.0
อลานิน	35.0	43.0	410.0
กรดแอสปาติค	69.0	102.0	1037.0
กรดกลูตามิค	66.0	189.0	1087.0
ไกลซิน	34.0	27.0	245.0
โปรตีน	31.0	4.0	312.0
ซิริน	38.0	94.0	604.0
กรดอะมิโนที่มีน้อยที่สุด	S-c	S-c	S-c

S-c = กรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การทำผลิตภัณฑ์อาหารผงสำเร็จรูป[11]

ผลิตภัณฑ์อาหารผงสำเร็จรูป (Instantized powder) ที่ดีจะต้องสามารถกระจายและละลายได้อย่างรวดเร็วในน้ำ การที่จะมีคุณสมบัติเช่นนี้ ผลิตภัณฑ์ผงจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับน้ำมาก
2. จมน้ำได้ดี
3. การแพร่กระจายของละลาย

คุณสมบัติการเปียก (wettability) ของอาหารผงนั้น ขึ้นกับพื้นที่ผิวทั้งหมดของอนุภาคและขึ้นกับคุณสมบัติของผิวหน้าของอนุภาค อาหารที่มีไขมันอยู่ที่ผิวหน้าของอนุภาคจะทำให้ผิวหน้ามีสภาพขั้วสำหรับการจับตัวกับของเหลว หรือของเหลวกับของแข็งไม่เพียงพอ วิธีการแก้ไขอาจทำได้โดยการเติมสารลดแรงตึงผิว เช่น เลกซิทินส์ (lecithins) หรือเติมสารเพิ่มความเปียก แต่ว่าสารนี้อาจจะทำให้คุณสมบัติของอาหารเปลี่ยนแปลงไป

ผลิตภัณฑ์ชนิดรวมกลุ่มเป็นก้อนที่มีลักษณะรูพรุน (agglomerate) เกิดจากการรวมตัวของแต่ละอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ การจับตัวของแต่ละอนุภาคนั้นจะสัมผัสกันน้อยมาก ทั้งนี้เพื่อให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำมากนั่นเอง อนุภาคที่มารวมตัวนี้ค่อนข้างคงตัวพอที่จะไม่จับกันเป็นก้อนเมื่อถูกกับของเหลว และอนุภาคจะแตกตัวออกจากกันหลังจากแต่ละอนุภาคได้ดูดซับของเหลวอย่างทั่วถึงแล้วเท่านั้น

ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้มักผลิตโดยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยแล้วนำมาทำให้เปียกใหม่ขั้นตอนการทำให้เปียกใหม่นี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่จะต้องควบคุมให้ดี ปริมาณความชื้นที่แน่นอนขึ้นกับชนิดของอาหาร ปริมาณความชื้นและขนาดของอนุภาคจะมีผลต่อการคืนรูปของผง และปัจจัยของปริมาณความชื้นยังมีผลต่อคุณสมบัติอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์ เช่น ความหนาแน่นทั้งหมดและความพรุนของผลิตภัณฑ์

2.2.2.1 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์กล้วยผง[3]

คุณภาพโดยทั่วไปของผลิตภัณฑ์กล้วยผง จะมีสีออกเหลือง ขนาดของอนุภาคใหญ่เล็กตามวิธีการอบแห้ง เช่น การทำแห้งแบบโฟมและแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกขนาดของอนุภาคกำหนดได้จากการบด การทำแห้งแบบพ่นฝอย ผงที่ได้จะมีขนาดเล็กละเอียด เป็นต้น กลิ่นของกล้วยผงมีกลิ่นใกล้เคียงกับกล้วยสด

อาจมีการใช้มอลโตเด็กซ์ติน(maltodextrin) เพื่อช่วยในการทำแห้งและรักษากลิ่นกล้วย ให้ใกล้เคียงกล้วยสดมากที่สุด แต่จะมีผลทำให้ผงที่ได้มีสีเหลืองน้อยลง การทำให้ผงของกล้วยมีสีสวยอาจใช้หางนมผงช่วยในการทำแห้ง(แบบพ่นฝอย) ผลเสียที่ตามมาคือ มีกลิ่นของนมผงปนอยู่และเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต แต่จะช่วยทางด้านคุณค่าทางสารอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเลือกกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะพิจารณาด้านต้นทุนการผลิต ความสะดวกในทางปฏิบัติและวัตถุประสงค์ของการนำกล้วยผงที่ได้ไปใช้ในทางอุตสาหกรรม

2.3 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

- ในปี 1968 Mamuro และ Hattori[12] ได้พยายามหาแนวเส้นของความเร็วในเบดของเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดที่มีความสูงต่าง ๆ กัน เบดที่ใช้ประกอบด้วยข้าวสาลี หอทดลองขนาด 15 ซม. ออริฟิดขนาด 1.4 ซม. มุมที่กรวย 60^0 ความลึกของห้องอบแห้ง 33 ซม. ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากการหาแนวเส้นของความเร็วในเบดที่ความสูงต่างๆ กัน จะสรุปได้ว่า ความเร็วของก๊าซในสเปาท์ลดลงตามความสูงของเบดในบริเวณรอบ ๆ จะมีความเร็วตรงข้ามกับบริเวณสเปาท์ กล่าวคือ ความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้นตามความสูงของเบดที่เพิ่มขึ้น

-ในปี 1969 Minchev และคณะ[13] ได้ทดลองใช้วัตถุดิบป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย พบว่า อิทธิพลสำคัญที่มีผลต่อความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ คือ อุณหภูมิลมร้อนทางออก ส่วนอุณหภูมิลมร้อนทางเข้า อัตราการไหลของลมร้อนและมวลของอนุภาคเฉื่อยจะไม่มีผล

- ในปี 1978 Polotmikova และคณะ[14] ศึกษากระบวนการอบแห้งวัตถุดิบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบวอร์เทคเบด พบว่า อุณหภูมิลมร้อนทางออกมีอิทธิพลมากที่สุดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าและทางออกที่ใช้สำหรับวัตถุดิบมีค่า 200^0C และ 100^0C ตามลำดับ ลมร้อนที่ทางเข้ามีความเร็ว 65 ถึง 70 m/s ความเข้มข้นของวัตถุดิบที่ป้อนเข้ามี 15-20% โดยมวล อัตราการระเหยต่อหน่วยปริมาตรเท่ากับ 160 kg/m^3h และใช้ความร้อนเท่ากับ 3800 KJ/Kg

- ในปี 1980 Ormos[15] ได้ศึกษา กระบวนการอบแห้งที่มีการโม่ด้วย โดยพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดสำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะคล้ายแป้งเปียกที่เป็นของเหลวมีความข้น โดยมีอุปกรณ์ช่วยกวนและห้องอบแห้งที่หมุนวน ซึ่งกระบวนการนี้เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับกระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด

ปัจจัยสำคัญของการพัฒนากระบวนการคือวัสดุคล้ายแป้งเปียกหรือของเหลวข้นที่ป้อนเข้าสู่ฟลูอิไดซ์เบดของอนุภาคเฉื่อย วัตถุดิบที่เปียกจะเคลือบผิวของอนุภาคเฉื่อยจากนั้นความชื้นที่มีอยู่จะลดลงอย่างรวดเร็ว การเพิ่มอัตราการทำแห้งทำได้โดย ใช้ก๊าซหรือลมร้อนเป็นตัวจ่ายความร้อน สำหรับชั้นของวัสดุที่ปกคลุมอนุภาคเฉื่อยเมื่อแห้งแล้วจะกลายเป็นผงหลุดปลิวออกไปพร้อมกับลมร้อน ความชื้นจะถูกไล่ออกไปพร้อมกับลมร้อน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการนี้เป็นประโยชน์และเหมาะสำหรับเปียกการอบแห้งวัสดุที่คล้ายแป้งมากที่สุด เมื่อเทียบกับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งแบบถาด ซึ่งการอบแห้งแบบถาดนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จับตัวเป็นก้อนและการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีปัญหาในด้านการป้อนวัตถุดิบ

-ในปี 1984 Kushakovaและคณะ[16] พบว่าอุตสาหกรรมในสหภาพโซเวียต(ชื่อเดิม) มากกว่า 40% ใช้การทำแห้งแบบวิธีสเปาท์เบดโดยนำอนุภาคเฉื่อยเข้าร่วมด้วย ซึ่งอนุภาคเฉื่อยที่ใช้ในเบดคือเทฟลอน

- ในปี 1989 Szentmarjay และคณะ[17] ได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย โดยให้ลมร้อนที่เข้าไปในห้องอบแห้งมีทิศสัมผัสกับเส้นรอบวงของห้องอบแห้ง ทำให้เกิดการไหลเวียนของอนุภาคเฉื่อย การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาผลของการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

-ในปี 1993 Szentmarjay และคณะ[18] ทดลองเครื่องสเปาท์เบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย ได้ค้นพบกระบวนการที่ต่อเนื่องกันและแทนที่กัน เป็นลำดับขั้นถึง 3 ขั้น ในระหว่างการอบแห้งสารแขวนลอย,เจลและวัตถุดิบที่มีลักษณะคล้ายแป้งเปียกบนอนุภาคเฉื่อย

ทั้ง 3 ขั้นตอนมีดังนี้

1. การป้อนวัตถุดิบที่เปียกและการกระจายไปบนพื้นผิวของอนุภาคเฉื่อยด้วยสภาวะคงตัว
2. การอบแห้งวัตถุดิบที่ปกคลุมอนุภาคเฉื่อย
3. การเป่าเอาวัตถุดิบที่ออกเป็นผง

-ในปี 1994 Szentmarjay และคณะ[19] ทดสอบเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อยพบว่า ถ้าอัตราส่วน H/D_c มีค่าสูงมากช่องว่างภายในเบดจะมาก ส่งผลให้บทบาทของอนุภาคเฉื่อยที่ช่วยในการอบแห้งลดลง ดังนั้นควรลดช่องว่างภายในเบดโดยการลดค่า H/D_c ประสิทธิภาพการอบแห้งจะสูงสุดที่อัตราส่วนระหว่างความสูงกับเส้นผ่าศูนย์กลางของเบดต่ำสุด(H/D_c= 1.4)

-ในปี 1995 Jindal และ Hai [20] ได้ออกแบบ,สร้างและทดสอบการทำแห้งของเหลวโดยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย โดยการใช้น้ำผลไม้ชนิดต่างๆกัน ลูกทรงกลมที่ใช้ทำจากเทฟลอนใช้ในการฟอร์มตัว โดยให้วัสดุเหลวเกาะที่ผิวหน้าของลูกทรงกลม ถูกทำให้โดยลมร้อน วัตถุที่แห้งจะถูกกระแสลมร้อนพัดให้ปลิวออกจากผิวของลูกทรงกลม การหมุนของลูกทรงกลมนั้นต้องการความเร็วของกระแสลมร้อนสูง ทำให้ความดันของระบบสูง มวลของลูกทรงกลมมีผลโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ รวมไปถึง พื้นที่ผิวสัมผัส อุณหภูมิทางเข้าและทางออกของลมร้อนและอัตราการป้อนเข้าของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย

เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญ (ดูรูปที่ 3.1) ดังนี้

1) ห้องอบแห้ง

ลักษณะและขนาดแสดงดังรูปที่ 3.2 โครงสร้างประกอบด้วยแผ่นเหล็กสเตนเลสส่วนล่างของห้องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นกรวย ระหว่างผนังห้องแนวตั้งกับผนังห้องที่ทำมุม 60 องศากับแนวระดับ

2) เครื่องพัดลม

เครื่องพัดลมใช้ขนาดความจุมากที่สุด เท่ากับ 10 m^3/min มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า

3) ชุดอุปกรณ์ทำความร้อนประกอบด้วย ชุดควบคุมและขดลวดไฟฟ้า

4) ไซโคลน

5) หัวฉีด สำหรับป้อนของเหลว

6) หัวฉีด สำหรับลมออก

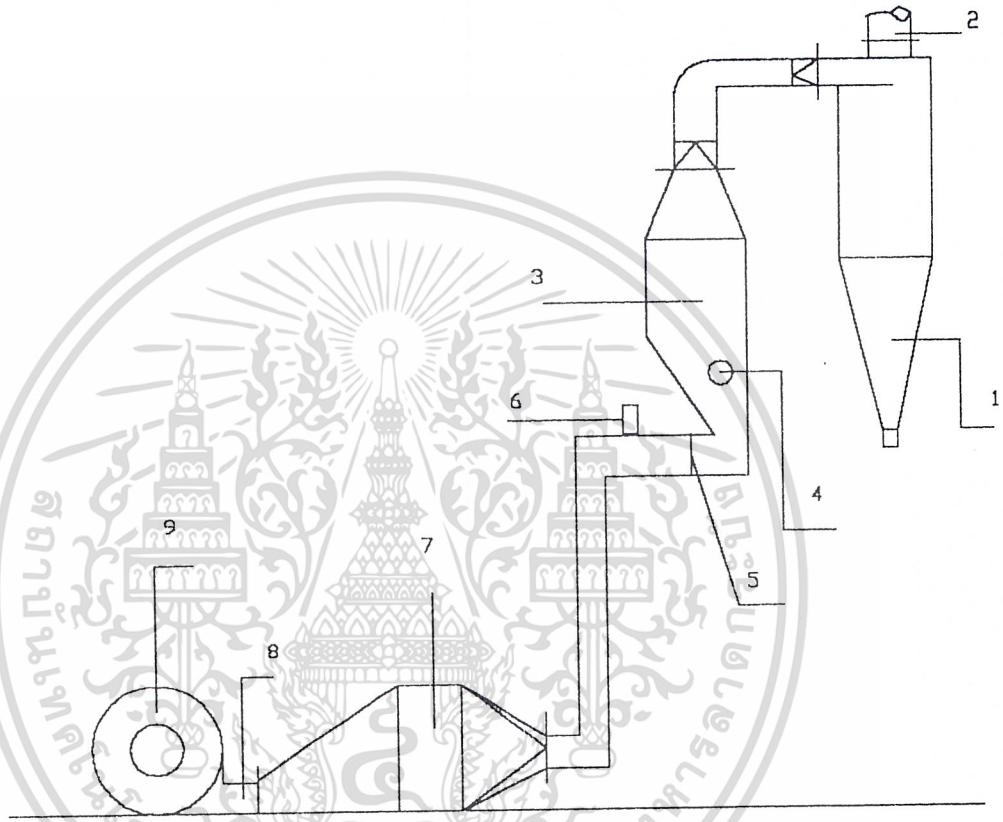
7) อนุภาคเฉื่อย

ใช้เทฟลอน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 0.4x0.5x0.5 m^3 จำนวน 0.8 kg มีความหนาแน่นโดยมวลเท่ากับ 2200 kg/m^3 คุณลักษณะของเทฟลอน คือสามารถใช้ในอุณหภูมิที่สูงได้เนื่องจากเป็นอนุภาคเฉื่อยและมีคุณสมบัติไม่ยึดติดระหว่างผิวกันและกัน

การติดตั้งค่าต่าง ๆ ของเครื่องเริ่มจากเมื่อมีวัตถุดิบเหลวป้อนเข้ามาจะถูกส่งเข้าไปในห้องอบแห้งด้วยปั๊มลม โดยที่การทำงานของปั๊มลมจะสัมพันธ์กับการใช้อัตราการไหลของลมที่ความดันสูง ซึ่งมีปั๊มลมเป็นตัวจ่าย ความดันของลมนี้สามารถปรับค่าได้ถึง 3 kg/cm^2ส่วนการควบคุมอัตราการไหลของวัตถุดิบสามารถทำได้โดยปรับค่าความดัน อัตราการไหลของลมใช้อินเวอร์เตอร์ ควบคุมความถี่ที่ป้อนให้กับ พัดลม ซึ่งเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของลม

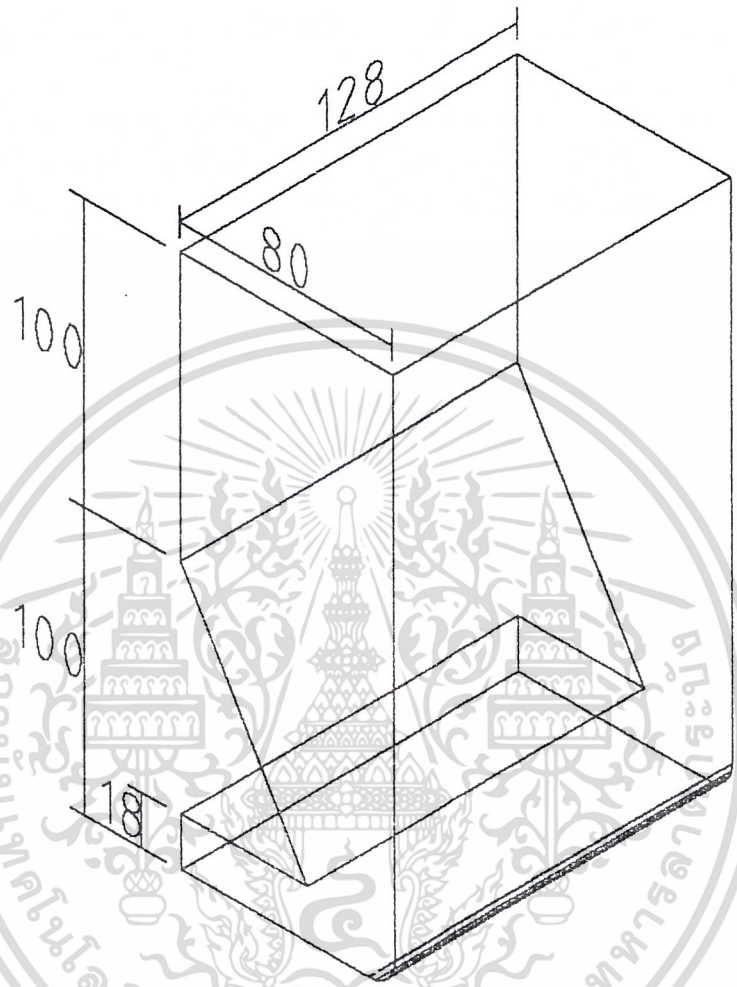
สำหรับอุณหภูมิทำการวัดที่ทางเข้าของลม และทางออกของลมวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

รูปที่ 3.1 ภาพฉายด้านหน้าของเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด



: หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 3.2 ห้องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้หาคุณสมบัติของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์

1) เครื่องวัดสี (Hunter's Colorimeter model CR-200 ของ Minolta)
2) แผนภาพแสดงช่วงระยะการสุกของกล้วยหอมตามดัชนีวัดสีเปลือก (Peel Color Index) [ภาคผนวก ก]
3) เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Hand Refractometer)
4) เครื่องแยก (Finisher)

3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

3.2.1 การคัดเลือกกล้วย[3]

ใช้กล้วยหอมที่ช่วงระยะการสุกตามดัชนีสีเปลือก(Peel Color Index) ของ CSIRO (1973)[ภาคผนวก ก] โดยการเทียบสีของเปลือกกล้วยกับแผนภาพ ใช้ค่า PCI ที่ระดับ 5-6 ซึ่งที่ PCI ระดับ 5 เมื่อเทียบกับการวัดสีจาก Mulsell Book จะได้ 7.5Y/8.5/12 ซึ่งที่ PCIระดับ 6 เมื่อเทียบกับการวัดสีจาก Mulsell Book จะได้ 5.0Y/8.5/12

3.2.2 ขั้นตอนการทำกล้วยบด[3]

นำกล้วยหอมที่ช่วงระยะการสุกตามดัชนีสีเปลือก(Peel Color Index) ของ CSIRO (1973) ที่ระดับ PCI 5-6 ปอกเปลือก หั่นเนื้อกล้วยเป็นแว่นหนา 1 นิ้ว แช่ในน้ำเกลือ ความเข้มข้นร้อยละ 2 (อัตราส่วนกล้วยต่อน้ำเกลือเป็น 1 ต่อ 4) ลวกกล้วยในน้ำเดือดจนอุณหภูมิใจกลางกล้วยเป็น 85 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที จากนั้นแช่ในน้ำเย็นจนอุณหภูมิใจกลางกล้วยลดลงเหลือ 38 องศาเซลเซียส ผึ่งกล้วยบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำกล้วยลวกไปแยกเยื่อใยและเมล็ดด้วยเครื่องแยก(Finisher)จากนั้น นำมาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(total soluble solids) ด้วยเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์(Refractometer) และวิเคราะห์ปริมาณความชื้น[ภาคผนวก ข]

3.3 วิธีการทดลอง

กระบวนการทำแห้งกล้วยผง มีดังนี้

1) นำกล้วยบด(banana puree)ที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด
2) ผสมน้ำกับกล้วยบดให้มีความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 8%, 10% และ 15%
3) เปิดสวิตช์การทำงานของเครื่องเป่าลม, ชุดอุปกรณ์ทำความร้อน และเครื่องปั๊มลม ปรับค่าอัตราการไหลและอุณหภูมิลมร้อนตามที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(อัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ทดลองมี 3 ระดับ คือ 5.19,5.81 และ 6.09 m^3/min อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับ คือ 100, 110 และ 120 ^{0}C)
เครื่องจะทำงานโดยปราศจากการป้อนวัตถุดิบ จนกระทั่งอยู่ในสภาวะคงที่ (steady state) จึงทำการป้อนวัตถุดิบเข้าห้องอบแห้ง

4) ตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบโดยการปรับค่าความดันที่เครื่องอัดลมร้อนให้สัมพันธ์กับอุณหภูมิของลมร้อน เมื่อสิ้นสุดการป้อนวัตถุดิบ เครื่องทำแห้งยังคงทำงานต่อไปโดยใช้น้ำแทนวัตถุดิบ เพื่อเป็นการทำความสะอาดพื้นผิวของอนุภาคเฉื่อยและผนังภายในของห้องอบแห้ง
5) หลังสิ้นสุดการทำแห้ง เครื่องจะหยุดการทำงาน ตามลำดับ ดังนี้ ปิดสวิตซ์ปั๊มลม หลังจากนั้นปิดสวิตซ์ ชุดอุปกรณ์ทำความร้อน เมื่ออุณหภูมิทางเข้าของลมร้อน ประมาณ 50 ^{0}C จึงปิดสวิตซ์ เครื่องพัดลม
6) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ที่ส่วนรองรับซึ่งต่อจากไซโคลน
7) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและคุณสมบัติอื่นๆ

โดยมีปัจจัยและระดับที่ใช้ศึกษา ดังนี้

ก. ปริมาณลมร้อน 3 ระดับ คือ 5.19 m^3/min , 5.81 m^3/min, 6.09 m^3/min
ข. อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 100 ^{0}c , 110 ^{0}c , 120^{0}c
ค. ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 8 % , 10% , 15%(%ของแข็งของกล้วยบด

3.4 เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยมวล[4]

ในแต่ละการทดลองจะวัดปริมาณผงที่ได้จาก อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน

$$\text{เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์}}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน}} * 100 \quad \ldots(3.1)$$

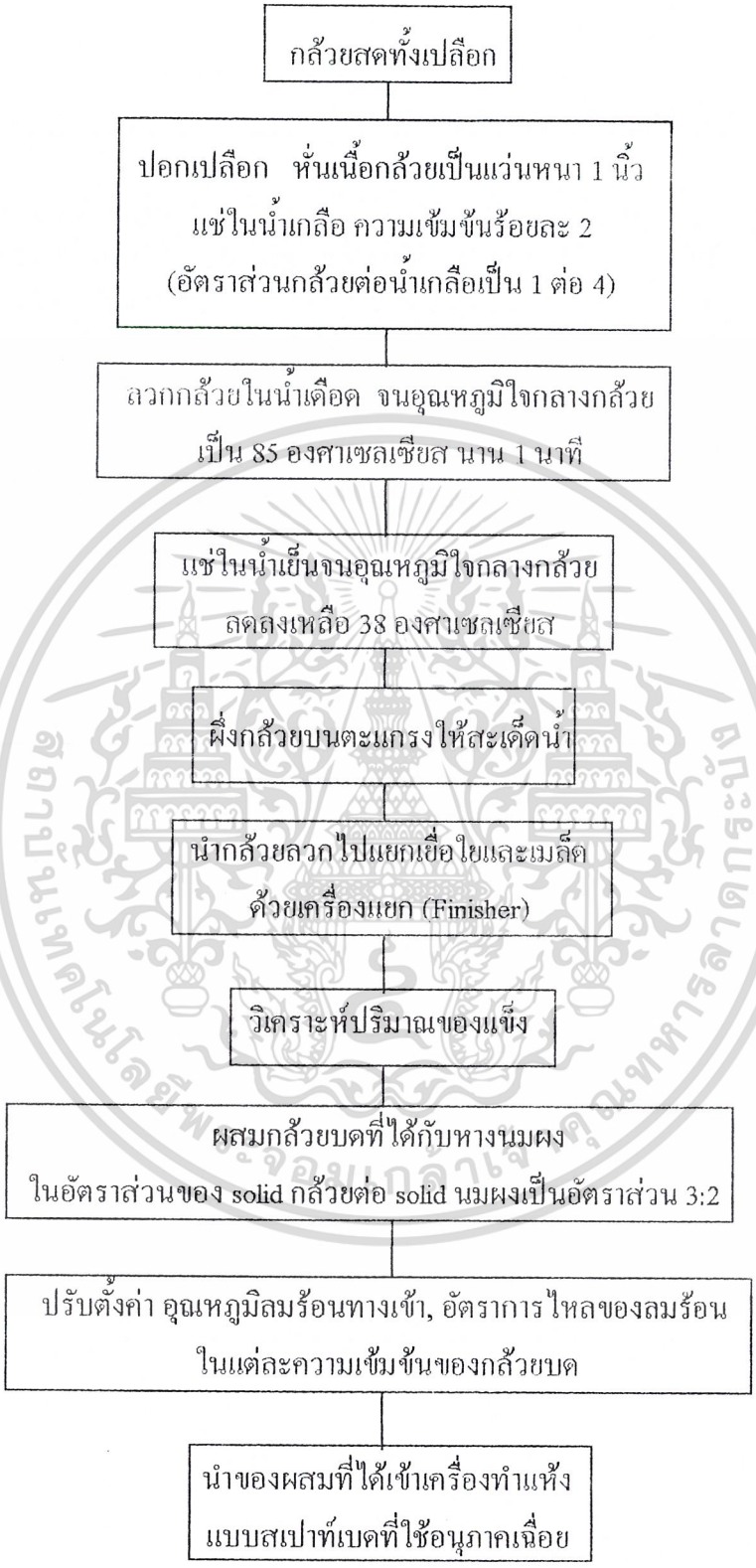
3.5 ศึกษาลักษณะของผนังอบแห้ง

โดยการสังเกตลักษณะของผนังอบแห้งที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ กัน

3.6 ศึกษาการเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอน

โดยการสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอนที่สภาวะการทดลองต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.3 กระบวนการผลิตกล้วยผง โดยการทำแห้งแบบสเปาท์เบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การคำนวณหาการใช้ประโยชน์ทางความร้อน[4]

การใช้ประโยชน์ทางความร้อน $= (Ta_1 - Ta_2)*100/(Ta_1-T_0)$ .....(3.2)

โดยที่ T_0 = อุณหภูมิห้อง

Ta_1 = อุณหภูมิขาเข้าของห้องอบแห้ง

Ta_2 = อุณหภูมิขาออกของห้องอบแห้ง

(ภาคผนวก ง)

3.8 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้ง[5]

$$hA(\Delta T)_{ln} = m\lambda \quad \text{.....(3.3)}$$

(ภาคผนวก ง)

3.9 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์

3.9.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของกล้วยบด

วัดด้วยแฮนด์ รีแฟรกโตมิเตอร์ (Hand Refractometer) โดยคั้นน้ำจากกล้วยบดแล้วอ่านค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ เป็นองศาบริกซ์

3.9.2 ปริมาณความชื้นของกล้วยบดและกล้วยผง[21]

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ดังภาคผนวก ข

3.9.3 วัดสีของกล้วยผง[21]

วัดโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter's Colorimeter)

3.10 วิเคราะห์ผลของตัวพา(หางนมผง)ที่มีต่อผลิตภัณฑ์

3.11 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบ ANOVA (Comparing k sample Mean by Analysis of variance) โดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD 3 กรรมวิธี ×3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีโดยวิธีค่าความแตกต่างน้อยสุดที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Least – Significant different,LSD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)

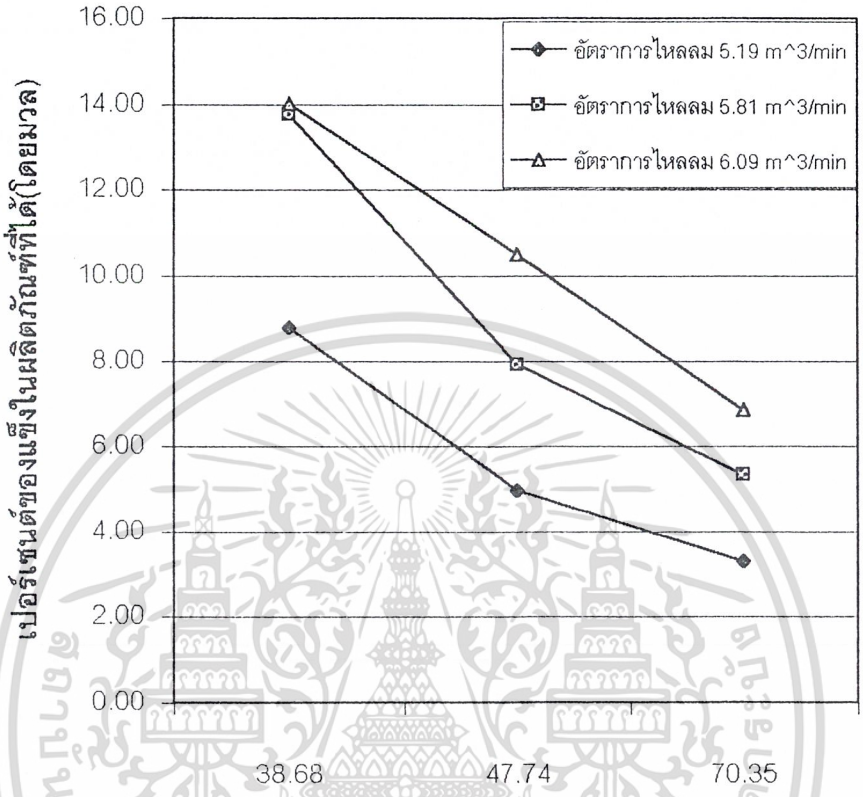
เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)ในการทดลองนี้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.1,4.2และรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้ (โดยมวล)กับปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่อัตราการไหลลมร้อนต่างๆกัน

ตารางที่4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)กับปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่อัตราการไหลลมร้อนต่างๆกัน

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบ (กรัม)/300 (มล.)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ (กรัม)ที่อัตราการไหลลมระดับต่างๆ			เปอร์เซ็นต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้ (โดยมวล)ที่อัตราการไหลลมระดับต่างๆ		
		Q1 =5.19 M^3/min	Q2=5.81 M^3/min	Q3=6.09 M^3/min	Q1 =5.19 M^3/min	Q2=5.81 M^3/min	Q3=6.09 M^3/min
100	38.68	3.39	5.32	5.42	8.78	13.76	14.01
	47.74	2.37	3.78	5.01	4.96	7.92	10.49
	70.35	2.31	3.75	4.83	3.29	5.33	6.86
110	38.68	2.59	3.51	3.61	6.70	9.09	9.34
	47.74	2.29	2.95	3.29	4.79	6.19	6.89
	70.35	2.26	2.92	3.06	3.22	4.14	4.35
120	38.68	2.53	3.30	3.40	6.53	8.53	8.79
	47.74	2.21	2.92	3.05	4.63	6.11	6.38
	70.35	2.17	2.74	2.96	3.08	3.89	4.21

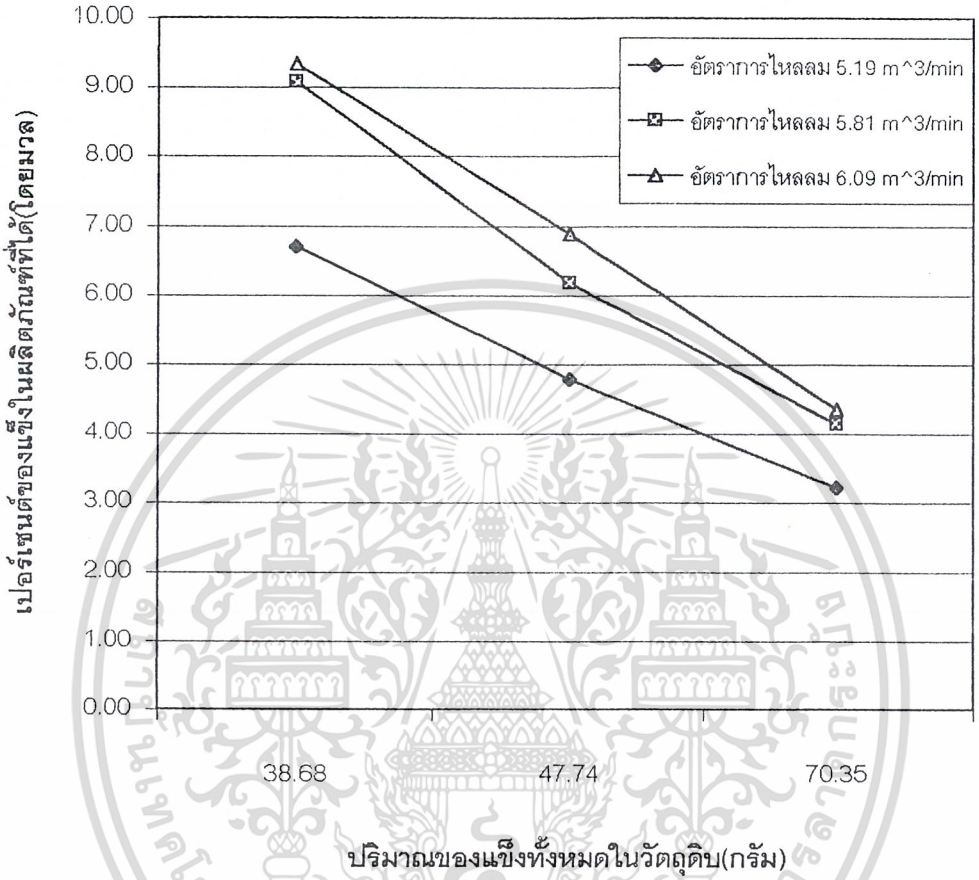
พิจารณากราฟได้ว่า เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบเพิ่มขึ้นเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)ลดลง เนื่องจากปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นจะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย(ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดของกล้วยแปรผันโดยตรงกับปริมาณน้ำตาลในกล้วย)ทำให้มีปัญหาการเกาะติดที่ผนังภายในห้องอบแห้ง จึงทำให้ยากในการที่จะทำให้วัตถุดิบที่แห้งแล้วหลุดปลิวออกมา และเมื่ออัตราการไหลของลมร้อนเพิ่มขึ้นเปอร์เซนต์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



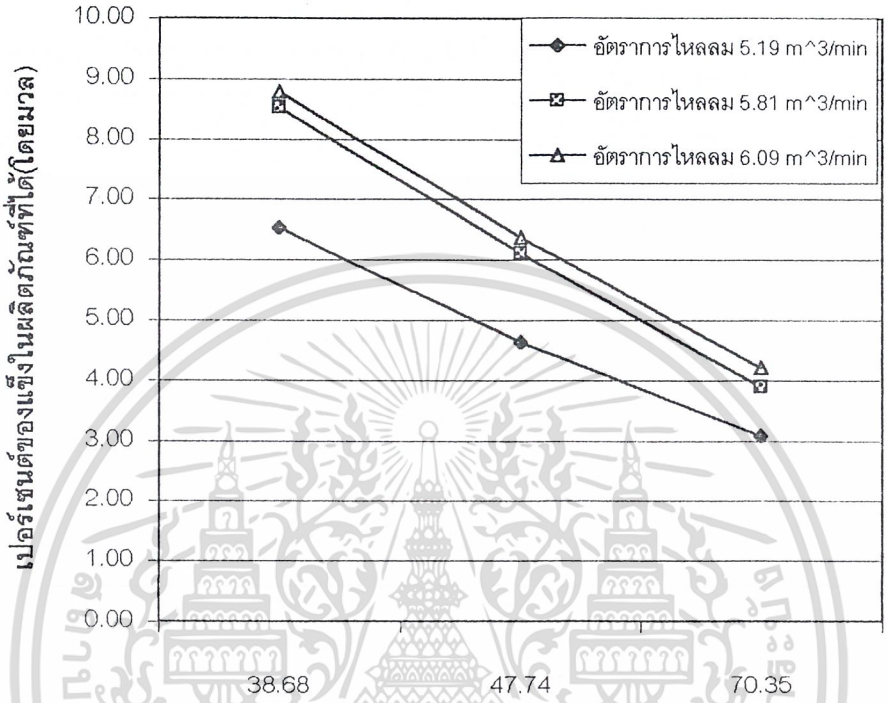
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้ (โดยมวล)กับปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้ (โดยมวล)กับปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้ (โดยมวล)กับปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล) จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจาก วัตถุดิบมีความชื้นน้อยลงและเกิดการไหลวนของเม็ดเทฟลอนเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการปะทะ ขัดสีกันมากขึ้น จนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งหลุดปลิวออกมาได้ง่ายขึ้น

ที่อัตราการไหลของลมต่ำสุดคือ 5.19 m^3/min เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)จะน้อย เพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้เกาะติดกับผนังห้องอบแห้ง เนื่องจากการเคลื่อนที่ไม่รุนแรงและช้าของเม็ดเทฟลอน ที่อัตราการไหลของลมเท่ากับ 5.81 m^3/min เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)จะมีค่าสูงขึ้น ที่อัตราการไหลของลมเท่ากับ 6.09 m^3/min เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)จะมีค่าสูงสุด เนื่องจากไหลของลมที่สูงขึ้นจะทำให้การไหลวนของเม็ดเทฟลอนเพิ่มขึ้นเกิดการปะทะกัน ระหว่างเม็ดและขัดสีกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งคลุมผิวหน้าของเม็ดเทฟลอนหลุดปลิวออกมาได้

4.2 ลักษณะของผนังห้องอบแห้ง

พิจารณาถึงสภาวะของผนังห้องอบแห้งที่มีการทำงานแตกต่างกันตามการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่อัตราการไหลของลมต่ำสุด 5.19 m^3/min ผนังของห้องอบแห้งจะมีลักษณะเปียก ผลิตภัณฑ์ติดแน่นที่ผนังห้อง และวัตถุดิบแห้งเกาะเป็นชั้นหนา ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอนไม่รุนแรง ช้า การปะทะชนกันระหว่างเม็ดเทฟลอนกับผนังห้องอบแห้งไม่รุนแรง เป็นผลทำให้ ผลิตภัณฑ์แห้งที่ติดผนังไม่สามารถหลุดออกมาได้และจะยังคงเคลือบเป็นชั้นหนาๆต่อไป ส่วนที่อัตราการไหลของลมร้อน 5.81 และ 6.09 m^3/min ความเร็วของลมร้อนเพียงพอที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนและชนปะทะระหว่างกันของเม็ดเทฟลอน ทำให้แทบไม่มีวัตถุดิบแห้งเกาะติดที่ผนังห้องอบแห้ง

4.3 การเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอน

การเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอนในห้องอบแห้ง มีอิทธิพลอย่างมากต่อผลการทดลอง เม็ดเทฟลอนที่เคลื่อนที่ช้า เบา จะทำให้ ตัวเม็ดอยู่บริเวณส่วนล่างของห้องอบแห้งอย่างหนาแน่น จึงทำให้การสัมผัสกันระหว่างพื้นที่ผิวลดลง ทำให้วัตถุดิบเปียกไปเกาะติดผนังห้องแทนที่จะเกาะเม็ดเทฟลอน ผนังห้องอบแห้งจะเปียก และทำให้เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)ที่ได้ลดน้อยลง

ที่อัตราการไหลลมต่ำ การเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอนจะช้าและเบาทำให้เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)ต่ำ การเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอนที่ช้าและเบา จะส่งผลให้เกิดการพอกเป็นชั้นหนาๆ ของวัตถุดิบที่เม็ดเทฟลอน การเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอนที่รุนแรง และปล่อยให้อยู่ในสภาวะคงตัว ในพื้นที่หน้าตัดห้องอบแห้ง จะทำให้เกิดการสัมผัสกันมากขึ้น และวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ป้อนเข้ามาจะเคลือบปกคลุมทั่วทั้งพื้นผิวของเม็ดเทฟลอน การเคลื่อนที่ของเม็ดเทฟลอนที่รุนแรงจะสามารถปะทะ ขัดสี ทำให้วัตถุดิบที่แห้งติดเม็ดเทฟลอนหลุดปลิวออกได้ง่าย

จุดสำคัญอยู่ตรงที่ว่า ถ้าอัตราการไหลของลมสูงจะส่งผลให้เม็ดเทฟลอน เคลื่อนที่และยกตัวอย่างทั่วถึงตลอดพื้นที่หน้าตัดของห้องอบแห้ง และพื้นที่ผิวสัมผัสสุทธิการห้องอบแห้ง

4.4 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพ (ความชื้น,ความสว่าง,ความเป็นสีเหลือง)ของกล้วยผง โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ two- way analysis of varience และ Least-Significant Different (LSD)

4.4.1 ผลของปัจจัย(อัตราการไหลของลมร้อน,อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและความเข้มข้น)ที่มีต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์

ค่าปริมาณความชื้นโดยพิจารณาอัตราการไหลของลมร้อน,อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ ดังแสดงในภาคผนวก ค

จากค่าปริมาณความชื้น นำมาคำนวณด้วยคำสั่ง วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง พบว่า อัตราการไหลของลมร้อนมีผลต่อปริมาณความชื้นของกล้วยผง

4.4.1.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความชื้นที่อัตราการไหลของลมร้อนต่าง ๆ

โดยวิธีค่าความแตกต่างน้อยสุดที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญโดยกำหนดให้ระดับความเชื่อมั่น 95%

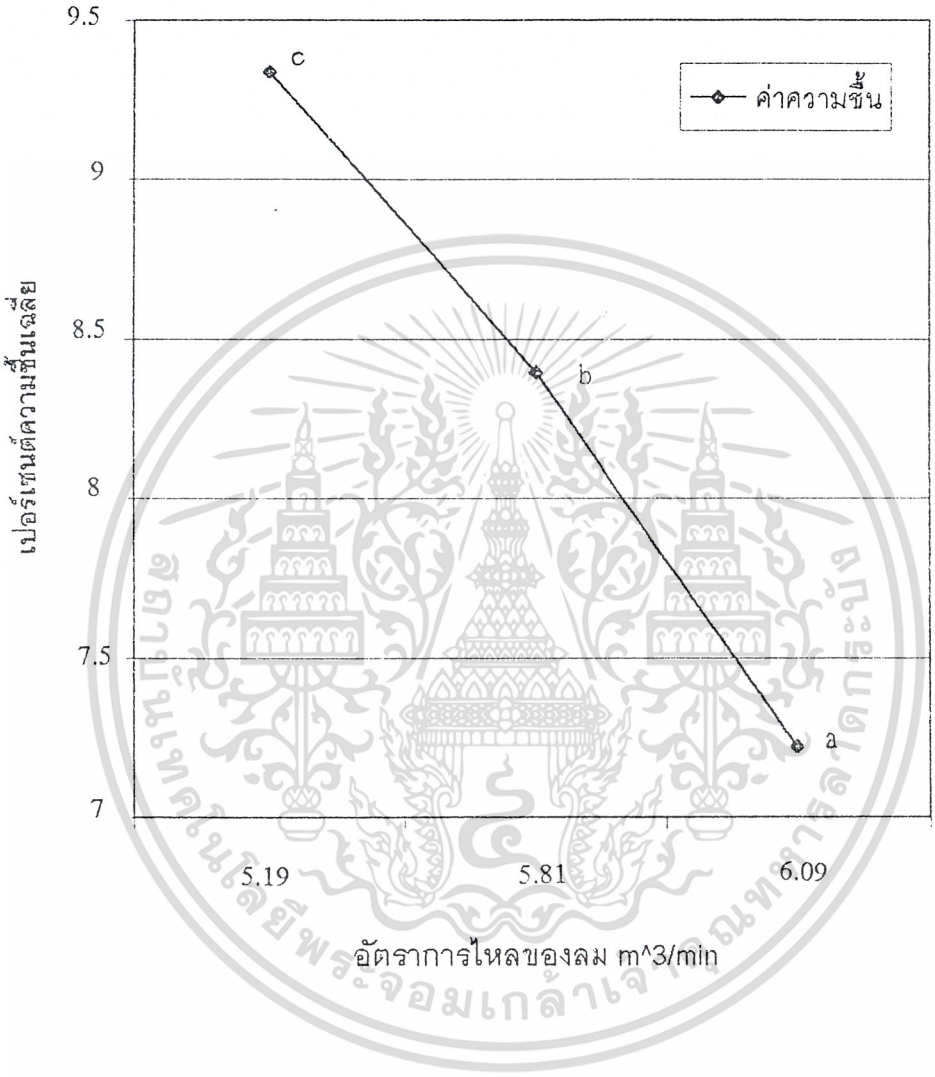
พบว่า ที่อัตราการไหลของลมร้อนต่างกัน มีผลต่อปริมาณความชื้นของกล้วยผง โดยที่อัตราการไหลของลมร้อน 5.19 m^3/min , 5.81 m^3/min และ 6.09 m^3/min ค่าปริมาณความชื้นของกล้วยผงมีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4.2 ค่าเปอร์เซนต์ความชื้นเฉลี่ยที่อัตราการไหลของลมร้อนต่างๆ กัน

อัตราการไหลของลมร้อน (m^3/min)	ค่าเปอร์เซนต์ความชื้นเฉลี่ย *
5.19	9.3396^{c}
5.81	8.3963^{b}
6.09	7.2215^{a}

*ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซนต์ความชื้นเฉลี่ย
กับอัตราการไหลของลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.2 สามารถแสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซนต์ความชื้นเฉลี่ยและอัตราการไหลของลมร้อนได้ดังรูปที่ 4.4

การเพิ่มอัตราการไหลของลมร้อน มีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกล่าวคือ เมื่อเพิ่มจาก 5.19 m^3/min เป็น 5.81m^3/minค่าความชื้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นจาก 9.3396 เป็น 8.3963 เป็นต้น

ที่อัตราการไหลของลมร้อน 6.09 m^3/min ให้ค่าปริมาณความชื้นต่ำสุดดังนั้นจึงเลือกที่ระดับอัตราการไหลของลมร้อนนี้

4.4.2 ผลของปัจจัย(อัตราการไหลของลมร้อน,อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและความเข้มข้น)ที่มีต่อค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์

ค่าความสว่างของกล้วยผงโดยพิจารณาอัตราการไหลของลมร้อน,อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ ดังแสดงในภาคผนวก ค

จากค่าความสว่าง นำมาคำนวณด้วยคำสั่ง วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง พบว่า ค่าความเข้มข้นและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อค่าความสว่างของกล้วยผง

4.4.2.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

โดยวิธีค่าความแตกต่างน้อยสุดที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญโดยกำหนดให้ระดับความเชื่อมั่น 95 %

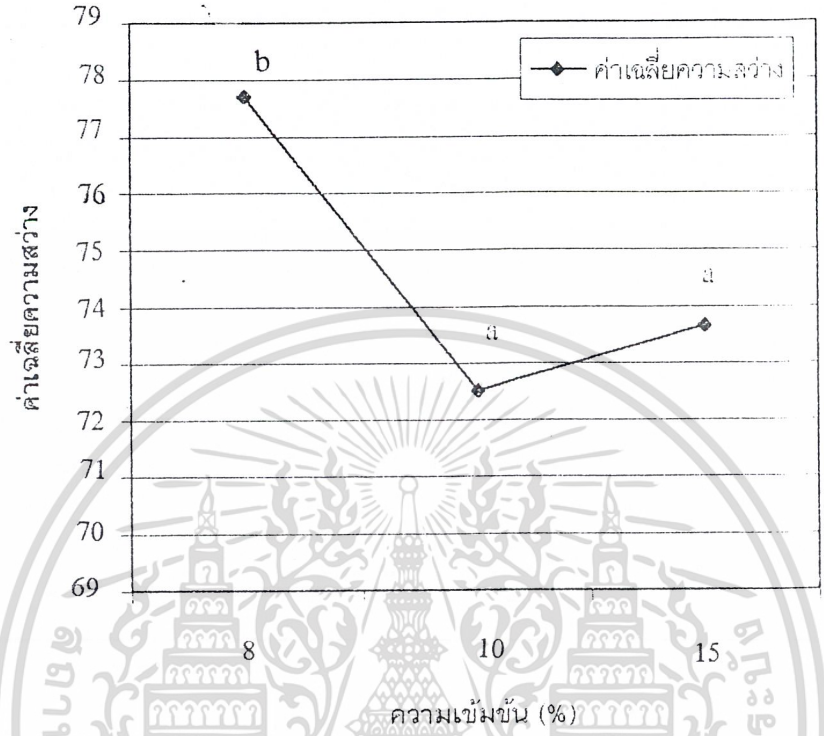
พบว่า ที่ความเข้มข้นต่างกัน มีผลต่อค่าความสว่างของกล้วยผง โดยที่ความเข้มข้น 10 และ 15 (%ของแข็งของกล้วยบด) ค่าความสว่างของกล้วยผงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนค่าความเข้มข้นที่ 8 (%ของแข็งของกล้วยบด) แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างที่ความเข้มข้น(%ของแข็งของกล้วยบด) ต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้น(%ของแข็งของกล้วยบด)	ค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง*
8	77.6987^b
10	72.5068^a
15	73.6587^a

*ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่าง
และความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.3 สามารถแสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยค่าความสว่างและความเข้มข้นได้ดังรูปที่ 4.5

การเพิ่มความเข้มข้น(%ของแข็งของกล้วยบด) มีผลทำให้ค่าความสว่างของกล้วยผงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มจาก 8 เป็น 10 (%ของกล้วยบด)ค่าเฉลี่ยความสว่างจะลดลงจาก 77.679 เป็น 72.5068 เป็นต้น

ที่ความเข้มข้น 8%ของแข็งของกล้วยบด ได้ค่าความสว่างมาก ดังนั้น จึงเลือกที่ระดับความเข้มข้นนี้

4.4.2.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนทางเข้าต่าง ๆ

ที่อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าต่างกัน มีผลต่อค่าความสว่างของกล้วยผง โดยที่ความอุณหภูมิลมร้อนทางเข้า 100 ^{0}C , 110 ^{0}C และ 120 ^{0}C ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างที่อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าต่างๆ กัน

อุณหภูมิลมร้อนทางเข้า (^{0}C)	ค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง*
100	80.9961^{c}
110	76.9313^{b}
120	65.9368^{a}

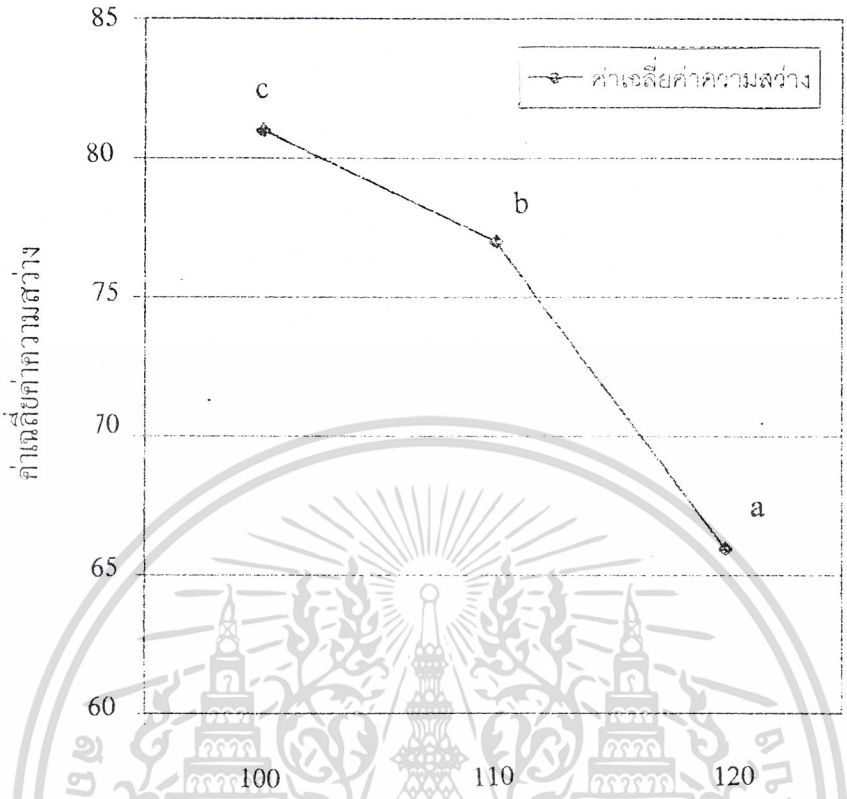
*ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.4 สามารถแสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยค่าความสว่างและอุณหภูมิลมร้อนทางเข้าได้ดังรูปที่ 4.6

การเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้ ค่าเฉลี่ยความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 100 เป็น 200 ^{0}C ค่าเฉลี่ยความสว่างลดลงจาก 80.9961 เป็น 76.9313

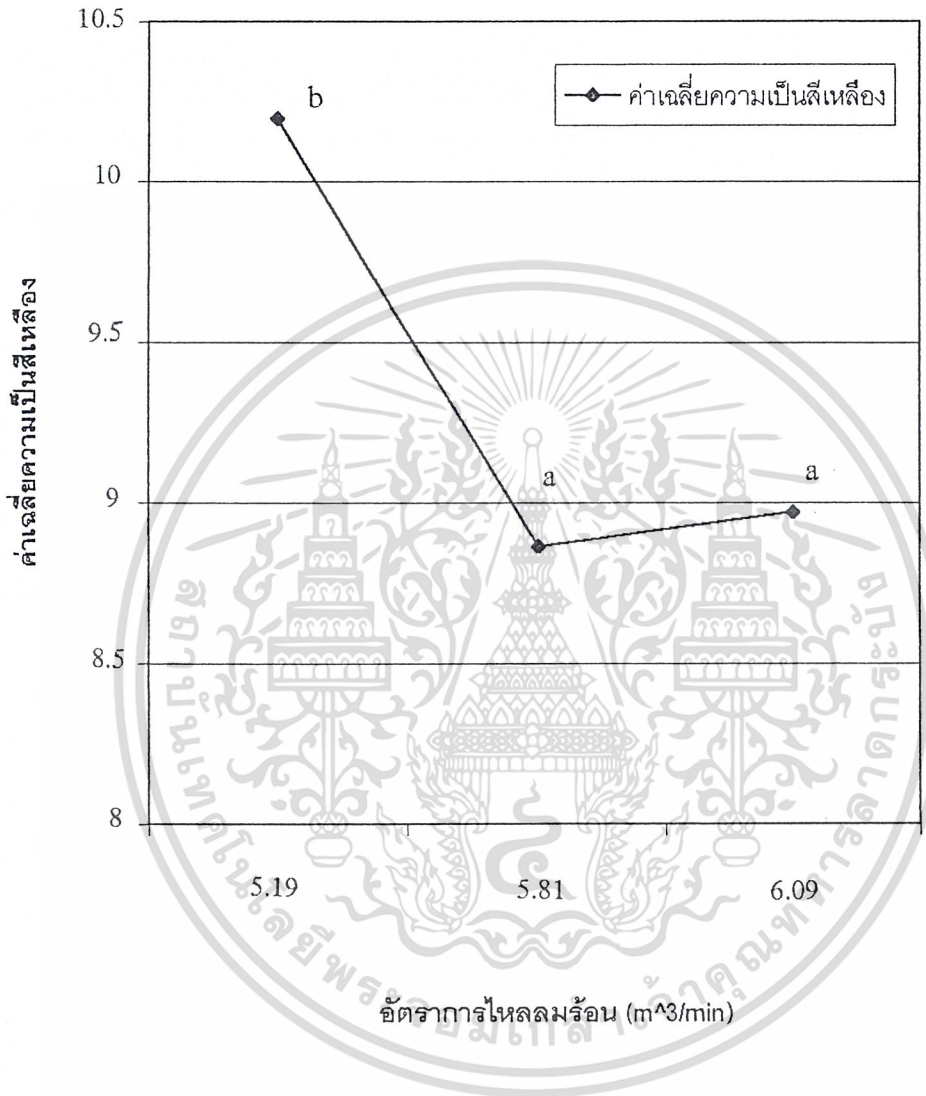
ที่อุณหภูมิลมร้อนทางเข้า 100 องศาเซลเซียส ให้ค่าความสว่างของกล้วยผงมากที่สุด ดังนั้น จึงเลือกที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนทางเข้านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง
กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลือง
กับอัตราการไหลลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลของปัจจัย(อัตราการไหลของลมร้อน,อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและความเข้มข้น)ที่มีต่อค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์

ค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยผงโดยพิจารณาอัตราการไหลของลมร้อน,อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ ดังแสดงในภาคผนวก ค

จากค่าความเป็นสีเหลือง นำมาคำนวณด้วยคำสั่ง วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง พบว่า อัตราการไหลของลมร้อน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยผง

4.4.3.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองที่อัตราการไหลของลมร้อนต่าง ๆ

โดยวิธีค่าความแตกต่างน้อยที่สุดที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดให้ระดับความเชื่อมั่น 95%

พบว่า ที่อัตราการไหลของลมร้อนต่างกัน มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยผง โดยที่ อัตราการไหลของลมร้อน 5.81 และ 6.09 m^3/min ค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยผงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนค่าอัตราการไหลของลมร้อนที่ 5.19 m^3/min แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลืองที่อัตราการไหลของลมร้อนต่างๆ กัน

อัตราการไหลของลมร้อน (m^3/min)	ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลือง*
5.19	10.1984^b
5.81	8.8634^a
6.09	8.9719^a

*ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.5 สามารถแสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลืองและอัตราการไหลของลมร้อนได้ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มอัตราการไหลของลมร้อนมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือเมื่อ เพิ่มความเร็วลมร้อน จาก 5.19 เป็น 5.81 ค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองลดลงจาก10.1984 เป็น 8.8634

ที่อัตราการไหลของลมร้อน 5.81 และ 6.09 m^3/min ไม่มีความแตกต่างกันในการให้ค่าความเป็นสีเหลืองอาจใช้ ที่ 5.81-6.09 m^3/min ได้

4.4.3.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองที่อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าต่าง ๆ

ที่อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าต่างกัน มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยผง โดยที่อุณหภูมิลมร้อนทางเข้า 100,110 และ 120 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลืองมีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลืองที่อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าต่างๆ กัน

อุณหภูมิลมร้อนทางเข้า (^{0}C)	ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลือง*
100	7.6450[a]
110	9.0419[b]
120	11.3469[c]

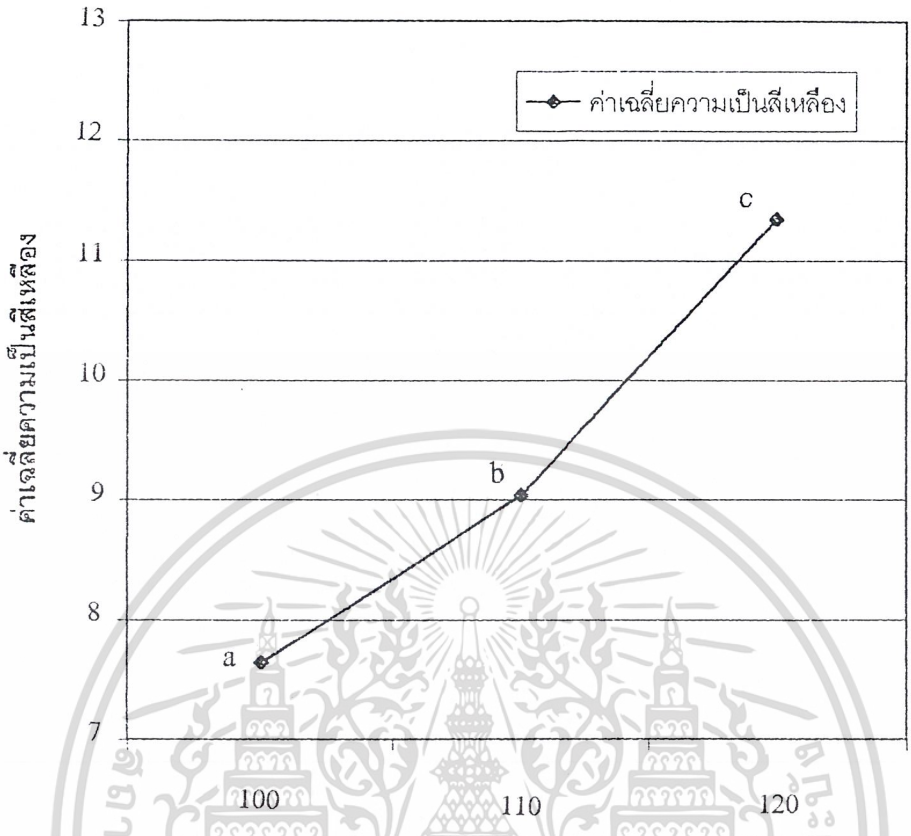
*ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลืองในตารางที่ 4.6 สามารถแสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลืองและอัตราการไหลของลมร้อนได้ดังรูปที่ 4.8

การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนทางเข้า มีผลทำให้ ค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิลมร้อนทางเข้าเพิ่มจาก 100 เป็น 110 ^{0}Cค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลืองจะเพิ่มจาก 7.6450 เป็น 9.0419

ที่อุณหภูมิลมร้อนทางเข้า 100 องศาเซลเซียสให้ค่าความเป็นสีเหลืองได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเป็นสีเหลือง
กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อน

จากการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ง ได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการอบแห้งโดยวิธีสเปาท์เท่ากับ 0.168 W/m^2k และค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อนเท่ากับ 18.31% จากการพิจารณาค่าความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้ได้เท่ากับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ต้องการเปรียบเทียบกับความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบ สำหรับการอบแห้งโดยวิธีสเปาท์เบดค่าความร้อนที่นำมาใช้ เกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างลมร้อนกับวัตถุดิบที่เคลือบอนุภาคเฉื่อย ปริมาณอนุภาคเฉื่อยในห้องอบแห้งมีผลต่อค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อน โดยที่ปริมาณอนุภาคเฉื่อยมากเกินไปทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสกับลมร้อนไม่ทั่วถึง ค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ได้จะต่ำ ถ้าปริมาณอนุภาคเฉื่อยน้อยเกินไป จะเกิดการสูญเสียลมร้อน

ที่ปริมาณอนุภาคเฉื่อยเหมาะสม และอัตราการไหลของลมร้อน,อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า, ความเข้มข้นในสภาวะที่เหมาะสม จะให้ค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง

4.6 การพิจารณาตัวพา(หางนมผง)ที่มีผลต่อคุณภาพของกล้วยผงที่ผลิตโดยวิธีสเปาท์เบด

กระบวนการผลิตกล้วยผงที่มีการผสมตัวพาซึ่งในการผลิตกล้วยผงครั้งนี้ใช้หางนมผงเป็นตัวพาจึงเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมด สิ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการป้อนของวัตถุดิบคือ เมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องมีการพิจารณาอัตราการป้อนให้มีแนวโน้มที่สูงขึ้นด้วยตามความเหมาะสม

กล้วยหอมผงมีคุณสมบัติดูดความชื้นกลับได้ดีมาก[3] เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลอยู่ในผงสูงมาก ทำให้เกิดปัญหาการเกาะติดที่บริเวณผนังภายในห้องอบแห้ง จึงได้มีการพิจารณาตัวพาเข้ามาแก้ปัญหาการเกาะติดที่บริเวณผนังภายในห้องอบแห้ง

แต่เนื่องจากหางนมผงมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นกลับได้ดี จึงทำให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์กล้วยผงที่ได้ค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาค่าสีของกล้วยผง พบว่า การใช้หางนมผงเป็นตัวพามีแนวโน้มทำให้กล้วยหอมผงมีสีเหลืองสว่างมาก เนื่องจากมีสีของนมผงเข้าไปปนด้วย และนมผงมีผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านความสว่างของกล้วยผงอย่างชัดเจน กรณีกล้วยผงจะมีกลิ่นของนมปนมาด้วย อีกทั้งกล้วยที่ PCI 5-6 มีกลิ่นกล้วยไม่แรงทำให้เกิดความแตกต่างของกลิ่นกล้วยกับกลิ่นนมผงได้อย่างชัดเจน[3]

รูปที่ 4.9 ภาพกล้วยผงที่ผลิตที่สภาวะอัตราการไหลลมร้อน 6.09 m^3/min ความเข้มข้น 8% ของแข็งของกล้วยบด และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตกล้วยผง

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถนำมาเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตกล้วยผง โดยพิจารณาดังนี้

- ที่อัตราการไหลลมร้อนสูงสุด คือ 6.09 m^3/min จะได้ปริมาณความชื้นต่ำสุด รวมทั้งได้เปอร์เซนต์ของแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)จะมีค่ามาก ดังนั้น อัตราการไหลลมร้อนที่สภาวะนี้เหมาะสมสำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้
- ที่ความเข้มข้นของวัตถุดิบต่ำสุด คือ 8%ของแข็งของกล้วยบด จะได้เปอร์เซนต์ของแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล) สูง ค่าความสว่างมาก รวมทั้งง่ายต่อการป้อนวัตถุดิบและเกิดปัญหาการเกาะติดผนังภายในห้องอบแห้งน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่ระดับอื่นๆดังนั้น ความเข้มข้นของวัตถุดิบที่สภาวะนี้เหมาะสมสำหรับ กระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้
- อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า มีผลต่อ ค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง โดยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงจะมีผลให้ค่าความสว่างลดลง(เกิดการไหม้) รวมทั้ง เปอร์เซนต์ของแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล) จะน้อยลง เนื่องจาก เกิดการไหม้และการเกาะติดแน่นบริเวณห้องอบแห้ง ซึ่งอุณหภูมิลมร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดปัญหาตรงจุดนี้

ดังนั้น เมื่อพิจารณาปัจจัยเดี่ยวและ 2 ปัจจัยร่วมกัน จะได้สภาวะเหมาะสม คือ อัตราการไหลของลมร้อน 6.09 m^3/min ความเข้มข้น 8% ของแข็งทั้งหมดของกล้วย และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติของกล้วยหอมผงจากกล้วยหอมระยะการสุก 5-6 จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. อัตราการไหลของลมร้อน มีผลต่อ เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)และปริมาณความชื้นของกล้วยผง ที่อัตราการไหลของลมร้อนสูง จะให้เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)มากและจะมีปริมาณความชื้นต่ำ
2. อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า มีผลต่อ ปริมาณความชื้น,ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยผง โดยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่ำจะให้ปริมาณความชื้นต่ำ ค่าความสว่างไม่มากนักแต่ค่าความเป็นสีเหลืองจะเพิ่มขึ้น
3. ค่าความเข้มข้น(%ของแข็งของกล้วยบด) มีผลต่อค่าความสว่างและการเกาะติดบริเวณภายในผนังห้องอบแห้ง โดยที่ ความเข้มข้นต่ำจะไม่มีปัญหาการเกาะติดบริเวณภายในผนังห้องอบแห้งและค่าความสว่างอยู่ในขอบข่ายที่ยอมรับได้
4. หางนมผงมีผลทำให้ค่าความชื้นสูงขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติการดูดความชื้น ช่วยแก้ปัญหาการเกาะติดภายในผนังห้องอบแห้ง ช่วยในเรื่องสีช่วยให้กล้วยผงมีความสว่างมากขึ้น กลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นนมปน
5. ค่าการใช้ประโยชน์ทางความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแม็ดอนุภาคเฉื่อยกับลมร้อน
6. การหลุดปลิวออกจากอนุภาคเฉื่อย และเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)ในไซโคลน มีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตรง
7. การผลิตผลิตภัณฑ์ให้เป็นผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำตาลมากให้ใช้ตัวพาเข้ามาเกี่ยวข้อง
8. ปริมาณอนุภาคเฉื่อยที่ใช้ในห้องอบแห้ง มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคเฉื่อยในห้องอบแห้ง, ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้และสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง
9. ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ จะคุ้มทุนต่อเมื่อปริมาณการผลิตไม่มากนัก เนื่องจากความสะดวกทางด้านขนาดของเครื่องอบแห้ง และในการผลิตใช้เวลาไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกล้วยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด คือ อัตราการไหลของลมร้อน 6.09 m^3/min ,อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100 องศาเซลเซียส และความเข้มข้น 8% ของแข็งทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ขนาดของเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อย ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็ก หากต้องมีการขยายขนาดการผลิต ต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะของเครื่องและมวลของอนุภาคเฉื่อยให้เหมาะสม
2. ในการทดลองของผู้วิจัย เกิดปัญหาการเกิดสีน้ำตาลของกล้วย ดังนั้น ผู้ที่จะศึกษาเพิ่มเติมควรพิจารณาปัญหาการเกิดสีน้ำตาลของกล้วย เพื่อหลีกเหลี่ยงผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้
3. หลังจากผสมกล้วยบดกับหางนมผงจนเข้ากันดีแล้ว ควรนำไปปั่นด้วยเครื่องตีปั่นอีกครั้งเพื่อลดปัญหาการตกตะกอนของของผสม ก่อนการป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องอบแห้ง
4. ควรทำความสะอาดเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบดที่ใช้อนุภาคเฉื่อยทุกครั้งหลังการใช้งาน เพื่อป้องกันการติดค้างของผลิตภัณฑ์เดิม ซึ่งจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่จะทำในครั้งต่อไป
5. ควรมีการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพควบคู่กับการวิเคราะห์ทางคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

1 _____." กล้วย เพื่อนสนิทของคนไทย."วารสารไทย. ปีที่ 11, ฉบับที่ 42,เมษายน-มิถุนายน,2530.

2 สาธารณสุข,กระทรวง.กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2530.

3 กัลยาณี โสมนัส และ ธนบูลย์ สัจจาอนันตกุล. สรุปผลการดำเนินงานวิจัยเรื่องการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยผงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2537-2538.

4 Hai ,B.B." Drying of liquid foods in a spouted vortex-bed using an inert matrix.", Thesis no.AE-95-18.AIT, Thailand, 1995.

5 Yu,P." Drying of milk in a spouted bed of inert particles." Thesis no AE-96-12. AIT, Thailand,1996.

6 Kaminski, W., Markowskik, A. and Strumillo,C. "Modern developments in drying of paste – like materials in Mujumdar, A.S.(ED.),Advance in Drying Vol 2.", Hemisphee/MC Graw Hill, New York, Chapter 6 : p.193-232 , Thesis no. A.E.-96-12.AThailand,1982.

7 Kaminski, W., Markowskik, A. and Strumillo,C. "Modern developments in drying of paste – like materials in Mujumdar, A.S.(ED.),Advance in Drying Vol 2.", Hemisphee/MC Graw Hill,New York,1980.

8 สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ.ฟลูอิไดซ์เบด.ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์, น.256-266 , 2538.

9 Epstein, N. and Mathur, K.B. Spouted Beds. New York: Academic Press,1974.

10 ชูจิตร สมบัติพัฒนา.กล้วย. กรมส่งเสริมการเกษตร.กรุงเทพมหานคร:ไม่ทราบสำนักพิมพ์, น. 33,2513.

11 ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา :โอ.เอส.พริ้น-ติ้งเฮาส์,น. 276-278,2532.

12 Hattori ,H. and Mamuro, T. J. Chem. Eng. Japan 1, 1, 1968.

13 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14 Polotnikova, N.M. and N.B. Rashkovskaya, Khim. Prom. (Moacow), Vol. 6, p.459(Thesis no. AE-95-18.AIT,Thailand),1978.

15 Blickle , T. and Ormos, Z. 1980. "Drying of pastes in fluidized bed ". Drying 80. New York : Hemisphere/MC Graw Hill, p.177-182,1980.

16 Kushakova V.E. and Utrin. U.V., 1984."Drying protien extract in fluidized-bed using inert particles." Milk Industry. USSR. : 1984.

17 Blickle,T., Szalay,A. and Szentmarjay,T.," Abrasion in a mechanically spouted bed dried with an inert packing." Drying Technology 7(3) : p.523-536, 1993.

18 Szentmarjay, T., Szalay, A. and Blickle, T., "Abrasion in a mechanically spouted bed dryer with inert particles." Powder Handling and Processing 5(2): p.115-118, 1993.

19 Pallai,E.,Szalay, A.and Szentmarjay,T." Scale-up aspects of the mechanical Spouted bed dryer with inert particles."Drying technology 12(1&2) :p.341-350, 1994.

20 Jindal, V.K., and Hai, B.B." Drying of liquid foods in a spouted Vortex-bed Using an inert matrix." Presented at the XXXI Annual Convention of the Indian Society of Agricultural University. Trichur, Kerala.(Thesis no.AE-96-12.AIT, Thailand),1995.

21 จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์ และ ปานมนัส ศิริสมบูรณ์." บทปฏิบัติการสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ วศ.สจล.147." คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง : พิมพ์ครั้งที่ 1, กันยายน,ไม่ทราบปี พ.ศ.ที่พิมพ์.

22 กำพล เติมประยูร และ ศิริชัย พงษ์วิชัย.โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ . กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์, 2531.

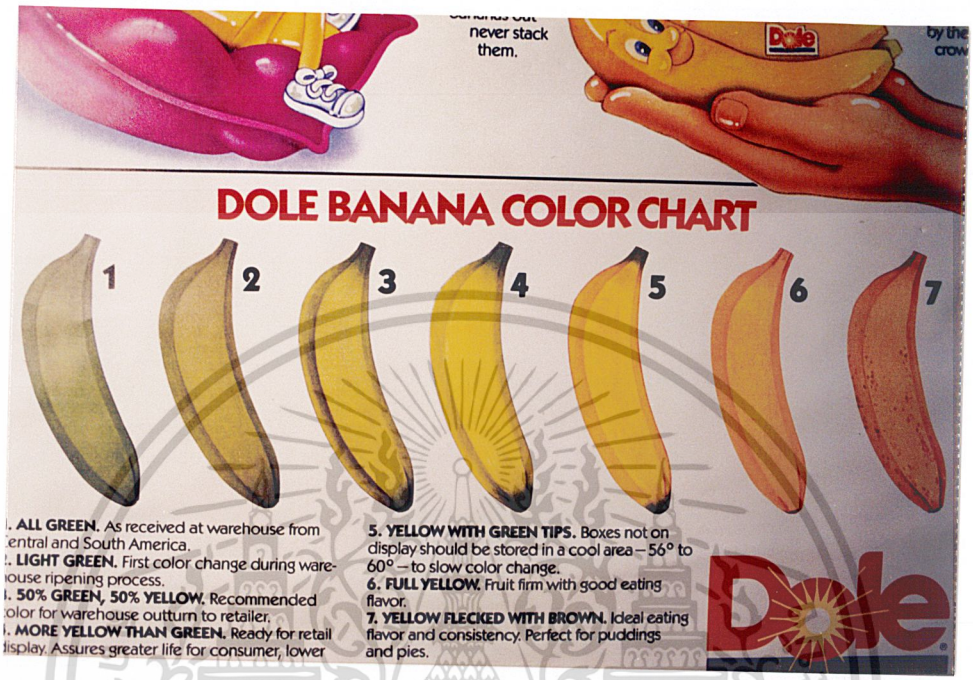
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แผนภาพแสดงช่วงระยะการสุกของกล้วยหอมตามดัชนีวัดสีเปลือก(Peel Color Index)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น[21]

วัสดุอุปกรณ์

1) ตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้น(กล้วยบด,กล้วยผง)

2) ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝา

3) ตู้อบไฟฟ้า

4) เครื่องชั่ง

วิธีการ

1) บดตัวอย่าง ถ้าตัวอย่างไม่สามารถบดได้ให้ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ

2) ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียม จนได้น้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างที่ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ทำซ้ำตัวอย่าง ละ 3ครั้ง

3) อบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4) เอาตัวอย่างออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งมวลและบันทึกไว้ นำไปอบต่อ

5) นำตัวอย่างออกมาชั่งเหมือนข้อ 4 ทุกๆ ชั่วโมง จนกระทั่งมวลคงที่

สามารถหาปริมาณความชื้นได้ดังสมการดังนี้

$$\% \text{ความชื้น} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างก่อนอบ} - \text{มวลของตัวอย่างหลังอบ}}{\text{มวลของตัวอย่างก่อนอบ}} * 100 \qquad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดสี[21]

วัสดุอุปกรณ์

1) ตัวอย่างสำหรับทดลอง (กล้วยผง)

2) Colorimeter

วิธีการทดลอง

1) เตรียมตัวอย่าง

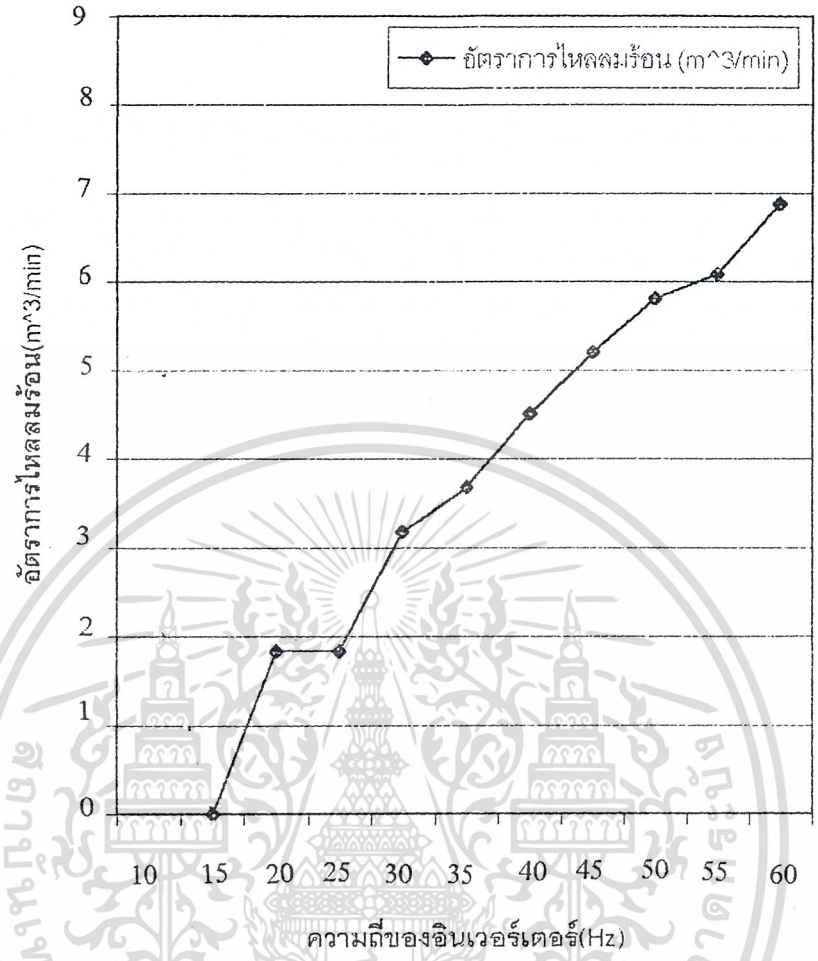
2) นำตัวอย่างทั้งหมด มาวัดค่าสีโดยเครื่อง Colorimeter บันทึกค่าในระบบ HVC และระบบ Tristimulus System; X,Y,Z บันทึกผลในตาราง ใช้แผ่นสีเหลืองมาตรฐาน L = 77.2, a = -2.1, b = 22.2

3) นำวัสดุสีขาวมาวัดค่า x_n, y_n, z_n บันทึกลงตาราง

4) นำค่าที่วัดจากระบบ Tristimulul System; X,Y,Z มาคำนวณหาค่าสีในระบบ CIE ; x,y,Y นำค่าที่วัดจากระบบ Hunter; L,a,b และ ระบบ L^*, a^*, b^* บันทึกลงตาราง

5) นำข้อมูลที่คำนวณได้ไปเขียนใน Chromatic Diagram เพื่อคำนวณหาค่า Dominant Wavelength ,Excitation Purity และ Lightness โดยกำหนดให้ใช้แสงมาตราฐาน B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลลมร้อนขาเข้า(m^3/min) กับความถี่ของอินเวอร์เตอร์(Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าความชื้นที่ได้โดยพิจารณาความเข้มข้น อัตราการไหลของลมร้อน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ทั้ง 3 ระดับ

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ ค่าความชื้น

ปัจจัยที่พิจารณา ความเข้มข้น ความถี่** อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

แหล่งการแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง	องศาเสรี	ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F	ความสำคัญของค่าสถิติ F
ผลกระทบหลัก	75.818	6	12.636	9.526	.000
ความเข้มข้น	7.334	2	3.667	2.764	.071ns
ความถี่	60.810	2	30.405	22.921	.000*
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	7.675	2	3.837	2.893	.063ns
ผลกระทบร่วม 2 ตัวแปร	6.618	12	.552	.416	.952
ความเข้มข้น - ความถี่	3.863	4	.966	.728	.576ns
ความเข้มข้น - อุณหภูมิ	2.413	4	.603	.455	.769ns
ความถี่ - อุณหภูมิ	.342	4	.085	.064	.992ns
นำไปใช้อธิบาย	82.436	18	4.580	3.453	.000
ส่วนที่เหลือ	82.242	62	1.326		
ทั้งหมด	164.678	80	2.058		

% c.v. = 13.84

ns = not significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

* = significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

** ใช้ค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ในการวิเคราะห์แทนอัตราการไหลของลมร้อน โดยความสัมพันธ์ของค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์และอัตราการไหลของลมร้อนแสดงในภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าความสว่างที่ได้โดยพิจารณาความเข้มข้น อัตราการไหลของลมร้อน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ทั้ง 3 ระดับ

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ ค่าความสว่าง

ปัจจัยที่พิจารณา ความเข้มข้น, ความถี่**, อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

แหล่งการแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง	องศาเสรี	ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F	ความสำคัญของค่าสถิติ F
ผลกระทบหลัก	3739.670	6	623.278	33.813	.000
ความเข้มข้น	401.439	2	200.720	10.889	.000*
ความถี่	60. 552	2	30.276	1.642	.202ns
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	3277.679	2	1638.840	88.908	.000*
ผลกระทบร่วม 2 ตัวแปร	526.585	12	43.882	2.381	.013
ความเข้มข้น - ความถี่	146.688	4	36.672	1.989	.107ns
ความเข้มข้น - อุณหภูมิ	259.293	4	64.823	3.517	.052ns
ความถี่ - อุณหภูมิ	120.603	4	30.151	1.636	.177ns
นำไปใช้อธิบาย	4266.255	18	237.014	12.858	.000
ส่วนที่เหลือ	1142.843	62	18.433		
ทั้งหมด	5409.098	80	67.614		

% c.v. = 5.64

ns = not significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

* = significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

** ใช้ค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ในการวิเคราะห์แทนอัตราการไหลของลมร้อน โดยความสัมพันธ์ของค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์และอัตราการไหลของลมร้อนแสดงในภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่าความเป็นสีเหลืองที่ได้โดยพิจารณาความเข้มข้น อัตราการไหลของลมร้อน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าทั้ง 3 ระดับ

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ ค่าความเป็นสีเหลือง

ปัจจัยที่พิจารณา ความเข้มข้น ความถี่** อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

แหล่งการแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง	องศาเสรี	ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F	ความสำคัญของค่าสถิติ F
ผลกระทบหลัก	244.961	6	37.493	17.498	.000
ความเข้มข้น	6.653	2	3.281	1.531	.224ns
ความถี่	29.681	2	14.841	6.926	.002*
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	188.717	2	94.358	44.038	.000*
ผลกระทบร่วม 2 ตัวแปร	77.324	12	6.444	3.007	.002
ความเข้มข้น - ความถี่	49.728	4	12.432	5.802	.000*
ความเข้มข้น - อุณหภูมิ	12.193	4	3.048	1.423	.237ns
ความถี่ - อุณหภูมิ	15.403	4	3.851	1.797	.141ns
นำไปใช้อธิบาย	302.285	18	16.794	7.838	.000
ส่วนที่เหลือ	132.846	62	2.143		
ทั้งหมด	435.131	80	5.439		

% c.v. = 15.60

ns = not significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

* = significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

** ใช้ค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ในการวิเคราะห์แทนอัตราการไหลของลมร้อน โดยความสัมพันธ์ของค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์และอัตราการไหลของลมร้อนแสดงในภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของเปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)โดยพิจารณา ความเข้มข้น อัตราการไหลของลมร้อน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ทั้ง 3 ระดับ

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ เปอร์เซนต์ของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่ได้(โดยมวล)

ปัจจัยที่พิจารณา ความเข้มข้น ความถี่** อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

แหล่งการแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง	องศาเสรี	ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F	ความสำคัญของค่าสถิติ F
ผลกระทบหลัก	133.349	6	22.225	18119.558	.000
ความเข้มข้น	133.113	2	66.557	54262.550	.000
ความถี่	.207	2	.104	84.430	.000
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	.029	2	.014	11.695	.054
ผลกระทบร่วม 2 ตัวแปร	.056	12	.005	3.776	.034
ความเข้มข้น - ความถี่	.037	4	.009	7.600	.008
ความเข้มข้น - อุณหภูมิ	.016	4	.004	3.215	.075
ความถี่ - อุณหภูมิ	.003	4	.001	.514	.728
นำไปใช้อธิบาย	133.404	18	7.411	6042.370	.000
ส่วนที่เหลือ	.010	8	.001		
ทั้งหมด	133.414	26	5.131		

% c.v. = 4.68

ns = not significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

* = significant ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

** ใช้ค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ในการวิเคราะห์แทนอัตราการไหลของลมร้อน โดยความสัมพันธ์ของค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์และอัตราการไหลของลมร้อนแสดงในภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ปริมาณความชื้น(%) ค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีเหลืองที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราการไหลลม (m^3/min)	อุณหภูมิขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้น (%)	ปริมาณความชื้น (%)			ค่าความสว่าง (L*)			ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
5.19	100	8	8.26	6.93	9.59	77.26	82.34	88.82	8.38	9.34	8.52
		10	9.87	9.71	8.23	77.28	78.92	76.38	11.4	7.32	8.34
		15	9.74	9.81	8.33	75.99	82.26	86.47	9.546	9.79	9.11
	110	8	10.21	9.42	9.6	72.316	79.98	79.67	10.289	10.52	9.87
		10	10.07	8.52	9.35	73.87	75.39	76.51	10.36	7.97	9.94
		15	8.96	10.09	9.21	65.48	89.24	82.43	10.606	10.88	9.38
	120	8	10.22	9.5	9.7	75.48	73.92	70.73	10.59	10.72	11.19
		10	10	8.48	9.59	72.5	73.82	74.39	10.61	9.29	10.65
		15	9.97	9.51	9.3	56.79	59.4	60.73	12.883	13.28	14.59
5.81	100	8	8.41	5.48	6.01	80.07	85.06	84.23	7.166	6.446	6.34
		10	9.72	8.66	7.12	71.91	81.18	80.17	11.747	7.16	8.53
		15	9.98	8.39	7.34	83.646	78.96	82.39	6.39	5.16	6.32
	110	8	10.88	6.21	6.21	75.75	83.676	80.98	8.93	6.73	7.85
		10	8.85	8.7	8.99	67.2	77.536	75.74	12.956	9.597	8.02
		15	9.64	8.43	8.58	74.286	82.06	78.84	7.687	5.217	6.68
	120	8	8.1	6.2	10.78	75.413	73.84	74.38	9.687	9.84	10.79
		10	8.85	8.59	9.19	57.52	59.38	62.34	14.117	10.47	12.94
		15	9.9	8.5	8.99	65.303	66.74	64.39	12.096	8.94	15.15

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) ปริมาณความชื้น(%) ค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีเหลืองที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราการไหลลม (m^3/min)	อุณหภูมิขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้น (%)	ปริมาณความชื้น (%)			ค่าความสว่าง (L*)			ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
6.09	100	8	8.27	5.92	5.5	83.7	83.21	85.39	6.113	5.723	6.1
		10	7.53	6.12	6.98	77.626	83.21	77.02	6.34	6.423	8.02
		15	7.71	6.47	7.44	81.836	80.99	80.58	6.264	6.44	7.94
	110	8	9.11	5.99	5.78	73.213	74.676	82.54	10.423	10.136	9.21
		10	7.55	6.75	7.12	73.396	75.36	78.56	9.94	8.556	8.29
		15	7.74	6.21	8.64	75.626	79.986	72.82	10.506	5.15	8.43
	120	8	9.2	6	6.01	66.87	65.43	68.92	13.223	12.29	9.91
		10	8.81	6.8	7.55	58.226	56.27	65.97	13.78	10.39	9.98
		15	8.73	6.08	8.97	61.33	60.49	59.72	15.15	7.99	9.55

ภาคผนวก ง.

การคำนวณหาการใช้ประโยชน์ทางความร้อน

โดยพิจารณาจากสมการความสัมพันธ์ ดังสมการต่อไปนี้

การใช้ประโยชน์ทางความร้อน = $(Ta_1-Ta_2)*100/(Ta_1-Ta_0)$

โดยที่ T_0 = อุณหภูมิห้อง

Ta_1 = อุณหภูมิขาเข้าของห้องอบแห้ง

Ta_2 = อุณหภูมิขาออกของห้องอบแห้ง

การหาการใช้ประโยชน์ทางความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด

ในการผลิตกล้วยผงโดยวิธีสเปาท์วอร์เทคเบด ได้ทำการผลิตที่อุณหภูมิห้อง 29 องศาเซลเซียส โดยที่กระบวนการผลิตที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้อุณหภูมิลมร้อนขาออกคือ 87 องศาเซลเซียส ดังนั้นสามารถคำนวณหาการใช้ประโยชน์ทางความร้อนได้ดังนี้

การใช้ประโยชน์ทางความร้อน = (100-87)*100/(100-29)

= 18.31%

ดังนั้น จะได้ การใช้ประโยชน์ทางความร้อนของการอบแห้งโดยวิธีสเปาท์เบด 18.31%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้ง

สามารถ คำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$hA(\Delta T)_{ln} = m\lambda \qquad \text{.....(3.3)}$$

โดยที่ h : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (W/m^2k)

A : พื้นที่ผิวของอนุภาคเฉลี่ย (m^2)

m : อัตราการไหลโดยมวล (kg/s)

T : อุณหภูมิ (^oC)

λ :ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (J/kg)

h_G : เอนทาลปีของสภาวะไอน้ำ (J/kg)

h_L : เอนทาลปีของสภาวะน้ำ (J/kg)

w : เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก

f : อัตราการป้อน

i : ทางเข้า

o : ทางออก

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

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

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

(* เนื่องจากλ ของวัตถุดิบมีค่ามากกว่า λ ของน้ำอยู่ 10 %)

การหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์วอร์เทคเบด

ในการผลิตกล้วยผงได้ทำการผลิตที่ $2.78x10^{-6}$ kg/s มีสภาวะดังนี้

- อัตราการไหลโดยมวลของวัตถุดิบที่ป้อน (m) = $2.78x10^{-6}$ kg/s
- พื้นที่ผิวของอนุภาคเฉลี่ย(A) = 0.12 m^2
- อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่เหมาะสม = 100 ^oC
- อุณหภูมิลมร้อนขาออก = 87 ^oC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ดังสมการนี้

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

คำนวณหาค่า

$$(\Delta T)_{ln} = \frac{(T_i - T_0)}{\ln (T_i - T_0)/(T_0 - T_{w0})}$$

$$= \frac{100 - 87}{\ln(100 - 25)/(87 - 25)}$$

$$= 68.3\ ^{\circ}C \quad (341.29K)$$

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

ที่ $100^{\circ}C$ ตารางไอน้ำอิ่มตัว $h_G = 2676 \times 10^3$ J/kg , $h_L = 419.06 \times 10^3$ J/kg

$$\therefore \lambda = (1.10)(2676 \times 10^3 - 419.06 \times 10^3)$$

$$= 2482634 \text{ J/kg}$$

ดังนั้น จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h) $= \frac{(2.78 \times 10^{-6}) \times (2482634)}{0.12 \times 341.29}$

$$= 0.168 \text{ W/m}^2\text{k}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นได้ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์หลายๆท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทาง พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาทิป รัตนภาสกร ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

อาจารย์กันต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

อาจารย์กัลยาณี โสมนัส ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

อาจารย์ระจิตร จุธากรณ์ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

เพื่อน ๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน

ซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้