

การอบแห้งกามะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน



นาย จุมพล แซ่เอี่ยม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

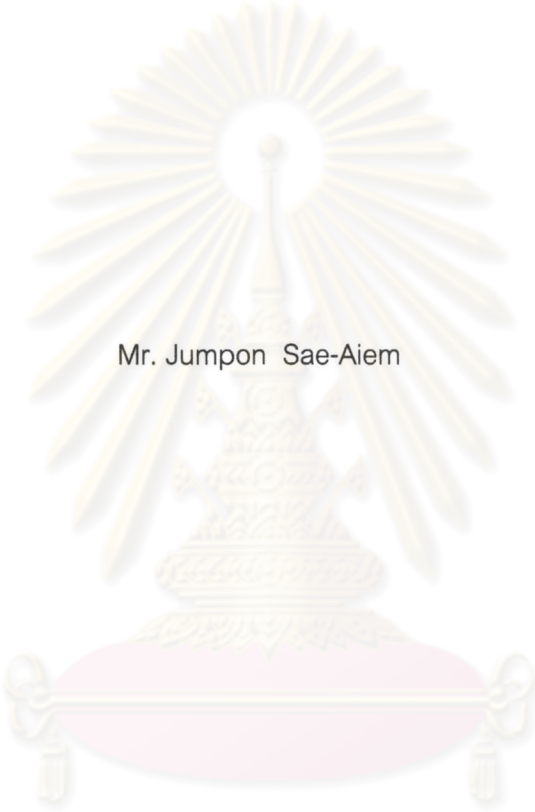
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1096-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DRYING OF COPRA MEAL BY FLUIDIZATION TECHNIQUE



Mr. Jumpon Sae-Aiem

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1096-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การอบแห้งกากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน

โดย

นาย จุมพล แซ่เอี่ยม


สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัญย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรรย์ญากรณ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุณทีณี มณีรัตน์)

นายจุมพล แซ่เอี่ยม : การอบแห้งกากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน. (DRYING OF COPRA MEAL BY FLUIDIZATION TECHNIQUE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล, 106 หน้า. ISBN 974-53-1096-4.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของกากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน และเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายความชื้นของกากมะพร้าว จากการทดลองอบแห้งในเครื่องทดลองฟลูอิดไอเซชันขนาด 20x20 cm ที่อุณหภูมิอบแห้ง 80, 105 และ 130 °C ความเร็วอากาศ 1.5, 2.0 และ 2.5 m/s ที่ความชื้นเริ่มต้นกากมะพร้าว 55 – 60% มาตรฐานเปียก จนถึงความชื้นสุดท้าย 3% มาตรฐานเปียก ผลการทดลองพบว่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันที่ความชื้นกากมะพร้าวเริ่มต้น 55%, 35%, 20% และ 3% มาตรฐานเปียก มีค่าประมาณ 1.05, 1.0, 0.9 และ 0.6 m/s ตามลำดับที่อุณหภูมิอากาศ 33 °C ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งได้แก่ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเบด และอัตราการไหลอากาศจำเพาะ (อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลอากาศต่อมวลแห้งของกากมะพร้าว) ผลจากการศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสามแบบพบว่าแบบจำลองรูปแบบสมการ Page[12] สามารถทำนายความชื้นได้ใกล้เคียงผลการทดลองที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา...วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่อนิสิต..... จพพล บบซ์ บอ้อม
สาขาวิชา...วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Dr. M. S. S.*
ปีการศึกษา2547.....

447 02563 21 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: Drying / Fluidization / Copra meal / Coconut / Mathematical model

JUMPON SAE-AIEM : DRYING OF COPRA MEAL BY FLUIDIZATION TECHNIQUE.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. MINGSAK TANGTRAKUL, 106 pp.

ISBN 974-53-1096-4.

This research investigates parameters affecting the copra meal drying rate by fluidization technique. Mathematical models were compared and the best chosen to predict the moisture content of copra meal. Experiments were done in fluidized bed with a 20x20 cm column at drying air temperatures of 80, 105 and 130 °C and velocities of 1.5, 2.0 and 2.5 m/s. Initial moisture content of copra meal at 55-60% wet-basis was reduced to about 3% wet-basis. Experimental results showed that the minimum velocities of fluidization at initial moisture contents of 55%, 35%, 20% and 3% wet-basis were approximately 1.05, 1.0, 0.9 and 0.6 m/s respectively at the air temperature of 33°C. The parameters affected the drying rate were the air temperature before entering the bed and specific air flow rate (ratio of air flow rate to dry mass of copra meal). Comparing among three drying models, the predicted values from Page[12]'s model is closest to the experimental data.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department...Mechanical Engineering.....Student's signature.....
 อนุมัติ ๐๖๔ ๒๐๐๔

Field of study..Mechanical Engineering.....Advisor's signature.....
 สอน อรรถ

Academic year 2004.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการแก้ปัญหาต่าง ๆ

ขอขอบคุณ โรงงานผลิตน้ำกะทิ A-Tip ที่เอื้อเฟื้อวัดตุคิบและข้อมูลเกี่ยวกับวัดตุคิบ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
3.1 กระบวนการอบแห้ง	8
3.2 ฟลูอิดไอเซชัน	12
3.2.1 ลักษณะของฟลูอิดไชน์เบด	12
3.2.2 ฟลูอิดไชน์เบดกับการอบแห้ง	13
3.2.3 ลักษณะฟองก๊าซ	17
3.2.4 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของฟลูอิดไอเซชัน	18
3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	19
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	22
4.1 อุปกรณ์การทดลอง	22
4.2 กากมะพร้าวที่ใช้ในการทดลอง	28
4.3 วิธีการทดลอง	28

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	32
5.1 ความเร็วต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดไคซ์เบค	32
5.2 ลักษณะการเกิดฟลูอิดไคซ์เบค	34
5.3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการอบแห้ง	37
5.4 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้ง	40
5.5 อิทธิพลของความเร็วอากาศร้อนเข้าเครื่องอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้ง	42
5.6 อิทธิพลของความสูงเบคที่มีผลต่อการอบแห้ง	44
5.7 อิทธิพลของอัตราการไหลจำเพาะของอากาศที่มีผลต่อการอบแห้ง	46
5.8 ผลการทำนายหาสมการอบแห้งของกากมะพร้าว	49
5.9 วิเคราะห์ผลการทดลอง	55
5.10 ผลการทำนายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	58
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	61
6.1 สรุปผลการทดลอง	61
6.2 ข้อเสนอแนะ	62
รายการอ้างอิง	63
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลองการอบแห้งกากมะพร้าว	66
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ	85
ภาคผนวก ค. ผลการทำนายความชื้นจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	106

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสมการถดถอยในรูปแบบสมการ Exponential เทอมเดียว ..	50
5.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสมการถดถอยในรูปแบบสมการ Exponential สองเทอม ...	51
5.3 ผลการวิเคราะห์การทดลองด้วยเทคนิคสมการถดถอยในรูปแบบสมการ Page	52
5.4 ผลการวิเคราะห์ค่า R-square สำหรับแต่ละรูปแบบสมการ	54
ก.1 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 55% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 8 cm	67
ก.2 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 55% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 12 cm	67
ก.3 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 55% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 16 cm	67
ก.4 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 35% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 8 cm	68
ก.5 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 35% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 12 cm	68
ก.6 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 35% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 16 cm	68
ก.7 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 20% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 8 cm	69
ก.8 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 20% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 12 cm	69
ก.9 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 20% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 16 cm	69
ก.10 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 3% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 8 cm	70
ก.11 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 3% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 12 cm	70
ก.12 ข้อมูลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดิเคชัน ความชื้นเริ่มต้น 3% มาตรฐานเปียก ความสูงเบด 16 cm	70

- ก.33 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความชื้นของกากมะพร้าวที่เวลาต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 80 °C ความเร็วอากาศ 2.44 m/s ความสูงเบด 16 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1606 kg/s-kg dry matter) 81
- ก.34 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความชื้นของกากมะพร้าวที่เวลาต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 105 °C ความเร็วอากาศ 2.42 m/s ความสูงเบด 8 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.3136 kg/s-kg dry matter) 81
- ก.35 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความชื้นของกากมะพร้าวที่เวลาต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 105 °C ความเร็วอากาศ 2.54 m/s ความสูงเบด 12 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.2220 kg/s-kg dry matter) 82
- ก.36 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความชื้นของกากมะพร้าวที่เวลาต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 105 °C ความเร็วอากาศ 2.53 m/s ความสูงเบด 16 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1592 kg/s-kg dry matter) 82
- ก.37 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความชื้นของกากมะพร้าวที่เวลาต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 130 °C ความเร็วอากาศ 2.50 m/s ความสูงเบด 8 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.3045 kg/s-kg dry matter) 83
- ก.38 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความชื้นของกากมะพร้าวที่เวลาต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 130 °C ความเร็วอากาศ 2.59 m/s ความสูงเบด 12 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.2182 kg/s-kg dry matter) 83
- ก.39 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความชื้นของกากมะพร้าวที่เวลาต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 130 °C ความเร็วอากาศ 2.62 m/s ความสูงเบด 16 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1727 kg/s-kg dry matter) 84
- ค.1 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 80 °C ความเร็วอากาศ 1.69 m/s ความสูงเบด 8 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.2276 kg/s-kg dry matter) 89
- ค.2 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 80 °C ความเร็วอากาศ 1.61 m/s ความสูงเบด 12 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1462 kg/s-kg dry matter) 90
- ค.3 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 80 °C ความเร็วอากาศ 1.54 m/s ความสูงเบด 16 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1085 kg/s-kg dry matter) 91

- ค.4 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 105 °C ความเร็วอากาศ 1.57 m/s ความสูงเบด 8 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.2044 kg/s-kg dry matter) 92
- ค.5 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 105 °C ความเร็วอากาศ 1.69 m/s ความสูงเบด 12 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1620 kg/s-kg dry matter) 92
- ค.6 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 105 °C ความเร็วอากาศ 1.49 m/s ความสูงเบด 16 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1044 kg/s-kg dry matter) 93
- ค.7 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 130 °C ความเร็วอากาศ 1.52 m/s ความสูงเบด 8 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1912 kg/s-kg dry matter) 94
- ค.8 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 130 °C ความเร็วอากาศ 1.58 m/s ความสูงเบด 12 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1391 kg/s-kg dry matter) 94
- ค.9 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 130 °C ความเร็วอากาศ 1.54 m/s ความสูงเบด 16 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1081 kg/s-kg dry matter) 95
- ค.10 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 80 °C ความเร็วอากาศ 2.09 m/s ความสูงเบด 8 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.2582 kg/s-kg dry matter) 95
- ค.11 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 80 °C ความเร็วอากาศ 1.95 m/s ความสูงเบด 12 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1732 kg/s-kg dry matter) 96
- ค.12 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 80 °C ความเร็วอากาศ 1.94 m/s ความสูงเบด 16 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1345 kg/s-kg dry matter) 97
- ค.13 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 105 °C ความเร็วอากาศ 2.08 m/s ความสูงเบด 8 cm
 (อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.2484 kg/s-kg dry matter) 97

- ค.24 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 105°C ความเร็วอากาศ 2.53 m/s ความสูงเบด 16 cm
(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $0.1592\text{ kg/s-kg dry matter}$) 103
- ค.25 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 130°C ความเร็วอากาศ 2.50 m/s ความสูงเบด 8 cm
(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $0.3045\text{ kg/s-kg dry matter}$) 104
- ค.26 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 130°C ความเร็วอากาศ 2.59 m/s ความสูงเบด 12 cm
(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $0.2182\text{ kg/s-kg dry matter}$) 104
- ค.27 ความชื้นจากผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ
สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 130°C ความเร็วอากาศ 2.62 m/s ความสูงเบด 16 cm
(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $0.1727\text{ kg/s-kg dry matter}$) 105



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการวัดความชื้น โดยมาตรฐานต่างกัน	8
3.2 การเข้าสู่สมดุลสำหรับเมล็ดพืช	9
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิ	10
3.4 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	12
3.5 แสดงระดับเบดในหอทดลอง	13
3.6 ผลการทดลองที่ใช้เมล็ดข้าวโพดและเมล็ดถั่วเขียว	14
3.7 ลักษณะฟองก๊าซที่เกิดขึ้น	15
4.1 diagram ของการทดลอง	22
4.2 เครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดที่ใช้ในการทดลอง	23
4.3 ตะแกรงกระจายลม	24
4.4 เครื่องทำความร้อนที่ใช้ในการทดลอง	24
4.5 พัดลมเป่าอากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	25
4.6 ท่อส่งอากาศเข้าเครื่องทดลอง	25
4.7 วาล์วปรับอัตราการไหลอากาศ.....	26
4.8 เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศร้อน	26
4.9 ออร์ฟิสวิดอัตราการไหลของอากาศ	27
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบด (P_2-P_1) กับความเร็วอากาศ V_1 ที่ความชื้นกามะพร้าว 55% มาตรฐานเปียก.....	32
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบด (P_2-P_1) กับความเร็วอากาศ V_1 ที่ความชื้นกามะพร้าว 35% มาตรฐานเปียก	33
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบด (P_2-P_1) กับความเร็วอากาศ V_1 ที่ความชื้นกามะพร้าว 20% มาตรฐานเปียก	33
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบด (P_2-P_1) กับความเร็วอากาศ V_1 ที่ความชื้นกามะพร้าว 3% มาตรฐานเปียก	34
5.5 ปฏิกิริยาการเกิด Channelling ภายในเครื่องทดลอง	35
5.6 ลักษณะการเกิดฟลูอิดไคซ์เบดในเครื่องทดลอง.....	36
5.7 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C ความเร็วของอากาศ 1.58 m/s ความสูงเบด 12 cm	37

5.8	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วของอากาศ 2.09 m/s ความสูงเบด 8 cm)	38
5.9	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C (ความเร็วของอากาศ 2.08 m/s ความสูงเบด 8 cm)	38
5.10	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C (ความเร็วของอากาศ 2.53 m/s ความสูงเบด 8 cm)	39
5.11	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C (ความเร็วของอากาศ 2.62 m/s ความสูงเบด 16 cm)	39
5.12	อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (ความเร็วอากาศ 2 m/s ความสูงเบด 8 cm)	40
5.13	อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (ความเร็วอากาศ 2 m/s ความสูงเบด 16 cm)	40
5.14	อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (ความเร็วอากาศ 1.5 m/s ความสูงเบด 12 cm)	41
5.15	อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (ความเร็วอากาศ 2.5 m/s ความสูงเบด 12 cm)	41
5.16	อิทธิพลของความของอากาศเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 80 °C ความสูงเบด 16 cm)	42
5.17	อิทธิพลของความของอากาศเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 105 °C ความสูงเบด 12 cm)	43
5.18	อิทธิพลของความของอากาศเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 130 °C ความสูงเบด 12 cm)	43
5.19	อิทธิพลของความของความเร็วที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 105 °C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s)	44
5.20	อิทธิพลของความของความเร็วที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 80 °C ความเร็วอากาศ 2 m/s)	45
5.21	อิทธิพลของความของความเร็วที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 105 °C ความเร็วอากาศ 2.5 m/s)	45
5.22	อิทธิพลของอัตราการไหลจำเพาะของอากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 80 °C)	46

5.23	อิทธิพลของอัตราการไหลจำเพาะของอากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 105 °C)	47
5.24	อิทธิพลของอัตราการไหลจำเพาะของอากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 130 °C)	48
5.25	ความชื้นของกากมะพร้าวเทียบกับเวลาจากการทดลองอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 1.61 m/s ความสูงเบด 12 cm	56
5.26	ความชื้นของกากมะพร้าวเทียบกับเวลาจากการทดลองอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 1.94 m/s ความสูงเบด 16 cm	56
5.27	ความชื้นของกากมะพร้าวเทียบกับเวลาจากการทดลองอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 105 °C ความเร็วอากาศ 1.87 m/s ความสูงเบด 16 cm	57
5.28	ความชื้นของกากมะพร้าวเทียบกับเวลาจากการทดลองอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 2.48 m/s ความสูงเบด 12 cm	57
5.29	ผลการทำนายความชื้นจากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 1.61 m/s ความสูงเบด 12 cm	59
5.30	ผลการทำนายความชื้นจากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 105 °C ความเร็วอากาศ 1.87 m/s ความสูงเบด 16 cm	59
5.31	ผลการทำนายความชื้นจากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 2.48 m/s ความสูงเบด 12 cm	60
5.32	ผลการทำนายความชื้นจากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 2.44 m/s ความสูงเบด 16 cm	60

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่, m ²
g	=	อัตราเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก, m/s ²
M	=	ความชื้น, %
MR	=	อัตราส่วนความชื้นไร้หน่วย
P	=	ความดัน, kPa
SP	=	อัตราการไหลอากาศจำเพาะ, kg/s-kg dry matter
t	=	เวลา, นาที
T	=	อุณหภูมิ, °C
V	=	ปริมาตร, m ³
v	=	ปริมาตรจำเพาะ, m ³ /kg หรือความเร็วลมร้อน, m/s
Δ	=	ผลต่าง
ε _{mf}	=	สัดส่วนช่องว่างต่ำสุด
φ _s	=	แฟคเตอร์รูปร่าง
d _p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค, m
ρ	=	ความหนาแน่น, kg/m ³
μ	=	ความหนืดของอากาศ, N.S/m ²
A	=	พื้นที่หน้าตัดของอนุภาค, m ²
W	=	น้ำหนักของวัสดุ, N
L _{mf}	=	ความสูงของเบดเมื่อเกิดฟลูอิไดเซชัน, m

สัญลักษณ์กำกับล่าง

a	=	อากาศแห้ง
eq	=	สถานะที่สมดุล
f	=	ของไหล(อากาศ)
in	=	สถานะเริ่มต้น
mf	=	สถานะเกิดฟลูอิไดเซชัน
w	=	น้ำ
db	=	มาตรฐานแห้ง
wb	=	มาตรฐานเปียก