

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันในข้าวโพดภายหลัง  
การอบแห้งในฟลูอิดไดซ์เบด

นาย วิรัตน์ วาณิชย์ศรีรัตนานา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-578-050-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016905

117856635

Change in Lysine Content in Corn after  
Drying in Fluidized Bed

Mr. Wirat Vanichsiratana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Chemical Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-578-050-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไลซีนในข้าวโพดภายหลัง

การอบแห้งในฟลูอิดไดซ์เบด

โดย

นาย วิรัตน์ วาณิชศรีรัตน

ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ สัตยาประเสริฐ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรราช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุภาณัจจ์)

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ สัตยาประเสริฐ)

.....  
(รองศาสตราจารย์ สุวัฒนา พวงเพิกคิก)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญ-หลง)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



วิรัตน์ วาณิชศรีรัตนานา : การเปลี่ยนแปลงปริมาณไลซีน  
ในข้าวโพดภายหลังการอบแห้งในฟลูอิดไดซ์เบด ( CHANGE  
IN LYSINE CONTENT IN CORN AFTER DRYING IN  
FLUIDIZED BED ) อ.ที่ปรึกษา : ร.ศ. ด.ร. ชัยฤทธิ์  
สัตยาประเสริฐ , 176 หน้า . ISBN 974-578-050-2

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลง  
ของไลซีนในเมล็ดข้าวโพด และอัตราการอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบ  
ฟลูอิดไดซ์ ที่เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ดังนี้ : อุณหภูมิอากาศร้อน  
อยู่ระหว่าง 60-90 ° ซ ความเร็วอากาศร้อน 2.66-4.20 เมตร  
ต่อวินาที และความสูงเบด 3-12 เซนติเมตร

จากข้อมูลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าระบบการอบแห้งเมล็ด  
ข้าวโพด ถูกควบคุมโดยกลไกการแพร่ของน้ำจากภายในเมล็ดเป็นหลัก  
และถ้าพิจารณาเปรียบเทียบตัวแปร 3 ตัวที่เปลี่ยนแปลงในการทดลอง  
เราพบว่าอุณหภูมิอากาศร้อนมีผลมากที่สุดต่ออัตราการอบแห้ง รองลงมา  
เป็นความสูงของเบด และความเร็วของอากาศร้อนมีผลต่ออัตราการ  
อบแห้งน้อยที่สุด ในกรณีของไลซีน ผลที่ได้มีลักษณะตรงกันข้ามกล่าวคือ  
ปริมาณไลซีนจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าอุณหภูมิอากาศร้อนมีค่าเกินกว่า  
70 ° ซ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในเชิงสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง  
มีค่าเพียง 16 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 70 ° ซ ซึ่งมีค่าน้อย  
มากเมื่อเปรียบเทียบกับ 27 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 90 ° ซ

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา ..... 2533

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

WIRAT VANICHSRIRATANA : CHANGE IN LYSINE CONTENT  
IN CORN AFTER DRYING IN FLUIDIZED BED. THESIS  
ADVISER : ASSO.PROF. CHAIRIT SATTAYAPRASERT, Ph.D.  
176 pp. ISBN 974-578-050-2

The main objective of this research is to study the change of lysine content in corn seeds and drying rate in a fluidized dryer at various operating conditions : air temperature 60-90 ° C , air velocity 2.66-4.20 m/s and 3-12 cm. bed height. From the experimental results , it was found that the main drying system was controlled by mechanism of water diffusion in the seed . Comparing the 3 parameters mentioned above , the air temperature had the most effect on the drying rate while bed height had more influence on the drying rate than air velocity. In the case of lysine , the result was in the opposite manner i.e. the quantity of lysine rapidly decreased when the air temperature exceeded 70 ° C . However, the efficiency of drying performance was only 16 percents at 70 ° C when compared with 27 percents at 90 ° C .

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี .....  
ปีการศึกษา ..... 2533 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... *Wirat Vanichsriratana* .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... *Chairit Sattayaprasert* .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ  
รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
ที่ได้ให้คำปรึกษา และแนะนำทางด้านวิชาการ ตลอดจนกำลังใจ และความสะดวก  
ในการใช้ห้องปฏิบัติการ ซึ่งผู้เขียนขอกราบขอบคุณเป็นอย่างสูง และผู้เขียนขอ  
กราบขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย สุกาญจน์จที่ รองศาสตราจารย์  
สุวัฒนา พวงเพิกคิก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร บุญ-หลง ที่ได้กรุณา  
เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้เขียนขอขอบคุณ เพื่อน พี่ และน้อง ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้  
ความช่วยเหลือ และกราบขอบคุณ แม่ และน้อง ที่สนับสนุน ช่วยเหลือ และให้  
กำลังใจ จนกระทั่งจบการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทรรศน์และการวิเคราะห์.....	8
2.1 ลักษณะทั่วไปของฟลูอิดไดซ์เบด.....	8
2.1.1 ความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เบด เกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน.....	10
2.1.2 ความแตกต่างของความดันในฟลูอิดไดซ์เบด.....	12
2.1.3 ความเร็วตกอิสระของอนุภาค.....	13
2.2 การอบแห้ง.....	16
2.2.1 หลักการอบแห้ง.....	16
2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการอบแห้ง.....	24
2.2.3 การอบแห้งในฟลูอิดไดซ์เบดในระบบ ไม่ต่อเนื่อง.....	25
2.3 ลักษณะและคุณสมบัติของเมล็ดข้าวโพด.....	29
2.3.1 ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดข้าวโพด....	29
2.3.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพด.....	30
2.3.3 การนำไปใช้ประโยชน์.....	40
2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเมล็ดข้าวโพด ภายหลังการอบแห้ง.....	43
2.4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไลซีนภายหลัง การอบแห้ง.....	47
2.4.2 ปฏิกิริยา Maillard Reaction.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	49
3.1 ฟลูอิดไดซ์เบดคอลัมน์.....	49
3.2 เครื่องเป่าลมความดันสูง.....	49
3.3 เต้าให้ความร้อน.....	52
3.4 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ.....	52
3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิ.....	52
4 วิธีการทดลอง.....	54
4.1 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของเบด.....	54
4.2 การอบแห้งข้าวโพดในฟลูอิดไดซ์เบด.....	55
4.3 การหาปริมาณความชื้น.....	56
4.4 การหาปริมาณไลซีน.....	57
5 ผลการทดลอง.....	59
5.1 ผลการหาคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวโพด.....	59
5.2 การหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์.....	59
5.3 ผลการทดลองอบแห้งข้าวโพดในฟลูอิดไดซ์เบด.....	61
5.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไลซีน ก่อนและหลัง การอบแห้ง.....	61
6 อภิปรายผลการทดลอง.....	98
6.1 อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อการอบแห้ง.....	99
6.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ใน การอบแห้ง.....	99
6.1.2 อิทธิพลของความเร็วของอากาศที่ใช้ ในการอบแห้ง.....	100
6.1.3 อิทธิพลของความสูงของเบดต่อการอบแห้ง	102
6.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศ ร้อนกับความสูงของเบดต่อการอบแห้ง..	111



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2 ประสิทธิภาพทางความร้อนในเครื่องอบแห้ง.....	111
6.3 ปริมาณไอน้ำในข้าวโพดภายหลังการอบแห้ง.....	115
6.4 การเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ.....	120
6.4.1 การอบแห้งแบบผึ่งแดด.....	120
6.4.2 การอบแห้งแบบใช้อากาศร้อน.....	121
7 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	124
เอกสารอ้างอิง.....	126
ภาคผนวกที่ 1.....	131
ภาคผนวกที่ 2.....	133
ภาคผนวกที่ 3.....	134
ภาคผนวกที่ 4.....	135
ภาคผนวกที่ 5.....	136
ภาคผนวกที่ 6.....	146
ภาคผนวกที่ 7.....	150
ภาคผนวกที่ 8.....	151
ประวัติผู้เขียน.....	158

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	การส่งออกสินค้าเกษตรที่สำคัญ.....	2
1-2	เปรียบเทียบสินค้าเกษตรที่ส่งออกของประเทศไทยกับ การค้าของโลก.....	4
1-3	ความต้องการใช้ผลผลิตของสินค้าเกษตรกรรมที่สำคัญ บางชนิดภายในประเทศ.....	5
2-1	ส่วนประกอบโดยประมาณในเมล็ดข้าวโพด.....	32
2-2	ส่วนประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวโพด.....	33
2-3	ชนิดของโปรตีนในเมล็ดข้าวโพด.....	35
2-4	การกระจายของโปรตีนในข้าวโพด.....	35
2-5	ปริมาณกรดอะมิโนในเมล็ดข้าวโพด.....	37
2-6	ปริมาณกรดไขมันในเมล็ดข้าวโพด.....	38
2-7	ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวโพด.....	39
2-8	ปริมาณวิตามินในเมล็ดธัญพืช.....	41
2-9	การกระจายของวิตามินบี ในส่วนต่างๆ ของข้าวสาลี	42
2-10	การกระจายของวิตามินในข้าวและข้าวโพด.....	42
2-11	ปริมาณ THIAMINE ในธัญพืช.....	42
2-12	ปริมาณการบริโภคแป้งข้าวโพดในประเทศต่างๆ..	44
2-13	ปริมาณการใช้ข้าวโพดภายในประเทศต่างๆ.....	44
5-1	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวโพด.....	59

## สารบัญภาพ

		หน้า
1-1	เปรียบเทียบมูลค่าส่งออก ข้าว ข้าวโพด ปอ ของโลก กับของไทย.....	6
2-1	ลักษณะต่างๆ ของฟลูอิดไดซ์เบด.....	9
2-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความดัน กับความเร็วของอากาศ.....	13
2-3	กราฟหาค่าความเร็วตกอิสระ (terminal velocity)	15
2-4	ปริมาณความชื้นเป็นฟังก์ชันของเวลาที่ใช้ออบแห้ง.....	18
2-5	อัตราการอบแห้งเป็นฟังก์ชันของเวลาที่ใช้ออบแห้ง.....	18
2-6	อัตราการอบแห้งเป็นฟังก์ชันของปริมาณความชื้น.....	18
2-7	การอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่องในฟลูอิดไดซ์เบด.....	26
2-8	แสดงขั้นกำหนดความเร็วของการอบแห้งของแห้งใน ระบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ไม่ต่อเนื่อง.....	29
2-9	ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดข้าวโพด.....	31
2-10	ปฏิกิริยา Maillard Reaction.....	48
3-1	แสดงแผนภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	50
3-2	แสดงรายละเอียดของคอลัมน์.....	51
3-3	แสดงรายละเอียดของเตาให้ความร้อน.....	53
5-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศ และความดันลดที่ความสูงเบดต่าง ๆ.....	60
5-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลา ที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร / วินาที และความสูงเบด 3 เซนติเมตร.....	62
5-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลา ที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร / วินาที และความสูงเบด 6 เซนติเมตร.....	63
5-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลา ที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร / วินาที และความสูงเบด 9 เซนติเมตร.....	64

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5-5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร / วินาที และความสูงเบด 12 เซนติเมตร.....	65
5-6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร / วินาที และความสูงเบด 3 เซนติเมตร.....	66
5-7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร / วินาที และความสูงเบด 6 เซนติเมตร.....	67
5-8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร / วินาที และความสูงเบด 9 เซนติเมตร.....	68
5-9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร / วินาที และความสูงเบด 12 เซนติเมตร.....	69
5-10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร / วินาที และความสูงเบด 3 เซนติเมตร.....	70
5-11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร / วินาที และความสูงเบด 6 เซนติเมตร.....	71
5-12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร / วินาที และความสูงเบด 9 เซนติเมตร.....	72
5-13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร / วินาที และความสูงเบด 12 เซนติเมตร.....	73

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

5-14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร / วินาที และความสูงเบด 3 เซนติเมตร.....	74
5-15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร / วินาที และความสูงเบด 6 เซนติเมตร.....	75
5-16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร / วินาที และความสูงเบด 9 เซนติเมตร.....	76
5-17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร / วินาที และความสูงเบด 12 เซนติเมตร.....	77
5-18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร / วินาที และความสูงเบด 3 เซนติเมตร .....	78
5-19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร / วินาที และความสูงเบด 6 เซนติเมตร.....	79
5-20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร / วินาที และความสูงเบด 9 เซนติเมตร.....	80
5-21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร / วินาที และความสูงเบด 12 เซนติเมตร.....	81
5-22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร / วินาที และความสูงเบด 3 เซนติเมตร.....	82

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

5-23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชัน และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร / วินาที และความสูงเบด 6 เซนติเมตร.....	83
5-24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชัน และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร / วินาที และความสูงเบด 9 เซนติเมตร.....	84
5-25	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชัน และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร / วินาที และความสูงเบด 12 เซนติเมตร.....	85
5-26	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชัน และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร / วินาที และความสูงเบด 3 เซนติเมตร.....	86
5-27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชัน และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร / วินาที และความสูงเบด 6 เซนติเมตร.....	87
5-28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชัน และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร / วินาที และความสูงเบด 9 เซนติเมตร.....	88
5-29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชัน และเวลาที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร / วินาที และความสูงเบด 12 เซนติเมตร.....	89
5-30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชัน และเวลาที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร / วินาที และความสูงเบด 3 เซนติเมตร.....	90
5-31	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชัน และเวลาที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร / วินาที และความสูงเบด 6 เซนติเมตร.....	91

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

5-32	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร / วินาที และความสูงเบด 9 เซนติเมตร.....	92
5-33	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น และเวลาที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร / วินาที และความสูงเบด 12 เซนติเมตร.....	93
5-34	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไลซีนที่เหลือ ภายหลังจากการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร/วินาที...	94
5-35	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไลซีนที่เหลือ ภายหลังจากการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร/วินาที...	95
5-36	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไลซีนที่เหลือ ภายหลังจากการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร/วินาที...	96
5-37	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไลซีนที่เหลือ ภายหลังจากการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร/วินาที...	97
6-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับส่วนกลับของอุณหภูมิ.....	101
6-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความเร็วอากาศที่ความสูงเบด 3 เซนติเมตร....	103
6-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความเร็วอากาศที่ความสูงเบด 6 เซนติเมตร....	104
6-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความเร็วอากาศที่ความสูงเบด 9 เซนติเมตร....	105
6-5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความเร็วอากาศที่ความสูงเบด 12 เซนติเมตร...	106
6-6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร/วินาที	107
6-7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร/วินาที	108

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

6-8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร/วินาที	109
6-9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร/วินาที	110
6-10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความสูงของเบดตามสมการ.....	112
6-11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพทางความร้อน กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร/วินาที..	116
6-12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพทางความร้อน กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร/วินาที..	117
6-13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพทางความร้อน กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร/วินาที..	118
6-14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพทางความร้อน กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร/วินาที..	119



### คำอธิบายสัญลักษณ์และค่าย่อ

A	พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน	(ม. <sup>2</sup> )
A <sub>c</sub>	พื้นที่ภาคตัดขวางของคอลัมน์	(เมตร <sup>2</sup> )
Cd	ค่าสัมประสิทธิ์drag	
C <sub>pg</sub>	ความจุความร้อนของอากาศ	(แคลอรี/กรัม <sup>o</sup> ซ)
C <sub>pm</sub>	ความจุความร้อนของข้าวโพด	(แคลอรี/กรัม <sup>o</sup> ซ)
d <sub>p</sub>	เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคของแข็ง	(เมตร)
D	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่	(ซม. <sup>2</sup> /วินาที)
Ef	ประสิทธิภาพความร้อน	(%)
g	อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง	(ม/วินาที <sup>2</sup> )
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	(วัตต์/ม. <sup>2</sup> oซ)
Δh <sub>v</sub>	เอนทาลปีของการระเหย	(แคลอรี/กรัม)
k	ค่าคงที่ของอัตรา	(นาที <sup>-1</sup> )
L	ความสูงเบด	(ซม.)
L <sub>mf</sub>	ความสูงเบดเมื่อเริ่มฟลูอิดไดซ์	(ซม.)
MR	อัตราส่วนความชื้น	(-)
ΔP	ความดันลด	(ซม.น้ำ)
Re <sub>p</sub>	ค่าเรย์โนลด์	(-)
t	เวลา	(นาที)
t <sub>cd</sub>	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	(นาที)
t <sub>c</sub>	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งในช่วงอัตราอบแห้งคงที่	(นาที)
t <sub>f1</sub>	เวลาในการอบแห้งในช่วงอัตราอบแห้งลดลงช่วงแรก	(นาที)
t <sub>f2</sub>	เวลาในการอบแห้งในช่วงอัตราอบแห้งลดลงช่วงหลัง	(นาที)
T	อุณหภูมิ	(oซ)
T <sub>o</sub>	อุณหภูมิเริ่มต้นของข้าวโพด	(oซ)
Ta	อุณหภูมิอากาศ	(oซ)
T <sub>f</sub>	อุณหภูมิสุดท้ายของข้าวโพด	(oซ)
T <sub>gi</sub>	อุณหภูมิอากาศร้อนที่เข้าสู่คอลัมน์	(oซ)
u <sub>mf</sub>	ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์	(ม./วินาที)
u <sub>c</sub>	ความเร็วตกอิสระของอนุภาค	(ม./วินาที)

$W$	น้ำหนักของช่องแข็ง	(กรัม)
$X$	ความชื้นของวัตถุ	(%)
$X^*$	ความชื้นของวัตถุที่สมดุลกับอากาศ	(%)
$X_0$	ความชื้นของวัตถุเริ่มต้น	(%)
$e_f$	สัดส่วนช่องว่างของเบดที่มีฟองอากาศ	(-)
$e_m$	สัดส่วนช่องว่างของเบดนิ่ง	(-)
$e_{mf}$	สัดส่วนช่องว่างของเบดเมื่อเริ่มฟลูอิดไดซ์	(-)
$p_a$	ความหนาแน่นของอากาศ	(กก./ม <sup>3</sup> )
$p_s$	ความหนาแน่นของช่องแข็ง	(กก./ม <sup>3</sup> )
$\phi_s$	แฟคเตอร์รูปร่าง	(-)
$\mu$	ความหนืดของอากาศ	(กก./ม <sup>วินาที</sup> )