4

การจำลองแบบและการทดลอง
เครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบไหลในทิศทางเดียวกัน

นาย จิระวัฒน์ ชูมาลัยวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2531

ISBN 974-568-641-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014313

SIMULATION AND EXPERIMENT OF CONCURRENT FLOW RICE DRYER

Mr.Jirawat Choomalaiwong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate school

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-568-641-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองแบบและการทดลองเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบไหลในทิศทางเดียวกัน
โดย	นาย จิระวัฒน์ ชูมาลัยวงศ์
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ชาญชัย ลิมปิยากร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศรี จงรุ่งเรือง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาญชัย ลิมปิยากร)

จิระวัฒน์ ชูมาลัยวงศ์ : การจำลองแบบและการทดลองเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบไหลในทิศทางเดียวกัน (SIMULATION AND EXPERIMENT OF CONCURRENT FLOW RICE DRYER.) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ชาญชัย ลิมปิยากร อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 128 หน้า.

ในการศึกษานี้มุ่งที่จะหาตัวแปรที่สำคัญของระบบอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบไหลในทิศทางเดียวกัน โดยทำการพัฒนาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยศึกษาโดยการจำลองแบบและสร้างเครื่องทดลองที่มีระยะอบแห้ง 1 ช่วงการอบ (one-stage concurrent flow dryer) เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองแบบกับผลที่ได้จากการทดลอง

การจำลองแบบได้ใช้ สมการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดข้าวเปลือก 4 สมการ เพื่อใช้เป็นสมการที่แสดงในรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก ผลปรากฏว่าสมการที่อยู่ในรูปสมการของ Page ซึ่งสร้างขึ้นโดย Wang และ Singh (1978) สามารถใช้แสดงรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกภายในเครื่องอบแห้งแบบไหลในทิศทางเดียวกันได้ โดยให้ผลคำตอบที่สอดคล้องกับการทดลองกล่าวคือ ข้าวเปลือกสามารถอบแห้งจากปริมาณความชื้นเฉลี่ย 20.5% เป็น 18.5% w.b.และจากปริมาณความชื้นเฉลี่ย 17% เป็น 14.6% w.b. ได้เมื่อใช้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 120° C อัตราการไหลของลมร้อนเท่ากับ 30 m^3/m^2-min เมล็ดข้าวเปลือกมีความเร็วเท่ากับ 2.6 m/hr ระยะช่วงอบแห้งเท่ากับ 0.75 ม. โดยเมล็ดข้าวเปลือกไม่เสียคุณภาพไปจากเดิม

ผลการวิจัยเพื่อหาตัวแปรที่สำคัญต่อระบบอบแห้งโดยการจำลองแบบได้ผลดังนี้ คือ (ก) อัตราไหลของลมร้อน อัตราไหลของเมล็ดข้าวเปลือก และอุณหภูมิของลมร้อน เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้ง จากการศึกษาครั้งนี้ได้ค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทั้ง 3 ดังนี้คือ อัตราไหลของลมร้อนเท่ากับ 40 m^3/m^2 - min อัตราไหลของข้าวเปลือกเท่ากับ 2.0 m^3/m^2-hr. และอุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับ 120° C โดยสามารถอบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้น 17% w.b. ให้เหลือความชื้น 13 % w.b. ได้ภายในระยะอบแห้งที่มีความลึก 1.2 m. (ข) สภาวะภูมิอากาศประจำวันที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 80% สามารถใช้ทำเป็นลมร้อนเพื่ออบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกได้ โดยไม่เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำในลมร้อน

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

JIRAWAT CHOOMALAIWONG : SIMULATION AND EXPERIMENT OF CONCURRENT FLOW RICE DRYER. THESIS ADVISOR : ASIST. PROF.CHARCHAI LIMPIYAKORN. THESIS CO-ADVISOR : ASSO.PROF.DR.VIWAT TANTAPANICHKUL. 128 PP.

The purpose of this investigation was to evaluate the important parameters of drying rough rice system in a concurrent flow dryer. This objective was achieved by developing mathematical models to simulate a concurrent flow rough rice dryer and by conducting a series of pilot scale experiments with the one-stage concurrent flow dryer to compare the results of simulation with the experimental results.

In the simulation, four models of a thin-layer equation were used to describe the changes in moisture content of rough rice. The results indicated that one model in the form of Page's equation of Wang & Singh (1978) can be used to describe the changes in moisture content of rough rice in the concurrent flow dryer. The agreement of simulation and expermental results show that rough rice can be dried from the average moisture content of 20.5% to 18.5% w.b. and from 17% to 14.6% w.b. at air temperature as high as 120 C provided that the air flow rate is 30 m^3/m^2-min, the grain velocity is 2.6 m/hr, and the depth of drying zone is 0.75 m., which no significant changes in head yield.

The results of this investigation to evaluate the important parameters of drying system show that : (a) air flow rate, grain flow rate and inlet air temperature were importance parameters to control grain moisture and grain temperature gradient in the drying zone. The optimum value of air flow rate, grain flow rate and heated air temperature are 40 m^3/m^2-min., 2.0 m^3/m^2-hr. and 120 C respectively, rice can be dried from moisture content of 17% w.b. to 13% w.b. within 1.2 m. depth. (b) 80% of RH of ambient air condition can be used to dry rough rice grain, which no effects to the air condensation.

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้โดยความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งของท่านอาจารย์หลายท่าน โดยเฉพาะ ผศ.ชาญชัย ลิมปิยากร รศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้า รวมทั้ง รศ.ดร.มานิจ ทองประเสริฐ รศ.ดร.สมศรี จงรุ่งเรือง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำข้อคิดต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

และเนื่องจากในการศึกษาปริญญามหาบัณฑิตนี้ ข้าพเจ้าได้รับทุนการศึกษาจากสถานเอกอัครราชฑูตเนเธอร์แลนด์จนจบหลักสูตร รวมทั้งได้รับทุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัยด้วยบางส่วน

จึงขอขอบพระคุณแด่ ท่านอาจารย์ทั้งหลาย ประชาชนชาวเนเธอร์แลนด์ เจ้าหน้าที่ของสถานเอกอัครราชฑูตเนเธอร์แลนด์ มา ณ.ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณแด่บาทหลวง จอนห์ วิสเซอร์ และบาทหลวง ตีโต้ เปดรอน ที่ให้ความสนับสนุน อนุเคราะห์ แก่ข้าพเจ้าให้สามารถศึกษาจนจบปริญญามหาบัณฑิต

ขอขอบคุณ คุณสุภัทร หนูสวัสดิ์ เจ้าหน้าที่ของกลุ่มงานวิจัยวิทยาการเก็บรักษาและแปรสภาพ สถาบันทดลองข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ได้ช่วยอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพข้าวเปลือก

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่รักยิ่งของข้าพเจ้าที่ได้ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จิระวัฒน์ ชูมาลัยวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ
กิตติกรรมประกาศ .....ฉ
สารบัญ .....ช
คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ .....ซ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 หลักการและเหตุผล 1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย 5
1.3 ขอบเขตในการวิจัย 5
1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
1.5 ขั้นตอนในการทำวิทยานิพนธ์ 6

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งแบบไหลในทิศทางเดียวกัน 8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับคุณภาพของเมล็ดข้าวเปลือก 10
2.3 สรุปผลจากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

บทที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของเมล็ดข้าวเปลือก 12
3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ 12
3.1.1 ขนาดและชนิดของเมล็ดข้าวเปลือก 12
3.1.2 ความหนาแน่นของกองเมล็ดข้าวเปลือก 13
3.1.3 ความพรุนของกองเมล็ดข้าวเปลือก 13
3.1.4 พื้นที่ผิวจำเพาะ 14

3.1.5 ส.ป.ส.การฟุ้งกระจายทางมวลความชื้น 14
3.1.6 ค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดข้าวเปลือก 17
3.2 คุณสมบัติทางความร้อน 19
3.2.1 ความร้อนจำเพาะของเมล็ดข้าวเปลือก 19
3.2.2 ส.ป.ส.การนำความร้อนของกองเมล็ดข้าวเปลือก 20
3.2.3 ส.ป.ส.การฟุ้งกระจายทางความร้อน 21
3.2.4 ส.ป.ส.การพาความร้อน 22
3.2.5 ปริมาณความร้อนในการทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดข้าว 23

บทที่ 4 การวิเคราะห์สมการของระบบอบแห้ง 25
4.1 ข้อสมมุติฐาน 25
4.2 การวิเคราะห์สมการที่ใช้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 26
4.2.1 พิจารณาการสมดุลย์ทางพลังงานของลมร้อน 27
4.2.2 พิจารณาการสมดุลย์ทางพลังงานความร้อนของเมล็ดข้าว 28
4.2.3 พิจารณาการสมดุลย์ทางมวลของลมร้อนและเมล็ดข้าว 30
4.2.4 สมการอัตราการอบแห้งในชั้นบาง 32
4.2.4.1 หลักการศึกษาการอบแห้งเมล็ดพืชในชั้นบาง 33
4.2.4.2 สมการทางทฤษฎี 34
4.2.4.3 สมการกึ่งทฤษฎี 37
4.2.4.4 สมการที่ได้จากการทดลอง 38

บทที่ 5 การจำลองแบบของระบบอบแห้ง 43
5.1 สมการทางคณิตศาสตร์ของระบบ 43
5.2 หลักการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบของสมการของระบบอบแห้ง 44
5.3 พิจารณาการเคลื่อนที่ของเมล็ดข้าวเปลือก 45
5.4 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก 45
5.5 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของลมร้อน 47
5.6 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของลมร้อนและของเมล็ดข้าวเปลือก ...48
5.7 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 49
5.8 สรุปสมการที่ใช้ในการจำลองแบบทั้งหมด 49

บทที่ 6 การทดลอง 53
6.1 ลักษณะของเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง 53
6.2 ลักษณะของเครื่องทดลองอบแห้ง 54
6.3 ขั้นตอนการทดลอง 63

บทที่ 7 เปรียบเทียบผลการทดลองกับการจำลองแบบ 65
7.1 ผลการทดลอง 65
7.2 ผลการใช้สมการอบแห้งของชั้นบางในการจำลองแบบ 71
7.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองแบบกับผลที่ได้จากการทดลอง 74
7.4 การศึกษาตัวแปรที่สำคัญต่อระบบอบแห้งโดยวิธีการจำลองแบบ 78

บทที่ 8 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ 96
8.1 สรุปการวิจัย 96
8.2 ข้อเสนอแนะ 97

เอกสารอ้างอิง 98
ภาคผนวก 101
ภาคผนวก ก พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกในประเทศไทย 102
ภาคผนวก ข โปรแกรมคอมพิวเตอร์การจำลองแบบ 105
ภาคผนวก ค แบบเครื่องอบแห้ง 127
ประวัติผู้เขียน 128

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ

Ca	-	ความร้อนจำเพาะของลมร้อน (kJ/kg °C)
Cp	-	ความร้อนจำเพาะของเมล็ดข้าวเปลือก (kJ/kg °C)
Cv	-	ความร้อนจำเพาะของไอน้ำในอากาศ (kJ/kg °C)
D	-	ส.ป.ส.การฟุ้งกระจายทางมวลความชื้นในเมล็ดข้าว (m^2/hr)
Ga	-	อัตราไหลของลมร้อน (kg-dry air/m^2 hr)
Gp	-	อัตราไหลของเมล็ดข้าวเปลือก (kg-dry solid/m^2 hr)
h_c	-	ส.ป.ส.การพาความร้อน (kJ/m^2 °C hr)
hfg	-	ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดข้าวเปลือก (kJ/kg)
M	-	ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของเมล็ดข้าวเปลือก (จุดทศนิยม, มาตรฐานแห้ง)
EMC, Me	-	ปริมาณความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดข้าวเปลือก (จุดทศนิยม, มาตรฐานแห้ง)
Md	-	ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก (จุดทศนิยม, มาตรฐานแห้ง)
MR	-	อัตราส่วนความชื้น (ไม่มีหน่วย)
Mw	-	ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก (จุดทศนิยม, มาตรฐานเปียก)
Mp	-	ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก (% , มาตรฐานเปียก)
R, r	-	รัศมีของเมล็ดข้าวเปลือก (m)
RH	-	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%)
S_a	-	พื้นที่ผิวจำเพาะของเมล็ดข้าวเปลือก (m^2/m^3)
t	-	เวลาในการอบแห้ง (hr.)
T	-	อุณหภูมิของอากาศ, ลมร้อน (° C)
Tabs, Tak	-	อุณหภูมิสมบรูณ์ของอากาศ, ลมร้อน (° C)
Va	-	ความเร็วของลมร้อนแห้ง (m/min), (m^3/m^2-min)
Vp	-	ความเร็วของเมล็ดข้าวเปลือก (m/hr), (m^3/m^2-hr.)
W	-	อัตราส่วนความชื้น (kg/kg)
θ	-	อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือก (° C)
ϱa	-	ความหนาแน่นของลมร้อน (kg/m^3)
ϱp	-	ความหนาแน่นของกองเมล็ดข้าวเปลือก (kg/m^3)
ϵ	-	ความพรุนของกองเมล็ดข้าวเปลือก (%)