การจำลองแบบและทดลองเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลม

นายศรัณย์ วัฒนไชย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2748-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21049606

SIMULATION AND EXPERIMENT OF THE PNEUMATIC CONVEYING BAGASSE DRYER

Mr. Saran Wattanachai

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2002

ISBN 974-17-2748-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองแบบและทดลองเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลม
โดย	นายศรัณย์ วัฒนไชย
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศรัณย์ วัฒนไชย : การจำลองแบบและทดลองเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลม (SIMULATION AND EXPERIMENT OF THE PNEUMATIC CONVEYING BAGASSE DRYER), อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ, 139 หน้า. ISBN 974-17-2748-8.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการจำลองแบบเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลมและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ประกอบด้วย ความชื้นของกากอ้อย, ความชื้นของลมร้อน, อุณหภูมิของลมร้อน, อุณหภูมิของกากอ้อย และ ความเร็วของกากอ้อย

เครื่องทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76.2 มิลลิเมตร สูง 6 เมตร มีสภาวะการทดลองต่างๆดังนี้ ความชื้นของกากอ้อย 50.9 – 52.8 % มาตรฐานเปียก ความชื้นของลมร้อน 0.018 – 0.019 กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อุณหภูมิของลมร้อน 170 - 200 องศาเซลเซียส อัตราการไหลลมร้อน 0.02 – 0.05 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อวินาที และอัตราการป้อนกากอ้อยเท่ากับ 0.005 กิโลกรัมกากอ้อยแห้งต่อวินาที

จากผลการวิจัยพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของกากอ้อยที่เหมาะสมใช้ในการจำลองแบบเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลมมีค่าเท่ากับ 1.57 mm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต.....ศรัณย์ วัฒนไชย.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4270557021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD : BAGASSE / PNEUMATIC DRYER / SIMULATION / FUEL GAS
SARAN WATTANACHAI : SIMULATION AND EXPERIMENT OF THE PNEUMATIC CONVEYING BAGASSE DRYER. THESIS ADVISOR : ASSC. PROF. MANIT THONGPRASERT, Ph.D., 139 pp. ISBN 974-17-2748-8.

The objective of this research is to simulate the behaviour of a pneumatic conveying bagasse dryer. A study on the changes of variables - moisture content of bagasse, air humidity, temperature of air, temperature of bagasse, and velocity of bagasse is presented.

The instrument's diameter is 76.2 mm. The height is 6 m. The conditions for the experiment are moisture content of bagasse 50.9 to 52.8 % wet-basis, air humidity 0.018 to 0.019 $kg_{vapor}/kg_{dry\ air}$, temperature of air 170 °C to 200 °C, mass flow rate of air 0.02 to 0.05 $kg_{dry\ air}$ /s, mass flow rate of bagasse 0.005 $kg_{dry\ bagasse}$ /s.

Results show that the appropriate equivalent diameter of bagasse for simulation is 1.57 mm.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Mechanical Engineering
Field of study Mechanical Engineering
Academic year 2002

Student's signature S. Wattanachai
Advisor's signature M. Thongprasert

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.มานิจ ทองประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่อบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในทุกด้านแก่ผู้วิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี กราบขอบพระคุณ รศ.ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์ ผศ.มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล อ.ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ ซึ่งเป็นคณะกรรมการที่ให้คำแนะนำในหลายๆด้าน กราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์บางส่วนในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ คุณธีระยุทธ หลีวิจิตร คุณภูสิฏฐ อิสระญาณพงศ์ พี่นิสิตปริญญาโทที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือต่างๆในการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ พี่ปริญญาเอก เพื่อนๆปริญญาโท รวมทั้งน้องๆทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือต่างๆเสมอมา

ขอขอบคุณช่างเทคนิคและนักการภารโรงของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือระหว่างการสร้างเครื่องและทำการทดลอง

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และน้องชายทั้งสองคน ที่เข้าใจและสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆเรื่องเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฏ
คำอธิบายสัญลักษณ์ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 3
1.4 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์ 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ส่วนประกอบของกากอ้อย 5
2.2 ค่าความร้อนของกากอ้อย 6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

บทที่ 3 ทฤษฎี 12
3.1 ความรู้พื้นฐานของการอบแห้ง 12
3.1.1 กลไกการอบแห้ง 14
3.1.2 ทฤษฎีการแพร่ของของเหลว 18
3.2 ประเภทของเครื่องอบแห้ง 20
3.3 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม 23
3.4 เชื้อเพลิง 24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การจำลองแบบ 26
4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลม 26
4.2 การจำลองแบบเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลม 35

บทที่ 5 การทดลอง 38
5.1 เครื่องทดลองอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลมและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 38
5.2 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดลอง 44
5.3 กากอ้อยที่ใช้ในการทดลอง 45
5.4 วิธีดำเนินการทดลอง 47
5.5 สภาวะการทดลอง 48

บทที่ 6 วิเคราะห์ผล 51
6.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองแบบ 51
6.2 การเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าเพื่อใช้ในการจำลองแบบ 52
6.3 ผลการจำลองแบบเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลม 59
6.4 อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆที่มีผลต่อการอบแห้งกากอ้อย 63
6.4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิของลมร้อน 63
6.4.2 อิทธิพลของอัตราส่วนการป้อนกากอ้อยต่อการไหลของลมร้อน 64
6.4.3 อิทธิพลของความชื้นของลมร้อน 65
6.5 การใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลม 66

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 69
7.1 สรุปผลการวิจัย 69
7.2 ข้อเสนอแนะ 72

รายการอ้างอิง 73

ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบการทดลอง 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการจำลองแบบ..... 92
ภาคผนวก ค ระเบียบวิธี 4th- order Runge-Kutta..... 109
ภาคผนวก ง คุณสมบัติของอากาศ..... 111
ง.1 ความดันไออิ่มตัวของไอน้ำ..... 111
ง.2 ความชื้นอิ่มตัวของอากาศชื้น..... 112
ง.3 ความหนาแน่นของอากาศชื้น..... 112
ง.4 ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ..... 113
ง.5 สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในอากาศ..... 114
ง.6 ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง..... 115
ง.7 ค่าการนำความร้อนของอากาศ..... 115
ง.8 ความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศ..... 116
ภาคผนวก จ การวัดอัตราการไหลของอากาศ..... 117
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลและพลังงาน..... 120
ภาคผนวก ช โปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 124

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 139

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของธาตุในกากอ้อย 6

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้จำลองแบบ 8

ตารางที่ 5.1 การแบ่งขนาดกากอ้อยที่ใช้ในการทดลอง 45

ตารางที่ 5.2 ขนาดโดยเฉลี่ยของกากอ้อยที่ใช้ในการทดลอง 46

ตารางที่ 5.3 อัตราส่วนโดยมวลของกากอ้อย 46

ตารางที่ 5.4 สภาวะการทดลอง 49

ตารางที่ 6.1 ค่า S_x ของ W กรณี d_p ต่างๆ 55

ตารางที่ 6.2 ค่า S_x ของ T_a,T_s กรณี d_p = 1.57 mm 58

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งกับเวลา..... 14
รูปที่ 3.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง..... 17
รูปที่ 3.3 Tray dryer..... 21
รูปที่ 3.4 Rotary dryer with lifters..... 21
รูปที่ 3.5 Fluized bed dryer..... 21
รูปที่ 3.6 Pneumatic conveying dryer..... 21
รูปที่ 3.7 Parallel flow..... 22
รูปที่ 3.8 Perpendicular flow..... 22
รูปที่ 3.9 Through circulation..... 23
รูปที่ 3.10 Cross flow..... 23
รูปที่ 4.1 ปริมาตรควบคุมเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลม..... 27
รูปที่ 4.2 Flow chart..... 37
รูปที่ 5.1 Schematic diagram ของเครื่องทดลองในงานวิจัยนี้..... 40
รูปที่ 5.2 ชุดป้อนอากาศและอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ..... 41
รูปที่ 5.3 พัดลมเป่าอากาศ..... 41
รูปที่ 5.4 การติดตั้งชุดออริฟิส..... 42
รูปที่ 5.5 วาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศ..... 42
รูปที่ 5.6 เครื่องทำความร้อน..... 43
รูปที่ 5.7 ชุดป้อนกากอ้อย..... 43
รูปที่ 5.8 ท่ออบแห้ง..... 44
รูปที่ 6.1 ผลการจำลองแบบความชื้นของกากอ้อยที่ตำแหน่งต่างๆของท่ออบแห้ง (กรณี d_p เท่ากับ 1.25, 1.5, 1.75, 2 mm)..... 53
รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sx(W) กับ d_p..... 55
รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของกากอ้อยที่ได้จากการจำลองแบบและการทดลอง..... 56
รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของลมร้อนที่ได้จากการจำลองแบบและการทดลอง..... 57
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของกากอ้อยที่ได้จากการจำลองแบบและการทดลอง..... 57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 6.6 ผลการจำลองแบบความชื้นของกากอ้อยที่ตำแหน่งต่าง ๆของท่ออบแห้ง..... 60
รูปที่ 6.7 ผลการจำลองแบบความชื้นของลมร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆของท่ออบแห้ง..... 60
รูปที่ 6.8 ผลการจำลองแบบอุณหภูมิของลมร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆของท่ออบแห้ง.....61
รูปที่ 6.9 ผลการจำลองแบบอุณหภูมิของกากอ้อยที่ตำแหน่งต่าง ๆของท่ออบแห้ง..... 61
รูปที่ 6.10 ผลการจำลองแบบความเร็วลมร้อน ความเร็วกากอ้อย และผลต่างของ
ความเร็วที่ตำแหน่งต่าง ๆของท่ออบแห้ง.....62
รูปที่ 6.11 ผลการจำลองแบบความชื้นของกากอ้อยที่ตำแหน่งต่าง ๆของท่ออบแห้ง
(กรณี T_a in = 160, 180, 200, 220, 240 °C)..... 64
รูปที่ 6.12 ผลการจำลองแบบความชื้นของกากอ้อยที่ตำแหน่งต่าง ๆของท่ออบแห้ง
(กรณี m = 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125).....65
รูปที่ 6.13 ผลการจำลองแบบความชื้นของกากอ้อยที่ตำแหน่งต่าง ๆของท่ออบแห้ง
(กรณี H in = 0.010, 0.019, 0.030, 0.040, 0.050 kg/kg).....66
รูปที่ 6.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดที่ได้จากการทดลองกับ
อัตราการไหลของลมร้อน (กรณี T_a in = 170, 180, 190, 200 °C).....68

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
A	พื้นที่หน้าตัดของท่ออบแห้ง (m^2)
a_v	พื้นที่ผิวของกากอ้อยต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรท่ออบแห้ง (m^{-1})
C_a	ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg.K)
C_v	ความจุความร้อนจำเพาะของไอน้ำ (kJ/kg.K)
C_w	ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.K)
C_D	drag coefficient (-)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออบแห้ง (m)
D_{AB}	สัมประสิทธิ์การแพร่ (m^2/s)
d_p	เส้นผ่านศูนย์กลางของกากอ้อย (mm)
Fr_0	Froude number, $u_{a,0}/\sqrt{gD}$ (-)
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)
h	เอนทาลปีต่อหน่วยมวล (kJ/kg)
H	ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศ ($kg_{vapor}/kg_{dry\ air}$)
h_c	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($kW/m^2.K$)
k_a	ค่าการนำความร้อน (kW/m.K)
k_H	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ($kg/m^2.s$)
m	อัตราการไหล (มาตรฐานแห้ง) (kg/s)
M	อัตราส่วนการไหล, m_s/m_a (-)
Nu	Nusselt number, $h_p d_p / k_a$ (-)
P	ความดัน (Pa)
Pr	Prandtl number, $C_a\mu_a/ k_a$ (-)
R_d	อัตราการอบแห้ง ($kg/m^2.s$)
Re	Reynolds number, $\rho_a u_a D/\mu_a$ (-)
Re_p	Reynolds number based on particle, $\rho_a(u_a-u_s)d_p/\mu_a$ (-)
Sc	Schmidt number, $\mu_a/\rho_a D_{AB}$ (-)
Sh	Sherwood number, $h_m d_p/D_{AB}$ (-)
T	อุณหภูมิ (°C)
u_a	ความเร็วของอากาศ (m/s)
u_s	ความเร็วของกากอ้อย (m/s)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
$u_{a,0}$	ความเร็วของอากาศที่สภาวะเริ่มต้น (m/s)
U_a	ความเร็วของอากาศไร้หน่วย, $u_a/ u_{a,0}$ (-)
U_s	ความเร็วของกากอ้อยไร้หน่วย, $u_s/ u_{a,0}$ (-)
V_H	ปริมาตรจำเพาะอากาศชื้น ($m^3/kg_{\ dry\ air}$)
V_P	ปริมาตรของอนุภาคกากอ้อย (m^3)
W	ความชื้นของกากอ้อย มาตรฐานแห้ง ($kg_{\ water}/kg_{\ bagasse}$)
x	ความยาวท่ออบแห้ง (m)
X	ความยาวท่ออบแห้งไร้หน่วย, x/D (-)
h_{fg}	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (kJ/kg)
μ	ความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศ ($N.s/m^2$)
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
ψ	Relative viscosity (-)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย