

การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ และหาเงื่อนไขการปฏิบัติการ
ที่เหมาะสม ของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ในอุตสาหกรรมแป้ง



นาย ชัยรัตน์ ศรีโวทานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-407-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 1689473X

Mathematical Modeling and Optimization of
a Pneumatic Conveying Dryer in
the Starch Industry



Mr. Chairat Srivotanai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Master of Engineering
Department of Chemicals Engineer

Graduate school

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-407-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์และหาเงื่อนไขการปฏิบัติการ
ที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมในอุตสาหกรรมแป้ง

โดย

นาย ชัยรัตน์ ศรีไวท้านัย

ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ กุญสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

.....
(ดร. ชัชชัย ชวินพานิชกุล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



ชยันต์ ศรีไวทนาย : การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์และหาเงื่อนไขการปฏิบัติกรที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งแบบ
พลาสม่าในอุตสาหกรรมแป้ง (MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF A
PNEUMATIC CONVEYING DRYER IN THE STARCH INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษา ศ.ดร.
วิวัฒน์ ดัดทะพานิชกุล, 160 หน้า, ISBN 974-633-407-7

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์แบบจำลองของ Matsumoto และ D.C.T. Pei มาใช้กับการอบแห้งแป้งมันสำ
ปะหลังได้เป็นผลสำเร็จ แบบจำลองสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิธรรีอน T_g , อุณหภูมิวัตตุ
 T_s' , ความชื้นธรรีอน H , ความชื้นวัตตุ w เมื่อเปรียบเทียบผลการซิมูเลตกับผลการวัตตุจริง ที่ทางออกเครื่องอบแห้ง พบว่า แบบ
จำลองนี้สามารถทำนายค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิธรรีอน T_g มีแนวโน้มต่ำกว่าข้อมูลจริงประมาณ $3-6^\circ C$ อุณหภูมิวัตตุ
 T_s' มีแนวโน้มสูงกว่าข้อมูลจริงประมาณ $10-15^\circ C$ ความชื้นธรรีอน H มีแนวโน้มสูงกว่าข้อมูลจริงประมาณ $0.002-0.005$
 kg ไอน้ำ/ kg อากาศแห้ง และความชื้นวัตตุ w มีแนวโน้มต่ำกว่าข้อมูลจริงประมาณ $0.01-0.05$ kg ไอน้ำ/ kg วัตตุไร้ชื้น

เมื่อใช้แบบจำลองศึกษาหาเงื่อนไขการปฏิบัติกรที่เหมาะสม: สรุปได้ว่า

กรณีที่ 1 การหาเงื่อนไขการเดินเครื่องอบแห้งให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าปัจจุบัน เงื่อนไขการเดินเครื่องอบแห้งของ
โรงงานอาจใช้ความเร็วธรรีอนสูงเกินไป เมื่อทดลองลดความเร็วธรรีอนลงมากที่ 25 m/sec พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายการปฏิบัติ
งานลงได้ประมาณ 100 บาท/ตัน แป้งแห้ง เมื่อศึกษาโดยรวมพบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วธรรีอน 1 m/sec จะมีผล
ให้ค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานเปลี่ยนตามไปประมาณ 20 บาท/ตัน แป้งแห้ง ในขณะที่การเปลี่ยนอุณหภูมิธรรีอน $1^\circ C$ จะมีผลให้ค่า
ค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานเปลี่ยนตามไป ประมาณ 2 บาท/ตัน แป้งแห้ง

กรณีที่ 2 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องอบแห้งให้สูงขึ้น พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังการอบ
แห้งของเครื่องอบแห้งของโรงงานขึ้น 30% ค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานจะลดลง ประมาณ 96 บาท/ตัน แป้งแห้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี.....
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี.....
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C517103 : MAJOR CHEMICALS ENGINEER

KEY WORD: PNEUMATIC CONVEYING DRYER/ MODELING/ STARCH

CHAIRAT SRIVOTANAI : MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF A PNEUMATIC CONVEYING DRYER IN THE STARCH INDUSTRY

THESIS ADVISOR : PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON , Ph.d. 160 pp.
ISBN 974-633-407-7

The thesis work successfully applied the mathematical model proposed by Matsumoto and D.C.T. Pei to starch drying. The model can predict the changes in the state variables of the drying process, such as temperature of hot air (T_g), temperature of material (T_s), humidity of hot air (H), and moisture content of material (w). When the simulated outlet results were compared to the experimental results, the following conclusions were obtained. The hot air temperature (T_g) corresponding tended to be 3-6 °C lower than the actual, the material temperature about 10-15 °C higher, the hot air humidity about 0.002-0.005 kg water /kg dry air higher while the material moisture content about 0.01-0.05 kg water/kg dry material lower than the actual. When the model was used to find the optimum operating conditions the conclusions were as follows :

Case 1. To find the operating conditions for higher efficiency. At present the factory operated at quite high hot air velocity. When the velocity of the hot air was reduced to 25 m/sec, the operating costs dropped about 100 baht/ton dry starch. On the average, when the air velocity decreased 1 m/sec the operating costs dropped about 20 baht/ton dry starch, while 1 °C change in the hot air temperature changed the operating costs about 2 baht/ton dry starch.

Case 2. to find the operating conditions for higher capacity. It was found that when the drying capacity of the factory was increased 30 %, the operating costs dropped about 96 baht/ton dry starch

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญสัญลักษณ์.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 มูลเหตุจูงใจ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 สรุปผลงานวิจัยในอดีต.....	4
บทที่ 3 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม.....	13
3.1 ความรู้พื้นฐานของการอบแห้ง.....	13
3.2 กลไกการอบแห้ง.....	14
3.3 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม.....	16
บทที่ 4 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม.....	30
4.1 สมการดุลมวลสารรวม.....	31
4.2 สมการดุลของพลังงานความร้อนรวม.....	31
4.3 สมการดุลของน้ำในวัสดุขึ้น.....	32
4.4 สมการดุลของไอน้ำในลมร้อน.....	32
4.5 สมการดุลของพลังงานความร้อนในวัสดุขึ้น.....	33
4.6 สมการดุลของพลังงานในลมร้อน.....	34
4.7 สมการการเคลื่อนที่ของอนุภาค.....	36
4.8 อัลกอริทึมและผังการคำนวณ.....	38

บทที่ 5	การทดสอบแบบจำลอง เงื่อนไขและผลการซึ่มูเลต.....	65
5.1	เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษาและทดสอบแบบจำลอง...	65
5.2	วิธีการเก็บข้อมูล.....	67
5.3	ผลการทดลอง.....	68
5.4	แนวทางการซึ่มูเลต.....	69
5.5	ผลการทดสอบความถูกต้องเหมาะสมของแบบจำลอง.....	70
5.6	การทำเงื่อนไขการปฏิบัติงานที่เหมาะสมของ เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม.....	93
บทที่ 6	บทสรุปข้อเสนอแนะ.....	110
	รายการอ้างอิง.....	114
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก.	คุณสมบัติของอากาศ.....	118
ก.1	ความดันไออิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	119
ก.2	ความชื้นอิ่มตัวของอากาศชื้น.....	120
ก.3	ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	120
ก.4	ปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นของอากาศชื้น.....	121
ก.5	สัมประสิทธิ์การแพร่ระหว่างน้ำกับอากาศ.....	121
ก.6	ความจุความร้อนของอากาศ.....	122
ก.7	ความนำความร้อนของอากาศ.....	122
ก.8	ความหนืดของอากาศ.....	123
ภาคผนวก ข.	การวัดความเร็วของอากาศ.....	127
ภาคผนวก ค.	อัลกอริทึม วิธี รันจ์-คัตตา ออร์เดอร์ 3 และ 4.....	129
ภาคผนวก ง.	การหาการกระจายขนาดอนุภาคแป้ง.....	132
ภาคผนวก จ.	ตัวอย่างการคำนวณ.....	134
ภาคผนวก ฉ.	การคำนวณค่าความดันลด.....	137
ภาคผนวก ช.	ผลการเก็บข้อมูล.....	139
ภาคผนวก ซ.	ผลการซึ่มูเลต.....	145
ภาคผนวก ฅ.	ตัวอย่างโปรแกรม.....	149

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดต่างๆ ในอุตสาหกรรม.....	29
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $S_x = \sqrt{\Sigma (X_{1(\text{obs})} - X_{1(\text{exp})})^2}$ กับขนาดเชิงประสิทธิผลของอนุภาคที่ใช้ซีเมนต์.....	71
5.2	ค่าการคำนวณของ ha สำหรับอนุภาคขนาดต่าง ๆ	75
5.3	ตัวอย่างเงื่อนไขการปฏิบัติงานที่ใช้ซีเมนต์.....	89
5.4	ค่าทำนายของความชื้นวัสดุที่ทางออกเครื่องอบแห้ง	95
5.5	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ความเร็วลมร้อนต่างๆ (อุณหภูมิลมร้อน = 190 °C).....	96
5.6	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ความเร็วลมร้อนต่างๆ (อุณหภูมิลมร้อน = 205 °C).....	96
5.7	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ความเร็วลมร้อนต่างๆ (อุณหภูมิลมร้อน = 220 °C).....	97
5.8	ค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานต่อหน่วยแป้งแห้ง (บาท/ตันแป้งแห้ง) กับ ความเร็วลมร้อน ที่อุณหภูมิลมร้อนต่างๆ	97
5.9	ความชื้นของแป้งที่ทางออกเครื่องอบแห้ง ที่กำลังการผลิตและ ความเร็วลมร้อนต่างๆ สำหรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า = 190 °C	101
5.10	ความชื้นของแป้งที่ทางออกเครื่องอบแห้ง ที่กำลังการผลิตและ ความเร็วลมร้อนต่างๆ สำหรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า = 205 °C	102
5.11	ความชื้นของแป้งที่ทางออกเครื่องอบแห้ง ที่กำลังการผลิตและ ความเร็วลมร้อนต่างๆ สำหรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า = 220 °C	102
5.12	ค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานต่อหน่วยแป้งแห้ง (บาท/ตันแป้งแห้ง) กับกำลังการผลิตสำหรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า = 190 °C	104

5.13	ค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานต่อหน่วยแป้งแห้ง (บาท/ตันแป้งแห้ง) กับกำลังการผลิต สำหรับอุณหภูมิร้อนชาเข้า = 205 °C	105
5.14	ค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานต่อหน่วยแป้งแห้ง (บาท/ตันแป้งแห้ง) กับกำลังการผลิตสำหรับอุณหภูมิร้อนชาเข้า = 220 °C	105
ก1.	เปรียบเทียบค่า ความดันไอน้ำอิ่มตัว (P_u) ความชื้นสัมบูรณ์อิ่มตัว (H_u) และ ความร้อนแฝงของการระเหย (λ) ที่คำนวณได้กับค่าจาก Handbook.....	124
ก2.	เปรียบเทียบค่า ความนำความร้อน (K_x) ความร้อนจำเพาะ (C_p) และ ความหนืด (μ_x) ที่คำนวณได้ กับค่าจาก Handbook.....	125
ก3.	เปรียบเทียบค่า สัมประสิทธิ์การแพร่ (D_{AB}) ที่คำนวณได้ กับที่ได้จาก Handbook.....	126
ง	ผลการทดลองหาการกระจายขนาดอนุภาคแป้งแห้ง.....	132
ช	ผลการวัดข้อมูลจริงในโรงงาน.....	140
ซ	ผลการซึ่มเลตข้อมูลจากแบบจำลอง.....	146

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กระบวนการทั่วไปในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง.....	3
3.1	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง.....	15
3.2	การเปลี่ยนแปลงสภาวะของลมร้อนและวัสดุภายในเครื่องอบแห้ง.....	17
3.3	เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมอย่างง่าย.....	18
3.4	เครื่องอบแห้งแบบ Raymond flash dryer.....	21
3.5	เครื่องอบแห้ง Buttner-Rosin pneumatic dryer.....	21
3.6	เครื่องอบแห้งแบบ Berks ring dryer.....	22
3.7	เครื่องอบแห้งแบบ Closed circuit direct fired ring dryer.....	22
3.8	เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดป้อนวัสดุโดยตรง.....	24
3.9	เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่องกระจายวัสดุ.....	24
3.10	เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมี Disintegrator.....	25
3.11	เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมสำหรับถ่านหินผง.....	27
3.12	เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมสำหรับเชื้อกระดาษ.....	28
3.13	เครื่องอบแห้งแบบไอน้ำสำหรับเชื้อกระดาษ.....	28
4	ไดอะแกรมแสดงการพิจารณาเครื่องอบแห้งที่ความยาว Δx ...	32
5.1	ไดอะแกรมเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมในโรงงานที่ใช้ศึกษา...	66
5.2ก.	ความสัมพันธ์ระหว่าง S_x กับ d_p กรณี $x = T_g$ ($^{\circ}C$).....	73
5.2ข.	ความสัมพันธ์ระหว่าง S_x กับ d_p กรณี $x = T_s$ ($^{\circ}C$).....	73
5.2ค.	ความสัมพันธ์ระหว่าง S_x กับ d_p กรณี $x = H$ (-).....	74
5.2ง.	ความสัมพันธ์ระหว่าง S_x กับ d_p กรณี $x = w$ (-).....	74
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $ha(d_p)/ha(0.121 \text{ mm.})$ กับ d_p	76
5.4ก.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก T_g ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการชั่งเมล็ด	78

5.4ข.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิวัสดุที่ทางออก Ts ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต	78
5.4ค.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของความชื้นของลมร้อนที่ทางออก H ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต.....	79
5.4ง.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของความชื้นของวัสดุที่ทางออก w ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต.....	79
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิวัสดุที่ทางออก Ts' ซึ่งคำนวณได้โดยใช้สมการ (5.1) กับค่าที่ได้จากการ ปฏิบัติงานจริงในโรงงาน.....	80
5.6ก.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก Tg ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต กรณี a=0.65.....	81
5.6ข.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิวัสดุที่ทางออก Ts ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต กรณี a=0.65.....	82
5.6ค.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของความชื้นของลมร้อนที่ทางออก H ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต กรณี a=0.65.....	82
5.6ง.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของความชื้นของวัสดุที่ทางออก w ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต กรณี a=0.65.....	83
5.7ก.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก Tg ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต กรณี a=0.68.....	83
5.7ข.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิวัสดุที่ทางออก Ts ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต กรณี a=0.68.....	84
5.7ค.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของความชื้นของลมร้อนที่ทางออก H ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต กรณี a=0.68.....	84
5.7ง.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของความชื้นของวัสดุที่ทางออก w ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต กรณี a=0.68.....	85
5.8ก.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก Tg ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต กรณี a=0.70.....	85
5.8ข.	ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิวัสดุที่ทางออก Ts ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการซิมูเลต กรณี a=0.70.....	86

- 5.8ค. ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของความชื้นของลมร้อนที่ทางออก H
ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการชั่งโมเลกุล กรณี $a=0.70$ 86
- 5.8ง. ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของความชื้นของวัสดุที่ทางออก w
ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการชั่งโมเลกุล กรณี $a=0.70$ 87
- 5.9ก. ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิวัสดุที่ทางออก T_s'
ซึ่งคำนวณได้โดยใช้สมการ (5.1) กับค่าที่ได้จากการ
ปฏิบัติงานจริงในโรงงาน กรณี $a=0.65$ 87
- 5.9ข. ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิวัสดุที่ทางออก T_s'
ซึ่งคำนวณได้โดยใช้สมการ (5.1) กับค่าที่ได้จากการ
ปฏิบัติงานจริงในโรงงาน กรณี $a=0.68$ 88
- 5.9ค. ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของอุณหภูมิวัสดุที่ทางออก T_s'
ซึ่งคำนวณได้โดยใช้สมการ (5.1) กับค่าที่ได้จากการ
ปฏิบัติงานจริงในโรงงาน กรณี $a=0.70$ 88
- 5.10. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก T_g
ที่ได้จากการชั่งโมเลกุลกับความยาวท่ออบแห้ง กรณี $a=0.65$89
- 5.11. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิวัสดุที่ทางออก T_s และ T_s'
ที่ได้จากการชั่งโมเลกุล กับความยาวท่ออบแห้ง กรณี $a=0.65$ 90
- 5.12. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของลมร้อนที่ทางออก H
ที่ได้จากการชั่งโมเลกุล กับ ความยาวท่ออบแห้ง กรณี $a=0.65$... 90
- 5.13. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของวัสดุที่ทางออก w
ที่ได้จากการชั่งโมเลกุล กับ ความยาวท่ออบแห้ง กรณี $a=0.65$.. 91
- 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมร้อน u_x ,
ความเร็วของวัสดุ u_s และ $(u_x - u_s)$ กับความยาวท่ออบแห้ง....91
- 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นวัสดุที่ทางออกเครื่องอบแห้ง
กับความเร็วลมร้อน (ผลการชั่งโมเลกุล)
กรณี อุณหภูมิลมร้อน = 190, 205, 220 °C 98
- 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานต่อหน่วย
(บาท/ตันแห้ง) กับความเร็วลมร้อน
กรณี อุณหภูมิลมร้อน = 190, 205, 220 °C..... 99

สารบัญสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

a_v	พื้นที่ผิวของอนุภาคแข็งต่อปริมาตรเครื่องอบแห้ง (m^{-3})
C	ความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ($Kcal/Kg.K$)
C_d	สัมประสิทธิ์ของแรงดรอ (Drag Coefficient)
D	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่ออบแห้ง (m)
D_p	เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคแข็ง (m)
Fr_o	ตัวเลขฟรูด (Froude number, $u_{oo} / \sqrt{g \cdot D}$)
G	อัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อน (Kg/hr)
H	ความชื้นสัมบูรณ์ของลมร้อน
h_p	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรอบๆ อนุภาคแข็ง ($Kcal/hr.m^2.^{\circ}C$)
i	เอ็นทัลปี ($kcal / kg$ อากาศแห้ง)
K_o, K_1	ค่าพารามิเตอร์ของสมการที่ 4.7, 4.13
k_H	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ($Kg/hr.m^2$)
M	มวลโมเลกุล (kg)
m	อัตราส่วนการไหลเชิงมวลของแข็งต่อลมร้อน (W_o / G_o)
Nu	ตัวเลขนัสเซิลท์ ($-$, $h \cdot d_p / k_x$)
ΔP	ความดันลด (Kg/m^2)
Pr	ตัวเลขพรันด์ทอลล์ ($-$, $C_p \cdot \mu / k_x$)
q_1	อัตราการไหลของความร้อนเข้าอนุภาคแข็ง ($Kcal/m^2$)
R_d	อัตราการอบแห้งที่ผิวอนุภาคแข็ง ($Kg/m^2.hr$)
Re	ตัวเลขเรย์โนลส์ขึ้นอยู่กับเส้นผ่าศูนย์กลางท่ออบแห้ง ($-$, $D \cdot \rho_x / \mu_x$)
Re_p	ตัวเลขเรย์โนลส์รอบอนุภาคแข็ง ($-$, $d_p \cdot \rho_x / \mu_x$)
S	พื้นที่หน้าตัดของท่ออบแห้ง (m^2)

Sc	ตัวเลขชmidt (- , $\mu / \rho \cdot D_{ab}$)
Sh	ตัวเลขเชอร์วูด (- , $k_H \cdot d_p / D_{ab}$)
T	อุณหภูมิ (K)
U	ความเร็วไวมิตี (-)
u	ความเร็ว (m/sec)
V_p	ปริมาตรของอนุภาคแข็ง (m^3)
w	อัตราส่วนความชื้น (Kg ไอน้ำ / Kg วัสดุแห้ง)
X	ความยาวของท่ออบแห้งไวมิตี (-)

สัญลักษณ์ภาษากรีก

λ	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Kcal/Kg)
μ	ความหนืด (Kg/m.sec)
ρ	ความหนาแน่น (Kg. m^3)
α_L	ความหนืดสัมพัทธ์ของลมร้อน (-)
α_H	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของลมร้อน (-)

สัญลักษณ์ตัวอักษร

a	อากาศแห้ง
f	สภาวะสุดท้าย
g	ลมร้อนหรือที่อุณหภูมิลมร้อน
H	อากาศชื้น
H_2O	น้ำ
m	ภาวะชื้น
s	วัสดุหรือที่อุณหภูมิวัสดุ
sat	ภาวะอิ่มตัว
t	ความเร็วปั่นป่วน
v	ไอน้ำ
w	น้ำ หรือ ที่ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
o	ภาวะเริ่มต้น