


การพัฒนาและออกแบบเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์ของขบเคี้ยวของสุนัข



นายปริญญา พนาพิศาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1244-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT AND DESIGN OF A CONTINUOUS DRYER FOR MUNCHY AND  
RAWHIDE DOG CHEWS



Mr. Parinya Panapisal

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

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1244-6



ปริญา พนาพิศาล : การพัฒนาและออกแบบเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องผลิตภัณฑ์ของขบเคี้ยวของสุนัข  
(DEVELOPMENT AND DESIGN OF A CONTINUOUS DRYER FOR MUNCHY AND RAWHIDE DOG  
CHEWS) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : คุณวิกิจ คำรงค์ศักดิ์กุล, 144 หน้า. ISBN  
974-03-1244-6

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ของขบเคี้ยวสำหรับสุนัขเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องอบ  
แห้งแบบต่อเนื่อง โดยได้ทำการศึกษารอบแห้งในตู้อบแห้งแบบวงวอดที่ใช้อยู่ในโรงงานปัจจุบัน ออกแบบและ  
สร้างเครื่องอบแห้งแบบวงวอดขนาดเล็กเพื่อศึกษาถึงลักษณะเฉพาะของการอบแห้งขึ้นขบเคี้ยว และศึกษาถึงตัว  
แปรในการอบแห้งที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ ชนิดของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิของลมร้อน และความเร็วลมที่  
ใช้ในการอบแห้ง พร้อมทั้งนำข้อมูลของอัตราการอบแห้งที่ได้ไปใช้คำนวณหาขนาดของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสม  
โดยได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องขึ้นมา 3 ชนิด คือ แบบสายพาน  
ลำเลียง, แบบอุโมงค์ที่ลมไหลตัดขวาง และแบบอุโมงค์ที่ลมไหลขนาน

จากการศึกษาเครื่องอบแห้งแบบวงวอดที่ใช้อยู่ได้พบว่ามีช่วงการกระจายตัวของความชื้นในวัสดุขนแต่  
ละภาคค่อนข้างกว้าง และเมื่อทำการทดลองสอดท่อระบายไอน้ำเข้าในเครื่องอบแห้ง พบว่ากลับทำให้ประสิทธิ  
ภาพเชิงพลังงานของเครื่องลดต่ำลงโดยประสิทธิภาพของเครื่องก่อนการสอดท่อระบายไอน้ำมีค่าอยู่ระหว่างร้อย  
ละ 43.38-54.08 และประสิทธิภาพของเครื่องหลังการสอดท่อระบายไอน้ำมีค่าร้อยละ 40.46-46.10

ผลจากการศึกษาตัวแปรต่างๆ โดยการทดลองพบว่า ขึ้นขบเคี้ยวสำหรับสุนัขชนิดกระดูกอัดขนาด 12  
นิ้ว ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุด ถ้าอุณหภูมิของลมร้อนเพิ่มขึ้นจะมีผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นแต่  
อุณหภูมิจะถูกจำกัดโดยคุณภาพของวัสดุซึ่งต้องไม่มีการเสื่อมสภาพไป สำหรับความเร็วของลมพบว่าอัตราการ  
อบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของลมเพิ่มขึ้นจนถึงค่าความเร็วลมที่ค่าๆ หนึ่ง จากนั้นถ้าเพิ่มความเร็วลมขึ้นอีก  
จะมีผลให้อัตราการอบแห้งกลับช้าลง ในการทดลองพบว่าความเร็วลมที่ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด คือ  
ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที สำหรับกระดูกอัดขนาด 12 นิ้ว และ 4 นิ้ว

จากผลของการจำลองการอบแห้งพบว่าเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับ  
การอบแห้งขึ้นขบเคี้ยวสำหรับสุนัขจะเป็นเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ที่ลมไหลตัดขวาง โดยมีสภาวะที่เหมาะสม  
คือ ช่วงของอุณหภูมิลมร้อนแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยทั้งสองช่วงตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม  
1.0 เมตรต่อวินาที อัตราการหมุนเวียนลม 0.3 และ 0.9 ในแต่ละช่วงตามลำดับ

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี .....  
ปีการศึกษา ..... 2544 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... พนาพิศาล .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... ศ.ดร.วิวัฒน์ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... วิกิจ คำรงค์ศักดิ์กุล .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4170406921: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: CONTINUOUS DRYER / RAWHIDE DOG CHEWS / BATCH DRYER / CONVEYOR DRYER / TUNNEL DRYER

PARINYA PANAPISAL: DEVELOPMENT AND DESIGN OF A CONTINUOUS DRYER FOR MUNCHY AND RAWHIDE DOG CHEWS. THESIS ADVISOR: PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : Mr. VIKIJ DAMRONGSAKKUL, MBA. 144 pp. ISBN 974-03-1244-6

This research investigated the drying of munchy and rawhide dog chews in order to design a continuous dryer. The study covered batch dryers already in use in the factory, and the design and construction of a small experimental dryer to investigate of the effects of the major factors on the drying rate, namely, material type, air temperature and air velocity. Experimental data on the drying rate was used to develop mathematical models of the belt conveyor dryer, cross flow tunnel dryer and parallel flow tunnel dryer, and the models were used to calculate their required sizes.

The batch dryer was found to yield a rather wide non-uniformity in the final water content among the different trays. When the effect of the insertion of steam exhaust ducts was investigated, it was found that the modified batch dryer had a lower energy efficiency than the unmodified batch dryer, the values being 40.46-46.10 percent and 43.38-54.08 percent, respectively.

When the various factors were investigated experimentally, it was found that the drying rate of 12-inch rawhide was the slowest among dog chews. It was found that the drying rate increased when either the hot air temperature or air velocity increased. The highest air temperature is limited by the quality of the dried products, which must not deteriorate. The drying rate was found to increase until the air velocity exceeded some critical value, above which the drying rate dropped. The experimental velocity that yielded the highest drying rate was 1.0 meter per second for both 12-inch and 4-inch rawhide.

Results of simulation revealed that the suitable continuous dryer type for dog chews is a cross-flow tunnel dryer having 2 sections. The suitable conditions were hot air at 60 °C and 1.0 meter per second air velocity in both sections and recycle air ratio of 0.3 and 0.9 in each section, respectively.

Department ..... Chemical Engineering .....  
Field of study ..... Chemical Engineering .....  
Academic year ..... 2001 .....

Student's signature *Parinya panapisal* .....  
Advisor's signature *Wiwut Tanthapanichakoon* .....  
Co-advisor's signature *[Signature]* .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน ผู้ทำวิจัยขอกราบ  
ขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และหัวหน้า  
โครงการสนับสนุนผู้ปฏิบัติการวิจัยในภาคอุตสาหกรรมที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ในการ  
ทำวิจัยตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ คุณวิกิจ ดำรงค์ศักดิ์กุล ที่ช่วยให้การ  
ช่วยเหลือและดูแลระหว่างที่ทำการวิจัยที่โรงงาน

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ ประธานกรรมการ  
รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล และ อาจารย์ ดร.เจตศักดิ์ ไชยคุนา กรรมการสอบ  
วิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล ซึ่งได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็น  
ประโยชน์ และแก้ไขเพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท เวิลด์เพ็ท อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด คุณมนัส บุญดำเนินพานิช ภั  
ต่าย กรด และพนักงานทุกคนที่ให้การช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการเก็บข้อมูล  
คุณ สุชาติ อานาจวิภาวี และคุณพิศิษฐ์ มิ่งมาลัยรักษ์ บริษัท ร็อคฮีท เอ็นจิเนียริง อินดัสทรี จำกัด  
ที่ให้ความร่วมมือในการคำนวณและเขียนแบบของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวาง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการการสนับสนุนผู้ปฏิบัติการวิจัยในภาค  
อุตสาหกรรม (IRAS) สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) บริษัท เวิลด์เพ็ท อินเทอร์เน็ตเนชั่น  
แนล จำกัด และ บัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกคนที่ให้กำลังใจและความช่วย  
เหลือด้านค่าใช้จ่ายต่างๆ ระหว่างทำงานวิจัยของผู้วิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยชิ้นนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เลยหากปราศจาก น้องเจี๊ยบ พี่ๆ เพื่อนๆ  
และน้องๆ ในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอนาคตและกระบวนการวัสดุ เล็ก ศร คง และเพื่อนๆ ลาด  
กระบัง ที่ได้คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์จนทำให้งาน  
วิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญรูป .....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ท
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 มูลเหตุจูงใจ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
2. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
3. ทฤษฎีการอบแห้ง .....	7
3.1 ความรู้พื้นฐานของการอบแห้ง .....	7
3.2 ชนิดของเครื่องอบแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรม .....	11
3.3 หลักการพื้นฐานของการเลือกเครื่องอบแห้ง .....	16
3.4 สมการพื้นฐานการอบแห้ง .....	16
4. การศึกษาวิเคราะห์สถานภาพเดิมของเครื่องอบแห้งแบบวงดที่ใช้อยู่ในโรงงาน .....	19
4.1 ขั้นตอนที่ทำการศึกษา .....	21
4.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา .....	22
5. การทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบวงดขนาดเล็ก .....	28
5.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง .....	28
5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	31
5.3 สภาวะในการทดลอง .....	38

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 ขั้นตอนการทดลอง .....	38
5.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	41
6. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งขนาดเล็ก .....	42
6.1 การสอบเทียบอุปกรณ์การทดลอง .....	42
6.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ .....	45
7. โปรแกรมประเมินขนาดของเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่อง .....	53
7.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียง .....	53
7.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวาง .....	61
7.3 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนาน .....	62
8. ผลการจำลองกระบวนการเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่อง.....	65
8.1 เครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียง .....	66
8.2 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวาง .....	71
8.3 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนาน .....	82
8.4 วิเคราะห์ต้นทุนในการผลิต .....	83
9. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	86
9.1 สรุปผลการวิจัย .....	86
9.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม .....	88
รายการอ้างอิง .....	89
ภาคผนวก .....	91
ภาคผนวก ก .....	92
ภาคผนวก ข .....	99
ภาคผนวก ค .....	103
ภาคผนวก ง .....	143
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	144



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	สรุปผลการทดลองเครื่องอบแห้งแบบวงดที่ใช้ในโรงงาน .....	24
4.2	สถิติความถี่มวลของน้ำที่ระเหยได้จากตะแกรงที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของรถเข็นมากกว่าค่าที่กำหนด .....	25
7.1	ความสัมพันธ์ของกริมสัน (Grimson) สำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านแท่งรูปทรงกระบอกสำหรับสมการ 7.13 .....	57
8.1	ค่าตัวแปรเสริมต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองกระบวนการเพื่อหาขนาดเครื่องอบแห้งสายพานแบบชั้นเดียว .....	66
8.2	ผลการจำลองกระบวนการเครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียงแบบชั้นเดียว .....	69
8.3	ผลการจำลองกระบวนการเครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียงแบบ 3 ชั้น .....	70
8.4	ค่าของตัวแปรเสริมต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองกระบวนการเพื่อหาขนาดเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวาง .....	71
8.5	ผลการจำลองกระบวนการของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดที่มีการสลับทิศทางการของลมร้อน .....	73
8.6	ผลการจำลองกระบวนการเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดที่ไม่มีการสลับทิศทางลมร้อน .....	78
8.7	ค่าของตัวแปรเสริมต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองกระบวนการเพื่อหาขนาดเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนาน .....	82
8.8	ผลการจำลองกระบวนการของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนาน .....	84
8.9	แสดงต้นทุนในการผลิตต่อปีของเครื่องอบแห้งแบบวงดและเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวาง .....	85
ก1	ความดันไออิ่มตัวของน้ำ .....	93
ค1	ตัวอย่างที่นำไปหาค่าความชื้นเริ่มต้นโดยทำการสุ่มจากตัวอย่างก่อนเข้าเครื่องอบ .....	104
ค2	ข้อมูลของรถเข็นคันที่ 1 .....	105

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค3	ข้อมูลของรถเข็นคันที่ 2 .....	106
ค4	ข้อมูลของรถเข็นคันที่ 3 .....	107
ค5	ข้อมูลของรถเข็นคันที่ 4 .....	108
ค6	ข้อมูลของรถเข็นคันที่ 5 .....	109
ค7	ข้อมูลของรถเข็นคันที่ 6 .....	110
ค8	ข้อมูลของรถเข็นคันที่ 7 .....	111
ค9	ข้อมูลของรถเข็นคันที่ 8 .....	112
ค10	ข้อมูลของรถเข็นคันที่ 9 .....	113
ค11	ผลการทดลองวัดน้ำหนักที่ลดลงกับเวลาระหว่างการอบแห้ง ซึ่งเป็น ค่าเฉลี่ยทุกๆ 5 นาที .....	115
ค12	ความชื้นอากาศขาเข้าที่ใช้ในการอบแห้งในการทดลองอบแห้งกระดูกอัด 12 นิ้ว ..	126
ค13	ค่าของอุณหภูมิของลมร้อนในช่วงที่ 1 .....	127
ค14	ค่าของอุณหภูมิของลมร้อนในช่วงที่ 2 .....	129
ค15	ค่าของความชื้นของลมร้อนในช่วงที่ 1 .....	131
ค16	ค่าของความชื้นของลมร้อนในช่วงที่ 2 .....	133
ค17	ค่าของอุณหภูมิวัสดุในช่วงที่ 1 .....	135
ค18	ค่าของอุณหภูมิวัสดุในช่วงที่ 2 .....	137
ค19	ค่าของความชื้นวัสดุในช่วงที่ 1 .....	139
ค20	ค่าของความชื้นวัสดุในช่วงที่ 2 .....	141

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการอบแห้งวัสดุขึ้นภายใต้เงื่อนไขของลมร้อนที่มีอุณหภูมิ, ความชื้น และความเร็วลมคงที่ .....	8
3.2	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซึ่งได้มาจากรูป 3.1 .....	8
3.3	การกระจายความชื้นในวัสดุระหว่างการอบแห้งในช่วงต่างๆ .....	10
3.4	เครื่องอบแห้งแบบถาด .....	11
3.5	เครื่องอบแห้งแบบไหลผ่านชนิดสายพานลำเลียง .....	12
3.6	เครื่องอบแห้งแบบหมุน .....	12
3.7	เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบ .....	13
3.8	เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย .....	13
3.9	เครื่องอบแห้งแบบดรัม .....	14
3.10	เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม .....	14
3.11	เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ .....	15
3.12	โครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับเครื่องอบแห้ง .....	17
4.1	ลักษณะภายนอกของเครื่องอบแห้งที่ใช้อยู่ .....	19
4.2	ลักษณะการจัดเรียงรถเข็นภายในตู้อบแห้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน .....	19
4.3	ลักษณะด้านข้างของเครื่องอบแห้งที่ใช้อยู่ในโรงงาน .....	20
5.1	ผังกระบวนการผลิตกระดาษอัด .....	29
5.2	ผังกระบวนการผลิตขึ้นขบเคี้ยว .....	30
5.3	เครื่องวัดความเร็วลม .....	31
5.4	เครื่องชั่งน้ำหนัก .....	32
5.5	เครื่องกำเนิดลม .....	32
5.6	แท่งให้ความร้อนรูปตัวดับเบิลยู .....	33
5.7	ชุดวัดอุณหภูมิ .....	34
5.8	ไดอะแกรมของเครื่องอบแห้งแบบอยู่นิ่งขนาดเล็ก .....	36

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.9	ภาพถ่ายของเครื่องอบแห้งแบบอยู่นิ่งขนาดเล็ก .....	37
5.10	ขั้นตอนการทดลองอบแห้ง .....	40
6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาของการอบขึ้นขบเคี้ยว.....	47
6.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาของกระดูกอัด .....	48
6.3	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งกระดูกอัดขนาด 12 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส.....	50
6.4	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งกระดูกอัดขนาด 12 นิ้ว ที่ความเร็วลม 0.3, 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที.....	51
6.5	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งกระดูกอัดขนาด 4 นิ้ว ที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที.....	51
6.6	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งกระดูกอัดขนาด 4 นิ้ว ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส.....	52
7.1	เซลล์เครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียงแทนด้วยถังกวน ( i )n ถึงต่ออนุกรมกัน .....	53
7.2	ภาพด้านข้างเครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียง .....	55
7.3	ผังแสดงขั้นตอนอย่างง่ายของการคำนวณของโปรแกรมหาขนาดของเครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียง .....	59
7.4	ภาพด้านบนของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวาง.....	61
7.5	ภาพด้านข้างเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนาน .....	62
7.6	เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนานที่แทนด้วยระบบถังกวนสมบูรณ์.....	63
7.7	ผังแสดงขั้นตอนอย่างง่ายของการคำนวณของโปรแกรมหาขนาดของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนาน .....	64
8.1	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งกระดูกขนาด 12 นิ้ว ซึ่งถูกนอร์มไลซ์แล้ว ...	65
ก1	แผนภูมิไซโครเมตริกของระบบอากาศกับน้ำที่ความดันบรรยากาศ .....	98

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข1	ถึงกวนสมบุรณ์ .....	100
ง1	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งมันสำปะหลัง .....	143
ง2	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งขึ้นมะพร้าว .....	143



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

W	คือ อัตราการไหลเชิงมวล	[kg / hr]
$\bar{A}$	คือ พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก	[kcal]
$\bar{B}$	คือ พลังงานในการระเหยน้ำให้เป็นไอ	[kcal]
$\bar{C}$	คือ พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำจากอุณหภูมิกระเปาะเปียกจนถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง	[kcal]
$v$	คือ ความเร็วลม	[m/s]
T	คือ อุณหภูมิ	[°C]
H	คือ ความชื้นของอากาศ	[kg steam / kg dry air]
X	คือ อัตราส่วนความชื้นของวัสดุ	[kg water / kg dry solid]
i	คือ เอนทาลปี	[kcal / kg dry air]
C	คือ ความร้อนจำเพาะ	[kcal / kg]
$\lambda$	คือ ความร้อนแฝง	[kcal / kg]
N	คือ จำนวนชั้นวัสดุ	[-]
R	คือ อัตราการอบแห้ง	[kg water/hr. kg material]
V	คือ ปริมาตรของชั้น	[m <sup>3</sup> ]
h	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	[kcal / m <sup>2</sup> .hr.°C]
U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	[kcal / m <sup>2</sup> .hr.°C]
a	คือ พื้นที่ผิวเฉพาะ	[m <sup>2</sup> ]
$\phi$	คือ ตัวแปรไร้หน่วย	[-]
R*	คือ ตัวแปรไร้หน่วย	[-]
Re	คือ เรโนลด์นัมเบอร์	[-]
L*	คือ ความยาวของชั้นตามทิศทางการไหล	[m]
$\mu$	คือ ความหนืด	[kg/m.s]
$\rho$	คือ ความหนาแน่นอากาศ	[kg/m <sup>3</sup> ]
M	คือ มวล	[kg]
$k_s$	คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	[kcal / m.hr.°C]
$\theta$	คือ เวลา	[hr]
A	คือ พื้นที่หน้าตัด	[m <sup>2</sup> ]

$R_d$	คือ อัตราการอบแห้งลดลง (จากการทดลอง)	[kg water/hr.kg material]
$R_c$	คือ อัตราการอบแห้งคงที่	[kg water/hr.kg material]
$a$	คือ พื้นที่ผิวต่อชิ้น	[m <sup>2</sup> /piece]
$u_\infty$	คือ ความเร็วลม	[m/s]
$d$	คือ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง	[m]
$V_f$	คือ $\mu/\rho$	[m <sup>2</sup> /s]
$Pr_f$	คือ ฟลิวท์นัมเบอร์ (Prandtl No.)	[-]
$K$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในการคำนวณเกี่ยวกับความดันย่อย	[-]
$P_w$	คือ ความดันไออิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก	[mmHg]
$P$	คือ ความดันย่อย	[mmHg]
$\pi$	คือ ความดันบรรยากาศ	[mmHg]
$j$	คือ จำนวนเซลล์	[-]
$A_x$	คือ พื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของวัสดุ	[m <sup>2</sup> ]
$\rho_{bs}$	คือ ความหนาแน่นรวมของวัสดุในเซลล์	[kg/m <sup>3</sup> ]

ตัวห้อย ( Subscript )

G คือ ภูมิภาคก๊าซ

S คือ ภูมิภาคของแข็ง

i คือ ดั้งนี้

j คือ ดั้งนี้

H คือ อากาศชื้น

R คือ ค่าที่อ้างอิงที่ 0 องศาเซลเซียส

v คือ ไอน้ำ

W คือ น้ำ

C คือ ค่าที่คงที่

avg คือ ค่าเฉลี่ย

in คือ ขาเข้า

out คือ ขาออก