การออกแบบและศึกษาเครื่องอบแห้งแบบถาดสำหรับใช้ทดลอง
(DESIGN AND STUDY OF EXPERIMENTAL TRAY DRYER)

โดย

นางสาวลัดดาวัลย์ กองเงินนอก

นางสาวสุชชี จันทรบุตร

นายโสภาค สอนไว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ

033351

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2536

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและศึกษาเครื่องอบแห้งแบบถาดสำหรับใช้ทดลอง

ผู้จัดทำ

1.นางสาวลัดดาวัลย์ กองเงินนอก

2.นางสาวสุชีย์ จันทรบุตร

3.นายโสภาค สอนไว

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สาทิป รัตนภาสกร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์วิภา เจียรไนวชิระ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและศึกษาเครื่องอบแห้งแบบถาดสำหรับใช้ทดลอง

นางสาวลัดดาวัลย์ กองเงินนอก

นางสาวสุขขี จันทรบุตร

นายโสภาค สอนไว

อาจารย์สาทิป รัตนภาสกร อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วิภา เจียรไนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2536

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งแบบถาด สำหรับใช้ทดลอง ซึ่งในการอบแห้งนั้นจะอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนของอากาศโดยอากาศร้อนจะสัมผัสกับผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ในห้องอบ ผลิตภัณฑ์จะดึงเอาความร้อนมาใช้ในการระเหยน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งวิธีการนี้เป็นการถนอมและเก็บรักษาอาหารให้สามารถเก็บไว้ได้นานได้โดยไม่เสื่อมเสีย เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานจะมีการนำเอาลมร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วบางส่วน กลับมาใช้ในการอบแห้งอีกครั้ง

เครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นสำหรับใช้ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งผักผลไม้ซึ่งมีขนาด 0.3*1.4*0.6 เมตร สามารถอบผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละ 100 กรัม ในการทดลองใช้มันฝรั่งเป็นตัวอย่างในการศึกษา โดยศึกษาหาความสัมพันธ์ ที่เหมาะสมระหว่างอุณหภูมิ และเวลา ที่ใช้ในการอบแห้งมันฝรั่ง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งมันฝรั่งคือ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 1/2 - 4 ชั่วโมงในการอบแห้งนั้น ความชื้นเริ่มต้นคือ 77 % มาตรฐานเปียก เหลือความชื้นหลังจากการอบประมาณ 10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND STUDY OF EXPERIMENTAL TRAY DRYER

Latdawan Kongngoennok

Sukkee Jantarabud

Sopark Sonwai

Satjp Rattanapassakon Advisor

Vipa Jayranaiwachira Advisor

1993

Abstract

This thesis has studied the principle with the topic of "Dehydration". In general food dehydration is interpreted as the removal of moisture from a food product. Heat transfer is involved in moving the heat from the heating medium (in this case is hot air) to the product (at the surface that contact with hot air) at the point which evaporation occurs. The vaper evaporated from the product must be transported to the heating medium. Many objects of dehydration preserve the product during prolonged storage.

This dryer was frabricated for experiment to find the optimum condition (temperature and time), in use as the sample general product drying in this case, the potato. The size of the designed dryer is 0.3*1.4*0.6 m. The optimum air temperature potato drying is 70 celsius degree for potato drying and the moisture content of product can be reduced from 77% wet basis to 10% wet basis in 3 $^{1}/_{2}$ - 4 hours drying time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(ก)
สารบัญรูปภาพ	(ค)
สารบัญตาราง	(จ)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการอบแห้ง	3
2.1 วัตถุประสงค์สำคัญในการทำแห้ง	3
2.2 หลักการพื้นฐานของการทำแห้ง	3
2.3 ทฤษฎีความชื้น	4
2.4 กราฟอัตราการทำแห้ง	8
2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำแห้ง	10
2.6 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในอาหารระหว่างการทำแห้ง	11
2.7 ผลของการทำแห้งต่อคุณค่าทางอาหาร	12
2.8 ผลของการทำแห้งต่อเชื้อจุลินทรีย์	13
2.9 ผลของการทำแห้งต่อเอนไซม์	13
2.10 การเก็บรักษาผักผลไม้หลังการอบแห้ง	13
2.11 การประยุกต์ใช้ไซโครเมตริกชาร์ท	14
2.12 การประยุกต์ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศเข้ากับการอบแห้งแบบถาด	14
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้างเครื่อง	17
3.1 การคำนวณหาขนาดเครื่องทำความร้อน	18
3.2 การคำนวณหาขนาดของพัดลม	23
3.3 การคำนวณหาการสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนใยแก้ว	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า	หน้า
	3.4 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้ง	31
	3.5 ขั้นตอนการทำงาน	32
บทที่	4 การทดลองและวิธีการทดลอง	34
	4.1 การทดลองหาความชื้นภายในผลิตภัณฑ์	34
	4.2 การทดลองหาความเร็วเฉลี่ยในห้องอบและอัตราการไหลของลม	37
	4.3 การทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งมันฝรั่ง	39
	4.4 การทดลองหาช่วงเวลาและความชื้นที่เหมาะสมในการหมุนเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้	53
บทที่	5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	66
ภาคผนวก		68
กิตติกรรมประกาศ		77
หนังสืออ้างอิง		78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ		หน้า
รูปที่	2.1 แผนภาพแสดงอิทธิพลของ a_w ต่ออัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร	6
รูปที่	2.2 กราฟการทำแห้งของอาหารชั้นในอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิและความชื้นคงที่	9
รูปที่	2.3 ผลของการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่	15
รูปที่	3.1 flow diagram ของเครื่องอบ	25
รูปที่	3.2 โครงสร้างของเครื่องอบ (ภาพตัดด้านหน้า)	26
รูปที่	3.3 โครงสร้างของเครื่องอบ (ภาพตัดด้านบน)	27
รูปที่	3.4 โครงเครื่องอบ	28
รูปที่	3.5 เครื่องอบแห้งแบบถาด	29
รูปที่	3.6 แสดงผังวงจรควบคุม	30
รูปที่	4.1 ตำแหน่งในการวัดความเร็วลม	37
รูปที่	4.2 กราฟอัตราการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60,70 และ 80 C	43
รูปที่	4.3 กราฟอัตราการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70C	48
รูปที่	4.4 กราฟความสัมพันธ์ของความชื้นอิสระและเวลาในการอบแห้งที่ 70 C	49
รูปที่	4.5 กราฟการเปลี่ยนช่วงของการทำแห้ง	55
รูปที่	4.6 แผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ท	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

ภาคผนวก

		หน้า
รูปที่ ก	ลักษณะของตู้อบ	69
รูปที่ ข	อุปกรณ์ทำความร้อน	69
รูปที่ ค	พัดลมดูดลมจากภายนอก	70
รูปที่ ง	ชุดอุปกรณ์ควบคุมและปรับทิศทางลม	71
รูปที่ จ	ท่อหมุนเวียนอากาศ	71
รูปที่ ฉ	ชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องอบ	72
รูปที่ ช	แผ่นกั้นลมที่ปล่อยอากาศออก	73
รูปที่ ซ	เครื่องอบแห้งแบบถาดที่สร้างขึ้น	74
รูปที่ ฌ	ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและวัดอุณหภูมิ ที่ติดภายนอกเครื่อง	75
รูปที่ ญ	ชุดอุปกรณ์ควบคุมและวัดอุณหภูมิที่ยื่นเข้าไปภายในเครื่อง	75
รูปที่ ฏ	เครื่องอบแห้งแบบถาดที่สร้างขึ้น	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความชื้นภายในมันฝรั่ง	35
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาความเร็วเฉลี่ยในห้องลม	38
ตารางที่ 4.3 ความชื้นของมันฝรั่งที่อุณหภูมิควบคุมต่างๆ	40
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาช่วงเวลาและความชื้นที่เหมาะสม ในการหมุนเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันนี้จะเห็นว่า อุตสาหกรรมการเก็บและการถนอมอาหาร เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สำคัญมาก ผลผลิตทางด้านการเกษตร มีจำนวนมากเกินพอสำหรับการบริโภคจึงต้องหาวิธีที่จะถนอมอาหาร นำผลผลิตทางด้านการเกษตรมาแปรรูป เพื่อให้สามารถเก็บไว้ได้นานที่สุดและยังคงคุณภาพไว้ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ การอบแห้งก็เป็นวิธีการถนอมอาหารแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมกันสามารถทำได้ง่าย และเป็นวิธีเก่าแก่ที่สุดวิธีหนึ่งที่มนุษย์ได้เรียนรู้มาจากธรรมชาติ

การทำแห้งนิยมใช้ในการเก็บรักษาผักผลไม้ ให้มีอายุการเก็บได้นานขึ้น โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิต่ำ แล้วยังลดค่าใช้จ่ายในการบรรจุและการขนส่ง เนื่องจากการทำแห้งเป็นการลดทั้ง น้ำหนักและปริมาตรของอาหาร ในสมัยก่อนกระบวนการทำแห้งมักจะอาศัยวิธีการตามธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยมากมักจะมีคุณสมบัติต่างไปจากวัตถุดิบเดิมเมื่อนำมาคืนรูป เช่น เป็นสีน้ำตาล ต่อมาได้มีการประดิษฐ์อุปกรณ์ชนิดต่างๆขึ้นที่ใช้สำหรับการทำแห้งและได้มีการเปลี่ยนจุดมุ่งหมายของกระบวนการโดยเน้นกระบวนการดังกล่าวนี้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อนำมาคืนรูปแล้วมีลักษณะ ใกล้เคียงกับของสดมากที่สุด ซึ่งกระบวนการจะต้องใช้เครื่องอบแห้งที่ออกแบบมาโดยเฉพาะมีการควบคุมสภาวะต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความร้อนของอากาศที่ใช้ เพื่อให้อาหารมีลักษณะแห้งตามต้องการ ก่อนที่จะทำการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร จะต้องมีการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง ให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง ถ้าจะทำการทดลองกับเครื่องขนาดใหญ่จะทำให้สิ้นเปลืองวัตถุดิบ พลังงานและค่าใช้จ่ายมากโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงได้คิดและหาวิธีเพื่อที่จะออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบถาดสำหรับใช้ในการทดลองกับผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งเครื่องจะมีขนาดเล็กใช้วัตถุดิบใน การทดลองไม่มาก ทำให้สามารถประหยัดต้นทุนและเหมาะที่จะใช้เป็นเครื่องมือ ในการทดลองศึกษาการผลิต ผลิตภัณฑ์แบบใหม่ๆก่อนที่จะมีการผลิตออกจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของโครงงาน

วัตถุประสงค์ทั่วไปของโครงงานเพื่อศึกษาและพัฒนาความรู้ในด้านการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารแบบถาด(TRAY DRIER) ทั้งในด้านทฤษฎี และปฏิบัติโดยมีวัตถุ ประสงค์หลักดังนี้

1. เพื่อสร้างเครื่องอบแห้งแบบถาดสำหรับใช้ทดลอง

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่าง อุณหภูมิ เวลา และปริมาณลมที่ใช้ในการอบแห้งสำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการอบแห้ง-

การทำแห้งอาหารหมายถึงการลดปริมาณความชื้นออกจากอาหาร ปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในอาหารในปริมาณที่มาก จะทำให้อาหารเน่าเสียได้ง่าย ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการหายใจของอาหารและจุลินทรีย์ในอาหาร ดังนั้นการดึงน้ำออกจากอาหารให้มีความชื้นลดลงจนเหมาะสมแก่อาหารแต่ละชนิดและจะทำให้อาหารนั้นเก็บรักษาได้นานขึ้น

2.1 วัตถุประสงค์สำคัญในการทำแห้งคือ

2.1.1 เพื่อเก็บรักษาและถนอมอาหารเพื่อการยืดอายุการเก็บ โดยการลดประมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่น ๆได้ โดยทั่วไปควรดึงน้ำออกจนเหลือต่ำกว่าร้อยละ 10 แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร นอกจากนั้นการลดความชื้นยังมีผลต่อการเก็บรักษากลิ่นรสและคุณค่าทางอาหารอีกด้วย

2.1.2 เพื่อลดปริมาตรและน้ำหนักของอาหาร ซึ่งช่วยให้ลดต้นทุนในการขนส่ง การเก็บรักษาองค์ประกอบที่สำคัญของอาหารกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.3 เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ซึ่งสะดวกต่อการบริโภค

2.2 หลักการพื้นฐานของการทำแห้ง

สิ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร คือ น้ำที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำที่ยึดเกาะในอาหาร Rockland (1969)ได้เสนอว่ามีน้ำอยู่ 3 ประเภทในผลิตภัณฑ์อาหารคือ

1. โมเลกุลน้ำที่ยึดกับอิออนิกกรุ๊ปได้แก่ กลุ่มคาร์บอกซิล และอะมิโน

2. โมเลกุลน้ำที่ยึดกับกลุ่มไฮดรอกซิล และอะไมด์ด้วยพันธะไฮโดรเจน

3. น้ำอิสระพบในช่องว่างอินเตอร์สทิเชียล (interstial pores) ซึ่งแรงคาพิลลารี่และองค์ประกอบที่ละลายอยู่ทำให้ความดันไอลดลงในระหว่างกระบวนการอบแห้ง

ระดับความยากง่ายของการกำจัดน้ำออกไปจะแตกต่างกัน ขึ้นกับว่าน้ำนั้นอยู่ในกลุ่มใด น้ำอิสระจะระเหยออกไปในขั้นตอนแรก จากนั้นจะเป็นโมเลกุลที่ยึดด้วยพันธะไฮโดรเจนและสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MC_{db} = [(MC_{wb})*100]/[100-MC_{wb}]$$

จะเป็นน้ำที่ยึดด้วยพันธะอิออนิก พลังงานที่ต้องใช้ในการลดปริมาณความชื้นจากน้ำแต่ละชนิดจะใช้พลังงานที่แตกต่างกัน เนื่องจากความต้องการพลังงานในการลดปริมาณความชื้นแตกต่างกันขึ้นกับผลิตภัณฑ์และชนิดของน้ำดังนั้นในการออกแบบเครื่องอบแห้งจึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

2.3 ทฤษฎีความชื้น

2.3.1 ความชื้นในวัสดุเกษตร เป็นคุณสมบัติที่สำคัญซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์เชิงกลในการถนอมอาหารโดยการอบแห้ง เพื่อที่จะลดความชื้นที่เป็นส่วนเกินในการเก็บรักษาลง

ความชื้น หมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารหรือวัสดุอื่นๆ มักจะกำหนดเป็นอัตราร้อยละของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักของวัสดุ การบอกค่าความชื้นในวัสดุเกษตรสามารถแสดงได้ 2 วิธี คือ แบบมาตรฐานเปียก และแบบมาตรฐานแห้ง

ปริมาณความชื้นแบบมาตรฐานเปียก (wet basis) เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักทั้งหมดของวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวนได้ดังนี้

$$MC_{wb} = [(W_w - W_d)*100\%]/W_w$$

โดยที่

MC_{wb} คือ เปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานเปียก

W_w คือ น้ำหนักของวัสดุเกษตรที่มีความชื้น

W_d คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุเกษตร

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$MC_{db} = [(W_w - W_d)*100\%]/W_d$$

โดยที่

MC_{db} คือ เปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ในการคำนวณนิยมใช้เปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานแห้งเพราะว่าค่าน้ำหนักแห้งมีค่าคงที่ตลอดค่าความสัมพันธ์ของเปอร์เซนต์ความชื้นทั้งสองสามารถหาได้จาก สมการ

$$MC_{db} = [(MC_{wb})*100]/[100-MC_{wb}]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ปริมาณความชื้นสมดุลและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้

ปริมาณความชื้นสมดุล(equilibrium moisture content) เป็นปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เมื่อผลิตภัณฑ์มีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ หรือเป็นปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์หลังจากอัตราการอบแห้งลดลงเรื่อยๆจนเป็นศูนย์ ความชื้นที่เหลืออยู่ยังคงอยู่ในผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะใช้ระยะเวลาอบแห้งนานสักเท่าใด ถ้าสภาวะของอากาศร้อนไม่เปลี่ยนแปลง ขนาดของปริมาณความชื้นสมดุลจะขึ้นกับโครงสร้างของอาหาร ชนิดของวัสดุอาหาร อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและลักษณะที่น้ำยึดอยู่ในผลิตภัณฑ์ในอาหารจะมีโมเลกุลของน้ำดูดซับอยู่บนผนังด้านในของช่องว่างคาพิลลารี่ น้ำที่ดูดซับนี้อาจจะอยู่ในรูปของชั้นโมเลกุลเดี่ยวเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่ำหรืออยู่ในรูปโมเลกุลหลายชั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สมดุลสูง

ความชื้นวิกฤต(critical moiture content) เป็นปริมาณความชื้นตรงจุดสุดท้ายของช่วงที่อัตราการทำแห้งคงที่

วอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity) จะวัดเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุล ซึ่งก็คือเปอร์เซนต์ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่สัมผัสกับบรรยากาศขณะที่ไม่มีการดูดซับหรือคายน้ำเกิดขึ้น หรือสามารถหาได้จากอัตราส่วนความชื้นย่อยของน้ำในผลิตภัณฑ์ (P) กับความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_o) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังสมการ

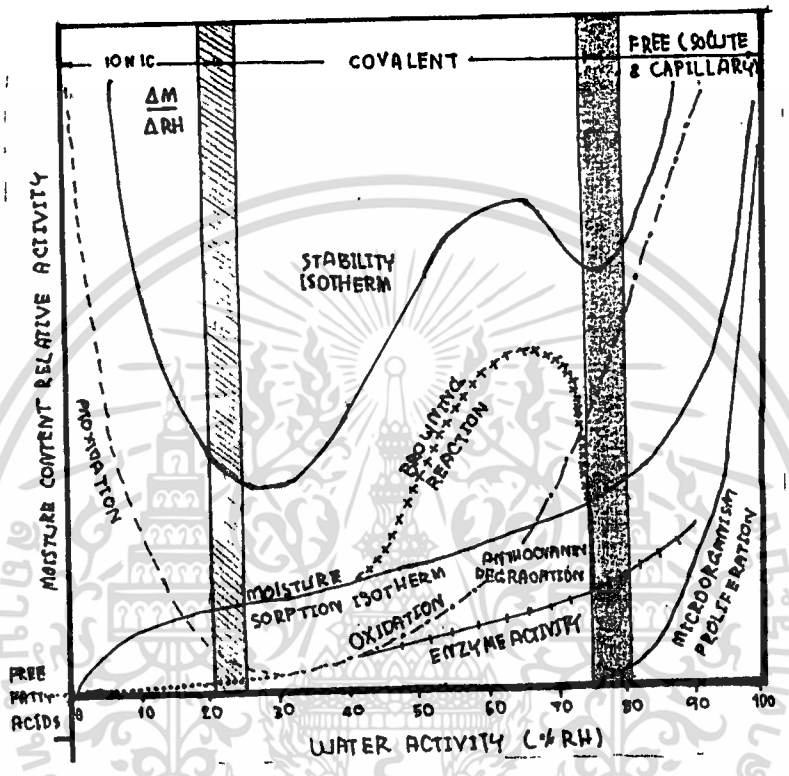
$$a_w = [P/P_o]$$

ในการอบแห้งอาหารจำเป็นต้องเน้นการวัดปริมาณความชื้นสมดุลอย่างมาก เนื่องจากค่า a_w มีความสำคัญต่อการเก็บรักษาอาหาร จากการศึกษา พบว่า ปฏิกิริยาหลายอย่างและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เกิดขึ้นภายในช่วงของค่า a_w ที่แน่นอน ช่วงหนึ่ง ดังรูปที่ 2.1 เป็นแผนภาพแสดงอิทธิพลของ a_w ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เอนไซม์ และจุลินทรีย์ และยังแสดงถึงชนิดของน้ำที่ยึดเกาะอยู่เช่น คือ

ค่า a_w ระหว่าง 0-0.25 เป็นช่วงที่น้ำยึดเกาะด้วยอิออนิกกรุ๊ป เช่น NH_3^+ ยึดกับโปรตีนและ COO ยึดกับโปรตีน

ค่า a_w ระหว่าง 0.25-0.75 เกิดจากโมเลกุลน้ำยึดด้วยพันธะโควาเลนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงอิทธิพลของ a_w ต่อ
อัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร

ที่มา : Rockland และ Nishi (1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น OH ในโปรตีนและโพลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรท เช่น แป้ง เพคติน และเซลลูโลส

ค่า a_w ระหว่าง 0.75-1.0 จะมีชั้นของน้ำอยู่หลายชั้นบนโปรตีนและโพลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรท

2.3.3 การแพร่กระจายของความชื้น (moisture diffusion)

ปริมาณความชื้นที่กำจัดออกไปจากอาหารเกิดขึ้น จากการแพร่ของของเหลวหรือไอน้ำผ่านโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของความชื้นจะเกิดขึ้นหลังจากการระเหยน้ำเกิดขึ้น และอัตราการแพร่กระจายประมาณได้จากกลไกที่ใช้อธิบายการแพร่ของโมเลกุล mass flux ของการเคลื่อนที่ ความชื้นจะขึ้นกับความแตกต่างของความดันไอรวมทั้งสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของไอน้ำในอากาศ ระยะทางของการเคลื่อนที่และอุณหภูมิ เนื่องจากความร้อนจำเป็นจะต้องใช้การระเหยความชื้น ดังนั้นการะบวนการจึงมีการถ่ายเทความร้อนและมวลเกิดขึ้นพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กราฟอัตราการทำแห้ง (rate of drying curve)

อัตราการอบแห้ง (drying rate) เป็นการวัดความเร็วหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อเวลาและต่อพื้นที่ มีความสัมพันธ์ดังนี้

อัตราการอบแห้ง = (ปริมาณน้ำที่ระเหยไป/เวลาและพื้นที่)

กราฟอัตราการทำแห้งได้จากข้อมูลปริมาณความชื้นของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศ กระแสอากาศ ใช้ในการอบแห้งตัวอย่าง โดยมี ความชื้น อุณหภูมิ ความเร็วและทิศทางการไหลผ่านผิวแห้งคงที่ น้ำหนักของตัวอย่างจะถูกบันทึก ณ เวลาต่างๆ แล้วนำไปคำนวณปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้งได้ ดังนั้นปริมาณความชื้นอิสระหาได้จาก $W-W_e$ โดยที่ W_e เป็นความชื้นสมดุล การสร้างกราฟปริมาณความชื้นอิสระกับเวลาดังรูปที่ 2.2(a) กราฟการอบแห้งที่ได้ในภาพนี้จะแสดงช่วงของการอบแห้งต่างๆ ในช่วงแรกความชื้นจะถูกกำจัดออกโดยการระเหยจากผิวที่อิ่มตัว ต่อมาพื้นที่ผิวอิ่มตัวจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการระเหยน้ำขึ้นภายในตัวอย่าง รูปที่ 2.2(b)ได้จากการหาอัตราการทำแห้ง ณ เวลาต่างๆ รูปที่ 2.2(c) เป็นกราฟปริมาณความชื้นอิสระและเวลาแสดงในรูปของอัตราการอบแห้งเทียบกับความชื้นอิสระ จะเห็นว่ามีช่วง warm up AB ช่วงอัตราคงที่ BC และช่วงอัตราลดลง CE ปริมาณความชื้นที่จุด c เป็นจุดที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนแปลงจากอัตราคงที่เป็นอัตราลดลงซึ่งเรียกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต อัตราลดลงนี้จะประกอบด้วย 2 ช่วง ช่วงแรกคือ CD และช่วงที่สองคือ DE

2.4.1 การทำแห้งในช่วงอัตราคงที่ (constant-rate period dehrydration)

จากรูปที่ 2.2(c) ปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างมากด้วยอัตราคงที่ BC และอุณภูมิคงที่ ความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ได้รับจะเท่ากับความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุและอัตราการอบแห้งแทบจะไม่ขึ้นกับเงื่อนไขภายในของวัสดุ สามารถหาอัตราการอบแห้งเฉลี่ยตลอดช่วงที่เกิดการอบแห้งที่ความเร็วคงที่ได้จากสมการ

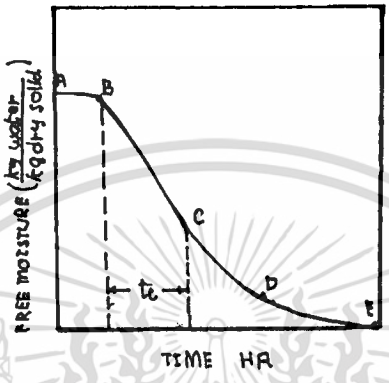
$$dw/dt = [hA(T_a-T_w)/L = k_m A [H_w-H_a]$$

เมื่อ dw/dt = อัตราการอบแห้ง (Kg_{water}/m^2h)

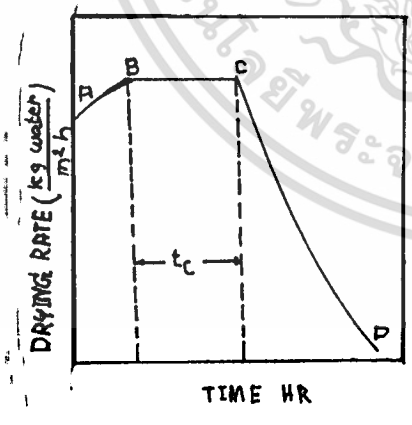
h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนซึ่งอธิบายสภาวะที่ผิว ($W/m^2.^oC$)

k_m = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลซึ่งอธิบายการถ่ายเทความชื้นไปยังสิ่ง

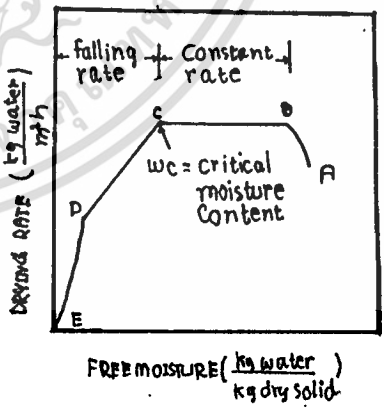
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.2(a) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอิสระกับเวลา



2.2(b)อัตราการทำแห้งที่เวลาต่างๆ



2.2(c) กราฟช่วงต่างๆของการทำแห้ง

รูปที่ 2.2 กราฟการทำแห้งของอาหารชื้นในอากาศร้อน

ที่อุณหภูมิและความชื้นคงที่

ที่มา : Brennan และคณะ (1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033351

แวดล้อม ($Kg_{mole}/s.m^2$)

T_a = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ (°c)

T_w = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ (°c)

H_w = ความชื้นสมบูรณ์ ณ สภาวะกระเปาะเปียก ($Kg_{water}/Kg_{dry\ air}$)

H_a = ความชื้นสมบูรณ์ ($Kg_{water}/Kg_{dry\ air}$)

2.4.2 ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและมวลไม่ได้เกิดเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้นแต่เกิดภายในเนื้อของวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการทำแห้งลดลง อัตราการระเหยน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ในขณะนั้นอุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำแห้ง

ในการอบแห้งอาหารโดยทั่วไป มีปัจจัยหลายประการที่จะทำให้การอบแห้งนั้นเกิดขึ้นเร็ว สรุปได้ดังนี้

2.5.1 ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว นอกจากนี้พื้นที่ผิวของอาหารก็จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งมาก อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากๆ การอบแห้งก็จะทำได้เร็วขึ้น

2.5.2 ขนาดและรูปร่างของอาหาร ส่วนใหญ่จะคำนึงถึงเฉพาะความหนาของอาหาร เนื่องจากการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

2.5.3 ปริมาณอาหารที่ใส่ในเครื่องอบแห้งและการจัดเรียงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง การใส่ปริมาณมากเกินไปในเครื่องอบแห้ง จะทำให้การอบแห้งทำได้ไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะช่วงกลางๆน้ำระเหยออกไปได้ไม่ดี ความร้อนเข้าไปไม่ถึง ถ้าการจัดเรียงกันไม่ดี จะทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้ามาก 2.5.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วของลม ความชื้นของอากาศเป็นสิ่งที่สำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความเร็วของลม 2.5.5 ความดัน เกี่ยวข้องกับการระเหยของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากในที่ความดันต่ำลงมานั้นน้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง

2.6 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในอาหารระหว่างการทำแห้ง

ในการทำแห้งอาหารไม่ว่าจะใช้ความร้อนหรือการระเหิดของผลึกน้ำแข็งก็ตาม ตัวอาหารจะสูญเสียน้ำออกไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารทั้งโครงสร้างลักษณะโดยเฉพาะเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อพอสรุปได้ดังนี้

2.6.1 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการย้ายที่ของสารที่ละลายได้ เกิดเนื่องจากน้ำที่มีในเซลของอาหารมักมีพวกของแข็งที่ละลายได้อยู่ด้วย เช่น พวกน้ำตาล เป็นต้น ดังนั้นเมื่อน้ำระเหยออกไป ก็จะนำเอาของแข็งที่ละลายได้ออกไปด้วย ถ้าพิจารณาทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากเซลจะพบว่าของแข็งนี้จะเคลื่อนที่ตามน้ำจากภายในเซลไปสู่ผิวเซล ทำให้พวกนี้ไปสะสมอยู่บริเวณผิวเซล ซึ่งเมื่อเริ่มทำการอบแห้งบริเวณผิวเซลจึงมีความเข้มข้นมากขึ้น เนื่องจากน้ำซึมผ่านเยื่อเซลออกไปได้ แต่พวกของแข็งผ่านไปไม่ได้ จะทำให้ผนังเซลมีความเข้มข้นมากขึ้น มากกว่าบริเวณภายในเซล จะทำให้เกิดความแตกต่างของมวล(mass different) ทำให้เกิดการถ่ายเทมวล (mass transfer)โดยพวกของแข็งที่ละลายได้จะไหลสวนทางกับการไหลของน้ำกลับเข้าไปรวมกันตรงกลางเซล ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้เกิดขึ้นพร้อมกัน ในทิศตรงกันข้าม

2.6.2 การจับตัวเป็นก้อนแข็ง(case hardening) เป็นลักษณะของอาหารประเภทมีแป้งและโปรตีนที่ละลายได้หรือพวกที่สามารถเกิดเจลได้ เมื่อทำแห้งอาหารโดยอบไปนานๆ ความร้อนจะทำให้น้ำในเซลน้อยลง เกิดการจับตัวเป็นก้อนเจล เรียกว่า case hardening ทำให้น้ำซึมผ่านอาหารได้ยากยิ่งขึ้น การเกิดกรณีนี้จะทำให้น้ำในอาหารหลังการอบแห้งมีค่าสูง ถ้าใช้ความร้อนมาก ๆ ก็จะทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากปัญหาอื่นๆตามมา การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้เกิดขึ้นได้น้อยมากเพราะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง สภาวะเริ่มแรกของการทำแห้ง และองค์ประกอบของอาหารที่จะทำแห้ง

2.6.3 การเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถกลับได้ เป็นลักษณะการสูญเสียของเซลที่ไม่สามารถนำกลับมาได้ โดยเฉพาะวิตามินที่เกิดจากปฏิกิริยาอ๊อกซิเดชั่น หรือการสูญเสียของพวกสารที่ระเหยได้

2.6.4 การหดตัวที่ทำให้โครงสร้างเสียหาย โดยธรรมชาติเซลในอาหารจะอยู่ในลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเซลที่เต่งตึงและผนังเซลมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นได้ จะมีความต้านทานต่อแรงหรือการยืดตัวขนาดหนึ่งถ้าเกินความสามารถที่มันจะรับไว้ได้ก็จะทำให้ผนังเซลแตก เซลเกิดการผิดรูป เมื่อน้ำระเหยออกไปจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้น ซึ่งผิวของอาหารจะพยายามเข้าไปแทนที่ช่องว่างนั้น ทำให้เซลเกิดการหดตัว การหดตัวนี้ไม่ได้หดไปเท่าๆกันทุกส่วนของอาหาร ทำให้เกิดเซลผิดรูปขึ้น

2.6.5 การเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากความร้อน เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความร้อนไปทำให้สารอาหารบางตัว เช่น พวกแป้งและน้ำตาล เกิดการเผาไหม้โดยปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ลักษณะของอาหารผิดไป การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้จะเกิดได้เร็วขึ้น ถ้าใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงๆ จากการศึกษาพบว่า เมื่ออบแห้งอาหารจนมีความชื้นประมาณ 15-20%จะเกิดเร็วมาก เนื่องจากช่วงนี้ความเข้มข้นของพวกแป้งและน้ำตาลเพิ่มขึ้นในการทำแห้งทั่วๆไปสามารถป้องกันได้โดยการเติมสารเคมี คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในปริมาณ 200-700 ppm. แล้วแต่ประเภทของอาหาร

2.7 ผลของการทำแห้งต่อคุณค่าทางอาหาร

ในขบวนการทำแห้งน้ำในอาหารจะระเหยออกไปหรือความชื้นในอาหารลดลง ดังนั้นปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารแห้งเมื่อเทียบต่อน้ำหนักแล้วพบว่า อาหารแห้งมีความเข้มข้นของอาหารเพิ่มขึ้น

2.7.1 อิทธิพลของการทำแห้งต่อโปรตีน โดยลักษณะธรรมชาติแล้ว ถ้าได้รับความร้อนสูงนานๆจะทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติไป ดังนั้นคุณค่าทางอาหารของโปรตีนจะเหลืออยู่มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับวิธีการทำแห้ง กล่าวคือ การเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม สำหรับเครื่องอบแห้ง แต่ละประเภทจะช่วยให้คุณค่าของโปรตีนคงอยู่มากขึ้น

2.7.2 อิทธิพลของการทำแห้งต่อไขมัน ไขมันที่มีในอาหารทั่วๆไปมักเป็นตัวทำให้อาหารเหม็นหืน ยิ่งถ้าอุณหภูมิสูงจะยิ่งทำให้เหม็นหืนได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการทำแห้งจะต้องคำนึงถึงการเหม็นหืนของอาหารด้วย ยิ่งถ้าอาหารมีไขมันสูงด้วย ควรหลีกเลี่ยงวิธีการที่ใช้อุณหภูมิสูง หรืออาจใช้สารป้องกันการหืน เช่น BHT.

2.7.3 อิทธิพลของการทำแห้งต่อคาร์โบไฮเดรท แป้งและน้ำตาลในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนสูง ในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(browning) โดยเฉพาะผลไม้ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีในขณะทำให้แห้ง

2.8 ผลของการทำแห้งต่อเชื้อจุลินทรีย์

อาหารที่มีความชื้นสูงๆ จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีอยู่ทั่วๆไป อย่างไรก็ตามเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆจะเจริญได้ดีต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมโดยเฉพาะความชื้น เช่นพวกแบคทีเรียและยีสต์จะเจริญได้ดีที่ความชื้นสูงกว่า 30% แต่เชื้อราเจริญได้ดีที่ความชื้นน้อยกว่า 12% ดังนั้นถ้าลดความชื้นของอาหารลงน้อยกว่า 10% ก็สามารถเก็บได้นาน ถ้าบรรจุในหีบห่อที่ดี และเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

2.9 ผลของการทำแห้งต่อเอ็นไซม์

ในการทำแห้งอาหารจะมีเอนไซม์ที่มีผลต่ออาหารแห้งในแง่ของการเก็บรักษาและคุณภาพของอาหารตัวที่มีความสำคัญมีอยู่ 2 ตัวคือ catalase และ peroxidase ซึ่งเป็นตัวทนความร้อนได้สูง ดังนั้นในการทำแห้งจึงมีเอนไซม์สองตัวนี้เป็นตัวบ่งชี้ว่ามีเอนไซม์เหลืออยู่หรือไม่ ลักษณะการทำงานของเอนไซม์โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับความชื้น เมื่อความชื้นของอาหารลดลง ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ก็ลดลงด้วย คือถ้าความชื้นต่ำกว่า 1% ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ก็จะไม่มีเลย

2.10 การเก็บรักษาผักผลไม้หลังการอบแห้ง

เมื่ออบแห้งผลไม้แล้ว ควรเก็บในกล่องหรือถังเก็บขนาดใหญ่ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความชื้นจากภายในเนื้อผลไม้ข้างนอก และระหว่างชิ้นผลไม้ที่มีความชื้นแตกต่างกัน ขั้นตอนนี้เรียกว่า sweatingโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 2 อาทิตย์ หลังจากนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะกับการเก็บรักษาและนำไปผลิตในขั้นตอนอื่นต่อไป ระหว่างการเก็บรักษาเพื่อรอการผลิตในขั้นตอนต่อไปนั้น อาจต้องรมยาฆ่าแมลงเป็นช่วงๆ ที่นิยมคือ เมธิลโบรไมด์โดยการรมยาภายในห้องที่มิดชิด มีพัดลมช่วยในการกระจาย เมธิลโบรไมด์ ซึ่งปล่อยออกจากถังความดัน ปริมาณเมธิโบรไมด์ที่นิยมใช้กันคือ ประมาณ 2.4 กิโลกรัมต่อห้องขนาด 100 m^2 ทั้งนี้ขึ้นกับอุณหภูมิ ถ้าอากาศมีอุณหภูมิสูงอาจใช้น้อยลง เวลาที่ใช้รมยา ภายในห้องประมาณ 24 ชั่วโมง ถ้าใช้แผ่นพลาสติกคลุมผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรมยาภายนอกอาคาร อาจใช้เวลานานกว่านี้ ประมาณ 3 วัน การรมยาควรทำเป็นช่วงๆ ประมาณเดือนละครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การประยุกต์ของไซโครเมตริกชาร์ท

- เงื่อนไขของขบวนการระเหยแบบอะเดียบาติก (adiabatic evaporation)

ขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยปราศจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสิ่งแวดล้อม เรียกว่า "ขบวนการอะเดียบาติก" ซึ่งการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในการระบวนการทำแห้งนั้น ความร้อนจะถ่ายเทความร้อนแบบอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นการแผ่รังสีจากอุปกรณ์ให้ความร้อน หรือการนำความร้อนเข้ามาจากสิ่งแวดล้อมซึ่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้นกระบวนการระเหยน้ำในการอบแห้งถือเป็นขบวนการอะเดียบาติกซึ่งความร้อนจากอากาศ (sensible heat) เกือบทั้งหมดจะถ่ายเทไปเป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยโมเลกุลของน้ำ ขั้นตอนนี้เอนทาลปีของอากาศจะคงเดิมหรือเปลี่ยนแปลงโดยการเพิ่มขึ้นน้อยมาก

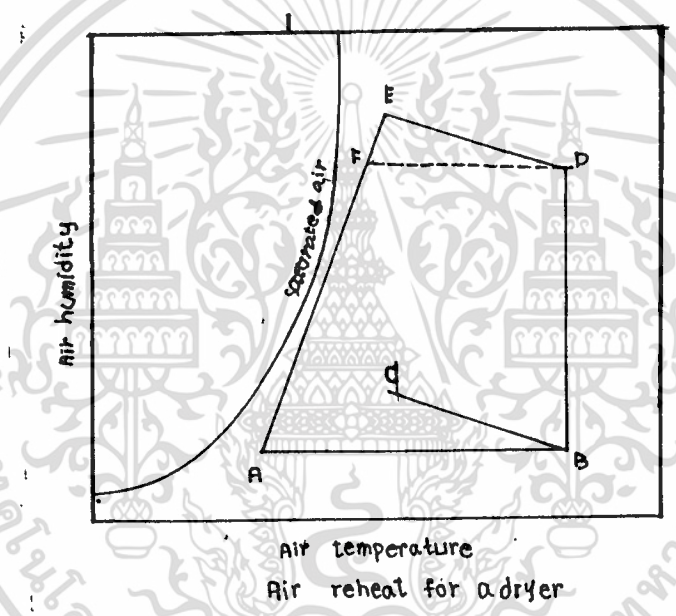
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก

ถ้ากระบวนการระเหยแบบอะเดียบาติกที่อธิบายในขั้นต้นได้ดำเนินไปจนเข้าจุดสมดุล (equilibrium point) ที่มีการสัมผัสกันของอากาศและผิววัสดุเปียกไปเรื่อยๆ ขบวนการนี้จะดำเนินไปบนเส้นอุณหภูมิคงที่เส้นหนึ่ง โดยอากาศจะมีอุณหภูมิ (dry bulb) ลดลงแต่มีความชื้นเพิ่มขึ้นจนไปถึงจุดสมดุลดังกล่าว เส้นอุณหภูมินี้นเรียกว่า "อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet-bulbed temperature)" ซึ่งได้แสดงเส้นนี้ไว้ใน ไซโครเมตริกชาร์ท

2.12 การประยุกต์ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศเข้ากับการอบแห้งแบบถาด

ระบบการอบแห้งชนิดนี้จะใช้ถาดหรือวัสดุอื่นที่สามารถให้ผลิตภัณฑ์อาหารสัมผัสกับอากาศร้อนในห้องที่ปิด ถาดที่วางผลิตภัณฑ์ภายในตู้ จะสัมผัสกับอากาศร้อนเพื่อให้การทำแห้งดำเนินต่อไป ซึ่งอาศัยหลักการ การถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน โดยการทำให้อากาศร้อนแล้วไหลผ่านอาหาร ภายในห้องอบ แล้วพาเอาไอน้ำที่ระเหยจากอาหารออกไป เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบนี้ ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายในการทำให้อากาศร้อน ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานจึงมีการนำลมร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยต้องมีการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของลมร้อนที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้ไซโครเมตริกชาร์ท (Psychrometric Chart) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ผลของการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่

อากาศที่ใช้เป็นอากาศผสม คือ มีทั้งอากาศร้อนชื้นที่ผ่านการใช้ในตู้อบมาแล้วและอากาศบริสุทธิ์ เริ่มต้น อากาศผสมจะถูกทำให้ร้อนขึ้นมีอุณหภูมิ t'(B) เข้าสู่ตู้อบตรงจุด A ถ้าอากาศนี้ผ่านไปยังวัสดุอาหารชื้นจะเกิดการอบแห้งแบบ adiabatic ตามเส้นทาง BC และอากาศจะลอกจากการอบแห้งที่จุด C อากาศทั้งหมดที่ผ่านเข้าไปอบแห้งจะถูกทำให้ร้อนก่อนในช่วง A-B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งต้องใช้ปริมาณความร้อนตามสัดส่วนของเอลทาลปีที่เพิ่มขึ้น อากาศบางส่วนถูกปล่อยออกไปหลังจากการอบแห้ง อากาศส่วนที่เหลือจะถูกนำกลับมาผสมกับอากาศจากภายนอก แล้วอากาศผสมนี้ก็ถูกทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ t' เดิมแล้วหมุนเวียนผ่านไปในตู้อบ ความชื้นในห้องอบจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสภาพสมดุลใหม่ คือ จุด D เมื่อเกิดการระเหยขึ้น อุณหภูมิจะลดลงและความชื้นจะเพิ่มขึ้นถึงจุด E บางส่วนของอากาศที่ทางออกนี้ จะถูกนำมาผสมกับอากาศบริสุทธิ์ จนได้สภาวะ F ถึงตอนนี้ ความร้อนที่จะใช้จะมีปริมาณน้อยกว่าในการเพิ่มอุณหภูมิจาก F ไป D แทนที่จะเป็น AB ซึ่งต้องใช้พลังงานมาก

ซึ่งสามารถหาสัดส่วนของอากาศที่วนกลับมาใช้ได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$r_d = (H'-H_o)/(H''-H_o)$$

โดย

r_d = สัดส่วนของอากาศที่วนกลับมาใช้ต่ออากาศทั้งหมด

$1-r_d$ = สัดส่วนของอากาศบริสุทธิ์ต่ออากาศทั้งหมด

H_o = ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศบริสุทธิ์

H' = ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศผสมที่หมุนเวียนกลับมาใช้และอากาศบริสุทธิ์

H'' = ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศที่ออกมาจากห้องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้างเครื่อง

3.1 การคำนวณหาขนาดเครื่องทำความร้อน

หากำลังของ heater โดยใช้สมการ $Q = \dot{m}C_p\Delta T$ ----------(a)

กำหนดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าห้องอบ(fresh air) = 30 °C

กำหนดอุณหภูมิของอากาศภายในห้องอบขณะอบแห้ง = 70 C

ความเร็วลมในห้องอบ = 0.8 m/sec

พื้นที่หน้าตัดของห้องอบ = 0.25*0.225 = 0.05625 m^2

หาอัตราการไหลโดยปริมาตรของลมในห้องอบ = (0.05625)*(0.8 m/sec)

= 0.045 m^3/sec

จากตารางคุณสมบัติของอากาศ ที่ 30 °C

ρ = 1.17 kg/m^3

C_p = 1.0035 kJ/kg.K

อัตราการไหลของมวลของอากาศ

$\dot{m}$ = (0.045 m^3/sec)(1.17 kg/m^3) = 0.05265 kg/sec

จากสมการ a แทนค่า

Q = (0.05265 kg/sec)(1.0035 kJ/kg.K)(70-30 K)

= 2.11337 kJ/sec

= 2113.37 watt หรือ 2.1 Kwatt

ดังนั้นเลือก heater รูปตัว U จำนวน 3 เส้น เส้นละ 1,000 watt มีความยาวเส้นละ 40 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การคำนวณหาขนาดของพัดลม

ความดันสูญเสียที่ทางเข้าและทางออกพัดลมขึ้นอยู่กับรูปร่างของข้อต่อระหว่างพัดลมและท่อลม เพราะฉะนั้นเราต้องพิจารณาข้อต่อชนิดต่างๆที่เกี่ยวข้องภายในเครื่องอบแห้ง

1. ความดันสูญเสียภายในห้องอบ

ขนาดของห้องอบ มีพื้นที่ (A) 0.3*0.225 = 0.0675 m^2

ยาว (L) 0.3 m

จากค่าความเร็วที่แนะนำในเครื่องอบผักผลไม้แบบถาด 0.8-2.5 m/s(Food Dehydration by Morgan A.I.)

กำหนดให้ความเร็วลมที่ใช้ในการคำนวณเป็น 0.8 m/s

ปริมาณลม (Q) = v*A

= 0.8*0.00675

= 0.054 m^3/s

คิดอากาศเข้าที่ 70 C จากตารางคุณสมบัติของอากาศได้คุณสมบัติต่างๆดังนี้

ρ = 0.996 kg/m^3

μ = 20.398*10^{-6} Ns/m^2

ภายในห้องอบเป็นสี่เหลี่ยมเราต้องแปลงขนาดสมมูลย์ให้เป็นวงกลม โดยใช้สูตร

$$d = 1.265\left[\sqrt[5]{(ab)^3/(a+b)}\right]$$

a = 12 นิ้ว b = 10 นิ้ว

เพราะฉะนั้น $d = 1.265\left[\sqrt[5]{(12*10)^3/(12+10)}\right]$

= 12.053 นิ้ว หรือ 0.3014 m.

$R_e = (\rho v d/\mu)$

$= [(0.996*0.8*0.3014)/20.398*10^{-6}]$

$= 1.177*10^4$

จากค่า R_e เราได้ว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน เพราะมีค่ามากกว่า 2300

จากกราฟ moody diagram ได้ f = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการการสูญเสียความดัน $h = f*L/d*v^2/2*g$

$= [0.05*0.3/0.3014*0.8^2/2*9.81]$

$= 0.001624$ m.$_{air}$

2. ความดันสูญเสียภายในท่อย้อนกลับ

เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (d) = 0.08 m.

ยาว (L) = 1.35 m.

ปริมาณลมในท่อ (Q) = 0.054 m^3/s

พื้นที่ท่อย้อนกลับ $(A) = (\pi/4)*d^2$

$= (\pi/4)*0.054^2$

$= 0.00229\ m^2$

ความเร็วลมภายในท่อย้อนกลับ(v)

$v = (Q/A)$

$= (0.054/0.00229)$

$= 23.58$ m/s

อากาศเข้าท่อย้อนกลับที่ 70 C ได้คุณสมบัติของอากาศดังนี้

$\rho = 0.996\ kg/m^3$

$\mu = 20.398*10^{-6}\ Ns/m^2$

$R_e = \rho vd/\mu$

$= [0.996*23.581*0.08/20.398*10^{-6}]$

$= 9.21136*10^4$

จากค่า R_e จะได้ว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

จากกราฟ moody diagram ได้ f = 0.0275

จากสมการการสูญเสียความดัน $h = f(L/D)(v^2/2g)$

$= 0.0275(1.35/0.08)(23.58^2/2*9.81)$

$= 13.15$ m.$_{air}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความดันสูญเสียของข้องอ ซึ่งในตู้อบนี้มีข้องอทั้งสิ้น 2 ที่ เป็นแบบ ELBOW 90 Standard

ข้องอมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.08 m.

จากตารางได้สัมประสิทธิ์ความสูญเสีย (c) = 0.74

จะได้ค่าการสูญเสียความดัน $h = 0.74(23.58^2/2*9.81)$

$= 20.971\ m._{air}$

ข้องอมีทั้งหมด 2 ที่ $= 20.978*2$

$= 41.942\ m._{air}$

4. ความดันสูญเสียความดันที่ข้อต่อสามทาง มี 1 ครั้ง

ข้อต่อสามทางมีเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) = 0.01 m.

จากตารางจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (k) = 1.5

จะได้การสูญเสียความดัน $h = k(v^2/2*g)$

$= 1.5(23.58^2/2*9.81)$

$= 42.51\ m._{air}$

5. การสูญเสียเป็นการลดทันทีทันใด บริเวณท้ายข้องอ

$(A_2/A_1) = 0.016/0.06$

$= 0.27$

จากค่า (A_2/A_1) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน $(k_c) = 0.4$

ค่าการสูญเสียความดัน $h = k_c(v^2/2g)$

$= 0.4(23.58^2/2*9.81)$

$= 11.3357\ m._{air}$

6. การสูญเสียบริเวณตู้อบก่อนถึงข้องอ

ยาว = 0.6 m.

กว้าง = 0.25 m. หรือ 10 นิ้ว

บริเวณนี้จะเป็นสี่เหลี่ยมแปลงเป็นขนาดสมมูลย์ให้เป็นวงกลมโดยใช้สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = 1.265[\sqrt[5]{(ab^3)/(a+b)}]$$

$$= 1.265[\sqrt[5]{(12*10)^3/(12+10)}]$$

$$= 12.053 \text{ นิ้ว หรือ } 0.3014 \text{ m.}$$

ความเร็ว = 0.8 m/s

อากาศที่เข้ามีอุณหภูมิ 70 C เปิดตารางคุณสมบัติของอากาศ

$$\rho = 0.996 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 20.398*10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

$$R_e = \rho vd/\mu$$

$$= (0.996*0.8*0.3014/20.398*10^{-6})$$

$$= 6.065*10^4$$

จาก moody diagram ได้ค่า f =0.036

ความดันที่สูญเสียในบริเวณนี้ $h = f(L/D)(v^2/2g)$

$$= 0.036(0.6/0.3014)(0.8^2/2*9.81)$$

$$= 0.0023377 \text{ m.}_{air}$$

ความดันสูญเสียทั้งหมดในห้องอบสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$P = \rho gh$$

การสูญเสียรวมทั้งหมดภายในตู้อบ = 0.001624+13.15+41.942+42.51+11.3377

$$= 108.923 \text{ m.}_{air}$$

ความดันสูญเสียทั้งหมดในห้องอบ = 108.923*9.81*0.996

$$= 1064.2637 \text{ N/m}^2$$

กำลังที่ใช้กับลม = P*Q

$$= 1064.2436*0.054$$

$$= 57.47 \text{ watts}$$

กำลังที่ใช้หมุนเพลาพัดลม = กำลังที่ใช้กับลม/ประสิทธิภาพเชิงกล

ประสิทธิภาพเชิงกล = 50% (Food Process Engineering by Heldman D.R.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังที่ใช้หมุนเพลาพัดลม = 57.47/0.5

= 114.941 watts

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ = กำลังที่ใช้กับเพลาพัดลม/ประสิทธิภาพเชิงกล

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ = 65 % (Fans by Osborne W.C.)

กำลังของมอเตอร์ = 114.94/0.65

= 176.8315 watts

จากกำลังของมอเตอร์ที่คำนวณได้เลือกพัดลมที่มีขนาด 0.5 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณหาการสูญเสียความร้อนผ่านฉนวน

เลือกฉนวนใยแก้ว ที่มีความหนา 2.5 cm.

คำนวณหาความร้อนที่สูญเสียผ่านฉนวนใยแก้ว

การสูญเสียความร้อนรวมกำหนดโดย

$$q = (\Delta T / \Sigma R_t)$$

ให้การสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนใยแก้ว x % ของความร้อนก่อนติดฉนวน

จะได้

$$(q_{\text{มีฉนวน}} / q_{\text{ไม่มีฉนวน}}) = (x\%/100) = (R_{\text{ไม่มีฉนวน}} / R_{\text{มีฉนวน}})$$

ความต้านทานขณะไม่มีฉนวน

$$R_{\text{stainless}} = (\Delta y/k)$$

Δy = ความหนาของแผ่นเสตนเลส = 1 mm.

$k_{\text{stainless}}$ ที่อุณหภูมิ 343 K มีค่า 15.46 w/m c

$$R_{\text{stainless}} = 0.001/15.46 = 6.47*10^{-5} \text{ m}^2\text{c/w}$$

ดังนั้น

$$(R_{\text{ไม่มีฉนวน}} / R_{\text{มีฉนวน}}) = (x\%/100)$$

$$R_{\text{มีฉนวน}} = (R_{\text{ไม่มีฉนวน}} *100 / x\%)$$

$$= (R_{\text{stainless}} *100/X\%)$$

$$= (6.47*10^{-5} *100/X\%)$$

$$= (6.47*10^{-3}/X\%)$$

$$R_{\text{มีฉนวน}} = R_{\text{stainless}} + R_{\text{ฉนวน}}$$

$$(6.47*10^{-3}/x\%) = 6.47*10^{-5} + R_{\text{ฉนวน}}$$

$$R_{\text{ฉนวน}} = (6.47*10^{-3}/x\%) - 6.47*10^{-5}$$

โดยที่ $R_{\text{ฉนวน}} = \Delta y/k$

Δy = ความหนาของฉนวน = 2.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$k_{\text{ฉนวนใยแก้ว}}$ = 0.046 w/m·c

$R_{\text{ฉนวน}}$ = 0.025/0.046 = 0.543 m^2c/w

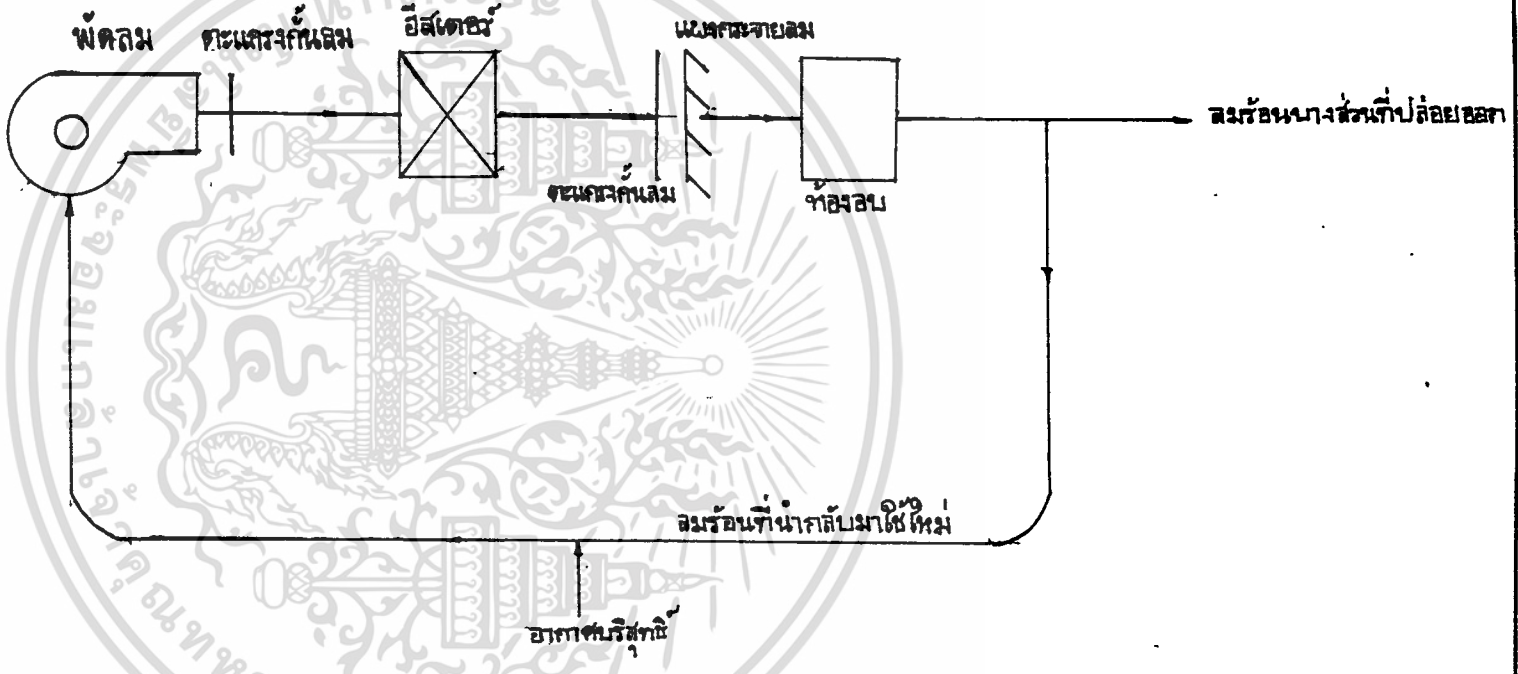
จะได้ 0.543 = ($6.47*10^{-3}$/x%) -$6.47*10^{-5}$

x% = $6.47*10^{-3}$/(0.543+$6.47*10^{-5}$)

= 0.012 %

จากการคำนวณเมื่อใช้ฉนวนใยแก้วที่มีความหนา 2.5 cm ความร้อนสูญเสียผ่านฉนวนใยแก้วน้อยมากเพียงแค่ 0.012 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 FLOW DIAGRAM ของเครื่องอบ

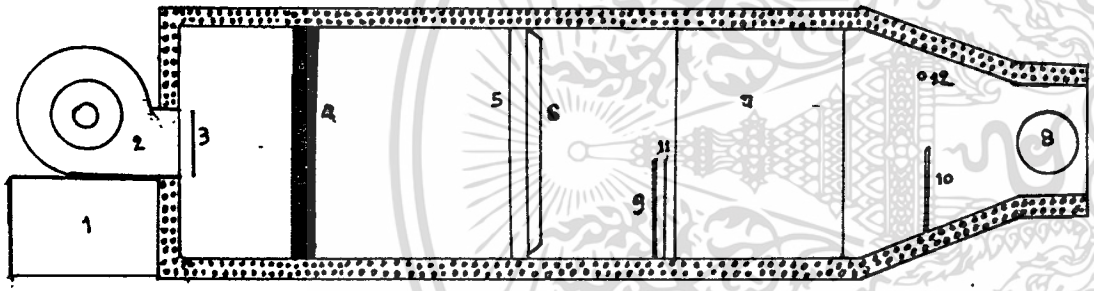
British Made

รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดพลังงานน้ำขึ้นน้ำลง

1.	ทิศทางน้ำ
2,4.	ตะแกรงกันขยะ
3.	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
5.	ผนังกั้นน้ำ
6.	ประตูน้ำ
7.	ตะแกรงดักสิ่งสกปรก
8.	ฐานรับ
9.	ทางน้ำเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
10.	ทางน้ำเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ
11.	ผนังกั้นน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BANGKOK THAILAND 10140 3 3rd Floor 126 A4 Size



1. ตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องอบ
2. พัดลม
3,5. ตะแกรงกั้นลม
4. ฮีสเตอร์
6. บานเกร็ด
7. บริเวณห้องอบ
8. ท่อทางเข้าของลมร้อนที่จะนำกลับมาใช้อีก
9,10. เทอร์โมมิเตอร์แบบหน้าปัด
11. เทอร์โมสแตท (Thermostat)
12. เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก

รูปที่ 3.3 โครงสร้างของเครื่องอบ (ภาพตัดด้านบน)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

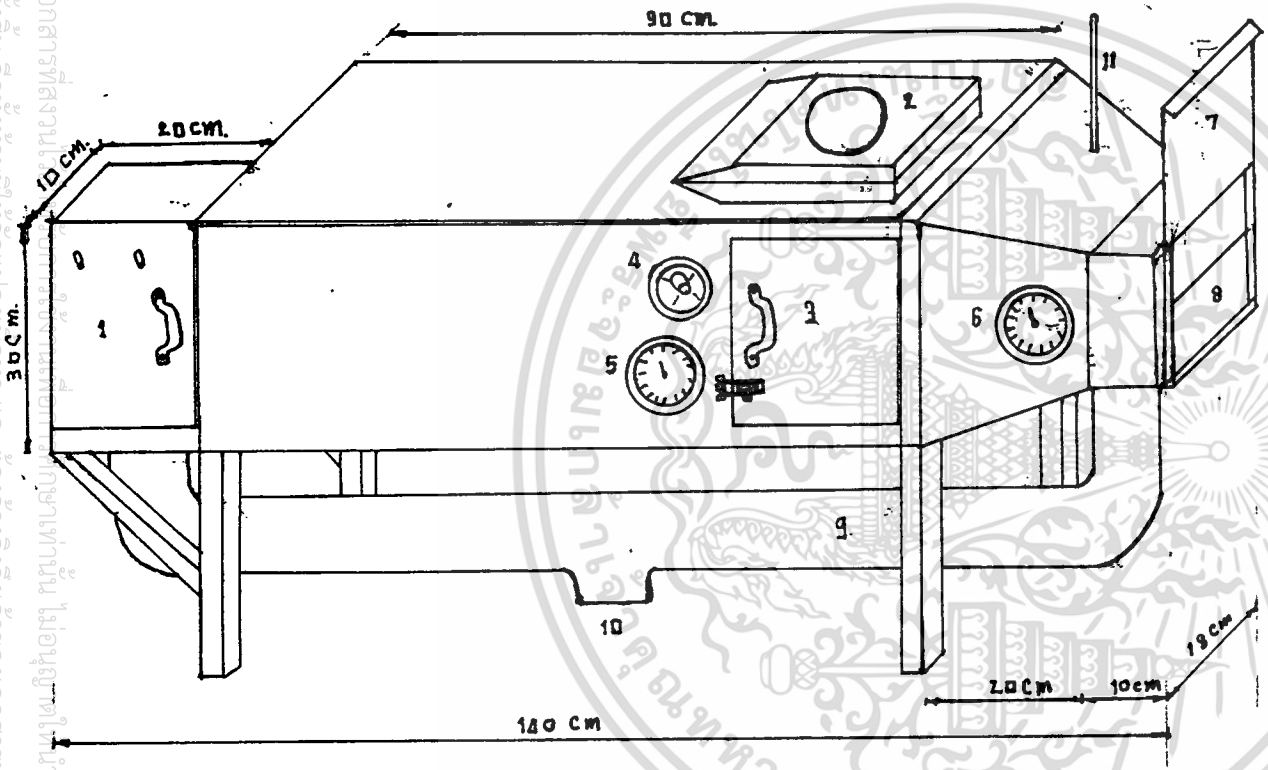
GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm² SIZE A4
British Made

GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm² SIZE A4

รูปที่ 3.4 โครงเตียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

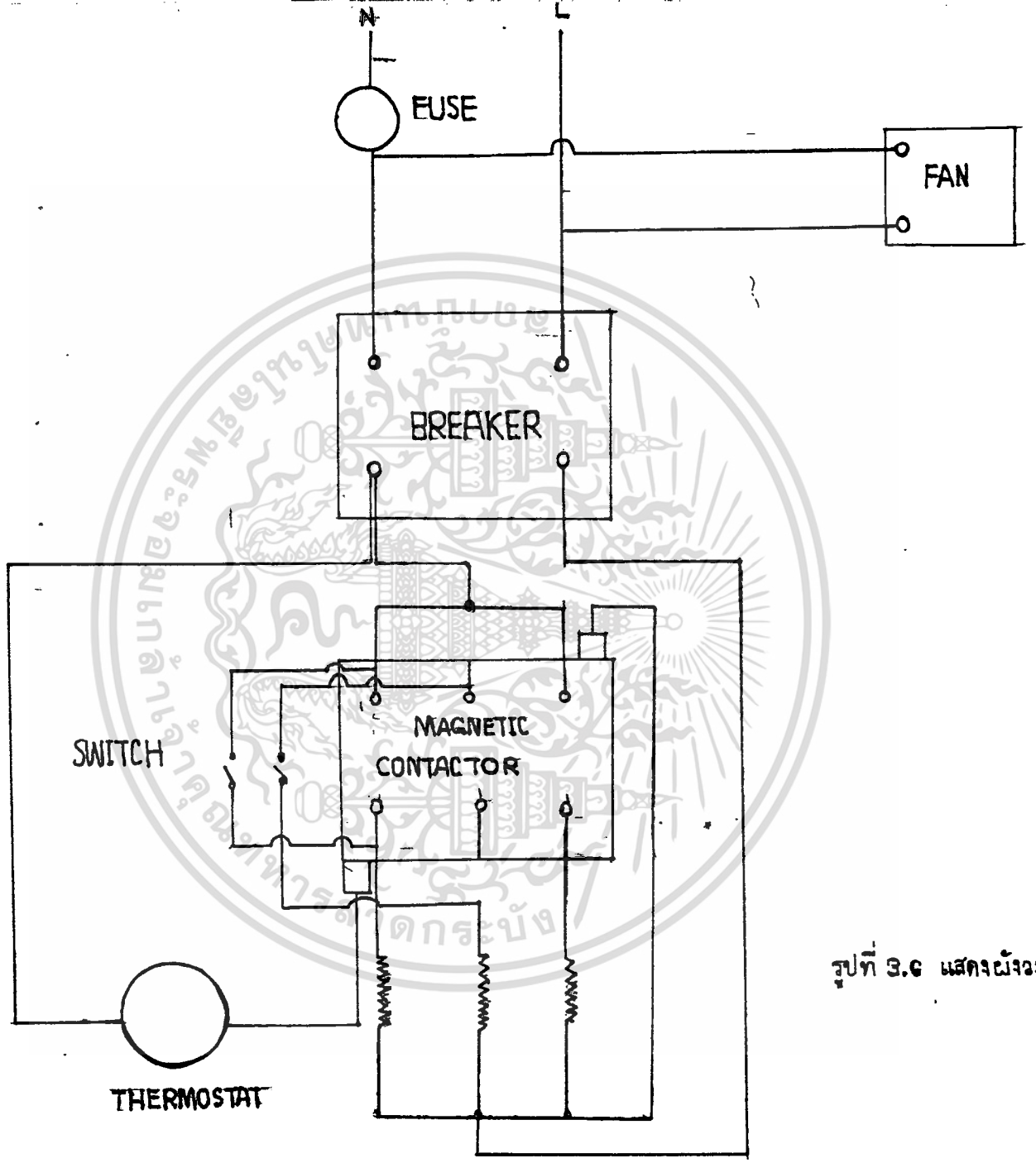
British Made



รูปที่ 3.5 เครื่องอบแห้งแบบถาด
อัตราส่วน 1:10

1. ตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง
2. ตาชั่ง
3. ประตูห้องอบ
4. เทอร์โมสแตท
5, 6. เทอร์โมมิเตอร์แบบหน้าปัด
7. แผ่นกั้นลม (Damper)
8. ทางออกของอากาศที่ผ่านการอบแห้งแล้ว
9. ท่อหมุนเวียนอากาศที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาผสมกับอากาศจากภายนอก
10. ทางเข้าของอากาศจากภายนอก
11. เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก

GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm² SIZE A4
British Made



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรควบคุม

GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm² SIZE A4

British Made

3.4 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้ง

จากการคำนวณหาขนาดของพัดลมและเครื่องทำความร้อนสามารถออกแบบเครื่องอบแห้งแบบถาดได้ดังรูปที่

โดยมีส่วนประกอบของเครื่องดังนี้

1. ตู้เหล็กบุฉนวนมีขนาดความกว้าง 0.30 ม. ยาว 1.40 ม. ขาตั้งสูง 0.30 ม. ภายในตู้ประกอบด้วยเครื่องทำความร้อน ชุดอุปกรณ์กระจายทิศทางลม ตะแกรงบรรจุผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิ ทางด้านซ้ายสุดของตู้จะมีส่วนยื่นออกมายาว 0.30 ม. กว้าง 0.20 ม. ใช้สำหรับวางพัดลมและตู้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ด้านล่างของตู้จะมีส่วนของท่อที่ใช้ในการหมุนเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

2. พัดลมแบบหอยโข่ง (Centifugal-blackward type) มีมอเตอร์ขนาด 373 วัตต์ (0.5 แรงม้า) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15 ม. อยู่ด้านซ้ายสุดของตู้ มีอัตราการไหลของลมประมาณ 131.625 m^3/hr

3. เครื่องทำความร้อนแบบครีบรูปตัวยู ขนาด 1,000 วัตต์ 3 ตัว มีความยาวเส้นละ 0.40 ม. เรียงเป็นแผงอยู่ห่างจากด้านซ้ายสุดของตู้ประมาณ 0.15 ม.

4. ชุดแผงกระจายลม ซึ่งประกอบด้วยตะแกรงกั้นลมและบานเกร็ดปรับทิศทางลมอยู่ตรงช่วงกลางของตู้อบ นอกจากนี้จะมีตะแกรงกั้นลมขนาดเล็กอยู่ที่ทางออกของพัดลมห่างออกมาประมาณ 0.05 ม. ซึ่งชุดแผงกระจายลมนี้จะทำหน้าที่ปรับทิศทางและความเร็วลมให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องอบโดยมีความเร็วเฉลี่ยของลมในห้องอบประมาณ 0.65 m/s

5. ห้องอบภายใน ทำด้วยสแตนเลสรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 0.225*0.25*0.30 ม. ด้านบนของห้องเจาะรูเพื่อแขวนตะแกรงบรรจุผลิตภัณฑ์ไว้กับตาชั่งซึ่งวางไว้ด้านบนของห้องอบ

6. ตะแกรงบรรจุผลิตภัณฑ์ขนาด 0.18*0.20 ม. บรรจุผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละ 100 กรัม

7. ประตูห้องอบ มีขนาด 0.205*0.225*0.025 ม.

8. ตาชั่งแบบดิจิตอล วางอยู่บนฝาปิดด้านบนในส่วนของห้องอบ เพื่อใช้ในการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา

9. ท่อหมุนเวียนอากาศ ทำจากท่อ PVC เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.08 ม. ภายนอกจะหุ้มด้วยฉนวนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

ความร้อน ด้านขวาของท่อเป็นทางเข้าของอากาศร้อนที่นำกลับมาใช้อีกครั้งหนึ่ง ช่วงกลางของท่อจะมีทางเข้าอากาศจากภายนอก (Fresh air) ซึ่งเข้ามาผสมกันกับอากาศร้อนดังกล่าว แล้วผ่านไปยังส่วนของท่อทางด้านซ้ายเป็นเสมือนห้องผสมอากาศ (mixing chamber) เพื่อให้อากาศผสมกันอย่างสม่ำเสมอก่อนเข้าสู่พัดลม

10. แผ่นกั้นลม (Damper) อยู่ทางด้านขวาสุดของตู้อบมีขนาด 0.016*0.020 m. เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณลมร้อนหลังจากการอบที่ปล่อยออกมา

11. ฝาด้านบนของตู้อบซึ่งสามารถเปิด-ปิดได้

12. อุปกรณ์ควบคุมประกอบด้วย

12.1 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) มีหน้าที่ควบคุมให้แมคเนติก คอนแทคเตอร์ (magnetic contactor) ทำงานตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้

12.2 เทอร์โมมิเตอร์แบบหน้าปัด 2 ตัว ใช้วัดอุณหภูมิของลมร้อนบริเวณห้องอบ และลมร้อนที่ออกจากห้องอบ

12.3 เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง-กระเปาะเปียกใช้วัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าห้องอบ และอากาศที่ผ่านห้องอบมาแล้ว

12.4 แมคเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic contactor)มีหน้าที่ช่วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิตัดต่อวงจรให้ได้ตามต้องการ

12.5 เบรคเกอร์ (Brecker) ขนาด 15 แอมป์ มีหน้าที่ตัดกระแสไฟฟ้า ถ้ากระแสมากกว่า 15 แอมป์ และมีหน้าที่ตัดต่อไฟฟ้าเข้าสู่ระบบควบคุม

12.6 ฟิวส์ลูกถ้วย คอยควบคุมไม่ให้ไฟฟ้าลัดวงจรเมื่อกระแสเกิน 15 แอมป์

12.7 สวิทช์ไฟ 2 ตัว ทำหน้าที่ปิด-เปิดการทำงานของฮีทเตอร์ตัวบนและตัวกลาง

12.8 มิเตอร์วัดไฟ ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอบเพื่อเปรียบเทียบกรณีที่มีการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้อีกกับกรณีที่ไม่มีการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้เพื่อแสดงให้เห็นว่ากรณีที่มีการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้นั้นจะประหยัดพลังงานมากกว่า

3.5 ขั้นตอนการทำงาน

1. เสียบปลั๊กเพื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าสู่วงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สับสวิทช์เบรคเกอร์ไปตั้งจุด ON ซึ่งจะมีฮีทเตอร์ 2 ตัวคือตัวบนกับตัวล่างเท่านั้นที่ทำงาน จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด แมคเนติกคอนแทคเตอร์ก็จะตัดกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ฮีสเตอร์ ซึ่งจะไม่มีฮีสเตอร์ ตัวไหนทำงาน แต่เราสามารถเปิดสวิทช์ 2 ตัวในตู้ควบคุม ฮีสเตอร์ตัวบนและตัวกลางจะทำงานได้ตามต้องการ

3. ตั้งอุณหภูมิที่เครื่องควบคุมอุณหภูมิตามต้องการ

4. หลังจากการใช้งานต้องสับสวิทช์ทุกตัวไปที่ตำแหน่ง OFF และปล่อยให้พัดลมระบายอากาศก่อนจึงทำการถอดปลั๊กเพื่อตัดกระแสที่เข้าสู่วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและวิธีการทดลอง

4.1 การทดลองหาความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ (moisture content)

วัตถุประสงค์ - เพื่อหาค่าความชื้นภายในผลิตภัณฑ์

- นำค่าความชื้นที่ได้ไปประเมินช่วงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะกับผลิตภัณฑ์

วิธีการทดลอง

1. นำมันฝรั่งมาล้างทำความทำความสะอาด ปอกเปลือกออก และตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมเล็กๆ ขนาดประมาณ 0.02 cm

2. นำซิลิกาเจลไปอบในตู้จนกระทั่งเป็นสีน้ำเงินทั้งหมด แล้วนำมาเก็บไว้ในหม้อดูดความชื้น

3. นำกระป๋องที่ใช้อบมันฝรั่ง 10 กระป๋อง มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 C เป็นเวลา 30 นาที

4. ใช้คีมจับกระป๋องลอกจากตู้นำมาเก็บไว้ในหม้อดูดความชื้น (Desiccator)ทิ้งไว้จนเย็น

5. ชั่งน้ำหนักกระป๋องที่เย็นแล้ว

6. นำชิ้นมันฝรั่งที่ตัดไว้ใส่ลงกระป๋อง ชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล

7. นำกระป๋องที่มีมันฝรั่งที่ปิดฝาเรียบร้อยไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 C

8. ทุก 1 ชั่วโมงนำกระป๋องที่อบในตู้ออกแล้วนำมาเก็บไว้ในหม้อดูดความชื้น ทิ้งไว้จนเย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล ทำการทดลองจนกว่าน้ำหนักที่ได้คงที่

9. นำค่าที่ได้จากการทดลอง คำนวณหาความชื้นภายในผลมันฝรั่ง จากสูตร

$$\%MC = (W_1 - W_2 / W_1) * 100$$

เมื่อ

%MC = ค่าเปอร์เซ็นความชื้นภายในมันฝรั่ง (มาตรฐานเปียก)

W_1 = น้ำหนักมันฝรั่งก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักมันฝรั่งหลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความชื้นภายในมันฝรั่ง

กระป๋องที่	น้ำหนักก่อนอบ(g)		น้ำหนัก ฝา+กระป๋อง+มันฝรั่ง หลังอบ (g)												
	ฝา+กระป๋อง	ฝา+กระป๋อง +มันฝรั่ง	เวลา (hr)												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	13.32	20.41	19.96	19.16	18.44	17.96	17.44	17.10	16.67	16.44	16.23	16.0	15.79	15.22	15.22
2	13.50	20.41	19.61	18.80	18.05	17.18	16.03	16.02	15.64	15.41	15.15	15.00	14.95	14.95	14.95
3	13.47	20.48	19.32	18.34	17.76	17.09	16.93	16.08	15.64	15.37	15.16	14.90	14.90	14.90	14.90
4	13.42	20.42	19.77	18.75	18.03	17.40	16.69	16.41	16.01	15.77	15.57	15.36	15.16	15.04	15.04
5	13.42	20.49	19.87	19.07	18.31	17.87	17.01	16.65	16.19	15.97	15.65	15.46	15.27	15.16	15.16
6	13.55	20.41	19.55	18.71	18.03	17.30	16.80	16.42	15.86	15.61	15.41	15.24	15.12	15.08	15.08
7	13.51	20.45	19.34	18.30	17.56	17.85	16.07	15.63	15.23	15.07	15.03	15.00	14.99	14.99	14.99
8	13.61	20.45	19.62	19.00	18.16	17.62	17.12	16.72	16.29	16.05	15.81	15.57	15.39	15.26	15.26
9	13.34	20.38	19.33	18.49	17.66	16.95	16.27	15.85	15.48	15.27	15.06	14.91	14.87	14.87	14.87
10	13.41	20.42	19.41	18.36	17.67	17.22	16.69	16.29	15.74	15.47	15.31	15.10	15.03	15.00	15.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระป๋องที่	น้ำหนักมันฝรั่งก่อนอบ (g)	น้ำหนักมันฝรั่ง หลังอบ (g)												%MC
		เวลา (hr)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	7.21	6.37	5.84	5.12	4.64	4.12	3.78	3.55	3.12	2.91	2.86	2.47	1.90	1.90	73.65
2	6.91	6.11	5.30	4.55	3.68	2.53	2.52	2.14	1.91	1.65	1.50	1.45	1.45	1.45	79.02
3	7.06	5.85	5.33	4.58	3.62	3.46	2.61	2.17	1.90	1.69	1.43	1.43	1.43	1.43	79.75
4	7.00	6.35	5.33	4.61	4.36	3.27	2.99	2.59	2.35	2.15	1.49	1.74	1.62	1.62	76.86
5	7.07	6.45	5.16	4.89	4.45	3.59	3.23	2.77	2.55	2.23	2.04	1.85	1.74	1.74	75.39
6	6.86	6.00	4.16	4.48	3.75	3.25	2.87	2.31	2.06	1.86	1.69	1.57	1.53	1.53	77.70
7	6.94	5.83	4.79	4.05	3.34	2.56	2.12	1.72	1.56	1.52	1.49	1.48	1.48	1.48	78.67
8	6.84	6.01	5.39	4.55	4.01	3.51	3.11	2.58	2.44	2.20	1.96	1.78	1.65	1.65	75.88
9	7.04	5.99	5.15	4.32	3.61	2.93	2.51	2.14	1.9	1.72	1.57	1.53	1.53	1.53	78.27
10	7.01	6.00	4.95	4.26	3.81	3.28	2.88	2.23	2.06	1.90	1.69	1.62	1.59	1.59	77.73
ความชื้นภายในมันฝรั่งเฉลี่ย															77.292

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองหาความเร็วลมเฉลี่ยในห้องอบและอัตราการไหลของลม

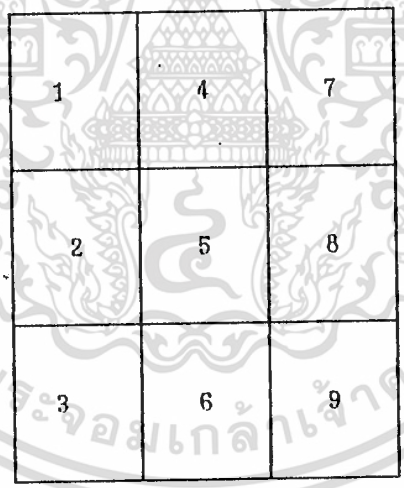
วัตถุประสงค์ - เพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของลมในห้องอบในสภาวะที่มีการกระจายของลมอย่างสม่ำเสมอ และเพื่อทราบอัตราการไหลของลม

วิธีการทดลอง

1. เจาะรูตู้อบในส่วนของห้องอบ ให้มีขนาดพอดีที่เครื่องวัดความเร็วลมแบบขดลวดร้อน (hot wire) สอดเข้าไปวัดลมในห้องอบได้

2. ทำการวัดลมในตำแหน่งต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยการปรับแผงกระจายลมไปในทิศทางต่างๆ เพื่อให้ได้ความเร็วที่ใกล้เคียงกันในตำแหน่งต่างๆ

3. หาค่าความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลของลม



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งในการวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาความเร็วเฉลี่ยในห้องอบ

ตำแหน่งที่	ความเร็วลม(m/s)
1	0.64
2	0.68
3	0.67
4	0.72
5	0.68
6	0.51
7	0.43
8	0.78
9	0.63

จากตาราง

ความเร็วเฉลี่ยของลม = 0.64+0.68+0.67+0.72+0.43+0.78++0.5+0.68/9

= 0.641 m/s

อัตราการไหลโดยปริมาตรของลม

= 0.65*0.225*0.5

=0.0367 m^3/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งมันฝรั่ง

วัตถุประสงค์ - เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งมันฝรั่ง

วิธีการทดลอง

1. นำมันฝรั่งมาทำความสะอาดและปลอกเปลือก เฉือนเป็นแว่นโดยเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm. และมีความหนา 0.5 cm. (Drying Requirement by Ticahuasi)

2. นำมันฝรั่งใส่ในถาดชั่งให้ได้น้ำหนัก 100 g (ประมาณ 9 ชิ้น) เข้าอบในเครื่องที่อุณหภูมิ 60,70 และ 80 C โดยกำหนดเวลาเริ่มต้นที่ทำการทดลอง t=0

3. อ่านค่าน้ำหนักทุกๆ 15 นาทีแล้วบันทึกผลลงในตาราง 4.2

4. คำนวณหาความชื้นของมันฝรั่งที่เวลาต่างๆ จากสูตร

$$MC_2 = 100-[(100-MC_1)W_1/W_2]$$

เมื่อ

MC_1 = ความชื้นภายในมันฝรั่งก่อนอบ

MC_2 = ความชื้นภายในมันฝรั่งหลังอบ

W_1 = น้ำหนักมันฝรั่งก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักมันฝรั่งหลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ความชื้นของมันฝรั่งที่อุณหภูมิควบคุมต่างๆ

ตารางที่ 4.3(a) ที่อุณหภูมิควบคุม 60,70,80 C

1 ที่อุณหภูมิควบคุม 60 C

เวลา (Min)	น้ำหนักมันฝรั่ง (g)	ความชื้น %
0	100	77.00
15	90.66	74.63
30	82.88	72.17
45	75.61	68.34
60	69.13	66.75
75	61.28	62.47
90	55.17	58.31
105	50.25	54.23
120	45.26	49.18
135	41.86	43.72
150	37.31	38.35
165	33.61	32.48
180	32.38	28.12
195	29.25	21.18
210	28.37	18.94
225	26.51	13.25
240	25.58	9.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ที่อุณหภูมิควบคุม 70 C

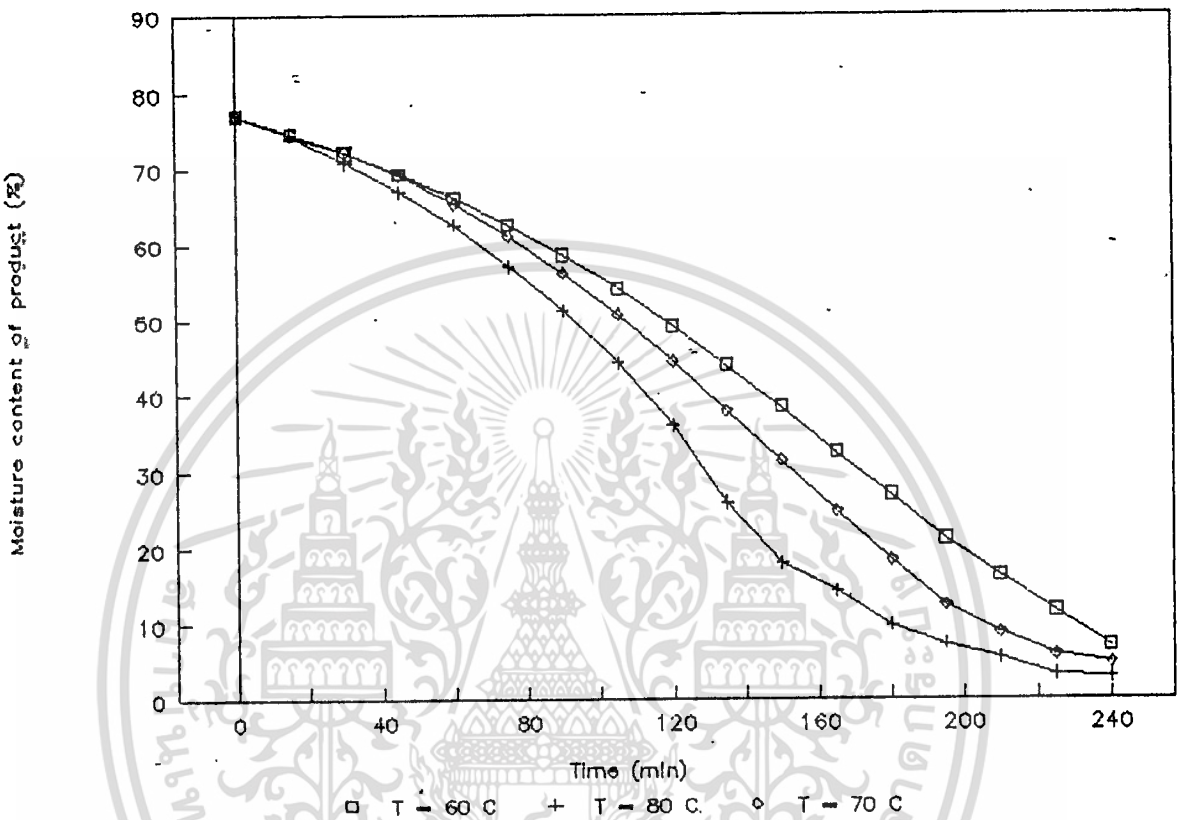
เวลา (Min)	น้ำหนักมันฝรั่ง (g)	ความชื้น %
0	99.87	77.00
15	95.04	75.83
30	83.50	72.49
45	75.63	69.63
60	66.06	65.23
75	59.17	61.81
90	52.75	56.46
105	49.52	50.48
120	41.53	44.69
135	37.08	38.05
150	34.10	32.64
165	30.87	25.59
180	28.47	19.32
195	26.49	13.28
210	25.52	10.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ที่อุณหภูมิควบคุม 80 C

เวลา (Min)	น้ำหนักมันฝรั่ง (g)	ความชื้น %
0	100	77.00
15	92.11	75.03
30	80.50	71.43
45	69.79	68.56
60	57.09	61.48
75	54.77	58.01
90	48.31	52.39
105	42.33	45.67
120	36.89	37.65
135	31.49	26.98
150	28.09	18.13
165	27.28	15.69
180	26.26	12.43
195	25.55	9.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลาในการอบแห้งและความชื้นของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของผลิตภัณฑ์หลังจากการอบที่อุณหภูมิต่างๆ(เปรียบเทียบที่ความชื้นประมาณ 10 %)

- อบที่ 60 C : ใช้เวลาอบ 4 ชั่วโมง ลักษณะของมันฝรั่งที่ได้มีสีเหลือง แห้ง,แข็งทั่วทั้งชิ้น
- อบที่ 70 C : ใช้เวลาอบ $3^{1}/_{2}$ ชั่วโมง ลักษณะของมันฝรั่งที่ได้เหมือนการอบที่ 60 c แต่ใช้เวลาน้อยกว่า
- อบที่ 80 C : ใช้เวลาอบ 3 ชั่วโมง 15 นาที ลักษณะของมันฝรั่งที่ได้ แห้งทั่วทั้งชิ้น แต่เมื่อเคาบีบกดส่วนกลางจะรู้สึกว่าส่วนข้างในยังนิ่มอยู่เล็กน้อย เนื่องจากอบที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงทำให้น้ำบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ระเหยออกอย่างรวดเร็ว ผิวนอกจะแห้งแข็งก่อนน้ำส่วนที่เหลือภายในของผลิตภัณฑ์จึงระเหยออกได้ยาก

จากลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เลือกใช้อุณหภูมิในการอบที่ 70 C เพราะได้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะตามต้องการ และใช้เวลาในการอบน้อยกว่า คือ ใช้เวลา $3^{1}/_{2}$ ชั่วโมงเพื่อให้ได้ความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังการอบเป็น 10 % หรือต่ำกว่า

จากนั้น เลือกใช้การอบผลิตภัณฑ์ที่ 70 C หากราฟอัตราการอบแห้ง(Drying rate curve) ของการอบแห้งมันฝรั่งโดยได้ข้อมูลจากการทดลองแล้วนำไปเทียบกราฟความสัมพันธ์ดังจะได้แสดงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.3(b) แสดงข้อมูลในการหากราฟอัตราการอบแห้ง

เวลา (MIN)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (g)	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไป (g)	MC_{wb}	MC_{db}	DRYING RATE (kg_{water}/m^2h)	FREE MOISTURE (kg_{water}/kg_{solid})
0	98.45	0	77	334.78	0	334.440
5	95.82	2.63	76.37	323.19	44.660	322.850
10	92.94	2.88	75.64	310.51	48.900	310.170
15	89.59	3.35	74.93	298.88	49.230	298.540
20	86.84	2.75	73.16	272.58	46.698	272.240
25	84.36	2.48	72.90	269.00	42.113	268.480
30	81.45	2.91	72.20	259.71	49.415	259.370
35	78.89	2.56	71.30	248.43	43.470	248.080
40	76.04	2.58	70.22	235.80	48.369	235.450
45	73.39	2.65	67.95	224.15	45.000	223.647
50	70.06	2.79	67.93	212.82	47.377	211.470
55	67.95	2.65	66.68	200.12	48.396	199.765
60	65.39	2.56	65.37	188.77	43.470	188.414
65	62.94	2.45	64.02	177.93	41.600	177.573
70	60.55	2.39	62.60	167.38	40.580	167.025
75	58.22	2.33	60.50	153.16	39.570	152.804
80	55.91	2.31	59.50	146.91	39.230	146.554
85	53.67	2.24	57.81	137.02	38.030	136.664
90	51.56	2.11	56.08	127.69	38.830	127.328

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

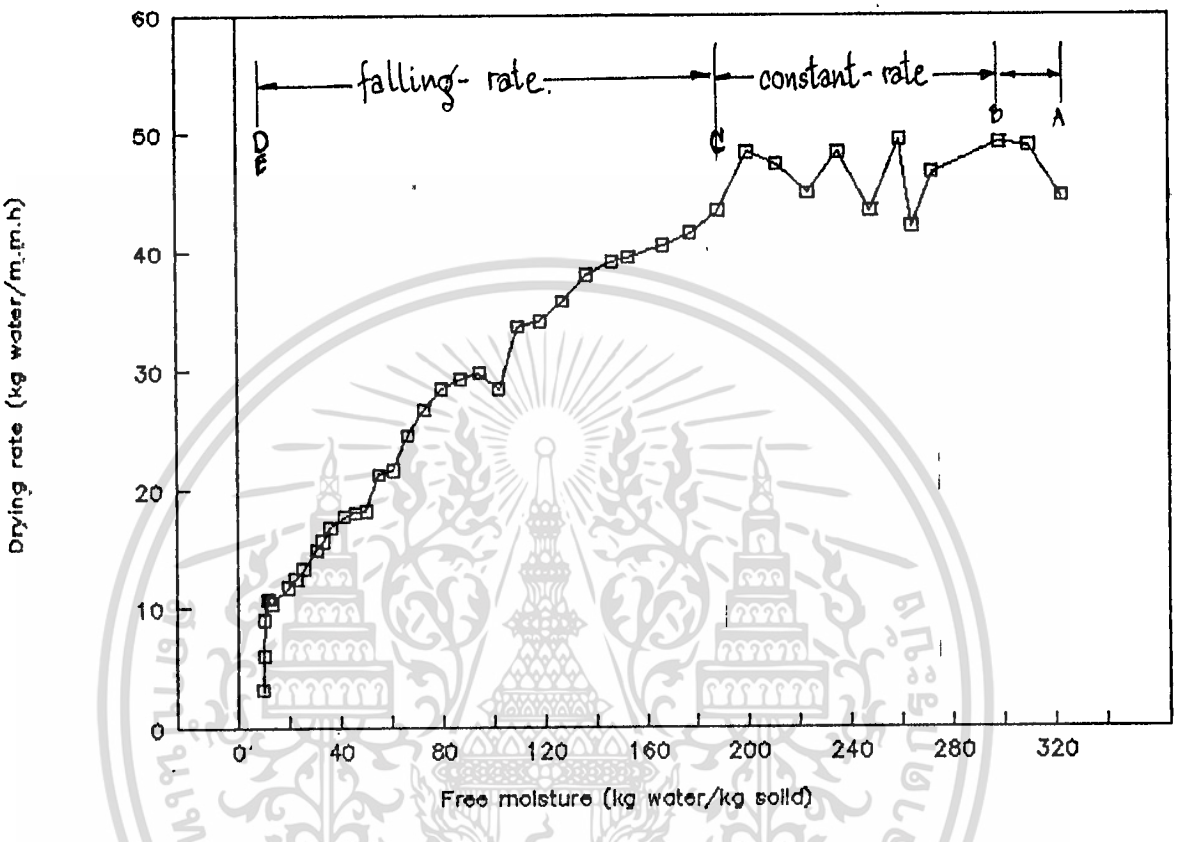
เวลา (MIN)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (g)	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไป (g)	MC_{wb}	MC_{db}	DRYING RATE (kg_{water}/m^2h)	FREE MOISTURE (kg_{water}/kg_{solid})
95	49.55	2.01	54.31	118.82	34.130	115.481
100	47.57	1.98	52.40	110.10	33.620	109.738
105	45.90	1.67	50.67	102.72	28.360	102.361
110	44.15	1.75	48.70	94.93	29.720	94.574
115	42.43	1.72	46.60	87.73	29.200	87.374
120	40.76	1.67	44.45	80.00	28.360	79.644
125	39.19	1.57	42.22	73.10	26.600	72.737
130	37.75	1.44	40.02	66.67	24.450	66.319
135	36.48	1.27	37.93	61.11	21.570	60.751
140	35.23	1.25	35.73	55.59	21.230	55.231
145	34.16	1.07	33.72	50.88	18.170	50.235
150	33.10	1.06	31.59	46.18	18.000	45.826
155	32.06	1.04	29.37	41.58	17.670	41.226
160	31.07	0.99	27.12	37.21	16.810	36.858
165	30.15	0.92	24.97	33.28	18.620	32.933
170	29.27	0.88	23.69	31.10	14.940	30.760
175	28.49	0.78	20.52	25.82	13.250	25.481
180	27.76	0.73	18.43	22.59	12.400	22.251
185	27.07	0.69	16.37	19.57	11.720	19.230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (MIN)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (g)	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไป (g)	MC_{wb}	MC_{db}	DRYING RATE (kg_{water}/m^2h)	FREE MOISTURE (Kg_{water}/kg_{solid})
190	26.46	0.61	14.20	16.55	10.360	16.210
195	25.83	0.63	11.48	12.97	10.690	12.630
200	25.30	0.53	10.50	11.73	9.000	11.390
205	24.95	0.55	9.24	10.18	5.940	9.840
210	24.84	0.11	8.85	9.71	3.140	9.370

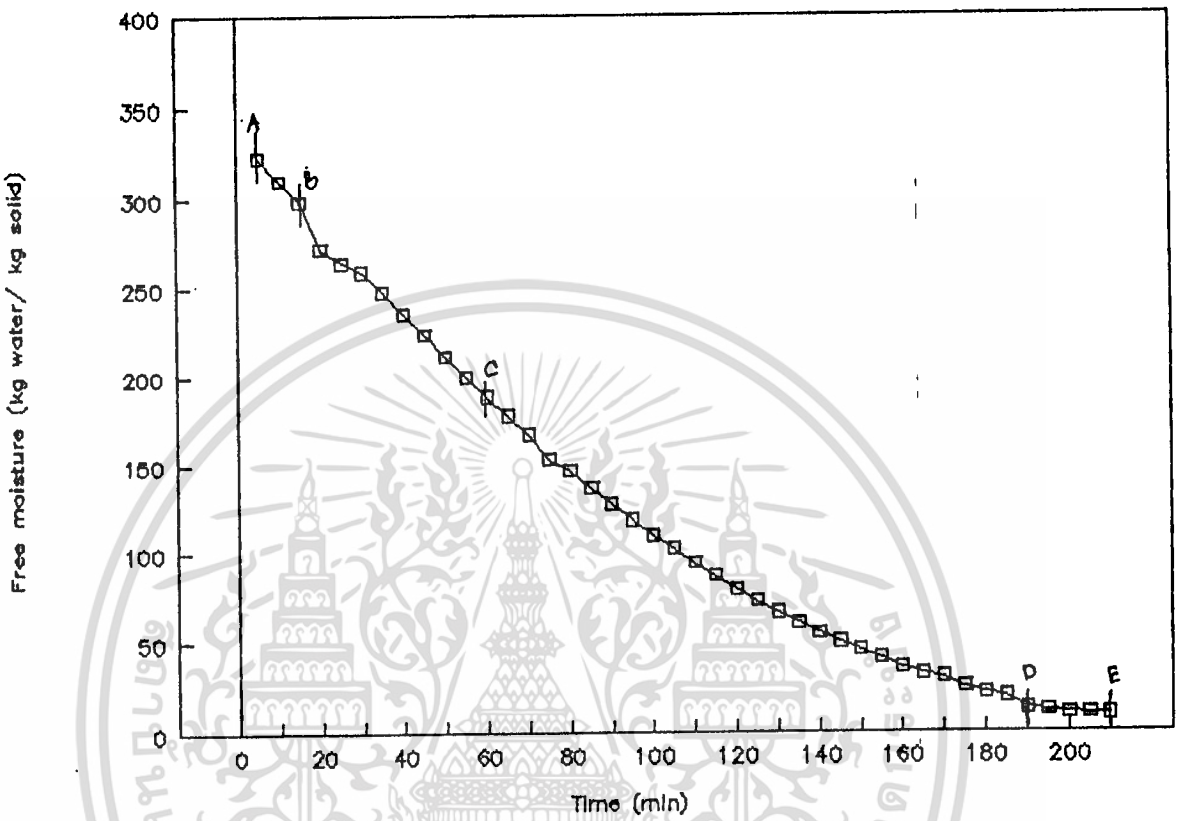
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 **Drying rate Curve ที่อุณภูมิ 70 องศาเซลเซียส**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 **กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นอิสระและเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดง drying rate curve และกราฟแสดงการลดลงของ free moisture ในแต่ละช่วงเวลาอธิบายได้ดังนี้

- ช่วง AB เป็น warming-up period อยู่ในช่วงเวลา 15 นาทีแรก ของการอบแห้ง

- ช่วง BC เป็น constant-rate period อยู่ถัดจากช่วง AB ไปถึงเวลา 1 ชั่วโมง ของการอบแห้ง (เป็นเวลา 45 นาที) มีอัตราการอบแห้งโดยเฉลี่ย 46.04 kg H_2O/m^2h โดยที่จุด C เป็นจุดที่มีอัตราการลบแห้งเปลี่ยนจาก constant rate เป็น falling rate

- ช่วง CD, DE เป็น 2 ช่วงของ falling rate

นอกจากนี้สามารถประมาณเวลาในการอบแห้ง ในกรณีของเครื่องที่มีเงื่อนไขใกล้เคียงกันหรือเหมือนกับกรณีของเครื่องนี้ เช่น ชนิดของผลิตภัณฑ์ , อุณหภูมิในการลบหรืออื่นๆ ได้โดยตรงจากกราฟแสดงการลดลงของความชื้นอิสระในแต่ละช่วงเวลา ดังต่อไปนี้

ก. อัตราการอบแห้งคงที่

$N_c = \frac{m}{A}\frac{dw}{dt}$ เมื่อ N_c = Drying rate ในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

A = พื้นที่ของถาดอบ

= 0.18*0.2 m^2 โดยมีน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ในการอบแต่ละครั้งเป็น $100*10^{-3}/0.036$

= 2.78 $kg_{product}/m^2$

dw/dt = ความชันของเส้นกราฟความชื้นอิสระในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ BC ในที่นี้คือ $\frac{298.54-188.84}{45/60}$

= 146.27 $kg_{water}/kg_{solid.h}$

m = น้ำหนักแห้งของมันฝรั่งจากตอนเริ่มต้นทดลองน้ำหนักเปียกเป็น 98.4 g ความชื้น 70 % ได้น้ำหนักแห้งเป็น 22.64 g_{solid}

แทนค่าได้ $N_c = (-22.64*10^{-3}/0.036)*146.27$

= -9.199 $kgH_2O/m^2.h$

ซึ่งสามารถหาเวลาในการลบแห้งในช่วงอัตราคงที่จาก

$t_c = (m/AN_c)*(w_1-w_2)$

หมายเหตุ : เครื่องหมายลบของ N_c แสดงถึงปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

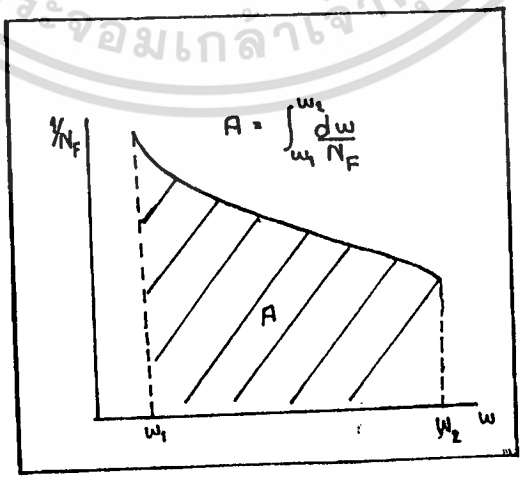
จากกราฟการอบแห้งช่วง falling-rate คือ ช่วง CD แบ่งออกเป็นช่วงๆ เพื่อพิจารณาค่า N_F จากกราฟ ได้ข้อมูลดังนี้

$W(kg_{water}/Kg_{solid})$	N_F (kg_{water}/m^2hr)	$1/N_F$
127.328	78.05	0.0128
79.644	59.87	0.0167
45.826	42.53	0.0235
22.25	29.66	0.0037
9.37	16.51	0.0610

จากสมการ

$$t_F = m/A \int_{w_2}^{w_1} dw/N_F \quad \text{.....(1)}$$

เราหา $\int_{w_2}^{w_1} dw/N_F$ ได้จากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ของ $1/N_F$ กับ w



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพื้นที่ใต้กราฟ ได้ $\int_{W_1}^{W_1} dw/N_F = 2.68$

ก็จะหาเวลาโดยประมาณของการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงได้จาก

$$t_f = m/A(2.678) \quad \text{hr}$$

เวลาในการอบแห้งทั้งหมดโดยประมาณ

$$t = t_c + t_f$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองหาช่วงเวลาและความชื้นที่เหมาะสมในการหมุนเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้

จุดประสงค์ - เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของเวลาในการอบแห้ง ความชื้นของผลิตภัณฑ์และความชื้นของอากาศในห้องอบที่เหมาะสมกับการหมุนเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

วิธีการทดลอง

จากการทดลองหาอุณหภูมิและเวลา ที่เหมาะสมในการอบแห้งได้อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 70 Cจากนั้นทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ 70 C อีกครั้งโดย ทำการวัดความชื้นของอากาศในแต่ละช่วงเวลาควบคู่ไปกับการวัดค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาช่วงเวลาและความชื้นที่เหมาะสมในการหมุนเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้

ตารางที่ 4.4(a) วิธีที่ 1

เวลา (hr)	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (g)	ความชื้นของผลิตภัณฑ์ %	ความชื้นของอากาศในห้องอบ -H ($kg_{water}/kg_{dry\ air}$)
0	100.00	77.00	-
0.15	90.08	72.09	0.0288
0.30	82.42	72.09	0.0287
0.45	74.45	69.11	0.0289
1	69.34	66.83	0.0289
1.15	53.74	57.20	0.0286
1.30	47.28	51.35	0.0290
1.45	42.64	46.06	0.0291
2	38.04	39.54	0.0287
2.15	34.04	32.43	0.0289
2.30	31.93	27.97	0.0290

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

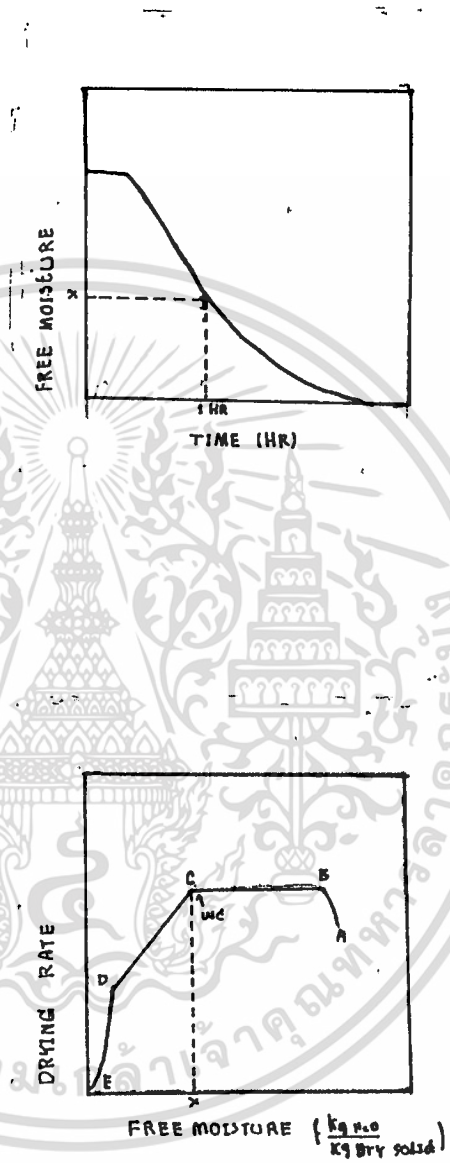
เวลา (hr)	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (g)	ความชื้นของผลิตภัณฑ์ %	ความชื้นของอากาศในห้องอบ -H ($kg_{water}/kg_{dry\ air}$)
2.45	29.71	22.58	0.0289
3	27.57	16.58	0.0290
3.15	25.90	11.20	0.0285
3.30	23.72	6.16	0.0290
3.45	20.48	3.04	0.0289
4	23.10	2.04	0.0283

โดยหลักการแล้ว การหมุนเวียนอากาศร้อนบางส่วนกลับมาใช้ในการอบแห้ง จะทำได้ต่อเมื่ออากาศร้อนที่ออกจากห้องอบ นั้นต้องมีความชื้นไม่สูงเกินไป จนมีผลกระทบ ต่อการอบแห้งและลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้

การทดลองนี้ต้องการหาจุดที่เหมาะสมในการเริ่มหมุนเวียนอากาศร้อน กลับมาใช้โดยเลือกจากจุดที่มีความชื้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่จากข้อมูลในตารางจะเห็นว่าค่าความชื้นของอากาศในห้องอบในตอนท้ายจะลดลงจากตอนเริ่มต้น เพียงเล็กน้อย จนไม่สามารถสังเกตเห็นจุดที่ความชื้นของอากาศในห้องอบเริ่มลดลงได้ชัดเจน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ทดลองมีความชื้นเริ่มต้นต่ำ และใช้ในปริมาณน้อย ในการทดลอง(100 กรัม) จึงต้องหาวิธีใหม่ในการหาจุดเริ่มนำอากาศร้อนหมุนเวียนมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างถึงกราฟอัตราการทำแห้ง(Drying rate curve) ในการทดลองที่ 4.3 ที่ผ่านมา



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนช่วงของการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุด C drying rate เปลี่ยนจากช่วง constant rate ไปยัง falling rate ความชื้นของจุดนี้คือ critical moisture content ซึ่งต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ โดยจุดนี้ drying rate จะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิของการอบคงที่ แสดงว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ ลดลงมาถึงจุดหนึ่งที่ความชื้นของอากาศในห้องอบมีค่าน้อย พอที่จะนำเอาอากาศร้อนบางส่วน(เริ่มจากส่วนน้อยๆ) กลับมาใช้อบผลิตภัณฑ์ได้ดีก โดยที่มีผลกระทบต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด จากความสัมพันธ์ของ free moisture กับเวลาในการอบแห้ง ได้ว่าที่จุด critical moisture content นั้นเวลาในการอบแห้งได้ผ่านไป 1 ชั่วโมง จึงเริ่มนำอากาศร้อน 20 % กลับมาใช้ในการอบแห้ง ต่อไปนี้คือตารางผลการทดลอง เพื่อให้ได้ช่วงเวลาและปริมาณอากาศร้อนในการย้อนกลับมาใช้ที่เหมาะสม เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน โดยอธิบายได้จาก ไซโครเมตริกชาร์ท

ตารางที่ 4.4(b) วิธีที่ 2

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (g)	T_{wb} C	T_{db} C	%RH Relative Humidity	H Moisture content	หมายเหตุ
0	99.70	-	-	-	-	-
5	99.56	-	-	-	-	-
10	93.78	-	-	-	-	-
15	90.95	-	-	-	-	-
20	87.04	-	-	-	-	-
25	84.35	-	-	-	-	-
30	81.40	-	-	-	-	-

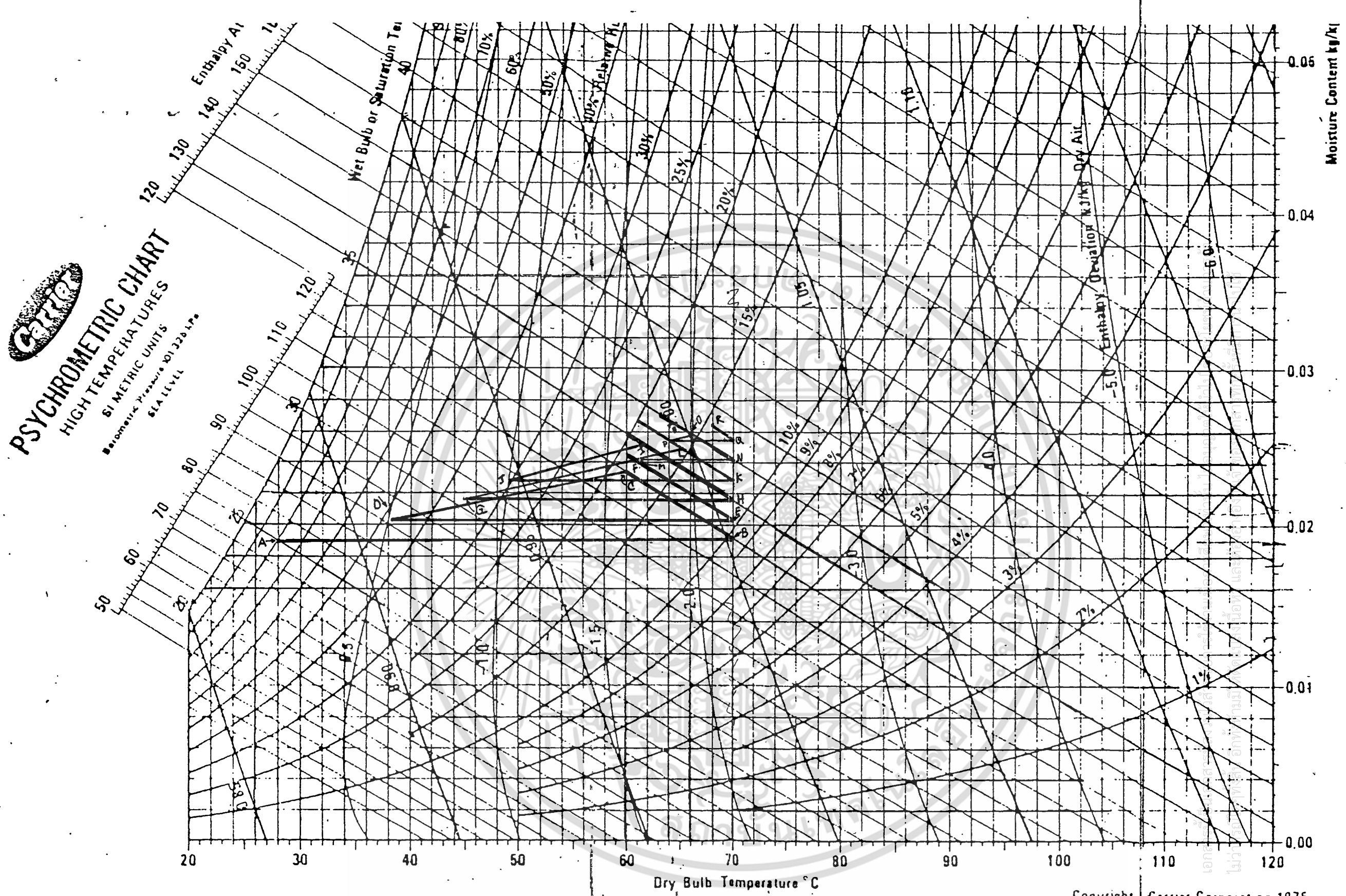
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (g)	T_{wb} C	T_{db} C	%RH Relative Humidity	H Moisture content	หมายเหตุ
35	78.36	-	-	-	-	-
40	75.65	-	-	-	-	-
45	72.85	-	-	-	-	-
50	70.11	-	-	-	-	-
55	67.45	-	-	-	-	-
60(1 hr)	64.87	34	60	18	0.0233	Recirculate 20%
65	62.30	34.5	63	16.5	0.0236	
70	59.83	34.5	62	17.5	0.0240	
75	57.38	34.5	60	19.5	0.0244	
80	54.99	34.5	61	18	0.0243	Recirculate 40%
85	52.71	35	64	16	0.0240	
90	50.57	35	64	16	0.0240	
95	48.44	35	63.8	16.5	0.0245	
100	46.39	35	63.5	16.8	0.0246	
105	44.06	35	63	17	0.0248	
110	42.37	35	63	17	0.0248	
115	40.59	35	63	18	0.0255	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (น.)	น้ำหนัก (g)	T_{wb} C	T_{db} C	%RH Relative Humidity	H Moisture content	หมายเหตุ
120(2 hr)	38.84	35	61.5	18.3	0.0257	
125	36.63	35	60	20.5	0.0260	
130	35.62	35	60	20.5	0.0260	
135	34.22	35	60.5	19.5	0.0258	
140	32.93	35	61	18.5	0.0257	
145	31.70	35	61	18.5	0.0257	
150	30.50	35	61.5	18	0.0252	Recirculate 50%
155	29.34	35.5	62	19	0.0265	
160	28.28	35.5	61	20	0.0270	
165	27.70	35.5	63	18	0.0260	
170	26.37	35.5	64	17	0.0256	
175	25.50	35.5	65	16	0.0250	
180	24.70	35.5	65	16	0.0250	Recirculate 60%
185	23.81	36	64	17.5	0.0268	
190	23.08	36	63	18	0.0270	
195	22.41	36	64.5	17	0.0267	
200	21.67	36	65	16.8	0.0265	
205	21.22	36	66	15.7	0.0260	
210	20.80	36	66	15.7	0.0260	Recirculate 80% ทริส 100%
215	20.39	36.5	67	14.5	0.0255	
220	19.95	36.5	68	14	0.0250	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6

ที่มา : Carrier corporation (1975)

จากข้อมูลในตารางมาพิจารณา จาก ไซโครเมตริกชาร์ท

ที่สภาวะอากาศปกติมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง(T_{db}) = 28 C

มีอุณหภูมิกระเปาะเปียก(T_{wb})= 25 C

ความชื้นสัมพัทธ์(%RH) = 80 %

ความชื้นสมบูรณ์(H) = 0.019 $kJ/kg_{dry\ air}$

จากจุด A อากาศถูกเป่าผ่าน อุปกรณ์ให้ความร้อน เป็นการเพิ่มอุณหภูมิ จากอุณหภูมิ ปกติไปเป็น 70 C ที่ห้องลงจุด B โดยที่กระบวนการนี้ถูกสมมุติให้ปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในอากาศคงที่เสมอ ($H=0.019\ kg_{water}/kg_{dry\ air}$) จากนั้นอากาศร้อนในห้องอบจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งโดยการถ่ายเทความร้อน ไปให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะใช้ความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิและระเหยน้ำออก โดยสมมุติให้กระบวนการระเหยน้ำ ดังกล่าว ไม่มีการถ่ายเทความร้อน กับสิ่งแวดล้อม(Adiabatic Evaporative cooling) ซึ่งจะดำเนินไป บนเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ (T_{wb}คงที่) โดยที่อุณหภูมิ(T_{db}) ของอากาศ หลังการอบแห้งจะลดลง แต่จะมีความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นสมบูรณ์เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาของการอบแห้งผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมง ก็จะถึงจุดที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนจากช่วงคงที่(constant rate) ไปเป็นช่วงลดลง(falling rate) คือจุด C จากกราฟอากาศมีความชื้นสมบูรณ์ 0.0233 $kg_{water}/kg_{dry\ air}$ มีความชื้นสัมพัทธ์ 18%โดยเราจะถือจุดความชื้นสัมพัทธ์นี้ เป็นจุดนำอากาศร้อนก้อนกลับมาใช้ ได้ในปริมาณน้อยๆ เริ่มที่ 20%เราจะหาลักษณะของอากาศหลังผสมกันแล้ว ก่อนที่จะเข้าสู่ห้องอบได้ โดยอาศัยสัดส่วนโดยมวลอากาศแห้งของอากาศย้อนกลับ(Recirculated air) และอากาศจากภายนอก(fresh air) ซึ่งอากาศที่ผสมกัน(mixed air) จะอยู่ระหว่างเส้นตรงที่ลากเชื่อมระหว่างจุดของอากาศย้อนกลับ และอากาศภายนอก และจะอยู่ชิดกับจุดที่มีสัดส่วนโดยมวลของอากาศแห้งมากกว่า

<u>ที่การนำอากาศก้อนกลับ 20%</u>

<u>อากาศย้อนกลับ</u>

ปริมาณ = 0.2*0.027 = 0.0054 m^3/sec

ความหนาแน่น = 1/ปริมาตรจำเพาะ = 1/0.958 = 1.0438 $kg_{dry\ air}/m^3$

ปริมาณอากาศย้อนกลับ = 1.04388*0.0054 = 0.0056 $kg_{dry\ air}/sec$

อากาศจากภายนอกที่อุณหภูมิ 28 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

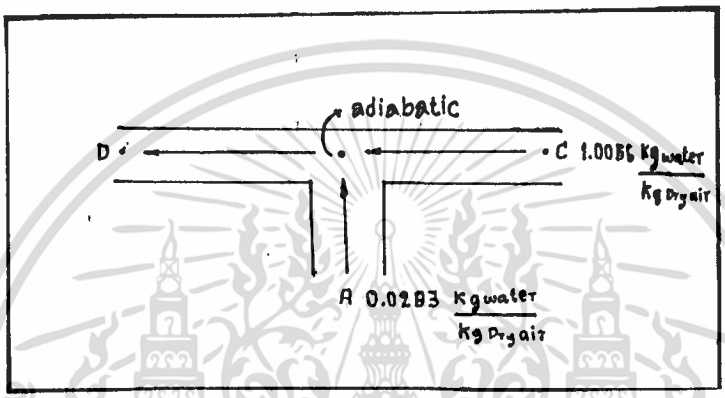
ความหนาแน่น = 1/0.855 =1.1696 $kg_{dry\ air}$ /m^3

ปริมาณอากาศ = 0.8*0.027

= 0.0216 m^3/sec

= 0.0216*1.1696

= 0.0253 $kg_{dry\ air}$/sec



ที่จุด D ปริมาณอากาศผสม(mixed air)

= 0.0056+0.0253

= 0.0309 $kg_{dry\ air}$/sec

นั่นคือสัดส่วนของระยะทางจากจุด D ไป A ต่อระยะทางจาก D ไป C คือ

= 0.0056/0.0309 = 0.18 หรือประมาณ 20%

หลังจากนั้นอากาศผสมจากจุด D จะผ่านอุปกรณ์ทำความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิไปเป็น 70 C ที่จุด E โดยมีค่าความชื้นสมบูรณ์คงที่เพราะปริมาณน้ำในอากาศต่อมวลอากาศแห้งคงที่ ($H=0.0203\ Kg_{water}/Kg_{dry\ air}$) เมื่อเวลาผ่านไปความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะเพิ่มขึ้น ถึงจุดหนึ่งและจะลดลงมา ถึงที่ 18% ตามกำหนดไว้ขั้นต้น บนเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ 34.5 C ที่เวลาของการอบ 1 ชั่วโมง 20 นาที ที่ จุด F แสดงว่าอากาศในห้องอบลดลงมาถึงจุดที่ สามารถเพิ่มปริมาณการนำอากาศร้อนย้อนกลับได้อีกค่าหนึ่ง (เพิ่มอีกเล็กน้อย) เป็น 40% โดยความชื้นสมบูรณ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 0.0243 จึงกำหนดให้จุด F เป็นจุดเริ่มนำอากาศร้อนย้อนกลับ ได้อีกค่าหนึ่ง (เพิ่มอีกเล็กน้อย) เป็น 40% และสภาวะ(จุด F) ของอากาศผสมจะอยู่จุดที่ห่างจากจุด A เป็นระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทาง 40% ของจุด A ไปจุด F ได้จุด Q ที่เป่าผ่านอุปกรณ์ทำความร้อน(H คงที่ %RH ลดลง) ไปยังจุด H ที่มีค่าความชื้นสมบูรณ์(H) 0.0215 $kg_{water}/kg_{dry\ air}$ อุณหภูมิกระเปาะเปียกเพิ่มขึ้นเป็น 35 C จากนั้นการอบแห้งจะดำเนินไปในลักษณะเดิม คือความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะเพิ่มขึ้น เป็น 20.5% และลดลงมาถึง 18% ที่เวลาในการอบแห้งผ่านไป 2 ชั่วโมง 30 นาที ที่จุด I เพิ่มการนำอากาศย้อนกลับ 50% เราได้จุด J แสดงลักษณะของอากาศผสมที่อยู่ตรงกึ่งกลาง ของเส้นที่ลากจากจุด A และจุด I และอากาศผสมจะผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อนไปยังจุด K ที่มีความชื้นสมบูรณ์ และอุณหภูมิกระเปาะเปียก เพิ่มขึ้นเป็น 0.023 $kg_{water}/kg_{dry\ air}$ กับ 35.5 C ตามลำดับแล้วความชื้นในห้องอบจะเพิ่มขึ้น เป็นค่าสูงสุด 20% แล้วลดลงมา แต่ที่การนำลากาศย้อนกลับ 50% เป็นปริมาณค่อนข้างสูงจนอาจมีผลต่อผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงกำหนดจุดของการเพิ่มปริมาณนำอากาศย้อนกลับ จาก %RH ที่ 18% มาเป็นจุดที่ต่ำกว่า 18% หรืออาจยึดเอาจุดที่ ความชื้นของอากาศลดลงต่ำสุดและคงที่ที่จุดนั้น ซึ่งที่การนำอากาศย้อนกลับ 50% นี้หลังจากความชื้นขึ้นไปสูงสุดจะลดลงมาและคงที่ที่ %RH เป็น 16% ที่จุด Lที่เวลาการลบแห้งผ่านไป 3 ชั่วโมง เราจึงเพิ่มการนำอากาศย้อนกลับเป็น 60% ได้สภาวะของอากาศผสมที่จุด M ผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อน ไปยัง จุด N ที่มีความชื้นสมบูรณ์และ T_{wb} เพิ่มขึ้นเป็น 0.0242 $kg_{water}/kg_{dry\ air}$ กับ 36 c ตามลำดับ จากนั้นความชื้นของอากาศเพิ่มขึ้นและลดลง มาคงที่ที่ % RH เป็น 15.7 % ที่จุด O ซึ่งตอนนี้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงถึง หรือต่ำกว่าจุดที่เราต้องการแล้ว และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเองก็มีค่าค่อนข้างต่ำเราสามารถเพิ่มปริมาณการนำเอาอากาศย้อนกลับได้ถึง 100 % จนเสร็จสิ้นการอบแห้ง จากข้อมูลที่ผ่านมาสังเกตุได้ว่าที่การเพิ่มปริมาณลมย้อนกลับค่าต่าง ๆ ค่าความชื้นสมบูรณ์ของอากาศจะเพิ่มขึ้นเสมอ เพราะเป็นการนำอากาศร้อนที่มีความชื้นสูงกว่ากลับมาใช้งาน ทำให้ปริมาณน้ำในอากาศของอากาศผสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสุดท้ายของการอบแห้ง ส่วนความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น,ลดลงได้ไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของอากาศผสม (ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ค่าต่างๆ)

การศึกษาถึงการประหยัดพลังงานในการนำอากาศย้อนกลับ

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจนถึงความแตกต่างของการใช้พลังงงานในการให้ความร้อนแก่อากาศที่อุปกรณ์ให้ความร้อน เราแยกพิจารณาเป็น 2 กรณี ที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งเท่ากัน

- กรณีไม่มีการนำอากาศย้อนกลับ

จากไซโครเมตริกชาร์ท อากาศรับความร้อนจากอุปกรณ์ให้ความร้อนจากจุด A ไปยังจุด B ตั้งแต่

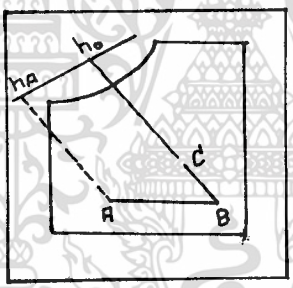
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นจนแสร็จสิ้นการอบแห้งเป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง (210 นาที) ความแตกต่างของเอนทาลปีระหว่างจุด A และจุด B คือ $h_{AB} = h_B - h_A$ เพราะฉะนั้นจะได้ 123-76.5 = 46.5 $kJ/kg_{dry\ air}$

เราแบ่งคิดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ให้ความร้อนทำความร้อนออกเป็นช่วงเวลาที่ตรงกับการคิดการนำอากาศย้อนกลับในปริมาณต่าง ๆ โดยในทุกช่วงเวลาใช้เอนทาลปีเท่ากัน คือ h_{AB} = 46.5 $kJ/kg_{dry\ air}$ เพราะฉะนั้นใช้พลังงานทั้งหมด

$$= \frac{46.5*10^3}{60*60} + \frac{46.5*10}{20*60} + \frac{46.5*10^3}{70*60} + \frac{46.5*10^3}{30*60} + \frac{46.5*10^3}{30*60} + \frac{46.5*10^3}{10*60}$$

= 191.90 $watts/kg_{dry\ air}$ ดังรูป



- กรณีมีการนำอากาศย้อนกลับที่สัดส่วนต่าง ๆ

จากไซโครเมตริกชาร์ทรูปข้างล่างนี้ อากาศจะรับความร้อนจากอุปกรณ์ให้ความร้อนแตกต่างกัน

- ช่วงก่อนนำอากาศย้อนกลับ (60 นาที)

$$h_{AB} = h_B - h_A = 123-76.5 = 46.5\ kJ/kg_{dry\ air}$$

- ช่วงปริมาณอากาศย้อนกลับ 20 % (20 นาที)

$$h_{DE} = h_D - h_E = 126.3-92 = 34.3\ kJ/kg_{dry\ air}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วงปริมาณอากาศร้อนกลับ 40 % (70 นาที)

$$h_{GH} = h_H - h_G = 129.3-101.5 = 27.8 \text{ kJ/kg}_{\text{dry air}}$$

- ช่วงปริมาณอากาศร้อนกลับ 50 % (30 นาที)

$$h_{JK} = h_K - h_J = 133-111 = 22 \text{ kJ/kg}_{\text{dry air}}$$

- ช่วงปริมาณอากาศร้อนกลับ 60 % (30 นาที)

$$h_{MN} = h_N - h_M = 163-126 = 10 \text{ kJ/kg}_{\text{dry air}}$$

- ช่วงปริมาณอากาศร้อนกลับ 80 % (10 นาที)

$$h_{PQ} = h_Q - h_P = 139.5-132 = 7 \text{ kJ/kg}_{\text{dry air}}$$

เพราะฉะนั้น ใช้พลังงานทั้งหมด

$$= \frac{46.5*10^3}{60*60} + \frac{34.3*10^3}{20*60} + \frac{27.8*10^3}{70*60} + \frac{22*10^3}{30*60} + \frac{10*10^3}{30*30} + \frac{7*10^3}{10*60}$$

$$= 77.56 \text{ watts/kg}_{\text{dry air}}$$

จะเห็นได้ว่าการนำอากาศร้อนหลังการอบแห้งที่มีความชื้นต่ำๆวนกลับมาใช้ลึกนั้น ทำให้ใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยลง คือลดจาก 191.90 $\text{watts/kg}_{\text{dry air}}$ เหลือเพียง 77.56 $\text{watts/kg}_{\text{dry air}}$

หรือใช้พลังงานลดเหลือแค่ประมาณ 40 % ของการใช้พลังงานในการลมแห้งของระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ และจากการทดลองนี้สรุปสภาวะของการหมุนเวียนอากาศร้อนที่เหมาะสมได้ดังนี้

วัสดุทดลอง : มันฝรั่งความชื้นเริ่มต้น 77 % น้ำหนัก 100 กรัม โดยการเฉือนเป็นวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm. หนา 0.5 cm. อบให้เหลือความชื้นสุดท้าย 10 % หรือต่ำกว่านี้

อุณหภูมิในการลม : 70 C

เวลาในการลม : 3.5 ชั่วโมง

ขั้นตอนการทดลอง

- ลมที่อุณหภูมิ 70 C ปล่อยอากาศออกหมด ช่วงเวลา 1 ชั่วโมง
- เริ่มหมุนเวียนอากาศร้อน 20 % ในช่วงเวลา 30 นาที ต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หมุนเวียนอากาศร้อน 40 % ในช่วงเวลา 70 นาทีถัดมา
- หมุนเวียนอากาศร้อน 50 % ในช่วงเวลา 30 นาทีถัดมา
- หมุนเวียนอากาศร้อน 60 % ในช่วงเวลา 30 นาทีถัดมา
- หมุนเวียนอากาศร้อน 80 % - 100 % ในช่วงเวลา 10 นาทีสุดท้าย
- เสร็จสิ้นการอบแห้งได้ผลิตภัณฑ์ลักษณะเหมือนกับการอบที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ไม่มีการหมุนเวียนอากาศร้อนทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การทดลองหาความชื้นภายในของมันฝรั่ง โดยลบมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 105 C เมื่อเวลาผ่านไปแต่ละชั่วโมง ค่าน้ำหนักของมันฝรั่งจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งชั่วโมงที่ 11-13 น้ำหนักของมันฝรั่งจะมีค่าคงที่ จึงสามารถหาค่าความชื้นภายในได้ เมื่อนำมาคำนวณจะมีค่าเฉลี่ย 77 % (มาตรฐานเปียก) ซึ่งสามารถใช้ค่านี้เป็นค่าความชื้นเริ่มต้นในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมันฝรั่ง

2. การทดลองหาความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้องอบและอัตราการไหลของลม โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบทดลวดร้อน(hot wire) ในการทดลองหาความเร็วลมในแต่ละจุดภายในห้องอบ ได้ความเร็วลมเฉลี่ย 0.64-0.65 m/s และอัตราไหลโดยปริมาตรของลมคือ 0.036 m^3/s

3. การทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งมันฝรั่ง จากการทดลองที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 60 , 70 และ 80 C เราสามารถเห็นความแตกต่างของลักษณะมันฝรั่งได้ว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 C ชิ้นมันฝรั่งจะมีลักษณะสีเหลืองอ่อน แห้งทั่วทั้งชิ้นซึ่งเป็นลักษณะที่ดีที่สุดแต่ที่อุณหภูมิ 70 C ใช้เวลาน้อยกว่า จึงเลือกอุณหภูมิ 70 C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งมันฝรั่ง(สำหรับการทดลองนี้)

4. การทดลองหาช่วงเวลาและความชื้นที่เหมาะสมในการหมุนเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ โดยอบมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 70 C จะเห็นได้ว่าในการนำเอาอากาศร้อนมาใช้ลึกนั้นจะสามารถนำกลับมาใช้ในปริมาณที่ไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา โดยเมื่อชั่วโมงแรกนั้นจะไม่นำอากาศร้อนกลับเพราะความชื้นของอากาศยังสูงอยู่ อีก 20 นาทีถัดมาจะนำอากาศร้อนกลับมา 20 % อีก 70 นาทีถัดมานำอากาศร้อนกลับมา 40 % เวลาอีก 30 นาทีต่อมาก็นำอากาศร้อนกลับมาใช้ 50% ลึก 30 นาทีต่อมาก็ทำการนำอากาศกลับมาใช้ 60 % ช่วงเวลา 10 นาทีสุดท้ายเราสามารถที่จะ นำอากาศร้อนกลับได้ 80-100 % เพราะมันฝรั่งในตอนสุดท้ายนี้มีความชื้นต่ำมากถ้าจะนำอากาศร้อนกลับมาทั้งหมดก็ไม่มีผลกับผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงงาน

1. มอเตอร์ที่ทำหน้าที่ในการเป่าลมผ่านห้องอบนั้น ไม่สามารถปรับรอบได้ จึงทำให้ใช้งานได้จำกัด คือจะใช้ได้เฉพาะกับวัสดุที่ใช้ความเร็วในการอบเท่ากับหรือใกล้เคียงกับมันฝรั่งเท่านั้น

2. น้ำหนักของวัสดุที่ใช้ในการทดลองน้อยเกินไป(100 กรัม) ทำให้มองเห็นผลการทดลองในเรื่องของความแตกต่างของปริมาณความชื้นของอากาศในแต่ละช่วงเวลาน้อยมาก จึงส่งผลถึงการหาช่วงเวลาที่จะทำการนำเอาอากาศร้อนกลับมาใช้นั้นแน่นไม่ชัดเจน

3. เทอร์โมสแตท มีช่วง Range ของอุณหภูมิกว้างเกินไป (± 5 c) จนบางครั้งทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะส่งผลให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีสีและความแห้งไม่สม่ำเสมอ

ข้อเสนอแนะ

1. มอเตอร์ที่ใช้ในการเป่าลมที่ใช้ในเครื่องอบนั้นควรปรับรอบได้หรือมีวงจรที่ จะนำมาใช้ในการปรับรอบได้ เพื่อให้สามารถใช้ได้กับวัสดุอย่างอื่น เพราะว่าเครื่องที่ทำการสร้างขึ้นเป็นเครื่องที่ใช้ศึกษาและออกแบบสามารถใช้ได้กับวัสดุหลายชนิด เมื่อต้องการที่จะศึกษาหาสภาวะของวัสดุอย่างอื่นก็จะสามารถปรับรอบมอเตอร์ให้ได้ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งของวัสดุชนิดนั้น ได้ตามต้องการ เพราะว่าความเร็วลมในการอบแห้งเป็นเงื่อนไขหนึ่งในการหาเวลาในการอบแห้ง

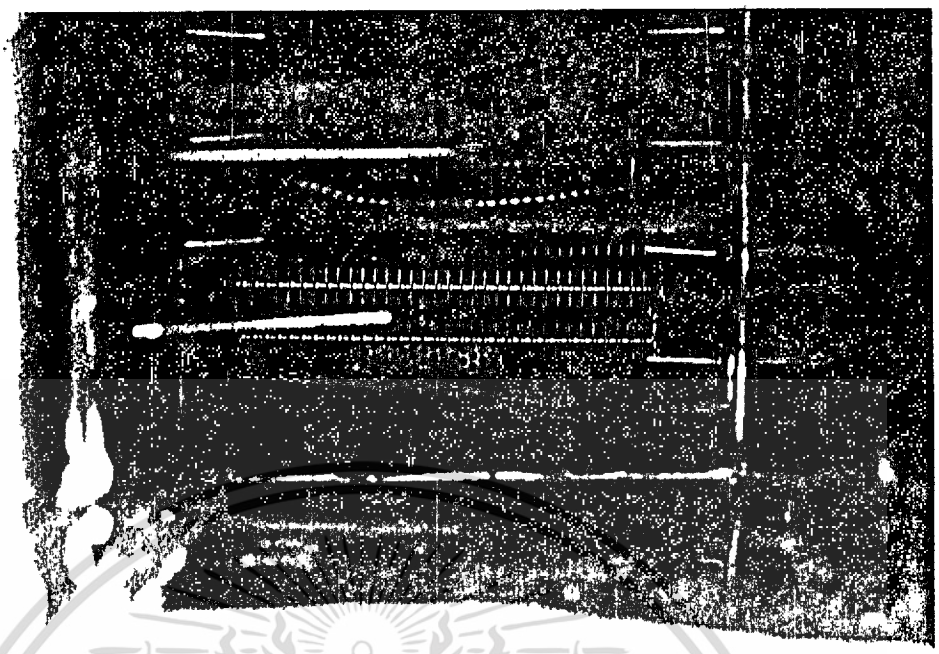
2. น้ำหนักวัสดุที่ใช้ในการทดลองควรเพิ่มขึ้นอีก โดยการเพิ่มจำนวณตะแกรงบรรจุวัสดุที่ทำการทดลอง เพราะน้ำหนักวัสดุทดลองน้อยเกินไปจะทำให้เห็นความแตกต่างของปริมาณความชื้นของอากาศในแต่ละช่วงเวลาน้อยมากทำให้หาช่วงเวลาที่จะนำอากาศร้อนกลับมาใช้นั้นยาก

3. เทอร์โมสแตท ควรมี Range ของอุณหภูมิแคบลง(± 1 c) เพื่อที่จะให้อุณหภูมิภายในห้องอบมีความแม่นยำและสม่ำเสมอ ซึ่งจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์หลังการอบ

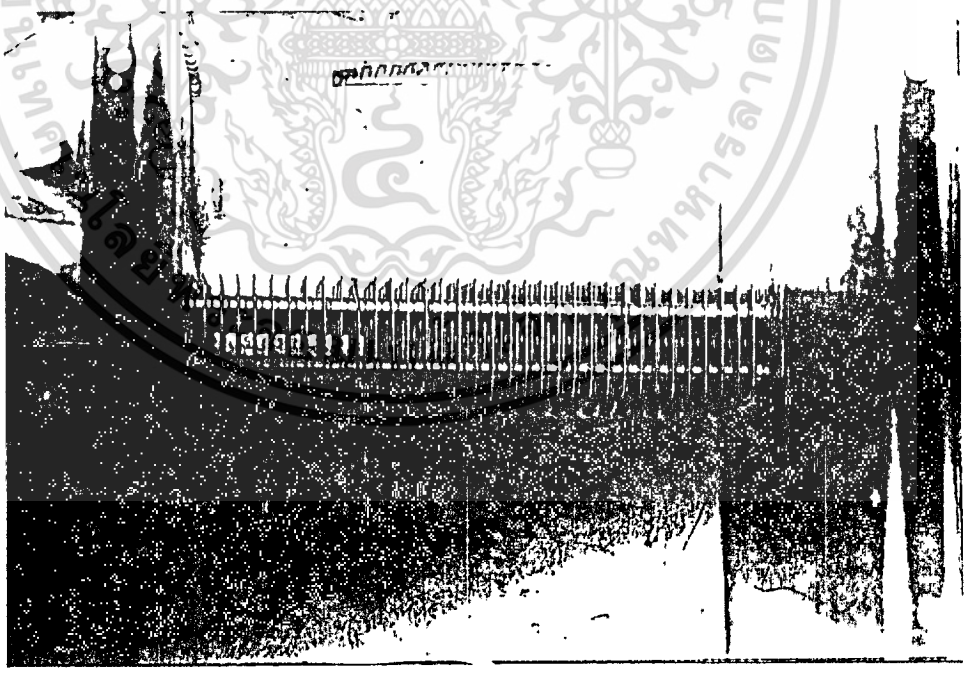
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

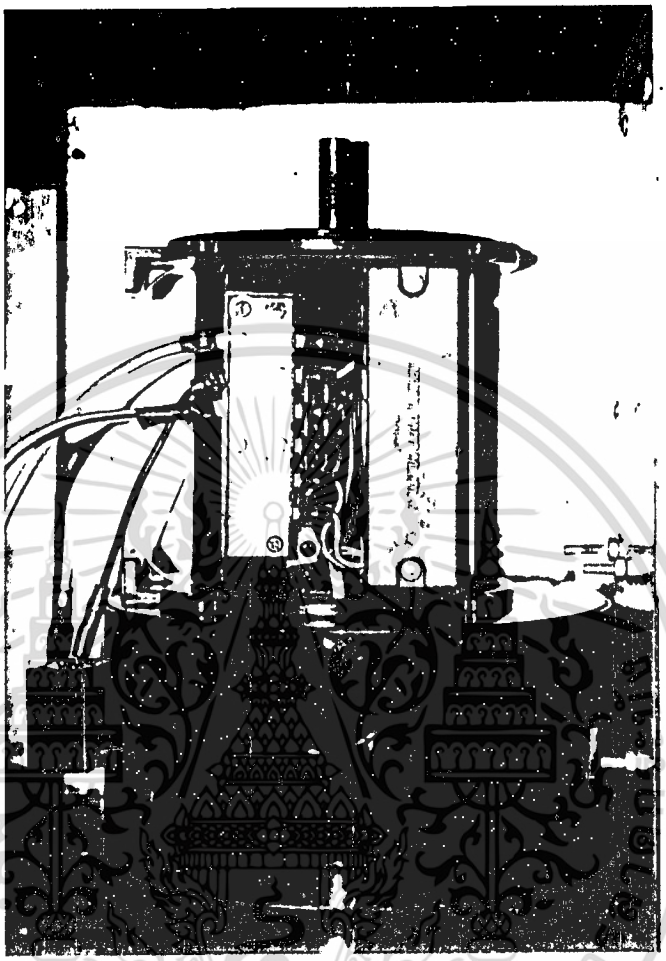


รูป ก ลักษณะภายในเครื่องอบแห้ง



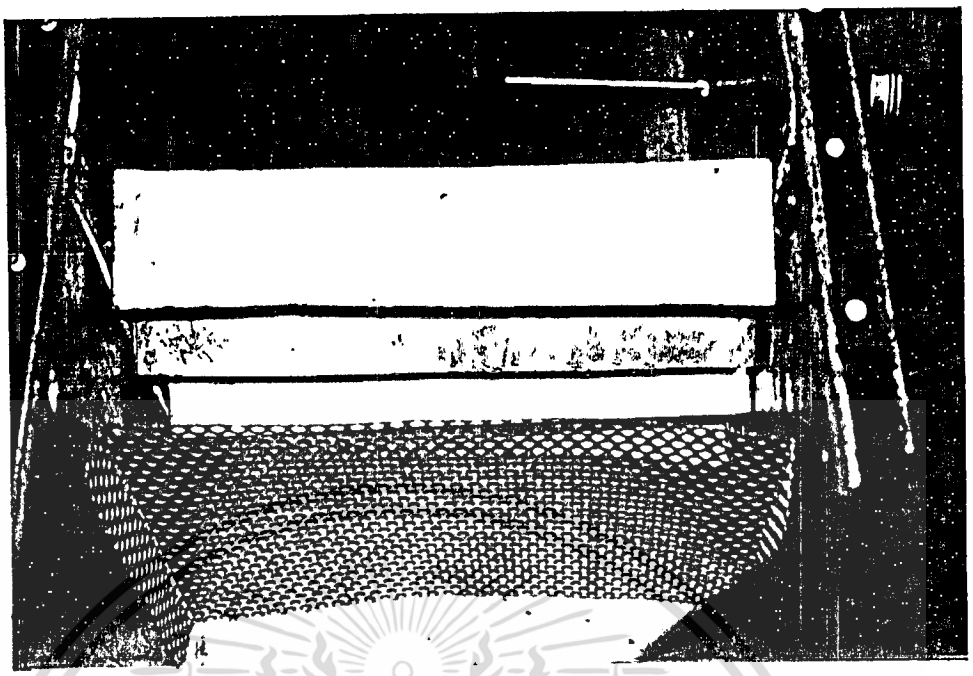
รูปที่ ข อุปกรณ์ทำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

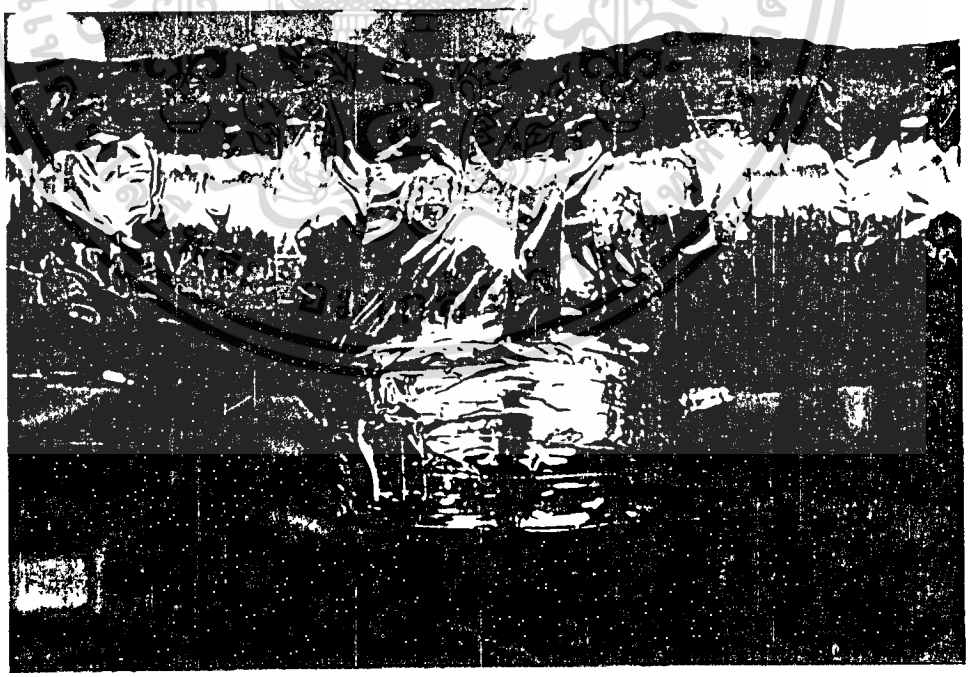


รูปที่ ค พัดลมดูดอากาศจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง ชุดอุปกรณ์ควบคุมและปรับทิศทางลม

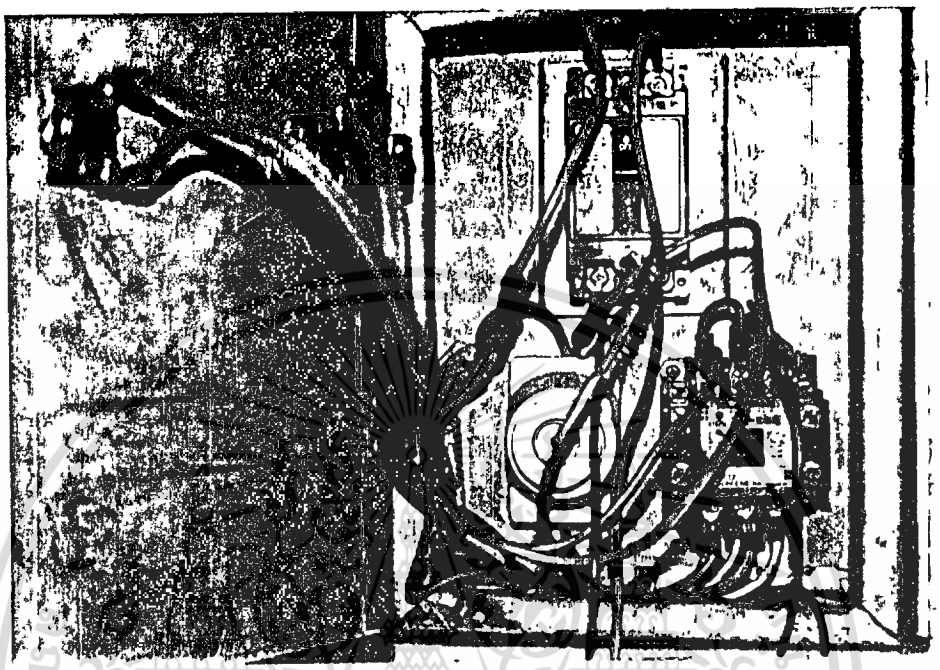


รูป จ ทางเข้าของอากาศจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ฉ ท่อหมุนเวียนอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

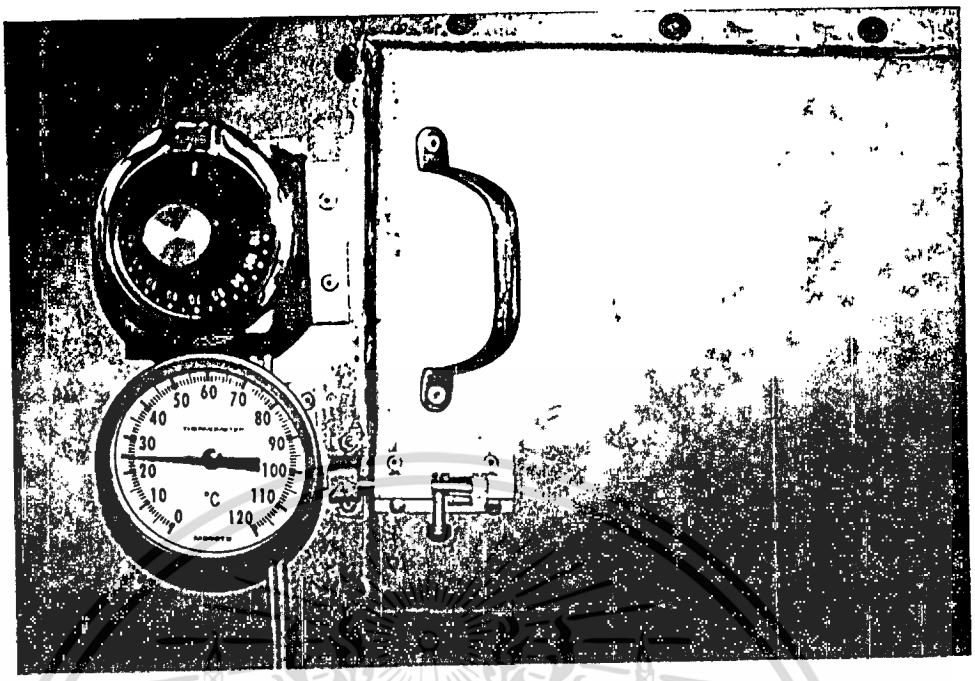


รูปที่ ช ชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องกล

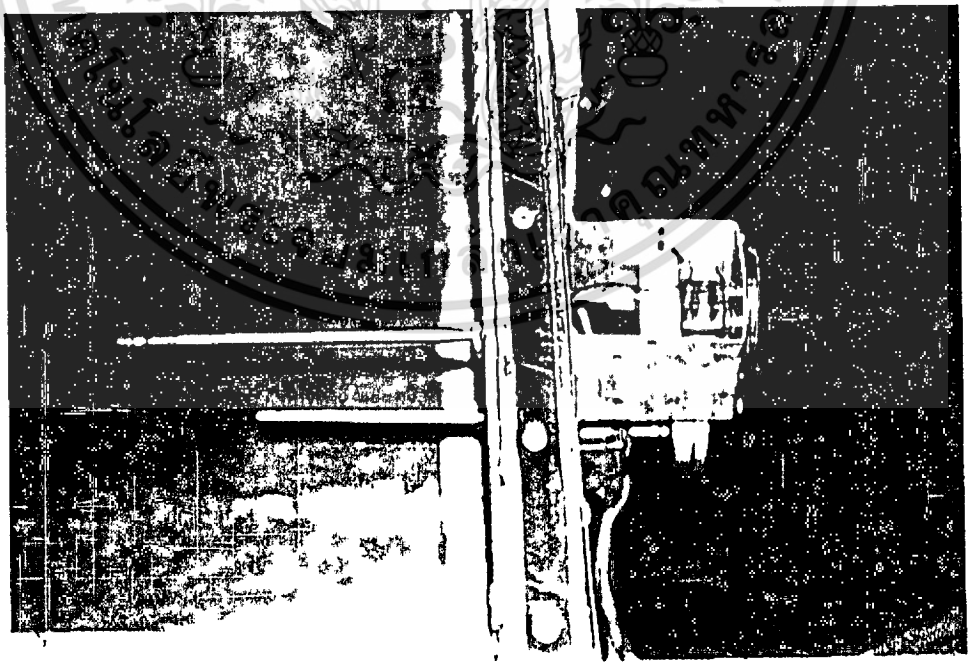
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ช แผ่นกั้นลมที่ปล่อยอากาศออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

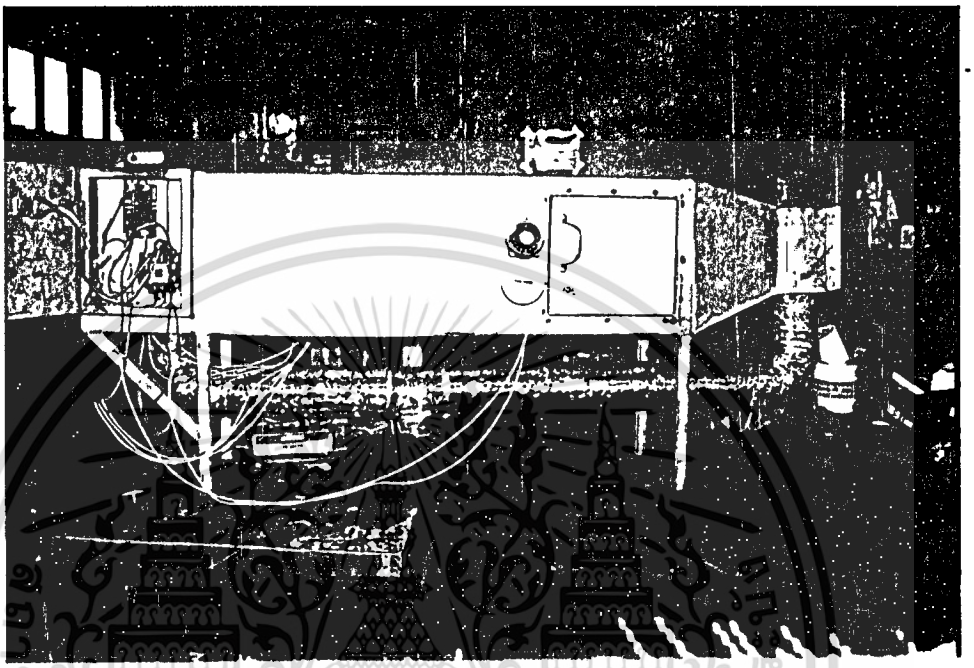


รูป ฌ ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและวัดอุณหภูมิที่ติดภายนอกเครื่อง



รูปที่ ญ ชุดอุปกรณ์ควบคุมและวัดอุณหภูมิที่ยื่นเข้าไปภายในเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฎ เครื่องอบแห้งแบบถาดที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จขึ้นมาได้ด้วยความอนุเคราะห์ของหลายๆท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทางผู้จัดทำขอขอบคุณ

อาจารย์พิชิต กิตตินนท์, อาจารย์สาทิป รัตนภาสกร, อาจารย์ภัทรชัย วิชัยยะ และอาจารย์วิภา เจียรไนวศิระ, ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือต่างๆ

พี่ตุ่ม พี่โต้ง พี่ไก่ และ พี่ออด ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการสร้างเครื่อง

พี่ติ๊ก พี่แฝด ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. คูณ คณะโจทย์, ไชยณรงค์ เศรษฐเฮ้ด และ ธีระพล ชุติมาพงษ์รัตน์, "เครื่องอบแห้งผลิตผลเกษตรแบบประหยัด", ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2531, 60 หน้า.

2. ชูติรัตน์ เหลืองดำรงกิจ, วิภา เจียระไนวิระ ,และวิรัช แสงสุริยฤทธิ์,"การออกแบบและศึกษาเครื่องอบแห้งผลิตผลเกษตรแบบถาด", ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2533, 57 หน้า.

3. นราทัน เหลืองดำรงกิจ, วิษณุ เลิศวิศาลศักดิ์ และ พิสมัย สุขพงษ์,"การอบแห้งพริกโดยเครื่องอบแห้งแบบชั้น", ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2532, 59 หน้า.

4. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต,"วิสวกรรมแปรรูปอาหาร :การถนอมอาหาร" โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์,พิมพ์ครั้งที่ 1, 2535, 284 หน้า.

5. สุรพล พฤกษพานิช,"การปรับอากาศ",ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์, 2529, 555 หน้า.

6.Donald B. Brooker,Fred W. Bakker-Arkema, and Carl W. Hall, " Drying Cereal Grains,256 P., 1975.

7. Hall C.W.,"DRYING FARM CROPS",LYALL BOOK DEPOT,43 p.,1970.

8. Heldman D.R., and Singh R.P., "Food Process Engineering",261-323 P.,1977.

9. Morgan, A.I. JR., Copley M.J. , and Van Arsdel W.B.,"FOOD DEHYDRATION , Drying Methods Phenomena" THE AVI PUBLISHING COMPANY,INC.1973.

10.Osborne W.C., " Fans ", PERGAMON PRESS Ltd.,228 P., 1977.

11.Van Arsdel W.B., Copley M., and Morgan A.,JR.,"Food Dehydration", 347 P., 1973.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้