

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาอุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบางเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ของการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว
(Development of Thin Layer Drying Apparatus for
Mathematical Modeling of Noodle Drying)



T097117

นางสาวลลิตา เอี่ยมสมบูรณ์	รหัส 46041106
นางสาวสาริณี สงครามชัย	รหัส 46041114
นางสาวสุวิมล แก้วนุช	รหัส 46041120

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

ฉ/พ.
๑/๑๕ ๗
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 97117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. 11๗๗๙.30๕
i.




ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง
การพัฒนาอุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบางเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ของการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว
(Development of Thin Layer Drying Apparatus for
Mathematical Modeling of Noodle Drying)

นางสาวลลิตา เอี่ยมสมบูรณ์ รหัส 46041106
นางสาวสาธิตี สงครามชัย รหัส 46041114
นางสาวสุวิมล แก้วนุช รหัส 46041120

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก


.....

21 / 03 / 50

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ดร.กิตติชัย บรรจง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์และคำแนะนำเป็นอย่างดีจาก ดร.กิตติชัย บรรจง ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้ข้อคิด แนะนำ และให้ความรู้ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ เพื่อนำมาปรับปรุงรวมทั้งได้ตรวจแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนด้านกำลังทรัพย์ ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือทุกๆ ด้านในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้



นางสาวลลิตา เอี่ยมสมบูรณ์

นางสาวลาธิณี สงครามชัย

นางสาวสุวิมล แก้วนุช

16 มีนาคม 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาวลลิตา เขี่ยมสมบูรณ์, นางสาวสาธิตี สงครามชัย และนางสาวสุวิมล แก้วนุช .2549 :
การพัฒนาอุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบางเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเส้น
ก๋วยเตี๋ยว (Development of Thin Layer Drying Apparatus for Mathematical Modeling of Noodle
Drying).สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.กิตติชัย บรรจง

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบางและใช้วิเคราะห์หา
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอัตราการอบแห้งของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยการทดลองแบ่ง
ออกเป็น 2 ส่วน คือ การหาความชื้นสมดุลและการหาอัตราการอบแห้ง การหาความชื้นสมดุล
ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 11-87 % และอุณหภูมิในช่วง 40-60 °C เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการ
ทดลองและผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Henderson (1952) , Chung & Pfof (1967)
และ Oswin (1946) พบว่า สมการรูปแบบของ Chung & Pfof ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองและ
สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ดีที่สุด ส่วนผลการทดลอง
การหาอัตราการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวสดซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นในช่วง 150-160 %db ด้วยอุปกรณ์
อบแห้งแบบชั้นบาง ที่ความเร็วลมร้อนคงที่ 0.8 m/s ในช่วงอุณหภูมิอบแห้งในช่วง 40-80 °C และ
ความชื้นสัมพัทธ์ 8-56 % พบว่าอัตราการอบแห้งชั้นบางของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดมีช่วงการอบแห้ง
แบ่งได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกคืออัตราส่วนความชื้น (MR) ระหว่าง 0.4 – 1 เป็นช่วงมีอัตราการอบแห้ง
คงที่ (constant rate) สมการที่ใช้อธิบายการอบแห้งในรูปความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้น
(MR) กับเวลา (t) คือ $MR = 1 - kt$ โดยที่อัตราอบแห้ง (k) ขึ้นกับ อุณหภูมิอบแห้ง (T) และ ความชื้น
สัมพัทธ์ (RH) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ $k = 1.43 \times 10^{-2} + 7.761 \times 10^{-6} T + 1.055 \times 10^{-4} RH + 2.393$
 $\times 10^{-6} (T \times RH)$ ส่วนช่วงที่ 2 ที่อัตราส่วนความชื้น (MR) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.4 เป็นช่วงมีอัตรา
การอบแห้งลดลง (falling rate) สมการที่ใช้อธิบายอัตราการอบแห้งคือ $MR = 0.4 e^{-kt}$
โดยค่า $k = -5.92 \times 10^{-2} + 3.480 \times 10^{-4} T + 1.935 \times 10^{-3} RH - 3.88 \times 10^{-5} (T \times RH)$

สาธิตี สงครามชัย

สุวิมล แก้วนุช

ลลิตา เขี่ยมสมบูรณ์

ลายมือชื่อนักศึกษา



(ดร.กิตติชัย บรรจง)

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

16 / มีนาคม / 2550

วัน / เดือน / ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
กัญเตี๋ย.....	3
ทฤษฎีการอบแห้ง.....	3
สมการอบแห้ง.....	5
ความชื้นของวัสดุ.....	8
การศึกษาเกี่ยวกับพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้ง.....	10
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	14
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	14
การทดลองหาความชื้นสมดุล.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการทดลอง (ต่อ)	
การทดลองหาน้ำหนักแห้งและความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยว.....	16
การตัดแปลงอุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบาง.....	16
การทดลองหาอัตราการอบแห้ง.....	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
ผลการทดลองหาความชื้นสมดุล.....	19
ผลการตัดแปลงอุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบาง.....	24
ผลการทดลองการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์.....	24
ผลการทดลองหาอัตราการอบแห้ง.....	27
ผลการทดสอบอัตราการอบแห้งเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลอง.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการทดลอง.....	47
ข้อเสนอแนะ.....	48
เอกสารอ้างอิง.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง Sorption isotherm ของเส้นก๋วยเตี๋ยวสด.....	19
--	----



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 3.1 การหาความชื้นสมดุล.....	15
ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบางก่อนตัดแปลง.....	17
ภาพที่ 3.3 เครื่องทำหมอก.....	17
ภาพที่ 4.1 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิ 40 °C.....	20
ภาพที่ 4.2 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิ 45 °C.....	21
ภาพที่ 4.3 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิ 50 °C.....	21
ภาพที่ 4.4 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิ 55 °C.....	22
ภาพที่ 4.5 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิ 60 °C.....	22
ภาพที่ 4.6 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยคำนวณจากรูปแบบสมการ Chung & Pfof.....	23
ภาพที่ 4.7 อุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบางหลังตัดแปลง.....	24
ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 40 °C.....	25
ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 50 °C.....	25
ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 60 °C.....	26
ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 70 °C.....	26
ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 80 °C.....	27
ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 40 °C.....	28
ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 50 °C.....	28
ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 60 °C.....	29
ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 70 °C.....	29
ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C.....	30
ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ 55.64 %.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ 38.71 %.....	33
ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ 32.02 %.....	34
ภาพที่ 4.21 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 50°C ความชื้นสัมพัทธ์ 35.77 %.....	35
ภาพที่ 4.22 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 50°C ความชื้นสัมพัทธ์ 25.96 %.....	36
ภาพที่ 4.23 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 50°C ความชื้นสัมพัทธ์ 19.71 %.....	37
ภาพที่ 4.24 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 60°C ความชื้นสัมพัทธ์ 28.69 %.....	38
ภาพที่ 4.25 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 60°C ความชื้นสัมพัทธ์ 20.28 %.....	39
ภาพที่ 4.26 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 60°C ความชื้นสัมพัทธ์ 15.00 %.....	40
ภาพที่ 4.27 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 70°C ความชื้นสัมพัทธ์ 20.02 %.....	41
ภาพที่ 4.28 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 70°C ความชื้นสัมพัทธ์ 17.17 %.....	42
ภาพที่ 4.29 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 70°C ความชื้นสัมพัทธ์ 11.79 %.....	43
ภาพที่ 4.30 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80°C ความชื้นสัมพัทธ์ 15.52 %.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.31 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80°C ความชื้นสัมพัทธ์ 12.48 %.....	45
ภาพที่ 4.32 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80°C ความชื้นสัมพัทธ์ 8.24 %.....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจำนวนมาก ผลิตภัณฑ์เหล่านี้หากมีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียได้ง่าย จึงต้องนำไปอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นออกก่อน ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นาน วิธีการอบแห้งที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบธรรมดา เช่น การตากกลางแจ้ง วิธีนี้มีข้อเสียคือ ผลิตภัณฑ์อาจเกิดความเสียหายจากลม ฝน หรืออุทกภัยจากแมลง นก และหนู เป็นต้น ซึ่งจะทำให้เกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ได้ จึงมีการใช้พลังงานในรูปแบบอื่นๆมาช่วยในการอบแห้ง พร้อมทั้งใช้เครื่องอบแห้งซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) แบบอุโมงค์ (tunnel dryer) แบบถึงหมุน (rotary dryer) เป็นต้น สำหรับการเลือกวิธีการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ความจุ และตัวแปรการอบแห้งอื่นๆ

ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ ได้เลือกเส้นก๋วยเตี๋ยวมาเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิดและผู้บริโภคนิยมบริโภค แต่เส้นก๋วยเตี๋ยวมีปริมาณความชื้นอยู่สูงทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาได้นาน จึงต้องนำไปอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นออกก่อนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ในการทดลองนี้ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์การอบแห้งแบบชั้นบาง เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอัตราการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวในครั้งต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาอุปกรณ์การทดสอบหาอัตราการทำแห้งแบบชั้นบางแบบง่ายและราคาถูก
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์การทดสอบหาอัตราการทำแห้งแบบชั้นบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3.2 ทราบถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว
- 1.3.3 สามารถใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบการอบแห้งในอนาคตต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากปลายข้าวเจ้าหรือใช้แป้งข้าวเจ้าโดยอาจมีแป้งชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ ซึ่งถูกทำให้เป็นแผ่นบาง หนึ่งให้สุกแล้วตัดเป็นเส้น (มอก., 2532) คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวจะสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสในสตาร์ช (starch) ข้าวเจ้า พบว่าปริมาณอะไมโลสที่เหมาะสมในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวนั้นคือร้อยละ 27-33 (นันทยา จะเรียมพันธ์, 2530)

2.1.1 การแบ่งชนิดของก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยวที่นิยมผลิตกันโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามปริมาณความชื้นภายในเส้นก๋วยเตี๋ยว คือ

2.1.1.1 ก๋วยเตี๋ยวลด

ก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวม้วนเป็นเส้น โดยไม่ผ่านขั้นตอนการทำให้แห้ง ซึ่งอาจเป็นเส้นเล็กหรือเส้นใหญ่ก็ได้ ก๋วยเตี๋ยวนี้นี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 62-64 เป็นผลิตภัณฑ์ที่เก็บได้ไม่นานต้องบริโภคภายใน 1-2 วัน

2.1.1.2 ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กกึ่งแห้ง

ก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการผึ่งลมหรืออบลดความชื้นมาบ้างแล้ว เพื่อลดความชื้นลงก่อนตัดเป็นเส้น ก๋วยเตี๋ยวนี้นี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 37 โดยปกติจะเก็บได้ 2-3 วันเท่านั้น

2.1.1.3 ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง

ก๋วยเตี๋ยวที่มีการตัดเป็นเส้นและทำให้แห้งด้วยการอบ ก๋วยเตี๋ยวนี้นี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 13 หรือต่ำกว่า เป็นผลิตภัณฑ์ที่เก็บได้นาน

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้นในวัสดุ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย กระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นพร้อมๆกับการถ่ายเทมวล โดยทั่วไปสำหรับการอบแห้งที่สภาวะของตัวกลางคงที่ (อุณหภูมิต่ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้น และความเร็วตัวกลางคงที่) อัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้นจะลดลง เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุแทนที่ปริมาณน้ำที่ถูกระเหยออกไปจากผิววัสดุในช่วงการอบแห้งคงที่ ดังนั้นอัตราการอบแห้งในช่วงหลังจึงลดลง ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น ประโยชน์ของการอบแห้งอาจสรุปได้ตามลำดับความสำคัญดังต่อไปนี้

1. เพื่อการถนอมรักษาอาหาร อาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อย
2. เพื่อลดปริมาตรและน้ำหนัก อาหารที่แห้งแล้วจะมีปริมาตรและน้ำหนักลดลงทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่ง
3. เพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตนั้นๆ

2.2.1 พื้นฐานการอบแห้ง

ในการอบแห้งวัสดุทั่วไปนั้นมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ ในขณะที่ตัวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุมายังกระแสอากาศ ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่มาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมากแล้ว อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นจะลดลง ซึ่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่าเรียกว่า ความชื้นวิกฤต วัสดุการเกษตรส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน ซึ่งสามารถแบ่งการอบแห้งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกในขณะที่ยังมีความชื้นสูงอยู่ การอบแห้งมักเป็นแบบอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อวัสดุมีความชื้นลดต่ำลงจนถึงความชื้นวิกฤต น้ำจากภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของของเหลวหรือไอน้ำแล้วจึงระเหยและเคลื่อนที่ไปยังกระแสอากาศ (สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ, 2540)

ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

ที่ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุและอากาศเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ คือ เกิดขึ้นเฉพาะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบ ๆ ผิววัสดุเท่านั้น ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง คือ อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและมวลมิได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น แต่เกิดภายในเนื้อของวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ในขณะที่อุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.3 สมการอบแห้ง

สมการอบแห้ง คือ สมการที่อาจเขียนขึ้นโดยใช้ทฤษฎีหรือผลการทดลองหรือทั้งสองอย่างประกอบกัน เพื่อนำมาใช้ทำนายอัตราการอบแห้งตลอดจนถึงผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์นั้นๆ สามารถแบ่งได้เป็น สมการอบแห้งทางทฤษฎี สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี และสมการอบแห้งเอมไพริคัล (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540 และ ศิวะ อัจฉริยวิริยะ, 2531)

2.3.1 สมการอบแห้งทางทฤษฎี (theoretical drying equation)

ได้มีผู้นำหลักการทางทฤษฎีหลายทฤษฎีมาอธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง Luikov, 1966 ได้เสนอกลไกการเคลื่อนที่ภายในวัสดุซึ่งอาจเกิดขึ้นในแบบต่างๆดังต่อไปนี้

- 1) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลว เนื่องจาก Capillary flow ซึ่งผลเนื่องมาจากแรงดึงผิว (Surface force)
- 2) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลว เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Lipid diffusion)
- 3) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลว เนื่องจากการแพร่ของความชื้นบนรูพรุนเล็กๆ (Surface diffusion)
- 4) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอ เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor diffusion)
- 5) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal diffusion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวและไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม (Hydrodynamic flow)

จากกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุดังกล่าว Luikov , 1966 ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นทางวัสดุ อุณหภูมิของวัสดุ และความดันรวม เนื่องจากแบบจำลองของ Luikov , 1966 มีความยุ่งยากมาก เพราะมีตัวแปรและค่าพารามิเตอร์หลายตัว ดังนั้นจึงยังไม่มีการนำแบบจำลองนี้ไปใช้

เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่า การเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุโดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของของเหลวที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น อาจเขียนในรูปสมการ

$$MR = (M_t - M_{eq}) / (M_{in} - M_{eq}) \quad (2.1)$$

เมื่อ

M_t คือความชื้นที่เวลาใดๆ, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{in} คือความชื้นเริ่มต้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{eq} คือความชื้นสมดุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

2.3.2 สมการออบแห้งกึ่งทฤษฎี (semi-theoretical drying equation)

สมการสร้างแบบจำลองการอบแห้งง่ายๆ โดยการสมมติว่าอัตราการอบแห้งภายใต้สภาวะคงที่แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความชื้นของวัสดุและความชื้นสมดุล ข้อสมมติฐานดังกล่าวคล้ายกับกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) เมื่อเขียนในรูปสมการออบแห้งจะได้ดังนี้

$$dM / dt = -k(M - M_{eq}) \quad (2.2)$$

เมื่อ

k คือค่าคงที่ของการอบแห้ง

$$\text{สภาวะเริ่มต้น } M(0) = M_{in} \quad (2.3)$$

$$\text{สภาวะขอบเขต } M(t) = M_{eq} \quad (2.4)$$

คำตอบของสมการ (2.2) คือ

$$MR = \exp(-kt) \quad (2.5)$$

เราเรียกสมการ (2.5) ว่าสมการออบแห้ง และ k คือ ค่าคงที่ของการอบแห้ง มีหน่วยเป็น h^{-1}

Westerman et al. (1973) เสนอค่า k ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงอุณหภูมิ 38-71 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 10-70 % ดังนี้

$$\ln k = (13.328 - 1.15RH - 8255.9) / (1.8T + 491.67) \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

T คือ อุณหภูมิ (°C)

Chen และ Johnson (1969) ได้เสนอสมการทางจลศาสตร์ขึ้นโดยมีพื้นฐานอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ความต้านทานการแพร่อยู่ที่ผิวของเมล็ด และได้สมการเป็น

$$dM/dt = -k(M - M_{eq})^n \quad (2.7)$$

โดย k และ n เป็นค่าคงที่ซึ่งได้จากการทดลอง

เมื่ออัตราการอบแห้งคงที่ จะได้อ่าน n เป็น 0

$$dM/dt = -k \quad (2.8)$$

เมื่ออัตราการอบแห้งลดลงในช่วงแรก (First phase of falling rate period) ค่าของ n เป็น 1

$$dM/dt = -k(M - M_{eq}) \quad (2.9)$$

เมื่ออัตราการอบแห้งในช่วงหลัง (Second phase of falling rate period) จะได้อ่าน n เป็นเศษส่วนอยู่ระหว่าง 0 กับ 1

$$dM/dt = -k(M - M_{eq})^n, 0 < n < 1 \quad (2.10)$$

2.3.3 สมการเอมไพริคัล (Empirical drying equation)

สมการอบแห้งเอมไพริคัล คือ สมการที่สร้างจากข้อมูลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิ ช่วงความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วของอากาศอบแห้งหนึ่งๆ พบว่าสามารถใช้ทำนายอัตราการอบแห้งได้ดี แต่มีข้อจำกัดในเรื่องเงื่อนไขการอบแห้งที่ต้องตรงกับสภาวะการทดลอง ตัวอย่างของสมการอบแห้งเอมไพริคัลมีดังนี้

Sabbah, 1968 สร้างสมการอบแห้งจากผลการทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวโพดในช่วงอุณหภูมิ 36 - 70 °F โดยมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$MR = \exp(-kt^{0.664}) \quad (2.11)$$

เมื่อ

$$k = \exp(-kt^y)$$

$$x = (6.0142 + 1.453 \times 10^{-4})^{0.5} - T(3.353 \times 10^{-4} + 3 \times 10^{-8} RH^3)^{0.5}$$

$$y = 0.1245 - 2.197 \times 10^{-3} RH + 2.3 \times 10^{-5} RH \times T - 5.8 \times 10^{-5} T$$

เมื่อ

RH คือความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, เศษส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T คืออุณหภูมิของอากาศ, °F
t คือเวลาอบแห้ง, hr

Thompson (1968) ได้เสนอสมการอบแห้งสำหรับช่วงอุณหภูมิ 140-300 °F ดังนี้

$$t = A \ln(MR) + B \ln(MR)^2 \quad (2.12)$$

เมื่อ

$$A = 1.86178 + 0.00488T$$

$$B = 427.3640 \exp(-0.03301T)$$

อรุณี ผุดผ่อง, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี เตีย, 2533 ได้ใช้รูปแบบสมการเอ็มไพริคัลที่รู้จักกันดีคือสมการของ page, 1949 ซึ่งเขียนได้ว่า

$$MR = \exp(-Pt^q) \quad (2.13)$$

เมื่อ P และ q คือค่าคงที่และมักมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งอาจเขียนได้ว่า

$$P \text{ หรือ } q = a_0 + a_1T + a_2M + a_3TM \quad (2.14)$$

เมื่อ $a_0 - a_3$ คือค่าคงที่

T คืออุณหภูมิ, °C

M คือความชื้น, % มาตรฐานแห้ง

โดยใช้รูปแบบสมการ (10) ในการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาค่า P และ q สำหรับอุณหภูมิอบแห้งคงที่ค่าหนึ่ง จากนั้นจึงนำค่า P และ q มาหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นตามรูปแบบสมการ (2.14)

2.4. ความชื้นของวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกรปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลวัสดุชิ้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

2.4.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis)

$$M_w = (w - d) / w \quad (2.15)$$

เมื่อ

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, เศษส่วน

w คือ มวลของวัสดุ, g

d คือ มวลของวัสดุแห้ง(ไม่มีความชื้น), g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในวงการค้า โดยทั่วไปจะอ้างถึงในรูปของเปอร์เซ็นต์ ($100 M_w$)

2.4.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis)

$$M_d = (w - d) / d \quad (2.16)$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยทำให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง

2.4.3 วิธีการหาความชื้น

การหาความชื้นที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ

2.4.3.1 การวัดค่าความชื้นโดยตรงตามมาตรฐานของ AOAC (Association of Official Agricultural)

ซึ่งมีวิธีการคือ ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ นำไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ อีกครึ่งชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก ทำแบบนี้ต่อไปเรื่อยๆจนกว่าน้ำหนักวัตถุดิบจะคงที่ โดยน้ำหนักของวัตถุดิบที่ผ่านการอบที่อุณหภูมินี้แล้วถือว่าเป็นน้ำหนักแห้ง จากนั้นก็สามารถนำคำนวณหาความชื้นได้ดังสมการ

$$M_w = (w - d) / w$$

หรือ

$$M_d = (w - d) / d$$

2.4.3.2 การวัดความชื้นโดยอ้อม(ใช้เครื่องวัดความชื้น)

มีอยู่หลายแบบ โดยใช้หลักการต่างกัน เช่น ใช้หลักการวัดการสะท้อนคลื่นอินฟราเรด หรือใช้หลักการวัด Capacitance หรือใช้หลักการวัดความต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น การวัดความชื้นด้วยวิธีนี้สามารถวัดได้รวดเร็ว แต่จะต้องมีการสอบเทียบกับวิธีมาตรฐานและมีข้อเสียคือ ความชื้นที่หาได้อาจไม่ถูกต้องมากนัก นอกจากนี้คุณสมบัติเหล่านี้ยังแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิและความหนาแน่นของการบรรจุได้ด้วย แม้ว่าการวัดความชื้นโดยวิธีอ้อมนี้จะมีความคลาดเคลื่อนบ้าง แต่ก็เป็นที่ยอมรับกันในวงการทั่วไป เนื่องจากทำได้รวดเร็วไม่ต้องรอเป็นเวลาหลายชั่วโมงหรือเป็นวัน ดังเช่นวิธีแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การศึกษาเกี่ยวกับพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้ง

การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมีวิธีการหาพารามิเตอร์ที่คล้ายคลึงกัน ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้สมการในการวิเคราะห์ที่ให้ผลถูกต้องมากที่สุด

2.5.1 ความชื้นสมดุลของวัสดุ

ความชื้นสมดุลของวัสดุมีความสำคัญต่อกระบวนการอบแห้ง เพราะเมื่อทำการอบแห้งวัสดุโดยใช้สภาวะการอบแห้งที่คงที่ (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่) ความชื้นของวัสดุจะลดลงต่ำลงจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง และในขณะนั้นความชื้นของวัสดุมีความดันไอเท่ากับความดันไอของตัวกลางของไหลร้อนที่อยู่รอบ ๆ อุณหภูมิของวัสดุเท่ากับอุณหภูมิของไหลร้อน เราเรียกความชื้นในขณะนั้นว่าความชื้นสมดุล ซึ่งค่าความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และ Water Activity ในวัสดุ โดย Water Activity มีค่าเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ของตัวกลาง เมื่อวัสดุและตัวกลางอยู่ในภาวะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ และสมมติด้วยว่าไอน้ำเป็นก๊าซอุดมคติ

ได้มีผู้สนใจทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความชื้นสมดุลของวัสดุต่าง ๆ ไว้หลายท่าน โดยสมการเหล่านี้มักจะอยู่ในรูปของสมการกึ่งทฤษฎีและสมการเอมไพริคัลที่สร้างจากผลการทดลอง เนื่องจากจะให้ค่าที่ถูกต้องมากกว่าสมการทางทฤษฎีซึ่งไม่สามารถทำนายได้ตลอดทั้งกระบวนการอบแห้ง โดยสมการกึ่งทฤษฎี ที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป ได้กล่าวไว้ในรายงานของ ASAE Standard 1999 ดังนี้

Henderson equation

$$1 - RH = \exp[-AT_{abs}(M_{c,q})^B] \quad (2.17)$$

Chung and Pfof equation

$$\ln(RH) = (-A / RT_{abs}) \exp(-BM_{c,q}) \quad (2.18)$$

Halsay equation

$$RH = \exp[(-A / RT_{abs}) M_{c,q}^B] \quad (2.19)$$

Oswin equation

$$M_{c,q} = A[RH / (1 - RH)]^B \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BET equation

$$RH/[(1-RH) M_{cq}] = 1/(M_m C) + (C - 1)RH/(M_m C) \quad (2.21)$$

เมื่อ	M_m	คือ ความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้น โมเลกุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
	M_{cq}	คือ ความชื้นสมดุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
	T_{abs}	คือ อุณหภูมิของวัสดุ, K
	RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ, เศษส่วน
	R	คือ ค่าคงที่สากลของก๊าซ, kJ/ mole K
	A, B	คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ

2.5.1.1 การหาความชื้นสมดุล

การหาความชื้นสมดุลของวัสดุมีอยู่หลายวิธี ข้อมูลที่มีอยู่แล้วส่วนใหญ่ได้มาจากการทำให้เกิดความสมดุลระหว่างความดันไอและอุณหภูมิของวัสดุและของอากาศแวดล้อม โดยการปล่อยให้วัสดุนั้นสัมผัสกับอากาศแวดล้อมที่สภาวะคงที่เป็นระยะเวลาานพอ ถ้าอากาศไม่มีการเคลื่อนไหว เรียกว่าวิธีเชิงสถิตี ถ้ามีการไหลของอากาศแวดล้อม เรียกว่าวิธีเชิงจลน์ วิธีหลังมีข้อดีคือวัสดุและอากาศแวดล้อมจะเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าวิธีแรก ทำให้เหมาะกับวัสดุที่มีความชื้นสูง

ในการทดลอง เราจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมให้คงที่ การควบคุมอุณหภูมิทำได้โดยใช้ตู้อบไฟฟ้าที่มีเทอร์โมสแตทเป็นตัวควบคุมการทำงานของขดลวดไฟฟ้า ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมอาจควบคุมได้ โดยการใช้กรดที่ความเข้มข้นต่างๆกัน หรือสารละลายอิมิตัวของเกลือลงในขวดแก้วขนาดเล็ก แล้ววางวัสดุบนตะแกรงซึ่งแขวนไว้เหนือกรดหรือสารละลายเกลืออิมิตัว ปิดฝาขวดให้แน่น เพื่อป้องกันการถ่ายเทมวลระหว่างอากาศภายในขวดและภายนอกขวด จากนั้นจึงนำไปใส่ไว้ในตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ

การหาความชื้นสมดุลของอาหารทำในระบบปิด ซึ่งควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่จะควบคุมโดยการใช้ตู้อบความร้อนส่วนการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ เราอาจใช้อุปกรณ์เครื่องมือกลควบคุมได้ แต่ไม่นิยมเพราะยุ่งยากและมีราคาแพง ดังนั้นจึงนิยมควบคุมโดยใช้สารเคมีแทน การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้สารเคมีนิยมใช้สารละลายเกลืออิมิตัวมากกว่า เพราะว่กักคร่อนน้อยและราคาถูกกว่า ส่วนสารละลายกรดนั้นกักคร่อนโลหะง่ายจึงไม่ค่อยนิยมใช้

สารละลายเกลืออิมิตัวที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป การที่สารละลายเกลืออิมิตัวพยายามรักษาความ

คันไอนหรือความชื้นสัมพัทธ์ไม่ให้เปลี่ยนแปลงนั้นขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ ความเข้มข้น และ อุณหภูมิ สารละลายเกลืออัมโมเนียมใช้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ได้แก่ ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) แมกนีเซียมไนเตรท ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และ โพตัสเซียมไนเตรท (KNO_3)

ในการทดลอง วิธีเชิงสถิติเป็นวิธีที่เราสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศได้ง่าย โดยการใช้อุณหภูมิเฉพาะของสารละลายเกลืออัมโมเนียมหรือกรด ส่วนวิธีเชิงกลนี้มีข้อดีคือวัสดุและ อากาศแวดล้อมจะเข้าสู่สมดุลของความดันไอน้ำได้เร็วกว่า แต่ก็มีข้อเสียคือควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ อากาศได้ยาก อุปกรณ์การควบคุมก็มีความยุ่งยากและราคาสูงกว่า ดังนั้นเราจึงนิยามหาความชื้น สมดุลโดยวิธีเชิงสถิติเป็นส่วนใหญ่ ในการหาความชื้นสมดุลโดยวิธีเชิงสถิตินี้มีผู้ทดลองมาแล้ว หลายคน เช่น

Nip (1978) ได้ทดลองหาความชื้นสมดุลของมะละกอผสมเปลือกฝง โดยควบคุมความชื้น สัมพัทธ์อากาศในช่วง 17-75 % โดยใช้สารละลายเกลืออัมโมเนียมเป็นสารควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ อากาศและควบคุมอุณหภูมิที่ $22^\circ C$ การทดลองได้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างมะละกอดอกต่อเปลือกฝงเป็น 3 ต่อ 2

กลุ่มที่ 2 อัตราส่วนผสมระหว่างมะละกอดอกต่อเปลือกฝงเป็น 1 ต่อ 2

จากการทดลองได้ใช้แบบจำลองของ Halsey (1948) มา Fit curve จะได้รูปแบบของสมการ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างมะละกอดอกต่อเปลือกฝงเป็น 3 ต่อ 2 รูปแบบสมการคือ

$$RH = \exp(-35.3323 B / M_{eq}^{1.4797}) \quad (2.22)$$

กลุ่มที่ 2 อัตราส่วนผสมระหว่างมะละกอดอกต่อเปลือกฝงเป็น 1 ต่อ 2 รูปแบบสมการคือ

$$RH = \exp(-34.9202 B / M_{eq}^{1.640}) \quad (2.23)$$

เมื่อ

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ, เศษส่วน

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, %มาตรฐานแห้ง

มานิต สุขจินดาเสถียร และคณะ (2537) ศึกษาและสร้างสมการความชื้นสมดุลของ ต้นหอมสับ ซึ่งใช้เป็นส่วนผสมของบะหมี่อบแห้ง พบว่าสมการในรูปแบบของ Modified Halsey ซึ่งมีพารามิเตอร์ 3 ตัว สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสมดุลตามอุณหภูมิและ ความชื้นสัมพัทธ์ได้ดีกว่าสมการในรูปแบบของ Henderson (1952) และ Chung and Pfof (1967)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อารีย์ อัจฉริยวิริยะ และสมชาย โสภณธรฤทธิ์ (2547) มีวัตถุประสงค์ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งลำไยทั้งลูกและลำไยเฉพาะเนื้อ แบบจำลองความชื้นสมดุลของลำไยเฉพาะเนื้อซึ่งถูกพัฒนามาจากข้อมูลการทดลอง พบว่าแบบจำลองของ Oswin (1946) สามารถทำนายความชื้นสมดุลได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

2.5.2 อัตราการอบแห้ง

Westerman et al.(1973) ศึกษาอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ มีผลต่ออัตราการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดชั้นบาง (ชั้นบางในที่นี้หมายถึง ความหนาเท่ากับเมล็ดหนึ่งเมล็ด ซึ่งก็เหมือนกับวัสดุหนึ่งชิ้นนั่นเอง เพราะกระแสน้ำอากาศมีโอกาสสัมผัสกับเมล็ดทุกๆเมล็ดในชั้นบางนั้น) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ลดลง อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์จะเห็นอย่างเด่นชัด เมื่ออุณหภูมิต่ำมีค่าสูงชันมากโดยการใช้รูปแบบสมการ $MR = \exp(-kt)$ พิจารณาเข้ากับผลการทดลองการอบแห้งข้าวโพดชั้นบาง Westerman et al.(1973) เสนอค่า k ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังนี้

$$\ln k = 13.328 - 1.15RH - 8255.9 / (1.8T + 491.67) \quad (2.24)$$

สมชาติ โสภณธรฤทธิ์ และวิไลพร นพรัตน์ไกรลาส (2530) เสนอสมการการอบแห้งชั้นบางสำหรับเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ กข (ไม่ทราบตัวเลขที่แน่นอน) ซึ่งเป็นข้าวเปลือกเมล็ดยาว โดยใช้รูปแบบสมการ $MR = a \exp(-bt)$ ได้ค่า a และ b ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ดังนี้

$$a = 1.136 - 6.78 \times 10^{-3}T - 0.083RH$$

$$b = -1.249 \times 10^{-3} + 4.67 \times 10^{-3}T - 0.1RH$$

สำหรับอุณหภูมิในช่วง $26 - 56^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง $0.14 - 0.77$ ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ระหว่าง $0.22 - 0.35$ มาตรฐานแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 ขวดแก้วซึ่งมีฝาปิดสนิท
- 3.1.2 ตู้อบลมร้อน
- 3.1.3 เครื่องอบแห้งแบบขึ้นบางขนาดทดลอง
- 3.1.4 เครื่องทำหมอก
- 3.1.5 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 3.1.6 เครื่องวัดความเร็วลม
- 3.1.7 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์
- 3.1.8 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
- 3.1.9 Thermocouple type K

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 KNO_3
- 3.2.2 NaCl
- 3.2.3 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 3.2.4 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 3.2.5 LiCl

3.3 การทดลองหาความชื้นสมดุล

- 3.3.1 นำเส้นก๊วยเตี๋ยวดกที่มีน้ำหนักประมาณ 10 g มาทั้งหมด 5 ส่วน
- 3.3.2 นำแต่ละส่วนใส่ไว้ในตะแกรงที่แขวนไว้ในขวดซึ่งบรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัวของ KNO_3 , NaCl , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ LiCl ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม (ทำ 2 ซ้ำ)
- 3.3.3 ปิดฝาให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปในขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

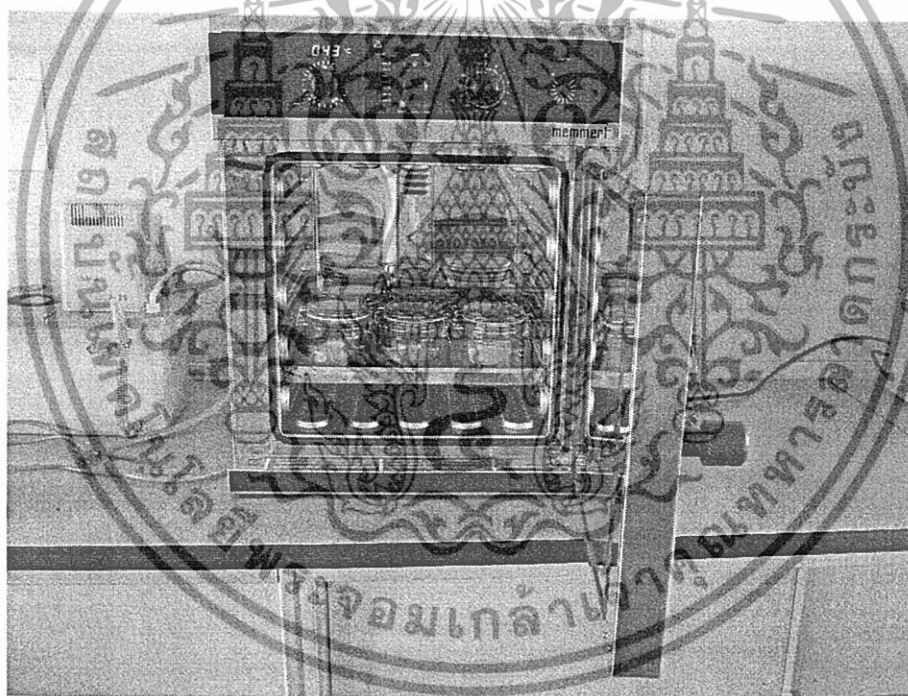
3.3.4 นำขวดทั้งหมดใส่ไว้ในตู้อบ ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 40 °C เมื่อใส่ไว้ในตู้อบเป็นเวลา 5 วันก็นำตะแกรงพร้อมเส้นก๋วยเตี๋ยวแต่ละขวดไปล้าง แล้วเก็บไว้ในสภาพเดิม และหลังจากนั้นทุกๆวันจะนำตะแกรงพร้อมเส้นก๋วยเตี๋ยวแต่ละขวดมาชั่งจนกว่าน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง

3.3.5 นำเส้นก๋วยเตี๋ยวแต่ละตะแกรงไปห่าน้ำหนักแห้ง เพื่อดำเนินการหาความชื้นสมดุล

3.3.6 ทำการทดลองทำนองเดียวกันแต่เปลี่ยนอุณหภูมิตู้อบเป็น 45°C , 50°C , 55°C , 60°C ตามลำดับ

3.3.7 นำข้อมูลปริมาณความชื้นสมดุลและความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Henderson , Chung & Pfof และ Oswin

3.3.8 เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ เพื่อเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายปริมาณความชื้นสมดุลของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่สภาวะต่างๆ



ภาพที่ 3.1 การหาความชื้นสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดลองหาน้ำหนักแห้งและความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยว

3.4.1 นำ aluminium can อบที่ 100°C 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ใส่โถดูดความชื้น (desicator) ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งจนได้น้ำหนักแน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.4.2 ชั่งน้ำหนักเส้นก๋วยเตี๋ยวสด แล้วใส่ลงใน aluminium can

3.4.3 นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 °C 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝา aluminium can

3.4.4 เมื่อครบเวลา ปิดฝา นำมาทำให้เย็นใน desicator ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก อบซ้ำอีกครั้ง ครั้งละ ½ ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ หรือผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ 2 ครั้งต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.003 – 0.005 กรัม

3.4.5 คำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้งโดยใช้สมการ

$$M_d = (w - d) / d$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

w คือ มวลของวัสดุ, g

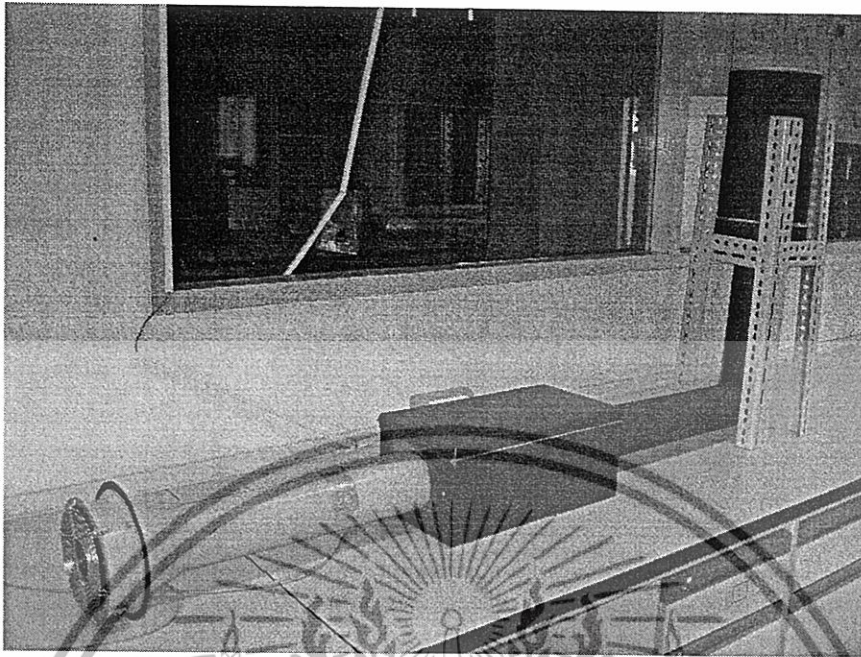
d คือ มวลของวัสดุแห้ง(ไม่มีความชื้น), g

3.5 การดัดแปลงอุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบาง

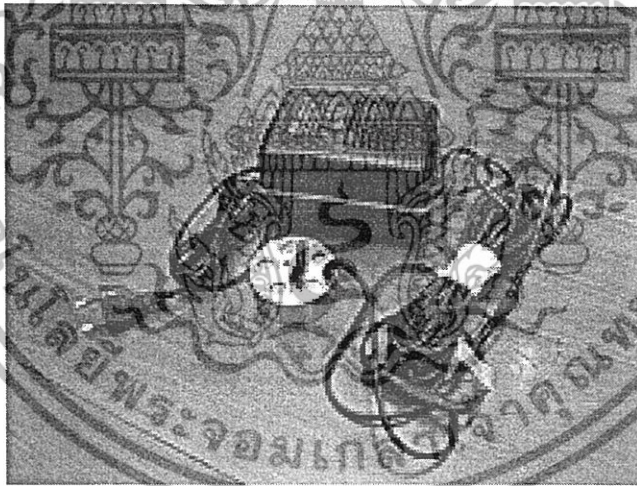
ดัดแปลงอุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบางโดยติดตั้งเครื่องทำหมอก ท่อลม และพัดลมดูดอากาศเพิ่มเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบางก่อนตัดแปลง



ภาพที่ 3.3 เครื่องทำหมอก

97117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทดลองหาอัตราการอบแห้ง

3.6.1 ชั่งน้ำหนักตะแกรงเปล่า

3.6.2 วางเส้นกัวยเดี่ยวสดไว้บนตะแกรงแล้วทำการชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำไปใส่ไว้ในอุปกรณ์เครื่องอบแห้งขนาดทดลอง

3.6.3 เตรียมอุปกรณ์ทดสอบอัตราการอบแห้งซึ่งทำการปรับอุณหภูมิไว้ที่ 40°C และวางเครื่องทำหมอกไว้ตามจุดต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง*

3.6.4 เก็บข้อมูลโดยบันทึกค่าน้ำหนักของเส้นกัวยเดี่ยวที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในการอบแห้งซึ่งใน 1 ชั่วโมงแรกจะเก็บค่าทุกๆ 5 นาที และทุกๆ 15 นาทีในชั่วโมงถัดมา จนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงจึงหยุดการทดลอง

3.6.5 นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์หาสมการการอบแห้ง

3.6.6 ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 50°C , 60°C , 70°C , 80°C ตามลำดับ

* หมายเหตุ ตำแหน่งการวางเครื่องทำหมอก ได้แก่
ก๊อกลง heater, ด้านปลายอุปกรณ์อบแห้ง, ไม่ใช่เครื่องทำหมอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้อาจวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลองได้เป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบหาความชื้นสมดุล และการทดสอบอัตราการอบแห้งเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.1 ผลการทดลองหาความชื้นสมดุล

จากการทดลองหาความชื้นสมดุลของเส้นก๋วยเตี๋ยวสด ที่อุณหภูมิระหว่าง 40°C – 60°C และความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 10% – 90% โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว (KNO_3 , NaCl , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ LiCl) เป็นสารควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศและใช้ตู้อบเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ ได้ผลตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง Sorption isotherm ของเส้นก๋วยเตี๋ยวสด

40 °C		45°C		50°C		55°C		60°C	
RH%	$M_{\text{cđ}}\%$ *	RH%	$M_{\text{cđ}}\%$ *	RH%	$M_{\text{cđ}}\%$ *	RH%	$M_{\text{cđ}}\%$ *	RH%	$M_{\text{cđ}}\%$ *
11.4	37.60	11.4	29.89	11.3	28.82	11.2	38.41	11.2	39.77
31.8	43.16	31.7	41.85	31.5	59.37	30.9	51.36	30.5	46.79
48.7	50.92	47.5	58.93	46.5	55.49	44.0	60.14	42.9	52.91
75.0	77.41	74.9	77.54	74.0	69.74	73.6	76.41	72.5	74.00
87.0	81.99	86.4	83.54	85.6	77.54	83.1	98.66	80.3	82.36

* % มาตรฐานแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุล อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้รูปแบบสมการต่างๆ กัน ได้ดังนี้

Henderson equation

$$1 - RH = \exp[-1.0246 \times 10^{-2} T_{\text{abs}} (M_{\text{cq}})^{3.0437}] \quad (4.1)$$

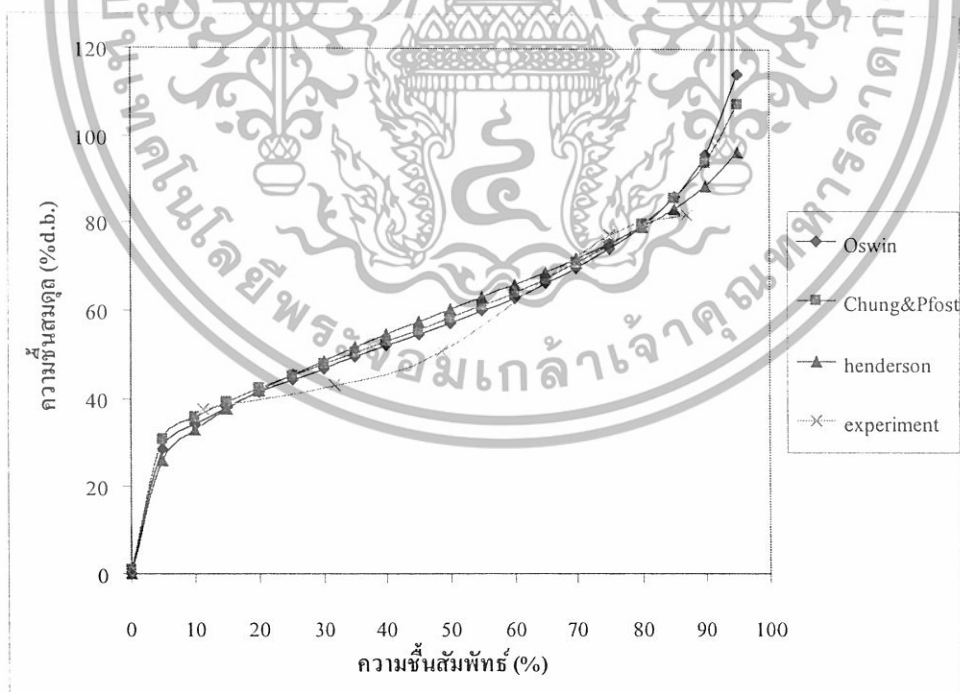
Chung and Pfof equation

$$\ln(RH) = (-36798.2 / RT_{\text{abs}}) \exp(-5.1526 M_{\text{cq}}) \quad (4.2)$$

Oswin equation

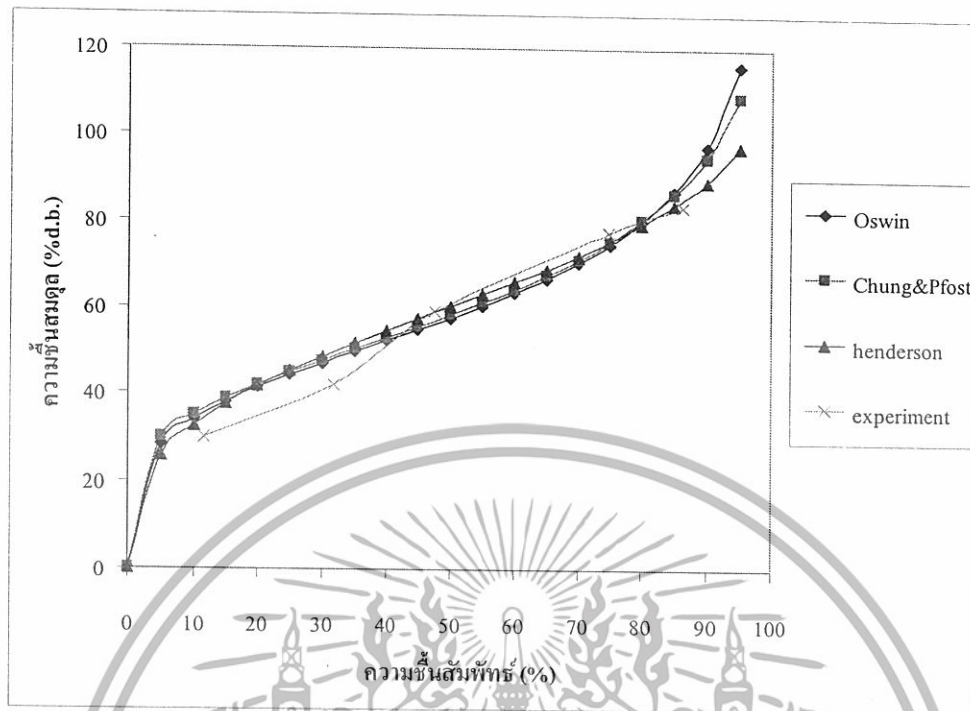
$$M_{\text{cq}} = 0.5736 [RH / (1 - RH)]^{0.2399} \quad (4.3)$$

จากภาพที่ 4.1-4.5 จะเห็นได้ว่าในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 11-87 % และอุณหภูมิในช่วง 40-60 °C แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Chung & Pfof ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองและสามารถทำนายปริมาณความชื้นสมดุลของเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ดีที่สุด

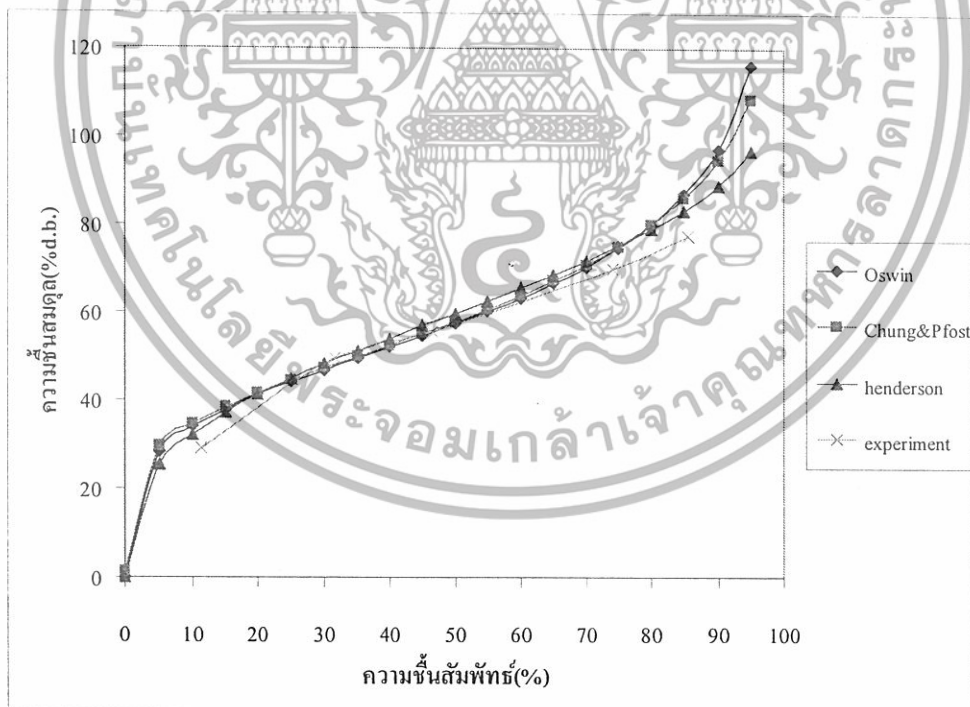


ภาพที่ 4.1 Sorption isotherm ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 40 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

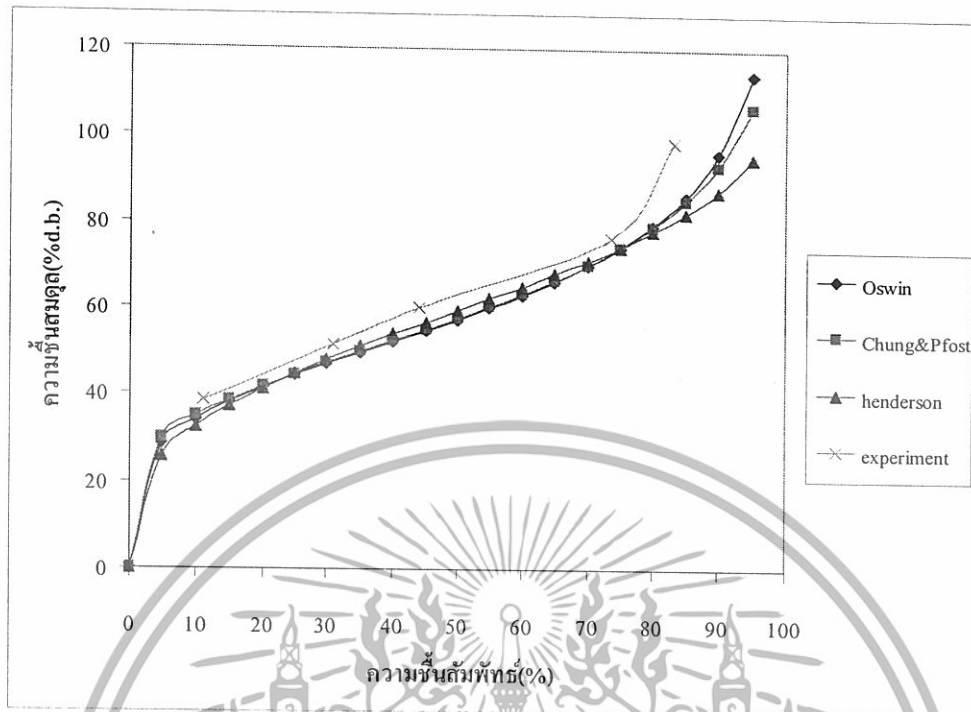


ภาพที่ 4.2 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิ 45 °C

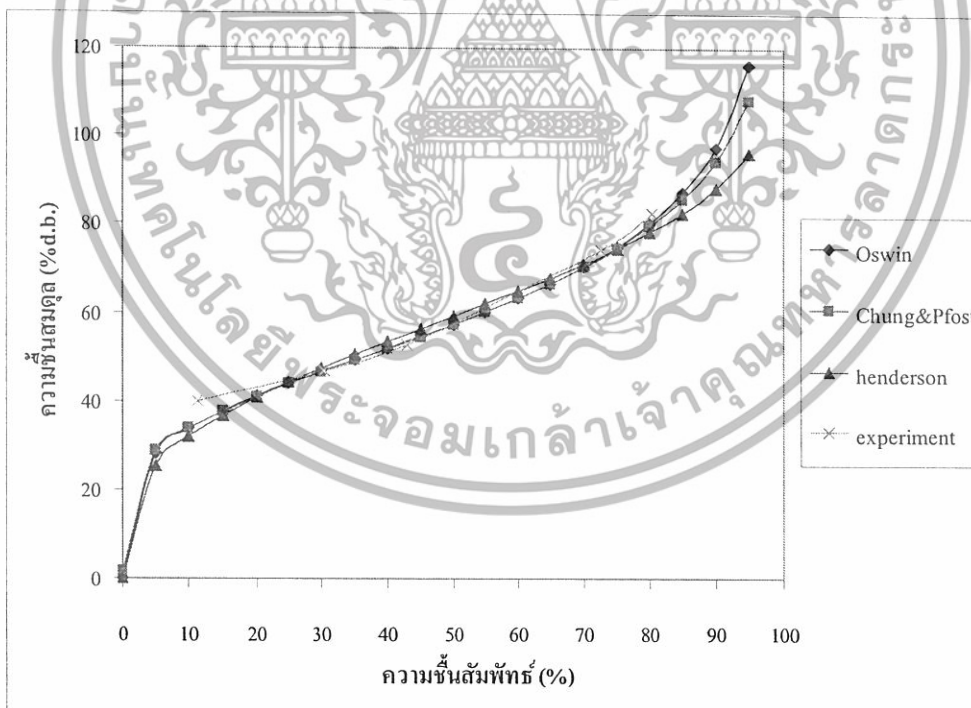


ภาพที่ 4.3 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิ 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

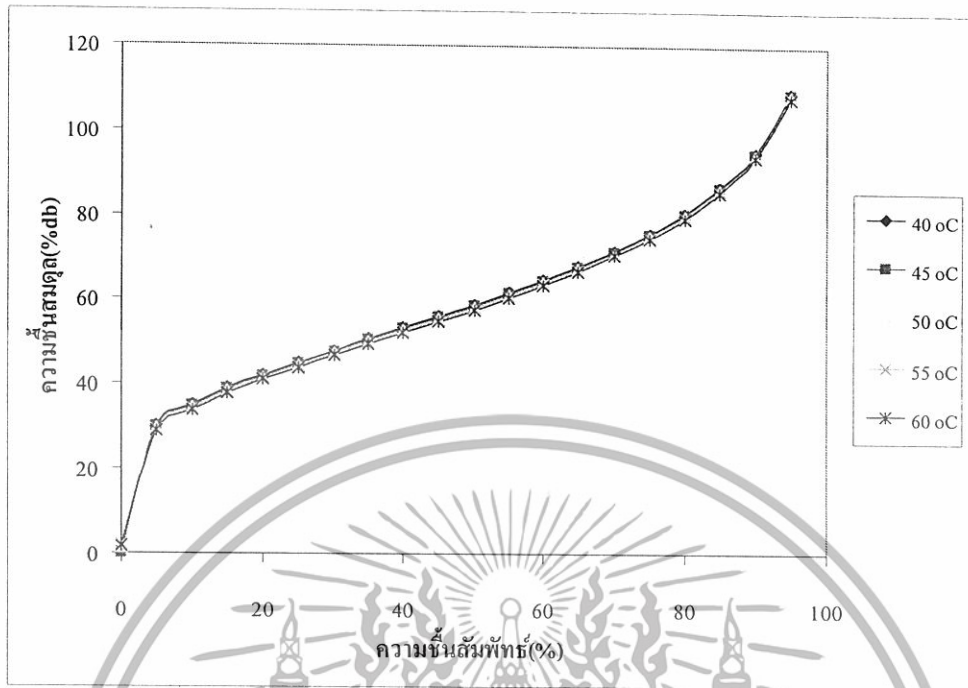


ภาพที่ 4.4 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิ 55 °C



ภาพที่ 4.5 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิ 60 °C

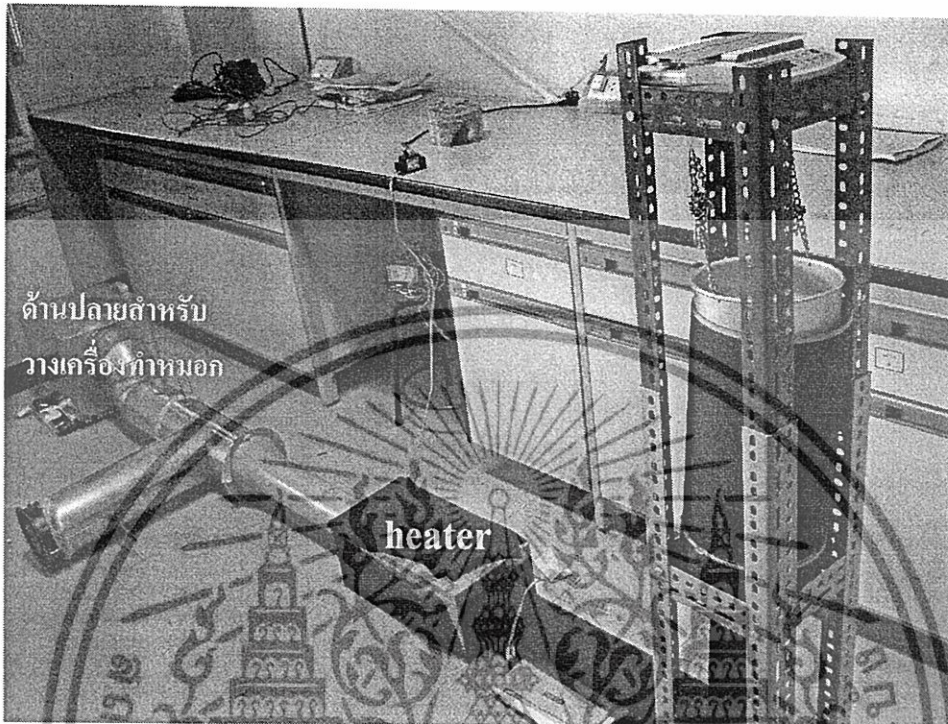
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 Sorption isotherm ของเส้นกล้วยเดี่ยวที่อุณหภูมิต่างๆ โดยคำนวณจากรูปแบบสมการ Chung & Pfof

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการดัดแปลงอุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบาง

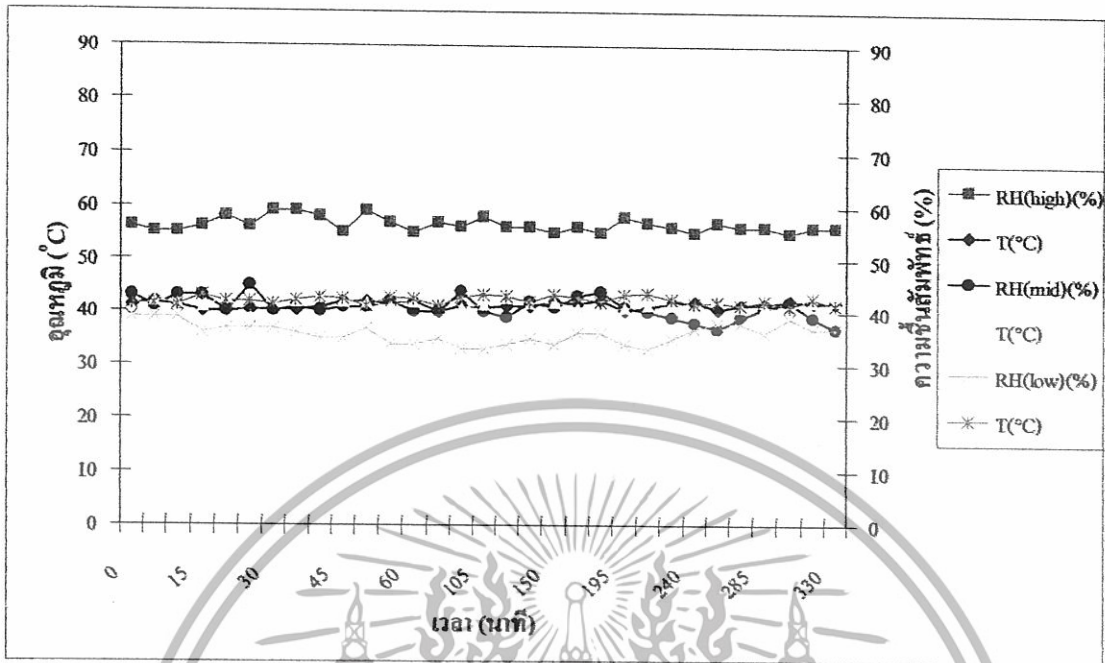


ภาพที่ 4.7 อุปกรณ์อบแห้งแบบชั้นบางหลังดัดแปลง

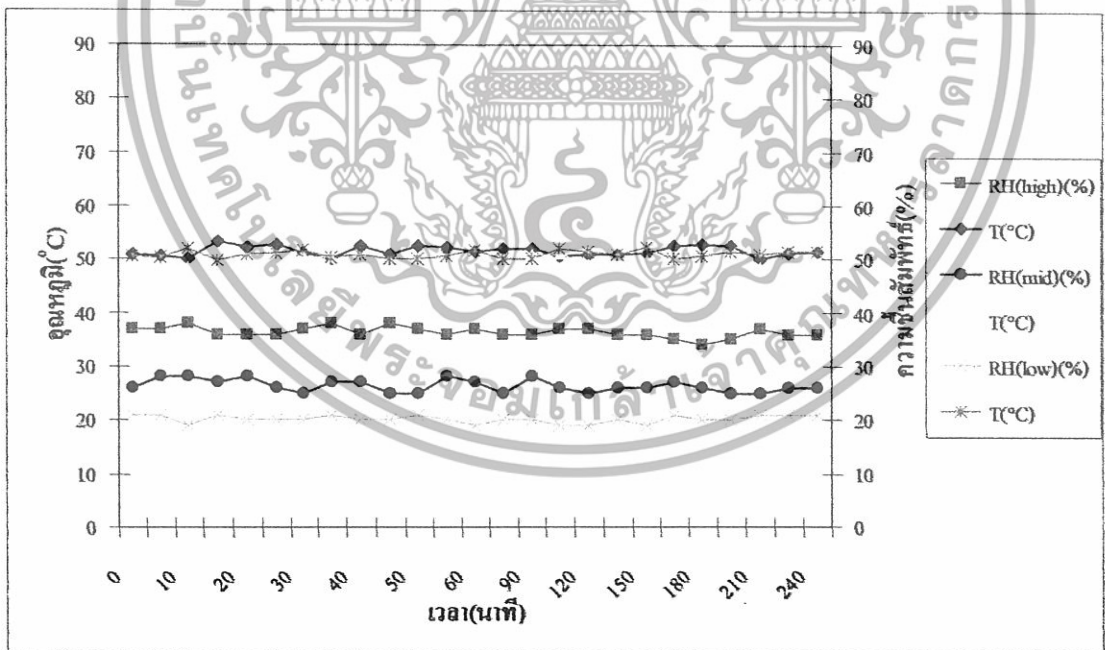
4.3 ผลการทดลองการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์

จากภาพที่ 4.8-4.12 แสดงให้เห็นว่าการทดลองเมื่อนำเครื่องทำหมอกไว้ที่กล่อง heater จะให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถึงอบมากที่สุด แต่เมื่อทดลองโดยไม่ใช้เครื่องทำหมอกความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จะต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

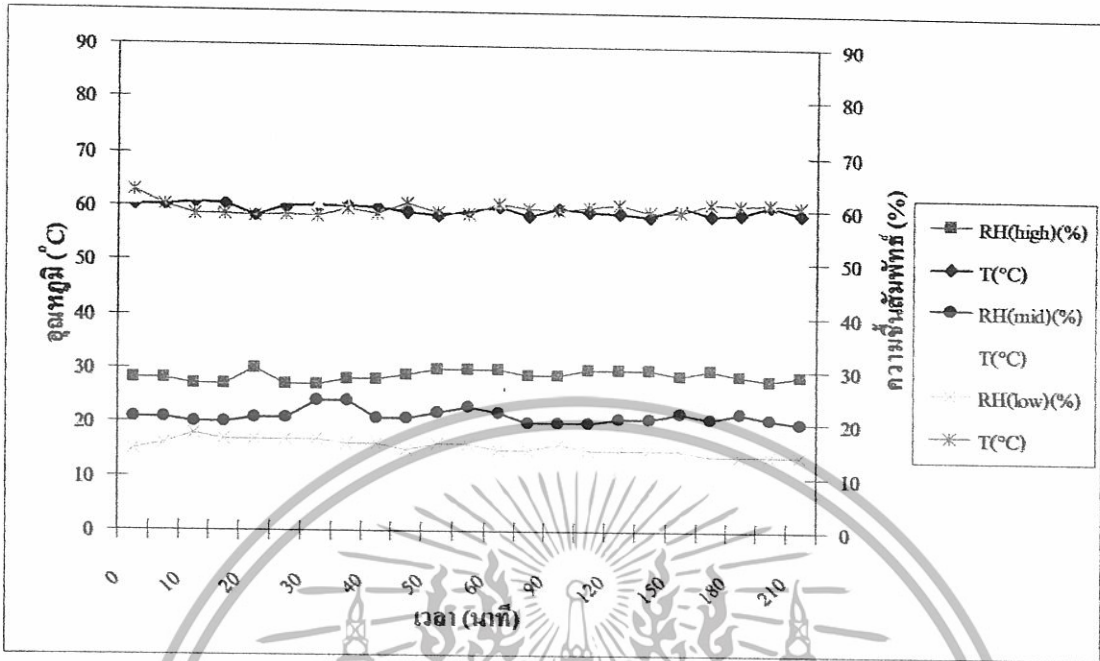


ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 40 °C

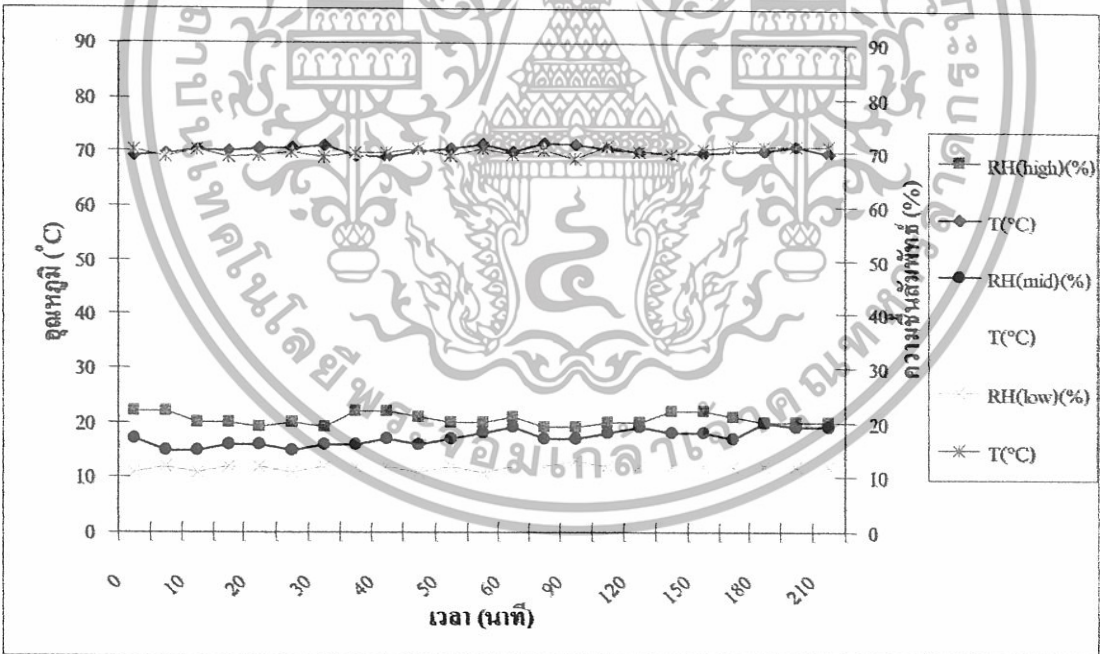


ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

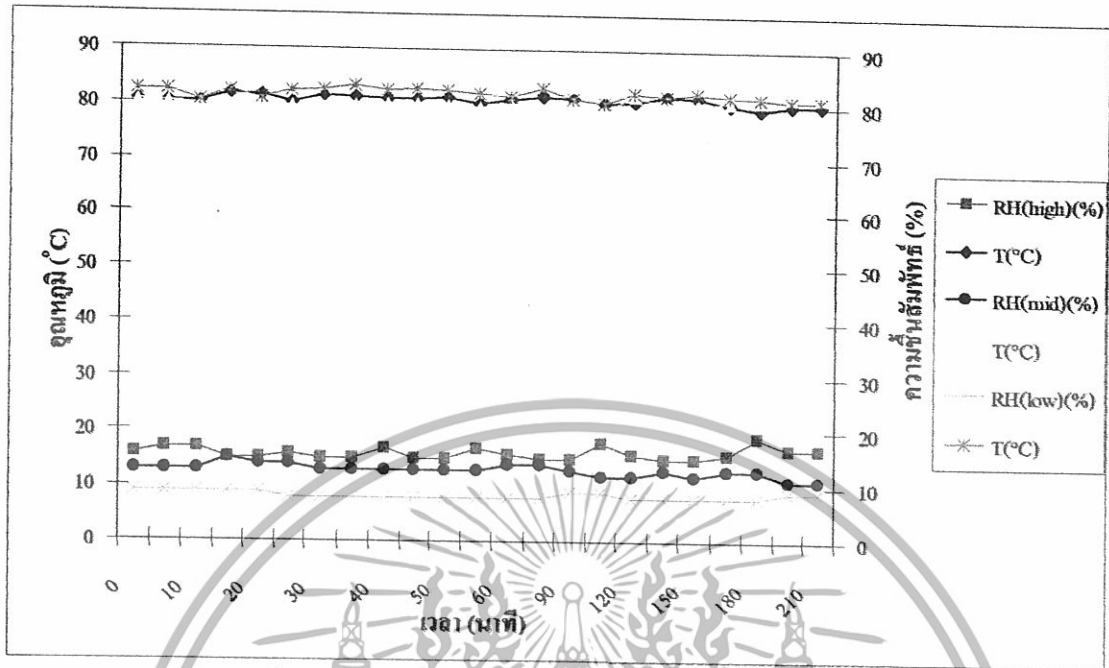


ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 60 °C



ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



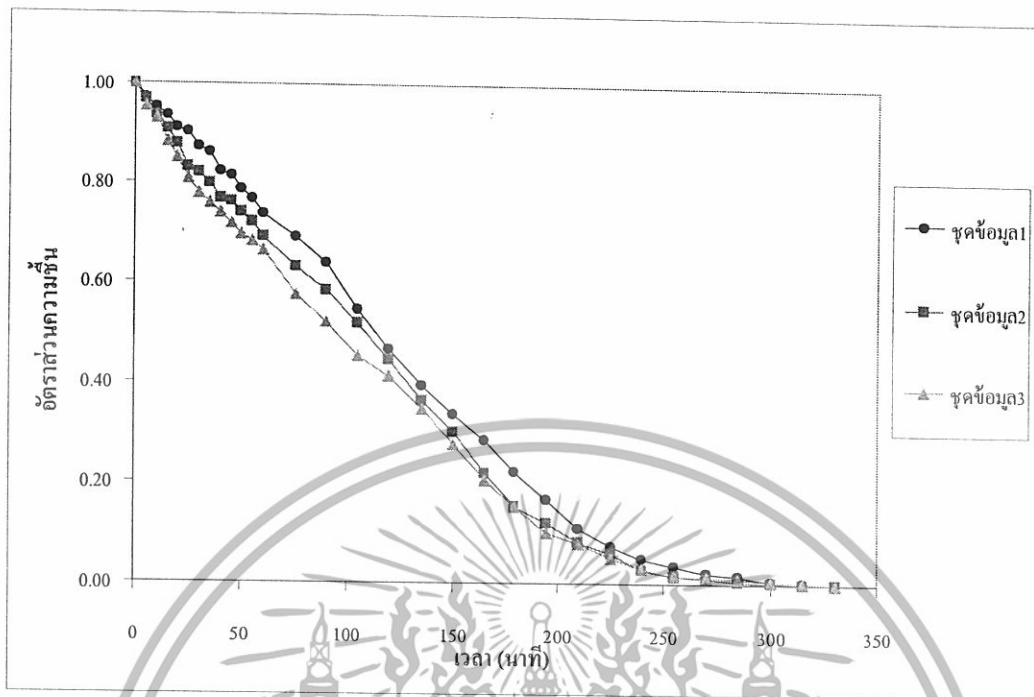
ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 80 °C

หมายเหตุ RH (high) คือ ความชื้นสัมพัทธ์เมื่อนำเครื่องทำหมอกไว้ที่กล่อง heater
 RH (mid) คือ ความชื้นสัมพัทธ์เมื่อนำเครื่องทำหมอกไว้ที่ด้านบนอุปกรณ์อบแห้ง
 RH (low) คือ ความชื้นสัมพัทธ์เมื่อไม่ใช้เครื่องทำหมอก

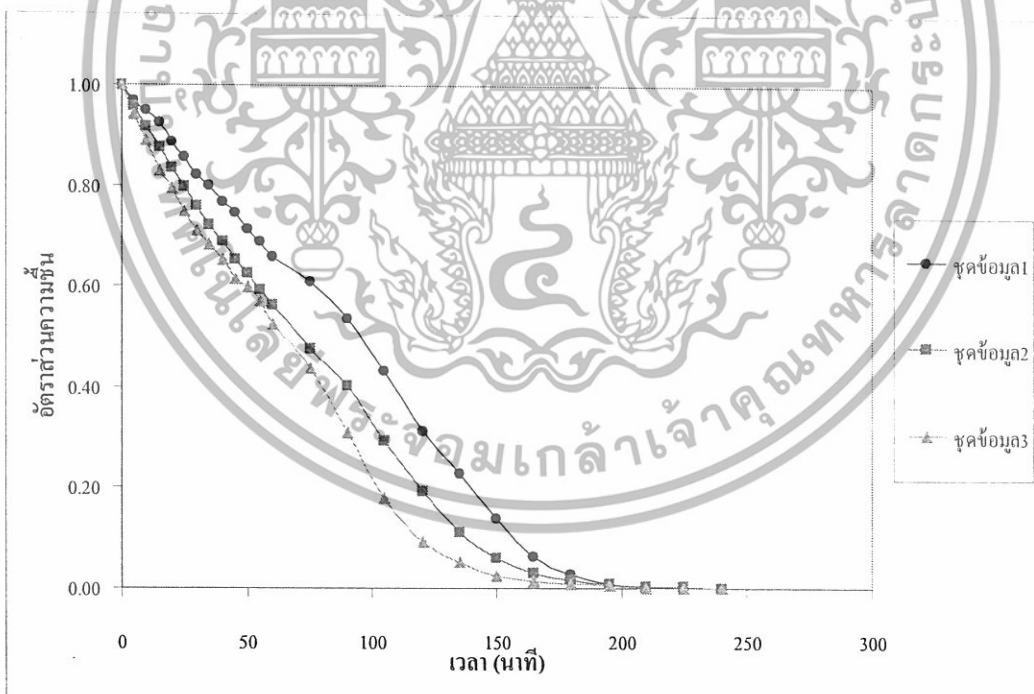
4.4 ผลการทดลองหาอัตราการอบแห้ง

จากการทดลองหาอัตราการอบแห้งแบบชั้นบางของเส้นก๋วยเตี๋ยวสด โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิร้อน 40 °C – 80 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 8 - 56% ความเร็วลมร้อนคงที่ 0.8 m/s ซึ่งความชื้นเริ่มต้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดอยู่ในช่วง 150 -160 %db สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังภาพที่ 4.13-4.17 ซึ่งเห็นได้ว่าการทดลองโดยไม่ใช้เครื่องทำหมอกอัตราการอบแห้งลดลงเร็วที่สุดเนื่องจากมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ส่วนการทดลองโดยนำเครื่องทำหมอกไว้ที่ heater อัตราการอบแห้งลดลงช้าที่สุดเนื่องจากมีความชื้นสัมพัทธ์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

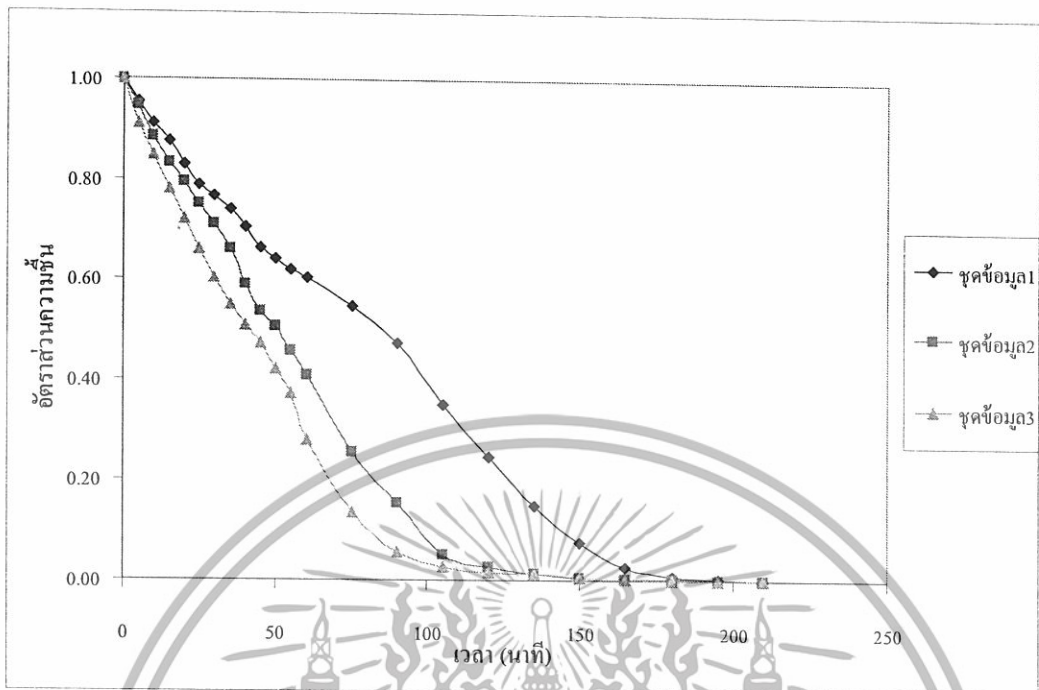


ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 40°C

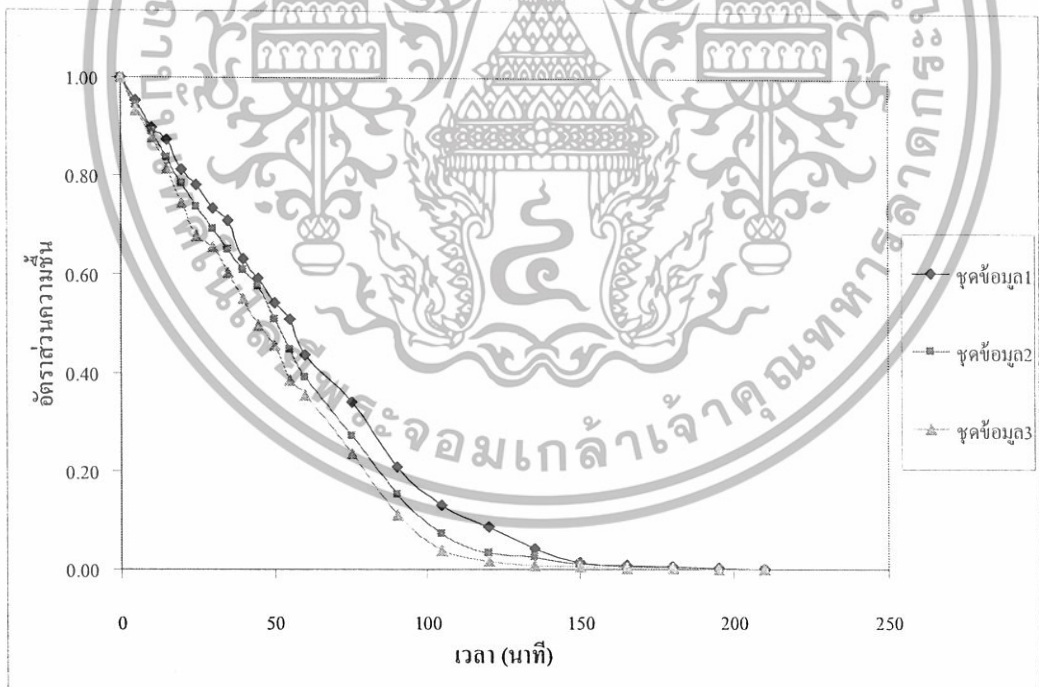


ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

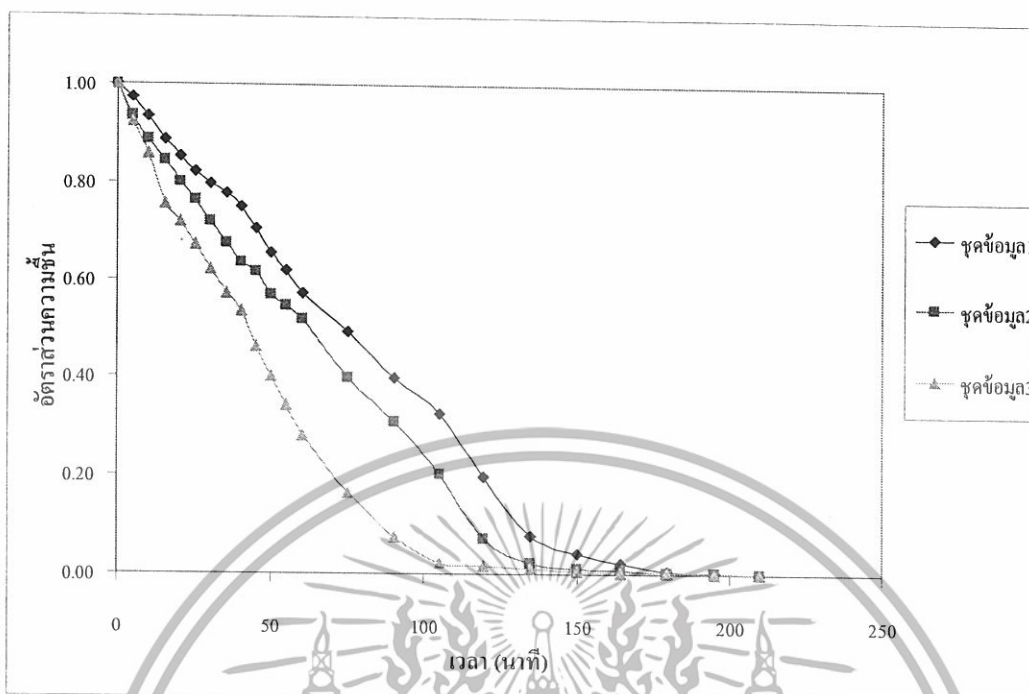


ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 60 °C



ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C

หมายเหตุ ชุดข้อมูล 1 คือ การทดลองโดยนำเครื่องทำหมอกไว้ที่ heater

ชุดข้อมูล 2 คือ การทดลองโดยนำเครื่องทำหมอกไว้ที่ส่วนปลายของอุปกรณ์อบแห้ง

ชุดข้อมูล 3 คือ การทดลองโดยไม่ใช้เครื่องทำหมอก

อัตราการอบแห้งแบบชั้นบางของเส้นกล้วยเด็ยสดมีช่วงการอบแห้งแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกที่อัตราส่วนความชื้น (MR) ระหว่าง 0.4 – 1 เป็นช่วงที่มีอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate) ส่วนช่วงที่ 2 ที่อัตราส่วนความชื้น (MR) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.4 เป็นช่วงที่มีอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate)

ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ สมการที่ใช้อธิบายการอบแห้งในรูปความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้น (MR) กับเวลา (t) คือ

$$MR = 1 - kt \quad (4.4)$$

โดยที่อัตราการอบแห้ง (k) ขึ้นกับ อุณหภูมิอบแห้ง (T) และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เมื่อนำไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS version 11 ได้ค่า k ดังสมการต่อไปนี้

$$k = 1.43 \times 10^{-2} + 7.761 \times 10^{-6} T + 1.055 \times 10^{-4} RH + 2.393 \times 10^{-6} (T \times RH) \quad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง สมการที่ใช้อธิบายอัตราการอบแห้งคือ

$$MR = 0.4 e^{-kt} \quad (4.6)$$

โดย

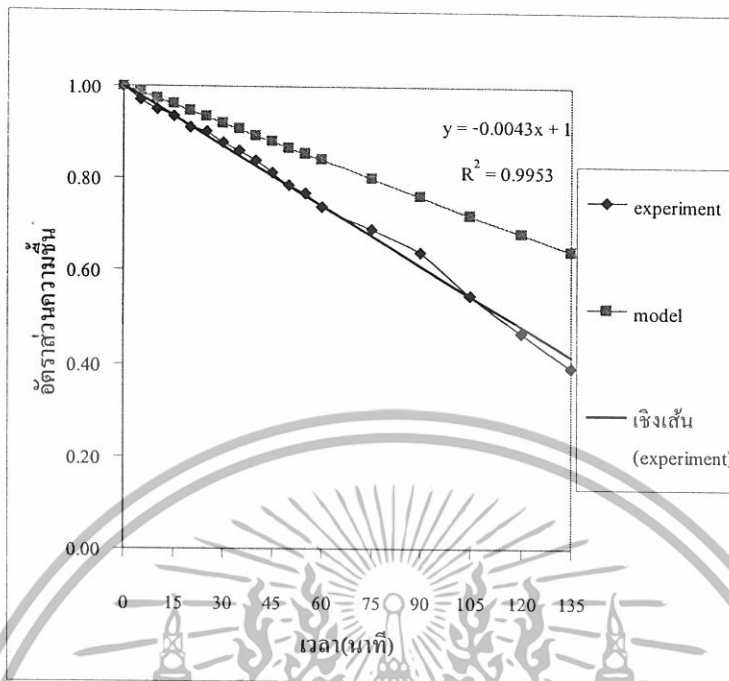
$$k = -5.92 \times 10^{-2} + 3.480 \times 10^{-4}T + 1.935 \times 10^{-3} RH - 3.88 \times 10^{-5} (T \times RH) \quad (4.7)$$

4.5 ผลการทดสอบอัตราการอบแห้งเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลอง

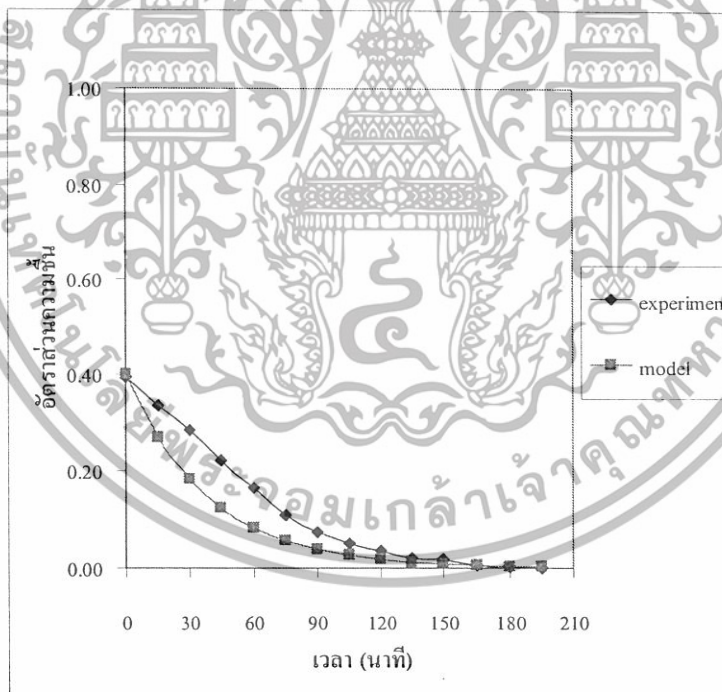
จากภาพที่ 4.18-4.32 แสดงอัตราส่วนความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าค่าอัตราส่วนความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากแบบจำลองในช่วงอุณหภูมิต่ำจะมีความผิดพลาดจากการทดลอง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าที่ได้จากแบบจำลองจะใกล้เคียงกับการทดลองมากขึ้น ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจึงสามารถใช้งานได้ดีในช่วงที่อุณหภูมิสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



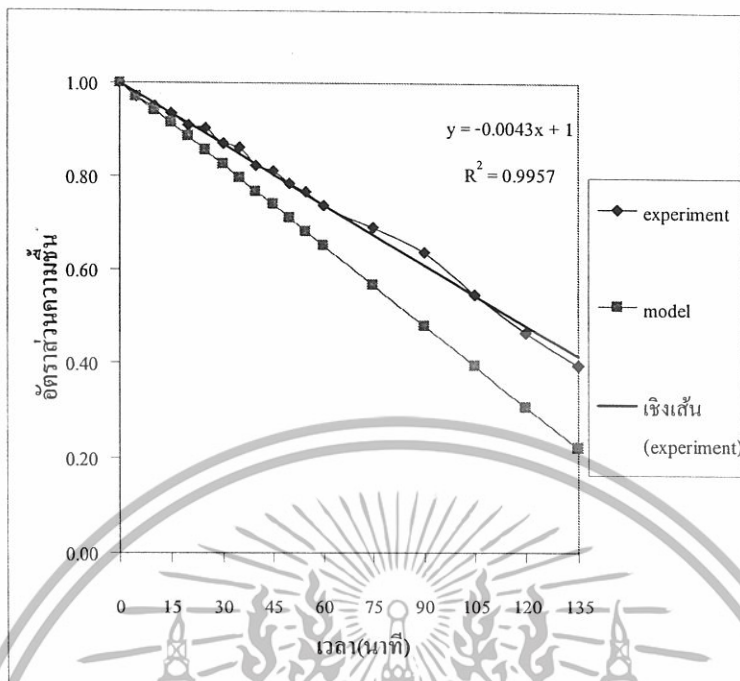
(a) Constant rate



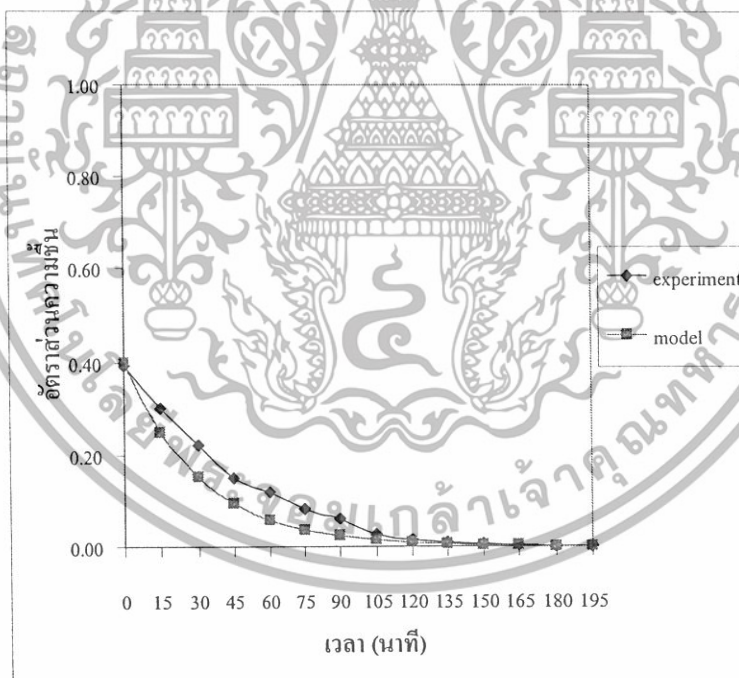
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 40°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 55.64 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



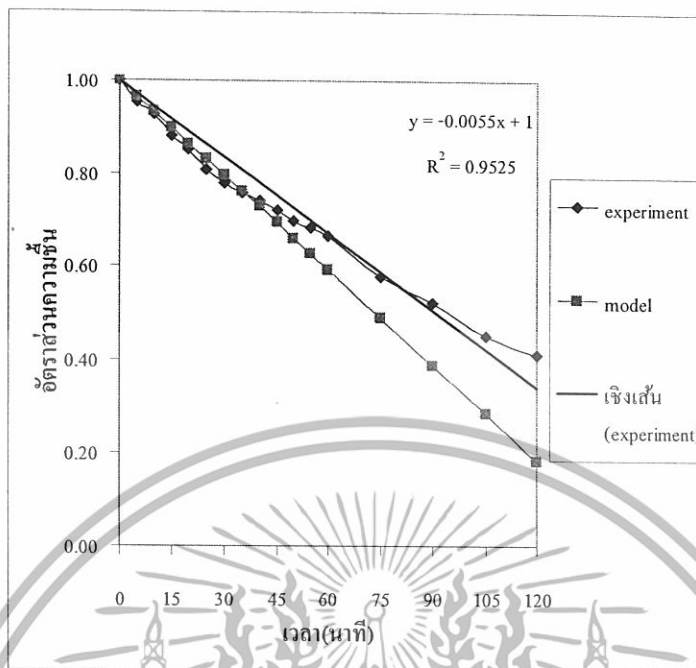
(a) Constant rate



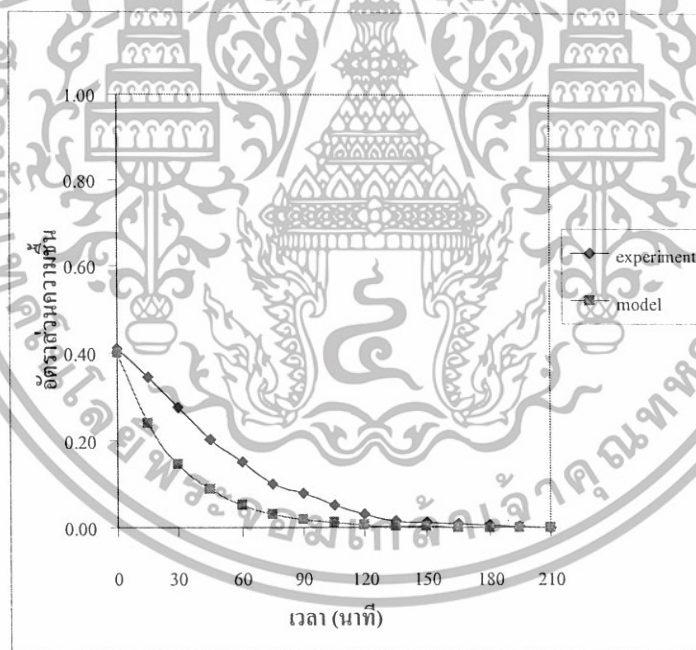
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 40°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 38.71 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



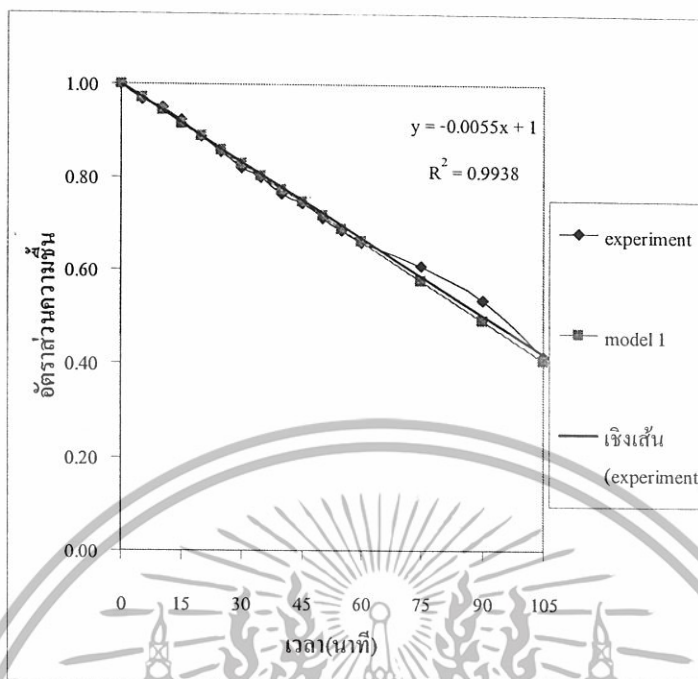
(a) Constant rate



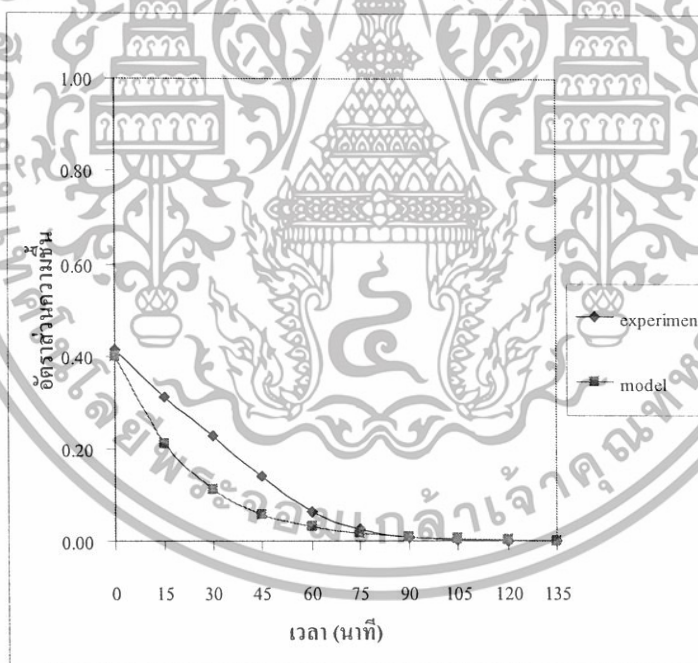
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 40°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 32.02 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



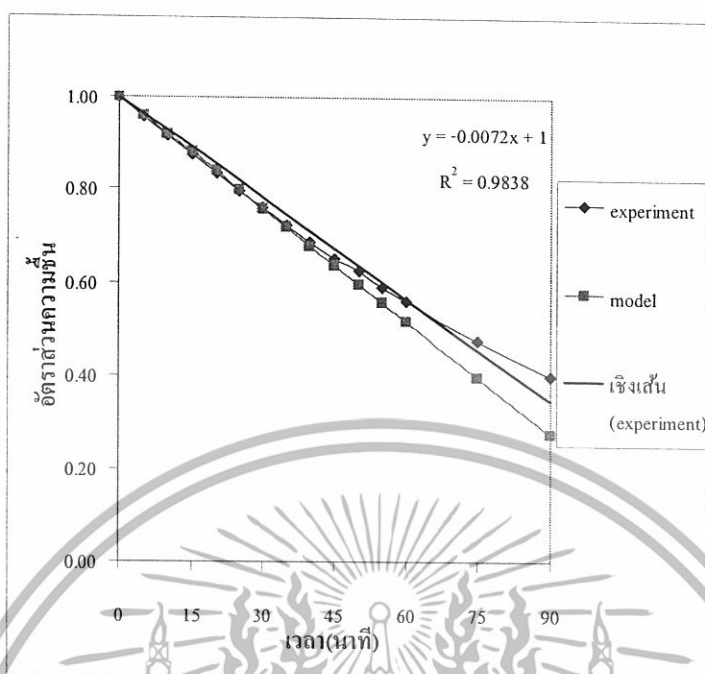
(a) Constant rate



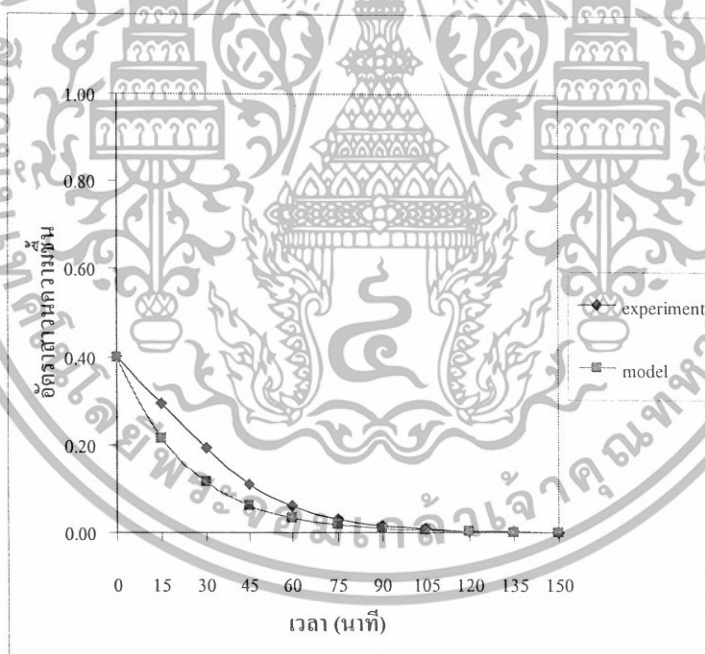
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.21 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 50°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 35.77 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



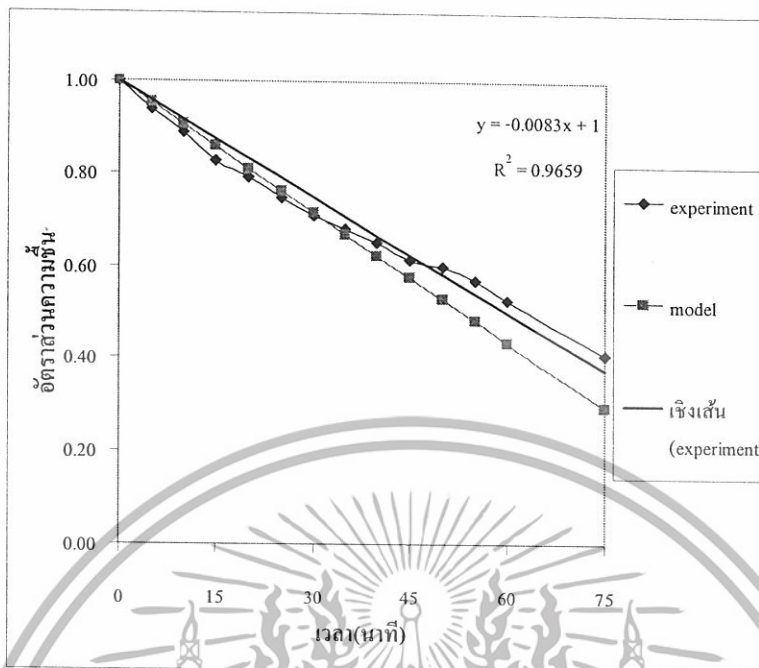
(a) Constant rate



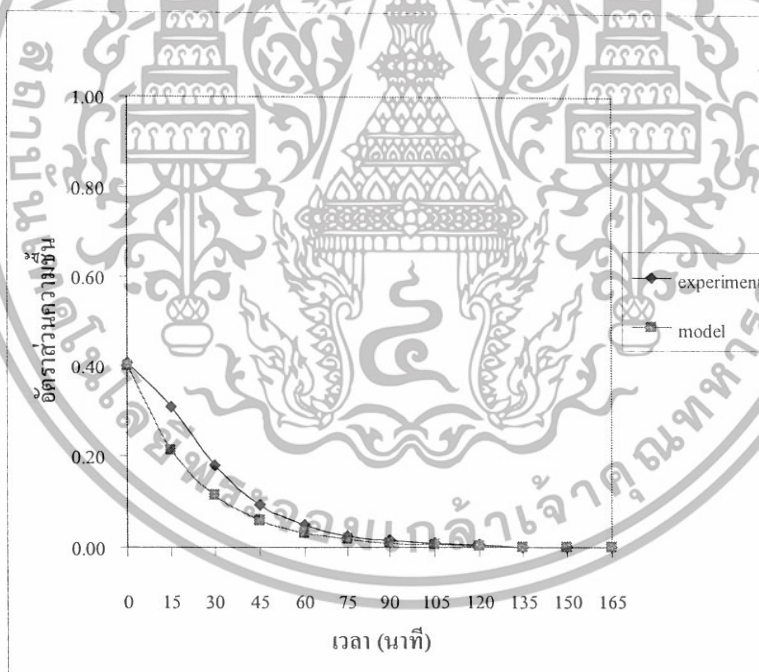
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.22 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 50°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 25.96%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



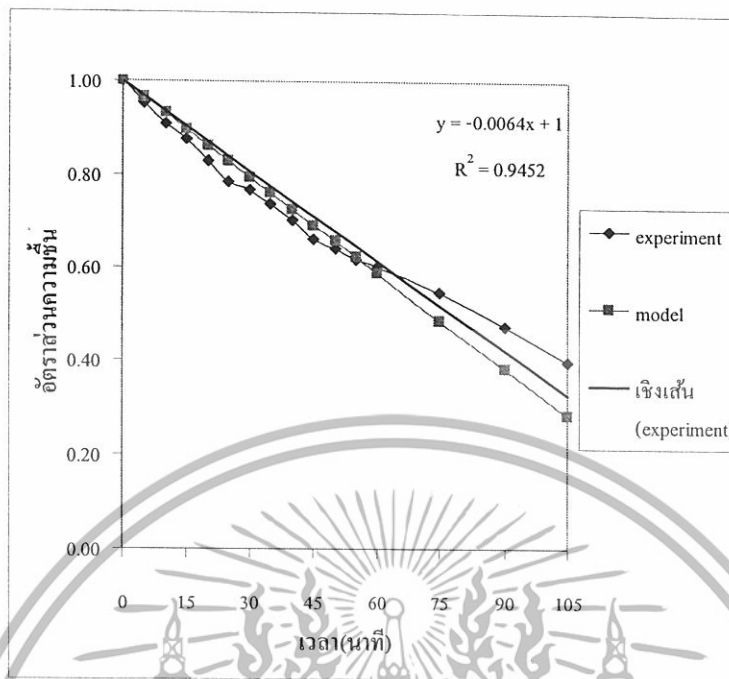
(a) Constant rate



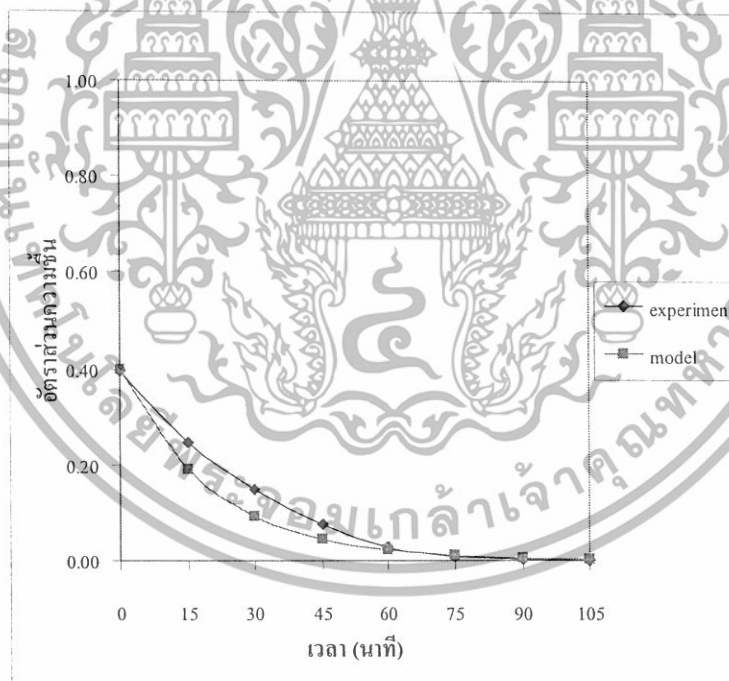
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.23 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 50°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 19.71%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



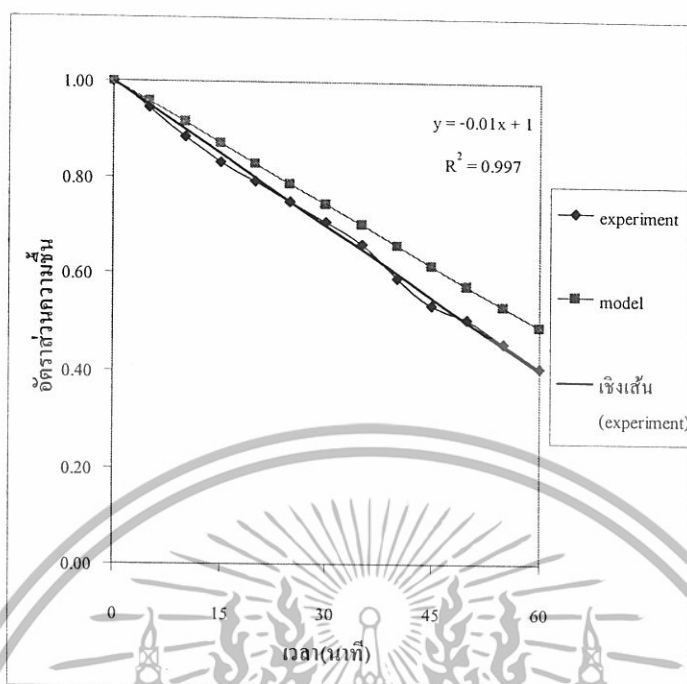
(a) Constant rate



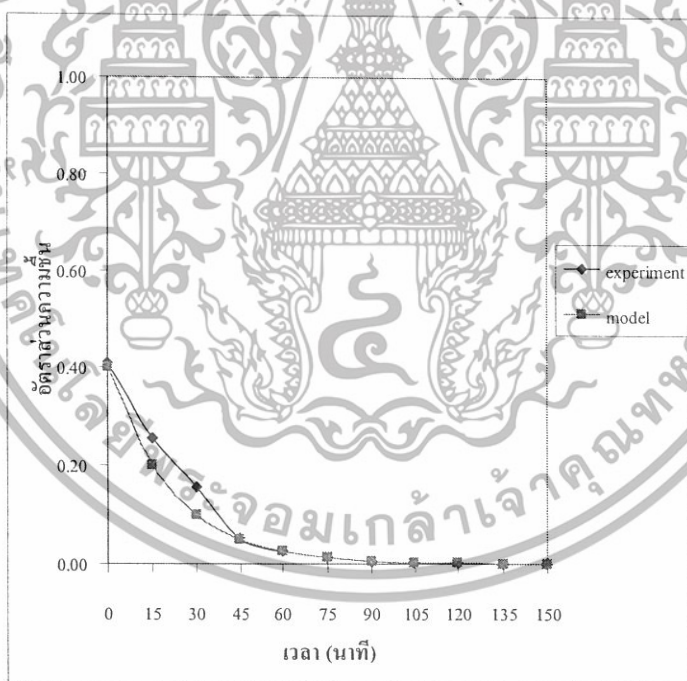
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.24 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 60°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 28.69%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



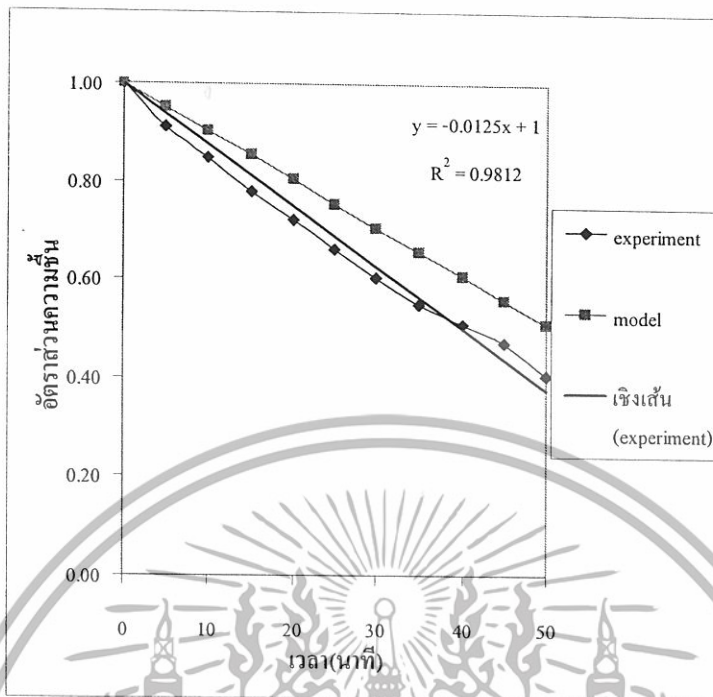
(a) Constant rate



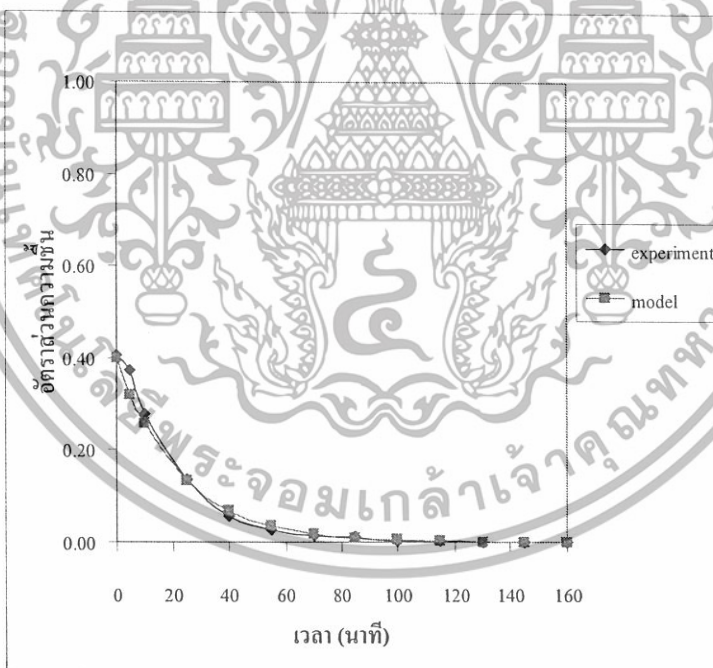
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.25 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 60°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 20.28 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



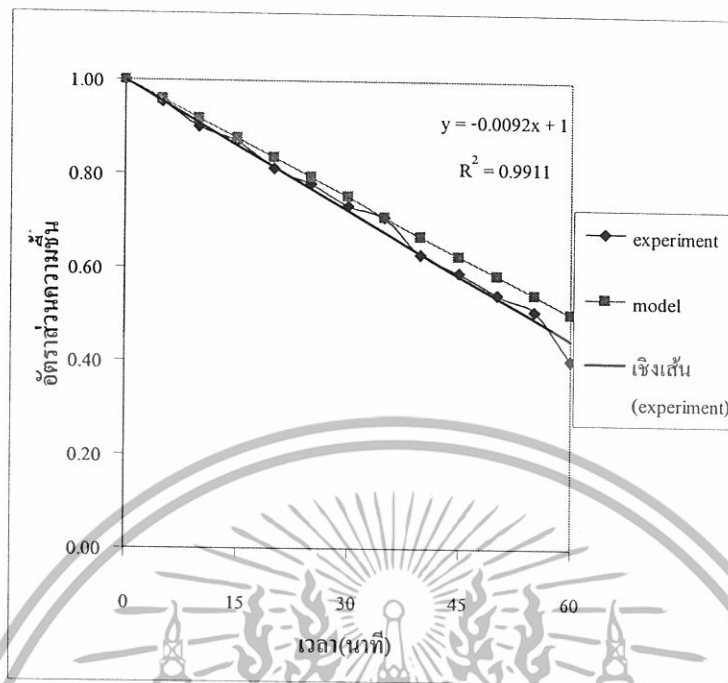
(a) Constant rate



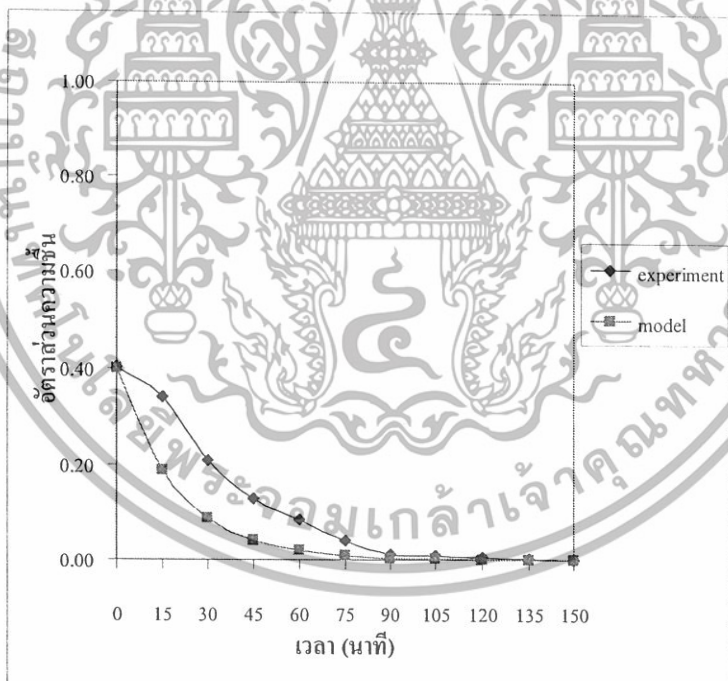
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.26 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 60°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 15.00 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



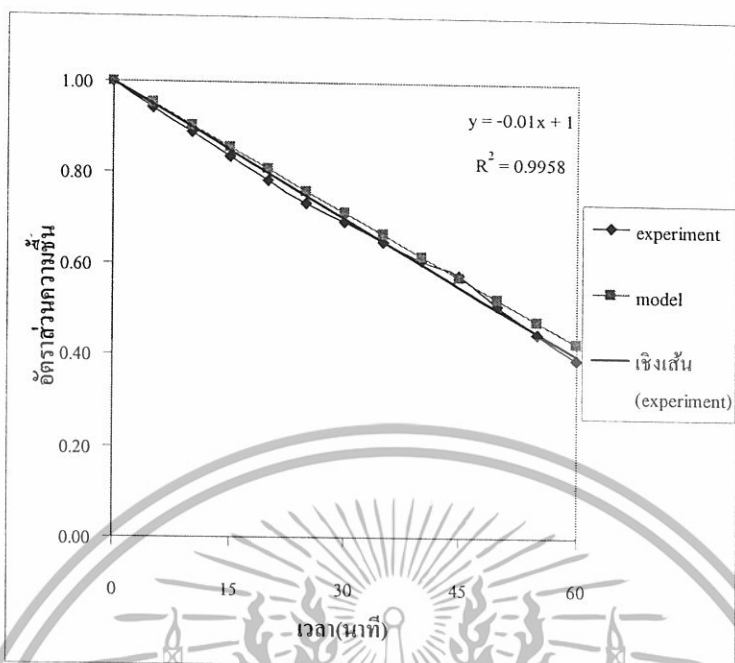
(a) Constant rate



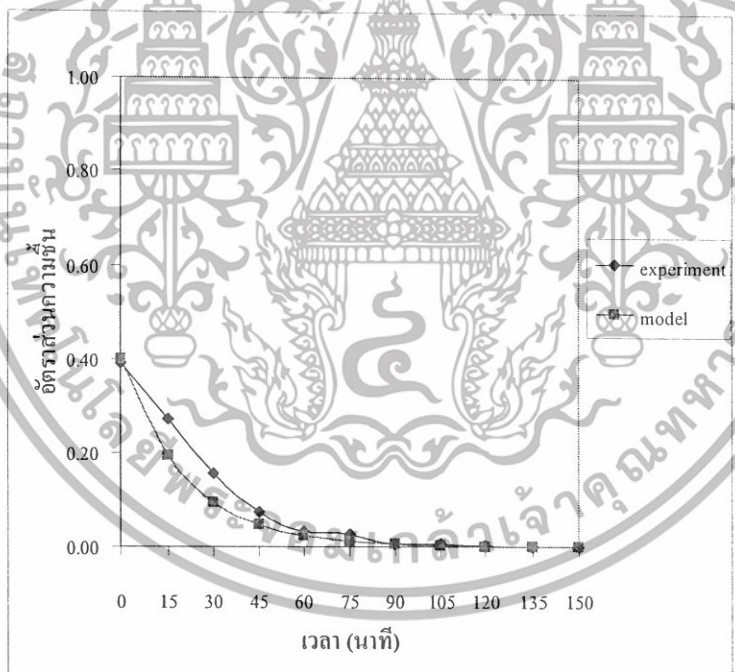
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.27 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 70°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 20.02 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



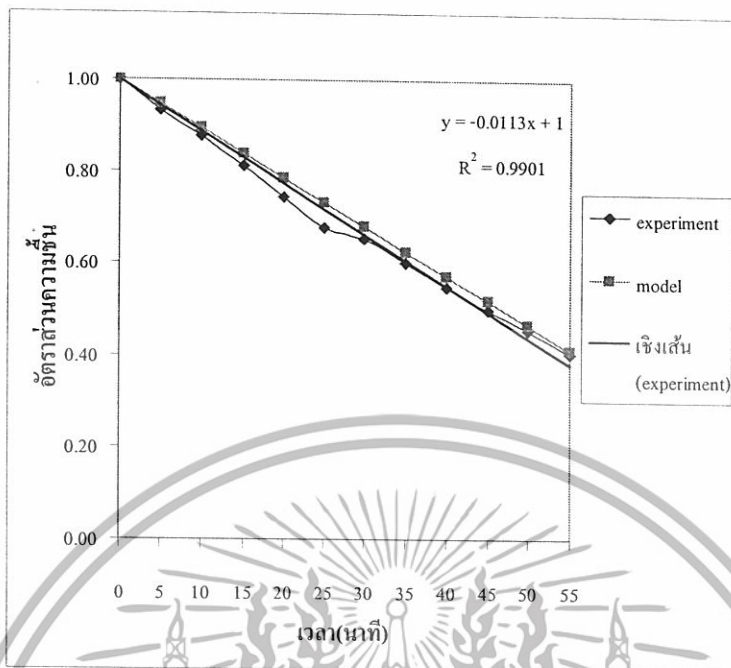
(a) Constant rate



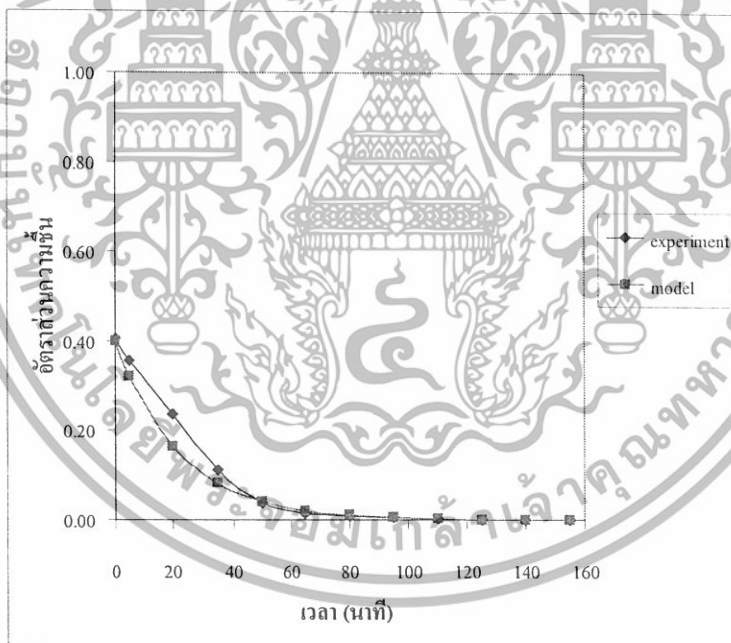
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.28 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 70°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 17.17 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



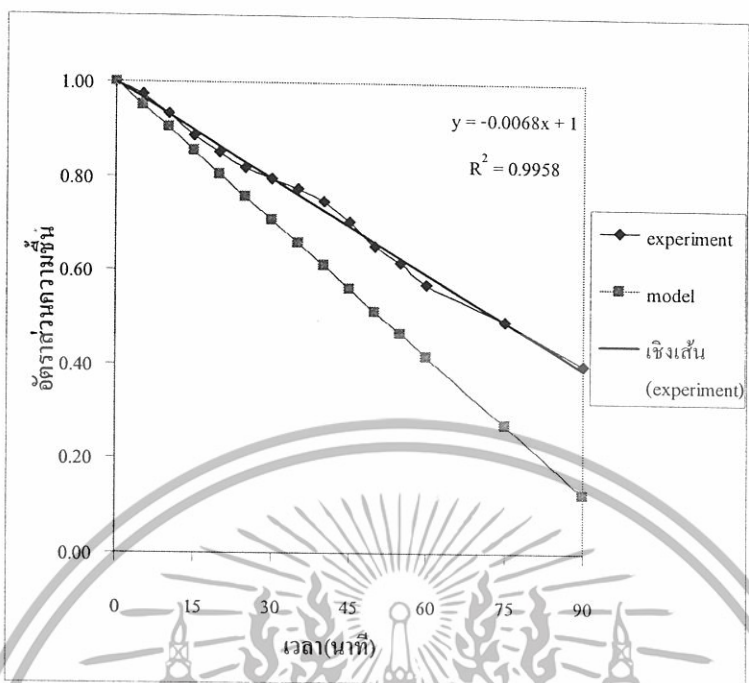
(a) Constant rate



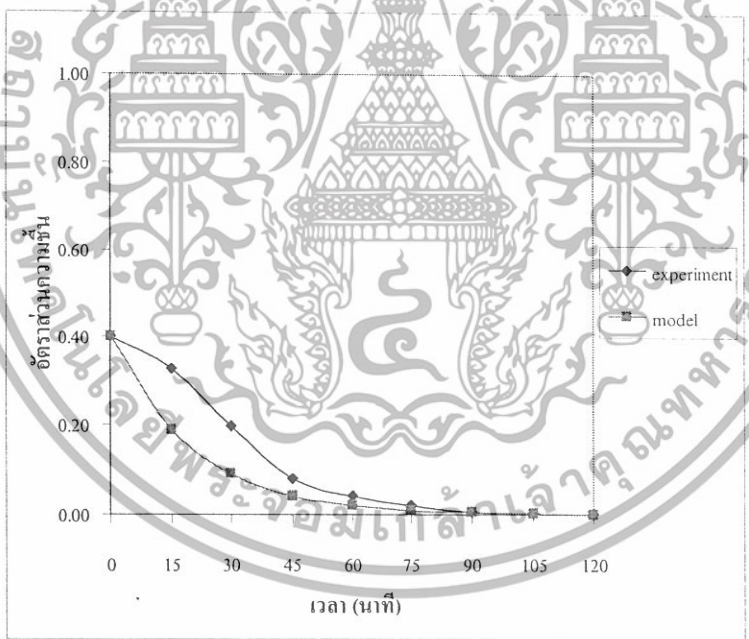
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.29 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 70°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 11.79 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



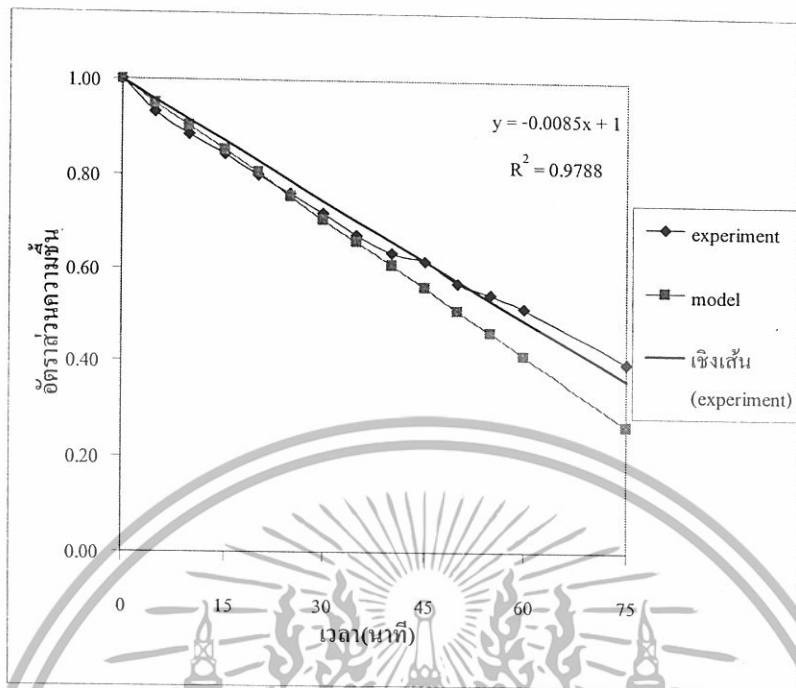
(a) Constant rate



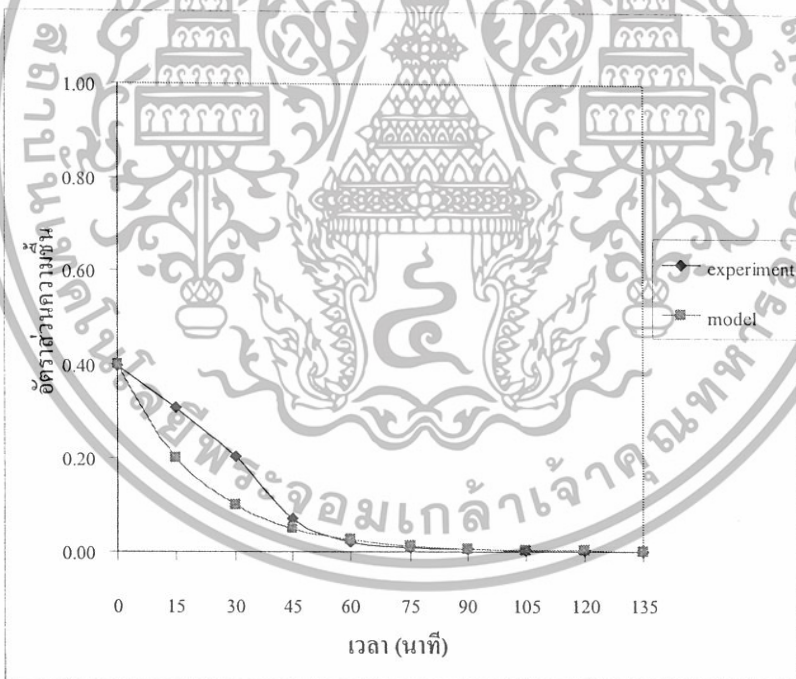
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.30 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80°C ความชื้นสัมพัทธ์ 15.52 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



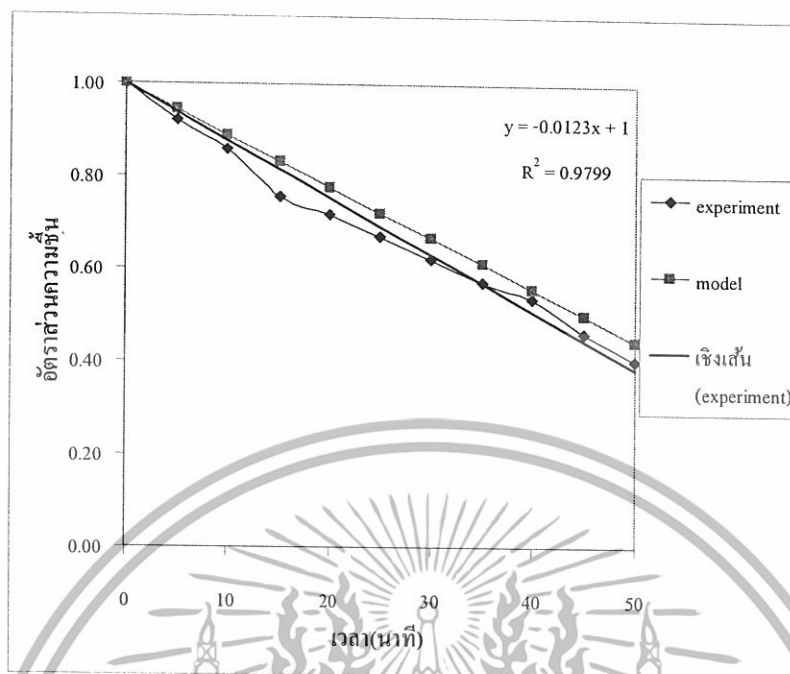
(a) Constant rate



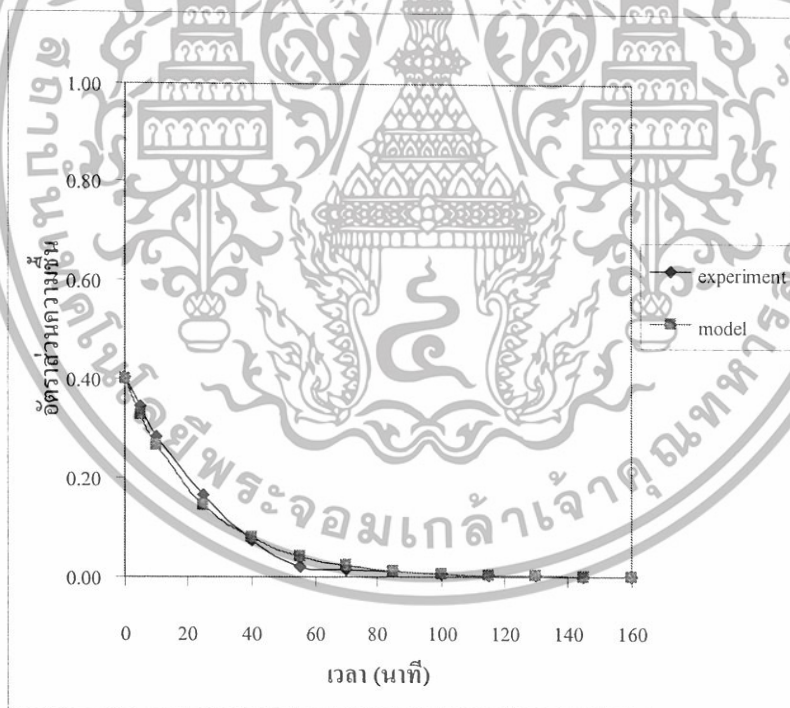
(b) Falling rate

ภาพที่ 4.31 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 12.48 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Constant rate



(b) Falling rate

ภาพที่ 4.32 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 8.24 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การทดลองทั้งหมดนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนโดยส่วนแรกเป็นการทดลองและสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุลของเส้นกัวยเดี่ยวสด และส่วนที่สองคือ การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเส้นกัวยเดี่ยวสด สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การหาความชื้นสมดุล ที่ช่วงอุณหภูมิ 40-60 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 11-87 % เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Henderson (1952) , Chung & Pfof (1967) และ Oswin (1946) พบว่า สมการในรูปแบบของ Chung & Pfof ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองและสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเส้นกัวยเดี่ยวได้ดีที่สุด โดยเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นสมดุลในเส้นกัวยเดี่ยวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นสมดุลในเส้นกัวยเดี่ยวมีค่าลดลง ซึ่งสมการ Chung & Pfof ที่ใช้ในการคำนวณหาความชื้นสมดุล มีดังนี้

$$\ln(RH) = (-36798.27 / RT_{abs}) \exp(-5.1526M_{eq})$$

5.1.2 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (อัตราส่วนความชื้นระหว่าง 0.4-1.0) สมการที่ใช้อธิบายอัตราการอบแห้ง คือ $MR = 1 - kt$ โดยค่า $k = 1.430 \times 10^{-2} + 7.761 \times 10^{-6} T + 1.055 \times 10^{-4} RH + 2.393 \times 10^{-6} (T \times RH)$

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (อัตราส่วนความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.4) สมการที่ใช้อธิบายอัตราการอบแห้ง คือ $MR = 0.4 e^{-kt}$ โดยค่า $k = -5.920 \times 10^{-2} + 3.480 \times 10^{-4} T + 1.935 \times 10^{-3} RH - 3.880 \times 10^{-5} (T \times RH)$

ความชื้นของเส้นกัวยเดี่ยวที่เวลา t ใดๆ (M_t) สามารถหาได้จาก

$$MR = (M_t - M_{eq}) / (M_i - M_{eq})$$

$$M_t = MR (M_i - M_{eq}) + M_{eq}$$

โดย MR คือ อัตราส่วนความชื้นของเส้นกัวยเดี่ยวซึ่งหาได้จากสมการที่ 4.4 และ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M_i คือ ความชันเริ่มต้นของเส้นกัวยเดี่ยว

M_{cu} คือ ความชันสมดุลของเส้นกัวยเดี่ยวซึ่งหาได้จากสมการที่ 4.2

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การทดลองหาความชันสมดุล การชั่งน้ำหนักตัวอย่างควรทำรวดเร็ว เพื่อเป็นการป้องกันให้ความชื้นสัมพัทธ์ในขวดทดลองคงที่มากที่สุด

5.2.2 ควรมีการพัฒนาปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเส้นกัวยเดี่ยวให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น และพัฒนาสำหรับทำนายอัตราของการอบแห้งเส้นกัวยเดี่ยวแบบหลายชั้นวางซ้อนกัน

5.2.3 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเส้นกัวยเดี่ยวนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งวัสดุอื่นๆ ที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 150 %db



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- คำนึ่ง วาทโยธา. การอบแห้งไขมันสำปะหลังด้วยไมโครเวฟและลมร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- มานิต สุขจินดาเสถียร, สมเกียรติ ปรีชญาวรากร และสมชาติ โสภณธณฤทธิ. 2537. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งต้นหอมลับ. เอกสารภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ยูพราช แดมใจ. 2546. การศึกษาหาพารามิเตอร์และการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งสตรอเบอร์รี่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร, ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- รติยา ชูพานิชยานนท์. 2547. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งถั่วเหลืองโดยเทคนิคฟลูอิดเบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วินิต จินนาพันธ์ ปวีณา ประดิษฐ์พงษ์ และรัตนา ม่วงรัตน์. การศึกษาอัตราการซอซอชันไอโซเทอมของแป้งข้าวหอมมะลิ 105. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศิวะ อัจฉริยวิริยะ. 2531. การศึกษาหาพารามิเตอร์และการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งมะละกอแช่เย็น. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. เทคโนโลยีพลังงาน. พลังงานและพืช. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.
- สิริลักษณ์ พรหม ประสิทธิ์. 2544. แบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งผลไม้แบบถาดหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมชาติ โสภณธณฤทธิ. 2540. การอบแห้งเมล็ดและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์ และวิไลพร นพรัตน์ไกรลาส. 2530. อุปกรณ์การศึกษาอัตราการอบแห้ง เมล็ดพืชและผลการทดสอบข้าวเปลือก. เอกสารหลังการประชุมวิชาการเรื่องเทคโนโลยีหลัง การเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อรุณี ผุดผ่อง, สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์ และวารุณี เตีย. 2533. การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับการ วิเคราะห์การอบแห้งเมล็ดข้าวโพด. วิศวกรรมสาร(4).
- อุบลวรรณ ชนะภัย. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งถั่วเหลือง เมล็ดเดี่ยวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีคุณภาพ. คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.
- Brunauer,S., Emmett,P.H., and Teller,E. 1938. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. J.American Chemistry Society, Vol. 60.
- Chen,C.S. and Johnson,W.H. 1969. Kinetics of Moisture Movement in Hygroscopic Material 1. Theoretical Consideration Of Drying Phenomena. Transactions of the ASAE, Vol. 12, No.4.
- Chung,D.S. and Pfof,H.B. 1967. Adsorption and Desorption of Water Vapor by Cereal Grain and their Product. Tran.ASAE 10.
- Henderson,S.M. 1952. A Basic Concept of Equilibrium Moisture. Agr. Eng. 33.
- Halsay,G. 1948. Physical adsorption on non-uniform surface. J.chem.Phy. 16.
- Iguaz A. ^a and P. Virseda ^b. Moisture desorption isotherms of rough rice at high Temperature. ^a Department of Food Engineering and Agricultural Equipment. Technical University of Catagena. Catagena, Spain. ^b Department of Applied Chemistry. Public University of Navarra. Pamplona, Spain.
- Luikov,A.V. 1966. Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Bodies. Pergamon Press. London.
- Oswin,G.R. 1946. The Kinetics of Package Life III The Isotherm. J.Chem.Ind.(London)65.
- Sabbah,M.A. 1968. Natural drying of shelled corn. M.S. Thesis in the field of Food Science. Purdue University.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S. Phoungchandang^a and J.L.Woods^b.2000. **Moisture diffusion and Desorption**

Isotherms for Banana.^a Food Engineering Section. Department of Food Technology.

Faculty of Technology. Khon Kaen University. Khon Kaen. Thailand.^b Heat and Mass Transfer Laboratory. Department of Agricultural and Environmental Science. University of Newcastle. Newcastle. United Kingdom.

Thompson, T.L., Pert, R.M. and Foste G.H. 1968. **Mathematical Simulation of Corn Drying – A New Model.** Transactions of The ASAE, Vol.11, No 4.

Westerman, P.W., White, G.M. and Ross, I.J. 1973. **Relative Humidity Effect on the High Temperature Drying of Shelled Corn.** Transactions of the ASAE, Vol. 16, No 5.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้