สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์หาพารามิเตอร์สำหรับการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบชั้นบาง

ANALYSIS OF PARAMETERS FOR RICE NOODLE THIN-LAYER DRYING

TO74850

จิติวัฒนา คำกลิ้ง

CHITIWATTANA KUMKLING

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

QW.
ก2166ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....74850.....
วัน,เดือน,ปี.....11 ต.ค. 2550.....

.b.....11829849.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF PARAMETERS FOR RICE NOODLE THIN-LAYER DRYING

CHITIWATTANA KUMKLING

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์หาพารามิเตอร์สำหรับการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบชั้นบาง

Analysis of Parameters for Rice Noodle Thin-Layer Drying

ชื่อนักศึกษา นายจิติวัฒนา คีวักลิ้ง

รหัสประจำตัว 45067017

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.กิตติชัย บรรจง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.รุจิรา	ตาปราบ	
ดร.กิตติชัย	บรรจง	
ผศ.ดร.พอใจ	ถามาคร	
ผศ.ดร.สุภาณี	ด่านวิริยะกุล	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 28 พฤษภาคม 2550 เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมนา D 213 อาคารเจ้าคุณทหาร

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่...๒๕...เดือน...มิถุนายน...พ.ศ...๒๕๕๐...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์หาพารามิเตอร์สำหรับการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบชั้นบาง
นักศึกษา	นายจิติวัฒนา คำกลิ้ง
รหัสประจำตัว	45067017
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พารามิเตอร์สำหรับการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว(หมี่โคราช) เพื่อจะนำไปสร้างแบบจำลองการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวต่อไป ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้งแบบชั้นบาง อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นประกอบด้วย พัดลมดูดอากาศ หน่วยเพิ่มความชื้น ขดลวดให้ความร้อน ชุดควบคุมอุณหภูมิ และถังอบแห้ง ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งได้ในช่วง 35-90 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.4-1.03 เมตร/วินาที และปรับเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง 21-87 % ขั้นตอนที่สอง เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ ถึงพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว ได้แก่ ความหนาแน่น ค่าความร้อนจำเพาะ ความชื้นสมดุล และอัตราการอบแห้ง เมื่อศึกษาความหนาแน่นของเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่าเมื่อความชื้นลดลงเส้นก๋วยเตี๋ยวจะมี ความหนาแน่น เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ในรูปสมการเชิงเส้น $\rho = 1.65 - 0.45M_d$ และพบว่าเมื่อเส้นก๋วยเตี๋ยวมีความชื้นมากขึ้นจะส่งผลให้มีค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้นตามไปด้วยโดยมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น อธิบายได้ในรูปสมการ $C_p = 17.070 + 0.620\ M_d$ ในการศึกษาความชื้นสมดุลของเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่า ความชื้นสมดุลมีความสัมพันธ์กับระดับความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการตามรูปแบบสมการของ Chung &Pfost คังสมการ $\ln RH = (-39707.12 / RT_{abs}) \exp(-0.059373M_{eq})$ เมื่อศึกษาอัตราการอบแห้งพบว่า อัตราการอบแห้งมีอิทธิพลจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แบบจำลองที่ทำนายอัตราการอบแห้งได้ดีอยู่ในรูปของสมการเอ็มไพริเคิล สมการที่ใช้อธิบายอัตราการอบแห้ง คือ $MR = e^{-kt}$ ซึ่งค่า k มีความสัมพันธ์กับ อุณหภูมิ (T) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ในรูปสมการ $k = 0.025646 - 0.030304\ RH + 0.0010255\ T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Analysis of Parameters for Rice Noodle Thin-layer Drying
Studemt	Mr. Chitiwattana Kamkling
Student ID.	45067017
Degree	Master of science
Program	Food Science
Year	2007
Thesis Advisor	Dr. Kittichai Banjong

ABSTRACT

The aim of this study was to determine and analyse the parameters for rice noodle drying. The first part was to design the thin-layer drying equipment. This equipment consisted of air blower, a humidifier, a heating wire, a temperature control and a drying unit. The operational conditions of this equipment were drying temperature range of 35-90 °c, air velocity between 0.4-1.03 m/s and relative humidity of 21-87 %. The second part was to analyse the drying parameters in order to predict the experimental equation. Those parameters were density, heat capacity, equilibrium moisture and drying rate. It was found that the density was increased when the moisture decreased. Their relations can be explained by the linear equation as $\rho = 1.65 - 0.45M_d$. The heat capacity was increased according to relative moisture and it can be explained by linear equation as $C_p = 17.070 + 0.620\ M_d$. The relationship between equilibrium moisture and relative humidity followed the equation of Chung & Pfost and it can be explained as $\ln RH = (-39707.12 / RT_{abs}) \exp(-0.059373M_{eq})$. The drying rate of rice noodle was influenced by the temperature and the relative humidity. The empirical equation showed the best prediction of drying rate that was $MR = e^{-kt}$. When k was the function of temperature and relative humidity which can be expressed by $k = 0.025646 - 0.030304\ RH + 0.0010255\ T$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ด้วยความเมตตา คำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ดร.กิตติชัย บรรจง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จิติวัฒนา คำกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....VII

สัญลักษณ์.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ขอบเขตการวิจัย.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 เส้นก๋วยเตี๋ยวและการผลิต.....3

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง.....4

2.3 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการอบแห้ง.....9

2.3.1 ความความชื้นสมดุล.....9

2.3.2 ความร้อนจำเพาะ.....11

2.3.3 ความหนาแน่น.....11

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....12

บทที่ 3 วิธีทดลอง.....15

3.1 การสร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง.....15

3.2 วัตถุดิบ.....22

3.3 อุปกรณ์การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ.....23

3.4 สารเคมี.....23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 วิธีการศึกษาพารามิเตอร์.....23
3.5.1 วิธีการเตรียมความชื้นเส้นก๋วยเตี๋ยวและวิธีการหาความชื้น.....23
3.5.2 วิธีการศึกษาความร้อนจำเพาะ.....24
3.5.3 วิธีการศึกษาความแน่น.....26
3.5.4 วิธีการศึกษาความชื้นสมดุล.....26
3.5.5 วิธีการศึกษาอัตราการอบแห้ง.....26
3.6 การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง.....27
3.6.1 สมการความชื้นสมดุล.....27
3.6.2 สมการอบแห้ง.....27

บทที่ 4 ผลและการวิจารณ์ผล.....28
4.1 การสร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง.....28
4.1.1 ผลการศึกษาความเร็วลม.....28
4.1.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....29
4.2 ผลการศึกษาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การอบแห้ง.....30
4.2.1 ความหนาแน่น.....30
4.2.2 ความร้อนจำเพาะ.....31
4.2.3 ความชื้นสมดุล.....33
4.2.4 อัตราการอบแห้ง.....35

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....44

บรรณานุกรม.....46

ภาคผนวก.....48

ประวัติผู้เขียน.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความชื้นสัมพัทธ์(%) เหนือสารละลายอิ่มตัวของเกลือบางอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ.....9

3.1 สถานะการทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง.....22

4.1 ความเร็วลมของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง.....28

4.2 ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง.....29

4.3 ค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ความชื้นต่างๆ.....32

4.4 ค่าความชื้นสมดุลของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ.....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงกรรมวิธีการทำผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว....4

3.1 โครงสร้างอุปกรณ์อบแห้งเมล็ดพืชชั้นบาง (TDPSU1)....15

3.2 พัดลมดูดอากาศ....17

3.3 ท่อลมร้อน....17

3.4 วาวล์ปรับความเร็วลมบริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าขวดลวดให้ความร้อน(V1)....18

3.5 วาวล์ปรับความเร็วลมบริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าหน่วยอบแห้ง (V2)....18

3.6 หน่วยเพิ่มความชื้น....18

3.7 ขดลวดให้ความร้อน....19

3.8 ชุดควบคุมอุณหภูมิ....19

3.9 ถังอบแห้ง....19

3.10 ตะแกรงกระจายลม....20

3.11 ตะแกรงทำแห้ง....20

3.12 เครื่องชั่งและการใช้....20

3.13 อุปกรณ์วัดความเร็วลม....21

3.14 อุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์....21

4.1 อุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง....30

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่น....31

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความร้อนจำเพาะ....32

4.4 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส....34

4.5 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส....34

4.6 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส....35

4.7 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 24 เปอร์เซ็นต์....36

4.8 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87 เปอร์เซ็นต์....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.9 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 22 เปอร์เซ็นต์....37
4.10 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87 เปอร์เซ็นต์....37
4.11 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 21 เปอร์เซ็นต์....38
4.12 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 86 เปอร์เซ็นต์....38
4.13 เปรียบเทียบสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40,50 และ 60 องศาเซลเซียส....39
4.14 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 24 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ....40
4.15 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ....40
4.16 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 22 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ....41
4.17 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ....41
4.18 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 21 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ....42
4.19 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 86 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

a,b	=	ค่าคงที่ของสมการ
c	=	ความร้อนจำเพาะ , kJ/kg $^{\circ}C$
C	=	ค่าคงที่
D	=	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ขึ้นอยู่กับความชื้นของวัสดุ
d	=	มวลของวัสดุแห้ง(ไม่มีความชื้น), kg
C_k	=	ความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์
c_w	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ มีค่าประมาณ 4187 J/kg-K
k	=	ค่าคงที่
M	=	ความชื้น ,เศษส่วนฐานแห้ง
M_{eq}	=	ความชื้นสมดุล, เศษส่วนฐานแห้ง
M_d	=	ความชื้นฐานแห้ง
M_{in}	=	ความชื้นเริ่มต้น, เศษส่วนฐานแห้ง
MR	=	อัตราส่วนความชื้น
m	=	มวล, kg
R	=	ค่าคงที่สากลของก๊าซ, kJ/kg mole K
RH	=	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
r	=	ระยะทางวัดจากจุดกึ่งกลางของวัสดุ
r_0	=	ความกว้างหรือรัศมี
T	=	อุณหภูมิ , $^{\circ}C$
T_1	=	อุณหภูมิแคลอรีมิเตอร์
T_2	=	อุณหภูมิของน้ำเดือด
T_{abs}	=	อุณหภูมิอบแห้ง, K
T_c	=	อุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์ก่อนทำการทดลอง
T_m	=	อุณหภูมิผสม
T_w	=	อุณหภูมิน้ำร้อน
t	=	เวลา , ชั่วโมง
V	=	ปริมาตร, m^3
w	=	มวลของวัสดุ , kg
ρ	=	ความหนาแน่น,kg/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์การอบแห้งก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก อันจะนำไปสู่การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว ซึ่งจะทำให้สามารถทำนายการอบแห้งและกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้จากสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

กระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ ส่วนใหญ่มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการไล่ความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ อัตราการระเหยของน้ำหรือความชื้นในผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วของอากาศร้อน และคุณสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์ เช่น สมดุลความชื้น ความหนาแน่น ค่าความร้อนจำเพาะ ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีความจำเพาะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ และมีผลต่อสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวเพื่อต้องการทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยเหล่านั้นต่อกระบวนอบแห้งผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว อันจะส่งผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์สภาวะที่ใช้อบแห้ง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษาพารามิเตอร์ใช้วัตถุดิบเส้นก๋วยเตี๋ยวจากโรงงานเส้นหมี่ภาณุเจริญ อำเภอขามสะแกแสง จังหวัดนครราชสีมา การศึกษาอัตราการอบแห้งใช้เครื่องอบแห้งแบบชั้นบางที่สร้างขึ้นซึ่งดัดแปลงจากอุปกรณ์ศึกษาอัตราการอบแห้งเมล็ดพืชแบบชั้นบางของ สุภวรรณ และคณะ (2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เส้นก๋วยเตี๋ยวและการผลิต

งามชื่น คงเสรี (2541) อธิบายไว้ว่าผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าว ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว มักใช้ปลายข้าวเป็นวัตถุดิบ ขบวนการเริ่มโดยการล้างข้าวให้สะอาด และแยกสิ่งสกปรกออก แล้วจึงแช่ข้าวให้อ่อนตัว ต่อมาจึงทำการโม่กับน้ำ เมื่อได้น้ำแป้งจึงปล่อยให้แป้งนอนก้นแล้วรินน้ำออกบางส่วน เพื่อให้ความเข้มข้นของแป้งพอเหมาะ แล้วจึงเกลี่ยน้ำแป้งให้มีความหนาพอเหมาะ และนึ่งด้วยไอน้ำ เมื่อแป้งสุกจะได้แผ่นก๋วยเตี๋ยวสด ก๋วยเตี๋ยวที่นิยมผลิตมี 3 ชนิด คือ

2.1.1. ก๋วยเตี๋ยวสด

ก๋วยเตี๋ยวสด เป็นก๋วยเตี๋ยวที่มีความชื้นประมาณ 62-64% ในขวนการผลิต เพื่อไม่ให้แผ่นก๋วยเตี๋ยวติดกัน จึงนิยมทาแผ่นก๋วยเตี๋ยวด้วยน้ำมัน เช่น น้ำมันปาล์ม จากนั้นจึงนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวสดมาหั่นเป็นเส้น ซึ่งอาจเป็นเส้นใหญ่มีขนาดกว้าง 1.5-2.5 เซนติเมตร หรือเส้นเล็ก ขนาด 0.4-0.5 เซนติเมตร เนื่องความชื้นสูง ก๋วยเตี๋ยวสดจึงมีอายุการเก็บเพียง 1-2 วัน

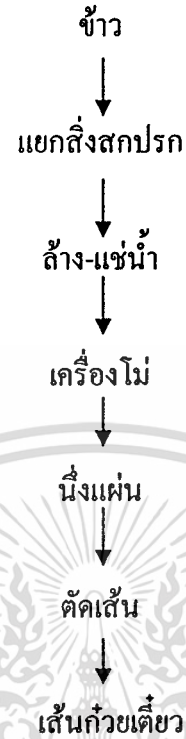
2.1.2 ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กกึ่งแห้ง

ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กกึ่งแห้ง เป็นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการนำเส้นสดมาผึ่งลม จนมีความชื้นประมาณ 37% แล้วจึงนำมาตัดเป็นเส้น ก๋วยเตี๋ยวชนิดนี้ โดยปกติจะเก็บได้ 1-2 วัน เช่นเดียวกับก๋วยเตี๋ยวสด

2.1.3. ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง

ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง เป็นก๋วยเตี๋ยวที่ทำให้แห้งด้วยการอบลมร้อนหลังจากตัดเป็นเส้นแล้ว ก๋วยเตี๋ยวชนิดนี้มีความชื้นประมาณ 13% หรือต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 แสดงกรรมวิธีการทำผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว

ที่มา : งามชื่น คงเสรี (2541)

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์(2540) กล่าวไว้ว่า การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้หลักการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยโดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย

2.2.1 อัตราการอบแห้ง

ในการอบแห้งวัสดุทั่วไปนั้น มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ ในขณะเดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุมายังกระแสอากาศ ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมากแล้ว อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นจะลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดลง

2.2.2 สมการอบแห้ง

สมการอบแห้ง คือสมการที่อาจเขียนขึ้นโดยใช้ทฤษฎีหรือผลการทดลอง หรือทั้งสองอย่างประกอบกันเพื่อนำมาใช้ทำนายอัตราการอบแห้งตลอดจนถึงผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์นั้นๆ ซึ่ง สุภวรรณ (2536) ได้กล่าวไว้ว่า ความสัมพันธ์ในเชิงคณิตศาสตร์ของตัวแปรการอบแห้งกับอัตราการอบแห้งจะแสดงในรูปสมการเรียกว่า **สมการอบแห้งแบบชั้นบาง** โดยได้มีการพัฒนาสมการอบแห้งแบบชั้นบางหลายสมการ เพื่ออธิบายอัตราการอบแห้งแบบชั้นบาง ซึ่งสามารถแบ่งเป็นสมการอบแห้งทางทฤษฎี สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี และสมการอบแห้งเอ็มไพริเดิล

2.2.2.1 สมการอบแห้งทางทฤษฎี

สุภวรรณและคณะ (2536) กล่าวไว้ว่าได้มีผู้นำหลักการทางทฤษฎีหลายทฤษฎีมาอธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุที่อาจเกิดขึ้นในแบบต่างๆดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจาก capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (surface force)
2. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น(liquid diffusion)
3. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจากการแพร่ของความชื้นผิวของรูพรุนเล็กๆ (surface diffusion)
4. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (vapor diffusion)
5. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (thermal diffusion)
6. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวและไอน้ำเนื่องจากความแตกของความดันรวม (hydrodynamic flow)

ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุโดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเหลวที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น อาจเขียนในรูปสมการ

$$\partial M / \partial t = \nabla 2DM \qquad (2.1)$$

เมื่อ

M คือ ความชื้น ,เศษส่วนฐานแห้ง

D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ขึ้นอยู่กับความชื้นของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T คือ เวลา , ชั่วโมง

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สามารถทำการทดลองหาค่าออกมาได้ และอาจเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$D = A \exp(-B/T_{abs}) \qquad (2.2)$$

เมื่อ

A,B คือ ค่าคงที่ของสมการ

T_{abs} คือ อุณหภูมิเคลวิน

จากสมการที่ (1) สภาวะขอบเขตและสภาวะเริ่มต้นที่ใช้แก้สมการ คือ

สภาวะเริ่มต้น $M(r, 0) = M_{in}$

สภาวะขอบเขต $M(r_0, t) = M_{eq}$

เมื่อ

r คือ ระยะทางวัดจากจุดกึ่งกลางของวัสดุ

r_0 คือ ความกว้างหรือรัศมี

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, เศษส่วนฐานแห้ง

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, เศษส่วนฐานแห้ง

และกำหนดให้

$$MR = (M - M_{eq})/(M_{in} - M_{eq}) \qquad (2.3)$$

จากวิธีเชิงวิเคราะห์ ได้คำตอบสำหรับการเคลื่อนที่ความชื้นภายในวัสดุรูปทรงต่างๆ ดังนี้

รูปทรงแผ่นแบนราบกว้างและยาวมาก

$$MR = (8/\pi^2) \sum_{P=0}^{\infty} [1/(2p+1)^2] \exp[-(2p+1)^2 \pi^2 X^2/4] \qquad (2.4)$$

รูปทรงกลม

$$MR = (6/\pi^2) \sum_{P=0}^{\infty} (1/p^2) \exp(-p^2 \pi^2 X^2/9) \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทรงลูกบาศก์

$$MR = (8/\pi^2)^3[\exp(-3\pi^2 Dt/I^2)+(3/9)\exp(-11\pi^2 XDt^2/I^2) +(3/25)\exp(-27\pi^2 XDt^2/I^2)] \quad (2.6)$$

รูปทรงกระบองยาวมาก

$$MR = \sum_{P=0}^{\infty} (4/\lambda_n^2) \exp(-\lambda_n^2 X^2/4) \quad (2.7)$$

เมื่อ

X	=	$A/V(Dt)^{1/2}$
	=	ระยะทางเฉพาะ
A	คือ	พื้นที่ผิว
V	คือ	ปริมาตร
P	คือ	จำนวนเต็มมีค่า 1,2,3.....
λ_n	คือ	รากของเบสเซลฟังก์ชั่นอันดับที่ศูนย์

2.2.2.2 สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี

ในการนำสมการทางทฤษฎีที่ประกอบด้วยเทอมไม่สิ้นสุดมาใช้งาน นิยมทำให้ง่ายขึ้น โดยตัดเทอมหลังทิ้ง

จากสมการที่ (4) ถ้าคงไว้พียงเทอมแรกจะได้

$$MR = (6/\pi^2) \exp(-D\pi^2 X^2 t/r_0)$$

หรือ

$$MR = (6/\pi^2) \exp(-kt) \quad (2.8)$$

เมื่อ

r_0	=	รัศมีของทรงกลม , m
k	=	ตัวคงที่ของการอบแห้ง , $(s)^{-1}$

สมการที่ (4) และ (7) จะให้ค่าใกล้กันมากเมื่อเวลาการอบแห้งมีค่ามาก และค่าความแตกต่างจะน้อยกว่า 5% ถ้าอัตราส่วน $D\pi^2 t/r_0$ มีค่ามากกว่า 1.2 สามารถสร้างแบบจำลองการอบแห้งง่ายๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการสมมุติว่าอัตราการอบแห้งภายใต้สภาวะคงที่แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของความชื้นของเมล็ดพืชและความชื้นสมดุล ข้อสมมุติฐานดังกล่าวคล้ายกับกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton s law of cooling) เมื่อเขียนในรูปสมการอบแห้งจะได้ดังนี้

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

เมื่อ

k คือ ตัวคงที่ของการอบแห้ง , $(s)^{-1}$

สภาวะเริ่มต้น $M(0) = M_{in}$

สภาวะขอบเขต $M(t) = M_{eq}$

คำตอบสมการ (8) คือ

$$MR = \exp(-kt) \qquad (2.10)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D) และค่าคงที่อบแห้ง (k) เป็นค่าคงที่จากสมการแต่ละสมการดังกล่าว ซึ่งจะเป็นคุณสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ภายในช่วงสภาวะอากาศอบแห้งที่ทำการทดลองเท่านั้น ความสัมพันธ์ของค่าคงที่อบแห้งนี้มักนิยมใช้ สมการแบบอาริเนียสเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ดังต่อไปนี้

$$k = a \exp(-b/T_{abs}) \qquad (2.11)$$

เมื่อ

a และ b คือ ค่าคงที่ของสมการซึ่งขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์

k = ค่าคงที่อบแห้ง , $(s)^{-1}$

T_{abs} = อุณหภูมิอบแห้ง, K

2.2.2.3 สมการอบแห้งเอ็มไพริคเคิล

สมการเอ็มไพริคเคิล คือ สมการที่สร้างจากข้อมูลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิ ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศอบแห้งหนึ่งๆ พบว่า สามารถใช้ทำนายอัตราการอบแห้งได้ดี แต่มีข้อจำกัดในเรื่องเงื่อนไขการอบแห้งที่ต้องการต้องตรงกับสภาวะการทดลอง ซึ่งนอกจากจะใช้ในการทำนายการอบแห้งในช่วงสภาวะที่ทำการทดลองแล้ว สมการเอ็มไพริเคิลยังคงเป็นสมการที่นำไปใช้เป็นแบบจำลองในการออกแบบเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่ ที่ช่วงสภาวะการอบแห้งเดียวกันได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการอบแห้ง

2.3.1 ความชื้นสมดุล

ความชื้นสมดุลของวัสดุมีความสำคัญต่อการศึกษากระบวนการอบแห้ง เพราะเมื่อทำการอบแห้งวัสดุโดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนถึงจุดหนึ่งซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะนั้นความชื้นในวัสดุมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบๆด้วย ความชื้นในขณะนั้นเรียกว่า ความชื้นสมดุล ค่าความชื้นสมดุลขึ้นกับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุล และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่า เส้นสมดุลความชื้นไอไซเทอม(Equilibrium moisture isotherm)

การหาความชื้นสมดุลของวัสดุมีหลายวิธี ส่วนใหญ่ได้มาจากการทำให้เกิดสมดุล ระหว่างความดันไอและอุณหภูมิของวัสดุและของอากาศแวดล้อม โดยการปล่อยให้วัสดุนั้นสัมผัสกับอากาศแวดล้อมที่สภาวะคงที่เป็นเวลานานพอ ถ้าอากาศไม่เคลื่อนไหวเรียกว่าวิธีเชิงสถิต ถ้ามีการไหลของอากาศแวดล้อมเรียกว่าวิธีเชิงจลน์ วิธีเชิงจลน์มีข้อดี คือ วัสดุและอากาศแวดล้อมจะเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าวิธีเชิงสถิตทำให้เหมาะกับวัสดุที่มีความชื้นสูง ซึ่งถ้าปล่อยไว้นานเกินไปวัสดุนั้นอาจเกิดการเสียหายโดยเชื้อราทำให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาดไป สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอาจควบคุมได้โดยการใช้สารละลายอิ่มตัวของเกลือดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ความชื้นสัมพัทธ์(%) เหนือสารละลายอิ่มตัวของเกลือบางอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ ^{o}C	LiCL	$MgCl_2.6H_2O$	$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	NaCl	$(NH_4)_2SO_4$	KNO_3	K_2SO_4
10.0	13.3	34.2	57.8	75.4	81.8	95.5	97.9
32.2	11.9	32.6	51.9	75.6	80.0	90.0	96.5
48.9	11.5	31.6	47.3	74.8	79.1	85.3	95.8
68.3	11.1	30.3	42.2	73.2	78.0	78.0	95.0

ที่มา : สมชาติ โสภณรณฤทธิ์(2540)

วัสดุอาจเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ 2 วิธี คือ โดยการคายความชื้น (desorption) ให้อากาศโดยรอบหรือโดยการดูดซับความชื้น (adsorption) จากอากาศที่สภาวะอากาศคงที่อันเดียวกันความชื้นสมดุลในกรณีแรกจะมีค่าสูงกว่าของกรณีหลังเล็กน้อย ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเรียกว่า hysterresis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล ได้มีผู้สนใจและนำเอาทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความชื้นสมดุลของวัสดุหลายชนิดอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสมการทางทฤษฎีมักจะไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์นั้นได้อย่างถูกต้องตลอดช่วงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ สมการกึ่งทฤษฎีและสมการเอ็มไพริคเดิลที่สร้างขึ้นจากผลการทดลองมักให้ความถูกต้องมากกว่า สมการที่เป็นที่นิยมใช้มีตัวอย่างดังนี้

สมการของ Chung and Pfost (1967)

$$\ln RH = (-a / RT_{abs}) \exp(-bM_{eq}) \qquad (2.12)$$

โดยที่ RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

R คือ ค่าคงที่สากลของก๊าซ, kJ/kg mole K

T_{abs} คือ อุณหภูมิ, K

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, เศษส่วนฐานแห้ง

a และ b คือ ค่าคงที่

สมการของ Henderson (1952)

$$1 - RH = \exp\left[-a(1.8T+491.7)(100M_{eq})^{B}\right] \qquad (2.13)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ, ^{o}K

สมการดัดแปลงจากสมการของ Henderson โดย Pfost et al. (1976)

$$1 - RH = \exp\left[-a(T+A)(100\, M_{eq})^{B}\right] \qquad (2.14)$$

เมื่อ a คือ ค่าคงที่

สมการของ Halsey (1948,1952)

$$RH = \exp\left[(-a / RT)M\, M_{eq}{}^{B}\right] \qquad (2.15)$$

สมการของ Oswin (1964)

$$M_{eq} = a\left[(RH /1- RH)\right]^{n} \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ความร้อนจำเพาะ

ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศา ที่ความดันหรือปริมาตรคงที่ ความร้อนจำเพาะมีหน่วยเป็น kJ/kg K ค่าความร้อนจำเพาะในผลิตภัณฑ์อาหาร มักขึ้นอยู่กับความชื้นของอาหาร

ในการทดลองหาความร้อนจำเพาะโดยวิธีของผสม จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า แคลอรีมิเตอร์ ทำด้วยกระป๋องทองแดงหุ้มด้วยฉนวนอย่างดี ด้านบนเสียบด้วยเทอร์โมมิเตอร์พร้อมแท่งเหล็กกวน โดยมากจะใช้น้ำเป็นตัวผสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการหาความร้อนจำเพาะซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลความร้อนของความร้อนที่สูญหายของน้ำ ความร้อนได้รับของแคลอรีมิเตอร์ และความร้อนได้รับของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง โดยมีสมมุติฐานว่าอุณหภูมิสมดุลของแคลอรีมิเตอร์เท่ากับอุณหภูมิสมดุลของน้ำ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m_c c_c(T_c-T_e)\ m_p c_p(T_p-T_e)+ m_w c_w(T_w-T_e) = 0 \qquad (2.17)$$

$$c_p = \left[- m_c c_c(T_c-T_e) - m_w c_w(T_w-T_e)\right] / \ m_p(T_p-T_e) \qquad (2.18)$$

เมื่อ c คือ ความร้อนจำเพาะ , kJ/kg $^{\circ}$C

m คือ มวล, kg

T คือ อุณหภูมิ , $^{\circ}$C

สัญลักษณ์กำกับล่าง c,p และ w หมายถึง แคลอรีมิเตอร์ ผลิตภัณฑ์ และ น้ำตามลำดับ ส่วน e คือสภาวะสมดุลของของผสม

2.3.3 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Mass Density) หมายถึง อัตราส่วนโดยมวลของวัสดุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้น เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\rho = m / V \qquad (2.19)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น,kg/m^3

m คือ มวลของผลิตภัณฑ์,kg

V คือ ปริมาตร, m^3

เนื่องจากโมเลกุลของสารจะมีมวลคงที่ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะใดก็ตาม ดังนั้นความหนาแน่นจึงเป็นสัดส่วนกับจำนวนโมเลกุลของสารนั้นในหนึ่งหน่วยปริมาตร

ความหนาแน่นแบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือ ความหนาแน่นจริง และความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นจริง หมายถึง อัตราส่วนของมวลวัสดุต่อปริมาตรของวัสดุ ส่วนความหนาแน่นปรากฏ (bluk density) มักใช้กับวัสดุเม็ดซึ่งกองรวมกันอยู่เป็นปริมาณมากและหมายถึงอัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของมวลต่อปริมาตรทั้งหมดซึ่งรวมปริมาตรของเม็ดวัสดุและปริมาตรของอากาศแทรกตัวอยู่ตามช่องว่าง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มารีนา นุ้ยหมีม และคณะ (2536) ศึกษาแนวทางการอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการทดลองอบแห้งในตู้อบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง จากการเปรียบเทียบผลการทดลองและจากแบบจำลอง พบว่าอัตราการอบแห้งจากการคำนวณใกล้เคียงกับอัตราจากการทดลอง จากการหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับผลการทดลอง โดยพิจารณาจากคุณภาพ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองหลังงาน พบว่าสภาวะที่อบแห้งควรมีอุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ 11 กิโลกรัมอากาศแห้ง/ชั่งโมง-กิโลกรัมสับปะรดแห้งและสัดส่วนการนำเอาอากาศที่ใช้อบแห้งแล้วมาใช้ใหม่ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ

สุขฤดี นาถกรณกุล และศิรินุช จินดารักษ์(2540) ทำการศึกษาหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในวิเคราะห์การอบแห้งมะม่วงแช่อิ่ม พารามิเตอร์ดังกล่าวได้แก่ ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความชื้นสมดุล และอัตราการอบแห้ง โดยทำการทดลองที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ แล้ววิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับอธิบายพารามิเตอร์เหล่านั้น จากการทดลองพบว่าเมื่อความชื้นของมะม่วงแช่อิ่มลดลงค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นลักษณะเชิงเส้น ส่วนความร้อนจำเพาะของมะม่วงแช่อิ่มจะเพิ่มสูงขึ้นตามความชื้นในลักษณะเชิงเส้น เมื่อทำการทดลองหาความชื้นสมดุลของมะม่วงแช่อิ่มในช่วงอุณหภูมิ 41, 51, และ 68 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ช่วง 11.1-87.4% พบว่าสมการความชื้นสมดุลของ Chung and Pfost และ Halsey สามารถทำนายความชื้นสมดุลของมะม่วงแช่อิ่มได้ดี ขณะที่สมการความชื้นสมดุลของ Henderson ใช้ทำนายความชื้นสมดุลได้ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 10-50% สำหรับสมการความชื้นสมดุลของ Modified Henderson ใช้อธิบายได้เฉพาะช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 30-50% ที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อทดสอบอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40,50, 60,70, และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 และ 4 เมตร/วินาที พบว่าอุณหภูมิมีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้ง และแบบจำลองที่ทำนายอัตราการอบแห้งได้ดีอยู่ในรูปของสมการโพลีโนเมียล

สุภวรรณ ฎิระวณิชยญกุล และคณะ(2536) ทำการศึกษาอุปกรณ์ศึกษาอัตราการอบแห้งเมล็ดพืชชั้นบาง จากผลการศึกษา อุปกรณ์อบแห้งเมล็ดพืชชั้นบางที่ได้สร้างขึ้นสามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศร้อนได้ในช่วง 1.0-2.0 m/s และสามารถควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนที่อบแห้งได้ในช่วง35-75 องศาเซลเซียส วิธีการควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมของอากาศร้อนให้เข้าสู่สภาวะคงตัวสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี การปรับลิ้นเสื้อ V1,V2,V3 และ V4 กระทำได้ขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดำเนินการทดลองอยู่ การควบคุมอุณหภูมิของขวดลวดทำความร้อนใช้วงจรอิเลคทรอนิค เป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขวดลวดความร้อนซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้

อารี เทียนไชย และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์(2534)ทำการศึกษาหาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่ม พบว่า จากการทดลองหาความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิระหว่าง 50-70 องศาเซลเซียส และความชื้นสมพัทธ์ 10-80 % โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นสมดุลจะลดต่ำลงในช่วงความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 35% แต่มีค่าสูงขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 45% และจากการเลือกรูปแบบสมการสำหรับอธิบายผลการทดลองความชื้นสมดุลจาก 6 รูปแบบสมการของ Iglesias & Chirife (1987) สามารถใช้ได้ดี และสมการการแพร่ความชื้นสามารถอธิบายผลการทดลองได้ดี ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่มีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียล เมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น และความเร็วลมร้อนในการอบแห้งไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งสับปะรดแช่อิ่ม อยู่ในช่วง 55-65 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น เมื่อความชื้นของสับปะรดแช่อิ่มเพิ่มขึ้น

S. Kaleemullah และ R. Kailappan ได้ศึกษาแบบจำลองจลนศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบางของพริกแดง โดยอบแห้งพริกแดงที่อุณหภูมิ50-65องศาเซลเซียส เพื่อให้มีความชื้นสุดท้ายที่ 10.5% (ฐานแห้ง) เวลาที่ใช้ในการอบ26, 20, 16 และ 13 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้อบ 50, 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส โดยชั้นความหนาของพริกที่อบเฉลี่ยที่ 1.6 เซนติเมตร ความเร็วลม 0.4 เมตรต่อวินาที พบว่าการอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสให้ผลการทดลองดีที่สุด โดยพิจารณาจากปริมาณ capsaicin และสี

Somboon Wetchacama และคณะ(2000) ได้ทำการศึกษาหาพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการทำแห้งมะม่วงแช่อิ่มได้แก่ สัมประสิทธิ์การแพร่ ความชื้นสมดุล ความร้นจำเพาะ และความหนาแน่นของมะม่วงแช่อิ่ม การหาความชื้นสมดุล ศึกษาที่อุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 10-90 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว และตู้อบความร้อน จากการศึกษาพบว่าความชื้นสมดุลลดลงเมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสมการ BET สามารถใช้อธิบายผลการทดลองได้ดี สัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของมะม่วงแช่อิ่ม ลดลงและเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้น ตามลำดับ

Tadao Inazu และคณะ (2003) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อระยะเวลาในการทำแห้งเส้นหมี่ญี่ปุ่น (อูด้ง) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 20,30 และ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 3 ระดับ คือ 60,70 และ 80 % กำหนดให้ความเร็วลมในการทำแห้งคงที่ จากการศึกษาพบว่ากระจายตัวของความชื้นที่พบในแบบจำลองเกิดจากสาเหตุทั้งความต้านทานการถ่ายเทมวลภายในและความต้านทานการถ่ายเทมวลภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นสัมพัทธ์มีผลกระทบต่ออัตราการทำแห้งน้อยกว่าอุณหภูมิที่ใช้ แต่ก็เป็นสิ่งที่ไม่ควรละเลย สมการที่พัฒนาจากสมการแบบ Arrhenius เป็นสมการที่ใช้ได้ดีในการคำนวณหาความชื้นสมดุล

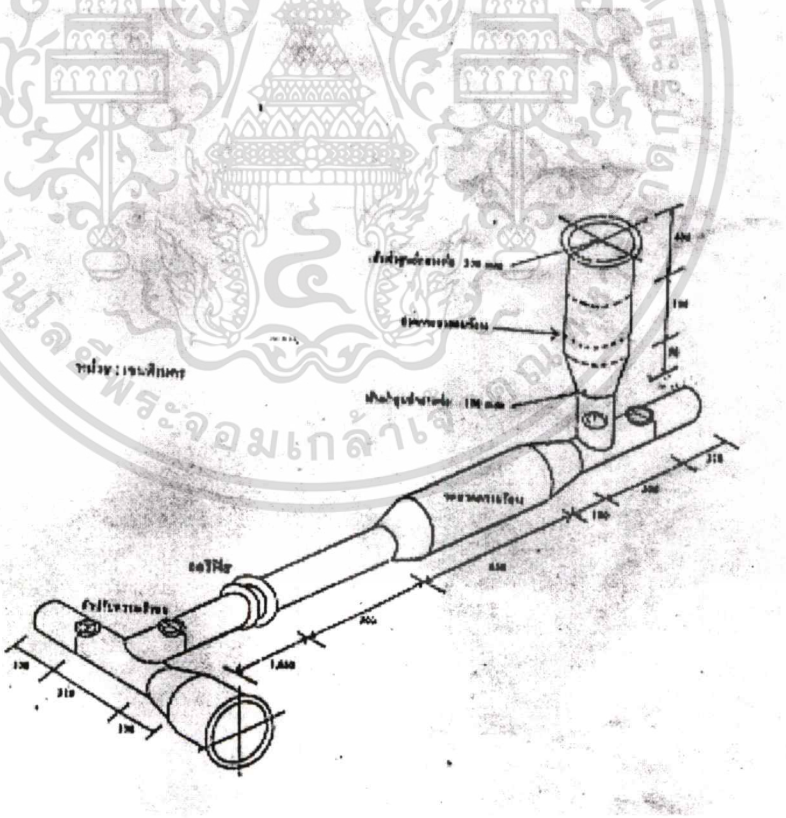
Tadao Inazu และคณะ(2003) ได้ศึกษาผลกระทบของความเร็วลมที่มีต่อการทำแห้งเส้นหมี่ญี่ปุ่นสด (อูด้ง) โดยทำการศึกษาที่ระดับของความเร็วลมที่ 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.88 และ 3.00 เมตร/วินาที กำหนดสภาวะในการศึกษาที่อุณหภูมิคงที่ที่ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 70 % จากการศึกษาพบว่า อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเร็วลมเพิ่มขึ้น กระจายตัวของความชื้นที่พบในแบบจำลอง เกิดจากความต้านทานการถ่ายเทมวลภายใน และความต้านทานการถ่ายเทมวลภายนอกเป็นสาเหตุ ผลกระทบจากความเร็วลมต่อการกระจายตัวของความชื้นพบว่าไม่มีอิทธิพลเมื่อระดับความเร็วลมมากกว่า 2 เมตร/วินาทีในระยะเริ่มต้นของการทำแห้ง และ 1 เมตร/วินาที ในระยะกลางของการทำแห้ง ตามลำดับ ความเหมาะสมในการใช้ความเร็วลมในการทำแห้งให้พิจารณาจากความเหมาะสมทางเศรษฐกิจเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีทดลอง

3.1 การสร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง

ในกระบวนการทำแห้ง ไม่ว่าจะโดยกระบวนการทางธรรมชาติหรือการอาศัยเครื่องกลเข้าช่วยปัจจัยหลักๆที่มีผลต่อการทำแห้งได้แก่ อุณหภูมิ ความสามารถในการรับไอน้ำของบรรยากาศ และความเร็วลม ดังนั้นการสร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้งในงานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดมุ่งเน้นให้อุปกรณ์สามารถปรับค่าและควบคุมปัจจัยหลักดังกล่าวได้ เพื่อให้สามารถศึกษาถึงผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ต่ออัตราการอบแห้ง อุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง สร้างขึ้นโดยดัดแปลงจากอุปกรณ์อบแห้งเมล็ดพืชแบบชั้นบาง(TDPSU1) ของ สุภวรรณและคณะ(2536) ซึ่งประกอบด้วย พัดลมดูดอากาศ ท่อลม วาล์วปรับความเร็วลม หน่วยเพิ่มความชื้น ขวดลวดให้ความร้อน ชุดควบคุมอุณหภูมิ และถังอบแห้ง



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างอุปกรณ์อบแห้งเมล็ดพืชชั้นบาง (TDPSU1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ในการสร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง

3.1.1.1 พัดลมดูดอากาศ

ใช้พัดลมดูดอากาศ ชนิดหอยโข่ง ขนาดมอเตอร์ 0.5 แรงม้า ใช้กระแสไฟฟ้า 220 โวต์ ติดตั้งกับพื้น ตั้งฉากกับท่อลม (ภาพที่ 3.2)

3.1.1.2 ท่อลม

ท่อลมทำจากเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว เชื่อมต่อระหว่างพัดลมดูดอากาศ หน่วยเพิ่มความชื้น ขวดลวดให้ความร้อน และถังอบแห้ง ท่อลมและอุปกรณ์ต่างๆ เชื่อมด้วยข้อต่อแบบเกลียวใน (ภาพที่ 3.3)

3.1.1.3 วาล์วปรับความเร็วลม

วาล์วปรับความเร็วลมใช้แผ่นเหล็กรูปร่างกลมเชื่อมติดกับแกนเหล็กเจาะติดตั้งภายในท่อลมลักษณะตั้งฉากขวางทิศทางลม ติดตั้ง 2 จุด บริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าขวดลวดให้ความร้อน(V1) (ภาพที่ 3.4) และท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าหน่วยอบแห้ง(V2) (ภาพที่ 3.5)

3.1.1.4 หน่วยเพิ่มความชื้น

หน่วยเพิ่มความชื้น ใช้หลักการเพิ่มปริมาณไอน้ำก่อนเข้าสู่บริเวณขวดลวดให้ความร้อน เพื่อแทนสภาพความชื้นในอากาศในช่วงฤดูที่แตกต่างกัน ดัดแปลงโดยใช้ครื่องสร้างหมอกเป็นตัวเพิ่มปริมาณไอน้ำ (ภาพที่ 3.6)

3.1.1.5 ขวดลวดให้ความร้อน

ขวดลวดให้ความร้อนเป็นชนิดคอยล์ร้อนโดยติดตั้งขวดลวดภายในท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความยาวท่อ 40 เซนติเมตร ขวดลวดมีกำลัง 5000 วัตต์ (ภาพที่ 3.7)

3.1.1.6 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

ชุดควบคุมอุณหภูมิประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์และชิ้นส่วนอิเลคทรอนิคซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้ ชุดปรับค่ากระแสไฟฟ้า ชุดควบคุมอุณหภูมิพร้อมหัววัดและ แม็คเนติคสวิทช์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดให้ความร้อน (ภาพที่ 3.8)

3.1.1.7 ถังอบแห้ง

ถังอบแห้ง (ภาพที่ 3.9)สร้างขึ้นจากสังกะสี รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วย ตะแกรงสองชั้น ชั้นแรกใส่ลูกแก้ว เพื่อใช้เป็นตัวกระจายกระแสลมร้อนที่ผ่านขึ้นมาจากท่อลมร้อนด้านล่าง (ภาพที่ 3.10) ตะแกรงชั้นที่สองใช้สำหรับวางชิ้นวัสดุเพื่อทำแห้ง (ภาพที่ 3.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.1.1.8 เครื่องชั่ง

เครื่องชั่งอิเลคทรอนิค ติดตั้งบนโครงเหล็กเหนือถังอบแห้ง เพื่อใช้ชั่งน้ำหนักวัสดุในขณะอบแห้ง (ภาพที่ 3.12)

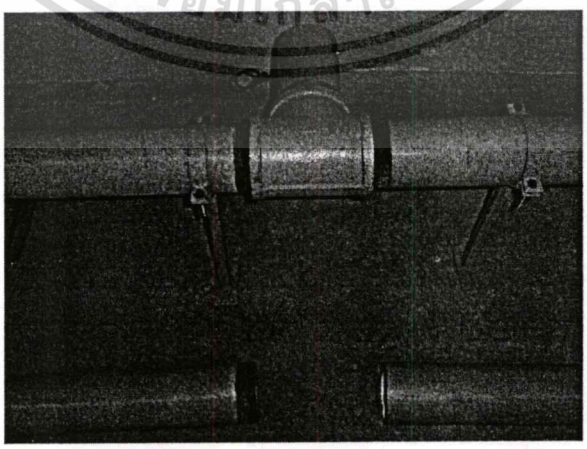
3.1.1.9 อุปกรณ์วัดความเร็วลม

อุปกรณ์วัดความเร็วลมแบบใบพัดขนาดเล็กยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-45 ใช้วัดความเร็วลม ในการปรับสภาวะการอบแห้ง (ภาพที่ 3.13)

3.1.1.10 อุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์

อุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์แบบอิเลคทรอนิค ยี่ห้อ DIGICON รุ่น TH-03 ใช้วัดความชื้นสัมพัทธ์ในขณะทำการอบแห้ง (ภาพที่ 3.14)

ภาพที่ 3.2 พัดลมดูดอากาศ



ภาพที่ 3.3 ท่อลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
74850

3.1.1.8 เครื่องชั่ง

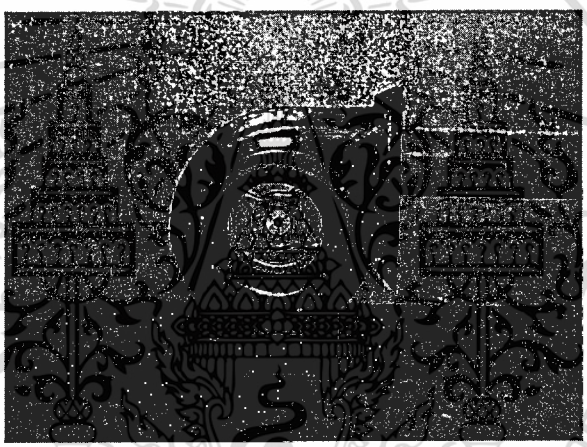
เครื่องชั่งอิเลคทรอนิค ติดตั้งบนโครงเหล็กเหนือถังอบแห้ง เพื่อใช้ชั่งน้ำหนักวัสดุในขณะอบแห้ง (ภาพที่ 3.12)

3.1.1.9 อุปกรณ์วัดความเร็วลม

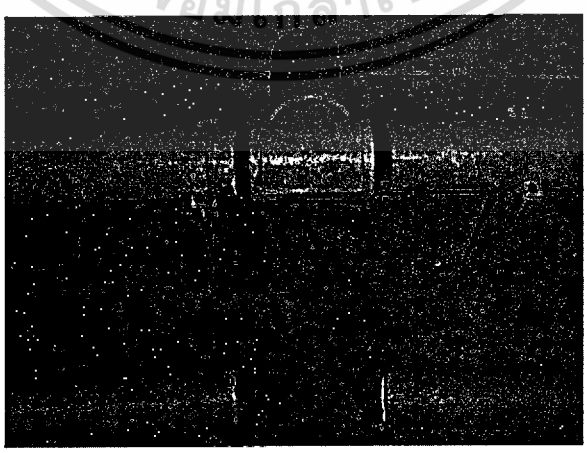
อุปกรณ์วัดความเร็วลมแบบใบพัดขนาดเล็กยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-45 ใช้วัดความเร็วลม ในการปรับสภาวะการอบแห้ง (ภาพที่ 3.13)

3.1.1.10 อุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์

อุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์แบบอิเลคทรอนิค ยี่ห้อ DIGICON รุ่น TH-03 ใช้วัดความชื้นสัมพัทธ์ในขณะทำการอบแห้ง (ภาพที่ 3.14)

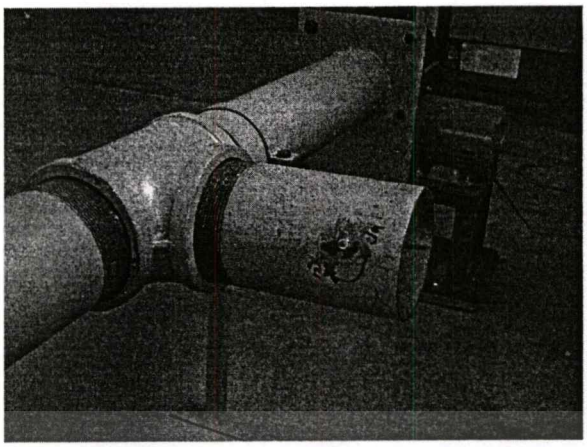


ภาพที่ 3.2 พัดลมดูดอากาศ

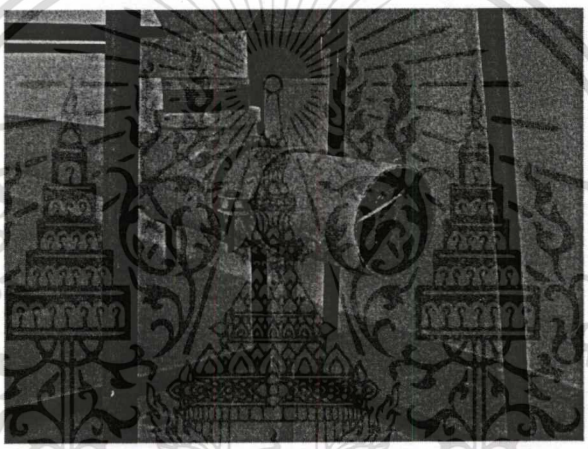


ภาพที่ 3.3 ท่อลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
74850



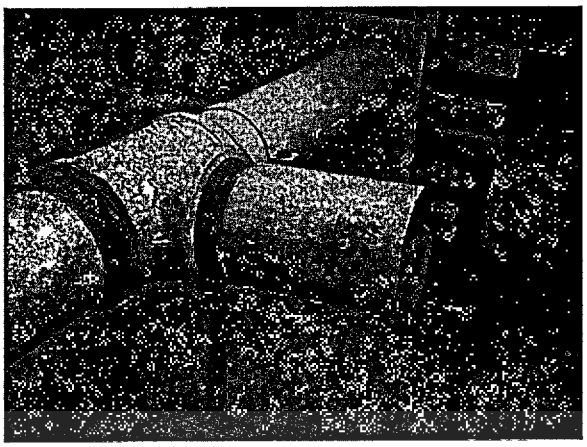
ภาพที่ 3.4 วาล์วปรับความเร็วลมบริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าขวดลวดให้ความร้อน(V1)



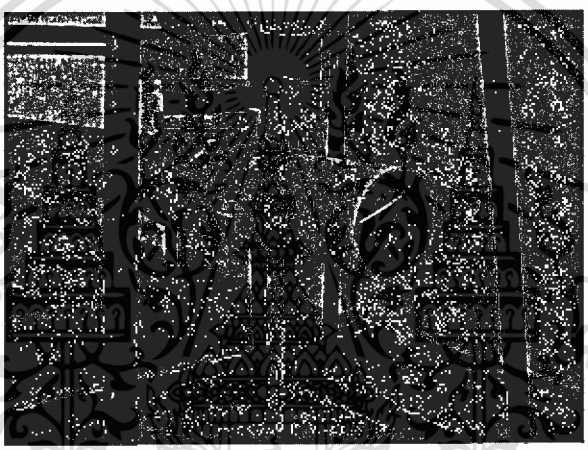
ภาพที่ 3.5 วาล์วปรับความเร็วลมบริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าหน่วยอบแห้ง (V2)

ภาพที่ 3.6 หน่วยเพิ่มความชื้น

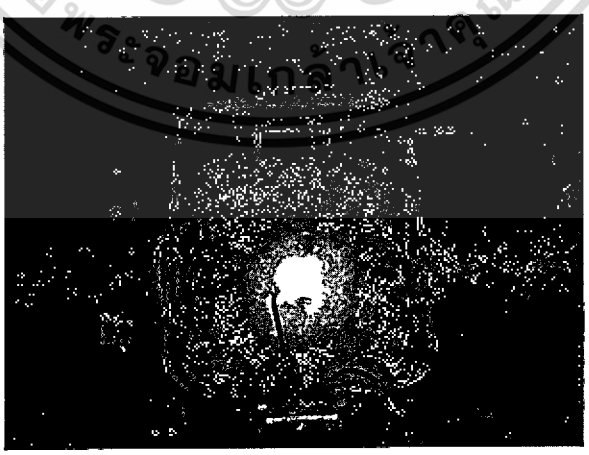
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 วาล์วปรับความเร็วลมบริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าขวดลวดให้ความร้อน(V1)

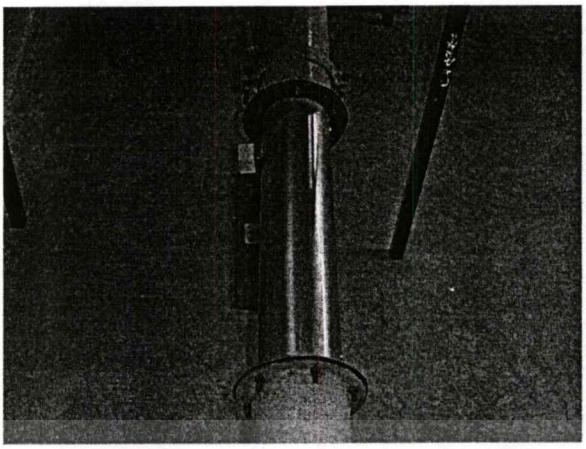


ภาพที่ 3.5 วาล์วปรับความเร็วลมบริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าหน่วยอบแห้ง (V2)

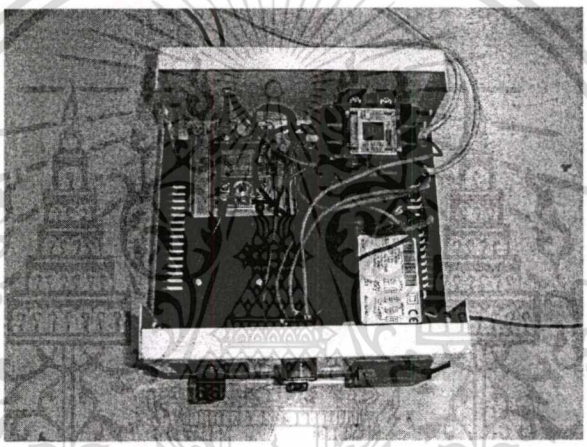


ภาพที่ 3.6 หน่วยเพิ่มความชื้น

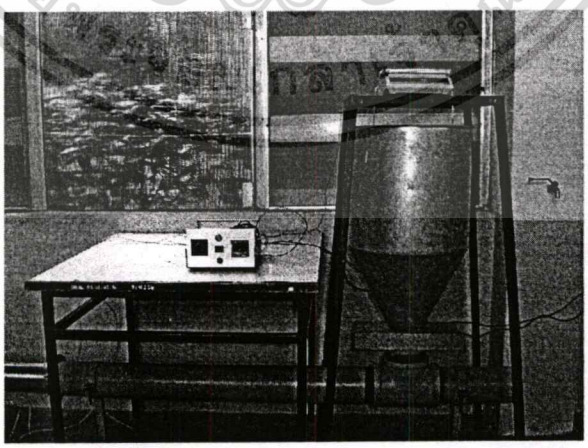
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 ขดลวดให้ความร้อน

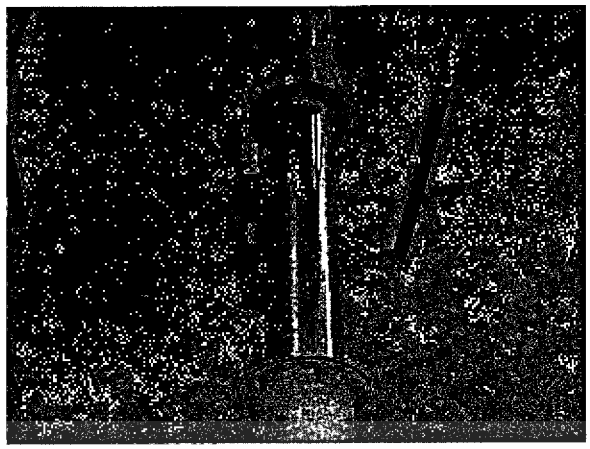


ภาพที่ 3.8 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

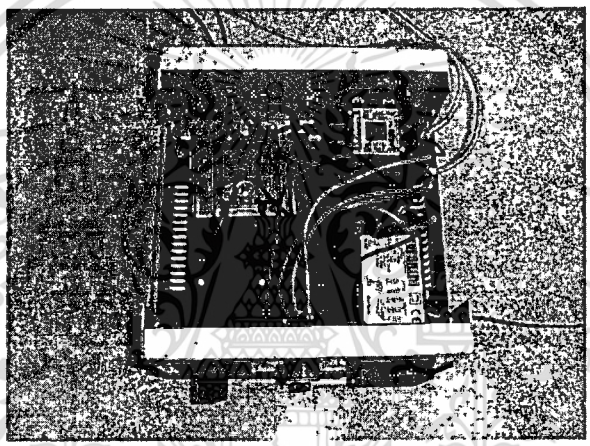


ภาพที่ 3.9 ถังอบแห้ง

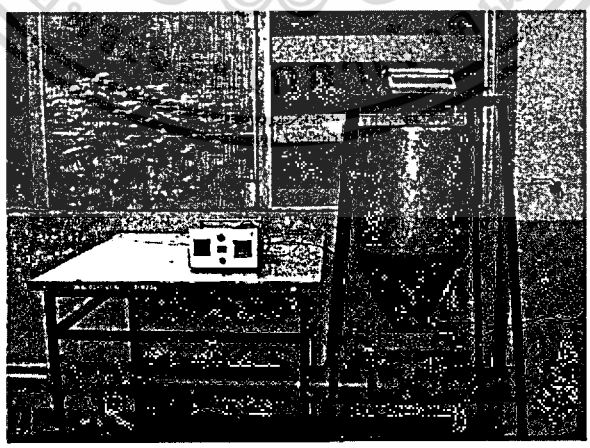
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 ขดลวดให้ความร้อน

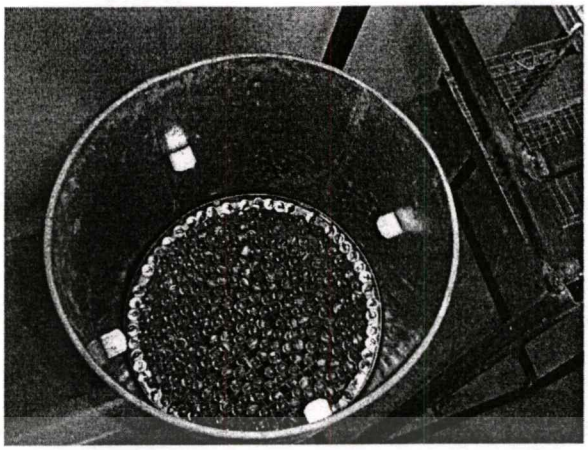


ภาพที่ 3.8 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

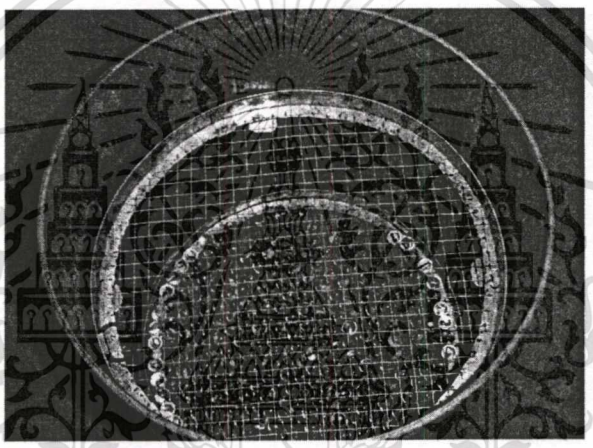


ภาพที่ 3.9 ถังอบแห้ง

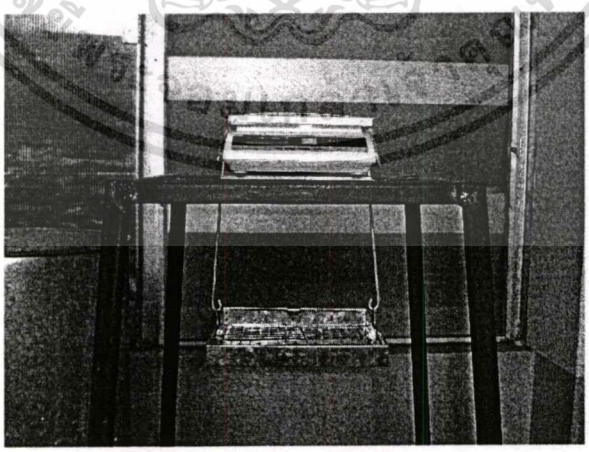
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 ตะแกรงกระจายลม

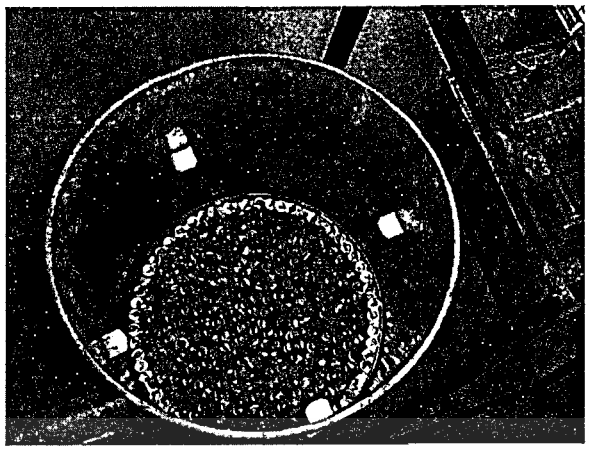


ภาพที่ 3.11 ตะแกรงทำแห้ง

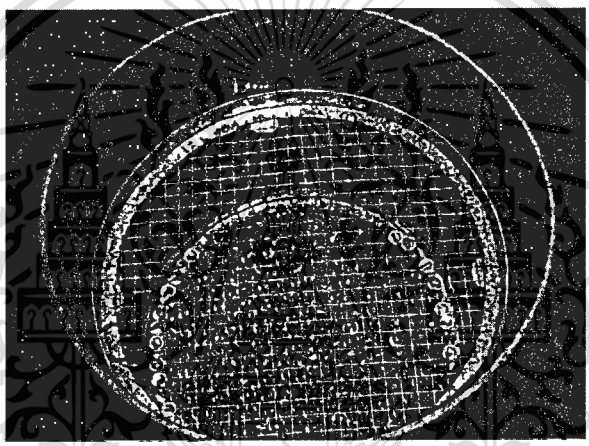


ภาพที่ 3.12 เครื่องชั่งและการใช้งาน

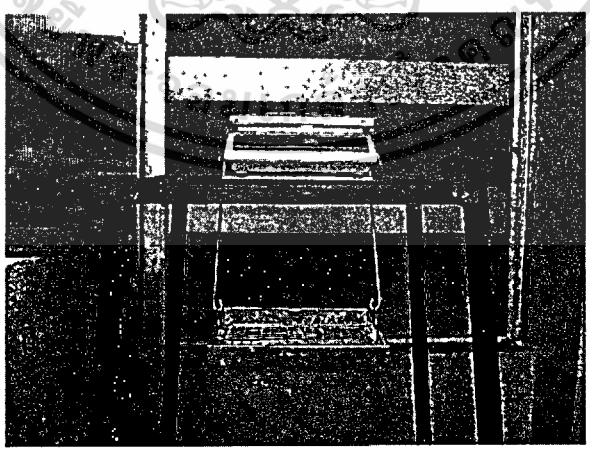
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 ตะแกรงกระจายลม

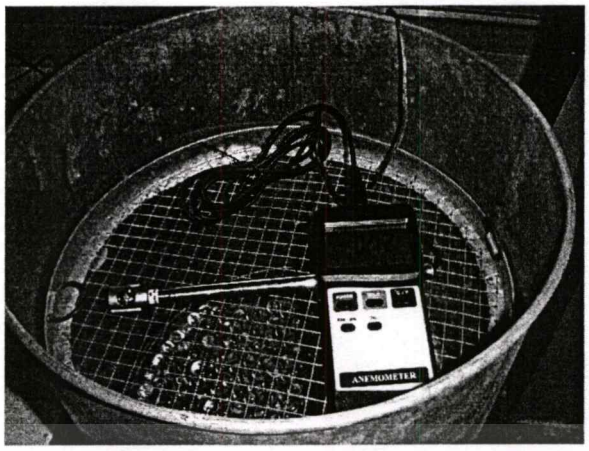


ภาพที่ 3.11 ตะแกรงทำแห้ง

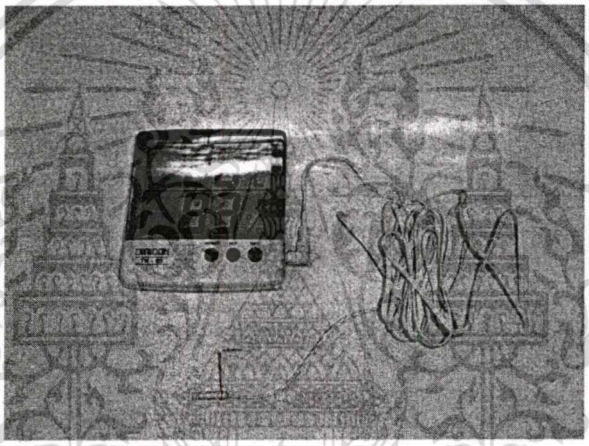


ภาพที่ 3.12 เครื่องชั่งและการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.13 อุปกรณ์วัดความเร็วลม



ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์

3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติการทำงานของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง

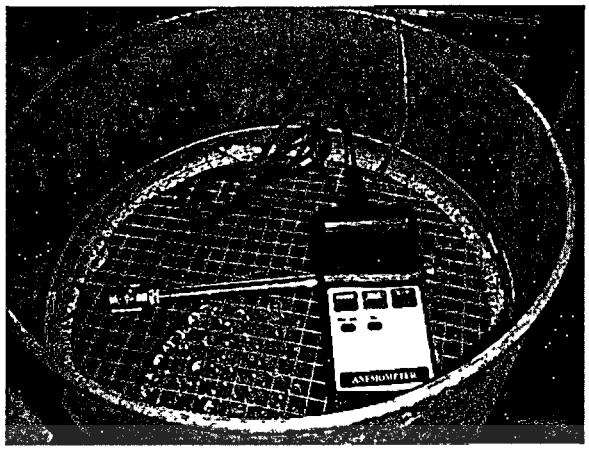
เพื่อให้สามารถใช้อุปกรณ์หาอัตราการอบแห้งได้อย่างเต็มประสิทธิภาพในการศึกษาหาผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ต่อการอบแห้ง จึงควรทราบถึงคุณสมบัติและขีดความสามารถของเครื่องมือตลอดจนวิธีการใช้งาน ในการทดลองนี้จึงเป็นการทดสอบถึงการกำหนดและการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เครื่องหาอัตราการอบแห้งสามารถทำงานได้

3.1.2.1 ทดสอบความเร็วลมในการใช้งาน

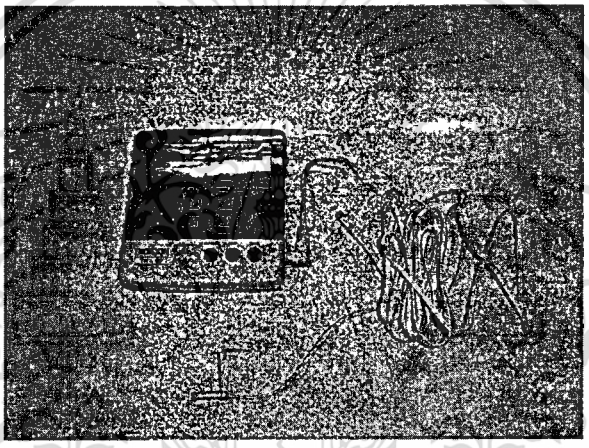
การทดสอบความเร็วลม จะกำหนดให้วาล์วควบคุมความเร็วลมทั้งสองตัว คือ V1 (วาล์วปรับความเร็วลมบริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าขวดลวดให้ความร้อน) และ V2 (วาล์วปรับความเร็วลมบริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าหน่วยอบแห้ง) มีสถานะ ปิด(0) และเปิด(1) ซึ่งทำให้ได้สถานะวาล์วปรับความเร็วลมของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง เป็นดังนี้

V1 , V2	
ปิด - ปิด	(0,0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.13 อุปกรณ์วัดความเร็วลม



ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์

3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติการทำงานของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง

เพื่อให้สามารถใช้อุปกรณ์หาอัตราการอบแห้งได้อย่างเต็มประสิทธิภาพในการศึกษาหาผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ต่อการอบแห้ง จึงควรทราบถึงคุณสมบัติและขีดความสามารถของเครื่องมือตลอดจนวิธีการใช้งาน ในการทดลองนี้จึงเป็นการทดสอบถึงการกำหนดและการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เครื่องหาอัตราการอบแห้งสามารถทำงานได้

3.1.2.1 ทดสอบความเร็วลมในการใช้งาน

การทดสอบความเร็วลม จะกำหนดให้วาล์วควบคุมความเร็วลมทั้งสองตัว คือ V1 (วาล์วปรับความเร็วลมบริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าขวดลวดให้ความร้อน) และ V2 (วาล์วปรับความเร็วลมบริเวณท่อแยกแบ่งลมก่อนเข้าหน่วยอบแห้ง) มีสถานะ ปิด(0) และเปิด(1) ซึ่งทำให้ได้สถานะวาล์วปรับความเร็วลมของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง เป็นดังนี้

V1 , V2	
ปิด - ปิด	(0,0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิด - เปิด (0,1)

เปิด - ปิด (1,0)

เปิด - เปิด (1,1)

ซึ่งเมื่อปรับตั้งสถานะของวาล์วในตำแหน่งปิดและเปิด ดังกล่าวแล้วจึงเปิดพัดลมดูดอากาศ วัดค่าความเร็วลมและบันทึกค่าเก็บไว้เพื่อใช้ในการศึกษาอัตราการอบแห้งต่อไป

3.1.2.2 ทดสอบอุณหภูมิการใช้งาน และความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

กำหนดให้สถานะวาล์วควบคุมความเร็วลม V1 และ V2 เป็น ปิด-ปิด ใช้ อุณหภูมิในการทดสอบ เป็น 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้เครื่องสร้างหมอกซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ในการเพิ่มไอน้ำในบรรยากาศมีสถานะเป็น ปิด และเปิด ซึ่งทำให้ได้สถานะในการทดสอบอุณหภูมิการใช้งาน และความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.1 สถานะการทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง

สถานะที่	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	สถานะเครื่องสร้างหมอก
1	40	ปิด
2	40	เปิด
3	50	ปิด
4	50	เปิด
5	60	ปิด
6	60	เปิด

3.2 วัตถุดิบ

ในการศึกษาอัตราการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้เส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่ผ่านกระบวนการผลิตจากโรงงานเส้นหมี่ ภาณุเจริญ ตำบล หนองหัวฟาน อำเภอขามสะแกแสง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากโรงงานภาณุเจริญมีลักษณะพิเศษกว่าเส้นหมี่หรือเส้นก๋วยเตี๋ยวของผู้ผลิตรายอื่นๆ ตรงที่มีคุณลักษณะคล้ายเส้นหมี่โคราชที่มีการผลิตมาตั้งแต่ดั้งเดิม คือมีลักษณะเส้นยาว และหนากว่าเส้นหมี่หรือเส้นก๋วยเตียวที่มีการผลิตในท้องตลาดทั่วไป

ความยาวเส้นก๋วยเตี๋ยว 40-50 เซนติเมตร

ความหนาเส้นก๋วยเตี๋ยว 1-2 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อุปกรณ์การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.3.1 ชุดหาค่าความร้อนจำเพาะ

3.3.2 เครื่องชั่งอิเลคทรอนิค 4 ตำแหน่ง

3.3.3 เครื่องทดสอบอัตราการอบแห้ง

3.3.4 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.3.5 เครื่องอบลมร้อน (Tray dryer)

3.3.6 เทอร์โมมิเตอร์

3.3.7 Desiccator

3.3.8 กระป๋องหาความชื้น

3.3.9 บิกเกอร์

3.3.10 กระบอกตวง

3.3.11 Hotplate

3.4 สารเคมี

3.4.1 น้ำมันพืช

3.4.2 สารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl

3.4.3 สารละลายเกลืออิ่มตัว $MgCl_2.6H_2O$

3.4.4 สารละลายเกลืออิ่มตัว $Mg(NO_3)_2.6H_2O$

3.4.5 สารละลายเกลืออิ่มตัว NaCl

3.4.6 สารละลายเกลืออิ่มตัว KNO_3

3.5 วิธีการศึกษาพารามิเตอร์

การหาพารามิเตอร์ต่างๆ ของเส้นก๋วยเตี๋ยวในงานวิจัยฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งในสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรต่างๆ ในการอบแห้ง ซึ่งโดยทั่วไปมักมีความสำคัญเมื่อต้องการหาความสัมพันธ์ในสมการทางทฤษฎี

3.5.1 วิธีการเตรียมความชื้นเส้นก๋วยเตี๋ยวและวิธีการหาความชื้น

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในอาหารเมื่อเทียบกับมวลของอาหาร ในการอบแห้งระดับความชื้นเริ่มต้นในอาหารมีผลต่ออัตราการอบแห้งในช่วงเวลาการอบแห้งเริ่มต้น เพราะความชื้นมีผลต่อค่าความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นซึ่งจะทำให้การส่งผ่านความร้อนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นของอาหารแตกต่างกัน ตลอดจนทั้งการหาความชื้นสุดท้ายในอาหารยังเป็นตัวกำหนดสภาวะการเก็บและเป็นดัชนีในการชี้วัดโอกาสที่จะเกิดการเสื่อมเสียได้ด้วย

ในการหาค่าความร้อนจำเพาะและความหนาแน่น ต้องใช้ตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีความชื้นในระดับต่างๆ กัน ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยนำเส้นก๋วยเตี๋ยวไปเข้าตู้อบลมร้อนแบบถาด และดึงตัวอย่างออกมาทุก 5 นาที ใน 30 นาทีแรก และทุก 15 นาที ในหนึ่งชั่วโมงต่อมา เพื่อนำไปหาความชื้นเริ่มต้น ความร้อนจำเพาะ และความหนาแน่น

การหาความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง โดยเตรียมตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ในกระป๋องหาความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาใส่ไว้ใน desicator รอจนตัวอย่างเย็นตัว นำออกมาชั่ง คำนวณหาค่าเปอร์เซนต์ความชื้นฐานแห้งจาก

$$M_d = (w-d) / d \qquad (3.1)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นฐานแห้ง

w คือ มวลของวัสดุ , kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง(ไม่มีความชื้น), kg

3.5.2 วิธีการศึกษาความร้อนจำเพาะ

การหาค่าความร้อนจำเพาะมีความสำคัญในการศึกษาหาอัตราการอบแห้งเนื่องจาก การอบแห้งนั้นอาศัยความร้อนเป็นตัวทำให้ความชื้นในอาหารระเหยออกไป ซึ่งอาหารหรือวัสดุแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติการส่งผ่านความร้อนแตกต่างกันและส่งผลต่ออัตราการอบแห้ง เพราะอาหารหรือวัสดุนั้นจะมีระยะเวลาการส่งผ่านความร้อนไปทั่วทั้งชิ้นเร็วช้าต่างกัน ทำให้เกิดการระเหยน้ำหรือความชื้นออกไปในระยะเวลาที่ต่างกันด้วย

การหาค่าความร้อนจำเพาะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

3.5.2.1 หาค่าความร้อนจำเพาะของแคลอริมิเตอร์

ค่าความร้อนจำเพาะของแคลอริมิเตอร์ หาได้จากความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$c_c = c_w m_w (T_w - T_m) / (T_m - T_c) \qquad (3.2)$$

โดย T_c คือ อุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์ก่อนทำการทดลอง

T_m คือ อุณหภูมิผสม

T_w คือ อุณหภูมิน้ำร้อน

m_w คือ มวลของน้ำ

c_w คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ มีค่าประมาณ 4187 J/kg-K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการหาค่าความร้อนจำเพาะของแคลอริมิเตอร์

- นำบิกเกอร์เปล่าไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นเติมน้ำ 200 ml แล้วชั่งน้ำหนักของน้ำ
- นำน้ำที่ทราบน้ำหนักไปต้มให้ได้อุณหภูมิประมาณ 50 ± 5 องศาเซลเซียส

ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์ในระหว่างรอให้น้ำมีอุณหภูมิถึงระดับที่กำหนด จับเวลาทุกๆ 30 วินาที บันทึกผล

-เทน้ำร้อนที่ต้มไว้ ใส่ลงในแคลอริมิเตอร์ จับ เวลาอุณหภูมิต่อไปทุกๆ 30 วินาที รวมเวลา ทั้งหมด ก่อน และหลังเทน้ำร้อน ประมาณ 15 นาที

-นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา โดยให้แกนนอนเป็นเวลา และ แกนตั้งเป็นอุณหภูมิหาอุณหภูมิผสมจาก กราฟ

-นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

ขั้นตอนการหาค่าความร้อนจำเพาะของเส้นก๋วยเตี๋ยว

- นำบิกเกอร์เปล่าไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นเติมน้ำ 200 ml แล้วชั่งน้ำหนักของน้ำ
- นำน้ำที่ทราบน้ำหนักไปต้มให้ได้อุณหภูมิประมาณ 50 ± 5 องศาเซลเซียส
- ชั่งตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ปรับความชื้นเตรียมไว้แล้วจากข้อ 3.4.1 จำนวน 50 กรัม นำตัวอย่างเส้นหมี่ที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ลงในแคลอริมิเตอร์ ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์ในระหว่างรอให้น้ำมีอุณหภูมิถึง ระดับที่กำหนดจับเวลาทุกๆ 30 วินาที บันทึกผล
- เทน้ำร้อนที่ต้มไว้ ใส่ลงในแคลอริมิเตอร์ จับ เวลาอุณหภูมิต่อไปทุกๆ 30 วินาที รวมเวลาทั้งหมด ก่อน และหลังเทน้ำร้อน ประมาณ 15 นาที
- นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา โดยให้แกน นอนเป็นเวลา และ แกนตั้งเป็นอุณหภูมิหาอุณหภูมิผสมจาก กราฟ
- นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าความจุความร้อนของเส้นหมี่ จากสมการ

$$C_p = C_k ((T_m - T_1)/m(T_2 - T_m)) \qquad (3.3)$$

เมื่อ C_k คือ ความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์

T_m คือ อุณหภูมิผสม

T_1 คือ อุณหภูมิแคลอรีมิเตอร์

T_2 คือ อุณหภูมิของน้ำเดือด

m คือ มวลของเส้นก๋วยเตี๋ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 วิธีการศึกษาความหนาแน่น

ความหนาแน่น เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการสมการอบแห้งทางทฤษฎี วิธีการหาความหนาแน่นของเส้นหมี่ทำได้โดยนำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ความชื้นต่างๆ จากข้อ 3.4.1ไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นหาค่าการแทนที่ด้วย น้ำมันพืช เพื่อหาปริมาตร คำนวณหาความหนาแน่นจากสมการ

$$\rho = m / V \qquad (3.4)$$

ρ คือ ความหนาแน่น

m คือ มวล

V คือ ปริมาตร

3.5.4 วิธีการศึกษาความชื้นสมดุล

นำตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในถ้วย ทิ้งไว้ในขวดที่บรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัวของ LiCL, $MgCl_2$, $Mg(NO_3)_2$, NaCl , $K(NO_3)$ ปิดฝา นำขวดใส่ในตู้อบ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30,40, และ 50 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เข้าสู่สมดุล จากนั้นนำตัวอย่างไปหาความชื้น(ฐานแห้ง)

3.5.5 วิธีการศึกษาอัตราการอบแห้ง

3.5.5.1 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปทดลองในอุปกรณ์ทดสอบอัตราการอบแห้ง (เครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง) กำหนดให้สถานะวาล์วควบคุมความเร็วลม V1 และ V2 เป็น ปิด-ปิด ใช้ อุณหภูมิในการทดสอบ เป็น 40 , 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้เครื่องสร้างหมอกซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ในการเพิ่มไอน้ำในบรรยากาศมีสถานะเป็น ปิด และเปิด ซึ่งจะทำให้ได้สถานะในการหาอัตราการอบแห้ง ตามตารางที่ 3.1

การศึกษาอัตราการอบแห้งทำโดยแขวนตะแกรงใส่วัตถุดิบที่แขวนติดกับเครื่องชั่งไว้ในถังอบแห้ง ตั้งอุณหภูมิขวดลวดให้ความร้อน วัดความเร็วลม วัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในหน่วยอบแห้ง เมื่อสภาวะได้อบแห้งตามต้องการจึงนำวัตถุดิบที่ทราบความชื้นใส่ลงในตะแกรง บันทึกน้ำหนักทุกๆ 2 นาที ในช่วง 10 นาทีแรก และทุกๆ 15 นาที ในช่วงหลัง จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นตัวอย่างไปหาความชื้น และนำข้อมูลที่ได้ไปหาอัตราการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง

3.6.1 สมการความชื้นสมดุล

การศึกษาในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลจากการทดลองกับสมการความชื้นสมดุลทางทฤษฎีที่มีผู้ได้ทำการศึกษาไว้ก่อนแล้ว เพื่อใช้ในการทำนายสภาวะการเก็บของตัวอย่าง และนำข้อมูลความชื้นสมดุลไปใช้ในการวิเคราะห์และสร้างสมการอบแห้งของตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างที่เข้าสู่สมดุลที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามที่กำหนดไปหาความชื้น(ฐานแห้ง) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความชื้นสมดุล อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ในรูปสมการเส้นตรงโดยใช้การวิเคราะห์สมการถดถอย แบบกำลังสองน้อยที่สุด ทำให้ได้ค่าความสัมพันธ์ออกมาในรูปสมการเส้นตรง ซึ่งมีค่าความชัน และ จุดตัดบนแกน y นำค่าที่ได้ไปแทนที่ ค่าคงที่ a และ b ในสมการต่างๆ ที่มีผู้ได้ทำการทดลองไว้เพื่อดูว่าสมการใดให้ผลการทำนายใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด ซึ่งสมการที่เลือกใช้ได้แก่

สมการของ Chung and Pfost รูปสมการคือ $\ln RH = (-a / RT_{abs}) \exp(-bM_{eq})$

สมการของ Oswin รูปสมการคือ $M_{eq} = a\left[(RH /1- RH)\right]^{n}$

สมการของ Halsey รูปสมการคือ $RH = \exp\left[(-a / RT)M M_{eq}{}^{b}\right]$

สมการของ Henderson รูปสมการคือ $1 - RH = \exp\left[-a(1.8T+491.7)(100M_{eq})^{b}\right]$

3.6.2 สมการอบแห้ง

การศึกษาในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสมการอบแห้งของเส้นก๋วยเตี๋ยว และเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างอัตราการอบแห้งที่ได้จากการทดลอง กับอัตราการอบแห้งที่ได้จากการคำนวณโดยใช้รูปสมการทางทฤษฎีที่มีผู้ทำการทดลองไว้ก่อนหน้านี้ ทำการศึกษาโดยนำข้อมูลอัตราส่วนความชื้นที่อบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวในช่วงเวลาต่างๆ ของทุกระดับอุณหภูมิที่ทำการศึกษา มาสร้างกราฟและพิจารณาดูว่ากราฟอบแห้งเป็นลักษณะการอบแห้งแบบคงที่หรือแบบลดลง จากนั้นวิเคราะห์หาค่าคงที่ของการอบแห้งโดยใช้การวิเคราะห์สมการถดถอย ซึ่งค่าคงที่นี้จะเป็นตัวบอกว่าการอบแห้งในสภาวะใดดีที่สุด ค่าคงที่ของสมการอบแห้งนี้อาจมีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งสามารถหาค่าความสัมพันธ์ออกมาได้โดยใช้การวิเคราะห์สมการถดถอย รูปสมการทางทฤษฎีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลและการวิจารณ์ผล

4.1 การสร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง

จากการสร้างอุปกรณ์หาอัตราการอบแห้ง พบว่าอุปกรณ์หารอัตราการอบแห้งที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการควบคุมปัจจัยต่างๆ ตามที่กำหนดได้ดี มีความสามารถในการควบคุมปัจจัยหลักที่มีผลต่อการอบแห้งได้ตามความต้องการในการใช้งานได้ดี ซึ่งได้มีการทดสอบปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเร็วลมความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิระดับต่างๆ ได้ผลดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาความเร็วลม

จากการศึกษาความเร็วลมของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง ที่สถานะของวาล์วควบคุมความเร็วลมต่างๆ ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 ความเร็วลมของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง

สถานะวาล์วควบคุมความเร็วลม		ความเร็วลมที่วัดได้ (เมตร/วินาที)
V1	V2	
ปิด	ปิด	1.03
ปิด	เปิด	0.40
เปิด	ปิด	0.93
เปิด	เปิด	0.10

จากการศึกษาพบว่าสถานะของวาล์วมีผลต่อความเร็วลมที่วัดได้ โดยสถานะวาล์ว V1-V2 ที่ตำแหน่ง ปิด-ปิด ให้ค่าความเร็วลมสูงที่สุด 1.03 เมตรต่อวินาที สถานะวาล์ว V1-V2 ที่ตำแหน่ง ปิด-เปิด ให้ค่าความเร็วลม 0.40 เมตรต่อวินาที สถานะวาล์ว V1-V2 ที่ตำแหน่ง เ ปิด-ปิด ให้ค่าความเร็วลม 0.93 เมตรต่อวินาที และสถานะวาล์ว V1-V2 ที่ตำแหน่ง เปิด-เปิด ให้ค่าความเร็วลมต่ำสุด 0.10 เมตรต่อวินาที ในการวัดค่าความเร็วลมของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้งพบว่าตำแหน่งที่วัดในถังอบแห้งแต่ละจุด มีค่าความเร็วของลมร้อนไม่เท่ากันซึ่งมีสาเหตุจากท่อลมที่นำลมร้อนเข้ามาในถังอบแห้งมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าถังอบแห้งมาก จึงทำให้เกิดการปั่นป่วนของกระแสลมเมื่อเข้าสู่ถังอบแห้งและมีความเร็วลดลง ดังนั้นในการวัดจึงวัดความเร็วลมในถังอบแห้งสี่ตำแหน่งเป็นรูปจัตุรัสแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาหาอัตราการอบแห้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ระดับความเร็วลมที่ประมาณ 1.03 เมตร/วินาที โดยสาเหตุที่เลือกใช้เพราะเป็นระดับความเร็วลมสูงสุดที่อุปกรณ์หาอัตราการอบแห้งนี้ผลิตได้ อีกทั้งเนื่องจาก Tadao Inazu et al. (2003) ได้ศึกษาผลกระทบของความเร็วลมที่มีต่อการทำแห้งเส้นหมี่ญี่ปุ่นสด (อูด้ง) โดยทำการศึกษาที่ระดับของความเร็วลมที่ 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.88 และ 3.00 เมตร/วินาที กำหนดสภาวะในการศึกษาที่อุณหภูมิคงที่ที่ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 70 % ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ผลกระทบจากความเร็วลมต่อการกระจายตัวของความชื้นพบว่าไม่มีอิทธิพลเมื่อระดับความเร็วลมมากกว่า 2 เมตร/วินาที ในระยะเริ่มต้นของการทำแห้ง และ 1 เมตร/วินาที ในระยะกลางของการทำแห้ง ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเร็วลมที่ประมาณ 1 เมตร/วินาที ในการทดลองซึ่งพิจารณาจากมุมมองทางด้านเศรษฐกิจ

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ลูกแก้วเป็นตัวกระจายลมร้อนโดยใส่ในตะแกรงกระจายลมซึ่งอยู่ระหว่างท่อนำลมร้อนกับตะแกรงอบแห้งซึ่งวิธีนี้มีการนำมาใช้โดยสุภวรรณและคณะ(2436) จากการทดลองผู้วิจัยมีความเห็นว่าหากถังอบแห้งมีขนาดใหญ่และสูง การใช้ลูกแก้วกระจายลมอาจไม่ช่วยให้เกิดการกระจายลมร้อนทั่วถึงได้มากนัก ผู้วิจัยมีความเห็นว่าหากใช้ใบพัดคล้ายพัดลมมาติดตั้งบริเวณด้านหน้าท่อลมก่อนเข้าสู่ถังอบแห้งอาจช่วยให้เกิดการกระจายลมร้อนได้ดีขึ้น ซึ่งอาจทำการศึกษาต่อไปในอนาคต

4.1.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการศึกษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ผลดังนี้

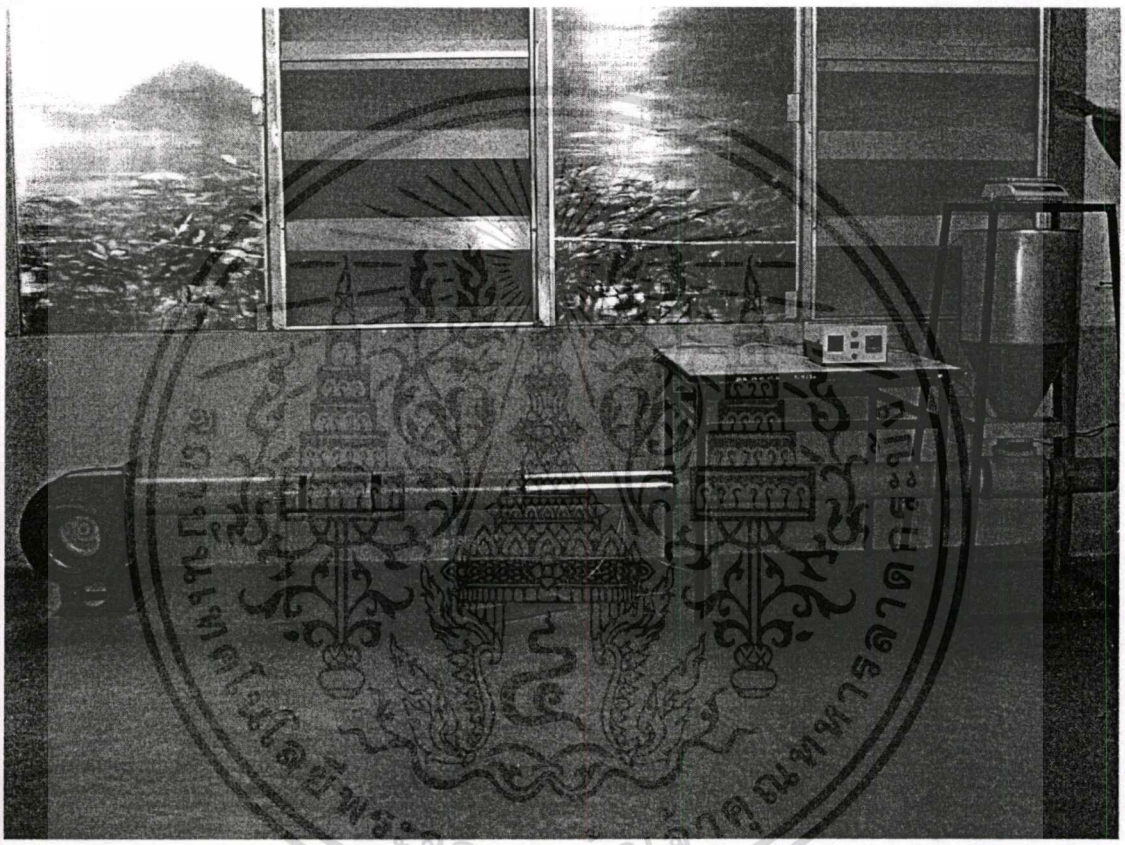
ตารางที่ 4.2 ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง

อุณหภูมิ	สถานะเครื่องสร้างหมอก	ความชื้นสัมพัทธ์(%)
40	ปิด	24
40	เปิด	87
50	ปิด	22
50	เปิด	87
60	ปิด	21
60	เปิด	86

** ขณะทำการทดลองความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม 30 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิและเครื่องสร้างหมอกมีผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงและเพิ่มมากขึ้นได้ แต่ไม่สามารถปรับปริมาณความชื้นได้มากกว่า2ระดับตามต้องการ เนื่องสภาวะการใช้งานทำได้เพียง ปิดและเปิด เท่านั้น โดยเมื่อทำการทดลองใช้อุปกรณ์หาอัตราการอบแห้งโดยไม่เปิดเครื่องสร้างหมอกพบว่าลมร้อนที่ผ่านขดลวดให้ความร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำอยู่ในช่วง 21-24% ในขณะที่ที่เมื่อเปิดเครื่องสร้างหมอกมีผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นเป็น85-87% ส่งผลให้อัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิหนึ่งๆ มีความแตกต่างกัน 2 ระดับ



ภาพที่ 4.1 อุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง

4.2 ผลการศึกษาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การอบแห้ง

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การอบแห้งได้ผลการศึกษาดังนี้

4.2.1 ความหนาแน่น

จากการทดลองหาความหนาแน่นของเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยวิธีการแทนที่ด้วยน้ำมันพืช ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวลดลง ค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเส้นก๋วยเตี๋ยวสูญเสียน้ำจะทำให้องค์ประกอบต่างๆ มีความเข้มข้นเพิ่มอีกทั้งมีการหดตัวของเส้นก๋วยเตี๋ยว จึงทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และจากการวิเคราะห์สมการ

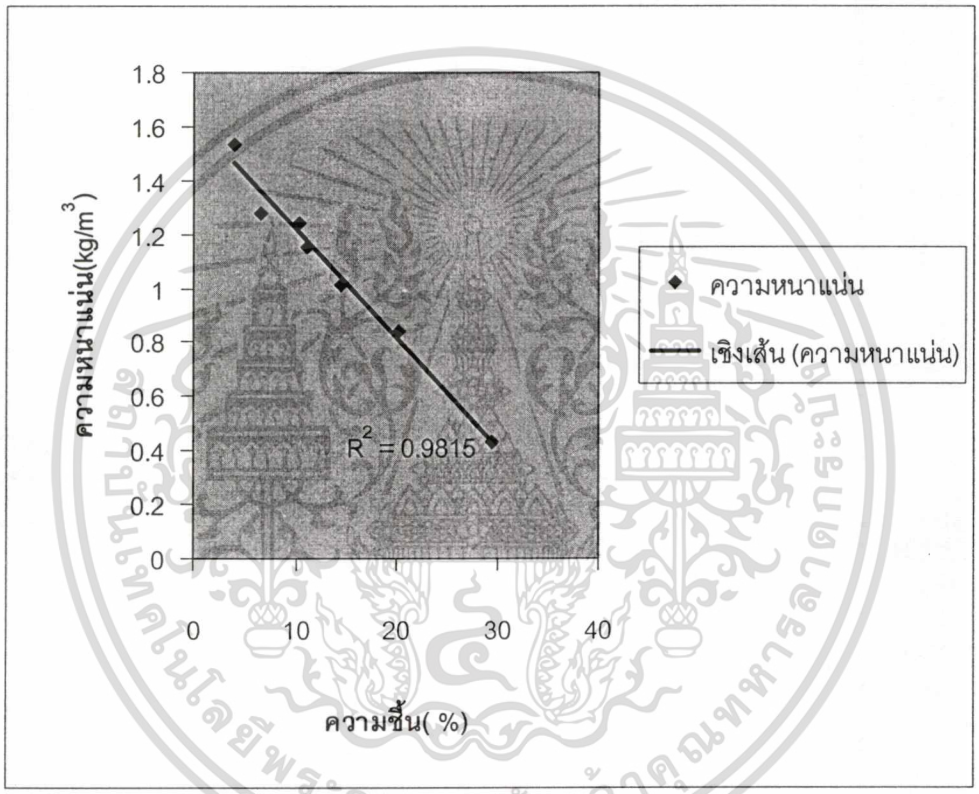
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถดถอย โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นของเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่าได้ความสัมพันธ์เป็นลักษณะสมการเชิงเส้นดังสมการ

$$\rho = 1.622 - 0.04M_d \qquad (4.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของเส้นก๋วยเตี๋ยว , kg/m^3

M_d คือ ความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยว , เศษส่วนฐานแห้ง



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่น

4.2.2 ความร้อนจำเพาะ

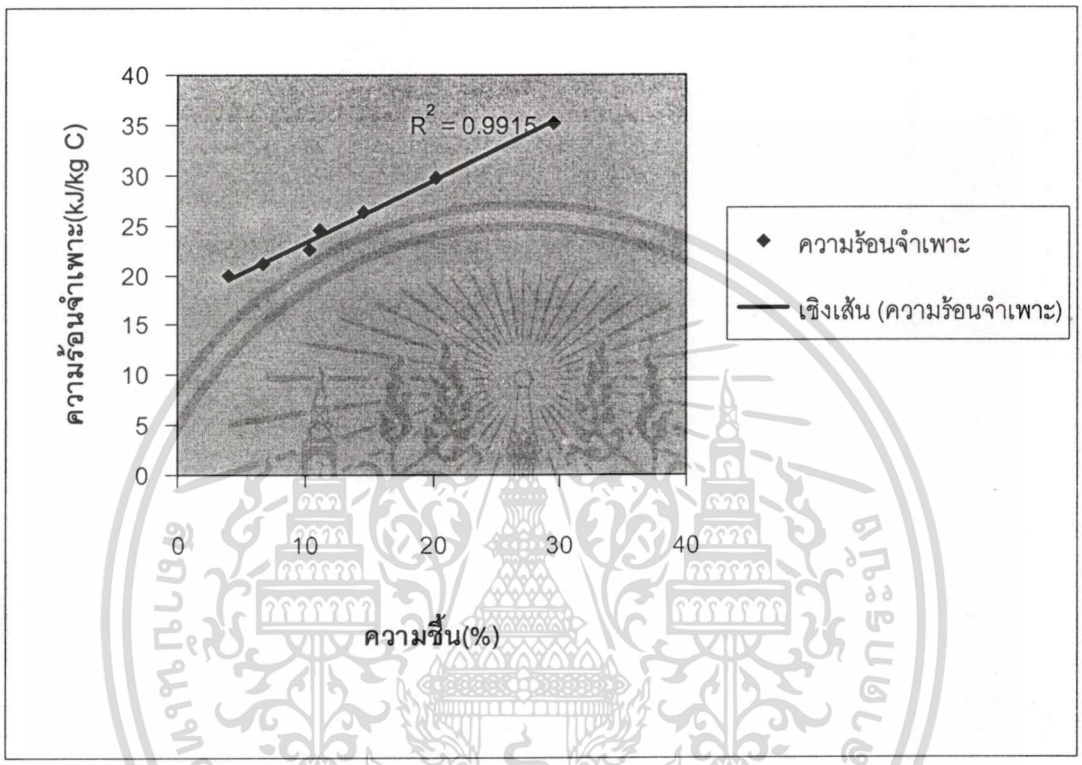
จากการทดลองหาความร้อนจำเพาะของเส้นก๋วยเตี๋ยว ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวเพิ่มสูงขึ้นความร้อนจำเพาะของเส้นก๋วยเตี๋ยวจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น จากการวิเคราะห์สมการถดถอย โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความร้อนจำเพาะของเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่าได้ความสัมพันธ์เป็นลักษณะสมการเชิงเส้นดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_p = 17.108 + 0.617\ M_d \qquad (4.2)$$

เมื่อ C_p คือ ความร้อนจำเพาะของเส้นก๋วยเตี๋ยว , KJ/Kg °C

M_d คือ ความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยว , เศษส่วนฐานแห้ง



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความร้อนจำเพาะ

ตารางที่ 4.3 ค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ความชื้นต่างๆ

ความชื้น(%)	ความหนาแน่น(kg/m^3)	ความร้อนจำเพาะ(kJ/kg °C)
29.52	0.43	35.23
20.26	0.84	29.76
14.53	1.01	26.39
11.13	1.15	24.43
10.32	1.24	22.43
6.57	1.28	21.11
3.94	1.53	19.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ความชื้นสมดุล

จากการศึกษาหาความชื้นสมดุลของเส้นก๋วยเตี๋ยวสด ภายใต้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ โดยใช้สารละลาย LiCl , $MgCl_2.6H_2O$, $Mg(NO_3)_2.6H_2O$,NaCl และ KNO_3 เป็นตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ และใช้ตู้อบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิ ได้ผลดังตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าความชื้นสมดุลของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

Temp. 30 ° C		Temp. 40 ° C		Temp. 50 ° C	
RH %	M_{eq} (%db)	RH %	M_{eq} (%db)	RH %	M_{eq} (db)%
11.28	34.08	11.21	34.12	11.10	30.78
32.44	41.98	31.60	41.31	30.54	42.76
51.40	59.97	48.42	57.03	45.44	56.07
75.09	73.73	74.68	70.48	74.43	68.34
92.31	81.43	89.03	78.62	84.78	76.72

เมื่อวิเคราะห์โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดพบว่า ความชื้นสมดุลของเส้นก๋วยเตี๋ยว และความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์กันซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการตามรูปแบบสมการของ Chung &Pfost ดังสมการ

$$\ln RH = (-39707.12 / RT_{abs}) \exp(-0.059373M_{eq}) \qquad (4.3)$$

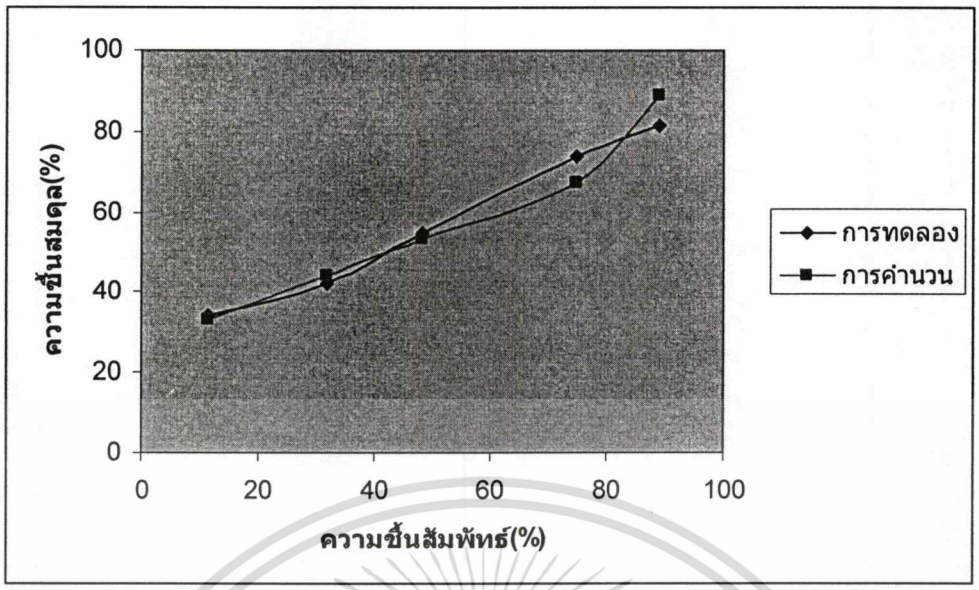
โดย RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

R คือ ค่าคงที่สากลของก๊าซ, 8.314 KJ/kg mole K

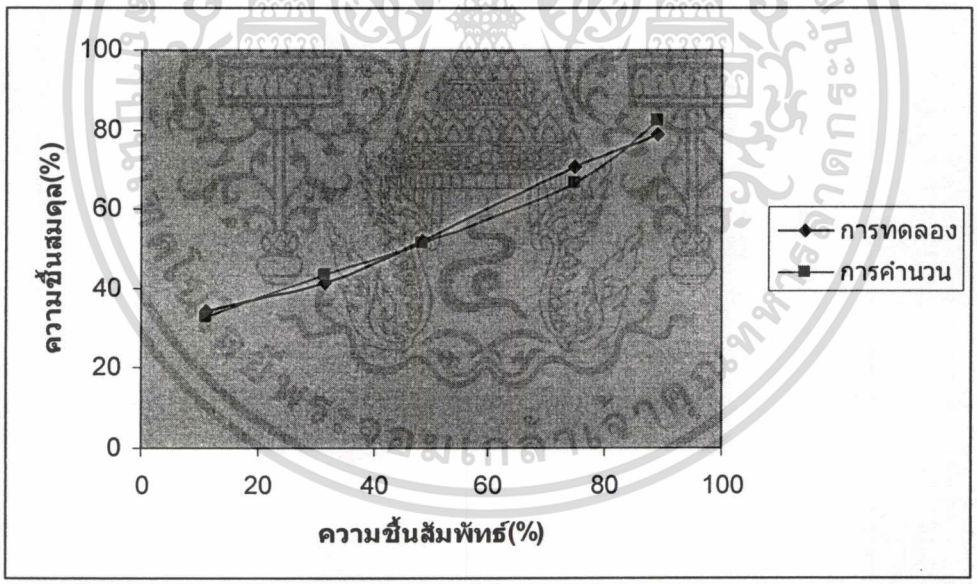
T_{abs} คือ อุณหภูมิ, K

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, เศษส่วนฐานแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

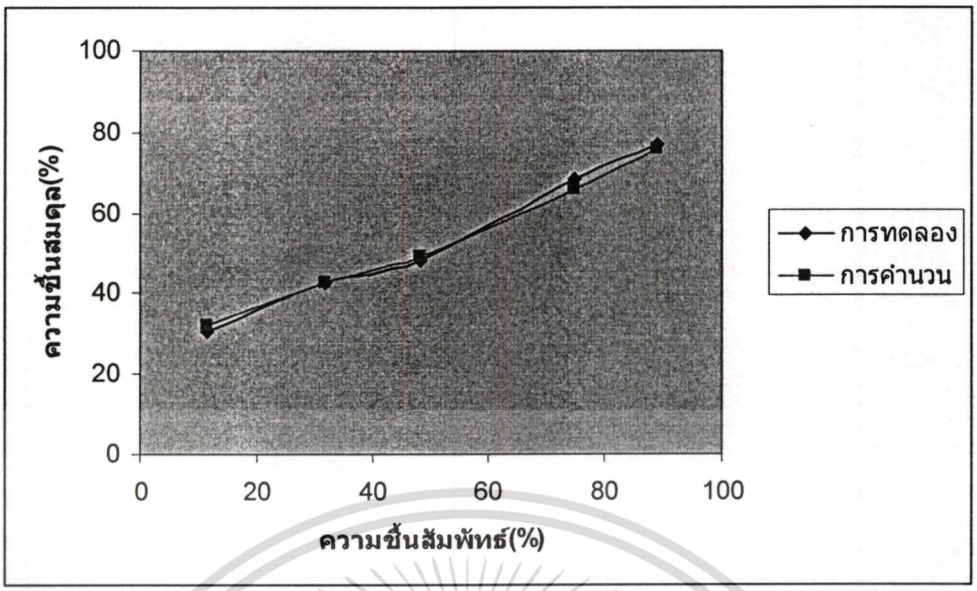


ภาพที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ30องศาเซลเซียส เมื่อคำนวณด้วยสมการ ที่ 26



ภาพที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อคำนวณด้วยสมการ ที่ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



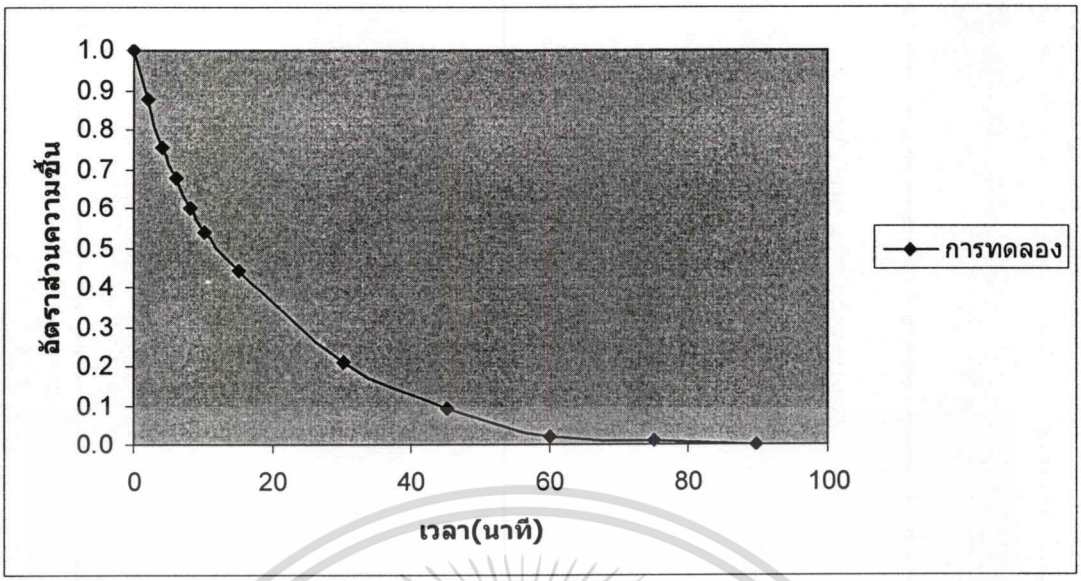
ภาพที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อคำนวณด้วยสมการ ที่ 26

จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองตามรูปแบบสมการของ Chung &Pfost ให้ผลการทำนายความชื้นสมดุลได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมาก ซึ่งสามารถทำนายผลความชื้นสมดุลได้ถูกต้องในระดับของอุณหภูมิปานกลางและสูง แต่จะมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจากการทดลองในขั้นตอนนี้สามารถนำรูปแบบสมการของ Chung &Pfost ที่ได้ ไปคำนวณหาความชื้นสมดุลและคำนวณอัตราส่วนความชื้นที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ ในแต่ละอุณหภูมิเพื่อคำนวณหาค่าคงที่ของการอบแห้งในขั้นตอนต่อไป

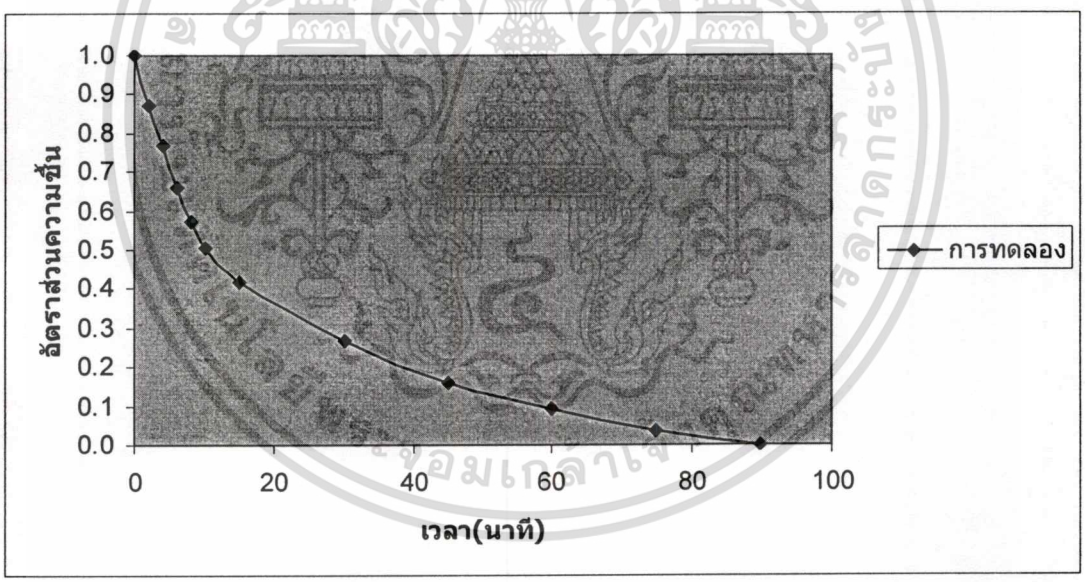
4.2.4 อัตราการอบแห้ง

จากการทดลองหาอัตราการอบแห้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 40-60 องศา ระดับความชื้นสัมพัทธ์อ้างอิงจากสถานการณ์ปิด-เปิดเครื่องสร้างหมอก ให้ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 21-87 เปอร์เซ็นต์ เซลเซียส ความเร็วลมร้อนคงที่ที่ 1.03 เมตรต่อวินาที ให้ผลการทดลองอัตราการอบแห้ง ซึ่งแสดงในรูปอัตราส่วนความชื้นต่อหน่วยเวลาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

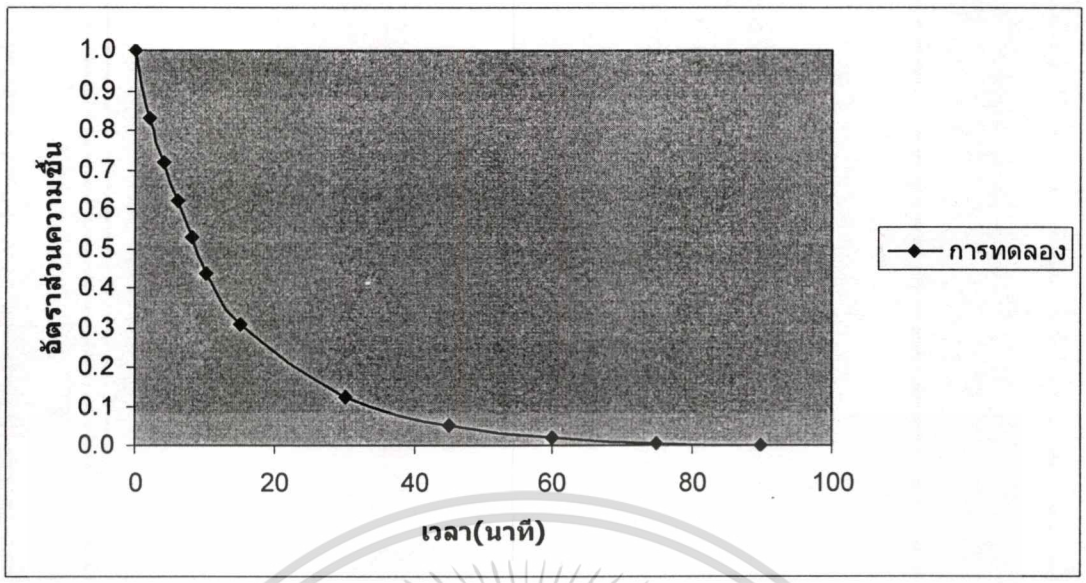


ภาพที่ 4.7 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 24 เปอร์เซ็นต์

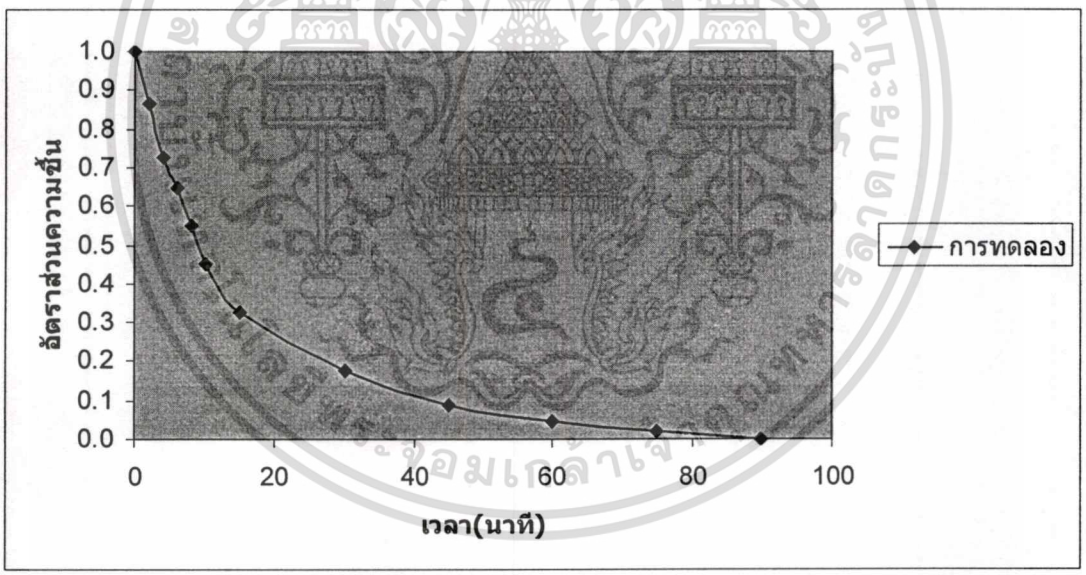


ภาพที่ 4.8 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

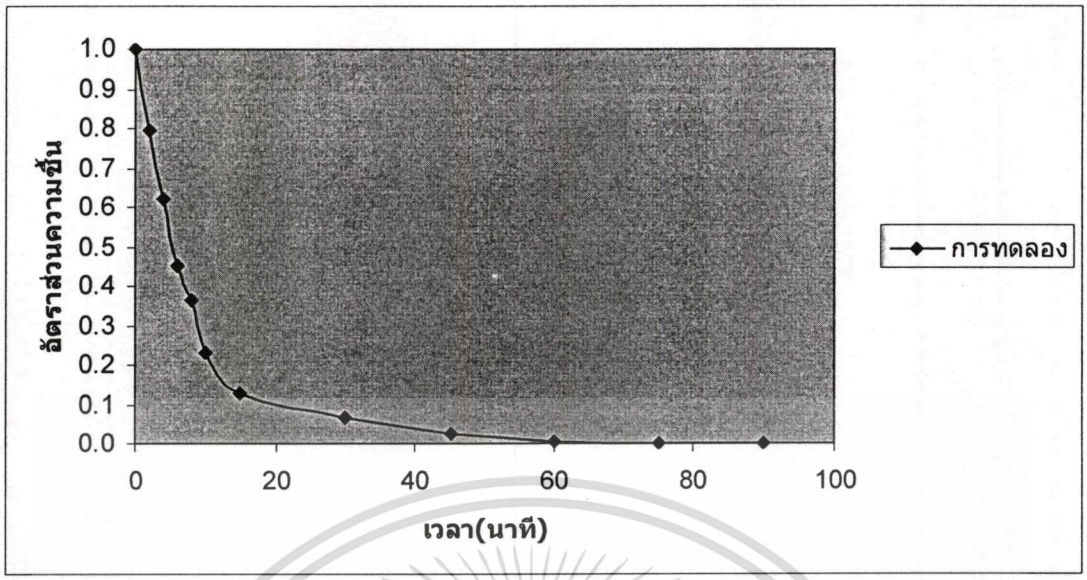


ภาพที่ 4.9 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 22 เปอร์เซ็นต์

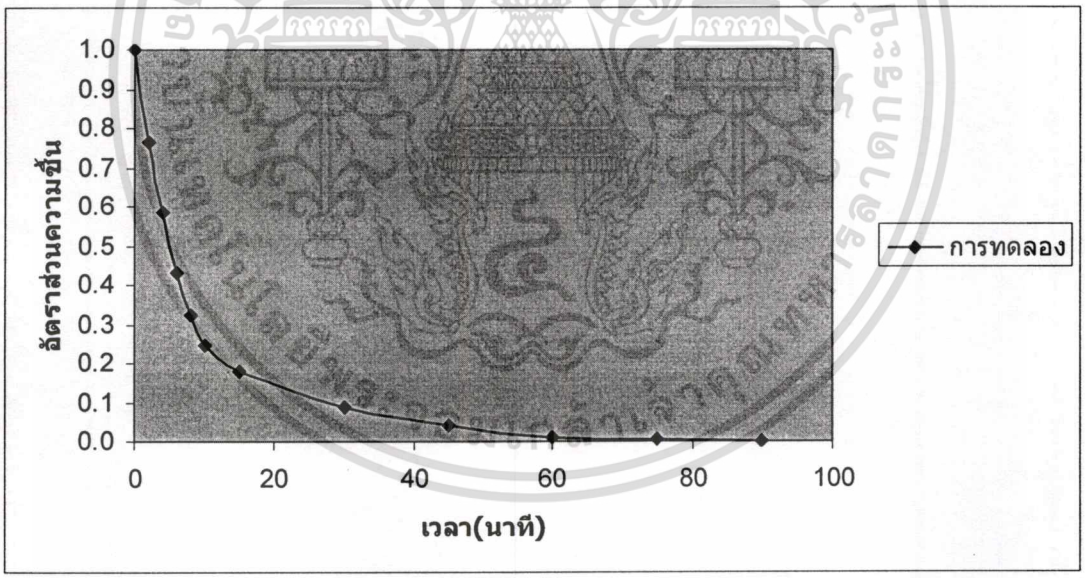


ภาพที่ 4.10 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

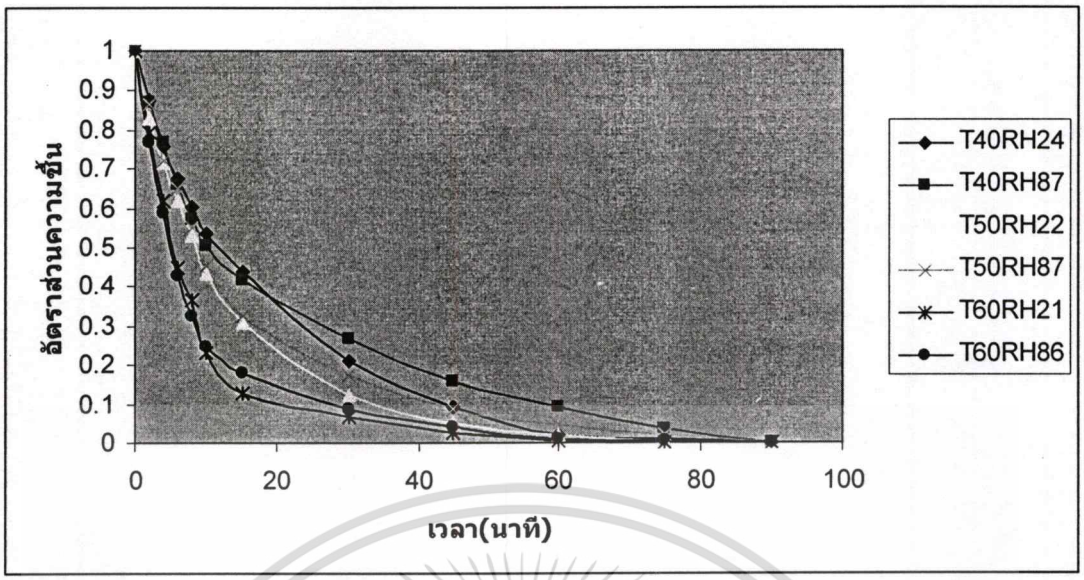


ภาพที่ 4.11 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 21 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.12 อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

จากการทดลองหาอัตราการอบแห้ง พบว่าช่วงการอบแห้งเป็นช่วงอัตราการอบแห้งแบบลดลง สมการที่ใช้อธิบายการอบแห้ง คือ

$$MR = e^{-kt} \qquad (4.4)$$

โดย MR คือ อัตราส่วนความชื้น
k คือ ค่าคงที่
t คือ เวลา

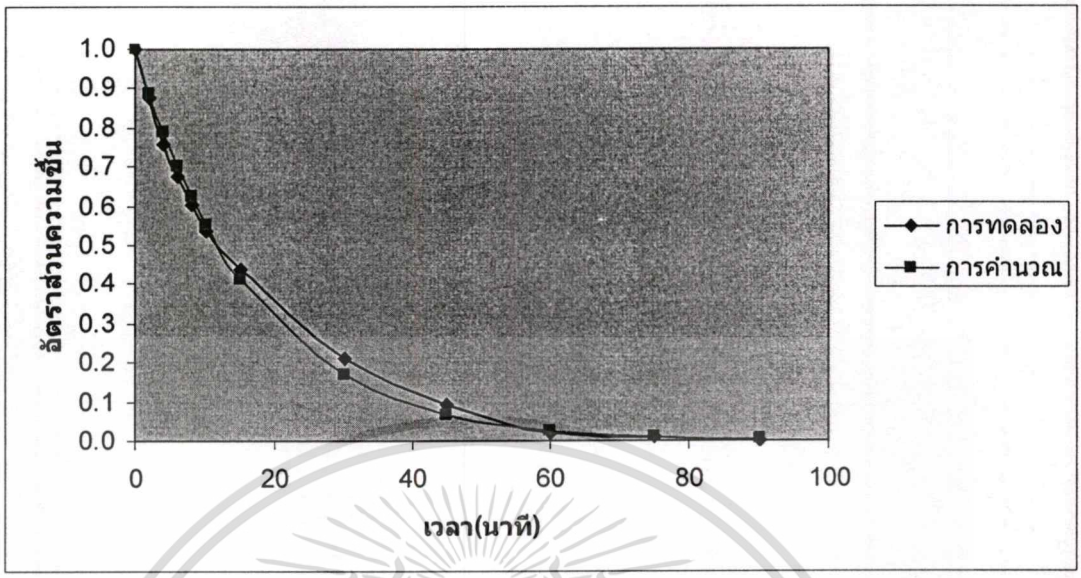
เมื่อวิเคราะห์สมการถดถอย โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด พบว่าค่า k มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ (T) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ในรูปสมการ

$$k = 0.025646 - 0.030304\ RH + 0.0010255\ T \qquad (4.5)$$

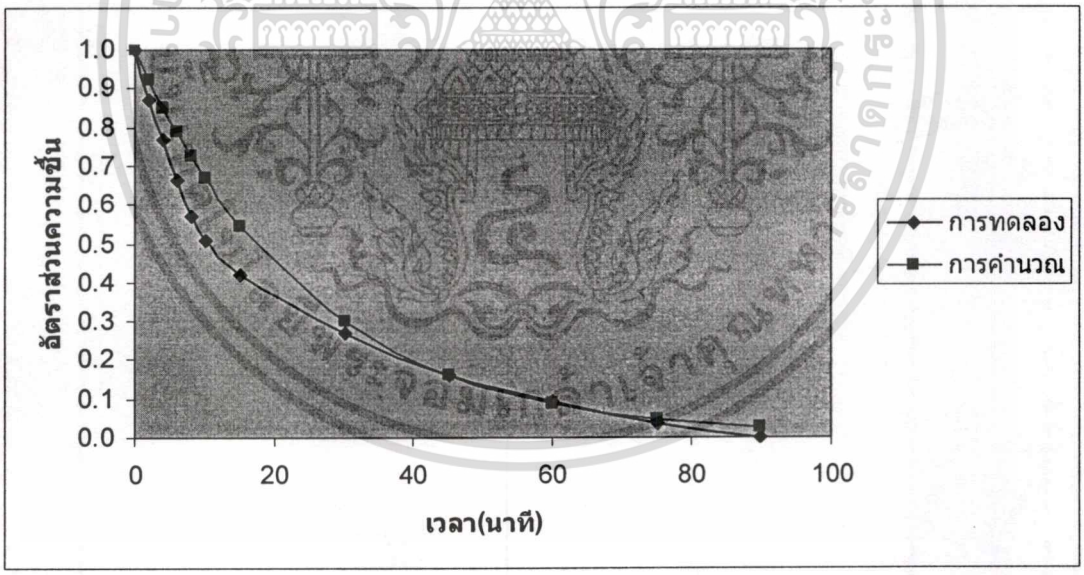
โดย T คือ อุณหภูมิ
RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์

เมื่อนำค่า k ที่ได้ใส่เข้าไปในสมการเพื่อเปรียบเทียบการอบแห้งระหว่างการอบแห้งจากการทดลองและจากสมการที่ 27 ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

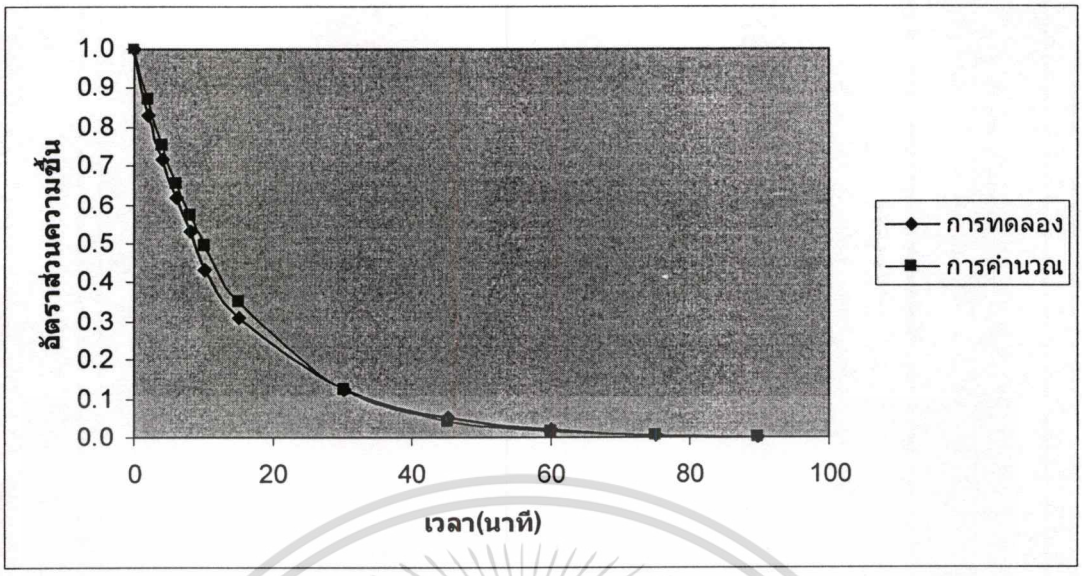


ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 24 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ

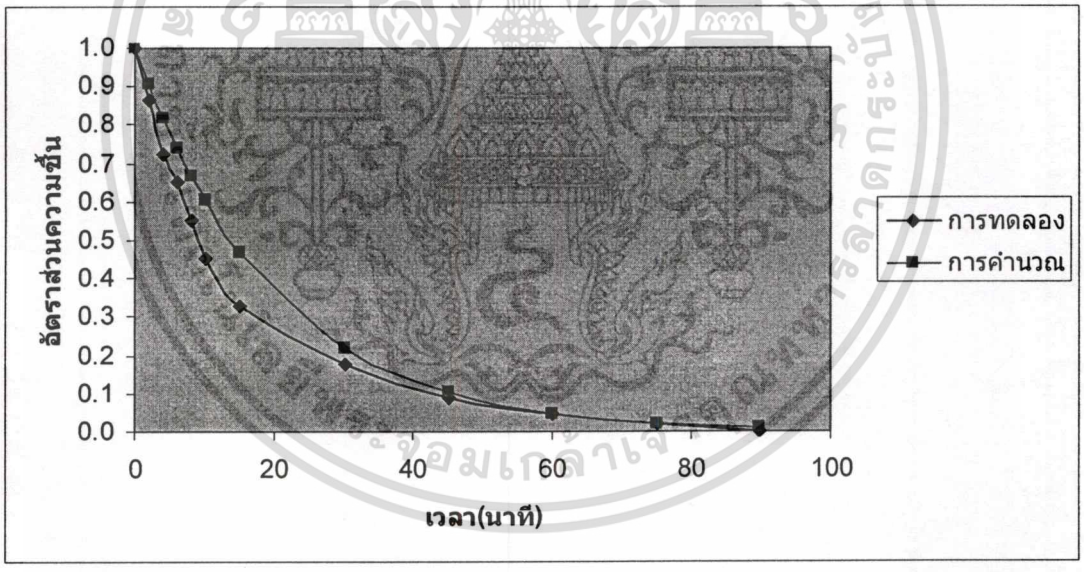


ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

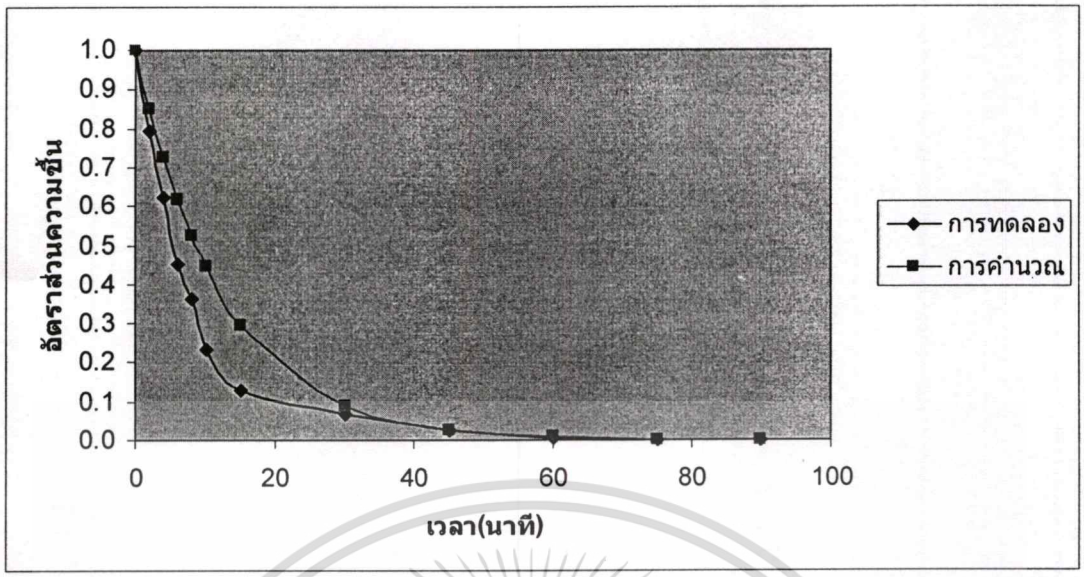


ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 22 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ

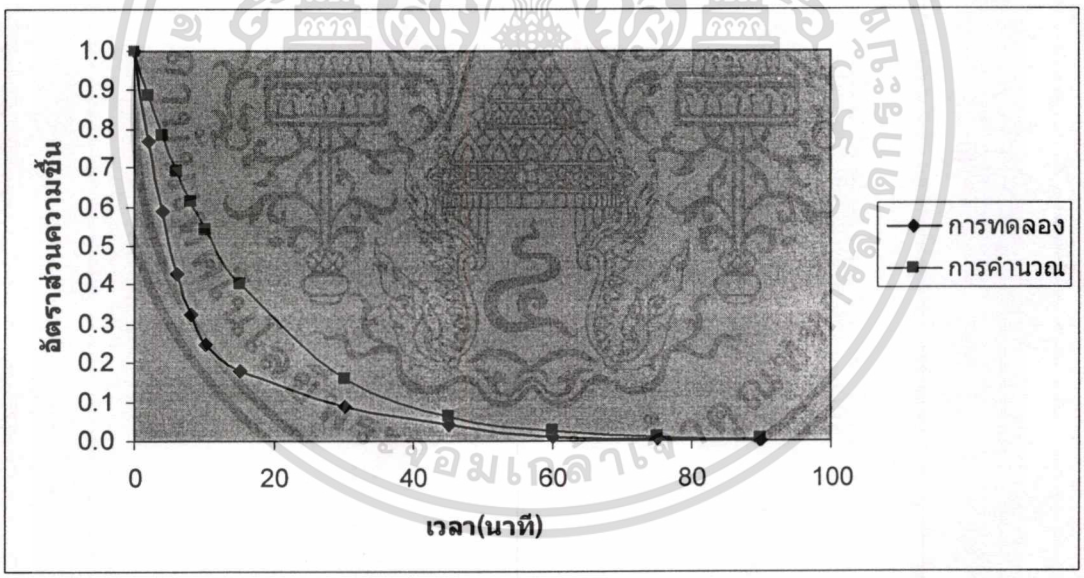


ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 21 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ



ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 86 เปอร์เซ็นต์ กับผลการคำนวณจากสมการ

ซึ่งพบว่าสมการการอบแห้งที่ได้สามารถใช้ทำนายผลการอบแห้งได้ใกล้เคียงกับผลจากการทดลองมากที่ระดับการอบแห้งที่อุณหภูมิไม่สูงมาก และจะมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเมื่อใช้ทำนายการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงๆ จากการทดลองหาอัตราการอบแห้งพบว่าที่ระดับอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงกว่าจะส่งผลให้เกิดการทำแห้งที่รวดเร็วสังเกตได้จากการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในเวลาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกัน โดยการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ60 องศาเซลเซียส จะให้ผลการลดลงของอัตราส่วนความชื้นเร็วที่สุด และผลจากความชื้นสัมพัทธ์พบว่าที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่ามีผลทำให้มีอัตราการการอบแห้งที่เร็วกว่าที่อุณหภูมิเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นหมี่แห้งหรือเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งมีอยู่มากมายในท้องตลาด มีทั้งที่ผลิตโดยชาวบ้านหรือกลุ่มแม่บ้านที่ไม่มีเครื่องมือ หรือเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาช่วยในการผลิต และมีทั้งผู้ประกอบการธุรกิจที่ใช้เครื่องมือเข้ามาช่วยในการผลิตเป็นหลัก ซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็มีทั้งที่ดีและไม่ดี อันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตและการควบคุมปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอันจะส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ตลอดจนสภาวะการเก็บรักษาซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาด้วย อย่างไรก็ดีจากการค้นคว้าพบว่ายังไม่ได้มีการศึกษาถึงพารามิเตอร์หรือปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนสภาวะการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว และสมการที่ใช้อธิบายการอบแห้งอันจะเป็นแนวทางเพื่อใช้ในการพัฒนาการผลิตและการควบคุมสภาวะการอบแห้งให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งศึกษาวิจัยและนำเสนอ เกี่ยวกับการศึกษาและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว ในขั้นตอนของการศึกษาได้สร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้งขึ้นมา โดยดัดแปลงจากแบบของอุปกรณ์ศึกษาอัตราการอบแห้งเมล็ดพืชชั้นบางของ สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล และคณะ (2536) และวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการอบแห้ง

จากการค้นคว้าศึกษาและสร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้งขึ้นมา พบว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ในการศึกษาหาอัตราการอบแห้งได้ดี โดยมีคุณสมบัติสามารถควบคุมความเร็วลมได้ในช่วง 0.4-1.03 เมตรต่อวินาที ส่วนการควบคุมความชื้นพบว่าการใช้เครื่องสร้างหมอกเป็นหน่วยเพิ่มความชื้น สามารถควบคุมปริมาณความชื้นได้ตามต้องการเพียงเล็กน้อยโดยการปิดเปิดเครื่องสร้างหมอกเพื่อเพิ่มปริมาณความชื้นในสภาวะการอบแห้ง ซึ่งพบว่าในสภาวะที่บรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง การปิดเปิดเครื่องสร้างหมอกไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของระดับความชื้นในสภาวะการอบแห้งมากนัก

เมื่อศึกษาความหนาแน่นของเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่าเมื่อความชื้นลดลง เส้นก๋วยเตี๋ยวจะมีความหนาแน่น เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ในรูปสมการเชิงเส้น $\rho = 1.65 - 0.45M_d$ และพบว่าเมื่อเส้นก๋วยเตี๋ยวมีความชื้นมากขึ้นจะส่งผลให้มีค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้นตามไปด้วย โดยมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น อธิบายได้ในรูปสมการ $C_p = 17.070 + 0.620\ M_d$

ในการศึกษาความชื้นสมดุลของเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่า ความชื้นสมดุลมีความสัมพันธ์กับระดับความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการตามรูปแบบสมการของ Chung &Pfost ดังสมการ

$\ln RH = (-39707.12 / R_{T_{abs}}) \exp(-0.059373M_{eq})$ เมื่อทำการศึกษาอัตราการอบแห้งพบว่าอัตราการอบแห้งเป็นแบบอัตราการอบแห้งลดลง สมการที่ใช้อธิบายอัตราการอบแห้ง คือ $MR = e^{-kt}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า k มีความสัมพันธ์กับ อุณหภูมิ (T) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ในรูปสมการ $k = 0.025646 - 0.030304\ RH + 0.0010255\ T$

ผลการศึกษาวิเคราะห์พารามิเตอร์และสมการอัตราการอบแห้งแบบชั้นบางสามารถนำไปใช้ในการทำนายการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว(หมี่โคราช)และออกแบบอุปกรณ์อบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. หน่วยเพิ่มความชื้น ในอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้ง ควรมีการศึกษาโดยเฉพาะเพื่อให้สามารถปรับระดับของความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามต้องการ ไม่ว่าระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมจะสูงหรือต่ำ

2. การกระจายลมร้อน ควรศึกษาหาวิธีที่จะให้ลมร้อนกระจายเต็มพื้นที่หน้าตัดของถังอบแห้งและสม่ำเสมอกันทุกจุด เพื่อให้วัตถุดิบได้รับลมร้อนอย่างสม่ำเสมอเท่าๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

งามชื่น คงเสรี. 2541. **เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรม เรื่องการพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด.** โรงแรมมารวยการ์เด้น 26-28 มีนาคม 2541

ณัฐพล ภูมิสะอาด , ธนากร บูรณเพชร และ เจริญพร เลิศสถิตยธนากร. 2546. **สมการจลศาสาตร์การอบแห้งใบหม่อน.** คณะวิศวกรรมศาสาตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

มารีนา นุ้ยหมีม ,สมชาติ โสภณรณฤทธ์ และบุษยา บุนนาค. 2536. **แนวทางการอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มที่เหมาะสมที่สุด.** วารสารเกษตรศาสตร์(วิทย.) 27 : 79-90.

สุขฤดี นาถกรณกุล และศิรินุช จินดารักษ์. 2540. **การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์การอบแห้งผลไม้แช่อิ่ม.** ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สุธีรา เลิศวุฒิชัยกุล, ภัทราพร ยุธาชิต และ จิติวัฒนา คำกลิ้ง. 2544. **การปรับปรุงคุณภาพเส้นหมี่โคราชเพื่อสุขภาพ.** โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสถาบันราชภัฏนครราชสีมา.

สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล, ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล, ไพโรจน์ คีรีรัตน์, สมคิด จีนาพงษ์ และ วีระ ไทยสยาม. 2536. **อุปกรณ์ศึกษาอัตราการอบแห้งเมล็ดพืชชั้นบาง.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวิไลพร นพรัตน์ไกรลาศ. 2530. **อุปกรณ์การศึกษาอัตราการอบแห้งเมล็ดพืช และผลการทดสอบข้าวเปลือก.** การประชุมสัมมนาทางวิชาการ "เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม" 28-30 ตุลาคม 2530 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อารี เทียนไชย และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2534. **การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่ม.** วารสารเกษตรศาสตร์(วิทย.) 25 : 206-218.

Aree Achariyaviriya. 2001. **Simulation and optimization of drying strategy for longan drying.** King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Kaleemullah,S. and Kailappan,R. 2006. **Modelling of thin-layer drying kinetics of red chillies.** Journal of Food Engineering 76 (2006) 531–537

Somboon Wetchacama, Somchart Soponronnarit, Thanit Swasdisevi, and Sakrin Ratsie. 2000. **Parameters for mango Glace Drying Simulation.**Kasetsart J. (Nat. Sci.) 34 : 544-549.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tadao Inazu, Ken-ichi Iwasaki, and Takeshi Furuta. 2003. **Effect of Temperature and Relative Humidity on Drying Kinetics of Fresh Japanese Noodle (Udon).** Lebensm.-Wiss. U.-Technol. 36(2003)277-280.

Tadao Inazu, Ken-ichi Iwasaki, and Takeshi Furuta. 2003. **Effect of Air Velocity on Fresh Japanese Noodle (Udon) Drying.** Lebensm.-Wiss. U.-Technol. 36(2003)277-280

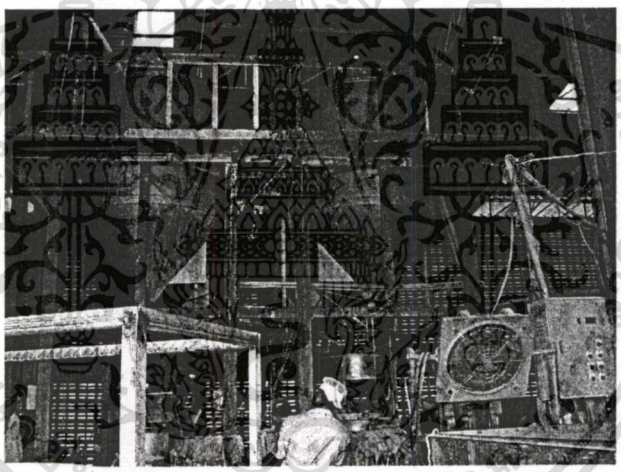
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

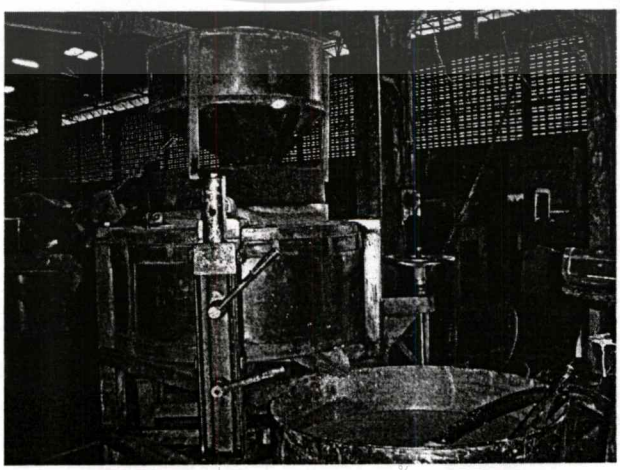
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวในโรงงานเส้นหมี่ภานุเจริญ

โรงงานผลิตเส้นหมี่ภานุเจริญ

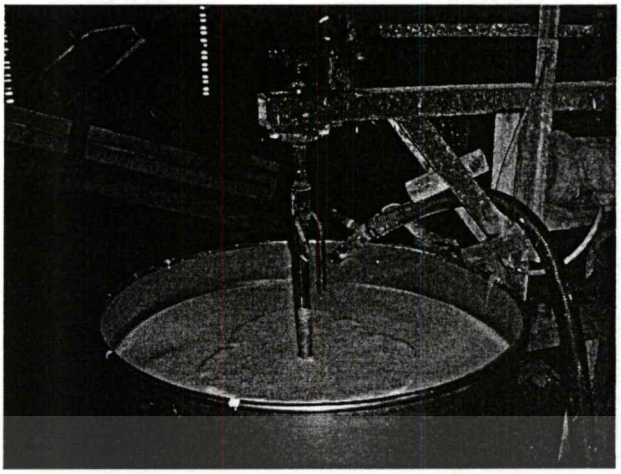


ถังแช่ข้าว

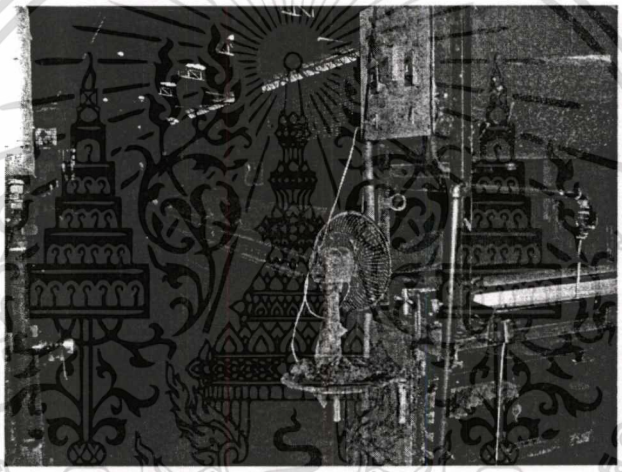


การโม่ข้าว

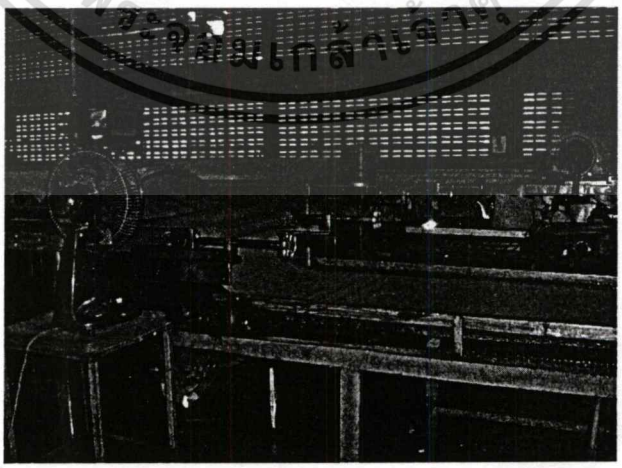
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การปรับความเข้มข้นน้ำแป้ง

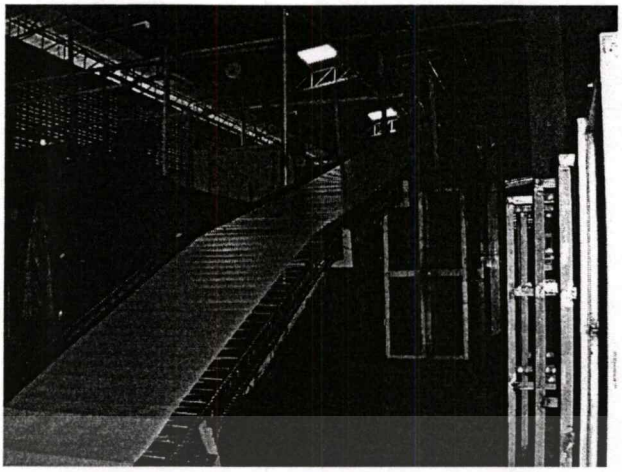


การเกลี่ยน้ำแป้งให้เป็นแผ่นและนึ่งแผ่นแป้ง

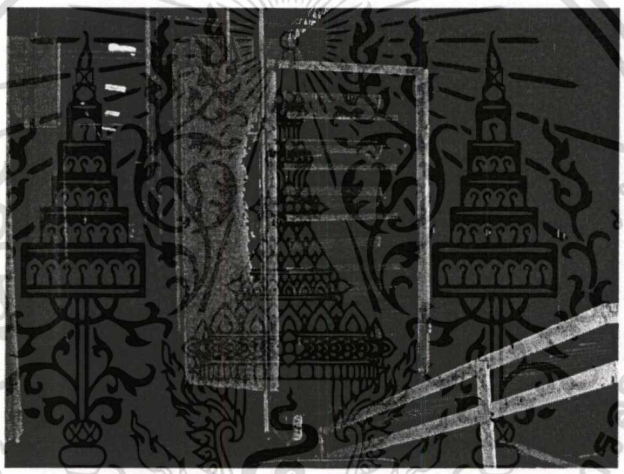


แผ่นแป้งหลังนึ่ง

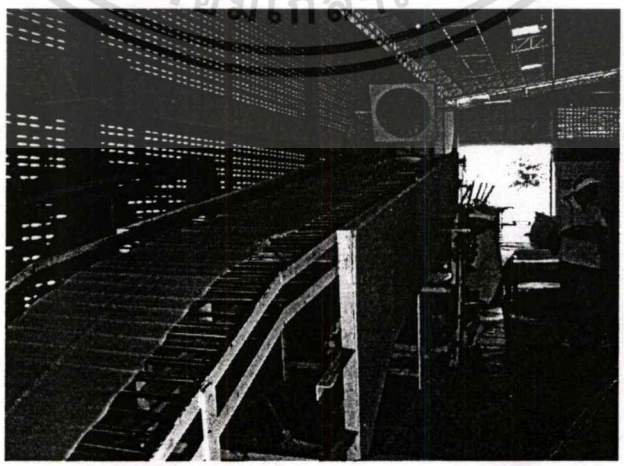
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผ่นแป้งหลังนึ่งเข้าสู่ห้องอบลดความชื้น



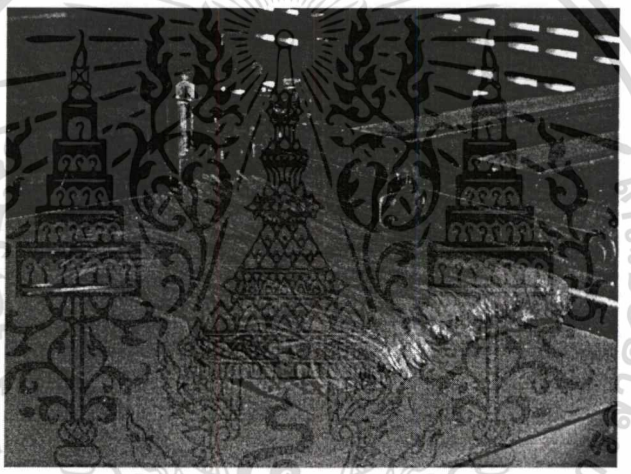
แผ่นแป้งในห้องอบลดความชื้น



แผ่นแป้งหลังอบลดความชื้นก่อนตัดแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

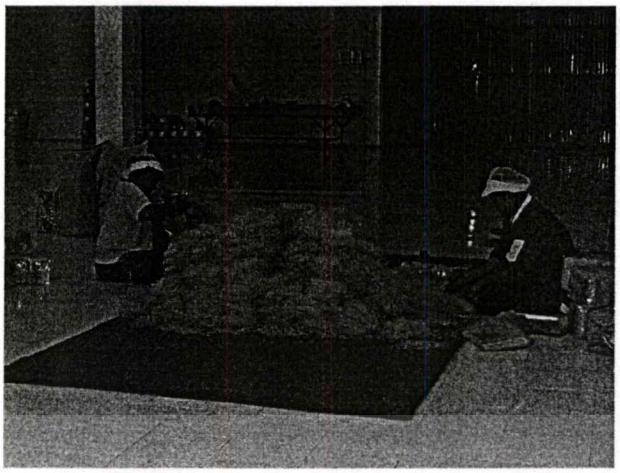
แผ่นแป้งตัดเป็นแผ่นเรียงซ้อนกันเพื่อให้คืนตัว



ตัดเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว

จับเป็นแพเข้าเครื่องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บรรจุใส่ถุงโดยใช้แรงคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายจิติวัฒนา คำกลิ้ง
วันเกิด	29 พฤศจิกายน 2513
ที่อยู่	534 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา
การศึกษา	ปริญญาตรี ปีการศึกษาที่จบ 2536
	วิทยาศาสตรบัณฑิต(วท.บ.) วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คณะเกษตรศาสตร์บางพระ
	ปริญญาโท
	กำลังศึกษาอยู่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่ทำงาน	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง
	อ.เมือง จ. นครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้