20389

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยว

(Thin layer drying apparatus for rice noodle)

T096899

โดย

นายอภิชาติ ศรีณรงค์ รหัสประจำตัว 44040808

นายอิทธิพร แก้วเพ็ง รหัสประจำตัว 44040810

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา พ.ศ. 2547

ฟพ.
อ๒๕๐
๒๕๔๗

เลขหมู่
เลขทะเบียน 96899
วัน เดือน ปี 5 JUN 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

อุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยว

(Thin layer drying apparatus for rice noodle)

จัดทำโดย

นายอภิชาติ ศรีณรงค์ รหัสประจำตัว 44040808

นายอิทธิพร แก้วเพ็ง รหัสประจำตัว 44040810

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 24 /มีค/48 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ดร.กิตติชัย บรรจง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อภิชาติ ศรีณรงค์ ,อิทธิพร แก้วเพ็ง ,2547 : อุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยว (Thin layer drying apparatus for rice noodle). โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

อุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางเป็นอุปกรณ์ขนาดทดลอง ประกอบด้วย ถังอบแห้งทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ก้นกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน, ท่อลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน, แผ่นโลหะกระจายลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 เซนติเมตรเจาะรูให้มีความสม่ำเสมอ, ถาดอบแห้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร, ขดลวดความร้อน, เครื่องควบคุมอุณหภูมิ, เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K ใช้วัดค่าอุณหภูมิขณะทำแห้งที่ถังอบแห้ง , พัดลมขนาดกำลัง 25 วัตต์

จากการทดสอบอุปกรณ์ พบว่า สามารถควบคุมความเร็วของอากาศให้คงที่ที่ 0.8 m/s , ควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนที่อบแห้งในช่วง 40-60 °C ได้อย่างดี โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างคงที่ และจากการทดลองอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ช่วงอุณหภูมิ 40-60 °C พบว่า การอบแห้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการอบแห้งจะเร็วขึ้น โดยแสดงให้เห็นได้ดังกราฟอัตราส่วนความชื้น(Moisture ratio) กับระยะเวลาอบแห้ง

อภิชาติ ศรีณรงค์
ลายมือชื่อนักศึกษา

อิทธิพร แก้วเพ็ง ..... 21 / มีค. / 2548
ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

อุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยว สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง อาจารย์ผู้ควบคุมปัญหาพิเศษนี้ ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ที่ให้กำลังทรัพย์ทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้คำแนะนำและกำลังใจมาโดยตลอด ประโยชน์อันใดที่เกิดจากรายงานเล่มนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้จัดทำซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นายอภิชาติ ศรีณรงค์

นายอิทธิพร แก้วเพ็ง

24 มีนาคม 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 วาสารปริทัศน์	3
2.1 ก๋วยเตี๋ยว	3
2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง	4
บทที่ 3 การออกแบบอุปกรณ์และการทดสอบ	12
3.1 การสร้างอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับก๋วยเตี๋ยว	12
3.2 การศึกษาการอบแห้งจากอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับก๋วยเตี๋ยว	13
3.3 การหาอัตราส่วนความชื้น	13
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง	14
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	16
เอกสารอ้างอิง	18
ภาคผนวก	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ผลการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับก๋วยเตี๋ยว ที่อุณหภูมิ 40 ^{0}C	19
ตารางที่ 2	ผลการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับก๋วยเตี๋ยว ที่อุณหภูมิ 45 ^{0}C	20
ตารางที่ 3	ผลการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับก๋วยเตี๋ยว ที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C	21
ตารางที่ 4	ผลการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับก๋วยเตี๋ยว ที่อุณหภูมิ 55 ^{0}C	22
ตารางที่ 5	ผลการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับก๋วยเตี๋ยว ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงอัตราส่วนค่าความชื้นกับเวลา	6
รูปที่ 2 แสดงอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนค่าความชื้น	6
รูปที่ 3 โครงสร้างอุปกรณ์การอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับก๋วยเตี๋ยว	12
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา	15
รูปที่ 5 อุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยว	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจำนวนมาก ผลิตภัณฑ์เหล่านี้หากมีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียได้ง่าย ดังนั้นต้องนำไปอบแห้งไล่ความชื้นออกก่อน เพื่อนให้เก็บรักษาไว้ได้นาน วิธีอบแห้งที่ใช้โดยทั่วไปเป็นแบบธรรมดา เช่น การตากกลางแจ้ง วิธีนี้มีข้อเสียคือขึ้นอยู่กับลักษณะลม ฟ้า อากาศ ผลิตภัณฑ์อาจเกิดความเสียหายจาก ลม ฝน หรือถูกรบกวนจาก แมลง นก และหนู เป็นต้น จึงมีการใช้พลังงานแบบอื่นๆมาช่วยในการอบแห้ง พร้อมทั้งใช้เครื่องอบแห้งซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด (traydryer) แบบอุโมงค์ (tunnel dryer) แบบถังหมุน (rotary dryer) เป็นต้น สำหรับการเลือกแบบอบแห้ง และวิธีการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ความจุ และตัวแปรการอบแห้ง อื่นๆ(วิวัฒน์ ตัณฑะพาณิชกุลม, 2521)

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งจะต้องทราบข้อมูลที่สำคัญ คือ อัตราการอบแห้ง และตัวแปรการอบแห้งอื่นๆ เช่น ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและค่าสมดุลของความชื้นผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ดังนั้นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อหาอัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญมาก อุปกรณ์การทดลองจะต้องสามารถควบคุมตัวแปรการอบแห้ง อาทิ อุณหภูมิอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง ความเร็วอากาศอบแห้งได้และต้องสามารถติดตามน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนไปกับเวลาได้ตามต้องการ เพื่อที่จะนำผลการทดลองเหล่านี้ไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ระหว่างตัวแปรการอบแห้งกับอัตราการอบแห้ง กระบวนการอบแห้งของเครื่องอบแห้งโดยทั่วไปนั้นจะเป็นการอบแห้งแบบชั้นหนาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งตามทฤษฎีจะพบว่า การอบแห้งแบบชั้นหนาจะเกิดการอบแห้งในลักษณะแบบชั้นบาง จากความชื้นที่สัมผัสกับอากาศร้อนและอบแห้งไล่ความชื้นขึ้นมาเรื่อยๆ รายงานการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการอบแห้งชั้นบางมีดังนี้

- วีระ โลหะ(2528) ได้ทำการทดลองสร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยในส่วนแรกเป็นการสร้างและทดสอบการทำงานอุปกรณ์ ส่วนที่สองเป็นการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์และสร้างสมการอบแห้ง อุปกรณ์อบแห้งที่ออกแบบเป็นอุปกรณ์อบแห้งขนาดทดลอง ประกอบด้วย หน่อวยเพิ่มความชื้นอากาศ หน่วยลดความชื้นอากาศ หน่วยอบแห้ง และขดลวดให้ความร้อนแก่อาศพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ การทำงานของอุปกรณ์เป็นการผสมอากาศชื้นจากหน่วยเพิ่มความร้อนกับอากาศแห้งจากหน่วยลดความชื้นและควบคุมอุณหภูมิอบแห้งด้วยขดลวดความร้อนไฟฟ้า ได้ทำการทดสอบอุปกรณ์ที่สภาวะอากาศอบแห้งต่างๆกัน 11 การทดลอง ในช่วงอุณหภูมิ 49-71°C ความชื้นสัมพัทธ์ 14-62 % และความเร็วอากาศ 0.7-1.3% m/s สรุปได้ว่าความผิดพลาดของการควบคุมอุณหภูมิ(ในระดับความเชื่อถือทางสถิติ 95%) มีค่าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.55(2.53) และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงสุด 3.03% ผลการทดลองอบแห้งชิ้นมะพร้าวเพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิและลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งเพิ่มมากขึ้น และพบว่าสมการเอ็มไพริเดิลให้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลการทดลองมากที่สุด

- อรุณี ผุดผ่อง(2531) ได้ศึกษาการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดข้าวโพดที่อุณหภูมิประมาณ 45-47°C ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพดอยู่ระหว่างร้อยละ 4-36 (มาตรฐานแห้ง) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแห้งอยู่ระหว่าง 12-34% จากการทดลองพบว่า ค่าความชื้นเริ่มต้น และอุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง ในขณะที่ความเร็วลมและชนิดของข้าวโพดมีผลน้อยมากนั่นคือ อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเมล็ดพืชและอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น(ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง) ส่วนความเร็วลมและชนิดของข้าวโพดมีผลต่ออัตราการอบแห้งน้อยมาก ซึ่งสามารถตัดทิ้งได้

- ศิวะ อัจฉวิริยะ(2531) ได้ศึกษาหาพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ในการออกแบบอุปกรณ์และอบแห้งวัสดุ พารามิเตอร์ดังกล่าวได้แก่ ความชื้นสมดุล สัมประสิทธิ์การแพร่ ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะ ที่ทำการทดลองได้หาพารามิเตอร์ดังกล่าวและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Cabinet การทดลองใช้มะละกอพันธ์โกโก้มาแช่อิ่มโดยแช่ในน้ำเชื่อมที่มีความเข้าข้น 30 องศาบริกซ์ จากการทดลองหาความชื้นสมดุล ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิระหว่าง 40-65 °C ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 10-90% โดยใช้สารละลายเกลือควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ และใช้ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นสมดุลต่ำลงในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 0-25% แต่สูงขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 45% จากการเลือกสมการสำหรับอธิบายผลการทดลองพบว่าสมการ Brunauer et.al., 1938 สามารถใช้ได้ดี ในการเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่าวผลการทดลอง กับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ กฎทรงมวล และสมการที่เกี่ยวพัน โดยสมมติฐานที่สำคัญคือ เกิดสมดุลทางความร้อนระหว่างอากาศชื้นและมะละกอแช่อิ่ม พบว่า ผลการคำนวณมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองเล็กน้อย

- Alam and Shove(1973) รายงานถึง ผลการศึกษาสมบัติ Hygroscopicity และสมบัติทางความร้อนของเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ Wayne พบว่า สมการความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศร้อนในรูปสมการโพลิโนเมียลกำลัง3

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาอุปกรณ์การทดสอบหาอัตราการทำแห้งชั้นบางแบบง่ายๆและราคาถูก
2. เพื่อใช้ทดสอบหาอัตราการทำแห้งแบบชั้นบางกับอาหารบางชนิด และพัฒนา อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับสภาวะเงื่อนไขที่จะนำมาใช้เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์กระบวนการทำแห้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 ก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากปลายข้าวเจ้าหรือใช้แป้งข้าวเจ้าโดยอาจมีแป้งชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ ทำให้เป็นแผ่นบาง นึ่งให้สุก ตัดเป็นเส้น (มอก.,2532) ในการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก ผู้ผลิตส่วนใหญ่นิยมผลิตในรูปของเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งแห้ง มีความชื้นร้อยละ 37-40 เพื่อให้สะดวกในการตัดเส้น โดยนำก๋วยเตี๋ยวมาผึ่งลมไว้ 2 ชั่วโมงหรืออบที่อุณหภูมิ 150-180 °C นาน 5 นาที คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวจะสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสในสตาร์ช (Starch) ข้าวเจ้า พบว่าปริมาณอะไมโลสที่เหมาะสมในการทำก๋วยเตี๋ยวคือร้อยละ27-33 (นั่นทยา จะเรียมพันธ์.2530)

เสนอ ร่วมจิต (2522) รายงานว่าข้าวพันธ์เหลืองประทิว 123 และขาว 500 ที่เป็นข้าวเก่าเก็บไว้ 6 เดือนสามารถทำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีคุณภาพดี และข้าวที่ใช้ทำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีคุณภาพดี และมีความคงตัวสูงต้องเป็นข้าวที่มีอะไมโลสสูงมากกว่าร้อยละ 27

คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวนอกจากปริมาณอะไมโลสของข้าวแล้วยังขึ้นกับคุณภาพน้ำที่นำมาใช้ทำเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วย น้ำที่ใช้ผลิตก๋วยเตี๋ยวควรเป็นน้ำสะอาด มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 5-7 เพราะจะทำให้เจลมีความเหนียวสูงสุด ถ้าความเป็นกรดด่างต่ำกว่านี้เจลจะมีความเหนียวลดลงเนื่องจากเม็ดแป้งแตกตัวได้น้อยลง หรือเพราะโมเลกุลของเม็ดแป้งเล็กลงทำให้เกิดเจลได้ยากขึ้น นอกจากนี้น้ำที่ใช้ไม่ควรมีเกลือแคลเซียมหรือแมกนีเซียมมากเกินไป เพราะเกลือทั้งสองชนิดนี้ทำให้เม็ดแป้งแตกตัวยาก (ณรงค์ นิยมวิทย์. 2535)

2.1.1การแบ่งชนิดของก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยวที่นิยมผลิตกันโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามปริมาณความชื้นภายในเส้น คือ

2.1.1.1 ก๋วยเตี๋ยวสด คือ ก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวมาหั่นเป็นเส้นโดยไม่ผ่านขั้นตอนการทำให้แห้ง ซึ่งอาจเป็นเส้นเล็กหรือเส้นใหญ่ก็ได้ เส้นเล็กมีขนาด 0.4–0.5 ซม. ส่วนเส้นใหญ่มีขนาด 1.5–2.5 ซม. ก๋วยเตี๋ยวทั้งสองชนิดมีความชื้นประมาณร้อยละ 62–64 เป็นผลิตภัณฑ์ที่เก็บได้ไม่นานต้องบริโภคภายใน 1-2 วัน

2.1.1.2 ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กกึ่งแห้ง คือ ก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการผึ่งลมหรืออบลดความชื้นมาบ้างแล้ว เพื่อลดความชื้นลงก่อนตัดเป็นเส้น ก๋วยเตี๋ยวชนิดนี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 37 โดยปกติจะเก็บได้ 2-3 วันเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง คือ ก๋วยเตี๋ยวที่มีการตัดเป็นเส้นและทำให้แห้งด้วยการอบ ก๋วยเตี๋ยวชนิดนี้มีความชื้นประมาณ 13 หรือต่ำกว่า เป็นผลิตภัณฑ์ที่เก็บได้นาน (กัลยาณี ดีประเสริฐ์วงศ์. 2529)

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งส่วนมากใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางผ่านไปยังผลิตภัณฑ์ ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนและมวลสารขึ้นพร้อมๆกัน ความร้อนจะทำให้น้ำระเหยจากผิวของผลิตภัณฑ์ อัตราการระเหยของน้ำหรืออัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์หนึ่ง นั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วอากาศอบแห้ง โดยทั่วไปแล้วอัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงเวลาระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลง และมีค่าเป็นศูนย์เมื่อความชื้นถึงสภาวะสมดุล

2.2.1 กลไกการอบแห้ง

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ศึกษาและอธิบายกลไกการเคลื่อนที่ของความชื้นในผลิตภัณฑ์ขณะที่เกิดการอบแห้ง ตัวอย่างเช่น ความชื้นอาจจะเคลื่อนที่ในรูปน้ำหรือน้ำหรือไอน้ำภายใต้แรงขับดันของอุณหภูมิ ความชื้นหรือผลต่างของความดันไอภายในผลิตภัณฑ์หรืออาจเป็นการเคลื่อนที่แบบการไหลแบบคาปิลารีอันเนื่องจากแรงตึงผิวเป็นต้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นหรืออัตราการอบแห้งซึ่งใช้อธิบายกลไกการอบแห้ง และสร้างเป็นสมการอบแห้งนั้นจะต้องมีการทดสอบความถูกต้องจากการทดลอง วิธีการทดลองหาอัตราการอบแห้ง โดยทั่วไป คือ การติดตามการเปลี่ยนแปลงของความชื้นเทียบกับเวลา ดังรูปที่ 1 เมื่อนำมาเขียนเป็นอัตราการอบแห้ง (dM/dt) จะได้ดังรูป 2 ซึ่งแสดงอัตราการอบแห้ง กับค่าความชื้น จะพบว่าอัตราการอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ช่วง AB เป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุด B ช่วงที่สอง BC เป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การอบแห้งช่วงนี้มักพบกับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวหน้าผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศ จะเท่ากับการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์มายังผิวหน้า เปรียบได้กับการระเหยของน้ำจากเทอโมมิเตอร์กระเปาะเปียก ดังนั้นอุณหภูมิผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศอบแห้ง อัตราการอบแห้งช่วงนี้จะถูกควบคุมโดยสภาวะอากาศอบแห้ง ซึ่งเป็นตัวแปรภายนอกผลิตภัณฑ์ จุด C เป็นจุดที่เปลี่ยนจากอัตราการอบแห้งคงที่ไปเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง CD ความชื้นจุดนี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤต(critical moisture content) ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (CD) อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในผลิตภัณฑ์มายังผิวหน้าต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำจากผิวหน้าสู่อากาศ อัตราการอบแห้งลดลงจะถูกควบคุมด้วยตัวแปรภายใน ได้แก่การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เป็นต้น อัตราการอบแห้งจะเป็นศูนย์เมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่ค่าความชื้นสมดุลจุด D ซึ่งหมายความว่าสภาวะ ความดันไอของน้ำภายในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่าหับความดันไอน้ำของอากาศที่สภาวะนั้นๆปกติแล้ว ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะอากาศหนึ่งๆค่าความชื้นและค่าความชื้นสมดุล ตลอดจนอัตราการอบแห้งจะเป็นลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

2.2.2 ความชื้นสมดุล

เมื่อนำเอาวัสดุที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุนไปวางไว้ในอากาศ วัสดุนั้นจะคายความชื้นให้กับอากาศ (Desorption)หรือดูดซับความชื้นจากอากาศ(Absorption) และเมื่อวางไว้เป็นเวลานานๆ วัสดุนี้จะมีความชื้นคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่า ความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, EMC) ในขณะที่วัสดุอยู่ในสภาวะสมดุลนั้นอัตราการสูญเสียความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศรอบๆ มีค่าเท่ากับอัตราการได้รับความชื้นจากอากาศรอบๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ในขณะที่วัสดุอยู่ในสภาวะสมดุลนั้นความดันไอที่ผิวของวัสดุ จะมีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศรอบๆ ความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และชนิดของวัสดุ

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิหนึ่งๆที่กำหนดให้ทั้งกระบวนการคายความชื้นหรือกระบวนการดูดความชื้นสามารถแสดงได้ด้วย Equilibrium Moisture Curve ซึ่งมีลักษณะส่วนใหญ่เป็น Sigmoid-shaped เราเรียกเส้นโค้งนี้ว่า EMC Isotherms หรือความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิคงที่แต่เส้นโค้งของกระบวนการคายความชื้นกับกระบวนการดูดซับความชื้นที่ได้จากวัสดุชนิดเดียวกันอาจจะมีค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากความล้าหรือฮิสเตอไรซิส (Hysteresis)

2.2.2.1 การหาค่าความชื้น

- การวัดความชื้นโดยตรงโดยวิธี AOAC

ชั่งน้ำหนักวัสดุ (เป็นน้ำหนักเปียก) แล้วนำไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 103 ^{o}C ประมาณ 72-96 hr นำไปวางไว้ในเดซิเคเตอร์จนเย็น แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง โดยน้ำหนักของวัสดุที่ผ่านการอบที่อุณหภูมินี้มาแล้ว ถือว่าเป็นน้ำหนักแห้ง จากนั้นก็สามารถนำไปคำนวณหาค่าความชื้นได้ตามสมการ

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

หรือ

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

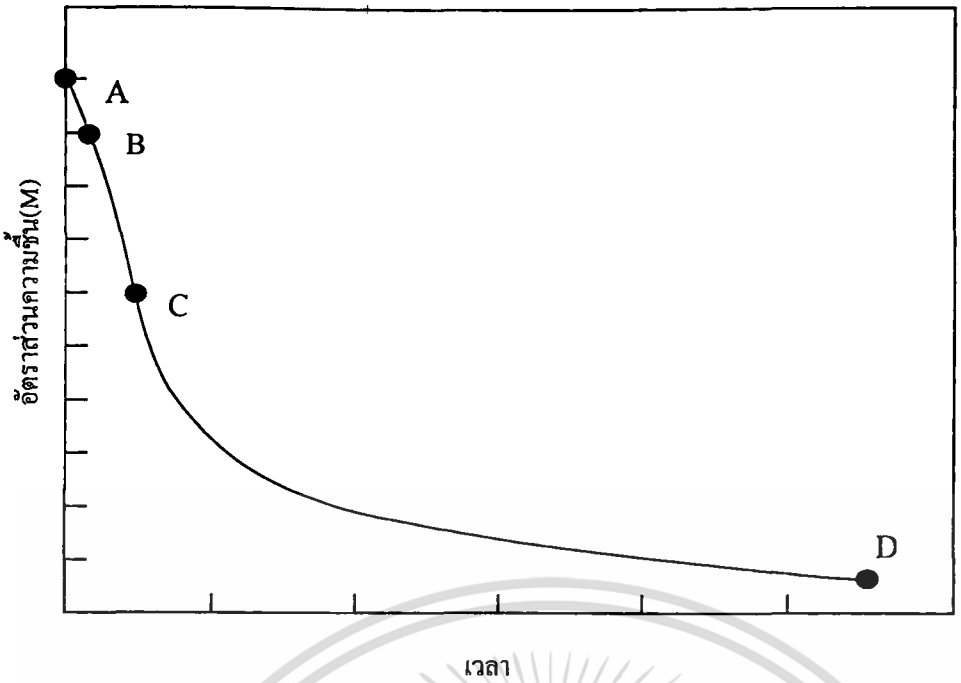
เมื่อ M_d คือความชื้นของวัสดุ , เศษส่วนมาตราฐานแห้ง

M_w คือความชื้นของวัสดุ , เศษส่วนมาตราฐานเปียก

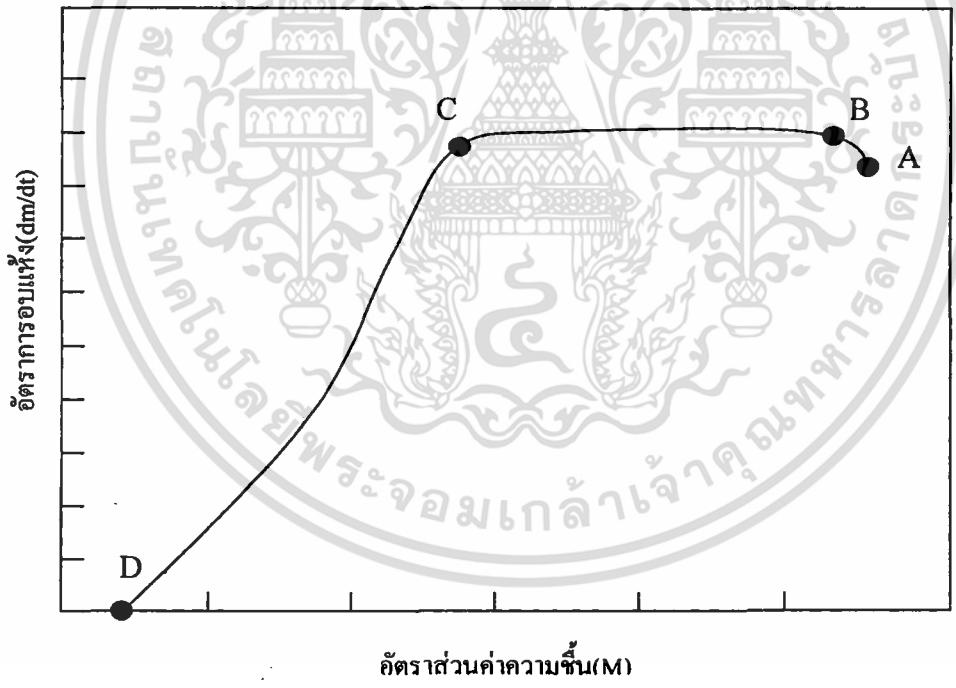
d คือมวลของของแข็ง, g

w คือมวลของของแข็งและน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงอัตราส่วนค่าความชื้นกับเวลา



รูปที่ 2 แสดงอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนค่าความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สมการอบแห้ง

สมการอบแห้ง คือ สมการที่อาจเขียนขึ้นโดยใช้ทฤษฎีหรือผลการทดลองหรือทั้งสองอย่างประกอบกันเพื่อนำมาใช้ทำนายอัตราการอบแห้งตลอดจนถึงผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์นั้นๆ สามารถแบ่งได้เป็น สมการอบแห้งทางทฤษฎี , สมการกึ่งทฤษฎีและสมการอบแห้งเอ็มไพริเคิล

2.2.3.1 สมการอบแห้งทางทฤษฎี ได้มีผู้นำหลักการทางทฤษฎีหลายทฤษฎีมาอธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นพรุนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง Luikov , 1966 ได้เสนอกลไกการเคลื่อนที่ภายในวัสดุซึ่งอาจเกิดขึ้นในแบบต่างๆดังต่อนี้

1) การเคลื่อนที่ของน้ำรูปของของเหลวเนื่องจาก Capillaryflow ซึ่งผลเนื่องมาจากแรงดึงผิว (Surface force)

2) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลว เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นความชื้น (Liquid diffusion)

3) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลว เนื่องจากการแพร่ของความชื้นบนผิวของรูพรุนเล็กๆ (Surface diffusion)

4) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอ เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor diffusion)

5) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอน้ำ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ(Thermal diffusion)

6) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวและไอน้ำ เนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม(Hydrodynamic flow)1966 ได้สร้างแบบจำลองทางคริตศาสตร์

จากกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุดังกล่าว Luikov, 1966 ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นทางวัสดุ อุณหภูมิชิงวัสดุ และความดันรวม เนื่องจากแบบจำลองของ Luikov, 1966 มีความยุ่งยากมาก เพราะมีตัวแปรและค่าพารามิเตอรีหลายตัว ดังนั้นจึงยังไม่มีการนำแบบจำลองนี้ไปใช้

เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่า การเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุโดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของของเหลวที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น อาจเขียนในรูปสมการ

$$\partial M/\partial t = \nabla^2 DM \qquad (1)$$

เมื่อ

M คือ ความชื้น , เศษส่วนมาตราฐานแห้ง

D คือ ค่าสัมประสิทธ์การพร่ขึ้นอยู่กับความชื้นของวัสดุ

t คือ เวลา , ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สามารถทำการทดลองหาค่าออกมาได้ และอาจเขียนอยู่ในรูปแบบสมการ ดังนี้

$$D = A\exp(-B/T_{abs}) \qquad (2)$$

เมื่อ

A , B คือ ค่าคงที่ของสมการ

T คือ อุณหภูมิ , เคลวิน

จากสมการที่(1) สภาวะขอบเขตและสภาวะเริ่มต้นที่ใช้ในการแก้สมการคือ

สภาวะเริ่มต้น $M(r , 0) = M_{in}$

สภาวะขอบเขต $M(r_o , t) = M_{eq}$

เมื่อ

r คือ ระยะทางวัดจากจุดกึ่งกลางของวัสดุ

r_o คือ ความกว้างหรือรัศมี

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น , เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล , เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

และกำหนดให้

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

จากวิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical method) ได้คำตอบสำหรับการเคลื่อนที่ความชื้นภายในวัสดุรูปทรงต่างๆดังต่อไปนี้

รูปทรงแผ่นแบนราบกว้างและยาวมาก

$$MR = (8/\pi^2) \sum_{P=0}^{\infty} \left[1/(2p+1)^2\right] \exp\left[-(2p+1)^2\pi^2 X^2/4\right] \qquad (3)$$

รูปทรงกลม

$$MR = (6/\pi^2) \sum_{P=0}^{\infty} (1/p^2) \exp(-p^2\pi^2 X^2/9) \qquad (4)$$

รูปทรงลูกบาศก์

$$MR = (8/\pi^2)^3\left[\exp(-3\pi^2 Dt/l^2) + (3/9)\exp(-11\pi^2 Dt/l^2) + (3/25)\exp(-27\pi^2 Dt/l^2)\right] \qquad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทรงกระบอกยาวมาก

$$MR = \sum_{P=0}^{\infty} (4/\lambda_n^2) \exp(-\lambda_n^2 X^2/4) \quad (6)$$

เมื่อ

$X = A/v(Dt)^{1/2}$

$=$ ระยะทางเฉพาะ(Characteristic length)

$A =$ พื้นที่ผิว , m^2

$p =$ จำนวนเต็มมีค่า 1,2,3.....

$\lambda_n =$ รากของเบสเซลฟังก์ชั่นอันดับที่ศูนย์

2.2.3.2 สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี (Semi-theoretical drying equation)

ในการนำสมการทางทฤษฎีที่ประกอบด้วยเทอมไม่สิ้นสุดมาใช้งาน นิยมทำให้ง่ายขึ้น โดยตัดเทอมหลังทิ้ง

จากสมการที่ (4) ถ้าคงไว้เพียงเทอมแรกจะได้

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

หรือ

$$MR = (6/\pi^2) \exp(-Kt) \quad (7)$$

เมื่อ

$r =$ รัศมีของทรงกลม , m

$K =$ ตัวคงที่ของการอบแห้ง , $(hr)^{-1}$

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

สมการสร้างแบบจำลองการอบแห้งง่ายๆ โดยการสมมติว่าอัตราการอบแห้งภายใต้สภาวะคงที่แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของความชื้นของเมล็ดพืชและความชื้นสมดุล ข้อสมมติฐานดังกล่าวคล้ายกับกฎการเย็นตัวของนิวตัน(Newton's law of cooling) เมื่อเขียนในรูปสมการอบแห้งจะได้ดังนี้

$$dM/dt = -k(M - M_{eq}) \quad (8)$$

เมื่อ

k คือ ตัวคงที่ของการอบแห้งอบแห้ง , $(hr)^{-1}$

สภาวะเริ่มต้น $M(o) = M_{in}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะขอบเขต $M(t) = M_{eq}$

คำตอบของสมการ (8) คือ

$$MR = \exp(-kt) \quad (9)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D) และค่าคงที่ของการอบแห้ง (K,k) เป็นค่าคงที่จากสมการแต่ละสมการดังกล่าว ซึ่งจะเป็นคณสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆภายในช่วงสภาวะอากาศอบแห้งที่ทำการทดลองเท่านั้น ความสัมพันธ์ของค่าคงที่อบแห้งนี้มักนิยมใช้ สมการอาริเนียสเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ดังต่อไปนี้

$$K = A\exp(-B/T_{abs}) \quad (10)$$

เมื่อ

A และB เป็นค่าคงที่ของสมการซึ่งขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์

k = ค่าคงที่อบแห้ง , $(s)^{-1}$

T_{abs} = อุณหภูมิอบแห้ง , K

2.2.3.3 สมการเอ็มไพริเคิล (Empirical drying equation)

สมการอบแห้งเอ็มไพริเคิล คือ สมการที่สร้างจากข้อมูลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิ ช่วงความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วของอากาศอบแห้งหนึ่งๆ พบว่า สามารถใช้ทำนายอัตราอบแห้งได้ดี แต่มีข้อจำกัดในเรื่องเงื่อนไขการอบแห้งที่ต้องการต้องตรงกับสภาวะการทดลอง ตัวอย่างของสมการอบแห้งเอ็มไพริเคิลมีดังนี้

Sabbah,(1968)สร้างสมการอบแห้งจากผลการทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวโพดในช่วงอุณหภูมิ 2 – 21 ^{0}C โดยมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$MR = \exp(kt^{0.664}) \quad (11)$$

เมื่อ

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

x = $(6.014+1.453\times10^{-4}RH2)^{0.5} - (1.8T+32)(3.353\times10^{-10} + 3\times10^{-8}RH2)^{0.5}$

y = $0.1226 - 1.46\times10^{-3} + 4.14\times10^{-5}RH\ T - 1.044\times10^{-4}T$

RH = ความชื้นสัมพัทธ์อากาศอบแห้ง

T = อุณหภูมิอากาศอบแห้ง, ^{0}C

t = ระยะเวลา , s

Thomsom , 1967 สร้างสมการอบแห้งจากผลการทดลองของการอบแห้งข้าวโพดในช่วงอุณหภูมิ 60 – 140 ^{0}C ในรูปแบบสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20389

$$t = A \ln MR + B(\ln MR)^2 \quad (12)$$

เมื่อ

$A = 2.018 + 0.00878\ T$

$B = 148.6\exp(-0.054942\ T)$

t = ระยะเวลา , s

T = อุณหภูมิอบแห้ง , ^0C

Wang , 1978 เสนอสมการจากการอบแห้งข้าวเปลือก ดังนี้

$$MR = a \exp(60\ bt) \quad (13)$$

เมื่อ

$a = 0.96 - 0.00008826\ T + 0.02324\ RH$

นอกจากสมการอบแห้งเอ็มไพริเคิลที่ใช้ทำนายการอบแห้ง ในช่วงสภาวะอากาศอบแห้งที่ระบุไว้ สมการอบแห้งเอ็มไพริเคิลยังคงเป็นสมการที่นำไปใช้เป็นแบบจำลองการออกแบบเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่ ที่ช่วงสภาวะอบแห้งเดียวกันได้อย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

บทที่3
การออกแบบอุปกรณ์และการทดสอบ

3.1 การสร้างอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับก๋วยเตี๋ยว

ส่วนประกอบของอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับก๋วยเตี๋ยว มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ถังอบแห้ง เป็นถังทรงกระบอก ส่วนล่างเป็นกรวย เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม. ความสูง 55 ซม.
2. ถาดอบแห้ง ทรงกระบอกส่วนล่างเป็นตาข่าย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง18 ซม. สำหรับวางเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อทำการอบแห้ง
3. ตัวกระจายลม แผ่นโลหะบาง เจาะรูให้มีขนาดและมีการกระจายเท่าๆกัน เพื่อกระจายอากาศให้ทั่วถาดอบแห้ง
4. ขดลวดความร้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. ออกแบบให้มีแผ่นเหล็กช่วยกระจายความร้อน
5. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของขดลวดความร้อนให้มีอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าคงที่ตามต้องการ
6. พัดลม พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับ(AC) 220 Volt 25 W
7. เทอร์โมคับเปิล ใช้เทอร์โมคับเปิลชนิด type K เป็นตัววัดอุณหภูมิภายในถังอบแห้ง
8. ไฮโกรมิเตอร์ ใช้วัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกถังอบแห้ง
9. ท่อลม ทำจากโลหะหุ้มฉนวน รูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร

รูปที่ 3 โครงสร้างอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การศึกษาการอบแห้งจากอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยว

1. นำเส้นก๋วยเตี๋ยวเรียงบนตะแกรง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

2. เตรียมอุปกรณ์โดยการปรับอุณหภูมิของเครื่องให้คงที่ ทำการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ 40 – 60 ^{0}C ประมาณ 10 นาที

3. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจึงนำเส้นก๋วยเตี๋ยวในตะแกรงมาอบแห้ง

4. ชั่งน้ำหนักเส้นก๋วยเตี๋ยวทุกๆ 10 นาทีใน 1 ชม.แรก จากนั้นทุกๆ 20 นาทีในชม.ถัดมา จนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง จึงหยุดการทดลอง

3.3 การหาอัตราส่วนความชื้น

วิธีการหาอัตราส่วนความชื้น(MR) ที่เปลี่ยนไประหว่างการทดลอง นิยามได้ว่า

$$MR = (M - M\,eq) / (M\,in - M\,eq)$$

เมื่อ M = ความชื้นเส้นก๋วยเตี๋ยว ,มาตรฐานแห้ง

M in = ความชื้นเริ่มต้นของเส้นก๋วยเตี๋ยว,มาตรฐานแห้ง

M eq = ความชื้นสมดุล ,มาตรฐานแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

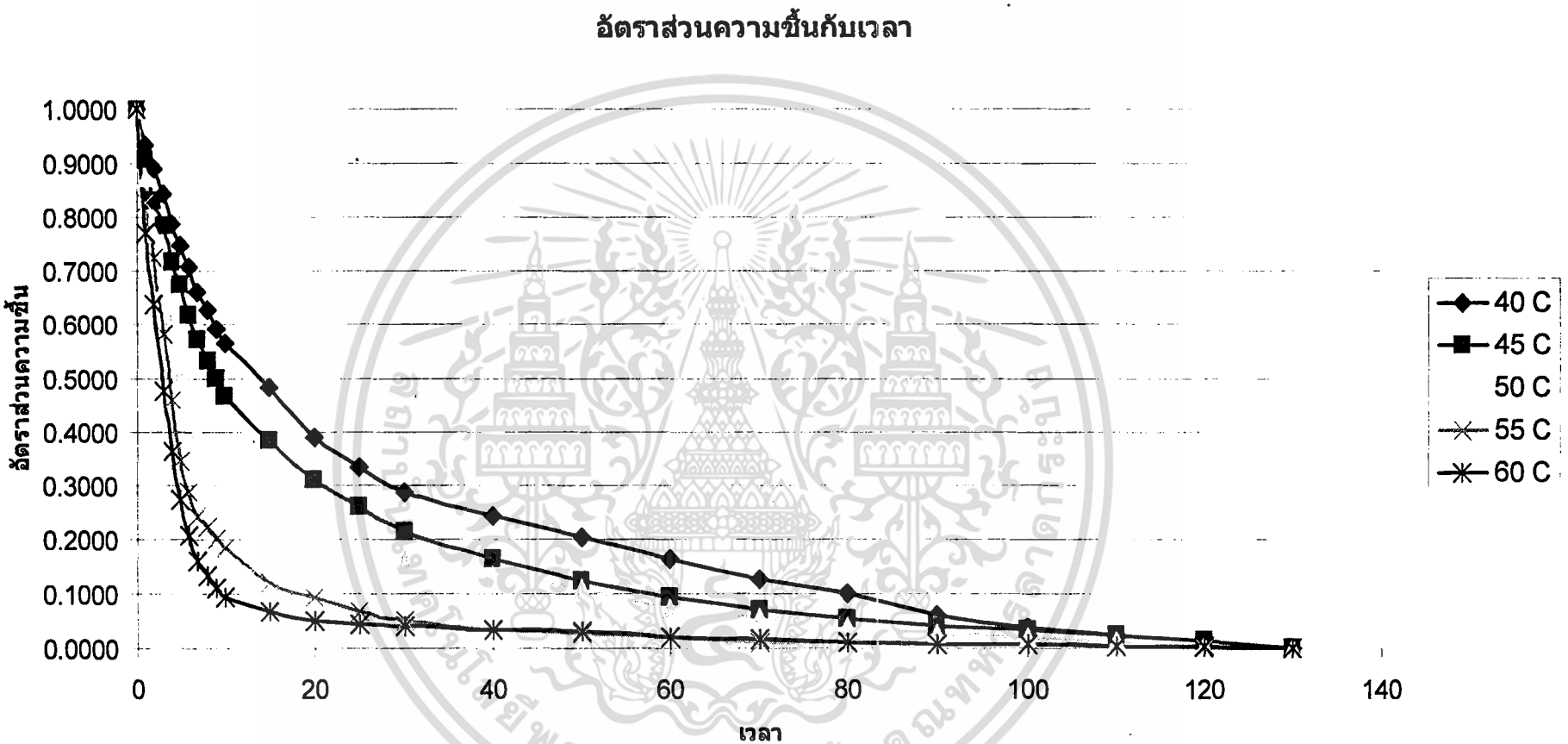
บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลองโดยใช้เส้นก๋วยเตี๋ยวมาดำเนินการทดสอบเป็นจำนวนทั้งสิ้น 5 การทดลอง โดยมีความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 50 – 60 % ความเร็วของอากาศที่ใช้อบแห้งคงที่ที่ 0.8 เมตร/วินาที ในแต่ละการทดลองจะควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์นั้นไม่มีการควบคุม ผลการศึกษาการอบแห้งจากอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยว แสดงไว้ในตารางภาคผนวก 1-5

จากรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาอบแห้ง สามารถอธิบายได้ว่า ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะในขณะนั้นเส้นก๋วยเตี๋ยวยังมีปริมาณน้ำอยู่มาก ทำให้การแพร่ของน้ำในเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นไปได้ง่าย เมื่อเวลาอบแห้งผ่านไป 1 – 2 ชั่วโมง ความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆ ทั้งนี้เป็นเพราะในขณะนั้นปริมาณน้ำของเส้นก๋วยเตี๋ยวอยู่ในระดับต่ำ ทำให้การแพร่ของน้ำในเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นไปได้ยาก เมื่อเวลาผ่านไปมากๆ ความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวเกือบไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งอธิบายได้ว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวอยู่ในสภาวะใกล้สมดุลกับอากาศ ทั้งสมดุลความร้อนและความชื้น เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการอบแห้งจะเร็วขึ้น

จากการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยวนี้ นำไปสู่การคำนวณหาค่าคงที่ของสมการการอบแห้ง จะได้ค่าคงที่(k) ของที่การอบแห้งของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ณ อุณหภูมิที่ทำการทดลอง 40 ^{0}C, 45 ^{0}C, 50 ^{0}C, 55 ^{0}C , 60 ^{0}C คือ - 0.0316 , - 0.0329 , - 0.0360 , -0.0476 ,-0.0423 ตามลำดับ เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้แทนค่าในสมการการอบแห้ง(สมการที่ 9) สามารถที่จะทำนายระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งเครื่องนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



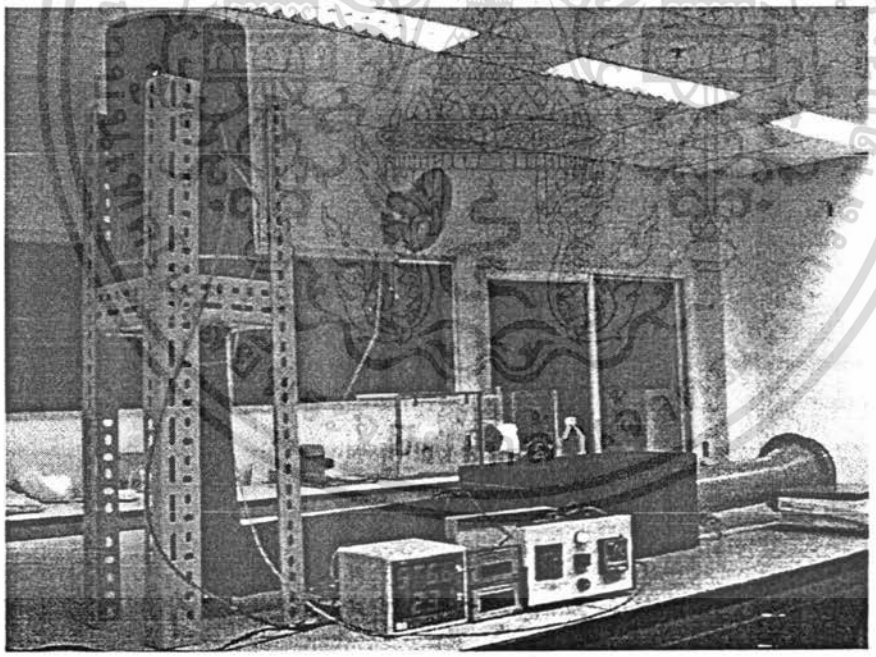
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

อุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางเป็นอุปกรณ์ขนาดทดลอง ประกอบด้วย ถังอบแห้งทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ก้นกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน, ท่อลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน, แผ่นโลหะกระจายลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 เซนติเมตรเจาะรูให้มีความสม่ำเสมอ, ถาดอบแห้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร, ขดลวดความร้อน, เครื่องควบคุมอุณหภูมิ, เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K ใช้วัดค่าอุณหภูมิขณะทำแห้งที่ถังอบแห้ง , พัดลมขนาดกำลัง 25 วัตต์

จากการทดสอบอุปกรณ์ พบว่า สามารถควบคุมความเร็วของอากาศให้คงที่ที่ 0.8 m/s , ควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนที่อบแห้งในช่วง 40-60 °C ได้อย่างดี โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างคงที่ และจากการทดลองอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ช่วงอุณหภูมิ 40-60 °C พบว่า การอบแห้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการอบแห้งจะเร็วขึ้น โดยแสดงให้เห็นได้ดังกราฟอัตราส่วนความชื้น(Moisture ratio) กับระยะเวลาอบแห้ง



รูปที่ 5 อุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองไม่ได้มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ให้คงที่ ทำให้ผลการทดลองบางช่วงไม่สม่ำเสมอตามทฤษฎี

2. การทดลองศึกษาการอบแห้งควรจะมีการทดลองในหลายๆ สภาวะความชื้นและอุณหภูมิ

3. การศึกษาการอบแห้งนี้ นำไปสู่การหาสมการการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรที่มีความเหมาะสมต่อชนิดวัสดุนั้นๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96899

เอกสารอ้างอิง

วีระ โลหะ, 2528 .การออกแบบอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางเกษตร. รายงานวิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

นัทยา จะเรียมพันธุ์,2530.การเติมโปรตีนในก๋วยเตี๋ยวด้วยแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,ภาควิชาคหกรรมศาสตร์,คณะเกษตร,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ ตัฒฑะพานิชกุล,2522.อุปกรณ์อบแห้งอุตสาหกรรม.สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น),กรุงเทพฯ.

ศิวะ อุจฉริยะวิริยะ,2531, การศึกษาหาพารามิเตอร์และการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งมะละกอแช่อิ่ม.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต(สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน),คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,กรุงเทพฯ.

เสนอ ร่วมจิต,2522. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของข้าวเจ้าพันธุ์ต่างๆที่มีผลต่อลักษณะของเส้นก๋วยเตี๋ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาวิทยาศาสตร์อาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม,2532.มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว.กระทรวงอุตสาหกรรม,กรุงเทพฯ.

อรุณี ผุดผ่อง ,2531. การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัฑิต(สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน),คณะพลังงานและวัสดุ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,กรุงเทพฯ.

Agrawal Y.C.and Singh R.P.,1977. Thin layer drying studies on Engineers. ASAE paper No.77-3531.,St-Josoph, Mich.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	อุณหภูมิแวดล้อม (^{0}C)	ความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อม (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ถังอบแห้ง (%)	น้ำหนักเส้นก๋วยเตี๋ยวและถาดอบแห้ง(g)	ปริมาณความชื้น (%)	อัตราส่วนความชื้น
0	29.60	64	22	400.00	37.72	1.0000
1	29.60	64	22	396.44	35.27	0.9350
2	29.80	64	23	393.95	33.56	0.8896
3	29.80	63	22	391.40	31.80	0.8430
4	29.70	58	21	388.41	29.74	0.7884
5	29.60	59	21	386.17	28.20	0.7475
6	29.60	59	21	383.93	26.66	0.7066
7	29.70	62	22	381.52	25.00	0.6627
8	29.60	65	23	379.64	23.70	0.6283
9	29.50	66	23	377.66	22.34	0.5922
10	29.60	64	23	376.12	21.28	0.5641
15	29.60	63	23	371.54	18.12	0.4805
20	29.60	63	23	366.54	14.68	0.3892
25	29.60	62	22	363.42	12.53	0.3322
30	29.50	63	22	360.89	10.79	0.2861
40	29.60	66	23	358.46	9.12	0.2417
50	29.60	64	23	356.31	7.64	0.2024
60	29.60	64	23	354.19	6.18	0.1637
70	29.70	65	23	352.13	4.76	0.1261
80	29.80	65	24	350.62	3.72	0.0986
90	29.90	65	24	348.45	2.22	0.0590
100	29.70	65	23	347.15	1.33	0.0352
110	29.60	67	23	346.54	0.91	0.0241
120	29.60	68	23	345.96	0.51	0.0135
130	29.60	68	23	345.22	0.00	0.0000

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 40^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	อุณหภูมิแวดล้อม (^{0}C)	ความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อม (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ถังอบแห้ง (%)	น้ำหนักเส้นก๋วยเตี๋ยวและถาดอบแห้ง(g)	ปริมาณความชื้น (%)	อัตราส่วนความชื้น
0	29.60	64	22	400.00	39.16	1.0000
1	29.60	64	22	394.68	35.46	0.9055
2	29.80	64	23	390.45	32.51	0.8303
3	29.80	63	22	387.76	30.64	0.7825
4	29.70	58	21	384.15	28.13	0.7184
5	29.60	59	21	381.61	26.36	0.6732
6	29.60	59	21	378.43	24.15	0.6167
7	29.70	62	22	375.84	22.35	0.5707
8	29.60	65	23	373.72	20.87	0.5330
9	29.50	66	23	371.69	19.46	0.4970
10	29.60	64	23	369.84	18.17	0.4641
15	29.60	63	23	365.13	14.90	0.3804
20	29.60	63	23	361.06	12.07	0.3081
25	29.60	62	22	358.23	10.10	0.2578
30	29.50	63	22	355.67	8.31	0.2123
40	29.60	66	23	352.85	6.35	0.1622
50	29.60	64	23	350.62	4.80	0.1226
60	29.60	64	23	348.95	3.64	0.0929
70	29.70	65	23	347.65	2.73	0.0698
80	29.80	65	24	346.75	2.11	0.0538
90	29.90	65	24	346.01	1.59	0.0407
100	29.70	65	23	345.65	1.34	0.0343
110	29.60	67	23	345.04	0.92	0.0235
120	29.60	68	23	344.46	0.51	0.0131
130	29.60	68	23	343.72	0.00	0.0000

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 45^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	อุณหภูมิแวดล้อม (^{0}C)	ความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อม (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ถังอบแห้ง (%)	น้ำหนักเส้นก๋วยเตี๋ยวและถาดอบแห้ง(g)	ปริมาณความชื้น (%)	อัตราส่วนความชื้น
0	29.60	64	22	400.00	39.15	1.0000
1	29.60	64	22	392.87	34.19	0.8733
2	29.80	64	23	387.12	30.19	0.7711
3	29.80	63	22	381.23	26.09	0.6664
4	29.70	58	21	377.36	23.40	0.5977
5	29.60	59	21	372.36	19.92	0.5088
6	29.60	59	21	369.65	18.03	0.4606
7	29.70	62	22	366.23	15.65	0.3999
8	29.60	65	23	364.46	14.42	0.3684
9	29.50	66	23	362.84	13.30	0.3396
10	29.60	64	23	361.13	12.11	0.3092
15	29.60	63	23	357.81	9.80	0.2502
20	29.60	63	23	356.12	8.62	0.2202
25	29.60	62	22	354.50	7.49	0.1914
30	29.50	63	22	352.85	6.35	0.1621
40	29.60	66	23	351.12	5.14	0.1313
50	29.60	64	23	349.84	4.25	0.1086
60	29.60	64	23	347.78	2.82	0.0720
70	29.70	65	23	346.98	2.26	0.0578
80	29.80	65	24	345.97	1.56	0.0398
90	29.90	65	24	345.20	1.02	0.0261
100	29.70	65	23	344.85	0.78	0.0199
110	29.70	67	23	344.56	0.58	0.0148
120	29.70	68	23	344.01	0.19	0.0050
130	29.70	68	23	343.73	0.00	0.0000

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 50^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	อุณหภูมิแวดล้อม (^{0}C)	ความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อม (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ถังอบแห้ง (%)	น้ำหนักเส้นก๋วยเตี๋ยวและถาดอบแห้ง(g)	ปริมาณความชื้น (%)	อัตราส่วนความชื้น
0	28.90	52	13	400.00	38.41	1.0000
1	28.90	52	13	390.36	31.74	0.8263
2	28.80	50	12	384.64	27.78	0.7232
3	28.70	49	12	376.82	22.37	0.5823
4	28.80	47	12	369.89	17.57	0.4575
5	28.80	49	13	363.63	13.24	0.3447
6	29.40	50	13	360.36	10.98	0.2858
7	29.40	51	13	357.87	9.25	0.2409
8	29.70	52	14	356.78	8.50	0.2213
9	29.80	52	14	355.48	7.60	0.1978
10	29.70	54	14	354.64	7.02	0.1827
15	30.10	53	14	351.23	4.66	0.1213
20	30.20	54	15	349.59	3.52	0.0917
25	30.20	54	15	348.15	2.53	0.0658
30	30.10	54	15	347.27	1.92	0.0499
40	30.20	56	15	346.26	1.22	0.0317
50	30.30	56	15	345.94	1.00	0.0259
60	30.60	55	15	345.56	0.73	0.0191
70	30.60	55	15	345.12	0.43	0.0112
80	30.50	56	15	345.03	0.37	0.0095
90	30.70	55	15	344.91	0.28	0.0074
100	30.70	56	16	344.82	0.22	0.0058
110	30.80	56	16	344.67	0.12	0.0031
120	30.30	55	15	344.57	0.05	0.0013
130	29.90	56	16	344.50	0.00	0.0000

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 55 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	อุณหภูมิแวดล้อม (^{0}C)	ความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อม (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ถังอบแห้ง (%)	น้ำหนักเส้นก๋วยเตี๋ยวและถาดอบแห้ง(g)	ปริมาณความชื้น (%)	อัตราส่วนความชื้น
0	30.60	58	13	400.00	38.88	1.0000
1	30.60	58	13	387.12	29.94	0.7700
2	30.80	58	14	379.76	24.82	0.6385
3	30.90	58	14	370.58	18.45	0.4745
4	31.20	57	14	364.23	14.04	0.3611
5	31.00	58	14	359.31	10.62	0.2733
6	31.00	59	14	355.63	8.07	0.2075
7	31.00	59	14	352.92	6.19	0.1591
8	31.20	60	14	351.48	5.19	0.1334
9	31.20	60	14	350.14	4.26	0.1095
10	31.20	62	14	349.16	3.58	0.0920
15	31.10	62	15	347.65	2.53	0.0650
20	31.30	62	15	346.85	1.97	0.0507
25	31.20	62	15	346.42	1.67	0.0430
30	30.00	62	15	346.29	1.58	0.0407
40	31.00	61	15	345.83	1.26	0.0325
50	30.10	60	15	345.62	1.12	0.0288
60	30.30	60	14	345.15	0.79	0.0204
70	31.10	60	14	344.87	0.60	0.0154
80	31.30	60	14	344.61	0.42	0.0107
90	31.10	61	14	344.42	0.28	0.0073
100	31.10	61	15	344.29	0.19	0.0050
110	31.00	62	15	344.20	0.13	0.0034
120	31.00	62	15	344.13	0.08	0.0021
130	31.00	62	15	344.01	0.00	0.0000

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบอุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้