



รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด  
(A development of Internal Surface Infrared drum dryer)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

# การพัฒนาเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด (A development of Internal Surface Infrared drum dryer)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผศ. ดร. เทวรัตน์ ตรีอำนาจ

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

อ. ดร. กระวี ตรีอำนาจ

นายเกียรติศักดิ์ ใจโต

นางสาวเบญจวรรณ วานมนตรี

นางสาวนาฏชนก ปรางปรุ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2560

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2557 ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณวันชัย จอกระโทก เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเข้าใช้เครื่องมือ และนักวิจัยทุกท่านที่ได้ช่วยกันทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี



### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบ สร้างและประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบ ลูกกลิ้งหมุนที่ใช้ความร้อนจากผิวด้านในซึ่งเป็นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ด้วยการออกแบบระบบให้ความร้อนจากแท่งอินฟราเรด ไบมีด และสกรูลำเลียง ติดตั้งภายในลูกกลิ้งทรงกระบอกหมุน ทำการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนี้จากความสามารถในการทำแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยการอบแห้งผลิตภัณฑ์ 2 ประเภทคือ 1) สารละลายมอลโตเดกซ์ทริน โดยกำหนดให้อัตราส่วนการผสมของน้ำเปล่าต่อมอลโตเดกซ์ทรินเท่ากับ 2:1 w/w และปัจจัยที่ทำการศึกษประกอบด้วยอุณหภูมิการอบแห้ง 150, 175 และ 200°C ความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้ง 0.108, 0.226 และ 0.453 rpm จากผลการทดสอบพบว่า ความเร็วรอบ 0.108 rpm และอุณหภูมิ 150°C เป็นสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เกิดการไหม้ และมีค่าประสิทธิภาพในการทำแห้งสูงสุดเท่ากับร้อยละ 33 2) น้ำมะขามผสมมอลโตเดกซ์ทริน โดยกำหนดให้อุณหภูมิการอบแห้งเท่ากับ 150°C ความเร็วรอบ 0.105 rpm และอัตราส่วนการผสมของน้ำมะขามต่อมอลโตเดกซ์ทริน 1:0.8, 1:0.7, 1:0.6 และ 1:0.5 w/w จากผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วน 1:0.8 w/w เป็นสภาวะการทำแห้งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าปริมาณผลผลิต สูงสุดเท่ากับร้อยละ 22.53 และมีค่า SEC ต่ำสุดคือ 52.21 kJ/kg.

**คำสำคัญ** เครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด, การอบแห้ง, มะขามผง

## Abstract

The objective of this research was to design, development, and evaluate performance of a prototype of internal surface infrared drum dryer. The heating system using 3 infrared bars, scraper blade and conveyor screw were installed inside the rotational cylindrical. The performance of the dryer was evaluated in terms of drying ability and product quality by drying two materials. 1) Maltodextrin solution, with 2:1 mixing ratio of water to maltodextrin (w/w). The study factors included the drying temperature of 150, 175 and 200°C and the rotation speeds of 0.108, 0.226 and 0.453 rpm. Results show that the rotation speed of 0.108 rpm and the drying temperature of 150°C were the appropriate drying condition because the product did not burn and this condition provided the maximum drying efficiency of 33%. 2) Tamarind juice mixed with maltodextrin, the drying temperature of 150°C, rotation speed of 0.105 rpm and the mixing ratios of tamarind juice to maltodextrin at 1:0.8, 1:0.7, 1:0.6, and 1:0.5 w/w were used in this test. The results show that the 1:8 mixing ratio of tamarind juice to maltodextrin was the appropriate condition because it provided the highest yield of 22.53% and the lowest SEC of 52.21 kJ/kg.

**Keywords:** internal surface infrared drum dryer, drying, tamarind power

## สารบัญ

## หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 ความขึ้นของวัสดุและการอบแห้ง .....	3
2.2 การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง.....	6
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	11
3.2 วิธีการ .....	14
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ	
4.1 ผลการศึกษาการอบแห้งมะขามผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งในห้องปฏิบัติการ ..	20
4.2 เครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรดต้นแบบ .....	32
4.3 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ.....	34
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	37
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	37
เอกสารอ้างอิง.....	38
ภาคผนวก	
เอกสารเผยแพร่งานวิจัย.....	39
ประวัติผู้วิจัย.....	65

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาที่อัตราส่วน 1:0 .....	21
ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาที่อัตราส่วน 1:5 .....	22
ตารางที่ 4.3 ผลการอบแห้งน้ำมะขามเปียกที่อัตราส่วนน้ำมะขามเปียกต่อน้ำต่างๆ .....	23
ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำมะขามเปียกเริ่มต้น .....	23
ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรีน ในแต่ละอัตราส่วน.....	24
ตารางที่ 4.6 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาชนิดสตาร์ชตัดแปร ในแต่ละอัตราส่วน .....	26
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพต่างๆ .....	31
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบอบแห้งสารละลายมอลโตเดกซ์ทรีน .....	36



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้ง ความชื้นและเวลา.....	5
รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งประเภทต่างๆ .....	7
รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ .....	11
รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งบนพื้นผิวภายในแบบอินฟราเรด .....	12
รูปที่ 3.3 ตู้อบลมร้อน.....	14
รูปที่ 4.1 ค่าความชื้นของมะขามผง.....	28
รูปที่ 4.2 ค่าปริมาณกรดของมะขามผง .....	28
รูปที่ 4.3 ค่าความหนาแน่นของมะขามผง.....	29
รูปที่ 4.4 ค่าความสามารถในการละลายของมะขามผง .....	29
รูปที่ 4.5 ค่าปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้ของมะขามผง .....	30
รูปที่ 4.6 ค่าความแตกต่างสีของผลิตภัณฑ์มะขามผงเทียบกับน้ำมะขามเปียก .....	30
รูปที่ 4.7 ลักษณะและส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งต้นแบบ.....	32
รูปที่ 4.8 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งมะขามผง .....	35
รูปที่ 4.9 ปริมาณผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จากเครื่องอบแห้งต้นแบบ.....	35
รูปที่ 4.10 ความชื้นของผลิตภัณฑ์มะขามผงแห้ง.....	36
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์มะขามในขั้นตอนต่างๆ.....	36



## คำอธิบายสัญลักษณ์

$W_1$	คือน้ำหนักของถ้วยอบแห้ง (กรัม)
$W_2$	คือน้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างก่อนทำแห้ง (กรัม)
$W_3$	คือน้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างหลังทำแห้ง (กรัม)
$M_a$	คือน้ำหนักแห้งของตัวอย่างทั้งหมดหลังทำแห้ง (g)
$M_b$	คือน้ำหนักแห้งของตัวอย่างเริ่มต้นก่อนทำแห้ง (g)
$V$	คือปริมาณของด่างที่ใช้ในการไทเทรตจนถึงจุดยุติ (mL)
$N$	คือนอร์มัลลิตีของด่างที่ใช้ในการไทเทรต
$Eq.wt$	คือน้ำหนักสมมูลของกรดทาร์ทาริกเท่ากับ 75
$U$	คือปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรต (mL)
$L_0$	คือค่าความสว่างของสีตัวอย่างเริ่มต้น
$a_0$	คือค่าความเป็นสีแดงของสีตัวอย่างเริ่มต้น
$b_0$	คือค่าความเป็นสีเหลืองของสีตัวอย่างเริ่มต้น
$L_p$	คือค่าความสว่างของสีตัวอย่างหลังทำละลาย
$a_p$	คือค่าความเป็นสีแดงของสีตัวอย่างหลังทำละลาย
$b_p$	คือค่าความเป็นสีเหลืองของสีตัวอย่างหลังทำละลาย
$m$	คือน้ำหนักของตัวอย่าง (g)
$v$	คือปริมาตรของบีกเกอร์ (mm)
$M_s$	คือน้ำหนักแห้งของของเหลวใส (g)
$M_p$	คือน้ำหนักแห้งของตัวอย่างทั้งหมด (mL)
$SEC$	คือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kgwater)
$E$	คือพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (kWh)
$m_{water}$	คือปริมาณความน้ำที่ถูกนำออกจากผลิตภัณฑ์อบแห้ง (kgwater)

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เครื่องอบแห้งนับเป็นเครื่องมือที่สำคัญชนิดหนึ่งในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร(สมชาติ, 2540) ซึ่งการเลือกใช้เครื่องอบแห้งเป็นศาสตร์และศิลป์ที่ต้องเข้าใจหลักการทางวิศวกรรมการอบแห้งและสมบัติของวัสดุที่ต้องการนำมาอบแห้ง เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีความเหมาะสมที่จะใช้กับเครื่องอบแห้งต่างชนิดกัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงหลายประการทั้งปัจจัยทางด้านมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้ง ปัจจัยด้านพลังงาน ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการอบแห้งอาหารเหลวเพื่อนำไปสู่การแปรรูปเป็นอาหารผง เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะใช้ต้นทุนในการผลิตและการดำเนินการที่ต่ำกว่าการใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) หลักการของเครื่องอบแห้งชนิดนี้คือ แหล่งความร้อนซึ่งได้จากลมร้อน ก๊าซร้อน หรือไอน้ำ ถ่ายเทความร้อนให้กับตัวลูกกลิ้งซึ่งผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม ทำให้ตัวลูกกลิ้งมีอุณหภูมิที่สูงจากนั้นวัสดุที่ต้องการทำแห้งในลักษณะของของเหลวหนืดจะถูกป้อนเข้าสู่ผิวลูกกลิ้ง แล้วเกิดการจับตัวในลักษณะของฟิล์มของเหลวบนผิวลูกกลิ้ง ความร้อนจากผิวลูกกลิ้งจะถ่ายเทสู่ชั้นฟิล์มของเหลวทำให้ความชื้นจากฟิล์มของเหลวระเหยตลอดระยะทางที่ลูกกลิ้งหมุนจนแห้งสนิท ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จะถูกชูดอกด้วยใบมีดผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปลดขนาดเพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ผงต่อไป

ปัญหาที่สำคัญของการใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคือการสูญเสียความร้อนออกจากระบบและการส่งผ่านความร้อนที่ต้องเกิดกระบวนการพาความร้อนที่ผิวด้านในของลูกกลิ้งกับก๊าซร้อน ลมร้อน หรือไอน้ำ ตามด้วยการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของลูกกลิ้งจากผิวด้านในสู่ผิวด้านนอกและการพาความร้อนและการนำความร้อนจากผิวลูกกลิ้งสู่ของเหลวหนืดและผลิตภัณฑ์แห้งที่จับอยู่บนผิวลูกกลิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกอย่างมหาศาล ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงคิดที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนโดยปรับปรุงส่วนการทำแห้งให้ฟิล์มของของเหลวหนืดอยู่ภายในของลูกกลิ้ง และใช้แหล่งความร้อนเป็นอินฟราเรดที่ติดตั้งอยู่ภายใน เนื่องจากแท่งอินฟราเรดเป็นแหล่งให้ความร้อนในลักษณะของรูปคลื่นความร้อนซึ่งคลื่นความร้อนนี้สามารถแผ่กระจายให้กับฟิล์มของเหลวหนืดได้โดยตรง ดังนั้นการรับความร้อนของฟิล์มของเหลวหนืดจึงเกิดขึ้นได้จากกลไกการแผ่รังสีและการนำความร้อนเนื่องจากผิวของลูกกลิ้งรับความร้อนจากอินฟราเรดแล้วส่งผ่านให้กับฟิล์มของเหลว นอกจากนี้ที่ผิวด้านนอกของลูกกลิ้งยังสามารถติดตั้งฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกจากระบบการอบแห้งได้อีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบพัฒนาและ สร้างเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง ซึ่งทำการอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้ง และใช้อินฟราเรดเป็นแหล่งความร้อน
2. เพื่อทดสอบสมรรถนะการอบแห้งของเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้นและเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งซึ่งใช้อุ่น้ำเป็นแหล่งความร้อน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เครื่องอบแห้งที่ออกแบบสร้างเป็นเครื่องต้นแบบในระดับห้องปฏิบัติการ
2. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานจะใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งซึ่งใช้อุ่น้ำเป็นแหล่งร้อนที่อยู่ ณ ศูนย์เครื่องมือ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องอบแห้งอาหารเหลวชนิดแบบใช้พื้นผิวภายในลูกกลิ้ง ที่ใช้อินฟราเรดเป็นแหล่งให้ความร้อนต้นแบบ
2. ได้องค์ความรู้ในการพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งที่ใช้เทคนิคการอบแห้งบนพื้นผิวภายในลูกกลิ้ง



## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### 2.1 ความชื้นของวัสดุและการอบแห้ง

##### 2.1.1 ความชื้นวัสดุ

ความชื้น (moisture content) หรือน้ำในวัสดุถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรและอาหารเนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของอาหารและผลิตผลทางการเกษตร การอ้างอิงความชื้นในวัสดุนิยมอ้างอิงใน 2 รูปแบบคือความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) และ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) ซึ่งมีรูปแบบการวิเคราะห์ดังนี้

ความชื้นมาตรฐานเปียก คืออัตราส่วนของปริมาณความชื้นหรือน้ำในวัสดุต่อปริมาณวัสดุรวม โดยคิดว่าวัสดุประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือความชื้นและมวลแห้ง (dry solid) เขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (2.1)

$$M_w = \frac{W - W_d}{W} \times 100\% \quad (2.1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง คืออัตราส่วนของปริมาณความชื้นในวัสดุต่อปริมาณมวลแห้งในวัสดุเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (2.2)

$$M_d = \frac{W - W_d}{W_d} \times 100\% \quad (2.2)$$

เมื่อ  $M_w$  คือความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb)

$M_d$  คือความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)

$W$  คือมวลของวัสดุ (g)

$W_d$  คือมวลแห้งของวัสดุ (g)

##### 2.1.2 ทฤษฎีการอบแห้งเบื้องต้น

การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้นด้วยการใช้ความร้อนถ่ายเทไปยังวัสดุขึ้นเพื่อให้ความชื้นออกจากวัสดุ ซึ่งการอบแห้งจัดเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร โดยทั่วไปจะอาศัยความร้อนจากภายนอกถ่ายเทความร้อนเข้าสู่วัสดุที่ต้องการ ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปจะทำให้ความชื้นของวัสดุที่อยู่บริเวณผิวและเนื้อของวัสดุระเหยออกมา ทั้งนี้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งจะถูกกำหนดโดยระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (drying time) จากความชื้นเริ่มต้นไปสู่ความชื้นที่ต้องการ

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้การอบแห้งคือสมบัติและประเภทของความชื้นในวัสดุ โดยปกติความชื้นวัสดุจะประกอบไปด้วย ความชื้นรอบผิววัสดุและความชื้นในเนื้อวัสดุ ซึ่งความชื้นรอบผิววัสดุเป็นความชื้นที่ถูกดึงออกไปได้ง่าย ส่วนความชื้นในเนื้อวัสดุเป็นความชื้นที่ถูกดึงออกไปได้ยาก นอกจากนี้ยังมีความชื้นของบรรยากาศ ซึ่งมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นอีกด้วย โดยปกติในการอบแห้งวัสดุใดๆ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุที่ยังคงเหลืออยู่ในเนื้อวัสดุจะสมดุลกับความชื้นของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งโดยที่ความชื้นในวัสดุดังกล่าวจะไม่ลดต่ำกว่านี้อีกแม้ว่าจะใช้เวลานานเท่าใดก็ตามเราเรียกความชื้น ณ จุดนี้ว่า ค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, )

อัตราการอบแห้ง (drying rate) เป็นตัวแปรที่ใช้บอกถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ด้วยการแสดงค่าความชื้นที่สามารถระเหยออกไปได้ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา ซึ่งหน่วยอาจเป็นปอนด์น้ำต่อตารางฟุตชั่วโมงหรือกิโลกรัมน้ำต่อตารางเมตรชั่วโมงดังรูป 2.1 โดยปกติในการอบแห้งวัสดุใดๆ จะมีอัตราการอบแห้งเกิดขึ้น 3 ช่วง ดังนี้

#### ช่วงการให้ความร้อนเริ่มต้น (preheating drying)

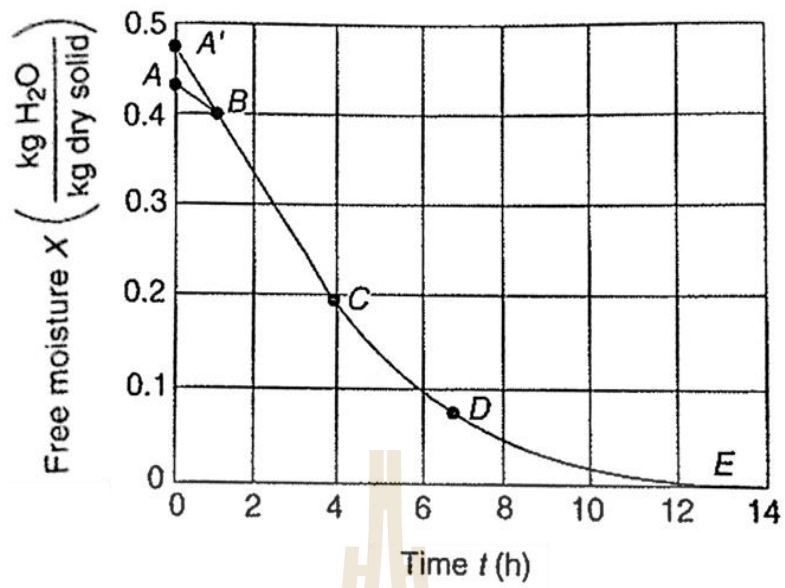
เป็นการอบแห้งในช่วงที่เริ่มให้ความร้อนแก่วัสดุ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุและน้ำในวัสดุให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิเกาะเปียกของอากาศร้อน ซึ่งอัตราการให้ความร้อนที่สูงจึงทำให้การอบแห้งในช่วงนี้มีระยะเวลาสั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงการอบแห้งต่อไปซึ่งจะมีระยะเวลาสั้นกว่า จึงอาจไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการอบแห้งในช่วงนี้ได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ช่วง A-B

#### ช่วงการอบแห้งคงที่ (constant rate drying)

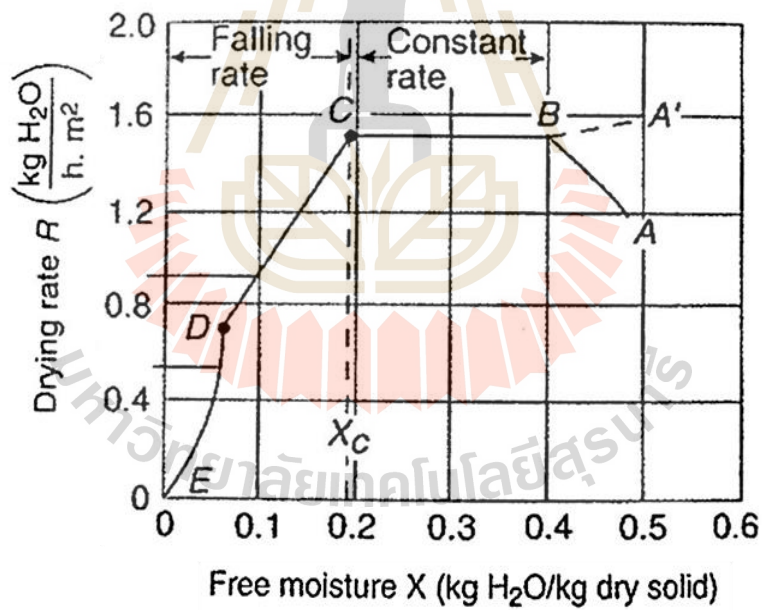
เป็นการอบแห้งในช่วงที่วัสดุมีความชื้นเหลือเพื่อ ความชื้นจึงเดินทางมาสู่บริเวณผิวหน้าได้ทันเวลากับความร้อนที่ถ่ายจากลมร้อนมาที่ผิว ส่วนใหญ่จะเป็นความชื้นรอบผิววัสดุหรือความชื้นอิสระ (unbound moisture) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ช่วง B-C

#### ช่วงการอบแห้งลดลง (falling rate drying)

เป็นการอบแห้งในช่วงที่ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุแห้งลง เมื่อน้ำระเหยมาที่ผิวไม่ทันอัตราการระเหยต่อหน่วยพื้นที่และเวลาก็จะลด ส่วนใหญ่จะเป็นความชื้นในเนื้อวัสดุหรือความชื้นเกาะติด (bound moisture) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ช่วง C-D



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้น

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้ง ความชื้นและเวลา

ที่มา: Heldman and Lund, 2007

## 2.2 การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

### 2.2.1 หลักการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

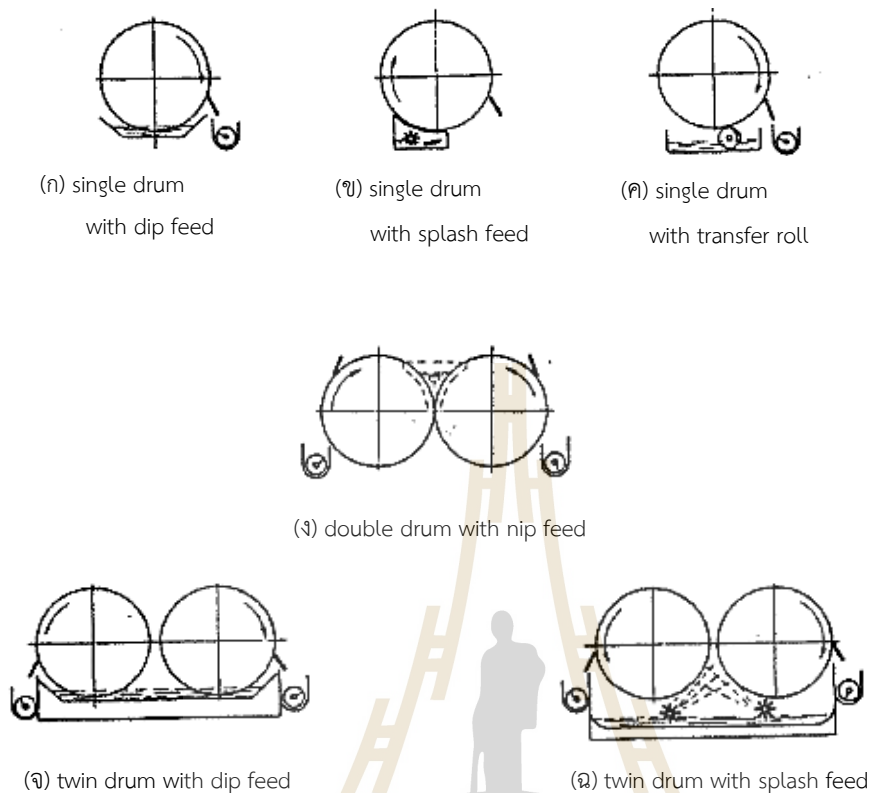
กระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งจัดเป็นเทคนิคการทำแห้งที่มีต้นทุนค่อนข้างต่ำและมีขั้นตอนการผลิตง่ายไม่มีความซับซ้อน อีกทั้งยังมีกำลังการผลิตสูง โดยกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะใช้หลักการทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเกาะติดที่บริเวณผิวหน้าของลูกกลิ้งด้วยการพ่น จุ่ม ไรต์ หรือปล่อยลงบนช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งขณะที่ลูกกลิ้งกำลังหมุนในลักษณะการแผ่กระจายเป็นแผ่นฟิล์มบาง โดยภายในลูกกลิ้งจะมีแหล่งความร้อนไหลผ่านเข้าไปเพื่อเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารเหลว และเมื่อผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสัมผัสกับความร้อนบนผิวหน้าของลูกกลิ้งก็จะทำให้ความชื้นเกิดการระเหยออกไปได้อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งผลิตภัณฑ์ก็จะถูกปาดออกจากลูกกลิ้งด้วยใบมีดซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเกล็ด จากนั้นจึงนำมาทำการบดก็จะ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงตามที่ต้องการ (สุนีย์ จิงธีรพานิช, 2551)

### 2.2.2 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งที่นิยมใช้กันทั่วไปจะประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกจำนวน 1-2 ลูก (นิธิยา, 2553) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลายขนาด ซึ่งลูกกลิ้งนี้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงที่ทำด้วยโลหะจำพวกสแตนเลส สามารถนำความร้อนได้ดี และไม่เกิดปฏิกิริยากับอาหาร อีกทั้งภายในทรงกระบอกกลวงก็จะมีแหล่งบรรจุความร้อนเพื่อใช้เป็นตัวกลางในการให้ความร้อนแก่อาหารได้แก่ ใช้น้ำเดือด น้ำเคือด น้ำมัน ไฟฟ้า เป็นต้น ขณะที่ลูกกลิ้งจะทำการติดตั้งอยู่บนฐานที่แข็งแรงและสามารถทำให้ลูกกลิ้งหมุนได้รอบแกนตามแนวนอน นอกจากนี้ยังมีใบมีดที่ทำจากสแตนเลสจะถูกยึดติดไว้กับฐานเพื่อใช้สำหรับขูดผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแล้วออกจากเครื่อง โดยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งนี้สามารถจำแนกออกตามจำนวนและทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งได้ เป็น 3 ประเภท ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

#### Single drum dryer

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งประเภทนี้ประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกจำนวนหนึ่งลูก โดยสารละลายอาหารที่นำมาทำการอบแห้งจะถูกป้อนจากด้านล่างด้วยการป้อน 3 แบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องได้แก่ การป้อนแบบจุ่ม (dip feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการจุ่มลูกกลิ้งลงในรางที่บรรจุสารละลายอาหารไว้ หรืออาจเป็นการป้อนแบบพ่น (splash feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการพ่นสารละลายอาหารลงไปบนผนังของลูกกลิ้งโดยตรง หรืออาจเป็นการป้อนแบบบริด (transfer roll) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการใช้ลูกรีดทำการรีดสารละลายอาหารลงไปบนผนังของลูกกลิ้ง และเมื่อลูกกลิ้งหมุนสารละลายอาหารก็จะติดไปกับผนังของลูกกลิ้งในลักษณะที่เป็นแผ่นฟิล์มบาง จากนั้นลูกกลิ้งจะทำการหมุนต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสารละลายอาหารแห้งลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะถูกปาดออกด้วยใบมีดที่ติดไว้บริเวณด้านข้างของลูกกลิ้ง



รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งประเภทต่างๆ  
(นฤดี, 2542)

### Double drum dryer

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งประเภทนี้ประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกจำนวนสองลูก และลูกกลิ้งทั้งสองลูกจะหมุนเข้าหากัน โดยสารละลายอาหารที่นำมาทำการอบแห้งจะถูกป้อนลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งด้วยการป้อนแบบปล่อย (nip feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการปล่อยสารละลายอาหารลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง จากนั้นลูกกลิ้งทั้งสองจะหมุนเข้าหากันเพื่อรีดสารละลายอาหารให้มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ขณะที่ลูกกลิ้งหมุนสารละลายอาหารก็จะติดไปกับผนังของลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งจะทำการหมุนต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสารละลายอาหารแห้งลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะถูกปาดออกด้วยใบมีดที่ติดไว้บริเวณด้านข้างของลูกกลิ้งทั้งสองข้าง



### Twin drum dryer

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งประเภทนี้ประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกจำนวนสองลูก และลูกกลิ้งทั้งสองลูกจะหมุนออกจากกัน โดยสารละลายอาหารที่นำมาทำการอบแห้งจะถูกป้อนลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งด้วยการป้อนแบบจุ่ม (dip feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการจุ่มลูกกลิ้งลงในรางที่บรรจุสารละลายอาหารไว้ หรืออาจเป็นการป้อนแบบพ่น (splash feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการพ่นสารละลายอาหารลงไปที่บนผนังของลูกกลิ้งโดยตรง จากนั้นลูกกลิ้งทั้งสองจะหมุนออกจากกันเพื่อรีดสารละลายอาหารให้มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ขณะที่ลูกกลิ้งหมุนสารละลายอาหารก็จะติดไปกับผนังของลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งจะทำการหมุนต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสารละลายอาหารแห้งลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะถูกปาดออกด้วยใบมีดที่ติดไว้บริเวณด้านข้างของลูกกลิ้งทั้งสองข้าง

#### 2.2.3 การทำแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งนิยมนำมาใช้เพื่อการทำแห้งวัสดุที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด เช่น น้ำแป้ง ผลไม้บด เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งโดยทั่วไปจะประกอบด้วย (นิธิยา, 2553) ลูกกลิ้งทรงกระบอกหนึ่งลูก (single drum dryer) หรือสองลูก (double drum dryer) ลูกกลิ้งมักทำด้วยเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) ผิวเรียบภายในกลวง ได้รับความร้อนจากด้านล่างในด้วยไอน้ำหรือไฟฟ้า มีระบบป้อนอาหารทำให้อาหารเหลวข้น เคลือบผิวลูกกลิ้งเป็นฟิล์มบางเกิดการถ่ายเทความร้อนจากผิวลูกกลิ้งไปยังฟิล์มอาหารด้วยการนำความร้อน เมื่อลูกกลิ้งหมุนเคลื่อนที่ไปครบรอบอาหารจะแห้งพอดีแล้วถูกขูดออกด้วยใบมีดอาหารที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง (Flake) อาจนำมาบดให้เป็นผงละเอียด ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแห้งของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคือ ความหนาของฟิล์มและระยะเวลาในการทำแห้งซึ่งสามารถกำหนดได้จากความเร็วรอบการหมุน

ได้มีนักวิจัยหลายที่พัฒนาผลิตภัณฑ์อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนดังนี้ นฤดี (2542) ได้ทำการศึกษารอบแห้งกล้วยหอมผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนเพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบบต่อความชื้นและคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมผงที่ได้ โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ระดับการสุกของกล้วยโดยดูจากดัชนีสีของเปลือกกล้วย (peel color index, PCI) ความเข้มข้นของกล้วยบด โดยทำการปรับระดับอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 3 ระดับคือ 120 130 และ 140°C ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 และ 0.30 mm ระดับการสุก PCI5 และ PCI6 และระดับความเข้มข้นของกล้วยบด 80 และ 90% โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของกล้วยหอมอยู่ในช่วง  $1.38 \times 10^{-9}$  ถึง  $4.11 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s ค่าพลังงานกระตุ้นของกล้วยที่มีระดับการสุก PCI5 และ PCI6 คือ 43.18 และ 54.56 kJ/mol ตามลำดับ ในด้านจลนศาสตร์การเกิดสีน้ำตาลระหว่างอบแห้งพบว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยมีค่าพลังงานกระตุ้นการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยที่มีระดับการสุก PCI5 และ PCI6 คือ 77.63 และ 64.63 kJ/mol ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น

สิทธิผล และค่าคงที่การเกิดสีน้ำตาลคือ ระดับอุณหภูมิของผิวลูกกลิ้งและระดับการสุกของกล้วยหอมเท่านั้น

กรรณิกา (2549) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพมะขามผง พร้อมทั้งได้ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนมอลโตเดกซ์ทรินต่อความคงตัวของมะขามผง โดยการศึกษารุ่นแรกได้ทำการทดลองอบแห้งมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 3 ระดับคือ 120 130 และ 140°C อัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ทรินต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด 3 ระดับคือ 0.30 0.45 และ 0.60 (w/w) ในส่วนของคุณภาพมะขามผงที่พิจารณาได้แก่ สมบัติการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) องศาการเกาะตัวเป็นก้อน(Degree of caking) และความสามารถในการละลายกลับ ส่วนคุณภาพของน้ำมะขามเปียกหลังการคั้นรูป พิจารณาจากค่า pH ความหนืดและความแตกต่างของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะขามเปียกสด จากผลการทดลองพบว่า สมบัติการดูดความชื้นกลับและองศาการเกาะตัวเป็นก้อนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่ออุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและสัดส่วนของมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่ม ส่วนความสามารถในการละลายกลับของมะขามผงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อสัดส่วนของมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น แต่กลับไม่ขึ้นกับอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง ( $p > 0.05$ ) ในส่วนของน้ำมะขามเปียกคั้นรูปจากผลการทดลองพบว่าค่า pH เพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนมอลโตเดกซ์ทรินและอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความแตกต่างของสีโดยรวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งลดลง ส่วนค่าความหนืดนั้นไม่ขึ้นกับสัดส่วนมอลโตเดกซ์ทรินและอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งที่ใช้

दारार्त्तน์และคณะ (2554) ได้ใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนในการปรับปรุงคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนโดยวิธีการพรีเจลาทีไนซ์ (pregelatinization) ในการศึกษาคณะผู้วิจัยได้ทำการพรีเจลาทีไนซ์แป้งเมล็ดขนุน 2 วิธี คือการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลานาน 15 30 และ 45 นาที และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140°C โดยมีแป้งดิบจากเมล็ดขนุนเป็นตัวอย่างควบคุม ผลจากการทดลองพบว่าแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำระดับการเกิดเจลาทีไนซ์และความหนืดสูงกว่าแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่เตรียมด้วยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของลูกกลิ้งส่งผลให้ค่าดัชนีดังกล่าวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

Pua et al. (2007) ได้ศึกษาการผลิตขนุนผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งชนิดลูกกลิ้งคู่ โดยคณะผู้วิจัยสนใจในความเข้มข้นของเลซิทินจากถั่วเหลือง (Soy lecithin) และกัมอาราบิก (Gum arabic) ในพิวรีของขนุนต่อคุณภาพของขนุนผงที่ได้ ซึ่งจากการทำแห้งขนุนผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 1 rpm ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 in. และความดันของไอน้ำ 2.3 bar พบว่าผลิตภัณฑ์ขนุนผงที่ได้จะมีคุณภาพที่ดีเมื่อทำการเติมเลซิทินจากถั่วเหลือง 2.65% และ กัมอาราบิก 10.28%

สุภานีและคณะ (2551) ได้ใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนในการทำแห้งโฉกกิ่งสำเร็จรูปจากข้าวกล็องงอกที่ผลิตได้จากข้าวขาวพันธุ์ดอกมะลิ 105 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งพบว่าโฉกข้าวกล็องงอกที่ผ่านการทำแห้งจากเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งมีความสามารถในการคืนตัวได้ดีและผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงมีคุณค่าทางสารอาหารอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ มีอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 6 เดือน

ซึ่งจากการตรวจสอบเอกสารที่ผ่านมามีพบว่าเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งส่วนใหญ่จะเป็นแบบลูกกลิ้งคู่ และใช้ความร้อนจากไอน้ำ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมุ่งเน้นไปในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้เหมาะสมต่อการทำแห้งแต่มักมีวิจัยเป็นส่วนน้อยที่คำนึงถึงรูปแบบการใช้งานและความคุ้มค่าของการใช้พลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายชนิดที่มีศักยภาพในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเพื่อนำมาเป็นผลิตภัณฑ์ผง หรือผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านการนำเทคโนโลยีเข้าไปใช้อีกทั้งการลงทุนสร้างเครื่องกำเนิดไอน้ำอาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุนในชุมชนขนาดเล็ก ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีและเพิ่มทางเลือกใหม่ให้กลุ่มชุมชนมีความเข้มแข็งในการพึ่งพาตนเองคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องอบแห้งบนผิวในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรดขึ้น

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### 3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

##### 3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนระดับห้องปฏิบัติการ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนระดับห้องปฏิบัติการใช้ในการทดสอบทำแห้งเบื้องต้นเพื่อทำการหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งวัสดุเกษตรโดยในที่นี้ได้ทำการเลือกมะขามเปียงเป็นวัสดุเกษตรในการทำแห้ง เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนที่ใช้ในระดับห้องปฏิบัติการเป็นเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (double drum dryer) มีลักษณะเครื่องอบแห้งดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีส่วนประกอบหลักดังนี้



รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

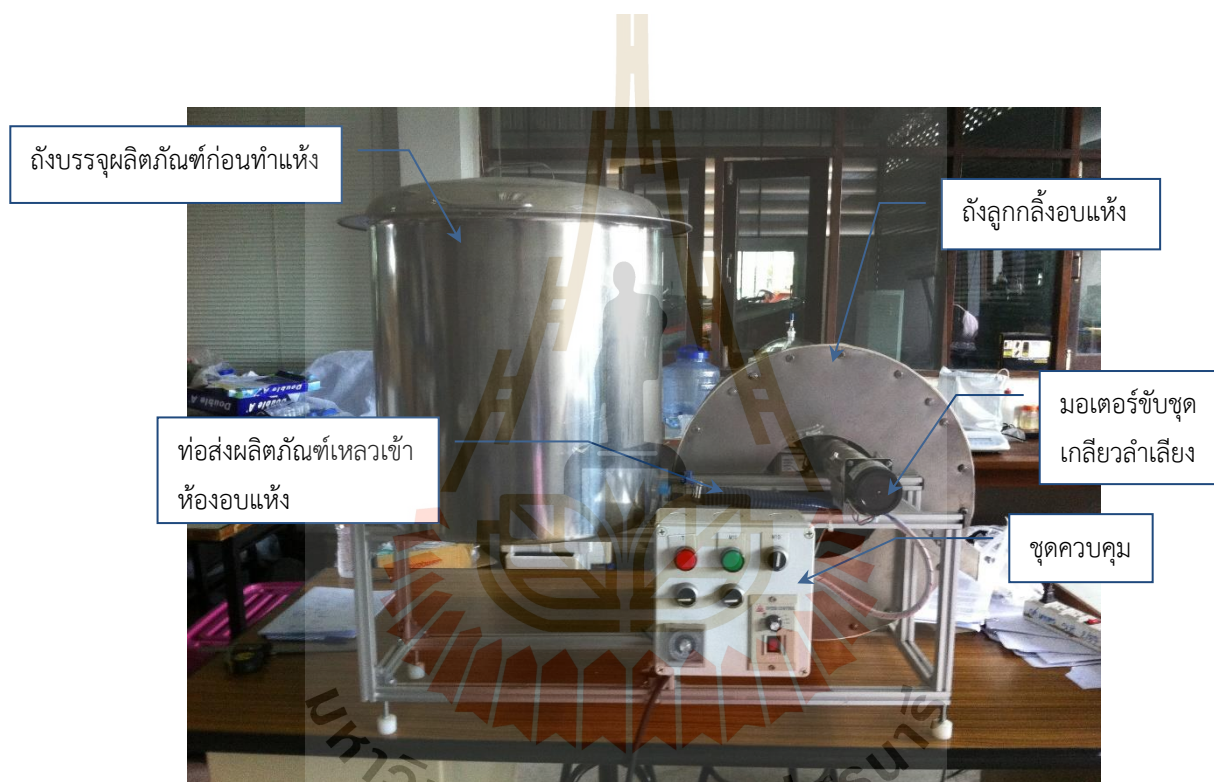
1. ลูกกลิ้ง (Roller) อุปกรณ์ที่มีการหมุนต่อเนื่องตลอดเวลา และเป็นส่วนที่สัมผัสกับวัสดุที่นำมาอบแห้งผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากมีค่าการนำความร้อนที่ดีมีความแข็งแรงทนทานต่อการชุบสี

2. ใบมีด (Doctor blade) ใบมีดในอุปกรณ์ทำแห้งชนิดนี้ จะเป็นแกนเหล็กที่มีความคมที่ยึดด้วยน็อต สามารถปรับระยะห่างระหว่างใบมีดกับผิวลูกกลิ้งได้ โดยระยะห่างระหว่างใบมีดกับผิวลูกกลิ้งจะเป็นตัวกำหนดความหนาของแผ่นวัสดุแห้ง

3. ระบบการให้ความร้อน ให้ความร้อนด้วยไอน้ำ โดยไอน้ำจะส่งผ่านท่อหุ้มฉนวนเข้าสู่ภายในท่อลูกกลิ้ง ซึ่งต้องทำทางออกของไอน้ำด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน

4. ถาดรองรับผลิตภัณฑ์แห้ง ผลิตภัณฑ์แห้งที่ออกมาจากเครื่องอบแห้ง จะตกลงบนถาดซึ่งสามารถรวบรวมใส่ถุงพลาสติกหรือภาชนะรองรับอื่นได้

2. เครื่องอบแห้งบนพื้นผิวภายในแบบอินฟราเรด เป็นเครื่องอบแห้งออกแบบและสร้างขึ้นมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งบนพื้นผิวภายในแบบอินฟราเรด

3. ตู้อบลมร้อน (FRANCE ETUVES, model XU058, France) ใช้สำหรับหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังทำการอบแห้ง (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 ตู้อบลมร้อน

4. เครื่องชั่งดิจิตอล (Satorius, model BSA224S-CW, Germany) ความละเอียด 4 ตำแหน่ง ใช้สำหรับหาความชื้น เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 2 ตำแหน่งสำหรับชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์
5. มาตรฐานพลังงานไฟฟ้า
6. pH มิเตอร์ (Mettler toledo รุ่น Specifications - S47-K seven Multi MT dual meter pH/conductivity (Kit version))
7. ชุดไทเทรทหาปริมาณกรด พร้อมชุดเครื่องแก้ว สำหรับหาปริมาณกรดของผลิตภัณฑ์มะขามผงที่ได้จากการทดสอบ
8. เครื่องวัดสี (ColorQuestXE, Hunter Associates Laboratory, Inc., USA) ใช้สำหรับตรวจสอบค่าสีของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้
9. เครื่องวัดความเร็วรอบ
10. โถดูดความชื้นสำหรับใส่ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แห้งก่อนนำไปทดสอบสมบัติอื่นๆ

### 3.1.2 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. มะขามเปียก (tamarind) ที่ใช้ในการวิจัยเป็นมะขามเปรี้ยวพันธุ์ฝักยักษ์มาจากสวนวิรัตน์ ซึ่งตั้งอยู่ในเขตอำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 2.3-2.8 และมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 25.3-28.1 เปอร์เซ็นต์

2. มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) ที่ใช้ในการวิจัยมีค่าสมมูลเดกซ์โทรสเท่ากับ 10-12 มาจากบริษัทนิวทรีชั่น เอสซี จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ในเขตอำเภอสามพราณ จังหวัดนครปฐม โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 4.5-6.5 และมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 5.0-6.0 เปอร์เซ็นต์

3. สตาร์ชดัดแปร (modified starch) ที่ใช้ในการวิจัยมาจากบริษัทเคสท์เทค จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ในเขตอำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 4.0-6.0 และมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 4.0-8.0 เปอร์เซ็นต์

### 3.2 วิธีการ

#### 3.2.1 การศึกษาการทำงานของเครื่องอบแห้งทรงลูกกลิ้งหมุนที่ใช้ไอน้ำเป็นแหล่งพลังงาน

ทำการศึกษาการทำแห้งผลิตภัณฑ์มะขามผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอาหาร อาคารศูนย์เครื่องมือ 3 โดยมีวิธีการทำทดลองดังนี้

##### 1. การเตรียมตัวอย่าง

นำมะขามเปียกแกะเอาเมล็ดและสาหร่ายออก จากนั้นนำเนื้อมะขามเปียกที่ได้มาผสมกับน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$  และทำการกรองด้วยตะแกรงเพื่อคัดแยกสิ่งเจือปนจำพวกเปลือกฝัก ใบมะขาม และกากเยื่อหุ้มเมล็ดออก จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของตัวอย่างเริ่มต้น ซึ่งประกอบด้วย ค่าสี ความชื้น ความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ และปริมาณของแข็งทั้งหมด

##### 2. การศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ

นำเนื้อมะขามเปียกผสมกับน้ำที่อัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำเท่ากับร้อยละ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 จากนั้นทำการเติมสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินลงในสารละลายน้ำมะขามเปียกที่อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาเท่ากับร้อยละ 1:0 และ 1:5 พร้อมทั้งนำสารละลายที่ได้มาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยกำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ  $140^{\circ}\text{C}$  ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.15 mm และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.50 rpm จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพซึ่งประกอบด้วยลักษณะของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการเกาะติดผิวของลูกกลิ้ง ความยากง่ายในการดีดออกจากตัวเครื่องอบแห้ง และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพซึ่งประกอบด้วย ความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ

##### 3. การศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาแต่ละชนิด

นำเนื้อมะขามเปียกผสมกับน้ำพร้อมทั้งปรับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำตามอัตราส่วนที่ได้จากข้อ 2 จากนั้นทำการเติมสารตัวพามอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค และกัมอารบิกใส่ลงในน้ำมะขามเปียกที่อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาเท่ากับร้อยละ 1:0.8, 1:0.7, 1:0.6, 1:0.5, 1:0.4, 1:0.3 พร้อมทั้งนำสารละลายที่ได้มาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยกำหนดให้

อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ  $140^{\circ}\text{C}$  ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ  $0.15\text{ mm}$  และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ  $0.50\text{ rpm}$  จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงที่ได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยค่าสี ความชื้น ความเป็นกรดต่าง ความหนาแน่น ความสามารถในการละลาย ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ และปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้

#### 4. การตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่าง ๆ

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกแล้วจึงนำผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงที่ได้มาทำการตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณกรดทั้งหมด pH ความแตกต่างของสี ความหนืด ความหนาแน่น และความสามารถในการละลาย ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมดอย่างละ 3 ซ้ำ โดยจะมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid content) นำตัวอย่าง  $3\text{ g}$  ใส่ลงในถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  จนน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งจดบันทึกผล และนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณของแข็งทั้งหมดดังสมการ (1)

$$\text{Total solid content} = \left( 1 - \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \right) \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ  $W_1$  คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้ง (กรัม)

$W_2$  คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างก่อนทำแห้ง (กรัม)

$W_3$  คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างหลังทำแห้ง (กรัม)

- 2) ปริมาณร้อยละผลผลิต (drying yield) นำตัวอย่าง  $3\text{ g}$  ใส่ลงในถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  จนน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งจดบันทึกผล พร้อมทั้งนำค่าที่ได้มาหาความแตกต่างของน้ำหนักระหว่างตัวอย่างก่อนและหลังทำแห้ง ด้วยการคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ดังสมการ (2)

$$\text{Drying yield} = \frac{M_a}{M_b} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ  $M_a$  คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่างทั้งหมดหลังทำแห้ง (g)



$M_b$  คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเริ่มต้นก่อนทำแห้ง (g)

- 3) ปริมาณความชื้น (moisture content) นำตัวอย่าง 3 g ใส่ลงในถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 105°C จนน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งจดบันทึกผล และนำค่าที่ได้มาคำนวณความชื้นดังสมการ (3)

$$\text{Moisture content} = \left( \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \right) \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ  $W_1$  คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้ง (g)

$W_2$  คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างก่อนทำแห้ง (g)

$W_3$  คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างหลังทำแห้ง (g)

- 4) ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) นำตัวอย่าง 3 g ใส่ลงในตลับพลาสติกประมาณ 3/4 ส่วนของความจุตลับ จากนั้นนำตลับพลาสติกวางลงในเครื่อง water activity และรอจนกว่าเครื่องจะทำงานเสร็จแล้วจึงอ่านค่าที่ได้พร้อมทั้งทำการจดบันทึกผล
- 5) ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) นำตัวอย่าง 5 mL และน้ำกลั่น 10 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่พร้อมทั้งทำการหยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 2-3 หยด แล้วนำมาทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งถึงจุดยุติ จากนั้นทำการจดบันทึกผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไปและนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณกรดเป็นร้อยละของกรดทาร์ทาริกดังสมการที่ (4)

$$\text{Total acidity} = \frac{V \times N \times \text{Eq.wt}}{U \times 1000} \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ  $V$  คือ ปริมาณของต่างที่ใช้ในการไทเทรตจนถึงจุดยุติ (mL)

$N$  คือ นอร์มัลของต่างที่ใช้ในการไทเทรต

Eq.wt คือ น้ำหนักสมมูลของกรดทาร์ทาริกเท่ากับ 75

$U$  คือ ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรต (mL)

- 6) pH (potential of hydrogen ion) นำตัวอย่าง 50 g ใส่ลงในบีกเกอร์ และทำ ความสะอาดหัววัดของเครื่อง pH meter ด้วยน้ำกลั่น ทำการซับให้แห้งด้วย กระดาษชำระ จากนั้นทำการจุ่มหัววัดลงในบีกเกอร์และรอกจนกว่าเครื่องจะทำงาน เสร็จแล้วจึงอ่านค่าที่ได้พร้อมทั้งทำการจดบันทึกผล
- 7) ความแตกต่างของสี (difference color) นำตัวอย่าง 50 g ใส่ลงในคิวเวท พร้อม ทั้งนำคิวเวทวางลงในเครื่อง color meter และทำการวัดในทอมของค่า L (ความ สว่าง) ค่า a (ความเป็นสีแดง) และค่า b (ความเป็นสีเหลือง) รอกจนกว่าเครื่องจะ ทำงานเสร็จ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณความแตกต่างของสีดังสมการ (5)

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_p)^2 + (a_0 - a_p)^2 + (b_0 + b_p)^2} \quad (5)$$

เมื่อ  $L_0, a_0, b_0$  คือ สีของตัวอย่างเริ่มต้น  
 $L_p, a_p, b_p$  คือ สีของตัวอย่างหลังทำละลาย

- 8) ความหนาแน่น (bulk density) นำตัวอย่าง 10 g ใส่ลงในบีกเกอร์ที่ทราบปริมาตร ด้วยการทำการเทตัวอย่างลงในบีกเกอร์ โดยให้ตัวอย่างและบีกเกอร์อยู่ห่างกันเป็น ระยะทาง 0.1 m แล้วจึงเทตัวอย่างให้มีการตกอย่างอิสระตามแรงโน้มถ่วงจนล้นบีก เกอร์ จากนั้นทำการปาดที่ด้านบนของบีกเกอร์ให้เรียบและนำมาชั่งน้ำหนักพร้อม ทั้งทำการจดบันทึกผล และนำค่าที่ได้มาคำนวณความหนาแน่นดังสมการ (7)

$$\text{Bulk density} = \frac{m}{v} \quad (7)$$

เมื่อ  $m$  คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (g)  
 $v$  คือ ปริมาตรของบีกเกอร์ (mm)

- 9) ความสามารถในการละลาย (solubility) นำตัวอย่าง 1 กรัม ผสมกับน้ำ 10 mL ใส่ลงในหลอดเซนติฟิวก์ และนำเข้าเครื่อง centrifuge ที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm นาน 10 นาที จากนั้นนำเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวใสมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C

จนมีน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งจัดบันทึกผล และนำค่าที่ได้มาคำนวณความสามารถในการละลายดังสมการ (8)

$$\text{Solubility} = \frac{M_s}{M_p} \times 100\% \quad (8)$$

เมื่อ  $M_s$  คือ น้ำหนักแห้งของของเหลวใส (g)

$M_p$  คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่างทั้งหมด (mL)

### 3.2.2 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

ทำการออกแบบเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด โดยกำหนดให้ตัวถังอบแห้งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง โดยมีข้อกำหนดของการออกแบบดังนี้

1. เครื่องอบแห้งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงวางแนวนอน ผิวด้านในเรียบสามารถรับความร้อนจากแท่งอินฟราเรดไม่ต่ำกว่า  $200^{\circ}\text{C}$
2. สามารถลำเลียงผลิตภัณฑ์แห้งออกจากห้องอบแห้งได้
3. สามารถถอดถังอบแห้งออกมาเพื่อทำความสะอาดได้
4. สามารถปรับความเร็วและอุณหภูมิให้เหมาะกับวัสดุที่นำมาทดสอบได้

### 3.2.3 การประเมินสมรรถนะเครื่องต้นแบบ

1. การประเมินสมรรถนะเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นเบื้องต้นด้วยสารละลายมอลโตเดกซ์ทริน

เริ่มต้นโดยการเตรียมสารละลายในอัตราส่วนของน้ำต่อมอลโตเดกซ์ทรินที่ 2 : 1 สภาวะที่ทำการอบแห้งคือที่อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  ความเร็วรอบที่ 0.18 rpm ที่  $175^{\circ}\text{C}$  ความเร็วรอบที่ 0.226 rpm ที่  $200^{\circ}\text{C}$  ความเร็วรอบที่ 0.453 rpm ทำการอบแห้งสารละลายจำนวน 300 g เป็นเวลา 1 h เก็บตัวอย่างนำไปหาค่าสมรรถนะในการทำแห้งในรูปแบบของอัตราการทำให้แห้ง ประสิทธิภาพการทำแห้งประเมินด้วยค่าปริมาณร้อยละผลผลิตตามสมการ (2) ประสิทธิภาพการใช้พลังงานประเมินด้วยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (9) ดังนี้

$$\text{SEC} = \frac{3.6E}{m_{\text{water}}} \quad (9)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ( $\text{MJ}/\text{kg}_{\text{water}}$ )

E คือ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (kWh)  
 $m_{\text{water}}$  คือ ปริมาณความน้ำที่ถูกนำออกจากผลิตภัณฑ์อบแห้ง ( $\text{kg}_{\text{water}}$ )

## 2. ทดสอบการอบแห้งน้ำมะขามผสมมอลโตเดกซ์ทริน

เริ่มต้นจากการเตรียมน้ำมะขามผสมมอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วนของน้ำต่อมะขาม 5:1 จากนั้นผสมมอลโตเดกซ์ทรินตามอัตราส่วนน้ำมะขามต่อมอลโตเดกซ์ทริน 1:0.5 1:0.6 1:0.7 และ 1:0.8 (w/w) จากนั้นทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งบนผิวในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรดที่อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ 0.18 rpm อบแห้งจนกว่าไม่มีผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องอบแห้ง จากนั้นนำแผ่นมะขามไปบดให้เป็นผงและตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยดูจากค่าความชื้นและปริมาณกรดตามสมการ (4)



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการศึกษาการอบแห้งมะขามผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งในห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งในห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำมะขามเปียกเป็นวัสดุอบแห้งได้ผลการทดสอบต่างๆ ดังนี้





##### 1. ผลการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ

เมื่อทำการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำที่ร้อยละ 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 และนำสารละลายที่ได้มาผสมกับสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินในอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาท่ออัตราส่วน 1:0 จากนั้นนำมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งพบว่า สารละลายไม่สามารถนำเข้าสู่กระบวนการทำแห้งได้ เนื่องจากสารละลายมีลักษณะเหลวและไม่สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้ ขณะที่เมื่อนำสารละลายที่ได้มาผสมกับสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินในอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาท่ออัตราส่วน 1:5 จากนั้นนำมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งพบว่า สารละลายสามารถนำเข้าสู่กระบวนการทำแห้งได้ เนื่องจากสารละลายมีลักษณะข้นหนืดและสามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้ โดยน้ำมะขามเปียกที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งแล้วจะมีลักษณะทางกายภาพและเคมีกายภาพที่แตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำที่ 1:5 เป็นอัตราส่วนเดียวที่ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถดีดออกมาจากเครื่องอบแห้งได้เองทั้งหมดแต่เมื่อพิจารณาที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งตามตารางที่ 4.3 พบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ยังมีค่าสูงเกินกว่าที่จะเก็บรักษาและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผงได้ ดังนั้นจึงนำอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำมะขามเปียก 1:5 มากำหนดเป็นอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกเริ่มต้น โดยน้ำมะขามเปียกเริ่มต้นจะมีลักษณะทางเคมีกายภาพดังแสดงในตารางที่ 4.4 แล้วทำการศึกษาเพื่อหาค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาท่อไป

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาที่อัตราส่วน 1:0

อัตราส่วนของ น้ำมะขามเปียก ต่อสารตัวพา (w/w)	อัตราส่วนของ เนื้อมะขามเปียก ต่อน้ำ (%)	ลักษณะทางกายภาพของ น้ำมะขามเปียก	รายละเอียดของ ผลิตภัณฑ์
1 : 0	1 : 2	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์เหลว</li> <li>● ไม่สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> </ul>
	1 : 3	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์เหลว</li> <li>● ไม่สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> </ul>
	1 : 4	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์เหลว</li> <li>● ไม่สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> </ul>
	1 : 5	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์เหลว</li> <li>● ไม่สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> </ul>

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาที่อัตราส่วน 1:5

อัตราส่วนของ น้ำมะขามเปียก ต่อสารตัวพา (w/w)	อัตราส่วนของ เนื้อมะขามเปียก ต่อน้ำ (w/w)	ลักษณะทางกายภาพของ น้ำมะขามเปียก	รายละเอียดของ ผลิตภัณฑ์
1 : 5	1 : 2		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์เหนียว</li> <li>● สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> <li>● ไม่สามารถดีดออกจากเครื่องอบแห้งได้เอง</li> </ul>
	1 : 3		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์เหนียว</li> <li>● สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> <li>● สามารถดีดออกจากเครื่องอบแห้งได้เองบางส่วน</li> </ul>
	1 : 4		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์เหนียว</li> <li>● สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> <li>● สามารถดีดออกจากเครื่องอบแห้งได้เองบางส่วน</li> </ul>
	1 : 5		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์ไม่เหนียว</li> <li>● สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> <li>● สามารถดีดออกจากเครื่องอบแห้งได้เองทั้งหมด</li> </ul>

ตารางที่ 4.3 ผลการอบแห้งน้ำมะขามเปียกที่อัตราส่วนน้ำมะขามเปียกต่อน้ำต่างๆ

อัตราส่วนของ น้ำมะขามเปียก ต่อสารตัวพา (w/w)	อัตราส่วนของ เนื้อ มะขามเปียก ต่อน้ำ (w/w)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		ความชื้น (%)	ปริมาณของแข็ง ทั้งหมด (%)	ปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ในน้ำ (%)
1 : 0	1 : 2	78.35 $\pm$ 0.11	21.57 $\pm$ 0.12	21 $\pm$ 1.41
	1 : 3	81.78 $\pm$ 0.21	18.22 $\pm$ 0.22	17 $\pm$ 1.41
	1 : 4	84.22 $\pm$ 3.64	15.78 $\pm$ 3.65	15 $\pm$ 1.41
	1 : 5	85.04 $\pm$ 0.10	14.96 $\pm$ 0.11	13 $\pm$ 1.41
1 : 5	1 : 2	52.75 $\pm$ 0.24	47.25 $\pm$ 0.25	41 $\pm$ 1.41
	1 : 3	55.11 $\pm$ 0.07	44.89 $\pm$ 0.08	35 $\pm$ 1.41
	1 : 4	57.16 $\pm$ 0.01	42.84 $\pm$ 0.12	33 $\pm$ 1.41
	1 : 5	58.80 $\pm$ 0.29	41.20 $\pm$ 0.30	31 $\pm$ 1.41

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำมะขามเปียกเริ่มต้น




ลักษณะทางเคมีกายภาพ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าความชื้น (%)	88.29 $\pm$ 0.04
ค่าความสว่าง (L*)	31.41 $\pm$ 0.68
ค่าความเป็นสีแดง (a*)	8.27 $\pm$ 0.43
ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	18.73 $\pm$ 1.15
ค่าความเป็นกรดต่าง	3.36 $\pm$ 0.01
ค่าปริมาณกรดทั้งหมด (%)	1.63 $\pm$ 0.01
ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	11.71 $\pm$ 0.03
ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ ( $^{\circ}$ Brix)	12.26 $\pm$ 0.23






## 2. ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาแต่ละชนิด

เมื่อทำการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาแต่ละชนิดพบว่า น้ำมะขามเปียกที่มีการเติมสารตัวพาชนิดมอลโตเดกซ์ทรินจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่มีลักษณะเหนียว สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้ และสามารถดีดออกจากเครื่องอบแห้งได้เองเพียงบางส่วน ขณะที่น้ำมะขามเปียกที่มีการเติมสารตัวพาชนิดสตาร์ชตัดแปรรูปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่มีลักษณะไม่เหนียว สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้ และสามารถดีดออกจากเครื่องอบแห้งได้เองทั้งหมด โดยน้ำมะขามเปียกที่เติมสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งแล้วจะมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินในแต่ละอัตราส่วน





ชนิดของสารตัวพา	อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพา (%)	ลักษณะทางกายภาพของมะขามเปียกผง	รายละเอียดของผลิตภัณฑ์
Maltodextrin	1:0.3		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผลิตภัณฑ์เหนียว</li> <li>• สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> <li>• สามารถดีดออกจากเครื่องอบแห้งได้เองบางส่วน</li> </ul>
	1:0.4		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผลิตภัณฑ์เหนียว</li> <li>• สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> <li>• สามารถดีดออกจากเครื่องอบแห้งได้เองบางส่วน</li> </ul>
	1:0.5		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผลิตภัณฑ์เหนียว</li> <li>• สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้</li> <li>• สามารถดีดออกจากเครื่องอบแห้งได้เองบางส่วน</li> </ul>

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินในแต่ละอัตราส่วน (ต่อ)

ชนิดของสารตัวพามา	อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพามา (%)	ลักษณะทางกายภาพของมะขามเปียกผง	รายละเอียดของผลิตภัณฑ์
Maltodextrin	1:0.6		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผลิตภัณฑ์ไม่เหนียว</li> <li>• สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกอล์ฟได้</li> <li>• สามารถดีดออกจากรีบบนแท่งได้เองทั้งหมด</li> </ul>
	1:0.7		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผลิตภัณฑ์ไม่เหนียว</li> <li>• สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกอล์ฟได้</li> <li>• สามารถดีดออกจากรีบบนแท่งได้เองทั้งหมด</li> </ul>
	1:0.8		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผลิตภัณฑ์ไม่เหนียว</li> <li>• สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกอล์ฟได้</li> <li>• สามารถดีดออกจากรีบบนแท่งได้เองทั้งหมด</li> </ul>

สำหรับลักษณะทางกายภาพของการอบแห้งมะขามเปียกผงที่ทำการเติมสารตัวพามาชนิดสตาร์ช ดัดแปรแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาชนิดสตาร์ชตัดแปรในแต่ละอัตราส่วน

ชนิดของสารตัวพา	อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพา (%)	ลักษณะทางกายภาพของมะขามเปียกผง	รายละเอียดของผลิตภัณฑ์
Modified starch	1:0.3		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์เหนียว</li> <li>● สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกอล์ฟได้</li> <li>● สามารถดีดออกจากรีบบนแท่งได้เองบางส่วน</li> </ul>
	1:0.4		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์ไม่เหนียว</li> <li>● สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกอล์ฟได้</li> <li>● สามารถดีดออกจากรีบบนแท่งได้เองทั้งหมด</li> </ul>
	1:0.5		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์ไม่เหนียว</li> <li>● สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกอล์ฟได้</li> <li>● สามารถดีดออกจากรีบบนแท่งได้เองทั้งหมด</li> </ul>
	1:0.6		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์ไม่เหนียว</li> <li>● สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกอล์ฟได้</li> <li>● สามารถดีดออกจากรีบบนแท่งได้เองทั้งหมด</li> </ul>

ตารางที่ 4.6 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาสตาสตาร์ชด์แปรในแต่ละอัตราส่วน (ต่อ)

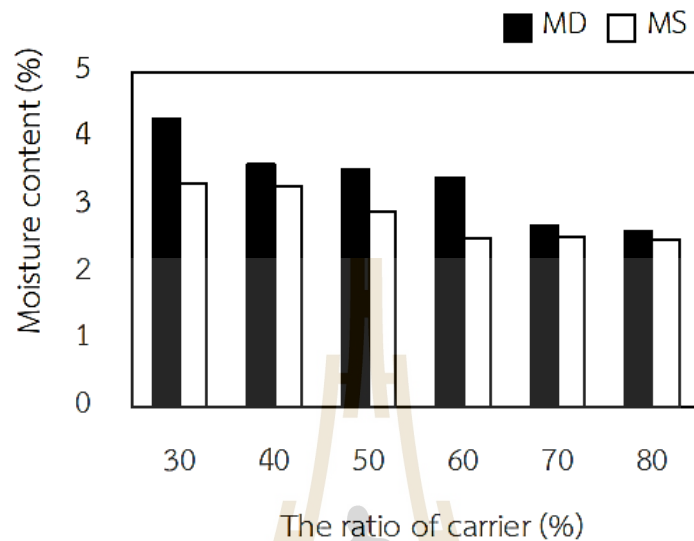
ชนิดของสารตัวพาสตาร์ชด์	อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาสตาร์ชด์ (%)	ลักษณะทางกายภาพของมะขามเปียกผง	รายละเอียดของผลิตภัณฑ์
Modified starch	1:0.7		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์ไม่เหนียว</li> <li>● สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกอล์ฟได้</li> <li>● สามารถดีดออกจากรีบบนแห้งได้เองทั้งหมด</li> </ul>
	1:0.8		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลิตภัณฑ์ไม่เหนียว</li> <li>● สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกอล์ฟได้</li> <li>● สามารถดีดออกจากรีบบนแห้งได้เองทั้งหมด</li> </ul>

### 3. ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของมะขามเปียกผง

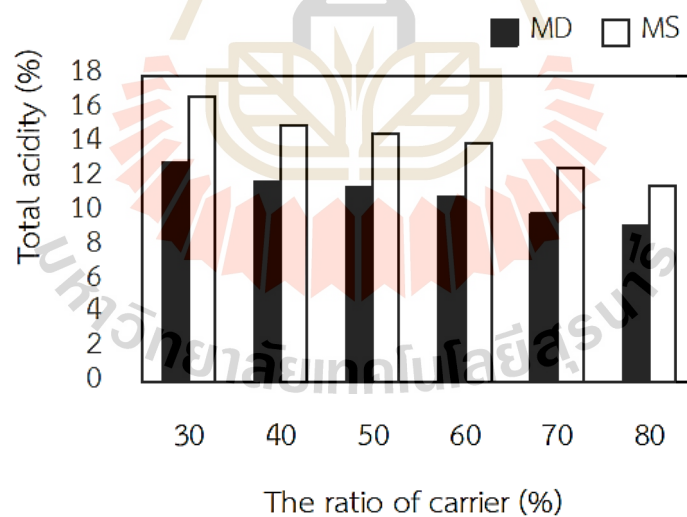
เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของมะขามเปียกพบว่าความชื้น ปริมาณกรด ความหนาแน่น จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของสารตัวพาสตาร์ชด์เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 เนื่องจากการเติมสารตัวพาสตาร์ชด์ลงในน้ำมะขามเปียกจะช่วยเจือจางความเข้มข้นของสารละลายส่งผลให้ความเป็นกรดต่างและปริมาณกรดทั้งหมดลดลง อีกทั้งการเติมสารตัวพาสตาร์ชด์ลงในน้ำมะขามเปียกยังส่งผลให้ความชื้นและความหนาแน่นลดลง เนื่องจากสารละลายมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นดังนั้นเมื่อนำมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกอล์ฟจึงสามารถทำแห้งได้ง่ายขึ้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ติดที่ผิวของลูกกอล์ฟ

นอกจากนี้ยังพบว่า ความสามารถในการละลาย และปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้ของมะขามเปียกผงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารตัวพาสตาร์ชด์เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.4, 4.5 เนื่องจากการเติมสารตัวพาสตาร์ชด์ลงในน้ำมะขามเปียกจะช่วยทำให้น้ำมะขามเปียกมีน้ำหนักโมเลกุลและอุณหภูมิกลาสทรานซิชันสูงส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้น อีกทั้ง

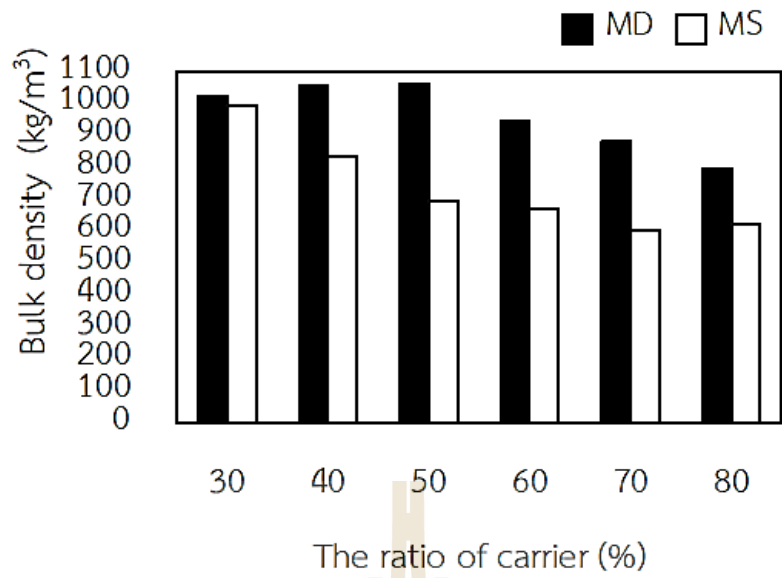
ทั้งเมื่อนำมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อนำมะขามเปียกผงมาทำการละลายก็จะเห็นได้ว่าความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสารตัวพาในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารตัวพามีคุณสมบัติในการช่วยให้สารละลายมีความคงตัวมากขึ้น



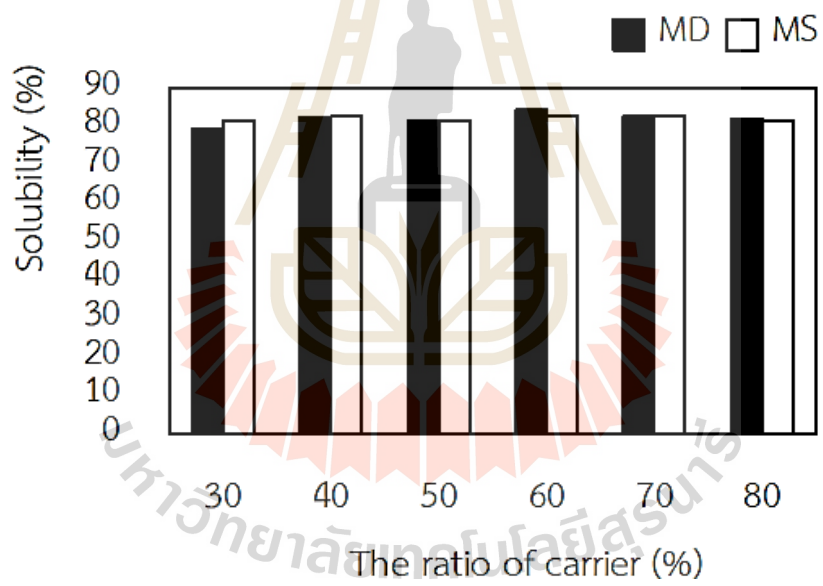
รูปที่ 4.1 ค่าความชื้นของมะขามผง



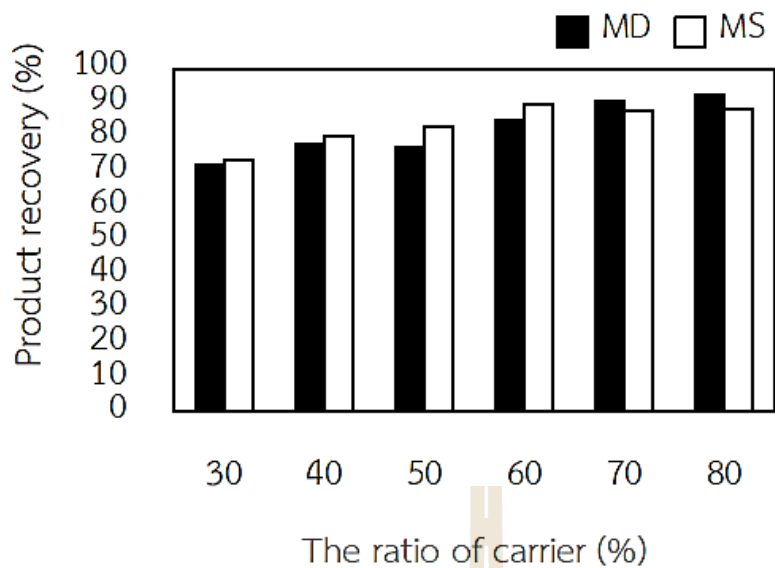
รูปที่ 4.2 ค่าปริมาณกรดของมะขามผง



รูปที่ 4.3 ค่าความหนาแน่นของมะขามผง

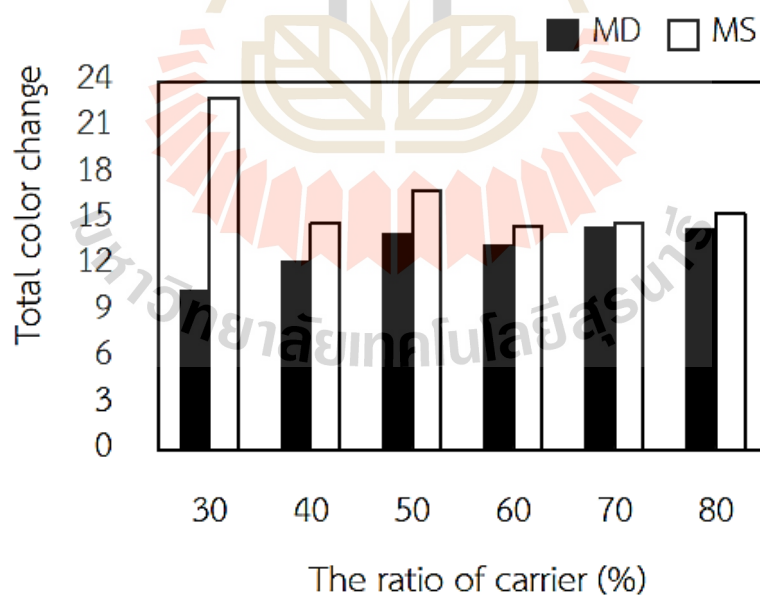


รูปที่ 4.4 ค่าความสามารถในการละลายของมะขามผง



รูปที่ 4.5 ค่าปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้ของมะขามผง

สำหรับค่าความแตกต่างระหว่างสีของผลิตภัณฑ์ผงที่ผ่านการคืนรูปและสีของมะขามเปียก เริ่มต้นพบว่าการเติมสารตัวพาชนิดสตาร์ชดัดแปรให้ค่าความแตกต่างของสีผลิตภัณฑ์ที่น้อยกว่าสารตัวพาออลโตเดกซ์ทรินดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าความแตกต่างสีของผลิตภัณฑ์มะขามผงเทียบกับน้ำมะขามเปียก

#### 4. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของมะขามเปียกผง

เมื่อนำค่าคุณภาพของมะขามเปียกผงมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ความสามารถในการละลายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความชื้น ความหนาแน่น ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างเชิงพหุคูณแบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงมีค่าคุณภาพต่างๆ แตกต่างกันไปตามชนิดของสารตัวพาและอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพต่างๆ

N o.	Carrier (%)	PR (%)	BD (kg/m <sup>3</sup> )	TA (%)	MC (%)	$\Delta E_c$	SO (%)
1	MD = 30	71.98±0.24 <sup>a</sup>	1024.49±9.79 <sup>a</sup>	12.90±0.15 <sup>a</sup>	4.31±0.22 <sup>a</sup>	10.40±1.51 <sup>a</sup>	79.25±1.36
2	MD = 40	78.12±0.09 <sup>b</sup>	1057.23±11.44 <sub>b</sub>	11.80±0.08 <sup>b</sup>	3.62±0.02 <sup>b</sup>	12.31±0.64 <sup>ab</sup>	82.31±0.38
3	MD = 50	77.20±0.23 <sup>c</sup>	1062.94±12.75 <sub>b</sub>	11.45±0.08 <sup>c</sup>	3.54±0.33 <sup>b</sup>	14.10±1.22 <sup>bc</sup>	81.41±5.06
4	MD = 60	85.00±0.22 <sup>d</sup>	943.68±8.89 <sup>c</sup>	10.90±0.08 <sup>d</sup>	3.43±0.14 <sup>b</sup>	13.38±0.52 <sup>bc</sup>	84.15±0.93
5	MD = 70	90.59±0.02 <sup>e</sup>	879.11±5.28 <sup>d</sup>	9.90±0.15 <sup>e</sup>	2.70±0.08 <sup>c</sup> <sub>d</sub>	14.48±0.23 <sup>c</sup>	82.56±2.08
6	MD = 80	92.28±0.37 <sup>f</sup>	796.23±2.55 <sup>e</sup>	9.20±0.08 <sup>f</sup>	2.63±0.15 <sup>c</sup> <sub>d</sub>	14.44±0.58 <sup>c</sup>	81.95±2.37
7	MS = 30	73.29±0.40 <sup>g</sup>	995.29±7.80 <sup>f</sup>	16.80±0.15 <sup>g</sup>	3.33±0.22 <sup>b</sup>	22.94±1.05 <sup>e</sup>	81.41±0.45
8	MS = 40	80.03±0.15 <sup>h</sup>	832.66±22.48 <sup>g</sup>	15.10±0.08 <sup>h</sup>	3.29±0.11 <sup>b</sup>	14.80±1.74 <sup>c</sup>	82.50±2.06
9	MS = 50	83.29±0.12 <sup>i</sup>	694.27±9.91 <sup>h</sup>	14.60±0.08 <sup>i</sup>	2.91±0.07 <sup>c</sup>	16.91±1.22 <sup>d</sup>	81.64±2.43
10	MS = 60	89.74±0.43 <sup>j</sup>	669.85±3.82 <sup>i</sup>	14.05±0.08 <sup>j</sup>	2.53±0.06 <sup>c</sup> <sub>d</sub>	14.61±0.12 <sup>c</sup>	82.64±1.12
11	MS = 70	87.55±0.16 <sup>k</sup>	600.65±6.54 <sup>j</sup>	12.55±0.08 <sup>k</sup>	2.53±0.02 <sup>c</sup> <sub>d</sub>	14.79±0.27 <sup>c</sup>	82.92±2.64
12	MS = 80	88.20±0.16 <sup>l</sup>	623.97±2.56 <sup>k</sup>	11.50±0.08 <sup>c</sup>	2.50±0.05 <sup>d</sup>	15.45±1.13 <sup>cd</sup>	81.37±0.45

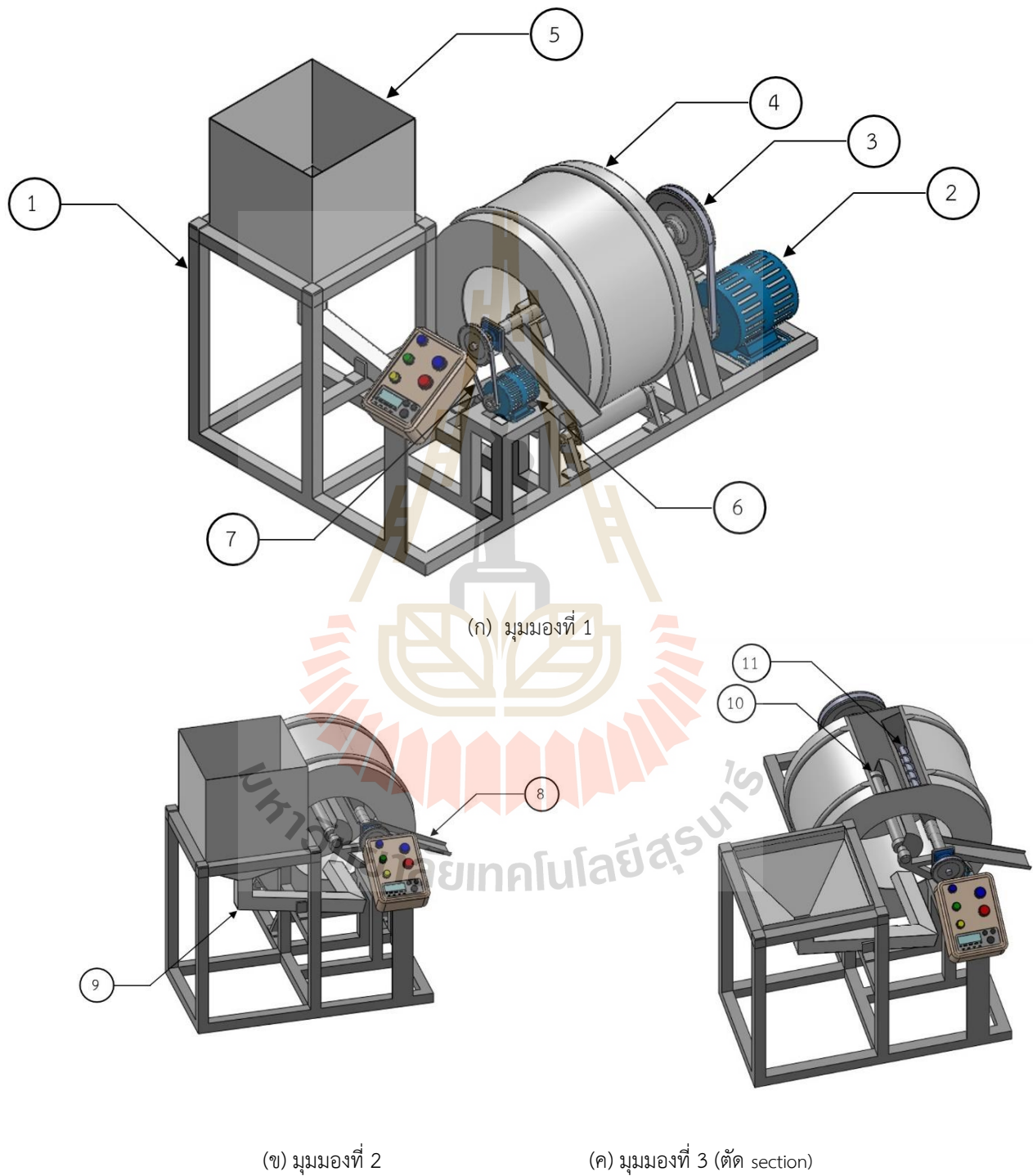
PR = Product recovery, BD = Bulk density, TA = Total acidity, MC = Moisture content,  $\Delta E_c$  = Color, SO = Solubility

<sup>a-l</sup>Different letters in the same column indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).



## 4.2 เครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรดต้นแบบ

เครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรดที่ได้ทำการออกแบบไว้มีลักษณะส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ลักษณะและส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งต้นแบบ

จากรูปที่ 7 เครื่องต้นแบบมีส่วนประกอบดังนี้

หมายเลข 1 คือ โครงสร้างของเครื่อง

หมายเลข 2 คือ มอเตอร์ต้นกำลังสำหรับขับเคลื่อนถึงลูกกลิ้งเครื่องอบแห้ง

หมายเลข 3 คือ พู่เล่สายพานถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์สู่แกนถึงลูกกลิ้ง

หมายเลข 4 คือ ถังลูกกลิ้งของเครื่องอบแห้ง

หมายเลข 5 คือ ถังบรรจุของเหลวสำหรับป้อนสู่เครื่องอบแห้ง

หมายเลข 6 คือ มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนลำเลียงผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแล้วออกจากถังลูกกลิ้ง

หมายเลข 7 คือ พู่เล่สายพานถ่ายทอดกำลังสู่สกรูลำเลียง

หมายเลข 8 คือ ทางออกของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแล้ว

หมายเลข 9 คือ ทางป้อนของเหลวเข้าสู่ห้องอบแห้ง

หมายเลข 10 คือ แท่งฮีตเตอร์อินฟราเรด (แหล่งกำเนิดความร้อน)

หมายเลข 11 คือ ใบมีดชุดและสกรูลำเลียงผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องอบแห้ง

การทำงานของเครื่องอบแห้งลูกกลิ้งอินฟราเรดเริ่มจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ฮีตเตอร์อินฟราเรด (หมายเลข 10) เพื่อให้เกิดความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากฮีตเตอร์สู่ผิวภายในของถังลูกกลิ้ง (หมายเลข 4) จากนั้นมอเตอร์ (หมายเลข 2) จะขับเคลื่อนผ่านชุดพู่เล่ทรอบ (หมายเลข 3) เพื่อให้ความเร็วลดลงและเกิดแรงดูดหมุนที่เพียงพอในกับหมุนถัง พร้อมกับมอเตอร์ (หมายเลข 6) จะขับเคลื่อนสกรูลำเลียง (หมายเลข 11) ด้วยชุดพู่เล่ (หมายเลข 7) ทดรอบให้ช้าลง โดยที่มอเตอร์ทั้งสองตัวสามารถปรับความเร็วรอบได้ตามความต้องการ เมื่อระบบทั้งหมดทำงานแล้ว ของเหลวที่ต้องการทำแห้งซึ่งถูกบรรจุอยู่ในถัง (หมายเลข 5) จะถูกป้อนเข้าสู่ถังอบแห้งผ่านทางท่อ (หมายเลข 9) ของเหลวนี้จะเคลือบติดไปกับผิวผนังด้านในของถังลูกกลิ้งแล้วได้รับรังสีความร้อนจากฮีตเตอร์อย่างสม่ำเสมอในแนวรัศมี ฟิล์มของเหลวนี้จึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นและระเหยน้ำออกจนแห้งกลายเป็นผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้เกิดขึ้นโดยที่ถังอบแห้งหมุนไปอย่างช้าๆ จากนั้นฟิล์มผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกชุดออกด้วยใบมีดชุดพร้อมกับถูกสกรูลำเลียง (หมายเลข 11) พาให้เคลื่อนที่ออกมาสู่ช่องทางออก (หมายเลข 8) ในที่สุด

### 4.3 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

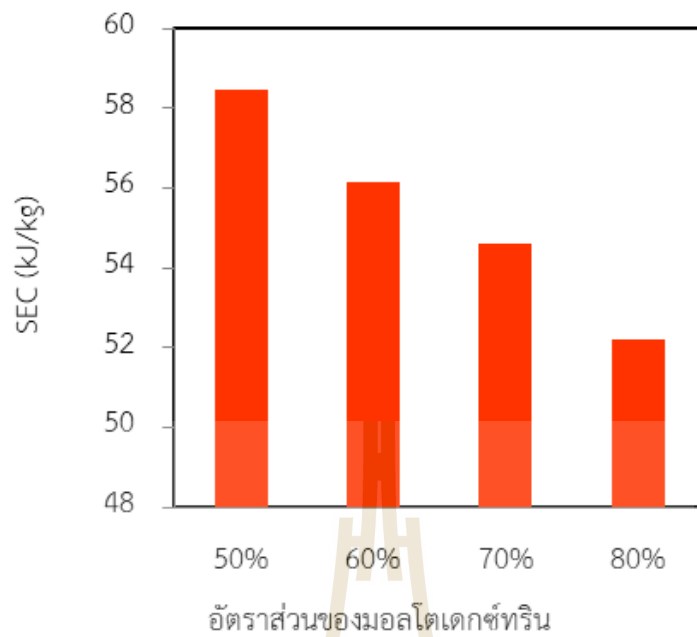
ผลการทดสอบการอบแห้งสารละลายมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย โดยที่อุณหภูมิ 150°C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทำแห้งใกล้เคียงกันและผลิตภัณฑ์ที่ได้สมบูรณ์แตกต่างกับอุณหภูมิอื่นที่ผลิตภัณฑ์เกิดการไหม้ทำให้สูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ จึงส่งผลทำให้ค่าประสิทธิภาพการทำแห้งสูงที่สุดด้วยดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบอบแห้งสารละลายมอลโตเดกซ์ทริน

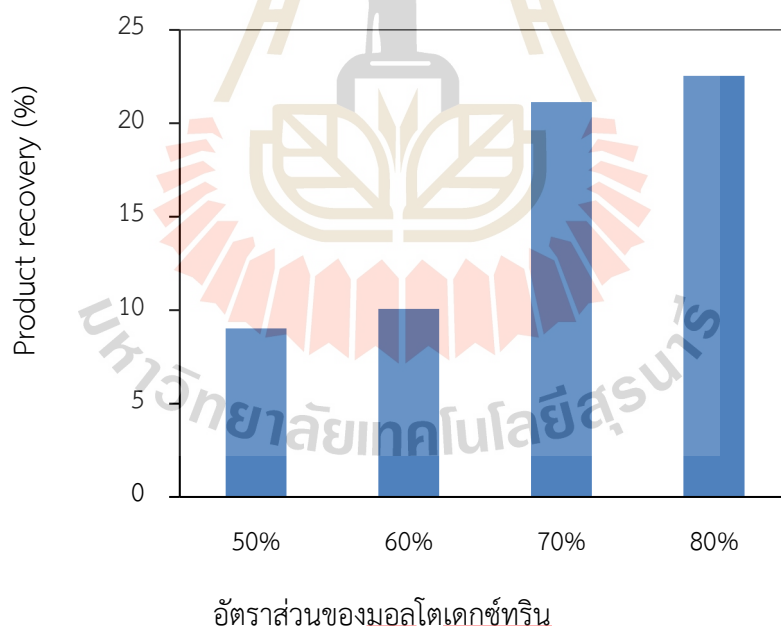
conditions		Performance Evaluation of Drying			
temperature (°C)	Roller speed (rpm)	SEC (kJ/kg)	%moisture content (%wb)	Product recovery (%)	Characteristics of Product
150	0.108	11.28	0.942	33.00	complete
175	0.226	12.23	0.785	30.35	Slightly burn
200	0.453	15.78	1.372	21.16	burn

ผลการทดสอบน้ำมะขามผสมมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า เมื่ออัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง โดยที่อัตราส่วนมอลโตเดกซ์ทรินที่ 80% เป็นสภาวะการอบแห้งที่ใช้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุด 52.22 kJ/kg (รูปที่ 4.8) เนื่องจากสารตัวพาช่วยให้สารละลายมะขามไม่เกิดความเหนียวในระหว่างกระบวนการทำแห้งส่งผลให้ใบมีดชุดผลิตภัณฑ์ออกมาได้มากขึ้นทำให้มีค่าประสิทธิภาพการทำแห้งสูงสุดตามมาด้วยดังรูปที่ 4.9 ซึ่งจะพบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าที่ต่ำเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งที่มีส่วนโค้งภายในทำให้การติดตั้งใบมีดเพื่อชุดผลิตภัณฑ์ออกจากผิวของถังลูกกลิ้งทำได้ไม่ตึงน๊ก นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์ตกค้างอยู่ภายในท่อสกรูลำเลียงแล้วได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนภายในจึงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสียสภาพก่อนลำเลียงออกจากห้องอบแห้งซึ่งในส่วนของใบมีดชุดและระบบลำเลียงคงต้องมีการพัฒนาต่อไป

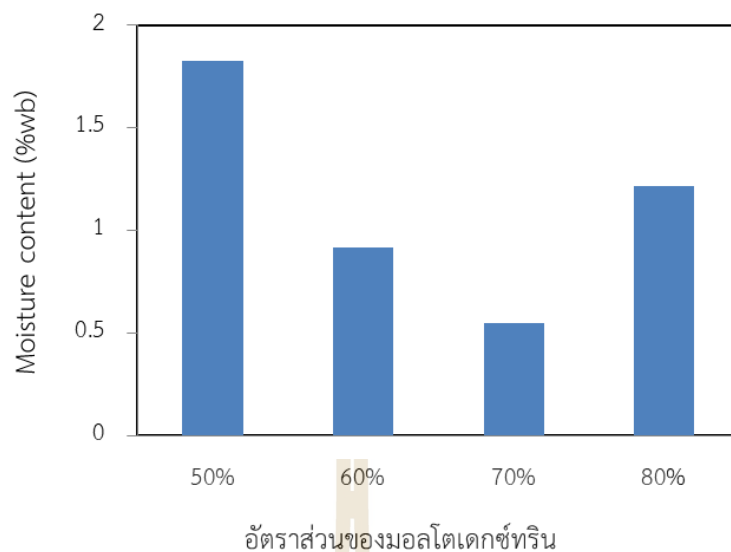
สำหรับค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์มะขามผงนั้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถลดความชื้นได้ต่ำเพียงพอที่จะสามารถเก็บได้อย่างปลอดภัยโดยค่าความชื้นที่ได้ทุกอัตราส่วนมีค่าต่ำกว่า 5%wb (รูปที่ 4.10) ซึ่งการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องใส่ซองป้องกันความชื้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่ต่ำมากอาจก่อให้เกิดการดูดน้ำจากอากาศเข้าไป



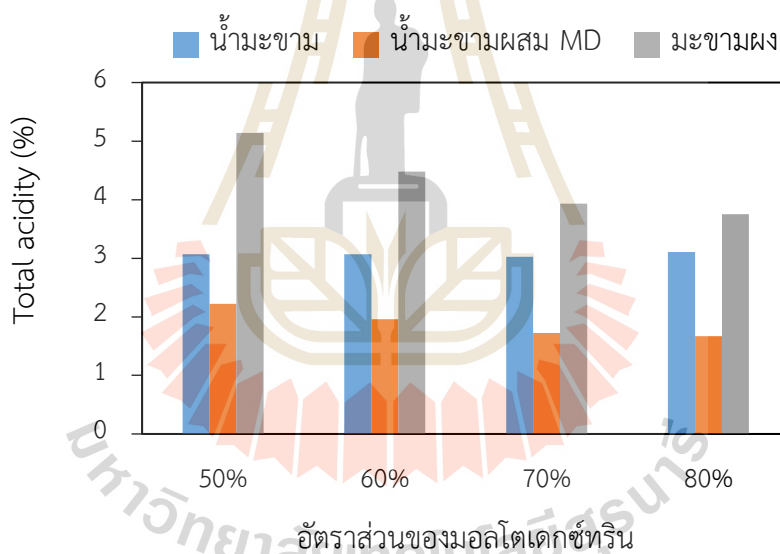
รูปที่ 4.8 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งมะขามผง



รูปที่ 4.9 ปริมาณผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จากเครื่องอบแห้งต้นแบบ



รูปที่ 4.10 ความชื้นของผลิตภัณฑ์มะขามผงแห้ง



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์มะขามในขั้นตอนต่างๆ

ส่วนค่าความเป็นกรดของมะขามพบว่าน้ำมะขามเริ่มต้นของแต่ละอัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่น้ำมะขามหลังผสมสารมอลโตเดกซ์ทรินและมะขามผงจะมีค่าความเป็นกรดลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินที่เติมลงไปสามารถเจือจางปริมาณของกรดที่มีอยู่ในน้ำมะขามทำให้ปริมาณกรดที่อยู่ในน้ำมะขามมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น ส่วนสาเหตุที่ทำให้ค่าความเป็นกรดของมะขามผงมีค่ามากกว่าน้ำมะขามเริ่มต้นเนื่องจากน้ำเป็นตัวเจือจางความเป็นกรดเมื่อระเหยน้ำออกไปแล้วทำให้ค่าความเป็นกรดเข้มข้นขึ้นดังรูปที่ 4.11

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพื้นผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรดสามารถทำการอบแห้งวัสดุเกษตรที่เป็นของเหลวหนืดได้โดยผลจากการศึกษาอบแห้งน้ำมะขามเปียกพบว่าในด้านการใช้พลังงานมีความคุ้มค่าเนื่องจากมีค่า SEC ต่ำที่ 52.22 kJ/kg แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำแห้ง แต่ยังมีค่าความสามารถในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้ต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งที่ใช้ผิวนอกในการอบแห้งเนื่องจากมีปัญหาด้านการจัดการกับวัสดุที่เหนียวขึ้นหนืดซึ่งผิวลูกกลิ้งจึงทำให้ค่า product recovery ออกมาต่ำ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- การนำวัสดุออกจากเครื่องอบแห้งยังมีปัญหาเรื่องใบมีดขูดผลิตภัณฑ์ และระบบลำเลียงควรมีการพัฒนาศึกษาต่อ
- การใช้อินฟราเรดเป็นแหล่งพลังงานความร้อนทำให้สามารถรับความร้อนได้จากการพาความร้อน การนำความร้อนและการแผ่รังสีจึงมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานกับทางความร้อนอื่นได้

## เอกสารอ้างอิง

- กรรณิกา จงเพิ่มวิวัฒนะผล. 2549. การทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน: ผลของอุณหภูมิและมอลโตเด็กซ์ตรินต่อคุณภาพของมะขามผง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 118 น.
- ดาร์รัตน์ นาคละอ, อภัสรา แสงนาค และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. 2554. การปรับปรุงคุณภาพของ แป้งเมล็ดขนุนโดยวิธีการพรีเจลาทีไนซ์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 16 (2554) 1 : 12-21.
- นฤดี พงศ์กิจวิฑูร, สุวิข สิริวัฒนโยธิน, สายมล สัมพันธ์เวชโสภา และทิพาพร อัญญา. 2544. ปัจจัย การผลิตกล้วยหอมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.,ปีที่ 24 (1): 69-84.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2553. drum drier เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง. Food Network Solution. ระบบ ออนไลน์ <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/wordcap/drum%20drier>, สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2555.
- สมชาติ ไสภณรณฤทธิ. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 338 หน้า.
- สุภาณี จงดี, กฤษณา สุตทะสาร และราณี เคนเหลื่อม. 2551. โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวกล้องงอก. วารสารวิชาการข้าว ปีที่ 2(2): 61-70.
- สุนีย์ จีงธีรพานิช. 2551. การพัฒนาถั่วอะซูมิผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 121 น.
- Heldman, D. R. and Lund, D.B. 2007. Handbook of food engineering second edition. CRC Press, United States of America. pp. 1023.
- Pua, C.K., N. Sheikh Abd. Hamid, G. Rusul, R Abd. Rahman. 2007. Production of Drum-dried Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) Powder with Different Concentration of Soy Lecithin and Gum Arabic. Journal of Food Engineering 78:630-636.

ภาคผนวก ก  
ผลงานเผยแพร่







## Comparing the Efficiency of Two Carrier Types on Drum Drying of Tamarind Juice

Nartchanok Prangpru<sup>1\*</sup>, Tawarat Treeamnuk<sup>1</sup>, Kaittisak Jaito<sup>1</sup>, Benjawan Vanmontree<sup>1</sup>, Krawee Treeamnuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

\*Corresponding author: Tel: +66-44-224-225, Fax: +66-44-224-610, E-mail: [miss.nartchanok@hotmail.com](mailto:miss.nartchanok@hotmail.com)

### Abstract

The main purpose of this work was to study the effect of carrier agents on the drying capability and the qualities of tamarind powder produced by a drum dryer. Two popular carrier agents, namely maltodextrin and modified starch, were applied to tamarind juice at juice-to-carrier-agent ratios of 1:0.3, 1:0.4, 1:0.5, 1:0.6, 1:0.7 and 1:0.8 (w/w). A double drum dryer was employed in this work at a drying temperature of 140°C, drum rotational speed of 0.50 rpm and gap between drums of 0.15 mm. The efficiency of carrier agent was evaluated by the capability of drying and product qualities such as product recovery, bulk density, total solid, moisture content and color difference. The results of the experiment indicated that the ratio of the carrier agent affected the drying capability. The tamarind powder were easily removed from the drums by doctor blades without sticking at the lowest ratios of maltodextrin and modified starch of 1:0.6 and 1:0.4, respectively. Furthermore, when considering the qualities of tamarind powder, as a carrier modified starch led to better tamarind powder qualities than maltodextrin

Keywords: Tamarind, Carrier agents, Drum drier

### 1 Introduction

Tamarind is one of the most important fruits of Thailand with the total production over 100,000 tons a year. Tamarind juice is an essential ingredient that provides the inimitable sour taste in many kinds of Thai food (Jittanit et al., 2011). However, the use of the fresh pulp still has many disadvantages due to its short shelf-life of about 6-8 months and, high cost of transportation. In addition, preparation for cooking is rather difficult. To overcome the aforementioned problems, a method of transforming tamarind paste into powder by a drum dryer is proposed.

A drum dryer consists of two hollow cylinders rotating in opposite directions. The drums are heated by high temperature of saturated steam inside. A thin film of solution is coated on the outside surface of a heated drum and subsequent removal of the film of dry solids by applying the doctor blade. Drum drying is commonly used in production of low moisture baby foods and fruit powder. It is a technique widely used in the food industry

to produce food powder particularly for heat sensitive products where short time high temperature drying is permissible (Nastaj, 2000). Additionally, Sunee (2008) stated that production of azuki bean powder using drum drying is advantageous because it can save time in product preparation, save storage space and convenience to the users. Drum drying is a low cost and easy production process (Russamon, 1999).

Fruit juices are very difficult dried with a drum dryer because of the presence of low molecular weight sugars and acids, which have a low glass transition temperature, and high hygroscopicity (Jaya and Das, 2004). While under drum drying temperatures, they tend to stick to the surface of the drum and cannot be removed from the drums by doctor blades (Bhandari and Howes, 2005). Some possible consequences are related to impaired product stability, decreased yields (because of stickiness on the surface of the drum), and even operating problems to the dryer (Bhandari et al., 1997). Such problems can be alleviated by adding carrier agents,

which are high molecular weight, such as maltodextrin (MD), which decrease powder hygroscopicity and increasing the glass transition temperature (Silva et al., 2006). Additionally, Carneiro et al. (2013) reported MD is a relatively low cost and low viscosity at high solids concentrations. However, the biggest problem of this carrier is its low emulsifying capacity. Therefore, it is common to use MD in combination with other carriers, such as gum arabic (Fernandes et al., 2008) or modified starch (Bule et al., 2010) in order to obtain an effective juice powder by drum drying. Oliveira et al. (2009) pointed out that gum arabic has a glass transition temperature higher than MD and is very efficient in flavour retention, which suggests that it is probably reducing powder hygroscopicity more effectively than MD, but gum arabic is expensive. So, this motivated researchers to look for materials to replace it. Modified starch (MS), a carbohydrate that changes the native starch's property in accordance with a certain application. Such as modified starch can be used to replace other substances, like emulsifiers. Non-polar modified starch can act as an emulsifier, offering stable emulsions.

The purpose of the present study was to evaluate the effects of MD and MS as carrier agents on the capability of drying and the quality of drum dried tamarind powder.

## 2 Materials and Methods

### 2.1 Materials

Tamarind flesh (*Tamarindus indica* L.) was purchased from a local market in Nakhon Ratchasima, Thailand. MD with dextrose equivalent of 10-12, pH of 4.5-6.5 and moisture content of 5.0-6.0% was purchased from Nutrition SC CO., LTD., Nakhonpathom, Thailand. MS with pH of 4.0-6.0 and moisture content of 4.0-8.0% was purchased from Questex CO., LTD., Sumutprakarn, Thailand.

### 2.2 Tamarind Juice Preparation

Tamarind flesh was deseeded and mixed with hot water at 80°C at a ratio of 1:5 (w/w). The mixture was squeezed into tamarind paste. Then, the juice was screened with the two-layer of cheesecloth to discard the residues. The total soluble solid of juice was determined and adjusted to be 12oBrix. After that, either MD or MS was added as a carrier agent to the juice at

juice-to-carrier-agent ratios of 1:0.3, 1:0.4, 1:0.5, 1:0.6, 1:0.7 and 1:0.8 (w/w). The initial ratio of 1:0.3 was used by Kanniga (2006). Each the sample feed 500 ml.

### 2.3 Drum Dryer Setting

A double drum dryer with nip feed was employed in this work shown in Figure 1. The dryer, which consists of five main parts. The Control box was a box to control the drum outside surface temperature and drum speed of the rollers were 140°C and 0.50 rpm, respectively. Cylindrical hollow rollers made of stainless steel had a diameter of 15 cm, a length of 20 cm and a gap between drums of 0.15 mm. Doctor blades made of stainless steel were used for scraping food through the process of drying out. An electric motor of 1 HP was used to drive the machine. Finally, the structure that supports the weight of the whole machine.

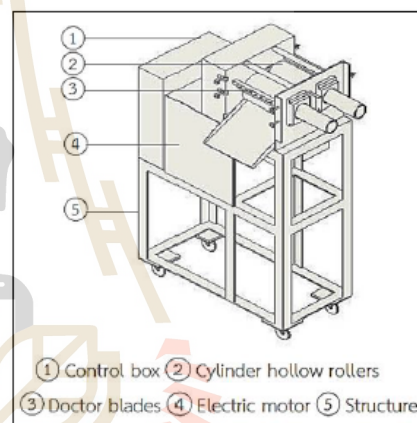


Figure 1 A drawing of double drum dryer.

### 2.4 Drying Experiments

The drying experiments were carried out using the randomized complete block design of two carrier agent (MD and MS), and six ratios of tamarind juice and carrier agent (1:0.3, 1:0.4, 1:0.5, 1:0.6, 1:0.7 and 1:0.8 w/w). At the end of drying, the tamarind powder was collected, weighed and kept in the sealed container for determination of the qualities. The procedure for the raw material preparation until the drying of tamarind is shown in Figure 2.

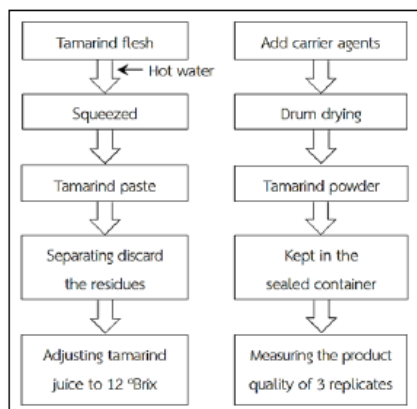


Figure 2 Schematic diagram of the experimental procedure.

### 2.5 Quality Determination

The qualities of tamarind samples, which included tamarind juice, in terms of total solid, moisture content, total acidity and color, were measured. For the tamarind powder, product recovery, bulk density, total solid, moisture content and color were measured. Apart from that, for the reconstituted tamarind powder were subjected to the determination of solubility, total acidity and color. Then all of qualities will be measured in 3 replicates.

Product recovery was determined using the ratio in the weights of dry solid of tamarind juice and powder (Kanniga, 2006). The product recovery was calculated as:

$$\text{Product recovery} = \frac{M_a}{M_b} \times 100 \quad \dots(1)$$

where  $M_a$  and  $M_b$  are the weights (g) of dry solid of tamarind powder leaving the dryer and tamarind juice being fed into the dryer, respectively.

Bulk density of tamarind powder was determined using tamarind powder into the cylinder of known volume, then placing a cylinder with a tamarind powder and dropped by gravity at a distance of 0.1 m from the cylinder. After that, dropped tamarind powder until overflowing cylinder and then swept to the mouth of the cylinder smooth cylinder surface (Pao., 2005). The bulk density was calculated by using the equation as follows:

$$\text{Bulk density} = \frac{m}{v} \quad \dots(2)$$

where  $m$  is the mass of tamarind powder (kg) and  $v$  is the volume of the cylinder ( $m^3$ ).

Total acidity of the tamarind was determined using the tamarind 50 ml into a 250 ml erlenmeyer flask and add 200 ml of distilled water, then 3-5 drop of 1% phenolphthalein were added as an indicator. After that, the mixture was titrated with a standard solution 0.1 N of NaOH until at the endpoint. The solution was indicated by color change to light pink (Pao., 2005). The total acidity was calculated as:

$$\text{Total acidity} = \frac{V \times N \times M_w \times 100}{U \times 1000} \quad \dots(3)$$

where  $V$  is the volume of NaOH which was used in the titration until at endpoint (ml),  $N$  is the normality of NaOH,  $M_w$  is the molecular weight of tartaric acid = 150,  $U$  is the weight of the sample used in the titration (g).

Total solid and moisture content of tamarind was determined using the convection oven method (AOAC, 1984). Samples were dried in an oven at 105°C for 24 h. The total solid content and moisture content of tamarind in wet basis were calculated by using the equation as follows: Samples were dried in an oven at 105°C for 24 h. The total solid content and moisture content of tamarind in wet basis were calculated by using the equation as follows:

$$\text{Total solid} = \left( 1 - \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \right) \times 100 \quad \dots(4)$$

$$\text{Moisture content} = \left( \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \right) \times 100 \quad \dots(5)$$

where  $W_1$  is the initial weight of moisture can (g),  $W_2$  is the weight of moisture can and tamarind before drying (g), and  $W_3$  is the weight of moisture can and tamarind after drying (g).

The color of the tamarind juice was determined using Hunter Lab colorimeter in terms of the total color change between the juice and the reconstituted powder. The color was expressed in terms of L (lightness), a (redness) and b (yellowness) (Shittu and Lawal, 2007). The change in the color was calculated by using the following equation:

$$\Delta E_c = \sqrt{(L_0 - L_p)^2 + (a_0 - a_p)^2 + (b_0 - b_p)^2} \quad \dots(6)$$

where  $L_0$ ,  $a_0$  and  $b_0$  are the color values of the tamarind juice, and  $L_p$ ,  $a_p$  and  $b_p$  are the color values of the reconstituted powder.

Solubility of tamarind powder was determined by using about 1 g of each sample which were suspended

in 10 ml of water at 30°C in a centrifuge tube. The suspension was stirred intermittently for 30 min before it was centrifuged at 3,000 rpm for 10 min. After that, the supernatant was poured into a moisture can and dried in an oven at 105°C for 24 h (Jaya and Das, 2004). The dry basis solubility of tamarind powder was calculated by using the following equation:

$$\text{Solubility} = \frac{M_s}{M_p} \times 100 \quad \dots(7)$$

where  $M_s$  is the weight of dry solid of supernatant (g), and  $M_p$  is the weight of tamarind powder (g).

### 2.6 Statistical Analysis

Each tamarind powder quality parameter reflected the mean of three replicates. Statistical analyses were performed using SPSS. The statistical significance was determined by analysis of variance (ANOVA). The least significant difference of  $p < 0.05$  was calculated using the Duncan Multiple Range Test (DMRT). The data were expressed as average  $\pm$  standard deviations.

## 3 Results and Discussions

### 3.1 Properties of Tamarind Juice

The fresh tamarind juice, after squeezing and screened with the use of two-layer cheesecloth had the total soluble solid of 12°Brix, the total solid of 11.72% and the moisture content of 88.28%. The mean and standard deviation of color in terms of L (lightness), a (redness) and b (yellowness) were  $32.82 \pm 0.81$ ,  $7.85 \pm 0.19$  and  $18.77 \pm 0.39$ , respectively, while the total acidity and pH was  $24.50\% \pm 0.09$ ,  $3.36 \pm 0.01$ , respectively.

### 3.2 Capability of Drying

When applying the MD at ratios of 1:0.3, 1:0.4 and 1:0.5, the feed was sticky and could not be scraped off the drums, as well as the cases of using MS at the ratio of 1:0.3. While, in the cases of using MD at the ratio of 1:0.6, 1:0.7 and 1:0.8, the feed was dried as flakes and could be removed from the drums by doctor blades, as well as the cases of using MS at the ratio of 1:0.4, 1:0.5, 1:0.6, 1:0.7 and 1:0.8. So, the lowest amount of MD to add in the tamarind juice was 60%, while MS used only 40%.

### 3.3 Qualities of Product

The results of experiments indicated that the product recovery were increased when the ratio of the carriers were increased (Figure 3) because the carriers are helping to increase molecular weight compounds, so it have a high glass transition temperature as a result drying up and the output of the drying process increases. They also found that, the MS had better product recoveries of tamarind powder than the MD did at ratios of 1:0.3, 1:0.4, 1:0.5 and 1:0.6, although without the problem of sticky of the MD at a ratio of 1:0.6.

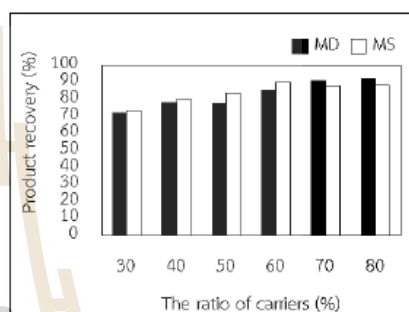


Figure 3 The product recovery of tamarind powder.

The effect of the different carriers used to produce the tamarind powder on bulk density is shown in Figure 4. The results showed that, the bulk density of tamarind powder decreased when the ratio of carrier increased. Similar results were observed, when tomato juice was dried using carrier in a spray dryer (Goula and Adamopoulos, 2004).

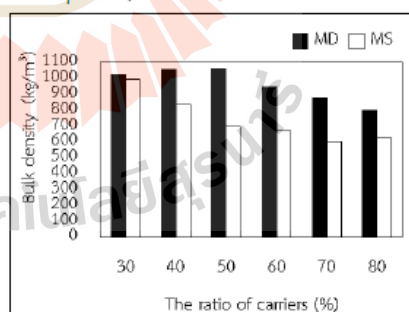


Figure 4 The bulk density of tamarind powder.

The effect of the different carriers used to produce the tamarind powder on total acidity is shown in Figure 5. The result showed that, after reconstitution tamarind powder to achieve the total acidity of the tamarind juice between 9.20% to 16.80% because the tamarind juice

was diluted by the carrier prior to drying. Apart from that, MD is a carrier with had lower of total acidity than MS.

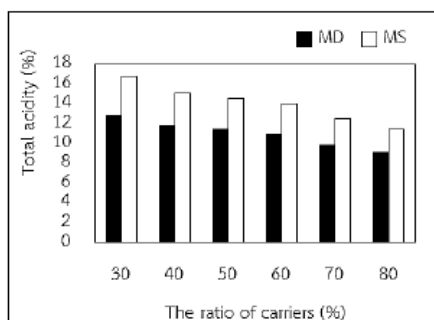


Figure 5 The total acidity of reconstituted tamarind powder.

The effect of the different carriers used to produce the tamarind powder on moisture content is shown in Figure 6. Moisture content is an important powder property, which is related to the drying efficiency. The moisture content of tamarind powder varied from 2.50% to 4.31%, which was close to the moisture content of spray dried blackberry (Ferrari et al., 2012). Increasing the ratio of the carrier resulted in a decrease in the moisture content due to high solid ratio. However, the moisture content of MD was more than MS. This behavior was probably due to the differences between the chemical structures of the carriers (Yousefi et al., 2011).

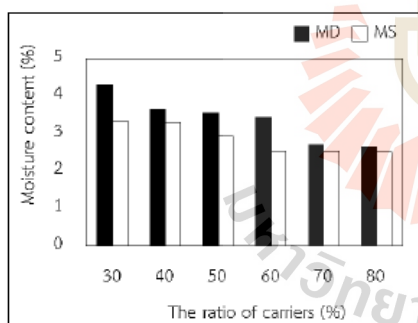


Figure 6 The moisture content of tamarind powder.

The total color change of reconstituted tamarind powder increased as the ratio of MD increased from 30% to 50%, then the total color change are not different (Figure 7). Similarly, the ratio of MS from 40% to 80%, because the dried product could be removed from the drums by doctor blades.

The effect of the different carriers used to produce the tamarind powder on solubility is shown in Figure 8. No significant differences was found in powder solubility

for MD and MS. All of the powder samples, except the one produced from MD at the 1:0.3 ratio, had a high degree of solubility, reaching values above 80% (Table 1).

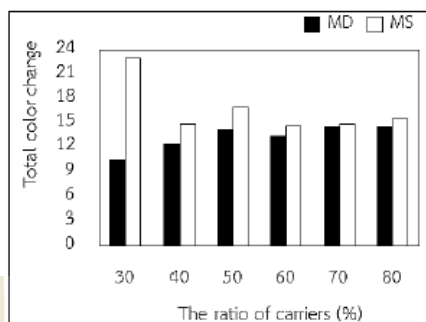


Figure 7 The total color change of tamarind between the fresh juice and the reconstituted powder.

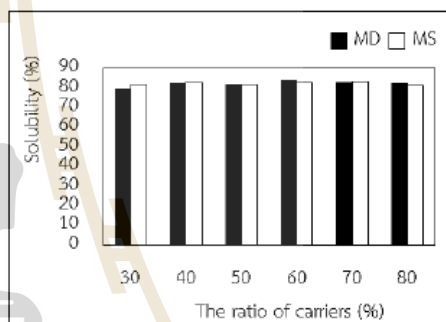


Figure 8 The solubility of tamarind powder.

### 3.4 Statistical Analysis

Base on the statistic analysis (Table 1), while all other quality parameters of different samples were significantly different ( $p < 0.05$ ), the solubilities were not. The highest yield of product recovery was obtained with 80% MD. And the least bulk density was obtained using 70% MS. The highest acid of total acidity was obtained when 30% MS was used as the carrier. And the lowest moisture content was obtained using 80% MS. While the lowest total color change was obtained using 30% MD. Furthermore, the powder solubility was not affected by the types and concentration of the carrier.

#### 4 Conclusions

The effect of the ratio of carriers on the drying behavior and quality were different for different parameters. The substance takes to make tamarind powder can be removed from the drums by doctor blades and has product recovery of more than 80%

when 60% MD and 40% MS was used as carrier. And it can be concluded that using MS as carrier leads to better quality of tamarind powder (such as bulk density, total acidity and moisture content) than using MD as the carrier. However, with the high cost of MS, using these carriers in combination would be preferred.

Table 1 Average  $\pm$ standard deviation for the quality of tamarind powder.

No.	Carrier (%)	PR (%)	BD (kg/m <sup>3</sup> )	TA (%)	MC (%)	$\Delta E_c$	SO (%)
1	MD = 30	71.98 $\pm$ 0.24 <sup>a</sup>	1024.49 $\pm$ 9.79 <sup>a</sup>	12.90 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	4.31 $\pm$ 0.22 <sup>a</sup>	10.40 $\pm$ 1.51 <sup>a</sup>	79.25 $\pm$ 1.36
2	MD = 40	78.12 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	1057.23 $\pm$ 11.44 <sup>b</sup>	11.80 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	3.62 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	12.31 $\pm$ 0.64 <sup>ab</sup>	82.31 $\pm$ 0.38
3	MD = 50	77.20 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>	1062.94 $\pm$ 12.75 <sup>b</sup>	11.45 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	3.54 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	14.10 $\pm$ 1.22 <sup>bc</sup>	81.41 $\pm$ 5.06
4	MD = 60	85.00 $\pm$ 0.22 <sup>d</sup>	943.68 $\pm$ 8.89 <sup>c</sup>	10.90 $\pm$ 0.08 <sup>d</sup>	3.43 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	13.38 $\pm$ 0.52 <sup>bc</sup>	84.15 $\pm$ 0.93
5	MD = 70	90.59 $\pm$ 0.02 <sup>e</sup>	879.11 $\pm$ 5.28 <sup>d</sup>	9.90 $\pm$ 0.15 <sup>e</sup>	2.70 $\pm$ 0.08 <sup>cd</sup>	14.48 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>	82.56 $\pm$ 2.08
6	MD = 80	92.28 $\pm$ 0.37 <sup>f</sup>	796.23 $\pm$ 2.55 <sup>e</sup>	9.20 $\pm$ 0.08 <sup>f</sup>	2.63 $\pm$ 0.15 <sup>cd</sup>	14.44 $\pm$ 0.58 <sup>c</sup>	81.95 $\pm$ 2.37
7	MS = 30	73.29 $\pm$ 0.40 <sup>g</sup>	995.29 $\pm$ 7.80 <sup>f</sup>	16.80 $\pm$ 0.15 <sup>g</sup>	3.33 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	22.94 $\pm$ 1.05 <sup>e</sup>	81.41 $\pm$ 0.45
8	MS = 40	80.03 $\pm$ 0.15 <sup>h</sup>	832.66 $\pm$ 22.48 <sup>g</sup>	15.10 $\pm$ 0.08 <sup>h</sup>	3.29 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	14.80 $\pm$ 1.74 <sup>c</sup>	82.50 $\pm$ 2.06
9	MS = 50	83.29 $\pm$ 0.12 <sup>i</sup>	694.27 $\pm$ 9.91 <sup>h</sup>	14.60 $\pm$ 0.08 <sup>i</sup>	2.91 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	16.91 $\pm$ 1.22 <sup>d</sup>	81.64 $\pm$ 2.43
10	MS = 60	89.74 $\pm$ 0.43 <sup>j</sup>	669.85 $\pm$ 3.82 <sup>i</sup>	14.05 $\pm$ 0.08 <sup>j</sup>	2.53 $\pm$ 0.06 <sup>cd</sup>	14.61 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>	82.64 $\pm$ 1.12
11	MS = 70	87.55 $\pm$ 0.16 <sup>k</sup>	600.65 $\pm$ 6.54 <sup>j</sup>	12.55 $\pm$ 0.08 <sup>k</sup>	2.53 $\pm$ 0.02 <sup>cd</sup>	14.79 $\pm$ 0.27 <sup>c</sup>	82.92 $\pm$ 2.64
12	MS = 80	88.20 $\pm$ 0.16 <sup>l</sup>	623.97 $\pm$ 2.56 <sup>k</sup>	11.50 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	2.50 $\pm$ 0.05 <sup>d</sup>	15.45 $\pm$ 1.13 <sup>cd</sup>	81.37 $\pm$ 0.45

PR=Product recovery, BD=Bulk density, TA=Total acidity, MC=Moisture content,  $\Delta E_c$ =Total color change, SO=Solubility  
a-Different letters in the same column indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

#### 5 Acknowledgement

The authors would like to thank Suranaree University of Technology for supporting this study.

#### 6 References

- [1] Association of Official Analytical Chemist. 1984. Official Method of Analysis of the AOAC International, 14th Ed., Washington DC. New York.
- [2] Bhandari, B.R., Dutta, N., Howes, T. 1997. Problems associated with spray drying of sugarrich food. *Journal of Drying Technology* 15, 671-684.
- [3] Bhandari, B.R., Howes, T. 2005. Relating the stickiness property of foods undergoing drying and dried products to their surface energetics. *Journal of Drying Technology* 23, 781-797.
- [4] Bule, M.V., Singhal, R.S., Kennedy, J.F. 2010. Microencapsulation of ubiquinone-10 in carbohydrate matrices for improve stability. *Journal of Carbohydrate Polymers* 82, 1290-1296.
- [5] Carneiro, C.F., Tonon, R.V., Grosso, R.F., Hubinger, M.D. 2013. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering* 115, 443-451.
- [6] Fernandes, L.P., Turatti, I.C.C., Lopes, N.P., Ferreira, J.C., Candido, R.C., Oliveira, W.P. 2008. Volatile retention and antifungal properties of spray-dried micro particles of *Lippia sidoides* essential oil. *Journal of Drying Technology* 26, 1534-1542.
- [7] Ferrari, C.C., Germer, S.P.M., Alvim, I.D., Vissotto, F.Z., Aguirre, J.M. 2012. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. *International Journal of Food Science and Technology* 47, 1237-1245.
- [8] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. 2004. Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. *Journal of Drying Technology* 22, 2309-2330.



## การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด Performance Evaluation of Internal Surface Infrared Drum Dryer

เกียรติศักดิ์ ใจโต<sup>1\*</sup>, ธวัชชัย อาศัยนา<sup>2</sup>, กระวี ตรีอำรรค<sup>2</sup>, เทวรัตน์ ตรีอำรรค<sup>1</sup>,  
ธีรวัฒน์ ชื่นอัครดงคต<sup>2</sup> และ ณัฐพล แซ่ลิ้ม<sup>2</sup>

Kaattisak Jaito, Thawatchai Arsaina, Krawee Treeeamnuk, Tawarat Treeeamnuk,  
Teerawat chuenatsadongkot and Nuttaphon saelim

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนที่ใช้ความร้อนจากผิวด้านในซึ่งเป็นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ด้วยการออกแบบระบบให้ความร้อนจากแท่งอินฟราเรด ใบมีด และสกรูลำเลียง ติดตั้งภายในลูกกลิ้งทรงกระบอกหมุน ทำการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนี้จากความสามารถในการทำแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยการอบแห้งผลิตภัณฑ์ 2 ประเภทคือ 1) สารละลายยาลมโตเดกซ์ตริน โดยกำหนดให้อัตราส่วนการผสมของน้ำเปล่าต่อมอลโตเดกซ์ตรินเท่ากับ 2:1 w/w และปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิการอบแห้ง 150, 175 และ 200°C ความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้ง 0.108, 0.226 และ 0.453 rpm จากผลการทดสอบพบว่า ความเร็วรอบ 0.108 rpm และอุณหภูมิ 150°C เป็นสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เกิดการไหม้ และมีค่าประสิทธิภาพในการทำแห้งสูงสุดเท่ากับร้อยละ 33 2) น้ำมะขามผสมมอลโตเดกซ์ตริน โดยกำหนดให้อุณหภูมิการอบแห้งเท่ากับ 150°C ความเร็วรอบ 0.105 rpm และอัตราส่วนการผสมของน้ำมะขามต่อมอลโตเดกซ์ตริน 1:0.8, 1:0.7, 1:0.6 และ 1:0.5 w/w จากผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วน 1:0.8 w/w เป็นสภาวะการทำแห้งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าปริมาณผลผลิต สูงสุดเท่ากับร้อยละ 22.53 และมีค่า SEC ต่ำสุดคือ 52.21 kJ/kg.

**คำสำคัญ:** เครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด, สมรรถนะ, มอลโตเดกซ์ตริน, มะขาม

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

\*อีเมลล์: ball-417@hotmail.com

## ประวัตินักวิจัย

### 1. ชื่อ

(ภาษาไทย) นางเทวรัตน์ ตรีอำรรค  
(ภาษาอังกฤษ) Ms. Tawarat Treeamnu

### 2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

### 3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
111 ถ.มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000  
โทร. 044-224583  
E-mail: [tawarat@sut.ac.th](mailto:tawarat@sut.ac.th)

### 4. ประวัติการศึกษา

วศ.บ (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542  
วศ.ม (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545  
วศ.ด (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551

### 5. ผลงานวิชาการ / ผลงานวิจัย

- 1) บัณฑิต จริโมภาส, ชัยพร ทองปัญญา, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, นฤมล บุญกระจ่าง และ มาลัย ไกรทอง. 2543. การศึกษาการยับยั้งตัวของส้มเขียวหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งระหว่างการขนส่งทางบก. วารสารวิชาการเกษตร, ปีที่ 18 (2), หน้า 137-147.
- 2) สมยศ เขียวอักษร และ เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2546. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งระบบป้อนความร้อน. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2546 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 367-374.
- 3) บัณฑิต จริโมภาส และ เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2547. ภาชนะสุญญากาศสำหรับการทดสอบบรยั่วของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว .2547. บทความวิจัย เสนอในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 1 จัดโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม วันที่ 7-9 ธันวาคม.



- 4) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2548. การอบแห้งพริกด้วยระบบลมร้อนและไมโครเวฟ. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2548 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 113-114.
- 5) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2549. การอบสมุนไพรด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบเป็นช่วง. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 112.
- 6) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2550. การอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ. วารสารวิชาการเกษตร. ปีที่ 25 (1), หน้า 46-57.
- 7) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, สมยศ เชิญอักษร, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, อนุพันธ์ เท็ดวงศ์วรกุล และเชาว์ อินประสิทธิ์. 2550. การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ปีที่ 13 (1), หน้า 23-29.
- 8) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2251. ความชื้นสมดุลและจลศาสตร์การอบแห้งของไพล. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2551 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 86.
- 9) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2551. การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ: การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 39 ฉบับที่ 3 (พิเศษ), หน้า 164-167.
- 10) ธนรัช มุขพันธ์, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, พรรษา ลิบลับ และวีรชัย อัจหาญ. 2552. การอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งหมุนแบบกะ. รายงานการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6., หน้า 582-588.
- 11) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, เกียรติศักดิ์ ใจโต, ธรรมรัตน์ ขาวสำอางค์ และกระวี ตรีอำนรรค. 2554. เครื่องแยกแกลบจากข้างกลิ้งข้อมมือแบบประหยัด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 517-520.
- 12) พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, ครุ วาทกิจ, พรรษา ลิบลับ, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อัจหาญ. 2554. การออกแบบและทดสอบเครื่องทำความสะอาดมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 501-504.
- 13) ปัทมา แก้วธรรม, วันพิทักษ์ คงสนุน, กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2554. การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน-ไมโครเวฟ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 493-496.
- 14) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2554. ความชื้นสมดุลและคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของไพล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 (พิเศษ): 139-142.
- 15) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อัจหาญ. 2554. การอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการครั้งที่ 12 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 31 มีนาคม - 1 เมษายน 2554 ณ ชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี.

- 16) วิเชียร ดวงสีเสน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อัจหาญ. 2555. การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. การประชุมสัมมนาวิชาการครั้งที่ 13 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 4-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิงจังหวัดเชียงใหม่, หน้า 660-666.
- 17) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, ปริศนา แสงรุ่ง ปัตตะนี สุดตะนะ. 2555. สมบัติทางกายภาพและความร้อนของข้าวขาวดอกมะลิ 105. การประชุมสัมมนาวิชาการครั้งที่ 13 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 4-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิงจังหวัดเชียงใหม่, หน้า 526-531.
- 18) ศักยะ สมบัติไพรวัน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และกระวี ตรีอำนาจ. 2555. การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว. การประชุมสัมมนาวิชาการครั้งที่ 13 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 4-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิงจังหวัดเชียงใหม่, หน้า 518-525.
- 19) เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, เกียรติศักดิ์ ใจโต, วีรชัย อัจหาญ และกระวี ตรีอำนาจ. 2555. การอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 135-138.
- 20) กระวี ตรีอำนาจ เทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2556. การพัฒนาและทดสอบเครื่องรีดและกรีตเส้นผักตบชวาสำหรับงานหัตถกรรม. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ปีที่ 19 (1), หน้า 25-30.
- 21) วิเชียร ดวงสีเสน เทวรัตน์ ตรีอำนาจ นัยวัฒน์ สุขทั้ง วีรชัย อัจหาญ. 2556. การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ปีที่ 19 (1), หน้า 7-13.
- 22) เทวรัตน์ ตรีอำนาจ อธิพรรณ ชันธเสน และ กระวี ตรีอำนาจ. 2556. เครื่องคัดขนาดกลีบกระเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 44:3 (พิเศษ): 466-469
- 23) นาฎชนก ปรางปุ วิเชียร ดวงสีเสน เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และเกียรติศักดิ์ ใจโต. 2556. การทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 382-386, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.
- 24) เบญจวรรณ วานมนตรี เทวรัตน์ ตรีอำนาจ ภัทรา จิตกุล และวุฒิชนา สิงห์คง. 2556. การศึกษาการอบแห้งจี้กข้าวกลองงอกกิ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 520-523, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.

- 25) ธนากร แนวกลาง เทวรัตน์ ตรีอำนาจ วีรชัย อัจฉาญ และกระวี ตรีอำนาจ. 2556. การปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 680-684, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.
- 26) เกียรติศักดิ์ ใจโต เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และกระวี ตรีอำนาจ. 2556. เครื่องรีดและกรีดยัดบดขบ, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 266-270, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.
- 27) กระวี ตรีอำนาจ, สถาพร แต่งสี, วรุฒ เนตรสว่าง และเทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2557. การทดสอบและประเมินผลเครื่องคว้านลำไยกิ่งอัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 45(3/1)(พิเศษ), หน้า 317-320.
- 28) เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, ธนากร แนวกลาง, พยงค์ ลบแจ้ง, วรณวิษา ไยงเหลือม และกระวี ตรีอำนาจ. 2557. การศึกษาความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลของวัสดุกันกระแทกจากกระดาษฟางข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 45(3/1)(พิเศษ), หน้า 369-372.
- 29) เกียรติศักดิ์ ใจโต, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, นานุชนก ปรางปรุ, เบญจวรรณ วานมนตรี, และกระวี ตรีอำนาจ. 2557. ผลกระทบของค่าความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเนื้อมะพร้าวชูด. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 (หน้า 557-561), สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2-4 เมษายน 2557, ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ.อยุธยา.
- 30) เบญจวรรณ วานมนตรี, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, เกียรติศักดิ์ ใจโต, และนานุชนก ปรางปรุ. 2557. อิทธิพลของสภาวะไฮโดรสแตติกต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของไข่เป็ด. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 (หน้า 573-578), สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2-4 เมษายน 2557, ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ.อยุธยา.
- 31) เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, ธนากร แนวกลาง และกระวี ตรีอำนาจ. 2558. ความสามารถในการปกป้องผล แอปเปิ้ลของวัสดุกันกระแทกจากกระดาษฟางข้าวภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนจำลอง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 46:3/1 (พิเศษ) : 473-476
- 32) เกียรติศักดิ์ ใจโต, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และกระวี ตรีอำนาจ. 2558. ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. หน้า 505-508. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร
- 33) ธนากร แนวกลาง, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ , วีรชัย อัจฉาญ และ กระวี ตรีอำนาจ . 2558. การทดสอบความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยกระดาษจากฟางข้าวด้วย วิธีการทดสอบแบบ

ballistic pendulum. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16. หน้า 509-513. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการ และการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร.

34) นาฏชนก ปรางปรุ เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และกระวี ตรีอำนาจ. 2558. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของสารตัวพาที่มีผลต่อกระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง. ใน การประชุม วิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. หน้า 480-485. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร.

35) เบญจวรรณ วานมนตรี และเทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2558. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงภายในไข่เยี่ยว ม้าที่ผลิตภายใต้สภาวะความดันสูงเทียบกับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด. ใน การประชุมวิชาการสมาคม วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. หน้า 475-476. สมาคมวิศวกรรมเกษตร แห่ง ประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร

36) จีรศักดิ์ ปาประกอบ นัยวัฒน์ สุขทั้ง เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และวีรัชย์ อาจหาญ. 2558. การอบแห้ง มันเส้นสะอาดด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29. 1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา.

37) Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnakorn. 2006. Thai aroma herb drying with microwave assisted heat pump dryer. Proceedings of the 13th Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2006, Oct. 29-Nov. 2. Mie University, Japan. Pp. 278-281.

38) Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnakorn. 2007. Performance Study of Heat pump-Microwave Combination Dryer. Proceeding of International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, 21-24 January, Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kean, Thailand. Page 35.

39) Nartchanok PRANGPRU, Kaittisak JAITO, Benjawan VANMONTREE, Tawarat TREEAMNUK and Krawee Treamnuk. 2014. Comparing the Efficiency of Carrier Type on Drum Drying of Tamarind Juice, in 7th International Conference on Agricultural Engineering, 2nd – 4th April 2014, Krungsri river Hotel Pranakhornsriayothanya, 114-120.

40) Prangpru, N. Treamnuk, T., Jaito, K. Vanmontree, B. & Treamnuk, K. 2015. Comparing the Efficiency of Two Carrier Types on Drum Drying of Tamarind Juice. Thai Society of Agriculture Engineering Journal, 21(1) : 1-6.