การพัฒนากระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

นางสาวนาฏชนก ปรางปรุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

A DEVELOPMENT OF DRYING PROCESS OF TAMARIND JUICE WITH DRUM DRYER

Nartchanok Prangpru

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Agricultural and Food Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2017

การพัฒนากระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน)
กรรมการ

(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)
กรรมการ

(ผศ. ดร.ศุภกิตติ์ สายสุนทร)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นาฏชนก ปรางปรุ : การพัฒนากระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (A DEVELOPMENT OF DRYING PROCESS OF TAMARIND JUICE WITH DRUM DRYER) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 151 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งโดยใช้สารช่วยทำแห้งประกอบด้วย มอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค กัมอารบิก และพารามิเตอร์ของการทำแห้งประกอบด้วยอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคือ อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง 137.17 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.18 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.27 รอบต่อนาที โดยมีอัตราส่วนของการผสมมอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค และกัมอารบิกเท่ากับ 61.52, 28.48 และ 10.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถร่อนออกจากลูกกลิ้งโดยใช้ใบมีดขูดได้ทั้งหมดและผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี มีปริมาณร้อยละผลผลิต 80.95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้น 1.88 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดทั้งหมด 8.12 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3.14 ความแตกต่างของสี 2.97 และความหนาแน่น 0.81 กรัมต่อมิลลิลิตร ขณะที่ผลจากการทดสอบทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคมีความชอบผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย และเมื่อได้ทำการทดสอบผลิตภัณฑ์แล้วมีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ดังกล่าว 72 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร ลายมือชื่อนักศึกษา นาฏชนก ปรางปรุ

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

NARTCHANOK PRANGPRU : A DEVELOPMENT OF DRYING PROCESS OF TAMARIND JUICE WITH DRUM DRYER. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TAWARAT TREEAMNUK, Ph.D., 151 PP.

TAMARIND POWDER/DRUM DRYING/CARRIER AGENTS

This research aimed to study the optimum conditions for drying the tamarind juice using a drum dryer with the use of carrier agents include maltodextrin, octenyl succinic anhydride and gum arabic with drying parameters include outer surface temperature of drum, drum clearance and drum speed. The results of the experiment found that, the optimum conditions for drying the tamarind juice with a drum dryer is 137.17°C of the outer surface temperature, 0.18 mm of the drum clearance and 0.27 rpm of the drum speed, with a mixing ratio of maltodextrin, octenyl succinic anhydride and gum arabic of 61.52%, 28.48% and 10.00%, respectively. This drying conditions make the product can be removal from the drum by using doctor blades and good product quality with 80.95% of drying yield, 1.88% of moisture content, 8.12% of total acidity, 3.14 of pH, 2.97 of color difference and 0.81g/mL of density. In addition, the results of sensory tests with consumers found that, consumers have a liking for tamarind powder in a little like. When consumers were product test, they are interested in purchasing such products as 72%.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Agricultural Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature Nartchanok Prangpru

Advisor's Signature Tawarat Treeamnuk

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา การอบรมสั่งสอน ความรู้ คำชี้แนะ การช่วยเหลือในการทำวิจัย และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งให้คำแนะนำในการเขียนและตรวจแก้วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน อาจารย์ ดร.สามารถ บุญอาจ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิตติ์ สายสุนทร กรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการอันเป็นประโยชน์

คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำการทำวิจัย รวมถึงคุณกรรณิการ์ ประเสริฐสังข์ที่กรุณาช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเอกสารตลอดการวิจัยนี้

ขอขอบคุณบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือต่าง ๆ ตลอดการทำวิจัยนี้ และขอขอบคุณเพื่อนพี่น้องบัณฑิตทุกท่านที่ช่วยให้คำปรึกษารวมถึงให้กำลังใจมาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งซึ่งให้การอบรมเลี้ยงดูและสนับสนุนส่งเสริมการศึกษามาโดยตลอด สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับครอบครัวและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

นาฏชนก ปรางปรุ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 มะขามเปรี้ยว 3
2.1.1 องค์ประกอบของมะขามเปรี้ยว 4
2.1.2 ประโยชน์ของมะขามเปรี้ยว 6
2.2 การทำแห้ง 7
2.3 การทำแห้งน้ำมะขามเปียก 9
2.3.1 การทำแห้งน้ำมะขามเปียกแบบพ่นฝอย 9
2.3.2 การทำแห้งน้ำมะขามเปียกแบบโฟมแมท 10
2.3.3 การทำแห้งน้ำมะขามเปียกแบบลูกกลิ้ง 11
2.4 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 11

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 Single drum dryer 13
2.4.2 Double drum dryer 13
2.4.3 Twin drum dryer 13
2.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการทำแห้ง 14
2.6 ปัญหาการทำแห้งน้ำมะขามเปียก 15
2.7 สารช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำแห้ง 16
2.7.1 มอลโตเดกซ์ทริน 16
2.7.2 ซัคซินิค 17
2.7.3 กัมอารบิก 17
2.8 พื้นผิวตอบสนอง 19
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
3 วิธีดำเนินการวิจัย 22
3.1 วัสดุที่ใช้ในการแปรรูป 22
3.1.1 มะขามเปียก 22
3.1.2 มอลโตเดกซ์ทริน 22
3.1.3 ซัคซินิค 22
3.1.4 กัมอารบิก 22
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการแปรรูป 23
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ 24
3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ 24
3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผลทางสถิติ 24
3.6 วิธีการดำเนินงานวิจัย 25
3.6.1 การศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ 26
3.6.2 การศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 27
3.6.3 การศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด 28
3.6.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 28

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6.5 การศึกษาทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภค 30
3.6.6 การตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่าง ๆ 30
3.7 วิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติ 35
3.7.1 วิธีวิเคราะห์อัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ 35
3.7.2 วิธีวิเคราะห์อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 35
3.7.3 วิธีวิเคราะห์อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด 35
3.7.4 วิธีวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 37
3.7.5 วิธีวิเคราะห์ทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภค 38
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล 40
4.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ 40
4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 42
4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด 59
4.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 69
4.5 ผลการศึกษาทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภค 81
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 91
5.1 สรุปผลการทดลอง 91
5.2 ข้อเสนอแนะ 92
รายการอ้างอิง 93
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณ 100
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างแบบสอบถามและผลการวิเคราะห์ทางสถิติ 105
ภาคผนวก ค. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 150
ประวัติผู้เขียน 151

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของมะขามเปรี้ยว 5
2.2 มิติของปริมาณต่าง ๆ 13
3.1 แผนการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ 26
3.2 แผนการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 27
3.3 แผนการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด 28
3.4 แผนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 29
4.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณร้อยละผลผลิต 40
4.2 ความสามารถในการทำแห้ง 41
4.3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ 41
4.4 ความสามารถในการทำแห้งและลักษณะของผลิตภัณฑ์ 43
4.5 ค่าคุณภาพต่าง ๆ จากการศึกษาอัตราส่วนของสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 46
4.6 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของสารละลายน้ำมะขามเปียกที่ผสมซัคซินิค 57
4.7 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันที่อัตราส่วนการผสมสารช่วยทำแห้ง 50 เปอร์เซ็นต์ 57
4.8 ค่าคุณภาพต่าง ๆ จากการศึกษาอัตราส่วนของสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด 60
4.9 ผลทดสอบการถดถอยแบบกำลังสองของค่าคุณภาพต่าง ๆ 61
4.10 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองและการทำนายของสูตรการผสมที่เหมาะสม 67
4.11 ค่าคุณภาพต่าง ๆ จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้ง 69
4.12 ผลทดสอบการถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของแบบจำลองต่าง ๆ 71
4.13 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองและการทำนายของสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม 79
4.14 ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงในคุณลักษณะต่าง ๆ 82
4.15 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย 83
4.16 ความคิดเห็นของกลุ่มผู้บริโภคเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผง 84
4.17 ร้อยละของระดับความสำคัญเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ 85
4.18 การเปรียบเทียบคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านเพศ 86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.19 การเปรียบเทียบคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านอายุ....87
4.20 การเปรียบเทียบคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านระดับการศึกษา....88
4.21 การเปรียบเทียบคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านอาชีพ....89
4.22 การเปรียบเทียบคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านรายได้....90

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบของมะขามเปรี้ยว 5
2.2 ความสัมพันธ์ของการทำแห้ง 8
2.3 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งประเภทต่าง ๆ 12
2.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและอุณหภูมิอาหารตามเวลาการอบแห้งภายใต้อุณหภูมิไอน้ำคงที่ 150 องศาเซลเซียส 14
2.5 โครงสร้างทางเคมีของสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 18
3.1 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ 23
3.2 ภาพรวมของวิธีการดำเนินงานวิจัย 25
4.1 ปริมาณร้อยละผลผลิตของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามอัตราส่วนเนื้อต่อน้ำ 42
4.2 ตัวอย่างภาพลักษณะความสามารถในการทำแห้งของมะขามเปียกผง 44
4.3 ตัวอย่างภาพลักษณะของผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผง 45
4.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของมะขามเปียกก่อนทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง 48
4.5 ปริมาณร้อยละผลผลิตของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง 49
4.6 ปริมาณความชื้นของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง 50
4.7 ปริมาณน้ำอิสระของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง 50
4.8 ปริมาณกรดทั้งหมดของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง 51
4.9 พีเอชของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง 52
4.10 ความแตกต่างของสีของมะขามเปียกก่อนและหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง 53
4.11 ความหนืดของมะขามเปียกก่อนทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง 54
4.12 ความหนาแน่นของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง 55
4.13 ความสามารถในการละลายของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง 56
4.14 ภาพถ่ายโครงสร้างของมะขามเปียกผงที่อัตราส่วนสารช่วยทำแห้ง 50 เปอร์เซ็นต์ 58
4.15 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองความหนืด 62
4.16 บริเวณที่เหมาะสมสำหรับการผสมกันของสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด 63
4.17 ค่าคุณภาพต่าง ๆ ของมะขามเปียกผงที่ได้จากสูตรการผสมที่เหมาะสม 66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.18 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของมะขามเปียกผงจากสูตรการผสมที่เหมาะสม ณ อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.50 รอบต่อนาที 68

4.19 ภาพถ่ายโครงสร้างของมะขามเปียกผงจากสูตรการผสมที่เหมาะสม 68

4.20 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณร้อยละผลผลิต 72

4.21 บริเวณที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 73

4.22 ค่าคุณภาพต่าง ๆ ของมะขามเปียกผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม 77

4.23 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของมะขามเปียกผงจากสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม ณ อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 137 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.18 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.27 รอบต่อนาที 80

4.24 ภาพถ่ายโครงสร้างของมะขามเปียกผงจากสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม 81

ข.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำที่อัตราส่วน 1:4 และ 1:5 108

ข.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 108

ข.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 109

ข.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 109

ข.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำอิสระที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 110

ข.6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 110

ข.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพีเอชที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 111

ข.8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสีที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด 111

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ข.9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนืดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด....112
ข.10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด....113
ข.11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการละลายที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด....113
ข.12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....114
ข.13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....114
ข.14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....115
ข.15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำอิสระที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....115
ข.16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....116
ข.17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพีเอชที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....116
ข.18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสีที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....117
ข.19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนืดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....117
ข.20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....118

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ข.21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการละลายที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....118
ข.22 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของปริมาณของแข็งทั้งหมด....119
ข.23 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของปริมาณร้อยละผลผลิต....120
ข.24 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของปริมาณความชื้น....121
ข.25 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของปริมาณน้ำอิสระ....122
ข.26 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของปริมาณกรดทั้งหมด....123
ข.27 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของพีเอช....124
ข.28 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของความแตกต่างของสี....125
ข.29 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของความหนืด....126
ข.30 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของความหนาแน่น....127
ข.31 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของความสามารถในการละลาย....128
ข.32 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณของแข็งทั้งหมดจากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....129
ข.33 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณกรดทั้งหมดจากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....129
ข.34 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองพีเอชจากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....130
ข.35 กราฟสูตรที่เหมาะสมของการผสมสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด....130
ข.36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก....131
ข.37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก....131
ข.38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก....132
ข.39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำอิสระที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก....132

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ข.40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 133
ข.41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพีเอชที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 133
ข.42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสีที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 134
ข.43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนืดที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 134
ข.44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 135
ข.45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการละลายที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 135
ข.46 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของปริมาณของแข็งทั้งหมด 136
ข.47 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของปริมาณร้อยละผลผลิต 137
ข.48 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของปริมาณความชื้น 138
ข.49 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของปริมาณน้ำอิสระ 139
ข.50 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของปริมาณกรดทั้งหมด 140
ข.51 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของพีเอช 141
ข.52 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของความแตกต่างของสี 142
ข.53 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของความหนืด 143
ข.54 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของความหนาแน่น 144
ข.55 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของความสามารถในการละลาย 145
ข.56 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณความชื้นจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 146
ข.57 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณกรดทั้งหมดจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 146

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ข.58 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองพีเอชจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก 147
ข.59 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองความแตกต่างของสีจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก.....147
ข.60 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองความหนาแน่นจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก.....148
ข.61 กราฟสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก.....148

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

W_1	=	น้ำหนักของถ้วยอบแห้ง (g)
W_2	=	น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างก่อนทำแห้ง (g)
W_3	=	น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างหลังทำแห้ง (g)
M_a	=	น้ำหนักแห้งของตัวอย่างทั้งหมดหลังทำแห้ง (g)
M_b	=	น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเริ่มต้นก่อนทำแห้ง (g)
V	=	ปริมาณของด่างที่ใช้ในการไทเทรตจนถึงจุดยุติ (mL)
N	=	นอร์มัลของด่างที่ใช้ในการไทเทรต
Eq.wt	=	น้ำหนักสมมูลของกรดทาร์ทาริก
U	=	ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรต (mL)
L_o	=	ความสว่างของตัวอย่างเริ่มต้น
L_p	=	ความสว่างของตัวอย่างหลังทำการละลาย
a_o	=	ความเป็นสีแดงของตัวอย่างเริ่มต้น
a_p	=	ความเป็นสีแดงของตัวอย่างหลังทำการละลาย
b_o	=	ความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างเริ่มต้น
b_p	=	ความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างหลังทำการละลาย
τ	=	shear stress (Pa)
τ_0	=	yield stress
κ	=	consistency coefficient (Pa.s)
γ	=	shear rate (sec^{-1})
n	=	flow behavior index
m	=	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)
v	=	ปริมาตรของบีกเกอร์ (mL)
M_s	=	น้ำหนักแห้งของของเหลวใส (g)
M_p	=	น้ำหนักแห้งของตัวอย่างทั้งหมด (g)
T_g	=	อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (^oC)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะขามเปรี้ยวเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมีปริมาณผลผลิตมากกว่า 3,150 ตันต่อปี ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการส่งออกสูงมากกว่า 76 ล้านบาทต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) โดยมีพื้นที่ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญของประเทศ ซึ่งมีปริมาณผลผลิตเฉลี่ยรวมมากถึงร้อยละ 50 ของปริมาณผลผลิตเฉลี่ยรวมทั้งหมด (วิริยา พรมกอง, อภิญญา เอกพงษ์, และ เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด, 2551) ขณะที่ปัจจุบันมะขามเปรี้ยวได้เข้ามามีบทบาทในตลาดการส่งออกเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมได้หลายประเภท โดยมะขามเปรี้ยวจะมีฤดูกาลเก็บเกี่ยวเริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคมจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ของทุกปี ทำให้สามารถจำหน่ายผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศในรูปของมะขามเปียกได้ตลอดทั้งปี ขณะที่ขั้นตอนการผลิตมะขามเปียกโดยทั่วไปจะนิยมแปรรูปด้วยการนำสาแหรกออกจากนั้นทำการปั้นรวมกันเป็นก้อนหรือเป็นมัดและบรรจุลงในถุงพลาสติก (จิตติมณฑน์ วงศ์ษา, 2552) ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนในระหว่างกระบวนการผลิต ทั้งยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีราคาต่ำและหากทำการเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดปัญหาของการเปลี่ยนแปลงจากสี แมลง และจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อราได้ ขณะที่ ปัญจรัศมิ์ นันทพล, พูนศักดิ์ ดิษฐ์กระจัน, และ ภคินี อัครเวสสะพงศ์ (2532) รายงานว่า การเก็บรักษามะขามเปียกไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียส จะสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของมะขามเปียกได้ไม่น้อยกว่า 10 เดือน แต่วิธีการนี้อาจทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทั้งในด้านพลังงานและค่าใช้จ่าย ซึ่งหากมีการนำมะขามเปียกมาแปรรูปเป็นมะขามเปียกผงก็อาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

โดยกระบวนการทำแห้งเพื่อแปรรูปจากมะขามเปียกเป็นมะขามเปียกผงนั้นมีหลายวิธีได้แก่ การทำแห้งแบบพ่นฝอย การทำแห้งแบบโฟมแมท และการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ขณะที่การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่มีต้นทุนสูงเพราะเครื่องมือมีราคาแพงจึงอาจไม่เหมาะสมต่อการลงทุนของภาคอุตสาหกรรม (ปนัดดา ฤทธิ์นุช, 2555) ส่วนการทำแห้งแบบโฟมแมทก็เป็นเทคนิคที่ต้องใช้ความชำนาญในกระบวนการผลิตสูง เพราะหากโฟมไม่คงตัวอาหารจะเกิดการยุบตัวในระหว่างกระบวนการทำแห้งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำลดลงจึงอาจไม่เหมาะสมต่อกระบวน

การผลิตของภาคอุตสาหกรรม (เสาวรัชรี รินอุตย์, 2555) ขณะที่การทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นเทคนิคที่มีต้นทุนต่ำง่ายต่อกระบวนการผลิต มีกำลังการผลิตสูง และมีระยะเวลาในการทำแห้งสั้นจึงอาจจะเหมาะสมต่อทั้งการลงทุนและกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมมากกว่า (ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี, 2536) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเทคนิควิธีการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตมะขามเปียกผง เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นระยะเวลานานโดยไม่ต้องเก็บรักษาไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ อีกทั้งยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักเบาสะดวกต่อการขนส่งและสะดวกต่อการนำไปใช้งานทั้งในระดับอุตสาหกรรมและระดับครัวเรือน รวมไปถึงทำให้เกิดความหลากหลายของผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

1.2.2 เพื่อศึกษาทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ที่มีผลต่อการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ซึ่งมีกำลังการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ (lab scale)

1.3.2 ศึกษากระบวนการผลิตมะขามเปียกผง โดยใช้มะขามเปรี้ยวพันธุ์ฝักยักษ์และสารช่วยทำแห้งจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) ซัคซินิค (octenyl succinic anhydride) และกัมอารบิก (gum arabic)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตมะขามเปียกผง

1.4.2 สามารถเพิ่มทางเลือกในการบริโภคและมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์มะขามเปียก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของมะขามเปรี้ยว การทำแห้ง รวมถึงการทำแห้งน้ำมะขามเปียก เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการทำแห้ง ปัญหาการทำแห้งน้ำมะขามเปียก สารช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำแห้ง พื้นผิวตอบสนอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

2.1 มะขามเปรี้ยว

มะขามเปรี้ยวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica* Linn มีถิ่นกำเนิดมาจากแถบร้อนของทวีปแอฟริกา ต่อมามีการแพร่กระจายมายังทวีปอินเดียและทวีปเอเชียตามลำดับ สำหรับในประเทศไทยมีปรากฏอยู่ทั่วไปในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (วิริยะ พรมกอง และคณะ, 2551) ปัจจุบันมะขามเปรี้ยวถูกจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่สามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศเป็นอย่างมาก โดยในปี พ.ศ. 2554 มะขามเปรี้ยวมีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 76 ล้านบาท และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) มะขามเปรี้ยวเป็นไม้ยืนต้นที่มีลักษณะเป็นทรงพุ่มรูปวงกลมขนาดใหญ่ มีเปลือกสีน้ำตาลอ่อนแตกสะเก็ดเป็นร่องเล็ก มีใบเรียงตัวแบบสลับยาวประมาณ 7-15 เซนติเมตร เมื่อใบแก่จะสลัดใบทิ้งและแตกใบอ่อนขึ้นมาใหม่ประมาณเดือนมีนาคมถึงปลายเดือนเมษายน จากนั้นตาดอกจะเจริญเติบโตพัฒนาเป็นกิ่งและช่อดอกประมาณเดือนพฤษภาคม ซึ่งดอกจะเริ่มบานประมาณปลายเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน โดยดอกมะขามจะมีลักษณะเป็นช่อเล็ก ๆ อยู่ที่บริเวณปลายกิ่งมีความยาวประมาณ 5-10 เซนติเมตร กลีบรองดอกมีเหลืองอ่อนและกลีบดอกมีสีชมพูปนขาว เมื่อดอกเจริญเติบโตจะพัฒนาเป็นฝักหรือผล มีลักษณะเป็นข้อซึ่งมีความยาวประมาณ 7-20 เซนติเมตร ฝักอ่อนจะมีสีเขียวและเมื่อฝักแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลประมาณเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ขณะที่ฝักยังอ่อนอยู่เปลือกจะติดกับเนื้อและเนื้อในจะมีสีเขียวอมขาว เนื้อสัมผัสแข็ง เมล็ดมีสีเขียว เมื่อฝักแก่เปลือกจะแยกออกจากเนื้อและเนื้อในจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เนื้อสัมผัสนิ่ม และมีรสเปรี้ยว เมล็ดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มและมีความแข็งเพิ่มขึ้น (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2543)

2.1.1 องค์ประกอบของมะขามเปรี้ยว

มะขามเปรี้ยวเมื่อนำมาแกะเปลือกออกจะเรียกว่า มะขามเปียก โดยองค์ประกอบทั่วไปของมะขามเปรี้ยวเมื่อทำการแกะเปลือกออกแล้วนั้นจะสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ส่วนดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย เนื้อมะขามร้อยละ 55 เมล็ดมะขามร้อยละ 33 เยื่อหุ้มเมล็ดและสาแหรกร้อยละ 12 ซึ่งจุดเด่นของมะขามเปรี้ยวนั้นอยู่ที่ส่วนของเนื้อมะขามเพราะทำให้มะขามมีกลิ่นรสเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว เนื่องจากมีปริมาณของกรดทาร์ทาริค (tartaric acid) อยู่สูงประมาณร้อยละ 10-20 นอกจากนี้ในเนื้อของมะขามก็ยังประกอบไปด้วยกรดอินทรีย์อื่น ๆ อีกหลายชนิด แต่มีอยู่ในปริมาณเพียงเล็กน้อย (วลัยพร ศรีชุมพวง, ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี, และ รัชนีพร มาลาวัลย์, 2548) โดยเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมะขามเปรี้ยวจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักที่สำคัญประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ความชื้น น้ำตาล และกรดอินทรีย์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้มะขามเปรี้ยวยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งประกอบไปด้วย โพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม และเหล็ก ตามลำดับ ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้จะช่วยในการควบคุมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายให้สามารถทำหน้าที่ได้อย่างเป็นปกติ โดยเฉพาะโพแทสเซียมที่มีอยู่ในปริมาณมากกว่าแร่ธาตุชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อหัวใจเป็นหลัก ซึ่งจะทำงานร่วมกับโซเดียมในการควบคุมสมดุลของน้ำในร่างกายทำให้หัวใจเต้นเป็นปกติ ช่วยกำจัดของเสียในร่างกาย ช่วยให้มีสติปัญญา จิตใจร่าเริงแจ่มใสได้ด้วยการส่งออกซิเจนไปเลี้ยงที่สมอง นอกจากนี้มะขามเปรี้ยวยังอุดมไปด้วยวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินบี 3 วิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 ตามลำดับ ซึ่งวิตามินเหล่านี้จะช่วยในการสร้างเซลล์ให้สามารถเจริญเติบโตได้อย่างเป็นปกติ และยังช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันในการต้านทานโรคต่าง ๆ ของร่างกาย โดยเฉพาะวิตามินเอที่มีอยู่ในปริมาณมากกว่าวิตามินชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันด้วยการสร้างความต้านทานให้แก่ระบบทางเดินหายใจ บำรุงสายตาช่วยลดอาการตามัวในเวลากลางคืน กระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์เม็ดเลือดขาวให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระตุ้นการเจริญเติบโตของกระดูก ผม ฟัน และเหงือก อีกทั้งยังช่วยในเรื่องของผิวพรรณให้มีความอ่อนกว่าวัย ชุ่มชื้น ไม่หยาบกร้านแห้งแตก เนื่องจากเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถชะลอความแก่ได้ รวมถึงลดการอักเสบของสิว ลดจุดด่างดำ ทำให้ผิวหนังและเส้นผมในร่างกายมีสุขภาพดี (จิตติมณฑน์ วงศ์ษา, 2552) ซึ่งจากองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ที่มีอยู่ภายในเนื้อมะขามเปรี้ยวดังกล่าวมาข้างต้น จึงส่งผลให้มะขามเปรี้ยวถูกนำมาแปรรูปเพื่อทำการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ มากมาย จนทำให้เกิดเป็นความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา และอุตสาหกรรมเวชสำอางค์

(ก) เนื้อ

(ข) เมล็ด

(ค) เยื่อหุ้มเมล็ด

(ง) สาแหรก

รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของมะขามเปรี้ยว (ที่มา : จิตติมณฑน์ วงศ์ษา, 2552)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมะขามเปรี้ยว

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
ความชื้น	56.43-69.20
โปรตีน	1.40-3.30
ไขมัน	0.71-0.81
เส้นใย	1.80-3.20
เถ้า	1.16-1.72
ปริมาณกรดทั้งหมด	17.10-18.40
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	21.40-30.85

ที่มา : ธิติยา ทองเกิน, วิลัศนา โพธิ์ศรี, และ มุทิตา มีนุ่น, 2552

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.1.2 ประโยชน์ของมะขามเปรี้ยว

มะขามเปรี้ยวเป็นผลิตผลที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายประการ โดยเฉพาะด้านอาหารและยารักษาโรค นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น ลำต้นนำไปใช้ในการทำเป็นเฟอร์นิเจอร์จำพวกตู้ เตียง โต๊ะ เก้าอี้ หรืออาจนำไปใช้เป็นอุปกรณ์เครื่องครัวจำพวกเขียง ช้อน ทัพพี ส่วนเนื้อนำไปใช้ในการทำความสะอาดภาชนะจำพวกทองแดงหรือทองเหลือง ขณะที่ วิริยะ พรมกอง และคณะ (2551) สามารถจำแนกประโยชน์ของมะขามเปรี้ยวออกตามส่วนประกอบของมะขามได้ดังนี้

1) เปลือกฝัก สามารถนำมาใช้เป็นยาฝาดสมาน ซึ่งใช้เป็นยาในการรักษาโรคบิดและโรคท้องร่วง นอกจากนี้ยังสามารถนำมาผสมกับยาสูบพื้นเมืองของทางภาคเหนือด้วยการนำมาตำให้แตกละเอียดเป็นเกล็ดเล็ก ๆ ก่อนที่จะนำมาผสมกับยาสูบเพื่อช่วยทำให้ยาสูบมีรสชาติกลมกล่อมมากขึ้น

2) เนื้อมะขาม สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องปรุงอาหารได้ทั้งที่เป็นฝักอ่อน ฝักแก่ และฝักสุก โดยฝักอ่อนนิยมนำมาทำน้ำพริกหรือบริโภคสดร่วมกับพริกกะปิหวาน ส่วนฝักแก่นิยมนำมาทำมะขามดองหรือมะขามแช่อิ่ม ส่วนฝักสุกนิยมนำมาทำมะขามแก้ว ซอสปรุงรส เครื่องดื่มน้ำมะขาม และเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์

3) เปลือกเมล็ด สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำเป็นอาหารสัตว์ต่าง ๆ โดยจะใช้ส่วนของเปลือกสีน้ำตาลที่ผ่านการกะเทาะเอาเนื้อสีขาวออกแล้ว นอกจากนี้ในเปลือกเมล็ดยังมีสารชนิดหนึ่งที่สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างเม็ดสีเมลานินได้จึงมักนิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางค์จำพวกที่ทำให้ผิวขาวขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำมาผสมกับสารส้มและยางสนเพื่อใช้ในการทำเป็นสีย้อมผ้าให้เป็นสีกากี

4) เมล็ดมะขาม สามารถนำมาใช้เป็นยาถ่ายพยาธิไส้เดือน ยาแก้ท้องเสีย ยาแก้อาเจียน ยารักษาแผลเรื้อรัง หรือนำมาสกัดน้ำมันเพื่อใช้ในการทำยารักษาเส้นผม หรือนำมาคั่วเพื่อใช้ในการบริโภคเป็นของว่างและขนมขบเคี้ยว

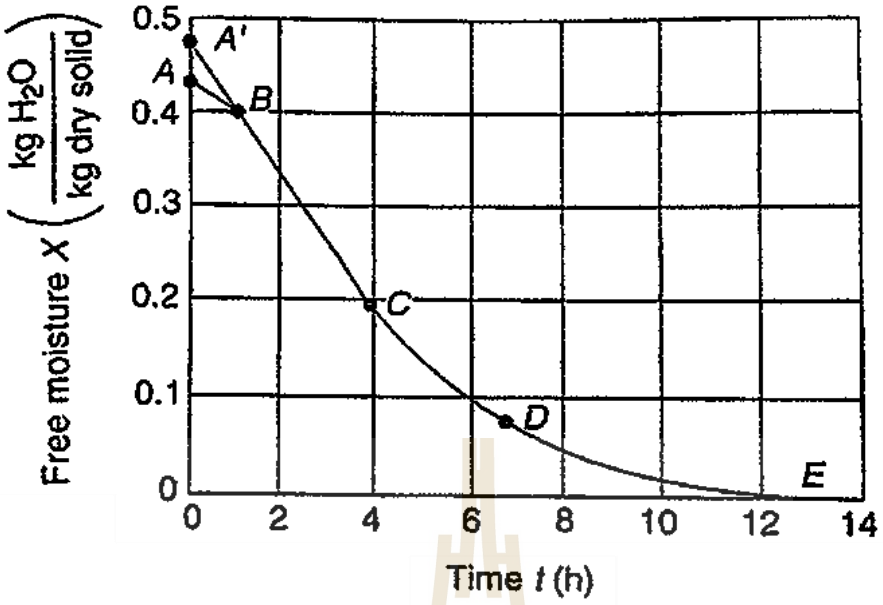
5) ใบมะขาม สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องปรุงรสอาหารขณะที่เป็นใบอ่อนโดยจะนิยมนำมาทำแกงจำพวกแกงส้ม ต้มยำ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นยารักษาโรคขณะที่เป็นใบแก่โดยจะนิยมนำมาทำยารักษาโรคพิษสุราเรื้อรัง ไข้หวัด แก้ไอ ขับเสมหะ

6) รากมะขาม สามารถนำมาใช้เป็นยารักษาโรคท้องอืดท้องเฟ้อ หรือนำมาเป็นส่วนผสมในการทำยาฆ่าเชื้อ และยารักษาโรคเรื้อน โรคหนองใน โรคเริม และโรคงูสวัด รวมถึงรักษาอาการมดลูกเคลื่อน อาการตกเลือด และฝีในมดลูก

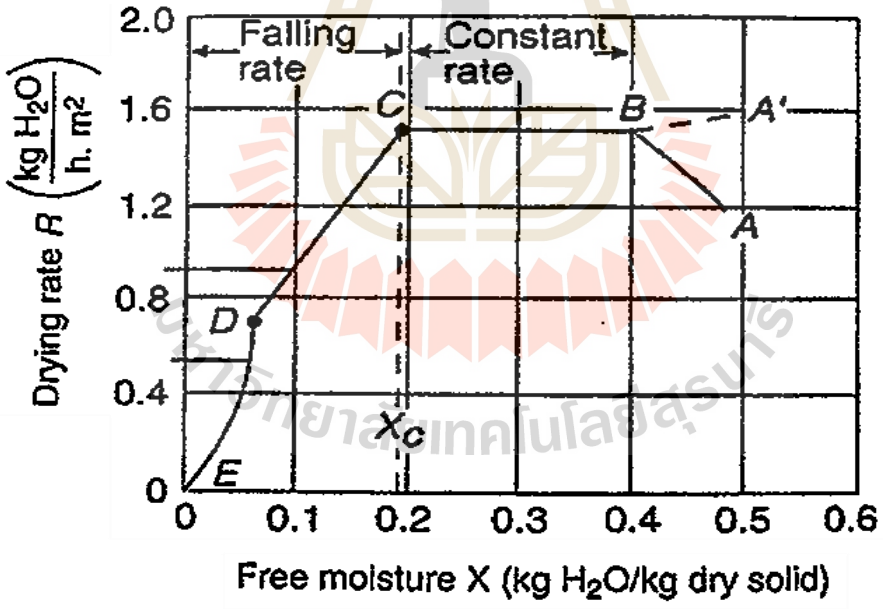
2.2 การทำแห้ง

การทำแห้ง (drying) เป็นกระบวนการแปรสภาพผลิตภัณฑ์เริ่มต้นในรูปของของเหลวให้กลายสภาพไปเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของของแข็งด้วยการระเหยเอาของเหลวส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดออกไปจากวัสดุโดยการให้ความร้อน ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะมีลักษณะแตกต่างกันไป เช่น ชิ้น แผ่น เกล็ด หรือ ผง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนทำแห้งที่เลือกใช้ โดยทั่วไปกระบวนการทำแห้งมักจะใช้อากาศเป็นตัวกลาง ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุจะเกิดขึ้นพร้อมกันกับการถ่ายเทความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศโดยรอบ ความร้อนที่ได้รับจากอากาศส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ซึ่งอัตราการระเหยของน้ำหรืออัตราการทำแห้งของวัสดุจะขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศที่ใช้เป็นตัวกลางในการทำแห้ง สำหรับกรณีของวัสดุทางการเกษตรส่วนใหญ่ซึ่งมีความชื้นค่อนข้างสูงทั้งขณะเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยว ส่งผลให้ไม่สามารถเก็บรักษาผลิตผลที่ได้เป็นระยะเวลานาน เพราะผลิตผลอาจจะเกิดการเสียหายจากเชื้อราที่เกิดจากความชื้นในตัวของวัสดุเอง การทำแห้งจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่ช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลที่ได้เป็นระยะเวลานานขึ้นเนื่องจากเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหารเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์หรือชะลอปฏิกิริยาต่าง ๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมีที่เป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย

อัตราการทำแห้ง (drying rate) เป็นตัวแปรที่ใช้บอกถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งด้วยการแสดงค่าความชื้นที่สามารถระเหยออกไปได้ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา ซึ่งหน่วยอาจเป็นปอนด์น้ำต่อตารางฟุตชั่วโมงหรือกิโลกรัมน้ำต่อตารางเมตรชั่วโมงดังรูปที่ 2.2 โดยปกติในการทำแห้งวัสดุใด ๆ จะมีอัตราการทำแห้งเกิดขึ้น 3 ช่วง ดังนี้คือ ช่วงแรกของการทำแห้ง (preheating drying) เป็นการทำแห้งในช่วงที่ให้ความร้อนแก่วัสดุเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุและน้ำในวัสดุให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิกะเปาะเปียกของอากาศร้อน ซึ่งอัตราการให้ความร้อนที่สูงนี้จึงทำให้การทำแห้งในช่วงนี้มีระยะเวลาสั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงการทำแห้งต่อไปซึ่งจะมีระยะเวลานานกว่า จึงอาจไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการทำแห้งในช่วงนี้ก็ได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ช่วง A-B ส่วนช่วงที่สองของการทำแห้ง (constant rate drying) เป็นการทำแห้งในช่วงที่วัสดุมีความชื้นเหลือเฟือ ความชื้นจึงเดินทางมาสู่บริเวณผิวหน้าได้ทันเวลากับความร้อนที่จ่ายจากลมร้อนมาที่ผิว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นความชื้นที่รอบผิววัสดุหรือความชื้นอิสระดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ช่วง B-C และช่วงสุดท้ายของการทำแห้ง (falling rate drying) เป็นการทำแห้งในช่วงที่ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุแห้งลง เมื่อน้ำระเหยมาที่ผิวไม่ทันอัตราการระเหยต่อหน่วยพื้นที่และเวลาก็จะลด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นความชื้นที่เนื้อในวัสดุหรือความชื้นเกาะติดดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ช่วง C-D



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งกับความชื้น

รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของการทำแห้ง (ที่มา : Heldman and Lund, 2007)

2.3 การทำแห้งน้ำมะขามเปียก

การทำแห้งน้ำมะขามเปียกเป็นการทำแห้งโดยใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดปริมาณน้ำส่วนใหญ่ที่มีอยู่ภายในน้ำมะขามเปียกให้เกิดการระเหยออกไปด้วยการใช้หลักการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ซึ่งความร้อนที่ใช้จะอาศัยแหล่งความร้อนจากภายนอก จากนั้นจะทำการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่น้ำมะขามเปียก และความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปจะทำให้ปริมาณน้ำส่วนใหญ่ของน้ำมะขามเปียกทั้งหมดเกิดการระเหยออกมา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะมีลักษณะแห้งตามต้องการ ขณะที่การทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำแห้งน้ำมะขามเปียกแบบพ่นฝอย การทำแห้งน้ำมะขามเปียกแบบโฟมแมท และการทำแห้งน้ำมะขามเปียกแบบลูกกลิ้ง ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1 การทำแห้งน้ำมะขามเปียกแบบพ่นฝอย

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยจัดเป็นเทคนิคการทำแห้งที่มีต้นทุนค่อนข้างสูง แต่มีขั้นตอนการผลิตง่ายไม่มีความซับซ้อนและมีกำลังการผลิตต่ำ โดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะใช้หลักการลดขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์อาหารเหลวให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่นำมาทำแห้งด้วยวิธีนี้ควรมีลักษณะเหลวและไม่ข้นหนืดมากเพื่อให้สามารถพ่นออกจากหัวฉีดหรืออะตอมไมเซอร์ได้ง่าย โดยขั้นตอนการทำแห้งจะเริ่มจากอากาศจะถูกดูดผ่านเครื่องกรองและเครื่องให้ความร้อนจากนั้นอากาศที่ได้จะเข้าสู่บริเวณห้องอบแห้ง ส่วนผลิตภัณฑ์อาหารเหลวจะถูกดูดด้วยปั๊มผ่านอุปกรณ์หัวฉีดหรืออะตอมไมเซอร์ที่ทำให้เกิดเป็นละอองฝอยขนาดเล็ก เมื่อละอองของอาหารสัมผัสกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านเข้ามาภายในห้องอบแห้งก็จะทำให้ความชื้นเกิดการระเหยออกจากละอองของเหลวนี้อย่างรวดเร็ว จากนั้นผลิตภัณฑ์จะตกลงมาสู่ด้านล่างของห้องอบแห้ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผง และเมื่อผงดังกล่าวแห้งจะลอยออกมากับอากาศและถูกแยกไปยังภาชนะจัดเก็บด้วยระบบไซโคลน (วัชรี เทพโยธิน, 2554) ขณะที่กระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกแบบพ่นฝอยเริ่มจากการนำมะขามเปียกมาผสมน้ำและทำการแยกกากออก พร้อมทั้งนำน้ำมะขามเปียกที่ได้มาคนผสมกับสารช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำน้ำมะขามเปียกที่ได้ไปผ่านกระบวนการอบแห้ง เมื่อน้ำมะขามเปียกผ่านกระบวนการอบแห้งจนเสร็จสมบูรณ์แล้ว ผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงที่ได้จะมีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นสูง และเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาทำการละลายจะพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีฟองเกิดขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะพึงประสงค์ที่ผู้บริโภคต้องการ (เปาว์ คงสุนทรกิจกุล, 2548)

2.3.2 การทำแห้งน้ำมะขามเปียกแบบโฟมแมท

กระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมทจัดเป็นเทคนิคการทำแห้งที่มีต้นทุนค่อนข้างต่ำ แต่จะมีขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยากซึ่งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในการผลิตและมีกำลังการผลิตต่ำ โดยกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมทจะใช้หลักการทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเกิดการแตกตัวเป็นโฟม ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่นำมาทำแห้งด้วยวิธีนี้ควรมีลักษณะเหลวและไม่ข้นหนืดมาก เพื่อให้สามารถตีเป็นโฟมได้ง่าย โดยขั้นตอนการทำแห้งจะเริ่มจากการนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาเติมสารให้ความคงตัวของโฟมและทำให้เกิดเป็นโฟม ซึ่งการทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเกิดเป็นโฟมนั้นทำได้โดยการตีหรือกวนผลิตภัณฑ์ด้วยความเร็วสูงเพื่อเติมฟองอากาศลงในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเกิดการแตกตัวและมีฟองอากาศแทรกตัวอยู่ภายในด้วยการแขวนลอยอย่างสมบูรณ์ในโฟมแก๊สของของเหลว จากนั้นทำการแผ่แผ่นโฟมที่ได้ลงบนถาดที่มีรูและนำมาทำแห้งโดยใช้ความร้อนจากลมร้อนในการระเหยความชื้นที่แทรกอยู่ภายในโฟมออกไป ซึ่งโฟมจะถูกทำให้แห้งอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นรูพรุนจึงทำให้ความร้อนแทรกเข้าไปในรูพรุนของโฟมได้ดี ขณะที่ลักษณะของโฟมที่ดีในการอบแห้งแบบโฟมแมทนี้คือโฟมจะต้องมีความคงตัวดีในระหว่างการอบแห้ง โดยหากโฟมไม่มีความคงตัวจะทำให้ผนังเซลล์หรือฟิล์มที่ห่อหุ้มโฟมแตกออกในขณะทำการอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการยุบตัว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพในการระเหยน้ำลดลง และเมื่อนำโฟมมาผ่านกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่น จากนั้นจึงนำมาทำการบดก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงตามที่ต้องการ (ธัญนิชา ไร่นากิจ, 2552) ขณะที่กระบวนการทำแห้งมะขามเปียกผงแบบโฟมแมทเริ่มจากการนำมะขามเปียกมาผสมน้ำและทำการแยกกากออก พร้อมทั้งนำน้ำมะขามเปียกที่ได้มาคนผสมกับสารช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงทำการตีให้เกิดเป็นโฟมแล้วจึงนำไปทำการอบแห้ง แต่เนื่องจากน้ำมะขามเปียกไม่สามารถตีให้เกิดเป็นโฟมได้จึงต้องมีการเติมสารช่วยก่อให้เกิดโฟม จากนั้นจึงนำน้ำมะขามเปียกที่ได้ไปผ่านกระบวนการอบแห้ง เมื่อน้ำมะขามเปียกผ่านกระบวนการอบแห้งจนเสร็จสมบูรณ์แล้ว ผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงที่ได้จะมีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นต่ำ และเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาทำการละลายจะพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีฟองเกิดขึ้น เนื่องจากก่อนการทำแห้งผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นโฟมที่มีช่องว่างของแก๊สแทรกตัวอยู่ภายในโครงสร้างมากมาย ดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งและนำมาทำการละลายจึงส่งผลให้เกิดฟองขึ้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นลักษณะไม่พึงประสงค์ที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ (วิริยะ พรมกอง และคณะ, 2551)

2.3.3 การทำแห้งน้ำมะขามเปียกแบบลูกกลิ้ง

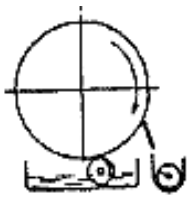
กระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งจัดเป็นเทคนิคการทำแห้งที่มีต้นทุนค่อนข้างต่ำ และมีขั้นตอนการผลิตง่ายไม่มีความซับซ้อน อีกทั้งยังมีกำลังการผลิตสูง โดยกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะใช้หลักการทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเกาะติดที่บริเวณผิวหน้าของลูกกลิ้งที่มีความร้อนสูง ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่นำมาทำแห้งด้วยวิธีนี้ควรมีลักษณะข้นหนืดและไม่เหลวมาก เพื่อให้สามารถเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งได้ง่าย โดยขั้นตอนการทำแห้งจะเริ่มจากการนำผลิตภัณฑ์อาหารเหลวมาพ่น จุ่ม รีด หรือ ปล่อยลงบนช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งขณะที่ลูกกลิ้งกำลังหมุน โดยภายในลูกกลิ้งจะมีแหล่งความร้อนไหลผ่านเข้าไปเพื่อเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารเหลว และเมื่อผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสัมผัสกับความร้อนบนผิวหน้าของลูกกลิ้งก็จะทำให้ความชื้นเกิดการระเหยออกไปได้อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งผลิตภัณฑ์ก็จะถูกปาดออกจากลูกกลิ้งด้วยใบมีด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเกล็ด จากนั้นจึงนำมาทำการบดก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงตามที่ต้องการ (สุนีย์ จึงธีรพานิช, 2551) ขณะที่กระบวนการทำมะขามเปียกผงแบบลูกกลิ้งเริ่มจากการนำมะขามเปียกมาผสมน้ำและทำการแยกกากออก พร้อมทั้งนำน้ำมะขามเปียกที่ได้มาคนผสมกับสารช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำน้ำมะขามเปียกที่ได้ไปผ่านกระบวนการอบแห้ง เมื่อน้ำมะขามเปียกผ่านกระบวนการอบแห้งจนเสร็จสมบูรณ์แล้ว ผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงที่ได้จะมีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นสูง และเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาทำการละลายจะพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีฟองเกิดขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะพึงประสงค์ที่ผู้บริโภคต้องการ (กรรณิการ์ จงเพิ่มวัฒนะผล, 2549)

2.4 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่นิยมใช้กันทั่วไปจะประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกจำนวน 1-2 ลูก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลายขนาด ซึ่งลูกกลิ้งนี้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงที่ทำด้วยโลหะจำพวกเหล็กกล้าไร้สนิม สามารถนำความร้อนได้ดี และไม่เกิดปฏิกิริยากับอาหาร อีกทั้งภายในทรงกระบอกกลวงก็จะมีแหล่งบรรจุความร้อนเพื่อใช้เป็นตัวกลางในการให้ความร้อนแก่อาหารได้แก่ ไอน้ำเดือด น้ำเดือด น้ำมัน ไฟฟ้า เป็นต้น ขณะที่ลูกกลิ้งจะทำการติดตั้งอยู่บนฐานที่แข็งแรงและสามารถทำให้ลูกกลิ้งหมุนได้รอบแกนตามแนวนอน นอกจากนี้ยังมีใบมีดที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมจะถูกยึดติดไว้กับฐานเพื่อใช้สำหรับขูดผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแล้วออกจากเครื่อง โดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งนี้สามารถจำแนกออกตามจำนวนและทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งได้ เป็น 3 ประเภท ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

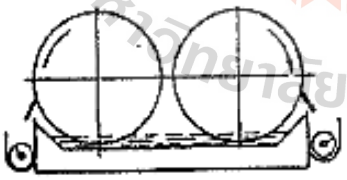
(ก) single drum with dip feed

(ข) single drum with splash feed

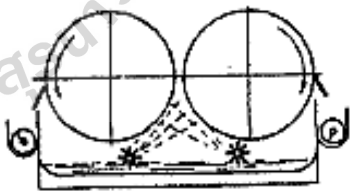


(ค) single drum with transfer roll

(ง) double drum with nip feed



(จ) twin drum with dip feed



(ฉ) twin drum with splash feed

รูปที่ 2.3 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งประเภทต่าง ๆ (ที่มา : นฤดี พงศ์กิจวิทูร, 2542)

2.4.1 Single drum dryer

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งประเภทนี้จะประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกจำนวนหนึ่งลูก โดยสารละลายอาหารที่นำมาทำการอบแห้งจะถูกป้อนจากด้านล่างด้วยการป้อน 3 แบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องได้แก่ การป้อนแบบจุ่ม (dip feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการจุ่มลูกกลิ้งลงในรางที่บรรจุสารละลายอาหารเอาไว้ หรืออาจเป็นการป้อนแบบพ่น (splash feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการพ่นสารละลายอาหารลงไปบนผิวของลูกกลิ้งโดยตรง หรืออาจเป็นการป้อนแบบบรีด (transfer roll) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการใช้ลูกรีดทำการรีดสารละลายอาหารลงไปบนผิวของลูกกลิ้ง และเมื่อลูกกลิ้งหมุนสารละลายอาหารก็จะติดไปกับผิวของลูกกลิ้งในลักษณะที่เป็นแผ่นฟิล์มบาง จากนั้นลูกกลิ้งจะทำการหมุนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสารละลายอาหารแห้งลง จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะถูกปาดออกด้วยใบมีดที่ติดไว้บริเวณด้านข้างของลูกกลิ้ง

2.4.2 Double drum dryer

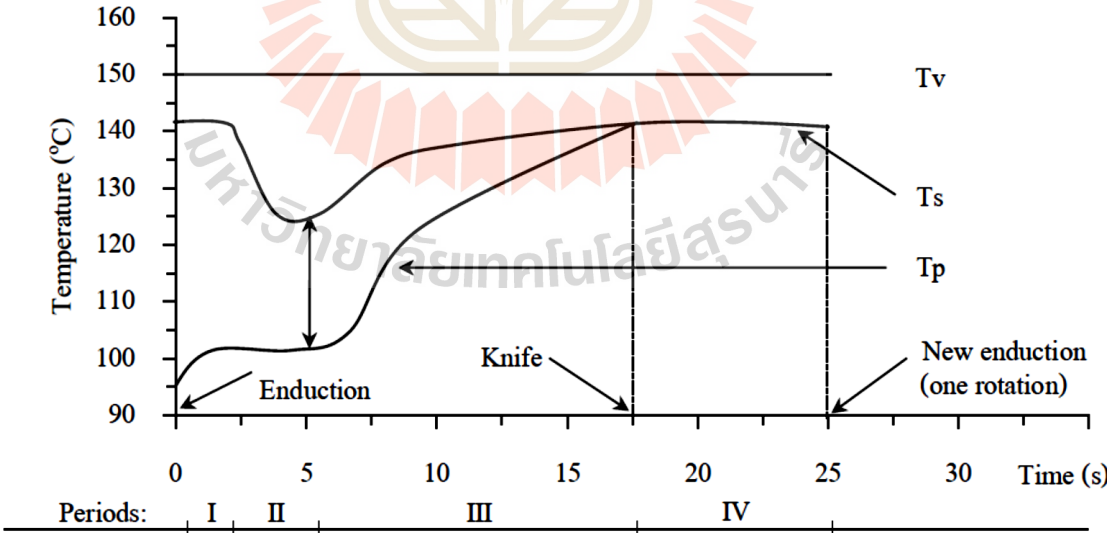
เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งประเภทนี้จะประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกจำนวนสองลูกและลูกกลิ้งทั้งสองลูกนี้จะหมุนเข้าหากัน โดยสารละลายอาหารที่นำมาทำการอบแห้งจะถูกป้อนลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งด้วยการป้อนแบบปล่อย (nip feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการปล่อยสารละลายอาหารลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง จากนั้นลูกกลิ้งทั้งสองจะหมุนเข้าหากันเพื่อรีดสารละลายอาหารให้มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ขณะที่ลูกกลิ้งหมุนสารละลายอาหารก็จะติดไปกับผิวของลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งจะทำการหมุนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสารละลายอาหารแห้งลง จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะถูกปาดออกด้วยใบมีดที่ติดไว้บริเวณด้านข้างของลูกกลิ้งทั้งสองข้าง

2.4.3 Twin drum dryer

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งประเภทนี้จะประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกจำนวนสองลูกและลูกกลิ้งทั้งสองลูกนี้จะหมุนออกจากกัน โดยสารละลายอาหารที่นำมาทำการอบแห้งจะถูกป้อนลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งด้วยการป้อนแบบจุ่ม (dip feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการจุ่มลูกกลิ้งลงในรางที่บรรจุสารละลายอาหารเอาไว้ หรืออาจเป็นการป้อนแบบพ่น (splash feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการพ่นสารละลายอาหารลงไปบนผิวของลูกกลิ้งโดยตรง จากนั้นลูกกลิ้งทั้งสองจะหมุนออกจากกันเพื่อรีดสารละลายอาหารให้มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ขณะที่ลูกกลิ้งหมุนสารละลายอาหารก็จะติดไปกับผิวของลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งจะทำการหมุนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสารละลายอาหารแห้งลง จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะถูกปาดออกด้วยใบมีดที่ติดไว้บริเวณด้านข้างของลูกกลิ้งทั้งสองข้าง

2.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการทำแห้ง

การระเหยความชื้นด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะอาศัยหลักการนำความร้อนเพื่อทำให้อาหารเหลวเปลี่ยนสภาพเป็นอาหารแห้ง โดยความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยังผิวหรือผนังของลูกกลิ้งที่มีฟิล์มของอาหารเหลวเคลือบอยู่ด้านบนซึ่งจะทำให้ความร้อนสามารถสัมผัสกับอาหารได้โดยตรง ขณะที่ขั้นตอนของการระเหยความชื้นนั้นจะเกิดขึ้น 4 ระยะ โดยระยะแรก (I) เป็นช่วงที่อาหารถูกป้อนเข้าสู่ลูกกลิ้ง ซึ่งอุณหภูมิของอาหาร (Tp) จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องจนถึง 100 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็ว และอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (Ts) จะคงที่หรือสูงขึ้นกว่า 140 องศาเซลเซียสเล็กน้อย ช่วงนี้อาหารจะยังคงมีสถานะเป็นของเหลว ระยะที่สอง (II) เป็นช่วงที่อาหารมีการระเหยของน้ำอิสระ (free water) ออกด้วยการเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิของอาหาร (Tp) จะคงที่หรือสูงขึ้นกว่า 100 องศาเซลเซียสเล็กน้อย ขณะที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (Ts) จะลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วงนี้อาหารจะ เริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ระยะที่สาม (III) เป็นช่วงที่อาหารมีการระเหยของน้ำเกาะติด (bound water) ออกด้วยการเดือดที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิของอาหาร (Tp) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (Ts) ที่ 140 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่งก่อนถูกใบมีดขูด ระยะสุดท้าย (IV) เป็นช่วงที่อาหารถูกใบมีดขูดออกไปแล้วจนกระทั่งอาหารถูกป้อนเข้าสู่ลูกกลิ้งใหม่ช่วงนี้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังอาหารแต่จะมีการสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสี



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและอุณหภูมิอาหารตามเวลาการอบแห้งภายใต้อุณหภูมิไอน้ำคงที่ 150 องศาเซลเซียส (ที่มา : Bonaui et al., 1996)

2.6 ปัญหาการทำแห้งน้ำมะขามเปียก

น้ำผลไม้ส่วนใหญ่จัดเป็นวัตถุดิบที่ประกอบด้วยน้ำตาลและกรดสูง ซึ่งถูกจัดอยู่ในกลุ่มของวัตถุดิบที่มีความเหนียวและสามารถทำให้เป็นผงแห้งได้ยาก เนื่องจากน้ำตาลที่อยู่ในวัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ได้แก่ กลูโคส ซูโครส และฟรักโทส เป็นต้น โดยปัญหาของกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ส่วนใหญ่จะมีปัจจัยควบคุมพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะหรือที่เรียกว่า อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (glass transition temperature, Tg) หมายถึง อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยจะทำการเปลี่ยนสถานะของผลิตภัณฑ์อาหารจากสถานะหนึ่งไปเป็นอีกสถานะหนึ่ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะในระหว่างกระบวนการทำแห้งของน้ำผลไม้นั้นจะเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (liquid state) ไปเป็นลักษณะยางหนืด (rubbery state) แล้วจึงเปลี่ยนเป็นของแห้งอสัณฐาน (glassy state) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อทั้งสมบัติทางเคมีและกายภาพต่าง ๆ ของวัสดุ โดยหากน้ำผลไม้มีค่า Tg ต่ำจะทำให้สารละลายเหนียวในระหว่างกระบวนการทำแห้งส่งผลให้สามารถทำให้เป็นผงแห้งได้ยาก (ดวงพร คุณาพรสุจริต, 2554) นอกจากนี้ปริมาณของแข็งทั้งหมดก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดปัญหาของกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ได้เช่นกัน ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid, TS) หมายถึง กากหรือของแข็งแห้งที่เหลือเป็นตะกอนภายหลังจากผ่านการทำระเหยน้ำออกไปหมดแล้ว ซึ่งของแข็งที่เหลืออยู่นั้นจะรวมทั้งสารอินทรีย์หรือสารที่ละลายน้ำได้และสารอนินทรีย์หรือสารที่ละลายน้ำไม่ได้ โดยหากน้ำผลไม้มีค่า TS ต่ำจะทำให้สารละลายเหลวส่งผลให้การทำแห้งเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ (ปัทมา พงษ์เกษ, 2552) ขณะที่น้ำมะขามเปียกถูกจัดอยู่ในกลุ่มของวัตถุดิบที่มีความเหนียวซึ่งสามารถทำให้เป็นผงแห้งได้ยากและมีความเหลวซึ่งสามารถทำให้การทำแห้งเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์เช่นเดียวกันกับน้ำผลไม้ชนิดอื่น เนื่องจากองค์ประกอบของมะขามเปียกจะประกอบด้วยกรดและน้ำตาลเป็นหลัก ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาการแปรรูปมะขามเปียกผง ดังนั้นเพื่อลดหรือป้องกันการเกิดความเหนียวของน้ำมะขามเปียกในระหว่างกระบวนการทำแห้งและจึงต้องทำการเติมสารช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำแห้งลงในสารละลายน้ำมะขามเปียกก่อนนำมาทำแห้งเพื่อช่วยเจือจางปริมาณน้ำตาลของน้ำมะขามเปียกให้มีความเข้มข้นลดลงและเพิ่มปริมาณของแข็งแก่สารละลายน้ำมะขามเปียกให้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการอบแห้งสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ในอุณหภูมิที่เหมาะสม และทำให้ผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสละเอียดเรียบเนียน มีปริมาณน้ำอิสระต่ำ มีปริมาณความชื้นต่ำ มีความหนาแน่นสูง และมีกลิ่นรสที่ดีขึ้น (Bhandari, Senoussi, Dumoulin, and Lebert, 1993)

2.7 สารช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำแห้ง

สารช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำแห้งหรือสารช่วยทำแห้ง (carrier) หมายถึง สารที่เป็นวัตถุเจือปนในอาหารซึ่งจะทำหน้าที่ในการขนส่งและกระจายสารบางอย่างในอาหาร โดยเฉพาะสารที่สามารถถูกทำลายด้วยความร้อนได้ง่ายและสารที่สามารถระเหยได้ง่าย เช่น สารจำพวกที่เป็นองค์ประกอบของ สี กลิ่น รส ซึ่งสารช่วยทำแห้งจะทำหน้าที่ในการดักจับและกักเก็บสารเหล่านี้ไว้ ทำให้สารเหล่านี้ถูกทำลายด้วยความร้อนหรือระเหยได้น้อยลง และเมื่อนำอาหารผงที่ได้ไปคืนตัวด้วยการผสมกับน้ำก็จะทำให้ สี กลิ่น รส ของอาหารเหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมา ส่งผลให้ สี กลิ่น รส ของอาหารผงหลังการคืนตัวมีลักษณะคล้ายกับวัตถุดิบสดก่อนการทำแห้ง นอกจากนี้สารช่วยทำแห้งยังทำหน้าที่ในการเพิ่มปริมาณของแข็งให้แก่อาหารเพื่อช่วยลดเวลาในการทำแห้งลงอีกด้วย เช่น กรณีของน้ำผลไม้ซึ่งมีปริมาณของแข็งต่ำและของแข็งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล ซึ่งหากนำมาทำแห้งแล้วน้ำตาลเหล่านี้จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นและจะดูดความชื้นกลับได้อย่างรวดเร็วจึงสามารถทำให้เป็นผงได้ยาก ดังนั้นหากมีการเติมสารช่วยทำแห้งลงในผลิตภัณฑ์ก็จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถทำแห้งได้อย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เนื่องจากสารช่วยทำแห้งสามารถช่วยรักษาองค์ประกอบของสารที่ให้ สี กลิ่น รส ในอาหาร ช่วยลดการดูดความชื้นกลับของผลิตภัณฑ์แห้ง รวมถึงช่วยลดการจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา (ภัทรี ทิพยรักษ์, 2549) ซึ่งสารช่วยทำแห้งที่นิยมใช้กันทั่วไปนั้นได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค และกัมอารบิก โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

2.7.1 มอลโตเดกซ์ทริน

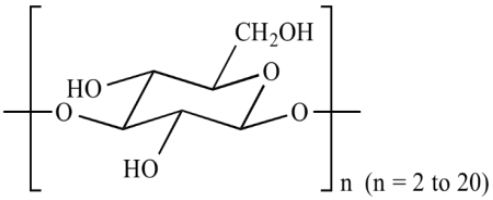
มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก) มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-(1,4) มอลโตเดกซ์ทรินมีลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี ที่อุณหภูมิห้อง มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4-6 นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะในกระบวนการอบแห้งเพราะมีราคาถูก มอลโตเดกซ์ทรินผลิตได้จากการย่อยแป้งข้าวโพดด้วยกรด โดยคุณสมบัติเด่นของสารช่วยทำแห้งชนิดนี้คือ มีความสามารถในการละลายน้ำสูงและมีความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง ซึ่งจากสมบัติดังกล่าวจึงทำให้มีการนำมอลโตเดกซ์ทรินมาใช้ในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารกันอย่างแพร่หลาย แต่มอลโตเดกซ์ทรินมี ความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นรสไม่ค่อยดีนัก เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินไม่มีคุณสมบัติในการเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) จึงทำให้ในระหว่างกระบวนการทำแห้งสารให้กลิ่นรสอาจถูกทำลายด้วยความร้อนได้ง่าย ดังนั้นการใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินจึงมักใช้ร่วมกับสารช่วยทำแห้งชนิดอื่นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี (Reineccius, 1991)

2.7.2 ซัคซินิค

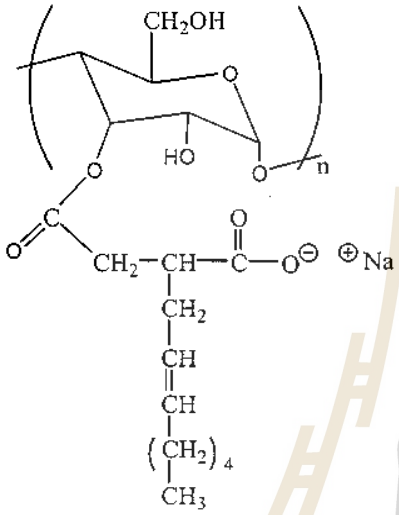
ซัคซินิค (octenyl succinic anhydride) มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) ซัคซินิคเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำสตาร์ชของพืชต่าง ๆ เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง ข้าวโพด หรือข้าวสาลีมาทำการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติให้แตกต่างจากสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติ แป้งดัดแปรมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4-8 นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและสิ่งทอ แป้งดัดแปรผลิตได้จากการนำแป้งดิบมาผ่านกรรมวิธีในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือสมบัติทางเคมีหรือสมบัติทางกายภาพให้เปลี่ยนไปจากเดิมด้วยความร้อนหรือเอนไซม์หรือสารเคมี เพื่อทำให้แป้งมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปตามที่ต้องการ โดยคุณสมบัติเด่นของสารช่วยทำแห้งชนิดนี้คือ มีสมบัติในการเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) และยังมีสมบัติในการเป็นสารห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส (encapsulate) ซึ่งจากสมบัติดังกล่าวจึงทำให้มีการนำซัคซินิคมาใช้เป็นสารช่วยทำแห้งในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัส ความคงตัว และกลิ่นรสที่ดีขึ้น (Nilsson and Bergenstahl, 2007)

2.7.3 กัมอารบิก

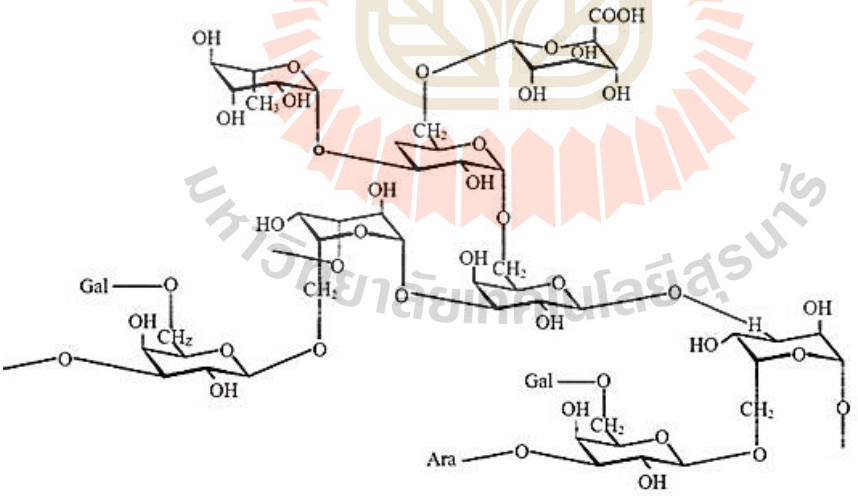
กัมอารบิก (arabic gum) มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ค) กัมอารบิกเป็นผลิตภัณฑ์กัมที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่อยู่ในกลุ่มของสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ประกอบด้วยน้ำตาล 4 ชนิด คือ กาแล็กโทส (galactose) แอราบิโนส (arabinose) แรมโนส (rhamnose) และกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยกรดอะมิโนอีก 2 ชนิด คือ ไฮดรอกซี โพรลีน (hydroxyproline) และซีรีน (serine) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-(1,4) และ β-(1,6) กัมอารบิกมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ละลายน้ำได้ดีทั้งที่อุณหภูมิห้อง น้ำร้อน และน้ำเย็น มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8-12 นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม กัมอารบิกผลิตได้จากการนำก้อนน้ำยางของต้นไม้ในสกุลอคาเซีย (acacia) จำพวก acacia senegal หรือ acacia seyal มาผ่านกรรมวิธีในกระบวนการอบแห้ง จากนั้นจึงนำบดให้เป็นผงละเอียด โดยคุณสมบัติเด่นของสารช่วยทำแห้งชนิดนี้คือ มีความสามารถในการละลายน้ำสูง มีสมบัติในการเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) และยังมีสมบัติในการเป็นสารห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส (encapsulate) ซึ่งจากสมบัติดังกล่าวจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะของเนื้อสัมผัส ความคงตัว และกลิ่นรสที่ดีขึ้น แต่เนื่องจากกัมอารบิกมีราคาแพงจึงไม่เป็นที่นิยมใช้ (Mcnamee, White, Riordan, and Sullivan, 2001)



(ก) มอลโตเดกซ์ทริน



(ข) ซัคซินิค



(ค) กัมอารบิก

รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด (ที่มา : Carareto, Monteiro-Filho, Pessoa-Filho, and Meirelles, 2010; Shogren, Viswanathan, Felker, and Gross, 2000; Dauqan and Abdullah, 2013)

2.8 พื้นผิวตอบสนอง

พื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) เป็นการนำเทคนิคทางคณิตศาสตร์และเทคนิคทางสถิติมาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลด้วยการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต้องการจะศึกษากับค่าตอบสนองที่สนใจ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม (optimal condition) ของระบบหรือกระบวนการผลิต และจะใช้หลักการเหล่านี้มาแสดงผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ multiple regression analysis และหากตัวแปรมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตัวแปรนั้นจะปรากฏในสมการ ขณะที่สมการนั้นอาจเป็นสมการกำลังหนึ่ง (first order model) ที่มีลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงตามแบบจำลองสมการพหุนามกำลังหนึ่ง (2.1) หรือสมการนั้นอาจเป็นสมการกำลังสอง (second order model) ที่มีลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งตามแบบจำลองสมการพหุนามกำลังสอง (2.2)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i \tag{2.1}$$

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j \tag{2.2}$$

โดยที่ β_0 เป็นจุดตัด (intercept)

β_i เป็นผลเชิงเส้นตรง (linear effect)

β_{ii} เป็นผลเชิงเส้นโค้ง (quadratic effect)

β_{ij} เป็นผลเชิงซ้อน (interaction effect)

จากสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำมาสร้างเป็นภาพกราฟ 3 มิติ เรียกว่า response surface plot ที่แสดงระดับของตัวแปรในแนวระนาบและแสดงค่าตอบสนองในแนวแกนหรือสร้างเป็นภาพกราฟ 2 มิติ เรียกว่า response contour plot ที่แสดงค่าตอบสนองเป็นรูปเส้นกราฟหลายเส้นซึ่งกราฟที่ได้มีประโยชน์ในการอธิบายผลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาต่อค่าตอบสนอง รวมทั้งอธิบายผลความสัมพันธ์ร่วมระหว่างตัวแปรที่ศึกษาต่อค่าตอบสนอง (นันทพร อัคนิจ และสุพัฒน์ชลี สิริโชควรกิตติ์, 2555) นอกจากนี้เทคนิคดังกล่าวยังมีประโยชน์ในการช่วยลดจำนวนชุดของการทดลองที่ได้ให้มีจำนวนลดลงเพราะการทดลองนี้สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบหรือกระบวนการผลิตด้วยข้อมูลจากการทดลองเพียงไม่กี่ครั้ง แตกต่างจากการทดลองแบบเดิมที่ต้องอาศัยข้อมูลจากการทดลองจำนวนมากเพื่ออธิบายพฤติกรรมของระบบหรือกระบวนการผลิต (พงษ์ศักดิ์ ขาวอินทร์, 2555)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เปาว์ คงสุนทรกิจกุล (2548) ศึกษาผลของสารช่วยทำแห้งและสภาวะการทำแห้งมะขามผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีตัวแปรอิสระที่ศึกษา 3 ตัว คือ สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินและแป้งดัดแปร (0.33, 0.50, 0.67 กิโลกรัมของสารช่วยทำแห้งต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมด) อุณหภูมิ (130, 150, 170 องศาเซลเซียส) พบว่า ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิและปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามกับองศาการเกาะตัวกันเป็นก้อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมเกิดจากการใช้อุณหภูมิเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส และปริมาณของสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดเท่ากับ 0.50 กิโลกรัมของสารช่วยทำแห้งต่อกิโลกรัมของแห้งทั้งหมด อีกทั้งยังพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินจะมีความคงตัวในการคืนรูปน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งดัดแปร

กรรณิการ์ จงเพิ่มวัฒนะผล (2549) ศึกษาผลของอุณหภูมิและสารช่วยทำแห้งต่อคุณภาพของมะขามผงด้วยการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยมีตัวแปรอิสระที่ศึกษา 2 ตัว คือ อุณหภูมิ (120, 130, 140 องศาเซลเซียส) และสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทริน (0.30, 0.45, 0.60 กิโลกรัมของสารช่วยทำแห้งต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมด) พบว่า สมบัติการดูดความชื้นกลับของผงและองศาการเกาะตัวกันเป็นก้อนจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิและปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนพีเอชจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น ขณะที่ความสามารถในการละลายจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงและปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น ตรงข้ามกับความแตกต่างของสีที่จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงและปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมเกิดจากการใช้อุณหภูมิเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส และปริมาณของสารช่วยทำแห้งเท่ากับ 0.45 กิโลกรัมของสารช่วยทำแห้งต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมด

Jittanit, Chantara-In, Deying, and Ratanavong (2011) ศึกษากระบวนการผลิตมะขามผงด้วยการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยมีตัวแปรอิสระที่ศึกษา 2 ตัว คือ อุณหภูมิ (120, 140 องศาเซลเซียส) และอัตราส่วนของน้ำมะขามต่อสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิก (1:0.4, 1:0.8, 1:1.4) พบว่า ทั้งอุณหภูมิ ชนิด และอัตราส่วนของสารช่วยทำแห้งล้วนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมเกิดจากการใช้อุณหภูมิเท่ากับ 140 องศาเซลเซียสและอัตราส่วนน้ำมะขามต่อสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกเป็น 1:0.8 และ 1:0.4 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดยังพบว่า มะขามผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินได้รับความพึงพอใจทางด้านสีและลักษณะปรากฏมากกว่า ขณะที่มะขามผงที่ใช้กัมอารบิกกลับได้รับความพึงพอใจทางด้านกลิ่นและรสมากกว่า

Bhusari, Muzaffar, and Kumar (2014) ศึกษาอิทธิพลของสารช่วยทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของมะขามผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่กำหนดให้อุณหภูมิการทำแห้งเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยมีตัวแปรอิสระที่ศึกษา 3 ตัว คือ สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทริน (40, 50, 60 เปอร์เซ็นต์) กัมอารบิก (40, 50, 60 เปอร์เซ็นต์) และเวย์โปรตีน (10, 20, 30 เปอร์เซ็นต์) พบว่า ปริมาณร้อยละผลผลิตและความพรุนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นจะลดลงเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น มีเพียงเวย์โปรตีนชนิดเดียวที่ทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า มอลโตเดกซ์ทรินทำให้ผลิตภัณฑ์มีความพรุนสูงสุดเป็น 0.77 ส่วนกัมอารบิกทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นต่ำสุดเป็น 3.65 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เวย์โปรตีนทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณร้อยละผลผลิตสูงสุดถึง 76.23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกที่ 60 เปอร์เซ็นต์แต่กลับทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสูงสุดถึง 7 เปอร์เซ็นต์

Muzaffar and Kumar (2015) ศึกษาการใช้พื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตมะขามผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีตัวแปรอิสระที่ศึกษา 3 ตัว คือ สารช่วยทำแห้งชนิดโปรตีนถั่วเหลือง (15, 20, 25 เปอร์เซ็นต์) อุณหภูมิ (150, 160, 170 องศาเซลเซียส) และอัตราการป้อน (400, 500, 600 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง) พบว่า ปริมาณร้อยละผลผลิตและความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอัตราการป้อนลดลง ตรงข้ามกับปริมาณความชื้นที่จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอัตราการป้อนลดลง ขณะที่สมบัติการดูดความชื้นกลับของผงจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น อุณหภูมิลดลง และอัตราการป้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมเกิดจากการใช้ปริมาณสารช่วยทำแห้งเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนเท่ากับ 400 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

Ekpong, Phomkong, and Onsaard (2016) ศึกษาผลของสารช่วยทำแห้งและอุณหภูมิต่อการผลิตมะขามผงด้วยการทำแห้งแบบโฟม โดยมีตัวแปรอิสระที่ศึกษา 2 ตัว คือ สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทริน (5, 10, 15 เปอร์เซ็นต์) และอุณหภูมิ (55, 60, 70 องศาเซลเซียส) พบว่า ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณกรดทั้งหมดจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิและปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนพีเอชและความหนาแน่นจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิและปริมาณสารช่วยทำแห้งลดลง ขณะที่อุณหภูมิกลาสทรานซิชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมเกิดจากการใช้ปริมาณสารช่วยทำแห้งเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในการแปรรูป เครื่องมือที่ใช้ในการแปรรูป สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ เครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผลทางสถิติ วิธีการดำเนินงานวิจัย และวิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการแปรรูป

3.1.1 มะขามเปียก

มะขามเปียก (tamarind) ที่ใช้ในการวิจัยเป็นมะขามเปรี้ยวพันธุ์ฝักยักษ์มาจากสวนวิรัตน์ ซึ่งตั้งอยู่ในเขตอำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 2.3-2.8 และมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 25.3-28.1 เปอร์เซ็นต์

3.1.2 มอลโตเดกซ์ทริน

มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin; MD) ที่ใช้ในการวิจัยมีค่าสมมูลเดกซ์โทรสเท่ากับ 10-12 มาจากบริษัทนิวทรีชั่น เอสซี จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ในเขตอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 4.5-6.5 และมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 5.0-6.0 เปอร์เซ็นต์

3.1.3 ซัคซินิค

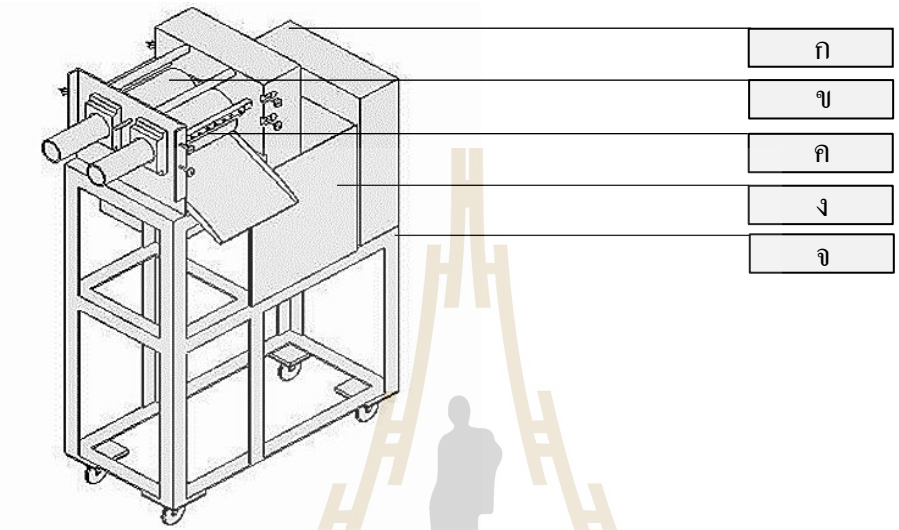
ซัคซินิค (octenyl succinic anhydride; OSA) ที่ใช้ในการวิจัยมาจากบริษัทเควสท์เทค จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ในเขตอำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 4.0-6.0 และมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.0-8.0 เปอร์เซ็นต์

3.1.4 กัมอารบิก

กัมอารบิก (gum arabic; GA) ที่ใช้ในการวิจัยมาจากบริษัทเคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ในเขตคันนายาว จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 4.0-5.0 และมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 11.0-12.0 เปอร์เซ็นต์

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการแปรรูป

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ซึ่งมีอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งในช่วงตั้งแต่ 0-140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของลูกกลิ้งในช่วงตั้งแต่ 0-1 รอบต่อนาที และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งในช่วงตั้งแต่ 0-10 มิลลิเมตร โดยลักษณะและส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

ก. กล่องควบคุม (control box) ทำจากเหล็กกล้าชุบสังกะสี ที่มีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 0.20 เมตร และ 0.40 เมตร ตามลำดับ ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบของลูกกลิ้ง

ข. ลูกกลิ้ง (cylinder hollow rollers) ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเท่ากับ 0.15 เมตร และ 0.20 เมตร ตามลำดับ ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับอาหารด้วยการนำความร้อนพร้อมทั้งรีดอาหารให้เป็นแผ่นฟิล์มบางในระหว่างกระบวนการทำแห้ง

ค. ใบมีดขูด (doctor blades) ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 0.06 เมตร และ 0.20 เมตร ตามลำดับ ทำหน้าที่ขูดแผ่นฟิล์มของอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแล้ว

ง. มอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor) มีขนาด 1.0 แรงม้า ทำหน้าที่ขับเคลื่อนการทำงานทั้งหมดของเครื่อง

จ. ชุดโครงสร้าง (structure) ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 0.40 เมตร และ 0.85 เมตร ตามลำดับ ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักทั้งหมดของเครื่อง

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) : Ajax Finechem, Australia
- ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) : Ajax Finechem, Australia
- เอทานอล (ethanol) : Carlo Erba, Italy

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

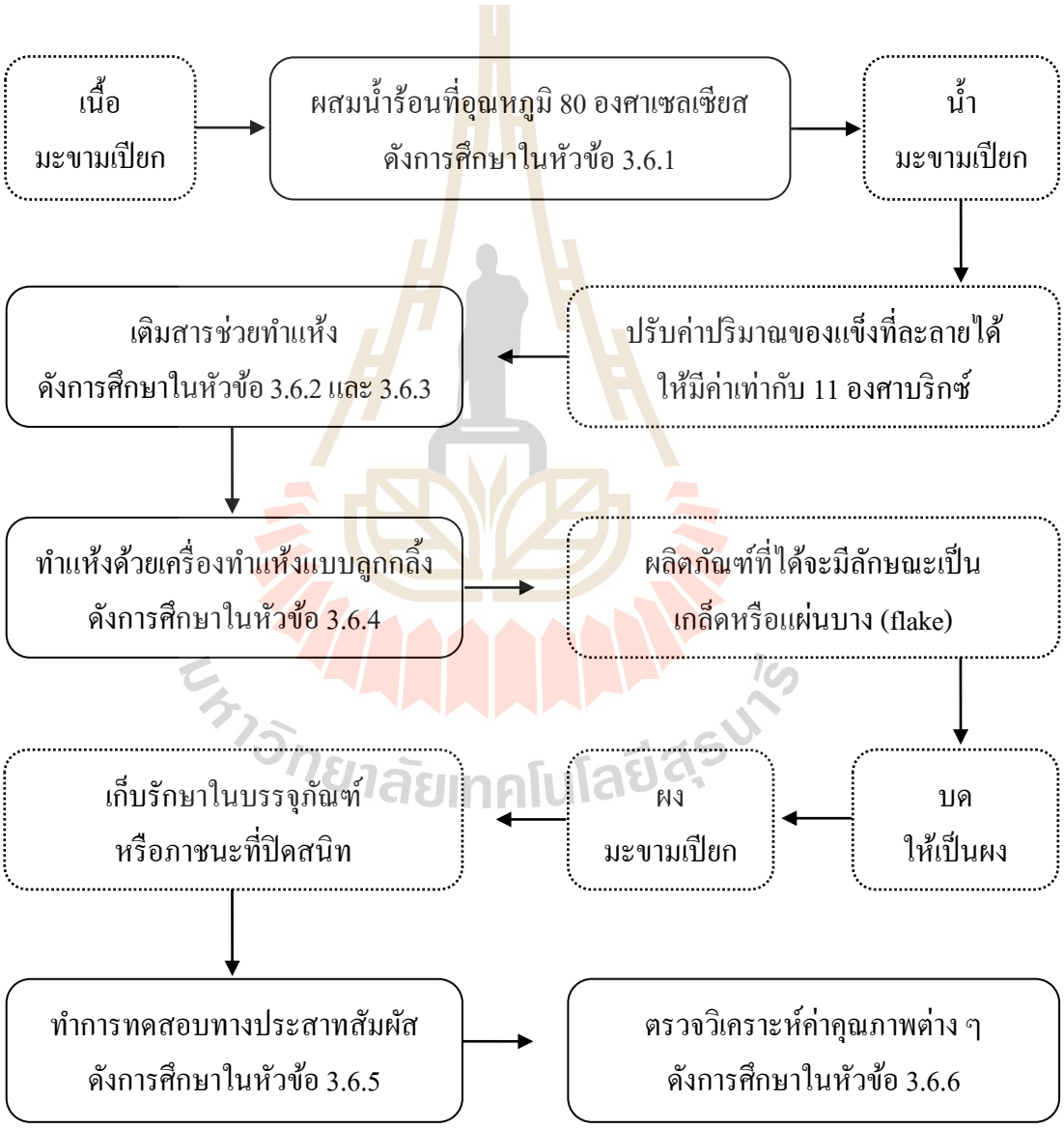
- เครื่องวัดสี (color meter) : Hunter Lab, ColorQuest XE, America
- เครื่องวัดพีเอช (pH meter) : Mettler Toledo, SevenEasy, Switzerland
- เครื่องกวนสารเคมี (magnetic stirrer) : IKA, C-MAG HS7, Germany
- เครื่องปั่นเหวี่ยงสาร (centrifuge) : Hitachi, CR22GIII, Japan
- เครื่องปั่นผสม (blender mixer) : Philips, HR2061, Indonesia
- เครื่องวัดความหนืด (rheometer) : Anton Paar, MCR52, Austria
- เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (water activity) : AquaLab, CX-3TE, America
- เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (hand refractometer) : ATAGO, Master, Japan
- เครื่องชั่งดิจิตอล (digital balance) : Sartorius, BSA224S-CW, Germany
- เครื่องวัดคุณสมบัติทางความร้อน (DSC) : Netzsch, DSC 204 F1, Germany
- เครื่องฉาบทองด้วยไอออน (ion sputtering) : JEOL, JFC-1100E, Japan
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) : JEOL, JSM-6010LV, America
- ตู้อบลมร้อน (hot air oven) : FranceEtuves, XU058, France
- เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (vacuum sealer) : WenzhouXingye, DZ-500, China
- เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer) : Scientific Industries, G560E, America
- เทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว (thermometer) : SK Sato, LT100200, Taiwan
- ออโต้บิวเรต (automatic burette) : ISOLAB, Class-AS, Germany
- โถดูดความชื้น (desiccator) : Duran, DN 300, Germany

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผลทางสถิติ

- โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft office 2010
- โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 22
- โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 16

3.6 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีทั้งหมด 6 ขั้นตอน โดยจะเริ่มจากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ การศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด การศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งมะขามเปียกผง จากนั้นเมื่อได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะนำมาทำการศึกษาทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภครวมถึงตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่าง ๆ ซึ่งภาพรวมของวิธีการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยจะมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 3.2 ภาพรวมของวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.6.1 การศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ

นำมะขามเปรี้ยวมาแกะเอาเมล็ดและสาแหรกออก จากนั้นนำเนื้อมะขามเปียกที่ได้มาฉีกให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วจึงนำมาผสมกับน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้อัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการบีบผสมและกรองแยกสิ่งเจือปนจำพวกเปลือกฝัก ใบมะขาม และกากเยื่อหุ้มเมล็ดออก จากนั้นทำการเติมสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดประกอบด้วย มอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค และกัมอารบิก ลงในน้ำมะขามเปียกที่อัตราส่วน 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 3.1 พร้อมทั้งนำสารละลายดังกล่าวมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยกำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส (ค่าสูงสุดจากความสามารถของเครื่อง) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร (ค่าต่ำสุดที่สารละลายน้ำมะขามเปียกสามารถไหลผ่านได้) และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.50 รอบต่อนาที (ค่ากลางจากความสามารถของเครื่อง) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงมาทำการตรวจวิเคราะห์ค่าปริมาณร้อยละผลผลิต

ตารางที่ 3.1 แผนการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ

สิ่งทดลอง	อัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ (โดยน้ำหนัก)	สารช่วยทำแห้ง	ปริมาณของสารช่วยทำแห้ง (กรัม)	ปริมาณของน้ำมะขามเปียก (กรัม)
1	1 : 1	มอลโตเดกซ์ทริน	50	100
2	1 : 2	มอลโตเดกซ์ทริน	50	100
3	1 : 3	มอลโตเดกซ์ทริน	50	100
4	1 : 4	มอลโตเดกซ์ทริน	50	100
5	1 : 5	มอลโตเดกซ์ทริน	50	100
6	1 : 1	ซัคซินิค	50	100
7	1 : 2	ซัคซินิค	50	100
8	1 : 3	ซัคซินิค	50	100
9	1 : 4	ซัคซินิค	50	100
10	1 : 5	ซัคซินิค	50	100
11	1 : 1	กัมอารบิก	50	100
12	1 : 2	กัมอารบิก	50	100
13	1 : 3	กัมอารบิก	50	100
14	1 : 4	กัมอารบิก	50	100
15	1 : 5	กัมอารบิก	50	100

3.6.2 การศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

นำเนื้อมะขามเปียกผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่ได้จากข้อ 3.6.1 จากนั้นทำการเติมสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดประกอบด้วย มอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค และกัมอารบิก ลงในน้ำมะขามเปียกที่อัตราส่วน 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 3.2 พร้อมทั้งนำสารละลายที่ได้มาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยกำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.50 รอบต่อนาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงมาทำการตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่าง ๆ

ตารางที่ 3.2 แผนการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

สิ่งทดลอง	สารช่วยทำแห้ง	ปริมาณของสารช่วยทำแห้ง (กรัม)	ปริมาณของน้ำมะขามเปียก (กรัม)
1	มอลโตเดกซ์ทริน	10	100
2	มอลโตเดกซ์ทริน	20	100
3	มอลโตเดกซ์ทริน	30	100
4	มอลโตเดกซ์ทริน	40	100
5	มอลโตเดกซ์ทริน	50	100
6	มอลโตเดกซ์ทริน	60	100
7	มอลโตเดกซ์ทริน	70	100
8	มอลโตเดกซ์ทริน	80	100
9	ซัคซินิค	10	100
10	ซัคซินิค	20	100
11	ซัคซินิค	30	100
12	ซัคซินิค	40	100
13	ซัคซินิค	50	100
14	ซัคซินิค	60	100
15	ซัคซินิค	70	100
16	ซัคซินิค	80	100
17	กัมอารบิก	10	100
18	กัมอารบิก	20	100
19	กัมอารบิก	30	100
20	กัมอารบิก	40	100
21	กัมอารบิก	50	100
22	กัมอารบิก	60	100
23	กัมอารบิก	70	100
24	กัมอารบิก	80	100

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.6.3 การศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

ทำการวางแผนการทดลองเพื่อนำสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิดมาผสมกันด้วยแผนการทดลองเชิงส่วนผสม (mixture design) แบบ simplex lattice เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ทรินเป็น 50-80 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่อัตราส่วนของซัคซินิคและกัมอารบิกเป็น 10-40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวได้จากข้อ 3.6.2 โดยปริมาณการใช้มอลโตเดกซ์ทรินสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนต่ำสุดที่สามารถทำให้ปริมาณร้อยละผลผลิตมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปจนถึงอัตราส่วนสูงสุดของการศึกษา ขณะที่ปริมาณการใช้ซัคซินิคและกัมอารบิกสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนต่ำสุดของการศึกษาไปจนถึงอัตราส่วนที่สามารถทำให้ปริมาณร้อยละผลผลิตมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จากนั้นนำเนื้อมะขามเปียกผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่ได้จากข้อ 3.6.1 พร้อมทั้งทำการผสมสารช่วยทำแห้งทั้ง 3 ชนิดตามแผนการทดลองดังตารางที่ 3.3 แล้วจึงนำมาผสมกับน้ำมะขามเปียกโดยจะทำการควบคุมปริมาณของน้ำมะขามเปียกให้คงที่ในทุกสิ่งทดลองเท่ากับ 200 กรัม คิดเป็นอัตราส่วน 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อได้สารละลายตามต้องการแล้วจึงนำสารละลายดังกล่าวมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ซึ่งกำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.50 รอบต่อนาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงมาทำการตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่าง ๆ

ตารางที่ 3.3 แผนการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

สิ่งทดลอง	มอลโตเดกซ์ทริน (กรัม)	ซัคซินิค (กรัม)	กัมอารบิก (กรัม)	ปริมาณของน้ำมะขามเปียก (กรัม)
1	80	10	10	200
2	65	25	10	200
3	65	10	25	200
4	50	40	10	200
5	50	25	25	200
6	50	10	40	200
7	60	20	20	200

3.6.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

ทำการวางแผนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งด้วยแผนการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (factorial design) แบบ general full factorial เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเป็น 120, 130, 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็น 0.15, 0.20, 0.25 มิลลิเมตร

และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเป็น 0.25, 0.50, 0.75 รอบต่อนาที จากนั้นนำเนื้อมะขามเปียกผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่ได้จากข้อ 3.6.1 และทำการเติมสารช่วยทำแห้งทั้ง 3 ชนิดตามอัตราส่วนที่ได้จากข้อ 3.6.3 พร้อมทั้งนำสารละลายที่ได้มาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งตามแผนการทดลองดังตารางที่ 3.4 และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำแห้งแล้วจึงนำผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงมาทำการตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่าง ๆ

ตารางที่ 3.4 แผนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง (องศาเซลเซียส)	ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (รอบต่อนาที)
1	120	0.15	0.25
2	120	0.15	0.50
3	120	0.15	0.75
4	120	0.20	0.25
5	120	0.20	0.50
6	120	0.20	0.75
7	120	0.25	0.25
8	120	0.25	0.50
9	120	0.25	0.75
10	130	0.15	0.25
11	130	0.15	0.50
12	130	0.15	0.75
13	130	0.20	0.25
14	130	0.20	0.50
15	130	0.20	0.75
16	130	0.25	0.25
17	130	0.25	0.50
18	130	0.25	0.75
19	140	0.15	0.25
20	140	0.15	0.50
21	140	0.15	0.75
22	140	0.20	0.25
23	140	0.20	0.50
24	140	0.20	0.75
25	140	0.25	0.25
26	140	0.25	0.50
27	140	0.25	0.75

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.6.5 การศึกษาทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภค

ทำการทดสอบทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงด้วยการทดสอบแบบ central location test กับกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายที่มีอายุระหว่าง 20-50 ปี และเคยใช้หรือเคยบริโภคผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากมะขามเปียก โดยทำการศึกษา ณ บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ด้วยการใช้แบบสอบถามกับผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 50 คน ซึ่งจะทำการเสริฟ์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ พร้อมกับ ช้อน ถ้วย น้ำร้อน น้ำดื่ม กระดาษชำระ ดินสอ และแบบสอบถาม ขณะที่ตัวอย่างผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงจะถูกเสริฟ์ในลักษณะของการบรรจุอยู่ในซองที่มีขนาดบรรจุเท่ากับ 10 กรัม จำนวน 2 ซอง โดยซองที่ 1 จะใช้สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ก่อนทำการละลาย ส่วนซองที่ 2 จะใช้สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงในรูปแบบของผลิตภัณฑ์หลังทำการละลาย (ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้สำหรับการละลายเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส และปริมาณของน้ำร้อนเท่ากับ 20 กรัม)

3.6.6 การตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่าง ๆ

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

1) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid content; TS) นำตัวอย่างจำนวน 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งจดบันทึกผลและนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณของแข็งทั้งหมดดังสมการ 3.1

$$\text{total solid content} = \left(1 - \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1}\right) \times 100\ \% \qquad (3.1)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้ง (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างก่อนทำแห้ง (กรัม)

W_3 คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างหลังทำแห้ง (กรัม)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) ปริมาณร้อยละผลผลิต (drying yield; DY) นำตัวอย่างจำนวน 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งจดบันทึกผลพร้อมทั้งนำค่าที่ได้มาหาความแตกต่างของน้ำหนักระหว่างตัวอย่างก่อนและหลังทำแห้งด้วยการคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ดังสมการ 3.2

$$\text{drying yield} = \frac{M_a}{M_b} \times 100\,\% \tag{3.2}$$

เมื่อ M_a คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่างทั้งหมดหลังทำแห้ง (กรัม)

M_b คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเริ่มต้นก่อนทำแห้ง (กรัม)

3) ปริมาณความชื้น (moisture content; MC) นำตัวอย่างจำนวน 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งจดบันทึกผลและนำค่าที่ได้มาคำนวณความชื้นดังสมการ 3.3

$$\text{moisture content} = \left(\frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1}\right) \times 100\,\% \tag{3.3}$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้ง (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างก่อนทำแห้ง (กรัม)

W_3 คือ น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างหลังทำแห้ง (กรัม)

4) ปริมาณน้ำอิสระ (water activity; Aw) นำตัวอย่างจำนวน 3 กรัม ใส่ลงในตลับพลาสติกประมาณ 3/4 ส่วนของความจุตลับ จากนั้นนำตลับวางลงในเครื่อง water activity และรอจนกว่าเครื่องจะทำงานเสร็จแล้วจึงอ่านค่าที่ได้พร้อมทั้งทำการจดบันทึกผล

5) ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity; TA) นำตัวอย่างจำนวน 5 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นจำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่พร้อมทั้งทำการหยดฟีนอฟทาลีนลงไป 2-3 หยดแล้วนำมาทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งถึงจุดยุติ จากนั้นทำการจดบันทึกผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป และนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณกรดเป็นร้อยละของกรดทาร์ทาริกดังสมการที่ 3.4

$$\text{total acidity} = \frac{V \times N \times Eq.wt}{U \times 1000} \times 100\,\% \qquad (3.4)$$

เมื่อ V คือ ปริมาณด่างที่ใช้ในการไทเทรตจนถึงจุดยุติ (มิลลิลิตร)
N คือ นอร์มัลของด่างที่ใช้ในการไทเทรต
Eq.wt คือ น้ำหนักสมมูลของกรดทาร์ทาริกเท่ากับ 75
U คือ ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

6) พีเอช (potential of hydrogen ion; pH) นำตัวอย่างจำนวน 50 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์และทำความสะอาดหัววัดของเครื่อง pH meter ด้วยน้ำกลั่น ทำการซับให้แห้งด้วยกระดาษชำระ จากนั้นทำการจุ่มหัววัดลงในบีกเกอร์และรอจนกว่าเครื่องจะทำงานเสร็จแล้วจึงอ่านค่าที่ได้พร้อมทั้งทำการจดบันทึกผล

7) ความแตกต่างของสี (difference color; ΔE) นำตัวอย่างจำนวน 50 กรัม ใส่ลงในคิวเวทพร้อมทั้งนำคิวเวทวางลงในเครื่อง color meter และทำการวัดค่าในเทอมของ L (ความสว่าง) a (ความเป็นสีแดง) และ b (ความเป็นสีเหลือง) รอจนกว่าเครื่องจะทำงานเสร็จ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณความแตกต่างของสีดังสมการ 3.5

$$\Delta E = \sqrt{(L_o - L_p)^2 + (a_o - a_p)^2 + (b_o - b_p)^2} \qquad (3.5)$$

เมื่อ L_o, a_o, b_o คือ สีของตัวอย่างเริ่มต้น
L_p, a_p, b_p คือ สีของตัวอย่างหลังทำละลาย

8) ความหนืด (viscosity; VS) นำตัวอย่างจำนวน 30 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมทรงกระบอก CC26/ST-SS แล้วจึงนำถ้วยดังกล่าววางลงในเครื่อง rheometer พร้อมทั้งทำการใส่หัวเข็ม CC24-25D และในระหว่างการวัดจะทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 24±2 องศาเซลเซียส จากนั้นรอจนกว่าเครื่องจะทำงานเสร็จแล้วจึงทำการจดบันทึกผลที่ได้ ขณะที่ค่าความหนืดสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการ Herschel-Bulkley ดังสมการ 3.6 ด้วยการสร้างกราฟระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) กับแรงเฉือน (shear stress) จากนั้นทำการหาค่าความชันของกราฟและรายงานผลออกมาในรูปแบบของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index)

$$\tau = \tau_0 + \kappa\gamma^n \tag{3.6}$$

เมื่อ τ คือ shear stress (Pa)

τ_0 คือ yield stress

κ คือ consistency coefficient (Pa.s)

γ คือ shear rate (sec^{-1})

n คือ flow behavior index

9) ความหนาแน่น (bulk density; BD) นำตัวอย่างจำนวน 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ที่ทราบปริมาตรด้วยการทำการเทตัวอย่างลงในบีกเกอร์ โดยให้ตัวอย่างและบีกเกอร์อยู่ห่างกันเป็นระยะทาง 0.1 เมตร แล้วจึงเทตัวอย่างให้มีการตกอย่างอิสระตามแรงโน้มถ่วงจนล้นบีกเกอร์ จากนั้นทำการปาดที่ด้านบนของบีกเกอร์ให้เรียบและนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งทำการจดบันทึกผล และนำค่าที่ได้มาคำนวณความหนาแน่นดังสมการ 3.7

$$\text{bulk density} = \frac{m}{v} \tag{3.7}$$

เมื่อ m คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

v คือ ปริมาตรของบีกเกอร์ (มิลลิลิตร)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

10) ความสามารถในการละลาย (solubility; SO) นำตัวอย่างจำนวน 1 กรัม ผสมกับน้ำจำนวน 10 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดเซนติฟิวก์ และนำเข้าเครื่อง centrifuge ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที จากนั้นนำเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวใสมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งจดบันทึกผล และนำค่าที่ได้มาคำนวณความสามารถในการละลายดังสมการ 3.8

$$\text{solubility} = \frac{M_s}{M_p} \times 100\,\% \tag{3.8}$$

เมื่อ M_S คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

M_p คือ ปริมาตรของบีกเกอร์ (มิลลิลิตร)

11) อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (glass transition temperature) นำตัวอย่างจำนวน 3 มิลลิกรัม ใส่ลงในแพนและทำการอัดปิดฝา จากนั้นนำแพนวางลงในเครื่อง DSC พร้อมทั้งทำการให้ความร้อนเป็นลำดับ โดยเริ่มจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นให้ทำการลดอุณหภูมิลงจาก 25 องศาเซลเซียสเป็น -30 องศาเซลเซียส แล้วจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก -30 องศาเซลเซียสเป็น 100 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นให้ทำการลดอุณหภูมิลงจาก 100 องศาเซลเซียสเป็น -30 องศาเซลเซียส และสุดท้ายจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก -30 องศาเซลเซียสเป็น 200 องศาเซลเซียส ซึ่งในทุกขั้นตอนของการวิเคราะห์นั้นจะใช้อัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และใช้ก๊าซไนโตรเจนสำหรับการเผาไหม้ในอัตรา 20 มิลลิลิตรต่อนาที

12) ภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างในระดับจุลภาค (powder morphology) นำตัวอย่างจำนวน 1 กรัม วางลงบนผิวหน้าของเทปกาวคาร์บอนที่ติดอยู่บนสตับ แล้วนำมาฉาบทองด้วยเครื่อง ion sputtering ภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยใช้แก๊สอาร์กอนและกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 10 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ความต่างศักย์เร่งเท่ากับ 10 กิโลโวลต์ ด้วยกำลังขยาย 100 และ 500 เท่า พร้อมทั้งถ่ายรูปด้วยโปรแกรม intouch scope ในโหมดภาพ SEI

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.7 วิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 หัวข้อย่อย โดยจะเริ่มจากวิธีวิเคราะห์อัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ วิธีวิเคราะห์อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด วิธีวิเคราะห์อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด วิธีวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งมะขามเปียกผง รวมถึงวิธีวิเคราะห์ทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภค โดยจะมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

3.7.1 วิธีวิเคราะห์อัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ

การวิเคราะห์ผลการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำทำได้โดยการนำตัวแปรตามที่ได้จากการทดลองใส่ลงในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 22 และทำการวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างด้วยวิธีเปรียบเทียบแบบจับคู่สิ่งทดลอง (paired sample t-test) พร้อมทั้งพิจารณาค่า P-value โดยหากค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำที่นำมาทำการเปรียบเทียบกันนั้นไม่มีความแตกต่างกัน แต่หากน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำที่นำมาทำการเปรียบเทียบกันนั้นมีความแตกต่างกัน

3.7.2 วิธีวิเคราะห์อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

การวิเคราะห์ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดทำได้โดยการนำตัวแปรตามที่ได้จากการทดลองใส่ลงในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 22 และ ทำการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนด้วยวิธีทดสอบหลายตัวแปร (multivariate test) พร้อมทั้งพิจารณาค่า P-value โดยหากค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าคุณภาพต่าง ๆ ของมะขามเปียกผงที่ได้จากสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดนั้นไม่มีความแตกต่างกัน แต่หากน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าคุณภาพต่าง ๆ ของมะขามเปียกผงที่ได้จากสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกันซึ่งหากค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ก็จะนำมาทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีเปรียบเทียบเชิงพหุคูณแบบ DMRT (duncan's multiple range test)

3.7.3 วิธีวิเคราะห์อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

การวิเคราะห์ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิดทำได้โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 16 ตามขั้นตอนดังนี้

1) การสร้างสมการแบบจำลอง เริ่มจากการนำตัวแปรตามที่ได้จากการทดลองใส่ลงในโปรแกรมและทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของการถดถอยแบบกำลังสอง (quadratic model) พร้อมกับพิจารณาค่า P-value โดยหากค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่า ตัวแปรต้น (อัตราส่วนการผสมกันของสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด) และตัวแปรตาม (ค่าคุณภาพต่าง ๆ) นั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่หากน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรต้นและตัวแปรตามนั้นมีความสัมพันธ์กันซึ่ง

ระดับของความสัมพันธ์จะมากหรือน้อยพิจารณาได้จากค่า R^2 โดยหากค่า R^2 ยิ่งมีค่าสูง แสดงว่าตัวแปรต้นและตัวแปรตามยิ่งมีความสัมพันธ์กันมาก

2) การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลอง เริ่มจากการนำค่าของสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดตามสูตรต่าง ๆ มาแทนค่าลงในสมการแบบจำลอง และนำค่าที่ได้มาทำการตรวจสอบความเหมาะสมด้วยกราฟประกอบด้วย

- การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล สามารถตรวจสอบได้จากกราฟระหว่างค่า externally studentized residuals และค่า normal probability โดยข้อมูลต้องแนบชิดกับเส้นตรงจึงจะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ
- การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล สามารถตรวจสอบได้จากกราฟระหว่างค่า run numbers และค่า externally studentized residuals โดยข้อมูลต้องกระจายตัวแบบไม่มีแนวโน้มหรือไม่สามารถคาดการณ์ได้จึงจะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ
- การตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูล สามารถตรวจสอบได้จากกราฟระหว่างค่า predicted และค่า externally studentized residuals โดยข้อมูลต้องกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งในทางบวกและทางลบจึงจะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน
- การตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลจากทั้งการทดลองและการทำนาย สามารถตรวจสอบได้จากกราฟระหว่างค่า actual และค่า predicted โดยข้อมูลต้องแนบชิดกับเส้นตรงจึงจะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน

3) การกำหนดสูตรที่เหมาะสมของการผสมสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด เริ่มจากการคัดเลือกตัวแปรตามหรือค่าคุณภาพที่จะนำมาใช้เพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสมซึ่งจะต้องมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 และมีค่า R^2 เท่ากับหรือมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาสูตรที่เหมาะสมด้วยการหาความสัมพันธ์ในลักษณะของกราฟจึงจะได้สูตรที่เหมาะสมของการผสมสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

4) การตรวจสอบความเหมาะสมของสูตรการผสม เริ่มจากการนำสูตรที่เหมาะสมซึ่งได้จากการคำนวณมาทำการทดลองจริงและนำค่าของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลองจริง (ค่าจากการทดลอง) มาเปรียบเทียบกับค่าของตัวแปรตามที่ได้จากการคำนวณ (ค่าจากการทำนาย) โดยใช้ค่าสถิติตัดสินความน่าเชื่อถือของแบบจำลองได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relative error; RE) ซึ่งค่าดังกล่าวนี้เป็นค่าที่ใช้สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

โดยหาได้จากผลต่างของค่าสัมบูรณ์ระหว่างค่าจากการทำนาย (predicted value) และค่าจากการทดลอง (experimental value) หารด้วยค่าจากการทำนาย ซึ่งจะมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (Parejiya, Patel, Mehta, Shelat, and Barot, 2013) ดังสมการ 3.9

$$RE = \left| \frac{\text{predicted value} - \text{experimental value}}{\text{predicted value}} \right| \times 100\ \% \qquad (3.9)$$

3.7.4 วิธีวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

การวิเคราะห์ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งมะขามเปียกผงทำได้โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 16 ตามขั้นตอนดังนี้

1) การสร้างสมการแบบจำลอง เริ่มจากการนำตัวแปรตามที่ได้จากการทดลองใส่ลงในโปรแกรมและทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของการถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูป (full quadratic model) พร้อมกับพิจารณาค่า P-value โดยหากค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่า ตัวแปรต้น (พารามิเตอร์ของการทำแห้งต่าง ๆ) และตัวแปรตาม (ค่าคุณภาพต่าง ๆ) นั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่หากน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรต้นและตัวแปรตามนั้นมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งระดับของความสัมพันธ์จะมากหรือน้อยพิจารณาได้จากค่า R^2 โดยหากค่า R^2 ยิ่งมีค่าสูง แสดงว่าตัวแปรต้นและตัวแปรตามยิ่งมีความสัมพันธ์กันมาก

2) การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลอง เริ่มจากการนำค่าของสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดตามสูตรต่าง ๆ มาแทนค่าลงในสมการแบบจำลอง และนำค่าที่ได้มาทำการตรวจสอบความเหมาะสมด้วยกราฟประกอบด้วย

- การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล สามารถตรวจสอบได้จากกราฟระหว่างค่า externally studentized residuals และค่า normal probability โดยข้อมูลต้องแนบชิดกับเส้นตรงจึงจะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ
- การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล สามารถตรวจสอบได้จากกราฟระหว่างค่า run numbers และค่า externally studentized residuals โดยข้อมูลต้องกระจายตัวแบบไม่มีแนวโน้มหรือไม่สามารถคาดการณ์ได้จึงจะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

- การตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูล สามารถตรวจสอบได้จากกราฟระหว่างค่า predicted และค่า externally studentized residuals โดยข้อมูลต้องกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งในทางบวกและทางลบจึงจะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

- การตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลจากทั้งการทดลองและการทำนาย สามารถตรวจสอบได้จากกราฟระหว่างค่า actual และค่า predicted โดยข้อมูลต้องแนบชิดกับเส้นตรงจึงจะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน

3) การกำหนดสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้ง เริ่มจากการคัดเลือกตัวแปรตามหรือค่าคุณภาพที่จะนำมาใช้เพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสมซึ่งจะต้องมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 และมีค่า R^2 เท่ากับหรือมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการหาความสัมพันธ์ในลักษณะของกราฟจึงจะได้สภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้ง

4) การตรวจสอบความเหมาะสมของสภาวะการทำแห้ง เริ่มจากการนำสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการคำนวณมาทำการทดลองจริงและนำค่าของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลองจริงมาเปรียบเทียบกับค่าของตัวแปรตามที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ค่าสถิติตัดสินความน่าเชื่อถือของแบบจำลองได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ดังสมการ 3.9

3.7.5 วิธีวิเคราะห์ทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภค

การวิเคราะห์ผลการศึกษาทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคทำได้โดยการนำข้อมูลจากการทดสอบใส่ลงในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 22 และทำการวิเคราะห์หาร้อยละความถี่ของข้อมูลด้วยวิธีการแจกแจงความถี่ (frequencies test) พร้อมทั้งพิจารณาค่าคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะต่าง ๆ โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบ 9 ระดับ ซึ่งจะใช้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะมาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มดังสมการ 3.10

$$\text{เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม} = (\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}) / \text{จำนวนชั้น} \qquad (3.10)$$

$$= (9 - 1) / 9$$

$$= 0.88$$

เมื่อคำนวณตามเกณฑ์แล้วก็จะสามารถแบ่งช่วงของแต่ละกลุ่มให้ห่างกันเท่ากับ 0.88 ได้ดังนี้

คะแนน	1.00 – 1.88	หมายความว่า	ไม่ชอบมากที่สุด
คะแนน	1.89 – 2.77	หมายความว่า	ไม่ชอบมาก
คะแนน	2.78 – 3.66	หมายความว่า	ไม่ชอบปานกลาง
คะแนน	3.67 – 4.55	หมายความว่า	ไม่ชอบเล็กน้อย
คะแนน	4.56 – 5.44	หมายความว่า	เฉย ๆ
คะแนน	5.45 – 6.33	หมายความว่า	ชอบเล็กน้อย
คะแนน	6.34 – 7.22	หมายความว่า	ชอบปานกลาง
คะแนน	7.23 – 8.11	หมายความว่า	ชอบมาก
คะแนน	8.12 – 9.00	หมายความว่า	ชอบมากที่สุด

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way anova) พร้อมทั้งพิจารณาค่า P-value โดยหากค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีทัศนคติเกี่ยวกับการตัดสินใจซื้อที่ไม่แตกต่างกัน แต่หากน้อยกกว่า 0.05 แสดงว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีทัศนคติเกี่ยวกับการตัดสินใจซื้อที่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของผลการศึกษาประกอบด้วย ผลการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด สภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก รวมถึงทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดพบว่า มอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค และกัมอารบิก สามารถทำให้ปริมาณร้อยละผลผลิตมีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ได้ตั้งแต่อัตราส่วน 1:4, 1:3 และ 1:1 ขึ้นไป ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.1 แต่เมื่อพิจารณาอัตราส่วนที่สามารถทำให้สารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิดมีปริมาณร้อยละผลผลิตมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์กลับพบว่ามีเพียงอัตราส่วน 1:4 และ 1:5 เท่านั้นที่มีแนวโน้มดังกล่าว โดยแนวโน้มนี้จะสามารถทำให้การทำแห้งมีประสิทธิภาพที่ดี จึงนำอัตราส่วนทั้งสองมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อัตราส่วนทั้งสองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราส่วน 1:5 จะมีปริมาณร้อยละผลผลิตมากกว่า นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความสามารถในการทำแห้งดังตารางที่ 4.2 และลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังตารางที่ 4.3 ยังพบว่าอัตรา ส่วน 1:4 นั้นไม่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ร่อนออกจากลูกกลิ้งโดยใช้ใบมีดขูดได้ทั้งหมดซึ่งอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำแห้งลดลง ดังนั้นอัตราส่วน 1:5 จึงเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำมากกว่าอัตราส่วนอื่น

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณร้อยละผลผลิต

สารช่วยทำแห้ง	อัตราส่วน	N	$\overline{X}$	S.D.	t	Sig.
MD	1:4	3	69.32	0.61	47.47	0.000*
	1:5	3	86.33	0.02		
OSA	1:4	3	81.05	0.65	16.11	0.004*
	1:5	3	87.91	0.13		
GA	1:4	3	80.14	0.41	23.70	0.002*
	1:5	3	85.79	0.01		

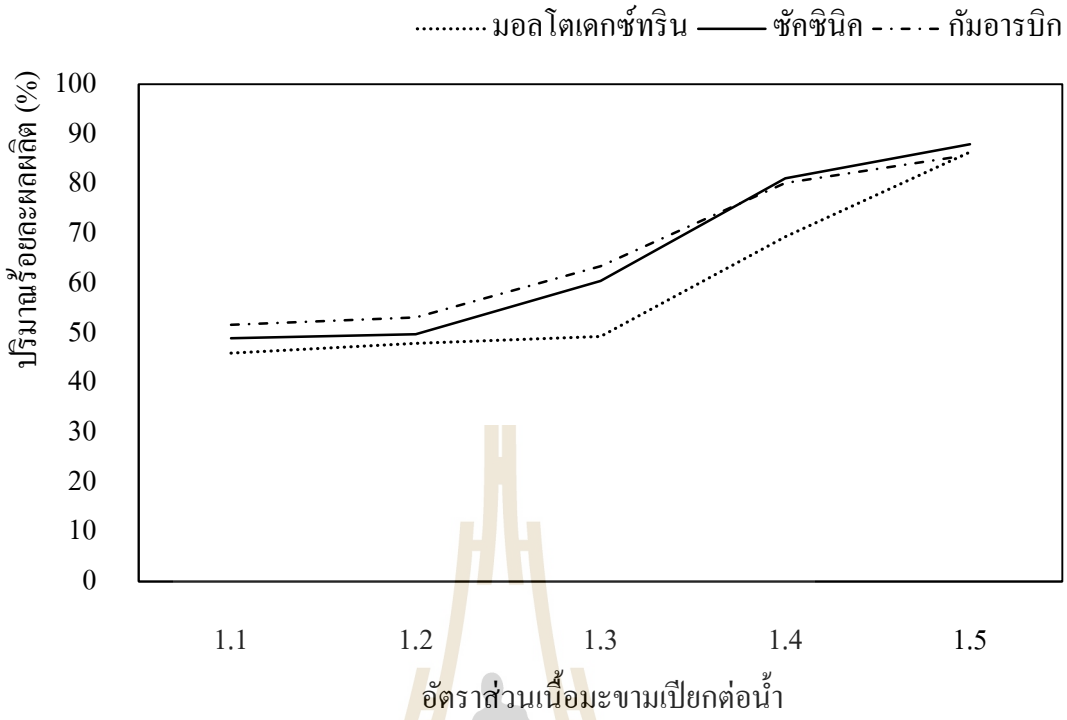
* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการทำแห้ง

อัตราส่วนเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ	สารช่วยทำแห้ง	การเกาะติดลูกกลิ้ง	การร่อนจากลูกกลิ้ง
1:1	MD	เกาะติดบางส่วน	ร่อนออกไม่ได้
1:1	OSA	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกไม่ได้
1:1	GA	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด
1:2	MD	เกาะติดบางส่วน	ร่อนออกไม่ได้
1:2	OSA	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกไม่ได้
1:2	GA	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด
1:3	MD	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้บางส่วน
1:3	OSA	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด
1:3	GA	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด
1:4	MD	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้บางส่วน
1:4	OSA	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด
1:4	GA	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด
1:5	MD	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด
1:5	OSA	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด
1:5	GA	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด

ตารางที่ 4.3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์

อัตราส่วนเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ	สารช่วยทำแห้ง	ลักษณะผลิตภัณฑ์	ลักษณะการแห้ง
1:1	MD	ม้วนเป็นท่อน	ไม่แห้ง
1:1	OSA	ม้วนเป็นท่อน	ไม่แห้ง
1:1	GA	เป็นแผ่น	แห้งทั้งหมด
1:2	MD	ม้วนเป็นท่อน	ไม่แห้ง
1:2	OSA	ม้วนเป็นท่อน	แห้งบางส่วน
1:2	GA	เป็นแผ่น	แห้งทั้งหมด
1:3	MD	ม้วนเป็นท่อน	แห้งบางส่วน
1:3	OSA	ม้วนเป็นท่อน	แห้งทั้งหมด
1:3	GA	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
1:4	MD	เป็นแผ่น	แห้งบางส่วน
1:4	OSA	ม้วนเป็นท่อน	แห้งทั้งหมด
1:4	GA	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
1:5	MD	เป็นแผ่น	แห้งทั้งหมด
1:5	OSA	เป็นแผ่น	แห้งทั้งหมด
1:5	GA	เป็นผง	แห้งทั้งหมด



รูปที่ 4.1 ปริมาณร้อยละผลผลิตของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามอัตราส่วนเนื้อต่อน้ำ

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาความสามารถในการทำแห้งพบว่า การใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทริน, ซัคซินิค และกัมอารบิกที่ 10-40, 10-30 และ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะไม่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งและร่อนออกจากลูกกลิ้งโดยใช้ใบมีดขูดได้ทั้งหมด ขณะที่การใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทริน, ซัคซินิค และกัมอารบิกที่ 50-80, 40-80 และ 30-80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งและร่อนออกจากลูกกลิ้งโดยใช้ ใบมีดขูดได้ทั้งหมดดังตารางที่ 4.4 ซึ่งจะมีตัวอย่างภาพถ่ายลักษณะความสามารถในการทำแห้งของมะขามเปียกผงแสดงดังรูปที่ 4.2 และตัวอย่างภาพลักษณะของผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงแสดงดังรูปที่ 4.3 ขณะที่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าคุณภาพต่าง ๆ ของมะขามเปียกผงที่ได้จากสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการทำแห้งและลักษณะของผลิตภัณฑ์

สารช่วยทำแห้ง (%)	ความสามารถในการทำแห้ง		ลักษณะของผลิตภัณฑ์	
	การเกาะติดลูกกลิ้ง	การร่อนจากลูกกลิ้ง	ลักษณะผลิตภัณฑ์	ลักษณะการแห้ง
MD =10	เกาะติดบางส่วน	ร่อนออกไม่ได้	ม้วนเป็นท่อน	ไม่แห้ง
MD =20	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกไม่ได้	ม้วนเป็นท่อน	ไม่แห้ง
MD =30	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกไม่ได้	ม้วนเป็นท่อน	ไม่แห้ง
MD =40	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้บางส่วน	เป็นแผ่น	แห้งบางส่วน
MD =50	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นแผ่น	แห้งทั้งหมด
MD =60	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
MD =70	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
MD =80	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
OSA =10	เกาะติดบางส่วน	ร่อนออกไม่ได้	ม้วนเป็นท่อน	ไม่แห้ง
OSA =20	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกไม่ได้	ม้วนเป็นท่อน	ไม่แห้ง
OSA =30	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้บางส่วน	เป็นแผ่น	แห้งบางส่วน
OSA =40	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นแผ่น	แห้งทั้งหมด
OSA =50	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นแผ่น	แห้งทั้งหมด
OSA =60	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
OSA =70	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
OSA =80	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
GA =10	เกาะติดบางส่วน	ร่อนออกไม่ได้	ม้วนเป็นท่อน	ไม่แห้ง
GA =20	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้บางส่วน	เป็นแผ่น	แห้งบางส่วน
GA =30	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
GA =40	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
GA =50	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นผง	แห้งทั้งหมด
GA =60	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นแผ่น	แห้งทั้งหมด
GA =70	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นแผ่น	แห้งทั้งหมด
GA =80	เกาะติดทั้งหมด	ร่อนออกได้ทั้งหมด	เป็นแผ่น	แห้งทั้งหมด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(ก) เกาะติดบางส่วน-ร่อนออกไม่ได้

(ข) เกาะติดทั้งหมด-ร่อนออกไม่ได้

(ค) เกาะติดทั้งหมด-ร่อนออกได้บางส่วน

(ง) เกาะติดทั้งหมด-ร่อนออกได้ทั้งหมด

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพลักษณะความสามารถในการทำแห้งของมะขามเปียกผง

(ก) ม้วนเป็นท่อน-ไม่แห้ง

(ข) ม้วนเป็นท่อน-แห้งบางส่วน

(ค) ม้วนเป็นท่อน-แห้งทั้งหมด

(ง) เป็นแผ่น-แห้งบางส่วน

(จ) เป็นแผ่น-แห้งทั้งหมด

(ฉ) เป็นผง-แห้งทั้งหมด

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างภาพลักษณะของผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.5 ค่าคุณภาพต่าง ๆ จากการศึกษาอัตราส่วนของสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

สารช่วยทำแห้ง (%)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	ปริมาณร้อยละผลผลิต (%)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณน้ำอิสระ (-)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%)
MD =10	18.12±0.05^{b}	35.07±0.14^{b}	10.52±0.12^{p}	0.35±0.01^{p}	12.93±0.05^{v}
MD =20	24.74±0.03^{e}	51.97±0.10^{e}	7.36±0.08^{m}	0.33±0.01^{o}	11.82±0.10^{u}
MD =30	30.17±0.04^{h}	68.23±0.12^{g}	4.64±0.03^{k}	0.30±0.01^{m}	10.86±0.10^{t}
MD =40	34.75±0.43^{k}	78.17±0.09^{i}	2.53±0.01^{f}	0.21±0.01^{def}	9.60±0.05^{o}
MD =50	38.78±0.09^{n}	80.37±0.20^{k}	2.56±0.01^{f}	0.22±0.01^{ghi}	9.21±0.05^{m}
MD =60	42.29±0.03^{q}	82.33±0.06^{l}	1.75±0.01^{bc}	0.20±0.01^{ab}	8.58±0.05^{i}
MD =70	45.33±0.13^{t}	90.42±0.25^{p}	1.57±0.06^{ab}	0.19±0.01^{ab}	7.89±0.05^{f}
MD =80	48.12±0.07^{w}	91.03±0.16^{q}	1.49±0.06^{a}	0.19±0.01^{a}	7.35±0.05^{d}
OSA =10	18.07±0.04^{b}	26.87±0.04^{a}	9.83±0.04^{o}	0.31±0.01^{n}	7.26±0.10^{d}
OSA =20	24.25±0.07^{d}	42.46±0.15^{d}	6.53±0.04^{l}	0.31±0.01^{n}	5.91±0.05^{b}
OSA =30	29.66±0.03^{g}	71.40±0.03^{h}	3.41±0.06^{i}	0.25±0.01^{k}	9.03±0.05^{l}
OSA =40	34.31±0.03^{j}	86.17±0.18^{m}	2.61±0.12^{fg}	0.22±0.01^{hi}	10.38±0.05^{r}
OSA =50	38.21±0.05^{m}	89.59±0.12^{o}	2.48±0.01^{ef}	0.20±0.01^{abc}	10.74±0.05^{s}
OSA =60	41.69±0.09^{p}	91.09±0.20^{q}	1.88±0.01^{cd}	0.21±0.01^{cde}	8.91±0.00^{k}
OSA =70	44.89±0.06^{s}	91.56±0.13^{r}	1.63±0.01^{ab}	0.20±0.01^{bcd}	8.40±0.05^{h}
OSA =80	47.89±0.04^{v}	91.88±0.08^{s}	1.56±0.01^{ab}	0.20±0.01^{ab}	7.98±0.05^{f}
GA =10	17.69±0.03^{a}	37.72±0.10^{c}	7.56±0.10^{n}	0.30±0.01^{m}	6.09±0.05^{c}
GA =20	24.02±0.02^{c}	52.85±0.04^{f}	4.11±0.01^{j}	0.28±0.01^{l}	4.11±0.05^{a}
GA =30	29.15±0.05^{f}	79.59±0.39^{j}	3.32±0.38^{i}	0.24±0.01^{j}	9.87±0.05^{q}
GA =40	33.53±0.01^{i}	82.29±0.28^{l}	2.97±0.29^{h}	0.23±0.01^{i}	9.75±0.05^{p}
GA =50	37.04±0.13^{l}	88.01±0.31^{n}	2.78±0.01^{gh}	0.23±0.01^{hi}	9.48±0.05^{n}
GA =60	40.13±0.01^{o}	90.64±0.10^{p}	2.60±0.12^{fg}	0.22±0.01^{fgh}	8.76±0.13^{j}
GA =70	43.20±0.04^{r}	90.96±0.09^{q}	2.31±0.01^{e}	0.22±0.01^{fgh}	8.13±0.05^{g}
GA =80	45.80±0.06^{u}	91.19±0.12^{q}	2.00±0.01^{d}	0.21±0.01^{efg}	7.53±0.13^{e}

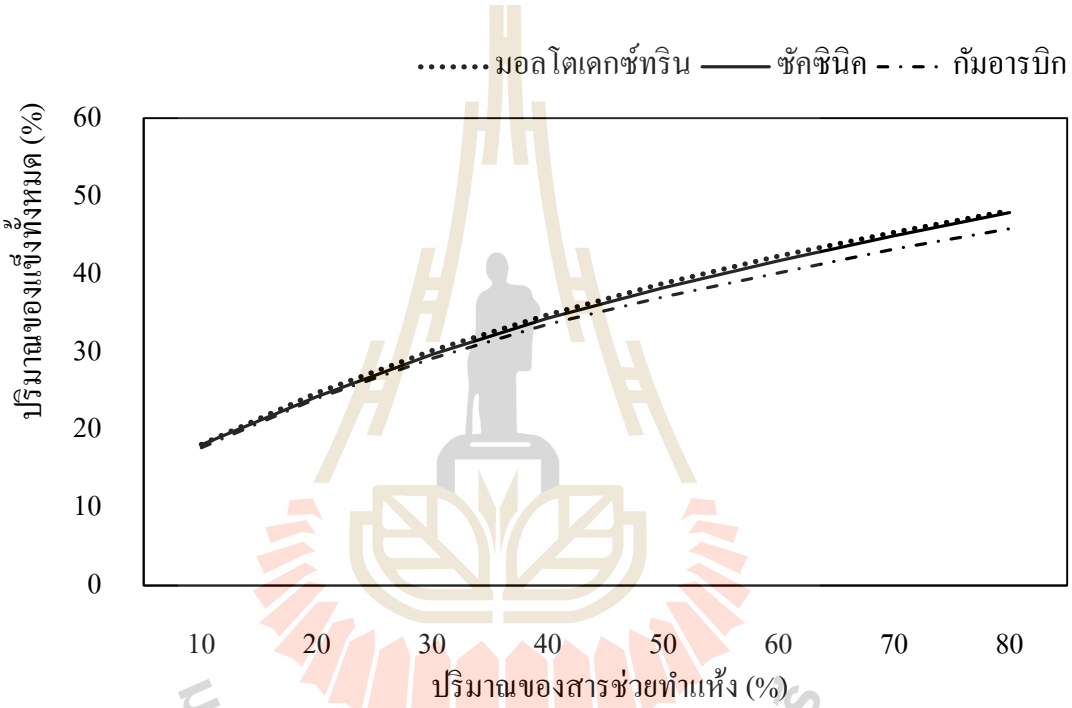
$^{a-w}$ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันคือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.5 ค่าคุณภาพต่าง ๆ จากการศึกษาอัตราส่วนของสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด (ต่อ)

สารช่วยทำแห้ง (%)	พีเอช (-)	ความแตกต่างของสี (-)	ความหนืด (Pa.s)	ความหนาแน่น (g/mL)	ความสามารถในการละลาย (%)
MD =10	3.03±0.01^{a}	16.74±0.02^{t}	0.01±0.01^{a}	1.12±0.01^{q}	67.06±0.71^{c}
MD =20	3.06±0.01^{b}	14.74±0.02^{r}	0.03±0.01^{d}	1.01±0.01^{o}	73.85±2.08^{ef}
MD =30	3.22±0.01^{d}	13.11±0.03^{q}	0.05±0.01^{e}	1.00±0.01^{o}	80.97±0.91^{hij}
MD =40	3.63±0.01^{j}	9.61±0.01^{n}	0.09±0.01^{h}	0.98±0.01^{n}	81.67±2.43^{ijk}
MD =50	3.79±0.01^{n}	6.73±0.02^{j}	0.17±0.01^{j}	0.87±0.02^{k}	82.00±1.11^{ijk}
MD =60	3.83±0.01^{o}	3.19±0.02^{e}	0.32±0.01^{l}	0.76±0.01^{i}	82.53±0.54^{ijk}
MD =70	3.96±0.01^{r}	2.14±0.01^{c}	0.53±0.01^{o}	0.67±0.01^{d}	82.58±1.26^{ijk}
MD =80	4.01±0.01^{s}	1.68±0.02^{a}	0.92±0.01^{r}	0.65±0.01^{c}	84.48±0.85^{k}
OSA =10	3.19±0.01^{c}	10.50±0.03^{o}	0.03±0.01^{c}	1.00±0.01^{o}	69.20±1.06^{cd}
OSA =20	3.58±0.01^{i}	8.65±0.03^{m}	0.08±0.01^{f}	0.94±0.02^{m}	74.85±1.12^{fg}
OSA =30	3.54±0.01^{h}	7.25±0.05^{k}	0.09±0.01^{i}	0.90±0.01^{l}	80.68±0.76^{hi}
OSA =40	3.32±0.01^{e}	6.36±0.03^{i}	0.34±0.01^{m}	0.77±0.01^{i}	81.16±1.24^{ijk}
OSA =50	3.20±0.01^{c}	5.11±0.01^{h}	0.60±0.01^{p}	0.68±0.01^{de}	81.33±1.54^{ijk}
OSA =60	3.57±0.01^{i}	3.72±0.02^{f}	1.06±0.01^{s}	0.63±0.01^{b}	81.63±1.60^{ijk}
OSA =70	3.66±0.01^{k}	2.11±0.01^{c}	1.82±0.01^{u}	0.62±0.01^{a}	83.73±3.60^{ijk}
OSA =80	3.73±0.01^{l}	1.63±0.01^{a}	2.88±0.01^{w}	0.61±0.01^{a}	84.27±2.38^{jk}
GA =10	3.31±0.01^{e}	19.72±0.03^{u}	0.03±0.01^{b}	1.04±0.01^{p}	46.13±1.95^{a}
GA =20	3.76±0.01^{m}	16.28±0.04^{s}	0.08±0.01^{g}	0.83±0.01^{j}	59.60±0.93^{b}
GA =30	3.41±0.01^{f}	11.09±0.11^{p}	0.19±0.01^{k}	0.74±0.01^{h}	67.41±4.15^{c}
GA =40	3.52±0.01^{g}	9.56±0.02^{n}	0.46±0.01^{n}	0.73±0.01^{gh}	71.07±0.71^{de}
GA =50	3.65±0.01^{k}	7.63±0.02^{l}	0.86±0.01^{q}	0.73±0.01^{gh}	72.81±0.71^{ef}
GA =60	3.75±0.01^{m}	4.95±0.05^{g}	1.32±0.01^{t}	0.72±0.01^{fg}	75.53±1.10^{fg}
GA =70	3.85±0.01^{p}	2.24±0.01^{d}	2.22±0.01^{v}	0.71±0.01^{f}	77.84±2.24^{gh}
GA =80	3.89±0.01^{q}	1.89±0.02^{b}	3.05±0.01^{x}	0.69±0.01^{e}	77.93±1.14^{gh}

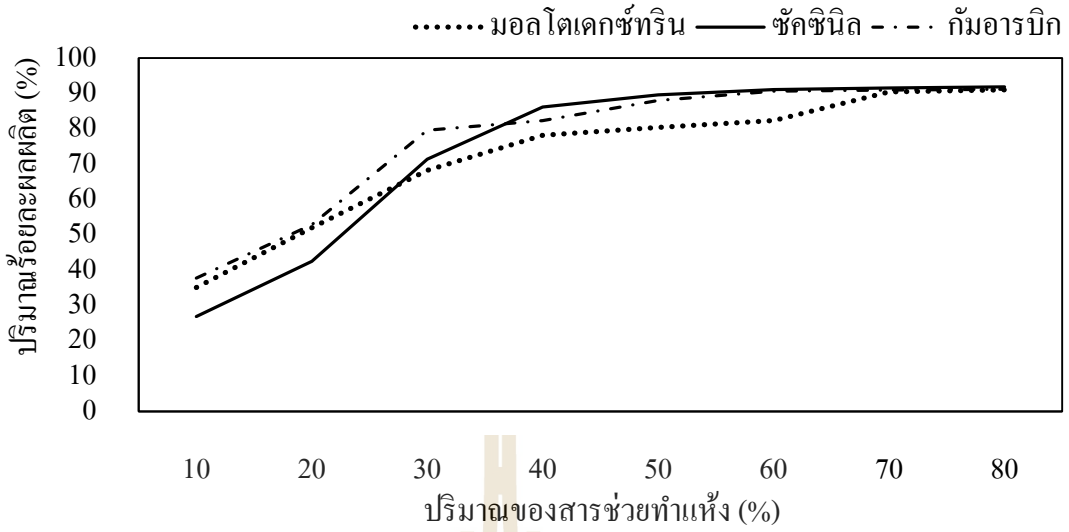
$^{a-x}$ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันคือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 17.69-48.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.4 เนื่องจากสารช่วยทำแห้งเป็นของแข็งเมื่อเติมลงในน้ำมะขามเปียกจึงทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารละลายเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Quek, Chok, and Swedlund (2007) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแตงโมผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทริน พบว่า แตงโมผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่าแตงโมผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 5 เปอร์เซ็นต์



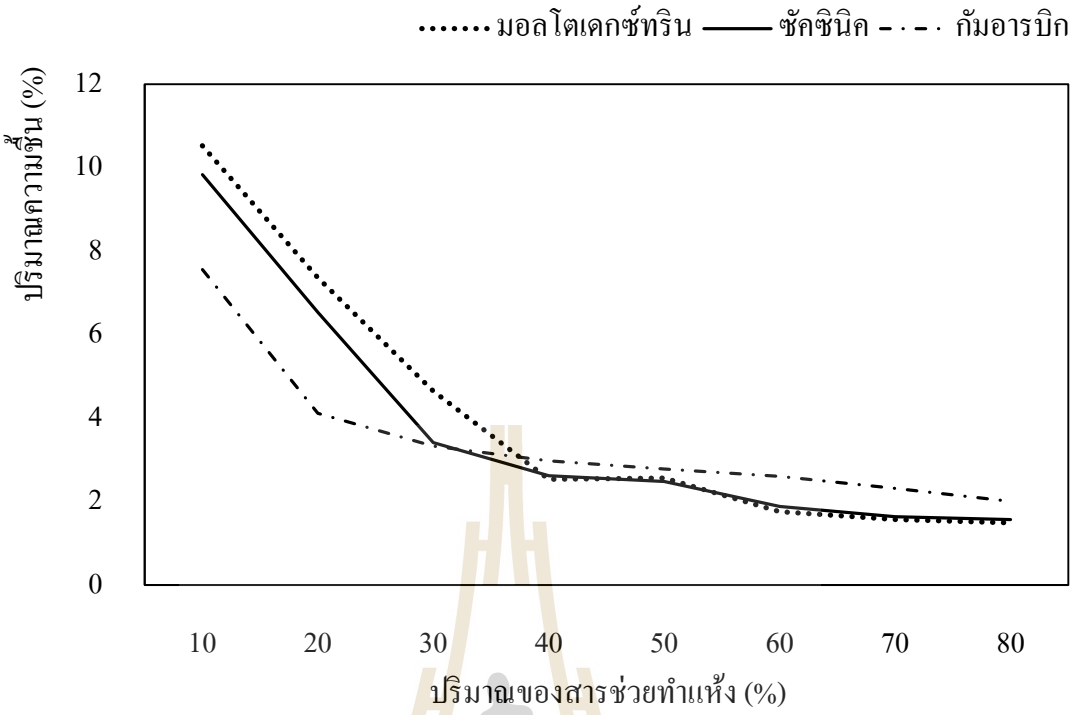
รูปที่ 4.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของมะขามเปียกก่อนทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง

ปริมาณร้อยละผลผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 26.87-91.88 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณร้อยละผลผลิตจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.5 เนื่องจากสารช่วยทำแห้งทำให้สารละลายมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ในระหว่างการทำแห้งสารละลายไม่เกิดการเหนียวติดที่บริเวณผิวของลูกกลิ้ง กระบวนการทำแห้งจึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Avila, Rodriguez, and Velasquez (2015) ที่ศึกษาคุณภาพของน้ำตาลผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า น้ำตาลผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณร้อยละผลผลิตน้อยกว่าน้ำตาลผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 15 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

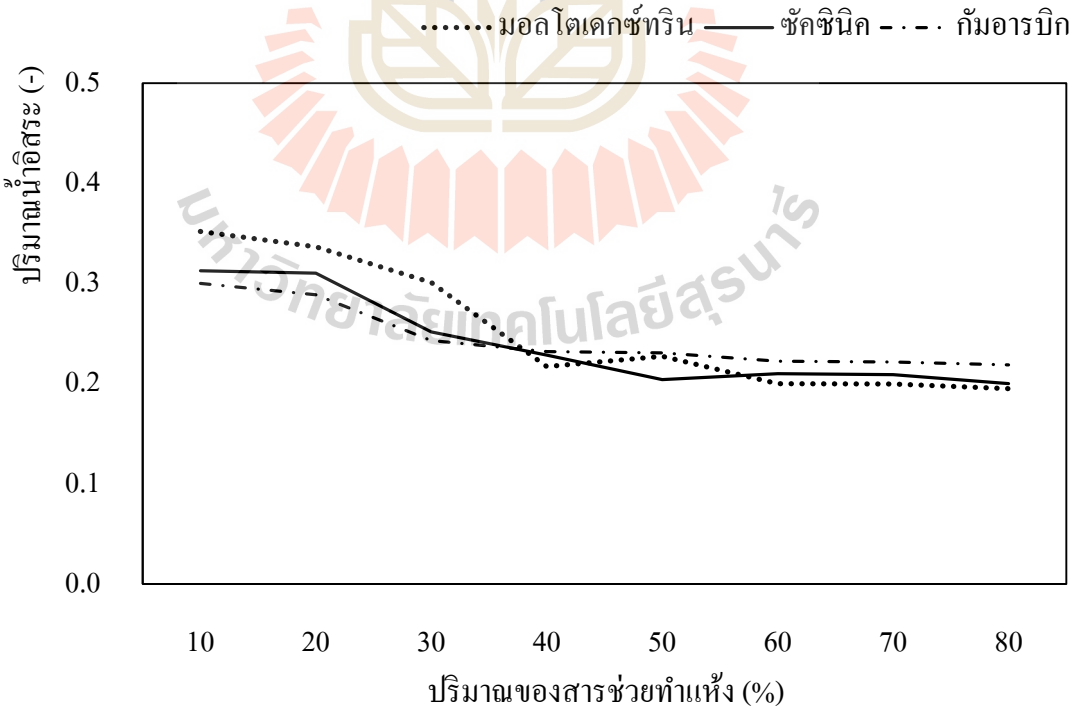


รูปที่ 4.5 ปริมาณร้อยละผลผลิตของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง

ปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 1.49-10.52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณความชื้นจะลดลง เมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.6 ขณะที่ปริมาณน้ำอิสระมีค่าอยู่ในช่วง 0.19-0.35 ซึ่งปริมาณน้ำอิสระจะลดลง เมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.7 เนื่องจากสารช่วยทำแห้งทำให้กระบวนการทำแห้งเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ส่งผลให้น้ำที่อยู่ในตัวอย่างสามารถระเหยออกไปได้ดีจึงทำให้ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jittanit, Niti-Att, and Techanuntachaikul (2010) ที่ศึกษากระบวนการทำแห้งน้ำสัปปะรดด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า สัปปะรดผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 15 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณความชื้นมากกว่าสัปปะรดผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 20 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่งานวิจัยของ Papadakis, Gardeli, and Tzia (2006) ศึกษากระบวนการทำแห้งน้ำลูกเกดด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่าลูกเกดผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 50 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำอิสระมากกว่าลูกเกดผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 67 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงในทุกการทดลองนั้นมีค่าปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.60 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนมะขามผงสำเร็จรูป (สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2549) ทั้งยังมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้ง (สุพจน์ ตุงคเศรวงศ์, 2556) ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงสามารถเก็บรักษาไว้ได้โดยไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อรา แต่ทั้งนี้จะต้องทำการเก็บรักษาไว้ในสภาวะและบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกิดการดูดความชื้นกลับ ซึ่งอาจส่งผลต่อปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นให้มีค่าเพิ่มขึ้น จนทำให้ผลิตภัณฑ์เหนียวและเกาะตัวกันเป็นก้อนระหว่างการเก็บรักษา (ชนิตา ศิริรัตน์, 2552)

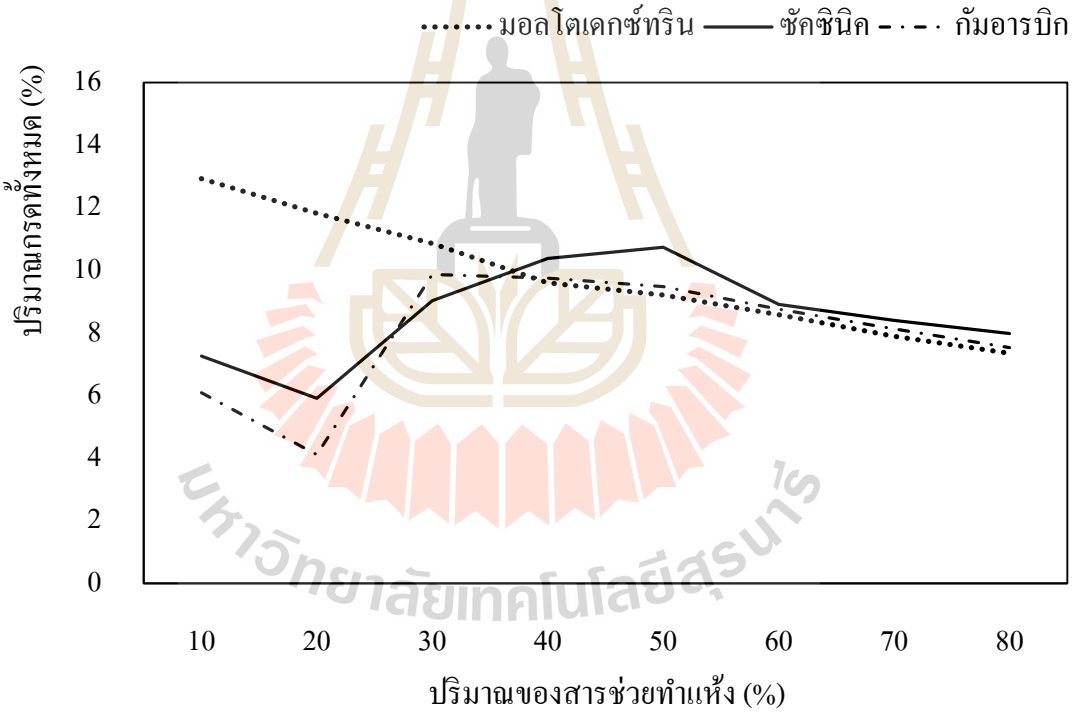


รูปที่ 4.6 ปริมาณความชื้นของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง

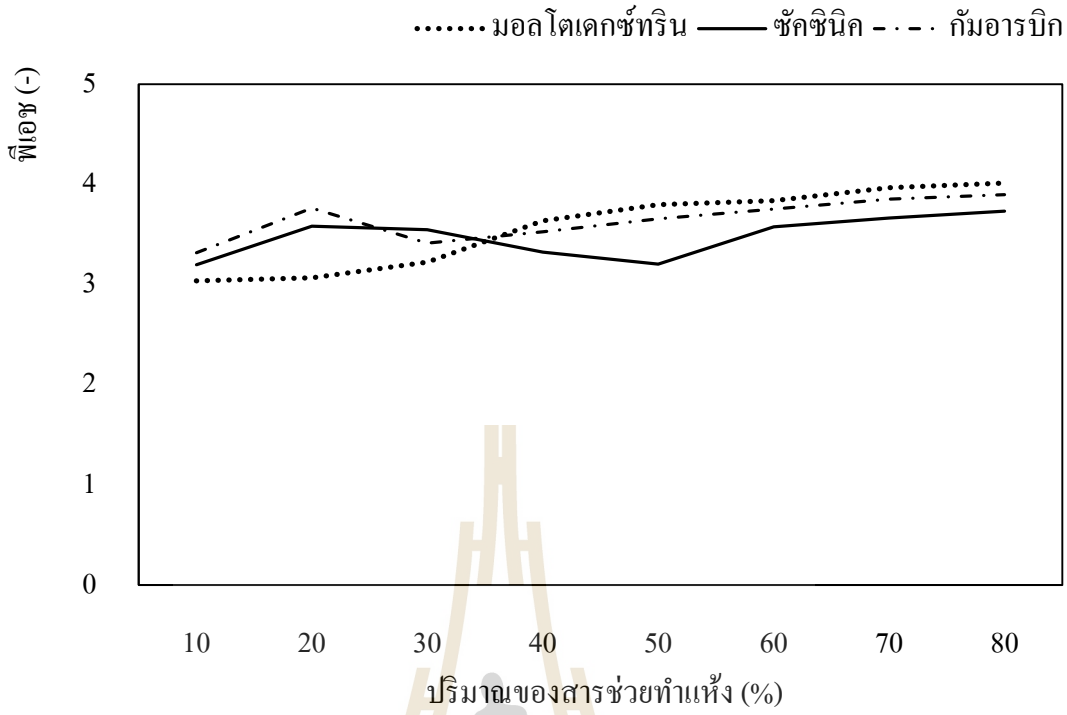


รูปที่ 4.7 ปริมาณน้ำอิสระของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง

ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 4.11-12.93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลงเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.8 ขณะที่พีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 3.03-4.01 ซึ่งพีเอชจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.9 เนื่องจากสารช่วยทำแห้งช่วยเจือจางองค์ประกอบจำพวกกรดอินทรีย์ที่อยู่ในสารละลายน้ำมะขามเปียกลงจึงส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดลดลงอีกทั้งยังส่งผลให้พีเอชเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ekpong et al. (2016) ที่ศึกษาผลของสารช่วยทำแห้งและอุณหภูมิต่อการผลิตมะขามผงด้วยการทำแห้งแบบโฟมโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า มะขามผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดทั้งหมดมากกว่ามะขามผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามกลับพบว่า มะขามผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 5 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชน้อยกว่ามะขามผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

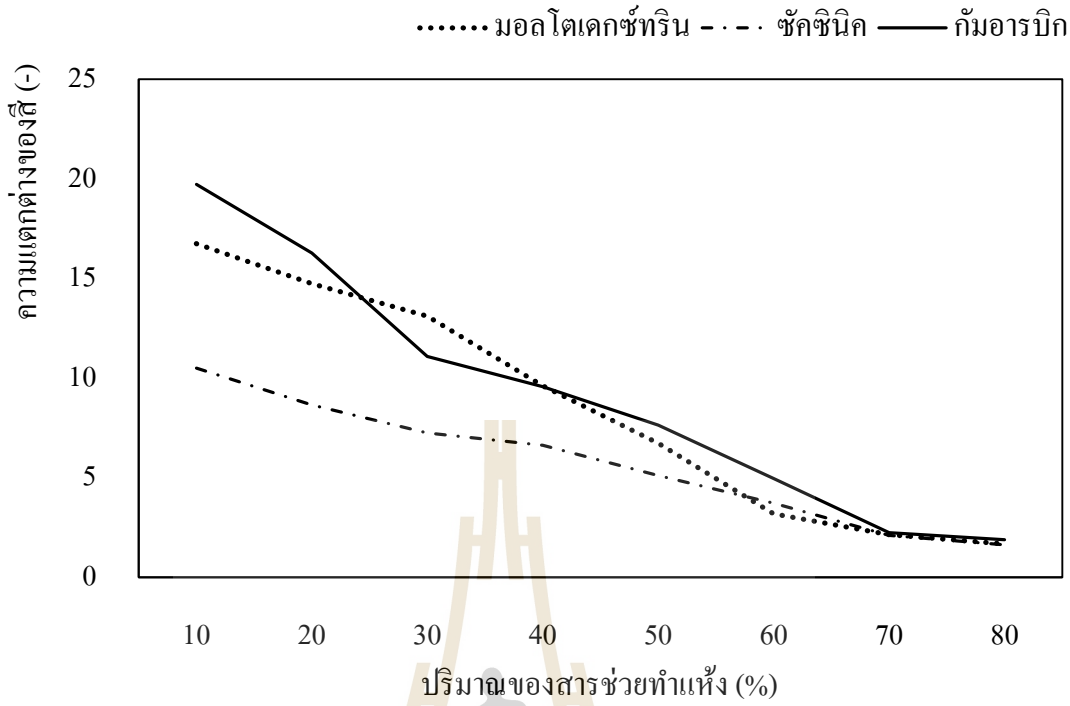


รูปที่ 4.8 ปริมาณกรดทั้งหมดของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง



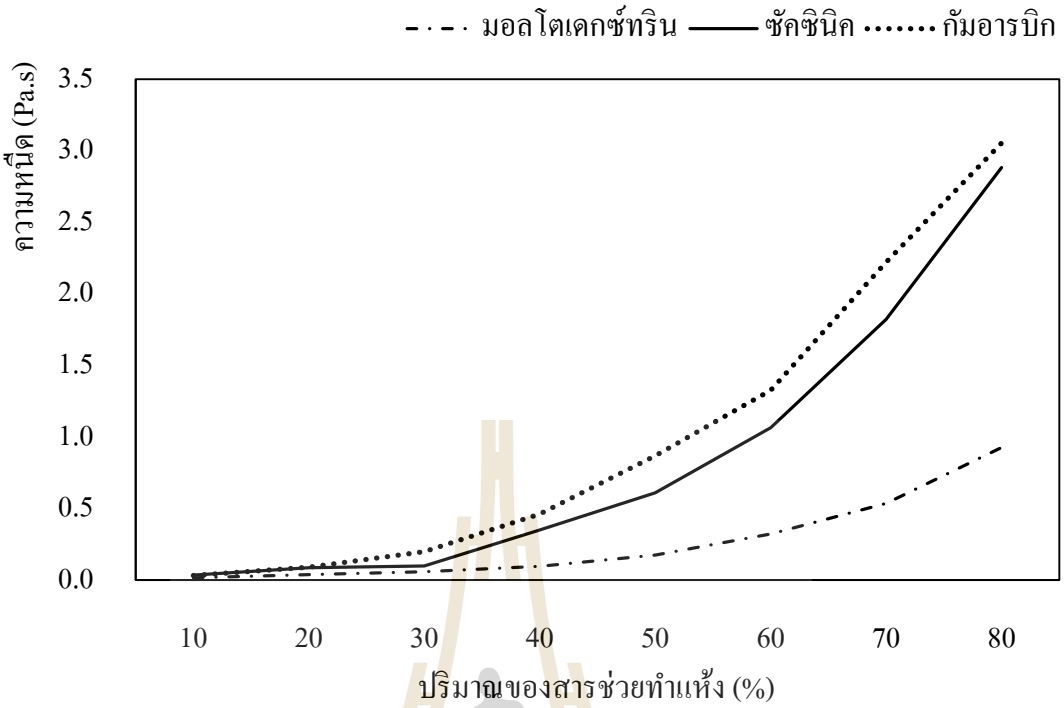
รูปที่ 4.9 พีเอชของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง

ความแตกต่างของสีมีค่าอยู่ในช่วง 1.63-19.72 ซึ่งความแตกต่างของสีจะลดลง เมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.10 เนื่องจากสารช่วยทำแห้งช่วยเจือจางปริมาณน้ำตาลที่อยู่ในสารละลายลงทำให้ในระหว่างการทำแห้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดขึ้นได้น้อย กล่าวคือ น้ำตาลเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์และมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งหากกำหนดให้อุณหภูมิมีค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้น น้ำตาลจึงถูกเจือจางมากขึ้นทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเกิดขึ้นได้น้อยลง และส่งผลต่อความแตกต่างของสีให้มีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ สโรบล สโรชวิกสิต และ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี (2549) ที่ศึกษากระบวนการทำแห้งน้ำสัปปะรดด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า สัปปะรดผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 40 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างของสีมากกว่าสัปปะรดผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 43 เปอร์เซ็นต์



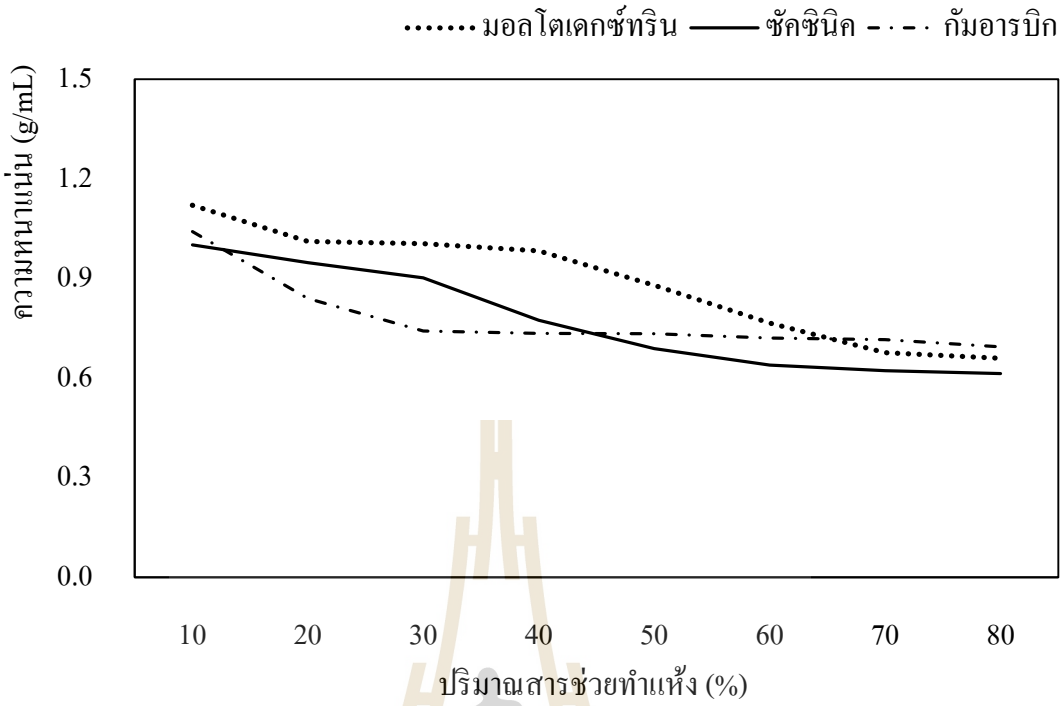
รูปที่ 4.10 ความแตกต่างของสีของมะขามเปียกก่อนและหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง

ความหนืดมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-3.05 ปาสคาลวินาที ซึ่งความหนืดจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.11 เนื่องจากสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิดเป็นของแข็งที่ผลิตได้จากการนำแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตจากพืชมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งเมื่อเติมของแข็งนี้ลงในสารละลายน้ำมะขามเปียกก็จะทำให้ของแข็งดังกล่าวสามารถดูดซับน้ำเอาไว้และพองตัวมากขึ้นทั้งยังทำให้ปริมาณของน้ำที่อยู่ในสารละลายทั้งหมดลดลงจึงส่งผลให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, มณฑิรา นพรัตน์, กฤษดา เรืองเดช, วาสนา พาพันธ์, และ อำนวย เลิศรุ่นพาณิชย์ (2546) ที่ศึกษาสมบัติทางกายภาพของนมถั่วเหลืองผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า นมถั่วเหลืองผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 6 เปอร์เซ็นต์ มีความหนืดน้อยกว่านมถั่วเหลืองผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 9 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ลักษณะพฤติกรรมการไหลของสารละลายน้ำมะขามเปียกนี้จะมีพฤติกรรมเป็นแบบนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian fluid) ประเภทของไหลแบบบิงแฮมพลาสติก (Bingham plastic fluid) กล่าวคือ สารละลายน้ำมะขามเปียก นี้เป็นของไหลที่ต้องการแรงกระทำเริ่มต้นค่าหนึ่งก่อนเพื่อจะทำให้ของเหลวนั้นสามารถไหลได้คล้ายกับผลิตภัณฑ์ประเภทซอสมะเขือเทศ



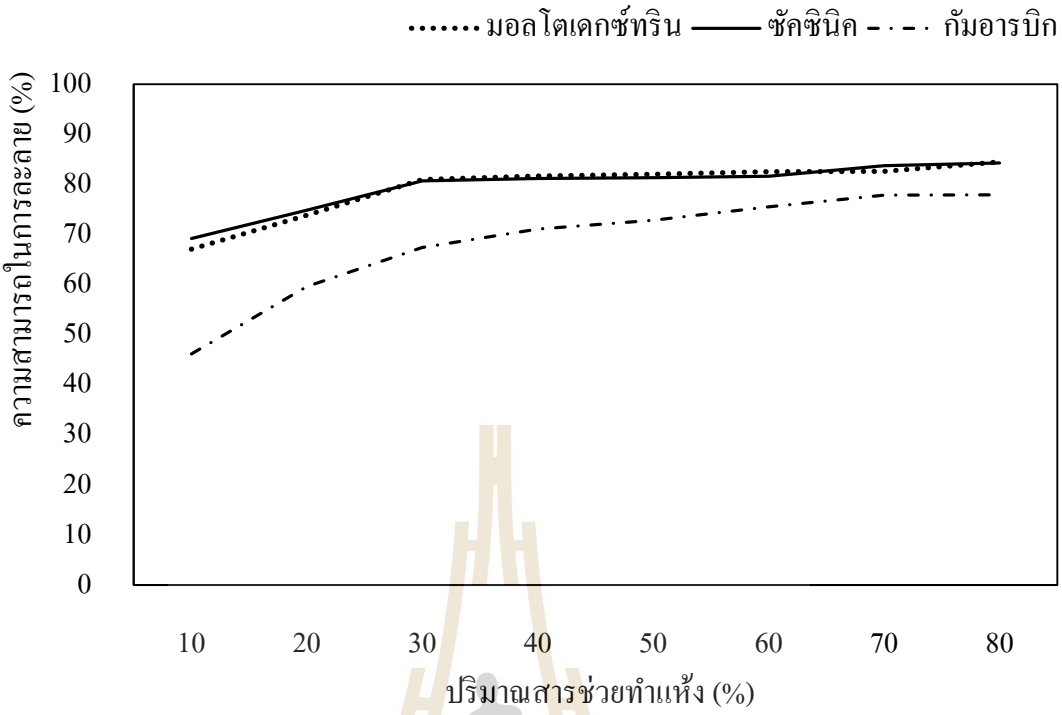
รูปที่ 4.11 ความหนืดของมะขามเปียกก่อนทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง

ความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 0.61-1.12 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งความหนาแน่นจะลดลง เมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.12 เนื่องจากสารช่วยทำแห้งช่วยให้สารละลายไม่เกิดการเหนียวติดที่บริเวณผิวของลูกกลิ้ง การทำแห้งจึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้สารละลายพองตัวได้ดีและน้ำที่อยู่ในตัวอย่างสามารถระเหยออกไปได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการทำแห้งจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคมากขึ้นและทำให้ความหนาแน่นลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vardin and Yasar (2012) ที่ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตทับทิมผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า ทับทิมผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 100 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นน้อยกว่าทับทิมผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 75 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ความหนาแน่นของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง

ความสามารถในการละลายมีค่าอยู่ในช่วง 46.13-84.48 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.13 เนื่องจากสารช่วยทำแห้งช่วยให้สารละลายไม่เกิดการเหนียวติดที่บริเวณผิวของลูกกลิ้ง การทำแห้งจึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีลักษณะแห้งและแยกเป็นอิสระจากกัน เมื่อนำมาละลายกลับคืนน้ำจึงสามารถแทรกซึมเข้าไปยังอนุภาคได้อย่างทั่วถึงจึงทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภัทรี ทิพยรักษ์ (2549) ที่ศึกษากระบวนการผลิตเครื่องดื่มลูกเดือยผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 5 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการละลายน้อยกว่าเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 10 เปอร์เซ็นต์ 15 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 ความสามารถในการละลายของมะขามเปียกหลังทำแห้งตามปริมาณสารช่วยทำแห้ง

อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของมะขามเปียกผงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4.6 เนื่องจากปริมาณความชื้นดังที่ Nurhadi, Andoyo, Mahani, and Rossi (2012) กล่าวไว้ว่า ปริมาณความชื้นมีอิทธิพลแบบแปรผกผันต่ออุณหภูมิกลาสทรานซิชัน โดยอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของน้ำจะมีค่าต่ำประมาณ -138 องศาเซลเซียส และเมื่อน้ำทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายซึ่งอยู่ในสารละลายผสม (สารละลายน้ำมะขามเปียก) ดังนั้นหากในสารละลายผสมนั้นมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มากก็จะทำให้ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของสารละลายผสมนั้นมีค่าลดลงมาก ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับปริมาณของสารช่วยทำแห้งที่เติมลงไปในสารละลายด้วย คือ หากเติมสารช่วยทำแห้งลงไปในสารละลายเพิ่มขึ้นก็จะทำให้มีสารช่วยทำแห้งนั้นเข้าไปแทนที่น้ำที่อยู่ในสารละลายได้เพิ่มขึ้นและส่งผลให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชันมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Goula and Adamopoulos (2010) ที่ศึกษาเทคนิคการทำแห้งน้ำส้มเข้มข้นด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า น้ำส้มผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีอุณหภูมิกลาสทรานซิชันต่ำกว่าน้ำส้มผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 5 เปอร์เซ็นต์ 10 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้หากพิจารณาสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดที่อัตราส่วนการผสมสารช่วยทำแห้งเท่ากันที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ซัคซินิคจะมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันสูงสุด รองลงมาคือ มอลโตเดกซ์ทริน และกัมอารบิก ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณ

ความชื้นมีอิทธิพลแบบแปรผกผันต่ออุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ดังนั้นซัคซินิคซึ่งมีปริมาณความชื้นต่ำสุดจึงทำให้มีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันสูงสุดนั่นเอง สอดคล้องกับดวงพร คุณาสุจริต (2554) ที่กล่าวไว้ว่า ซัคซินิคจะมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันสูงสุดเท่ากับ 243 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ มอลโตเดกซ์ทรินจะมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส และต่ำสุดคือ กัมอารบิกจะมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานเท่ากับ 126 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของสารละลายน้ำมะขามเปียกที่ผสมซัคซินิค

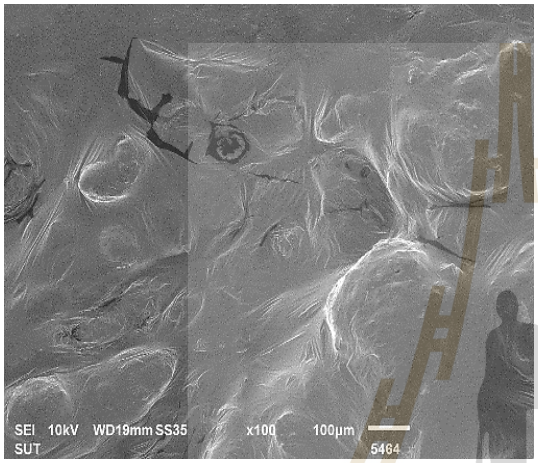
อัตราส่วนของการผสม (%)	Tg_{middle} (^{o}C)
0	18.8
40	44.8
50	54.4

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันที่อัตราส่วนการผสมสารช่วยทำแห้ง 50 เปอร์เซ็นต์

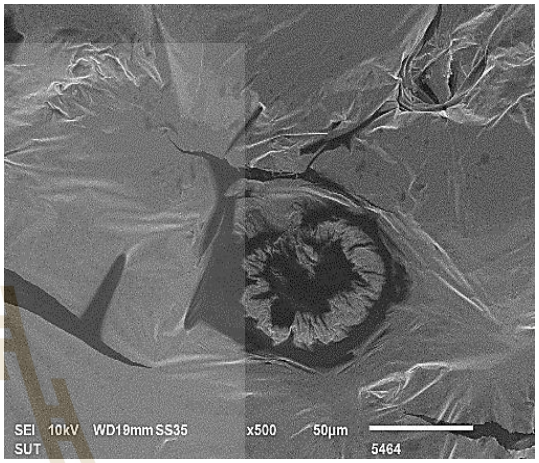
ชนิดของสารช่วยทำแห้ง	Tg_{middle} (^{o}C)
MD	53.4
OSA	54.4
GA	51.4

ภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างในระดับจุลภาคของมะขามเปียกผงแสดงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ภาพถ่ายของมะขามเปียกผงที่ไม่มีสารช่วยทำแห้งจะมีลักษณะโครงสร้างเป็นอนุภาคขนาดใหญ่และมีบริเวณสีดำเกิดขึ้นโดยสันนิษฐานว่าเป็นส่วนของบริเวณที่มีความชื้นสูงเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งมีลักษณะเป็นแผ่นและไม่แห้งเมื่อนำมาถ่ายภาพจึงอาจเกิดบริเวณสีดำขึ้นดังรูปที่ 4.14 (ก) และ 4.14 (ข) ขณะที่มะขามเปียกผงที่มีสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินจะมีลักษณะโครงสร้างเป็นอนุภาคขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วบริเวณเมื่อถ่ายภาพด้วยกำลังขยายต่ำดังรูปที่ 4.14 (ค) และเมื่อเพิ่มกำลังขยายจะพบว่าอนุภาคขนาดเล็กนั้นถูกปกคลุมด้วยอนุภาคที่เปรียบเสมือนร่างแหซึ่งมีรูตาข่ายขนาดเล็กเป็นจำนวนมากอีกทั้งอนุภาคนี้ยังห่อหุ้มอนุภาคขนาดเล็กกว่าเอาไว้ภายในดังรูปที่ 4.14 (ง) เช่นเดียวกับมะขามเปียกผงที่มีสารช่วยทำแห้งชนิดซัคซินิคซึ่งจะมีลักษณะโครงสร้างเป็นอนุภาคขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วบริเวณเมื่อถ่ายภาพด้วยกำลังขยายต่ำดังรูปที่ 4.14 (จ) และเมื่อเพิ่มกำลังขยายจะพบว่าอนุภาคขนาดเล็กนั้นถูกปกคลุมด้วยอนุภาคที่เปรียบ

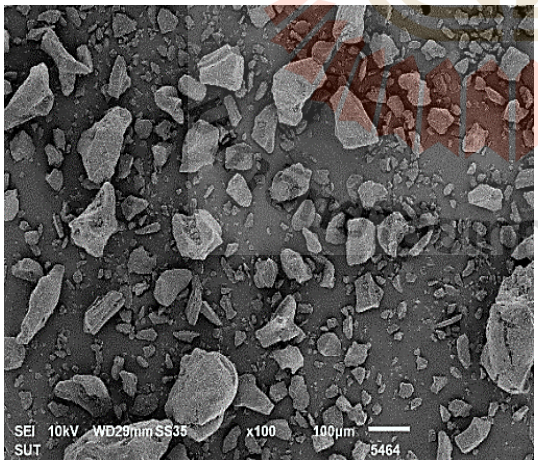
เสมือนร่างแหซึ่งมีรูตาข่ายขนาดเล็กเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกับสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทริน แต่จะมีจำนวนรูตาข่ายน้อยกว่าอีกทั้งอนุภาคนี้ยังห่อหุ้มอนุภาคขนาดเล็กกว่าเอาไว้ภายในดังรูปที่ 4.14 (ฉ) ส่วนมะขามเปียกผงที่มีสารช่วยทำแห้งชนิดกัมอารบิกจะมีลักษณะโครงสร้างเป็นอนุภาคขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วบริเวณเมื่อถ่ายภาพด้วยกำลังขยายต่ำดังรูปที่ 4.14 (ช) และเมื่อเพิ่มกำลังขยายจะพบว่าอนุภาคขนาดเล็กนั้นถูกปกคลุมด้วยอนุภาคที่เปรียบเสมือนร่างแหซึ่งมีรูตาข่ายขนาดใหญ่และยังพบว่ามีอนุภาคบางส่วนที่ไม่มีรูตาข่ายปกคลุมดังรูปที่ 4.14 (ซ)



(ก) มะขามที่กำลังขยาย 100X



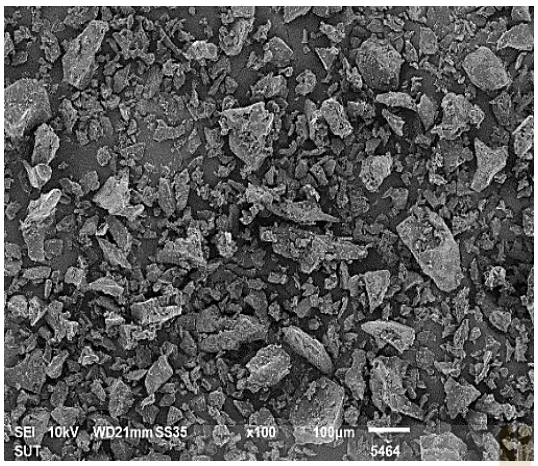
(ข) มะขามที่กำลังขยาย 500X



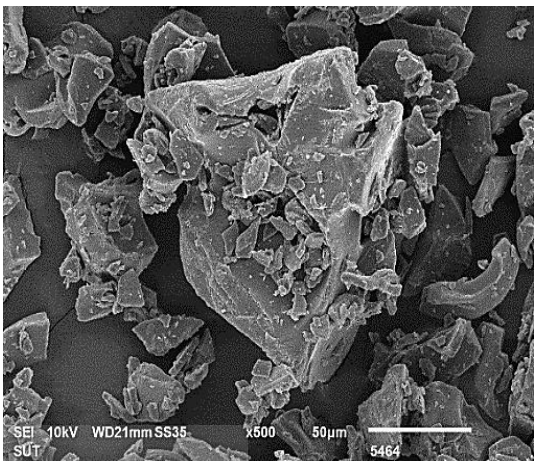
(ค) มอลโตเดกซ์ทรินที่กำลังขยาย 100X

(ง) มอลโตเดกซ์ทรินที่กำลังขยาย 500X

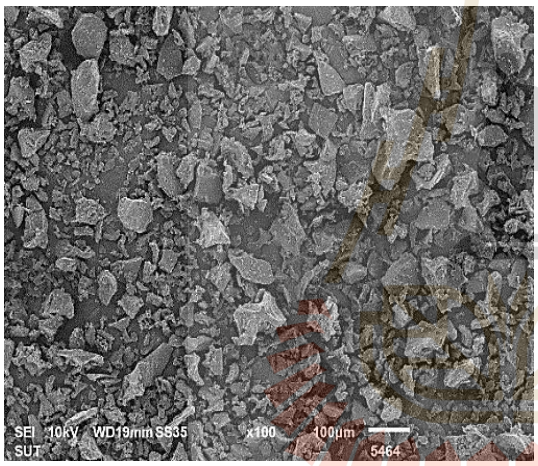
รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายโครงสร้างของมะขามเปียกผงที่อัตราส่วนสารช่วยทำแห้ง 50 เปอร์เซ็นต์



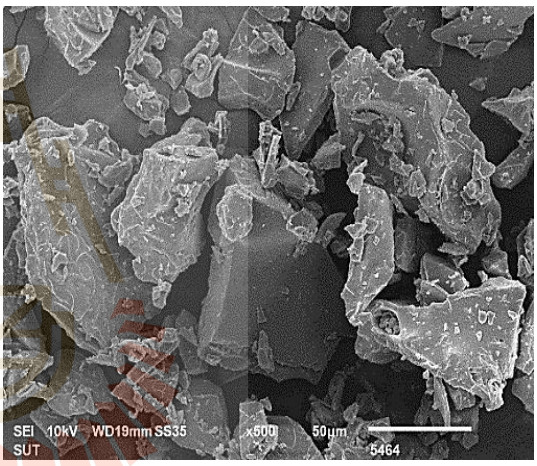
(จ) ซัคซินิคที่กำลังขยาย 100X



(ฉ) ซัคซินิคที่กำลังขยาย 500X



(ช) กัมอารบิกที่กำลังขยาย 100X



(ซ) กัมอารบิกที่กำลังขยาย 500X

รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายโครงสร้างของมะขามเปียกผงที่อัตราส่วนสารช่วยทำแห้ง 50 เปอร์เซ็นต์ (ต่อ)

4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าคุณภาพต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งหมายถึงค่าคุณภาพทั้งหมดมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรต้นและตัวแปรตามนั้นมีความสัมพันธ์กันดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าคุณภาพต่าง ๆ จากการศึกษาอัตราส่วนของสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

ค่าคุณภาพ	สิ่งทดลอง						
	1	2	3	4	5	6	7
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	40.15±0.08^{c}	39.92±0.08^{b}	39.59±0.11^{a}	39.81±0.06^{b}	39.78±0.10^{b}	40.46±0.07^{d}	39.62±0.01^{a}
ปริมาณร้อยละผลผลิต (%)	87.35±0.22^{f}	85.33±0.20^{e}	78.62±0.20^{c}	78.65±0.13^{c}	82.10±0.21^{d}	77.67±0.13^{b}	74.97±0.02^{a}
ปริมาณความชื้น (%)	3.07±0.03^{c}	2.75±0.06^{b}	2.77±0.04^{b}	2.79±0.01^{b}	2.77±0.01^{b}	2.43±0.04^{a}	3.01±0.01^{c}
ปริมาณน้ำอิสระ (-)	0.21±0.01^{abc}	0.22±0.01^{bc}	0.19±0.01^{ab}	0.23±0.01^{c}	0.23±0.03^{c}	0.18±0.02^{a}	0.20±0.01^{abc}
ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	8.43±0.05^{a}	9.21±0.05^{c}	9.09±0.01^{b}	9.48±0.05^{f}	9.39±0.05^{e}	9.03±0.05^{b}	9.30±0.05^{d}
พีเอช (-)	3.33±0.01^{g}	3.07±0.01^{d}	3.13±0.01^{e}	2.99±0.01^{a}	3.02±0.01^{b}	3.17±0.01^{f}	3.04±0.01^{c}
ความแตกต่างของสี (-)	9.12±0.02^{f}	7.50±0.01^{d}	10.26±0.01^{g}	8.21±0.01^{e}	4.65±0.01^{c}	4.56±0.01^{b}	4.22±0.01^{a}
ความหนืด (Pa.s)	0.19±0.01^{a}	0.26±0.01^{b}	0.27±0.01^{c}	0.33±0.01^{e}	0.36±0.01^{g}	0.35±0.01^{f}	0.29±0.01^{d}
ความหนาแน่น (g/mL)	0.77±0.01^{c}	0.64±0.01^{a}	0.77±0.01^{c}	0.70±0.01^{b}	0.70±0.01^{b}	0.76±0.01^{c}	0.76±0.01^{c}
ความสามารถในการละลาย (%)	81.14±1.26^{b}	81.47±0.31^{b}	78.73±0.65^{a}	81.39±0.85^{b}	78.92±0.71^{a}	78.63±0.96^{a}	80.07±0.30^{ab}

$^{a-g}$ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันคือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

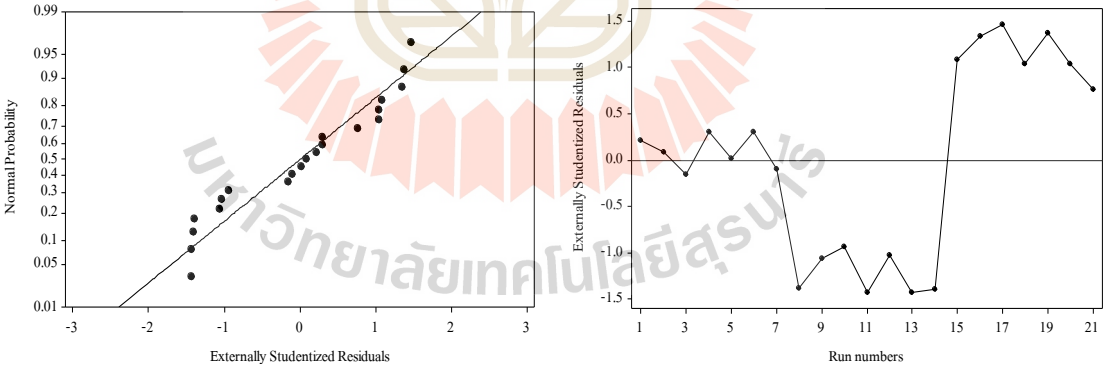
ขณะที่ระดับของความสัมพันธ์จะมากหรือน้อยสามารถพิจารณาได้จากค่า R^2 ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าคุณภาพประกอบด้วย ปริมาณร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความแตกต่างของสี ความหนาแน่น และความสามารถในการละลายมีค่า R^2 ต่ำ แสดงว่าตัวแปรต้นและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันน้อยจึงไม่นำค่าคุณภาพเหล่านี้มาทำการพิจารณา ดังนั้นค่าคุณภาพที่นำมาพิจารณาจึงมีทั้งหมดเพียง 4 ค่าประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด พีเอช และความหนืด ดังจะเห็นว่า ค่าคุณภาพทั้ง 4 มีค่า R^2มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะแก่การนำมาพยากรณ์สมการแบบจำลองเพื่อให้สามารถกำหนดสูตรของการผสมได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 4.9 ผลทดสอบการถดถอยแบบกำลังสองของค่าคุณภาพต่าง ๆ

ค่าคุณภาพ	สมการแบบจำลอง	R^2(%)
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	$0.42X_1+0.40X_2+0.57X_3-2.76\times10^{-4}X_1X_2-3.21\times10^{-3}X_1X_3-1.60\times10^{-3}X_2X_3$	92
ปริมาณร้อยละผลผลิต (%)	$1.09X_1+0.48X_2+1.83X_3-7.09\times10^{-4}X_1X_2-2.83\times10^{-2}X_1X_3+6.42\times10^{-3}X_2X_3$	62
ปริมาณความชื้น (%)	$3.44\times10^{-2}X_1+3.66\times10^{-2}X_2-2.14\times10^{-2}X_3-4.37\times10^{-4}X_1X_2+4.79\times10^{-4}X_1X_3+1.09\times10^{-3}X_2X_3$	78
ปริมาณน้ำอิสระ (-)	$2.48\times10^{-3}X_1+2.75\times10^{-3}X_2+2.33\times10^{-3}X_3-2.05\times10^{-5}X_1X_2-4.34\times10^{-5}X_1X_3+9.06\times10^{-5}X_2X_3$	50
ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	$6.59\times10^{-2}X_1+6.64\times10^{-2}X_2+2.81\times10^{-2}X_3+1.11\times10^{-3}X_1X_2+1.58\times10^{-3}X_1X_3+5.80\times10^{-4}X_2X_3$	98
พีเอช (-)	$3.93\times10^{-2}X_1+4.17\times10^{-2}X_2+5.34\times10^{-2}X_3-4.01\times10^{-4}X_1X_2-5.20\times10^{-4}X_1X_3-2.83\times10^{-4}X_2X_3$	99
ความแตกต่างของสี (-)	$9.89\times10^{-2}X_1+0.71X_2-0.44X_3-1.02\times10^{-2}X_1X_2+1.02\times10^{-2}X_1X_3-1.27\times10^{-2}X_2X_3$	75
ความหนืด (Pa.s)	$1.19\times10^{-3}X_1+5.81\times10^{-3}X_2+6.08\times10^{-3}X_3-2.24\times10^{-5}X_1X_2-1.52\times10^{-5}X_1X_3+7.91\times10^{-5}X_2X_3$	96
ความหนาแน่น (g/mL)	$8.79\times10^{-3}X_1+1.99\times10^{-2}X_2+6.07\times10^{-4}X_3-3.02\times10^{-4}X_1X_2+1.24\times10^{-4}X_1X_3-2.58\times10^{-5}X_2X_3$	64
ความสามารถในการละลาย (%)	$0.83X_1+0.76X_2+0.97X_3+1.82\times10^{-3}X_1X_2-4.23\times10^{-3}X_1X_3-3.94\times10^{-3}X_2X_3$	67

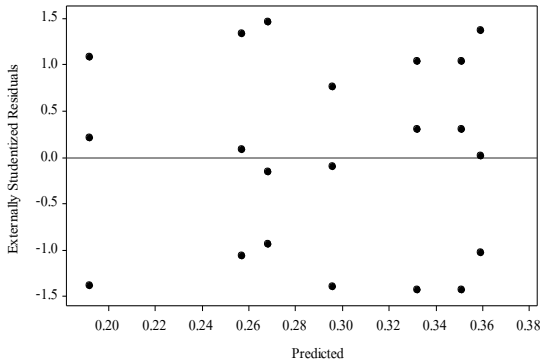
หมายเหตุ X_1 คือ มอลโตเดกซ์ทริน, X_2 คือ ซัคซินิค และ X_3 คือ กัมอารบิก

นอกจากนี้เพื่อเป็นการยืนยันความเหมาะสมของสมการแบบจำลองทั้ง 4 จึงต้องทำการตรวจสอบความเหมาะสมด้วยกราฟดังรูปที่ 4.15 ซึ่งแสดงตัวอย่างการตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองความหนืด โดยรูปที่ 4.15 (ก) เป็นการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแนบชิดตามแนวเส้นตรงดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ ส่วนรูปที่ 4.15 (ข) เป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ และรูปที่ 4.15 (ค) เป็นการตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งในทางบวกและทางลบดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ขณะที่รูป 4.15 (ง) เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวและแนบชิดตามแนวเส้นตรงดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน นอกจากนี้ค่าคุณภาพอีก 3 ค่าประกอบด้วยปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด และพีเอช ก็ถูกนำมาตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองด้วยวิธีการเดียวกัน และพบว่าผลการตรวจสอบที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกันคือ (1) ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ (2) ข้อมูลมีความเป็นอิสระ (3) ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน และ (4) ข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟของค่าคุณภาพทั้ง 4 จึงสามารถสรุปได้ว่า สมการแบบจำลองทั้ง 4 นี้มีความเหมาะสมเพียงพอที่จะนำมาใช้พยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ

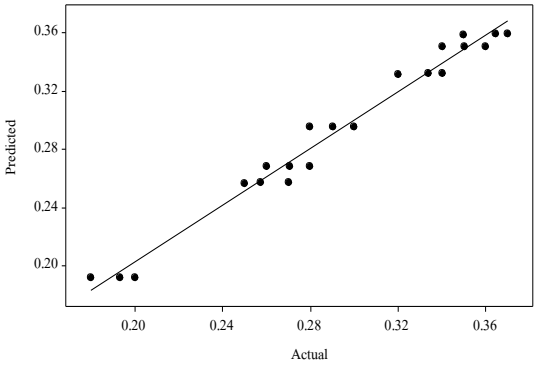


(ก) การแจกแจงของข้อมูล (ข) ความเป็นอิสระของข้อมูล

รูปที่ 4.15 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองความหนืด



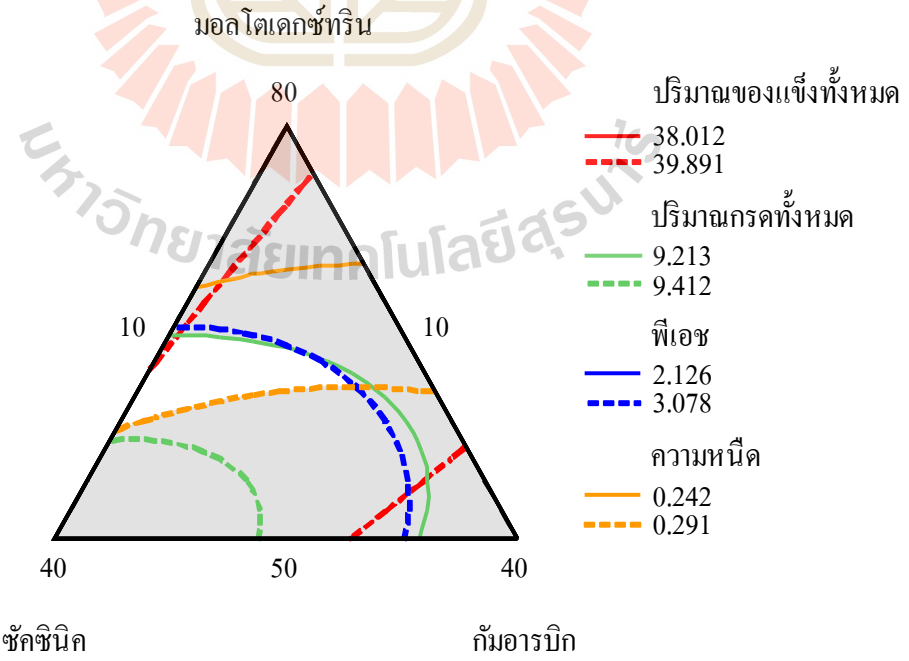
(ค) ความแปรปรวนของข้อมูล



(ง) ความสัมพันธ์ของข้อมูล

รูปที่ 4.15 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองความหนืด (ต่อ)

เมื่อได้ค่าคุณภาพที่เหมาะสมดังกล่าวแล้วจึงทำการวิเคราะห์หาสูตรการผสมที่เหมาะสมด้วยการหาความสัมพันธ์ในลักษณะของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยจะเห็นได้ว่าจุดที่มีการซ้อนทับกันมากที่สุดคือ บริเวณส่วนที่มีสีขาว และจากบริเวณดังกล่าวจะพบจุดที่เหมาะสมสำหรับการผสมกันของสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิดคือ ปริมาณของมอลโตเดกซ์ทรินเท่ากับ 61.52 เปอร์เซ็นต์ ซัคซินิคเท่ากับ 28.48 เปอร์เซ็นต์ และกัมอารบิกเท่ากับ 10.00 เปอร์เซ็นต์



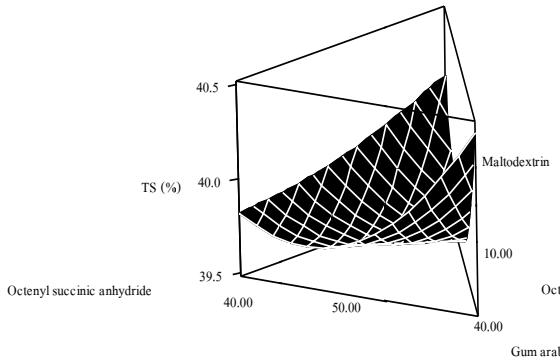
รูปที่ 4.16 บริเวณที่เหมาะสมสำหรับการผสมกันของสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

หากพิจารณาถึงผลกระทบของสารช่วยทำแห้งต่อค่าคุณภาพต่าง ๆ จะเห็นได้ว่า จากรูปที่ 4.17 (ก) เมื่อมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับซัคซินิคและกัมอารบิก เนื่องจากสารเหล่านี้มีลักษณะเป็นของแข็งเมื่อเติมลงในน้ำมะขามเปียกจึงทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารละลายเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tonon, Brabet, and Hubinger (2008) ที่ศึกษาผลของสารช่วยทำแห้งต่อคุณภาพของอาคาอิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า อาคาอิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่าอาคาอิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Santana, Oliveira, Pinedo, Kurozawa, and Park (2013) ที่ศึกษากระบวนการทำไมโครเอนแคปซูเลชันของน้ำกะทิด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดกัมอารบิกพบว่า กะทิผงที่ใช้กัมอารบิก 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่ากะทิผงที่ใช้กัมอารบิก 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

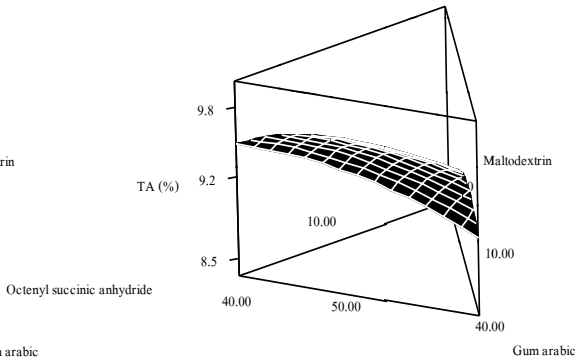
ขณะที่รูป 4.17 (ข) และรูป 4.17 (ค) แสดงให้เห็นว่า เมื่อมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดลดลงแต่กลับส่งผลให้พีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นรสต่ำจึงทำให้ระหว่างทำแห้งสารให้กลิ่นรสถูกทำลายจากความร้อนได้มาก ตรงกันข้ามกับซัคซินิคที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้พีเอชลดลง เนื่องจากสารชนิดนี้มีความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นรสสูงจึงทำให้ระหว่างทำแห้งสารให้กลิ่นรสถูกทำลายจากความร้อนได้น้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahendran (2010) ที่ศึกษาผลของสารช่วยทำแห้งต่อคุณภาพของฝรั่งผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า ฝรั่งผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดทั้งหมดมากกว่าฝรั่งผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งยังทำให้ฝรั่งผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 30 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชน้อยกว่าฝรั่งผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Addai, Abdullah, Mutalib, and Musa (2013) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะละกอในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดกัมอารบิกเป็นสารเคลือบพบว่า มะละกอที่เคลือบด้วยกัมอารบิก 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดทั้งหมดมากกว่ามะละกอที่เคลือบด้วยกัมอารบิก 10 เปอร์เซ็นต์ จึงส่งผลให้มะละกอที่เคลือบด้วยกัมอารบิก 5 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชน้อยกว่ามะละกอที่เคลือบด้วยกัมอารบิก 10 เปอร์เซ็นต์

ส่วนรูปที่ 4.17 (ง) ยังแสดงให้เห็นว่า เมื่อมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดลดลง เนื่องจากสารชนิดนี้มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรงจึงทำให้เมื่อน้ำเข้าไปเกาะยึดตามเส้นตรงนี้สารดังกล่าวจะสามารถดูดซับน้ำเอาไว้ได้น้อยและทำให้ปริมาณของน้ำที่อยู่ในสารละลายทั้งหมดมีมากเป็นผลให้ความหนืดมีค่าลดลง ขณะที่เมื่อซัคซินิคและกัมอารบิกเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งแขนงจึงทำให้เมื่อน้ำเข้าไปเกาะยึดตามกิ่งแขนงนี้สารดังกล่าวจะสามารถดูดซับน้ำเอาไว้ได้มากและทำให้ปริมาณของน้ำที่อยู่ในสารละลายทั้งหมดมีน้อยลงเป็นผลให้ความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bule, Singhal, and Kennedy (2010) ที่ศึกษากระบวนการทำไมโครเอนแคปซูเลชันของสารยูบิควิโนนคิวเท็นด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค และกัมอารบิกเป็นตัวห่อหุ้มสารดังกล่าวพบว่า ตัวห่อหุ้มที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินจะมีความหนืดเท่ากับ 20.7 เซนติพอยส์ ส่วนตัวห่อหุ้มที่ใช้ซัคซินิคจะมีความหนืดเท่ากับ 58.8 เซนติพอยส์ และตัวห่อหุ้มที่ใช้กัมอารบิกจะมีความหนืด 102 เซนติพอยส์ แต่เมื่อนำสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดมาผสมกับมอลโตเดกซ์ทรินกลับทำให้ความหนืดของตัวห่อหุ้มมีค่าลดลง โดยมอลโตเดกซ์ทรินผสมกับซัคซินิคจะมีความหนืดเท่ากับ 31.2 เซนติพอยส์ ขณะที่มอลโตเดกซ์ทรินผสมกับกัมอารบิกจะมีความหนืดเท่ากับ 52.9 เซนติพอยส์ ตรงกันข้ามกับการนำซัคซินิคมาผสมกับกัมอารบิกที่จะทำให้ความหนืดของตัวห่อหุ้มมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 80.4 เซนติพอยส์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Samborska, Gajek, and Kaminska-Dworznicka (2015) ที่ศึกษาผลของสารช่วยทำแห้งต่อคุณภาพของน้ำผึ้งผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกพบว่า น้ำผึ้งที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินจะมีความหนืดเท่ากับ 4.5 มิลลิปาสคาลวินาที และน้ำผึ้งที่ใช้กัมอารบิกจะมีความหนืดเท่ากับ 50.4 มิลลิปาสคาลวินาที แต่เมื่อนำสารช่วยทำแห้งทั้งสองชนิดมาผสมกันกลับทำให้ความหนืดของน้ำผึ้งมีค่าลดลงเหลือเพียง 4.1 มิลลิปาสคาลวินาที

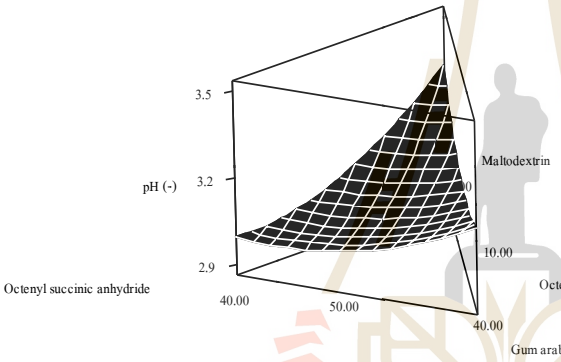
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



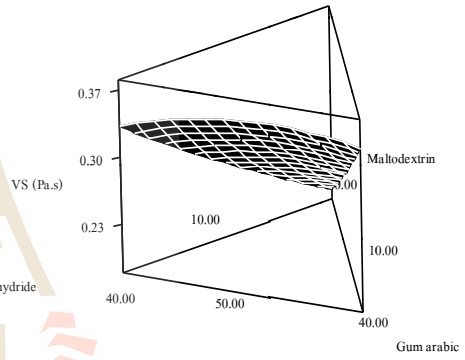
(ก) ปริมาณของแข็งทั้งหมด



(ข) ปริมาณกรดทั้งหมด



(ค) พีเอช



(ง) ความหนืด

รูปที่ 4.17 ค่าคุณภาพต่าง ๆ ของมะขามเปียกผงที่ได้จากสูตรการผสมที่เหมาะสม

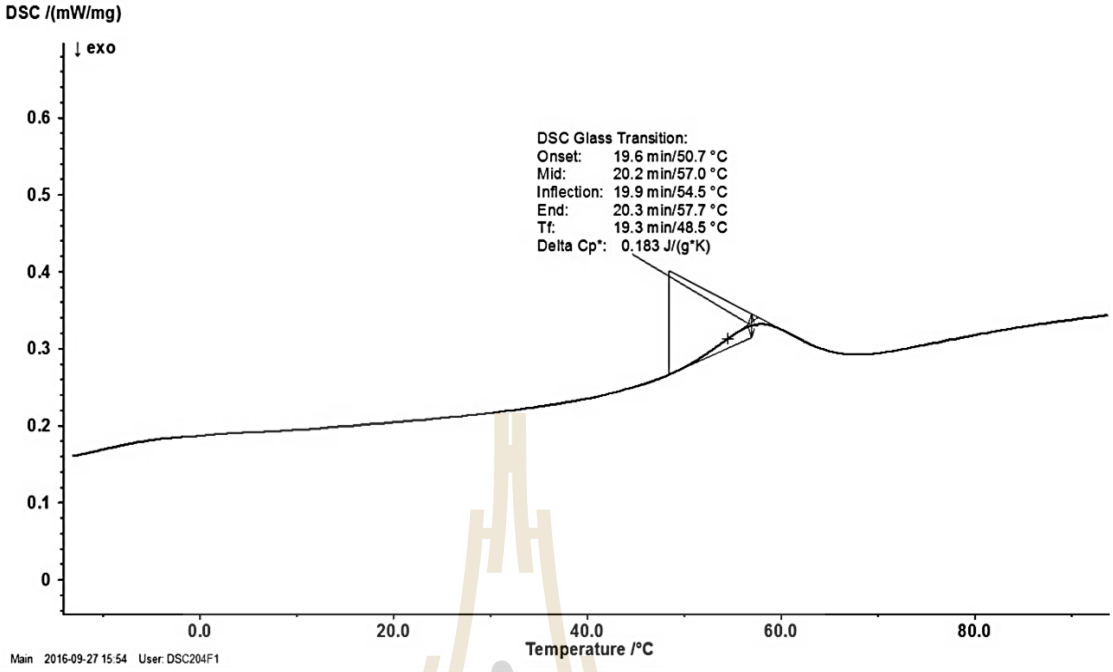
เมื่อได้สูตรการผสมที่เหมาะสมแล้วจึงทดลองทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยกำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.50 รอบต่อนาที พร้อมทั้งนำผลจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลจากการทำนายโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ตรวจสอบความเหมาะสมของสูตรดังตารางที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายของปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด พีเอช และความหนืด มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เท่ากับ 3.34, 1.39, 1.42 และ 3.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองและการทำนายของสูตรการผสมที่เหมาะสม

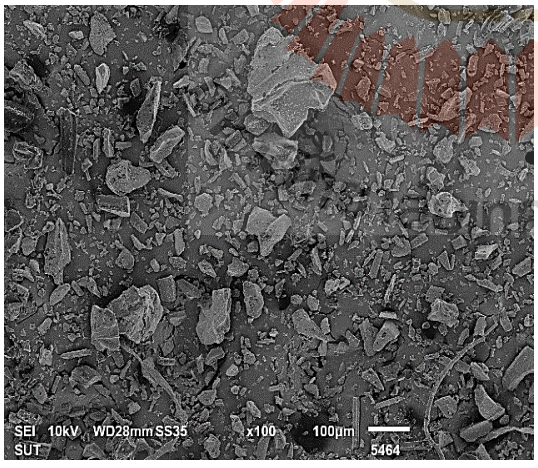
ค่าคุณภาพ	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%)
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	38.55	39.88	3.34
ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	9.18	9.31	1.39
พีเอช (-)	3.08	3.04	1.32
ความหนืด (Pa.s)	0.26	0.27	3.70

นอกจากนี้ยังพบว่า มะขามเปียกผงจากสูตรการผสมที่เหมาะสมนี้จะมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเท่ากับ 57.0 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.18 โดยจะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของมะขามเปียกผงที่อัตราส่วนการผสมสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fazaeli, Emam-Djomeh, Ashtari, and Omid (2012) ที่ศึกษาผลของสารช่วยทำแห้งต่อคุณภาพของแบล็คมัลเบอร์รี่ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกพบว่า แบล็คมัลเบอร์รี่ผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินจะมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเท่ากับ 73.8 องศาเซลเซียส ขณะที่แบล็คมัลเบอร์รี่ผงที่ใช้กัมอารบิกจะมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเท่ากับ 63.3 องศาเซลเซียส แต่เมื่อนำสารช่วยทำแห้งทั้งสองชนิดมาผสมกันกลับทำให้แบล็คมัลเบอร์รี่ผงมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเพิ่มขึ้นเป็น 76.4 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Shi, Fang, and Bhandari (2013) ที่ศึกษาผลของสารช่วยทำแห้งต่อคุณภาพของน้ำผึ้งผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารช่วยทำแห้งชนิดเวย์โปรตีนและมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า น้ำผึ้งผงที่ใช้เวย์โปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเท่ากับ 42.55 องศาเซลเซียส แต่เมื่อนำเวย์โปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์ มาผสมกับมอลโตเดกซ์ทริน 20 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้กลับทำให้ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของน้ำผึ้งผงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 47.70 องศาเซลเซียส

ขณะที่ภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างในระดับจุลภาคแสดงดังรูปที่ 4.19 ซึ่งจะเห็นว่า ภาพถ่ายนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างในระดับจุลภาคของมะขามเปียกผงที่ได้จากอัตราส่วนการผสมสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ มีลักษณะโครงสร้างเป็นอนุภาคขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วบริเวณเมื่อถ่ายภาพด้วยกำลังขยายต่ำดังรูปที่ 4.19 (ก) และเมื่อเพิ่มกำลังขยายจะพบว่า อนุภาคขนาดเล็กนั้นยังห่อหุ้มอนุภาคขนาดเล็กกว่าเอาไว้ภายในดังรูปที่ 4.19 (ข)



รูปที่ 4.18 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของมะขามเปียกผงจากสูตรการผสมที่เหมาะสม ณ อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.50 รอบต่อนาที



(ก) มะขามที่กำลังขยาย 100X

(ข) มะขามที่กำลังขยาย 500X

รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายโครงสร้างของมะขามเปียกผงจากสูตรการผสมที่เหมาะสม

4.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าคุณภาพต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งหมายถึงค่าคุณภาพทั้งหมดมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรต้นและตัวแปรตามนั้นมีความสัมพันธ์กันดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าคุณภาพต่าง ๆ จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้ง

สิ่งทดลอง	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	ปริมาณร้อยละผลผลิต (%)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณน้ำอิสระ (-)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%)
1	39.26±0.13^{ab}	72.93±0.29^{o}	5.23±0.19^{e}	0.26±0.01^{hi}	7.94±0.01^{fg}
2	39.61±0.09^{fg}	67.53±0.11^{k}	5.75±0.20^{ef}	0.34±0.01^{o}	7.85±0.01^{ef}
3	39.50±0.08^{cdefg}	54.56±0.16^{e}	7.16±0.42^{g}	0.35±0.01^{p}	7.79±0.01^{de}
4	39.26±0.07^{ab}	72.14±0.48^{n}	5.58±0.72^{e}	0.26±0.01^{ij}	7.95±0.01^{fg}
5	39.38±0.06^{bcde}	56.04±0.36^{f}	7.04±0.47^{g}	0.32±0.01^{mn}	7.77±0.01^{cde}
6	39.28±0.05^{abc}	49.24±0.05^{c}	6.54±0.15^{fg}	0.29±0.01^{l}	7.71±0.10^{cd}
7	39.30±0.02^{abcd}	51.07±0.25^{d}	6.47±0.48^{fg}	0.32±0.01^{m}	7.68±0.01^{bc}
8	39.10±0.01^{a}	34.89±0.83^{b}	12.62±2.07^{i}	0.56±0.01^{q}	7.58±0.01^{ab}
9	39.42±0.04^{bcdefg}	32.15±0.12^{a}	10.40±0.24^{h}	0.59±0.01^{r}	7.49±0.01^{a}
10	40.80±0.25^{j}	71.38±0.38^{m}	1.92±0.09^{a}	0.18±0.01^{b}	7.94±0.01^{fg}
11	40.59±0.08^{i}	68.29±0.34^{l}	1.99±0.29^{a}	0.21±0.01^{de}	7.86±0.01^{ef}
12	40.84±0.09^{j}	57.59±0.33^{h}	2.88±0.77^{abcd}	0.26±0.01^{hij}	7.82±0.01^{e}
13	40.14±0.16^{h}	73.26±0.15^{op}	1.90±0.26^{a}	0.18±0.01^{b}	8.13±0.01^{ijk}
14	40.16±0.01^{h}	62.20±0.15^{i}	2.87±0.20^{abcd}	0.22±0.01^{ef}	7.97±0.01^{gh}
15	40.17±0.05^{h}	57.82±0.14^{h}	3.75±0.11^{d}	0.28±0.01^{k}	8.03±0.10^{ghi}
16	39.46±0.14^{bcdefg}	73.59±0.27^{p}	1.87±0.05^{a}	0.16±0.01^{a}	8.12±0.01^{ijk}
17	39.42±0.11^{bcdefg}	64.36±0.28^{j}	2.31±0.19^{ab}	0.19±0.01^{c}	7.94±0.01^{fg}
18	39.42±0.03^{bcdefg}	56.91±0.42^{g}	3.70±0.65^{d}	0.27±0.01^{j}	7.76±0.01^{cde}
19	39.55±0.23^{efg}	81.81±0.56^{tu}	3.33±0.14^{cd}	0.27±0.01^{j}	8.06±0.01^{hij}
20	39.41±0.03^{bcdefg}	80.85±0.15^{s}	3.01±0.15^{bcd}	0.25±0.01^{h}	8.22±0.01^{k}
21	39.40±0.01^{bcdef}	75.67±0.06^{q}	2.83±0.08^{abcd}	0.22±0.01^{f}	8.15±0.01^{jk}
22	39.62±0.15^{g}	82.00±0.20^{u}	2.77±0.17^{abcd}	0.23±0.01^{g}	8.12±0.01^{ijk}
23	39.51±0.01^{defg}	81.76±0.17^{tu}	3.03±0.22^{bcd}	0.22±0.01^{f}	8.15±0.01^{jk}
24	39.45±0.15^{bcdefg}	81.28±0.53st	2.52±0.26^{abc}	0.20±0.01^{cd}	8.15±0.01^{jk}
25	39.50±0.09^{cdefg}	84.42±0.24^{w}	2.49±0.14^{abc}	0.33±0.01^{n}	8.12±0.01^{ijk}
26	39.62±0.16^{g}	82.74±0.37^{v}	2.67±0.07^{abc}	0.21±0.01^{de}	8.00±0.01^{gh}
27	39.38±0.05^{bcde}	77.05±0.23^{r}	2.32±0.15^{ab}	0.20±0.01^{c}	8.21±0.01^{k}

$^{a-w}$ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันคือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.11 ค่าคุณภาพต่าง ๆ จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้ง (ต่อ)

สิ่งทดลอง	พีเอช (-)	ความแตกต่างของสี (-)	ความหนืด (Pa.s)	ความหนาแน่น (g/mL)	ความสามารถในการละลาย (%)
1	3.15±0.01^{hi}	2.39±0.01^{j}	0.27±0.01^{l}	1.14±0.01^{s}	78.87±2.42^{cdefgh}
2	3.15±0.01^{hij}	3.72±0.01^{o}	0.27±0.01^{p}	1.14±0.01^{r}	71.11±7.14^{a}
3	3.15±0.01^{jk}	1.96±0.01^{h}	0.27±0.01^{q}	1.14±0.01^{s}	77.30±0.04^{bcdef}
4	3.15±0.01^{hi}	5.63±0.01^{q}	0.27±0.01^{l}	1.14±0.01^{s}	75.82±2.43^{bc}
5	3.16±0.01^{kl}	3.71±0.01^{o}	0.27±0.01^{l}	1.17±0.01^{t}	76.95±0.77^{bcde}
6	3.16±0.01^{klm}	4.59±0.01^{p}	0.27±0.01^{p}	1.12±0.01^{q}	75.28±1.88^{b}
7	3.16±0.01^{lm}	8.09±0.01^{t}	0.26±0.01^{k}	1.14±0.01^{r}	77.57±0.55^{bcdef}
8	3.16±0.01^{m}	8.58±0.01^{u}	0.27±0.01^{m}	1.25±0.01^{v}	72.12±0.94^{a}
9	3.17±0.01^{n}	7.89±0.02^{s}	0.26±0.01^{j}	1.23±0.01^{u}	70.74±1.04^{a}
10	3.15±0.01^{hi}	1.23±0.01^{c}	0.26±0.01^{c}	0.93±0.01^{j}	77.98±0.95^{bcdefg}
11	3.15±0.01^{hij}	1.04±0.04^{ab}	0.26±0.01^{d}	0.95±0.01^{k}	78.27±1.51^{bcdefg}
12	3.15±0.01^{ij}	1.58±0.01^{f}	0.26±0.01^{i}	1.04±0.01^{n}	77.15±0.23^{bcde}
13	3.14±0.01^{bcde}	1.02±0.01^{a}	0.26±0.01^{i}	0.91±0.01^{i}	77.52±1.59^{bcdef}
14	3.14±0.01^{gh}	1.86±0.01^{g}	0.26±0.01^{a}	0.98±0.01^{l}	78.38±1.99^{bcdefg}
15	3.14±0.01^{efg}	1.20±0.02^{c}	0.26±0.01^{g}	1.10±0.01^{p}	76.60±0.54^{bcd}
16	3.14±0.01^{cde}	1.06±0.01^{b}	0.26±0.01^{k}	0.90±0.01^{i}	77.84±0.69^{bcdef}
17	3.15±0.01^{ghi}	1.31±0.01^{d}	0.27±0.01^{r}	1.03±0.01^{m}	78.60±1.16^{bcdefg}
18	3.16±0.01^{kl}	2.15±0.01^{i}	0.27±0.01^{n}	1.09±0.01^{o}	78.69±0.46^{bcdefg}
19	3.14±0.01^{def}	8.86±0.01^{v}	0.27±0.01^{m}	0.75±0.01^{c}	79.94±0.20^{defgh}
20	3.13±0.01^{a}	6.77±0.05^{r}	0.26±0.01^{e}	0.70±0.01^{a}	80.39±0.08^{efgh}
21	3.13±0.01^{abc}	2.83±0.02^{m}	0.26±0.01^{h}	0.73±0.01^{b}	80.77±0.08^{fgh}
22	3.13±0.01^{bcd}	1.02±0.01^{a}	0.26±0.01^{b}	0.76±0.01^{d}	81.39±0.04^{gh}
23	3.13±0.01^{ab}	2.44±0.03^{k}	0.26±0.01^{f}	0.78±0.01^{e}	80.81±0.18^{fgh}
24	3.13±0.01^{ab}	1.52±0.01^{e}	0.26±0.01^{a}	0.78±0.01^{f}	80.02±0.17^{defgh}
25	3.13±0.01^{bc}	2.50±0.01^{l}	0.26±0.01^{j}	0.80±0.01^{h}	80.74±0.13^{fgh}
26	3.14±0.01^{fgh}	1.05±0.01^{ab}	0.26±0.01^{e}	0.79±0.01^{g}	82.25±1.58^{h}
27	3.13±0.01^{ab}	3.66±0.02^{n}	0.27±0.01^{o}	0.77±0.01e	80.65±0.70^{fgh}

$^{a-v}$ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันคือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

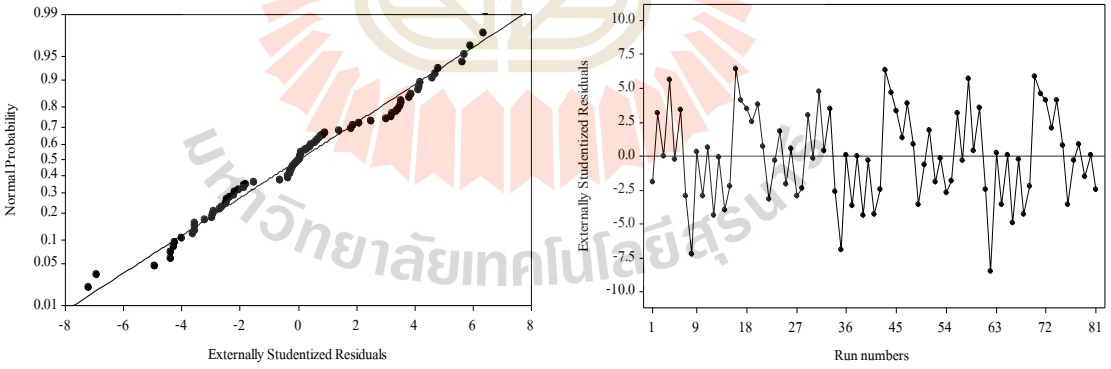
ขณะที่ระดับของความสัมพันธ์จะมากหรือน้อยสามารถพิจารณาได้จากค่า R^2 ดังตารางที่ 4.12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าคุณภาพประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณน้ำอิสระ ความหนืด และความสามารถในการละลายมีค่า R^2 ต่ำ แสดงว่าตัวแปรต้นและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันน้อยจึงไม่นำค่าคุณภาพเหล่านี้มาทำการพิจารณา ดังนั้นค่าคุณภาพที่นำมาพิจารณาจึงมีทั้งหมดเพียง 6 ค่าประกอบด้วย ปริมาณร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ปริมาณกรดทั้งหมด พีเอช ความแตกต่างของสี และความหนาแน่น ดังจะเห็นว่าค่าคุณภาพทั้ง 6 มีค่า R^2 มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะแก่การนำมาพยากรณ์สมการแบบจำลองเพื่อให้สามารถกำหนดสภาวะของการทำแห้งได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 4.12 ผลทดสอบการถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของแบบจำลองต่าง ๆ

ค่าคุณภาพ	สมการแบบจำลอง	R^2 (%)
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	$-7.59\times10^{1}+1.80X_1-1.59\times10^{1}X_2+3.66X_3-6.92\times10^{-3}X_1^2-8.45X_2^2+1.31\times10^{-1}X_3^2+1.15\times10^{-1}X_1X_2-2.76\times10^{-2}X_1X_3-1.11X_2X_3$	63
ปริมาณร้อยละผลผลิต (%)	$7.87\times10^{2}-9.04X_1-1.47\times10^{3}X_2-2.26\times10^{2}X_3+2.63\times10^{-2}X_1^2-9.71\times10^{2}X_2^2+6.69X_3^2+1.38\times10^{1}X_1X_2+1.53X_1X_3-3.10\times10^{1}X_2X_3$	93
ปริมาณความชื้น (%)	$3.88\times10^{2}-6.22X_1+2.22\times10^{2}X_2+3.96\times10^{1}X_3+2.52\times10^{-2}X_1^2+1.54\times10^{2}X_2^2-7.92X_3^2-2.17X_1X_2-2.58\times10^{-1}X_1X_3+2.13\times10^{1}X_2X_3$	86
ปริมาณน้ำอิสระ (-)	$1.23\times10^{1}-1.99\times10^{-1}X_1+5.10X_2+2.77X_3+8.49\times10^{-4}X_1^2+1.62\times10^{1}X_2^2-1.93\times10^{-1}X_3^2-8.81\times10^{-2}X_1X_2-2.03\times10^{-2}X_1X_3+8.47\times10^{-1}X_2X_3$	75
ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	$7.44+1.15\times10^{-2}X_1-3.88X_2-3.68X_3-1.17\times10^{-4}X_1^2-3.07\times10^{1}X_2^2+4.53\times10^{-1}X_3^2+1.25\times10^{-1}X_1X_2+2.60\times10^{-2}X_1X_3-1.80X_2X_3$	80
พีเอช (-)	$3.02+2.21\times10^{-3}X_1+4.04\times10^{-2}X_2+1.69\times10^{-1}X_3-5.74\times10^{-6}X_1^2+1.64X_2^2-1.36\times10^{-2}X_3^2-5.56\times10^{-3}X_1X_2-1.36\times10^{-3}X_1X_3+0.15X_2X_3$	81
ความแตกต่างของสี (-)	$3.99\times10^{2}-6.67X_1+3.96\times10^{2}X_2+1.35X_3+2.91\times10^{-2}X_1^2+4.60\times10^{2}X_2^2-1.58X_3^2-4.63X_1X_2-8.96\times10^{-2}X_1X_3+5.44\times10^{1}X_2X_3$	81
ความหนืด (Pa.s)	$5.72\times10^{-1}-3.73\times10^{-3}X_1-5.26\times10^{-1}X_2-1.47\times10^{-3}X_3+1.27\times10^{-5}X_1^2+9.42\times10^{-1}X_2^2+2.70\times10^{-2}X_3^2+1.37\times10^{-3}X_1X_2-1.47\times10^{-4}X_1X_3-2.07\times10^{-2}X_2X_3$	42
ความหนาแน่น (g/mL)	$-1.55+5.68\times10^{-2}X_1-2.81\times10^{-1}X_2+3.77\times10^{-1}X_3-2.89\times10^{-4}X_1^2+8.68\times10^{-1}X_2^2-6.74\times10^{-2}X_3^2-3.15\times10^{-4}X_1X_2-3.08\times10^{-3}X_1X_3+1.04X_2X_3$	94
ความสามารถในการละลาย (%)	$1.03\times10^{2}-2.71\times10^{-1}X_1-1.51\times10^{2}X_2-3.87\times10^{1}X_3+3.98\times10^{-4}X_1^2-9.99\times10^{1}X_2^2+6.35X_3^2+1.56X_1X_2+2.77\times10^{-1}X_1X_3-3.01\times10^{1}X_2X_3$	54

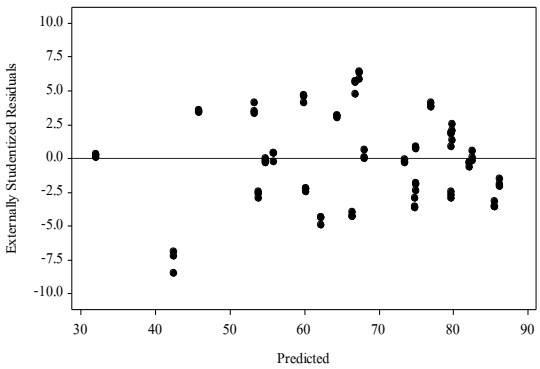
หมายเหตุ X_1 คือ อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง, X_2 คือ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง และ X_3 คือ ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง

นอกจากนี้เพื่อเป็นการยืนยันความเหมาะสมของสมการแบบจำลองทั้ง 6 จึงต้องทำการตรวจสอบความเหมาะสมด้วยกราฟดังรูปที่ 4.20 ซึ่งแสดงตัวอย่างการตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณร้อยละผลผลิต โดยรูปที่ 4.20 (ก) เป็นการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแนบชิดตามแนวเส้นตรงดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ ส่วนรูปที่ 4.20 (ข) เป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ และรูปที่ 4.20 (ค) เป็นการตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งในทางบวกและทางลบดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ขณะที่รูป 4.20 (ง) เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวและแนบชิดตามแนวเส้นตรงดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน นอกจากนี้ค่าคุณภาพอีก 5 ค่าประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณกรดทั้งหมด พีเอช ความแตกต่างของสี และความหนาแน่น ก็ถูกนำมาตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองด้วยวิธีการเดียวกัน และพบว่าผลการตรวจสอบที่ได้มีลักษณะคล้ายกันคือ (1) ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ (2) ข้อมูลมีความเป็นอิสระ (3) ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน และ (4) ข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟของค่าคุณภาพทั้ง 6 จึงสามารถสรุปได้ว่า สมการแบบจำลองทั้ง 6 นี้มีความเหมาะสมเพียงพอที่จะนำมาใช้พยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ

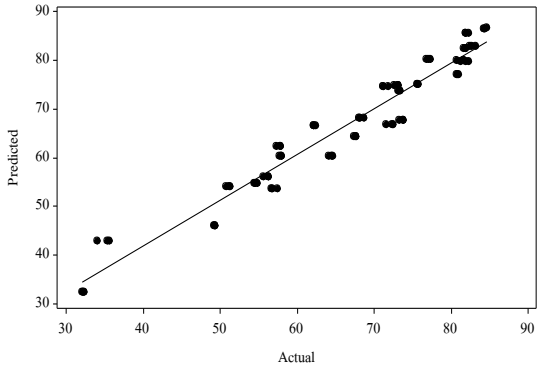


(ก) การแจกแจงของข้อมูล (ข) ความเป็นอิสระของข้อมูล

รูปที่ 4.20 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณร้อยละผลผลิต



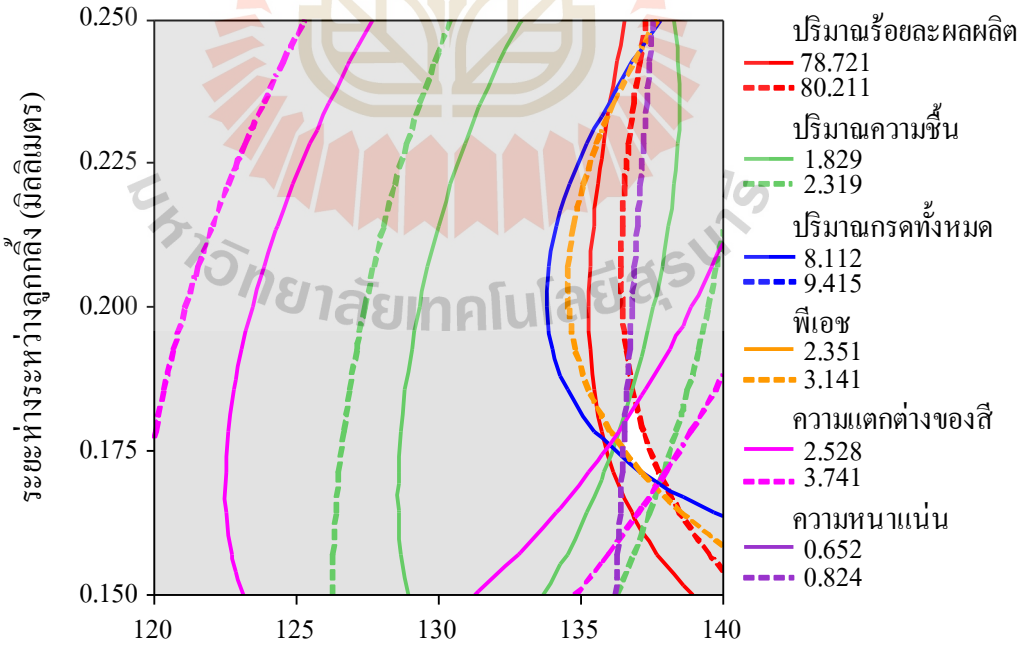
(ค) ความแปรปรวนของข้อมูล



(ง) ความสัมพันธ์ของข้อมูล

รูปที่ 4.20 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณร้อยละผลผลิต (ต่อ)

เมื่อได้ค่าคุณภาพที่เหมาะสมดังกล่าวแล้วจึงทำการวิเคราะห์หาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมด้วยการหาความสัมพันธ์ในลักษณะของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.21 โดยจะเห็นได้ว่าจุดที่มีการซ้อนทับกันมากที่สุดคือบริเวณส่วนที่มีสีขาว และจากบริเวณดังกล่าวจะพบจุดที่เหมาะสมสำหรับสภาวะการทำแห้งของสารละลายน้ำมะขามเปียกคือ อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 137.17 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.18 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.27 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.21 บริเวณที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

หากพิจารณาถึงผลกระทบของพารามิเตอร์การทำแห้งต่อค่าคุณภาพต่าง ๆ จะเห็นว่า จากรูปที่ 4.22 (ก) เมื่ออุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งและสามารถร่อนออกจากลูกกลิ้งได้ดีจึงส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bazaria and Kumar (2016) ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งน้ำบีทรูทด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า บีทรูทผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสจะมีปริมาณร้อยละผลผลิตมากกว่าบีทรูทผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 170 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะทำให้สารละลายน้ำมะขามเปียกเกาะตัวเป็นแผ่นฟิล์มได้หนาขึ้นเป็นผลให้เมื่อสารละลายแห้งและร่อนออกจากลูกกลิ้งผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีน้ำหนักมากจึงส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามกับความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่ฟิล์มของสารละลายสัมผัสอยู่บนผิวของลูกกลิ้งน้อยลงซึ่งจะทำให้น้ำระเหยออกจากสารละลายได้ช้าลงเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งได้ไม่ดีและอาจมีผลิตภัณฑ์บางส่วนที่ไม่สามารถร่อนออกจากลูกกลิ้งได้จึงส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลผลิตลดลง

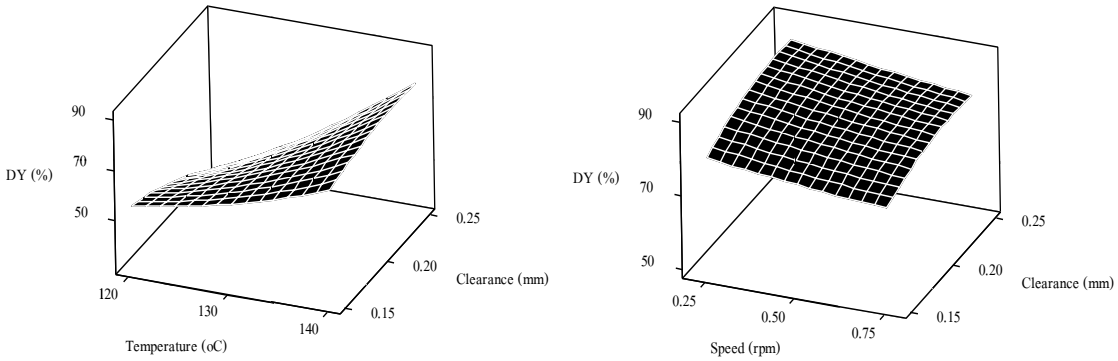
ขณะที่รูป 4.22 (ข) แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเป็นผลให้น้ำสามารถระเหยออกจากสารละลายได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Suhag, Nayik, and Nanda (2016) ที่ศึกษากระบวนการทำแห้งน้ำผึ้งผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า น้ำผึ้งผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสจะมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าน้ำผึ้งผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ตรงกันข้ามกับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้สารละลายน้ำมะขามเปียกเกาะตัวเป็นแผ่นฟิล์มได้หนาขึ้นเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของลูกกลิ้งกับแผ่นฟิล์มเกิดขึ้นได้ไม่ดีจึงส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่ฟิล์มของสารละลายสัมผัสอยู่บนผิวของลูกกลิ้งน้อยลงเป็นผลให้น้ำระเหยออกจากสารละลายได้ไม่ดีจึงส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pua et al. (2010) ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตขนุนผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งพบว่า เมื่อความดันไอน้ำเท่ากับ 370 กิโลปาสคาล ขนุนผงที่ทำแห้งด้วยความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาทีจะมีปริมาณความชื้นมากกว่าขนุนผงที่ทำแห้งด้วยความเร็วรอบ 2 และ 1 รอบต่อนาที ตามลำดับ

ส่วนรูปที่ 4.22 (ค) แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้กระบวนการทำแห้งเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเป็นผลให้กรดอินทรีย์ที่อยู่ในสารละลายถูกทำลายได้น้อยลง จึงส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khazaei, Chegini, and Bakhshiani (2008) ที่ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณภาพของมะเขือเทศหั่นชิ้นโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลมร้อนพบว่า มะเขือเทศชิ้นที่ทำแห้ง ด้วยอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสจะมีปริมาณกรดทั้งหมดมากกว่ามะเขือเทศชิ้นที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 100, 80 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะทำให้สารละลายน้ำมะขามเปียกเกาะตัวเป็นแผ่นฟิล์มได้หนาขึ้นซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์มด้านนอกไม่สัมผัสกับความร้อนโดยตรงเป็นผลให้กรดอินทรีย์ที่อยู่ในสารละลายถูกทำลายได้น้อยลงจึงส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่ฟิล์มของสารละลายสัมผัสอยู่บนผิวของลูกกลิ้งน้อยลงเป็นผลให้กรดอินทรีย์ที่อยู่ในสารละลายถูกทำลายได้น้อยลงจึงส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น

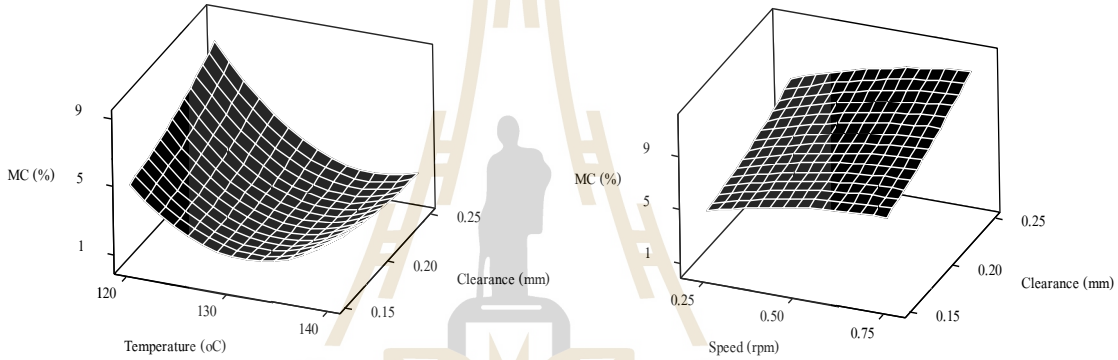
ขณะที่รูป 4.22 (ง) แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้พีเอชลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นของตัวอย่างลดลงเป็นผลให้น้ำที่อยู่ในตัวอย่างมีปริมาณน้อยซึ่งจะทำให้ปริมาณของน้ำดังกล่าวมาเจือจางกรดอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างได้น้อยลงจึงส่งผลให้พีเอชลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Caliskan and Dirim (2013) ที่ศึกษากระบวนการทำแห้งซูแมคเบอรี่ผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า ซูแมคเบอรี่ผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสจะมีพีเอชน้อยกว่าซูแมคเบอรี่ผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 180 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ตรงกันข้ามกับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ความชื้นของตัวอย่างเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลทำให้มีน้ำอยู่ภายในตัวอย่างเป็นปริมาณมากและปริมาณของน้ำดังกล่าวก็จะมาเจือจางกรดอินทรีย์ที่อยู่ภายในตัวอย่างได้มากขึ้นจึงส่งผลให้พีเอชเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ความชื้นของตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็นผลให้น้ำที่อยู่ในตัวอย่างมีปริมาณมากซึ่งจะทำให้ปริมาณของน้ำดังกล่าวมาเจือจางกรดอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างได้มากขึ้นจึงส่งผลให้พีเอชเพิ่มขึ้น

ส่วนรูปที่ 4.22 (จ) แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โมเลกุลของน้ำตาลที่อยู่ในตัวอย่างเกิดการสลายตัวจากความร้อนมากขึ้นเป็นผลให้ปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันเกิดมากขึ้นซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไหม้และเมื่อนำตัวอย่างมาทำการละลายสีที่ได้จะแตกต่างจากสารละลายเริ่มต้นมากจึงส่งผลให้ความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Silva, Stringheta, Teofilo, and Oliveira (2013) ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำไมโครเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากเปลือกขององุ่นบราซิลด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า สารสกัดที่ได้จากการทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสจะมีความแตกต่างของสีมากกว่าสารสกัดที่ได้จากการทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ตรงกันข้ามกับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้สารละลายน้ำมะขามเปียกเกาะตัวเป็นแผ่นฟิล์มได้หนาขึ้นและทำให้โมเลกุลของน้ำตาลที่อยู่ในตัวอย่างเกิดการสลายตัวจากความร้อนน้อยลงเป็นผลให้ปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันเกิดน้อยลงซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ไหม้และเมื่อนำตัวอย่างมาทำการละลายสีที่ได้จะแตกต่างจากสารละลายเริ่มต้นน้อยจึงส่งผลให้ความแตกต่างของสีลดลง เช่นเดียวกับความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่ฟิล์มของสารละลายสัมผัสอยู่บนผิวของลูกกลิ้งน้อยลงซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ไหม้และเมื่อนำตัวอย่างมาทำการละลายสีที่ได้จะแตกต่างจากสารละลายเริ่มต้นน้อยส่งผลให้ความแตกต่างของสีลดลง

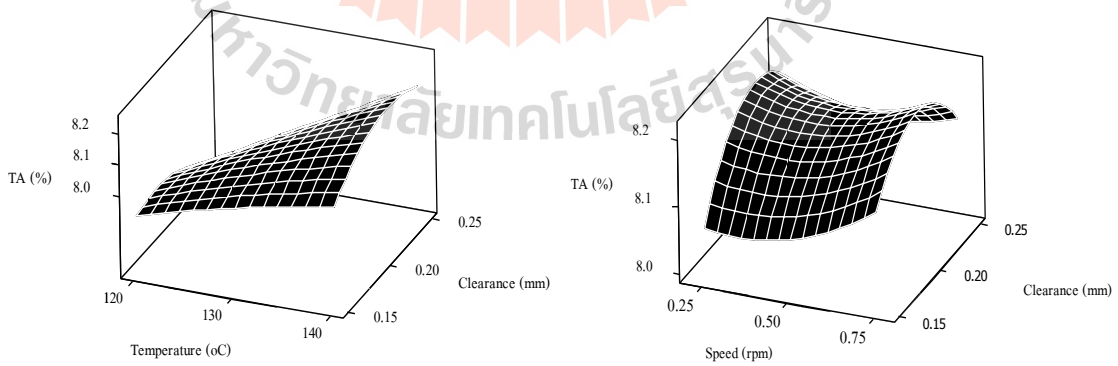
ขณะที่รูป 4.22 (ฉ) ยังแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำสามารถระเหยออกจากสารละลายได้อย่างรวดเร็วเป็นผลให้โครงสร้างของตัวอย่างมีความพรุนมากขึ้นจึงส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Suhag and Nanda (2016) ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งน้ำผึ้งผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า น้ำผึ้งผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำผึ้งผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ตรงกันข้ามกับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้สารละลายน้ำมะขามเปียกเกาะตัวเป็นแผ่นฟิล์มได้หนาขึ้นเป็นผลให้น้ำสามารถระเหยออกจากสารละลายได้ช้าลงซึ่งจะทำให้โครงสร้างของตัวอย่างมีความพรุนน้อยลงจึงส่งผลให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่ฟิล์มของสารละลายสัมผัสอยู่บนผิวของลูกกลิ้งน้อยลงเป็นผลให้น้ำระเหยออกจากสารละลายได้ช้าลงซึ่งจะทำให้โครงสร้างของตัวอย่างมีความพรุนน้อยลงจึงส่งผลให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น



(ก) ปริมาณร้อยผลผลิต

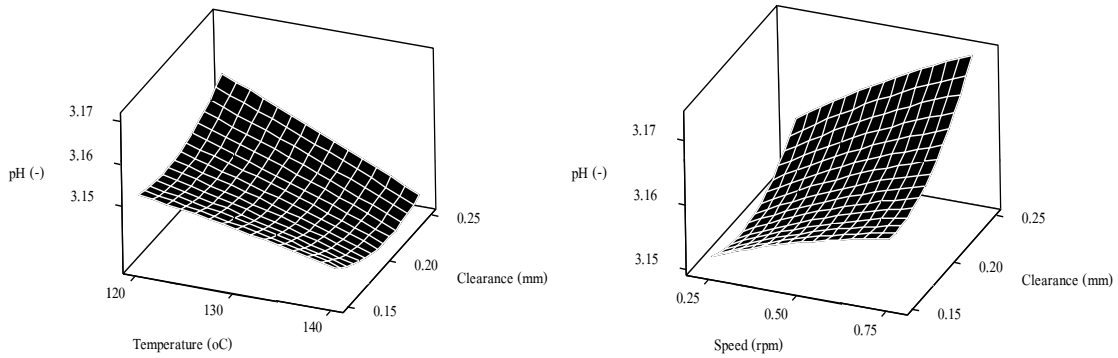


(ข) ปริมาณความชื้น

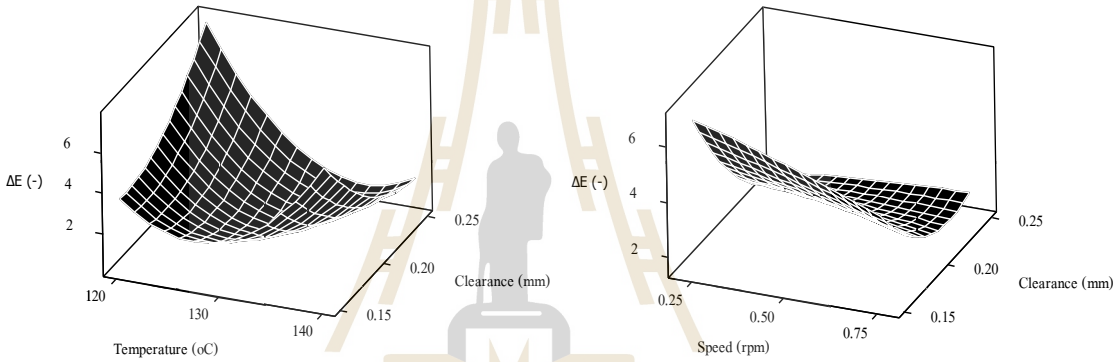


(ค) ปริมาณกรดทั้งหมด

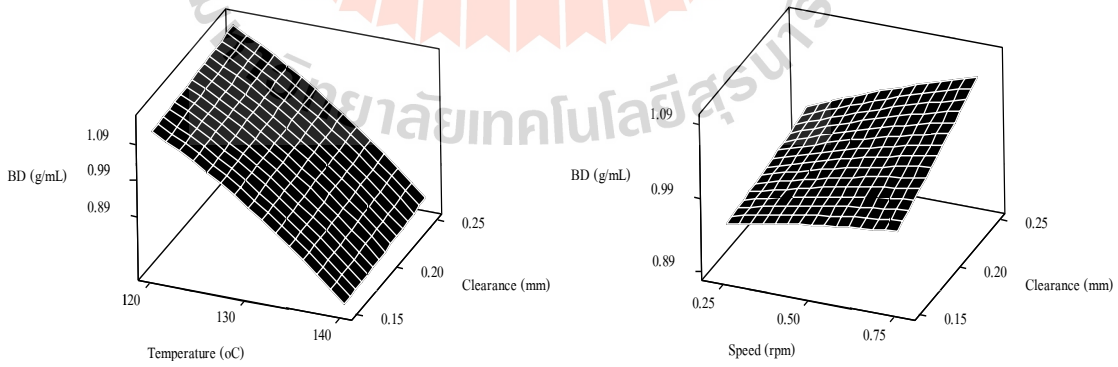
รูปที่ 4.22 ค่าคุณภาพต่าง ๆ ของมะขามเปียกผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม



(ง) พีเอช



(จ) ความแตกต่างของสี



(ฉ) ความหนาแน่น

รูปที่ 4.22 ค่าคุณภาพต่าง ๆ ของมะขามเปียกผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม (ต่อ)

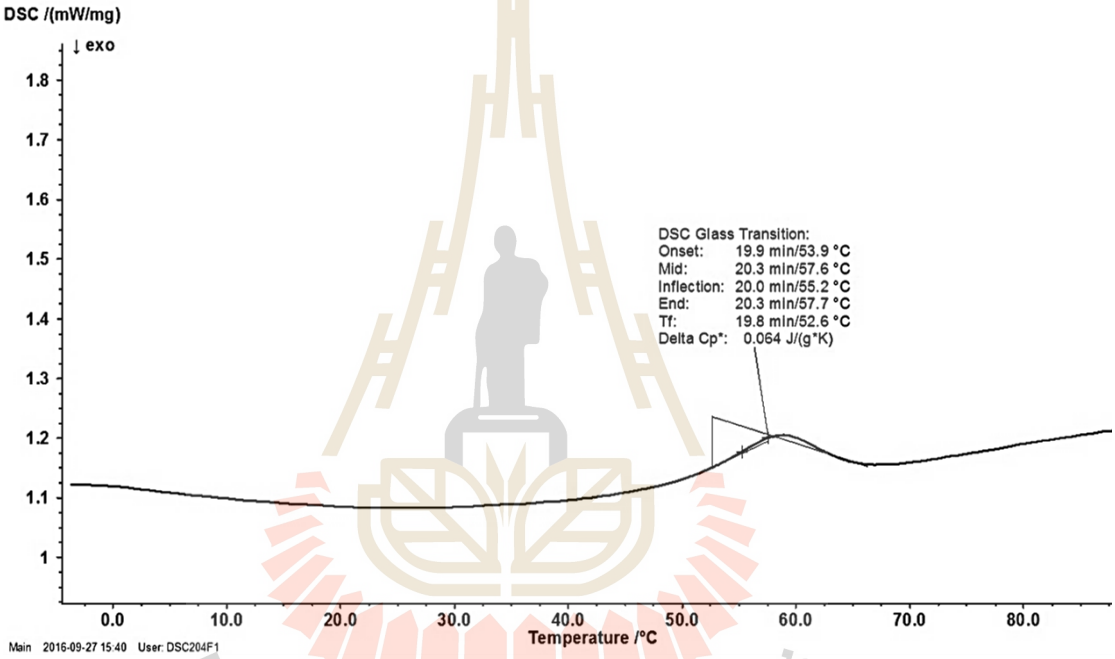
เมื่อได้สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมแล้วจึงทดลองทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง แต่เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งในห้องปฏิบัติการไม่สามารถทำการทดลองตามสภาวะดังกล่าวได้จึงเลือกทำการทดลองที่สภาวะใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของเครื่องคือ อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 137 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.18 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.27 รอบต่อนาที โดยกำหนดให้สูตรของสารละลายน้ำมะขามเปียกประกอบด้วย มอลโตเดกซ์ทรินเท่ากับ 61.52 เปอร์เซ็นต์ ซัคซินิคเท่ากับ 28.48 เปอร์เซ็นต์ และกัมอารบิกเท่ากับ 10.00 เปอร์เซ็นต์ พร้อมทั้งนำผลจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลจากการทำนายโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ตรวจสอบความเหมาะสมของสภาวะ การทำแห้งดังตารางที่ 4.13 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนาย ของปริมาณร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ปริมาณกรดทั้งหมด พีเอช ความแตกต่างของสี และความหนาแน่น มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เท่ากับ 1.05, 1.21, 1.41, 1.88, 3.41 และ 2.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองและการทำนายของสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม

ค่าคุณภาพ	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%)
ปริมาณร้อยละผลผลิต (%)	80.11	80.95	1.05
ปริมาณความชื้น (%)	1.86	1.88	1.21
ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	8.01	8.12	1.41
พีเอช (-)	3.20	3.14	1.00
ความแตกต่างของสี (-)	3.08	2.97	3.41
ความหนาแน่น (g/mL)	0.83	0.81	2.33

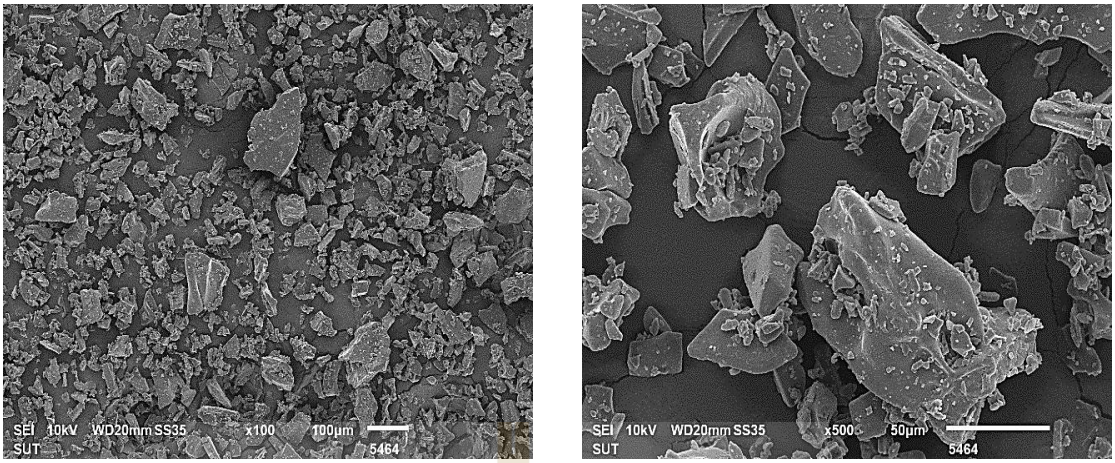
นอกจากนี้ยังพบว่า มะขามเปียกผงจากสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมนี้จะมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเท่ากับ 57.6 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.23 โดยจะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของทั้งมะขามเปียกผงที่ได้จากอัตราส่วนการผสมสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดที่ 50 เปอร์เซ็นต์ และมะขามเปียกผงที่ได้จากสูตรการผสมที่เหมาะสม เนื่องจากปริมาณความชื้นที่ต่ำลงมากกว่าจึงส่งผลให้ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเพิ่มขึ้นมากกว่า ซึ่งปริมาณความชื้นดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.7 และ 4.13 ขณะที่ Nurhadi, Andoyo, Mahani, and Rossi (2012) ได้ทำการอธิบายถึงพฤติกรรมดังกล่าวไว้ว่า ปริมาณความชื้นมีอิทธิพลแบบแปรผกผัน

ต่ออุณหภูมิกลาสทรานซิชัน นอกจากนี้ Aichayanich (2013) ยังได้อธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับพฤติกรรมดังกล่าวว่า เนื่องจากน้ำเป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ซึ่งมีหน้าที่ทำให้โครงสร้างของตัวอย่างอ่อนนุ่มและง่ายต่อการเกิดกลาสทรานซิชัน ดังนั้นหากตัวอย่างมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นก็จะทำให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชันลดลง สอดคล้องกับ Jadhav, Gaikwad, Nair, and Kadam (2009) ที่กล่าวถึงการประยุกต์ใช้อุณหภูมิกลาสทรานซิชันในภาคเภสัชกรรมว่า แป้งสาลีที่ความชื้น 0.14 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันมากกว่าแป้งสาลีที่ความชื้น 0.15, 0.16 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของมะขามเปียกผงจากสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม ณ อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 137 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.18 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.27 รอบต่อนาที

ขณะที่ภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างในระดับจุลภาคแสดงดังรูปที่ 4.24 ซึ่งจะเห็นว่า ภาพถ่ายนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างในระดับจุลภาคของทั้งมะขามเปียกผงที่ได้จากอัตราส่วนการผสมสารช่วยทำแห้ง 50 เปอร์เซ็นต์ และมะขามเปียกผงที่ได้จากสูตรการผสมที่เหมาะสม นั่นคือ มีลักษณะโครงสร้างเป็นอนุภาคขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วบริเวณเมื่อถ่ายภาพด้วยกำลังขยายต่ำดังรูปที่ 4.24 (ก) และเมื่อเพิ่มกำลังขยายจะพบว่าอนุภาคขนาดเล็กนั้นยังห่อหุ้มอนุภาคขนาดเล็กกว่าเอาไว้ภายในดังรูปที่ 4.24 (ข)



(ก) มะขามที่กำลังขยาย 100X (ข) มะขามที่กำลังขยาย 500X

รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายโครงสร้างของมะขามเปียกผงจากสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม

4.5 ผลการศึกษาทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภค

จากผลการทดสอบทัศนคติและการยอมรับโดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบรวมแบบ 9 ระดับ (9 points hedonic scale) กับกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 50 คนพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนความชอบโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยดังแสดงในตารางที่ 4.14 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการทดสอบผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ก่อนทำการละลายผู้ตอบแบบสอบถามจะให้คะแนนความชอบเกี่ยวกับคุณลักษณะด้านสีน้ำตาล กลิ่นเปรี้ยว และรสเปรี้ยวของมะขามเปียกผงอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ขณะที่คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของมะขามเปียกผงผู้ตอบแบบสอบถามจะให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบ ปานกลาง และเมื่อทำการทดสอบผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงในรูปแบบของผลิตภัณฑ์หลังทำการละลายผู้ตอบแบบสอบถามจะให้คะแนนความชอบเกี่ยวกับความยากง่ายในการละลายอยู่ในระดับไม่ชอบปานกลางขณะที่คุณลักษณะด้านสีน้ำตาลของน้ำมะขามเปียกหลังทำการละลายจะอยู่ในระดับชอบมาก ส่วนคุณลักษณะด้านกลิ่นเปรี้ยวและรสเปรี้ยวของน้ำมะขามเปียกหลังทำการละลายจะอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงในคุณลักษณะด้านต่าง ๆ

คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความคิดเห็น
สีน้ำตาลของมะขามผง	5.98±1.34	ชอบเล็กน้อย
กลิ่นเปรี้ยวของมะขามผง	6.02±1.67	ชอบเล็กน้อย
รสเปรี้ยวของมะขามผง	6.14±1.77	ชอบเล็กน้อย
เนื้อสัมผัสของมะขามผง	6.42±2.02	ชอบปานกลาง
ความยากง่ายในการละลาย	3.36±1.77	ไม่ชอบปานกลาง
สีน้ำตาลของน้ำมะขามหลังละลาย	7.24±1.30	ชอบมาก
กลิ่นเปรี้ยวของน้ำมะขามหลังละลาย	5.82±1.63	ชอบเล็กน้อย
รสเปรี้ยวของน้ำมะขามหลังละลาย	6.14±2.19	ชอบเล็กน้อย
ความชอบโดยรวม	6.08±1.72	ชอบเล็กน้อย

ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายแสดงดังตารางที่ 4.15 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงร้อยละ 76.00 และเพศชายร้อยละ 24.00 โดยจะมีอายุอยู่ในช่วง 20-30 ปีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 78.00 รองลงมาคือ อายุ 31-40 ปีคิดเป็นร้อยละ 10.00 อายุ 41-50 ปีคิดเป็นร้อยละ 8.00 และอายุมากกว่า 50 ปีคิดเป็นร้อยละ 4.00 โดยกลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่จะมีระดับการศึกษาอยู่ในชั้นปริญญาตรีคิดเป็นร้อยละ 76.00 รองลงมาคือ ต่ำกว่ามัธยมศึกษาคิดเป็นร้อยละ 6.00 อนุปริญญาคิดเป็นร้อยละ 6.00 และการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาคิดเป็นร้อยละ 4.00 ปริญญาโทคิดเป็นร้อยละ 4.00 และสูงกว่าปริญญาโทคิดเป็นร้อยละ 4.00 ซึ่งกลุ่มผู้บริโภคจะมีอาชีพเป็นนักศึกษามากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 60.00 รองลงมาคือ อาชีพพนักงานมหาวิทยาลัยคิดเป็นร้อยละ 12.00 อาชีพพนักงานบริษัทคิดเป็นร้อยละ 10.00 อาชีพค้าขายคิดเป็นร้อยละ 10.00 ส่วนอาชีพอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 4.00 อาชีพข้าราชการคิดเป็นร้อยละ 2.00 และอาชีพรับจ้างทั่วไปคิดเป็นร้อยละ 2.00 ซึ่งกลุ่มของผู้บริโภคส่วนใหญ่จะมีรายได้น้อยกว่า 5,000 บาทหรือคิดเป็นร้อยละ 40.00 รองลงมาคือ รายได้ 5,001-10,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 24.00 รายได้ 10,001-15,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 16.00 รายได้ 15,001-20,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 12.00 รายได้มากกว่า 25,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 6.00 และรายได้ 20,001-25,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 2.00

ตารางที่ 4.15 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	จำนวนคน	ร้อยละความถี่
เพศ		
ชาย	12	24.00
หญิง	38	76.00
อายุ		
20-30 ปี	39	78.00
31-40 ปี	5	10.00
41-50 ปี	4	8.00
มากกว่า 50 ปี	2	4.00
ระดับการศึกษา		
ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	3	6.00
มัธยมศึกษา	2	4.00
อนุปริญญา	3	6.00
ปริญญาตรี	38	76.00
ปริญญาโท	2	4.00
สูงกว่าปริญญาโท	2	4.00
อาชีพ		
นักศึกษา	30	60.00
ข้าราชการ	1	2.00
พนักงานมหาวิทยาลัย	6	12.00
พนักงานบริษัท	5	10.00
ค้าขาย	5	10.00
รับจ้างทั่วไป	1	2.00
อื่น ๆ	2	4.00
รายได้		
น้อยกว่า 5,000 บาท	20	40.00
5,001-10,000 บาท	12	24.00
10,001-15,000 บาท	8	16.00
15,001-20,000 บาท	6	12.00
20,001-25,000 บาท	1	2.00
มากกว่า 25,000 บาท	3	6.00

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขณะที่ความคิดเห็นของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงแสดงดังตารางที่ 4.16 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ทำอาหาร 1-3 ครั้งต่อสัปดาห์หรือคิดเป็นร้อยละ 52.00 รองลงมาคือ ทำอาหาร 4-6 ครั้งต่อสัปดาห์คิดเป็นร้อยละ 22.00 ไม่ทำอาหารคิดเป็นร้อยละ 14.00 ทำอาหารทุกวันคิดเป็นร้อยละ 12.00 โดยผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดเคยใช้หรือเคยบริโภคอาหารที่มีส่วนผสมของมะขามเปียก และมีเพียง 9 คนหรือคิดเป็นร้อยละ 18.00 ที่เคยรู้จักผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงมาก่อน ทั้งนี้เมื่อผู้ตอบแบบสอบถามได้ทำการทดสอบผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงแล้วมีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมากถึงร้อยละ 72.00 อีกทั้งผู้ตอบแบบสอบถามยังได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการนำผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ โดยผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 30.60 มีความเห็นว่า มะขามเปียกผงสามารถนำไปใช้ปรุงอาหารทดแทนการใช้มะขามเปียกสดได้ ร้อยละ 28.50 สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมของผงเครื่องแกงสำเร็จรูปได้ ร้อยละ 26.40 สามารถนำไปใช้ผสมเป็นน้ำมะขามพร้อมดื่มได้ ร้อยละ 13.90 สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางค์ได้ และอื่น ๆ อีกร้อยละ 0.70 มีความเห็นว่าสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมของลูกอมได้

ตารางที่ 4.16 ความคิดเห็นของกลุ่มผู้บริโภคเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผง

ความคิดเห็น	จำนวนคน	ร้อยละความถี่
ปกติท่านทำอาหารบ่อยครั้งเพียงใด		
ทำอาหารทุกวัน	6	12.00
ทำอาหาร 1-3 ครั้งต่อสัปดาห์	26	52.00
ทำอาหาร 4-6 ครั้งต่อสัปดาห์	11	22.00
ไม่ทำอาหาร	7	14.00
ท่านเคยใช้หรือบริโภคอาหารที่มีส่วนผสมของมะขามเปียกหรือไม่		
เคย	50	100.00
ไม่เคย	0	0.00
ท่านเคยรู้จักผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงมาก่อนหรือไม่		
เคย	9	18.00
ไม่เคย	41	82.00
หากมีผลิตภัณฑ์นี้ออกวางจำหน่ายท่านคิดว่าจะซื้อหรือไม่		
ซื้อ	36	72.00
ไม่ซื้อ	14	28.00
ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงสามารถนำไปใช้ทำอะไรได้บ้าง		
นำไปใช้ในการปรุงอาหารทดแทนการใช้มะขามเปียกสด	44	30.60
นำไปใช้เป็นส่วนผสมของผงเครื่องแกงสำเร็จรูป	41	28.50
นำไปใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางค์	20	13.90
นำไปใช้ผสมเป็นน้ำมะขามพร้อมดื่ม	38	26.40
อื่น ๆ	1	0.60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นอกจากนี้ความคิดเห็นของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงนั้นแสดงดังตารางที่ 4.17 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายนั้นคือ ความสะดวกในการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์ โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญในระดับมากที่สุดต่อปัจจัยดังกล่าว ส่วนปัจจัยในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความสะดวกในการเตรียม การรับรองคุณภาพมาตรฐาน และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นั้นผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ให้ความสำคัญในระดับมาก

ตารางที่ 4.17 ร้อยละของระดับความสำคัญเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ	ระดับความสำคัญ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. สีของผลิตภัณฑ์	22.00	56.00	20.00	2.00	0.00
2. กลิ่นของผลิตภัณฑ์	22.00	52.00	24.00	2.00	0.00
3. รสชาติของผลิตภัณฑ์	40.00	44.00	8.00	8.00	0.00
4. ความสะดวกในการเตรียม	38.00	40.00	16.00	4.00	2.00
5. ความสะดวกในการนำไปใช้งาน	46.00	32.00	18.00	4.00	0.00
6. การรับรองคุณภาพและมาตรฐาน	30.00	54.00	16.00	0.00	0.00
7. อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์	30.00	50.00	20.00	0.00	0.00

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ ด้วยการจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามที่มีระดับการศึกษาแตกต่างกันจะมีทัศนคติเกี่ยวกับการตัดสินใจซื้อในด้านสีของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.20 และผู้ตอบแบบสอบถามที่มีรายได้แตกต่างกันจะมีทัศนคติเกี่ยวกับการตัดสินใจซื้อในด้านสีและด้านการรับรองคุณภาพมาตรฐานของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านเพศ

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ	แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig.
สีของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	1	0.16	0.16	0.32	0.57^{ns}
	ภายในกลุ่ม	48	24.81	0.51		
	รวม	49	24.98			
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	1	0.01	0.01	0.01	0.90^{ns}
	ภายในกลุ่ม	48	26.81	0.55		
	รวม	49	26.82			
รสชาติของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	1	0.47	0.47	0.59	0.44^{ns}
	ภายในกลุ่ม	48	38.24	0.79		
	รวม	49	38.72			
ความสะดวกในการเตรียม	ระหว่างกลุ่ม	1	0.11	0.11	0.13	0.71^{ns}
	ภายในกลุ่ม	48	43.56	0.90		
	รวม	49	43.68			
ความสะดวกในการนำไปใช้งาน	ระหว่างกลุ่ม	1	0.28	0.28	0.35	0.55^{ns}
	ภายในกลุ่ม	48	37.71	0.78		
	รวม	49	38.00			
การรับรองคุณภาพและมาตรฐาน	ระหว่างกลุ่ม	1	0.05	0.05	0.11	0.74^{ns}
	ภายในกลุ่ม	48	21.96	0.45		
	รวม	49	22.02			
อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	1	0.00	0.00	0.01	0.92^{ns}
	ภายในกลุ่ม	48	24.49	0.51		
	รวม	49	24.50			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

^{ns} ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.19 การเปรียบเทียบคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านอายุ

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ	แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig.
สีของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	3	1.00	0.33	0.64	0.59^{ns}
	ภายในกลุ่ม	46	23.97	0.52		
	รวม	49	24.98			
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	3	2.22	0.74	1.38	0.25^{ns}
	ภายในกลุ่ม	46	24.59	0.53		
	รวม	49	26.82			
รสชาติของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	3	1.04	0.34	0.42	0.73^{ns}
	ภายในกลุ่ม	46	37.67	0.81		
	รวม	49	38.72			
ความสะดวกในการเตรียม	ระหว่างกลุ่ม	3	3.18	1.06	1.20	0.31^{ns}
	ภายในกลุ่ม	46	40.49	0.88		
	รวม	49	43.68			
ความสะดวกในการนำไปใช้งาน	ระหว่างกลุ่ม	3	1.01	0.33	0.42	0.73^{ns}
	ภายในกลุ่ม	46	36.98	0.80		
	รวม	49	38.00			
การรับรองคุณภาพและมาตรฐาน	ระหว่างกลุ่ม	3	0.72	0.24	0.52	0.66^{ns}
	ภายในกลุ่ม	46	21.29	0.46		
	รวม	49	22.02			
อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	3	2.62	0.87	1.83	0.15^{ns}
	ภายในกลุ่ม	46	21.87	0.47		
	รวม	49	24.50			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

^{ns} ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.20 การเปรียบเทียบคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านระดับการศึกษา

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ	แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig.
สีของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	5	5.50	1.10	2.48	0.04*
	ภายในกลุ่ม	44	19.47	0.44		
	รวม	49	24.98			
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	5	3.01	0.60	1.11	0.36^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	23.80	0.54		
	รวม	49	26.82			
รสชาติของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	5	3.47	0.69	0.86	0.51^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	35.24	0.80		
	รวม	49	38.72			
ความสะดวกในการเตรียม	ระหว่างกลุ่ม	5	4.61	0.92	1.04	0.40^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	39.06	0.88		
	รวม	49	43.68			
ความสะดวกในการนำไปใช้งาน	ระหว่างกลุ่ม	5	3.61	0.72	0.92	0.47^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	34.38	0.78		
	รวม	49	38.00			
การรับรองคุณภาพและมาตรฐาน	ระหว่างกลุ่ม	5	1.09	0.21	0.45	0.80^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	20.93	0.47		
	รวม	49	22.02			
อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	5	1.36	0.27	0.51	0.76^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	23.14	0.52		
	รวม	49	24.50			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

^{ns} ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.21 การเปรียบเทียบคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านอาชีพ

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ	แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig.
สีของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	6	3.68	0.61	1.23	0.30^{ns}
	ภายในกลุ่ม	43	21.30	0.49		
	รวม	49	24.98			
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	6	4.42	0.73	1.41	0.23^{ns}
	ภายในกลุ่ม	43	22.40	0.52		
	รวม	49	26.82			
รสชาติของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	6	3.35	0.55	0.68	0.66^{ns}
	ภายในกลุ่ม	43	35.36	0.82		
	รวม	49	38.72			
ความสะดวกในการเตรียม	ระหว่างกลุ่ม	6	2.21	0.36	0.38	0.88^{ns}
	ภายในกลุ่ม	43	41.46	0.96		
	รวม	49	43.68			
ความสะดวกในการนำไปใช้งาน	ระหว่างกลุ่ม	6	2.36	0.39	0.47	0.82^{ns}
	ภายในกลุ่ม	43	35.63	0.82		
	รวม	49	38.00			
การรับรองคุณภาพและมาตรฐาน	ระหว่างกลุ่ม	6	2.12	0.35	0.76	0.60^{ns}
	ภายในกลุ่ม	43	19.90	0.46		
	รวม	49	22.02			
อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	6	3.30	0.55	1.11	0.36^{ns}
	ภายในกลุ่ม	43	21.20	0.49		
	รวม	49	24.50			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

^{ns} ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.22 การเปรียบเทียบคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านรายได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ	แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig.
สีของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	5	5.66	1.13	2.58	0.03*
	ภายในกลุ่ม	44	19.31	0.43		
	รวม	49	24.98			
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	5	3.32	0.66	1.24	0.30^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	23.49	0.53		
	รวม	49	26.82			
รสชาติของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	5	3.60	0.72	0.90	0.48^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	35.11	0.79		
	รวม	49	38.72			
ความสะดวกในการเตรียม	ระหว่างกลุ่ม	5	2.26	0.45	0.48	0.78^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	41.41	0.94		
	รวม	49	43.68			
ความสะดวกในการนำไปใช้งาน	ระหว่างกลุ่ม	5	2.87	0.57	0.71	0.61^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	35.13	0.79		
	รวม	49	38.00			
การรับรองคุณภาพและมาตรฐาน	ระหว่างกลุ่ม	5	5.82	1.16	3.16	0.01*
	ภายในกลุ่ม	44	16.19	0.36		
	รวม	49	22.02			
อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์	ระหว่างกลุ่ม	5	3.07	0.61	1.26	0.29^{ns}
	ภายในกลุ่ม	44	21.42	0.48		
	รวม	49	24.50			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

^{ns} ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของสรุปผลการทดลองประกอบด้วย สรุปผลอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด สภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก ทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภค รวมถึงข้อเสนอแนะ ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 หัวข้อ ดังนี้

1) สรุปผลอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำ

อัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำเท่ากับ 1:5 เป็นอัตราส่วนที่เมื่อผสมสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิดประกอบด้วย มอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค และกัมอารบิก แล้วจะสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งและร่อนออกจากลูกกลิ้งโดยใช้ใบมีดขูดได้ทั้งหมด

2) สรุปผลอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค และกัมอารบิกที่ 50-80, 40-80 และ 30-80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งและร่อนออกจากลูกกลิ้งโดยใช้ใบมีดขูดได้ทั้งหมด

3) สรุปผลอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

สูตรที่เหมาะสมของการผสมน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิดเท่ากับ 2:1 ซึ่งประกอบด้วย น้ำมะขามเปียก มอลโตเดกซ์ทริน ซัคซินิค และกัมอารบิกที่ 200.00, 61.52, 28.48 และ 10.00 กรัม ตามลำดับ เป็นสูตรที่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งและร่อนออกจากลูกกลิ้งโดยใช้ใบมีดขูดได้ทั้งหมด

4) สรุปผลสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

สภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียกประกอบด้วย อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 137.17 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.18 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.27 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นสภาวะที่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งและร่อนออกจากลูกกลิ้งโดยใช้ใบมีดขูดได้ทั้งหมด

5) สรุปผลทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภค

กลุ่มผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยและมีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสูงถึง 72.00 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

1) ชนิดของบรรจุภัณฑ์และอายุการเก็บรักษา : ควรมีการศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่จะใช้สำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ให้ได้อย่างเหมาะสมและช่วยให้ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา

2) ชนิดของสารช่วยทำแห้ง : ควรมีการศึกษาสารช่วยทำแห้งชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อเป็นแนวทางของการเลือกใช้สารช่วยทำแห้งให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปผลิตเพื่อการค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

3) วิธีการทำแห้ง : ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการผลิตมะขามเปียกผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งกับวิธีการทำแห้งแบบอื่น ๆ เช่น การทำแห้งแบบลมร้อน หรือการทำแห้งแบบสุญญากาศ เพื่อเป็นแนวทางที่จะสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีดังกล่าวสู่ผู้ประกอบการขนาดเล็กให้สามารถนำไปผลิตเพื่อการค้าได้

4) คุณค่าทางโภชนาการ : ควรมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะสารสำคัญที่มีผลทางด้านยาและเวชสำอางค์ในมะขามเปียกอย่างละเอียดทั้งในรูปแบบของผลิตภัณฑ์สดและผลิตภัณฑ์หลังทำแห้ง เพื่อเป็นแนวทางของการผลิตหรือการนำไปเป็นส่วนผสมของการผลิตให้สามารถคงคุณค่าทางโภชนาการของมะขามเปียกเอาไว้ได้อย่างเหมาะสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กรรณิการ์ จงเพิ่มวัฒนะผล. (2549). **การทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน: ผลของอุณหภูมิและมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพมะขามผง**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

กระยาทิพย์ เรือนใจ. (2543). **ผลไม้คุณค่านานาเพื่อสุขภาพ**. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ต้นธรรม.

จิตติมณฑน์ วงศ์ษา. (2552). **รายงานการวิจัยเรื่อง การแปรรูปเพื่อผลิตมะขามเปียกก้อน**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ชนิตา ศิริรัตน์. (2552). **การผลิตน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันโดยการอบแห้งแบบสุญญากาศและแบบแช่เยือกแข็ง**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี. (2536). **การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ดวงพร คุณาพรสุจริต. (2554). **การผลิตเครื่องดื่มลำไยผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธิติยา ทองเกิน, วิลัศนา โพธิ์ศรี และมุทิตา มีนุ่น. (2552). **รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาแนวทางของการพัฒนาผลิตภัณฑ์มะขามเปรี้ยวสำเร็จรูปสู่ตลาดต่างประเทศ**. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

ธัญนิชา ไร่นากิจ. (2552). **ซอร์ปชันไอโซเทอร์มคุณภาพทางเคมีกายภาพและอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของน้ำลำไยผง**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นฤดี พงศ์กิจวิทูร. (2542). **ปัจจัยการผลิตกล้วยหอมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นันทพร อัคนิจ และสุพัฒน์ชลี สิริโชควรกิตติ์. (2555). **รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตกะเพราทอดสุญญากาศ**. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ปนัดดา ฤทธิ์นุช. (2555). **การศึกษาสภาวะการแปรรูปและจลนพลศาสตร์ของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมท**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปัญจรัศมิ์ นันทพล, พูนศักดิ์ ดิษฐ์กระจัน และภคินี อัครเวสสะพงศ์. (2532). **รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาวิธีการและชนิดของถุงพลาสติกที่มีอิทธิพลต่อการเก็บรักษาเนื้อมะขามเปรี้ยวที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน**. กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยพืชสวน ศูนย์วิจัยพืชสวนศรีสะเกษ.

ปัทมา พงษ์เกษ. (2552). **กระบวนการผลิตน้ำหม่อนเข้มข้นโดยเทคนิคการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เปาว์ คงสุนทรกิจกุล. (2548). **ผลของสารช่วยทำแห้งและสภาวะการทำแห้ง ต่อสมบัติผลิตภัณฑ์ผงในการผลิตมะขามผงโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พงษ์ศักดิ์ ขาวอินทร์. (2555). **การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมโดยใช้ปฏิกิริยาฟื้นฟูสภาพได้**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, มณฑิรา นพรัตน์, กฤษดา เรืองเดช, วาสนา พาพันธ์, และอำนวย เลิศรุ่นพาณิชย์. (2546). **ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับปะรดผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย**. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 (หน้า 242-250). กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทรี ทิพยรักษ์. (2549). **การพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องดื่มลูกเดือยผง**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2549). **มผช 1316/2549 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มะขามผงสำเร็จรูป**. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์กระทรวงอุตสาหกรรม.

วลัยพร ศรีชุมพวง, ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี และรัชนีพร มาลาวัลย์. (2548). **รายงานการวิจัยเรื่อง ปัจจัยกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อสมบัติและอายุการเก็บรักษามะขามผง**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วิริยะ พรมกอง, อภิญญา เอกพงษ์ และเอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด. (2551). **รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษากระบวนการผลิตมะขามอบแห้งแบบโฟม**. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

วัชรี เทพโยธิน. (2554). **ซอร์ปชันไอโซเทอร์มสมบัติทางเคมีกายภาพและอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของน้ำมะม่วงมหาชนกผง**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สโรบล สโรชวิกสิต และชัยรัตน์ ตั้งดวงดี. (2549). **ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับปะรดผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย**. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ ปีที่ 34 (ฉบับที่ 3), 203-215.

สุนีย์ จึงธีรพานิช. (2551). **การพัฒนาถั่วอะซูกิผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพจน์ ตุงคเศรวงศ์. (2556). **ความสำคัญของการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในอุตสาหกรรมอาหาร**. วารสารสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ปีที่ 40 (ฉบับที่ 229), 85-88.

เสาวรัชรี รินอุตย์. (2555). **ผลของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโฟมแมทที่มีต่อความคงตัวของสารสกัดจากใบเตยหอมชนิดผง**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2554). **ข้อมูลการนำเข้าส่งออก (สถิติการส่งออก) ของมะขามเปียก [ออนไลน์]** ได้จาก: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export.php.

Addai, Z. R., Abdullah, A., Mutalib, S. A., and Musa, K. H. (2013). **Effect of gum arabic on quality and antioxidant properties of papaya fruit during cold storage**. International Journal of Chemtech Research. 5(6), 2854-2862.

Aichayanich, S. (2013). **The relation between glass transition during drying process and the quality of dried food products**. The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok. 23(1), 241-249.

Avila, E. L., Rodriguez, M. C., and Velasquez, H. J. C. (2015). **Influence of maltodextrin and spray drying process conditions on sugarcane juice powder quality**. Revista Facultad Nacional de Agronomia Medellín. 68(1), 7509-7520.

Bazaria, B., and Kumar, P. (2016). **Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using response surface methodology**. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 1, 1-8.

Bhandari, B. R., Senoussi, A., Dumoulin, D. E., and Lebert, A. (1993). **Spray drying of concentrated fruit juices**. Drying Technology. 11(5), 1081-1092.

Bhusari, S. N., Muzaffar, K., and Kumar, P. (2014). **Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder**. Powder Technology. 266, 354-364.

Bonaui, C., Dumoulin, E., Raoult-Wack A., Berk, Z., Bimbenet, J. J., Courtois, F., Trystram G., and Vasseur, J. (1996). **Food drying and dewatering**. Drying Technology. 14(9), 2135-2170.

Bule, M. V., Singhal, R. S., and Kennedy, J. F. (2010). **Microencapsulation of ubiquinone-10 in carbohydrate matrices for improved stability**. Carbohydrate Polymers. 82, 1290-1296.

Caliskan, G., and Dirim, S. N. (2013). **The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract**. Food and Bioproducts Processing. 91, 539-548.

Carareto, N. D. D., Monteiro-Filho, E. S., Pessoa-Filho, P. A., and Meirelles, A. J. A. (2010). **Water activity of aqueous solutions of ethylene oxide propylene oxide block copolymers and maltodextrins**. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 27(1), 173-181.

Dauqan, E., and Abdullah, A. (2013). **Utilization of gum Arabic for industries and human health**. American Journal of Applied Sciences. 10(10), 1270-1279.

Ekpong, A., Phomkong, W., and Onsaard, E. (2016). **The effects of maltodextrin as a drying aid and drying temperature on production of tamarind powder and consumer acceptance of the powder**. International Food Research Journal. 23(1), 300-308.

Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., and Omid, M. (2012). **Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder**. Food and Bioproducts Processing. 90, 667-675.

Goula, A. M., and Adamopoulos, K. G. (2010). **A new technique for spray drying orange juice concentrate**. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 11, 342-351.

Heldman, D. R. and Lund, D. B. (2007). **Handbook of food engineering second edition**. New York: CRC Press.

Jadhav, N. R. Gaikwad, V. L., Nair, K. J., Kadam, H. M. (2009). **Glass transition temperature: Basics and application in pharmaceutical sector**. Asian Journal of Pharmaceutics. 1, 82-89.

Jittanit, W., Niti-Att, S., and Techanuntachaikul, O. (2010). **Study of Spray Drying of pineapple juice using maltodextrin as an adjunct**. Chiang Mai Journal of Science. 37(3), 498-506.

Jittanit, W., Chantara-In, M., Deying, T., and Ratanavong, W. (2011). **Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrin and arabic gum as adjuncts**. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 33(1), 33-41.

Khazaei, J., Chegini, G. R., and Bakhshiani, M. (2008). **A novel alternative method for modeling the effects of air temperature and slice thickness on quality and drying kinetics of tomato slices: superposition technique**. Drying Technology. 26, 759-775.

Mcnamee, B. F., White, L. E., Riordan, E. D., and Sullivan, M. (2001). **Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties**. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49(7), 3385-3388.

Muzaffar, K., and Kumar, P. (2015). **Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology**. Powder Technology. 279, 179-184.

Mahendran, T. (2010). **Physico-chemical properties and sensory characteristics of dehydrated guava concentrate: effect of drying method and maltodextrin concentration**. Tropical Agricultural Research and Extension. 13(2), 48-54.

Nilsson, L., and Bergenstahl, B. (2007). **Adsorption of hydrophobically modified anionic starch at oppositely charged oil/water interfaces**. Journal of Colloid and Interface Science. 308(2), 508-513.

Nurhadi, B., Andoyo, R., Mahani, R., and Rossi, I. (2012). **Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method**. International Food Research Journal. 19(3), 907-912.

Papadakis, S. E., Gardeli, C., and Tzia, C. (2006). **Spray drying of raisin juice concentrate**. Drying Technology. 24, 173-180.

Parejiya, P. B., Patel, R. C., Mehta, D. M, Shelat, P. K., Barot, B. S. (2013). **Quick dissolving films of nebivolol hydrochloride: formulation and optimization by a simplex lattice design**. Journal of Pharmaceutical Investigation. 43, 343-351.

Pua, C. K., Hamid, N. S. A., Tan, C. P., Mirhosseini, H., Rahman, R. B. A., and Rusul, G. (2010). **Optimization of drum drying processing parameters for production of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder using response surface methodology**. Food Science and Technology. 43, 343-349.

Quek, S. Y., Chok, N. K., and Swedlund, P. (2007). **The physicochemical properties of spray dried watermelon powders**. Chemical Engineering and Processing. 46, 386-392.

Reineccius, G. A. (1991). **Carbohydrates for flavor encapsulation**. Food Technology. 454(45), 144-147.

Samborska, K., Gajek, Paulina, and Kaminska-Dworznicka, A. (2015). **Spray drying of honey the effect of drying agents on powder properties**. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 65(2), 109-118.

Santana, A. A., Oliveira, R. A., Pinedo, A. A., Kurozawa, L. E., and Park, K. J. (2013). **Microencapsulation of babassu coconut milk**. Food Science and Technology. 33(4), 737-744.

Shi, Q., Fang, Z., and Bhandari, B. (2013). **Effect of addition of whey protein isolate on spray drying behavior of honey with maltodextrin as a carrier material**. Drying Technology. 31, 1681-1692.

Shogren, R. L., Viswanathan, A., Felker, F., and Gross, R. A. (2000). **Distribution of octenyl succinate groups in octenyl succinic anhydride modified waxy maize starch**. Starch/Starke. 52, 196-204.

Silva, P. I., Stringheta, P. C., Teofilo, R. F., and Oliveira, I. R. N. (2013). **Parameter optimization for spray drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses**. Journal of Food Engineering. 1, 1-7.

Suhag, Y., Nayik, G. A., and Nanda, V. (2016). **Effect of gum arabic concentration and inlet temperature during spray drying on physical and antioxidant properties of honey powder**. Food Measure. 10, 350-356.

Suhag, Y., and Nanda, V. (2016). **Optimization for spray drying process parameters of nutritionally rich honey powder using response surface methodology**. Cogent Food and Agriculture. 2, 1-12.

Tonon, R. V., Brabet, C., and Hubinger, D. (2008). **Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying**. Journal of Food Engineering. 88, 411-418.

Vardin, H., and Yasar, M. (2012). **Optimisation of pomegranate (Punica Granatum L.) juice spray drying as affected by temperature and maltodextrin content**. International Journal of Food Science and Technology. 47, 167-176.

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างการคำนวณ

ก.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด

การคำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมดจะใช้ข้อมูลจากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด โดยมีตัวอย่างเป็นสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วน 80 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.5 และสมการที่ 3.1 เมื่อกำหนดให้ น้ำหนักของถ้วยอบแห้งเท่ากับ 15.9466 กรัม น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างก่อนทำแห้งเท่ากับ 17.0781 กรัม น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างหลังทำแห้งเท่ากับ 16.4911 กรัม

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

$$\text{total solid content} = \left(1 - \frac{17.0781 - 16.4911}{17.0781 - 15.9466}\right) \times 100\%$$

$$\text{total solid content} = 48.12\%$$

ก.2 ปริมาณร้อยละผลผลิต

การคำนวณหาปริมาณความชื้นจะใช้ข้อมูลจากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด โดยมีตัวอย่างเป็นสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วน 80 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.5 และสมการที่ 3.2 เมื่อกำหนดให้ น้ำหนักแห้งของตัวอย่างทั้งหมดหลังทำแห้งเท่ากับ 197.1794 กรัม และน้ำหนักแห้งของตัวอย่างเริ่มต้นก่อนทำแห้งเท่ากับ 216.5943 กรัม

$$\text{drying yield} = \frac{M_a}{M_b} \times 100\%$$

$$\text{drying yield} = \frac{197.1794}{216.5943} \times 100\%$$

$$\text{drying yield} = 91.03\%$$

ก.3 ปริมาณความชื้น

การคำนวณหาปริมาณความชื้นจะใช้ข้อมูลจากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด โดยมีตัวอย่างเป็นสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วน 80 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.5 และสมการที่ 3.3 เมื่อกำหนดให้ น้ำหนักของถ้วยอบแห้งเท่ากับ 15.7975 กรัม น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างก่อนทำแห้งเท่ากับ 16.3319 กรัม น้ำหนักของถ้วยอบแห้งและตัวอย่างหลังทำแห้งเท่ากับ 16.3239 กรัม

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

$$\text{moisture content} = \left(\frac{16.3319 - 16.3239}{16.3319 - 15.7975}\right) \times 100\%$$

$$\text{moisture content} = 1.49\%$$

ก.4 ความแตกต่างของสี

การคำนวณหาความแตกต่างของสีจะใช้ข้อมูลจากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด โดยมีตัวอย่างเป็นสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วน 80 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.5 และสมการที่ 3.5 เมื่อกำหนดให้ ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างเริ่มต้นเท่ากับ 29.34, 1.02 และ 1.12 ตามลำดับ ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างหลังทำละลายเท่ากับ 27.92, 0.32 และ 1.68 ตามลำดับ

$$\Delta E = \sqrt{(29.34 - 27.92)^2 + (1.02 - 0.32)^2 + (1.12 - 1.68)^2}$$

$$\Delta E = \sqrt{(1.42)^2 + (0.70)^2 + (0.56)^2}$$

$$\Delta E = 1.68$$

ก.5 ความหนาแน่น

การคำนวณหาความหนาแน่นจะใช้ข้อมูลจากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด โดยมีตัวอย่างเป็นสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วน 80 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.5 และสมการที่ 3.7 เมื่อกำหนดให้ น้ำหนักของตัวอย่างเท่ากับ 6.50 กรัม และปริมาตรของบีกเกอร์เท่ากับ 10.00 มิลลิลิตร

$$\text{bulk density} = \frac{m}{v}$$

$$\text{bulk density} = \frac{6.50}{10.00}$$

$$\text{bulk density} = 0.65\ \text{g/mL}$$

ก.6 ความสามารถในการละลาย

การคำนวณหาความสามารถในการละลายจะใช้ข้อมูลจากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด โดยมีตัวอย่างเป็นสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วน 80 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.5 และสมการที่ 3.8 เมื่อกำหนดให้ น้ำหนักแห้งของของเหลวใสเท่ากับ 0.8448 กรัม และน้ำหนักแห้งของตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ 1.00 มิลลิลิตร

$$\text{solubility} = \frac{M_s}{M_p} \times 100\%$$

$$\text{solubility} = \frac{0.8448}{1.0000} \times 100\%$$

$$\text{solubility} = 84.48\%$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.7 ปริมาณกรดทั้งหมด

การคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดจะใช้ข้อมูลจากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด โดยมีตัวอย่างเป็นสารช่วยทำแห้งชนิดมอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วน 80 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.5 และสมการที่ 3.4 เมื่อกำหนดให้ ปริมาณด่างที่ใช้ในการไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติเท่ากับ 8.17 มิลลิลิตร นอร์มัลของด่างที่ใช้ในการไทเทรตเท่ากับ 0.1 น้ำหนักสมมูลของกรดทาร์ทาริกเท่ากับ 75 และปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรตเท่ากับ 15 มิลลิลิตร พร้อมทั้งทำการคูณกลับค่าที่ถูกเจือจางด้วยน้ำ 2 ขั้นตอนคือ จากขั้นตอนการเตรียมสารละลายก่อนนำมาตรวจคุณภาพที่ใช้อัตราส่วนของผงมะขามเปียกต่อน้ำ (4:20) จะคูณกลับด้วย 6 และจากขั้นตอนการไทเทรตที่ใช้อัตราส่วนของสารละลายน้ำมะขามเปียกต่อน้ำ (5:10) จะคูณกลับด้วย 3

$$\text{total acidity} = \left(\frac{V \times N \times Eq.wt}{U \times 1000} \times 100\% \right) \times 6 \times 3$$

$$\text{total acidity} = \left(\frac{8.17 \times 0.1 \times 75}{15 \times 1000} \times 100\% \right) \times 6 \times 3$$

$$\text{total acidity} = 7.35\%$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างแบบสอบถามและผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างแบบสอบถาม

แบบสอบถาม

การประเมินทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะขามผง

ชื่อผู้ทดสอบ.....**วันที่ทดสอบ**.....

<u>คำแนะนำ</u>

1. **ผลิตภัณฑ์ก่อนละลาย :** กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง โดยใช้ผลิตภัณฑ์ใน *ซองหมายเลข 1* จากนั้นทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ตามความรู้สึกของท่าน แล้วให้คะแนนความชอบที่ตรงกับคุณลักษณะลำดับที่ 1-4 ด้วยคะแนนตามคำอธิบายด้านล่างนี้
2. **ผลิตภัณฑ์หลังละลาย :** กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นน้ำ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ใน *ซองหมายเลข 2* พร้อมทั้งปฏิบัติตามคำแนะนำด้านหลังซอง จากนั้นทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ตามความรู้สึกของท่าน แล้วให้คะแนนความชอบที่ตรงกับคุณลักษณะลำดับที่ 5-9 ด้วยคะแนนตามคำอธิบายด้านล่างนี้

9	**=**	**ชอบมากที่สุด**	**8**	**=**	**ชอบมาก**	**7**	**=**	**ชอบปานกลาง**
6	**=**	**ชอบเล็กน้อย**	**5**	**=**	**เฉย ๆ**	**4**	**=**	**ไม่ชอบเล็กน้อย**
3	**=**	**ไม่ชอบปานกลาง**	**2**	**=**	**ไม่ชอบมากที่สุด**	**1**	**=**	**ไม่ชอบมากที่สุด**

ลำดับ	คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
		ซองหมายเลข 1	ซองหมายเลข 2
1	สีน้ำตาลของมะขามผง		
2	กลิ่นเปรี้ยวของมะขามผง		
3	รสเปรี้ยวของมะขามผง		
4	เนื้อสัมผัสของมะขามผง		
5	ความยากง่ายในการละลาย		
6	สีน้ำตาลของน้ำมะขามหลังละลาย		
7	กลิ่นเปรี้ยวของน้ำมะขามหลังละลาย		
8	รสเปรี้ยวของน้ำมะขามหลังละลาย		
9	ความชอบโดยรวม		

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือ

แบบสอบถาม

การสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผง

<u>คำชี้แจง</u> : แบบสอบถามนี้ใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นของท่านที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผง จึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามให้ครบถ้วน ด้วยการกรอกข้อความและทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่าง ( ) ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

( ) 20-30 ปี ( ) 31-40 ปี

( ) 41-50 ปี ( ) มากกว่า 50 ปี

3. ระดับการศึกษา

( ) ต่ำกว่ามัธยมศึกษา ( ) มัธยมศึกษา / ปวช.

( ) อนุปริญญา / ปวส. ( ) ปริญญาตรี

( ) ปริญญาโท ( ) สูงกว่าปริญญาโท

4. อาชีพ

( ) นักเรียน / นักศึกษา ( ) ข้าราชการ

( ) พนักงานมหาวิทยาลัย ( ) พนักงานบริษัท

( ) ค้าขาย ( ) รับจ้างทั่วไป

( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

5. รายได้ต่อเดือน

( ) น้อยกว่า 5,000 บาท ( ) 5,0001-10,000 บาท

( ) 10,001-15,000 บาท ( ) 15,001-20,000 บาท

( ) 20,0001-25,000 บาท ( ) มากกว่า 25,000 บาท

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ส่วนที่ 2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผง

6. ปกติท่านทำอาหารบ่อยครั้งเพียงใด

( ) ทำอาหารทุกวัน ( ) ทำอาหาร 4-6 ครั้งต่อสัปดาห์

( ) ทำอาหาร 1-3 ครั้งต่อสัปดาห์ ( ) ไม่ทำอาหาร

7. ท่านเคยใช้หรือบริโภคอาหารที่มีส่วนผสมของมะขามเปียกหรือไม่

( ) เคย ( ) ไม่เคย

8. ก่อนที่ท่านจะมาทดสอบมะขามเปียกผงในวันนี้ ท่านเคยรู้จักผลิตภัณฑ์นี้มาก่อนหรือไม่

( ) รู้จัก ( ) ไม่รู้จัก

9. กรุณาแสดงความคิดเห็นถึงความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อมะขามเปียกผงของท่าน โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับความสำคัญที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ	ระดับความสำคัญ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
9.1 สีของผลิตภัณฑ์					
9.2 กลิ่นของผลิตภัณฑ์					
9.3 รสชาติของผลิตภัณฑ์					
9.4 ความสะดวกในการเตรียม					
9.5 ความสะดวกในการนำไปใช้งาน					
9.6 การรับรองคุณภาพและมาตรฐาน					
9.7 อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์					

10. หากมีผลิตภัณฑ์นี้ออกวางจำหน่าย ท่านคิดว่าจะซื้อหรือไม่

( ) ซื้อ ( ) ไม่ซื้อ เพราะ…….....

11. ท่านคิดว่ามะขามเปียกผงสามารถนำไปใช้ทำอะไรได้บ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

( ) นำไปใช้ในการปรุงอาหารทดแทนการใช้มะขามเปียกสด

( ) นำไปใช้เป็นส่วนผสมของผงเครื่องแกงสำเร็จรูป

( ) นำไปใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางค์

( ) นำไปใช้ผสมเป็นน้ำมะขามพร้อมดื่ม

( ) อื่น ๆ โปรดระบุ……..……..……..……..……..……..…..…

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1	MDDY4 - MDDY5	-17.01333	.62067	.35834	-18.55517	-15.47150	-47.478	2	.000
Pair 2	OSADY4 - OSADY5	-6.86000	.73729	.42568	-8.69154	-5.02846	-16.116	2	.004
Pair 3	GADY4 - GADY5	-5.65333	.41308	.23849	-6.67948	-4.62719	-23.705	2	.002
Pair 4	MDTA4 - MDTA5	-.09667	.08505	.04910	-.30794	.11461	-1.969	2	.188
Pair 5	OSATA4 - OSATA5	-.14333	.09866	.05696	-.38841	.10175	-2.516	2	.128
Pair 6	GATA4 - GATA5	-.08333	.04726	.02728	-.20073	.03406	-3.054	2	.093

รูปที่ ข.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำที่อัตราส่วน 1:4 และ 1:5

TS

Duncan[a,b]

Ratio	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
GA 10%	3	17.6942																						
OSA 10%	3		18.0724																					
MD 10%	3		18.1218																					
GA 20%	3			24.0247																				
OSA 20%	3				24.2559																			
MD 20%	3					24.7394																		
GA 30%	3						29.1591																	
OSA 30%	3							29.6673																
MD 30%	3								30.1792															
GA 40%	3									33.5390														
OSA 40%	3										34.3157													
MD 40%	3											34.7578												
GA 50%	3												37.0488											
OSA 50%	3													38.2152										
MD 50%	3														38.7865									
GA 60%	3															40.1357								
OSA 60%	3																41.6941							
MD 60%	3																	42.2958						
GA 70%	3																		43.2002					
OSA 70%	3																			44.8967				
MD 70%	3																				45.3355			
GA 80%	3																					45.8037		
OSA 80%	3																						47.8924	
MD 80%	3																							48.1299
Sig.		1.000	.353	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .004.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

DY

Duncan[a,b]

Ratio	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
OSA 10%	3	26.8731																		
MD 10%	3		35.0773																	
GA 10%	3			37.7247																
OSA 20%	3				42.4676															
MD 20%	3					51.9731														
GA 20%	3						52.8561													
MD 30%	3							68.2388												
OSA 30%	3								71.4006											
MD 40%	3									78.1791										
GA 30%	3										79.5910									
MD 50%	3											80.3710								
GA 40%	3												82.2973							
MD 60%	3												82.3356							
OSA 40%	3													86.1737						
GA 50%	3														88.0122					
OSA 50%	3															89.5947				
MD 70%	3																90.4298			
GA 60%	3																90.6473			
GA 70%	3																	90.9607		
MD 80%	3																	91.0364		
OSA 60%	3																	91.0996		
GA 80%	3																	91.1910		
OSA 70%	3																		91.5690	
OSA 80%	3																			91.8817
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.790	1.000	1.000	1.000	.134	.148	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .031.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

MC

Duncan[a,b]

Ratio	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MD 80%	3	1.4891															
OSA 80%	3	1.5667	1.5667														
MD 70%	3	1.5711	1.5711														
OSA 70%	3	1.6377	1.6377														
MD 60%	3		1.7567	1.7567													
OSA 60%	3			1.8835	1.8835												
GA 80%	3				2.0052												
GA 70%	3					2.3144											
OSA 50%	3					2.4818	2.4818										
MD 40%	3						2.5340										
MD 50%	3						2.5623										
GA 60%	3						2.6050	2.6050									
OSA 40%	3						2.6177	2.6177									
GA 50%	3							2.7812									
GA 40%	3								2.9761								
GA 30%	3									3.3299							
OSA 30%	3									3.4119							
GA 20%	3										4.1167						
MD 30%	3											4.6474					
OSA 20%	3												6.5345				
MD 20%	3													7.3624			
GA 10%	3														7.5600		
OSA 10%	3															9.8321	
MD 10%	3																10.5267
Sig.		.158	.071	.186	.204	.083	.208	.083	1.000	.390	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .013.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Aw

Duncan[a,b]

Ratio	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MD 80%	3	.1950															
MD 70%	3	.1997	.1997														
MD 60%	3	.2000	.2000														
OSA 80%	3	.2000	.2000														
OSA 50%	3	.2040	.2040	.2040													
OSA 70%	3		.2090	.2090	.2090												
OSA 60%	3			.2100	.2100	.2100											
MD 40%	3				.2170	.2170	.2170										
GA 80%	3					.2187	.2187	.2187									
GA 70%	3						.2217	.2217	.2217								
GA 60%	3						.2223	.2223	.2223								
MD 50%	3							.2273	.2273	.2273							
OSA 40%	3								.2284	.2284							
GA 50%	3								.2307	.2307							
GA 40%	3									.2320							
GA 30%	3										.2430						
OSA 30%	3											.2517					
GA 20%	3												.2887				
GA 10%	3													.3000			
MD 30%	3													.3010			
OSA 20%	3														.3103		
OSA 10%	3														.3127		
MD 20%	3															.3367	
MD 10%	3																.3520
Sig.		.062	.053	.188	.080	.058	.259	.066	.062	.324	1.000	1.000	1.000	.815	.585	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 2.696E-5.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำอิสระที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

TA

Duncan[a,b]

Ratio	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
GA 20%	3	4.1100																					
OSA 20%	3		5.9100																				
GA 10%	3			6.0900																			
OSA 10%	3				7.2600																		
MD 80%	3				7.3500																		
GA 80%	3					7.5300																	
MD 70%	3						7.8900																
OSA 80%	3						7.9800																
GA 70%	3							8.1300															
OSA 70%	3								8.4000														
MD 60%	3									8.5800													
GA 60%	3										8.7600												
OSA 60%	3											8.9100											
OSA 30%	3												9.0300										
MD 50%	3													9.2100									
GA 50%	3														9.4800								
MD 40%	3															9.6000							
GA 40%	3																9.7500						
GA 30%	3																	9.8700					
OSA 40%	3																		10.3800				
OSA 50%	3																			10.7400			
MD 30%	3																				10.8600		
MD 20%	3																					11.8200	
MD 10%	3																						12.9300
Sig.		1.000	1.000	1.000	124	1.000	124	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .005.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

pH

Duncan[a,b]

Ratio	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
MD 10%	3	3.0367																		
MD 20%	3		3.0667																	
OSA 10%	3			3.1967																
OSA 50%	3			3.2033																
MD 30%	3				3.2233															
GA 10%	3					3.3167														
OSA 40%	3					3.3233														
GA 30%	3						3.4133													
GA 40%	3							3.5267												
OSA 30%	3								3.5467											
OSA 60%	3									3.5767										
OSA 20%	3									3.5833										
MD 40%	3										3.6367									
GA 50%	3											3.6567								
OSA 70%	3											3.6633								
OSA 80%	3												3.7333							
GA 60%	3													3.7533						
GA 20%	3													3.7633						
MD 50%	3														3.7967					
MD 60%	3															3.8367				
GA 70%	3																3.8533			
GA 80%	3																	3.8967		
MD 70%	3																		3.9667	
MD 80%	3																			4.0133
Sig.		1.000	1.000	.350	1.000	.350	1.000	1.000	1.000	.350	1.000	.350	1.000	.164	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 7.500E-5.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพีเอชที่ได้จากการศึกษา
อัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

ΔE

Duncan[a,b]

Ratio	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
OSA 80%	3	1.6339																				
MD 80%	3	1.6791																				
GA 80%	3		1.8912																			
OSA 70%	3			2.1076																		
MD 70%	3			2.1408																		
GA 70%	3				2.2407																	
MD 60%	3					3.1885																
OSA 60%	3						3.7210															
GA 60%	3							4.9552														
OSA 50%	3								5.1117													
OSA 40%	3									6.3636												
MD 50%	3										6.7286											
OSA 30%	3											7.2508										
GA 50%	3												7.6356									
OSA 20%	3													8.6538								
GA 40%	3														9.5662							
MD 40%	3														9.6134							
OSA 10%	3															10.5014						
GA 30%	3																11.0932					
MD 30%	3																	13.1113				
MD 20%	3																		14.7419			
GA 20%	3																			16.2842		
MD 10%	3																				16.7457	
GA 10%	3																					19.7236
Sig.		.133	1.000	.267	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.117	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสีที่ได้จากการศึกษา
อัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

vs

Duncan[a,b]

Ratio	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MD 10%	3	.0155									
GA 10%	3	.0318									
OSA 10%	3	.0351									
MD 20%	3	.0375									
MD 30%	3	.0580									
OSA 20%	3	.0857									
GA 20%	3	.0896									
MD 40%	3	.0956									
OSA 30%	3	.0986									
MD 50%	3	.1748	.1748								
GA 30%	3	.1987	.1987	.1987							
MD 60%	3		.3221	.3221	.3221						
OSA 40%	3		.3496	.3496	.3496						
OSA 60%	3			.3984	.3984						
GA 40%	3				.4614	.4614					
MD 70%	3				.5356	.5356					
OSA 50%	3					.6097					
GA 50%	3						.8680				
MD 80%	3						.9263				
GA 60%	3							1.3257			
OSA 70%	3								1.8225		
GA 70%	3									2.2218	
OSA 80%	3										2.8824
GA 80%	3										3.0543
Sig.		.117	.103	.062	.051	.152	.547	1.000	1.000	1.000	.080

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .014.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนืดที่ได้จากการศึกษา
อัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

BD

Duncan[a,b]

Ratio	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
OSA 80%	3	.6137																
OSA 70%	3	.6223																
OSA 60%	3		.6390															
MD 80%	3			.6597														
MD 70%	3				.6767													
OSA 50%	3				.6890	.6890												
GA 80%	3					.6943												
GA 70%	3						.7160											
GA 60%	3						.7207	.7207										
GA 50%	3							.7337	.7337									
GA 40%	3							.7347	.7347									
GA 30%	3								.7417									
MD 60%	3									.7657								
OSA 40%	3									.7743								
GA 20%	3										.8397							
MD 50%	3											.8793						
OSA 30%	3												.9020					
OSA 20%	3													.9477				
MD 40%	3														.9833			
OSA 10%	3															1.0013		
MD 30%	3															1.0047		
MD 20%	3															1.0117		
GA 10%	3																1.0410	
MD 10%	3																	1.1203
Sig.		.202	1.000	1.000	.072	.430	.490	.053	.267	.202	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.152	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 6.743E-5.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

SO

Duncan[a,b]

Ratio	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
GA 10%	3	46.1333										
GA 20%	3		59.6033									
MD 10%	3			67.0667								
GA 30%	3			67.4133								
OSA 10%	3			69.2000	69.2000							
GA 40%	3				71.0700	71.0700						
GA 50%	3					72.8167	72.8167					
MD 20%	3					73.8500	73.8500					
OSA 20%	3						74.8533	74.8533				
GA 60%	3						75.5300	75.5300				
GA 70%	3							77.8433	77.8433			
GA 80%	3							77.9300	77.9300			
OSA 30%	3								80.6867	80.6867		
MD 30%	3								80.9733	80.9733	80.9733	
OSA 40%	3									81.1633	81.1633	81.1633
OSA 50%	3									81.3367	81.3367	81.3367
OSA 60%	3									81.6300	81.6300	81.6300
MD 40%	3									81.6733	81.6733	81.6733
MD 50%	3									82.0067	82.0067	82.0067
MD 60%	3									82.5333	82.5333	82.5333
MD 70%	3									82.5867	82.5867	82.5867
OSA 70%	3									83.7300	83.7300	83.7300
OSA 80%	3										84.2733	84.2733
MD 80%	3											84.4833
Sig.		1.000	1.000	.167	.199	.072	.090	.054	.050	.079	.057	.055

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 3.094.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการละลายที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งแต่ละชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

TS

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4
Run no.3	3	39.5871			
Run no.7	3	39.6230			
Run no.5	3		39.7784		
Run no.4	3		39.8106		
Run no.2	3		39.9232		
Run no.1	3			40.1501	
Run no.6	3				40.4576
Sig.		.607	.062	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .007.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

DY

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6
Run no.7	3	74.9727					
Run no.6	3		77.6736				
Run no.3	3			78.6241			
Run no.4	3			78.6508			
Run no.5	3				82.1005		
Run no.2	3					85.3323	
Run no.1	3						87.3484
Sig.		1.000	1.000	.855	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .031.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

MC

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
Run no.6	3	2.4280		
Run no.2	3		2.7470	
Run no.3	3		2.7715	
Run no.5	3		2.7730	
Run no.4	3		2.7915	
Run no.7	3			3.0091
Run no.1	3			3.0661
Sig.		1.000	.193	.079

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

Aw

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
Run no.6	3	.1830		
Run no.3	3	.1893	.1893	
Run no.7	3	.2020	.2020	.2020
Run no.1	3	.2063	.2063	.2063
Run no.2	3		.2180	.2180
Run no.4	3			.2300
Run no.5	3			.2313
Sig.		.107	.052	.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำอิสระที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

TA

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6
Run no.1	3	8.4300					
Run no.6	3		9.0300				
Run no.3	3		9.0900				
Run no.2	3			9.2100			
Run no.7	3				9.3000		
Run no.5	3					9.3900	
Run no.4	3						9.4800
Sig.		1.000	.149	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .002.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

pH

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7
Run no.4	3	2.9933						
Run no.5	3		3.0167					
Run no.7	3			3.0433				
Run no.2	3				3.0733			
Run no.3	3					3.1333		
Run no.6	3						3.1667	
Run no.1	3							3.3333
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 3.333E-5.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพีเอชที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ΔE

Duncan[a,b]

Run	N	Subset						
		1	2	3	4	5	6	7
Run no.7	3	4.2180						
Run no.6	3		4.5605					
Run no.5	3			4.6485				
Run no.2	3				7.5013			
Run no.4	3					8.2110		
Run no.1	3						9.1192	
Run no.3	3							10.2620
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสีที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

VS

Duncan[a,b]

Run	N	Subset				
		1	2	3	4	5
Run no.1	3	.1911				
Run no.2	3		.2591			
Run no.3	3		.2702			
Run no.7	3			.2901		
Run no.4	3				.3312	
Run no.6	3					.3501
Run no.5	3					.3615
Sig.		1.000	.202	1.000	1.000	.191

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนืดที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

BD

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3
Run no.2	3	.6403		
Run no.5	3		.6956	
Run no.4	3		.6982	
Run no.6	3			.7566
Run no.7	3			.7629
Run no.3	3			.7655
Run no.1	3			.7703
Sig.		1.000	.787	.196

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

SO

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2
Run no.6	3	78.6283	
Run no.3	3	78.7309	
Run no.5	3	78.9189	
Run no.7	3	80.0733	80.0733
Run no.1	3		81.1427
Run no.4	3		81.3851
Run no.2	3		81.4722
Sig.		.057	.064

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .626.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการละลายที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

Regression for Mixtures: TS versus MD, OSA, GA

Estimated Regression Coefficients for TS (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
MD	41.74	0.2209	*	*	58.32
OSA	40.11	1.1478	*	*	215.46
GA	56.92	1.1478	*	*	215.46
MD*OSA	-2.76	2.3705	-1.16	0.263	283.62
MD*GA	-32.07	2.3705	-13.53	0.000	283.62
OSA*GA	-16.03	2.3705	-6.76	0.000	26.03

S = 0.0806963 PRESS = 0.203242
R-Sq = 94.61% R-Sq(pred) = 88.78% R-Sq(adj) = 92.81%

Analysis of Variance for TS (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1.71349	1.71349	0.34270	52.63	0.000
Linear	2	0.27532	1.44205	0.72102	110.72	0.000
Quadratic	3	1.43817	1.43817	0.47939	73.62	0.000
MD*OSA	1	0.00047	0.00882	0.00882	1.35	0.263
MD*GA	1	1.14005	1.19207	1.19207	183.06	0.000
OSA*GA	1	0.29765	0.29765	0.29765	45.71	0.000
Residual Error	15	0.09768	0.09768	0.00651		
Lack-of-Fit	1	0.00038	0.00038	0.00038	0.06	0.817
Pure Error	14	0.09729	0.09729	0.00695		
Total	20	1.81117				

Estimated Regression Coefficients for TS (component amounts)

Term	Coef
MD	0.417430
OSA	0.401103
GA	0.569243
MD*OSA	-2.75848E-04
MD*GA	-0.00320732
OSA*GA	-0.00160268

รูปที่ ข.22 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของปริมาณของแข็งทั้งหมด

Regression for Mixtures: DY versus MD, OSA, GA

Estimated Regression Coefficients for DY (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
MD	109.1	7.026	*	*	58.32
OSA	48.2	36.511	*	*	215.46
GA	183.2	36.511	*	*	215.46
MD*OSA	-7.1	75.406	-0.09	0.926	283.62
MD*GA	-283.5	75.406	-3.76	0.002	283.62
OSA*GA	64.3	75.406	0.85	0.407	26.03

S = 2.56693 PRESS = 157.030
R-Sq = 72.13% R-Sq(pred) = 55.73% R-Sq(adj) = 62.85%

Analysis of Variance for DY (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	255.853	255.853	51.1705	7.77	0.001
Linear	2	155.738	39.675	19.8374	3.01	0.080
Quadratic	3	100.115	100.115	33.3715	5.06	0.013
MD*OSA	1	0.008	0.058	0.0584	0.01	0.926
MD*GA	1	95.321	93.155	93.1545	14.14	0.002
OSA*GA	1	4.785	4.785	4.7854	0.73	0.407
Residual Error	15	98.837	98.837	6.5891		
Lack-of-Fit	1	98.401	98.401	98.4014	3163.43	0.000
Pure Error	14	0.435	0.435	0.0311		
Total	20	354.689				

Estimated Regression Coefficients for DY (component amounts)

Term	Coef
MD	1.09145
OSA	0.482130
GA	1.83171
MD*OSA	-7.09750E-04
MD*GA	-0.0283527
OSA*GA	0.00642620

รูปที่ ข.23 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของปริมาณร้อยละผลผลิต

Regression for Mixtures: MC versus MD, OSA, GA

Estimated Regression Coefficients for MC (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
MD	3.442	0.2540	*	*	58.32
OSA	3.660	1.3197	*	*	215.46
GA	-2.136	1.3197	*	*	215.46
MD*OSA	-4.374	2.7256	-1.60	0.129	283.62
MD*GA	4.794	2.7256	1.76	0.099	283.62
OSA*GA	10.962	2.7256	4.02	0.001	26.03

S = 0.0927841 PRESS = 0.214160
R-Sq = 83.67% R-Sq(pred) = 72.92% R-Sq(adj) = 78.23%

Analysis of Variance for MC (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.66180	0.66180	0.132360	15.37	0.000
Linear	2	0.47129	0.20298	0.101492	11.79	0.001
Quadratic	3	0.19051	0.19051	0.063503	7.38	0.003
MD*OSA	1	0.02991	0.02217	0.022170	2.58	0.129
MD*GA	1	0.02135	0.02664	0.026635	3.09	0.099
OSA*GA	1	0.13925	0.13925	0.139249	16.18	0.001
Residual Error	15	0.12913	0.12913	0.008609		
Lack-of-Fit	1	0.11017	0.11017	0.110166	81.32	0.000
Pure Error	14	0.01897	0.01897	0.001355		
Total	20	0.79093				

Estimated Regression Coefficients for MC (component amounts)

Term	Coef
MD	0.0344229
OSA	0.0365960
GA	-0.0213601
MD*OSA	-4.37392E-04
MD*GA	0.000479424
OSA*GA	0.00109620

รูปที่ ข.24 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของปริมาณความชื้น

Regression for Mixtures: Aw versus MD, OSA, GA

Estimated Regression Coefficients for Aw (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
MD	0.2481	0.04250	*	*	58.32
OSA	0.2749	0.22087	*	*	215.46
GA	0.2331	0.22087	*	*	215.46
MD*OSA	-0.2049	0.45616	-0.45	0.660	283.62
MD*GA	-0.4346	0.45616	-0.95	0.356	283.62
OSA*GA	0.9062	0.45616	1.99	0.066	26.03

S = 0.0155282 PRESS = 0.00735842
R-Sq = 62.79% R-Sq(pred) = 24.29% R-Sq(adj) = 50.38%

Analysis of Variance for Aw (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.006102	0.006102	0.001220	5.06	0.006
Linear	2	0.004828	0.000004	0.000002	0.01	0.991
Quadratic	3	0.001275	0.001275	0.000425	1.76	0.198
MD*OSA	1	0.000059	0.000049	0.000049	0.20	0.660
MD*GA	1	0.000264	0.000219	0.000219	0.91	0.356
OSA*GA	1	0.000952	0.000952	0.000952	3.95	0.066
Residual Error	15	0.003617	0.003617	0.000241		
Lack-of-Fit	1	0.000313	0.000313	0.000313	1.33	0.269
Pure Error	14	0.003304	0.003304	0.000236		
Total	20	0.009719				

Estimated Regression Coefficients for Aw (component amounts)

Term	Coef
MD	0.00248148
OSA	0.00274938
GA	0.00233086
MD*OSA	-2.04938E-05
MD*GA	-4.34568E-05
OSA*GA	9.06173E-05

รูปที่ ข.25 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของปริมาณน้ำอิสระ

Regression for Mixtures: TA versus MD, OSA, GA

Estimated Regression Coefficients for TA (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
MD	6.592	0.1278	*	*	58.32
OSA	6.640	0.6644	*	*	215.46
GA	2.807	0.6644	*	*	215.46
MD*OSA	11.131	1.3722	8.11	0.000	283.62
MD*GA	15.798	1.3722	11.51	0.000	283.62
OSA*GA	5.798	1.3722	4.23	0.001	26.03

S = 0.0467099 PRESS = 0.0654114
R-Sq = 98.52% R-Sq(pred) = 97.04% R-Sq(adj) = 98.03%

Analysis of Variance for TA (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	2.18050	2.180501	0.436100	199.88	0.000
Linear	2	1.74096	0.095206	0.047603	21.82	0.000
Quadratic	3	0.43954	0.439541	0.146514	67.15	0.000
MD*OSA	1	0.12051	0.143584	0.143584	65.81	0.000
MD*GA	1	0.28008	0.289213	0.289213	132.56	0.000
OSA*GA	1	0.03896	0.038955	0.038955	17.85	0.001
Residual Error	15	0.03273	0.032727	0.002182		
Lack-of-Fit	1	0.00033	0.000327	0.000327	0.14	0.713
Pure Error	14	0.03240	0.032400	0.002314		
Total	20	2.21323				

Estimated Regression Coefficients for TA (component amounts)

Term	Coef
MD	0.0659242
OSA	0.0663990
GA	0.0280657
MD*OSA	0.00111313
MD*GA	0.00157980
OSA*GA	0.000579798

รูปที่ ข.26 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของปริมาณกรดทั้งหมด

Regression for Mixtures: pH versus MD, OSA, GA

Estimated Regression Coefficients for pH (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
MD	3.935	0.01530	*	*	58.32
OSA	4.171	0.07953	*	*	215.46
GA	5.342	0.07953	*	*	215.46
MD*OSA	-4.017	0.16425	-24.46	0.000	283.62
MD*GA	-5.202	0.16425	-31.67	0.000	283.62
OSA*GA	-2.832	0.16425	-17.24	0.000	26.03

S = 0.00559130 PRESS = 0.000938090
R-Sq = 99.81% R-Sq(pred) = 99.62% R-Sq(adj) = 99.75%

Analysis of Variance for pH (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.245188	0.245188	0.049038	1568.57	0.000
Linear	2	0.190431	0.015255	0.007628	243.98	0.000
Quadratic	3	0.054757	0.054757	0.018252	583.84	0.000
MD*OSA	1	0.015602	0.018697	0.018697	598.08	0.000
MD*GA	1	0.029864	0.031359	0.031359	1003.07	0.000
OSA*GA	1	0.009292	0.009292	0.009292	297.21	0.000
Residual Error	15	0.000469	0.000469	0.000031		
Lack-of-Fit	1	0.000002	0.000002	0.000002	0.07	0.798
Pure Error	14	0.000467	0.000467	0.000033		
Total	20	0.245657				

Estimated Regression Coefficients for pH (component amounts)

Term	Coef
MD	0.0393492
OSA	0.0417129
GA	0.0534166
MD*OSA	-4.01684E-04
MD*GA	-5.20202E-04
OSA*GA	-2.83165E-04

รูปที่ ข.27 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของพีเอช

Regression for Mixtures: ΔE versus MD, OSA, GA

Estimated Regression Coefficients for ΔE (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
MD	9.9	3.175	*	*	58.32
OSA	70.5	16.497	*	*	215.46
GA	-43.5	16.497	*	*	215.46
MD*OSA	-101.9	34.072	-2.99	0.009	283.62
MD*GA	101.9	34.072	2.99	0.009	283.62
OSA*GA	-127.4	34.072	-3.74	0.002	26.03

S = 1.15986 PRESS = 32.0169
R-Sq = 81.34% R-Sq(pred) = 70.39% R-Sq(adj) = 75.11%

Analysis of Variance for ΔE (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	87.936	87.9358	17.5872	13.07	0.000
Linear	2	43.821	28.0276	14.0138	10.42	0.001
Quadratic	3	44.114	44.1144	14.7048	10.93	0.000
MD*OSA	1	11.813	12.0287	12.0287	8.94	0.009
MD*GA	1	13.502	12.0410	12.0410	8.95	0.009
OSA*GA	1	18.800	18.7999	18.7999	13.97	0.002
Residual Error	15	20.179	20.1791	1.3453		
Lack-of-Fit	1	20.176	20.1755	20.1755	78969.05	0.000
Pure Error	14	0.004	0.0036	0.0003		
Total	20	108.115				

Estimated Regression Coefficients for ΔE (component amounts)

Term	Coef
MD	0.0989091
OSA	0.705475
GA	-0.435301
MD*OSA	-0.0101883
MD*GA	0.0101935
OSA*GA	-0.0127371

รูปที่ ข.28 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของความแตกต่างของสี

Regression for Mixtures: VS versus MD, OSA, GA

Estimated Regression Coefficients for VS (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
MD	0.1186	0.02808	*	*	58.32
OSA	0.5811	0.14592	*	*	215.46
GA	0.6081	0.14592	*	*	215.46
MD*OSA	-0.2238	0.30138	-0.74	0.469	283.62
MD*GA	-0.1520	0.30138	-0.50	0.621	283.62
OSA*GA	0.7910	0.30138	2.62	0.019	26.03

S = 0.0102592 PRESS = 0.00310500
R-Sq = 97.60% R-Sq(pred) = 95.29% R-Sq(adj) = 96.80%

Analysis of Variance for VS (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.064304	0.064304	0.012861	122.19	0.000
Linear	2	0.063464	0.004141	0.002070	19.67	0.000
Quadratic	3	0.000840	0.000840	0.000280	2.66	0.086
MD*OSA	1	0.000074	0.000058	0.000058	0.55	0.469
MD*GA	1	0.000041	0.000027	0.000027	0.25	0.621
OSA*GA	1	0.000725	0.000725	0.000725	6.89	0.019
Residual Error	15	0.001579	0.001579	0.000105		
Lack-of-Fit	1	0.000144	0.000144	0.000144	1.41	0.255
Pure Error	14	0.001434	0.001434	0.000102		
Total	20	0.065883				

Estimated Regression Coefficients for VS (component amounts)

Term	Coef
MD	0.00118624
OSA	0.00581072
GA	0.00608146
MD*OSA	-2.23805E-05
MD*GA	-1.51953E-05
OSA*GA	7.91010E-05

รูปที่ ข.29 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของความหนืด

Regression for Mixtures: BD versus MD, OSA, GA

Estimated Regression Coefficients for BD (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
MD	0.880	0.07898	*	*	58.32
OSA	1.998	0.41046	*	*	215.46
GA	0.061	0.41046	*	*	215.46
MD*OSA	-3.020	0.84773	-3.56	0.003	283.62
MD*GA	1.243	0.84773	1.47	0.163	283.62
OSA*GA	-0.258	0.84773	-0.30	0.765	26.03

S = 0.0288578 PRESS = 0.0206797
R-Sq = 73.05% R-Sq(pred) = 55.38% R-Sq(adj) = 64.06%

Analysis of Variance for BD (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.033855	0.033855	0.006771	8.13	0.001
Linear	2	0.021027	0.008418	0.004209	5.05	0.021
Quadratic	3	0.012827	0.012827	0.004276	5.13	0.012
MD*OSA	1	0.010920	0.010569	0.010569	12.69	0.003
MD*GA	1	0.001830	0.001791	0.001791	2.15	0.163
OSA*GA	1	0.000077	0.000077	0.000077	0.09	0.765
Residual Error	15	0.012492	0.012492	0.000833		
Lack-of-Fit	1	0.010667	0.010667	0.010667	81.84	0.000
Pure Error	14	0.001825	0.001825	0.000130		
Total	20	0.046346				

Estimated Regression Coefficients for BD (component amounts)

Term	Coef
MD	0.00879989
OSA	0.0199770
GA	0.000607145
MD*OSA	-3.01999E-04
MD*GA	0.000124334
OSA*GA	-2.57841E-05

รูปที่ ข.30 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของความหนาแน่น

Regression for Mixtures: SO versus MD, OSA, GA

Estimated Regression Coefficients for SO (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
MD	82.67	2.168	*	*	58.32
OSA	75.89	11.264	*	*	215.46
GA	96.99	11.264	*	*	215.46
MD*OSA	18.23	23.264	0.78	0.446	283.62
MD*GA	-42.35	23.264	-1.82	0.089	283.62
OSA*GA	-39.38	23.264	-1.69	0.111	26.03

S = 0.791950 PRESS = 19.9455
R-Sq = 75.81% R-Sq(pred) = 48.70% R-Sq(adj) = 67.74%

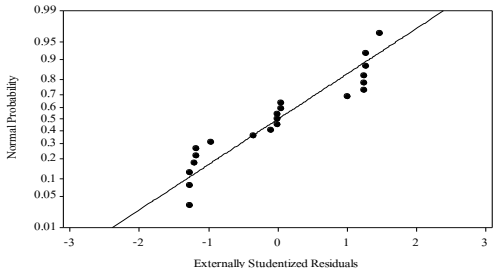
Analysis of Variance for SO (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	29.4760	29.4760	5.8952	9.40	0.000
Linear	2	25.2168	1.2101	0.6050	0.96	0.404
Quadratic	3	4.2592	4.2592	1.4197	2.26	0.123
MD*OSA	1	0.5550	0.3851	0.3851	0.61	0.446
MD*GA	1	1.9074	2.0782	2.0782	3.31	0.089
OSA*GA	1	1.7967	1.7967	1.7967	2.86	0.111
Residual Error	15	9.4078	9.4078	0.6272		
Lack-of-Fit	1	0.6451	0.6451	0.6451	1.03	0.327
Pure Error	14	8.7627	8.7627	0.6259		
Total	20	38.8838				

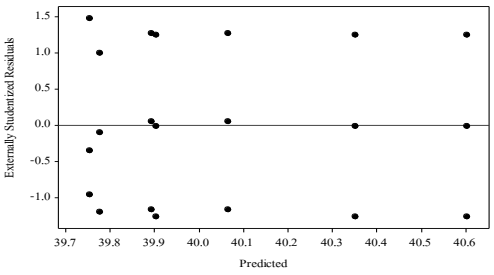
Estimated Regression Coefficients for SO (component amounts)

Term	Coef
MD	0.826718
OSA	0.758912
GA	0.969903
MD*OSA	0.00182287
MD*GA	-0.00423481
OSA*GA	-0.00393762

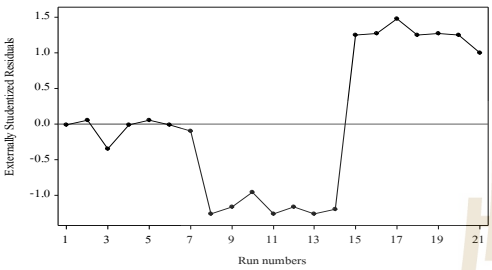
รูปที่ ข.31 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองของความสามารถในการละลาย



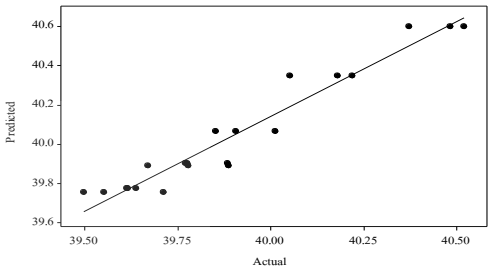
(ก) การแจกแจงของข้อมูล



(ค) ความแปรปรวนของข้อมูล

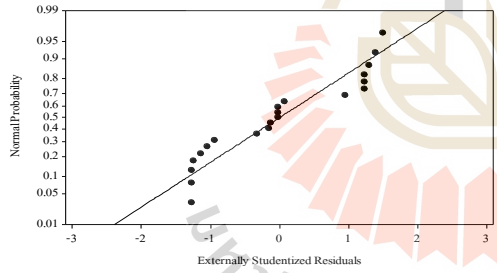


(ข) ความเป็นอิสระของข้อมูล

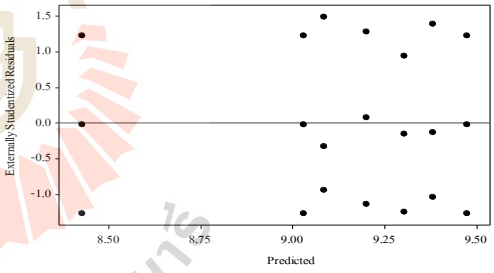


(ง) ความสัมพันธ์ของข้อมูล

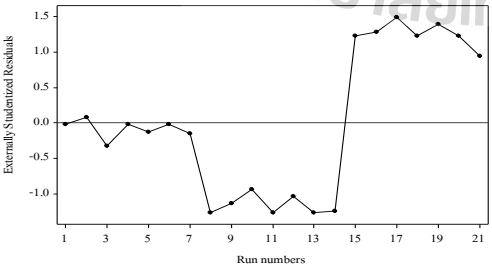
รูปที่ ข.32 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณของแข็งทั้งหมด
จากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด



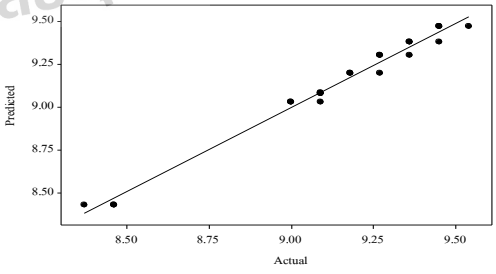
(ก) การแจกแจงของข้อมูล



(ค) ความแปรปรวนของข้อมูล



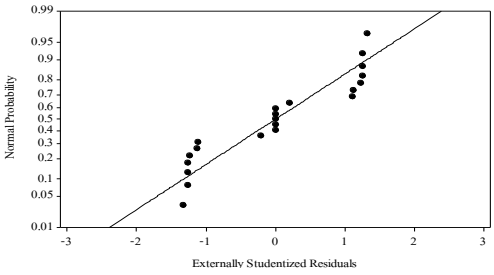
(ข) ความเป็นอิสระของข้อมูล



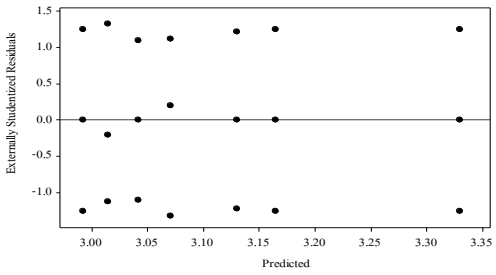
(ง) ความสัมพันธ์ของข้อมูล

รูปที่ ข.33 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณกรดทั้งหมด
จากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

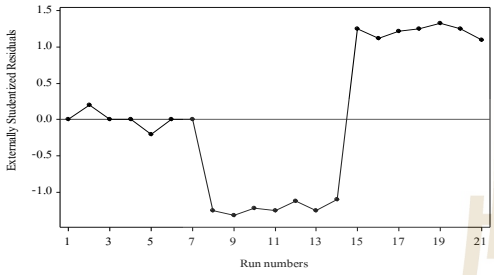
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



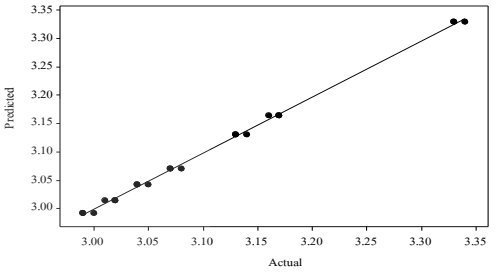
(ก) การแจกแจงของข้อมูล



(ค) ความแปรปรวนของข้อมูล

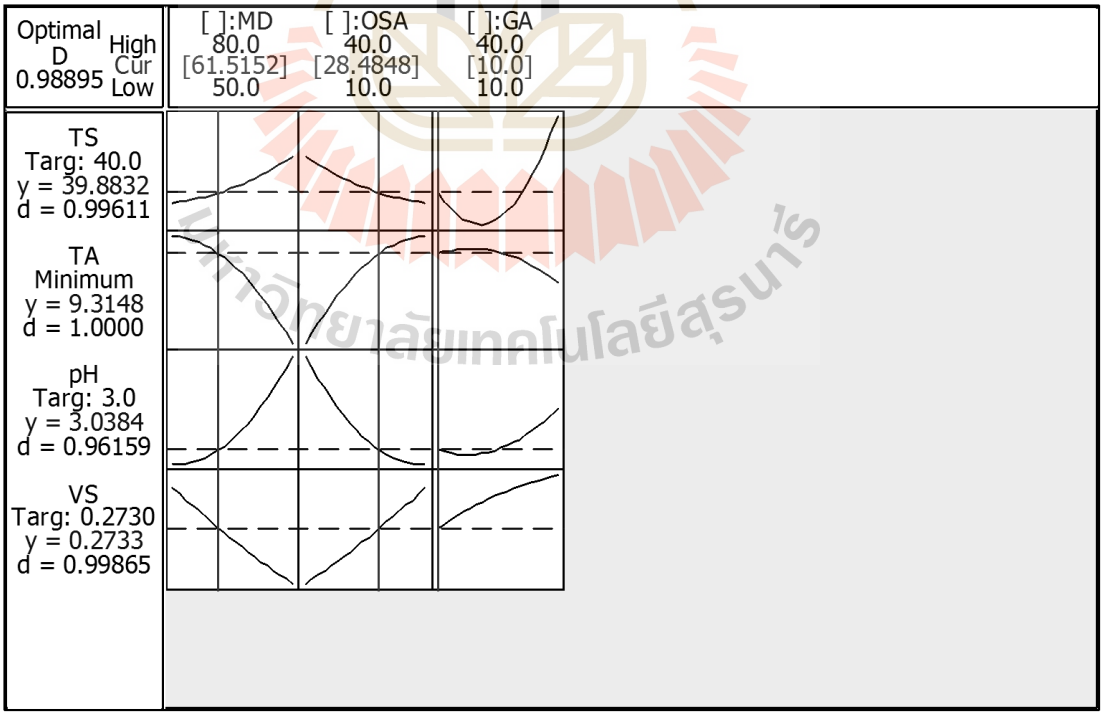


(ข) ความเป็นอิสระของข้อมูล



(ง) ความสัมพันธ์ของข้อมูล

รูปที่ ข.34 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองพีเอช
จากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด



รูปที่ ข.35 กราฟสูตรที่เหมาะสมของการผสมสารช่วยทำแห้งทั้งสามชนิด

TS

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Run no.8	3	39.1056									
Run no.1	3	39.2604	39.2604								
Run no.4	3	39.2662	39.2662								
Run no.6	3	39.2881	39.2881	39.2881							
Run no.7	3	39.3042	39.3042	39.3042	39.3042						
Run no.27	3		39.3824	39.3824	39.3824	39.3824					
Run no.5	3		39.3866	39.3866	39.3866	39.3866					
Run no.21	3		39.4007	39.4007	39.4007	39.4007	39.4007				
Run no.20	3		39.4114	39.4114	39.4114	39.4114	39.4114	39.4114			
Run no.17	3		39.4207	39.4207	39.4207	39.4207	39.4207	39.4207			
Run no.9	3		39.4214	39.4214	39.4214	39.4214	39.4214	39.4214			
Run no.18	3		39.4248	39.4248	39.4248	39.4248	39.4248	39.4248			
Run no.24	3		39.4541	39.4541	39.4541	39.4541	39.4541	39.4541			
Run no.16	3		39.4668	39.4668	39.4668	39.4668	39.4668	39.4668			
Run no.3	3			39.5029	39.5029	39.5029	39.5029	39.5029			
Run no.25	3			39.5039	39.5039	39.5039	39.5039	39.5039			
Run no.23	3				39.5178	39.5178	39.5178	39.5178			
Run no.19	3					39.5573	39.5573	39.5573			
Run no.2	3						39.6175	39.6175			
Run no.22	3							39.6217			
Run no.26	3							39.6251			
Run no.13	3								40.1483		
Run no.14	3								40.1615		
Run no.15	3								40.1709		
Run no.11	3									40.5928	
Run no.10	3										40.8091
Run no.12	3										40.8428
Sig.		.057	.067	.055	.058	.121	.053	.058	.819	1.000	.715

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .013.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

DY

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Run no.9	3	32.1590																						
Run no.8	3		34.8974																					
Run no.6	3			49.2431																				
Run no.7	3				51.0711																			
Run no.3	3					54.5626																		
Run no.5	3						56.0421																	
Run no.18	3							56.9135																
Run no.12	3								57.5961															
Run no.15	3								57.8289															
Run no.14	3									62.2092														
Run no.17	3										64.3684													
Run no.2	3											67.5374												
Run no.11	3												68.2909											
Run no.10	3													71.3859										
Run no.4	3														72.1477									
Run no.1	3															72.9328								
Run no.13	3															73.2700	73.2700							
Run no.16	3																73.5937							
Run no.21	3																	75.6705						
Run no.27	3																		77.0579					
Run no.20	3																			80.8573				
Run no.24	3																			81.2832	81.2832			
Run no.23	3																				81.7653	81.7653		
Run no.19	3																				81.8110	81.8110		
Run no.22	3																					82.0050		
Run no.26	3																						82.7435	
Run no.25	3																							84.4202
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.400	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.224	.243	1.000	1.000	.126	.073	.416	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .113.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

MC

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9
Run no.16	3	1.8755								
Run no.13	3	1.9091								
Run no.10	3	1.9238								
Run no.11	3	1.9965								
Run no.17	3	2.3188	2.3188							
Run no.27	3	2.3271	2.3271							
Run no.25	3	2.4942	2.4942	2.4942						
Run no.24	3	2.5229	2.5229	2.5229						
Run no.26	3	2.6711	2.6711	2.6711						
Run no.22	3	2.7749	2.7749	2.7749	2.7749					
Run no.21	3	2.8350	2.8350	2.8350	2.8350					
Run no.14	3	2.8718	2.8718	2.8718	2.8718					
Run no.12	3	2.8802	2.8802	2.8802	2.8802					
Run no.20	3		3.0123	3.0123	3.0123					
Run no.23	3		3.0354	3.0354	3.0354					
Run no.19	3			3.3316	3.3316					
Run no.18	3				3.7039					
Run no.15	3				3.7550					
Run no.1	3					5.2362				
Run no.4	3					5.5823				
Run no.2	3					5.7504	5.7504			
Run no.7	3						6.4710	6.4710		
Run no.6	3						6.5499	6.5499		
Run no.5	3							7.0422		
Run no.3	3							7.1692		
Run no.9	3								10.4006	
Run no.8	3									12.6296
Sig.		.052	.162	.100	.052	.256	.078	.137	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .266.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

Aw

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Run no.16	3	.1617																	
Run no.10	3		.1853																
Run no.13	3		.1893																
Run no.17	3			.1983															
Run no.27	3			.2020															
Run no.24	3			.2067	.2067														
Run no.26	3				.2147	.2147													
Run no.11	3				.2153	.2153													
Run no.14	3					.2203	.2203												
Run no.21	3						.2243												
Run no.23	3						.2257												
Run no.22	3							.2380											
Run no.20	3								.2570										
Run no.1	3								.2600	.2600									
Run no.12	3								.2650	.2650	.2650								
Run no.4	3									.2670	.2670								
Run no.18	3										.2720								
Run no.19	3										.2720								
Run no.15	3											.2843							
Run no.6	3												.2977						
Run no.7	3													.3217					
Run no.5	3													.3293	.3293				
Run no.25	3														.3320				
Run no.2	3															.3453			
Run no.3	3																.3550		
Run no.8	3																	.5673	
Run no.9	3																		.5953
Sig.		1.000	.345	.065	.055	.209	.237	1.000	.076	.121	.134	1.000	1.000	.073	.528	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 2.640E-5.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำอิสระที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

TA

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Run no.9	3	7.5000										
Run no.8	3	7.5900	7.5900									
Run no.7	3		7.6800	7.6800								
Run no.6	3			7.7100	7.7100							
Run no.18	3			7.7700	7.7700	7.7700						
Run no.5	3			7.7700	7.7700	7.7700						
Run no.3	3				7.8000	7.8000						
Run no.12	3					7.8299						
Run no.2	3					7.8600	7.8600					
Run no.11	3					7.8600	7.8600					
Run no.10	3						7.9499	7.9499				
Run no.1	3						7.9499	7.9499				
Run no.17	3						7.9500	7.9500				
Run no.4	3						7.9500	7.9500				
Run no.14	3							7.9800	7.9800			
Run no.26	3							8.0100	8.0100			
Run no.15	3							8.0400	8.0400	8.0400		
Run no.19	3								8.0700	8.0700	8.0700	
Run no.16	3									8.1299	8.1299	8.1299
Run no.25	3									8.1299	8.1299	8.1299
Run no.22	3									8.1300	8.1300	8.1300
Run no.13	3									8.1300	8.1300	8.1300
Run no.21	3										8.1599	8.1599
Run no.23	3										8.1599	8.1599
Run no.24	3										8.1600	8.1600
Run no.27	3											8.2199
Run no.20	3											8.2200
Sig.		.053	.053	.075	.075	.087	.087	.092	.075	.087	.095	.098

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .003.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

pH

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Run no.20	3	3.1327													
Run no.27	3	3.1350	3.1350												
Run no.24	3	3.1353	3.1353												
Run no.23	3	3.1357	3.1357												
Run no.21	3	3.1367	3.1367	3.1367											
Run no.25	3		3.1383	3.1383											
Run no.22	3		3.1387	3.1387	3.1387										
Run no.13	3		3.1403	3.1403	3.1403	3.1403									
Run no.16	3			3.1417	3.1417	3.1417									
Run no.19	3				3.1437	3.1437	3.1437								
Run no.15	3					3.1450	3.1450	3.1450							
Run no.26	3						3.1477	3.1477	3.1477						
Run no.14	3							3.1490	3.1490						
Run no.17	3							3.1500	3.1500	3.1500					
Run no.4	3								3.1507	3.1507					
Run no.1	3								3.1510	3.1510					
Run no.10	3								3.1520	3.1520					
Run no.11	3								3.1523	3.1523	3.1523				
Run no.2	3								3.1527	3.1527	3.1527				
Run no.12	3									3.1550	3.1550				
Run no.3	3										3.1573	3.1573			
Run no.18	3											3.1600	3.1600		
Run no.5	3											3.1607	3.1607		
Run no.6	3											3.1620	3.1620	3.1620	
Run no.7	3												3.1633	3.1633	
Run no.8	3													3.1663	
Run no.9	3														3.1727
Sig.		.132	.051	.059	.053	.072	.110	.053	.070	.067	.053	.072	.199	.084	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 8.148E-6.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพีเอชที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ΔE

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Run no.22	3	1.0252																					
Run no.13	3	1.0288																					
Run no.11	3	1.0428	1.0428																				
Run no.26	3	1.0519	1.0519																				
Run no.16	3		1.0698																				
Run no.15	3			1.2077																			
Run no.10	3			1.2344																			
Run no.17	3				1.3194																		
Run no.24	3					1.5203																	
Run no.12	3						1.5858																
Run no.14	3							1.8623															
Run no.3	3								1.9616														
Run no.18	3									2.1509													
Run no.1	3										2.3994												
Run no.23	3											2.4435											
Run no.25	3												2.5020										
Run no.21	3													2.8384									
Run no.27	3														3.6665								
Run no.5	3															3.7111							
Run no.2	3															3.7283							
Run no.6	3																4.5915						
Run no.4	3																	5.6374					
Run no.20	3																		6.7767				
Run no.9	3																			7.8919			
Run no.7	3																				8.0919		
Run no.8	3																					8.5897	
Run no.19	3																						8.8686
Sig.		.169	.149	.131	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.327	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสีที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

VS

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Run no.14	3	.2614																	
Run no.24	3	.2615																	
Run no.22	3		.2620																
Run no.10	3			.2625															
Run no.11	3				.2628														
Run no.20	3					.2645													
Run no.26	3					.2645													
Run no.23	3						.2652												
Run no.15	3							.2681											
Run no.21	3								.2683										
Run no.12	3									.2694									
Run no.13	3									.2694									
Run no.9	3										.2696								
Run no.25	3										.2696								
Run no.7	3											.2699							
Run no.16	3											.2699							
Run no.1	3												.2704						
Run no.4	3												.2704						
Run no.5	3												.2705						
Run no.8	3													.2707					
Run no.19	3													.2708					
Run no.18	3														.2711				
Run no.27	3															.2723			
Run no.2	3																.2725		
Run no.6	3																.2725		
Run no.3	3																	.2727	
Run no.17	3																		.2729
Sig.		.226	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.254	.226	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 1.000E-8.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนืดที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

BD

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Run no.20	3	.7073																					
Run no.21	3		.7362																				
Run no.19	3			.7543																			
Run no.22	3				.7699																		
Run no.27	3					.7794																	
Run no.23	3					.7803																	
Run no.24	3						.7888																
Run no.26	3							.7974															
Run no.25	3								.8089														
Run no.16	3									.9094													
Run no.13	3									.9124													
Run no.10	3										.9301												
Run no.11	3											.9530											
Run no.14	3												.9875										
Run no.17	3													1.0327									
Run no.12	3														1.0434								
Run no.18	3															1.0969							
Run no.15	3																1.1076						
Run no.6	3																	1.1212					
Run no.7	3																		1.1402				
Run no.2	3																		1.1411				
Run no.3	3																			1.1471			
Run no.4	3																			1.1479			
Run no.1	3																			1.1485			
Run no.5	3																				1.1712		
Run no.9	3																					1.2318	
Run no.8	3																						1.2547
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	.723	1.000	1.000	1.000	.211	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.692	.578	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 8.235E-6.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

SO

Duncan[a,b]

Run	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8
Run no.9	3	70.7486							
Run no.2	3	71.1100							
Run no.8	3	72.1242							
Run no.6	3		75.2809						
Run no.4	3		75.8224	75.8224					
Run no.15	3		76.6008	76.6008	76.6008				
Run no.5	3		76.9515	76.9515	76.9515	76.9515			
Run no.12	3		77.1541	77.1541	77.1541	77.1541			
Run no.3	3		77.3074	77.3074	77.3074	77.3074	77.3074		
Run no.13	3		77.5207	77.5207	77.5207	77.5207	77.5207		
Run no.7	3		77.5782	77.5782	77.5782	77.5782	77.5782		
Run no.16	3		77.8481	77.8481	77.8481	77.8481	77.8481		
Run no.10	3		77.9800	77.9800	77.9800	77.9800	77.9800	77.9800	
Run no.11	3		78.2747	78.2747	78.2747	78.2747	78.2747	78.2747	
Run no.14	3		78.3807	78.3807	78.3807	78.3807	78.3807	78.3807	
Run no.17	3		78.6000	78.6000	78.6000	78.6000	78.6000	78.6000	
Run no.18	3		78.6914	78.6914	78.6914	78.6914	78.6914	78.6914	
Run no.1	3			78.8788	78.8788	78.8788	78.8788	78.8788	78.8788
Run no.19	3				79.9421	79.9421	79.9421	79.9421	79.9421
Run no.24	3				80.0260	80.0260	80.0260	80.0260	80.0260
Run no.20	3					80.3980	80.3980	80.3980	80.3980
Run no.27	3						80.6573	80.6573	80.6573
Run no.25	3						80.7499	80.7499	80.7499
Run no.21	3						80.7798	80.7798	80.7798
Run no.23	3						80.8124	80.8124	80.8124
Run no.22	3							81.3925	81.3925
Run no.26	3								82.2570
Sig.		.375	.055	.086	.055	.053	.051	.055	.052

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 3.131.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

รูปที่ ข.45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการละลายที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

Response Surface Regression: TS versus Temperature, Clearance, Speed

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for TS

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	40.1239	0.08446	475.061	0.000
Temperature	0.0734	0.03910	1.878	0.064
Clearance	-0.2411	0.03910	-6.167	0.000
Speed	-0.0028	0.03910	-0.071	0.944
Temperature*Temperature	-0.6916	0.06772	-10.213	0.000
Clearance*Clearance	-0.0211	0.06772	-0.312	0.756
Speed*Speed	0.0082	0.06772	0.121	0.904
Temperature*Clearance	0.0576	0.04788	1.204	0.233
Temperature*Speed	-0.0689	0.04788	-1.440	0.154
Clearance*Speed	-0.0138	0.04788	-0.289	0.773

S = 0.287308 PRESS = 7.67571
R-Sq = 67.81% R-Sq(pred) = 57.84% R-Sq(adj) = 63.73%

Analysis of Variance for TS

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	12.3466	12.3466	1.37185	16.62	0.000
Linear	3	3.4306	3.4306	1.14354	13.85	0.000
Temperature	1	0.2912	0.2912	0.29116	3.53	0.064
Clearance	1	3.1391	3.1391	3.13906	38.03	0.000
Speed	1	0.0004	0.0004	0.00041	0.01	0.944
Square	3	8.6184	8.6184	2.87281	34.80	0.000
Temperature*Temperature	1	8.6092	8.6092	8.60918	104.30	0.000
Clearance*Clearance	1	0.0080	0.0080	0.00804	0.10	0.756
Speed*Speed	1	0.0012	0.0012	0.00121	0.01	0.904
Interaction	3	0.2976	0.2976	0.09920	1.20	0.315
Temperature*Clearance	1	0.1196	0.1196	0.11964	1.45	0.233
Temperature*Speed	1	0.1711	0.1711	0.17106	2.07	0.154
Clearance*Speed	1	0.0069	0.0069	0.00689	0.08	0.773
Residual Error	71	5.8608	5.8608	0.08255		
Lack-of-Fit	17	5.1767	5.1767	0.30451	24.04	0.000
Pure Error	54	0.6840	0.6840	0.01267		
Total	80	18.2074				

Estimated Regression Coefficients for TS using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-75.9488
Temperature	1.79619
Clearance	-15.8764
Speed	3.66356
Temperature*Temperature	-0.00691583
Clearance*Clearance	-8.45143
Speed*Speed	0.131235
Temperature*Clearance	0.115295
Temperature*Speed	-0.0275731
Clearance*Speed	-1.10684

รูปที่ ข.46 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของปริมาณของแข็งทั้งหมด

Response Surface Regression: DY versus Temperature, Clearance, Speed

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for DY

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	66.3909	1.0355	64.117	0.000
Temperature	13.1678	0.4793	27.472	0.000
Clearance	-4.0789	0.4793	-8.510	0.000
Speed	-6.6846	0.4793	-13.946	0.000
Temperature*Temperature	2.6275	0.8302	3.165	0.002
Clearance*Clearance	-2.4287	0.8302	-2.925	0.005
Speed*Speed	0.4184	0.8302	0.504	0.616
Temperature*Clearance	6.8990	0.5870	11.752	0.000
Temperature*Speed	3.8302	0.5870	6.524	0.000
Clearance*Speed	-0.3878	0.5870	-0.661	0.511

S = 3.52230 PRESS = 1126.91
R-Sq = 94.51% R-Sq(pred) = 92.97% R-Sq(adj) = 93.81%

Analysis of Variance for DY

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	15155.1	15155.1	1683.90	135.73	0.000
Linear	3	12674.4	12674.4	4224.82	340.53	0.000
Temperature	1	9363.1	9363.1	9363.11	754.69	0.000
Clearance	1	898.4	898.4	898.42	72.41	0.000
Speed	1	2412.9	2412.9	2412.92	194.49	0.000
Square	3	233.6	233.6	77.87	6.28	0.001
Temperature*Temperature	1	124.3	124.3	124.27	10.02	0.002
Clearance*Clearance	1	106.2	106.2	106.18	8.56	0.005
Speed*Speed	1	3.2	3.2	3.15	0.25	0.616
Interaction	3	2247.0	2247.0	749.01	60.37	0.000
Temperature*Clearance	1	1713.5	1713.5	1713.47	138.11	0.000
Temperature*Speed	1	528.1	528.1	528.13	42.57	0.000
Clearance*Speed	1	5.4	5.4	5.42	0.44	0.511
Residual Error	71	880.9	880.9	12.41		
Lack-of-Fit	17	874.8	874.8	51.46	456.37	0.000
Pure Error	54	6.1	6.1	0.11		
Total	80	16035.9				

Estimated Regression Coefficients for DY using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	786.992
Temperature	-9.04044
Clearance	-1471.21
Speed	-226.397
Temperature*Temperature	0.0262753
Clearance*Clearance	-971.495
Speed*Speed	6.69432
Temperature*Clearance	13.7980
Temperature*Speed	1.53208
Clearance*Speed	-31.0277

รูปที่ ข.47 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของปริมาณร้อยละผลผลิต

Response Surface Regression: MC versus Temperature, Clearance, Speed

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for MC

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2.6547	0.2963	8.961	0.000
Temperature	-2.3237	0.1371	-16.944	0.000
Clearance	0.5976	0.1371	4.357	0.000
Speed	0.5858	0.1371	4.272	0.000
Temperature*Temperature	2.5204	0.2375	10.610	0.000
Clearance*Clearance	0.3856	0.2375	1.623	0.109
Speed*Speed	-0.4952	0.2375	-2.085	0.041
Temperature*Clearance	-1.0860	0.1680	-6.466	0.000
Temperature*Speed	-0.6455	0.1680	-3.843	0.000
Clearance*Speed	0.2665	0.1680	1.587	0.117

S = 1.00778 PRESS = 92.3253
R-Sq = 87.63% R-Sq(pred) = 84.16% R-Sq(adj) = 86.06%

Analysis of Variance for MC

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	510.843	510.843	56.760	55.89	0.000
Linear	3	329.399	329.399	109.800	108.11	0.000
Temperature	1	291.581	291.581	291.581	287.10	0.000
Clearance	1	19.284	19.284	19.284	18.99	0.000
Speed	1	18.534	18.534	18.534	18.25	0.000
Square	3	121.429	121.429	40.476	39.85	0.000
Temperature*Temperature	1	114.339	114.339	114.339	112.58	0.000
Clearance*Clearance	1	2.676	2.676	2.676	2.63	0.109
Speed*Speed	1	4.414	4.414	4.414	4.35	0.041
Interaction	3	60.015	60.015	20.005	19.70	0.000
Temperature*Clearance	1	42.459	42.459	42.459	41.81	0.000
Temperature*Speed	1	14.999	14.999	14.999	14.77	0.000
Clearance*Speed	1	2.557	2.557	2.557	2.52	0.117
Residual Error	71	72.109	72.109	1.016		
Lack-of-Fit	17	57.728	57.728	3.396	12.75	0.000
Pure Error	54	14.381	14.381	0.266		
Total	80	582.951				

Estimated Regression Coefficients for MC using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	388.306
Temperature	-6.22179
Clearance	221.962
Speed	39.5674
Temperature*Temperature	0.0252035
Clearance*Clearance	154.225
Speed*Speed	-7.92317
Temperature*Clearance	-2.17201
Temperature*Speed	-0.258193
Clearance*Speed	21.3216

รูปที่ ข.48 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของปริมาณความชื้น

Response Surface Regression: Aw versus Temperature, Clearance, Speed

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Aw

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.20240	0.014732	13.738	0.000
Temperature	-0.06480	0.006820	-9.501	0.000
Clearance	0.02698	0.006820	3.956	0.000
Speed	0.02641	0.006820	3.872	0.000
Temperature*Temperature	0.08487	0.011812	7.185	0.000
Clearance*Clearance	0.04043	0.011812	3.422	0.001
Speed*Speed	-0.01207	0.011812	-1.022	0.310
Temperature*Clearance	-0.04406	0.008352	-5.275	0.000
Temperature*Speed	-0.05069	0.008352	-6.069	0.000
Clearance*Speed	0.01058	0.008352	1.267	0.209

S = 0.0501142 PRESS = 0.232148
R-Sq = 77.99% R-Sq(pred) = 71.34% R-Sq(adj) = 75.20%

Analysis of Variance for Aw

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.631807	0.631807	0.070201	27.95	0.000
Linear	3	0.303691	0.303691	0.101230	40.31	0.000
Temperature	1	0.226722	0.226722	0.226722	90.28	0.000
Clearance	1	0.039312	0.039312	0.039312	15.65	0.000
Speed	1	0.037657	0.037657	0.037657	14.99	0.000
Square	3	0.161694	0.161694	0.053898	21.46	0.000
Temperature*Temperature	1	0.129654	0.129654	0.129654	51.63	0.000
Clearance*Clearance	1	0.029417	0.029417	0.029417	11.71	0.001
Speed*Speed	1	0.002624	0.002624	0.002624	1.04	0.310
Interaction	3	0.166422	0.166422	0.055474	22.09	0.000
Temperature*Clearance	1	0.069872	0.069872	0.069872	27.82	0.000
Temperature*Speed	1	0.092517	0.092517	0.092517	36.84	0.000
Clearance*Speed	1	0.004032	0.004032	0.004032	1.61	0.209
Residual Error	71	0.178311	0.178311	0.002511		
Lack-of-Fit	17	0.176886	0.176886	0.010405	394.21	0.000
Pure Error	54	0.001425	0.001425	0.000026		
Total	80	0.810119				

Estimated Regression Coefficients for Aw using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	12.3013
Temperature	-0.199381
Clearance	5.10259
Speed	2.76559
Temperature*Temperature	0.000848704
Clearance*Clearance	16.1704
Speed*Speed	-0.193185
Temperature*Clearance	-0.0881111
Temperature*Speed	-0.0202778
Clearance*Speed	0.846667

รูปที่ ข.49 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของปริมาณน้ำอิสระ

Response Surface Regression: TA versus Temperature, Clearance, Speed

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for TA

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7.99221	0.02622	304.860	0.000
Temperature	0.19166	0.01214	15.793	0.000
Clearance	-0.04000	0.01214	-3.296	0.002
Speed	-0.05167	0.01214	-4.257	0.000
Temperature*Temperature	-0.01166	0.02102	-0.555	0.581
Clearance*Clearance	-0.07668	0.02102	-3.648	0.001
Speed*Speed	0.02832	0.02102	1.347	0.182
Temperature*Clearance	0.06250	0.01486	4.205	0.000
Temperature*Speed	0.06500	0.01486	4.373	0.000
Clearance*Speed	-0.02250	0.01486	-1.514	0.135

S = 0.0891784 PRESS = 0.728400
R-Sq = 82.42% R-Sq(pred) = 77.33% R-Sq(adj) = 80.20%

Analysis of Variance for TA

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	2.64784	2.64784	0.29420	36.99	0.000
Linear	3	2.21419	2.21419	0.73806	92.81	0.000
Temperature	1	1.98364	1.98364	1.98364	249.43	0.000
Clearance	1	0.08640	0.08640	0.08640	10.86	0.002
Speed	1	0.14415	0.14415	0.14415	18.13	0.000
Square	3	0.12272	0.12272	0.04091	5.14	0.003
Temperature*Temperature	1	0.00245	0.00245	0.00245	0.31	0.581
Clearance*Clearance	1	0.10584	0.10584	0.10584	13.31	0.001
Speed*Speed	1	0.01444	0.01444	0.01444	1.82	0.182
Interaction	3	0.31093	0.31093	0.10364	13.03	0.000
Temperature*Clearance	1	0.14060	0.14060	0.14060	17.68	0.000
Temperature*Speed	1	0.15210	0.15210	0.15210	19.13	0.000
Clearance*Speed	1	0.01822	0.01822	0.01822	2.29	0.135
Residual Error	71	0.56465	0.56465	0.00795		
Lack-of-Fit	17	0.39725	0.39725	0.02337	7.54	0.000
Pure Error	54	0.16740	0.16740	0.00310		
Total	80	3.21249				

Estimated Regression Coefficients for TA using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	7.43959
Temperature	0.0114837
Clearance	-3.87997
Speed	-3.67982
Temperature*Temperature	-1.16599E-04
Clearance*Clearance	-30.6721
Speed*Speed	0.453159
Temperature*Clearance	0.124991
Temperature*Speed	0.0259999
Clearance*Speed	-1.79998

รูปที่ ข.50 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของปริมาณกรดทั้งหมด

Response Surface Regression: pH versus Temperature, Clearance, Speed

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for pH

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3.14732	0.001393	2260.150	0.000
Temperature	-0.01072	0.000645	-16.634	0.000
Clearance	0.00231	0.000645	3.591	0.001
Speed	0.00219	0.000645	3.390	0.001
Temperature*Temperature	-0.00057	0.001117	-0.514	0.609
Clearance*Clearance	0.00409	0.001117	3.666	0.000
Speed*Speed	-0.00085	0.001117	-0.763	0.448
Temperature*Clearance	-0.00278	0.000789	-3.518	0.001
Temperature*Speed	-0.00339	0.000789	-4.293	0.000
Clearance*Speed	0.00183	0.000789	2.322	0.023

S = 0.00473693 PRESS = 0.00202634
R-Sq = 83.20% R-Sq(pred) = 78.63% R-Sq(adj) = 81.07%

Analysis of Variance for pH

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.007888	0.007888	0.000876	39.06	0.000
Linear	3	0.006755	0.006755	0.002252	100.35	0.000
Temperature	1	0.006208	0.006208	0.006208	276.67	0.000
Clearance	1	0.000289	0.000289	0.000289	12.90	0.001
Speed	1	0.000258	0.000258	0.000258	11.49	0.001
Square	3	0.000320	0.000320	0.000107	4.76	0.004
Temperature*Temperature	1	0.000006	0.000006	0.000006	0.26	0.609
Clearance*Clearance	1	0.000301	0.000301	0.000301	13.44	0.000
Speed*Speed	1	0.000013	0.000013	0.000013	0.58	0.448
Interaction	3	0.000812	0.000812	0.000271	12.07	0.000
Temperature*Clearance	1	0.000278	0.000278	0.000278	12.38	0.001
Temperature*Speed	1	0.000413	0.000413	0.000413	18.43	0.000
Clearance*Speed	1	0.000121	0.000121	0.000121	5.39	0.023
Residual Error	71	0.001593	0.001593	0.000022		
Lack-of-Fit	17	0.001153	0.001153	0.000068	8.32	0.000
Pure Error	54	0.000440	0.000440	0.000008		
Total	80	0.009481				

Estimated Regression Coefficients for pH using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	3.02025
Temperature	0.00220926
Clearance	0.0403704
Speed	0.169259
Temperature*Temperature	-5.74074E-06
Clearance*Clearance	1.63704
Speed*Speed	-0.0136296
Temperature*Clearance	-0.00555556
Temperature*Speed	-0.00135556
Clearance*Speed	0.146667

รูปที่ ข.51 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของพีเอช

Response Surface Regression: ΔE versus Temperature, Clearance, Speed

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for ΔE

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.68779	0.3220	2.136	0.036
Temperature	-0.88388	0.1490	-5.930	0.000
Clearance	0.32767	0.1490	2.199	0.031
Speed	-0.24684	0.1490	-1.656	0.102
Temperature*Temperature	2.90511	0.2581	11.254	0.000
Clearance*Clearance	1.15082	0.2581	4.458	0.000
Speed*Speed	-0.09885	0.2581	-0.383	0.703
Temperature*Clearance	-2.31228	0.1825	-12.668	0.000
Temperature*Speed	-0.22390	0.1825	-1.227	0.224
Clearance*Speed	0.68018	0.1825	3.726	0.000

S = 1.09521 PRESS = 114.739
R-Sq = 83.73% R-Sq(pred) = 78.07% R-Sq(adj) = 81.66%

Analysis of Variance for ΔE

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	438.143	438.143	48.683	40.59	0.000
Linear	3	51.275	51.275	17.092	14.25	0.000
Temperature	1	42.187	42.187	42.187	35.17	0.000
Clearance	1	5.798	5.798	5.798	4.83	0.031
Speed	1	3.290	3.290	3.290	2.74	0.102
Square	3	175.928	175.928	58.643	48.89	0.000
Temperature*Temperature	1	151.914	151.914	151.914	126.65	0.000
Clearance*Clearance	1	23.839	23.839	23.839	19.87	0.000
Speed*Speed	1	0.176	0.176	0.176	0.15	0.703
Interaction	3	210.939	210.939	70.313	58.62	0.000
Temperature*Clearance	1	192.479	192.479	192.479	160.47	0.000
Temperature*Speed	1	1.805	1.805	1.805	1.50	0.224
Clearance*Speed	1	16.655	16.655	16.655	13.89	0.000
Residual Error	71	85.164	85.164	1.199		
Lack-of-Fit	17	85.139	85.139	5.008	10976.42	0.000
Pure Error	54	0.025	0.025	0.000		
Total	80	523.306				

Estimated Regression Coefficients for ΔE using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	399.723
Temperature	-6.67197
Clearance	396.408
Speed	1.35428
Temperature*Temperature	0.0290511
Clearance*Clearance	460.328
Speed*Speed	-1.58161
Temperature*Clearance	-4.62456
Temperature*Speed	-0.0895608
Clearance*Speed	54.4144

รูปที่ ข.52 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของความแตกต่างของสี

Response Surface Regression: VS versus Temperature, Clearance, Speed

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for VS

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.264804	0.000836	316.669	0.000
Temperature	-0.002250	0.000387	-5.813	0.000
Clearance	0.000922	0.000387	2.382	0.020
Speed	0.000589	0.000387	1.521	0.133
Temperature*Temperature	0.001272	0.000670	1.898	0.062
Clearance*Clearance	0.002356	0.000670	3.513	0.001
Speed*Speed	0.001689	0.000670	2.519	0.014
Temperature*Clearance	0.000683	0.000474	1.441	0.154
Temperature*Speed	-0.000367	0.000474	-0.773	0.442
Clearance*Speed	-0.000258	0.000474	-0.545	0.588

S = 0.00284454 PRESS = 0.000745636
R-Sq = 48.56% R-Sq(pred) = 33.24% R-Sq(adj) = 42.04%

Analysis of Variance for VS

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.000542	0.000542	0.000060	7.45	0.000
Linear	3	0.000338	0.000338	0.000113	13.93	0.000
Temperature	1	0.000273	0.000273	0.000273	33.79	0.000
Clearance	1	0.000046	0.000046	0.000046	5.68	0.020
Speed	1	0.000019	0.000019	0.000019	2.31	0.133
Square	3	0.000180	0.000180	0.000060	7.43	0.000
Temperature*Temperature	1	0.000029	0.000029	0.000029	3.60	0.062
Clearance*Clearance	1	0.000100	0.000100	0.000100	12.34	0.001
Speed*Speed	1	0.000051	0.000051	0.000051	6.35	0.014
Interaction	3	0.000024	0.000024	0.000008	0.99	0.402
Temperature*Clearance	1	0.000017	0.000017	0.000017	2.08	0.154
Temperature*Speed	1	0.000005	0.000005	0.000005	0.60	0.442
Clearance*Speed	1	0.000002	0.000002	0.000002	0.30	0.588
Residual Error	71	0.000574	0.000574	0.000008		
Lack-of-Fit	17	0.000574	0.000574	0.000034	3376.17	0.000
Pure Error	54	0.000001	0.000001	0.000000		
Total	80	0.001117				

Estimated Regression Coefficients for VS using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.572570
Temperature	-0.00373278
Clearance	-0.525778
Speed	-0.00146667
Temperature*Temperature	1.27222E-05
Clearance*Clearance	0.942222
Speed*Speed	0.0270222
Temperature*Clearance	0.00136667
Temperature*Speed	-1.46667E-04
Clearance*Speed	-0.0206667

รูปที่ ข.53 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของความหนืด

Response Surface Regression: BD versus Temperature, Clearance, Speed

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for BD

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.998382	0.012065	82.754	0.000
Temperature	-0.198963	0.005585	-35.626	0.000
Clearance	0.027240	0.005585	4.878	0.000
Speed	0.029477	0.005585	5.278	0.000
Temperature*Temperature	-0.028894	0.009673	-2.987	0.004
Clearance*Clearance	0.002169	0.009673	0.224	0.823
Speed*Speed	-0.004211	0.009673	-0.435	0.665
Temperature*Clearance	-0.000158	0.006840	-0.023	0.982
Temperature*Speed	-0.007693	0.006840	-1.125	0.265
Clearance*Speed	0.012984	0.006840	1.898	0.062

S = 0.0410396 PRESS = 0.153854
R-Sq = 94.95% R-Sq(pred) = 93.50% R-Sq(adj) = 94.31%

Analysis of Variance for BD

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	2.24828	2.24828	0.24981	148.32	0.000
Linear	3	2.22465	2.22465	0.74155	440.29	0.000
Temperature	1	2.13766	2.13766	2.13766	1269.21	0.000
Clearance	1	0.04007	0.04007	0.04007	23.79	0.000
Speed	1	0.04692	0.04692	0.04692	27.86	0.000
Square	3	0.01543	0.01543	0.00514	3.05	0.034
Temperature*Temperature	1	0.01503	0.01503	0.01503	8.92	0.004
Clearance*Clearance	1	0.00008	0.00008	0.00008	0.05	0.823
Speed*Speed	1	0.00032	0.00032	0.00032	0.19	0.665
Interaction	3	0.00820	0.00820	0.00273	1.62	0.192
Temperature*Clearance	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.982
Temperature*Speed	1	0.00213	0.00213	0.00213	1.26	0.265
Clearance*Speed	1	0.00607	0.00607	0.00607	3.60	0.062
Residual Error	71	0.11958	0.11958	0.00168		
Lack-of-Fit	17	0.11914	0.11914	0.00701	852.97	0.000
Pure Error	54	0.00044	0.00044	0.00001		
Total	80	2.36786				

Estimated Regression Coefficients for BD using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-1.55259
Temperature	0.0568300
Clearance	-0.280630
Speed	0.377552
Temperature*Temperature	-2.88941E-04
Clearance*Clearance	0.867704
Speed*Speed	-0.0673719
Temperature*Clearance	-3.15556E-04
Temperature*Speed	-0.00307711
Clearance*Speed	1.03876

รูปที่ ข.54 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของความหนาแน่น

Response Surface Regression: SO versus Temperature, Clearance, Speed

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for SO

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	77.7965	0.6470	120.249	0.000
Temperature	2.8452	0.2995	9.500	0.000
Clearance	-0.1428	0.2995	-0.477	0.635
Speed	-0.5815	0.2995	-1.942	0.056
Temperature*Temperature	0.0398	0.5187	0.077	0.939
Clearance*Clearance	-0.2498	0.5187	-0.482	0.632
Speed*Speed	0.3968	0.5187	0.765	0.447
Temperature*Clearance	0.7825	0.3668	2.133	0.036
Temperature*Speed	0.6934	0.3668	1.891	0.063
Clearance*Speed	-0.3766	0.3668	-1.027	0.308

S = 2.20075 PRESS = 445.736
R-Sq = 59.49% R-Sq(pred) = 47.49% R-Sq(adj) = 54.35%

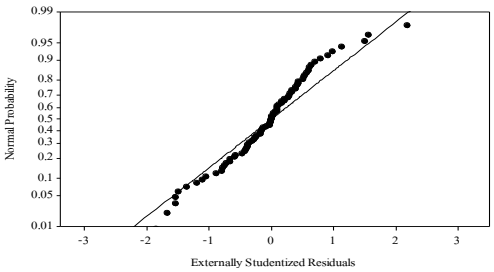
Analysis of Variance for SO

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	504.926	504.926	56.103	11.58	0.000
Linear	3	456.484	456.484	152.161	31.42	0.000
Temperature	1	437.127	437.127	437.127	90.25	0.000
Clearance	1	1.101	1.101	1.101	0.23	0.635
Speed	1	18.257	18.257	18.257	3.77	0.056
Square	3	3.985	3.985	1.328	0.27	0.844
Temperature*Temperature	1	0.028	0.028	0.028	0.01	0.939
Clearance*Clearance	1	1.123	1.123	1.123	0.23	0.632
Speed*Speed	1	2.834	2.834	2.834	0.59	0.447
Interaction	3	44.457	44.457	14.819	3.06	0.034
Temperature*Clearance	1	22.040	22.040	22.040	4.55	0.036
Temperature*Speed	1	17.310	17.310	17.310	3.57	0.063
Clearance*Speed	1	5.106	5.106	5.106	1.05	0.308
Residual Error	71	343.874	343.874	4.843		
Lack-of-Fit	17	174.807	174.807	10.283	3.28	0.000
Pure Error	54	169.067	169.067	3.131		
Total	80	848.801				

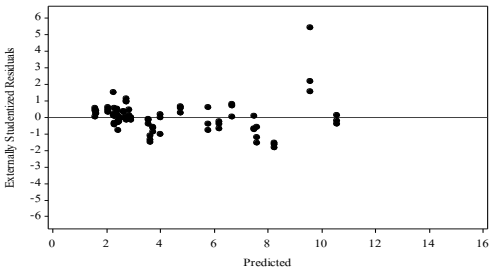
Estimated Regression Coefficients for SO using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	102.561
Temperature	-0.270577
Clearance	-151.264
Speed	-38.7069
Temperature*Temperature	0.000397789
Clearance*Clearance	-99.9151
Speed*Speed	6.34842
Temperature*Clearance	1.56491
Temperature*Speed	0.277373
Clearance*Speed	-30.1286

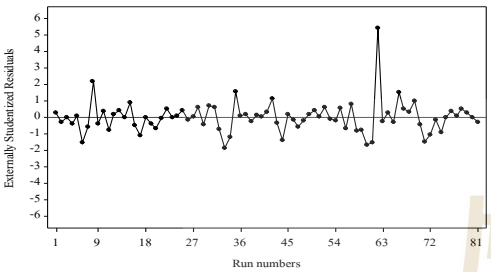
รูปที่ ข.55 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูปของความสามารถในการละลาย



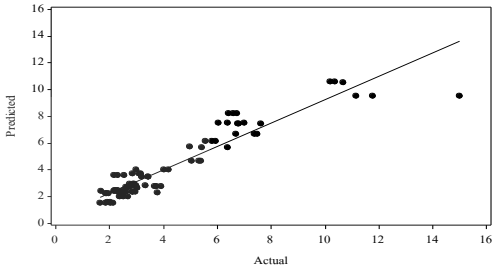
(ก) การแจกแจงของข้อมูล



(ค) ความแปรปรวนของข้อมูล

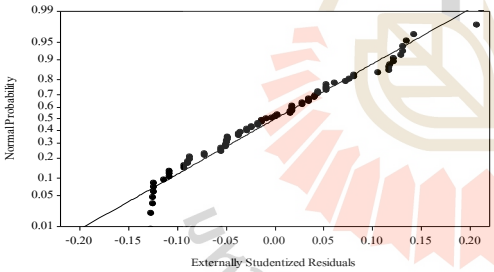


(ข) ความเป็นอิสระของข้อมูล

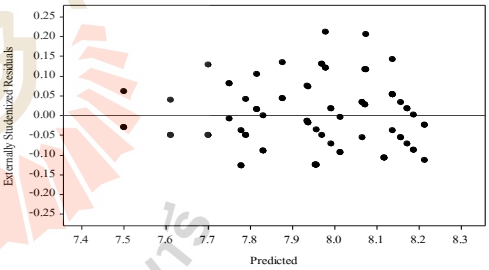


(ง) ความสัมพันธ์ของข้อมูล

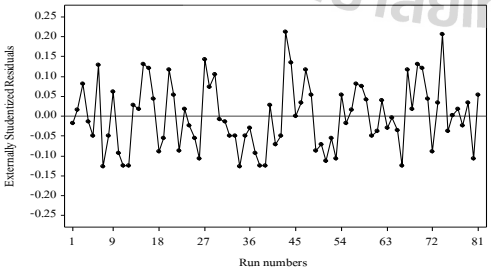
รูปที่ ข.56 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณความชื้น
จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก



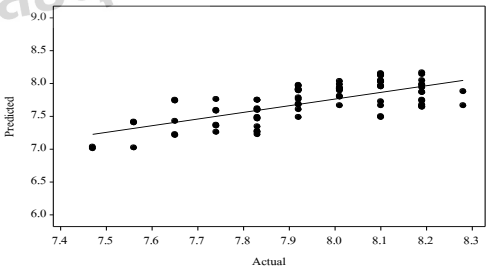
(ก) การแจกแจงของข้อมูล



(ค) ความแปรปรวนของข้อมูล

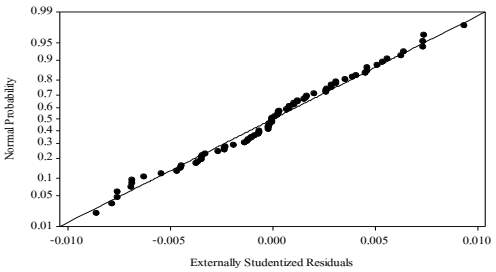


(ข) ความเป็นอิสระของข้อมูล

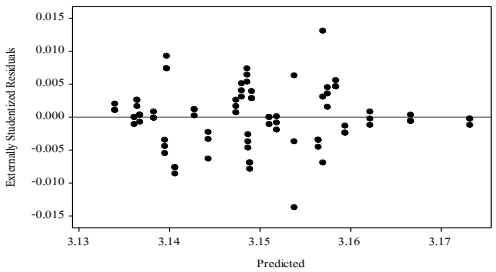


(ง) ความสัมพันธ์ของข้อมูล

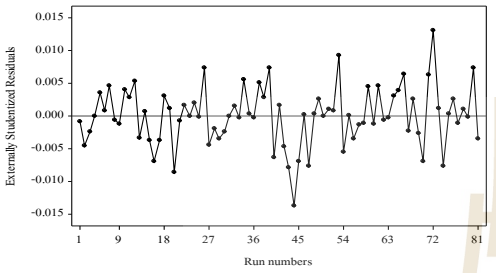
รูปที่ ข.57 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองปริมาณกรดทั้งหมด
จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก



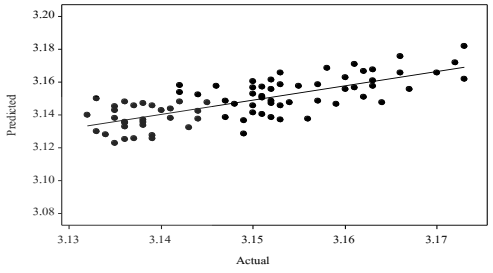
(ก) การแจกแจงของข้อมูล



(ค) ความแปรปรวนของข้อมูล

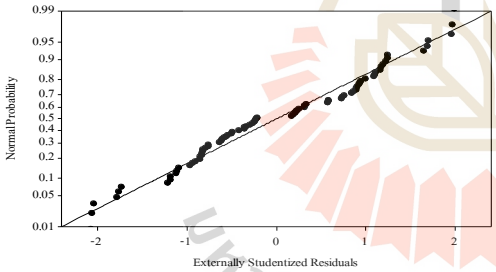


(ข) ความเป็นอิสระของข้อมูล

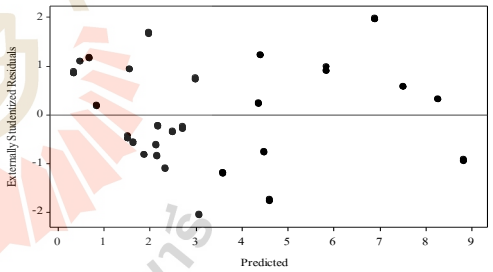


(ง) ความสัมพันธ์ของข้อมูล

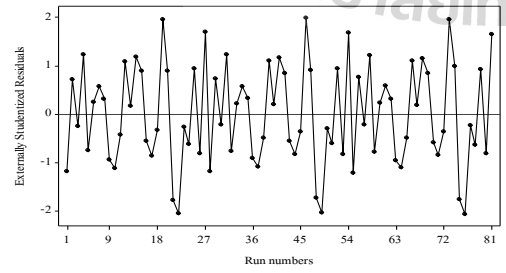
รูปที่ ข.58 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองพีเอช
จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก



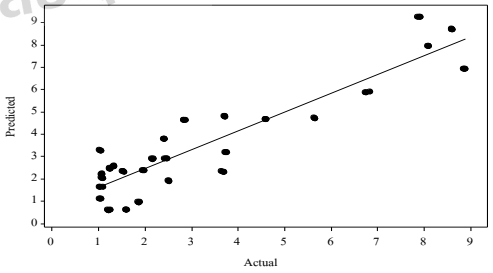
(ก) การแจกแจงของข้อมูล



(ค) ความแปรปรวนของข้อมูล

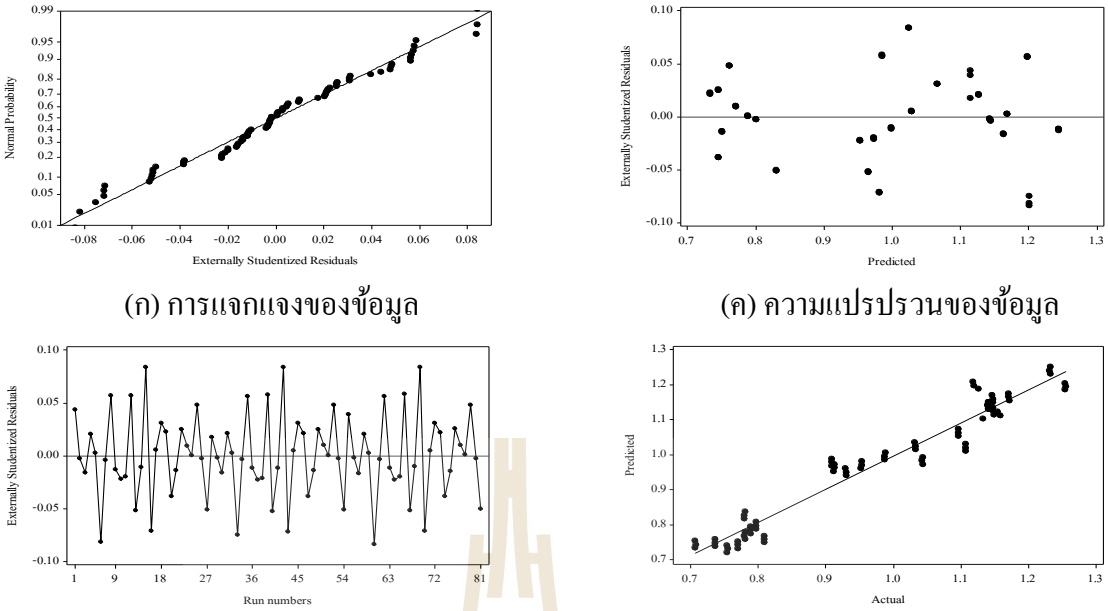


(ข) ความเป็นอิสระของข้อมูล

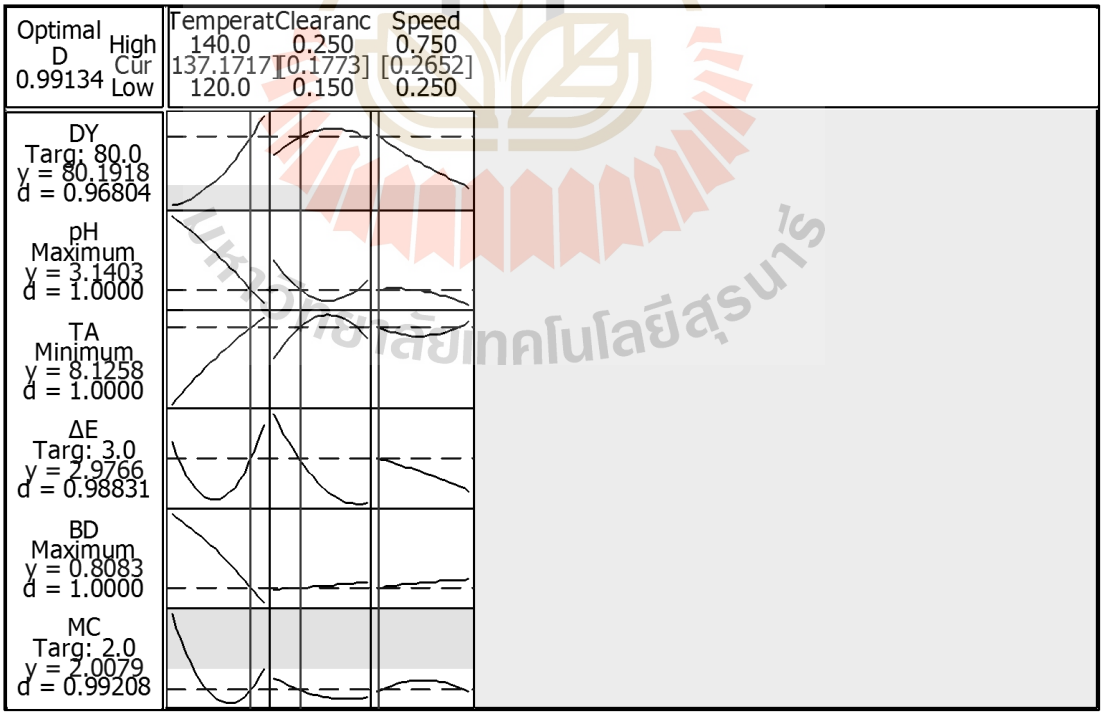


(ง) ความสัมพันธ์ของข้อมูล

รูปที่ ข.59 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองความแตกต่างของสี
จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก



รูปที่ ข.60 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการแบบจำลองความหนาแน่น
จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก



รูปที่ ข.61 กราฟสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งสารละลายน้ำมะขามเปียก

ภาคผนวก ค

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

นาฏชนก ปรางปรุ, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และกระวี ตรีอำนรรค. (2558). **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารตัวพาที่มีผลต่อกระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง**. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติครั้งที่ 8. (หน้า 480-485). กรุงเทพ: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

Prangpru, N., Treeamnuk, T., Jaito, K., Vanmontree, B., and Treeamnuk, K. (2014). **Comparing the efficiency of carrier type on drum drying of tamarind juice**. In the 7th TSAE International Conference (1-7), Pranakorn Sri Ayutthaya: Thai Society of Agricultural Engineering.

Prangpru, N., Treeamnuk, T., Jaito, K., Vanmontree, B., and Treeamnuk, K. (2015). **Comparing the efficiency of two carrier types on drum drying of tamarind juice**. Thai Society of Agricultural Engineering Journal. 21(1), 1-7.

Prangpru, N., Treeamnuk, T., Jaito, K., Vanmontree, B., and Treeamnuk, K. (2017). **Effect of temperature on the physicochemical properties of tamarind (Tamarindus indica) powder**. In the 8th International Conference on Food Engineering and Biotechnology (pp 127-131). Kuala Lumpur: International University of Malaya Wales Auditorium.

Prangpru, N., Treeamnuk, T., and Treeamnuk, K. (2017). **Optimization of carrier agents using mixture design for tamarind powder production**. Songklanakarin Journal of Science and Technology. (Article in press).

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนาฏชนก ปรางปรุ เกิดเมื่อวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2529 ในจังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลนครราชสีมาเมื่อปี พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบุญวัฒนาเมื่อปี พ.ศ. 2547 และได้สำเร็จการศึกษาระดับชั้นปริญญาตรีจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือเมื่อปี พ.ศ. 2551 ในสาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร จากนั้นจึงได้เข้ารับการศึกษาต่อในระดับชั้นปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการแปรรูปผลผลิตเกษตร ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งได้สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2553 โดยหลังจากสำเร็จการศึกษาก็ได้เริ่มทำงานเมื่อปี พ.ศ. 2554 ในตำแหน่งอาจารย์พิเศษที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2555 จึงได้เข้ารับการศึกษาต่อในระดับชั้นปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และมีผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษาแสดงดังภาคผนวก ค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี