



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตทุเรียนแผ่น โดยใช้การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ

Process Development of Durian Chip by Using Microwave Vacuum Drying

นามผู้วิจัย นางสาวสวิตรา ไบจิว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์พิสิฏฐ์ ธรรมวิถิ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนากระบวนการผลิตทุเรียนแผ่นโดยใช้การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ

Process Development of Durian Chip by Using Microwave Vacuum Drying

โดย

นางสาวสวิตรา ไบจิว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สวิตรา ใบงิ้ว 2554: การพัฒนากระบวนการผลิตทุเรียนแผ่นโดยใช้การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วม  
สูญญากาศ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนา  
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D. 115 หน้า

ทุเรียนทอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยม แต่ผู้บริโภคบางกลุ่มที่คำนึงถึงสุขภาพอาจจะไม่ยอมรับ  
ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการอบแห้งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตขนมขบเคี้ยวที่ปราศจากน้ำมัน งานวิจัยนี้จึง  
มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตทุเรียนแผ่นอบกรอบด้วยการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสูญญากาศ โดยศึกษา  
กระบวนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการอบแห้ง: การแช่เย็น ( $4^{\circ}\text{C}$ ), การแช่แข็ง ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) และการแช่แข็งแล้วละลาย  
และการศึกษาผลของกำลังไมโครเวฟ 3 ระดับ ( $3.88\text{ W}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $5.49\text{ W}\cdot\text{g}^{-1}$  และ  $7.23\text{ W}\cdot\text{g}^{-1}$ ) ต่ออัตราการอบแห้งและ  
คุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยควบคุมความดันที่  $13.33\text{ kPa}$  เมื่อวัดสมบัติไดอิเล็กตริกของทุเรียนก่อนการอบแห้ง  
พบว่า การแช่แข็งทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าลอสแฟกเตอร์ต่ำกว่า การเตรียมด้วยวิธีอื่น ๆ เมื่อนำทุเรียนมา  
อบแห้ง ได้ใช้แบบจำลองการอบแห้งชั้นบางในการเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้ง  
พบว่า Page model สามารถอธิบายลักษณะการอบแห้งได้ดีที่สุด สัมประสิทธิ์ของการแพร่ความชื้นของทุเรียนมี  
ค่าอยู่ในช่วง  $0.7162\times 10^{-7} - 1.9948\times 10^{-7}\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  โดยการเพิ่มกำลังไมโครเวฟทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น  
นอกจากนี้วิธีการเตรียมทุเรียนก่อนการอบแห้งและการเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่าง  
มีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า การแช่แข็งและการนำทุเรียน  
แช่แข็งมาละลายก่อนการอบแห้ง ทำให้โครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์มีรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าความ  
แข็งลดลง นอกจากนี้ ทุเรียนอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสูญญากาศมีปริมาณไขมันร้อยละ  $2.18 - 3.01$  น้อยกว่า  
ทุเรียนทอด (ร้อยละ  $36.54$ ) อย่างมาก จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า การเตรียมทุเรียนแบบแช่แข็ง  
และการนำทุเรียนที่ผ่านการแช่แข็งมาละลายแล้วอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ  $7.23\text{ W}\cdot\text{g}^{-1}$  เป็นเวลา 7 นาที มี  
คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นทุเรียน ความกรอบ กลิ่นรสทุเรียน รสชาติโดยรวมและความชอบ  
โดยรวมสูงสุด ( $p\leq 0.05$ ) จึงนำทุเรียนที่ผ่านการเตรียมทั้งสองแบบนี้ไปทดสอบผู้บริโภคพบว่า การเตรียมทุเรียน  
แบบแช่แข็งก่อนนำไปอบแห้ง กำลังไมโครเวฟ  $7.23\text{ W}\cdot\text{g}^{-1}$  เป็นเวลา 7 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนน  
ความชอบสูงสุด ( $p\leq 0.05$ ) นอกจากนี้การให้ข้อมูลที่ดีของผลิตภัณฑ์สามารถเพิ่มการยอมรับของผู้บริโภคได้  
( $p\leq 0.05$ ) ระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ในถุงอะลูมิเนียมพอยล์เป็นเวลา 56 วัน พบว่าปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์  
แอกทิวิตี และปริมาณกรดไทโอบาบิทริกเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งอุณหภูมิการเก็บรักษา (25,  
35 และ 45 องศาเซลเซียส) มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) โดยอธิบายได้ด้วย  
สมการอาร์เรเนียส

ลายมือชื่อนิติสด

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Swittra Bai-ngew 2011: Process Development of Durian Chip by Using Microwave Vacuum Drying. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Assistant Professor Nantawan Thredthai, Ph.D. 115 pages.

Fried durian chips are one of the most popular durian products. However, fried durian chips may not be accepted by some consumers that concern their health. Drying is one of the alternative methods to produce oil-free snack products. This research was aimed to develop durian chip by using microwave vacuum drying. Effect of pretreatment prior to drying (chilling at 4°C, freezing at -18°C and freezing - thawing) and levels of microwave power intensity (3.88 W·g<sup>-1</sup>, 5.49 W·g<sup>-1</sup> and 7.23 W·g<sup>-1</sup>) during drying under pressure controlled at 13.33 kPa on drying rate and quality of durian chips was investigated. Freezing prior to drying caused a lower dielectric constant and loss factor than other pretreatment methods. The drying kinetics under various drying conditions were simulated using thin layer models. The Page model was found to be the best for explaining the drying characteristics of durian chips. The effective moisture diffusivity of durian chips was in the range of 0.7162×10<sup>-7</sup>-1.9948×10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>. An increase in the microwave power intensity increased the drying kinetic rate constants. In addition, pretreatment prior to the drying and the microwave power intensity significantly affected color change (p≤0.05). Scanning electron microscopy indicated that freezing and freezing-thawing prior to drying caused expansion of the durian pore and thereby reduced hardness of the dried durian chips. In addition, the microwave vacuum dried durian chip had 2.18 – 3.01 % fat content that was much less than the fried durian chip (36.54%). From sensory evaluation, freezing and freezing-thawing prior to drying at 7.23 W·g<sup>-1</sup> for 7 min produced the durian chip with the highest liking scores on appearance, durian odor, crispness, durian flavor, taste and overall liking. From consumer acceptance test, freezing prior to drying at 7.23 W·g<sup>-1</sup> for 7 min produced durian chip with the highest liking score (p≤0.05). In addition, providing good information about the product could significantly increase acceptability of consumer (p≤0.05). During storage in aluminium foil bags for 56 days, moisture content, water activity and thiobabaturic acid were increased. Storage temperature (25, 35 and 45 °C) had significant impact (p≤0.05) on quality changing rate. Effect of the temperature could be described by Arrhenius equation.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์นันท์วัน เทอดไทย อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์พิสิษฐ ธรรมวิถี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ  
ในระหว่างการวิจัย ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และ  
ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ช่วยแนะนำและแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัย และขอขอบคุณศาสตราจารย์  
ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือทดลอง รวมถึงเจ้าหน้าที่  
ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการ  
ดำเนินการวิจัย ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นิสิตปริญญาโทและนิสิตปริญญาเอกทุกท่านที่  
ช่วยเหลือตลอดจนเป็นกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณตา และขอขอบคุณน้องสาว ที่ให้การสนับสนุน  
ความห่วงใย ความช่วยเหลือ ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา สุดท้ายนี้  
ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แก่ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน  
หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยและขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

สวิตรา ใบจิว  
พฤษภาคม 2554

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	37
สรุปและข้อเสนอแนะ	79
สรุป	79
ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	82
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	94
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	98
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์คุณภาพจุลินทรีย์	102
ภาคผนวก ง แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	105
ภาคผนวก จ แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค	107
ภาคผนวก ฉ การวัดค่าสมบัติไดอิเล็กทริก	113
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	115

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบทางเคมีในเนื้อทุเรียนหมอนทอง 100 กรัม	5
2	ค่า Dielectric constant ( $\epsilon'$ ) และค่า Loss factor ( $\epsilon''$ ) ของอาหารแต่ละประเภทที่ความถี่ 2,540 เมกกะเฮิรต์	14
3	แบบจำลองการอบแห้งชั้นบาง (Thin layer model)	30
4	สิ่งทดลองในการอบแห้งทุเรียนด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ	32
5	ค่าสมบัติไดอิเล็กทริกของทุเรียนที่ผ่านการเตรียมแต่ละวิธี	38
6	ค่าพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของแบบจำลองของทุเรียนอบแห้งที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียม	42
7	ค่าพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของแบบจำลองของทุเรียนอบแห้งที่ผ่านกระบวนการเตรียม โดยการแช่เย็น	43
8	ค่าพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของแบบจำลองของทุเรียนอบแห้งที่ผ่านกระบวนการเตรียม โดยการแช่แข็ง	44
9	ค่าพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของแบบจำลองของทุเรียนอบแห้งที่ผ่านกระบวนการเตรียม โดยการแช่แข็ง – ละลาย	45
10	ประสิทธิภาพการแพร่ความชื้นประสิทธิผลและประสิทธิภาพของแบบจำลอง Fick's model	48
11	คุณภาพทางกายภาพของทุเรียนแผ่นอบแห้ง	50
12	คุณภาพทางเคมีของทุเรียนแผ่นอบแห้ง	55
13	คะแนนความชอบเฉลี่ยของทุเรียนแผ่นอบแห้ง	57
14	ค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีของทุเรียนทอด และทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมแต่ละวิธี ก่อนการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัมเป็นเวลา 7 นาที	58
15	คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภคที่มีต่อทุเรียนแผ่นอบแห้ง	60
16	การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียม โดยการแช่แข็ง และแช่แข็ง – ละลาย	61
17	ข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค	62

## สารบัญตาราง (ต่อ)

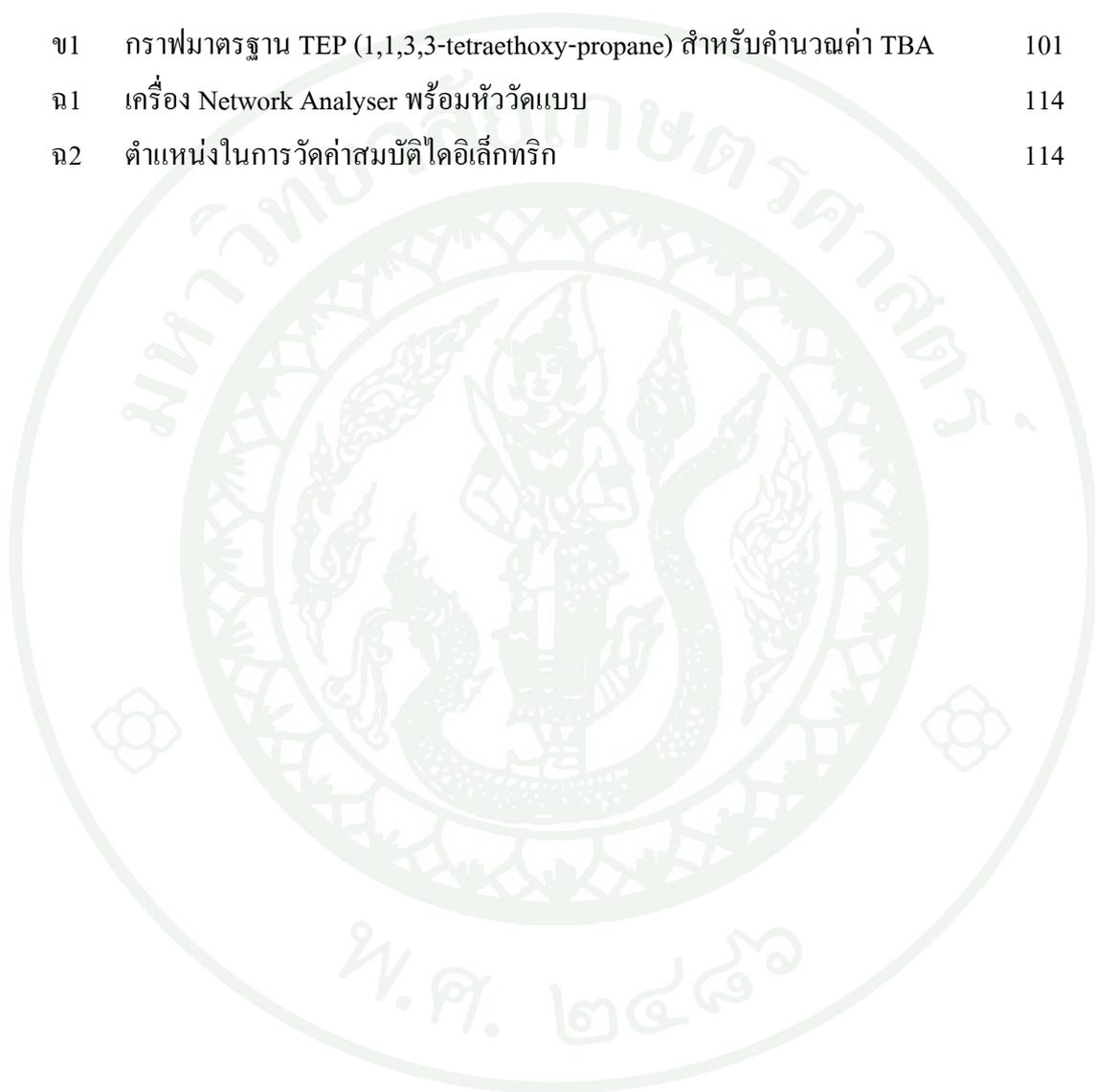
ตารางที่		หน้า
18	การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่แข็งหลังได้รับข้อมูล	63
19	การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่แข็ง – ละลาย หลังได้รับข้อมูล	64
20	ค่าคงที่อัตรา ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ของการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีระหว่างการเก็บรักษา	68
21	ค่าคงที่อัตรา ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ของการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นระหว่างการเก็บรักษา	70
22	ค่าคงที่อัตรา ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ของการเปลี่ยนแปลงค่า TBA ระหว่างการเก็บรักษา	72
23	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของทุเรียนแผ่นอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 56 วัน	72
24	คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	74
25	คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	75
26	คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	76
27	อายุการเก็บรักษา (วัน) ของผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้ง	78
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ข1	การสร้างกราฟมาตรฐานของ TEP (1,1,3,3-tetraethoxy-propane) สำหรับคำนวณค่า TBA	100

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กลไกการเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อน โดยกลไกการหมุนของสารประกอบมีขั้วและกลไกการเคลื่อนที่ของไอออนเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า	12
2	ขั้นตอนการศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่ออัตราการอบแห้ง	29
3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของทุเรียนแผ่นระหว่างการอบแห้ง	40
4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายกับค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย	46
5	การเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของทุเรียนแผ่นหลังผ่านการอบแห้งโดยการส่องกล้อง SEM (Scanning Electron Microscope)	52
6	ค่าความแข็งของทุเรียนแผ่นอบแห้ง	54
7	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้ง	59
8	การเปลี่ยนแปลงค่า $L^*$ ของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	65
9	การเปลี่ยนแปลงค่า $a^*$ ของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	65
10	การเปลี่ยนแปลงค่า $b^*$ ของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	66
11	การเปลี่ยนแปลงค่าออร์เตอร์แอกทิวิตี้ของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	67
12	การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของทุเรียนอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	68
13	การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	69
14	การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของทุเรียนอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	71

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข1	กราฟมาตรฐาน TEP (1,1,3,3-tetraethoxy-propane) สำหรับคำนวณค่า TBA	101
ฉ1	เครื่อง Network Analyser พร้อมหัววัดแบบ	114
ฉ2	ตำแหน่งในการวัดค่าสมบัติไดอิเล็กทริก	114



# การพัฒนากระบวนการผลิตทุเรียนแผ่นโดยใช้การอบแห้ง แบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ

## Process Development of Durian Chip by Using Microwave Vacuum Drying

### คำนำ

ทุเรียน (*Durio zibethinus* Murray) เป็นพืชเขตเมืองร้อนอยู่ในแฟมิลี Bombacaceae และเป็นพืชส่งออกที่สำคัญจนได้ชื่อว่า “King of Fruits” หรือ “ราชาแห่งผลไม้” ประเทศไทยจะปลูกทุเรียนอยู่แถบภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศ และมีมูลค่าการส่งออกกว่า 3,356.2 ล้านบาท ในปี 2550 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) สำหรับการส่งออกก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยมีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับ 1 ถึง 3 มาเป็นเวลาหลายปี และคาดว่าจะมีแนวโน้มในการส่งออกมากขึ้น (หิรัญและคณะ, 2541)

ในแต่ละปีทุเรียนสดจำนวนมากจากหลายประเทศ ซึ่งได้แก่ ประเทศไทย อินโดนีเซีย และมาเลเซีย ป้อนสู่ตลาดโลกเป็นจำนวนมาก ซึ่งราคาของทุเรียนก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไปมาขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิต ถ้ามีผลผลิตมากเกินไปตลาดก็จะส่งผลกระทบต่อราคาของทุเรียนต่ำลง นี่เป็นปัญหาหนึ่งที่ผลักดันให้ผู้ผลิตทุเรียนต้องหาทางจัดการกับทุเรียนส่วนเกินนั้น การแปรรูปทุเรียนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่ทุเรียนล้นตลาดได้ ในประเทศไทยได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นจากผู้ประกอบการเนื่องจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุเรียนช่วยให้เพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนได้ สามารถขยายตลาดได้ แก้ปัญหาเรื่องกลิ่นของทุเรียนได้ เพราะผลิตภัณฑ์จากทุเรียนบางอย่างจะช่วยลดกลิ่นทุเรียนลงได้ ลดต้นทุนในการขนส่งสินค้าเนื่องจากผลิตภัณฑ์ทุเรียนจะเบากว่าทุเรียนสด และมีการกระตุ้นการขายและส่งเสริมการขายทั้งตลาดภายในและภายนอกประเทศ (Subhadrabandhu and Ketsa, 2001)

ทุเรียนทอด เป็นกระบวนการแปรรูปของทุเรียนที่ได้รับความนิยมทั้งจากผู้ผลิตและผู้บริโภค ซึ่งจะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์จากชุมชน (OTOP) ที่ผลิตทุเรียนทอดออกมาจำหน่ายมากมาย ซึ่งกรรมวิธีการผลิตนั้นก็จะใช้การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep fat frying) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยซึ่งอาจไม่ได้รับความนิยมจากกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ และในปัจจุบันประเทศไทยได้พัฒนาไปเป็นสังคมที่มีการบริโภคมากขึ้นในทุกด้าน การบริโภคอาหารที่

เกินความต้องการของร่างกาย โดยเฉพาะไขมัน และน้ำตาล ทำให้เกิดภาวะโภชนาการเกิน ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมาก สาเหตุเนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ในการเลือกบริโภคอาหารที่จำเป็นต่อสุขภาพร่างกาย จึงส่งผลให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้แก่ โรคอ้วน โรคหลอดเลือดอุดตัน โรคไขมันในเลือดสูง โรคเบาหวาน โรคหัวใจและอื่น ๆ (เนตรนภิศ, 2550)

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่สำคัญอย่างหนึ่ง เนื่องจากอาหารแห้งสามารถเก็บไว้ได้นานและมีน้ำหนักเบาจึงทำให้สะดวกในการขนส่ง ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง น้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอาหารจะถูกดึงออกจากเนื้อของอาหาร โดยทั่วไปแล้วการดึงน้ำออกจากเนื้อสามารถทำได้โดยการให้ความร้อนแก่อาหารโดยตรงเมื่ออาหารได้รับความร้อน น้ำในอาหารก็จะระเหยออกไป การให้ความร้อนแก่อาหารนี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำอาหารไปตากแดด หรือ การใช้ลมร้อน ถึงแม้วิธีการดังกล่าวจะเป็นวิธีการที่ง่ายและราคาถูก เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน แต่ก็เป็วิธีที่ใช้เวลานาน นอกจากนี้ อาหารที่อบแห้งด้วยวิธีดังกล่าวยังมีลักษณะและสีที่ไม่สวยงาม เนื่องจากความร้อนในระหว่างกระบวนการอบแห้งจะทำลายรงควัตถุ (เม็ดสี) และองค์ประกอบที่มีคุณค่าทางอาหาร (พูนพัฒน์, 2550) ปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) มาใช้ในการอุ่นและปรุงอาหาร ทั้งในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม ตัวอย่างของเทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ก็คือ เตาอบไมโครเวฟซึ่งมีข้อดีคือสามารถทำให้อาหารสุกได้เร็วกว่าวิธีการให้ความร้อนวิธีอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำหมุนกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็วมากกว่าสองพันล้านครั้งต่อวินาที แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิของชิ้นอาหารที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (Datta and Anantheswaran, 2001)

ถึงแม้ว่าไมโครเวฟจะทำให้อาหารแห้งเร็วขึ้น แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งนั้นก็ยังคงใช้ในระดับสูงอยู่ เนื่องจากจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ ที่ความดันบรรยากาศปกติเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาหารที่ไวต่อความร้อน (Heat-sensitive foods) ดังนั้น จึงใช้ระบบสุญญากาศเข้ามาช่วย เพื่อจะลดความดันภายในกระบวนการอบแห้งลง วิธีการนี้ทำให้น้ำสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าในระยะเวลาอันรวดเร็ว เราเรียกวิธีการนี้ว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ (Microwave vacuum drying) (พูนพัฒน์, 2550)

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาทุเรียนกรอบ ทำการศึกษาถึงกระบวนการทำทุเรียนกรอบ โดยจะใช้กระบวนการอบแห้งร่วมกับสุญญากาศเข้ามาปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุเรียนกรอบ ให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของทุเรียนก่อนการอบแห้ง
2. เพื่อศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่ออัตราการอบแห้ง
3. เพื่อศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่อคุณภาพของทุเรียนอบแห้ง
4. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้ง
5. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของทุเรียนอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

## การตรวจเอกสาร

### 1. ทูเรียน

ทูเรียน (durian) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Durio zibethinus*, ชื่อวงศ์ (Family) : Bombaceaceae ชื่อท้องถิ่น ภาคเหนือ เรียก มะทุเรียน ภาคใต้ เรียก เรียน มาเลเซีย-ใต้ เรียก คูริยัน (กัวลาลัมเปอร์-เคดาห์) คือแยะ (กลันตัน-ตรังกานู) ทูเรียนมีถิ่นกำเนิดบริเวณหมู่เกาะอินเดีย ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นไม้ผลที่มีขนาดผลใหญ่ มีหนามแหลม รสชาติหวานมัน ได้ชื่อว่าเป็นราชาของผลไม้ (King of the fruits) (นิรนาม, 2551) เป็นไม้ผลเขตร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ และได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ ปัจจุบันการส่งออกทูเรียนมีมูลค่าถึง 3,356.2 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) เนื้อทูเรียนให้ธาตุอาหารหลายชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมงกานีส โพแทสเซียม และกำมะถัน เนื่องจากทูเรียนเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยม มีตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ทำให้ในปัจจุบันทูเรียนเป็นไม้ผลที่ได้รับความนิยมของคนทั่วโลก

### 2. คุณค่าทางโภชนาการ

เนื้อของทูเรียนยังมีคุณค่าทางอาหารสูงมาก ทั้งในด้านไขมันที่ให้พลังงานความร้อน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ร่างกาย จากการวิเคราะห์ของฝ่ายข้อมูลการวิเคราะห์กองโภชนาการ กรมอนามัย พบว่าจากส่วนของผลทูเรียนที่รับประทานได้ จำนวน 100 กรัม จะมีปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีในเนื้อทุเรียนหมอนทอง 100 กรัม

ส่วนประกอบทางเคมี	ทุเรียน 100 กรัม	หน่วย
แคลอรี	144.00	กรัม
ปริมาณน้ำ	62.50	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	31.20	กรัม
โปรตีน	2.10	กรัม
ไขมัน	3.30	กรัม
เส้นใย	1.40	กรัม
ฟอสฟอรัส	34.00	มิลลิกรัม
วิตามิน เอ	8.00	ไมโครกรัม (RE)
วิตามิน บี 1	0.16	มิลลิกรัม
วิตามิน บี 2	0.23	มิลลิกรัม
วิตามิน ซี	35.00	มิลลิกรัม
เหล็ก	1.10	มิลลิกรัม
แคลเซียม	29.00	มิลลิกรัม
เบต้า-แคโรทีน	46.00	ไมโครกรัม

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย (2544)

### 3. ทุเรียนทอดกรอบ

ทุเรียนทอดกรอบเป็นอาหารว่างชนิดหนึ่ง ผลิตครั้งแรกในภาคตะวันออกของประเทศไทย แถบจังหวัดระยองและจันทบุรี จากการสอบถามเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนและชาวบ้านในพื้นที่ดังกล่าว พบว่า สาเหตุของการเกิดทุเรียนทอดกรอบคือในช่วงทุเรียนใกล้จะเก็บเกี่ยว มักจะมีลมแรงหรือประสบปัญหาขาดน้ำ ผลทุเรียนร่วงหล่นเสียหายจำนวนมาก เกษตรกรจึงนำเนื้อทุเรียนมาผ่านเป็นแผ่นบาง ๆ ทอดกรอบแล้วคลุกเกลือบ่น ได้ผลิตภัณฑ์แผ่นบางกรอบ สีเหลืองอ่อน รสหวานและมีกลิ่นหอม เหมาะสำหรับเป็นของหวานและกับแกล้มเบียร์ ต่อมาเมื่อทุเรียนทอดกรอบเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายจึงมีผู้ผลิตเป็นการค้าขึ้น โดยกำหนดคุณภาพของทุเรียนในด้านพันธุ์ ความแก่-อ่อน ขนาดและรูปร่างของผล ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น (ดวงเดือน, 2539)

### 3.1 วัตถุประสงค์ในการผลิตทุเรียนกรอบ

เนื้อทุเรียนที่เหมาะสมในการผลิตทุเรียนทอดกรอบต้องใช้เนื้อทุเรียนดิบที่มีความแก่ประมาณร้อยละ 80 (ดวงเดือน (2539) อ้างถึง สมทรง (2539)) โดยสังเกตดูจากสีเนื้อที่เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อน ถ้าใช้เนื้ออ่อนสีขาวจะได้ชิ้นนุ่ม รสจืด เพราะเนื้อแข็งมีน้อย ผลมีแข็งน้อย ควรเลือกผลที่เจริญเติบโตสมบูรณ์ดี เนื้อหนาเต็มเมล็ด เนื่องจากสามารถผ่านเป็นแผ่นบางขนาดเหมาะสมได้ดี ผลผลิตสูง(ดวงเดือน (2539) อ้างถึง เขียวลักษณ์และวรรณ (2537)) การทำผลิตภัณฑ์ทุเรียนแปรรูปไม่ว่าจะเป็นทุเรียนทอดกรอบ ทอดนึ่ง เชื่อมอบแห้ง และอาหารทุเรียน นานาชาติทั้งคาวและหวาน สามารถทำได้จากทุเรียนทุกพันธุ์แต่พันธุ์ที่นิยมคือพันธุ์หมอนทอง เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีเนื้อมากเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ เช่น ชะนี ชมพูศรี หรือพันธุ์พื้นเมืองอื่น ๆ โดยทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่จะนำมาแปรรูปนั้นควรมีอายุ 120-135 วันหลังดอกบาน เนื้อใกล้แก่และแก่ เมื่อนำมาผลิตทุเรียนทอดกรอบ จะได้รับรสอร่อยเนื่องจากเนื้อหนา พูใหญ่ เนื้อมีรอยแยกน้อย จึงฉีกเป็นชิ้นบางได้สะดวก (ดวงเดือน, 2539)

### 3.2 กรรมวิธีในการผลิตทุเรียนกรอบ

กรรมวิธีการผลิตทุเรียนทอดกรอบตามวิธีของ Subhadrabandhu and Ketsa (2001) มีขั้นตอนดังนี้ นำทุเรียนที่ยังไม่สุกมากนัก เอาเมล็ดออกแล้วฉีกเป็นแผ่นบาง ๆ มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วทอดในน้ำมันท่วมโดยใช้ไฟปานกลาง ประมาณ 8-10 นาที นำออกมาสะเด็ดน้ำมันโดยวางบนกระดาษซับมันเพื่อช่วยซับน้ำมันส่วนเกินออก จากนั้นโรยเกลือเพื่อเพิ่มความอร่อย

ในระหว่างฤดูเก็บเกี่ยวของทุเรียนบางครั้งทำให้เกิดปัญหาทุเรียนล้นตลาดได้ ทำให้ราคาของทุเรียนตกต่ำลง การผลิตทุเรียนทอดจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่ทุเรียน และทำให้สามารถเก็บรักษาได้นาน แต่การทอดก็ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจไม่ได้รับการยอมรับจากกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ และน้ำมันในผลิตภัณฑ์ยังเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์เกิดการหืน ส่งผลให้ระยะเวลาการเก็บผลิตภัณฑ์สั้นลง (Jamradloedluk *et al.*, 2007)

### 3.3 คุณลักษณะทุเรียนทอดกรอบ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทุเรียนทอดกรอบตามประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม ฉบับที่ 3637 (พ.ศ. 2549) แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 ได้กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของทุเรียนทอดกรอบ ดังนี้

- (1) ลักษณะทั่วไป ซึ้นทุเรียนทอดกรอบในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องกรอบ มีขนาด สี และความหนาใกล้เคียงกัน อาจมีลักษณะเป็นแผ่น แท่ง หรือรูปทรงอื่น
- (2) ซ็อบกพร่องที่อาจมีได้
  - (2.1) ทุเรียนทอดกรอบรูปแผ่นมีซึ้นแตกหักได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก
  - (2.2) ทุเรียนทอดกรอบรูปแท่งมีซึ้นแตกหักได้ไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก
  - (2.3) ทุเรียนทอดกรอบรูปซึ้นหนามีซึ้นแตกหักได้ไม่เกินร้อยละ 15 ของน้ำหนัก
  - (2.4) ทุเรียนทอดกรอบรูปอื่นมีซึ้นแตกหักได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก
- (3) สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส
  - (3.1) ต้องมีสีตามลักษณะเฉพาะของส่วนประกอบที่ใช้ และมีสีสม่ำเสมอในแต่ละภาชนะบรรจุ อาจมีสีเข้มได้ แต่ต้องไม่ไหม้เกรียม
  - (3.2) ต้องมีกลิ่นตามลักษณะเฉพาะของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากน้ำมัน กลิ่นไหม้ กลิ่นหืน หรือกลิ่นอันไม่พึงประสงค์
  - (3.3) เนื้อสัมผัสต้องกรอบในแต่ละภาชนะบรรจุ
- (4) สิ่งแปลกปลอม ต้องปราศจากสิ่งแปลกปลอม เช่น เส้นผม เปลือกทุเรียน เศษเชือก เศษไพล่อน ซึ้นส่วนหรือสิ่งปฏิภูลของแมลง หนู นก ขนสัตว์
- (5) วอเตอร์แอกทวิตี ต้องไม่เกิน 0.4
- (6) ความซึ้นต้องไม่เกินร้อยละ 4.5

#### 4. การอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) เป็นกระบวนการดึงน้ำออกจากอาหาร ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของกระบวนการอบแห้ง เพื่อที่จะยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารได้ โดยการลดความซึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) ที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้นั้นลดลงด้วย ซึ่งหากมีค่า Water activity ต่ำกว่า 0.6 ก็จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ลดความเสี่ยงต่อการสูญเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ (Driscoll, 2004) นอกจากนี้ป้องกันการ

เน่าเสียจากจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ (สุคนธ์ชื่น, 2546) แล้ว การทำแห้งยังทำให้ลดน้ำหนักของอาหารส่งผลให้ต้นทุนในการขนส่งและการจัดเก็บลดลงด้วย และสำหรับบางผลิตภัณฑ์นั้น การทำแห้งจะให้ความสะดวกในการใช้งานและการบริโภค (Fellows, 2000)

#### 4.1 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นกับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง(สุคนธ์ชื่น, 2546) ดังนั้นการออกแบบ การเลือกเครื่องมือ และศึกษากระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมน้อยที่สุด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์มีดังนี้

##### 4.1.1 การหดตัว

การเสื่อมเสียเนื้อสัมผัสของอาหารแห้ง เกิดจากการเสื่อมเสียของสตาร์ช (starch) การเกิดผลึกภายในเซลล์อาหาร และการระเหยของน้ำในระหว่างการอบแห้ง (Fellows, 2000) ซึ่งการเสียน้ำทำให้เซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้าๆ (สุคนธ์ชื่น, 2546)

##### 4.1.2 การเปลี่ยนสี

อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีการเกิดสีน้ำตาล และในผักและผลไม้ ความร้อนและออกซิเจนยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสีแคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ การเก็บรักษาอาหารที่ผ่านการอบแห้งก็เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี หากความชื้นของผลิตภัณฑ์เกินกว่า 4-5% และอุณหภูมิผลิตภัณฑ์สูงเกินกว่า 38 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นอย่างชัดเจน (Fellows, 2000)

##### 4.1.3 การเกิดเปลือกแข็ง

การอบแห้งอย่างรวดเร็วและการใช้อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสได้มากกว่าอัตราการอบแห้งที่เกิดขึ้นแบบปานกลาง และใช้อุณหภูมิต่ำกว่า ระหว่างการอบแห้งนั้นน้ำจะเคลื่อนที่จากภายในสู่ภายนอก แล้วในช่วงแรก ๆ น้ำภายนอกนั้นระเหยเร็วเกินไป น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน และความชื้นยังทำให้เกิดสารประกอบทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ผิวภายนอก ส่งผลให้ที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มไว้ ทำให้อัตราการอบแห้งนั้นลดลง แล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็มีผิวนอกเป็นเปลือกแข็งแห้ง แต่ภายในยังมีความชื้นหลงเหลืออยู่ (Fellows, 2000) สามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช้อุณหภูมิและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันสมควร (สุคนธ์ชื่น, 2546)

#### 4.1.4 การสูญเสียความสามารถในการคืนสภาพ

อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพ แต่น้ำที่ดึงออกจากอาหารระหว่างการอบแห้งจะไม่สามารถกลับเข้ามาคืนสภาพได้เหมือนเดิม เพราะความร้อนทำให้ผนังเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลง โปรตีนเกิดการจับตัวเป็นก้อน เกิดการตกผลึกของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งส่งผลให้เนื้อสัมผัสของอาหารเปลี่ยนไป ความสามารถในการดูดน้ำเปลี่ยนไป และไม่สามารถเปลี่ยนกลับคืนมาได้ (Fellows, 2000)

#### 4.1.5 การสูญเสียกลิ่นและกลิ่นรส

ความร้อนก่อให้เกิดการสูญเสียองค์ประกอบของสารระเหยภายในอาหาร ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีกลิ่นและกลิ่นรสน้อยกว่าวัตถุดิบดั้งเดิม การสูญเสียของสารระเหยเหล่านั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ปริมาณความชื้นในอาหาร และความสามารถในการระเหยของสารระเหย ซึ่งพืชประเภทที่มีกลิ่นและกลิ่นรสในปริมาณมาก เช่น สมุนไพรและเครื่องเทศ จึงควรอบแห้งในอุณหภูมิต่ำ นอกจากความร้อนจะทำลายกลิ่นและกลิ่นรสแล้ว การอบแห้งยังทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูเปิดจะทำให้ออกซิเจนสามารถเข้าไปภายในอาหาร ทำให้สูญเสียกลิ่นได้ในระหว่างการเก็บ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบของสารระเหยและไขมันในอาหาร แต่ในผักและผลไม้ส่วนมากมีไขมันปริมาณน้อย การออกซิเดชันจึงมักเกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) ส่งผลให้เกิดสารประกอบพวกอัลดีไฮด์ (aldehydes) และคีโตน (ketone) ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นหืน เป็นต้น สามารถลดการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ด้วยการใช้บรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศ เก็บในอุณหภูมิต่ำ เก็บไว้ในที่แห้ง

พยายามรักษาความชื้นในอาหารให้ต่ำอยู่เสมอ และอาจมีการเติมสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Fellows, 2000)

#### 4.1.6 การเสื่อมเสียคุณค่าทางอาหาร

วิตามินแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายน้ำและการทนต่อความร้อนแตกต่างกัน วิตามินบางประเภท เช่น ไรโบฟลาวิน (riboflavin) มีความคงตัวสูงตั้งนั้นสูญเสียน้อย ในขณะที่วิตามินบีและซี และไทอะมิน (thiamin) เกิดการเสื่อมสลายที่ความร้อนสูง (Driscoll, 2004) ดังนั้น ยิ่งใช้เวลาทำเหม่งานการสูญเสียก็ยิ่งมาก (สุคนธ์ชื่น, 2546) ส่วนวิตามินที่ละลายในน้ำมัน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค มักเกิดการสูญเสียเนื่องจากเกิดปฏิกิริยากับเปอร์ออกไซด์ (peroxides) ซึ่งสารเปอร์ออกไซด์นี้เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ดังนั้นหากต้องการลดการสูญเสียระหว่างการเก็บรักษาจึงต้องลดปริมาณออกซิเจนภายในผลิตภัณฑ์ เก็บในอุณหภูมิต่ำ และหลีกเลี่ยงแสง (Fellows, 2000)

#### 5. การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟในระบบสุญญากาศ

คลื่นไมโครเวฟเป็นพลังงานที่เกิดจากการแผ่รังสีของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่สูงในช่วงคลื่น 300 เมกกะเฮิร์ต ถึง 3 กิกะเฮิร์ต มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร จากการที่ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีช่วงคลื่นใกล้เคียงกับคลื่นวิทยุ และทีวี ทำให้เกิดการรบกวนกัน จึงมีการกำหนดช่วงคลื่นในแต่ละช่วงการใช้งานในทางอุตสาหกรรมอาหาร International Telecommunication Union (ITU) กำหนดให้ใช้ในช่วง  $915 \pm 25$  เมกกะเฮิร์ต และ  $2450 \pm 50$  เมกกะเฮิร์ต (สายสนม, 2543 ; Pappas *et al.*, 1999)

การใช้คลื่นไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร เป็นวิธีการให้ความร้อนที่แตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแบบธรรมดา ซึ่งการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแบบธรรมดาคจะทำให้อาหารร้อนขึ้นโดยกระบวนการถ่ายเทความร้อน 3 แบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี (วิล, 2547) แต่การใช้คลื่นไมโครเวฟจะทำให้อาหารร้อนขึ้นโดยอาศัยสมบัติของโมเลกุลที่มีขั้วหรือประจุ (ไพศาลและรุ่งนภา, 2549) การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกจะเกิดขึ้นภายในวัตถุโดยตรงในขณะที่คลื่นไมโครเวฟเคลื่อนที่ผ่าน ส่งผลให้อุณหภูมิภายในอาหารเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการให้ความร้อนวิธีการแปรรูปทั่วไป (ไพศาลและรุ่งนภา, 2549) แต่การอบแห้งโดยใช้

ไมโครเวฟนั้นก็เกิดผลเสียคือ อุณหภูมิที่ใช้สำหรับอาหารนั้นสูงเกินไปเพราะว่าไมโครเวฟมีการให้ความร้อนแบบทันทีทันใด และส่งผ่านความร้อนจากภายใน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดความเสียหาย เช่น เกิดจุดไหม้ และสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เป็นต้น จึงมีการประยุกต์ระบบสุญญากาศ (vacuum) เข้ามาร่วมกับการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพื่อที่จะลดจุดเดือดของน้ำลง และเกิดการอบแห้งอย่างรวดเร็ว

### 5.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟมีคุณสมบัติทั่ว ๆ ไป (วิล, 2547) ดังนี้

#### 5.1.1 การสะท้อนกลับ (Reflection)

เมื่อเตาไมโครเวฟทำงานจะส่งคลื่นมายังอาหาร ถ้าภาชนะที่ใช้เป็นโลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะจะเกิดการสะท้อนกลับ เพราะไม่สามารถดูดคลื่นคลื่นเอาไว้ได้ ดังนั้นถ้าปรุงอาหารโดยใช้ภาชนะโลหะอาหารอาจจะไม่สุกได้

#### 5.1.2 การส่งผ่าน (Transmission)

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่สามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำจากแก้ว กระจก และพลาสติกได้ ดังนั้นภาชนะเหล่านี้จะไม่ร้อนนอกจากตัวอาหารจะทำให้มันร้อน เนื่องจากภาชนะดังกล่าวไม่ดูดคลื่นไมโครเวฟไว้

#### 5.1.3 การดูดซับ (Absorption)

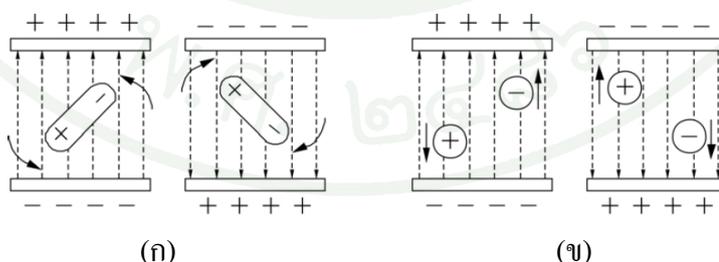
อาหารสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้เนื่องจากคุณสมบัติในการเป็นไดอิเล็กทริกของอาหาร ดังนั้นเมื่ออาหารดูดซับคลื่นไมโครเวฟ โมเลกุลของน้ำในอาหารจะเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรวดเร็วถึง 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทาน ส่งผลให้อาหารสุกภายในระยะเวลาสั้น ๆ

### 5.2 กลไกการเกิดความร้อนเนื่องจากไมโครเวฟ

พลังงานไมโครเวฟไม่ใช่พลังงานความร้อน แต่การที่ไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนขึ้น เป็นผลมาจากอันตรกิริยาระหว่างพลังงานไมโครเวฟกับวัตถุที่มีคุณสมบัติไดอิเล็กทริก ซึ่งเกิดจาก กลไก 2 ประการ ได้แก่ การหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว (Dipole rotation) และ การเคลื่อนที่ของ อีออน เมื่ออยู่สนามไฟฟ้า (Ionic Polarization) โดยทั้งสองกลไกมีกระบวนการค่อนข้างเหมือนกัน ยกเว้นกลไกแรกจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของสารที่มีขั้ว ในขณะที่กลไกที่ 2 เป็นการเคลื่อนที่ ของไอออนในสารละลาย (Yam and Lai, 2004)

ภาพที่ 1(ก) แสดงกลไกการหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว โดยในอาหารประกอบด้วย น้ำที่มีปริมาณแตกต่างกัน น้ำเป็นโมเลกุลมีขั้วที่ตามปกติจะเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เมื่อผ่าน สนามไฟฟ้ากระแสสลับ ประจุบวกและลบใน โมเลกุลจะหมุนเพื่อเปลี่ยนตามทิศทางของ สนามไฟฟ้าสลับ โดยหมุนไปมาอย่างรวดเร็วหลายพันล้านครั้งต่อวินาที การเคลื่อนที่ของประจุใน โมเลกุลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่นๆ ต่อไป จนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงาน จลน์จะเกิดกลายสภาพไปเป็นพลังงานความร้อน (วิไล, 2547 ; Sigh and Heldman, 2001) ในส่วน ของน้ำแข็ง โมเลกุลของน้ำจะไม่สามารถหมุนตัวเองได้มากพอที่จะชนกับโมเลกุลอื่น ๆ เนื่องจาก โมเลกุลของน้ำจะถูกยึดติดกับ โครงสร้างที่เป็นผลึก ดังนั้นปริมาณน้ำและสถานะของน้ำในอาหาร เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการทำให้เกิดความร้อน โดยพลังงานไมโครเวฟ

ภาพที่ 1(ข) แสดงกลไกการเคลื่อนที่ของอีออนเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า เป็นการเกิด ความร้อนเนื่องจาก อีออนที่มีประจุในอาหารเมื่อเข้าอยู่ในสนามไฟฟ้า จะถูกกระตุ้นและเร่งให้เกิด การเคลื่อนที่ที่เกิดการเสียดสีกัน เกิดเป็นพลังงานจลน์และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด



ภาพที่ 1 กลไกการเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อน โดยกลไกการหมุนของ สารประกอบมีขั้ว (ก) และ กลไกการเคลื่อนที่ของอีออนเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า (ข)

ที่มา: Yam and Lai (2004)

### 5.3 คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric properties) ของอาหาร

คุณสมบัติไดอิเล็กทริกเป็นพารามิเตอร์หลักที่บ่งบอกว่าวัตถุหรืออาหารนั้นสามารถทำให้เกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ หรือคลื่นที่อยู่ในช่วงความถี่วิทยุได้ (Sosa-Morales *et al.*, 2010) โดยในอาหารแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะทางกายภาพ อุณหภูมิ แตกต่างกันซึ่งส่งผลให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟแตกต่างกัน (เหมการ์, 2545) โดยคุณสมบัติไดอิเล็กทริกที่สำคัญและแสดงเป็นค่าตัวเลขได้แก่

5.3.1 Dielectric constant ( $\epsilon'$ ) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเก็บกักพลังงานที่ตกกระทบเข้าไปเมื่อวัตถุอยู่ในสนามไฟฟ้า

5.3.2 Dielectric loss factor ( $\epsilon''$ ) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการแพร่กระจายของพลังงานไฟฟ้าในอาหารหรือการสูญเสียไป โดยพลังงานที่สูญเสียไปนี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน (Ikediala *et al.*, 2000) อาหารหรือวัตถุที่มีการสูญเสียไดอิเล็กทริกสูง ก็จะสามารถเกิดความร้อนได้สูง

โดยอาหารแต่ละชนิด แต่ละอุณหภูมิก็มีสมบัติไดอิเล็กทริกต่างกัน ตัวอย่างเช่น  $\epsilon''$  ของน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (12.48) มีค่ามากกว่า  $\epsilon''$  ของน้ำแข็ง (0.0029) ที่อุณหภูมิ -12 องศาเซลเซียส นั้นหมายความว่าน้ำทำให้เกิดความร้อนได้ดีกว่าน้ำแข็ง เนื่องจากน้ำแข็งมีโครงสร้างที่ยึดติดกันทำให้โมเลกุลของน้ำหมุนได้ยาก ค่า  $\epsilon''$  เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวระหว่างการละลายอาหารแช่แข็ง เช่นเนื้อวัวแช่แข็ง มันฝรั่งแช่แข็ง และผักแช่แข็ง ดังแสดงในตารางที่ 2 วัสดุที่เป็นพลาสติกและกระดาษจะมีค่า  $\epsilon''$  ต่ำ เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติการทะลุผ่านของคลื่นไมโครเวฟ (Yam and Lai, 2004)

ตารางที่ 2 ค่า Dielectric constant ( $\epsilon'$ ) และค่า Dielectric loss factor ( $\epsilon''$ ) ของแต่ละประเภทที่ ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ต

	$\epsilon'$	$\epsilon''$
น้ำแข็ง (-12 องศาเซลเซียส)	3.2	0.0029
น้ำ (1.5 องศาเซลเซียส)	80.5	25.0
น้ำ (25 องศาเซลเซียส)	78	12.48
น้ำ (75 องศาเซลเซียส)	60.5	39.93
0.1 โมลาร์ NaCl (25 องศาเซลเซียส)	75.5	18.1
ไขมันและน้ำมัน (อุณหภูมิปกติ)	2.5	0.15
เนื้อวัวดิบ (-15 องศาเซลเซียส)	5.0	0.75
เนื้อวัวดิบ (25 องศาเซลเซียส)	40	12
เนื้อวัวอบ (23 องศาเซลเซียส)	28	5.6
มันฝรั่ง (-15 องศาเซลเซียส)	4.5	0.9
มันฝรั่ง (23 องศาเซลเซียส)	38	11.4
ผักขม (23 องศาเซลเซียส)	13	6.5
ผักขม (-15 องศาเซลเซียส)	34	27.2

ที่มา: Yam and Lai (2004)

### 5.3.3 Loss tangent ( $\tan \delta$ )

ค่า Loss tangent คืออัตราส่วนระหว่างค่า Loss factor ( $\epsilon''$ ) และ Dielectric constant ( $\epsilon'$ ) ดังแสดงในสมการที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน (Trabelsi *et al.*, 1998) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไป กลายเป็นพลังงานความร้อนกับพลังงานที่ถูกกักเก็บไว้ (Al-Muhtaseb *et al.*, 2010) โดยหากตัวอย่างมีค่านี้สูงแสดงว่าอาหารจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น (Gabriel *et al.*, 1998) ในขณะที่ตัวอย่างมีค่า Loss tangent ต่ำ คลื่นไมโครเวฟจะส่งผ่านเข้าไปในอาหาร โดยไม่มีการกระจายความร้อนเกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความร้อนที่เพิ่มขึ้น ก็อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ อีกเช่น ความร้อนจำเพาะของอาหาร ขนาดของตัวอย่าง และคุณลักษณะของตัวอย่าง (Jindarat *et al.*, 2010)

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (1)$$

### 5.4 Penetration depth ( $D_p$ )

ความลึกที่คลื่นทะลุทะลวงของไมโครเวฟ คือระยะทางที่คลื่นไมโครเวฟแทรกผ่านจากพื้นผิวอาหารเข้าไปในชิ้นอาหารจนพลังงานลดลงเหลือร้อยละ 36.8 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่สามารถอธิบายการเกิดความร้อนได้ และยังสัมพันธ์กับการกระจายความร้อนของไมโครเวฟ (Ahmed *et al.*, 2007) โดยค่าความลึกในการทะลุทะลวงแสดงดังสมการที่ 2 (Sosa-Morales *et al.*, 2010)

$$D_p = \frac{\lambda_0 \sqrt{\epsilon'}}{2\pi \epsilon''} \quad (2)$$

$D_p$  คือ Penetration depth (เซนติเมตร)

$\lambda_0$  คือ ความยาวคลื่นไมโครเวฟในพื้นที่ว่าง (Free space) โดยสำหรับที่ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ต  $\lambda_0$  เท่ากับ 12.2 เซนติเมตร

$\epsilon'$  คือ dielectric constant

$\epsilon''$  คือ loss factor

ความยาวคลื่นไมโครเวฟ dielectric constant และ loss factor ส่งผลต่อค่าความลึกที่คลื่นผ่านชั้นอาหาร เมื่อ dielectric constant และ loss tangent เพิ่มขึ้น ค่าความลึกที่คลื่นผ่านชั้นอาหารจะลดลง

## 5.5 การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ

การอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ เป็นกระบวนการอบแห้งที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพที่จะสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์และคุณลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์ให้ดีกว่าการอบแห้งแบบดั้งเดิม ซึ่งอัตราการทำแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ ขึ้นอยู่กับ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง กำลังไมโครเวฟ และความดันสุญญากาศ ในขณะที่การอบแห้งแบบลมร้อนและการอบแห้งแบบเยือกแข็ง ใช้เวลาในการอบแห้งหลายชั่วโมง แต่การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศจะใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที นอกจากนี้แล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนส่งผลให้สามารถคืนตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่บริโภคในลักษณะแบบไม่ต้องคืนตัวนั้น การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศก็ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความกรอบเช่นกัน และเนื่องจากระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟจะใช้ความดันต่ำ จุดเดือดของน้ำในอาหารจึงลดลง (Durance and Wang, 2002) ทำให้การอบแห้งเกิดอย่างรวดเร็วและร้อนทั่วถึงและอยู่ภายใต้สถานะสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์จึงไม่เกิดการเสื่อมเสียจากการเกิดออกซิเดชัน จึงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน (Scaman and Durance, 2005) อย่างไรก็ตามในระหว่างการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศนั้นต้องมีการปรับระดับของกำลังไมโครเวฟให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เนื่องจากหากใช้กำลังไมโครเวฟสูงเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ไหม้ นอกจากนั้น จะต้องปรับระดับของความดันสุญญากาศให้เหมาะสมสอดคล้องกับกำลังไมโครเวฟ เพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์แตก อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความดันภายในกับสภาวะแวดล้อมของตัวอย่าง ในผลิตภัณฑ์บางชนิด พบว่า การให้ความดันที่เหมาะสมจะช่วยเร่งกระบวนการอบแห้งให้เร็วขึ้นด้วย (Poomnoy *et al.*, 2007)

## 5.6 ลักษณะของการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ

### 5.6.1 อัตราการอบแห้ง

การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศจะมีอัตราการอบแห้งที่รวดเร็วกว่าวิธีการอบแห้งแบบอื่น ๆ จะเห็นได้จากการทดลองของ Hu *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งถั่วแระโดยวิธีแบบลมร้อนเปรียบเทียบกับวิธีอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ พบว่าการอบแห้งแบบลมร้อนใช้เวลานาน 6-10 ชั่วโมง ในขณะที่การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 20-40 นาที ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Giri *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาคุณภาพของเห็ดอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศเปรียบเทียบกับเห็ดอบแห้งแบบลมร้อน พบว่าการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศสามารถลดเวลาอบแห้งได้ถึงร้อยละ 75-90 และเมื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศพบว่ากำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น ความดันที่ต่ำลง และความหนาของเห็ดที่ลดลงจะส่งผลให้อัตราการอบแห้งเกิดได้เร็วขึ้น

#### 5.6.2 โครงสร้างของผลิตภัณฑ์

ในกระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศนั้น ความดันภายในเนื้อเยื่อของวัตถุดิบจะมีมากกว่าความดันภายในตู้อบ จึงทำให้เกิดแรงดันไม่ให้เกิดการหดตัวในขณะที่น้ำเคลื่อนที่ออก (Scaman and Durance, 2005) ในปี ค.ศ.2009 Therdtthai and Zhou ได้ศึกษาการอบแห้งใบสาระแหน่โดยใช้ไมโครเวฟร่วมสุญญากาศเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อน แล้วทำการเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์พบว่า โครงสร้างภายในที่อบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศจะมีรูพรุนที่เปิดกว้างกว่าและมีจำนวนมากกว่าการเพิ่มขึ้นของกำลังวัตต์ ส่งผลให้รูพรุนเปิดกว้างมากขึ้นและจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการหดตัวและป้องกันการเกิดเปลือกแข็งที่ผิวผลิตภัณฑ์ ในขณะที่การอบแห้งแบบลมร้อนส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดโครงสร้างที่หนาและแข็ง นอกจากนี้การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะการพองกรอบ ซึ่งเหมาะในการผลิตอาหารประเภทขนมขบเคี้ยว (Snack) หรือ ขนมปังกรอบ (Cracker) ในปี 2001 Sham ได้ทำการศึกษาการทำแอปเปิ้ลอบกรอบโดยการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ พบว่าเมื่อลดความดันลง จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความพองและกรอบมากขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Zhang *et al.* ในปี 2007 ได้ทำการพัฒนาปลาแผ่นกรอบโดยใช้ไมโครเวฟร่วมสุญญากาศพบว่า การเพิ่มกำลังไมโครเวฟและลดความดันทำให้ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวและความกรอบเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การลดความดันยังช่วยป้องกันการเกิดรอยไหม้บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Tajner-Czopek *et al.* (2008) ที่ทำการศึกษาคุณภาพของมันฝรั่งทอดที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างโดยการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 75

องศาเซลเซียส และการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 480 วัตต์ ที่ระดับความดัน 4 ถึง 6 กิโลปาสกาล พบว่าการเตรียมตัวอย่างโดยการอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวและเกิดรูพรุนภายใน เมื่อพิจารณาโครงสร้างด้วยถ่ายภาพอิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าการอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศทำให้โครงสร้างของเซลล์มีการหดตัวน้อยกว่า และมีความสม่ำเสมอมากกว่าการอบด้วยลมร้อน

### 5.6.3 สี กลิ่นรส และ คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

สี กลิ่นรส และ คุณค่าทางโภชนาการมักเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากความร้อน และการเกิดออกซิเดชัน ดังนั้นกระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศจึงสามารถรักษาองค์ประกอบดังกล่าวได้ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน เนื่องจากกระบวนการใช้อุณหภูมิต่ำกว่าและมีปริมาณออกซิเจนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในปี ค.ศ.2006 Qing-gou *et al.* พบว่าปริมาณวิตามินซีและคลอโรฟิลล์ในถั่วระอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศมีปริมาณมากกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อพิจารณาค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแบบลมร้อนจะมีค่าสี  $L^*$  ต่ำกว่า และ ค่าสี  $a^*$  และ  $b^*$  สูงกว่าการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ำ สอดคล้องกับการทดลองของ Therdtthai and Zhou (2009) พบว่า สีของใบสาระแหน่ที่อบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศจะมีสีเขียวสว่างอมเหลือง ในทางตรงกันข้ามหลังจากอบแห้งแบบลมร้อนใบสาระแหน่จะมีความสว่าง ( $L$ ) ลดลง สีแดง ( $a$ ) เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเขียวเข้มอมน้ำตาล และเมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของสีกับใบสาระแหน่สด ( $\Delta E$ ) พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแบบลมร้อนจะมีความแตกต่างจากใบสาระแหน่สดมากกว่าการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ ( $p \leq 0.05$ ) ในปี 2009 Wojdylo *et al.* ได้ศึกษาถึงสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ในสตรอเบอร์รี่อบแห้งพบว่า การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมสุญญากาศนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโพลีฟีนอล (polyphenols) และแอนโทไซยานิน (Anthocyanins) ใกล้เคียงกับการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และใกล้เคียงกับสตรอเบอร์รี่สดมากกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน สอดคล้องกับการศึกษาของ Erle and Schubert (2001) ซึ่งทำการอบแห้งสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ 2 สภาวะ คือที่กำลังไมโครเวฟ 390 วัตต์ เป็นเวลา 37 นาที ต่อด้วยกำลังไมโครเวฟ 195 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณวิตามินซีของสตรอเบอร์รี่หลังการอบแห้ง พบว่าสามารถรักษาวิตามินซีในสตรอเบอร์รี่ได้ถึงร้อยละ 60 ส่วนในด้านกลิ่นรส นั้น Figiel (2009) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งกระเทียมด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศเปรียบเทียบกับการอบลมร้อน พบว่า สารระเหยที่

เป็นองค์ประกอบของกลิ่นรสกระเทียมนั้นจะสูญเสียน้อยกว่าเมื่อใช้ไมโครเวฟร่วมสุญญากาศในการอบแห้ง เช่นเดียวกับการทดลองของ Cui *et al.* (2008) พบว่า สารระเหยที่ให้กลิ่นรสในน้ำผึ้งผงที่ผ่านการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงจากน้ำผึ้งธรรมชาติเล็กน้อย

## 6. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีประสิทธิภาพและถูกใช้กันอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์การอบแห้งของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มากมายที่ใช้ในการอธิบายลักษณะการอบแห้ง ซึ่งแบบจำลองการอบแห้งชั้นบาง (Thin layer model) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการอธิบายลักษณะการอบแห้ง (Doymaz, 2005) โดยแบบจำลองนี้จะแบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ ทฤษฎี กึ่งทฤษฎี และแบบจำลองที่ได้จากการทดลอง (Madamba *et al.*, 1996) โดยที่แบบจำลองที่ได้จากทฤษฎีจะคำนวณจากความต้านทานภายในในการส่งผ่านความชื้น ในขณะที่แบบจำลองที่ได้จากกึ่งทฤษฎีและแบบจำลองที่ได้จากการทดลองจะพิจารณาจากความต้านทานภายนอกในการส่งผ่านความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์และอากาศ (Babalis *et al.*, 2006)

การเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างกระบวนการอบแห้งที่เกิดขึ้นในช่วง falling rate ถูกควบคุมโดยกลไกของการแพร่ของของเหลวและสามารถอธิบายกลไกนี้ด้วยกฎข้อที่ 2 ของฟิค (Fick's second law) ซึ่งจะใช้กับวัสดุที่เป็นวงกลมและมีการแพร่ความชื้นจากศูนย์กลาง (Babalis *et al.*, 2006) ในปี 1975 Crank ได้วิเคราะห์สมการของฟิคส์ให้สามารถใช้ได้กับหลากหลายรูปทรง เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก ทรงลูกบาศก์ เป็นต้น

โดยทั่วไปการสร้างแบบจำลองกึ่งทฤษฎีทำได้โดยการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ของสมการของฟิคส์ให้ง่ายขึ้น ซึ่งแบบจำลองพื้นฐานที่ใช้กันแพร่หลาย คือ Lewis Model โดยแบบจำลองนี้มีลักษณะคล้ายกับกฎการเย็นตัวของนิวตัน โดยอัตราการอบแห้งเป็นอัตราส่วนของผลต่างระหว่างปริมาณความชื้นของวัสดุที่อบแห้งกับความชื้นที่สมดุล ดังแสดงในสมการที่ 3 และเมื่อทำการอินทิเกรตได้เป็น Lewis model ดังสมการที่ 4 (Azzouz *et al.*, 2002)

$$\frac{dM}{dt} = -k(X - X_e) \quad (3)$$

$$\text{Moisture ratio (MR)} = (X_t - X_e)/(X_0 - X_e) = \exp(-kt) \quad (4)$$

$X_0$  คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น (กิโลกรัม/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

$X_t$  คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลา  $t$  (กิโลกรัม/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

$X_e$  คือ ปริมาณความชื้นสมดุลของ (กิโลกรัม/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

$k$  คือ ค่าคงที่แบบจำลอง

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

แบบจำลอง Lewis นี้เป็นแบบจำลองเบื้องต้นที่ง่ายและไม่ซับซ้อนแต่ก็มีข้อเสียคือแบบจำลองนี้มีแนวโน้มที่ค่าทำนายมีค่ามากกว่าค่าจริง (over-predict) ในช่วงต้นของการอบแห้ง และค่าทำนายต่ำกว่าค่าจริง (under-predict) ในช่วงท้ายของการอบแห้ง

แบบจำลอง Page เป็นการปรับปรุงจำลอง Lewis เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแบบจำลองดังกล่าว แบบจำลองนี้ได้นำมาใช้เพื่อทำนายการอบแห้งของถั่วเหลือง ถั่วขาว ถั่วเขียวและข้าวโพด เป็นต้น (Doymaz, 2005) โดยแบบจำลองแสดงดังสมการที่ 5

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (5)$$

$n$  คือ อันดับปฏิกิริยา

$k$  คือ ค่าคงที่แบบจำลอง

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

แบบจำลอง Henderson และ Pabis ได้จากทอมแรกของการแก่อนุกรมทั่วไปของกฎข้อที่สองของฟิคท์ ซึ่งแบบจำลองประสบความสำเร็จในการจำลองการอบแห้งของข้าวโพด (Henderson and Pabis, 1961) ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ 6

$$MR = a \exp(-kt) \quad (6)$$

$k, a$  คือ ค่าคงที่แบบจำลอง

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

แบบจำลอง Logarithmic เป็นแบบจำลองที่ได้นำมาใช้กับผลไม้หลากหลายชนิด (Togrul and Pehlivan, 2004) โดยแบบจำลองเขียนได้ดังสมการที่ 7

$$MR = a \exp(-kt) + c \quad (7)$$

$k, a, c$  คือ ค่าคงที่แบบจำลอง

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

ในปี 1980 Sharaf-Eldeen *et al.* ได้นำเสนอแบบจำลอง Two-term เพื่อทำนายอัตราการอบแห้งของข้าวโพด โดยแบบจำลองนี้เป็น 2 เทอมแรกของการแก้อนุกรมทั่วไปของสมการของฟิสิกส์ แสดงดังสมการที่ 8

$$MR = a \exp(-kt) + c \exp(-k_0t) \quad (8)$$

$k, k_0, a, c$  คือ ค่าคงที่แบบจำลอง

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

นอกจากแบบจำลองกึ่งทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีแบบจำลองจากการทดลองที่สามารถอธิบายลักษณะการอบแห้งได้ โดยแบบจำลองจากการทดลองได้มาจากความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยตรง แบบจำลองนี้ไม่สนใจหลักการพื้นฐานของกระบวนการอบแห้ง และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไม่มีความหมายในทางฟิสิกส์ (Babalís *et al.*, 2006) Wang และ Singh ได้พัฒนาแบบจำลองดังกล่าวในการอบแห้งข้าวกล้องในปี 1987 ดังแสดงในสมการที่ 9

$$MR = 1 + at + bt^2 \quad (9)$$

$a, b$  คือ ค่าคงที่แบบจำลอง

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

## 6. อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ตั้งแต่เริ่มผลิตเป็น

ผลิตภัณฑ์ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ในสภาพที่ผู้บริโภคไม่พึงปรารถนาทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ (Singh, 1994) ซึ่งจำเป็นสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพตรงตามที่กำหนดไว้บนฉลาก และสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคว่าผลิตภัณฑ์นั้นปลอดภัย ดังนั้นจึงควรศึกษาระยะเวลาที่เก็บผลิตภัณฑ์ และสภาวะแวดล้อมในการเก็บผลิตภัณฑ์ (Baker *et al*, 1988)

ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์บางอย่างมีความไวในการทำปฏิกิริยากับแสง ออกซิเจน อาจเสื่อมเสียได้ง่าย ปัจจัยจากภาชนะบรรจุ สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ความชื้น และแสง ได้มากน้อยแค่ไหน เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ภายในภาชนะบรรจุได้ช้าลง และปัจจัยที่สำคัญได้แก่ สภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณออกซิเจน และแสง เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการทำงานของปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้นำไปสู่การเสื่อมเสียของอาหาร

#### 6.1 การศึกษาอายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษาได้มีการศึกษาจากปัจจัยคุณภาพที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาดังนี้

6.1.1 ความชื้น เป็นปัจจัยคุณภาพที่ทำให้อาหารสูญเสียความกรอบและอาจทำให้เกิดเชื้อรา นอกจากนั้นทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในทุเรียนอบกรอบเกิดเร็วขึ้น เช่น การเหม็นหืน การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเป็นต้น ทุเรียนดิบทอดกรอบจะสูญเสียความกรอบเมื่อมีค่า ความชื้นเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 6 ดังนั้นเมื่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนดิบทอดกรอบมีความชื้นสูงเกินร้อยละ 6 ขึ้นไปแสดงว่าสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา(ไพศาลและคณะ, 2543)

6.1.2 ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) เป็นปัจจัยคุณภาพที่บ่งบอกถึงคุณภาพด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้ง โดยทุเรียนจะสูญเสียความกรอบเมื่อมีค่า  $A_w$  เพิ่มขึ้นถึง 0.6 อีกทั้งยังทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเช่นเดียวกับความชื้น (ณัฐษา, 2547)

6.1.3 สี ในระหว่างการเก็บรักษาอาจมีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นได้หากยังมีการทำงานของเอนไซม์ในผลไม้เหลืออยู่ ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่า  $a_w$  และ

อุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการเก็บรักษา ยิ่งเก็บไว้ในอุณหภูมิสูงสีจะคล้ำขึ้น ซึ่งนิธิยา (2545) กล่าวว่า ในอาหารที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 4-5 และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า  $38^{\circ}\text{C}$  จะเกิดปฏิกิริยา สีนํ้าตาลได้ง่าย

6.1.4 กลิ่นและรสชาติ ในระหว่างการเก็บรักษาอาหาร ก๊าซออกซิเจนในอากาศจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไขมันในอาหาร เกิดสารพวกไฮโดรเพอร์ออกไซด์ แอลดีไฮด์ คีโตน และกรดอินทรีย์ทำให้เกิดกลิ่นหืนขึ้น ซึ่งนิธิยา (2545) กล่าวว่าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังกล่าวข้างต้นอยู่กับอุณหภูมิและค่า  $a_w$  อีกด้วย ดังนั้นก๊าซออกซิเจนและปริมาณความชื้นในอาหารจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้อาหารเกิดการเหม็นหืนได้เร็วขึ้น

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาโดยอาศัยหลักการทาง จลนพลศาสตร์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งมักเป็นการเปลี่ยนแปลงในรูป สมการอันดับ 0 สมการอันดับ 1 และอันดับ 2 ดังสมการที่ 10 ถึง 12

$$\text{เมื่อ } n = 0; \quad C_A - C_{A0} = -kt \quad (10)$$

$$\text{เมื่อ } n = 1; \quad \ln(C_A/C_{A0}) = -kt \quad (11)$$

$$\text{เมื่อ } n = 2; \quad 1/C_A - 1/C_{A0} = -kt \quad (12)$$

$C_A$  คือ ปริมาณสารที่เกิดขึ้นที่เวลาใดๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

$C_{A0}$  คือ ปริมาณสารที่มี ณ จุดเริ่มต้น

$k$  คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant)

$t$  คือ ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง (วัน)

และสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื่องจาก อุณหภูมิโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ 13 และ 14

$$k = k_0 \exp(-E_a/RT) \quad (13)$$

$$t = (C_0 - C_{\text{final}}) / k_0 \exp(-E_a / RT) \quad (14)$$

k คือ ค่าคงที่อัตรา (หน่วยต่อวัน)

$k_0$  คือ ค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส (หน่วยต่อวัน)

$E_a$  คือ พลังงานกระตุ้น (kJ/mol)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol.K

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

$C_0$  คือ ปริมาณสารที่มี ณ จุดเริ่มต้น

$C_{\text{final}}$  คือ ปริมาณสารสุดท้ายที่ทำให้ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ

t คือ ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง (วัน)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. วัตถุดิบ

- 1.1 ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (Durian cv. (Monthong)) ที่มีอายุประมาณ 118 วันหลังดอกบาน

#### 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบและการผลิต

- 2.1 อุปกรณ์เครื่องครัว  
2.2 เครื่องสไลด์ขี้ห่อ OMAS รุ่น GF 250 เยอรมัน  
2.3 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ (Microwave Vacuum Dryer) บริษัท มาร์ชกูล อินคัสทรี จำกัด, ประเทศไทย  
2.4 ตู้เย็น บริษัทสหการเครื่องเย็นสแตนเลส, ประเทศไทย  
2.5 ตู้แช่แข็ง ขี้ห่อ Mirage รุ่น FZ-189 ประเทศไทย

#### 3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

- 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ
- 3.1.1 เครื่องวัดสี Spectrophotometer ขี้ห่อ Minolta รุ่น CM – 3500d, ประเทศญี่ปุ่น  
3.1.2 เครื่องวัดค่า Water activity ขี้ห่อ AQUA Lab รุ่น CX3TE, ประเทศสหรัฐอเมริกา  
3.1.3 เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Lloyd Instrument รุ่น TA500, ประเทศอังกฤษ  
3.1.4 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด Refractometer ขี้ห่อ ATAGO รุ่น PAL- $\alpha$ , ประเทศญี่ปุ่น  
3.1.5 อุปกรณ์วัดปริมาตรผลิตภัณฑ์โดยการแทนที่ด้วยน้ำ

3.1.6 กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 5600LV ประเทศญี่ปุ่น

### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.2.1 อุปกรณ์การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric properties) รุ่น Network Analyser โดยใช้หัววัดแบบ Open-ended coaxial probe (Dielectric measurement kit V.2.1.0; Püschner, Schwanewede, Germany)

3.2.2 ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ BINDER รุ่น VD53, ประเทศเยอรมนี

3.2.3 งานอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด

3.2.4 เซลลิกเคเตอร์ ที่มีสารดูดความชื้น

3.2.5 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง รุ่น BS 224S บริษัท Sartorius ประเทศไทย

3.2.6 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.2.7 สารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

3.2.8 สารเคมีในการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis)

3.2.9 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาบริกแอซิด (Thiobarbituric Acid Number) ตามวิธีการดัดแปลงจาก Nam *et al.* (2003)

### 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3.3.1 เครื่องแก้วในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3.3.2 เครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (Autoclave-steam sterilizer) ยี่ห้อ Tuttnauer รุ่น 3850M, ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.3 ตู้ฆ่าเชื้อลมร้อน ยี่ห้อ BINDER รุ่น FD-115, ประเทศเยอรมนี

### 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.4.1 อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.4.2 แบบสอบถาม (ภาคผนวก ง และ จ)

## 4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

- 4.1 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Kottermann รุ่น 2736, ประเทศเยอรมนี
- 4.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 45 ± 2 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Memmert รุ่น INB-40, ประเทศเยอรมนี
- 4.3 ถังอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 12×18 เซนติเมตร

## 5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล

- 5.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS<sup>®</sup> เวอร์ชัน 12.0
- 5.2 โปรแกรมสำเร็จรูป XLSTAT<sup>®</sup> เวอร์ชัน 2006

### วิธีการ

#### 1. การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตทุเรียนแผ่นอบแห้ง

ทำการตรวจสอบคุณภาพทั่วไปของทุเรียนหมอนทองดิบที่ซื้อจากตลาดไท โดยปอกเปลือกแล้วนำเนื้อทุเรียนดิบมาล้างทำความสะอาดแล้วนำมาทำการศึกษาคูณภาพดังนี้

##### 1.1 คุณภาพทางกายภาพ

1.1.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วย Refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น PAL-α ดังแสดงในภาคผนวก ก

1.1.2 ค่าสีในระบบ CIE L\*a\*b\* ด้วยเครื่องวัดสี Spectrophotometer ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM – 3500d ดังแสดงในภาคผนวก ก

##### 1.2 คุณภาพทางเคมี

1.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข

1.2.2 ปริมาณแป้ง ตามวิธีการของ AACC (1990) ดังแสดงในภาคผนวก ข

#### 2. การศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของทุเรียนก่อนการอบแห้ง

นำทุเรียนพันธุ์หมอนทองดิบแกะเปลือกและหั่นเมล็ดออก หลังจากนั้นนำมาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ให้มีขนาด  $6 \times 4 \times 2.5$  ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วนำทุเรียนที่ผ่านการเตรียมดังกล่าวแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-18$  องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-18$  องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาละลาย จากนั้นนำมาวัดค่าคุณสมบัติไดอิเล็กทริกโดยเครื่อง Network Analyser โดยใช้หัววัดแบบ Open-ended coaxial probe ดังแสดงในภาคผนวก จ

จากนั้นทำการคำนวณค่า Loss tangent ดังสมการที่ 1 และ Penetration depth ของไมโครเวฟ ดังสมการที่ 2 วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) แล้ววิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Range ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### 3. ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่ออัตราการอบแห้ง

นำเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (TSS = 11-12 องศาบริกซ์) มาผ่านการเตรียมด้วยวิธีต่างๆ ก่อนการอบแห้ง ดังนี้ 1) สไลด์ด้วยเครื่องสไลด์ (OMAS GF 250, China) 2) สไลด์และแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 3) สไลด์และแช่แข็ง  $-18$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 4) แช่แข็งที่  $-18$  องศาเซลเซียส และสไลด์ โดยกำหนดให้ชิ้นทุเรียนมีความหนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร (เป็นความหนาที่เหมาะสมจากการศึกษาเบื้องต้น) จากนั้นนำทุเรียน (150 กรัม) ที่เตรียมไว้มาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับความดัน 13.33 กิโลปาสคาล โดยทำการอบแห้ง 3 สภาวะ ได้แก่ การอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 3.88 วัตต์ต่อกรัม 5.49 วัตต์ต่อกรัม และ 7.23 วัตต์ต่อกรัม ทำการศึกษาอัตราการอบแห้ง โดยการวัดปริมาณความชื้นด้วยความถี่ทุก ๆ 1 นาที ในช่วง 0 ถึง 7 นาทีสำหรับกำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัม และวัดด้วยความถี่ทุก ๆ 2 นาที ในช่วง 7 ถึง 11 นาทีสำหรับกำลังไมโครเวฟ 5.49 วัตต์ต่อกรัม และในช่วง 7 ถึง 13 นาทีสำหรับกำลังไมโครเวฟ 3.88 วัตต์ต่อกรัม ดังแสดงในภาพที่ 2



**ภาพที่ 2** ขั้นตอนการศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่ออัตราการอบแห้ง

จากนั้นทำการคำนวณสัดส่วนของปริมาณความชื้น (moisture ratio) ดังสมการที่ 15 แล้วแสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้ง

$$\text{สัดส่วนของปริมาณความชื้น (MR)} = (X_t - X_e) / (X_0 - X_e) \quad (15)$$

$X_0$  คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

$X_t$  คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลา  $t$  (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

$X_e$  คือ ปริมาณความชื้นสมดุลของ (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

ทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองการอบแห้งชั้นบาง (Thin layer model) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แบบจำลองการอบแห้งชั้นบาง (Thin layer model)

ชื่อแบบจำลอง	สมการ	ที่มา
Lewis model	$MR = \exp(-kt)$	Lewis (1921)
Page model	$MR = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis (1961)
Modified Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Karathanos (1999)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yaldiz <i>et al.</i> (2001)
Two-term model	$MR = a \exp(-kt) + c \exp(-k_0t)$	Togrul and Pehivan (2002)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh (1987)

หมายเหตุ  $k, n, a, b, c, g$  และ  $h$  คือ ค่าคงที่แบบจำลอง

$n$  คือ ค่า empirical constant (Page model)

$t$  คือ เวลาในการอบ (นาที)

จากนั้นทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient,  $r$ ) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error, RMSE) และค่าไคสแควร์ ( $\chi^2$ ) ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองและค่าจากการทดลองดังสมการที่ 16, 17 และ 18 จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงที่ได้จากการทดลองและค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของแบบจำลอง (สมการที่ 19)

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}\right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N}\right)}} \quad (16)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \sum (X - Y)^2} \quad (17)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (X - Y)^2}{N - n} \quad (18)$$

$$\text{Residual} = X - Y \quad (19)$$

X คือ ค่าจริงที่ได้จากการทดลอง

Y คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง

N คือ จำนวนหน่วยของข้อมูล

n คือ จำนวนค่าคงที่

residual คือ ความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของแบบจำลอง

#### 4. ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (Effective moisture diffusivity coefficient)

สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (Effective moisture diffusivity coefficient,  $D_{eff}$ ) คือ สมบัติเฉพาะทางกายภาพที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหาร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งพิจารณาโดยอาศัยสมการการแพร่ตามกฎข้อที่ 2 ของฟิกก์ (Fick's second law) (Coulson *et al.*, 1987) ซึ่งมีข้อสันนิษฐานดังนี้ 1) มีการกระจายความชื้นสม่ำเสมอ 2) มีสัมประสิทธิ์การแพร่คงที่ และ 3) ผลิตภัณฑ์ไม่มีการหดตัว ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (Effective moisture diffusivity coefficient) คำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้น (moisture ratio) โดยคำนวณจากสมการของ Crank (modified Crank's equation) ดังแสดงในสมการที่ 20

$$(X_t - X_e) / (X_0 - X_e) = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{eff}}{4L^2} \cdot t\right) \quad (20)$$

$D_{eff}$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (เมตร<sup>2</sup>วินาที<sup>-1</sup>)

L คือ ความหนาครึ่งหนึ่งของทุเรียนแผ่น ( $0.75 \times 10^{-3}$  เมตร)

t คือ เวลาในการอบ (นาที)

$X_0$  คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

$X_t$  คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลา t (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

$X_e$  คือ ปริมาณความชื้นสมดุลของ (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

#### 5. การศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่อคุณภาพของทุเรียนอบแห้ง

### 5.1 การศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่อคุณภาพของทุเรียนอบแห้ง

นำทุเรียนอบแห้งที่ผ่านการศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่ออัตราการอบแห้งจากข้อ 3 ทำการอบให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์น้อยกว่า 0.03 กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัม วัตถุดิบแห้ง ซึ่งจะได้สิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 4 แล้วทำการศึกษาคูณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีดังนี้

ตารางที่ 4 สิ่งทดลองในการอบแห้งทุเรียนด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ

สิ่งทดลอง	การเตรียมทุเรียน	กำลังไมโครเวฟ (วัตต์/กรัม)	เวลา (นาที)
1	อุณหภูมิปกติ	3.88 (MV3.88)	11
2		5.49 (MV5.49)	9
3		7.23 (MV7.23)	7
4	แช่เย็น	3.88 (MV3.88)	11
5		5.49 (MV5.49)	9
6		7.23 (MV7.23)	7
7	แช่แข็ง	3.88 (MV3.88)	11
8		5.49 (MV5.49)	9
9		7.23 (MV7.23)	7
10	แช่แข็ง-ละลาย	3.88 (MV3.88)	11
11		5.49 (MV5.49)	9
12		7.23 (MV7.23)	7

#### ก. คุณภาพทางกายภาพ

1) ค่าสีในระบบ CIE L\* a\* b\* ด้วยเครื่องวัดสี Spectrophotometer ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM – 3500d ดังแสดงในภาคผนวก ก

2) ค่าออสโมติซิตี ด้วยเครื่องวัดค่า Water activity ยี่ห้อ AQUA Lab รุ่น CX3TE ดังแสดงในภาคผนวก ก

- 3) ค่าความแข็ง ด้วยเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Lloyd Instrument รุ่น TA500  
 ดังแสดงในภาคผนวก ก
- 4) ค่าความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) ด้วยวิธีการแทนที่ด้วยวา
- 5) โครงสร้างของทุเรียนอบแห้งด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ  
 JEOL รุ่น JSM 5600LV

#### ข. คุณภาพทางเคมี

- 1) ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000)  
 ดังแสดงในภาคผนวก ข
- 2) ปริมาณไขมัน ด้วยเครื่อง Soxtec ยี่ห้อ Foss Analytical AB รุ่น Soxtec  
 System Model 2050

จากนั้นทำการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของทุเรียนอบแห้งในแต่ละสภาวะ ด้วยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดสอบ โดยวิธี Duncan's Multiple Range ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แล้วทำการคัดเลือกสภาวะที่ใช้ในการผลิตทุเรียนแผ่นอบแห้งโดยพิจารณาจากค่าคุณภาพ และอัตราการอบแห้ง

#### 5.2 การคัดเลือกกระบวนการอบแห้งทุเรียนแผ่น

ทำการคัดเลือกกระบวนการอบแห้งทุเรียนแผ่น โดยนำทุเรียนอบแห้งที่ได้จากการศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่อคุณภาพของทุเรียนอบแห้งในข้อ 5.1 ที่ให้อัตราการอบแห้งรวดเร็วและคุณภาพดี มาทำการเปรียบเทียบความชอบ ด้วยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ทำการทดสอบภายในห้องทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยสุ่มตัวอย่างให้ผู้ทดสอบทีละตัวอย่าง แล้วให้ผู้ทดสอบทดสอบตัวอย่างทุเรียนแผ่น 2 ชิ้นต่อตัวอย่าง ระหว่างการทดสอบแต่ละตัวอย่างให้ดื่มน้ำเปล่าคั่นระหว่างตัวอย่าง จากนั้นให้ผู้ทดสอบให้คะแนนโดยใช้แบบสอบถาม ดังแสดงในภาคผนวก ง

5.3 การทำนายค่าความชอบโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งจากค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมี

ทำนายค่าความชอบโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งจากค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่  $L^* a^* b^*$  ค่าอเวอเจอร์แอลทีวีดี ค่าความหนาแน่นรวม ค่าความแข็ง และเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมัน โดยใช้เทคนิค Partial Least Square (PLS) ซึ่งเป็นวิธีการที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม ได้แก่ค่าความชอบโดยรวม กับตัวแปรต้น ได้แก่ค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แล้ววิเคราะห์ออกมาในรูปแบบสมการถดถอย

## 6. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้ง

นำทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือก มาทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธี Central Location Test (CLT) โดยสุ่มตัวอย่างทุเรียนแผ่นอบแห้งให้ผู้บริโภคทีละตัวอย่าง โดยผู้บริโภคจะได้รับตัวอย่างครั้งละ 2 ชิ้น แล้วให้ผู้บริโภคทำการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ในแต่ละตัวอย่าง โดยมีน้ำเปล่ารับประทานคั่นระหว่างตัวอย่าง สอบถามการยอมรับของผู้บริโภคดังแสดงในภาคผนวก จ กับผู้บริโภคทั่วไปที่รับประทานทุเรียน จำนวน 100 คน บริเวณโรงอาหารกลาง 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน รวมถึงทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคเมื่อได้รับข้อมูลที่ดีของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีแมคเนมาร์ (McNemar test)

## 7. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของทุเรียนแผ่นอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

นำทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกจากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยนำตัวอย่างจำนวน 20 กรัมบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เก็บตัวอย่างในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส แล้วทำการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีทุก 1 สัปดาห์ คุณภาพทางประสาทสัมผัสทุก 2 สัปดาห์ คุณภาพทางจุลินทรีย์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพ โดยค่าคุณภาพที่ทำการศึกษาได้แก่

### 7.1 คุณภาพทางกายภาพ

ค่าสีในระบบ CIE L\*a\*b\* ค่าอเตอร์แอกทิวิตี้ และค่าความแข็ง ดังแสดงใน  
ภาคผนวก ก

## 7.2 คุณภาพทางเคมี

ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) และค่า Thiobarbituric acid (TBA)  
ดังแสดงในภาคผนวก ข

## 7.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia coli* ยีสต์และรา ตามวิธีการของ BAM (2002)  
ดังแสดงในภาคผนวก ค

## 7.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พร้อมทั้งสอบถามการยอมรับ ด้วย  
แบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก ง โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ที่รับประทานทุเรียน  
จำนวน 30 คน โดยสุ่มตัวอย่างทีละตัวอย่าง โดยผู้ทดสอบจะได้รับทุเรียนแผ่นอบแห้ง 2 ชิ้นต่อ  
ตัวอย่าง โดยให้รับประทานน้ำเปล่าคั่นระหว่างตัวอย่าง

## 8. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและหากสิ่งทดลอง  
มีความแตกต่าง ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New  
Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS<sup>®</sup>  
เวอร์ชัน 12

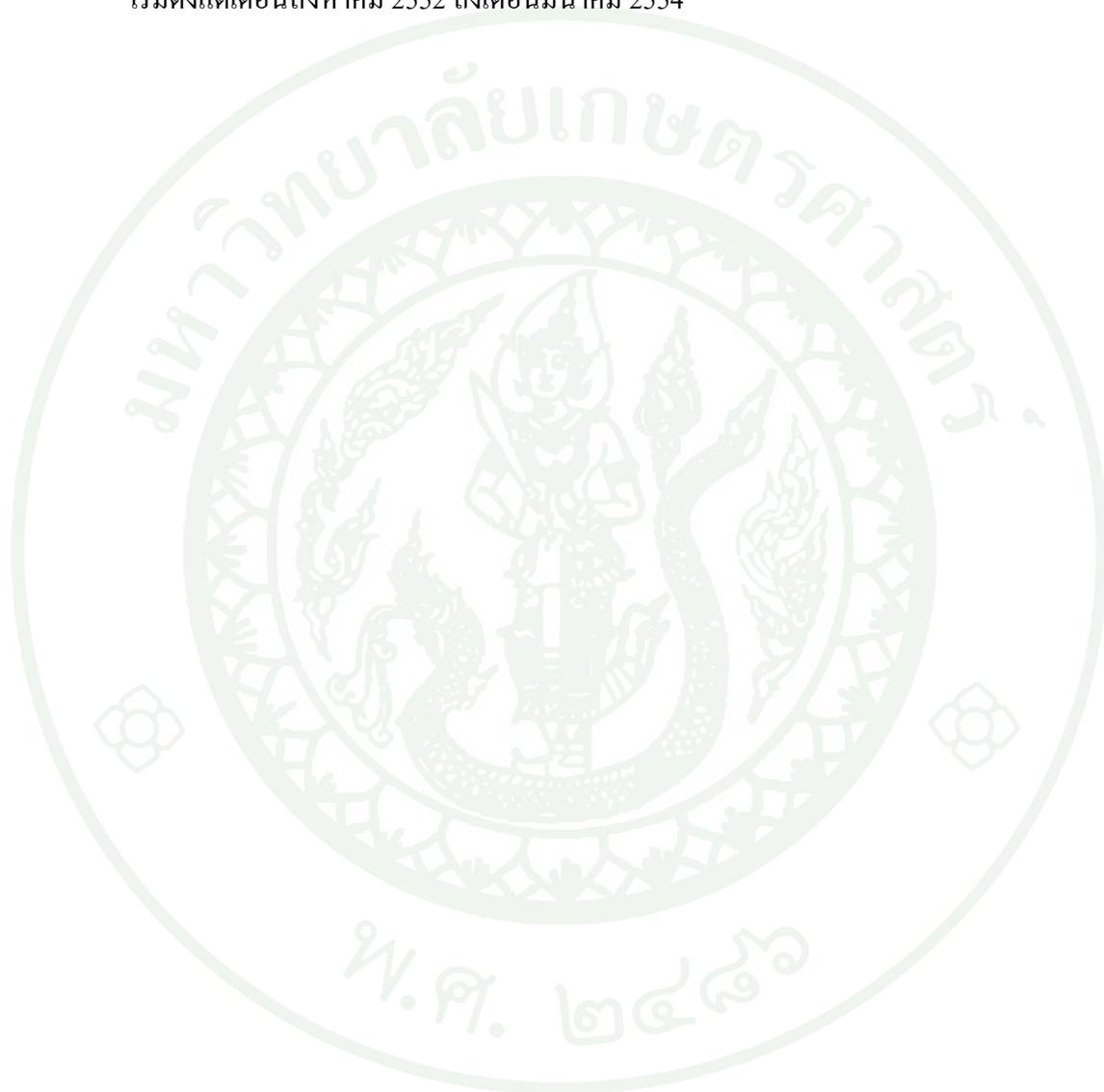
วิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Partial Least Square (PLS) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป XL  
STAT<sup>®</sup> เวอร์ชัน 2006

## 9. สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

#### 10. ระยะเวลาการวิจัย

เริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2552 ถึงเดือนมีนาคม 2554



## ผลและวิจารณ์

### 1. คุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตทุเรียนแผ่นอบแห้ง

การผลิตทุเรียนแผ่นอบแห้งเลือกใช้ทุเรียนพันธุ์หมอนทองดิบ จากตลาดไทโดยมีการตรวจสอบคุณภาพดังนี้ คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี  $L^*$  อยู่ในช่วง 83 ถึง 87 ค่าสี  $a^*$  อยู่ในช่วง -2.5 ถึง -1 และค่าสี  $b^*$  อยู่ในช่วง 15 ถึง 22 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10 ถึง 12 องศาบริกซ์ คุณภาพเคมี ได้แก่ ปริมาณแป้งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 50 ถึง 55 และปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 72 ถึง 75 (โดยน้ำหนักเปียก)

### 2. ผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของทุเรียนก่อนการอบแห้ง

ในการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ค่า Dielectric constant จะสามารถอธิบายถึงความสามารถของอาหารในการดูดซับคลื่นไมโครเวฟเมื่อวางอาหารไว้ในสนามไฟฟ้า ในขณะที่ค่า Dielectric loss factor สามารถอธิบายการเปลี่ยนพลังงานที่ดูดซับได้ให้กลายเป็นความร้อน (Sosa-Morales, 2010) จากผลการทดลองในตารางที่ 5 พบว่าการเตรียมทุเรียนแบบแช่แข็งส่งผลให้ค่าคง Dielectric constant และค่า Dielectric loss factor ลดลง เนื่องจากเกิดโครงสร้างผลึกน้ำแข็งขึ้นในตัวอย่างไม่ทำให้ความสามารถในการหมุนตัวของสารประกอบมีขั้วซึ่งได้น้ำในอาหารหมุนได้น้อยลง ส่งผลให้การเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟไปเป็นพลังงานความร้อนลดลง (Yam and Lai, 2004) สำหรับค่า Dielectric loss factor พบว่า ค่า Dielectric loss factor เพิ่มจาก 7.83 สำหรับทุเรียนสด เป็น 8.83 เมื่อเตรียมทุเรียนโดยการแช่เย็น เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ ต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสลายพันธะของน้ำให้กลายเป็นไอ (Sahin and Sumnu, 2006) ซึ่งค่าที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับอาหารชนิดอื่น เช่น กระเทียม (Sharma and Prasad, 2002), ปลาแซลมอน (Wang *et al.*, 2008) และมันฝรั่งบด (Seyhun *et al.*, 2009)

เมื่อคลื่นไมโครเวฟทะลุทะลวงเข้าไปในวัตถุจะทำให้พลังงานลดลง เนื่องจากถูกดูดซับจากวัตถุ ซึ่งค่าการทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟจะแสดงค่าเป็นระยะทางที่ไมโครเวฟทะลุทะลวงจากผิวหน้าอาหารเข้าไปในตัวอาหารแล้วพลังงานลดลงร้อยละ 36.8 ดังนั้นค่าการทะลุทะลวงต่ำแสดงว่าวัตถุดิบการดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดี (Yam and Lai, 2004) จากการทดลองพบว่า การแช่

แข็งทำให้ค่าการทะลุทะลวงเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีเตรียมแบบแช่เย็นและทุเรียนที่ผ่านการเตรียม เนื่องจากว่าผลึกน้ำแข็งในทุเรียนมีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้น้อยกว่าน้ำในทุเรียนที่ผ่านการแช่เย็น และแช่แข็ง-ละลาย ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Yam and Lai (2004) สำหรับค่า Loss tangent พบว่า การแช่เย็นและการแช่แข็งมีค่ามากกว่าการแช่แข็ง-ละลาย ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นการแช่เย็นและการแช่แข็งส่งผลให้วัตถุดิบก่อนการอบแห้งกระจายพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนได้ดีกว่า

ตารางที่ 5 ค่าสมบัติไดอิเล็กทริกของทุเรียนที่ผ่านการเตรียมแต่ละวิธี

การเตรียมวัตถุดิบ	Dielectric constant	Dielectric loss factor	Loss tangent	Penetration depth (cm)
ควบคุม	23.96 <sup>c</sup> ±0.24	7.83 <sup>b</sup> ±0.04	0.33 <sup>a</sup> ±0.00	1.21 <sup>c</sup> ±0.01
แช่แข็ง-ละลาย	30.22 <sup>a</sup> ±0.73	7.62 <sup>b</sup> ±0.18	0.25 <sup>b</sup> ±0.00	1.40 <sup>b</sup> ±0.01
แช่เย็น	26.49 <sup>b</sup> ±0.54	8.83 <sup>a</sup> ±0.05	0.33 <sup>a</sup> ±0.01	1.13 <sup>d</sup> ±0.01
แช่แข็ง	11.53 <sup>d</sup> ±0.40	3.62 <sup>c</sup> ±0.18	0.33 <sup>a</sup> ±0.02	1.82 <sup>a</sup> ±0.06

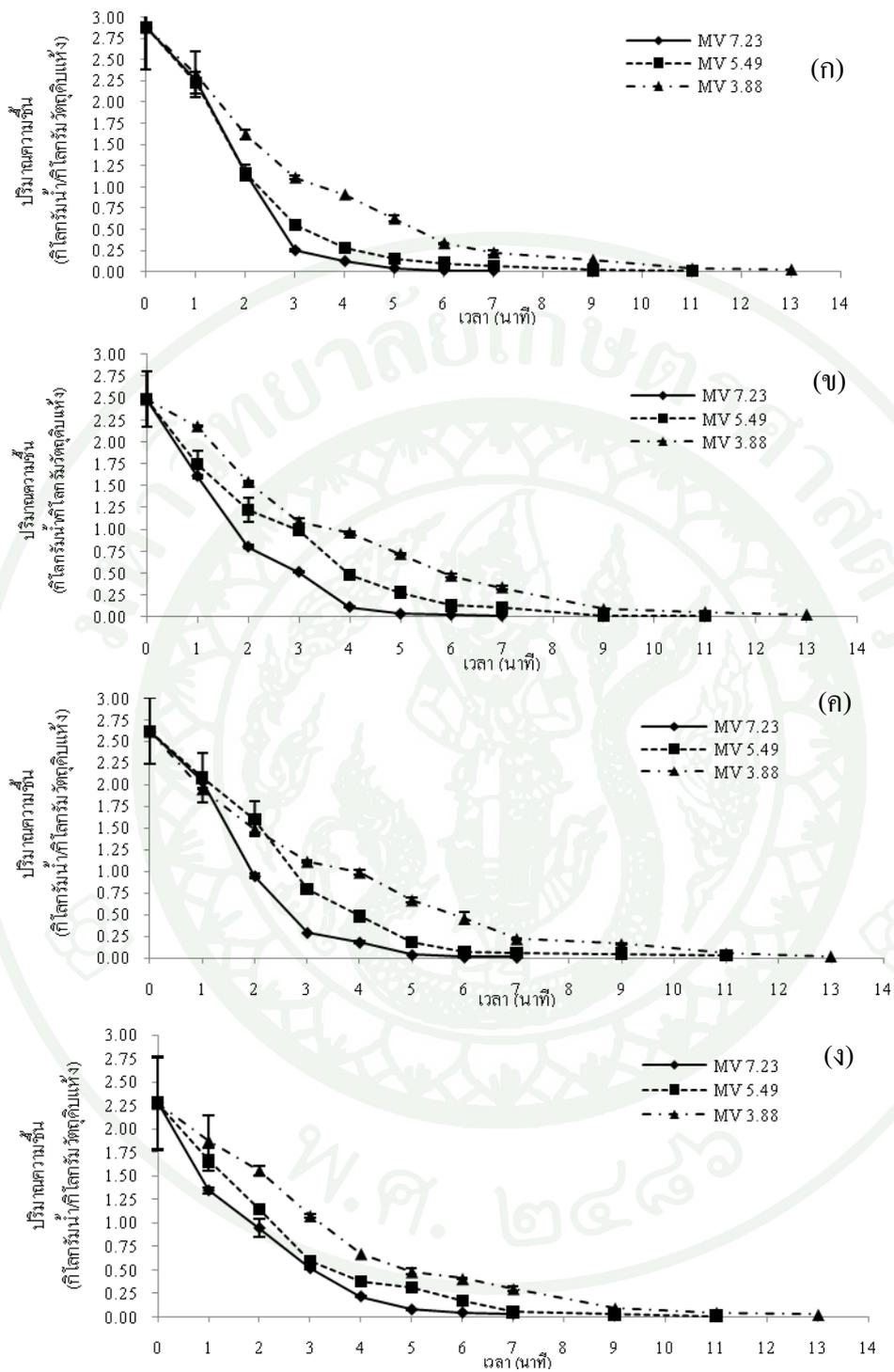
หมายเหตุ ตัวอักษร <sup>a-d</sup> ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

### 3. ศึกษาการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่ออัตราการอบแห้ง

นำทุเรียนที่ผ่านการเตรียมแต่ละวิธีมาทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมสุญญากาศที่ระดับความดัน 13.33 กิโลปาสกาล โดยทำการอบแห้ง 3 สภาวะ ได้แก่ การอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัม, 5.49 วัตต์ต่อกรัม และ 3.88 วัตต์ต่อกรัม พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของทุเรียนขณะอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 3 โดยช่วงเริ่มต้นของการอบแห้งความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว และลดลงอย่างช้า ๆ ในช่วงท้ายของการอบแห้งจากการศึกษาอัตราการอบแห้งพบว่า การเตรียมตัวอย่างแต่ละวิธีไม่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้ง อาจเนื่องมาจากค่า Loss tangent ที่บ่งบอกถึงการกระจายพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นไมโครเวฟให้เป็น

พลังงานความร้อนของการเตรียมแบบแช่เย็น แช่แข็ง และทุเรียนที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ส่วนการเตรียมด้วยการแช่แข็ง – ละลาย มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย ดังนั้นประสิทธิภาพการให้ความร้อนของการเตรียมแต่ละวิธีจึงไม่ต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามการเพิ่มกำลังไมโครเวฟจาก 3.88 วัตต์ต่อกรัมเป็น 7.23 วัตต์ต่อกรัม ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งให้รวดเร็วขึ้นเนื่องจากการเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้การถ่ายเทมวลภายในตัวอย่างเกิดเร็วขึ้น ส่งผลให้เวลาการอบแห้งลดลง (Al-Harabshah *et al.*, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Heredia *et al.* (2007) ที่ได้ทำการอบมะเขือเทศเชอร์รี่ด้วยกำลังไมโครเวฟ 0, 1, 3, 7 และ 10 วัตต์ต่อกรัม พบว่าอัตราการลดลงของสัดส่วนความชื้นจะมีค่ามากขึ้นเมื่อใช้กำลังไมโครเวฟในระดับที่สูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาการอบแห้งในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้แก่ เห็ด (Giri and Prasad, 2007) แอปเปิ้ล (Wang *et al.*, 2007) ผักปวยเล้ง (Ozkan *et al.*, 2007) และบัตูท (Figiel, 2010) ดังนั้นเวลาในการอบแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นน้อยกว่า 0.03 กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง คือ 7, 9 และ 11 นาที สำหรับการอบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัม, 5.49 วัตต์ต่อกรัม และ 3.88 วัตต์ต่อกรัม ตามลำดับ

จากการทดลองเมื่อเริ่มอบแห้งด้วยไมโครเวฟ อัตราการอบแห้งจะมากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อให้ถึงจุดเดือดของน้ำ เพราะการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Giri and Prasad (2007) ที่ทำการอบเห็ดด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศเปรียบเทียบกับการอบลมร้อน พบว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศทำให้อาหารแห้งเร็วขึ้นถึงร้อยละ 70-90 เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแบบลมร้อน จากนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในช่วงท้ายจะลดลงเมื่อปริมาณน้ำในตัวอย่างน้อยลง เนื่องจากค่า Dielectric constant ซึ่งเป็นค่าการดูดซับคลื่นไมโครเวฟลดลงเมื่อสารประกอบที่มีขั้วลดลง (Scaman and Durance, 2005) โดยเมื่อความชื้นของตัวอย่างลดลงเหลือ 0.75 กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะมีค่าใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าจะเตรียมตัวอย่างต่างกัน และใช้กำลังไมโครเวฟต่างกันก็ตาม



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของทุเรียนแผ่นระหว่างการอบแห้ง (ก) ตัวควบคุม (ข) การเตรียมแบบการแช่เย็น (ค) การเตรียมแบบการแช่แข็ง (ง) การเตรียมแบบการแช่แข็ง-ละลาย

เมื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของความชื้นระหว่างการอบแห้งโดยใช้แบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 6 – 9 พบว่า แบบจำลอง Page's model มีความเหมาะสมในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาในการอบแห้งมากกว่าแบบจำลองอื่น ๆ เนื่องจากมีค่า RMSE ต่ำ อยู่ในช่วง 0.0192 ถึง 0.0349 ค่า  $\chi^2$  ต่ำอยู่ในช่วง 0.0005 ถึง 0.0015 และให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) สูงอยู่ในช่วง 0.9948 ถึง 0.9984 สอดคล้องกับการศึกษาของ Aghbashlo *et al.* (2009) ที่พบว่าการใช้แบบจำลอง Page model มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงกว่าการใช้แบบจำลอง Lewis model เช่นเดียวกับการทำนายสัดส่วนของปริมาณความชื้นของแอปเปิ้ล (Saciik and Elicin, 2006) และถั่วเขียว (Doymaz, 2005) ที่พบว่าแบบจำลอง Page model มีประสิทธิภาพมีประสิทธิภาพในการทำนายสูงกว่าการใช้แบบจำลอง Lewis model และแบบจำลอง Handerson and Pabis model เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายกับค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าแบบจำลอง Page model และ Logarithmic model มีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุด และมีลักษณะ Unsystematic นั้นหมายความว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและความคลาดเคลื่อนเกิดได้กระจายทั่วไป ไม่จำเพาะตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง แต่เนื่องจาก Page model มีความซับซ้อนและมีจำนวนพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้อยกว่า จึงมีความเหมาะสมมากกว่าที่จะนำมาอธิบายลักษณะการอบแห้งของทุเรียนแผ่นอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ และประสิทธิภาพของแบบจำลองของทุเรียนอบแห้งที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียม

กำลังไมโครเวฟ แบบจำลอง (วัตต์/กรัม)		พารามิเตอร์	RMSE	r	$\chi^2$
3.88	Lewis	k = 0.4032	0.0721	0.9884	0.0057
	Page	k= 0.2214,n= 1.2733	0.0192	0.9983	0.0005
	Henderson & Pabis	k= 0.4587, a= 1.4856	0.1551	0.9793	0.0294
	Mod. Henderson & Pabis	k= 0.1539, a= 4.3774, b=-4.4251, c= 1.0649, g= 0.0979, h= 0.0376	0.0198	0.9981	0.0009
	Logarithmic	k= 0.2923, a= 1.0723, c= -0.0434	0.0239	0.9972	0.0008
	Two-Term model	k= 0.2117,a= 5.0569, c= -4.0319, g= 0.1909	0.0219	0.9977	0.0008
	Wang & Singh	a= -0.2114, b= 0.0107	0.0449	0.9917	0.0025
	5.49	Lewis	k = 0.5779	0.0720	0.9841
Page		k= 0.3213, n= 1.3401	0.0294	0.9966	0.0011
Henderson & Pabis		k= 0.6086, a= 1.2017	0.0753	0.9812	0.0071
Mod. Henderson & Pabis		k= 0.2282, a= 5.3790, b=-6.3817, c= 2.0454, g=0. 1516, h= 0.0869	0.0410	0.9926	0.0042
Logarithmic		k= 0.4574, a= 1.0866, c= -0.0344	0.0484	0.9897	0.0033
Two-Term model		k= 0.3194, a= 6.5771, c= -5.5278, g= 0.2947	0.0448	0.9912	0.0034
Wang & Singh		a= -0.2817, b= 0.0181	0.0804	0.9741	0.0081
7.23		Lewis	k = 0.8966	0.1564	0.934
	Page	k= 0.2672, n= 1.7966	0.0228	0.9983	0.0007
	Henderson & Pabis	k= 1.0412, a= 1.8711	0.3167	0.9122	0.1337
	Mod. Henderson & Pabis	k= 0.0837, a= 8.5593, b=-14.2696, c= 6.7563, g=-0.0045, h=-0.0558	0.0565	0.9884	0.0128
	Logarithmic	k= 0.4395, a= 1.1694, c= -0.1087	0.0742	0.9798	0.0088
	Two-Term model	k= 0.2957, a= 6.7611, c= -5.6993, g= 0.2633	0.0706	0.9819	0.0099
	Wang & Singh	a= -0.3690, b= 0.0328	0.0591	0.9883	0.0046

ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ และประสิทธิภาพของแบบจำลองของทุเรียนอบแห้งที่ผ่านกระบวนการเตรียมโดยการแช่เย็น

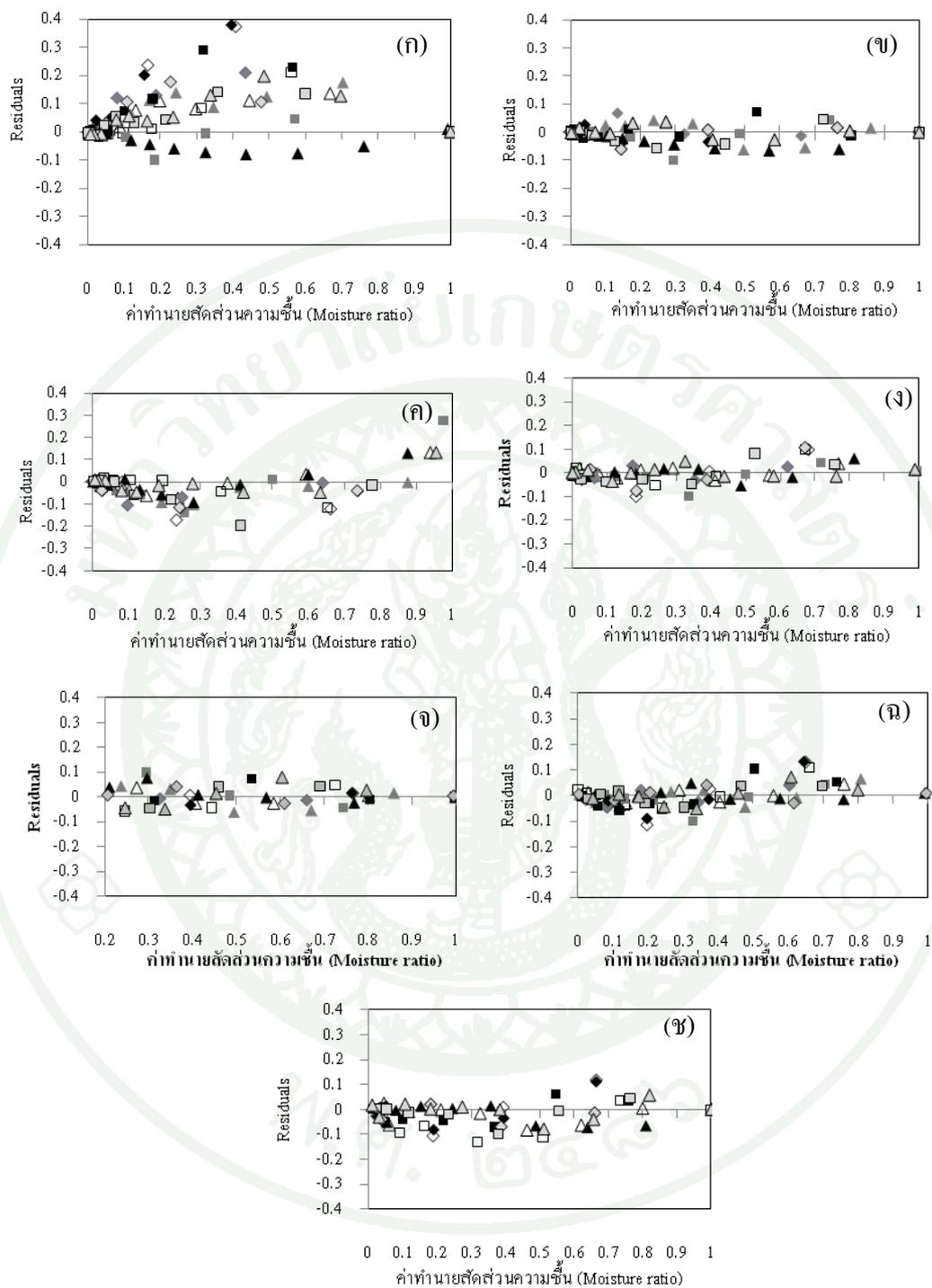
กำลังไมโครเวฟ (วัตต์/กรัม)	แบบจำลอง	พารามิเตอร์	RMSE	r	$\chi^2$
3.88	Lewis	k= 0.3533	0.0906	0.9829	0.0090
	Page	k= 0.1508, n= 1.3992	0.0324	0.9955	0.0013
	Henderson & Pabis	k = 0.4587, a= 1.4856	0.1635	0.9592	0.0327
	Mod. Henderson & Pabis	k= 0.1137, a= 4.7221, b=-3.8664, c= 0.1692, g= 0.0767, h=-0.0562	0.0280	0.9964	0.0017
	Logarithmic	k= 0.2342, a= 1.1178, c= -0.0791	0.0314	0.9955	0.0014
	Two-Term model	k= 0.1654, a= 4.8133, c= -3.7782, g= 0.1439	0.0299	0.9959	0.0014
	Wang & Singh	a= -0.1898, b= 0.0089	0.0345	0.9946	0.0015
	5.49	Lewis	k = 0.5614	0.0980	0.9747
Page		k= 0.2972, n= 1.2864	0.0349	0.9948	0.0015
Henderson & Pabis		k = 0.6693, a= 1.9056	0.3035	0.9564	0.1151
Mod. Henderson & Pabis		k= 0.1527, a= 5.6234, b=-5.2312, c= 0.6013, g= 0.1041, h=-0.0031	0.0227	0.9976	0.0013
Logarithmic		k= 0.3412, a= 1.0647, c= -0.0556	0.0292	0.9959	0.0012
Two-Term model		k= 0.2373, a= 5.9349, c= -4.9301, g= 0.2154	0.0266	0.9966	0.0012
Wang & Singh		a= -0.2520, b= 0.0151	0.0447	0.9929	0.0025
7.23		Lewis	k = 0.8311	0.0973	0.9736
	Page	k= 0.4143, n= 1.4339	0.0248	0.9975	0.0008
	Henderson & Pabis	k = 0.9468, a= 1.6510	0.2346	0.9607	0.0734
	Mod. Henderson & Pabis	k= 0.2090, a= 6.3460, b=-5.5257, c= 0.1864, g= 0.1542, h=-0.1146	0.0205	0.9982	0.0017
	Logarithmic	k= 0.4891, a= 1.0829, c= -0.0649	0.0296	0.9962	0.0014
	Two-Term model	k= 0.3384, a= 6.4455, c= -5.4297, g= 0.3081	0.0267	0.9969	0.0014
	Wang & Singh	a= -0.3743, b= 0.0339	0.0333	0.9957	0.0015

ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ และประสิทธิภาพของแบบจำลองของทุเรียนอบแห้งที่ผ่านกระบวนการเตรียมโดยการแช่แข็ง

กำลังไมโครเวฟ (วัตต์/กรัม)	แบบจำลอง	พารามิเตอร์	RMSE	r	$\chi^2$
3.88	Lewis	$k = 0.344$	0.0532	0.9914	0.0031
	Page	$k = 0.2619, n = 1.1054$	0.0289	0.9959	0.0010
	Henderson & Pabis	$k = 0.3784, a = 1.2773$	0.0994	0.9834	0.0121
	Mod. Henderson & Pabis	$k = 0.1973, a = 1.8131, b = -0.8263, c = 0.0001, g = 0.1261, h = -0.4403$	0.0211	0.9977	0.0010
	Logarithmic	$k = 0.2573, a = 1.043, c = -0.0495$	0.0218	0.9975	0.0007
	Two-Term model	$k = 0.2038, a = 2.0081, c = -1.0184, g = 0.1473$	0.0214	0.9976	0.0007
	Wang & Singh	$a = -0.2001, b = 0.0098$	0.0449	0.9929	0.0025
	5.49	Lewis	$k = 0.572$	0.1245	0.9593
Page		$k = 0.2174, n = 1.5261$	0.0259	0.9974	0.0008
Henderson & Pabis		$k = 0.6363, a = 1.4684$	0.1638	0.9466	0.0335
Mod. Henderson & Pabis		$k = 0.1044, a = 7.3556, b = -8.9763, c = 2.6610, g = 0.0471, h = -0.0121$	0.0415	0.9930	0.0043
Logarithmic		$k = 0.3391, a = 1.1429, c = -0.0826$	0.0581	0.9863	0.0048
Two-Term model		$k = 0.2236, a = 9.0374, c = -7.9792, g = 0.2069$	0.0534	0.9885	0.0047
Wang & Singh		$a = -0.2577, b = 0.0156$	0.0478	0.9908	0.0029
7.23		Lewis	$k = 0.9244$	0.1541	0.9369
	Page	$k = 0.2699, n = 1.7847$	0.0209	0.9984	0.0005
	Henderson & Pabis	$k = 1.1102, a = 2.2376$	0.4401	0.9099	0.2582
	Mod. Henderson & Pabis	$k = 0.1243, a = 6.0042, b = -7.0928, c = 2.1313, g = 0.0261, h = -0.0673$	0.0519	0.9899	0.0108
	Logarithmic	$k = 0.4481, a = 1.1531, c = -0.0975$	0.0661	0.9836	0.0069
	Two-Term model	$k = 0.3019, a = 7.2396, c = -6.1838, g = 0.2727$	0.0627	0.9852	0.0079
	Wang & Singh	$a = -0.3675, b = 0.0327$	0.0543	0.9895	0.0039

ตารางที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ และประสิทธิภาพของแบบจำลองของทุเรียนอบแห้งที่ผ่านกระบวนการเตรียมโดยการแช่แข็ง-ละลาย

กำลังไมโครเวฟ (วัตต์/กรัม)	แบบจำลอง	พารามิเตอร์	RMSE	r	$\chi^2$
3.88	Lewis	k = 0.360	0.0853	0.9834	0.0079
	Page	k= 0.1772,n = 1.3305	0.0217	0.9979	0.0005
	Henderson & Pabis	a = 1.4394,k = 0.4111	0.1413	0.9733	0.0244
	Mod. Henderson & Pabis	a= 20.1869, k= 0.0942, b=-19.5057, g=0.0844, c=0.3439, h=-0.0406	0.0302	0.9959	0.0020
	Logarithmic	a = 1.1139,k= 0.2509,c= -0.0704	0.0364	0.994	0.0018
	Two-Term model	a= 5.5436, k= 0.1762,c= -4.5034,g= 0.1571	0.0341	0.9947	0.0018
	Wang & Singh	a= -0.1976, b= 0.0095	0.0378	0.9935	0.0018
	5.49	Lewis	k= 0.5125	0.0671	0.9881
Page		k= 0.3036,n = 1.2692	0.0189	0.9984	0.0004
Henderson & Pabis		a = 1.4085,k = 0.5699	0.1330	0.9811	0.0221
Mod. Henderson & Pabis		a= 7.3471, k= 0.1858, b=-8.9848, g=0.1363, c=2.6548, h=0.0834	0.0245	0.9972	0.0015
Logarithmic		a = 1.0657,k= 0.37991,c= -0.0381	0.0291	0.9921	0.0012
Two-Term model		a= 9.0203, k= 0.2687,c= -7.9965,g= 0.2547	0.0267	0.9967	0.0012
Wang & Singh		a= -0.2591, b= 0.0158	0.0561	0.9876	0.0039
7.23		Lewis	k = 0.7364	0.0827	0.9805
	Page	k= 0.4459,n = 1.2842	0.0373	0.9942	0.0012
	Henderson & Pabis	a = 1.5933,k = 0.8439	0.2189	0.9692	0.0221
	Mod. Henderson & Pabis	a= 5.9753, k= 0.2066, b=-7.1110, g=0.1296, c=2.1230, h=-0.0535	0.0207	0.998	0.0017
	Logarithmic	a = 1.0635,k= 0.4499,c= -0.0674	0.0228	0.9977	0.0008
	Two-Term model	a= 7.2085, k= 0.3117,c= -6.2150,g= 0.2875	0.0218	0.9978	0.0010
	Wang & Singh	a= -0.3571, b= 0.0313	0.0361	0.9955	0.0017



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายกับค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย ก) Lewis model ข) Page model ค) Henderson and Pabis ง) Mod. Henderson and Pabis จ) Logarithmic ฉ) Two-term model ช) Wang and Singh (โดยสัญลักษณ์  $\diamond$  MV7.23  $\square$  MV5.49 และ  $\triangle$  MV 3.88)

#### 4. ผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล

จากการศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของทุเรียนแผ่น (ตารางที่ 10) พบว่าการเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลเพิ่มขึ้น โดยในทุเรียนที่ไม่ผ่านการเตรียมมีค่าเพิ่มจาก  $0.8510 \times 10^{-7}$  เป็น  $1.9314 \times 10^{-7}$  เมตร<sup>2</sup>·วินาที<sup>-1</sup> ทุเรียนแผ่นที่เตรียมโดยการแช่เย็นมีค่าเพิ่มจาก  $0.7376 \times 10^{-7}$  เป็น  $1.7822 \times 10^{-7}$  เมตร<sup>2</sup>·วินาที<sup>-1</sup> ทุเรียนแผ่นที่เตรียมโดยการแช่แข็งมีค่าเพิ่มจาก  $0.7162 \times 10^{-7}$  เป็น  $1.9948 \times 10^{-7}$  เมตร<sup>2</sup>·วินาที<sup>-1</sup> ทุเรียนแผ่นที่เตรียมโดยการแช่แข็งมีค่าเพิ่มจาก  $0.7526 \times 10^{-7}$  เป็น  $1.5665 \times 10^{-7}$  เมตร<sup>2</sup>·วินาที<sup>-1</sup> การเพิ่มขึ้นของค่า  $D_{eff}$  มีสาเหตุจากการเพิ่มกำลังไมโครเวฟทำให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นความดันภายในผลิตภัณฑ์จึงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นแพร่ไปที่ผิวของผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น นอกจากนี้แบบจำลอง Fick's model ยังมีค่า  $r$  สูง ซึ่งอยู่ระหว่าง 0.9412 ถึง 0.9947 และค่า RMSE ต่ำ มีค่าระหว่าง 0.1037 ถึง 0.1879 ดังตารางที่ 10 การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศยังช่วยปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลให้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาทดลองที่มีการศึกษามาก่อนนี้ของ Jamradloedluk *et al.* (2007) ซึ่งศึกษาการทำทุเรียนแผ่นโดยการอบแห้งแบบลมร้อนและการอบแห้งแบบไอน้ำยวดยิ่ง (Superheated-steam drying) โดยการอบแห้งทุเรียนด้วยการอบลมร้อนมีค่า  $D_{eff}$  เท่ากับ 1.49 - 2.15 เมตร<sup>2</sup>·วินาที<sup>-1</sup> และการอบแห้งแบบไอน้ำยวดยิ่งมีค่า  $D_{eff}$  เท่ากับ 0.97 - 1.44 เมตร<sup>2</sup>·วินาที<sup>-1</sup>

ตารางที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความเร็วขึ้นประสิทธิผล ( $D_{eff}$ ) และประสิทธิภาพของแบบจำลอง Fick's model

การเตรียม	กำลังไมโครเวฟ	$D_{eff}$ ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )	RMSE	r	$\chi^2$
ควบคุม	MV3.88	$0.8510 \times 10^{-7}$	0.1230	0.9220	0.0167
	MV5.49	$1.2360 \times 10^{-7}$	0.1198	0.9867	0.0159
	MV7.23	$1.9314 \times 10^{-7}$	0.1904	0.9412	0.0414
แช่เย็น	MV3.88	$0.7373 \times 10^{-7}$	0.1415	0.9879	0.0220
	MV5.49	$1.1984 \times 10^{-7}$	0.1376	0.9800	0.0210
	MV7.23	$1.7822 \times 10^{-7}$	0.1372	0.9786	0.0215
แช่แข็ง	MV3.88	$0.7161 \times 10^{-7}$	0.1037	0.9947	0.0188
	MV5.49	$1.2225 \times 10^{-7}$	0.1650	0.9657	0.0302
	MV7.23	$1.9948 \times 10^{-7}$	0.1879	0.9439	0.0403
แช่แข็ง-ละลาย	MV3.88	$0.7526 \times 10^{-7}$	0.1368	0.9881	0.0206
	MV5.49	$1.0870 \times 10^{-7}$	0.1163	0.9915	0.0150
	MV7.23	$1.5665 \times 10^{-7}$	0.1235	0.9851	0.0174

#### 4. ผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่อคุณภาพของทุเรียนอบแห้ง

##### 4.1 ผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่อคุณภาพของทุเรียนอบแห้ง

นำทุเรียนที่ผ่านการเตรียมแต่ละวิธีจำนวน 150 กรัม มาอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 3.88 วัตต์ต่อกรัมเป็นเวลา 11 นาที กำลังไมโครเวฟ 5.49 วัตต์ต่อกรัมเป็นเวลา 9 นาที และกำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัมเป็นเวลา 7 นาที จากนั้นนำมาศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี ความแข็ง ความหนาแน่นรวม และโครงสร้างภายใน และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น และปริมาณไขมัน จากนั้นทำการเปรียบเทียบคุณภาพของทุเรียนที่อบในสภาวะต่าง ๆ กัน

##### 4.1.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากการทดลองพบว่า การเตรียมทุเรียนแผ่นด้วยวิธีการแช่เย็นและการแช่แข็ง ก่อนการอบแห้งด้วยระดับกำลังไมโครเวฟที่ต่างกัน ไม่ส่งผลต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ -value) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ -value) ของผลิตภัณฑ์ และมีค่าไม่แตกต่างจากทุเรียนที่ไม่ผ่านการเตรียมก่อนการอบแห้ง ( $p > 0.05$ ) ส่วนการเตรียมทุเรียนแผ่นโดยการแช่แข็ง-ละลายก่อนการอบแห้งส่งผลให้ค่า  $L^*$  ต่ำกว่าและค่า  $b^*$  สูงกว่า ดังแสดงในตารางที่ 11 เนื่องจากวัตถุดิบเริ่มต้นก่อนการอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนั้นแล้วในการละลายทุเรียนแช่แข็งจะส่งผลให้เนื้อทุเรียนนิ่มลง เมื่อทำการสไลด์ทำให้เกิดรอยชำจากการกดทับของเครื่องสไลด์ส่งผลให้มีสีคล้ำลง ในขณะที่ค่าสีแดง ( $a^*$ -value) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาค่าสีของทุเรียนสดพบว่ามีค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  อยู่ในช่วง  $85.22 \pm 2.33$ ,  $-1.89 \pm 0.89$  และ  $18.84 \pm 3.61$  ตามลำดับ หากทำการเปรียบเทียบกับทุเรียนอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศแล้ว พบว่า ทุเรียนที่อบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมสุญญากาศจะให้ค่าสีใกล้เคียงกับทุเรียนสด โดยมีค่าความสว่างลดลงเล็กน้อย และมีค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งทุเรียนแผ่นอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่เย็นและแช่แข็ง และไม่ผ่านการเตรียม จะมีสีเหลืองครึ้ม โดยมีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง  $80.69 - 84.25$  ค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง  $-0.31 - 2.05$  และค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง  $22.58 - 26.64$

เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองของ Jamradloedluk *et al.* (2007) ซึ่งได้ทดลองทำทุเรียนแผ่นอบแห้งด้วยการอบแห้งแบบไอน้ำที่ยาวที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าสี  $L^*$  ในช่วงระหว่าง 65 ถึง 75 ค่าสี  $a^*$  ในช่วงระหว่าง -2.5 ถึง -5 และค่าสี  $b^*$  อยู่ในช่วงระหว่าง 25 ถึง 35 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้ไมโครเวฟร่วมสุญญากาศจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสว่างมากกว่า Charoensiri *et al.* (2009) ได้ศึกษาพบว่าในทุเรียนมีสารรงควัตถุคือเบต้าแคโรทีน ประมาณ 41.4 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม โดยการเสื่อมเสียเบต้าแคโรทีนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในทุเรียน รงควัตถุนี้จะเกิดการออกซิเดชันโดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และมีแสง กับความร้อนเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา ดังนั้นการใช้ระบบสุญญากาศเข้าไปร่วมในการอบแห้ง จึงสามารถช่วยลดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ ทำให้สามารถรักษาสีของผลิตภัณฑ์ให้เหมือนกับวัตถุดิบเริ่มต้นได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cui *et al.* (2004) ที่ได้ทำการศึกษการอบต้นหอม และแครอท โดยเปรียบเทียบระหว่างการอบแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศกับการอบแบบลมร้อน พบว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศสามารถรักษารังสีคลอโรฟิลล์ในต้นหอม และปริมาณแคโรทีนในแครอทได้มากกว่าเมื่อเทียบกับการอบแบบลมร้อน โดยมีปริมาณใกล้เคียงกันการอบแห้งแบบระเหิด (freeze drying) สอดคล้องกับการศึกษาของ Bohm *et al.* (2002) ที่ได้ทำการอบแห้งผักชีฝรั่ง พบว่า

การอบแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มมากกว่าการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาค่าอเวอเตอร์แอกทิวิตี พบว่าทุเรียนแผ่นอบแห้งมีค่าอเวอเตอร์แอกทิวิตีในช่วง 0.10-0.33 โดยค่าอเวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำสุดเมื่อทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศที่ กำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัม เนื่องจากการอบแห้งในสภาวะดังกล่าวใช้กำลังไมโครเวฟสูงสุด

ตารางที่ 11 คุณภาพทางกายภาพของทุเรียนแผ่นอบแห้ง

การเตรียม	กำลังไมโครเวฟ	L*	a*	b*	a <sub>w</sub>
ควบคุม	MV 3.88	84.25 <sup>a</sup> ±0.23	-0.31 <sup>f</sup> ±0.03	26.45 <sup>cd</sup> ±0.67	0.26 <sup>a</sup> ±0.00
	MV 5.49	83.90 <sup>ab</sup> ±0.33	0.48 <sup>de</sup> ±0.01	25.56 <sup>cd</sup> ±0.54	0.12 <sup>c</sup> ±0.02
	MV 7.23	83.57 <sup>ab</sup> ±1.92	1.39 <sup>b</sup> ±0.06	23.05 <sup>d</sup> ±2.18	0.10 <sup>c</sup> ±0.01
แช่เย็น	MV 3.88	82.52 <sup>abc</sup> ±0.20	-0.30 <sup>f</sup> ±0.00	23.58 <sup>cd</sup> ±2.26	0.31 <sup>a</sup> ±0.07
	MV 5.49	82.31 <sup>abc</sup> ±2.04	-0.41 <sup>f</sup> ±0.07	22.58 <sup>cd</sup> ±0.30	0.11 <sup>c</sup> ±0.01
	MV 7.23	80.69 <sup>c</sup> ±2.70	2.05 <sup>a</sup> ±0.56	23.30 <sup>cd</sup> ±2.62	0.10 <sup>c</sup> ±0.00
แช่แข็ง	MV 3.88	83.40 <sup>abc</sup> ±0.12	0.53 <sup>de</sup> ±0.06	26.64 <sup>cd</sup> ±0.12	0.33 <sup>a</sup> ±0.10
	MV 5.49	82.46 <sup>abc</sup> ±0.02	0.40 <sup>e</sup> ±0.07	24.60 <sup>cd</sup> ±0.82	0.13 <sup>c</sup> ±0.01
	MV 7.23	82.13 <sup>abc</sup> ±0.22	1.58 <sup>b</sup> ±0.56	24.27 <sup>cd</sup> ±1.07	0.15 <sup>c</sup> ±0.02
แช่แข็ง – ละลาย	MV 3.88	81.19 <sup>bc</sup> ±0.91	-0.34 <sup>f</sup> ±0.21	25.99 <sup>c</sup> ±0.64	0.32 <sup>a</sup> ±0.02
	MV 5.49	77.83 <sup>d</sup> ±0.03	0.93 <sup>c</sup> ±0.03	30.34 <sup>b</sup> ±1.04	0.25 <sup>b</sup> ±0.01
	MV 7.23	77.29 <sup>d</sup> ±0.26	0.87 <sup>cd</sup> ±0.01	33.76 <sup>a</sup> ±1.55	0.16 <sup>bc</sup> ±0.07

หมายเหตุ ตัวอักษร <sup>a-f</sup> ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

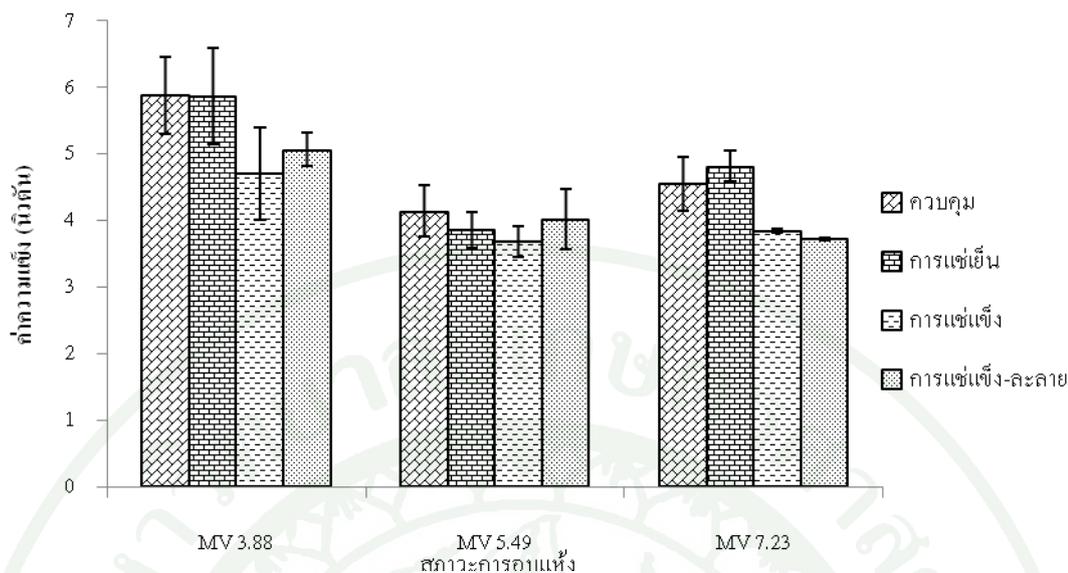
เมื่อนำทุเรียนแผ่นอบแห้งมาทำการศึกษาโครงสร้างสัณฐานภายในโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด ตรงบริเวณที่เป็นส่วนตัดของแผ่นทุเรียนที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่า การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศทำให้เกิดรูพรุนกระจายตัวอย่างทั่วถึง ดังแสดงใน

ภาพที่ 5 เนื่องจากการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดความดันไอลดลง ซึ่งความดันไอลดลงทำให้เกิดแรงดันภายในผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดโครงสร้างโพรงอากาศ (Therdthai and Zhou, 2009) สอดคล้องกับการศึกษาของ Bondaruk *et al.* (2007) ที่ศึกษาการอบมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ โดยทำการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส และอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 480 วัตต์ที่ระดับความดัน 6 และ 24 กิโลปาสกาล โดยพบว่า การใช้ไมโครเวฟสุญญากาศให้โครงสร้างที่เป็นรูพรุนขนาดใหญ่และมีจำนวนมาก ในขณะที่การอบแห้งด้วยลมร้อนทำให้เนื้อมันฝรั่งอัดแน่นเป็นเนื้อแข็ง สอดคล้องกับการทดลองของ Giri and Prasad (2007) ที่ศึกษาการอบแห้งเห็ด พบว่าเห็ดที่อบแห้งแบบลมร้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการหดตัวและเกิดเปลือกแข็งเนื่องจากมีรูพรุนน้อย ในขณะที่การอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศจะหดตัวน้อยกว่า เนื่องจากใช้เวลาอบแห้งสั้น อุณหภูมิต่ำและเนื้อเยื่อเกิดการขยายตัวเนื่องจากแรงดันของน้ำภายใน และเมื่อมีการเตรียมแบบแช่แข็งก่อนการอบแห้งจะเกิดโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ นั่นอาจเป็นเพราะ การแช่แข็งดังกล่าวเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้าจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดภายในเซลล์มีขนาดใหญ่ (สายสนม, 2549) ผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นจึงทำลายโครงสร้างภายในเนื้อเห็ด และเมื่อทำการอบแห้งน้ำแข็งเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Shyu and Hwang, 2001) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน สอดคล้องกับการทดลองของ Huang *et al.* (2011) ศึกษากระบวนการผลิตมันฝรั่งผสมแอปเปิ้ลแผ่น พบว่าการทำแห้งเยือกแข็งโดยใช้ไมโครเวฟ (Microwave Freeze drying) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรูพรุนขนาดใหญ่กว่าการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟอย่างเดียว เนื่องจากการทำแห้งเยือกแข็งโดยใช้ไมโครเวฟ จะเกิดผลิตภัณฑ์น้ำแข็งและระหว่างการทำแห้งน้ำแข็งจะเกิดระเหิด ส่งผลให้ภายในผลิตภัณฑ์เป็น โครงสร้างตาข่ายคล้าย ๆ รังผึ้ง นอกจากนี้แล้วเห็ดที่อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศยังมีลักษณะ โครงสร้างใกล้เคียงกับเห็ดที่อบแห้งในทางการค้า



**ภาพที่ 5** การเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของทุเรียนแผ่นหลังผ่านการอบแห้งโดยการส่องกล้อง SEM (Scanning Electron Microscope) แถวที่ 1 : ตัวควบคุม (ก) MV3.88 (ข) MV5.49(ค) MV7.23 แถวที่ 2 : แช่เย็น (ง) MV3.88 (จ) MV5.49 (ฉ) MV7.23, แถวที่ 3 : แช่แข็ง (ช) MV3.88 (ซ) MV5.49 (ฒ) MV7.23 , แถวที่ 4 : แช่แข็ง-ละลาย (ญ) MV3.88 (ฎ) MV5.49 (ฏ) MV7.23, ภาพล่าง : ทุเรียนทอดทางการค้า (ฐ)

เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง พบว่าทุเรียนอบแห้งมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 3.67 – 5.88 นิวตัน ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยค่าความแข็งที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทุเรียนทอดทางการค้า ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5.0 – 7.0 นิวตัน แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งแบบไมโครเวฟส่งผลให้ทุเรียนอบแห้งมีความแข็งเทียบได้กับการทอด เนื่องจากการใช้สภาวะสุญญากาศและมีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟอย่างรวดเร็ว ในระหว่างกระบวนการเกิดความร้อน น้ำในอาหารจะดูดซับพลังงานงานไมโครเวฟแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน เกิดการระเหยกลายเป็นไอน้ำจากภายในและส่งผ่านมาสู่ผิวของอาหาร ทำให้เกิดแรงดันที่แตกต่างกันระหว่างภายในอาหารกับผิวของอาหาร ดังนั้นการลดความดันภายในตู้อบลงในสภาวะสุญญากาศ ทำให้ความดันภายในอาหารแตกต่างจากผิวอาหารมากขึ้นส่งผลให้แรงดันจากไอระเหยของน้ำที่บริเวณผิวเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นมีลักษณะพองตัวและมีความกรอบ ซึ่งสอดคล้องกับศึกษาของ Sham *et al.* (2001) ที่ได้ทำการศึกษาผลของระดับสุญญากาศที่ระดับ 7, 14, 21, 24 และ 28 นิ้วของปรอท ต่อความกรอบของแอปเปิ้ลอบแห้งด้วยไมโครเวฟ พบว่าที่ระดับสุญญากาศเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวมากขึ้นส่งผลให้ความกรอบเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มระดับของกำลังไมโครเวฟจาก 3.88 วัตต์ต่อกรัม เป็น 5.49 วัตต์ต่อกรัม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Zhang *et al.* (2007) ที่ศึกษาผลของกำลังไมโครเวฟที่ระดับ 382 วัตต์, 518 วัตต์ และ 686 วัตต์ ต่อความกรอบของปลาอบแห้ง โดยพบว่าที่กำลังไมโครเวฟ 686 วัตต์ส่งผลให้มีความกรอบและการขยายตัวของผลิตภัณฑ์มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มระดับกำลังไมโครเวฟจาก 5.49 วัตต์ต่อกรัมเป็น 7.23 วัตต์ต่อกรัมพบว่าผลิตภัณฑ์เริ่มเกิดจุดไหม้ ส่งผลให้เกิดแรงต้านการแตกหักมากขึ้น ค่าความแข็งจึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อพิจารณากระบวนการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง จากการทดลองพบว่าการแช่แข็งก่อนการอบแห้ง ช่วยทำให้ลดความแข็งของผลิตภัณฑ์ลงได้ เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนขนาดใหญ่มากกว่าการแช่เย็น และผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมก่อนการอบแห้ง สอดคล้องกับการศึกษากระบวนการผลิตแอปเปิ้ลทอดสุญญากาศของ Shyu and Hwang (2001) โดยศึกษาการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทอด พบว่าการแช่แข็งก่อนนำไปทอดช่วยปรับปรุงความกรอบให้ดีขึ้น



ภาพที่ 6 ค่าความแข็งของทุเรียนแผ่นอบแห้ง

#### 4.1.2 คุณภาพทางเคมี

จากการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี (ตารางที่ 12) พบว่าทุเรียนแผ่นอบแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 1.15 ถึง 5.43 ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก เมื่อเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้ความชื้นลดลง ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากปริมาณพลังงานไมโครเวฟทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำในทุเรียนแผ่นมากเร็วขึ้น ช่วยเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากทุเรียนแผ่นสูงขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณไขมันพบว่า ทุเรียนอบแห้งมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 2.07-3.01 โดยกระบวนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการอบแห้งและสถานะในการอบแห้งไม่ส่งผลต่อค่าปริมาณไขมัน ( $p > 0.05$ ) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับทุเรียนทอดทางการค้าซึ่งมีปริมาณไขมันสูงถึงร้อยละ 32.19 – 36.54 จะเห็นว่าการอบแห้งทุเรียนแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตทุเรียนแผ่นไขมันต่ำ

ตารางที่ 12 คุณภาพทางเคมีของทุเรียนแผ่นอบแห้ง

การเตรียม	กำลังไมโครเวฟ	ปริมาณความชื้น (%wb)	ปริมาณไขมัน (%db)
ควบคุม	MV 3.88	3.59 <sup>b</sup> ±0.06	2.07 ± 0.02
	MV 5.49	2.15 <sup>cd</sup> ±0.12	2.10 ± 0.04
	MV 7.23	1.15 <sup>c</sup> ±0.07	2.18 ± 0.04
การแช่เย็น	MV 3.88	4.93 <sup>a</sup> ±0.06	2.36 ± 0.23
	MV 5.49	1.67 <sup>cde</sup> ±0.01	2.34 ± 0.44
	MV 7.23	1.19 <sup>c</sup> ±0.06	2.42 ± 0.51
การแช่แข็ง	MV 3.88	5.43 <sup>a</sup> ±0.27	2.71 ± 0.82
	MV 5.49	2.33 <sup>c</sup> ±0.25	2.77 ± 0.43
	MV 7.23	1.3d <sup>c</sup> ±0.30	3.01 ± 0.34
การแช่แข็ง - ละลาย	MV 3.88	4.87 <sup>a</sup> ±1.18	2.77 ± 0.26
	MV 5.49	2.49 <sup>c</sup> ±0.05	2.36 ± 0.44
	MV 7.23	1.71 <sup>cde</sup> ±0.12	2.67± 0.26

หมายเหตุ ตัวอักษร <sup>a-c</sup> ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้และปริมาณความชื้น พบว่าการอบที่กำลังไมโครเวฟ 5.49 วัตต์ต่อกรัมเป็นเวลา 9 นาที และ 7.23 วัตต์ต่อกรัมเป็นเวลา 7 นาทีจะทำให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้และปริมาณความชื้นต่ำสุด ( $p \leq 0.05$ ) และสภาวะการอบดังกล่าวยังส่งผลให้ค่าความแข็งต่ำสุด ( $p \leq 0.05$ ) แต่เนื่องจากการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัมนาน 7 นาทีส่งผลให้อัตราการอบแห้งเร็วกว่า และใช้เวลาสั้นกว่า จึงเลือกสภาวะการอบดังกล่าวเป็นกระบวนการผลิตทุเรียนแผ่นอบแห้ง จากนั้นนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

#### 4.2 การคัดเลือกกระบวนการอบแห้งทุเรียนแผ่น

ทำการคัดเลือกกระบวนการอบแห้งทุเรียนแผ่น โดยเปรียบเทียบความชอบระหว่างทุเรียนทอด ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียม ผ่านกระบวนการเตรียมด้วยการแช่เย็น ผ่านกระบวนการเตรียมด้วยการแช่แข็ง และผ่านกระบวนการเตรียมด้วยการแช่แข็ง – ละลาย ก่อนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัม เป็นเวลา 7 นาที ด้วยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทำการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน พบว่า ทุเรียนที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่แข็ง และแช่แข็ง – ละลายได้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่ต่างจากทุเรียนทอด ( $p \leq 0.05$ ) แต่มีคะแนนมากกว่าทุเรียนที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่เย็นและไม่ผ่านกระบวนการเตรียมก่อนการอบแห้ง ทุเรียนทอดมีคะแนนความชอบในด้านสีสูงกว่าทุเรียนอบแห้งที่ไม่ผ่านการเตรียมและผ่านการเตรียม โดยการแช่เย็นและแช่แข็ง ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากทุเรียนอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีสีซีดใกล้เคียงกับเนื้อทุเรียนดิบ เพราะอบแห้งในสภาวะสุญญากาศจึงใช้อุณหภูมิต่ำ สีจึงเปลี่ยนแปลงจากวัตถุดิบน้อย แต่คะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างจากทุเรียนที่ผ่านการแช่แข็ง – ละลาย เนื่องจากที่การเตรียมด้วยวิธีดังกล่าวจะส่งผลให้สีเข้มขึ้นเนื่องจากทุเรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการเก็บรักษา ด้านกลิ่นทุเรียนพบว่าทุเรียนที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีต่าง ๆ มีคะแนนความชอบมากกว่าทุเรียนที่ไม่ผ่านการเตรียมและทุเรียนทอด ด้านความกรอบพบว่าทุเรียนที่ผ่านการแช่แข็ง และการแช่แข็ง – ละลาย จะส่งผลให้คะแนนความชอบมากกว่า อาจเนื่องมาจากการเตรียมทั้งสองแบบ จะส่งผลให้ทุเรียนมีรูพรุนมาก จึงมีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า ในด้านรสชาติโดยรวมและความชอบรวมพบว่าทุเรียนอบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยกระบวนการแช่แข็ง และแช่แข็ง – ละลาย แล้วนำมาอบแห้งมีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงกว่า การเตรียมด้วยการแช่เย็น และทุเรียนที่ไม่ผ่านการเตรียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นจึงทำการเลือกทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีทั้งสอง มาใช้ในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค

ตารางที่ 13 คะแนนความชอบเฉลี่ยของทุเรียนแผ่นอบแห้ง

คุณลักษณะ	กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ				ทุเรียนทอด
	ตัวควบคุม	การแช่เย็น	การแช่แข็ง	การแช่แข็ง-ละลาย	
ลักษณะปรากฏ	4.96 <sup>c</sup> ± 1.68	5.60 <sup>bc</sup> ± 1.54	6.18 <sup>ab</sup> ± 1.77	6.37 <sup>a</sup> ± 1.33	6.68 <sup>a</sup> ± 1.50
สี	4.58 <sup>c</sup> ± 1.62	5.20 <sup>bc</sup> ± 1.47	5.72 <sup>b</sup> ± 1.71	6.50 <sup>a</sup> ± 1.31	6.78 <sup>a</sup> ± 1.61
กลิ่นทุเรียน	5.36 <sup>b</sup> ± 1.60	6.14 <sup>a</sup> ± 1.29	5.76 <sup>ab</sup> ± 1.52	6.37 <sup>a</sup> ± 1.07	5.30 <sup>b</sup> ± 1.90
ความกรอบ	5.80 <sup>b</sup> ± 1.32	5.68 <sup>b</sup> ± 1.72	7.20 <sup>a</sup> ± 1.18	7.37 <sup>a</sup> ± 1.10	6.18 <sup>b</sup> ± 1.63
กลิ่นรสทุเรียน	5.08 <sup>b</sup> ± 1.71	5.76 <sup>ab</sup> ± 1.51	6.30 <sup>a</sup> ± 1.37	6.30 <sup>a</sup> ± 1.32	5.42 <sup>b</sup> ± 1.86
รสชาติโดยรวม	5.26 <sup>c</sup> ± 1.47	5.68 <sup>bc</sup> ± 1.41	6.50 <sup>a</sup> ± 1.34	6.07 <sup>a</sup> ± 1.28	5.58 <sup>bc</sup> ± 1.89
ความชอบรวม	5.06 <sup>c</sup> ± 1.46	5.61 <sup>bc</sup> ± 1.38	6.56 <sup>a</sup> ± 1.30	6.53 <sup>a</sup> ± 1.22	5.78 <sup>b</sup> ± 1.98

หมายเหตุ ตัวอักษร <sup>a-c</sup> ที่ต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

4.3 การทำนายค่าความชอบโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้ง จากค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมี

จากข้อมูลคุณภาพทางกายภาพและเคมี (ตารางที่ 14) และคะแนนความชอบโดยรวม (ตารางที่ 13) พบว่า การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีกับคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ โดยใช้เทคนิค Partial Least Square (PLS) ได้สมการความชอบโดยรวมของทุเรียนแผ่นอบแห้ง แสดงดังสมการที่ 21 โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.715

ตารางที่ 14 ค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีของทุเรียนทอด และทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมแต่ละวิธี ก่อนการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัม เป็นเวลา 7 นาที

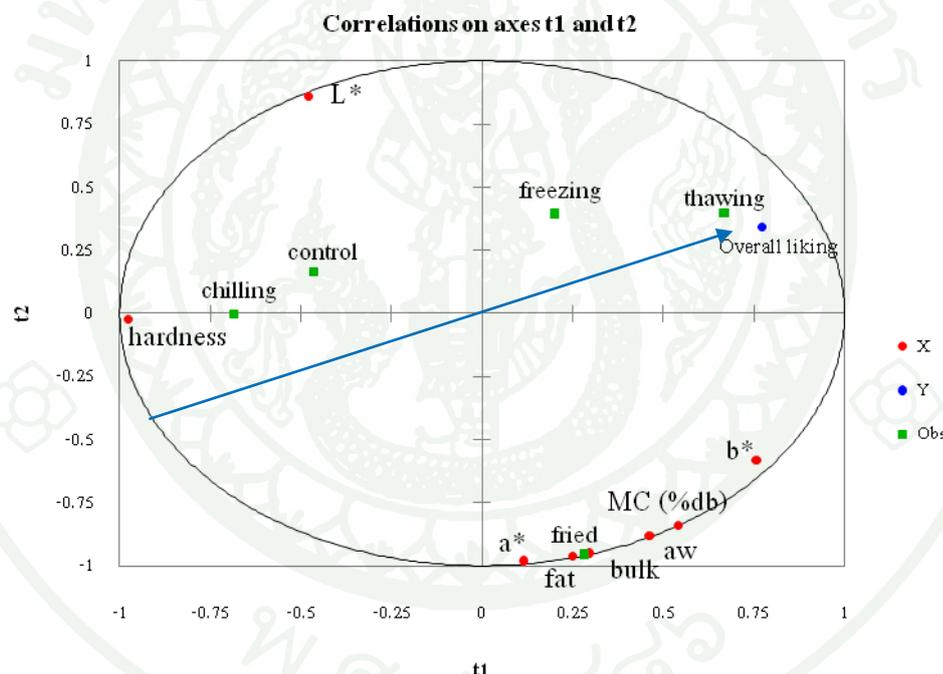
ค่าคุณภาพ	กระบวนการเตรียม				ทุเรียนทอด
	ควบคุม	แช่เย็น	แช่แข็ง	แช่แข็ง – ละลาย	
ความชื้น (% w.b)	1.15±0.07 <sup>a</sup>	1.19±0.06 <sup>a</sup>	1.30±0.30 <sup>a</sup>	1.71±0.12 <sup>b</sup>	2.98±0.09 <sup>a</sup>
a <sub>w</sub>	0.10±0.01 <sup>b</sup>	0.10±0.00 <sup>b</sup>	0.14±0.02 <sup>b</sup>	0.16±0.07 <sup>b</sup>	0.26±0.00 <sup>a</sup>
L*	83.57±1.92 <sup>a</sup>	80.69±2.70 <sup>ab</sup>	82.13±0.22 <sup>a</sup>	77.29±0.26 <sup>b</sup>	70.64±0.99 <sup>c</sup>
a*	1.39±0.06 <sup>bc</sup>	2.05±0.02 <sup>b</sup>	1.58±0.56 <sup>b</sup>	0.87±0.01 <sup>c</sup>	5.93±0.24 <sup>a</sup>
b*	23.05±2.18 <sup>c</sup>	23.30±2.62 <sup>c</sup>	24.27±1.07 <sup>c</sup>	33.76±1.55 <sup>b</sup>	36.98±0.37 <sup>a</sup>
ความแข็ง(นิวตัน)	4.55±0.40 <sup>a</sup>	4.81±0.23 <sup>a</sup>	3.85±0.03 <sup>b</sup>	3.70±0.02 <sup>b</sup>	3.94±0.51 <sup>b</sup>
ความหนาแน่นรวม (g/cm <sup>3</sup> )	0.47±0.07 <sup>b</sup>	0.46±0.07 <sup>b</sup>	0.44±0.08 <sup>b</sup>	0.45±0.03 <sup>b</sup>	0.86±0.06 <sup>a</sup>
ปริมาณไขมัน (%d.b)	2.18±0.39 <sup>b</sup>	2.42±0.51 <sup>b</sup>	3.01±0.34 <sup>b</sup>	2.67±0.26 <sup>b</sup>	36.54±1.71 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษร <sup>a-c</sup> ที่ต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

$$\text{Overall liking} = 0.047 * \text{moisture\_content} - 0.004 * a_w - 0.038 * L^* - 0.212 * a^* + 0.234 * b^* - 0.684 * \text{hardness} - 0.196 * \text{bulk\_density} - 0.140 * \text{fat\_content} \quad (21)$$

เมื่อพิจารณาปัจจัยทางคุณภาพกายภาพและเคมีที่ส่งผลต่อความชอบโดยรวม โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละค่าคุณภาพ พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ได้แก่ ค่าสีเหลือง (b\*) กล่าวคือ เมื่อผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์มีสีที่ไม่ซีดจางจนเกินไป ส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบมากที่สุด ได้แก่ ค่าความแข็ง รองลงมาคือ ค่าสีแดง (a\*) ค่าความหนาแน่นรวม (bulk) ค่าปริมาณไขมัน (fat) กล่าวคือเมื่อมีค่าคุณภาพดังกล่าวลดลง ส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก การที่ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งน้อยลงและค่าความหนาแน่นลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความกรอบมากขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบสูงขึ้น ส่วนค่าปริมาณความชื้น (MC) ค่าออเตอร์แอคทีวิตี (a<sub>w</sub>) มีผลต่อคะแนนความชอบโดยรวมเพียงเล็กน้อย

จากแผนภาพความชอบของทุเรียนแผ่นอบแห้ง (ภาพที่ 7) เมื่อพิจารณาทิศทางของความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่าทุเรียนแผ่นอบแห้งที่เตรียมโดยการแช่แข็งและแช่แข็ง – ละลายก่อนการอบแห้ง (thawing) มีความสัมพันธ์กับความชอบโดยรวมมากที่สุด ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพกับผลิตภัณฑ์ สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ทุเรียนอบแห้งที่ผ่านการเตรียมโดยการแช่เย็น (chilling) และไม่ผ่านกระบวนการเตรียม (control) มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็ง (hardness) เนื่องจากกระบวนการทั้งสองส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากซึ่งตรงกันข้ามกับตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมโดยการแช่แข็ง – ละลาย (thawing) ส่วนทุเรียนทอดมีความสัมพันธ์กับค่าสีแดง ( $a^*$ ) ค่าปริมาณไขมัน (fat) ค่าความหนาแน่นรวม (bulk) ค่าแอสเอร์แอคทิวิตี้ ( $a_w$ ) ค่าปริมาณความชื้น (MC) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) โดยทุเรียนทอดจะมีค่าดังกล่าวสูง



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้ง

## 5. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้ง

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคกับผู้บริโภคทั่วไปที่รับประทานทุเรียน จำนวน 100 คน บริเวณโรงอาหารกลาง 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยวิธี Central Location Test (CLT) โดยการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นทุเรียน ความกรอบ กลิ่นรสทุเรียน รสชาติโดยรวมและความชอบโดยรวมของ

ผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียม 2 แบบ คือ การแช่แข็งก่อนการอบแห้ง และแช่แข็ง – ละลายก่อนการอบแห้ง พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏและค่าสีไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) แต่การแช่แข็งก่อนการอบแห้งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบในด้านกลิ่นทุเรียน ความกรอบ กลิ่นรสทุเรียน รสชาติโดยรวมและความชอบโดยรวมสูงกว่าการเตรียมแบบแช่แข็ง – ละลายก่อนการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) โดยมีคะแนนในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภคที่มีต่อทุเรียนแผ่นอบแห้ง

คุณลักษณะ	การเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง	
	แช่แข็ง	แช่แข็ง – ละลาย
ลักษณะปรากฏ	6.39 <sup>a</sup> ± 1.20	6.26 <sup>a</sup> ± 1.30
สี	6.44 <sup>a</sup> ± 1.43	6.19 <sup>a</sup> ± 1.26
กลิ่นทุเรียน	6.78 <sup>a</sup> ± 1.25	6.21 <sup>b</sup> ± 1.38
ความกรอบ	7.48 <sup>a</sup> ± 0.95	7.11 <sup>b</sup> ± 1.29
กลิ่นรสทุเรียน	6.88 <sup>a</sup> ± 0.96	6.21 <sup>b</sup> ± 1.40
รสชาติโดยรวม	6.88 <sup>a</sup> ± 1.00	6.36 <sup>b</sup> ± 1.37
ความชอบโดยรวม	6.84 <sup>a</sup> ± 0.89	6.33 <sup>b</sup> ± 1.25

หมายเหตุ ตัวอักษร <sup>a-b</sup> ที่ต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

เมื่อสอบถามด้านการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่เตรียมโดยการแช่แข็ง ร้อยละ 85 และไม่ยอมรับ ร้อยละ 15 ซึ่งเหตุผลที่ไม่ยอมรับคือ ไม่ค่อยมีกลิ่นทุเรียน สีซีดไป มีรสชาติทุเรียนน้อยไป ส่วนการยอมรับผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่เตรียมโดยการแช่แข็ง – ละลาย ผู้บริโภคให้การยอมรับร้อยละ 74 และไม่ยอมรับ ร้อยละ 26 โดยให้เหตุผลในการไม่ยอมรับเช่นเดียวกับทุเรียนอบแห้งที่เตรียมโดยการแช่แข็ง (ตารางที่ 16)

**ตารางที่ 16** การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมโดยการแช่  
แข็ง และแช่แข็ง – ละลาย

การยอมรับ	การแช่แข็ง		การแช่แข็ง – ละลาย	
	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ยอมรับ	85	85	74	74
ไม่ยอมรับ	15	15	26	26

จากการสอบถามข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค พบว่าเป็นเพศชาย ร้อยละ 36 เพศหญิง ร้อยละ 64 ส่วนมากอายุ 16 – 30 ปี โดยคิดเป็นร้อยละ 91 ส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาสูงสุดในระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 78 เป็นนักเรียน/นิสิต/นักศึกษาร้อยละ 81 โดยมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนอยู่ในช่วง 5,000 – 10,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 48 (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 ข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค

ข้อมูล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
<b>เพศ</b>		
ชาย	36	36.00
หญิง	64	64.00
<b>อายุ</b>		
16-20 ปี	44	44.00
21-30 ปี	47	47.00
31-40 ปี	5	5.00
41-50 ปี	4	4.00
<b>การศึกษาสูงสุด</b>		
มัธยมศึกษา	7	7.00
อนุปริญญา	2	2.00
ปริญญาตรี	78	78.00
สูงกว่าปริญญาตรี	13	13.00
<b>อาชีพ</b>		
นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา	81	81.00
พนักงานบริษัทเอกชน	9	9.00
ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	5	5.00
ธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย	2	2.00
อื่น ๆ	3	3.00
<b>รายได้เฉลี่ยต่อเดือน</b>		
น้อยกว่า 5,000 บาท	29	29.00
5,000-10,000 บาท	48	48.00
10,001-15,000 บาท	10	10.00
15,001-20,000 บาท	6	6.00
25,001-30,000 บาท	1	1.00
30,001-35,000 บาท	3	3.00
มากกว่า 35,000 บาท	3	3.00

เมื่อพิจารณาผลของการยอมรับผลิตภัณฑ์หลังจากที่มีการให้ข้อมูลที่ดีของผลิตภัณฑ์แก่ผู้บริโภค โดยข้อมูลที่ให้นั้นเป็นข้อมูลทั่วไปของผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ และข้อดีในการลดปริมาณน้ำมันเมื่อเทียบกับทุเรียนทอด ดังที่แสดงไว้ในภาคผนวก จ พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับและมีความสนใจซื้อเพิ่มขึ้น โดยสำหรับผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่แข็ง ก่อนได้รับข้อมูลผู้บริโภคให้การยอมรับร้อยละ 85 แต่เมื่อได้รับทราบข้อมูลที่ดีแล้วผู้บริโภคให้การยอมรับเพิ่มเป็นร้อยละ 100 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 18) ส่วนทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ได้จากการเตรียมด้วยการแช่แข็ง – ละลาย ก่อนได้รับข้อมูลผู้บริโภคให้การยอมรับร้อยละ 74 แต่เมื่อได้รับทราบข้อมูลที่ดีแล้วผู้บริโภคให้การยอมรับเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 88 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 19) เมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบสูง และร้อยละการยอมรับมากกว่า จึงเลือกกระบวนการผลิตทุเรียนอบแห้งที่เตรียมโดยการแช่แข็งก่อนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัมเป็นเวลา 7 นาทีเป็นสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ และนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปศึกษาอายุการเก็บรักษา

**ตารางที่ 18** การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่แข็ง หลังจากได้รับข้อมูล

การยอมรับทุเรียนแผ่นอบแห้ง	หลังได้รับข้อมูล		Chi-square test
	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ	
ก่อนได้รับข้อมูล	ยอมรับ	85	0.000*
	ไม่ยอมรับ	15	

หมายเหตุ \* หมายถึง การให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่แข็ง หลังจากได้รับข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 19** การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่แข็ง – ละลาย หลังจากได้รับข้อมูล

การยอมรับทุเรียนแผ่นอบแห้ง		หลังได้รับข้อมูล		Chi-square test
		ยอมรับ	ไม่ยอมรับ	
ก่อนได้รับข้อมูล	ยอมรับ	65	9	0.022*
	ไม่ยอมรับ	23	3	

หมายเหตุ \* หมายถึง การให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่แข็ง – ละลาย หลังจากได้รับข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

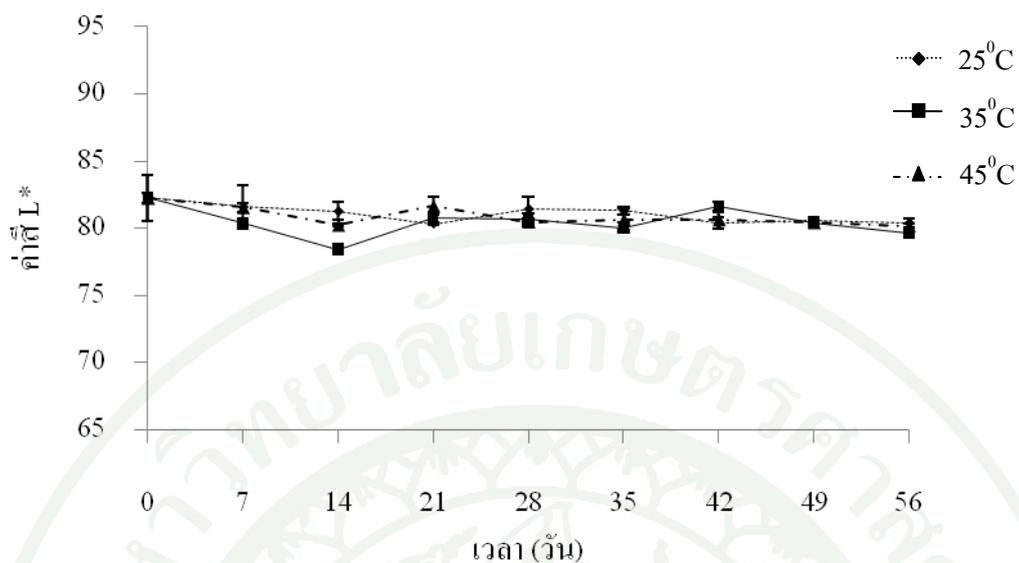
## 6. การศึกษาการอายุการเก็บของทุเรียนแผ่นอบแห้ง

จากการศึกษากระบวนการผลิตทุเรียนแผ่นอบแห้ง และการยอมรับของผู้บริโภค ได้ทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่แข็งแล้วนำมาอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บ โดยนำทุเรียนสไลด์แช่แข็งมาอบด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัม นาน 7 นาที แล้วบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาคุณภาพด้านกายภาพและเคมีทุก ๆ 7 วัน และคุณภาพทางประสาทสัมผัสในวันที่ 28, 42, 56 ของการเก็บรักษา พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

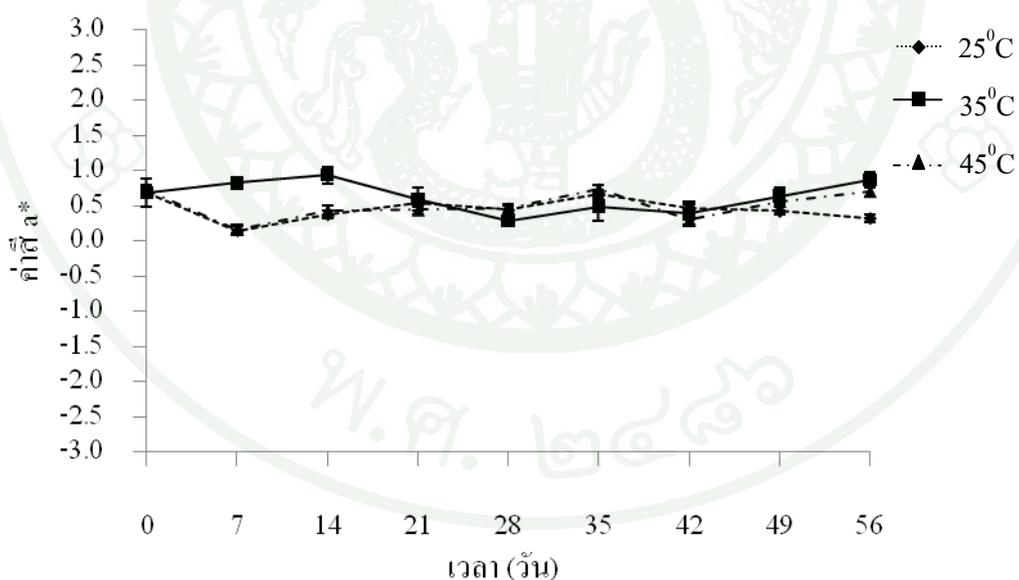
### 6.1 คุณภาพทางกายภาพ

#### 6.1.1 ค่าสี

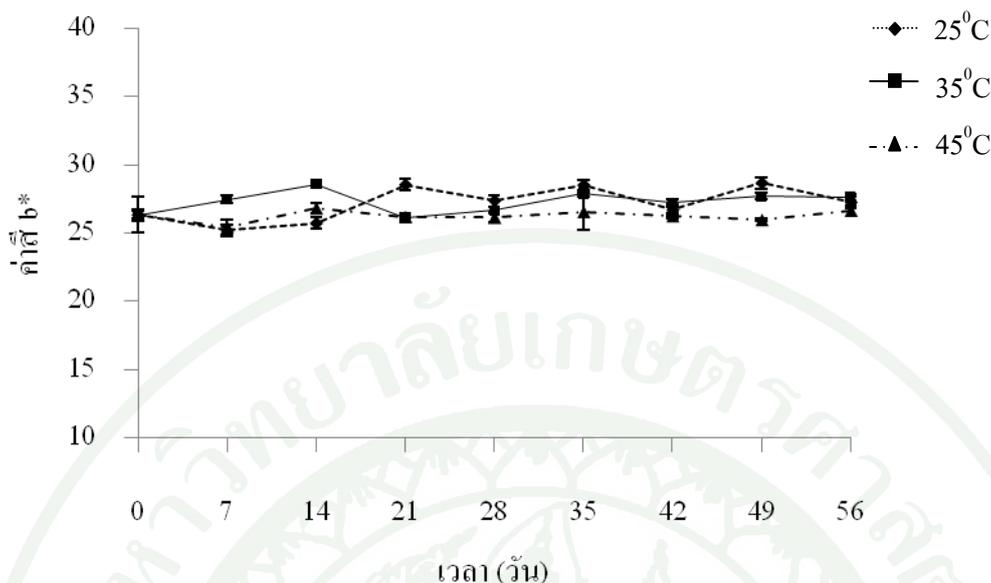
ระหว่างการเก็บรักษาพบการเปลี่ยนแปลงค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  เพียงเล็กน้อยในผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้ง ในกรณีบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีค่าสี  $L^*$  อยู่ในช่วง 78.43 – 82.26 ค่าสี  $a^*$  อยู่ในช่วง 0.14 -0.93 และค่าสี  $b^*$  มีค่าอยู่ในช่วง 25.18 – 28.64 ดังแสดงในภาพที่ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่า L\* ของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่า a\* ของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

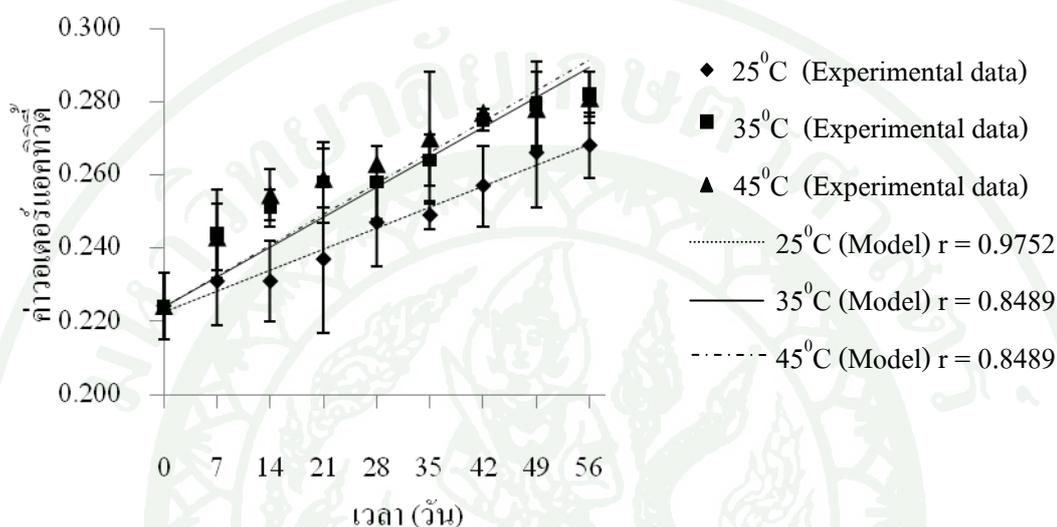


ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่า  $b^*$  ของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

### 6.2.1 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ของทุเรียนหลังการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้มีการเปลี่ยนแปลงกล่าวคือ เมื่อบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (ภาพที่ 11) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อเก็บนานไปมีการแพร่ผ่านความชื้นเข้ามาในบรรจุภัณฑ์ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในบรรจุภัณฑ์มีค่าสูงกว่า ขณะเดียวกันภายในชั้นอาหารมีความดันไอลดต่ำกว่าอากาศ ดังนั้นอาหารจึงดูดความชื้นในอากาศ ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของฉัญญา (2547) ที่ทำการศึกษารับรรจุภัณฑ์สำหรับเก็บทุเรียนทอด พบว่าการใช้ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้นานถึง 24 สัปดาห์ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันพบว่าส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ต่างกัน โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้เพิ่มขึ้นในระยะเวลาการเก็บรักษาที่เท่ากัน เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันพบว่า ที่การบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียสส่งผลให้

ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้เพิ่มขึ้นกว่าการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อศึกษาอันตรกิริยาของอุณหภูมิและเวลาในการเก็บพบว่าอันตรกิริยาดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

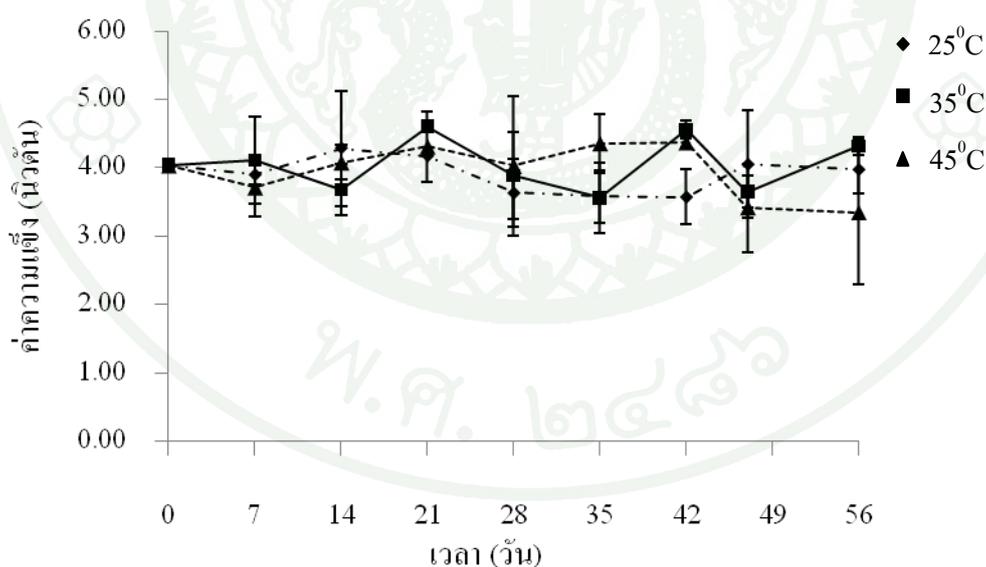
เมื่อทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ระหว่างการเก็บรักษา ในกรณีใส่ถุงอะลูมิเนียมพอยล์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ด้วยสมการจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ พบว่ามีค่าคงที่อัตรา ( $k$ ) ดังแสดงในตารางที่ 20 เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) (สมการที่ 6) พบว่ามีค่าพลังงานกระตุ้น ( $E_a$ ) เท่ากับ 16.14 kJ/mol และมีค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ( $k_0$ ) เท่ากับ 0.5750 หน่วยต่อวัน

ตารางที่ 20 ค่าคงที่อัตรา ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ของ การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีระหว่างการเก็บรักษา

การบรรจุ	อันดับ ปฏิกิริยา (n)	k (ต่อวัน)			$E_a$ (kJ/mol)	$k_0$ (ต่อวัน)
		25 องศา เซลเซียส	35 องศา เซลเซียส	45 องศา เซลเซียส		
		ถูงอะลูมิเนียมฟอยล์	0	0.0008		

### 6.1.3 ค่าความแข็ง

ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ในผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่เก็บในถูงอะลูมิเนียมฟอยล์ ดังแสดงในภาพที่ 12

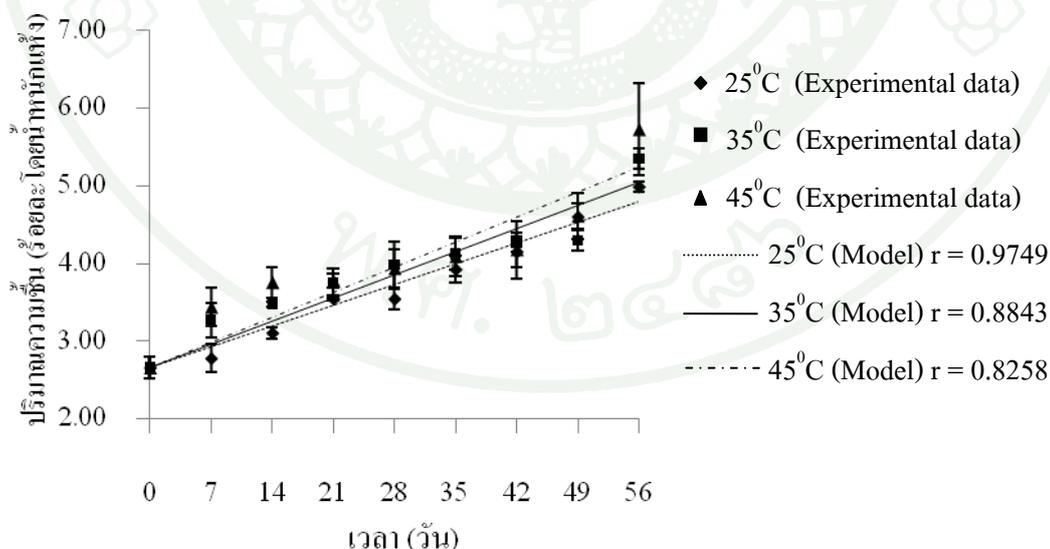


ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถูงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

## 6.2 คุณภาพทางเคมี

### 6.2.1 ปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เมื่อพิจารณาทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (ภาพที่ 13) พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเมื่อเก็บไว้ 7 วัน ผลผลิตก็ยังมีความชื้นไม่แตกต่างจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) จากนั้นความชื้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 56 มีความชื้นร้อยละ 4.99 ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียสพบว่าความชื้นของผลผลิตเพิ่มขึ้นจนวันที่ 56 ของการเก็บรักษามีค่าความชื้นร้อยละ 5.35 และ 5.73 ตามลำดับ การที่ความชื้นเพิ่มขึ้นเกิดเนื่องจากการอบแห้งส่งผลให้ปริมาณความชื้นในทุเรียนแผ่นอบแห้งอาจจะมีค่าต่ำกว่าสภาวะสมดุลอากาศภายในภาชนะบรรจุ และเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ทุเรียนอบแห้งจึงมีการปรับสมดุลความชื้นในเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ของภายในบรรจุภัณฑ์ ทุเรียนอบแห้งจึงดูดความชื้นจากอากาศภายในภาชนะบรรจุเพื่อให้เกิดภาวะสมดุลภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสุเมษ (2537) ที่กล่าวว่าอาหารจะมีการดูดกลับความชื้นจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น พบว่าในกรณีที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ )



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ด้วยสมการจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ พบว่ามีค่าคงที่อัตราดังแสดงในตารางที่ 21 เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (สมการที่ 6) พบว่ามีค่าพลังงานกระตุ้น เท่ากับ 7.17 kJ/mol และมีค่า  $k_0$  เท่ากับ 0.7310 ต่อวัน

ตารางที่ 21 ค่าคงที่อัตรา ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ของการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นระหว่างการเก็บรักษา

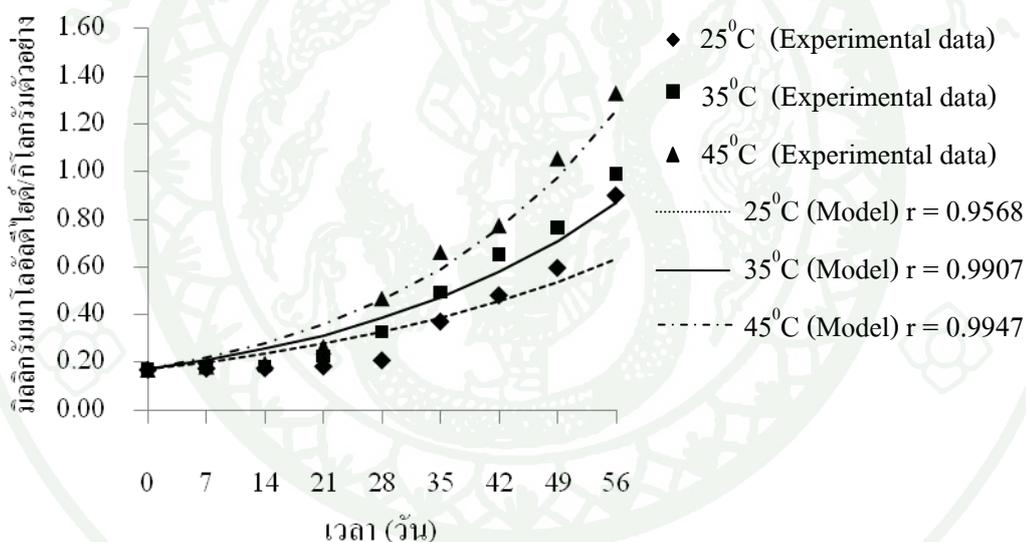
การบรรจุ	อันดับ ปฏิกิริยา (n)	k (ต่อวัน)			$E_a$ (kJ/mol)	$k_0$ (ต่อวัน)
		25 องศา เซลเซียส	35 องศา เซลเซียส	45 องศา เซลเซียส		
		0	0.0384	0.0427		

### 6.2.2 ปริมาณกรดไทโอบาพิทริกแอซิด (Thiobarbituric acid, TBA)

TBA เป็นการวัดการเสื่อมเสียของไขมันหรือน้ำมันจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการวัดเป็นจำนวนมิลลิกรัมของสาร malonaldehyde (MDA) ในตัวอย่าง 1 กิโลกรัม (กมลวรรณ, 2552) จากการทดลองการเก็บรักษาทุเรียนแผ่นอบแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ พบว่าค่า TBA ที่วัดได้เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น เป็นผลมาจากค่าปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการวิเคราะห์ค่า TBA เป็นการวัดการเพิ่มขึ้นของสารประกอบสีแดง (TBA pigment) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่าง 2-thiobarbituric acid (TBA) และ malonaldehyde จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยเฉพาะไขมันไม่อิ่มตัว ไขมันถูกออกซิไดซ์ ซึ่งออกซิเจนและความชื้นมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว ดังนั้นค่า TBA ที่วัดได้เพิ่มขึ้นหรือลดลงจึงขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุด้วย (รุ่งนภา, 2540) จะเห็นได้ว่าจากผลการทดลองจากค่า TBA สอดคล้องกับค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า TBA ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือมีค่าไม่เกิน 1.6 มิลลิกรัมมาโลอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม (ไพศาลและคณะ, 2543) การเปลี่ยนแปลงค่า TBA แสดงดังภาพที่ 14 เมื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBA พบว่า ทุเรียนที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า TBA มี

ค่าคงที่ในช่วง 21 วันแรก หลังจากนั้นค่าเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนวันที่ 56 ของการเก็บรักษามีค่า 0.902 มาโลอัลดีไฮด์ต่อกิโกรัม ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ค่า TBA สูงขึ้นเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นนั้นเป็นเพราะที่อุณหภูมิสูงขึ้นปฏิกิริยาการออกซิเดชันจะเกิดได้เร็วขึ้น จะเห็นได้ว่ากลิ่นหืนที่เกิดขึ้นของทุเรียนแผ่นอบแห้งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือมีค่าไม่เกิน 1.6 มิลลิกรัมมาโลอัลดีไฮด์ต่อกิโกรัม

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBA พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า TBA สูงขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งในการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่จากการศึกษาพบว่าไม่มีอิทธิพลระหว่างอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา กับระยะเวลาในการเก็บรักษา ( $p > 0.05$ )



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียม พอยล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า TBA ระหว่างการเก็บรักษาด้วยสมการจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง ในกรณีใส่ถุงอะลูมิเนียมพอยล์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าคงที่อัตรา ดังแสดงในตารางที่ 22 เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBA ระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (สมการที่ 6) พบว่ามีค่าพลังงานกระตุ้น เท่ากับ 16.47 kJ/mol และมีค่า  $k_0$  เท่ากับ 18.1505 ต่อวัน

ตารางที่ 22 ค่าคงที่อัตรา ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ของการเปลี่ยนแปลง  
ค่า TBA ระหว่างการเก็บรักษา

การบรรจุ	อันดับ ปฏิกิริยา (n)	k (หน่วยต่อวัน)			E <sub>a</sub> (kJ/mol)	k <sub>0</sub> (ต่อวัน)
		25 องศา เซลเซียส	35 องศา เซลเซียส	45 องศา เซลเซียส		
		ดุกอะลูมิเนียมฟอยล์	1	0.0255		

### 6.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

เมื่อทำการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ของทุเรียนแผ่นอบแห้งในวันที่ 56 ของการเก็บรักษาในทุกอุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา พบว่าการเก็บรักษาที่บรรจุภัณฑ์ทั้งดุกอะลูมิเนียม มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia coli* ปริมาณยีสต์และราอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย โดยอ้างอิงมาตรฐานอุตสาหกรรมทุเรียนทอดกรอบ (มอก. 2317-2549) ดังแสดงในตารางที่ 23 ทั้งนี้เนื่องจากทุเรียนแผ่นอบแห้งมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.5 ส่งผลให้สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (Fennema, 1985)

ตารางที่ 23 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของทุเรียนแผ่นอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาในดุกอะลูมิเนียม  
ฟอยล์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 56 วัน

จุลินทรีย์	อุณหภูมิในการเก็บรักษา		
	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	1.6x10 <sup>2</sup>	1.1x10 <sup>2</sup>	1.6x10 <sup>2</sup>
<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	< 3	< 3	< 3
ยีสต์และรา (cfu/g)	< 10*	< 10*	< 10*

หมายเหตุ \* หมายถึง Estimated Standard Plate Count (ESPC) คือ จำนวนจุลินทรีย์ที่นับไม่ได้อยู่ในช่วง 25-250 โคโลนี/จานเพาะเชื้อ หรือไม่มีโคโลนีเจริญในจานเพาะเชื้อ ที่ระดับการเจือจางที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด

#### 6.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พร้อมทั้งสอบถามการยอมรับ โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปที่รับประทานทุเรียนจำนวน 30 คน ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งซึ่งทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส โดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 24) พบว่า เมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะเน่นความชอบในทุกคุณลักษณะซึ่งได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นทุเรียน ความกรอบ กลิ่นรสทุเรียน รสชาติโดยรวม และความชอบรวม ไม่แตกต่างจากวันที่ 0 ( $p>0.05$ ) โดยคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6-7 (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) โดยผู้ทดสอบให้เหตุผลว่าผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นทุเรียน มีกลิ่นรสทุเรียน และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 35 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 25) ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านรสชาติโดยรวม และความชอบรวมลดลง ( $p\leq 0.05$ ) เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 26) ส่งผลให้คะแนนความชอบทั้งด้านความกรอบ กลิ่นรสทุเรียน รสชาติโดยรวม และความชอบรวมลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ( $p\leq 0.05$ ) นั่นเป็นเพราะที่อุณหภูมิสูงและเวลาการเก็บนานขึ้น ผลิตภัณฑ์จะเกิดกลิ่นหืน พร้อมทั้งมีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้นทำให้คะแนนความชอบด้านความกรอบลดลง ส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์ที่ลดลงตามลำดับ

**ตารางที่ 24** คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จำนวนวันในการเก็บรักษา	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นทุเรียน	ความกรอบ	กลิ่นรสทุเรียน	รสชาติโดยรวม	ความชอบรวม	ร้อยละการยอมรับ
ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์								
0 วัน	6.4 <sup>a</sup> ±1.3	6.2 <sup>a</sup> ±1.4	6.1 <sup>a</sup> ±1.6	7.5 <sup>a</sup> ±1.1	6.8 <sup>a</sup> ±0.9	6.9 <sup>a</sup> ±1.1	7.1 <sup>a</sup> ±0.8	96.0
28 วัน	6.5 <sup>a</sup> ±1.3	6.3 <sup>a</sup> ±1.4	6.6 <sup>a</sup> ±1.1	7.1 <sup>a</sup> ±1.5	6.9 <sup>a</sup> ±1.4	6.7 <sup>a</sup> ±1.2	6.9 <sup>a</sup> ±1.2	100.0
42 วัน	6.5 <sup>a</sup> ±1.2	6.1 <sup>a</sup> ±1.3	6.1 <sup>a</sup> ±1.1	7.3 <sup>a</sup> ±0.9	6.4 <sup>a</sup> ±1.3	6.4 <sup>a</sup> ±1.2	6.5 <sup>a</sup> ±1.1	87.5
56 วัน	6.7 <sup>a</sup> ±1.2	6.8 <sup>a</sup> ±0.8	6.0 <sup>a</sup> ±1.2	7.1 <sup>a</sup> ±1.0	5.9 <sup>a</sup> ±1.5	6.1 <sup>a</sup> ±1.2	6.3 <sup>a</sup> ±1.0	75.0

หมายเหตุ ตัวอักษร <sup>a-c</sup> ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 25 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

จำนวนวันในการเก็บรักษา	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นทุเรียน	ความกรอบ	กลิ่นรสทุเรียน	รสชาติโดยรวม	ความชอบรวม	ร้อยละการยอมรับ
ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์								
0 วัน	6.4 <sup>a</sup> ±1.3	6.2 <sup>a</sup> ±1.4	6.1 <sup>a</sup> ±1.6	7.5 <sup>a</sup> ±1.1	6.8 <sup>a</sup> ±0.9	6.9 <sup>a</sup> ±1.1	7.1 <sup>a</sup> ±0.8	96.0
28 วัน	6.4 <sup>a</sup> ±1.0	6.2 <sup>a</sup> ±1.1	5.4 <sup>a</sup> ±0.9	6.9 <sup>a</sup> ±1.3	6.0 <sup>a</sup> ±1.3	6.0 <sup>ab</sup> ±1.4	6.1 <sup>b</sup> ±1.3	86.7
42 วัน	6.7 <sup>a</sup> ±1.0	6.4 <sup>a</sup> ±1.5	5.9 <sup>a</sup> ±1.2	7.4 <sup>a</sup> ±1.0	6.7 <sup>a</sup> ±1.6	6.6 <sup>ab</sup> ±1.5	6.8 <sup>ab</sup> ±1.2	90.0
56 วัน	6.3 <sup>a</sup> ±1.6	6.6 <sup>a</sup> ±1.2	6.1 <sup>a</sup> ±1.1	6.8 <sup>a</sup> ±1.3	6.0 <sup>a</sup> ±1.6	5.9 <sup>b</sup> ±1.5	6.0 <sup>b</sup> ±1.7	68.6

หมายเหตุ ตัวอักษร <sup>a-c</sup> ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 26** คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

จำนวนวันในการเก็บรักษา	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นทุเรียน	ความกรอบ	กลิ่นรสทุเรียน	รสชาติโดยรวม	ความชอบรวม	ร้อยละการยอมรับ
ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์								
0 วัน	6.4 <sup>a</sup> ±1.3	6.2 <sup>a</sup> ±1.4	6.1 <sup>a</sup> ±1.6	7.5 <sup>a</sup> ±1.1	6.8 <sup>a</sup> ±0.9	6.9 <sup>a</sup> ±1.1	7.1 <sup>a</sup> ±0.8	96.0
28 วัน	6.3 <sup>a</sup> ±1.6	6.2 <sup>a</sup> ±1.7	5.8 <sup>a</sup> ±1.5	7.3 <sup>a</sup> ±1.8	6.0 <sup>ab</sup> ±1.8	6.0 <sup>a</sup> ±1.7	6.2 <sup>b</sup> ±1.8	86.7
42 วัน	6.7 <sup>a</sup> ±1.2	6.3 <sup>a</sup> ±1.7	5.3 <sup>a</sup> ±1.2	6.1 <sup>b</sup> ±1.6	5.2 <sup>bc</sup> ±1.5	5.4 <sup>b</sup> ±1.5	5.3 <sup>c</sup> ±1.5	55.0
56 วัน	6.3 <sup>a</sup> ±1.6	6.4 <sup>a</sup> ±1.0	5.6 <sup>a</sup> ±1.3	6.4 <sup>b</sup> ±1.5	4.8 <sup>c</sup> ±1.6	4.8 <sup>b</sup> ±1.3	4.8 <sup>c</sup> ±1.4	45.0

หมายเหตุ ตัวอักษร <sup>a-c</sup> ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## 6.5 การคำนวณอายุการเก็บรักษา

พิจารณาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยใช้การยอมรับของผู้บริโภคเป็นเกณฑ์ หากผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคน้อยกว่าร้อยละ 50 หมายความว่าผลิตภัณฑ์นั้นเสื่อมเสีย เมื่อพิจารณาการยอมรับของผู้บริโภคจากรางที่ 24 – 26 พบว่าเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ในถุงอะลูมิเนียมพอยล์เป็นเวลา 56 วัน ผู้บริโภคให้การยอมรับร้อยละ 45 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ นั้นหมายความว่าผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย ส่งผลให้คะแนนกลิ่นรสทุเรียน รสชาติโดยรวม และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์เหลือเพียงช่วงคะแนนที่ 4 – 5 (ไม่ชอบเล็กน้อยถึงบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ) โดยผู้บริโภคให้เหตุผลคือ ผลิตภัณฑ์เริ่มมีกลิ่นหืน และมีกลิ่นรสทุเรียนลดน้อยลง จึงใช้ค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีของการเก็บในถุงอะลูมิเนียมพอยล์เป็นเวลา 42 วันเป็นเกณฑ์ในการคำนวณอายุการเก็บรักษา โดยการเก็บในถุงอะลูมิเนียมพอยล์เป็นเวลา 42 วันจะส่งผลให้มีค่าแอมโมเนียเท่ากับ 0.251 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 4.18 (โดยน้ำหนักเปียก) และมีค่า TBA เท่ากับ 0.776 มิลลิกรัมมาโลอัลดีไฮด์/กิโกรัมตัวอย่าง ซึ่งค่าแอมโมเนียและปริมาณความชื้นดังกล่าวยังอยู่ในข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทุเรียนทอด (มอก. 2317-2549) และค่า TBA ยังต่ำกว่า 1.6 มิลลิกรัมมาโลอัลดีไฮด์/กิโกรัมตัวอย่าง ซึ่งบ่งบอกถึงกลิ่นหืนที่ผู้บริโภคนำไม่ยอมรับ (ไพศาลและคณะ, 2543)

จากการคำนวณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยใช้ค่าแอมโมเนียและปริมาณความชื้นเป็นเกณฑ์ด้วยสมการที่ 22 ด้วยค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ดังแสดงในตารางที่ 20 และ 21 ตามลำดับ พบว่าผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาน้อยลงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อคำนวณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยใช้ค่า TBA ด้วยสมการที่ 23 ด้วยค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ดังแสดงในตารางที่ 22 ให้ผลสอดคล้องกับการคำนวณด้วยค่าแอมโมเนียและปริมาณความชื้น

จากรางที่ 27 จะพบว่าปริมาณความชื้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้งที่บรรจุถุงอะลูมิเนียมพอยล์เสื่อมเสียได้เร็วที่สุด โดยมีอายุการเก็บรักษา (โดยการทำนาย) ไม่เกิน 39, 35 และ 32 วัน สำหรับการเก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 27 อายุการเก็บรักษา (วัน) ของผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้ง

ค่าคุณภาพ	ถั่วอะลูมิเนียมฟอยล์		
	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
วอเตอร์แอกทิวิตี	62	50	41
ปริมาณความชื้น	39	35	32
TBA	64	52	42

$$t = (C_0 - C_{\text{final}}) / k_0 \exp(-E_a/RT) \quad (22)$$

$$t = (\ln(C_{\text{final}}/C_0)) / k_0 \exp(-E_a/RT) \quad (23)$$

$k_0$  คือ ค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส (หน่วยต่อวัน)

$E_a$  คือ พลังงานกระตุ้น (kJ/mol)

$R$  คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol.K

$T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

$C_0$  คือ ปริมาณสารที่มี ณ จุดเริ่มต้น

$C_{\text{final}}$  คือ ปริมาณสารสุดท้ายที่ทำให้ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นอบแห้ง มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยคือการศึกษาคุณภาพวัตถุดิบ ศึกษาอิทธิพลของการเตรียมทุเรียนแผ่นต่อค่าคุณสมบัติไดอิเล็กทริก การพัฒนากระบวนการอบแห้ง การศึกษาคุณภาพของทุเรียนแผ่นอบแห้ง การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา จากการดำเนินการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการศึกษาคุณภาพวัตถุดิบ พบว่าทุเรียนหอมทองที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในช่วง 11-12 องศาบริกซ์ ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  มีค่าอยู่ในช่วง 83 – 87, 2.5 – (-1) และ 15 – 22 ตามลำดับ ปริมาณความชื้นร้อยละ 68 -71 และปริมาณแป้งอยู่ในช่วงร้อยละ 50 -55

2. จากการศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของทุเรียนที่ผ่านกระบวนการเตรียมก่อนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ พบว่าการเตรียมแต่ละวิธีส่งผลของค่าไดอิเล็กทริก โดยเตรียมด้วยการแช่แข็งทำให้ dielectric constant และ loss factor ต่ำที่สุด และมีค่า penetration depth สูงสุด แต่เมื่อแช่เย็น แช่แข็ง – ละลาย ส่งผลให้ dielectric constant loss factor เพิ่มขึ้น และมีค่า penetration depth ต่ำลง ส่งผลให้ตัวอย่างมีความสามารถในการแพร่กระจายความร้อนได้ดีกว่า และดูดซับพลังงานที่ตกกระทบเข้าไปได้ดีกว่า แต่เมื่อพิจารณาค่า loss tangent ซึ่งแสดงถึงสัดส่วนของความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนต่อความสามารถในการกักเก็บพลังงาน พบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการแช่เย็นและแช่แข็งมีค่าไม่ต่างกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเตรียม ( $p>0.05$ ) ส่วนการเตรียมด้วยวิธีแช่แข็ง-ละลายมีค่าต่ำกว่า ( $p\leq 0.05$ )

3. ในกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าการเตรียมตัวอย่างแต่ละวิธีไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง แต่เมื่อเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง โดยการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัมใช้เวลาในการอบแห้ง 7 นาที การอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 5.49 วัตต์ต่อกรัมใช้เวลาในการอบแห้ง 9 นาที และการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 3.88 วัตต์ต่อกรัมใช้เวลาในการอบแห้ง 11 นาที สามารถทำการอธิบาย

การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งได้ด้วยแบบจำลอง Page model โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วง 0.9942 – 0.9984 ค่า RMSE อยู่ในช่วง 0.0189 – 0.0375 และค่าไคสแควร์อยู่ในช่วง 0.0004 – 0.0015 นอกจากนี้การเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่การเตรียมตัวอย่างแต่ละวิธีไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล

4. จากการศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟต่อคุณภาพของทุเรียนแผ่นอบแห้ง พบว่าการเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้ค่าอเดอร์แอคทีวิตีและความชื้นลดลง การเตรียมตัวอย่างด้วยการแช่แข็ง – ละลายส่งผลให้ค่าความสว่างลดลงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น การเตรียมด้วยการแช่แข็งและการแช่แข็ง – ละลาย ส่งผลให้โครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์มีรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง การเตรียมโดยวิธีดังกล่าว ยังส่งผลให้คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับทุเรียนที่ไม่ผ่านการเตรียม และผ่านการเตรียมแบบโดยแช่เย็น จากการศึกษาแผนภาพความชอบพบว่า ค่าความแข็งและค่าสีเหลือง (b\*-value) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นกระบวนการเตรียมทุเรียนที่เหมาะสมคือ การแช่แข็ง และการแช่แข็ง – ละลาย และกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมคือ การอบแห้งทุเรียนแผ่นด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 7.23 วัตต์ต่อกรัมเป็นเวลา 7 นาที

5. จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า การเตรียมทุเรียนแบบแช่แข็งก่อนนำไปอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีความชอบในระดับปานกลางและผู้บริโภคให้การยอมรับร้อยละ 85 นอกจากนี้การให้ข้อมูลที่ดีของทุเรียนแผ่นอบแห้งที่มีปริมาณไขมันน้อยลงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับทุเรียนทอด สามารถเพิ่มการยอมรับของผู้บริโภคได้ ( $p \leq 0.05$ )

6. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียสในการอธิบายอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาและสามารถทำนายอายุการเก็บจากสมการดังกล่าวได้ พบว่าปริมาณความชื้นเป็นดัชนีชี้วัดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บในอุณหภูมิเย็นพอเหมาะ โดยสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานไม่เกิน 39, 35 และ 32 วัน สำหรับการเก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสตามลำดับ

### ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ได้รับข้อเสนอแนะว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีซีดจางเกินไปและมีกลิ่นรสทุเรียนน้อยไป ดังนั้นจึงอาจใช้ทุเรียนที่ค่อนข้างสุกมากกว่านี้และควบคุมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของวัตถุดิบให้มีค่าสูงขึ้น เพื่อจะมีกลิ่นรสทุเรียนมากขึ้น เนื่องจากทุเรียนดิบสีซีดและไม่ค่อยมีกลิ่นรสทุเรียน

2. เนื่องจากทุเรียนแผ่นอบแห้งเกิดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืน ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นจึงควรศึกษาวิธีการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว เช่น การบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อัดแก๊สไนโตรเจนเพื่อดักแก๊สออกซิเจนออก จะได้ชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น

3. เนื่องจากการผลิตทุเรียนแผ่นอบแห้งจะเหลือเศษทุเรียนจากการสไลด์ จึงควรประยุกต์นำเศษทุเรียนดังกล่าวมาผลิตเป็นแป้งทุเรียนแล้วนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลวรรณ แจ่มชัด. 2552. **ปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**  
เกษตร. โอ. เอส พรินติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ ฯ.

กองโภชนาการ. 2544. **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร**. กรมอนามัย กระทรวง  
สาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

ณัฐชา เปี่ยมกล้า. 2547. **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดทุเรียนสุกแช่แข็งด้วยเครื่อง**  
**ทอดสูญญากาศ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดวงเดือน เรืองเกิด. 2539. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่นกรอบ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนานพนธ์. 2545. **เคมีอาหาร**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

นิรนาม . 2551. **ทุเรียน**. แหล่งที่มา <http://th.wikipedia.org>, 8 พฤศจิกายน 2551.

เนตรนภิส วัฒนสุชาติ. 2550. **ขนมทางเลือกเพื่อสุขภาพ : เทคโนโลยีการผลิตและต้นแบบ**  
**ผลิตภัณฑ์**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพฯ

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. 2549. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3637 เรื่อง ทุเรียน**  
**ทอด**. กระทรวงอุตสาหกรรม.

พูนพัฒน์ พูนน้อย. 2550. **การอบแห้งอาหารด้วยระบบไมโครเวฟร่วมสูญญากาศ**. วารสารแม่โจ้  
ปริทัศน์. 8(4): 43-45.

ไพศาล วุฒิจำนงค์และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2549. หลักการแปรรูปผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคใหม่. ในรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, บรรณาธิการ. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร.** ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพศาล วุฒิจำนงค์, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, หทัยรัตน์ ริมศิริ, กมลวรรณ แจ่มชัด, อนุวัตร แจ่มชัด, ธงชัย สุวรรณสิขณัน, วาณี ชนเห็นชอบ, งามทิพย์ ภู่วโรดมและสุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2543. การศึกษาอายุการเก็บของผลไม้ไทยทอดกรอบ. ใน **รายงานผลการวิจัยประจำปี 2543.** **โครงการวิจัยทุนอุดหนุนมก.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เยาวลักษณ์ ชีระเวช และ วรณะ ปิ่นภิบาล. 2537. ทูเรียนทอดกรอบ สีน้าใหม่ของเมืองจันทร์. **เอกสารประกอบการสัมมนาในงานวันทูเรียนปี 2537.** ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทร์. จันทร์บุรี. 3 น.

รุ่งนภา วิสิฐอุตรการ. 2540. **การประเมินอายุการเก็บรักษาอาหาร.** ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

วลัยรัตน์ จันทร์ปานนท์. ม.ป.ป. **คู่มือปฏิบัติการการวัดค่าปัจจัยคุณภาพทางชีวภาพ.** ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2547. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

สมทรง ปวีณการก์ และ สวัสดิชัย พรมมา. 2539. เทคนิคการเตรียมทูเรียนดิบเพื่อการแปรรูปและเก็บรักษา. **เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการหลักสูตรการแปรรูปทูเรียนดิบ.** สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6, จันทร์บุรี. 3 น.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2549. การให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหารในคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2546. กระบวนการทำแห้งอาหาร. ใน คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุเมษ เกตุวารภรณ์. 2537. **ไม้ผลเบื้องต้น**. สาขาผลไม้, สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้, เชียงใหม่.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. **ผลผลิตทุเรียน**. แหล่งที่มา : [http://ndoe.doe.go.th/news/news\\_026.html](http://ndoe.doe.go.th/news/news_026.html), 23 พฤศจิกายน 2551.
- หิรัญ หิรัญประดิษฐ์, สุขวัฒน์ จันทรปรรณิก และเสริมสุข สลักเพ็ชร. 2541. **เทคโนโลยีการผลิตทุเรียน**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เหมการ์ จินดาวัฒน์ภูมิ. 2545. **การศึกษาแบบจำลองการทำแห้งระบบสูญญากาศร่วมกับไมโครเวฟกับพริกไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ.
- AACC. 1990. **American Association of Cereal Chemists approved method**. 8<sup>th</sup> ed. Approved methods of American Association of Cereal Chemists, St. Paul, U.S.A.
- Aghbashlo, M., M.H. Mohammad and A. Arabhosseini. 2009. Modeling of thin-layer drying of potato slices in length of continuous band dryer. **Energy Conversion and Management**. 50: 1348 – 1355.
- Ahmed, J., H. S. Ramaswamy and V. G. S. Raghavan. 2007. Dielectric properties of butter in the MW frequency range as affected by salt and temperature. **Journal of Food Engineering**. 82: 351-358.

- Al-Harashsheh, M., A.H. Al-Muhtaseb and T.R.A. Magee. 2009. Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration. **Chemical Engineering and Processing**. 48: 524-531.
- Al-Muhtaseb, A. H., M. A. Hararah., E. K. Mogahey., W.A.M. McMinn and T.R.A. Magee. 2010. Dielectric properties of microwave-baked cake and its constituents over a frequency range of 0.915-2.450 GHz. **Journal of Food Engineering**. 98: 84-92.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17<sup>th</sup> ed. The Association of Official Analytical Chemists, Maryland, U.S.A.
- Ayensu, A., 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. **Solar Energy**. 59: 121-126.
- Azzouz, S., A. Guizani, W. Lomaa and A. Belgith. 2002. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food engineering**. 55 : 323-330.
- Babalís, S. J., E. Papanicolaou, N. Kyriakis and V. G. Belessiotis. 2006. Evaluation of thin-layer drying model for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**. 75 : 205 – 214.
- Baker, R.C., P.W.Hahn and K.R.Robbins. 1988. **Fundamentals of New food Product Development**. Elsevier Science Publisher Comp. Inc., New York.
- BAM. 2002. **Food and Drug Administration Bacteriological Analytical Manual**. 8<sup>th</sup> ed., AOAC International, USA.
- Bohm, M., M. Bade.and B. Kunz. 2002. Quality stabilization of fresh herbs using a combined vacuum-microwave drying process. **Advances in Food Science**. 24: 55-61.

- Bondaruk, J., M. Markowski and W. Blaszcak. 2007. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. **Journal of Food Engineering**. 81: 306-312.
- Charoensiri, R., R. Kongkachuichai, S. Suknicom and P. Sungpuag. 2009. Beta-carotene, lycopene and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits. **Food Chemistry**. 113: 202-207.
- Coulson, J.M., J.F. Richardson, J.R. Backhurst and J.H. Harker. 1987. **Chemical Engineering, Unit Operation**, 3<sup>rd</sup> ed. Pergamon Press Ltd., UK. pp. 717-718.
- Crank, J. 1975. **Mathematics of diffusion**. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford University Press. London.
- Cui, Z-W., L-J. Sun, W. Chen and D-W. Sun. 2008. Preparation of dry honey by microwave-vacuum drying. **Journal of Food Engineering**. 84: 582-590.
- Cui, Z-W., S-Y. Xu and D-W. Sun. 2004. Effect of microwave-vacuum drying on the carotenoids retention of carrot slices and chlorophyll retention of Chinese chive leaves. **Drying Technology**. 22: 563-575.
- Datta, A. K. and R. C. Anantheswaran. 2001. **Handbook of Microwave Technology for Food Application**. Marcel Dekker, New York.
- Doymaz, I. 2005. Drying behavior of green beans. **Journal of Food Engineering**. 69: 161-165.
- Driscoll, R. 2004. Food Dehydration, pp. 31-43. *In* Smith, J. S. and Hui, Y.H. **Food processing “Principles and Applications”**. Blackwell publishing Ltd., Oxford.
- Durance, T.D. and J.H. Wang. 2002. Energy consumption, density, and rehydration rate of vacuum microwave- and hot-air convection- dehydrated tomatoes. **Journal of Food Science**. 67: 2212-2216.

- Erle, U. and Schubert. 2001. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. **Journal of Food Engineering**. 49: 193-199.
- Fellows, P. 2000. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 2<sup>nd</sup> ed. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge. 575 pp.
- Fennema, O.R. 1985. **Food Chemistry**. 2nd ed. Marcell Dekker, Inc. New York. 991 p.
- Figiel, A. 2009. Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices. **Journal of Food Engineering**. 94: 98-104.
- Figiel, A. 2010. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. **Journal of Food Engineering**. 98: 461-470.
- Gabriel, C., S. Gabriel, E. H. Grant, B. S. J. Halstead and D. M. P. Mingos. 1998. Dielectric parameters relevant to microwave dielectric heating. **Chemical Society Reviews**. 27: 213-223.
- Giri, S.K. and S. Prasad. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering**. 78: 512-521.
- Henderson, S.M. and S. Pabis. 1961. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Research Engineering**. 6: 169-174.
- Heredia, A., C. Barrera and A. Andrés. 2007. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. **Journal of Food Engineering**. 80: 111-118.

- Hu, Q., M. Zhang, A.S. Mujumdar, G. Xiao and J. Sun. 2006. Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination. **Journal of Food Engineering**. 77: 977-982.
- Huang, L. I., Min Z., Arun S. M. and Rai L. 2011. Comparison of four drying methods for re-structured mixed potato with apple chips. **Journal of Food Engineering**. 103: 279-284.
- Ikediala, J. N., J. Tang, S. R. Drake and L. G. Neven. 2000. Dielectric properties of apple cultivars and codling moth larvae. **Transactions of the ASAE**. 43: 1175-1184.
- Jamradloedluk, J., A. Nathakaranakule, S. Soponronnarit and S. Prachayawarakorn. 2007. Influences of drying medium and temperature on drying kinetics and quality attributes of durian chip. **Journal of Food Engineering**. 78: 199-205.
- Jindarat, W., P Rattanadecho, D. Cholaseuk, S. Vongpradubchai, Y. Pianroj. 2010. Analysis of Energy Consumption in Microwave and Convective Drying Process of Multi-Layered Porous Material Inside a Rectangular Wave Guide. **Experimental Thermal and Fluid Science**. 35: 728 – 737.
- Karathanos, V.T. 1999. Determination of water content of dried fruits by drying kinetic. **Journal of Food Engineering**. 39: 337-344.
- Lewis, W. K. 1921. The rate of drying of solid materials. **Industrial Engineering Chemistry**. 13: 427 –432.
- Madamba, P.S., R. H. Driscoll and K.A. Buckle. 1996. The Thin-layer Drying Characteristics of Garlic Slices. **Journal of Food Engineering**. 29 : 75 -79.
- Nam, K.C. and D.U. Ahn. 2003. Combination of aerobic and vacuum packaging to control lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated raw turkey breast. **Meat Science**. 63: 389-395.

- Ozkan, I. A., B. Akbudak and N. Akbudak. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. **Journal of Food Engineering**. 78: 577-583.
- Page, G.E. 1949. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. M. Sc. Thesis. Purdue University.
- Pappas, C., E. Tsami and D. Marinos-Kouris. 1999. The effect of process conditions on the drying kinetics and rehydration characteristics of some mw-vacuum dehydrate fruits. **Drying Technology**. 17: 157-174.
- Poonnoy, P., A. Tansakul and M. Chinnan. 2007. Artificial Neural Network Modeling for Temperature and Moisture Content Prediction in Tomato Slices Undergoing Microwave-Vacuum Drying. **Journal of Food Science**. 72: E42-E47.
- Qing-guo, H., Z. Min, A.S. Mujumdar, D. Wei-hua and S. Jin-cai. 2006. Effects of different drying methods on the quality changes of granular edamame. **Drying Technology**. 24: 1025-1032.
- Sacilik, K. and A.K. Elicin. 2006. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. **Journal of Food Engineering**. 73: 281-289.
- Sahin, S. and S.G. Sumnu. 2006. **Physical Properties of Food**. Springer, New York.
- Scaman, C. H. and T.D. Durance. 2005. **Emerging Technologies for Food Processing**. Elsevier Academic Press. London. 768 pp.
- Seyhun, N., H. Ramaswamy, G. Sumnu, S. Sahin and J. Ahmed. 2009. Comparison and modeling of microwave tempering and infrared assisted microwave tempering of frozen potato puree. **Journal of Food Engineering**. 92: 339-344.

- Sham, P.W.Y., C.H. Scaman and T.D. Durance. 2001. Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level and apple variety. **Journal of Food Science**. 66: 1341-1347.
- Sharaf-Eldeen, Y. I., J. L. Blaisdell and M. Y. Hamdy. 1980. A model for ear corn drying. **Transactions of ASAE**. 23 : 1261 – 1265.
- Sharma, G.P. and S. Prasad. 2002. Dielectric properties of garlic (*Allium sativum L.*) at 2450 MHz as function of temperature and moisture content. **Journal of Food Engineering**, 52(4), 343-348.
- Shyu, S. L. and L. S. Hwang. 2001. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. **Food Research International**. 34: 133-142.
- Singh, R. P. 1994. Scientific principles of shelf life evaluation, pp. 3-26. *In* C. M. D. Man and A. A. Jones., Eds. **Shelf life Evaluation of Foods**. Blackie Academic and Professional, London.
- Singh, R.P. and D.R. Heldman .2001. **Introduction to Food Engineering**. 3<sup>rd</sup> ed. Academic Press, USA.
- Sosa-Morales, M.E., L. Valerio-Junco, A. López-Malo and H. S. GarCía. 2010. Dielectric properties of foods: Reported data in the 21<sup>st</sup> century and their potential applications. **LWT- Food Science and Technology**. 43: 1169-1179.
- Subhadrabandhu, S. and S. Ketsa. 2001. **Durian King of Tropical Fruit**. Daphne Brasell Associates Ltd. New York.

- Tajner-Czopek, A., A. Figiel and A.A. Carbonell-Barrachina. 2008. Effects of potato strip size and pre drying method on French fries quality. **European Food Research and Technology**. 227: 757-766.
- Therdthai, N. and W. Zhou. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). **Journal of Food Engineering**. 91: 482-489.
- Togrul, I. T. and D. Pehlivan. 2002. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. **Journal of Food Engineering**. 55: 209-216.
- Togrul, I. T. and D. Pehlivan. 2004. Modelling of thin-layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. **Journal of Food Engineering**. 65 : 413 – 425.
- Trabelsi, S., A. W. Kraszewski and S. O. Nelson. 1998. A Microwave Method for On-line Determination of Bulk Density and Moisture Content of Particulate Materials. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**. 47(1), 127-132.
- Wang, C.Y. and R.P. Singh. 1987. A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No. 3001.
- Wang, Y., J. Tang, B. Rasco, F. Kong. and S. Wang. 2008. Dielectric properties of salmon fillets as a function of temperature and composition. **Journal of Food Engineering**. 87: 236-246.
- Wang, Z., J. Sun, F. Chen, X. Liao and X. Hu. 2007. Mathematical modeling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. **Journal of Food Engineering**. 80: 536-544.

- Wojdylo, A., A. Figiel and J. Oszmianski. 2009. Effect of drying methods with the application of vacuum microwave on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 57: 1337-1343.
- Yaldiz, O., C. Ertekin and H.B. Uzun. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. **Energy**. 26: 457-465.
- Yam, K. L. and C. C. Lai. 2004. Microwavable frozen food or meals. (pp 581-593) *In* K. D. Marrell, Y. H. Hui, W-K. Nip, M. H. Lim, I. G. Legarreta and P. Cornillon (eds.), **Handbook of Frozen Foods**. CRC Press. USA.
- Zhang, J., M. Zhang, L. Shan and Z. Fang. 2007. Microwave-vacuum heating parameters for processing savory crisp bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) slices. **Journal of Food Engineering**. 79: 885-891.





ภาคผนวก ก  
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

## 1. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS)

นำตัวอย่างทุเรียนหั่นเป็นชิ้น ๆ 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นจำนวน 30 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:3) มาปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใส (อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) มาหาปริมาณ TSS ด้วย hand refractometer โดยนำของเหลวที่ได้หยดลงในช่องวัดค่า จากนั้นกดปุ่ม START แล้วอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ปรากฏบนหน้าจอเครื่อง แล้วนำค่าที่อ่านได้มาคูณด้วย 4 จะได้ปริมาณ TSS ของเนื้อทุเรียน

## 2. การวิเคราะห์ปริมาณแป้งด้วยวิธี Glucoamylose method (AACC, 1990)

### 2.1 การเตรียมสารเคมี

#### 2.1.1 กลูโคสอะไมเลส

#### 2.1.2 อะซิเตทบัฟเฟอร์ 4 โมลาร์ (Acetate buffer)

เตรียมโดยละลาย Anhydrous sodium acetate 164 กรัมและ Glacial acetic acid 120 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับ pH เป็น 4.8

#### 2.1.3 สารละลายมาตรฐาน D-glucose

เตรียมโดยละลาย Anhydrous D-glucose 400 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

#### 2.1.4 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Tris-phosphate buffer)

เตรียมโดยละลาย tris (trishydroxymethylaminomethan) 36.3 กรัมและ  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  50 กรัมด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 500 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ 7.0 ด้วยกรดฟอสฟอริก

#### 2.1.5 สารละลาย Enzyme-buffer-chromogen mixture

เตรียมโดยละลาย Glucose oxidase (Type II จาก *Aspergillus niger*) 30 มิลลิกรัม Peroxidase (Type I) 3 มิลลิกรัม และ *o*-dianisidine dihydrochloride 10 มิลลิกรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (จากข้อ 2.1.4) แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

#### 2.1.6 กรดซัลฟูริกเข้มข้น 18 นอร์มอล

## 2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.2.1 นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งและสกัดไขมันมาบดจนมีขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นชั่งตัวอย่างปริมาณ 0.5 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน โดยใช้ Magnetic stirrer เป็นเวลา 3 นาที

2.2.2 นำสารละลายที่ได้ใส่ Autoclave ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.2.3 นำออกจาก Autoclave จนอุณหภูมิลดลงเหลือ 55 องศาเซลเซียส แล้วเติมอะซิเตทบัฟเฟอร์ 2.5 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้สารละลายทั้งหมดหนักประมาณ 45 กรัม

2.2.4 เติมสารละลาย Glucoamylase 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ  $55 \pm 1$  องศาเซลเซียสพร้อมเขย่าตลอดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วกรองสารละลายที่ได้ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร

2.2.5 ดูดสารละลายข้อ 2.2.4 มา 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติม enzyme-buffer-chromogen mixture 2 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิประมาณ  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที

2.2.6 เติมกรดซัลฟูริก 2 มิลลิลิตรเพื่อหยุดปฏิกิริยา จากนั้นนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

2.2.7 สร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้สารละลาย D-glucose โดยใช้ความเข้มข้นที่ 0 ถึง 60 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณแป้ง

$$\text{ปริมาณแป้ง (\%)} = 2.25 \times \frac{M}{V_0 \times E \times MS}$$

เมื่อ E = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

M = น้ำหนัก D-glucose จากกราฟมาตรฐาน (ไมโครกรัม)

$V_0$  = ปริมาตรของสารละลายข้อ 2.2.4 (มิลลิลิตร)

MS = ความชื้นของตัวอย่าง (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)

### 3. การวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE L\*a\*b\*

ทำการเทียบมาตรฐานเครื่องวัดค่าสี Spectrophotometer โดยวัดค่าแสงสะท้อน (Reflectance) โดยบทความเรียนแผ่นอบแห้งหยาบ ๆ บรรจุลงใน Petri dish ใช้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>65</sub> มุมผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา ทำการทดลอง 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัด 4 ครั้ง

### 4. การวิเคราะห์ค่าออเตอร์แอกทิวิตี้ (a<sub>w</sub>)

นำตัวอย่างทุเรียนแผ่นอบแห้งมาบดหยาบ ๆ จากนั้นนำตัวอย่างบรรจุลงในตลับพลาสติก สำหรับวิเคราะห์ค่าออเตอร์แอกทิวิตี้ โดยบรรจุตัวอย่างปริมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณบรรจุของตลับ นำตลับใส่ใน chamber ของเครื่องวัดค่า แล้วอ่านค่าออเตอร์แอกทิวิตี้ที่ปรากฏบนหน้าจอเครื่อง

### 5. การวิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness)

ทำการวัดค่าความแข็ง ด้วยเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Lloyd Instrument รุ่น TA500 ด้วยวิธีการวัดค่าแบบ Single Hardness โดยใช้หัวกดแบบหัวกลม (ball probe) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และฐานรองรับรูปทรงกระบอกกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร โดยกดลงบนตัวอย่างด้วยความเร็ว 30 มิลลิเมตรต่อนาที



## 1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ซึ่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในจานอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 7 ชั่วโมง รอให้จานอลูมิเนียมเย็นในเดสิคเคเตอร์ (desiccator) แล้วชั่งน้ำหนักที่ได้ จากนั้นทำการอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที และชั่งน้ำหนักซ้ำเช่นเดิมจนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \times 100$$

เมื่อ  $W_i$  คือน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$W_f$  คือน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

## 2. การวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid (TBA)

### 2.1 วิธีการวิเคราะห์ (ดัดแปลงจาก Nam *et al.* (2003))

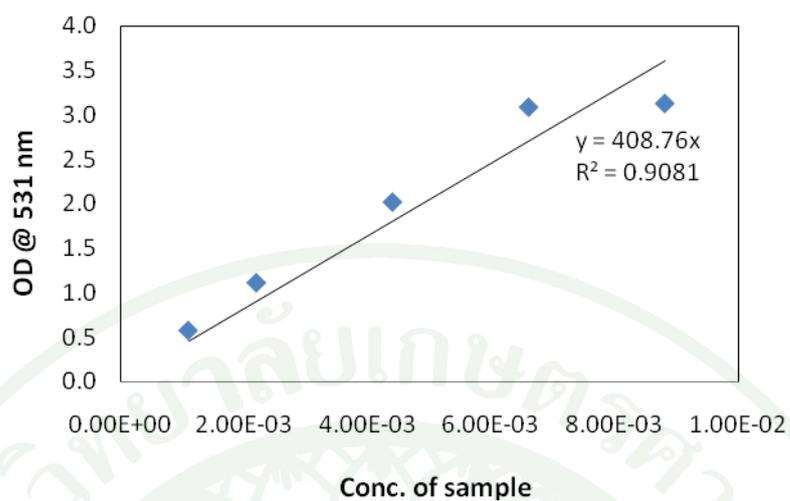
นำทุเรียนแผ่นอบแห้งบดชั่งน้ำหนัก 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร ปั่นของผสมดังกล่าวให้เข้ากันด้วย Magnetic stirrer นาน 3 นาที กรองด้วยผ้า Silk screen และบีบเปิดสารละลายที่กรองได้ 5 มิลลิลิตร, สารต้านออกซิเดชัน 0.25 มิลลิลิตร (สารละลาย BHT ความเข้มข้นร้อยละ 7.2 มีเอทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย) และสารละลาย TBA/TCA (ซึ่ง TBA 0.2883 กรัม แล้วปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วย TCA ร้อยละ 15 มีน้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย) ลงในหลอดทดลองที่ห่อด้วยฟอยล์และมีฝาปิด โดยหลังจากเติมสารละลายแต่ละครั้งผสมให้เข้ากันโดยใช้ Vortex mixer เตรียมแบลงค์โดยใช้สารละลายใช้สารละลายเดียวกับตัวอย่างแต่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำที่สกัดได้จากทุเรียน จากนั้นนำหลอดทั้งหมดมาแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง ผสมสารละลายให้เข้ากันอีกครั้งด้วย Vortex mixer ถ่ายสารละลายออกมาใส่หลอด Centrifuge แล้วหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 7,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ได้สารละลายใส จากนั้นนำสารละลายส่วนในสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 531 นาโนเมตร แล้วคำนวณตามสูตร

## 2.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐาน TEP (1,1,3,3-tetraethoxy-propane) ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ มีเอทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย และเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ (ตารางภาคผนวก ที่ จ.1) ปิเปตลงในหลอดทดลองที่ห่อด้วยฟอล์ยและมีฝาปิด จากนั้นปิเปตสารละลาย TBA/TCA จากข้อ 4.1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้ Vortex mixer เตรียมแบลงค์โดยใช้เฉพาะเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จากนั้นนำหลอดทั้งหมดมาแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นทำให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง ผสมสารละลายให้เข้ากันอีกครั้งด้วย Vortex mixer ถ่ายสารละลายออกมาใส่หลอด Centrifuge แล้วหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 7,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ได้สารละลายใส จากนั้นนำสารละลายส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 531 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงมาสร้างกราฟมาตรฐาน (ภาพภาคผนวก ที่ ข.1)

**ตารางผนวกที่ ข1** การสร้างกราฟมาตรฐานของ TEP (1,1,3,3-tetraethoxy-propane) สำหรับ  
คำนวณค่า TBA

อนุกรมบ่งชี้ ความเข้มข้นของ TEP ( มิลลิกรัม TEP/มิลลิลิตร)	ปริมาตรของ สารละลาย 1 มิลลิ โมลาร์ ของ TEP (มิลลิลิตร)	ปริมาตรของ เอทิล แอลกอฮอล์ ร้อยละ 95 (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น ของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	การดูดกลืน แสงที่ความ ยาวคลื่น 531 นาโนเมตร
$8.81 \times 10^{-3}$	0.200	4.800	0.040	3.1308
$6.61 \times 10^{-3}$	0.150	4.850	0.030	3.0895
$4.41 \times 10^{-3}$	0.100	4.900	0.020	2.0223
$2.20 \times 10^{-3}$	0.050	4.950	0.010	1.1158
$1.10 \times 10^{-3}$	0.025	4.925	0.005	0.5783



ภาพผนวกที่ ข1 กราฟมาตรฐานของ TEP (1,1,3,3-tetraethoxy-propane) สำหรับคำนวณค่า TBA



## 1. การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (วัลย์รัตน์, ม.ม.ป.)

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 5 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 45 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างในข้อ 1. ไปตีปั่นด้วยเครื่อง Stomacher เป็นเวลา 60 วินาที
3. นำตัวอย่างในข้อ 2. มาเจือจางครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ Phosphate Buffer จนได้ตัวอย่างที่มีความเจือจางเหมาะสม
4. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count agar แล้วนำไปการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
5. เตรียมจานเพาะเชื้อโดยฆ่าเชื้อด้วยการอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. ปิเปิดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อจากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอุณหภูมิ 45 ถึง 55 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว
7. นำไปบ่มโดยคว่ำจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

## 2. การวิเคราะห์ *Escherichia coli*

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 5 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 45 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างในข้อ 1. ไปตีปั่นด้วยเครื่อง Stomacher เป็นเวลา 60 วินาที
3. นำตัวอย่างในข้อ 2. มาเจือจางครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ Phosphate Buffer จนได้ตัวอย่างที่มีความเจือจางเหมาะสม
4. ปิเปิดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงใน Lauryl Sulphate Tryptose broth ซึ่งบรรจุ Durham tube โดยทำความสะอาดเจือจางละ 3 หลอด นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (หลอดที่ไม่มีก๊าซให้บ่มต่ออีก 24 ชั่วโมง)
5. เลือกหลอดที่มีก๊าซไปทำ confirm test
6. ใช้ loop เขี่ยเชื้อจากหลอดที่มีก๊าซใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ EC broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุ Durham tube นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 45.5 องศาเซลเซียส ใน water bath เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
7. เลือกหลอดที่มีก๊าซนำไป Streak บน EMB agar และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

8. เลือกโคโลนีที่มีสีดำ ซึ่งอาจมีหรือไม่มี Metallic sheen จากนั้นเขี่ยเชื้อจานละ 2 โคโลนี ลงใน Plate Count Agar slant นำไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง

9. ทดสอบ Indole test โดยเขี่ยเชื้อจาก Plate Count Agar slant ลงบน Tryptophan broth นำไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเติม 0.2 ถึง 0.3 มิลลิลิตร ของสารละลาย KOVAC ถ้าเป็นบวกจะให้ชั้นบนของของเหลวเปลี่ยนเป็นสีแดง

11. ทดสอบ MR-VP โดยเขี่ยเชื้อจาก Plate Count Agar slant ลงบน MR-VP broth นำไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการทดสอบ MR test โดยนำ MR-VP broth ที่เหลือไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วหยด methyl red 5 หยด ผลบวกจะให้สีแดง ทำการทดสอบ VP test โดยถ่ายเชื้อจาก MR-VP broth ปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดขนาด 13x100 มิลลิลิตร เติม 0.6 มิลลิลิตร ของ alpha-naphthol ในสารละลายอัลกอฮอล์ และเติม 0.2 มิลลิลิตร ของสารละลาย creatinine-KOH

12. Simmon citrate agar โดยเขี่ยเชื้อจาก Plate Count Agar slant ลงบน Simmon citrate agar นำไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ้าเป็นบวกจะให้สีน้ำเงิน

### 3. การวิเคราะห์หีสต์และรา

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 5 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 45 มิลลิลิตร

2. นำตัวอย่างในข้อ 1. ไปตีปั่นด้วยเครื่อง Stomacher เป็นเวลา 60 วินาที

3. นำตัวอย่างในข้อ 2. มาเจือจางครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ Phosphate Buffer จนได้ตัวอย่างที่มีความเจือจางเหมาะสม

4. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose agar แล้วนำไปการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

5. เตรียมจานเพาะเชื้อ โดยฆ่าเชื้อด้วยการอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6. ปิเปิดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อจากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอุณหภูมิ 45 ถึง 55 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว

7. นำไปบ่มโดยคว่ำจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง



## การทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale

วันที่ \_\_\_\_\_

**ตัวอย่าง ทูเรียนอบกรอบ**

คำแนะนำ กรุณาทำการทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่เสนอ แล้วให้คะแนนความชอบ  
แต่ละคุณลักษณะที่กำหนด

**คะแนนความชอบ**

- |                   |                               |                    |
|-------------------|-------------------------------|--------------------|
| 9 = ชอบมากที่สุด  | 8 = ชอบมาก                    | 7 = ชอบปานกลาง     |
| 6 = ชอบเล็กน้อย   | 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ | 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย |
| 3 = ไม่ชอบปานกลาง | 2 = ไม่ชอบมาก                 | 1 = ไม่ชอบ         |

คุณลักษณะ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
ลักษณะ ปรากฏ					
สี					
กลิ่นทูเรียน					
ความกรอบ					
กลิ่นรสทูเรียน					
รสชาติ โดยรวม					
ความชอบรวม					

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบคุณค่ะ



ภาคผนวก จ  
แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค

## แบบสอบถาม

ลำดับที่.....

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบกรอบ

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบกรอบ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ของ นางสาวสวิตรา ไบจิว นิสิตปริญญาโทสาขาวิชา พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่าน กรุณาทดสอบตัวอย่าง และตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบมา จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้ และจะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อท่านทั้งสิ้น ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือ  
ผู้วิจัย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

- ( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

- ( ) 16 – 20 ปี ( ) 21 – 30 ปี ( ) 31 – 40 ปี  
( ) 41 – 50 ปี ( ) 50 ปีขึ้นไป

3. การศึกษา

- ( ) ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช. ( ) มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช.  
( ) อนุปริญญา (ปวส.) ( ) ปริญญาตรี  
( ) สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

- ( ) นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา ( ) พนักงานบริษัทเอกชน  
( ) ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ ( ) ธุรกิจส่วนตัว  
( ) อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

5. รายได้ต่อเดือน

- ( ) น้อยกว่า 5,000 บาท ( ) 5,000 – 10,000 บาท  
( ) 10,001 – 15,000 บาท ( ) 15,001 – 20,000 บาท  
( ) 20,001 – 25,000 บาท ( ) 25,001 – 30,000 บาท  
( ) 30,001 – 35,000 บาท ( ) มากกว่า 35,000 บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับความชอบ และการยอมรับของผู้บริโภคต่อทุเรียนอบกรอบ

6. กรุณาทดสอบตัวอย่าง โดยสังเกตลักษณะปรากฏของทุเรียนอบกรอบแล้วทดสอบตัวอย่าง และให้คะแนนความชอบใน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นทุเรียน ความกรอบ กลิ่นรสทุเรียน รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงตามความรู้สึกของท่าน

**รหัส 439**

คุณลักษณะ	ชอบ มาก ที่สุด	ชอบ มาก	ชอบ ปาน กลาง	ชอบ เล็กน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบ เล็กน้อย	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ ชอบ มาก	ไม่ชอบมาก ที่สุด
ลักษณะ ปรากฏ									
สี									
กลิ่นทุเรียน									
ความกรอบ									
กลิ่นรส ทุเรียน									
รสชาติ โดยรวม									
ความชอบ โดยรวม									

7. ท่านรู้สึกอย่างไรต่อ “ทุเรียนอบกรอบ” ที่พัฒนาขึ้นมา

( ) ยอมรับเพราะ.....

( ) ไม่ยอมรับเพราะ.....

8. กรุณาทดสอบตัวอย่าง โดยสังเกตลักษณะปรากฏของทุเรียนอบกรอบแล้วทดสอบตัวอย่าง และให้คะแนนความชอบใน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นทุเรียน ความกรอบ กลิ่นรสทุเรียน รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงตามความรู้สึของท่าน

**รหัส 863**

คุณลักษณะ	ชอบ มาก ที่สุด	ชอบ มาก	ชอบ ปาน กลาง	ชอบ เล็กน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบ เล็กน้อย	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ชอบ มาก	ไม่ ชอบ มาก ที่สุด
ลักษณะ ปรากฏ									
สี									
กลิ่นทุเรียน									
ความกรอบ									
กลิ่นรส ทุเรียน									
รสชาติ โดยรวม									
ความชอบ โดยรวม									

9. ท่านรู้สึกอย่างไรต่อ “ทุเรียนอบกรอบ” ที่พัฒนาขึ้นมา

( ) ยอมรับเพราะ.....

( ) ไม่ยอมรับเพราะ.....

### ข้อมูลเกี่ยวกับทุเรียนอบกรอบ

ทุเรียนอบกรอบที่ท่านได้ทดสอบเป็นทุเรียนที่ผ่านการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของทุเรียนอบกรอบในด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความกรอบของผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบกรอบ ให้มีสีเหลืองอ่อน ยังคงมีกลิ่นและกลิ่นรสของทุเรียน และมีความกรอบเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดทั่วไป

นอกจากนี้ทุเรียนอบกรอบ ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้แก่ผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เนื่องจากไม่มีการใช้น้ำมันในกระบวนการอบแห้ง จึงสามารถลดปริมาณไขมันได้ 90% เมื่อเทียบกับทุเรียนทอด

10. เมื่อท่านได้ทราบข้อมูลข้างต้นแล้ว ท่านรู้สึกอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์ “ทุเรียนอบกรอบตัวอย่างที่ 439”

( ) ยอมรับ เพราะ.....

( ) ไม่ยอมรับ เพราะ.....

11. เมื่อท่านได้ทราบข้อมูลข้างต้นแล้ว ท่านรู้สึกอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์ “ทุเรียนอบกรอบตัวอย่างที่ 863”

( ) ยอมรับ เพราะ.....

( ) ไม่ยอมรับ เพราะ.....

ขอบพระคุณในความร่วมมือ



ภาคผนวก จ  
การวัดค่าสมบัติไดอิเล็กทริก

## การเตรียมตัวอย่าง

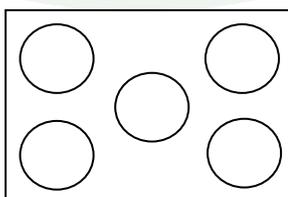
นำวิธีทุเรียนมาหั่นเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด  $6 \times 4 \times 2.5$  ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ 1) ไม่ผ่านการเตรียม 2) นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 3) นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส 4) นำไปแช่แข็งจากนั้นนำมาละลายที่อุณหภูมิห้อง

### 1. การวัดค่า

นำทุเรียนที่ผ่านการเตรียมแต่ละวิธีมาวัดด้วยเครื่อง Network Analyser โดยใช้หัววัดแบบ Open-ended coaxial probe ดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ ฉ.1 ทำการวัดโดยนำหัววัดแนบกับผิวของตัวอย่าง เครื่อง Network Analyser จะแสดงค่า Dielectric constant และค่า Dielectric loss factor ออกมา จากนั้นนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่า Loss tangent และค่าความลึกในการทะลุทะลวงของไมโครเวฟ (Penetration depth) ต่อไป การวัดค่านั้นจะทำการวัด 5 จุด ต่อ 1 ตัวอย่าง โดยวัดตรงมุมของตัวอย่างและวัดจุดกึ่งกลางตัวอย่างแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ ฉ.2



ภาพผนวกที่ ฉ.1 เครื่อง Network Analyser พร้อมหัววัดแบบ Open-ended coaxial probe



ภาพผนวกที่ ฉ.2 ตำแหน่งในการวัดค่าสมบัติไดอิเล็กทริก

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสวิตรา ไบจิว
วัน เดือน ปี ที่เกิด	7 มิถุนายน 2528
สถานที่เกิด	เชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2550
ผลงานทางวิชาการ	สวิตรา ไบจิว นันทวัน เทอดไทยและพิสิฐฐ์ ชรรมวิถี. 2554. ผลของการเตรียมวัตถุดิบก่อนการอบแห้งแบบไมโครเวฟ สุญญากาศต่อคุณภาพทุเรียนแผ่น. รายงานการประชุม ทางวิชาการ ครั้งที่ 49 มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ สาขา อุตสาหกรรมเกษตร Swittra Bai-Ngew and Nantawan Therdthai. 2009. Process Development of Durian Chips using Microwave Vacuum Drying. Presentation in the 11 <sup>th</sup> Asean Food Conference 2009. October 21-23, Bandar Seri Begawan, Brunei Darussalam. Swittra Bai-Ngew, Nantawan Therdthai and Pisit Dhamvithee. 2011. Characterization of microwave vacuum-dried durian chips. Journal of Food Engineering. 104: 114-122.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2552) ทุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ ระดับนานาชาติ ประจำปีงบประมาณ 2552