



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประยุกต์ใช้เทคนิคโอห์มมิกในกระบวนการแปรรูปมะละกอสุกแช่อิ่มอบแห้ง  
Application of Ohmic Technique in the Osmotic Dehydrated Ripped Papaya

ดร. ประมวล ศรีกาหลง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

REH

ว/351ก

2555

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 139612  
วันเดือนปี 11 ๗๘, 2558

b. 12725171  
i. ....

ชื่อโครงการ                      การประยุกต์ใช้เทคนิคโอห์มมิกในกระบวนการแปรรูปมะละกอสุกแช่อิ่ม  
อบแห้ง

แหล่งเงินทุน                    เงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ            2555 จำนวนเงิน 73,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย        1 ปี ตั้งแต่ เดือน ตุลาคม 2554 ถึง เดือน กันยายน 2555

หัวหน้าโครงการ และหน่วยงานต้นสังกัด

ดร. ประมวล ศรีกาหลง สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

จากการศึกษากระบวนการผลิตมะละกอแช่อิ่มอบแห้งด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก โดยเปรียบเทียบมะละกอที่มีความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ P1, P2 และ P3 และใช้กระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 100, 150, 200 และ 250 โวลต์ จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการแช่อิ่มอบแห้ง แล้วนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ พบว่า เมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการแช่อิ่มจะเพิ่มขึ้น โดยมะละกอสุกระดับ P3 ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่มีความต่างศักย์ 100 โวลต์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการแช่อิ่มมากที่สุด และเมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้นความชื้นหลังการอบแห้งจะลดลงเล็กน้อย ค่าแรงตึงจะลดลงเมื่อระดับความสุกของมะละกอและค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้น ค่า  $L^*$  ลดลงเมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้นแต่ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมะละกอแช่อิ่มอบแห้งไปทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งใช้มะละกอสุกระดับที่ P3 พบว่า คะแนนความชอบของค่าสีที่ความต่างศักย์ 100 โวลต์ ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด ส่วนกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อนำมะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่ใช้ค่าความต่างศักย์ 0, 100, และ 200 โวลต์ และมะละกอสด ไปตรวจหารูปร่างและการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสกน (SEM) พบว่า โครงสร้างภายในเซลล์ของมะละกอมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆ จะเกิดความเสียหายมากขึ้นเมื่อใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งจาก

การศึกษาพบว่า กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิกสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ และลดระยะเวลาของกระบวนการผลิตมะละกอแช่อิ่มอบแห้งได้

คำสำคัญ : มะละกอ, แช่อิ่มอบแห้ง, โอห์มมิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title :** Application of Ohmic Technique in the Osmotic Dehydrated Ripped Papaya

**Researcher :** Dr. Pramoun Srikalong

**Faculty :** Agro-Industry

**Department :** Food process engineering

### ABSTRACT

This research aimed to study the processing of osmotic dehydrated papaya with ohmic heating, compared difference maturity of papaya with 3 level (P1, P2 and P3) and also compared difference voltage with 5 level as 0, 100, 150, 200 and 250 volt. Then osmotic dehydrated papayas were analyzed chemical and physical properties. The result showed that the ripe of papayas were increased, total soluble solid and reducing sugars were also increased after ohmic heating. Interestingly, ripe of papayas with P3, which treated with ohmic heating at 100 volt, showed highest in amount of total soluble solid. When ripe of papaya were increased, moisture content of papaya after dehydrated was decreased. Moreover, when ripe of papayas and voltage were increased, hardness of osmotic dehydrated papaya decreased. When ripe of papayas were increased, the color (L\*) of osmotic dehydrated papayas decreased while a\* and b\* increased. The sensory result showed that color of osmotic dehydrated papaya at ripe of papaya with P3 treated ohmic heating at 100 volt had high acceptance. However, odor flavor texture and overall liking exhibited non-significantly acceptance. In order to investigate structure and transformation in cells of osmotic dehydrated fresh papayas, fresh papayas was treated with varying voltage (0, 100 and 200 volt) were analyzed by Scanning Electron Microscope (SEM). The results show that cell structures of osmotic dehydrated papaya were changed. Therefore, the damage of cells was increased when voltage was increased. The study showed that ohmic heating technique improve process performance and reduce the duration of osmotic dehydrated papaya.

**Keywords :** papaya, Osmotic Dehydrated, Ohmic

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัย ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัย จากแหล่งทุน เงินรายได้ ประจำปี 2555 และ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่อำนวยความสะดวกในการบริการสถานที่ ที่ทำงานวิจัยทำงานได้สะดวกยิ่งขึ้น

ประมวล ศรีกาหลง

ผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง	3
2.2 การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส	10
2.3 น้ำตาล (Sugar)	15
2.4 มะละกอ	16
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
<b>บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง</b>	<b>22</b>
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	22
3.2 วิธีการทดลอง	22
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์</b>	<b>27</b>
4.1 การออกแบบและสร้างเซลล์การทดลอง	27
4.2 ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วย กระแสไฟฟ้าแบบ โอห์มมิก	30

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลของระดับความสูงของมะละกอ และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีผลต่อ มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	31
4.4 ศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	36
4.5 ตรวจสอบรูปร่างและการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสกน (Scanning Electron Microscope)	37
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>39</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>41</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>46</b>
ภาคผนวก ก	47
ภาคผนวก ข	49
ภาคผนวก ค	53
ภาคผนวก ง	55
<b>ประวัตินักวิจัย</b>	<b>60</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความหวานของสารให้ความหวานอื่นๆ เมื่อเทียบกับน้ำตาลซูโครส	16
2.2 แสดงคุณค่าทางอาหารส่วนที่กินได้ของมะละกอ 100 กรัม	17
4.1 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง โอห์มมิค	30
4.2 ผลของระดับความสูงของมะละกอและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	33
4.3 ผลของระดับความสูงของมะละกอและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	35
4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	36
ข1 ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	50
ข2 ความแปรปรวนของความชื้นของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	50
ข3 ความแปรปรวนของค่า $L^*$ , $a^*$ และ $b^*$ ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	50
ข4 ความแปรปรวนของค่าแรงตึงผิวของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	51
ข5 ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	52

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 Schematic of a continuous-flow ohmic heating installation	4
2.2 Detail of the ohmic heating column	4
3.1 ระดับความสุกต่างๆของมะละกอ	24
3.2 กระบวนการผลิตมะละกอแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก	25
4.1 แสดงโครงสร้างภายนอกของเครื่องโอห์มมิก (Ohmic heating)	27
4.2 แสดงภาพร่างเซลล์ไฟฟ้า และแผ่นขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้ สำหรับการทดลองของเครื่องโอห์มมิก	28
4.3 แสดงเซลล์ไฟฟ้าและขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้สำหรับการทดลองของเครื่องโอห์มมิก	28
4.4 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ควบคุมและวัด ที่ใช้สำหรับการทดลองของเครื่องโอห์มมิก	29
4.5 แสดงภาพรวมของเครื่องโอห์มมิก	30
4.6 ค่าการนำไฟฟ้าของเซลล์การทดลองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน	31
4.7 ผลของระดับความสุกของมะละกอและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	32
4.8 ผลของระดับความสุกของมะละกอและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีปริมาณความชื้นของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	32
4.9 รูปร่างภายในเซลล์ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสกน (SEM)	38
ง1 มะละกอ	56
ง2 หั่นมะละกอเป็นชิ้นขนาดกว้าง 1 นิ้ว ยาว 2 นิ้วหนา 1 เซนติเมตร	56
ง3 แช่มะละกอในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.3	57
ง4 มะละกอขณะผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก	57
ง5 มะละกอแช่ในสารละลายซูโครส	58
ง6 มะละกอขณะอบแห้ง	58
ง7 มะละกอที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มอบแห้งแล้ว	59

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย

กระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งในปัจจุบันยังคงมีความสำคัญ เนื่องจากสามารถผลิตและส่งออกได้อย่างต่อเนื่อง เพราะประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตผลไม้ที่มีคุณภาพและมีมูลค่าการส่งออกที่สูงมาก ตัวอย่างปริมาณการส่งออกในแต่ละปีเรียงลำดับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541-2544 มีมูลค่าการส่งออก 8,949.02 13,448.52 9,696.16 และ 10,734.70 ล้านบาท (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2545) ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างผลไม้ที่มีการผลิตเป็นผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเพื่อการส่งออกต่างประเทศในอันดับต้นๆ ได้แก่ มะม่วง สับปะรด และ มะละกอ เป็นต้น ในกระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งส่วนใหญ่จะต้องใช้ผลไม้ที่มีความสุกมากไม่ได้ (ห้าม) เนื่องจากจะทำให้เนื้อสัมผัสไม่เป็นที่ต้องการของตลาดจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความค้อยในเรื่องของกลิ่น และรสชาติ ในบางกรณีอาจจะต้องการมีการเติมสารปรุงแต่งอื่นๆ ลงไปในผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ เช่น การเติมสี ในมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง เป็นต้น หรืออาจจะต้องการเพิ่มกลิ่นให้เป็นที่ต้องการของตลาด

ดังนั้นจึงมีแนวความคิดในการนำกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง (Ohmic heating process) มาใช้ในการปรับโครงสร้างของเนื้อเยื่อมะละกอเพื่อให้เกิดรูพรุนด้วยกระแสไฟฟ้าสลับ โดยตรง เพื่อให้เนื้อเยื่อสามารถยอมรับการซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลได้เร็วกว่าปกติโดยมะละกอยังคงสภาพอยู่ได้ เนื่องจากกระบวนการนี้จะไม่ผ่านขั้นตอนการนำผลไม้ไปต้มแบบวิธีดั้งเดิม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นและรสของผลไม้ที่ดีไม่ต้องใส่สารเติมแต่ง นอกจากจะทำการทดสอบคุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งแล้ว จะทำการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีทดสอบโดยผู้ทดสอบชิมมาเป็นแนวทางในการตัดสินใจยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการในการผลิต

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 สร้างอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิกที่มีขนาดเล็กสะดวกในการใช้งาน

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก

1.2.3 ศึกษาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าและความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่มีผลต่อมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

1.2.4 ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

1.2.5 ศึกษารูปร่างและการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสกน (Scanning Electron Microscope)

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโหม้มมิก รวมถึง การทดสอบระบบการทำงาน ของอุปกรณ์ที่เหมาะสม โดยสามารถใช้ได้กับมะละกอที่มีลักษณะภายนอกแตกต่างกัน ทั้งรูปร่างและขนาด และเปรียบเทียบความสามารถในกระบวนการผลิตมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ของอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโหม้มมิก ที่สร้างขึ้น และทดสอบการยอมรับของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อผลิตภัณฑ์

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้อุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโหม้มมิก รวมถึงการทดสอบระบบการทำงาน ของอุปกรณ์ที่เหมาะสม ทั้งรูปร่างและขนาด และได้ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตมะละกอแช่อิ่มอบแห้งแบบใช้สารเคมีน้อย

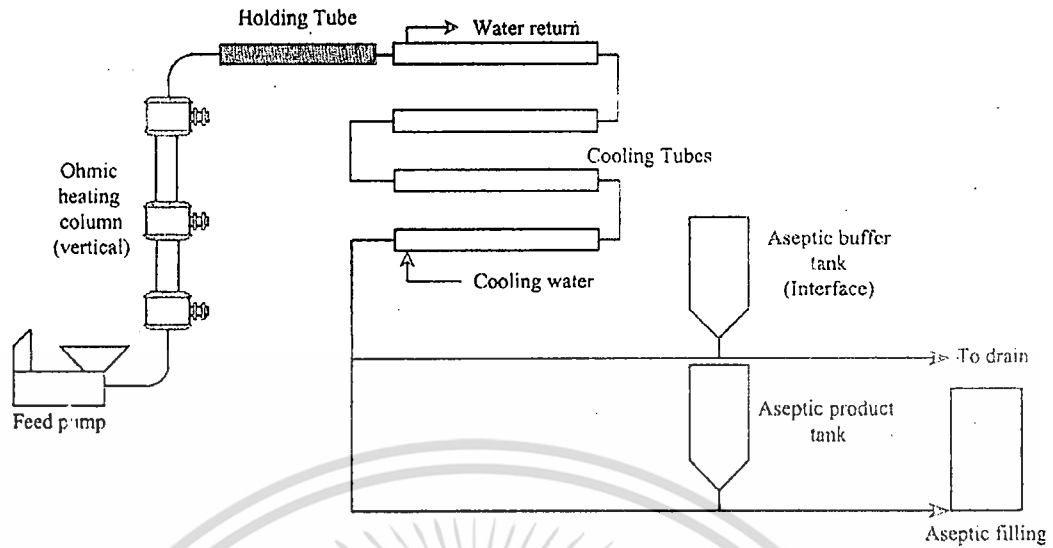
## บทที่ 2

### ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง

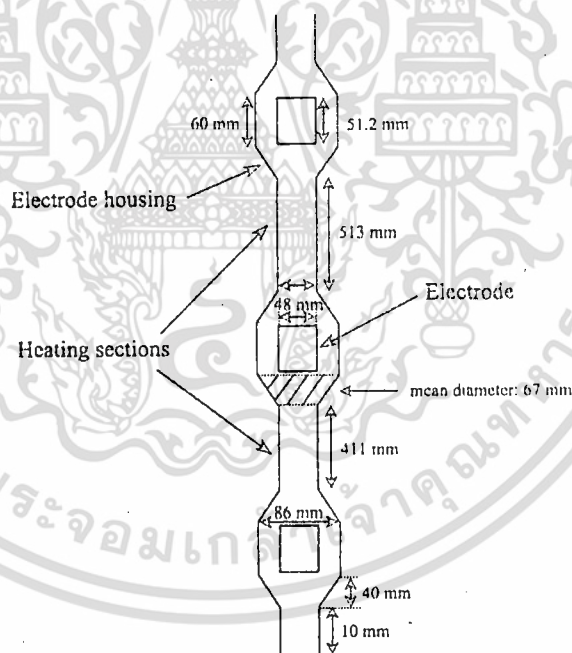
กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงปัจจุบันได้มีความพยายามในการนำกระบวนการให้ความร้อนแบบ โอห์มมิคมาใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารมากขึ้น เนื่องจากวิธีการนี้มีข้อได้เปรียบวิธีการให้ความร้อนแบบต่างๆ ไปได้คือ (Skudder, 1989)

- 1) พลังงานที่ได้จะอยู่ในรูปความร้อนซึ่งจะเกิดอย่างทั่วถึงในของเหลวทำให้ลดระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวรอบๆ ไปยังชิ้นอาหารแข็ง จึงเหมาะสำหรับการผลิตอาหารที่มีความหนาแน่นของชิ้นอาหารแข็งอยู่สูง
- 2) เครื่องเดินเรียบและดูแลรักษาง่ายสามารถล้างเครื่องมือหลังการใช้งาน โดยใช้ระบบ C.I.P (Cleaning in Place) ทั่วไปได้
- 3) อาหารถูกทำลายลดลง เนื่องจากการเสียดสีที่ผิวของผลิตภัณฑ์เพราะความร้อนที่อาหารได้รับส่วนใหญ่ไม่ได้มาจากการส่งถ่ายความร้อนบริเวณผิวและเวลาในการให้ความร้อนสั้น
- 4) เป็นกระบวนการที่สามารถควบคุมได้ง่ายและแม่นยำ
- 5) ขยายกำลังผลิตได้ง่าย
- 6) สามารถออกแบบให้ถูกต้องตามหลักสุขอนามัยอาหารได้ง่าย
- 7) การนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ทำให้ดีกว่าการให้ความร้อนโดยไม่โครเวฟทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำกว่า
- 8) ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย
- 9) การแปลงพลังงานมีประสิทธิภาพมาก
- 10) การลงทุนต่ำ
- 11) กระบวนการนี้เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่แตกได้ง่าย เพราะไม่ต้องการมีการกวนในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน เช่น ซุปที่มีการใส่ชิ้นของอาหารแข็งลงไปด้วย
- 12) สามารถให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางอื่นในการถ่ายเทความร้อน



ภาพที่ 2.1 Schematic of a continuous-flow ohmic heating installation

ที่มา : Sandrine et al., 2001



ภาพที่ 2.2 Detail of the ohmic heating column

ที่มา : Sandrine et al., 2001

ภาพที่ 2.1 แสดงผังกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก และภาพที่ 2.2 แสดงรายละเอียดภายในท่อให้ความร้อนของกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

### 2.1.1 ปัจจัยที่มีสำคัญในการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

#### 2.1.1.1 สมบัติของผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกแก่อาหารก็คือ สมบัติการนำไฟฟ้าของอาหารและส่วนผสมของอาหาร โดยค่าการนำไฟฟ้าของอาหารนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sigma = \frac{LI}{AV}$$

โดยที่  $\sigma$  = ค่าการนำไฟฟ้า (S/m)  
 $L$  = ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (m)  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด (m<sup>2</sup>)  
 $V$  = แรงดันไฟฟ้า

องค์ประกอบของอาหารจะมีบทบาทต่อสภาพการนำไฟฟ้าของอาหาร เช่น สภาพการนำไฟฟ้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่ออาหารมีสารประกอบพวกไอออนิก (เกลือ) กรดและ ความชื้น ในขณะที่สภาพการนำไฟฟ้าของอาหารจะลดลงเมื่ออาหารมีไขมัน น้ำมันและแอลกอฮอล์ โดยสภาพการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและสภาพการนำ ไฟฟ้าจะลดลงเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น ในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก สภาพการนำ ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำและรูปแบบของคลื่นไฟฟ้ามีอิทธิพลต่อค่าการนำ ไฟฟ้าของอาหารกล่าวคือ คลื่นไฟฟ้าแบบพื้นเดี่ยวสามารถทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ในบาง กรณี ในขณะที่คลื่นไฟฟ้าแบบสี่เหลี่ยมจตุรัสจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง อัตราการให้ความร้อน ของการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สภาพการนำ ไฟฟ้าของอาหารและชนิดของอาหาร โดยที่ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถควบคุมได้ ด้วยการปรับช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดหรือการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามค่าการนำ ไฟฟ้าของอาหารเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด อย่างไรก็ตามสามารถจะปรับสมบัติการนำไฟฟ้าของอาหาร ได้โดยการเติมสารพวกอิเล็กโทรไลต์ (electrolytes) (Ruan et al., 2002)

Icier et al. (2006) ศึกษาผลของอุณหภูมิและสภาพการนำไฟฟ้าในระหว่างการ ให้ความร้อนแบบโอห์มมิกของซูปผลไม้มัด 2 ชนิด คือ ซูปแอฟริคิโอทและซูปท้อ พบว่า อุณหภูมิของ ซูปผลไม้มัดจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าของซูปผลไม้มัด ซึ่งซูปแอฟริคิโอทจะมี อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงกว่าซูปท้อในทุกระดับความเข้มข้นสนามไฟฟ้าและซูปผลไม้มัด เกิดฟองขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 °C ที่ความเข้มข้นสนามไฟฟ้าระดับสูง

Castro et al. (2004) ศึกษาการนำไฟฟ้าระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ของเนื้อสตรอเบอร์รี่และผลิตภัณฑ์สตรอเบอร์รี่ พบว่า อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าของทุกผลิตภัณฑ์ โดยเนื้อสตรอเบอร์รี่และผลิตภัณฑ์สตรอเบอร์รี่ จะมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

สำหรับสมบัติอื่นของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลต่อการกระจายของอุณหภูมิ ได้แก่ ความหนาแน่น และ specific heat ของผลิตภัณฑ์อาหาร สภาพการนำความร้อนจะต่ำลงเมื่อความหนาแน่นและ specific heat มีค่าสูง ในขณะที่ความหนืดของของเหลวมีอิทธิพลต่อการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก คือ อาหารที่มีความหนืดของของเหลวที่สูงจะเกิดการร้อนที่เร็วกว่าอาหารที่มีความหนืดของของเหลวต่ำเมื่อนำไปให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (Lima, 2007)

#### 2.1.1.2 เนื้อสัมผัสของอาหาร

อาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปจำเป็นต้องมีการประเมินค่าสมบัติทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณภาพดีขึ้นนั้นมาจากการลดระยะเวลาในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ มีผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการจำนวนมากที่ชี้ให้เห็นว่า เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกมีศักยภาพที่จะรักษาคุณภาพตลอดจนอายุการเก็บรักษาเนื้อสัมผัสของอาหารได้

Ozkan et al. (2004) แสดงให้เห็นว่าแฮมเบอร์เกอร์ที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการพาความร้อนร่วมกับการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกมีคุณภาพและสมบัติไม่แตกต่างกับแฮมเบอร์เกอร์ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบพาความร้อนตามวิธีการดั้งเดิม

#### 2.1.1.3 เจลาติไนเซชัน (gelatinization)

เจลาติไนเซชันของสตรอเบอร์รี่มีอิทธิพลต่อสภาพการนำไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์อาหาร งานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านนั้น แสดงให้เห็นว่า การลดลงของค่าการนำไฟฟ้าของอาหารจะขึ้นอยู่กับระดับของเจลาติไนเซชัน (degree of gelatinization) และยังพบว่ากระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก สามารถทำให้เกิดเจลที่มีโครงสร้างที่แข็งแกร่งกว่าการให้ความร้อนแบบพาความร้อน (วิธีการให้ความร้อนแก่อาหารดั้งเดิม) เนื่องจากการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกสามารถทำให้อาหารร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้อีกด้วย (Lima, 2007)

#### 2.1.1.4 การสร้างความร้อน (heat generation)

ในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกจะมีความร้อนถูกสร้างขึ้นภายในอาหาร ซึ่งไม่สามารถรู้ถึงรูปแบบที่แน่ชัดได้ ดังนั้นการทํานายสมการเพื่อประมาณค่า heat generation จึงมีความสำคัญเพื่อต้องการตอบคำถามที่เป็นปัญหาในกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก โดยคำถามที่ต้องหาคำตอบคือ (1) cold spot ตรงใจกลางของผลิตภัณฑ์อาหารอยู่ตรงไหน (2) วิธีไหนที่มีความรุนแรงเพียงพอที่จะส่งผ่านเข้าไปใน cold spot ได้ (3) แน่ใจได้อย่างไรว่าวิธีนั้นมีความรุนแรงเพียงพอ โดยคำตอบของปัญหาเหล่านั้นคือ ต้องหาอัตราการสร้างความร้อน (rate of heat generation) โดยพิจารณาจากสภาพการนำไฟฟ้าของส่วนประกอบของอาหารและทิศทางการ

ไหลของอาหารผ่านเข้าไปในส่วนให้ความร้อนของกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (Lima, 2007)

2.1.2 การศึกษาและการนำกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารเพื่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์และเอ็นไซม์

### 2.1.2.1 ใช้ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ และสเตอริไลส์

สำหรับกระบวนการพาสเจอร์ไรส์นม เช่น Fatterman (1928) ศึกษาวิธีการให้ความร้อนด้วยกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกกับน้ำนม ซึ่งในขณะนั้นใช้ชื่อเรียกกระบวนการนี้ว่า Electropure process โดยวิธีการนี้สามารถทำลายจุลินทรีย์ในกลุ่ม tubercle bacilli ได้อย่างสมบูรณ์ กลิ่นของนมที่ได้จากกระบวนการนี้คล้ายกับ certified milk และข้อดีของกระบวนการนี้คือ ไม่ทำลายวิตามินในน้ำนม ซึ่งในเวลาต่อมา Getchell (1935) รายงานว่า การพาสเจอร์ไรส์นม โดยการใช้ไฟฟ้ามีผลในการทำลายแบคทีเรียได้หลายชนิดซึ่งวิธีการพาสเจอร์ไรส์แบบอื่นมีผลน้อยกว่า การพาสเจอร์ไรส์น้ำนมด้วยไฟฟ้าจะไม่ทำลายคุณสมบัติของนมธรรมชาติ หรือทำลายน้อยมาก และ Moses (1938) ศึกษาการพาสเจอร์ไรส์นมแบบโอห์มมิก ได้รายงานว่าในช่วงเวลาที่ทำการศึกษานั้น มีโรงงานผู้ผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธีนี้ 40 ถึง 50 ราย ซึ่งสามารถผลิตและจำหน่ายให้กับผู้บริโภคได้ถึงวันละห้าหมื่นคน และพบว่าเป็นเทคโนโลยีการพาสเจอร์ไรส์ที่ปลอดภัย

ส่วนการพาสเจอร์ไรส์ผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่นน้ำผลไม้ต่างๆ Hung and Jindal (1992) ศึกษากระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เพื่อใช้ในการพาสเจอร์ไรส์น้ำผลไม้ จากการทดลองสร้างเครื่องที่ใช้ในการให้ความร้อนมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม โดยให้น้ำผลไม้ไหลไปตามแนวยาวของกล่องสี่เหลี่ยมจากส่วนล่างขึ้นบน และปล่อยไฟฟ้ากระแสสลับตัดผ่านแนวการไหลของน้ำผลไม้ โดยอาศัยหลักสมดุลพลังงาน การเขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ และอุณหภูมิของน้ำผลไม้ เพื่อที่จะสามารถกำหนดค่าความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้า และอัตราการไหลของน้ำผลไม้ที่จะใช้ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมการคำนวณให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองปฏิบัติจริง หลังจากเดินเครื่องเพื่อปรับสภาพระบบอุณหภูมิของน้ำผลไม้จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องจนถึงระดับพาสเจอร์ไรส์ในเวลาน้อยกว่า 100 วินาที (ให้อัตราการไหลสูงกว่า 160 กรัมต่อนาที) การพาสเจอร์ไรส์น้ำส้ม และน้ำสับปรดที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆกันเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพาสเจอร์ไรส์ โดยใช้หม้อน้ำต้ม พบว่าวิธีการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงจะมีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำผลไม้ ซึ่งผลการทดลองของ Hung and Jindal (1992) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประมวล ศรีกาหลง (2539) ในปี ค.ศ. 1993 บริษัท APV Baker ได้สร้างเครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิกขึ้นในทางการค้าจนถึงปัจจุบัน ซึ่งสามารถพาสเจอร์ไรส์ผลิตภัณฑ์อาหารเหลว ได้ในอัตราสูงถึง 3,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนการศึกษาในเชิงลึกของการ

เปลี่ยนแปลงของอาหารเมื่อทำการพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธีนี้มีมากมาย เช่น การศึกษาความคงตัว และอายุการเก็บที่มีผลต่อประสาทสัมผัสของการพาสเจอร์ไรส์น้ำส้มด้วยวิธีโอห์มมิก โดย Leizeron and Shimoni (2005) พบว่า การพาสเจอร์ไรส์น้ำส้มสายพันธุ์ต่างๆ จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี เช่นเดียวกับการใช้ไอน้ำ แต่จะมีความคงตัวและมีอายุการเก็บที่มากกว่าถึง 2 เท่า หรืออีกตัวอย่างหนึ่งคือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันแพะที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธีโอห์มมิก ซึ่งเป็นงานวิจัยของ Pereira et al. (2008) พบว่าการพาสเจอร์ไรส์น้ำมันแพะด้วยวิธีโอห์มมิก ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณของกรดไขมันอิสระ

สำหรับการนำกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ไปใช้ในการสเตอริไลส์ผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การศึกษาการสเตอริไลส์อาหารประเภทผลไม้ เช่น แอปเปิ้ลแดง แอปเปิ้ลเหลือง ลูกพีช ลูกแพร์ สับปะรด และ สตรอเบอร์รี่ เทียบกับ เนื้อสัตว์ประเภทต่างๆ เช่น เนื้อไก่ เนื้อหมู และ เนื้อวัว ซึ่งใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงถึง 140 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของทุกผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่ออุณหภูมิในการฆ่าเชื้อสูงขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลไม้สดจะมีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำกว่าประเภทเนื้อสัตว์ (Sanjay et al., 2008) และอีกตัวอย่างหนึ่งที่มีการศึกษาผลของการสเตอริไลส์แบบโอห์มมิกที่มีต่อจุลินทรีย์ และการเสถียรภาพของโปรตีนในน้ำมัน โดย Huixian et al. (2008) พบว่าสามารถลดระยะเวลาในการทำลายเชื้อ *Streptococcus thermophilus* 2646 ได้มากกว่าแบบการใช้ไอน้ำในการพาสเจอร์ไรส์ แต่การตกตะกอนของโปรตีนในน้ำมันไม่มีความแตกต่างกันในทั้ง 2 วิธี

#### 2.1.2.2 ใช้ในกระบวนการลวกผลิตภัณฑ์ทางอาหาร

เช่น การศึกษาของ Mizrahi et al. (1975) ศึกษาการใช้กระแสไฟฟ้าในการลวกผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งผู้ศึกษาได้อธิบายว่า ก่อนหน้านี้วิธีการทั่วไปที่ใช้ในการลวก คือ มักจะใช้ไอน้ำร้อน หรือ ไอน้ำ ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ ในกรณีที่จะต้องมีการลวกผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดชิ้นใหญ่ เช่น ข้าวโพดทั้งฝัก การถ่ายเทความร้อนแบบการนำจะต้องใช้เวลานาน และอาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากการทดลองลวกข้าวโพดทั้งฝัก อุณหภูมิของข้าวโพดจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในอัตรา 2-3 องศาเซลเซียสต่อวินาที เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 380 โวลต์ และใช้แผ่นขั้วไฟฟ้าที่มีความยาว 7 เซนติเมตร โดยไม่มีผลต่อกลิ่นรสของข้าวโพดภายหลังการลวก และยังมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอย่างสมบูรณ์ ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่า 3 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลวกโดยใช้ไอน้ำต้องใช้เวลาถึง 17 นาที ถึงจะให้ผลจากการลวกเท่ากัน อีกตัวอย่างหนึ่งเป็นการศึกษาการลวกถั่วบดเพื่อศึกษาผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ซึ่งศึกษาโดย Filiz et al. (2006) พบว่าเมื่อทำการลวกถั่วบดด้วยวิธีโอห์มมิกเทียบกับการลวกโดยใช้ไอน้ำร้อน การลวกด้วยวิธีโอห์มมิกจะใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์ดีที่สุดที่เวลาในการลวก 54 วินาที อีกตัวอย่างหนึ่งเป็นการศึกษาการลวกผลิตภัณฑ์อาหารชนิดที่เป็นแบบของเหลวที่มีของแข็งปน โดย

ใช้เนื้อไก่ในซอสเป็นตัวแทนในการทดลอง ซึ่งศึกษาโดย Sarang et al. (2007) พบว่า เมื่อมีการลวกผลิตภัณฑ์ก่อนการนำไปให้ความร้อนจะเป็นผลดีมาก เนื่องจากจะทำให้เมื่อนำไปให้ความร้อนแล้ว การกระจายความร้อนจะดีขึ้น และผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับเป็นอย่างดี

### 2.1.2.3 ใช้ในกระบวนการอื่นๆ

การศึกษากระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงแบบอื่นๆ ที่นำมาใช้กับกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น Sandrine et al. (2001) ทดลองใช้กระแสไฟฟ้าในการให้ความร้อนกับอาหารที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง เช่น ดอกกะหล่ำ ซึ่งได้ผลดีเป็นอย่างดี ในปี ค.ศ. 2003 มีการทดลองการเพิ่มปริมาณการสกัดน้ำมันรำข้าวจากรำข้าวดิบโดย Lakkakula et al. ซึ่งสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้สูงสุดถึงร้อยละ 92 ในปี ค.ศ. 2004 มีการทดลองใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงในการทำให้ แสมเบอเกอร์ที่ทำจากเนื้อให้สุก โดย Ozkan et al. พบว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยวิธีการอื่น ในปี ค.ศ. 2007 มีการทดลองใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงในการผลิตเต้าหู้แข็ง โดย Wang et al. ซึ่งพบว่า ช่วยให้เต้าหู้แข็งขึ้น และลดการซึมออกมาของน้ำจากก้อนเต้าหู้ได้ดีขึ้นอีกด้วยหรือมีการทดลองใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงกับผักหรือผลไม้ก่อนที่จะนำไปอบแห้ง โดย Lima and Sastry (1999) ซึ่งจะมีผลดีคือ จะทำให้อัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้น

นอกจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการให้ความร้อนแล้ว ยังมีผู้ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ที่มีต่อจุลินทรีย์ที่สามารถปนเปื้อนอยู่ในอาหารด้วย ตัวอย่าง เช่น Ockerman and Szczawinski (1984) และ Palaniappan et al. (1991) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของ กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงร่วมกับการใช้สารเคมีที่มีต่อการทำลายแบคทีเรีย โดยได้สรุปผลที่เกิดขึ้นว่า อนุมูลเคมีอิสระ และไอออนของโลหะจากขั้วไฟฟ้าสามารถทำให้แบคทีเรียตาย โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จะเพิ่มขึ้นอย่างมากตามการแพร่ผ่านของสารประกอบเคมีที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ภายใต้ปฏิกิริยาของการช็อคด้วยกระแสไฟฟ้า ผลของความร้อนจะมีผลน้อยเมื่อใช้ความต่างศักย์สูงในการให้ความร้อน ในขณะที่ความร้อนเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้แบคทีเรียตาย เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำ สำหรับยีสต์ Palaniappan et al. (1991) ได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า และการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า ร่วมกับการใช้วิธีการให้ความร้อนแบบอื่น ต่อการตายของจุลินทรีย์ที่เลือกมาทำการทดลอง สารละลายของยีสต์ *Zygosaccharomyces bacilli* ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พบว่า สามารถใช้กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงในการทำลายเซลล์ได้เป็นอย่างดี

การศึกษาในด้านการทำให้เนื้อเยื่อพืชเป็นรูปพรุนเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการสกัดสารสำคัญ และน้ำผลไม้จากผลไม้ชนิดต่างๆ ของไทยมีหลายงานวิจัย เช่น Pramoun et al. (2011) ศึกษาผลของกระบวนการโอโซนที่มีต่อการเพิ่มปริมาณน้ำฝรั่งคั้นสด

## 2.2 การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส

การทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสหรือตามที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า การแช่ซึม เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งผลไม้ที่ไวต่อความร้อนหรือผลไม้ประเภทที่มีเนื้ออ่อนนุ่ม (soft fruit) เนื่องจากโดยวิธีนี้ผลไม้ไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานแบบวิธีอบแห้งธรรมดา จึงช่วยลดความเสียหายเนื่องจากความร้อน (heat damage) ต่อกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินในผลไม้ นอกจากนี้สารละลายน้ำตาลที่ใช้ที่มีความเข้มข้นสูงทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาน้ำตาลทำงานได้น้อยลงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนสี จึงไม่จำเป็นต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือใช้เพียงเล็กน้อย ผลไม้ที่ทำแห้งโดยวิธีนี้จึงยังคงรักษากลิ่นรสและสีตามธรรมชาติไว้ได้ (Ponting et al., 1966)

การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิสเป็นกระบวนการแยกน้ำออกจาก cellular material เช่น ผักผลไม้ โดยอาศัยหลักการของการออสโมซิสในการกำจัดน้ำบางส่วนจากผลไม้ก่อนนำไปอบแห้ง โดยกระบวนการออสโมซิสสามารถกำจัดน้ำได้ประมาณร้อยละ 30-50 ของน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นผลไม้ ก่อนนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นที่ต้องการ การแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น ซึ่งมีผลให้ปริมาณน้ำในผลไม้ลดลงและมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เพราะการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาลซึ่งมีค่าออสโมติกที่ต่ำกว่าจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผักผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก โดยที่เซลล์เมมเบรนของผักผลไม้ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) กั้นอยู่ระหว่างสารละลายที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากัน การไหลที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะสวนทางกัน กล่าวคือ น้ำจะแพร่ออกจากผลไม้ ในขณะที่เดียวกันน้ำตาลก็จะแพร่เข้าไปในเนื้อผักผลไม้ แต่การแพร่ของน้ำตาลจะเกิดขึ้นช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสจึงอาศัยความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ระหว่างน้ำตาลกับน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณของน้ำที่ต้องการจะดึงออก การแลกเปลี่ยนมวลสารที่เกิดขึ้นจะดำเนินไปจนกระทั่งสารละลายมีวอเตอร์แอคติวิตีสมดุล แต่อัตราการอบแห้งของตัวอย่างผักผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสจะต่ำกว่าผักผลไม้ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากสารละลายน้ำตาลที่เข้าไปในชิ้นผักผลไม้จะมีผลในการต้านทานการแพร่ออกของน้ำในชิ้นผลไม้ (Islam and Flink, 1982) การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในเนื้อผลไม้ทำให้ความต้านทานการถ่ายโอนมวลสาร (น้ำ) สูงขึ้น จากการศึกษาของ Karathanos, et al. (1995) พบว่า ชิ้นแอปเปิ้ลที่แช่ในน้ำเชื่อมเข้มข้นร้อยละ 45 มีอัตราการทำแห้งต่ำกว่าชิ้นแอปเปิ้ลที่ผ่านการแช่ในน้ำเชื่อมเข้มข้นร้อยละ 15 และชิ้นแอปเปิ้ลที่ผ่านการแช่ในน้ำตาลจะมีอัตราการทำแห้งต่ำกว่าชิ้นแอปเปิ้ลสด เนื่องจากน้ำตาลแทรกเข้าไปอยู่ตามรูเล็กๆ ภายในเนื้อแอปเปิ้ลมากขึ้นทำให้ความพรุนของเนื้อแอปเปิ้ลลดลง ซึ่งน้ำจะแพร่กระจายผ่านออกมาได้ยากขึ้น แต่การออสโมซิสก็สามารถช่วยรักษาคุณภาพทางด้านกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ เมื่อผลไม้ผ่านการออสโมซิสด้วยเวลาที่เหมาะสมแล้วนำ

ขึ้นมาล้างสารละลายน้ำตาลที่ติดมาด้วยน้ำเย็น ชับน้ำให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปอบแห้งต่อไปด้วยเครื่องอบแห้งแบบธรรมชาติหรือแบบสุญญากาศจนได้ความชื้นที่ต้องการ และนอกจากนี้การทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสยังทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ขึ้น เช่น แครอทอบแห้ง เป็นต้น (Ponting et al., 1966)

2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของการซึมของน้ำออกจากเซลล์ผลไม้ (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533)

#### 2.2.1.1 ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และความสุข

ผลไม้บางชนิดสามารถทำได้เร็ว บางชนิดทำได้ช้า ทั้งนี้ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของ cell wall และ cell membrane พบว่าสับปะรดสามารถทำได้เร็วกว่ามะละกอ และมะม่วง ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละพันธุ์ จะมีอัตราในการทำที่แตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ความสุกก็มีผล ผลไม้สุกจะทำได้เร็วกว่าผลไม้ดิบ แต่ถ้าสุกเกินไปผลไม้จะไม่มารับประทาน

#### 2.2.1.2 สารละลายที่ใช้และความเข้มข้น

พบว่าสารละลายกลูโคสช่วยกำจัดน้ำได้ดีกว่าฟรุคโตส (Lerici et al., 1985) และสารละลายชนิดเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจะทำให้ให้น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น แต่ในขณะเดียวกันน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในผลไม้ได้มากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นจึงเป็นข้อดีอันหนึ่งของวิธีการนี้ คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่หวานจนเกินไป

#### 2.2.1.3 อุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิของน้ำเชื่อมที่ใช้แช่สูงขึ้นน้ำจะซึมออกจากเซลล์ได้เร็วขึ้น

#### 2.2.1.4 อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำเชื่อมและผลไม้

อัตราส่วนนี้เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ให้น้ำซึมออกเร็วขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่ซึมออกมาไม่ค่อยมีผลให้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมลดลง ในกรณีที่น้ำเชื่อมมีความเข้มข้นมาก ดังนั้น แรงขับ (driving force) ซึ่งคือความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำภายในเซลล์และภายนอกมีค่าสูงอยู่ตลอดเวลา

#### 2.2.1.5 การกวน

การกวนช่วยไม่ให้เกิดการสะสมของน้ำที่ซึมออกมาอยู่ล้อมรอบผลไม้ ซึ่งถ้าเป็นเช่นนี้จะทำให้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่สัมผัสกับผลไม้ลดลงมาก และน้ำจะซึมออกมาได้น้อย นอกจากวิธีการกวนแล้วในอุตสาหกรรมอาจใช้วิธีการระเหยน้ำ ทำให้น้ำเชื่อมเข้มข้นขึ้นแล้วทำให้ไหลเวียนผ่านผลไม้อย่างต่อเนื่อง (continuous re-concentration)

#### 2.2.1.6 รูปร่างและขนาดของผลไม้

รูปร่างและขนาดของผลไม้มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัส : ปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะซึมออกมาได้เร็ว ผลไม้ถ้าเป็นชิ้นใหญ่จะซึมออกมาได้น้อย หรือ

ถ้ามีรูปร่างกลม น้ำจะซึมออกมาได้น้อยเช่นกัน เนื่องจากทั้งในสองกรณีนี้ พื้นที่ผิว : ปริมาตร มีค่าน้อย

#### 2.2.1.7 Pretreatment

การบ่ม การใช้อุณหภูมิที่สูงในการนึ่ง การแช่ซัลไฟต์ จะทำให้เนื้อเยื่อเปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติ และจะทำให้น้ำตาลซึมเข้าไปในเซลล์ได้มากขึ้น

2.2.2 ข้อดีและข้อเสียของการดึงน้ำออกจากอาหารด้วยแรงดันออสโมติก (ชลดา มานะกุล, 2537)

#### ข้อดี

1) กระบวนการดึงน้ำออกจากอาหารด้วยแรงดันออสโมติก จะใช้พลังงานในการทำแห้งอาหารน้อยกว่าอาหารที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการนี้มาก่อน จึงลดการสูญเสีย และ กลิ่นรสเนื่องจากความร้อน

2) น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมที่ใช้เป็นสารละลายออสโมติก สามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสของผลไม้สดซึ่งมักจะสูญเสียไปในระหว่างการอบแห้ง

3) การใช้น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสูงๆ นั้น สามารถที่จะป้องกันการเปลี่ยนสีของผลไม้จากกระบวนการ enzymatic oxidative browning ได้ ทำให้ผลไม้มีสีสวยโดยใช้สารเคมี เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ลดลงหรือไม่ใช้เลย

4) เมื่อนำผลไม้ที่ผ่านกระบวนการนี้ไปทำแห้งอีกครั้ง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแตกต่างจากผลไม้ที่ทำแห้งแบบธรรมดา เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เนื่องจากผลไม้ที่ผ่านกระบวนการนี้จะมีควมหวานสูงขึ้น เพราะน้ำตาลสามารถแพร่เข้าไปในชั้นผลไม้และมีข้อสันนิษฐานว่า กรดผลไม้จะย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวน่าจะเคลื่อนที่เข้าไปในชั้นผลไม้ได้ดีกว่าน้ำตาลโมเลกุลคู่ อย่างไรก็ตามกลไกการแพร่ของน้ำตาลและการเพิ่มของน้ำตาลชนิดต่างๆ ในชั้นผลไม้ยังไม่ชัดเจน

#### ข้อเสีย

1) ความเป็นกรดของผลไม้จะลดลง สำหรับผลิตภัณฑ์บางชนิดที่ต้องการความเป็นกรดสูงสามารถแก้ไขได้โดยเติมกรดผลไม้ลงในน้ำเชื่อม

2) เนื่องจากกระบวนการนี้ทำให้ปริมาณน้ำตาลในผลไม้เพิ่มขึ้น เมื่อนำไปอบแห้งมักเกิดเป็นฟิล์มของเกร็ดน้ำตาลที่ผิวหน้าของชั้นผลไม้ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ สามารถที่จะลดปริมาณน้ำตาลที่เคลือบผิวหน้าได้โดยนำชั้นผลไม้ไปล้างอย่างรวดเร็ว เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการดึงน้ำออกจากอาหารด้วยแรงดันออสโมติก

3) มักเกิดการหืนของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้องนานๆ อาจเกิดจากการที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (essential oil) เหลืออยู่มากกว่าผลไม้แห้งทั่วไป

4) ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการออสโมติกจะสูงกว่าอบแห้งธรรมดาโดยใช้อากาศหรือสุญญากาศ แต่จะต่ำกว่าการทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

### 2.2.3 การเตรียมผลไม้ก่อนกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ปัญหาสำคัญในการแช่ผลไม้จะส่งผลโดยตรงต่อการยอมรับของผู้บริโภคคือการเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากเอนไซม์ และการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสหลังการแช่ ปัญหาดังกล่าวนี้สามารถป้องกัน หรือชะลอการเปลี่ยนแปลงได้ โดยนำผลไม้ไปผ่านการเตรียมอย่างถูกต้องก่อนนำไปแช่ ซึ่งการใช้ความร้อนและสารเคมี เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเตรียมผลไม้ก่อนนำไปแช่

#### 2.2.3.1 การใช้ความร้อน

การลวกผลไม้ด้วยไอน้ำหรือน้ำร้อนเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลดีในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ แต่ความร้อนมักทำให้เนื้อผลไม้นุ่มลง และอาจสูญเสียปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไปกับน้ำที่ใช้ลวก นอกจากนี้ความร้อนมักทำให้กลิ่นรสของผลไม้เปลี่ยนไปไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการใช้วิธีนี้จึงควรใช้ความร้อนขั้นต่ำเพื่อให้เกิดผลกระทบกับเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลไม้น้อยที่สุด

การลวกอาจทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญไปในระหว่างการลวก ดังนั้นในการลวกควรจะใช้ระยะเวลาที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ การลวกด้วยไอน้ำจะทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าการลวกในน้ำ เนื่องจากมีการไหลผ่านของน้ำน้อยลง (Arther and Ashurst, 1996)

#### 2.2.3.2 การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารประเภทผักและผลไม้ นั้น มักจะพบว่าหลังการแปรรูปแล้วลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปในลักษณะที่เลวลง เช่น นิ่มหรือแตก เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงความกรอบหรือลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้หลังการตัดแต่งเกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการด้วยกันคือ

1) การสูญเสียน้ำโดยกระบวนการหายใจ และการคายน้ำเป็นผลให้ความดันเต่งภายในเซลล์ (cell turgor pressure) ลดลง ซึ่งสามารถชะลอได้โดยการควบคุมอุณหภูมิของผลไม้ ตัดแต่งให้ต่ำเพื่อลดการหายใจและการคายน้ำ

2) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารประกอบเพคตินที่ผนังเซลล์ในระหว่างกระบวนการสุกเป็นสาเหตุให้ผนังเซลล์อ่อนแอและไม่จับตัวกันแน่นเหมือนเดิม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพคตินมีสาเหตุหลักมาจากการสลายของสารประกอบเพคตินโดยเอนไซม์ จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าหาสารต่างๆที่จะช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสคงตัวหรือคงรูปดีขึ้นในการศึกษาทดลองพบว่าเกลือแคลเซียมจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความคงตัวของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ (ศิริวาพร ศิวเวช, 2524)

การแช่ผลไม้หลังการตัดแต่งในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ สารละลายแคลเซียม-คลอไรด์สามารถช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อผลไม้หลังการตัดแต่งได้ โดยช่วยให้เนื้อเยื่อของผลไม้มีความแข็งแรงและทนต่อการย่อยของเอนไซม์ที่หลั่งออกมาจากเนื้อเยื่อที่เสียหายจากการตัดแต่ง การแช่สารละลายแคลเซียมเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อผลไม้หลังการตัดแต่ง โดย  $\text{Ca}^{2+}$  สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินบริเวณ middle lamella และผนังเซลล์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) บนสาย polygalacturonides และประจุคู่ของ  $\text{Ca}^{2+}$  โดย  $\text{Ca}^{2+}$  ทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลบนสาย polygalacturonides สายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสาย polygalacturonides อีกสายหนึ่งเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า egg-box model เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตตซึ่งไม่ละลายน้ำ โดยถ้าใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นมาก ความกรอบก็เพิ่มมากและเวลาที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1-2 นาที อาจมีการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ให้สูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิจะช่วยให้แคลเซียมสามารถแพร่ผ่านเข้าสู่ภายในเนื้อเยื่อของผลไม้ได้มากขึ้น โดยอุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรสูงเกิน 80 องศาเซลเซียส (Luna-Gutzan et al., 1999) เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้เนื้อเยื่อผลไม้เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อน ทำให้สูญเสียความกรอบและลักษณะปรากฏที่สวยงามไป (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร, 2552)

ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 0.1-1 หากใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สูงเกินไปอาจทำให้เกิดรสขมในเนื้อผลไม้ได้ (Arther and Ashurst, 1996)

การนำผลไม้ตัดแต่งไปแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากช่วยปรับปรุงความกรอบของผลไม้ตัดแต่งแล้ว สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ยังช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของชิ้นผลไม้ตัดแต่งมีสาเหตุสำคัญมาจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase ; PPO) Luna-Gutzman et al. (1999) รายงานว่า การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 5 สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของชิ้นแตงเมลอน (fresh – cut melon) ได้ ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ (denature) จนไม่สามารถเข้าจับกับซับสเตรท (substrate) ทำให้ไม่เกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเวลาในการแช่ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1-5 นาที นอกจากนี้การแช่สารละลายแคลเซียมเป็นการช่วยชะลอเมตาบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ผลไม้ได้ เนื่องจากการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะทำให้ชิ้นผลไม้ตัดแต่งมีอัตราการหายใจต่ำลง

### 2.2.3.3 การใช้กรดซิตริก

กรดเป็นวัตถุเจือปนในอาหารที่มีความจำเป็นต่อวงการอุตสาหกรรมอาหารมาก การใช้กรดในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้จะช่วยปรับปรุงกลิ่น รส และ สีของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น (ศิวาพร ศิวเวชช, 2524) ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ช่วยปรับความเป็นกรดเบสของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลงซึ่งจะมีประโยชน์มากสำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ที่ต้องการแปรรูปด้วยความร้อน เนื่องจากการใช้ความร้อนที่สูงเพื่อทำลายจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ จะเป็นสาเหตุให้กลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เสียไป แต่หากใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปจะไม่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้หมดไป จากการศึกษาค้นคว้า พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จะสัมพันธ์กับความเป็นกรดเบสของอาหาร ถ้าผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดเบสสูงกว่า 4.5 จะต้องใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นจึงจะสามารถทำลาย *Clostridium botulinum* ได้หมด อันเป็นสาเหตุให้กลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เสียไป แต่ถ้าหากมีการปรับความเป็นกรดเบสให้ต่ำกว่า 4.5 อุณหภูมิและระยะเวลาที่ต้องใช้เพื่อฆ่าจุลินทรีย์ที่กล่าวจะลดลง ทำให้สามารถแก้ปัญหาการเกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้และในขณะเดียวกันก็จะปลอดภัยต่อผู้บริโภคด้วยและยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น นอกจากนี้กรดยังช่วยลดอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการแปรรูปของผลิตภัณฑ์ประเภทผักและผลไม้ (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

การเลือกใช้กรดในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้จะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดที่มีอยู่มากในผักและผลไม้ นั้นเป็นสำคัญ

### 2.3 น้ำตาล (Sugar)

ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Sucrose น้ำตาลโดยทั่วไปหมายถึง สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีรสหวานและให้พลังงานแก่ร่างกาย ในทางเคมีเราสามารถแบ่งน้ำตาลออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ น้ำตาลชั้นเดียว (Monosaccharide) เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโตส เป็นต้น น้ำตาลหลายชั้น (Oligosaccharide) ที่รู้จักกันดีคือ น้ำตาลทรายหรือน้ำตาลซูโครสซึ่งมีสูตรทางเคมี  $C_{12}H_{22}O_{11}$  และจัดเป็นน้ำตาลสองชั้นเพราะประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสกับฟรุกโตส พืชจะสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารตามธรรมชาติ หน่วยสุดท้ายของการสังเคราะห์สารที่จะได้คือน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลกลูโคสนี้จะถูกเก็บสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืชในรูปของแป้ง แต่มีพืชหลายชนิด เช่น อ้อย มะพร้าว ตาล หรือพืชหัว เช่น ผักกาดหวานที่มีน้ำย่อยพิเศษสามารถเปลี่ยนส่วนหนึ่งของน้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาล ฟรุกโตสและทำการสังเคราะห์น้ำตาลทั้งสองเป็นน้ำตาลซูโครสได้ (Charley, 1982)

ตารางที่ 2.1 ความหวานของสารให้ความหวานอื่นๆ เมื่อเทียบกับน้ำตาลซูโครส

ชนิดของน้ำตาล	ค่าความหวานเปรียบเทียบ
ซัคคาไรน ( saccharine )	30,600
แคลเซียมไซคลาเมต ( Calcium cyclamate )	3,380
แอสพาร์เทม	20,000
ฟรุคโตส	140
ไซลิทอล	100
ซูโครส	100
กลูโคส	64
กาแล็กโทส	59
มอลโทส	46
แล็กโทส	30

ที่มา : อรพิน ชัยประสพ, 2546

### 2.3.2 น้ำตาลในกระบวนการ osmotic dehydration

ผลของน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มี 2 ประการ คือ 1) มีผลมากในการเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ polyphenol oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่ง oxidative browning 2) ใช้ป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยไปในระหว่างการทำแห้งแม้ว่าจะทำภายใต้สภาวะสุญญากาศสูงๆ (Ponting, 1973) นอกจากนี้ น้ำตาลยังทำให้เกิดความสมดุลกับรสชาติอื่นๆ เช่น รสเปรี้ยว รสเค็ม รสขม เป็นต้น น้ำตาลที่ความเข้มข้นสูงๆ ยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด และป้องกันการเน่าเสียของอาหารได้ เนื่องจากคุณสมบัติทางฟิสิกส์ กล่าวคือ ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจะไปลดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และยิ่งไปเพิ่มแรงดันออสโมติก ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในภาวะแวดล้อมดังกล่าว แรงดันออสโมติกสูงๆ ทำให้จุลินทรีย์สูญเสียน้ำและตายได้ ด้วยเหตุนี้ผักและผลไม้ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส การเชื่อม และการกวนจึงสามารถเก็บไว้ได้นาน น้ำตาลที่นิยมใช้เป็น สารให้ความหวานคือ น้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส กลูโคส และซอร์บิทอล เป็นต้น (Pancoast and Junk, 1980)

### 2.4 มะละกอ

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Carica papaya L.*

ชื่อวงศ์ : CARICACEAE

ชื่อสามัญ : Papaya

ชื่อท้องถิ่น : มะก้วยเต็ด ก้วยเท็ด

มะละกอ (Papaya) เป็นไม้ผลชนิดหนึ่งที่ผู้บริโภคให้ความนิยมในการนำมาบริโภคกันอย่างแพร่หลาย มีลำต้นสูงประมาณ 5-10 เมตร มีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง ผลดิบมีสีเขียว เมื่อสุกแล้วเนื้อในจะมีเหลืองถึงส้มและอุดมไปด้วยสารอาหารต่างๆที่จำเป็นต่อร่างกาย นิยมนำมารับประทานทั้งสดและนำไปปรุงอาหาร เช่น แกงส้มหรือแกงเผ็ดชนิดต่างๆรวมไปถึงส้มตำ อาหารขึ้นชื่อของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้เนื้อมะละกอยังสามารถไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆได้อีกมากมาย ดังนั้นมะละกอจึงเป็นไม้ผลที่เป็นที่ต้องการของตลาดและมีแนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคสูงขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณค่าทางอาหารส่วนที่กินได้ของมะละกอ 100 กรัม

	องค์ประกอบทางเคมี	มะละกอดิบ	มะละกอสุก
Proximate	Energy (kcal)	20	51
Composition	Moisture (g)	93.1	86.9
	Protein (g)	0.6	0.8
	Fat (g)	0.1	0.3
	Carbohydrate (g)	4.2	11.3
	Crude Fiber (g)	0.9	0.5
	Ash (g)	1.1	0.2
	Minerals	Calcium (mg)	3
Phosphorus (mg)		10	22
Iron (mg)		0.3	2.5
Vitamins		β-Carotene (RE)	-
	Thiamin (B <sub>1</sub> ) (mg)	0.03	0.04
	Riboflavin (B <sub>2</sub> ) (mg)	0.1	0.03
	Niacin (B <sub>3</sub> ) (mg)	0.2	0.3
	Vitamin C (mg)	44	78

หมายเหตุ \*วิเคราะห์โดยสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

ที่มา : ดัดแปลงจาก กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2535

2.4.1 พันธุ์มะละกอ (สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 2551)

พันธุ์มะละกอที่ปลูกในประเทศไทยในช่วงแรก ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ต่อมาได้มีการปลูกกันอย่างแพร่หลาย และเกิดการผสมพันธุ์กัน จึงเกิดพันธุ์ที่มีลักษณะ

แตกต่างกันออกไปจากเดิม และได้มีการคัดเลือกพันธุ์มีลักษณะที่ดีมาปลูกต่อๆ กัน การปลูกมะละกอในท้องถิ่นใดควรคัดเลือกพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกเฉพาะท้องถิ่นนั้น เพราะมะละกอเป็นพืชที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมมาก สำหรับประเทศไทยมีการปลูกมะละกอพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์การค้าอยู่หลายพันธุ์ ได้แก่

2.4.1.1 พันธุ์พื้นเมือง เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกกันมานาน มีลักษณะคือ ต้นมีความแข็งแรง ทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี พันธุ์พื้นเมืองเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะลำต้นและผลที่ไม่ค่อยแน่นอน การออกดอกและติดผลช้ากว่าพันธุ์อื่นๆ โดยทั่วไปลักษณะผลค่อนข้างเล็กและรูปร่างค่อนข้างกลมเนื้อบาง ช่องว่างในผลกว้าง ผลเป็นเหลี่ยมเห็นได้ชัดเจน ผลดิบมีเนื้อค่อนข้างเหนียวเมื่อผลสุกเนื้อจะออกสีเหลืองและค่อนข้างและ จึงไม่นิยมบริโภคผลสุก มักนิยมใช้ประโยชน์จากผลดิบมากกว่า

2.4.1.2 พันธุ์ปากช่อง 1 เป็นพันธุ์ที่มีผลขนาดเล็กลงตรงตามความต้องการของตลาดยุโรปมีเปอร์เซ็นต์ความหวานประมาณ 12-14 องศาบริกซ์ น้ำหนักผล 350 กรัม พันธุ์นี้ลักษณะใบมี 7 แฉกใหญ่ ใบกว้าง 50-80 เซนติเมตร ยาว 45-50 เซนติเมตร ก้านใบสีเขียวปนม่วงยาว 70-75 เซนติเมตร ระยะเวลาปลูกประมาณ 8 เดือน ก็จะเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ให้ผลผลิต 30-35 กิโลกรัมต่อต้นในระยะ 18 เดือน และค่อนข้างทนต่อโรคใบด่าง (Ring Spot Virus)

2.4.1.3 พันธุ์ท่าพระ 50 เป็นพันธุ์ลูกผสมที่ได้จากการใช้มะละกอพันธุ์แขกดำเป็นต้นแม่พันธุ์แล้วทำการผสมกับมะละกอพันธุ์ฟลอริดา ทอเลอแรนท์ (Florida Tolerant) ลักษณะเป็นมะละกอต้นเตี้ยมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 1.30 เมตร ลำต้นแข็งแรง ใบมีสีเขียวเข้ม มีความทนทานต่อโรคใบจุดวงแหวนได้ดี (Papaya Ringspot Virus ; PRV) มีการเจริญเติบโตได้ดีแม้จะปลูกในพื้นที่ซึ่งมีการระบาดของโรคอย่างรุนแรงก็ตาม เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสม่ำเสมอและให้ผลผลิตค่อนข้างเร็วโดยให้ผลผลิตได้เพียง 3 เดือนหลังจากการย้ายปลูก โดยผลแรกมีการสุกในระยะเวลา 6-7 เดือน ผลมีขนาดปานกลางและมีลักษณะยาวตรง น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 1.5 กิโลกรัม เมื่อผลดิบมีสีเขียวเข้มและผิวผลไม่เรียบแต่เนื้อกรอบเหมาะสำหรับนำมาทำส้มตำ เมื่อสุกเนื้อจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้มและมีรสชาติหวานหอมน่ารับประทาน

2.4.1.4 พันธุ์โกโก้ เป็นมะละกอพันธุ์เตี้ย ลำต้นแข็งแรง ลำต้นอ่อนมีสีม่วงอยู่ประปราย แต่เมื่อโตแล้วจุดประอาจหายไปหรือยังอยู่ ก้านใบยาวมีสีน้ำตาล สีม่วงเข้ม หรือ สีเขียวอ่อน พวกที่มีก้านใบสีเขียวอ่อนหรือสีเขียว ที่บริเวณลำต้นจะมีจุดสีม่วงปรากฏอยู่ การออกดอกและติดผลค่อนข้างเร็วพันธุ์นี้มีดอกตัวผู้มาก (ประมาณร้อยละ 80) และมีดอกสมบูรณ์เพศและดอกเพศเมียน้อย (ประมาณ 20%) ผลขนาดปานกลาง ผลมีส่วนหัวเล็กและเรียวยาวไปสู่ส่วนท้ายซึ่งใหญ่ (บริเวณปลายผลโปร่งออก) ผิวผลเกลี้ยงเป็นมัน เนื้อแน่น แข็งหนา และกรอบ ผลมีช่องว่างระหว่างพูชัดเจน เมื่อผลสุกเนื้อมีสีแดงอมชมพู มีรสชาติหวาน เมล็ดมีขนาดใหญ่สีเทาถึงเหลือง เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุประมาณ 8-9 เดือน

2.4.1.5 พันธุ์แขกดำ มีลักษณะทรงพุ่มเตี้ย แข็งแรง ความสูงประมาณ 2-4 เมตร ก้านใบสีเขียวอ่อน ลักษณะสั้นและแข็งแรง ก้านใบตั้งตรงยาวประมาณ 60-80 เซนติเมตร ใบหนากว่าพันธุ์อื่นๆ มีเส้นใบ 9-11 แฉก มีการออกดอกติดผลเร็ว ผลมีขนาดปานกลาง ส่วนหัวและปลายผลมีขนาดเท่ากัน ผลยาวประมาณ 25-35 เซนติเมตร ผลในขณะที่ยังดิบเปลือกมีสีเขียวเข้ม เปลือกหนา เนื้อหนาประมาณ 2.5-3 เซนติเมตร ผลสุกมีสีส้มอมแดง เนื้อสีแดงเข้ม ช่องว่างภายในผลแคบ มีเปอร์เซ็นต์ความหวานประมาณ 9-13 องศาบริกซ์ น้ำหนักผลประมาณ 0.60-1.70 กิโลกรัม เหมาะสำหรับบริโภคสดและดิบ

2.4.1.6 พันธุ์แขกนวล เป็นพันธุ์ที่กลายพันธุ์มาจากพันธุ์แขกดำ มีการปลูกที่แถบอำเภอคำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อส่งโรงงานแปรรูป ลักษณะเตี้ย ใบสีเขียวเข้ม ผลมีขนาดปานกลาง มีลักษณะกลมยาว น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัมต่อผล เมื่อผลสุกเนื้อมีสีเหลืองเข้ม รสหวาน เปอร์เซ็นต์น้ำตาลประมาณ 13.44 องศาบริกซ์ เมล็ดมีขนาดใหญ่สีดำ เหมาะสำหรับรับประทานสด

2.4.1.7 พันธุ์สายน้ำผึ้ง เป็นมะละกอพันธุ์เตี้ย ก้านใบเขียวปนขาว ก้านใบยาวกว่าพันธุ์แขกดำ แต่แข็งแรงน้อยกว่า ในระยะออกดอกก้านใบมีสีเขียวอ่อนหรือเขียวปนขาว ก้านใบล่างมีลักษณะเอนลงสู่พื้น ใบมีขนาดกว้างแต่บาง ที่ลำต้นมีลักษณะข้อยาว ผลมีส่วนหัวเรียวยาวไปสู่ส่วนท้ายที่ใหญ่ ส่วนหัวและปลายผลมีลักษณะแหลม มีความยาวประมาณ 29 เซนติเมตร แต่อาจถึง 50 เซนติเมตร ผลมีร่องระหว่างพูเป็นเหลี่ยมชัดเจน เปลือกผลมีสีเขียว เนื้อหนาประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร เมื่อสุกเนื้อมีสีส้ม รสชาติหวาน มีเมล็ดประมาณ 350 เมล็ดต่อผล เหมาะสำหรับบริโภคสด

2.4.1.8 พันธุ์จำปาอะ มีลำต้นขนาดใหญ่ แข็งแรง ใบและก้านมีสีเขียวอ่อน การออกดอกติดผลค่อนข้างช้ากว่าพันธุ์โกโก้และแขกดำ ผลมีขนาดใหญ่ ลักษณะยาว ผลดิบมีสีเขียวอ่อน เมื่อผลสุกเนื้อมีสีเหลือง เนื้อค่อนข้างบางกว่าพันธุ์อื่นๆ ลักษณะเนื้อไม่แน่น

2.4.1.9 พันธุ์โซโล (Sunrise Solo) เป็นมะละกอพันธุ์ที่นิยมปลูกมากในต่างประเทศ โดยเฉพาะที่มลรัฐฮาวาย ให้ผลผลิตเมื่ออายุ 12-14 เดือน ผลแรกอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 1-1.5 เมตร ผลเกิดจากดอกสมบูรณ์เพศ รูปร่างคล้ายพันธุ์โกโก้แต่ค่อนข้างกลมกว่าขนาดผลยาวประมาณ 15 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณผลละ 450 กรัม เนื้อมีรสชาติหวาน

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Allali, H. et al. (2010) ได้ทำการศึกษาการลวกสตอเบอร์รี่ด้วยกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ผลของจลพลศาสตร์ต่อการถ่ายเทมวลระหว่างการแช่ต้ม พบว่า การใช้กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่อุณหภูมิ 65 และ 85 °C ร่วมกับการแช่ต้มที่อุณหภูมิ 27 และ 37 °C และใช้สารละลายซูโครสในการออสโมติกที่ 30-70 ° Brix และใช้กฎของ Frick's ในการคำนวณการถ่ายเทมวลที่ใช้ในการคำนวณการแพร่ของน้ำและน้ำตาล ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการให้ความ

ร้อนแบบโอห์มมิกจะไปเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลและอัตราการแพร่ หลังจากทำการแช่ต้มเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในสารละลายซูโครสที่อุณหภูมิ 27 และ 37 °C ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสตรอเบอร์รี่ เป็นร้อยละ 20.3 ในขณะที่เมื่อใช้การแช่ต้มร่วมกับการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 3 นาที มีของแข็งที่ละลายได้เป็นร้อยละ 68 ซึ่งการลวกโดยใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกมีผลในการทำลายเซลล์ โดยการทำงานร่วมกันของกระแสไฟฟ้าและความร้อน มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลของน้ำและน้ำตาลระหว่างการแช่ต้ม

Allali, H. et al. (2010) ได้ทำการศึกษาผลของการทำให้เป็นสุญญากาศ และการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกร่วมกับกรดซิตริกที่มีผลต่อพฤติกรรมการแช่ต้มและการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของแอปเปิ้ล พบว่า การทำให้เป็นสุญญากาศ และการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก การเติมและไม่เติมกรดซิตริกถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบการเพิ่มศักยภาพในการถ่ายโอนมวลระหว่างการแช่ต้มของชิ้นแอปเปิ้ลทรงลูกเต๋า ซึ่งการทำให้เป็นสุญญากาศร่วมกับกรดซิตริกและการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกจะทำให้อุณหภูมิของผลไม้และน้ำเชื่อมที่ทำการแช่ต้มมีความสมดุลกันมากขึ้น การสูญเสียน้ำและการเพิ่มน้ำตาลในช่วงของการแช่ต้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเนื้อเยื่อแอปเปิ้ลที่ทำการทดลองมีการเติมของกรดซิตริก ซึ่งได้รับการยืนยัน โดยการคำนวณสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและน้ำตาล การทำให้เป็นสุญญากาศและการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ก่อนนำไปแช่ต้มนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอปเปิ้ล ซึ่งสามารถการประเมินผลได้โดยการวัดความแน่นเนื้อของผลไม้ และค่าการนำไฟฟ้า

Jain et al. (2011) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการแช่ต้มมะละกอลูกเต๋ายขนาด 1 cm<sup>3</sup> พบว่าจากการใช้กระบวนการแช่ต้มที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 °C ความเข้มข้นน้ำเชื่อมที่ 50, 60 และ 70° Brix เวลาในการแช่ต้มที่ 4, 5 และ 6 ชั่วโมง และใช้อัตราส่วนของน้ำเชื่อมต่อมะละกอกเป็น 4:1 (w/w) ปริมาณความชื้นของตัวอย่างมะละกอกเป็นร้อยละ 87.5-88.5 และหลังการแช่ต้มลดลงเป็นร้อยละ 67.6-81.1 ซึ่งแสดงถึงการลดลงของมวล การสูญเสียน้ำและการเพิ่มของน้ำตาลในช่วงร้อยละ 20.6-36.4, 23.2-44.5 และ 2.5-8.1 ตามลำดับ ข้อมูลของการลดลงของน้ำหนัก การสูญเสียน้ำ และการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ได้คาดการณ์แบบที่ดีที่สุดคือ ความเข้มข้นของน้ำเชื่อม 60° Brix ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 4.25 ชั่วโมง

Moreno, J. et al. (2011) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกและการทำให้เป็นสุญญากาศที่มีต่อจลนศาสตร์ของการแช่ต้มและ โครงสร้างจุลภาคของลูกแพร์ (*Triumph cv. Packham 's*) โดยศึกษาการสูญเสียน้ำที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ คือ 30, 40 และ 50 °C โดยประยุกต์ใช้สุญญากาศ และการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (100 V) จากตัวอย่างการสูญเสียน้ำพบว่า การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในระหว่างการออสโมติก มีผลอย่างมากต่อจลนพลศาสตร์ของการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลเช่นเดียวกับ โครงสร้างจุลภาคของกลุ่มตัวอย่าง และพบว่า การสูญเสียน้ำที่มากที่สุดพบในการแช่ต้มร่วมกับการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก สำหรับการ

เพิ่มขึ้นของสารละลายน้ำตาลมากที่สุด และการสูญเสียความแน่นเนื้อน้อยที่สุดจะเกิดจากการใช้  
สุญญากาศร่วมกับการใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาในการเชื่อมลดลง  
มากที่สุดร้อยละ 40 เมื่อใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ในการตรวจดูการ  
เปลี่ยนแปลงของเซลล์ พบว่า รูปร่างและมีการแตกของเซลล์อย่างมีนัยสำคัญในการใช้การเชื่อม  
ร่วมกับโอห์มมิกมากกว่าการใช้สุญญากาศร่วมกับโอห์มมิก การเพิ่มขึ้นในการซึมผ่านของเซลล์  
โดยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกจะช่วยเร่งการถ่ายโอนมวลและการลดเวลาในกระบวนการลง



### บทที่ 3

## วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

#### 3.1.1 วัสดุดิบ

3.1.1.1 มะละกอพันธุ์แขกดำ จากร้านประจำที่ตลาดสี่มุมเมือง

3.1.1.2 น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (บริษัท มิตรผล จำกัด)

#### 3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 อุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุน ในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโหม้มิก

3.1.2.2 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyser TA Xt plus)

3.1.2.3 เครื่องวัดสี (Minolta CR-400)

3.1.2.4 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Denver, Germany)

3.1.2.5 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Pioneer, USA)

3.1.2.6 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dry)

3.1.2.7 เครื่องวัดของแข็งที่ละลายได้ (Refactometer)

3.1.2.8 เครื่อง Spectrophotometer (Shimadzu UV-1601, Japan)

3.1.2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope JEOL JSM-5410LV, japan)

#### 3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 แคลเซียมคลอไรด์

3.1.3.2 โซเดียมคลอไรด์

3.1.3.3 กรดซิตริก

3.1.3.4 น้ำกลั่น

### 3.2 วิธีการทดลอง

#### 3.2.1 การออกแบบและสร้างเซลล์ไฟฟ้า

ออกแบบและสร้างเซลล์ไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโหม้มิก โดยใช้หลักการกระตุ้นให้ผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อพืชแตกออกทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งจะมีผลทำให้การดูดซึมสารละลายน้ำตาลของกระบวนการแช่อย่างรวดเร็วขึ้นด้วย โดยแบบที่เขียนขึ้นจะประกอบด้วย ภาพร่างแบบออบบลิค พร้อมกับรายละเอียดสัดส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ โดยออกแบบให้ระบบของเครื่องเป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดรูพรุนที่ผนังเซลล์พืชและเมื่อได้แบบเซลล์ไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วย

กระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิกแล้ว จะสร้างเซลล์ไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก

เซลล์ไฟฟ้าที่ออกแบบเป็นลักษณะกล่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $10 \times 10 \times 13$  เซนติเมตร โดยใช้พลาสติกอะคริลิกใสหนา 5 มิลลิเมตร และใช้ไดคอลลอโรมีเทนในการเชื่อมติดระหว่างแผ่นพลาสติกอะคริลิก พร้อมทั้งทำร่องสำหรับประกอบแผ่นขั้วไฟฟ้า ซึ่งแผ่นขั้วไฟฟ้ามีย่านขนาด  $9.8 \times 15$  เซนติเมตร

3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก

ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก ซึ่งทำได้โดยการใช้สารละลายเกลือมาตรฐาน โซเดียมคลอไรด์ ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และรายงานเป็นความคลาดเคลื่อนของค่าการนำไฟฟ้าที่คำนวณได้จากการวัดค่าจริงเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐาน

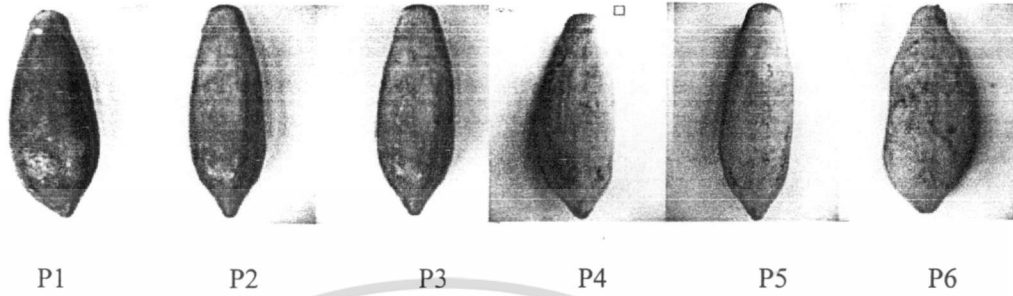
โดยใช้สูตร 
$$\sigma = \frac{LI}{AV}$$

โดยที่  $\sigma$  = ค่าการนำไฟฟ้า (S/m)  
 $L$  = ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (m)  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด ( $m^2$ )  
 $V$  = แรงดันไฟฟ้า

3.2.3 ศึกษาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้า และระดับความสูงของมะละกอที่มีผลต่อมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

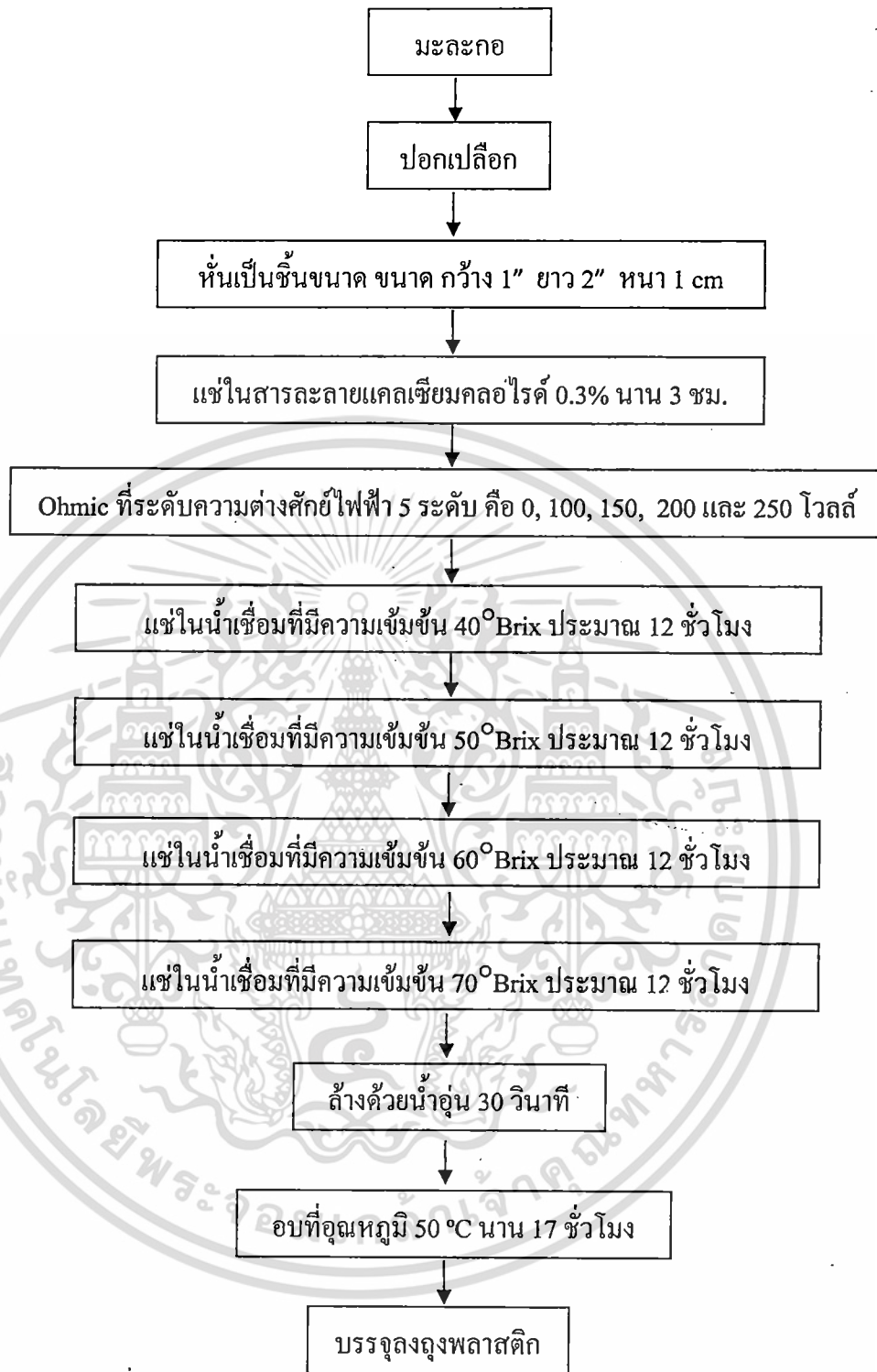
เตรียมมะละกอพันธุ์แขกดำ ที่มีลักษณะดีคือ ไม่เน่าเสีย หรือมีแมลงเจาะ โดยเลือกมะละกอมา 3 ระดับความสูง ( P1, P3 และ P5) แสดงดังภาพที่ 3.1 ทำการล้างปอกเปลือกและนำเมล็ดออก จากนั้นตัดมะละกอให้มีขนาด กว้าง 1 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร แล้วนำไปแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิกโดยใช้เซลล์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้น ที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 ระดับ คือ 0, 100, 150, 200 และ 250 โวลต์ ในแต่ละหน่วยทดลองที่ได้นำไปแช่อิ่มในสารละลายซูโครส (น้ำตาล+กรดซิตริก+เบเนแซ) ความเข้มข้น  $40^\circ$  Brix นาน 12 ชั่วโมง แล้วปรับความเข้มข้นของสารละลายซูโครสให้ได้  $50^\circ$  Brix แล้วนำมะละกอไปแช่ต่อจนครบ 12 ชั่วโมง ทำเช่นเดียวกันซ้ำโดยเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเป็น 60 และ  $70^\circ$  Brix ตามลำดับ (ใช้อัตราส่วนน้ำเชื่อมต่อมะละกอเป็น 4:1 (Fernandes et al., 2006)) วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแช่อิ่มแล้วนำมะละกอไปล้างด้วยน้ำอุ่น 30 วินาที อบที่อุณหภูมิ  $50^\circ$

องศาเซลเซียสเป็นเวลา 17 ชั่วโมง บรรจุลงถุงพลาสติกพีพี หลังจากนั้นนำมะละกอแช่ในน้ำแช่อบแห้ง  
ไปการตรวจสอบสมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพ เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพดังนี้



ภาพที่ 3.1 ระดับความสุกต่างๆของมะละกอ (P1) ระยะผิวมะละกอแก่เต็มที่ที่มีสีเหลืองประมาณ 15%, (P2) ผิวมะละกอมีสีเหลืองประมาณ 25%, (P3) ผิวมะละกอมีสีเหลืองประมาณ 50%, (P4) ผิวมะละกอมีสีเหลืองประมาณ 75%, (P5) ผิวมะละกอมีสีเหลือง 100%, (P6) สุกจัดจนผิวเหี่ยว

ที่มา : ดัดแปลงจากดวงพร โรจนวงศ์ และคณะ, 2550



ภาพที่ 3.2 กระบวนการผลิตมะละกอล้างแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

ที่มา : ดัดแปลงจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, มปป.

### 3.2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

- ความชื้น ตามวิธี AOAC (2000)

### 3.2.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

- วัดสีของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta CR-400
- วัดเนื้อสัมผัสของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง โดยใช้ (Texture analyser รุ่น TA.Xt .. plus)

### 3.2.4 ศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

คัดเลือกตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการที่ดีที่สุดจากมะละกอทั้ง 3 ระดับความสุกจากข้อ 3.2.3 โดยทำการคัดเลือกจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการแช่อิ่ม และค่าแรงตัดนำไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ให้คะแนนความชอบ โดยใช้วิธี 7- point Hedonic scale scoring test (1 หมายถึง ชอบน้อยที่สุด จนถึง 7 หมายถึง ชอบมากที่สุด)

3.2.5 ตรวจสอบรูปร่างและการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสกน (Scanning Electron Microscope)

โดยคัดเลือกตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการที่ดีที่สุดจากมะละกอทั้ง 3 ระดับความสุกจากข้อ 3.2.3 มาตรวจสอบรูปร่างและการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสกน (Scanning Electron Microscope) รุ่น JSM-5410LV japan

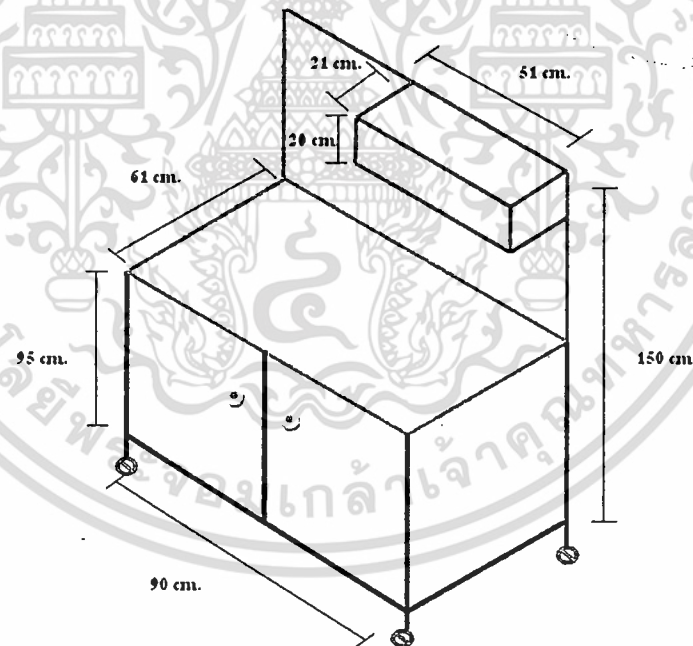
วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล ( Factorial 3×5 in CRD) ทำการรวบรวมข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ ทางด้านเคมี กายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัส นำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ ANOVA (Analysis of variance) และวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Randomized Completely Block Design (RCBD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน

## บทที่ 4

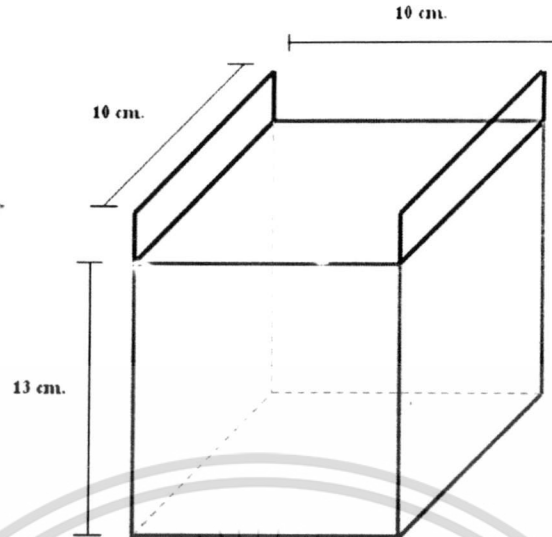
### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การออกแบบและสร้างเซลล์การทดลอง

จากการออกแบบและสร้างเซลล์การทดลองทำให้ได้ชุดเครื่องโอห์มมิกและเซลล์ไฟฟ้าพร้อมขั้วอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบมีขนาดกว้างยาวดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 โดยโครงสร้างเครื่องโอห์มมิกจะถูกสร้างด้วยเหล็กฉาก การจัดวางอุปกรณ์ควบคุมและวัดแสดงดังภาพที่ 4.4 จากนั้นนำแผ่นอะคริลิกใสมาเจาะเพื่อประกอบเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ ให้เข้ากันได้ เครื่องโอห์มมิกประกอบไปด้วย เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับ (Slideup Transformer) มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า สวิตช์เปิด-ปิด (Circuit breaker) ด้วยสายไฟฟ้าแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ไฟแสดงการทำงาน ขึ้นต่อมาทำการทาสีตัวเครื่องเพื่อป้องกันการทรุดโทรมหรือเสียหายที่สามารถจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต ดังภาพที่ 4.5 สำหรับเซลล์ไฟฟ้าที่สร้างเสร็จแล้วแสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 แสดงโครงสร้างภายนอกของเครื่องโอห์มมิก (Ohmic heating)

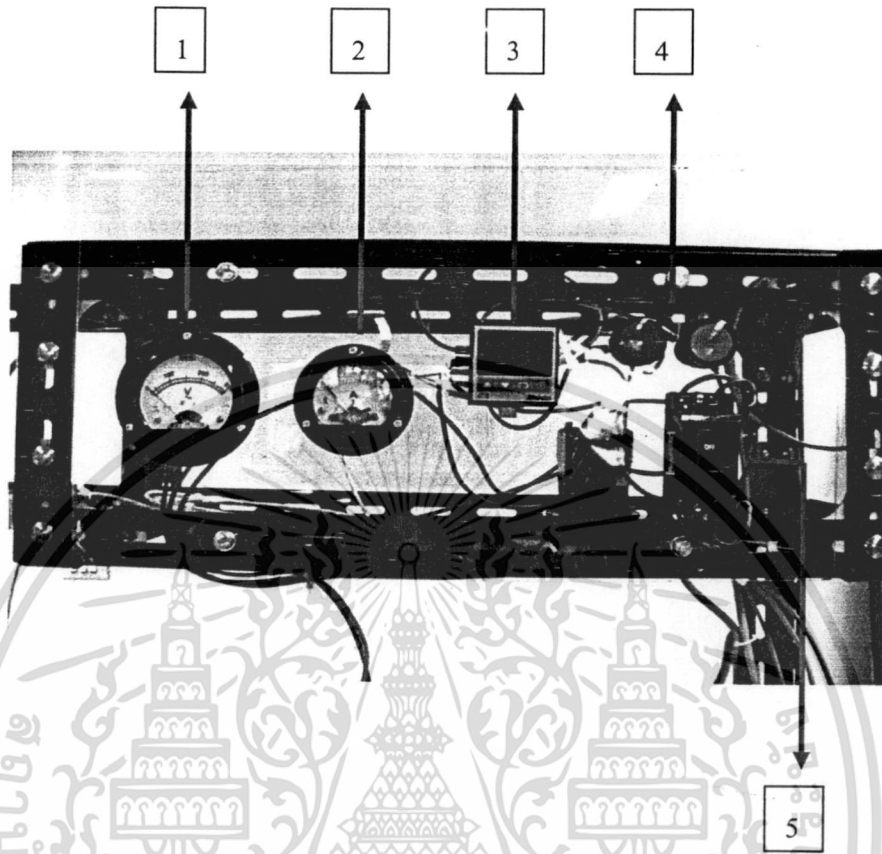


ภาพที่ 4.2 แสดงภาพร่างเซลล์ไฟฟ้า และแผ่นขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้ สำหรับการทดลองของเครื่อง  
โอห์มมิก



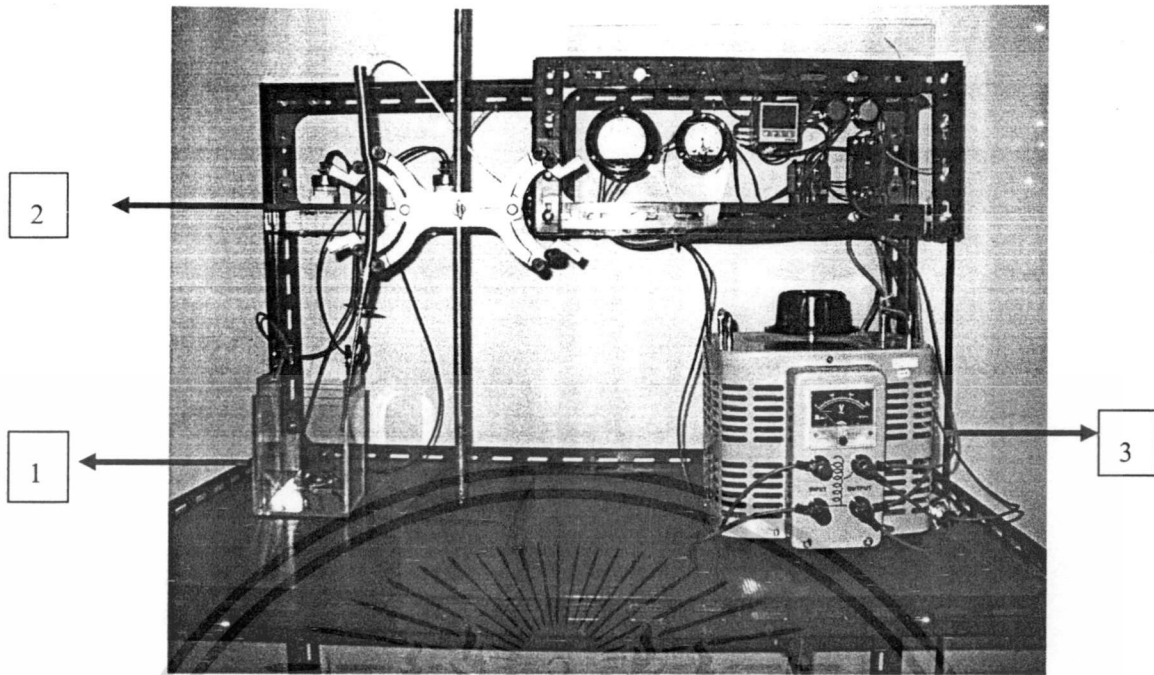
ภาพที่ 4.3 แสดงเซลล์ไฟฟ้าและขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้ สำหรับการทดลองของเครื่องโอห์มมิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ควบคุมและวัด ที่ใช้สำหรับการทดลองของเครื่องไอห้มมิก

- 1) มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า
- 2) มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า
- 3) มิเตอร์แสดงอุณหภูมิ
- 4) ไฟแสดงการทำงาน
- 5) สวิตช์ เปิด/ปิด



ภาพที่ 4.5 แสดงภาพรวมของเครื่องโอห์มมิค

- 1) เซลล์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้น
- 2) thermocouple
- 3) Slideup Transformer

#### 4.2 ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิค

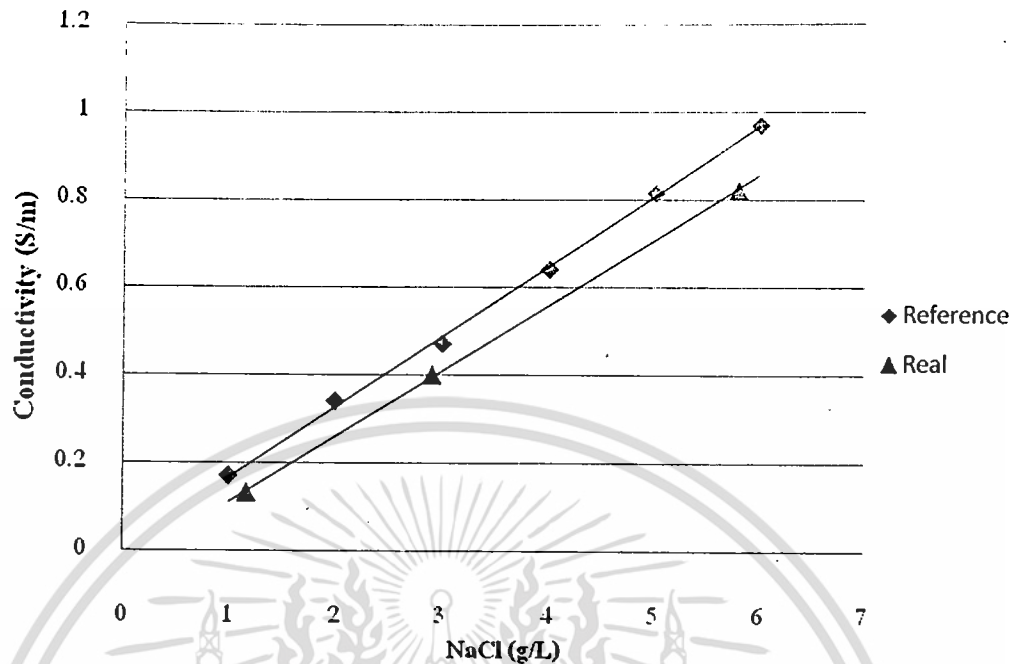
จากการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องโอห์มมิค โดยการทดสอบหาค่าการนำไฟฟ้าด้วยสารละลายเกลือ NaCl มาตรฐาน โดยใช้สูตรการคำนวณค่าการนำไฟฟ้า

$$\text{Conductivity } (\sigma) = \frac{L \cdot I}{V \cdot A}$$

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องโอห์มมิค

Concentration. (g / L)	I (A)	V (v)	Conductivity (NaCl) ( experiment )
1.16	0.6	150	0.133
2.90	1.8	150	0.400
5.80	3.7	150	0.822

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



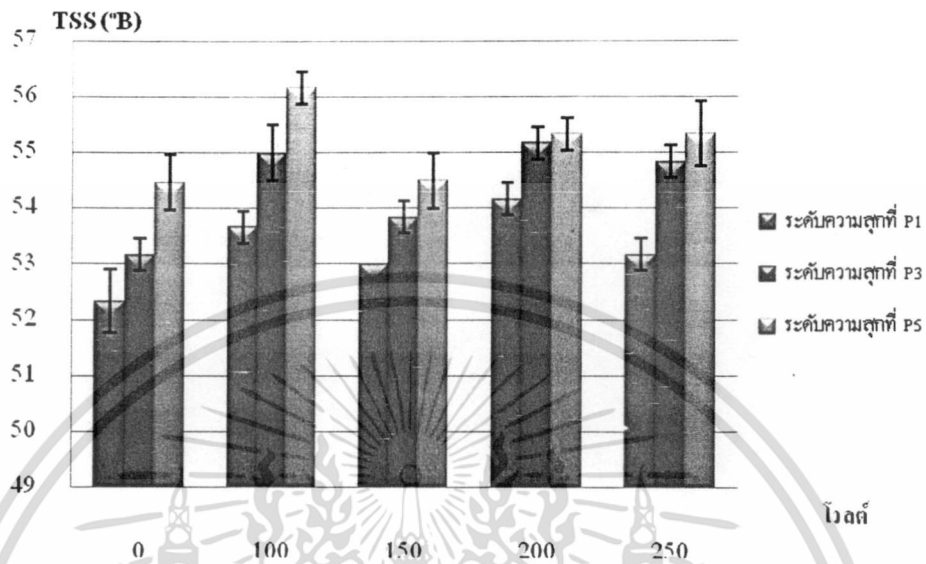
ภาพที่ 4.6 ค่าการนำไฟฟ้าของเซลล์การทดลองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

จากภาพที่ 4.6 ซึ่งเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์โอห์มมิก พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน แต่น้อยกว่าค่าการนำไฟฟ้ามาตรฐาน ดังนั้นเซลล์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจึงสามารถนำมาใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไปได้

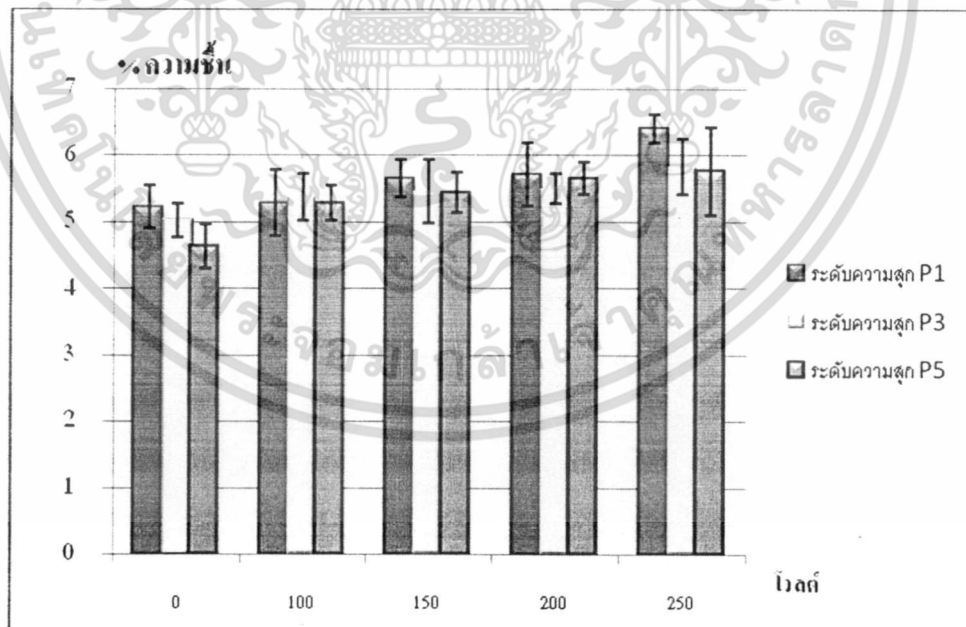
#### 4.3 ผลของระดับความสูงของมะละกอ และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีผลต่อมะละกอเชื่อมอบแห้ง

จากการศึกษาหาผลของระดับความสูงของมะละกอและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีผลต่อมะละกอเชื่อมอบแห้ง โดยใช้มะละกอที่มีความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ P1, P3 และ P5 นำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่กำหนดค่าความต่างศักย์ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 100, 150, 200 และ 250 โวลต์ แล้วนำไปทำการเชื่อมในสารละลายซูโครส พบว่า ความสูงของมะละกอ และ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้หลังการเชื่อมคือ เมื่อระดับความสูงของมะละกอเพิ่มขึ้นจะสามารถดูดซึมสารละลายซูโครสได้เพิ่มขึ้น โดยระดับความสูง P5 จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการเชื่อมมากที่สุด รองลงมาคือระดับความสูง P3 และ P1 ตามลำดับ ที่ระดับความสูง P5 ความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้หลังการเชื่อมเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่การใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ มีการดูดซึมของสารละลายซูโครสได้ดีที่สุด เนื่องจากเป็นความต่างศักย์ร่วมกับการใช้ระยะเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ทำให้ผนังเซลล์ของมะละกอถูกทำลายในระดับที่เหมาะสมกับการดูดซึมของสารละลายซูโครส รองลงมาคือ 200, 250, 150 และ 0 โวลต์ ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดัง ภาพที่ 4.7 และ ตารางที่ 3 ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Allali, H. et al. (2010) ที่ได้

ทำการศึกษการให้ความร้อนสตรอเบอร์รี่ด้วยกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก และให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน



ภาพที่ 4.7 ผลของระดับความสูงของมะละกอและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะละกอเชื่อมอบแห้ง



ภาพที่ 4.8 ผลของระดับความสูงของมะละกอและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีปริมาณความชื้นของมะละกอเชื่อมอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลของระดับความสูงของมะละกอและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

Maturity	Voltage (V)	TSS (°B)
P1	0	52.33 <sup>i</sup> ±0.58
P1	100	53.67 <sup>fg</sup> ±0.29
P1	150	53.00 <sup>h</sup> ±0.00
P1	200	54.17 <sup>def</sup> ±0.29
P1	250	53.67 <sup>gh</sup> ±0.29
P3	0	53.67 <sup>gh</sup> ±0.29
P3	100	55.00 <sup>br</sup> ±0.50
P3	150	53.83 <sup>efg</sup> ±0.29
P3	200	55.17 <sup>bc</sup> ±0.29
P3	250	54.83 <sup>bcd</sup> ±0.29
P5	0	54.47 <sup>cdc</sup> ±0.50
P5	100	56.16 <sup>a</sup> ±0.29
P5	150	54.50 <sup>cdc</sup> ±0.50
P5	200	55.33 <sup>b</sup> ±0.29
P5	250	55.33 <sup>b</sup> ±0.58

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เมื่อทำการศึกษาผลของระดับความสูงของมะละกอและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.8 พบว่าระดับความสูงของมะละกอและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยเมื่อระดับความสูงของมะละกอเพิ่มขึ้นที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระดับเดียวกันปริมาณความชื้นจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อระดับความสูงของมะละกอที่เพิ่มขึ้นจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการแช่อิ่มเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นจึงลดลง และเมื่อผลไม้สุกจะมีการสูญเสียความแน่นอนเนื่องจากการสลายตัวของเพคตินทำให้เมื่อได้รับความร้อนจากกระแสไฟฟ้าจึงทำให้มะละกอที่มีระดับความสูงมากกว่ามีโอกาสที่เซลล์จะเกิดความเสียหายได้มากกว่ามะละกอที่มีระดับความสูงน้อยกว่าจึงเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้นและดูดซึ่มสารละลายซูโครสได้ดีขึ้นปริมาณความชื้นจึงลดลง ซึ่งในการทดลองจะพบว่าปริมาณความชื้นที่ลดลงเล็กน้อยภายหลังการอบแห้ง

ของมะละกอที่มีระดับความสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (50 °C) และระยะเวลาในการอบแห้ง (17 ชั่วโมง) โดยอ้างอิงจากกรรมวิธีการผลิตมะละกอแช่อิ่มอบแห้งของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (มปป.) สามารถทำให้มะละกอแช่อิ่มที่ผ่านความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าระดับต่างๆ มีความชื้นในระดับที่ใกล้เคียงกันได้ จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมะละกามีความเหมาะสม

เมื่อนำมะละกอแช่อิ่มอบแห้งมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านแรงตัดและสีแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ระดับความสุกของมะละกอและกระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์แตกต่างกันมีผลต่อค่าแรงตัดที่วัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าแรงตัดที่วัดได้จากมะละกอแช่อิ่มอบแห้งลดลง โดยที่มะละกอรระดับความสุกที่ P1 จะมีค่าแรงตัดมากที่สุด รองลงมาคือมะละกอรระดับความสุกที่ P3 และ P5 ตามลำดับ เนื่องจากเนื้อของมะละกอที่มีความสุกน้อยกว่าจะมีความแข็งมากกว่ามะละกอที่มีความสุกมากกว่าจากปริมาณแป้งและสารเพคตินที่อยู่ในโครงสร้างของมะละกอ เมื่อมีความสุกที่เพิ่มขึ้นแป้งภายในเนื้อมะละกอจะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล และสารเพคตินเกิดการสลายตัวทำให้เนื้อของมะละกอนิ่มลงและมีรสหวานมากขึ้น (Ali *et al.*, 2004) ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อค่าแรงตัดของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งคือ เมื่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าแรงตัดของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากความร้อนจากกระแสไฟฟ้าจะไปทำให้โครงสร้างเซลล์ของมะละกอเกิดความเสียหาย และทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างเซลล์ลดลง

ตารางที่ 4.3 ผลของระดับความสุกของมะละกอและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

Maturity	Voltage (V)	hardness (N/m <sup>2</sup> )	color		
			L*	a*	b*
P1	0	35.95 <sup>a</sup> ±4.00	41.81 <sup>a</sup> ±1.65	14.78 <sup>c</sup> ±0.77	5.02 <sup>c</sup> ±0.97
P1	100	33.37 <sup>ab</sup> ±5.10	41.61 <sup>a</sup> ±1.28	14.75 <sup>c</sup> ±0.58	5.07 <sup>c</sup> ±0.66
P1	150	31.35 <sup>bc</sup> ±5.96	42.63 <sup>a</sup> ±1.95	15.33 <sup>c</sup> ±0.86	5.11 <sup>c</sup> ±0.21
P1	200	27.78 <sup>cd</sup> ±4.48	43.58 <sup>a</sup> ±1.04	15.59 <sup>c</sup> ±0.64	5.47 <sup>c</sup> ±1.18
P1	250	26.14 <sup>de</sup> ±3.09	41.88 <sup>a</sup> ±1.75	15.02 <sup>c</sup> ±0.41	5.55 <sup>c</sup> ±0.74
P3	0	26.98 <sup>de</sup> ±2.33	39.18 <sup>b</sup> ±0.97	18.22 <sup>b</sup> ±0.32	7.41 <sup>b</sup> ±0.94
P3	100	26.96 <sup>de</sup> ±2.04	38.95 <sup>b</sup> ±0.94	18.47 <sup>b</sup> ±0.67	7.47 <sup>b</sup> ±0.86
P3	150	25.10 <sup>de</sup> ±2.72	39.11 <sup>b</sup> ±1.62	18.67 <sup>b</sup> ±0.67	7.81 <sup>b</sup> ±0.63
P3	200	24.25 <sup>de</sup> ±3.23	39.20 <sup>b</sup> ±1.80	18.47 <sup>b</sup> ±1.01	7.87 <sup>b</sup> ±0.46
P3	250	22.72 <sup>c</sup> ±2.90	39.41 <sup>b</sup> ±0.99	18.76 <sup>b</sup> ±0.32	8.24 <sup>b</sup> ±1.39
P5	0	24.64 <sup>de</sup> ±3.81	37.40 <sup>b</sup> ±0.92	21.05 <sup>a</sup> ±0.92	10.31 <sup>a</sup> ±0.94
P5	100	23.91 <sup>de</sup> ±2.66	38.19 <sup>b</sup> ±0.63	21.09 <sup>a</sup> ±1.28	10.49 <sup>a</sup> ±1.68
P5	150	23.00 <sup>c</sup> ±3.70	37.95 <sup>b</sup> ±0.36	20.14 <sup>a</sup> ±0.37	10.43 <sup>a</sup> ±0.93
P5	200	22.58 <sup>c</sup> ±4.62	38.87 <sup>b</sup> ±1.28	20.99 <sup>a</sup> ±1.28	10.70 <sup>a</sup> ±1.67
P5	250	16.42 <sup>f</sup> ±1.79	37.11 <sup>b</sup> ±0.88	21.48 <sup>a</sup> ±0.32	10.80 <sup>a</sup> ±1.17

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

Hunter color value : L lightness (100 = light, 0 =dark)

a = + show redness, - show greenness

b = + show yellowness, - show blueness

ระดับความสุกของมะละกอและค่าความต่างศักย์แตกต่างกันมีผลต่อค่าความสว่าง (L\*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้นค่าความสว่างจะมีแนวโน้มลดลง (ปิยนาด จิตอารีรัตน์ และคณะ, 2010) โดยระดับความสุกที่ 1 มีค่าความสว่างมากที่สุด ส่วนระดับความสุกที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าสีแดง (a\*) และค่าสีเหลือง (b\*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้น

#### 4.4 ศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสของมะละกอเชื่อมอบแห้ง

จากการนำมะละกอเชื่อมอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 4.3 โดยเลือกมะละกอความสุกระดับ P3 โดยคัดเลือกจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการเชื่อม(สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, มปป.) และค่าแรงตัดที่อยู่ระหว่างความสุกระดับ P1 และ P5 เนื่องจากที่ระดับความสุกระดับ P1 แม้จะมีความแข็งกรอบที่เหมาะสมได้ทั้งหมดแต่ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดอยู่ในช่วงที่เหมาะสมมากกว่า แต่เนื้อสัมผัสของระดับความสุกระดับ P5 นั้นมันเกินไป ดังนั้นที่ระดับความสุกระดับ P3 จึงเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี 7- point Hedonic scale scoring test แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า ค่าความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าที่ต่างกันมีผลต่อระดับคะแนนความชอบของค่าสื่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยค่าความต่างศักย์ 100 โวลต์ ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับค่าความต่างศักย์ 0 และ 250 โวลต์ แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับค่าความต่างศักย์ 150 และ 200 โวลต์

ด้านกลิ่น พบว่า แต่ละทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ค่าความต่างศักย์ 100 โวลต์ ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด

ด้านรสชาติ พบว่า แต่ละทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ค่าความต่างศักย์ 0 โวลต์ ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด

ด้านเนื้อสัมผัส พบว่า แต่ละทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ค่าความต่างศักย์ 0 โวลต์ ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด

ด้านความชอบรวม พบว่า แต่ละทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ค่าความต่างศักย์ 250 โวลต์ ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด

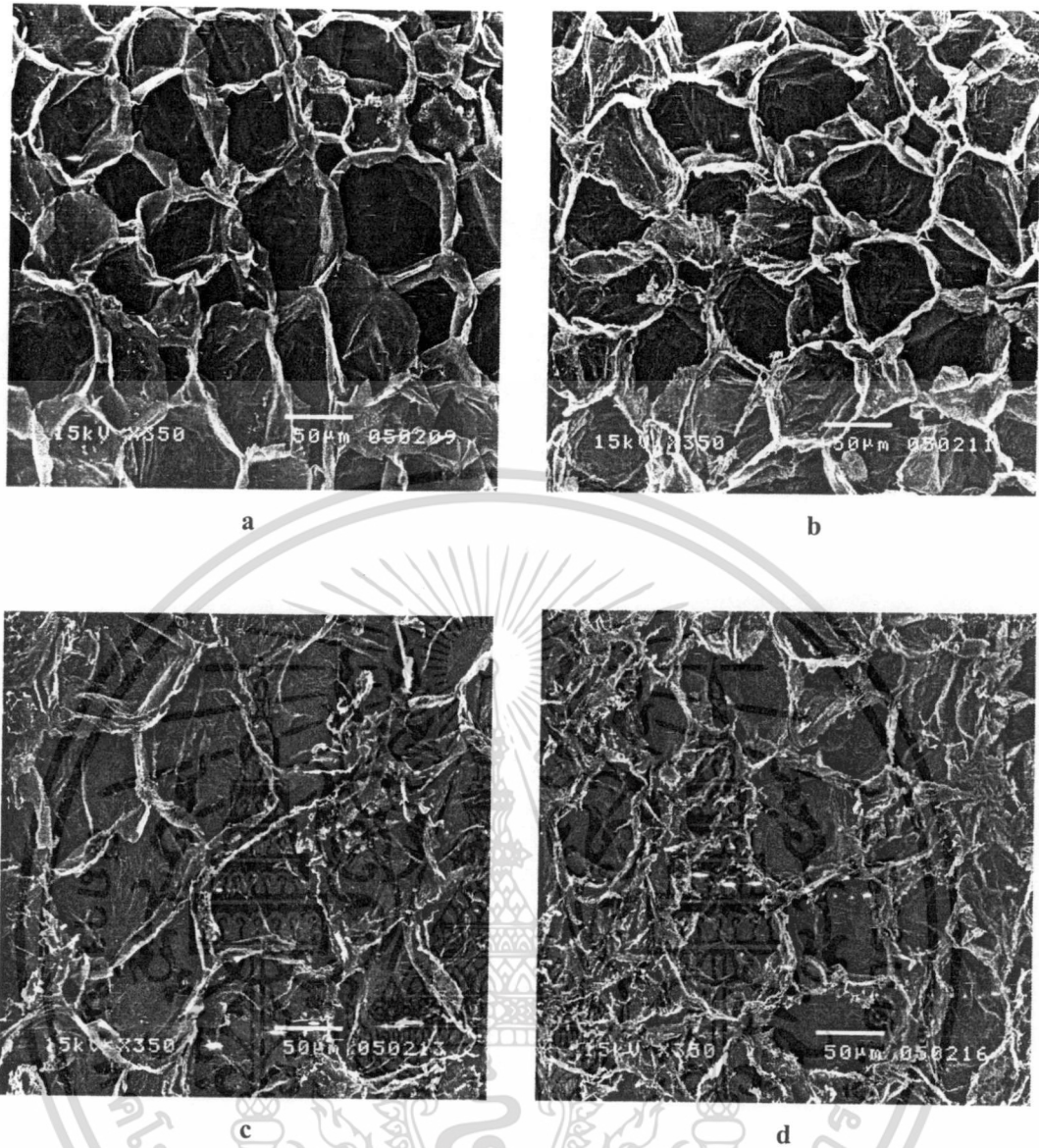
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะละกอเชื่อมอบแห้ง

Voltage (V)	sensory				
	สี	กลิ่น <sup>ns</sup>	รสชาติ <sup>ns</sup>	เนื้อสัมผัส <sup>ns</sup>	ความชอบรวม <sup>ns</sup>
0	5.26 <sup>ab</sup> ±1.55	4.92±1.66	5.26±1.60	5.60±1.37	5.36±1.50
100	5.54 <sup>a</sup> ±1.36	5.08±1.59	5.02±1.58	5.26±1.50	5.30±1.39
150	5.06 <sup>b</sup> ±1.54	4.94±1.63	5.00±1.86	5.20±1.63	5.34±1.47
200	5.06 <sup>b</sup> ±1.54	4.94±1.63	5.00±1.86	5.20±1.63	5.34±1.47
250	5.18 <sup>ab</sup> ±1.59	4.90±1.61	5.18±1.69	5.44±1.46	5.46±1.43

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 4.5 ตรวจสอบรูปร่างและการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของมะละกอแช่ส้มอบแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope)

จากการนำมะละกอแช่ส้มอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 4.3 โดยเลือกมะละกอความสุกระดับ P3 โดยคัดเลือกจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการแช่ส้ม และค่าแรงคัตที่อยู่ระหว่างความสุกระดับ P1 และ P3 แล้วนำมะละกอแช่ส้มอบแห้งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่ใช้ค่าความต่างศักย์ 0, 100, และ 200 โวลต์ และมะละกอสด ไปตรวจสอบรูปร่างและการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของมะละกอแช่ส้มอบแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) พบว่าโครงสร้างภายในเซลล์ของมะละกอมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆ ดังภาพที่ 4.9 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ a ที่เป็นภาพที่ถ่ายจากมะละกอสดลักษณะเซลล์จะมีความคงรูปมากกว่า ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อนำมะละกอไปผ่านกระบวนการต้มแล้วนำไปแช่ส้มลักษณะโครงสร้างของเซลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังภาพ. b คือ โครงสร้างเซลล์ของมะละกอมีการเหี่ยว และเซลล์มีความเสียหาย และเมื่อนำมะละกอมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์แล้วนำไปแช่ส้ม โครงสร้างของเซลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังภาพ c คือ เซลล์จะเกิดการเสียหายมากกว่ามะละกอที่ผ่านกระบวนการต้ม และภาพ d คือภาพของมะละกอมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 โวลต์ ซึ่ง โครงสร้างของเซลล์เกิดความเสียหายมากที่สุด โดยจะส่งผลกระทบต่อารดูดซึมของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการแช่ส้ม และลักษณะเนื้อสัมผัสของมะละกอแช่ส้มอบแห้ง



ภาพที่ 4.9 รูปร่างภายในเซลล์ของมะละกอเชื่อมอบแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสกน (SEM)

- (a) มะละกอสด
- (b) มะละกอเชื่อมอบแห้งโดยใช้การต้ม (0 โวลต์)
- (c) มะละกอเชื่อมอบแห้งผ่านกระแสไฟฟ้า 100 โวลต์
- (d) มะละกอเชื่อมอบแห้งผ่านกระแสไฟฟ้า 200 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการผลิตมะละกอแช่อิ่มอบแห้งด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก โดยเปรียบเทียบมะละกอที่มีความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ P1, P2 และ P3 และใช้กระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 100, 150, 200 และ 250 โวลต์ จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ นาน 12 ชั่วโมง แล้วปรับความเข้มข้นของสารละลายซูโครสให้ได้ 50 องศาบริกซ์ แล้วนำมะละกอไปแช่ต่อจนครบ 12 ชั่วโมง ทำเช่นเดียวกันซ้ำโดยเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเป็น 60 และ 70 องศาบริกซ์ นำไปอบที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  นาน 17 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ พบว่า เมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการแช่อิ่มจะเพิ่มขึ้น โดยมะละกอมะละกอความสุกระดับ P3 ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่มีความต่างศักย์ 100 โวลต์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการแช่อิ่มมากที่สุด และเมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้นความชื้นหลังการอบแห้งจะลดลงเล็กน้อย ค่าแรงตัดจะลดลงเมื่อระดับความสุกของมะละกอและค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้น โดยมะละกอมะละกอความสุกระดับที่ P1 ค่าความต่างศักย์ 0 โวลต์ มีค่าแรงตัดมากที่สุด ค่า  $L^*$  ลดลงเมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้นแต่ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความสุกของมะละกอเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมะละกอแช่อิ่มอบแห้งไปทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยคัดเลือกจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการแช่อิ่มและค่าแรงตัด ซึ่งได้เลือกมะละกอมะละกอความสุกระดับที่ P3 พบว่าคะแนนความชอบของค่าที่ความต่างศักย์ 100 โวลต์ ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด ส่วนกลิ่นรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อนำมะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่ใช้ค่าความต่างศักย์ 0, 100, และ 200 โวลต์ และมะละกอสด ไปตรวจหารูปร่างและการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสกน (SEM) พบว่า โครงสร้างภายในเซลล์ของมะละกอมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆจะเกิดความเสียหายมากขึ้นเมื่อใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เครื่องโหม้มิกนีได้รับการพัฒนาขึ้นมาแบบถาวรเพื่อให้สะดวกในการใช้งาน และการปฏิบัติงาน แต่อาจจะมีบางชิ้นส่วนที่อาจจะต้องทำการเปลี่ยนแปลง เช่น แผ่นรองพื้นพีวีเออร์บอร์ด เพราะแผ่นรองอาจมีการเสื่อมสภาพเนื่องจากการทดลองหรือระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนาน ชุดเซลล์การทดลอง อาจต้องทำขึ้นมาในลักษณะหลากหลายขนาด เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดมีขนาดที่ต่างกัน

5.2.2 สำหรับในขั้นตอนของการทดลองในช่วงของการจับเวลากับอุณหภูมิ การอ่านค่าอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้บ้าง เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่ตัวผู้ที่จับเวลา ทำให้ความเที่ยงตรงน้อยกว่าการใช้เครื่องอัตโนมัติ

5.2.3 วัตถุดิบที่จะนำมาทดลองไม่ควรเก็บทิ้งไว้นาน หรือไม่ควรใช้เวลาในการทดลองในแต่ละทริทเมนต์นั้นนานจนเกินไป เพราะวัตถุดิบเมื่อเก็บไว้นานอาจมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ อาจทำให้ข้อมูลที่ได้เกิดความผิดพลาดได้



## บรรณานุกรม

- กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2545. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เข้าถึงได้จาก <http://www.moac-info.net/>. (15 กรกฎาคม 2554).
- ชลดา มานะกุล. 2537. การศึกษาอิทธิพลของปริมาณความชื้นในอาหารที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในกระบวนการคั่งน้ำออกจากอาหารด้วยแรงดันออสโมติก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- ดวงพร โรจนวงศ์, โชคพิศิษฐ์ ชาญนนทพิพัฒน์ และวิไลภรณ์ บุญญกิจจินดา. 2550. ผลของไอน้ำสัมผัสสายชูต่อการลดการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยวของมะละกอ. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม เข้าถึงได้จาก [www.phnnet.org/download/FullPaper/pdf/2ndSeminarKKU/af077.pdf](http://www.phnnet.org/download/FullPaper/pdf/2ndSeminarKKU/af077.pdf) (25 มีนาคม 2551).
- ปิยนดา จิตอารีรัตน์, อนุวัตร แจ่มชัด และกมลวรรณ แจ่มชัด. 2010. คัดชั้นคุณภาพของมะละกอพันธุ์ฮาวาย โดยใช้เทคนิคแผนภาพความชอบ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (ISBN: 9786167262352). 3 - 5 กุมภาพันธ์ 2010. กรุงเทพฯ.
- ประมวล ศรีกาหลง. 2539. กระบวนการให้ความร้อนน้ำสับปะรดด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้าโดยตรง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- รัตนา อัดตปัญญา และ พิไลรัก บุญใหญ่. 2541. การเลือกใช้เทคโนโลยีและเครื่องจักรในผลิตผักและผลไม้อบแห้งระดับครัวเรือน. หลักสูตรฝึกอบรม ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ศิวพร ศิวเวช. 2524. วัตถุเจือปนในอาหาร เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- \_\_\_\_\_. 2535. วัตถุเจือปนอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร). 2552. ผลไม้ตัดแต่งและการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้สารละลาย. เข้าถึงได้จาก [http://www.tistr-foodprocess.net/download/article/fresh\\_cut\\_th.html](http://www.tistr-foodprocess.net/download/article/fresh_cut_th.html). 15 มกราคม 2552.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. มปป. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร 4. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 2551.

- พันธุ์มะละกอ. เข้าถึงได้จาก <http://ait.nisit.kps.ku.ac.th/ple1/Papaya/papa1.php> (25 ธันวาคม 2554).
- อรพิน ชัยประสพ. 2546. การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- อ่อนรวี รัตนาพันธุ์. 2533. หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธี Osmotic. กรุงเทพฯ, 20(4):240-245.
- Ali, Z.M., L.H. Chin, and H. Lazan. 2004. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science*. 167:317-327.
- Allali, H., L. Marchal, and E. Vorobiev. 2010. Blanching of Strawberries by Ohmic Heating: Effects on the Kinetics of Mass Transfer during Osmotic Dehydration. *Food and Bioprocess Technology*. 3:406-414.
- Allali, H., L. Marchal, and E. Vorobiev. 2010. Effects of vacuum impregnation and ohmic heating with citric acid on the behaviour of osmotic dehydration and structural changes of apple fruit. *Biosystems Engineering*. 106:6-13.
- APV Baker Company. 1993 . Ohmic Heating Update. *Food Engineering*. (September):39-42.
- Arther, D., and P.R., Ashurst . 1996. *Fruit Processing : The manufacture of preserves flavourings and dried fruit*. Cambridge.
- A.O.A.C. 2000. *Official Methods of Analysis*. 17<sup>th</sup> ed. The Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.
- Charly. H. 1982. *Food Science*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley and Sons, New York.
- Fatterman J.C . 1928 . The Electrical Conductivity Method of Processing Milk. *Agricultural Engineering*. 9: 107-108.
- Fernandes, F.A.N., S. Rodrigues, O.C.P. Gaspareto, and E.L. Oliveira. 2006. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. *Food Research International*. 39:492-498.
- Filiz I., Y. Hasan, and B. Taner. 2006. Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree. *Journal of Food Engineering*. 74: 424-429.
- Getchell B.E . 1935 . Electrical pasteurization of milk. *Agricultural Engineering*. 16: 408-410.
- Huixian S., K. Shuso, H. Jun-ichi, I. Kazuhiko, W. Tatsuhiko, and K. Toshinori. 2008. Effect of ohmic heating on microbial counts and denaturation of proteins in milk. *Food Science and Technology Research*. 14: 117-123.

- Hung N.L., and V.K. Jindal. 1992 . Pasteurization of fruit juices using a continuous flow ohmic heating unit. Thesis No.AE-93-13. Bangkok : Asian Institute of Technology. Bangkok, Thailand.
- Icier, F., Yildiz, H. and Baysal, T. 2006. Peroxidase inactivation and colour changes during Ohmic blanching of pea puree. *Journal of Food Engineering*, 74, 424–429.
- Islam, M.N., and J.N. Flink. 1982. Dehydration of potato. *International Journal of Food Science and Technology*. 17:387-403.
- Jain, S., R. Verma, L. Murdia, H. Jain, and G. Sharma. 2011. Optimization of process parameters for osmotic dehydration of papaya cubes. *Journal of Food Science and Technology* 48:211-217.
- Karathanos, V.T., A.E. Kostaropoulos, and G.D. Saravacos. 1995. Air-Drying Kinetics of Osmotically Dehydrated Fruits. *Drying Technology*. 13:1503-1521.
- Lakkakula, N.R., M. Lima, and T. Walker. 2003. Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating. *Bioresource Technology*. 92:157-161.
- Leizeron, S., and E. Shimoni. 2005. Stability and Sensory Shelf Life of Orange Juice Pasteurized by Continuous Ohmic Heating. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53:4012-4018.
- Lerici, C.R., G. Pinnavaia, M.D. Rosa, and L. Bartolucci. 1985. Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. *Journal of Food Science*. 50:1217-1219.
- Lima, M. 2007. Food Preservation Aspects of Ohmic Heating. *Handbook of Food Preservation*, Second edition, London : CRC Press, 744 – 748.
- Lima, M., and S.K. Sastry. 1999. The effects of ohmic heating frequency on hot- air drying rate and juice yield. *Journal of Food Engineering*. 41:115-119.
- Luna-Guzman, I., M. Cantwell, and D.M. Barrett. 1999. Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl<sub>2</sub> dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biology and Technology*. 17:201-213.
- Mizrahi, S., I.J. Kopelman, and J. Perlman. 1975. Blanching by electro-conductive heating. *International Journal of Food Science & Technology*. 10:281-288.

- Moreno, J., R. Simpson, M. Sayas, I. Segura, O. Aldana, and S. Almonacid. 2011 Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (*cv. Packham's Triumph*). *Journal of Food Engineering*. 104:621-627.
- Moreno, J., R. Simpson, N. Pizarro, K. Parada, N. Pinilla, J.E. Reyes, S. Almonacid. 2012. Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the quality and microbial stability of osmotically dehydrated strawberries (*cv. Camarosa*). *Journal of Food Engineering*. 110:310-316.
- Moses D.B . 1938 . Electrical pasteurization of milk. *Agricultural Engineering*. 19: 525-526.
- Ockerman H.W., and J. Szczawinski. 1984. Combined effects of electrical stimulation and methods of meat preservation upon the survival of bacteria. *Journal of Food Processing and Preservation*. 8: 47-56.
- Ozkan, N., I. Ho, and M. Farid. 2004. Combined ohmic and plate heating of hamburger patties: quality of cooked patties. *Journal of Food Engineering*. 63:141-145.
- Palaniappan, S., S.K. Sastry, and E.R. Richter. 1992. Effects of electroconductive heat treatment and electrical pretreatment on thermal death kinetics of selected microorganisms. *Biotechnology and Bioengineering*. 39:225-232.
- Pancoast, H.M., and W.R. Junk, 1980. *Handbook of sugar*. 2<sup>nd</sup> ed. AVI Publishing Company, Westport., connecticat.
- Pereira, R.N., R.C. Martins, and A.A. Vicente. 2008. Goat Milk Free Fatty Acid Characterization During Conventional and Ohmic Heating Pasteurization. *Journal of Dairy Science*. 91:2925-2937.
- Ponting, J.D. 1973. Osmotic dehydration of fruit : Recent modification and applications. *Process Biochemistry*. 8:18-20.
- Ponting, J.D., Watters, G.G., Forrey, R.R., Jackson, R., and Stanley, W.L. 1966. Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*. 20(10): 125-128.
- Pramoun S., Thanit M., Pongpat S., and Ekarin K. 2011. Effect of Ohmic Heating on Increasing Guava Juice Yield. *International conference on Biotechnology and Food Science 2011*. 1-3 April 2011. Bali Island, Indonesia. P. 122-125.
- Ruan, R., Ye, X., Chen, P., Doona, C. and Taub, I. 2002. Ohmic heating. *Nutrition Handbook for FoodProcessors.*: Chapter 19. London : CRC Press.

- Sandrine C., E. Godereaux, F. Zubcr, and A. Goullieux. 2001. Processing and stabilization of cauliflower by ohmic heating technology. *Innovative Food Science and Emerging Technology*. 2: 279-287.
- Sanjay S., K. Sastry Sudhir, and K. Lynn. 2008. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*. 87: 351-356.
- Sarang S., S.K. Sastry, J. Gaines, T.C.S Yang, and P. Dunne. 2007. Product formulation for ohmic heating: Blanching as a pretreatment method to improve uniformity in heating of solid-liquid food mixtures. *Journal of Food Science*. 72: E227-E234.
- Skudder Paul J. 1989 . Ohmic heating in food processing. *Asian Food Journal*. 4: 320-324.
- Wang, L.J., D. Li, E. Tatsumi, Z.S. Liu, X.D. Chen, and L.T. Li. 2007. Application of two-stage ohmic heating to tofu processing. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46:486-490.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี

### 1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

#### 1.1 วิธีการวิเคราะห์

1) นำaluminium can ออบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่

2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียดใส่ใน aluminium can

3) นำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส นานประมาณ

24 ชั่วโมง

4) นำออกจากตู้อบและทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

5) นำไปอบอีกประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่

6) คำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณความชื้น(\%)} = \left( \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}} \right) \times 100$$

### 2. การทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyser

#### 2.1 วิธีทดสอบ

1) ติดตั้ง PC Computer เข้ากับเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

2) ติดใบมีดที่ป็นหัวตัดเข้ากับเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

3) calibrate force ก่อนวัดทุกครั้ง

4) เลือกรูปแบบการวัดเป็น

Mode : Measure Force in Compression

Option : Return to Start

Force Unit : Newton

Pre-test Speed : 5.0 mm./s

Test speed : 5.0 mm./s

Post-test Speed : 10.0 mm./s

Distance : 15 mm.

5) วางชิ้นมะละกอเชื่อมอบแห้งบนแท่นวัดครั้งละ 1 ชิ้น วัดลักษณะเนื้อสัมผัสบนชิ้น

เดียวกัน 3 จุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

Source of variation	SS	df	MS	F	Sig.
groub	47.903	14	3.422	23.652	.000
Error	4.340	30	.145		
Total	132614.860	45			

ตารางที่ ข2 ความแปรปรวนของความชื้นของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

Source of variation	SS	df	MS	F	Sig.
groub	6.733	14	.481	3.382	.002
Error	4.266	30	.142		
Total	1367.522	45			

ตารางที่ ข3 ความแปรปรวนของค่าสี L\*, a\* และ b\* ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

Source of variation	SS	df	MS	F	Sig.
ค่า L*					
groub	167.735	14	11.981	7.260	.000
Error	49.507	30	1.650		
Total	71471.185	45			
ค่า a*					
groub	264.691	14	18.907		
Error	17.464	30	.582		
Total	15168.670	45			
ค่า b*					
groub	213.676	14	15.263	14.076	.000
Error	32.530	30	1.084		
Total	3019.376	45			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข4 ความแปรปรวนของค่าแรงตัดของมะละกอเครือมอบแห้ง

Source of variation	SS	df	MS	F	Sig.
groub	2241.911	14	160.137	11.848	.000
Error	1216.417	90	13.516		
Total	74857.546	105			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข5 ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะกอกแช่อิ่มอบแห้ง

Source of variation	SS	df	MS	F	Sig.
<b>สี</b>					
volt-	7.840	4	1.960	2.531	.042
block	413.300	49	8.435	10.894	.000
Error	151.760	196	.774		
Total	7385.000	250			
<b>กลิ่น</b>					
volt	1.016	4	.254	.515	.724
block	550.916	49	11.243	22.816	.000
Error	96.584	196	.493		
Total	6789.000	250			
<b>รสชาติ</b>					
volt	2.904	4	.726	.699	.593
block	524.484	49	10.704	10.309	.000
Error	203.496	196	1.038		
Total	7213.000	250			
<b>เนื้อสัมผัส</b>					
volt	6.160	4	1.540	1.824	.126
block	400.500	49	8.173	9.683	.000
Error	165.440	196	.844		
Total	7701.000	250			
<b>ความชอบรวม</b>					
volt	.720	4	.180	.229	.922
block	360.800	49	7.363	9.367	.000
Error	154.080	196	.786		
Total	7698.000	250			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### ใบรายงานผลการทดสอบ Hedonic Scaling

ตัวอย่าง มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

คำแนะนำ : ทดสอบตัวอย่างแล้วให้คะแนนความชอบ ตามคำอธิบายคะแนนความชอบข้างล่างนี้  
และกรณียบวณปาระหว่างตัวอย่าง

- |                     |                 |                    |
|---------------------|-----------------|--------------------|
| 1 = ไม่ชอบมากที่สุด | 2 = ไม่ชอบมาก   | 3 = ไม่ชอบเล็กน้อย |
| 4 = เฉยๆ            | 5 = ชอบเล็กน้อย | 6 = ชอบมาก         |
| 7 = ชอบมากที่สุด    |                 |                    |

รหัสตัวอย่าง .....  
 สี .....  
 กลิ่น .....  
 รสชาติ .....  
 เนื้อสัมผัส .....  
 ความชอบรวม .....  
 ข้อเสนอแนะ .....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

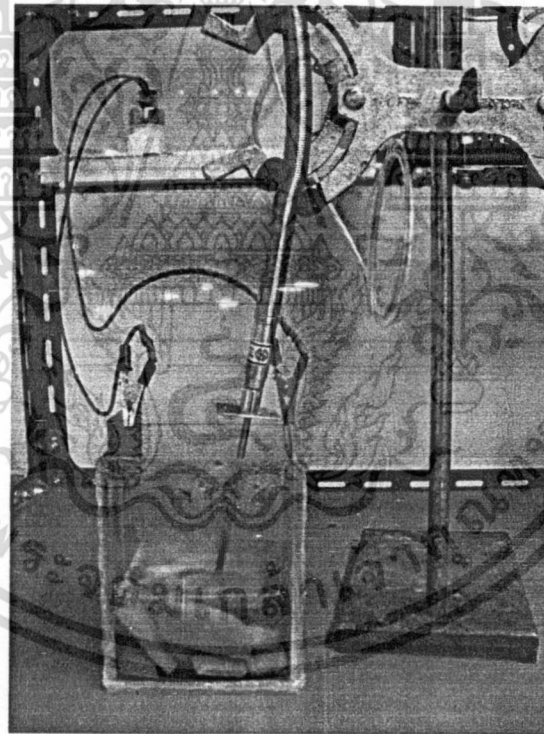
ขั้นตอนการผลิตมะละกอเชื่อมอบแห้งโดยใช้กระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๓3 แท่งมะละกอในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.3

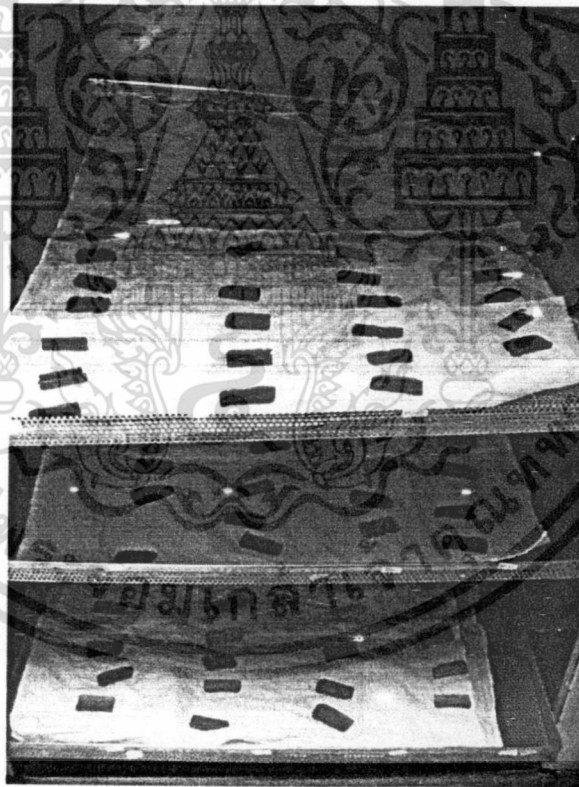


ภาพที่ ๓4 มะละกอกขณะผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

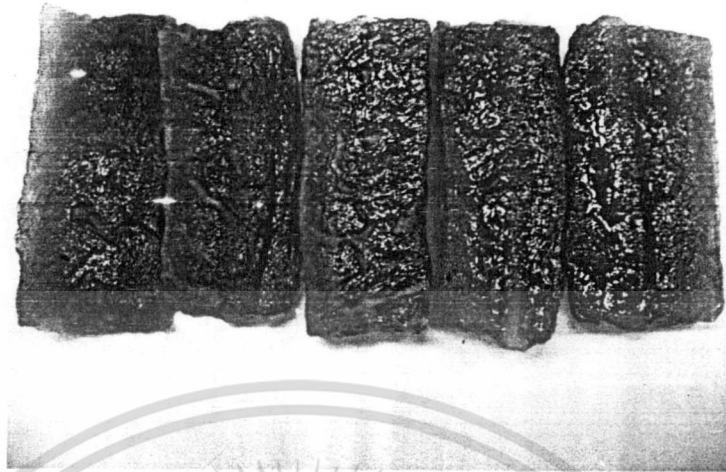


ภาพที่ ๖๕ มะละกอบดในสารละลายซูโครส



ภาพที่ ๖๖ มะละกอบดบดแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง7 มะละกอที่ผ่านกระบวนการแช่อมอบแห้งแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติคณะผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล  
 (ภาษาไทย) นาย ประมวล ศรีกาหลง  
 (ภาษาอังกฤษ) Mr. Pramoun Srikalong  
 ตำแหน่งปัจจุบัน

หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก

สาขา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวง ลำปลาทิว

เขต ลาดกระบัง จังหวัด กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์: 10520

หมายเลขโทรศัพท์ : 02-3298526 ต่อ 7266 โทรสาร: 02-3298527

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) : kjpramou@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี

สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาโท

สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาเอก

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

วิศวกรรมแปรรูปอาหาร

เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน

เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความเย็น

เทคโนโลยีไขมัน และ น้ำมัน

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ  
 สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยใน  
 แต่ละผลงานวิจัย

งานวิจัยที่สำเร็จแล้ว : หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อโครงการวิจัย อุปกรณ์สาธิตแปรรูปอาหารด้วยความเย็น ได้รับทุนจาก เงินรายได้  
 คณะฯ ประจำปี 2551
2. ชื่อโครงการวิจัย การออกแบบอุปกรณ์ผลิตไบโอดีเซลแบบพกพา ได้รับทุนจาก  
 เงินรายได้คณะฯ ประจำปี 2552

งานวิจัยที่กำลังทำ : ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. การพัฒนากระบวนการโอทมิก เพื่อเร่งการดูดซึมน้ำตาล ในกระบวนการ ผลิตภัณฑ์มะม่วงสุกแช่อบแห้ง ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากวช. ประจำปี พ.ศ. 2556 ได้ทำการวิจัยคล่องแล้วประมาณร้อยละ 80
2. การพัฒนาเครื่องคัดแยกโลหะปนเปื้อนในวัตถุดิบเมล็ดพริกไทย ระยะเวลา 1 ปี งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2556 ได้ทำการวิจัยคล่องแล้วประมาณร้อยละ 80

