



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการโอห์มมิก เพื่อเร่งการดูดซึมน้ำตาล
ในกระบวนการผลิตมะม่วงสุกแช่อิ่มอบแห้ง

DEVELOPMENT OF OHMIC HEATING PROCESS FOR ENHANCING
SUGAR ABSORPTION ON OSMOTIC DEHYDRATED RIPED MANGO

ดร. ประมวล ศรีกาหลง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการโอห์มมิก เพื่อเร่งการดูดซึมน้ำตาล
ในกระบวนการผลิตมะม่วงสุกแช่อิ่มอบแห้ง

DEVELOPMENT OF OHMIC HEATING PROCESS FOR ENHANCING
SUGAR ABSORPTION ON OSMOTIC DEHYDRATED RIPPED MANGO

ดร. ประมวล ศรีกาหลง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

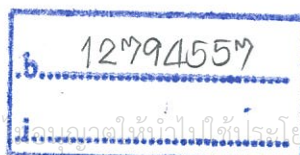
ป 351ก

2556

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 143554

วันเดือนปี 17 ต.ค. 2559



เอกสารนี้เป็นของส่วนราชการไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การพัฒนากระบวนการโอห์มมิก เพื่อเร่งการดูดซึมน้ำตาลในกระบวนการ
ผลิตมะม่วงสุกแช่อิ่มอบแห้ง

แหล่งเงินทุน งบประมาณเงินแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงิน 375,400 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ เดือน ตุลาคม 2555 ถึง เดือน กันยายน 2556

หัวหน้าโครงการ และหน่วยงานต้นสังกัด

ดร. ประมวล ศรีกาหลง สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของการทดลองนี้ คือ การพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงสุกแช่อิ่มอบแห้งให้ได้คุณภาพที่เป็นที่ต้องการของตลาด โดยใช้วิธีการบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง (ohmic heating process) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแก่อาหารโดยผ่านไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งตัวอย่างมะม่วงที่ใช้คือ มะม่วงพันธุ์แก้วขมิ้น นำไปผ่านกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิกที่ระดับความต่างศักย์ 4 ระดับ ได้แก่ (100 V , 150 V , 200 V และ 250 V) เป็นระยะเวลา 10 นาที ผลการเปรียบเทียบมะม่วงสุกแช่อิ่มอบแห้งระหว่างวิธีดั้งเดิมในการแช่อิ่ม และวิธีการผ่านกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก ปรากฏว่า วิธีโอห์มมิกทำให้เกิดการซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลได้ดีและเร็วกว่าวิธีดั้งเดิม เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ทำให้เซลล์ของ ผลไม้แตก แต่ไม่ทำให้คุณค่าทางอาหารของมะม่วงเสียไป รวมทั้งสี , กลิ่น , รส และเนื้อสัมผัสเกิดการสูญเสียต่ำ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ และใช้มะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว 3 วัน เป็นสภาวะที่ดีที่สุดของกระบวนการทำมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง

คำสำคัญ มะม่วง, ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง, โอห์มมิก

Research Title : DEVELOPMENT OF OHMIC HEATING PROCESS FOR ENHANCING SUGAR ABSORPTION ON OSMOTIC DEHYDRATED RIPED MANGO

Researcher : Dr. Pramoun Srikalong

Faculty : Agro-Industry

Department : Food process engineering

ABSTRACT

Objective of this experiment was developed the process for enhancing sugar absorption on osmotic dehydrated riped mango by ohmic heating process. Raw material was Kaew Kamin Mango. The 4 varied voltage(100V. 150V. 200V. 250V.) was passed directly for heating up into the center of mango for 10 minutes. For ohmic heating method, the result showed that the absorption of sugar solution was better than conventional method because the electrical current was penetrated into tissue cells as porous cell wall but it gets the good quality of product. The loss of colour, flavor and texture were low. The 100 voltage applied on 3 days mango after harvesting was the best treatment for osmotic dehydrated riped mango process.

Keywords : mango, Osmotic Dehydrated Fruit, Ohmic

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัย ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัย จากแหล่งทุน เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2556 และ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่อำนวยความสะดวกในการบริการสถานที่ ที่ทำงานวิจัย ทำงานได้สะดวกยิ่งขึ้น

ประมวล ศรีกาหลง
ผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของปัญหาพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก.....	3
2.2 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง.....	14
2.3 ค่าการนำไฟฟ้า.....	20
2.4 มะม่วง.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	30
3.2 วัสดุดิบและสารเคมี.....	32
3.3 วิธีการทดลอง	32
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	35
4.1 ผลการออกแบบและสร้างเซลล์ไฟฟ้าของเครื่องโอห์มมิก.....	35
4.2 ผลของประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องโอห์มมิก	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการวัดสีก่อนและหลังการผ่านกระบวนการแช่อิมบแห้ง.....	38
4.4 ผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างกระบวนการแช่อิม.....	40
4.5 ปริมาณน้ำตาล.....	54
4.6 เปอร์เซ็นต์ความชื้น.....	55
4.7 ผลการศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบความชอบ.....	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะต่อการศึกษาขั้นต่อไป.....	64
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี.....	73
ก.1 การวัดค่าสีระบบ Hunter Lab.....	74
ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล วิธี Rebelein.....	75
ภาคผนวก ข. แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	77
ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย.....	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 Performance of the device	37
4.2 Color measurement of mango.....	38
4.3 °Brix concentration in mango using conventional process (0 day after harvesting).....	40
4.4 °Brix concentration in mango by ohmic process (100 V) (0 day after harvesting).....	41
4.5 °Brix concentration in mango by ohmic process (150 V) (0 day after harvesting).....	41
4.6 °Brix concentration in mango by ohmic process (200 V) (0 day after harvesting).....	42
4.7 °Brix concentration in mango by ohmic process (250 V) (0 day after harvesting).....	42
4. 8 °Brix content in mango using conventional process (3 days after harvesting).....	45
4.9 °Brix content in mango by ohmic process (100 V) (3 days after harvesting).....	45
4.10 °Brix content in mango by ohmic process (150 V) (3 days after harvesting).....	46
4.11 °Brix content in mango by ohmic process (200 V) (3 days after harvesting).....	46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 °Brix content in mango by ohmic process (250 V) (3 days after harvesting).....	47
4.13 °Brix content in mango using conventional process (5 days after harvesting).....	49
4.14 °Brix content in mango by ohmic process (100 V) (5 days after harvesting).....	50
4.15 °Brix content in mango by ohmic process (150 V) (5 days after harvesting).....	50
4.16 °Brix content in mango by ohmic process (200 V) (5 days after harvesting).....	51
4.17 °Brix content in mango by ohmic process (250 V) (5 days after harvesting).....	51
4.18 % Moisture content in mango (0 day after harvesting).....	55
4.19 % Moisture content in mango(3 days after harvesting).....	56
4.20 % Moisture content in mango (5 days after harvesting).....	56
4.21 Sensory evaluation of Osmotic Dehydrated Riped Mango for optimal post harvest time to process.....	59
4.22 Sensory evaluation of Osmotic Dehydrated Riped Mango for selecting optimal process.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบโอทมมิก	4
2.2 รายละเอียดภายในท่อให้ความร้อนของกระบวนการการให้ความร้อนแบบโอทมมิก	5
2.3 แสดงผังกระบวนการให้ความร้อนแบบโอทมมิก	8
2.4 แสดงเส้นกราฟของการอบแห้ง	16
2.5 มะม่วงเขียวเสวย	24
2.6 มะม่วงน้ำดอกไม้	24
2.7 มะม่วงอกร่องทอง	25
2.8 มะม่วงฟ้าลั่น	25
2.9 มะม่วงหนังกลางวัน	25
2.10 มะม่วงแก้ว	26
2.11 มะม่วงโชคอนันต์	26
2.12 มะม่วงมหาชนก	27
3.1 เซลล์โอทมมิกที่สร้างขึ้น	30
3.2 เครื่องชั่ง	30
3.3 เครื่องชั่ง	31
3.4 Refractometer	31
3.5 มะม่วงแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.3% และ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.5%	33
3.6 การให้ความร้อนมะม่วงที่ใส่ในเซลล์ไฟฟ้า เพื่อทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อมะม่วง	33
3.7 มะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการให้กระแสไฟฟ้าแบบโอทมมิก	34
4.1 Electrical cell and electrode design	36
4.2 The electrical cell and electrodes used for the experiments	36
4.3 conductivity of NaCl	38
4.4 °Brix concentration of osmotic mango (3 days after harvesting) at 2 hour	43
4.5 °Brix concentration of osmotic mango (3 days after harvesting) at 4 hour	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.6 °Brix concentration of osmotic mango (3 days after harvesting) at 6 hour.....	44
4.7 °Brix concentration of osmotic mango (3 days after harvesting) at 2 hour.....	47
4.8 °Brix concentration of osmotic mango (3 days after harvesting) at 4 hour.....	48
4.9 °Brix concentration of osmotic mango (3 days after harvesting) at 6 hour.....	48
4.10 °Brix concentration of osmotic mango (5 days after harvesting) at 2 hour.....	52
4.11 °Brix concentration of osmotic mango (5 days after harvesting) at 4 hour.....	52
4.12 °Brix concentration of osmotic mango (5 days after harvesting) at 6 hour.....	53
4.13 % Sugar (0 day after harvesting).....	54
4.14 % Sugar (3 days after harvesting).....	54
4.15 % Sugar (5 days after harvesting).....	55
4.16 % Moisture content in mango at 0 day.....	57
4.17 % Moisture content in mango at 3 days.....	57
4.18 % Moisture content in mango at 5 days.....	58
4.19 ชั้นเนื้อมะม่วงที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า (0 โวลต์).....	62
4.20 ชั้นเนื้อมะม่วงที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า 100 โวลต์.....	62
4.21 ชั้นเนื้อมะม่วงที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า 250 โวลต์.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหาพิเศษ

กระบวนการผลิต ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ในปัจจุบันยังคงมีความสำคัญ เนื่องจากสามารถผลิตและส่งออกได้อย่างต่อเนื่อง เพราะประเทศไทย เป็นหนึ่งในผู้ผลิตผลไม้ที่มีคุณภาพ และมีมูลค่าการส่งออกที่สูงมาก ตัวอย่างปริมาณการส่งออกในแต่ละปี เรียงลำดับตั้งแต่ปี 2541-2544 มีมูลค่าการส่งออก ดังนี้ 8,949.02 13,448.52 9,696.16 และ 10,734.70 ล้านบาท (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2545) ซึ่งตัวอย่างผลไม้ที่มีการผลิตเป็นผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง เพื่อการส่งออกต่างประเทศในอันดับต้นๆ ได้แก่ มะม่วงสับปะรด และ มะละกอ เป็นต้น ในกระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งส่วนใหญ่มักจะต้องใช้ผลไม้ที่มีความสุกมากไม่ได้ (ห่าม) เนื่องจาก จะทำให้เนื้อสัมผัสไม่เป็นที่ต้องการของตลาด จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความด้อยในเรื่องของ กลิ่น และรสชาติ ในบางกรณีอาจจะต้องมีการเติมสารปรุงแต่งอื่นๆ ลงไปในผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ เช่น การเติมสี ในมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง เป็นต้น หรืออาจจะต้องมีการเพิ่มกลิ่นให้เป็นที่ต้องการของตลาด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการนำกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง (Ohmic heating process) มาใช้ในการปรับโครงสร้างของเนื้อเยื่อมะม่วงสุกเพื่อให้เกิดรูพรุนด้วยกระแสไฟฟ้าสลับโดยตรง เพื่อให้เนื้อเยื่อสามารถยอมรับการซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลได้เร็วกว่าปกติ โดยมะม่วงสุกยังคงสภาพอยู่ได้ เนื่องจากกระบวนการนี้ จะไม่ผ่านขั้นตอนการนำผลไม้ไปต้มแบบวิธีดั้งเดิม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นและรสของผลไม้สุกที่ดี ไม่ต้องใส่สารเติมแต่ง นอกจากนี้จะทำการทดสอบคุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของมะม่วงสุกแช่อิ่มอบแห้งแล้ว จะทำการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีทดสอบโดยผู้ทดสอบชิมมาเป็นแนวทางในการตัดสินใจยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการในการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 สร้างอุปกรณ์ ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก ที่มีขนาดเล็ก สะดวกในการใช้งาน สามารถควบคุมระยะเวลาในการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้

1.2.2 ศึกษากระบวนการผลิต และคุณสมบัติของมะม่วงสุกแช่อิ่มอบแห้ง โดยใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ

ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก รวมถึงการทดสอบระบบการทำงานของอุปกรณ์ที่เหมาะสมโดยสามารถใช้ได้กับมะม่วงสุก ที่มีลักษณะภายนอกแตกต่างกัน ทั้งรูปร่างและขนาด และเปรียบเทียบความสามารถในกระบวนการผลิตมะม่วงสุกแช่อิ่ม

อบแห้ง ของอุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโหม้มิกที่สร้างขึ้น และทดสอบการยอมรับของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อผลิตภัณฑ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้อุปกรณ์ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อผลไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าแบบโหม้มิก รวมถึง การทดสอบระบบการทำงาน ของอุปกรณ์ที่เหมาะสม ทั้งรูปร่างและขนาด และได้ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง ชนิดสุกแบบใช้สารเคมีน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

2.1.1 เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (ohmic heating technology)

ในปัจจุบันมีการผลิตอาหารพร้อมบริโภคชนิดต่างๆ มากมาย โดยอาหารชนิดที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ได้แก่อาหารที่ทำให้สุกและแช่เย็น (cooked – chilled) ซึ่งให้ความสะดวกสบายแก่ผู้บริโภค รวมทั้งอาหารที่ผลิตขึ้นนี้มีคุณภาพสูงกว่าอาหารแช่เยือกแข็งและอาหารบรรจุกระป๋องที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนแบบดั้งเดิม (traditional/conventional heat processing) อย่างไรก็ตามอาหารที่ทำให้สุกและแช่เย็นนี้มีอายุการเก็บรักษาที่จำกัด เนื่องจากยังคงมีจุลินทรีย์ปนเปื้อน ซึ่งจะต้องยับยั้งการเจริญโดยการนำไปแช่เย็น ถึงแม้ว่าการสเตอริไลส์อาหารบรรจุกระป๋อง จะทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารได้ที่อุณหภูมิปกติ (ambient temperature) หรืออุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาอันยาวนาน แต่พบว่าคุณภาพของอาหารจะต่ำลง เนื่องจากมีการใช้ความร้อนสูงภายนอกเพื่อที่จะทำให้อาหารที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุตรงจุดที่ร้อนช้าที่สุด (cold spot) ได้รับความร้อนในระดับที่กำหนด

การใช้กระบวนการปลอดเชื้อ (aseptic processing) โดยการให้ความร้อนแก่อาหารด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (plate) แบบท่อ (tubular) แบบกวาดพื้นผิว (scraped surface heat exchanger) หรือการฉีดพ่นไอน้ำโดยตรง (steam injection) ตามด้วยการบรรจุอาหารลงในภาชนะบรรจุกระดาษหรือพลาสติกภายใต้สภาพปลอดเชื้อ เป็นวิธีการหนึ่งที่เป็นทางเลือกเพื่อหลีกเลี่ยงการทำให้สุกมากเกินไป (over cooking) และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมในปัจจุบันเช่น อุตสาหกรรมการผลิตน้ำนมหรือน้ำผลไม้

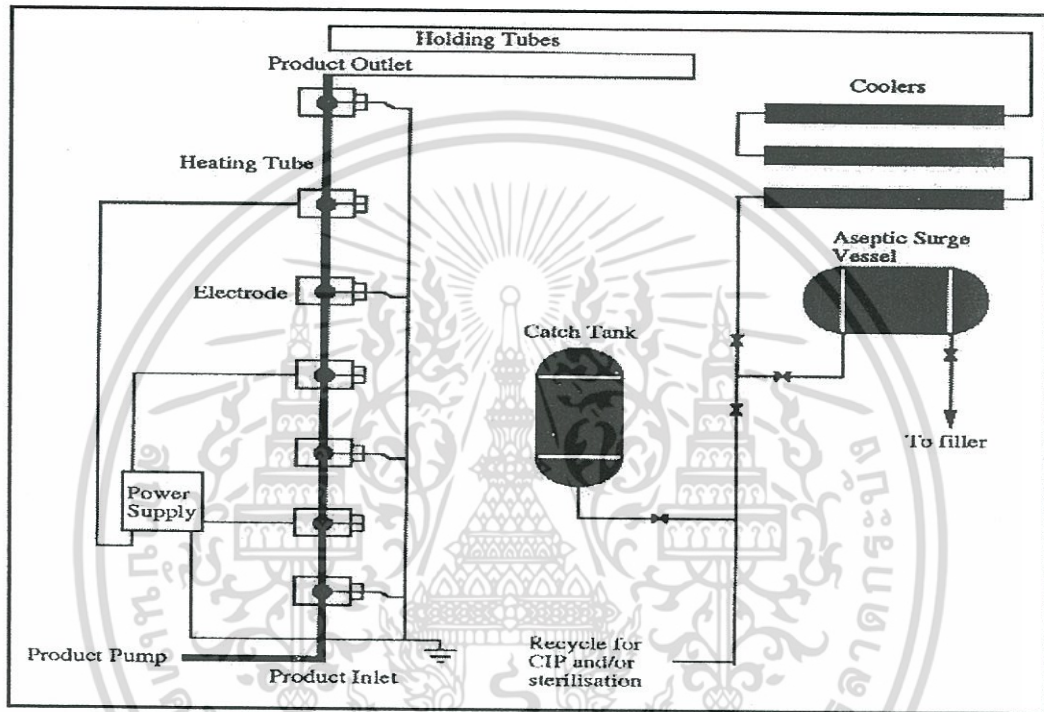
การแก้ปัญหการถ่ายเทความร้อนนี้สามารถกระทำได้โดยการใช้กระบวนการให้ความร้อนที่เกิดจากความต้านทานไฟฟ้าหรือแบบโอห์มมิก ซึ่งเป็นการผ่านกระแสไฟฟ้า (electric current) ไปยังอาหารที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง (continuous flow) ทำให้อุณหภูมิหรือชิ้นส่วนของแข็งและของเหลวในอาหารเกิดความร้อนด้วยอัตราเดียวกัน

และใช้เวลาสั้นกว่ากระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะในอาหารที่เป็นของเหลวที่มีปริมาณของแข็งหรือชิ้นอาหารอยู่มาก (high solid fractions)

2.1.2 หลักการของเทคโนโลยี

กระบวนการให้ความร้อนที่เกิดจากความต้านทานไฟฟ้าหรือแบบโอห์มมิก (Ohmic Heating หรือ Joule Heating) เป็นการผ่านกระแสไฟฟ้า (Electric Current) ไปยังอาหารที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง (Continuous Flow) ทำให้อุณหภูมิหรือชิ้นส่วนของแข็งและของเหลวในอาหารเกิดความร้อนด้วยอัตราเดียวกัน และใช้เวลาสั้นกว่ากระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะในอาหารที่

เป็นของเหลวที่ปริมาณของแข็งหรือชิ้นอาหารอยู่มาก (High Solid Fraction) เทคนิคที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อนแบบนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในเชิงอุตสาหกรรมและการค้า ในการสเตอริไลส์อาหารผสมที่มีลักษณะดังกล่าว รวมทั้งการให้ความร้อนแก่อาหารอื่นๆ



ภาพที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (APV Baker ohmic heater)
ที่มา : Fryer (1995)

ลักษณะการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิกแสดงดังรูปที่ 2.1 เริ่มต้นจากอาหารเหลวถูกปั๊มผ่านท่อที่เกิดความร้อน (heating tubes) โดยท่อนี้อยู่ในแนวตั้งหรือเอียงเล็กน้อย ซึ่งภายในท่อจะมีจุดที่เชื่อมต่อกับขดของอิเล็กโทรด การปั๊มอาหารเหลวผ่านท่อดังกล่าวจำเป็นต้องใช้แรงดันที่คงที่และเหมาะสมเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการเดือด โดยใช้ได้ถึงระดับ 4 บาร์สำหรับการสเตอริไลส์อาหารที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส จากภาพจะเห็นว่ามีอิเล็กโทรด 7 อันแต่ละอันจะมีอิเล็กโทรดข้างเคียงสองอันที่ต่อกับสายดิน (earth) ขดของอิเล็กโทรดแต่ละอันจะมีอิเล็กโทรดที่อยู่ภายในท่อและอยู่ในตำแหน่งที่วางยื่นออกมาในแนวขวางกับการไหลของอาหาร โดยกล่องหรือขดของอิเล็กโทรดนี้ทำด้วยพลาสติกโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (polytetrafluoroethylene, PTFE) และหุ้มด้วยโลหะสแตนเลสอีกชั้นหนึ่งและขดอิเล็กโทรดแต่ละอันจะเชื่อมต่อกันด้วยท่อสแตนเลสที่หุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้า (ฉนวนที่เหมาะสมในการใช้ได้แก่โพลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวนิลิดีนฟลูออไรด์ (polyvinylidene fluoride, PVDF) และโพลีอีเทอร์คีโตน (polyether ether ketone, PEEK) หรือแก้ว) ท่อที่ให้ความร้อนนั้นอาจตั้งตรงหรือเอียงเล็กน้อยและมีวาล์ว (vent valve) ตรงด้านบนสุดเพื่อให้อาหารที่เข้ามาในท่อเต็มอยู่ตลอดเวลา โดยความยาวของท่อในแต่ละช่วงจะมีความแตกต่างกันในแต่ละคู่ของอิเล็กโทรดเพื่อให้แต่ละช่วงมีค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้า (electrical impedance) ที่ใกล้เคียงกัน โดยท่อแต่ละช่วงจะมีความยาวเพิ่มขึ้นจากทางเข้าของอาหาร จนถึงทางออกจากท่อของการให้ความร้อนเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า (electrical conductivity) มีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.2 รายละเอียดภายในท่อให้ความร้อนของกระบวนการการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก
ที่มา : (Sandrine et al., 2001)

2.1.3 เครื่องให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าของ APV

เครื่องมือการสเตอริไลส์อาหารโดยใช้ความร้อนจากความต้านทานกระแสไฟฟ้าหรือแบบโอห์มมิกได้รับการพัฒนาขึ้น โดย EA Technology เมือง Capenhurst ประเทศอังกฤษ ต่อมาในปี ค.ศ. 1984 บริษัท APV Baker ได้นำมาพัฒนาต่อและจดลิขสิทธิ์ระบบการฆ่าเชื้อในอาหารโดยใช้กระแสไฟฟ้าในระดับอุตสาหกรรม โดยกำลังของเครื่อง (power outputs) มีขนาด 75 และ 300 กิโลวัตต์ (kW) ซึ่งสามารถฆ่าเชื้ออาหารได้ในอัตรา 750 และ 3,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ การทำให้เกิดความร้อนแก่อาหารด้วยกระแสไฟฟ้านั้น ขึ้นกับความสามารถในการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ของอาหาร ซึ่งอาหารส่วนใหญ่ที่ เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการมีปริมาณของน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(free water) ซึ่งมีไอออนของเกลือละลาย (dissolved ionic salts) ในระดับปานกลาง ซึ่งเพียงพอต่อการทำให้เกิดความร้อนเนื่องมาจากการผ่านของกระแสไฟฟ้า

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการ Ohmic Heating

2.1.4.1 ค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร (Electrical conductivity) อัตราการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าของอาหารจะเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านอาหารได้มากหรือน้อยกล่าวคือ ถ้าการนำไฟฟ้าของอาหารสูง กระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านได้มากเช่นกันส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในอาหารเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกันถ้าค่าการนำไฟฟ้าของอาหารต่ำ กระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านได้น้อยอัตราการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในอาหารเกิดขึ้นอย่างช้าๆ

2.1.4.2 ความเข้มสนามไฟฟ้า (Field strength) ผลของความเข้มสนามไฟฟ้าต่ออัตราการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในอาหาร พบว่าเมื่อให้ความเข้มสนามไฟฟ้า เพิ่มมากขึ้นมีผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิ ในอาหารสูงขึ้นเช่นกันสาเหตุอาจเป็นเพราะว่าการเพิ่มความเข้มสนามไฟฟ้าเปรียบเสมือนการเพิ่มพลังงานให้กับระบบ ทำให้อาหารสามารถสร้างความร้อนได้อย่างรวดเร็ว

2.1.4.3 ขนาดและรูปร่างชิ้นอาหาร (Particle size and shape) ขนาดและรูปร่างชิ้นอาหารมีผลต่อการกระจายของสนามไฟฟ้าในกระบวนการ Ohmic heating ซึ่งมีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในชิ้นอาหารและอาหารเหลวที่อยู่รอบๆ ผลของขนาดชิ้นอาหารที่แขวนลอยในอาหารเหลวต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ยของอาหาร พบว่าเมื่อขนาดของชิ้นอาหารใหญ่ขึ้นทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ยลดลง เนื่องจากอาหารเหลวที่มีชิ้นอาหารขนาดเล็กแขวนลอยอยู่อาจช่วยให้การกระจายของสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

ทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอาหารมีมากกว่าอาหารเหลวที่มีชิ้นอาหารขนาดใหญ่แขวนลอยอยู่ ซึ่งมีลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้าผิดรูปไป ผลของรูปร่างชิ้นอาหารต่ออัตราการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในชิ้นอาหารและอาหารเหลวที่อยู่รอบๆ โดยทดลองในระบบสเถียร ชิ้นอาหารในมันฝรั่ง 1 ชิ้น

โดยเปลี่ยนแปลงรูปร่างคือ เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างความยาวของชิ้นอาหาร (L) ที่ขนานกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดขวาง (A) ของชิ้นอาหาร โดยปริมาตรของชิ้นอาหารคงที่ ผลการทดลองพบว่า ชิ้นอาหารที่มีค่า L/A สูง อัตราการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในชิ้นอาหารและอาหารเหลวที่อยู่รอบๆ จะต่ำกว่าชิ้นอาหารที่มีค่า L/A ต่ำกว่า

2.1.4.4 ทิศทางการจัดเรียงของชิ้นอาหาร (Particle orientation) ชิ้นอาหารที่วางในแนวตั้งฉาก กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าร้อนเร็วกว่าชิ้นอาหารที่วางในแนวขนานกับทิศทางการไหล ของกระแสไฟฟ้า สำหรับชิ้นอาหารที่มีรูปร่างทรงกลมและทรงลูกบาศก์ พบว่าทิศทางการจัดเรียงไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในชิ้นอาหาร อาจเป็นเพราะว่าค่า L/A ของชิ้นอาหารทั้งสองรูปร่างนี้ไม่ขึ้นกับทิศทางการจัดเรียง

2.1.4.5 ปริมาณชิ้นอาหาร (Partical concentration) ปริมาณชิ้นอาหารที่แขวนลอยในอาหารมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอาหารเหลวที่อยู่รอบๆ แต่มีผลอย่าง

ไม่มีนัยสำคัญต่ออัตราการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในชั้นอาหาร สำหรับอาหารเหลวที่มีชั้นอาหารแขวนลอยในปริมาณมาก มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในชั้นอาหารต่ออาหารเหลวที่อยู่รอบๆสูงกว่าอาหารเหลวที่มีชั้นอาหารเหลวแขวนลอยในปริมาณที่น้อยกว่า

2.1.5 สภาพที่เหมาะสมในการใช้งาน

การให้ความร้อนโดยโอห์มมิกเหมาะสำหรับการให้ความร้อนแก่อุตสาหกรรมอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวและมิอนุภาคของแข็งเจือปน เช่น ซอสผลไม้และซอสผัก เนยถั่ว ซอสพาสต้า ไข่ขนมพายซูป และอาหารสัตว์ รวมถึงการใช้ความร้อนสูงในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำนม เป็นต้น

การทำให้เกิดความร้อนแก่อาหารด้วยกระแสไฟฟ้านั้น ขึ้นกับความสามารถในการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ของอาหาร ซึ่งอาหารส่วนใหญ่ที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการ จะมีปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) ซึ่งมีไอออนของเกลือละลาย (Dissolved ionic salts) ในระดับปานกลาง ซึ่งเพียงพอต่อการทำให้เกิดความร้อนอันเนื่องมาจากการผ่านของกระแสไฟฟ้า

2.1.6 การประยุกต์ใช้กับกระบวนการฆ่าเชื้อ

2.1.6.1 ใช้ร่วมกับกระบวนการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (aseptic processing) สำหรับอาหารที่มีคุณค่าสูงและอาหารพร้อมรับประทานโดยสามารถเก็บรักษาและขนส่งที่อุณหภูมิห้อง

2.1.6.2 ใช้พาสเจอร์ไรส์อาหารเหลวที่มีชั้นอาหารสำหรับการบรรจุร้อน (hot filling)

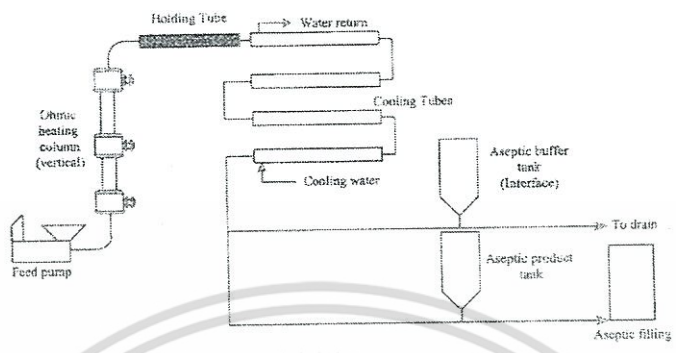
2.1.6.3 ใช้เพิ่มระดับอุณหภูมิของอาหารก่อนนำอาหารนั้นไปฆ่าเชื้อต่อโดยวิธีดั้งเดิม (อาหารบรรจุกระป๋อง)

2.1.6.4 ใช้ในการผลิตอาหารพาสเจอร์ไรส์อาหารพร้อมรับประทานที่มีความสะอาดและมีคุณค่าสูงโดยสามารถเก็บรักษาและขนส่งโดยการแช่เย็น

2.1.7 การใช้เครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิกร่วมกับกระบวนการบรรจุแบบปลอดเชื้อ

เครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิกสามารถนำมาต่อเข้ากับระบบการบรรจุแบบปลอดเชื้อโดยใช้ในการสเตอริไลส์หรือทำความร้อนให้แก่อาหารได้เป็นอย่างดี เมื่ออาหารผ่านการให้ความร้อนแล้วจะต้องทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับระบบที่ให้ความร้อนทั่วไป ซึ่งมักนิยมใช้วิธีการแลกเปลี่ยนความร้อนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกวาด (scraped surface) หรือแบบท่อ (tubular heat exchanger) แต่นิยมใช้แบบท่อมากกว่าเนื่องจากการทำลายลักษณะของชั้นอาหารของแข็งเกิดขึ้นน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงผังกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก
ที่มา : (Sandrine et al., 2001)

2.1.8 ข้อควรพิจารณาในการประยุกต์ใช้งาน

2.1.8.1 ค่าใช้จ่ายพลังงานเนื่องจากความร้อนที่ได้จะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อต้องการความร้อนมากก็จะมีค่าใช้จ่ายพลังงานมากตามไปด้วย

2.1.8.2 ศักยภาพการประหยัดพลังงาน การให้ความร้อนโดยโอห์มมิกฮีทเตอร์ ช่วยลดเวลาและประหยัดพลังงานได้ประมาณ 25% เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนในกระบวนการอุตสาหกรรมอาหารแบบเดิม

2.1.8.3 กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหารที่ต้องมีการให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิต เช่นกระบวนการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (Aseptic Processing) หรือกระบวนการฆ่าเชื้อแบบ Pasteurizer, Sterilizer เป็นต้น

2.1.9 คุณภาพของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกนั้น จะเห็นว่ามีคุณภาพดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ให้ความร้อนแบบดั้งเดิม มาตรฐานของคุณภาพในที่นี้ได้แก่ความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ (เช่น ค่า lethality ของกระบวนการ) ผลของการทำให้สุก (cooking effects) และการคงคุณค่าทางโภชนาการและวิตามินของผลิตภัณฑ์กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกนั้นแตกต่างจากกระบวนการให้ความร้อนแบบอื่นๆ ตรงที่ไม่มีการแผ่กระจายของความร้อน (heat penetration) ไม่ว่าจะเป็นการแผ่กระจายความร้อนจากด้านนอกไปยังจุดศูนย์กลางของอาหาร (ในการฆ่าเชื้ออาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท) หรือจากด้านนอกของชั้นอาหารไปยังจุดศูนย์กลางด้านใน (โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อหรือแบบกวาด) ซึ่งกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอและรวดเร็ว ทำให้มีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ในระดับสูง จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบพบว่ากระบวนการนี้มีช่วงของค่า lethality ที่แคบมากจากผิวหน้าไปยังจุดศูนย์กลางของชิ้นอาหาร

2.1.10 ประโยชน์ของเทคโนโลยี

2.1.10.1 ประสิทธิภาพสูง พลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้เกือบ 100% ซึ่งสูงกว่าการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเป็นความร้อน ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 50-80% เนื่องจากการสูญเสียจากการเผาไหม้

2.1.10.2 ความสามารถในการควบคุม สามารถติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติทดแทนการควบคุมโดยคนทั้งหมด ปริมาณความร้อนจะถูกควบคุมให้เหมาะสมกับงาน และมีความยืดหยุ่นมากกว่าวิธีอื่น

2.1.10.3 การบำรุงรักษาต่ำ อุปกรณ์มีอายุการใช้งานนาน ง่ายและทนทาน ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เสริมหรืออุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ

2.1.10.4 ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหาร มีรสชาติสดกว่าและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า

2.1.10.5 สามารถให้ความร้อนในระบบการไหลอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้พื้นผิวในการถ่ายเท ความร้อน

2.1.10.6 ความร้อนในชิ้นอาหารเกิดขึ้นได้โดยไม่ขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อนผ่านของเหลว

2.1.11 ข้อได้เปรียบของกระบวนการ

2.1.11.1 ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหาร มีรสชาติสดกว่าและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า

2.1.11.2 สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เพิ่มมูลค่าสูงขึ้นได้ (high added value)

2.1.11.3 สามารถให้ความร้อนในระบบการไหลต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้พื้นผิวในการถ่ายเทความร้อน

2.1.11.4 เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อแรงเฉือน (shear sensitive)

2.1.11.5 ความร้อนในชิ้นอาหารเกิดขึ้นได้โดยไม่ขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อนผ่านของเหลว

2.1.11.6 ระบบเดินเรียบ

2.1.11.7 ต้นทุนในการบำรุงรักษาต่ำ

2.1.11.8 ระบบควบคุมง่ายและสามารถเปิดปิดได้ทันที

2.1.11.9 ประหยัดต้นทุนในการแปรรูปและการบรรจุ

2.1.11.10 ประยุกต์ใช้กับภาชนะบรรจุได้หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.12 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและการนำกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารเพื่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์และเ็นไซม์

1. ใช้ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ และ สเตอริไลส์

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 ซึ่งสามารถผลิตและจำหน่าย, ให้กับผู้บริโภคได้ถึงวันละ ห้าหมื่นคน และพบว่าเป็นเทคโนโลยีการพาสเจอร์ไรส์ที่ปลอดภัย

ส่วนการพาสเจอร์ไรส์ผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่นน้ำผลไม้ต่างๆ Hung and Jindal (1992) ศึกษากระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เพื่อใช้ในการพาสเจอร์ไรส์น้ำผลไม้ จากการทดลองสร้างเครื่องที่ใช้ในการให้ความร้อนมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม โดยให้น้ำผลไม้ไหลไปตามแนวยาวของกล่องสี่เหลี่ยมจากส่วนล่างขึ้นบน และปล่อยไฟฟ้ากระแสสลับตัดผ่านแนวการไหลของน้ำผลไม้

โดยอาศัยหลักสมมูลพลังงาน การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ และอุณหภูมิของน้ำผลไม้ เพื่อที่จะสามารถกำหนดค่าความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้า และอัตราการไหลของน้ำผลไม้ที่จะใช้ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมการคำนวณให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองปฏิบัติจริง หลังจากเดินเครื่องเพื่อปรับสภาพระบบอุณหภูมิของน้ำผลไม้จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องจนถึงระดับพาสเจอร์ไรส์ในเวลาน้อยกว่า 100 วินาที (ให้อัตราการไหลสูงกว่า 160 กรัมต่อนาที) การพาสเจอร์ไรส์น้ำส้ม และน้ำสับปรดที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆกันเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพาสเจอร์ไรส์ โดยใช้หม้อน้ำต้ม พบว่าวิธีการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงจะมีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำผลไม้ ซึ่งผลการทดลองของ Hung and Jindal (1992) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประมวล (1996) ในปี ค.ศ. 1993 บริษัท APV Baker ได้สร้างเครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิกขึ้นในทางการค้าจนถึงปัจจุบัน ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถพาสเจอร์ไรส์ผลิตภัณฑ์อาหารเหลว ได้ในอัตราสูงถึง 3,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนการศึกษาในเชิงลึกของการเปลี่ยนแปลงของอาหารเมื่อทำการพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธีนี้มีมากมาย เช่น การศึกษาความคงตัว และอายุการเก็บที่มีผลต่อประสาทสัมผัสของการพาสเจอร์ไรส์น้ำส้มด้วยวิธีโอทึมมิก โดย Leizeron and Shimoni (2005) พบว่า การพาสเจอร์ไรส์น้ำส้มสายพันธุ์ต่างๆ จะช่วยสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้ดี เช่นเดียวกับการใช้ไอน้ำ แต่จะมีความคงตัว และมีอายุการเก็บที่มากกว่าถึง 2 เท่า หรือ อีกตัวอย่างหนึ่งคือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันแพะที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธีโอทึมมิก ซึ่งเป็นงานวิจัยของ Pereira et al. (2008) พบว่าการพาสเจอร์ไรส์น้ำมันแพะด้วยวิธีโอทึมมิก ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณของกรดไขมันอิสระ

สำหรับการนำกระบวนการให้ความร้อนแบบโอทึมมิก ไปใช้ในการสเตอริไลส์ผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การศึกษาการสเตอริไลส์อาหารประเภท ผลไม้ เช่น แอปเปิ้ลแดง แอปเปิ้ลเหลือง ลูกพีช ลูกแพร์ สับปะรด และ สตอร์เบอร์รี่ เทียบกับ เนื้อสัตว์ ประเภทต่างๆ เช่น เนื้อไก่ เนื้อหมู และ เนื้อวัว ซึ่งใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงถึง 140 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า คุณสมบัติค่าการนำไฟฟ้าของทุกผลิตภัณฑ์ จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่ออุณหภูมิในการฆ่าเชื้อสูงขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลไม้สด จะมีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำกว่าประเภทเนื้อสัตว์ (Sanjay et al., 2008) และอีกตัวอย่างหนึ่งที่มีการศึกษาผลของการสเตอริไลส์แบบโอทึมมิก

ที่มีต่อจุลินทรีย์และการเสถียรภาพของโปรตีนในน้ำมัน โดย Huixian et al. (2008) พบว่าสามารถลดระยะเวลาในการทำลาย เชื้อ *Streptococcus thermophilus* 2646 ได้มากกว่าแบบการใช้ไอน้ำในการพาสเจอร์ไรส์ แต่การตกตะกอนของโปรตีนในน้ำมันไม่มีความแตกต่างกันในทั้ง 2 วิธี นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการหาค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวในกระบวนการให้ความร้อนแบบโอทึมมิกระบบสถิตย์ โดย ประมวล ศรีกาหลง และ คณะฯ (2542) พบปรากฏการณ์หลายอย่าง เช่น เมื่ออาหารเหลว มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ อุณหภูมิอาหารเหลวที่เพิ่มขึ้น จะพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ การทดลองของ ประมวล ศรีกาหลง และ คณะฯ (2550) เรื่อง การศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดในอาหารด้วยระบบโอทึมมิก สำหรับการพัฒนากระบวนการพัฒนากระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยการพัฒนาซอฟต์แวร์ในการขยายสเกลของเครื่อง โดย ประมวล ศรีกาหลง และ คณะฯ (2543) พบว่าสามารถขยายสเกลของเครื่องใช้งานได้อย่างสะดวก

2. ใช้ในกระบวนการลวกผลิตภัณฑ์ทางอาหาร

เช่น การศึกษาของ Mizrahi et al. (1975) ศึกษาการใช้กระแสไฟฟ้าในการลวกผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งผู้ศึกษาได้อธิบายว่า ก่อนหน้านั้น วิธีการทั่วไปที่ใช้ในการลวก คือ มักจะใช้น้ำร้อน หรือ ไอน้ำ ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ ในกรณีที่จะต้องมีการลวกผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดชิ้นใหญ่ เช่น ข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งผัก การถ่ายเทความร้อนแบบการนำ จะต้องใช้เวลานาน และอาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากการทดลองลวกข้าวโพดทั้งฝัก อุณหภูมิของข้าวโพดจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในอัตรา 2-3 องศาเซลเซียสต่อวินาที เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 380 โวลต์ และใช้แผ่นขั้วไฟฟ้าที่มีความยาว 7 เซนติเมตร โดยไม่มีผลต่อ กลิ่นรสของข้าวโพดภายหลังการลวก และยังมีผลต่อการยับยั้งการการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสอย่างสมบูรณ์ ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่า 3 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลวกโดยใช้ไอน้ำต้องใช้เวลาราว 17 นาที ถึงจะให้ผลจากการลวกเท่ากัน อีกตัวอย่างหนึ่งเป็นการศึกษาการลวกถั่วบดเพื่อศึกษาผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เพอร์ออกซิเดส ซึ่งศึกษาโดย Filiz et al. (2006) พบว่าเมื่อทำการลวกถั่วบดด้วยวิธีโอห์มมิก เทียบกับการลวกโดยใช้ไอน้ำร้อน การลวกด้วยวิธีโอห์มมิกจะใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เพอร์ออกซิเดส และจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์ที่สุด ที่เวลาในการลวก 54 วินาที

อีกตัวอย่างหนึ่งเป็นการศึกษาการลวกผลิตภัณฑ์อาหารชนิดที่เป็นแบบของเหลวที่มีของแข็งปน โดยใช้เนื้อไก่ในซอสเป็นตัวแทนในการทดลอง ซึ่งศึกษาโดย Sarang et al. (2007) พบว่า เมื่อมีการลวกผลิตภัณฑ์ก่อนการนำไปให้ความร้อนจะเป็นผลดีมาก เนื่องจากจะทำให้เมื่อนำไปให้ความร้อนแล้วการกระจายความร้อนจะดีขึ้น และผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับเป็นอย่างดี

3. ใช้ในกระบวนการอื่นๆ

การศึกษา กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงแบบอื่นๆ ที่นำมาใช้กับกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น Sandrine et al. (2001) ทดลองใช้กระแสไฟฟ้าในการให้ความร้อนกับอาหารที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง เช่น ดอกกระหล่ำ ซึ่งได้ผลดีเป็นอย่างยิ่ง, ในปี ค.ศ. 2003 มีการทดลอง การเพิ่มปริมาณการสกัดน้ำมันรำข้าว จากรำข้าวดิบ โดย Lakkakula et al. ซึ่งสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้สูงสุดถึงร้อยละ 92, ในปี ค.ศ. 2004 มีการทดลองใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงในการทำให้ แสมเบเกอร์ที่ทำจากเนื้อให้สุก โดย Ozkan et al. พบว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยวิธีการอื่น, ในปี ค.ศ. 2007 มีการทดลองใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงในการผลิตเต้าหู้แข็ง โดย Wang et al. ซึ่งพบว่า ช่วยให้เต้าหู้แข็งขึ้น และลดการซึมออกมาของน้ำจากก้อนเต้าหู้ได้ดีขึ้นอีกด้วย หรือ มีการทดลองใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงกับผัก หรือ ผลไม้ก่อนที่จะนำไปอบแห้ง โดย Lima and Sastry (1999) ซึ่งจะผลดีคือ จะทำให้อัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้น, ในปี พ.ศ. 2550 มีการทดลองใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงในการหุงข้าวให้สุกโดย ประมวล ศรีกาหลง และ งามอง เสรีรัตน์ประสาน พบว่าสามารถหุงข้าวให้สุกได้ภายใน 10 นาที โดยไม่ต้องใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วยในการนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการให้ความร้อนแล้ว ยังมีผู้ศึกษาผลของ กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ที่มีต่อจุลินทรีย์ที่สามารถทนเป็นอยู่ในอาหารด้วย ตัวอย่าง เช่น Ockerman and Szczawinski (1984) และ Palaniappan et al. (1991) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของ กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงรวมกับการใช้สารเคมี ที่มีต่อการทำลายแบคทีเรีย โดยได้สรุปผลที่เกิดขึ้นว่า อนุโมลเคมีอิสระ และ ไอออนของโลหะจากขั้วไฟฟ้าสามารถทำให้แบคทีเรียตาย โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จะเพิ่มขึ้นอย่างมากตามการแพร่ผ่านของสารประกอบเคมีที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ภายใต้ปฏิกิริยาของการช็อคด้วยกระแสไฟฟ้า

ผลของความร้อนจะมีผลน้อยเมื่อใช้ความต่างศักย์สูงในการให้ความร้อน ในขณะที่ความร้อนเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้แบคทีเรียตาย เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำ สำหรับยีสต์ Palaniappan et al. (1991) ได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า และการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า ร่วมกับการใช้วิธีการให้ความร้อนแบบอื่น ต่อการตายของจุลินทรีย์ที่เลือกมาทำการทดลอง สารละลายของยีสต์ *Zygosaccharomyces bacilli* ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พบว่าสามารถใช้กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงในการทำลายเซลล์ได้เป็นอย่างดี

การศึกษาในด้านการทำให้เนื้อเยื่อพืชเป็นรูปพูนเพื่อใช้ประโยชน์ในด้าน การสกัดสารสำคัญ และ น้ำผลไม้จาก ผลไม้ชนิดต่างๆ ของไทย มีหลายงานวิจัย เช่น Pramoun et al. (2011) ศึกษาผลของ กระบวนการโอห์มมิกที่มีต่อการเพิ่มปริมาณน้ำฝรั่งคั่งสด การศึกษาผลของกระบวนการโอห์มมิกที่มีต่อการเพิ่มปริมาณน้ำแครอทคั้น โดย กิตติศักดิ์ คำมี และ คณะฯ (2553) และ การสกัดน้ำมันจากสาหร่าย โดยใช้เทคนิคแรงเหวี่ยงร่วมกับแรงกระแทก โดย ประมวล ศรีกาหลง และ คณะฯ (2553)

สำหรับกระบวนการศึกษา ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ในรูปแบบที่มีการประยุกต์ กระบวนการให้ดีขึ้น มีการศึกษาหลายงานวิจัย เช่น ศักดิ์รินทร์ รัสศรี (2541) ศึกษาการใช้ป้มความร้อนในการทำแห้ง มะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง พบว่าสามารถผลิตมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งได้คุณภาพ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ในปี 2539 พี่ระพันธ์ สมองชาติ ได้พัฒนากระบวนการอบแห้งผลไม้ด้วยเครื่องอบแบบถาดหมุน พบว่าสามารถอบแห้งได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีกว่า เครื่องอบแห้งแบบถาดหยุดนิ่ง และพบว่า ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบคือ 65 องศาเซลเซียส จะประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายมากที่สุด ปวีณา อินทจักร์ และ พิชญ์ บุญประสม (2549) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชันร่วมกับเทคนิคสเปาเด็ดเบด ในการทำแห้งเนื้อมะม่วงแก้ว พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งไม่มีผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ทิพสุดา อาสาสรรพกิจ และ คณะ (2550) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพสตรอเบอร์รี่อบแห้งโดย กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันสภาวะสุญญากาศ พบว่ากระบวนการนี้สามารถ ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด คือ อะัจฉริยวิริยะ และ สมชาติ โสภณธฤทธิ์ (2533) ศึกษาพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับวิเคราะห์การอบแห้งมะละกอแช่ส้ม

พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง คือ ความชื้นสมดุล สัมประสิทธิ์การแพร่ ความหนาแน่น และ ความร้อนจำเพาะ และ Allali et al. (2010) ศึกษาการใช้กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยตรงแบบโอห์มมิก ในการแปรรูปสตอเบอร์รี่แช่ส้มอบแห้ง พบว่า สามารถลดระยะเวลาในการแช่ส้ม จาก 3-4 วัน เหลือเพียง 4 ชั่วโมง

2.2 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง

2.2.1 หลักการพื้นฐานของการเลือกเครื่องอบแห้ง

การอบแห้งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดนั้นต้องวิธีการอบแห้งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพออกมาได้ตามมาตรฐาน โดยมีหลักการพิจารณาเลือกวิธีและเครื่อง อบแห้ง ดังนี้

2.2.1.1 การเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการให้ความร้อน การกำหนด อุณหภูมิและเวลาให้เหมาะสมเป็นสำคัญมากสำหรับการอบแห้ง และเป็นปัจจัยแรกในการเลือกวิธีและ เครื่องอบแห้ง

2.2.1.2 รูปทรงและคุณภาพของผลิตภัณฑ์มักเปลี่ยนไปตามการเลือกวิธีและเครื่องอบแห้ง ดังนั้น ควรเลือกวิธีและเครื่องอบแห้งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์มากที่สุดเพื่อที่จะให้รูปทรงและ คุณภาพเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

2.2.1.3 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง เช่น เส้นกราฟการอบแห้งของวัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถประมาณเวลาในการอบแห้งของแต่ละแบบได้

2.2.1.4 สมบัติการเกาะติดของวัสดุอบแห้ง

2.2.1.5 การพิจารณาด้านวิศวกรรมเครื่องกล เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะมีรูปร่างที่แตกต่าง กัน ดังนั้นต้องพิจารณาระบบของเครื่องจักรกล เพื่อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.1.6 พิจารณาที่ตั้งของเครื่องอบแห้ง มี 2 เงื่อนไข คือ แหล่งพลังงานความร้อนและ สภาพแวดล้อม เช่น การเกิดฝุ่นละออง หรือกลิ่น ซึ่งส่งผลต่อชุมชน

2.2.1.7 พิจารณาค่าใช้จ่ายรวมและการประหยัดพลังงาน ค่าใช้จ่ายรวมของการอบแห้ง มี 2 ส่วน คือ การลงทุนเรื่องเครื่องและค่าเดินเครื่อง ต้องพิจารณาเรื่องค่าการนำความร้อนทิ้งมาใช้ จะทำ ให้ลดปริมาณพลังงานที่ไ้ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการอบแห้ง

การอบแห้ง เป็นกระบวนการกำจัดความชื้น (น้ำ) ในผลิตภัณฑ์ ให้ลดลงจนถึงค่าที่ยอมรับได้ ความชื้นของอาหารแต่ละผลิตภัณฑ์จะไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดของอาหารนั้นๆ การกำจัดความชื้นในผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

2.2.2.1 การใช้กระแสลมร้อนสัมผัสกับอาหาร เช่น เตอบพลังงานแสงอาทิตย์ , ตู้อบลมร้อน โดยเครื่องมือชนิดนี้จะใช้อาหารที่มีปริมาณน้อย หรือสำหรับงานทดลอง

2.2.2.2 การพ่นอาหารที่เป็นของเหลวเข้าไปในห้องที่มีลมร้อน เช่น การอบแห้งแบบพ่นฝอยฉีดพ่น โดยการฉีดอาหารเป็นละอองเข้าไปในตู้ที่มีลมร้อน เมื่อละอองของอาหารและลมร้อนสัมผัสกันทำให้น้ำระเหยออก แล้วอนุภาคที่แห้งจะลอยกระจายในกระแสลมเข้าสู่เครื่องแยกเป็นฝงละเอียด แล้วนำอาหารฝงนั้นบรรจุ เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป ไข่ผง ชูปังผง เป็นต้น

2.2.2.3 การให้อาหารที่เข้มข้นสัมผัสกับลูกกลิ้งร้อน เช่น เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง ป้อนอาหารเข้าเครื่อง ตรงผิวนอกของลูกกลิ้งเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ แผ่นฟิล์มของอาหารที่แห้งติดบนผิวหน้าของลูกกลิ้ง จะแกะออกโดยใบมีดที่ติดให้ขนานกับผิวหน้าของลูกกลิ้งจะได้ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่เป็นแผ่นบางๆ และกรอบ เป็นเกล็ด หรือเป็นผง

2.2.2.4 การทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งด้วยความเย็นอย่างรวดเร็ว โดยการระเหิดน้ำ ภายในสภาวะสุญญากาศ เช่น เครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็ง

2.2.2.5 การใช้คลื่นไมโครเวฟทำให้น้ำระเหย เช่น เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ ซึ่งการอบแห้งประเภทนี้สามารถใช้ร่วมกับสภาวะอื่น ๆ ได้ เช่น เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ เพื่อลดอุณหภูมิการอบแห้งลง

2.2.2.6 การให้อาหารหมุนอยู่ในห้องหมุน (Drum) โดยที่ภายในมีอุณหภูมิสูง เช่น เครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary Dryer)

2.2.2.7 การให้อาหารกระจายหรือลอยตัวอยู่ในลมร้อนในแนวตั้งฉากกับพื้น เช่น เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

2.2.2.8 การให้อาหารกระจายหมุนวนในกระแสลมร้อน เช่น เครื่องอบแห้งแบบเวอร์เท็กซ์ มีการใช้ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ จะเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งให้มีค่าสูงขึ้นและลดระยะเวลาการอบลง

2.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้ง (drying rate) คือ อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อหน่วยเวลาระหว่างการทำแห้ง(dehydration) อัตราการอบแห้ง สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$R = -\frac{1}{A} \frac{dm}{dt}$$

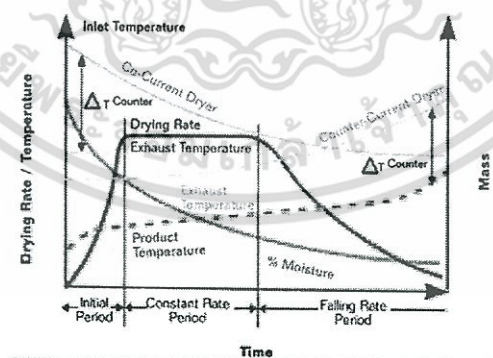
เมื่อ R = อัตราการอบแห้งหรืออัตราการระเหย (กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร-ชั่วโมง)

A = พื้นที่ผิว (ตารางเมตร)

$\frac{dm}{dt}$ = มวลที่ระเหยต่อหนึ่งหน่วยเวลา (กิโลกรัม ต่อ ชั่วโมง)

อัตราการอบแห้งของอาหาร ขึ้นอยู่กับสภาพของอาหารเริ่มต้นก่อนการอบแห้งและสภาพแวดล้อมระหว่างการอบแห้ง เช่น ชนิดของเครื่องทำแห้ง อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient) เป็นต้น

กราฟระหว่างอัตราการอบแห้ง (drying rate) และความชื้น (moisture content) แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ



ภาพที่ 2.4 แสดงเส้นกราฟของการอบแห้ง

ที่มา : <http://www.process-heating.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial Adjustment Period) เป็นช่วงเริ่มต้นที่มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารสูง ผิวของอาหารจะมีลักษณะขึ้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหารมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภาวะเปียก (wet bulb temperature) ของลมร้อนที่เป็นตัวกลาง อัตราการอบแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนช่วงอัตราอบแห้งคงที่ (constant rate)

2. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) เป็นช่วงที่น้ำภายในอาหารเคลื่อนตัวมาที่ผิวหน้าของอาหาร ความร้อนที่อาหารได้รับจะนำไปใช้ในการระเหยน้ำออกอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของอาหารจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งเริ่มลดลง ความชื้นของอาหาร ณ เวลานี้ เรียกว่า ความชื้นวิกฤติ (critical moisture content)

การคำนวณอัตราการอบแห้งในช่วงความเร็วคงที่ เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$R_c = \frac{h}{\lambda} (T_v - T_i)$$

เมื่อ

R_c = อัตราการอบแห้งในช่วงความเร็วคงที่

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient)

T_v = อุณหภูมิของลมร้อน

T_i = อุณหภูมิที่ผิวของอาหาร

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อย ไม่สามารถแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างต่อเนื่องได้ ดังนั้น ผิวหน้าของอาหารจึงเริ่มแห้งและอุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นลดลงจนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ที่ความชื้นนี้ อัตราการทำแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารจะไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 อัตราเร็วของการทำแห้งอาหาร

ขึ้นอยู่กับปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่

2.2.4.1 ลักษณะธรรมชาติของอาหาร โดยกตแล้ว อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมาก อัตราอบแห้งจะเร็วกว่าอาหารที่มีรูพรุนน้อย เนื่องจากน้ำสามารถเคลื่อนตัวจากภายในมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้ อาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก อัตราอบแห้งก็จะเร็ว เพราะมีพื้นที่ผิวให้ระเหยมาก

2.2.4.2 ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิว มีผลต่อการอบแห้งอาหาร ซึ่งอัตราการอบแห้งเป็นอัตราส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

2.2.4.3 ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง ถ้าปริมาณมากๆ อัตราการอบแห้งจะช้า เพราะอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารได้อย่างทั่วถึง

2.2.4.4 ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะของอากาศเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการอบแห้ง เนื่องจากการระเหยน้ำจะระเหยได้ดีหรือไม่ขึ้นกับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

2.2.4.5 ความดัน ถ้าความดันต่ำ น้ำก็จะเดือดที่อุณหภูมิต่ำลง กล่าวคือ การอบแห้งในความดันต่ำ อัตราการอบแห้งจะเร็วขึ้น

2.2.5 ความชื้น

ความชื้น (moisture content) คือ เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร เนื่องจาก

ความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage) โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (microbial spoilage) ซึ่งกระทบต่ออายุการเก็บ (shelf life) จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และรา

ความชื้นมีผลต่อความปลอดภัยทางอาหาร (food safety) อาหารที่มีน้ำสูงเหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) และการสร้างสารพิษ (toxin)

ความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงความร้อนของอาหาร ด้านต่างๆ ของอาหารของอาหาร เช่น จุดหลอมเหลว จุดเดือด การนำความร้อน (thermal conductivity) ความร้อนจำเพาะ (specific heat)

ความชื้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส มีผลต่อการยอมรับของอาหาร ได้แก่ เนื้อสัมผัส (texture)

ความชื้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี มีผลกระทบทางลบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction)

ความชื้นมีผลต่อการกำหนดราคาสินค้า เช่น ข้าว เมล็ดธัญพืช กำหนดราคาซื้อขายตามปริมาณความชื้น

2.2.5.1 การแสดงค่าความชื้นของอาหาร

ปริมาณความชื้น นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ มี 2 แบบคือ

ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บอกความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวก แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง ($\text{g H}_2\text{O} / \text{g solid}$)

2.2.6 การวัดความชื้นของอาหาร

เทคนิคที่ใช้สำหรับการหาความชื้นของอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร

2.2.6.1 การวัดความชื้นโดยตรง (Direct method) เป็นการวัดปริมาณที่มีอยู่ในอาหารโดยตรง ทำได้หลายวิธี ได้แก่ การแยกเอาน้ำออกด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การอบแห้ง การกลั่นหรือการใช้วิธีการทางเคมีโดยการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำ เป็นต้น วิธีวัดความชื้นเหล่านี้ มีจุดเด่นที่ให้การวัดถูกต้อง แต่จุดด้อย คือ อุปกรณ์และเครื่องมือมีราคาแพง การใช้งานต้องเตรียมอุปกรณ์หลายชิ้น การวัดแต่ละครั้งใช้เวลานาน

2.2.6.2 การวัดโดยอ้อม (Indirect Methods) เป็นการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพืช ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัดค่าความจุไฟฟ้า การวัดความชื้นโดยอ้อมมีจุดเด่นตรงรูผลเร็ว สะดวกและทำได้บ่อย จุดด้อยคือ ค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่าประมาณ สามารถวัดได้หลายวิธี คือ

ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance) อุปกรณ์วัดจะวัดความต้านทานไฟฟ้าของเมล็ดพืช โดยบรรจุเมล็ดพืชตัวอย่างลงในช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในภาชนะปิดแน่น ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะแปรเป็นค่าปริมาณความชื้น

ความจุไฟฟ้า (Capacitance) ตัวอย่างจะถูกบรรจุในภาชนะปิด โดยผนังภาชนะทำหน้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงออกมา ใช้ตารางคาลิเบรชัน (calibration) ประกอบด้วย ค่าความชื้นที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้จะมีความแม่นยำมากกว่าการวัดจากค่าความต้านทานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) เป็นวิธีหาค่าความชื้นในเมล็ดพืชจากการวัดความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ด เนื่องจากปริมาณความชื้นในเมล็ดจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ดเปลี่ยนแปลง ซึ่งความถูกต้องของค่าความชื้นที่วัดได้จากวิธีนี้ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของความชื้น ดังนั้นการวัดด้วยวิธีนี้ต้องรอเวลานานประมาณ 1-2 ชั่วโมงเพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศต่างๆ เกิดสมดุลก่อนวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

2.2.7 บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง

เพื่อให้อาหารแห้ง ซึ่งผ่านการทำแห้ง(dehydration) ซึ่งอาจจะมีลักษณะเป็นผง เป็นก้อน หรือเป็นชิ้น มี water activity น้อยกว่า 0.6

2.2.8 คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง

2.2.8.1 สามารถป้องกันความชื้น (moisture barrier) บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง จะต้องป้องกันการดูดกลับความชื้นจากบรรยากาศ อาหารแห้งที่มีส่วนประกอบที่ดูดน้ำได้ดี (hygroscopic) เช่น น้ำตาล โดยเฉพาะน้ำตาลฟรุคโตส (fructose)

2.2.8.2 สามารถป้องกันอากาศ โดยเฉพาะออกซิเจน เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น lipid oxidation ซึ่งทำให้อาหารเกิดกลิ่นหืน อาจใช้สารดูดซับออกซิเจน (oxygen absorber) เพื่อช่วยดูดซับออกซิเจนที่มีอยู่แล้วในบรรจุภัณฑ์ก่อนปิดผนึกและจะซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

2.2.8.3 มีความทนทานต่อการกดหรือการกระแทก เนื่องจากเนื้ออาหารมักแข็ง เปราะแตกง่าย และมีส่วนแหลมคมสามารถทิ่มแทงภาชนะบรรจุได้

2.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่า มีเกลือแร่ละลายอยู่มากน้อยเพียงใด น้ำที่มีการนำไฟฟ้าสูง แสดงว่ามีสารประกอบละลายอยู่มาก จึงเป็นสื่อตัวนำไฟฟ้าได้ดี ส่วนน้ำที่มีเกลือแร่ละลายอยู่น้อย จะมีการนำไฟฟ้าต่ำ เช่น น้ำบริสุทธิ์ น้ำกลั่น น้ำฝน เป็นต้น

2.3.1 หลักการเบื้องต้นของการวัดค่าการนำไฟฟ้า

ปัจจุบันค่าการนำไฟฟ้าของอาหารมีบทบาทสำคัญ ในกระบวนการอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น โดยเฉพาะระบบฆ่าเชื้อในอาหารด้วยเทคนิค Ohmic Heating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 สภาพความนำไฟฟ้า (conductivity) จากกฎของโอห์ม (สมการที่ 3.1) เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าคงที่แก่ตัวนำไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำจะมีค่ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของตัวนำนั้นๆ ความนำไฟฟ้าจะเป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานไฟฟ้าแสดงดังสมการที่ 3.2

$$V=IR \quad \dots(3.1)$$

$$G=I/R \quad \dots(3.2)$$

จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 จะได้ว่า

$$G=I/V \quad \dots(3.3)$$

โดยที่ G=ความนำไฟฟ้า (conductance) (ซีเมนต์)

V=แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

I=กระแสไฟฟ้า (แอมป์)

R=ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)

ถ้าให้แรงดันไฟฟ้าแก่ขั้วอิเล็กโทรดสองขั้วที่มีพื้นที่หน้าตัด และวางห่างกันเป็นระยะซึ่งจุ่มอยู่ สารละลายจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรดแสดงว่าสารละลายดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าเช่นเดียวกับโลหะทั่วไป ค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนที่แตกตัวเช่น H^+ OH^- Na^+ และ Cl^- เป็นต้น

ชนิดและจำนวนไอออนที่เคลื่อนที่สารละลายจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ถ้าสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรดได้ก็สามารถคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายได้จากสมการ 3.3

2.3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ถ้าให้แรงดันไฟฟ้าคงที่จะพบว่าค่าการนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสไฟฟ้าซึ่งแปรผันตรงตามปริมาณไอออนที่เคลื่อนที่ในสารละลาย นอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายอีกด้วย คือเมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นทำให้การเคลื่อนที่ของไอออนเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลคือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรดจะเพิ่มขึ้น

2.3.1.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ตามที่กล่าวข้างต้นค่าการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ ชนิดไอออน จำนวนไอออนที่แตกตัว รวมทั้งอุณหภูมิ กำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ A และระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ L เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าคงที่แก่ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง จะเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรด เนื่องจากไอออนที่เคลื่อนที่ไปมาระหว่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ถ้าเปลี่ยนขนาดพื้นที่หน้าตัดของระหว่างขั้วอิเล็กโทรดให้ใหญ่ขึ้น(A เพิ่มขึ้น) แต่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่าเดิม พบว่าปริมาณไอออนที่เคลื่อนที่ไปมาระหว่างขั้วอิเล็กโทรดจะมากขึ้น ผลคือค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในสภาวะเดียวกัน ถ้าเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดมากขึ้น (L เพิ่มขึ้น) แต่ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรดเท่าเดิม พบว่าปริมาณไอออนที่เคลื่อนที่ไปมาระหว่างขั้วอิเล็กโทรดจะลดลง ผลคือค่าการนำไฟฟ้าของ สารละลายจะมีค่าน้อยลงเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการการหาค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ดังสมการที่ 3.4

$$\sigma = LI / AV \quad \dots(3.4)$$

โดยที่ σ = ค่าการนำไฟฟ้า (S / m)

L = ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (m)

A = พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด (m²)

V = แรงดันไฟฟ้า (V)

2.3.2 อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว

เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเป็นปัจจัยวิกฤต (Critical parameter) ต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิในอาหารในกระบวนการ Ohmic Heating ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายกลุ่มได้พัฒนาอุปกรณ์และวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.3.2.1 สร้างอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าสำหรับอาหารเหลวประกอบด้วยส่วนต่างๆคือ ระบบไฟฟ้าที่ป้อน (Main supply) ที่มีแรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต หม้อแปลงไฟฟ้าปรับแรงดันได้ เครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เครื่องบันทึกอุณหภูมิ สายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด เค (K-type thermocouples) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ที่ปลายสายจะหุ้มปิด (Shrink) ด้วยโพลีเมอร์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากการผ่านไฟฟ้ากระแสสลับไปยังอาหารที่มีผลต่อระบบการวัดอุณหภูมิ เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้ในการบันทึกข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบ ขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว ทำจากแผ่นเหล็กไร้สนิม (Stainless steel) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 7.5×7.5 เซนติเมตร เซลล์สำหรับการให้ความร้อนแบบ Ohmic (Electrical cell) ทำจากกล่องพลาสติกชนิด โพลีโพรพิลีนขนาด 7.0×7.77×18.4 เซนติเมตร

2.3.2.2 พัฒนาเซลล์สำหรับให้ความร้อนแบบ Ohmic ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากตัวอย่างอาหารสู่ภายนอกเซลล์ โดยตัวเซลล์ทำจากท่ออะครีลิก (Acrylic tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 มิลลิเมตร ความยาว 80 มิลลิเมตร ที่ปลายทั้งสองด้านมีขั้วอิเล็กโทรดทำจากแผ่นไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร ความยาว 2 มิลลิเมตร อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นได้สอบเทียบ (Calibration) เพื่อดูความแม่นยำและถูกต้อง โดยใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 โมลาร์ เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบ

2.3.2.3 พัฒนาอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าสำหรับของอาหารเหลวซึ่งประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าปรับแรงดันได้ เครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า เครื่องบันทึกอุณหภูมิ เครื่องคอมพิวเตอร์ และเซลล์สำหรับการให้ความร้อนแบบ Ohmic ซึ่งทำจากท่อสแตนเลสความยาว 12.5 นิ้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15/16 นิ้ว ด้านในท่อสแตนเลสมีปลอกเทฟลอนทำหน้าที่ฉนวนไฟฟ้าสวมอยู่ ตรงกลางท่อติดตั้งท่อขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5/16 นิ้ว สำหรับบรรจุตัวอย่างและเสียบสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ที่ปลายท่อทั้งสองด้านมีขั้วอิเล็กโทรดซึ่งทำจากแผ่นโลหะโรเดียม (Rhodium plated stainless steel electrodes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.4 ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์และวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำสัปปะรด ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1. เซลล์สำหรับการให้ความร้อนแบบ Ohmic ทำจากแผ่นพลาสติกอะครีลิกเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยม ที่ปลายท่อทั้งสองข้างมีขั้วอิเล็กโทรด ทำจากแผ่นสแตนเลสติดอยู่กับซีลยาง และแผ่นประกบ ซึ่งถูกยึดแน่นด้วยสกรูและน็อตเพื่อป้องกันการรั่วซึม มีช่องสำหรับบรรจุตัวอย่างอาหาร และเสียบปลายตัววัดอุณหภูมิ

2. ระบบไฟฟ้า มาจากระบบไฟฟ้าหลัก (Main power supply) แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆคือ สวิตช์ปิด-เปิด (Circuit breaker)

เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (Slideup transformer) สำหรับปรับแรงดันไฟฟ้า มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า

3. ระบบบันทึกข้อมูลประกอบด้วยสายเทอร์โมคัปเปิ้ลสำหรับส่งสัญญาณเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่างอาหารไปยังอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data logger) ซึ่งเชื่อมสัญญาณต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ (ประมวล ศรีกาหลง,2539)

2.4 มะม่วง

2.4.1 ชื่อวิทยาศาสตร์

Mangifera indica L.

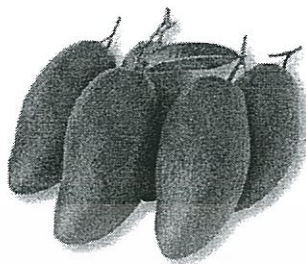
2.4.2 ชื่อพื้นเมือง

อังกฤษ : mango. ฝรั่งเศส : anguier. อินโดนีเซีย : mangga , mempelam. มาเลเซีย : mangga , mempelam , ampelam. ปาปัวนิวกินี : mango (Pidgin). ฟิลิปปินส์ : mangga (ตากาลอก) , paho (บิซายา) , mango (อีโลกาโน). พม่า : tharyetthi. กัมพูชา : svaay. ลาว : mwàngx. ไทย : มะม่วง. เวียดนาม : xoài

2.4.3 สายพันธุ์

มะม่วงมีพันธุ์มากมายดังที่ปรากฏในหนังสือพรรณพฤกษาของพระยาศรีสุนทรโวหาร (น้อย อาจารยางกูร) ที่กล่าวถึงมะม่วงในสมัยรัชกาลที่ 5 ไว้กว่า 50 พันธุ์ โดยสายพันธุ์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย เช่น เขียวเสวย แรด น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ อกร่อง ตัวอย่าง เช่น

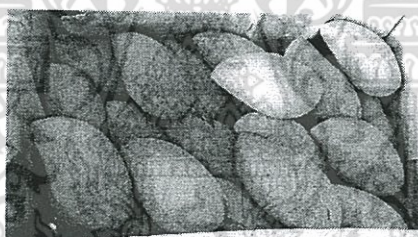
2.4.3.1 เขียวเสวย เป็นพันธุ์พื้นเมืองของนครปฐม ผลยาว ด้านหลังผลโค้งนูนออกปลายแหลม ผิวเรียบ สีเขียวเข้ม เปลือกหนา เหนียว ผลแก่รสมัน



ภาพที่ 2.5 มะม่วงเขียวเสวย

ที่มา : http://www.gourmetmarketthailand.com/ImageProduct/Product/product27807_1_900x1080.jpg

2.4.3.2 น้ำดอกไม้ เป็นพันธุ์ที่กินผลสุก รูปร่างยาวเรียว ผลดิบเนื้อขาว รสเปรี้ยวจัด ผลสุกสีเหลืองนวล รสหวาน



ภาพที่ 2.6 มะม่วงน้ำดอกไม้

ที่มา : <http://1.bp.blogspot.com/-MU9dDpU30lg/T3X8CgNV-BI/AAAAAAAAAJxI/WLCPkDxGbSU/s1600/6.JPG>

2.4.3.3 อกร่องทอง เป็นพันธุ์เก่าแก่ นิยมรับประทานกับข้าวเหนียวมัน ผลค่อนข้างเล็ก มีร่องเป็นแนวยาวที่ด้านท้อง ผลสุก เนื้อละเอียด มีเสี้ยนน้อย

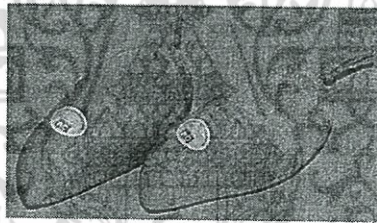
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 มะม่วงอกร่องทอง

ที่มา : <http://static.tlcdn1.com/data/0/pictures/0213/03-12-2012/p16o2d42pj1ltk1s4q1jdt12bses63.jpg>

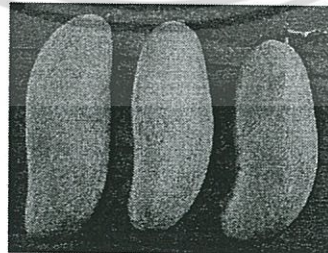
2.4.3.4 ฟาลัน ผลกลม ท้ายแหลม ลูกขนาดกลาง นิยมรับประทานผลแก่ มีรสมัน เมื่อ
ปอกเปลือก เนื้อมะม่วงจะปริแตก



ภาพที่ 2.8 มะม่วงฟาลัน

ที่มา : <http://coopthai.com/mangoccs/images/farln.jpg>

2.4.3.5 หนังกกลางวัน ผลยาวคล้ายงาช้าง แก่จัดรสมันอมเปรี้ยว สุกรสหวาน

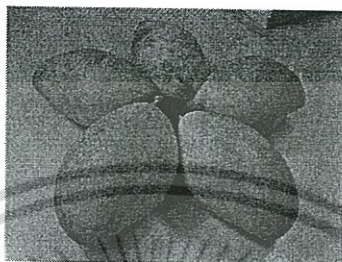


ภาพที่ 2.9 มะม่วงหนังกกลางวัน

ที่มา : <http://image.ohozaa.com/i/2af/dtCK7.JPG>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.6 แก้ว นิยมกินดิบ ผลอ่อนป้อม เปลือกเหนียว เมื่อเกือบสุกเปลือกจะมีสีอมส้มหรืออมแดง



ภาพที่ 2.10 มะม่วงแก้ว

ที่มา : [http://www.vitamin.co.th/upload/4\(109\).jpg](http://www.vitamin.co.th/upload/4(109).jpg)

2.4.3.7 โชคอนันต์ รูปร่างยาว ปลายมน กลายพันธุ์มาจากมะม่วงป่า นิยมนำไปทำมะม่วงดอง



ภาพที่ 2.11 มะม่วงโชคอนันต์

ที่มา : <http://www.bloggang.com/data/lungboon/picture/1183863533.jpg>

2.4.3.8 มหาชนก เป็นลูกผสมของมะม่วงพันธุ์หนึ่งกลางวันกับพันธุ์ชั้นเซ็ดจากอินเดีย ผลยาวรี สุกสีเหลืองเข้ม มีริ้วสีแดง เนื้อไม่เละ กลิ่นหอม จะสุกในช่วงที่มะม่วงพันธุ์อื่นวายแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 มะม่วงมหาชนก

ที่มา : http://www.bangkokbiznews.com/home/media/2011/04/06/images/pr_news_img_10601_4.jpg

2.4.4 ถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธุ์

มะม่วงน่าจะมีถิ่นกำเนิดในพื้นที่ของอินเดียต่อเนื่องมายังพม่า ซึ่งเป็นบริเวณขอบของพื้นที่การกระจายพันธุ์ของไม้ในสกุล *Mangifera* และเป็นพื้นที่ในเขตกึ่งร้อน เป็นไม้ผลที่มีการนำมาปลูกในอินเดียเป็นเวลานานหลายพันปีที่ผ่านมา ยังไม่ทราบต้นกำเนิดที่แท้จริงของมะม่วง มีการแพร่พันธุ์ของมะม่วงมาสู่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 1,500 ปี และแพร่พันธุ์ไปสู่แอฟริกาตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 1,000 ปี มีการแพร่พันธุ์ต่อไปยังออสเตรเลีย แอฟริกาตะวันตกและอเมริกาในช่วง 2 – 300 ปีที่ผ่านมา และแม้ว่ามะม่วงมีการแพร่พันธุ์ไปในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนทั่วโลก มะม่วงยังคงเป็นผลไม้ของอินเดีย รวมไปถึงความเกี่ยวพันกับขนบธรรมเนียมและประเพณีที่เกี่ยวข้องกับศาสนาฮินดู

2.4.5 ข้อมูลด้านพฤกษศาสตร์อื่นๆ

มะม่วงมีพันธุ์ต่างๆมากมายซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

- Monoembryonic มีต้นอ่อนในเมล็ด 1 ต้น เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างไข่และเกสรตัวผู้ เมื่อนำไปปลูกมีโอกาสที่จะมีลักษณะแตกต่างไปจากต้นพ่อแม่และต้นแม่ พันธุ์มะม่วงส่วนมากในอินเดียและพันธุ์ที่ได้จากการคัดเลือกพันธุ์ที่มีต้นต่อเป็นพันธุ์มะม่วงในอินเดียมีลักษณะเป็น monoembryonic ได้แก่พันธุ์ Dashehari , Langra , Pairi , Alphonso , Bombay , Mulgoa พันธุ์มะม่วงในฟลอริดาที่ได้จากการคัดเลือกพันธุ์ที่ปลูกด้วยเมล็ดของพันธุ์มะม่วงที่มีอยู่ในอินเดีย เช่นพันธุ์ Irwin , Tommy Atkins , Zill , Ruby , Kent Kcith ในแคริบเบียนมีพันธุ์ Amelie , Divine และ Julie
- Polyembryonic ในเมล็ดมีต้นอ่อนหลายต้นพัฒนาจากเนื้อเยื่อของเซลล์ของรังไข่ (nucella tissues) ต้นที่งอกมีลักษณะเหมือนต้นแม่ทุกประการและมักจะข่มต้นอ่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากการผสมพันธุ์มะม่วงในภูมิภาคๆ ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ พันธุ์Golek , Gadung , Arumanis ในอินโดนีเซีย พันธุ์ Carabao , Pico ,Pahunan ในฟิลิปปินส์ พันธุ์ เขียวเสวย , หนังกกลางวัน , น้ำดอกไม้ และทองดำในไทย พันธุ์ Kesington ในออสเตรเลีย พันธุ์ Sabre และพันธุ์ Peach ในแอฟริกาใต้ พันธุ์ Dodo และ Boribo ในแอฟริกาตะวันออก พันธุ์ Cambodiana ในอเมริกากลางและฟลอริดา

2.4.6 ผลผลิต

จากข้อมูลปริมาณการผลิตและพื้นที่ปลูกพอที่จะคำนวณผลผลิตของมะม่วงในแหล่งผลิตสำคัญผลิตในฟิลิปปินส์ 960 กก. / ไร่ ค่าเฉลี่ยดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก ในการปลูกมะม่วงพันธุ์ดีในเขตร้อนควรมีผลผลิตอยู่ในระดับ 160 กก. / ไร่ ในเขตกึ่งร้อนมีผลผลิต 160 -480 กก. / ไร่ ขึ้นอยู่กับพันธุ์

2.4.7 การจัดการหลังเก็บเกี่ยว

มะม่วงเป็นผลไม้ที่เสียหายได้ง่ายจึงควรจำหน่ายโดยเร็วที่สุด มีการคัดขนาดและความสมบูรณ์ของผล ในการจำหน่ายในท้องถิ่นนิยมบรรจุแข่งไม้ไผ่โดยมีวัสดุรองกัน ในการส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศนิยมบรรจุกล่องโดยมีช่องแยกบรรจุแต่ละผล ทั้งนี้ก่อนการบรรจุมีการล้างทำความสะอาด จุ่มในสารละลายป้องกันกำจัดเชื้อราหรือน้ำร้อนเพื่อป้องกันโรคแอนแทรกโนสและขนส่งทางอากาศ

การบริโภคผลดิบตลอดจนการเร่งการสุกของผลโดยการบ่มด้วยเอทิลีนและการเก็บรักษาในห้องเย็น ซึ่งเก็บได้นาน 1 เดือน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ทำให้มีมะม่วงจำหน่ายในท้องตลาดในช่วงเวลายาวนานมากขึ้น

2.4.8 ประโยชน์

ผลมะม่วงนำมารับประทานใน 3 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ คือ รับประทานผลดิบ ผลสุก และนำไปแปรรูป นอกจากนี้มีการใช้มะม่วงดิบในการปรุงรสอาหารในแบบเดียวกันกับการใช้มะขามหรือผลไม้รสเปรี้ยวอื่นๆ

เมล็ดเป็นวัสดุเหลือใช้ในการแปรรูปสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารปศุสัตว์ ในอินเดียมีการนำมาใช้เป็นอาหารในยามขาดแคลน โดยการนำไปต้ม เผาไฟ หรือแช่น้ำเพื่อให้มีรสฝาดน้อยลง ยอดอ่อนรับประทานเป็นผักสดหรือใช้ปรุงอาหารเป็นผัก ดอกแห้ง เปลือก ลำต้น และน้ำต้มเมล็ดมีสรรพคุณทางยาสมุนไพร สารสกัดจากผลดิบ เปลือกลำต้น เนื้อไม้และใบมีคุณสมบัติเป็นสารปฏิชีวนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อไม้มะม่วงจัดเป็นไม้เนื้อแข็ง ค่อนข้างแข็งแรงและใช้ประโยชน์ได้ง่าย แต่ต้องอาบน้ำยาเมื่อใช้ภายนอก รวมทั้งใช้เผาถ่านและเพาะเห็ดได้ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง จะแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของกระบวนการให้ความร้อนแบบโอทมิก , ส่วนกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ และอุปกรณ์ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.1.1 อุปกรณ์ส่วนของกระบวนการให้ความร้อนแบบโอทมิก

- เครื่องให้ความร้อนแบบโอทมิก
- แผ่นอะครีลิกใส หนา 0.5 เซนติเมตร
- แผ่นสแตนเลส หนา 0.5 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.1 การสร้างเซลล์โอทมิก

3.1.2 อุปกรณ์ในส่วนกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

- เตาอบ ยี่ห้อ Memmert
- เครื่องชั่งสาร ยี่ห้อ AND รุ่น HR 200



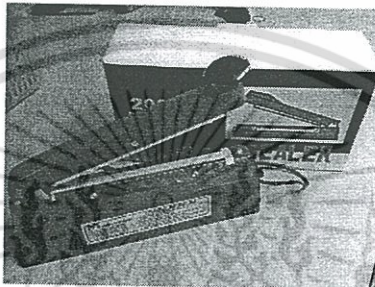
ภาพที่ 3.2 เครื่องชั่งสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Aluminium can
- เครื่องซีล (Sealing)

ยี่ห้อ IMPULSE SEALER TYPE : F-200 POWER : 300W. 200 mm for PP/PE BAGS

SOURCE : 110V./220V. 50/60 Hz.



ภาพที่ 3.3 เครื่องซีล

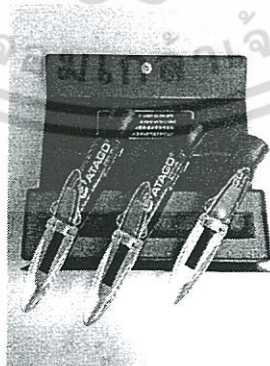
3.1.3 อุปกรณ์ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

- Master Refractometer

ยี่ห้อ ATAGO ประเทศที่ผลิต : JAPAN

แบ่งเป็น 3 รุ่น คือ

1. MASTER-M (Cat.No.2313)
2. MASTER-M (Cat.No.2323)
3. MASTER-M (Cat.No.2333)



ภาพที่ 3.4 Refractometer

- เครื่องวัดสี Minolta CR 300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Thermometer
- อุปกรณ์ในการไตเตรท

1. ขวดรูปชมพู่
2. บีกเกอร์
3. กระบอกตวง
4. แท่งแก้ว
5. ปิเปต
6. ขวดปรับปริมาตร
7. บิวเรต
8. ข้อนตักสาร
9. เครื่องชั่งสาร ยี่ห้อ AND รุ่น HR 200

3.2 วัสดุดิบและสารเคมี

1. มะม่วงแก้วขมิ้น
2. แคลเซียมคลอไรด์ Calcium chloride (CaCl_2)
3. โพแทสเซียม เมตาไบซัลไฟต์ Potassium Metabisulphite ,GERMANY
4. กรดซิตริก Citric Acid ยี่ห้อ สเปนเซียล เบเกอร์ Special BAKER ,Thailand
5. น้ำตาลทรายมิตรผล MITR PHOL
6. เกลือป่น ตราบิกส์
7. Sulphuric acid H_2SO_4 98%
ยี่ห้อ QRc Grade AR ,New Zealand
8. Copper (II) Sulphate (Cupric Sulphate) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
ยี่ห้อ UNIVAR ,New Zealand ,Australia
9. Potassium Iodide KI
ยี่ห้อ UNIVAR ,New Zealand ,Australia
10. Potassium Sodium $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
ยี่ห้อ UNIVAR ,New Zealand ,Australia

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1

ออกแบบเครื่อง และสร้างเซลล์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการทดลองวิธีไอโทมมิค

ตอนที่ 2

กระบวนการทำมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้วิธีปกติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3

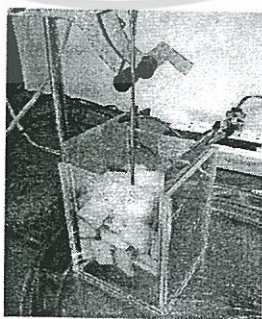
กระบวนการทำมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้วิธีโอห์มมิก

1. ทดสอบความสุกของมะม่วง เพื่อทำการแบ่งการบ่มมะม่วง ออกเป็น 0 วัน 3 วัน และ 5 วัน โดยใช้การทดสอบโดยการจมน้ำของมะม่วงในน้ำ ซึ่งถ้ามะม่วงที่จมน้ำ จะเป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่าเป็นมะม่วงสุก
2. ล้างและทำการลอกเปลือก โดยมีการวัดสี และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ร่วมด้วย จากนั้นตัดมะม่วงเป็นชิ้น โดยให้มีขนาด กว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร
3. นำมะม่วงที่หั่นชิ้นแล้ว แช่ในสารละลาย โดยสารละลายนี้จะใช้แคลเซียมคลอไรด์ 0.3% และ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.5% แช่เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.5 มะม่วงแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.3% และ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.5%

4. นำมะม่วงที่แช่สารละลายมา นำมาเข้าสู่กระบวนการให้ไฟฟ้า โดยนำไปใส่ในเซลล์ไฟฟ้าที่มีสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งใช้ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยมีการให้กระแสไฟฟ้าที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 4 ระดับ เท่ากับ 100,150,200,250 โวลต์(V.) ให้ความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิ น้ำเดือด ที่ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการจับเวลาต่ออีก 10 นาที



ภาพที่ 3.6 การนำมะม่วงใส่ในเซลล์ไฟฟ้า

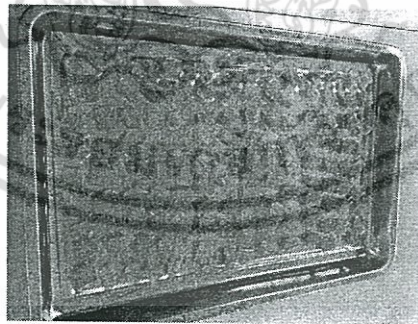
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เตรียมสารละลายน้ำเชื่อมที่ใช้เป็นสารละลายในการแช่ส้ม โดยน้ำเชื่อมที่ใช้จะเริ่มต้นที่ระดับ 40°Brix และใส่กรดซิตริก ที่ร้อยละ 4.5 จากนั้นนำมะม่วงมาแช่ส้มในสารละลายน้ำเชื่อมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ให้ทำการเพิ่มระดับความเข้มข้นของน้ำเชื่อม เป็น 50,60 และ 70 °Brix ตามลำดับ โดยในแต่ละระดับ จะต้องทำการวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และทำการจดบันทึก
6. เมื่อครบระยะเวลาแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมแล้ว ให้ทำการนำมะม่วงล้างด้วยน้ำอุ่น เวลา 10 วินาที และนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 ชั่วโมง
7. เมื่อครบระยะเวลาการอบให้นำมะม่วงที่อบเสร็จ บรรจุลงถุงพลาสติก และปิดปากถุง เก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตอนที่ 4

กระบวนการวิเคราะห์คุณภาพ

1. นำไปวัดปริมาณน้ำตาล และค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มะม่วงสุกแช่อิ่มอบแห้ง
2. นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับคุณภาพ คัดเลือกกระบวนการที่ดีที่สุด และทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงสุกแช่อิ่มอบแห้ง โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน
3. เปรียบเทียบวิธีการชิมผ่านของน้ำเชื่อมที่สามารถเข้าสู่มะม่วง ระหว่างวิธีโอห์มมิก และวิธีปกติ
4. นำข้อมูลที่ได้ด้านกายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัส ไปทำการวิเคราะห์ ANOVA (Analysis of various)



ภาพที่ 3.7 มะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการให้กระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

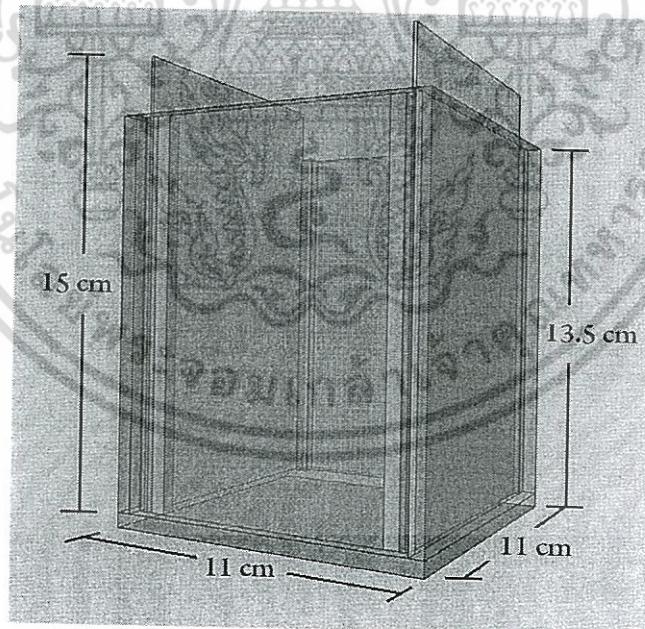
ผลการทดลอง

4.1 ผลการออกแบบและสร้างเซลล์ไฟฟ้าของเครื่องโหม้มิก

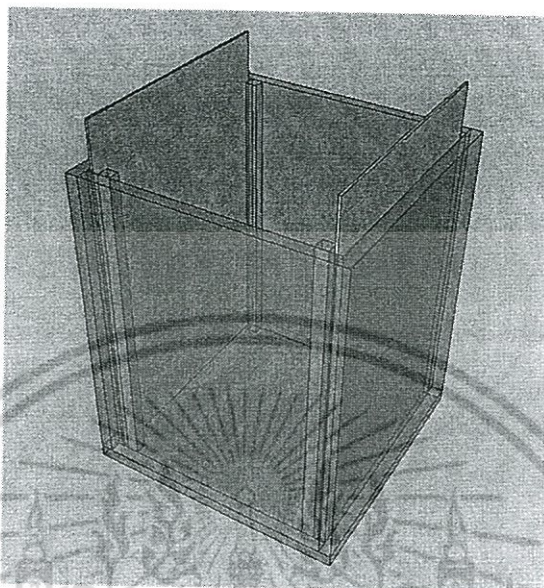
เซลล์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีขนาด 11 เซนติเมตร × 11 เซนติเมตร × 13.5 เซนติเมตร โดยทำการตัดแผ่นอะคริลิกใสหนา 0.5 เซนติเมตร ให้มีขนาดดังต่อไปนี้

- กว้าง 11 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น (ผนังเซลล์ไฟฟ้าด้านนอก)
- กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น (ผนังเซลล์ไฟฟ้าด้านใน)
- กว้าง 11 เซนติเมตร ยาว 11 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น (ฐานเซลล์ไฟฟ้า)
- กว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 12.5 เซนติเมตร จำนวน 4 แผ่น (แผ่นประกอบเซลล์ไฟฟ้า)

จากนั้นประกอบเซลล์ไฟฟ้าจากแผ่นอะคริลิกใสที่ตัดทั้งหมดโดยใช้โดคโลโรมีเทน (น้ำยาเชื่อมพลาสติกอะคริลิก) ยึดติด และสร้างขั้วไฟฟ้าโดยการตัดแผ่นสแตนเลสหนา 0.5 มิลลิเมตร กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น ภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 Electrical cell and electrode design



ภาพที่ 4.2 The electrical cell and electrodes used for the experiments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องโอห์มมิค

สูตรการคำนวณค่าการนำไฟฟ้า

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

เมื่อ L คือ ระยะห่างระหว่างเซลล์ไฟฟ้า = 0.1 m

I คือ กระแสไฟฟ้า

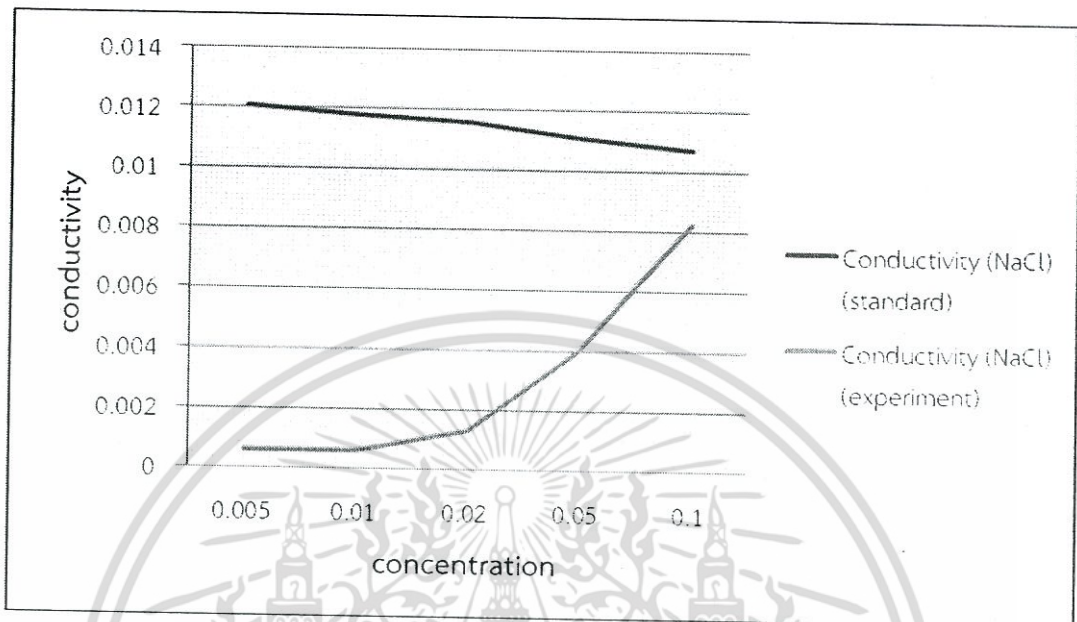
V คือ ความต่างศักย์

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเซลล์ไฟฟ้า = 0.3 m²

ตารางที่ 4.1 Performance of the device

Concentration (mol ⁻¹)	Conductivity (NaCl) (× 10 ⁻⁴)	I (A)	V (v)	Conductivity (NaCl) (experiment)
0.005	120.59	0.3	150	0.0006
0.01	118.45	0.3	150	0.0006
0.02	115.70	0.6	150	0.0013
0.05	111.01	1.8	150	0.0040
0.1	106.69	3.7	150	0.0082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 conductivity of NaCl

จากตารางที่ 4.1 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์โอห์มมิก พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ มีค่าน้อยกว่า ค่าการนำไฟฟ้ามาตรฐาน

4.3 ผลการวัดสีก่อนและหลังการผ่านกระบวนการเชื่อมอบแห้ง

ตารางที่ 4.2 Color measurement of mango

Period (day)	Method	Before			After		
		Color index			Color index		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	Conventional	71.63	-1.24	+61.99	42.97	42.97	+32.94
	Ohmic (100V)	75.74	-7.82	+49.03	41.82	-1.00	+26.33
	Ohmic (150V)	73.12	-8.33	+46.50	45.88	-1.09	+30.26
	Ohmic (200V)	81.13	-9.52	+46.92	41.44	+1.10	+27.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Ohmic (250V)	80.92	-10.45	+47.21	46.02	-1.56	+30.35
3	Conventional	63.75	+4.48	+60.02	52.04	+5.69	+46.43
	Ohmic (100V)	73.40	-3.75	+56.63	39.53	+4.66	+28.28
	Ohmic (150V)	67.58	-3.46	+56.85	48.40	-0.49	+39.46
	Ohmic (200V)	70.39	-6.09	+53.98	46.07	+2.84	+36.45
	Ohmic (250V)	69.19	-4.68	+52.38	47.42	-1.95	+35.31
5	Conventional	57.81	+9.40	+55.95	43.77	+6.10	+33.73
	Ohmic (100V)	67.39	+6.88	+65.54	41.92	+7.02	+30.49
	Ohmic (150V)	65.08	+9.17	+66.48	37.30	+5.78	+21.21
	Ohmic (200V)	63.95	+10.97	+62.05	41.08	+6.72	+25.74
	Ohmic (250V)	60.72	+13.22	+61.98	36.68	+4.80	+20.09

The experiments two replication

หมายเหตุ : เมื่อ L^* คือค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

เมื่อ a^* มีค่าเป็นบวก เป็นสีแดง เมื่อ a^* มีค่าเป็นลบ เป็นสีเขียว

เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวก เป็นสีเหลือง เมื่อ b^* มีค่าเป็นลบ เป็นสีน้ำเงิน

วันที่ 0 นี้ ค่า L^* ของมะม่วงก่อนผ่านกระบวนการแช่อบแห้งมีค่ามากกว่าหลังผ่านกระบวนการแช่อบแห้ง ซึ่งหมายความว่า สีของมะม่วงมีสีที่เข้มขึ้น ค่า a^* และ b^* ของมะม่วงก่อนผ่านกระบวนการแช่อบแห้งจะมีสีเหลืองค่อนข้างมากแต่หลังจากผ่านกระบวนการแช่อบแห้งจะมีสีเหลืองที่เข้มมากขึ้น

วันที่ 3 นี้ ค่า L^* ของมะม่วงก่อนผ่านกระบวนการแช่อบแห้งมีค่ามากกว่าหลังผ่านกระบวนการแช่อบแห้ง ซึ่งหมายความว่า สีของมะม่วงมีสีที่เข้มขึ้น ค่า a^* และ b^* ของมะม่วงก่อนผ่านกระบวนการแช่อบแห้งจะมีสีเหลืองค่อนข้างมากแต่หลังจากผ่านกระบวนการแช่อบแห้งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 5 นี้ ค่า L^* ของมะม่วงก่อนผ่านกระบวนการแช่อบแห้งมีค่ามากกว่าหลังผ่านกระบวนการแช่อบแห้ง ซึ่งหมายความว่า สีของมะม่วงมีสีที่เข้มขึ้น ค่า a^* และ b^* ของมะม่วงก่อนผ่านกระบวนการแช่อบแห้งจะมีสีเหลืองค่อนข้างเขียว แต่หลังจากผ่านกระบวนการแช่อบแห้งจะมีสีเหลืองอมส้ม

4.4 ผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างกระบวนการแช่อบ

วันที่ 0

ตารางที่ 4.3 °Brix concentration in mango using conventional process (0 day after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	22	22	25
50	43.5	44.5	44.5
60	57	59.8	58.5
70	57	59.8	58.5

The experiments two replication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 °Brix concentration in mango by ohmic process (100 V) (0 day after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	33	33.5	35
50	46.5	48	49
60	56.1	56.3	56.75
70	65.8	68	69.1

The experiments two replication

ตารางที่ 4.5 °Brix concentration in mango by ohmic process (150 V) (0 day after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	30.5	33	35.5
50	47	47.6	48.75
60	55.6	55.5	56
70	63	67.1	68.2

The experiments two replication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 °Brix concentration in mango by ohmic process (200 V) (0 day after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	33.5	33.5	35.5
50	47.9	48.1	48.5
60	57.35	57.55	58
70	63.5	67	68.25

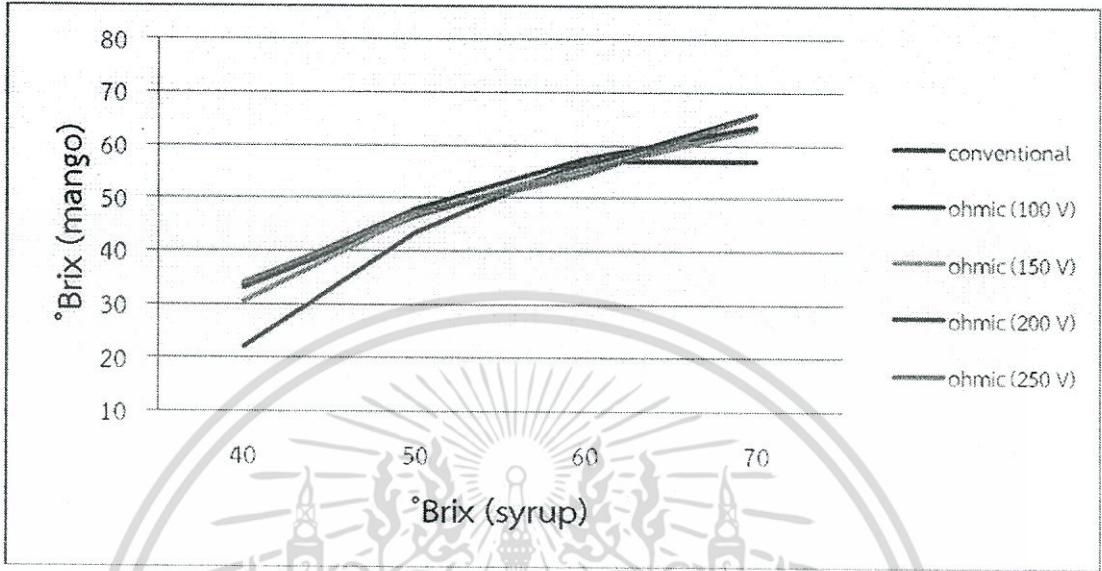
The experiments two replication

ตารางที่ 4.7 °Brix concentration in mango by ohmic process (250 V) (0 day after harvesting)

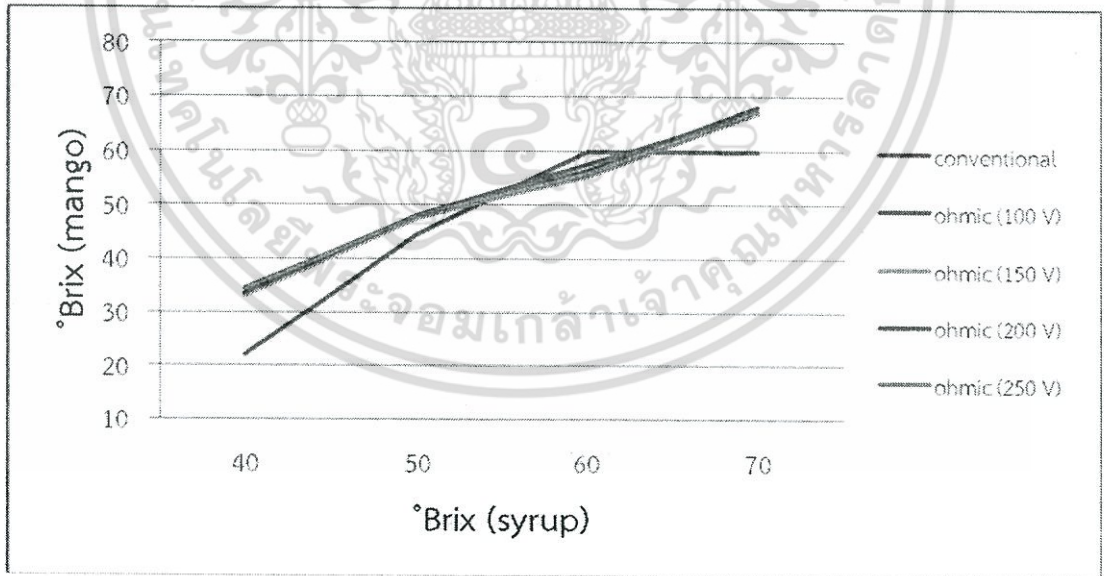
°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	34	34.5	35.5
50	47.25	48	48.45
60	54.5	55.25	56.5
70	66	67	68.5

The experiments two replication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

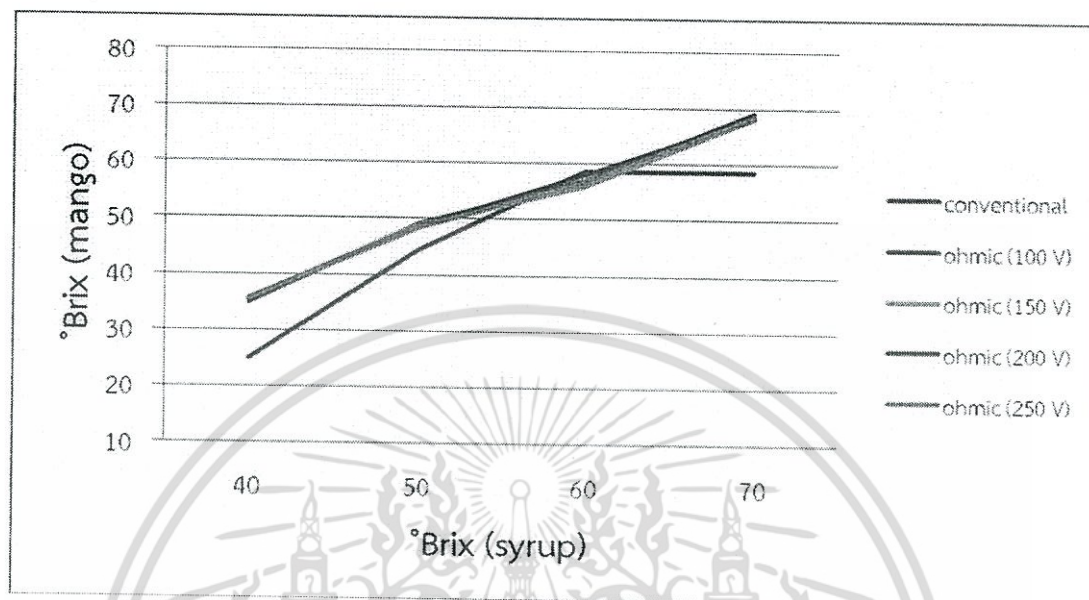


ภาพที่ 4.4 °Brix concentration of osmotic mango (0 day after harvesting) at 2 hour



ภาพที่ 4.5 °Brix concentration of osmotic mango (0 day after harvesting) at 4 hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 °Brix concentration of osmotic mango (0 day after harvesting) at 6 hour

จากการติดตามผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในมะม่วงแช่อิ่ม ของวันที่ 0 พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในมะม่วงสำหรับวิธีดั้งเดิมจะซึมผ่านเข้าไปในเนื้อมะม่วงได้ช้าและไม่ถึงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่กำหนดไว้ แต่สำหรับวิธีโอห์มิกที่ความต่างศักย์ 4 ระดับ สามารถซึมเข้าไปในเนื้อมะม่วงได้เร็วและถึงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่กำหนดไว้

วันที่ 3

ตารางที่ 4. 8 °Brix content in mango using conventional process (3 days after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	17.9	17	19.5
50	33	34.5	40.5
60	50.5	50.75	49.75
70	59.25	59.25	59.5

The experiments two replication

ตารางที่ 4.9 °Brix content in mango by ohmic process (100 V) (3 days after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	25.5	27.5	33
50	50.2	47.5	49.8
60	57	53.5	58.1
70	65	65.2	68.6

The experiments two replication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 °Brix content in mango by ohmic process (150 V) (3 days after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	25.7	28.5	32.2
50	46.5	48.5	49
60	58.5	52.5	53
70	69.5	69.1	70.1

The experiments two replication

ตารางที่ 4.11 °Brix content in mango by ohmic process (200 V) (3 days after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	24.1	27	31
50	49	49.1	51
60	58.75	47.5	58.6
70	69.1	68.5	70.6

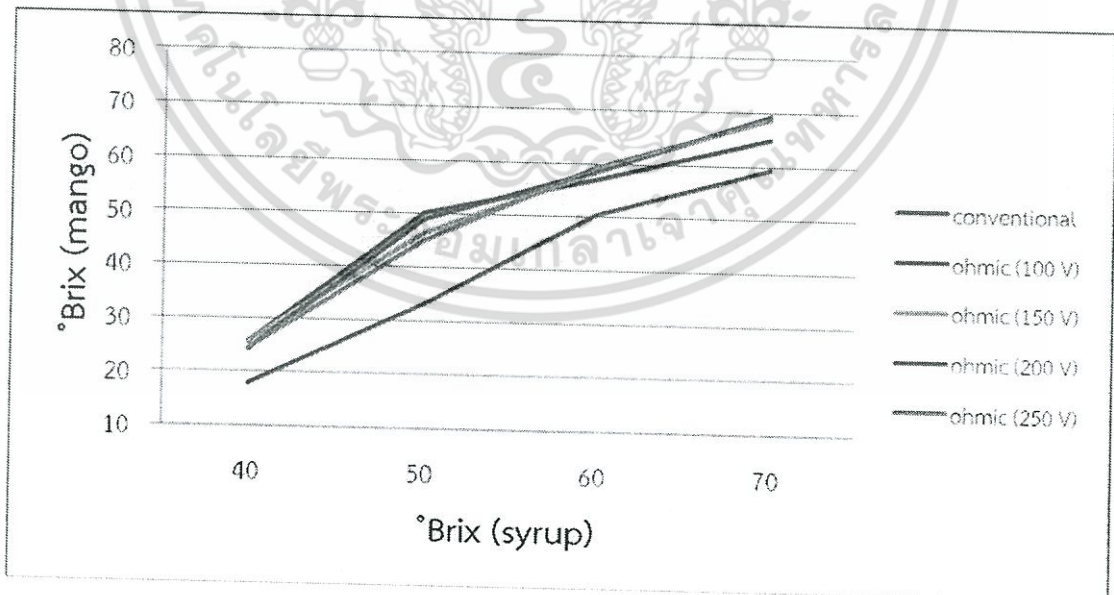
The experiments two replication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 °Brix content in mango by ohmic process (250 V) (3 days after harvesting)

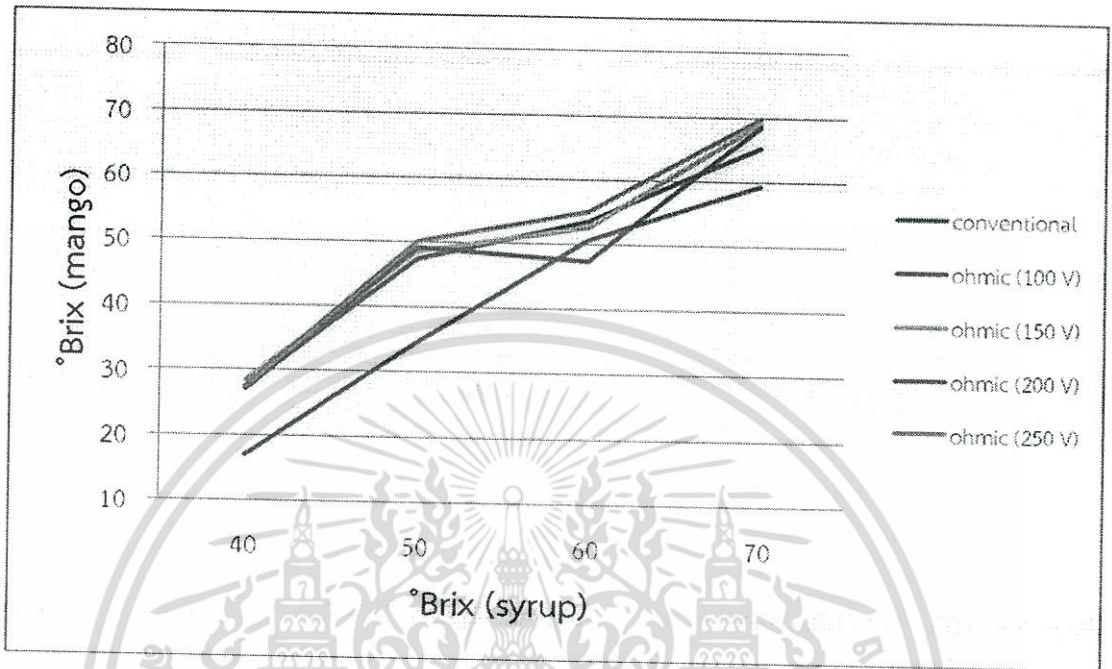
°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	24.5	27.5	34.5
50	45	50	50
60	59.25	55	57.6
70	68.8	69.8	69.5

The experiments two replication

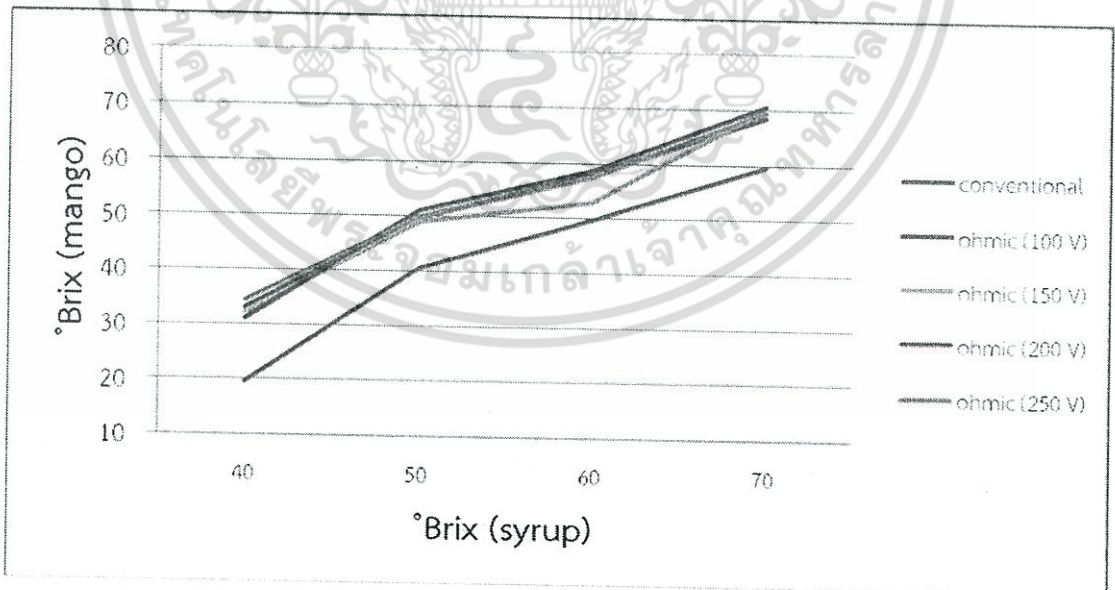


ภาพที่ 4.7 °Brix concentration of osmotic mango (3 days after harvesting) at 2 hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 °Brix concentration of osmotic mango (3 days after harvesting) at 4 hour



ภาพที่ 4.9 °Brix concentration of osmotic mango (3 days after harvesting) at 6 hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการติดตามผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในมะม่วงแช่อิ่ม ของวันที่ 3 พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ สำหรับวิธีดั้งเดิมปริมาณของแข็งที่ละลายได้จะซึมผ่านเข้าไปในเนื้อมะม่วงได้ช้าและไม่ถึงค่าที่กำหนดไว้ แต่สำหรับวิธีโอห์มมิก ในช่วงการเปลี่ยนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่ 50 บริกซ์ เป็น 60 บริกซ์ มีการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อมะม่วง เนื่องจากมีการแพร่ผ่านของน้ำในมะม่วง ทำให้น้ำเชื่อมมีความเข้มข้นที่ลดลง

วันที่ 5

ตารางที่ 4.13 °Brix content in mango using conventional process (5 days after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	16.5	21.75	22.75
50	41	40.75	41
60	53.5	51.5	53
70	59.5	62.5	62.75

The experiments two replication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 °Brix content in mango by ohmic process (100 V) (5 days after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	16.5	27.5	21.5
50	40.5	45.1	46.1
60	58.4	59.7	60.6
70	69	68.5	69.5

The experiments two replication

ตารางที่ 4.15 °Brix content in mango by ohmic process (150 V) (5 days after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	21.5	25	24.7
50	45.2	46	49.5
60	58.6	56.5	61.2
70	72	71	70

The experiments two replication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 °Brix content in mango by ohmic process (200 V) (5 days after harvesting)

°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	19.9	23	28.7
50	45.5	46.5	49.1
60	60.7	62.5	61.5
70	67	67.5	72

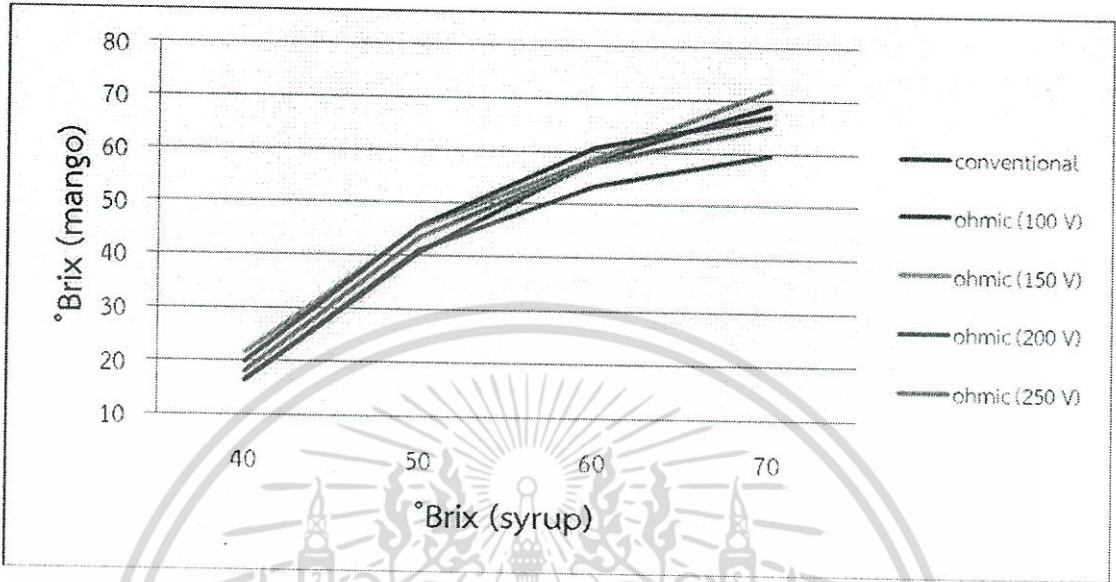
The experiments two replication

ตารางที่ 4.17 °Brix content in mango by ohmic process (250 V) (5 days after harvesting)

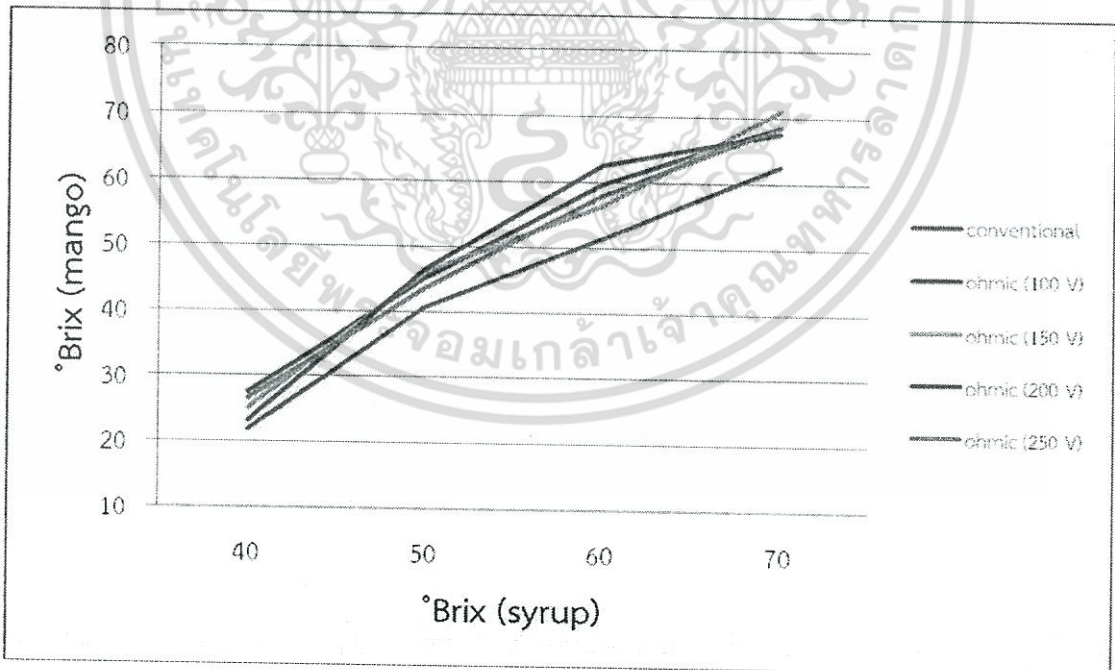
°Brix	time		
	2 hour	4 hour	6 hour
40	18	26.6	25.6
50	43.5	43.5	45
60	58	58	60.5
70	65	68.5	71

The experiments two replication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

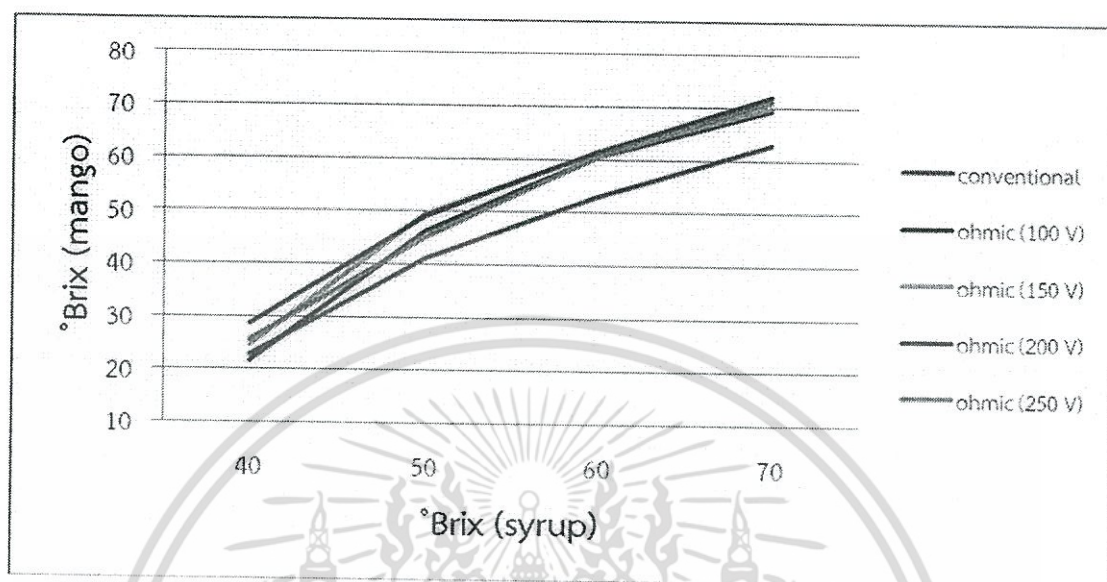


ภาพที่ 4.10 °Brix concentration of osmotic mango (5 days after harvesting) at 2 hour



ภาพที่ 4.11 °Brix concentration of osmotic mango (5 days after harvesting) at 4 hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

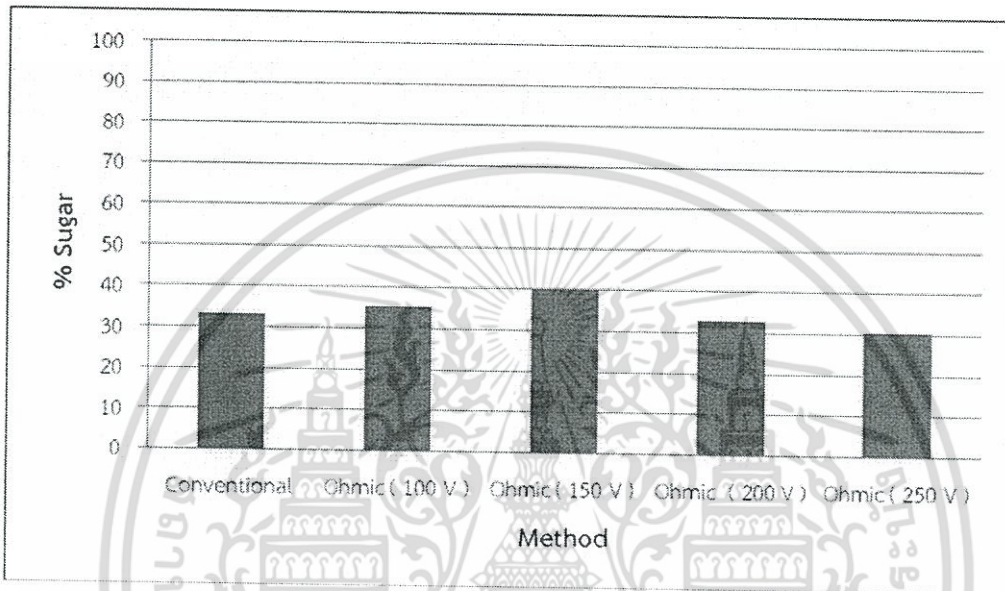


ภาพที่ 4.12 °Brix concentration of osmotic mango (5 days after harvesting) at 6 hour

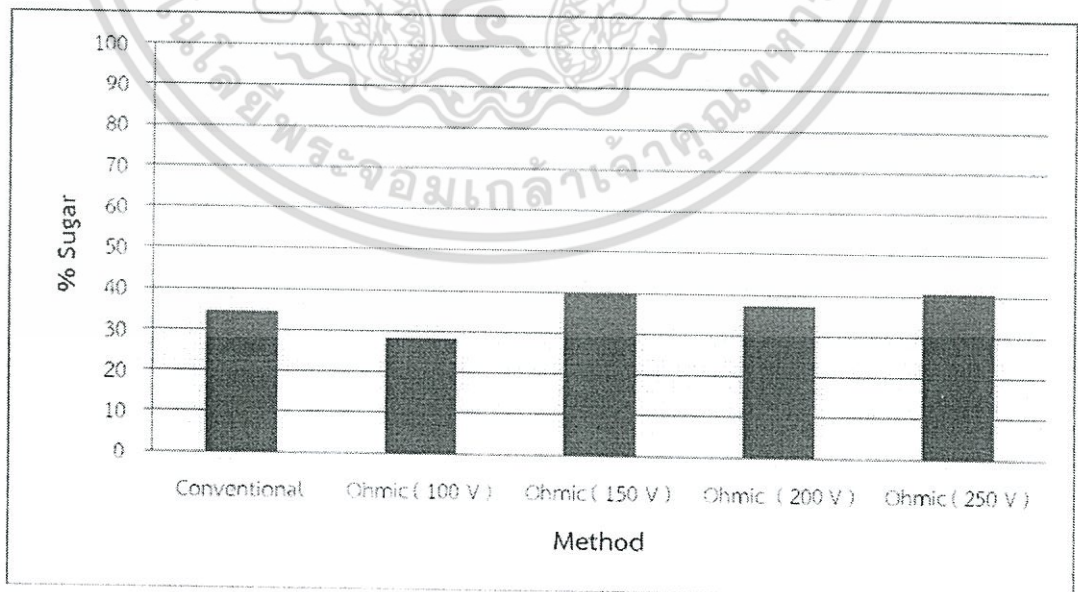
จากการติดตามผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในมะม่วงแช่อิ่ม ของวันที่ 5 พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในมะม่วงสำหรับวิธีดั้งเดิมจะซึมผ่านเข้าไปในเนื้อมะม่วงได้ช้าและไม่ถึงปริมาณที่กำหนดไว้ แต่สำหรับวิธีโอห์มมิกที่ความต่างศักย์ 4 ระดับ สามารถซึมเข้าไปในเนื้อมะม่วงได้เร็วและถึงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ปริมาณน้ำตาล

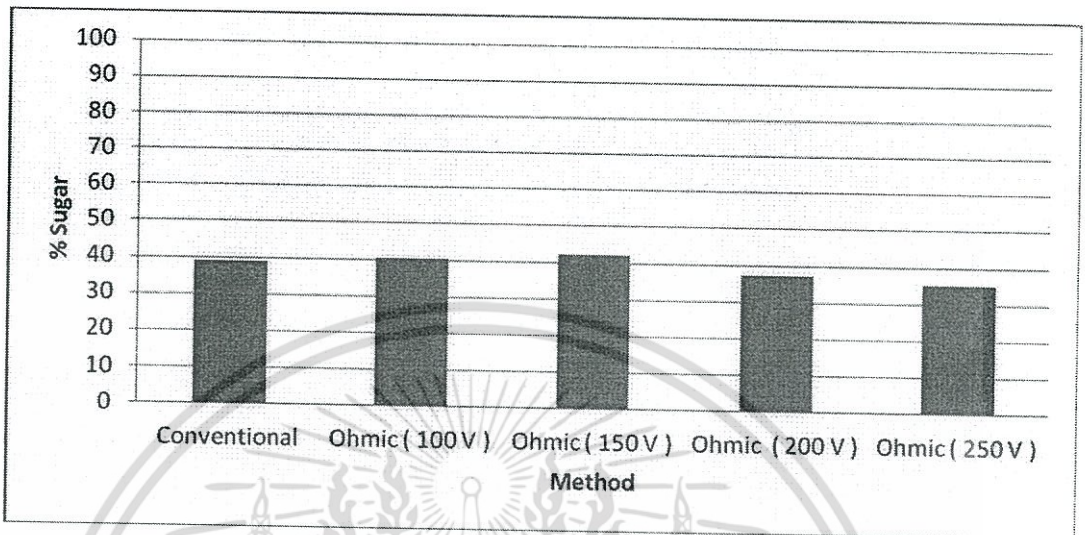


ภาพที่ 4.13 % Sugar (0 day after harvesting)



ภาพที่ 4.14 % Sugar (3 days after harvesting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 % Sugar (5 days after harvesting)

จากภาพที่ 4.12 ถึง 4.14 ปริมาณน้ำตาลในมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งอยู่ในช่วง 30% - 40% เนื่องจากปริมาณน้ำตาลถึงจุดอิ่มตัว

4.6 เปอร์เซ็นต์ความชื้น

ตารางที่ 4.18 % Moisture content in mango (0 day after harvesting)

Method	%Moisture content
Conventional	34.93
Ohmic heating (100 V)	36.46
Ohmic heating (150 V)	36.71
Ohmic heating (200 V)	37.03
Ohmic heating (250 V)	35.44

The experiments two replication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 % Moisture content in mango (3 days after harvesting)

Method	%Moisture content
Conventional	41.68
Ohmic heating (100 V)	37.05
Ohmic heating (150 V)	36.77
Ohmic heating (200 V)	39.64
Ohmic heating (250 V)	37.64

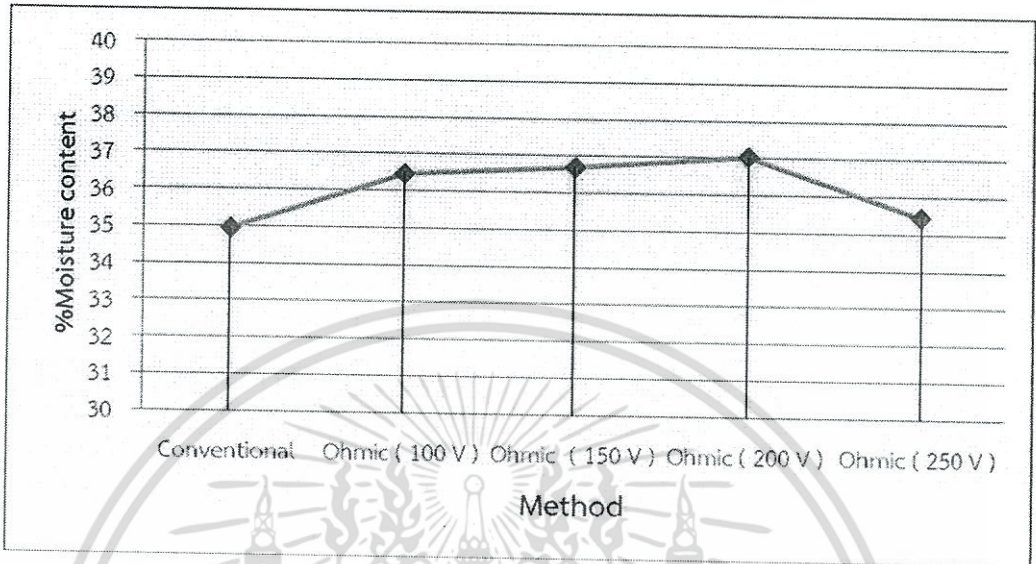
The experiments two replication

ตารางที่ 4.20 % Moisture content in mango (5 days after harvesting)

Method	%Moisture content
Conventional	41.66
Ohmic heating (100 V)	40.80
Ohmic heating (150 V)	39.71
Ohmic heating (200 V)	39.49
Ohmic heating (250 V)	39.20

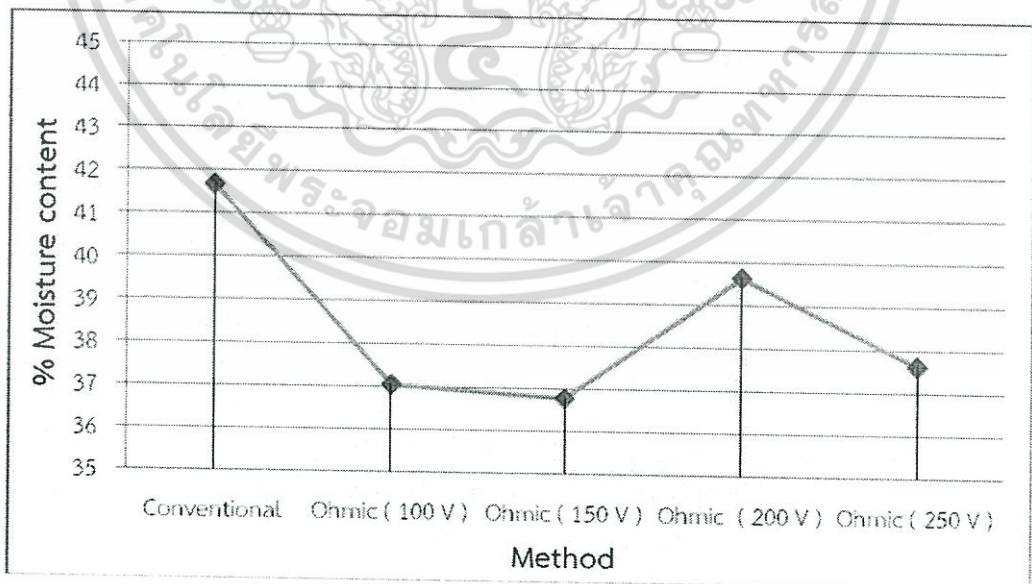
The experiments two replication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 % Moisture content in mango at 0 day

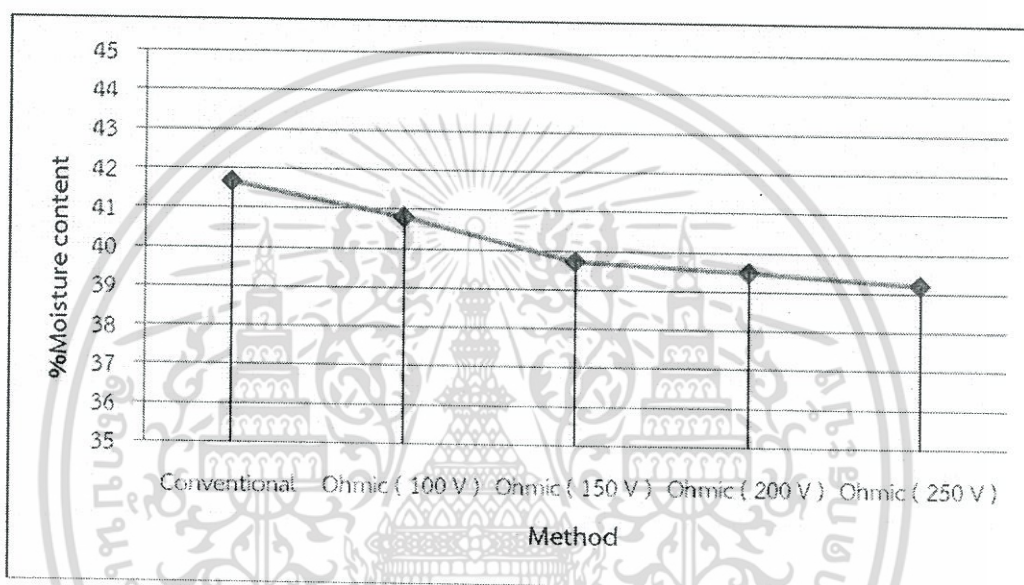
จากภาพที่ 4.15 ความชื้นในมะม่วงแช่อบแห้งสำหรับวันที่ 0 วิธีโอห์มมิก (200 v) มีความชื้นมากที่สุด และรองวิธีดั้งเดิมมีความชื้นน้อยที่สุด



ภาพที่ 4.17 % Moisture content in mango at 3 days

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.16 ความชื้นในมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งสำหรับวันที่ 3 วิธีดั้งเดิมมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นมากที่สุด รองลงมาเป็นวิธีโอห์มมิก เนื่องจากวิธีแบบโอห์มมิกไปปรับโครงสร้างของเนื้อเยื่อมะม่วงดิบเป็นรูพรุนมากขึ้น น้ำในตัวมะม่วงจึงแพร่ผ่านออกมาได้มากกว่าและเอาน้ำเชื่อมเข้าไปแทนที่



ภาพที่ 4.18 % Moisture content in mango at 5 days

จากภาพที่ 4.17 ความชื้นในมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งสำหรับวันที่ 5 วิธีดั้งเดิมมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นมากที่สุด รองลงมาเป็นวิธีโอห์มมิก เนื่องจากวิธีแบบโอห์มมิกไปปรับโครงสร้างของเนื้อเยื่อมะม่วงดิบเป็นรูพรุนมากขึ้น น้ำในตัวมะม่วงจึงแพร่ผ่านออกมาได้มากกว่าและเอาน้ำเชื่อมเข้าไปแทนที่

4.7 ผลการศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบความชอบ

นำมาทดสอบด้านประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบความชอบ (7 สเกล) โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นนักศึกษาคณะอุตสาหกรรมเกษตร จำนวน 30 คน ประเมินผลด้านต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.21 และ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 Sensory evaluation of Osmotic Dehydrated Riped Mango for optimal post harvest time to process

Characteristic	Treatment		
	0 day	3 day	5 day
Color	4.43±1.36 ^b	5.60±0.86 ^a	4.97±1.59 ^{ab}
Smell	4.50±1.17 ^{ns}	4.80±1.50 ^{ns}	4.87±1.31 ^{ns}
Appearance	4.67±1.40 ^a	5.40±1.07 ^b	3.97±1.50 ^a
Overall	4.57±1.17 ^a	5.47±0.97 ^b	4.80±1.45 ^a

Two repeated experiments mean ± Standard deviation.

หมายเหตุ significantly different at 5%

รส

จากตารางที่ 4.21 พบว่าคะแนนด้านสีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วันที่ 3 มีคะแนนมากที่สุด คะแนนรองลงมาคือ วันที่ 5 ซึ่งมีความเหมือนทั้งวันที่ 0 และวันที่ 3 และวันที่ 0 ได้คะแนนน้อยที่สุด

กลิ่น

จากตารางที่ 4.21 พบว่าคะแนนด้านกลิ่นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลักษณะปรากฏ

จากตารางที่ 4.21 พบว่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับวันที่ 3 มีคะแนนมากที่สุด และคะแนนรองลงมา คือ วันที่ 0 และ วันที่ 3 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน

ความชอบโดยรวม

จากตารางที่ 4.21 พบว่าคะแนนด้านความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับวันที่ 3 มีคะแนนมากที่สุด และคะแนนรองลงมา คือ วันที่ 0 และ วันที่ 3 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง เพื่อเลือกความสุกที่เหมาะสมในการที่จะนำมาทำมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งในครั้งถัดไป ผลที่ได้ คือ มะม่วงแช่อิ่มอบแห้งของวันที่ 3 ได้รับความยอมรับมากที่สุด เพราะสีและลักษณะปรากฏมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.22 Sensory evaluation of Osmotic Dehydrated Riped Mango for selecting optimal process

Characteristic	Treatment				
	Conventional	100 V	150 V	200 V	250 V
Color	5.00±1.11 ^a	5.37±1.10 ^a	5.10±1.49 ^a	4.70±1.29 ^a	3.73±1.66 ^b
Smell	4.87±1.14 ^{ns}	5.07±1.02 ^{ns}	5.03±1.45 ^{ns}	4.70±1.42 ^{ns}	4.87±1.33 ^{ns}
Texture	4.67±1.24 ^{ns}	4.47±1.20 ^{ns}	4.60±1.35 ^{ns}	3.87±1.48 ^{ns}	4.03±1.71 ^{ns}
Overall	4.73±1.11 ^{ab}	5.07±1.20 ^a	4.80±1.13 ^{ab}	4.47±1.48 ^{ab}	4.20±1.40 ^b

Two repeated experiments mean ± Standard deviation.

หมายเหตุ significantly different at 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขม

จากตารางที่ 4.22 พบว่าคะแนนด้านสีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิธีดั้งเดิม , วิธีโอห์มมิก (100 v , 150 v , 200 v) มีความเหมือนกัน ซึ่งวิธีโอห์มมิก (250 v) มีความต่างจากวิธีข้างต้น ซึ่งมีคะแนนน้อยที่สุด

กลีน

จากตารางที่ 4.22 พบว่าคะแนนด้านกลีนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เนื้อสัมผัส

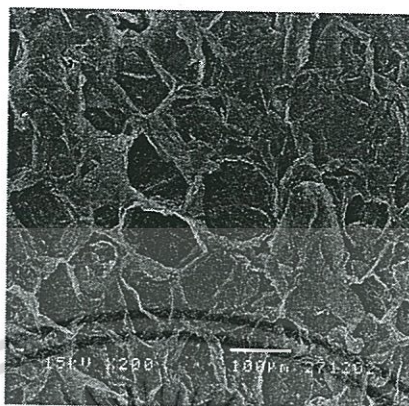
จากตารางที่ 4.22 พบว่าคะแนนด้านเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความชอบโดยรวม

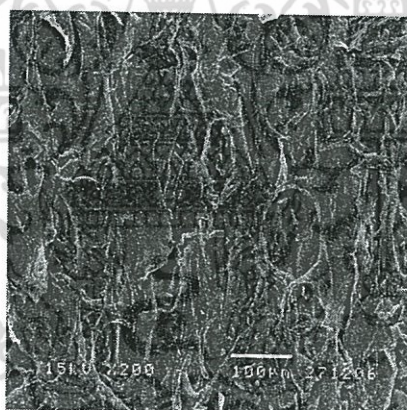
จากตารางที่ 4.22 พบว่าคะแนนด้านความชอบโดยรวมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีโอห์มมิก (100 v) มีคะแนนมากที่สุด ซึ่งวิธีดั้งเดิม และวิธีโอห์มมิก (100 v , 150 v , 200 v) ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ต่างกันว่า วิธีโอห์มมิก (250 v) มีคะแนนน้อยที่สุด

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง เพื่อเลือกกระบวนการที่เหมาะสมผลที่ได้คือ วิธีดั้งเดิมและวิธีโอห์มมิก (100 v , 150 v , 200 v) ไม่มีความแตกต่างกัน มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกัน แต่วิธีโอห์มมิกใช้เวลาในการให้ความร้อนที่สั้นกว่า

จากการนำขึ้นเนื้อมะม่วงแก้วขมิ้นแช่อิ่มอบแห้ง ที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า (0 โวลต์) ผ่านกระแสไฟฟ้าที่ 100 โวลต์ และ 250 โวลต์ ตามลำดับ ไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (รุ่น JSM-6400) ที่ 15 V กำลังขยาย 200 เท่า แสดงดังภาพที่4.18.....

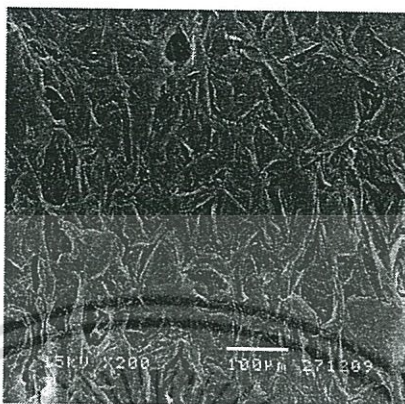


ภาพที่ 4.19 ซึ้นเนื้อมะม่วงที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า (0 โวลต์)



ภาพที่ 4.20 ซึ้นเนื้อมะม่วงที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า 100 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 ชั้นเนื้อมะม่วงที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า 250 โวลต์

จากภาพจะพบว่า ชั้นเนื้อมะม่วงแก้วขมิ้นแช่อิ่มอบแห้ง ที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า (0 โวลต์) ลักษณะเซลล์ของมะม่วงจะยังคงมีลักษณะที่เป็นปกติ แต่เมื่อพิจารณา ชั้นเนื้อมะม่วงที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า 100 และ 250 โวลต์ ตามลำดับ จะพบว่า ลักษณะเซลล์ของมะม่วง จะถูกทำลายไป โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการมีความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงขึ้น จะส่งผลต่อการทำลายเซลล์มะม่วงที่มากขึ้น จึงพบว่าเซลล์มะม่วงที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า จึงยอมให้สารละลายน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมผ่านไปได้มากกว่า จึงเป็นการร่นระยะเวลาในกระบวนการแช่อิ่มลงได้มาก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาการพัฒนากระบวนการโอห์มมิก เพื่อเร่งการดูดซึมสารละลายน้ำตาล ในการผลิต มะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง โดยการนำมะม่วงหั่นชิ้นที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.3% และ โปแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.5% โดยแคลเซียมคลอไรด์ที่ทำการเตรียมเป็นสารละลายที่มีประโยชน์ให้ เนื้อมะม่วงมีความแน่น แข็งกรอบ ส่วนโปแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ มีผลเป็นวัตถุกันเสีย และยังป้องกัน จุลินทรีย์ จากนั้นนำมะม่วงใส่ลงไปในเซลล์โอห์มมิก โดยมีแรงดันไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 100, 150, 200 และ 250 โวลต์ ให้อุณหภูมิถึงประมาณอุณหภูมิน้ำเดือด แล้วนำไปแช่อิ่มด้วยน้ำเชื่อมเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 40, 50, 60, 70 °Brix ระดับละ 24 ชั่วโมง โดยทำการวัดความเข้มข้นทุก 2 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณ น้ำตาลที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อมะม่วง โดยวิธีการให้กระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิกจะช่วยให้เกิดการดูดซึม สารละลายเข้าไปได้ดีและใช้ระยะเวลาน้อยกว่า วิธีปกติที่เป็นการให้ความร้อนโดยทั่วไป

จากการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง โดยใช้ กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก พบว่าไม่มีผลต่อด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัส คือไม่มีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการทำมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง และคุณภาพของมะม่วง พบว่า การใช้ แรงดันไฟฟ้าที่ 100 โวลต์ มีความเหมาะสมกับการใช้งานและเกิดประสิทธิภาพสูง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มี คุณภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะต่อการศึกษาขั้นต่อไป

1. ในการศึกษา ในการศึกษาการใช้งานโดยการใช้วัตถุดิบประเภทอื่น ต้องทำการทดสอบ ประสิทธิภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆก่อน ว่ามีความเหมาะสม สามารถทำการใช้งานด้วยวิธีนี้ได้ หรือไม่
2. วิธีการให้ความร้อนโดยใช้กระแสไฟฟ้าแบบโอห์มมิก ยังไม่มีการพัฒนาอุปกรณ์มากนัก จึง ควรมีการพัฒนาการทำอุปกรณ์ให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ควรมีการนำไปพัฒนาใช้ร่วมกับวิธีการอื่นๆที่ยังไม่ได้ทำการทดลอง จะทำให้สามารถประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น และเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2545, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, เข้าถึงได้จาก, <http://www.moac-info.net/>. (15/07/2554)
- กิตติศักดิ์ คำมี, ทศนีย์วรรณ นิมตงเสนะ, นันทปนต์ เกษสมบุรณ์ และ ประมวล ศรีกาหลง. 2553. “ผลของกระบวนการโอท้อมิกที่มีต่อการเพิ่มปริมาณน้ำแครอทคั้น”. ปัญหาพิเศษคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึกการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก, โครงการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
- คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร “ความชื้นในผลิตภัณฑ์เกษตร” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://courseware.rmutl.ac.th/courses/49/unit501.htm#head2> (วันที่ค้นข้อมูล 20 กันยายน 2555)
- ดร.ประมวล ศรีกาหลง .2539. “ กระบวนการให้ความร้อนน้ำสับปรดด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้าโดยตรง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะ อุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ดร.ประมวล ศรีกาหลง .2539. “ กระบวนการให้ความร้อนน้ำสับปรดด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้าโดยตรง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ดร.พีรศักดิ์ วรสุนทรโสภ และ คนอื่นๆ. ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลำดับที่ 2 ไม้ผลและไม้ผลเคี้ยวมัน. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ : 295 - 301
- ดร.วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล , อุปกรณ์อบแห้งอุตสาหกรรม , กรุงเทพมหานคร , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี , 2522
- ทองศักดิ์ วัฒนา “การเลือกเทคโนโลยีการอบแห้งในอุตสาหกรรมและเพื่อลดต้นทุนการผลิต (ตอนที่ 1)” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=13986§ion=9&rcount=Y> (วันที่ค้นข้อมูล 15 กันยายน 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทิพสุดา อาสาสรรพกิจ, นิพรพรรณ มุทุมม และ สุทัศน์ สุระวัง. 2550. “การปรับปรุงคุณภาพ สตรอบเบอร์อบแห้งโดยกระบวนการออสโมติกดีไฮเดชันสภาวะสุญญากาศ”. ว. วิทย. กษ. 38:5 (พิเศษ) : 317-320.
- จิรนนท์ จงอรุณงามแสง, สรวุช จากโพชน, อรพิน ปรีดา และ ประมวล ศรีกาหลง. 2550. “การศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดในอาหารด้วยระบบโอห์มมิก”. ปัญหาพิเศษ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นักศึกษาหลักสูตร พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ชั้นปีที่ ๓ “กระบวนการให้ความร้อนแบบ โอห์มมิก” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.lpc.rmutl.ac.th/pd/mey/work/Ohmic%20heating.ppt> (วันที่ค้นข้อมูล 13 มีนาคม 2556)
- นางสาวบุหลิน พิทักษ์ผล “เครื่องมือที่ใช้ในการอบแห้ง” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php?q=%E0%A4%C3%D7%E8%CD%A7%C1%D7%CD%B7%D5%E8%E3%AA%E9%E3%B9%A1%D2%C3%CD%BA%E1%CB%E9%A7&select=1 (วันที่ค้นข้อมูล 15 กันยายน 2555)
- บุญทวี แสงพรหม และ อมรพรรณ สิงขโรทัย. 2542-2543. “ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวใน กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกระบบสถิตย์”ปริญญาานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมแปรรูป อาหาร คณะอุตสาหกรรม เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- บุญทวี แสงพรหม และ อมรพรรณ สิงขโรทัย. 2542-2543. “ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวใน กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกระบบสถิตย์”ปริญญาานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมแปรรูป อาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- บุญทวี แสงพรหม, อมรพรรณ สิงขโรทัย และ ประมวล ศรีกาหลง. 2542. “ค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร เหลวในกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกระบบสถิตย์”. ปัญหาพิเศษคณะอุตสาหกรรม เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ประมวล ศรีกาหลง. 2539. “กระบวนการให้ความร้อนน้ำสับประดด้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า โดยตรง”. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปวีณา อินทจักร์ และ พิชญา บุญประสม. 2549. “การใช้เทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชันร่วมกับเทคนิคสเปาเต็ดเบดในการทำแห้งเนื้อมะม่วงแก้ว”. ว. วิทย์. กษ. 37:5 (พิเศษ) : 313-316.
- ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ ศ.ดร.นิธิยา รัตนานพนธ์ “การทำแห้ง” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/277/dehydration> (วันที่ค้นข้อมูล 20 กันยายน 2555)
- พีรภัค อรัญวุฒิกุล, เจนกิจ คุ่มพรสิน และ ประมวล ศรีกาหลง. 2543. “การพัฒนาระบบการพัฒนากระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง”. ปัญหาพิเศษคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พีระพันธ์ สมองชาติ. 2539. “การพัฒนาเครื่องอบแห้งผลไม้แบบลาดหมุน”. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ “ภาคผนวก”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/food0551sp_app.pdf (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2556)
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ “ภาคผนวก”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/food0251am_app.pdf (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2556)
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพมหานคร : 220 - 232
- ศักดิ์รินทร์ รัสศรี. 2541. “การอบแห้งมะม่วงแช่อิ่มโดยใช้ป้มความร้อน”. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ (เทคโนโลยีพลังงาน) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สารานุกรมเสรี “มะม่วง”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B8%87> (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2556)
- องอาจ เสรีรัตน์ประสาน และ ประมวล ศรีกาหลง. 2550. “การศึกษาการหุงข้าวโดยใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรง”. ปัญหาพิเศษคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัจฉริยวิริยะ และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2533. “ศึกษาพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับวิเคราะห์การอบแห้ง มะละกอแช่ส้ม”. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ 24: 2: 196-207.
- “ ลี ” . [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/ea341/lesson2/ch02_6.pdf (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2556)
- Allali H., Marchal L. and Vorobiev. 2010. “Blanching of strawberries by Ohmic Heating: Effects on the Kinetics of Mass Transfer during Osmotic Dehydration”. Food Bioprocess Technol Vol. 3 : 406-414.
- APV Baker Company. 1993 . "Ohmic Heating Update". Food Engineering. (September) : 39-42.
- Fatterman J.C . 1928 . "The Electrical Conductivity Method of Processing Milk". Agric. Eng. Vol. 9 : 107-108.
- Filiz I., Y. Hasan and B. Taner. 2006. “Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree”. J. of Food Engineering. Vol. 74: 424- 429.
- Getchell B.E . 1935 . "Electrical pasteurization of milk" Agricultural Engineering. Vol. 16. No.10 : 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. Vol. 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.
- Lakkakula N.R., M. Lima and T. Walker. 2003. “Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating”. Bioresource Technology. Vol 92: 157-161.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Leizeron S. and E. Shimoni . 2005. "Stability and sensory shelf life of orange juice pasteurized by continuous ohmic heating". J. of agricultural and food chemistry. Vol. 53: 4012-4018.
- Lima M. and S.K. Sastry. 1999. "The effect of ohmic heating frequency on hot-air drying rate and Juice yield". J. of Food Engineering. Vol. 41: 115-119.
- Maitri Naewbanij and Viboon Thepent "Batch and continuous drying" [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.fao.org/docrep/X5036E/x5036E0x.htm> (วันที่ค้นข้อมูล 23 กันยายน 2555)
- Mizrahi S., I.J. Kopelman and J. Perlman. 1975 . "Blanching by electroconductive heating" J. Food Technol. Vol. 10: 281-288.
- Moses D.B . 1938 . "Electrical pasteurization of milk". Agric.Eng. Vol. 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". J. of Food processing and Preservation. Vol. 8 : 47-56.
- Ozkan N., I. Ho and M. Farid. 2004. "Combined ohmic and plate heating of hamburger patties: quality of cooked patties". J. of Food Engineering. Vol. 63: 141-145.
- Palaniappan S., S.K. Sastry and E.R. Richter. 1991. "Effect of electroconductive heat treatment and electrical pretreatment on thermal death kinetics of selected microorganisms". Biotechnology and Bioengineering. Vol 39: 225-232.
- Patrick ILAND , Andrew EWART and John SITTERS (1993) " Techniques for Chemical Analysis and Stability Tests of Grape Juice and Wine " Campbelltown
- Pereira R.N., R.C. Martins and A.A. Vicente. 2008. "Goat milk free fatty acid characterization during conventional and ohmic heating pasteurization". J. Dairy Science. Vol. 91: 2925-2937.

- 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. 122-125.
- Robert C. Weast , CRC Handbook of Chemistry and Physics , 1st Student Edition , CRC Press , Inc. Boca Raton , Florida. 1990. USA
- Sandrine C., E. Godereaux, F. Zuber and A. Goullieux. 2001. "Processing and stabilization of cauliflower by ohmic heating technology". Innovative Food Science and Emerging Technology. Vol 2 : 279-287.
- Sanjay S., K. Sastry Sudhir and K. Lynn. 2008."Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating". J. of Food Engineering. Vol 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". J. of Food Science. Vol. 72: E227-E234.
- Skudder Paul J. 1989 . "Ohmic heating in food processing". Asian Food Journal. Vol.4 , No.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. Vol. 46: 486-490.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

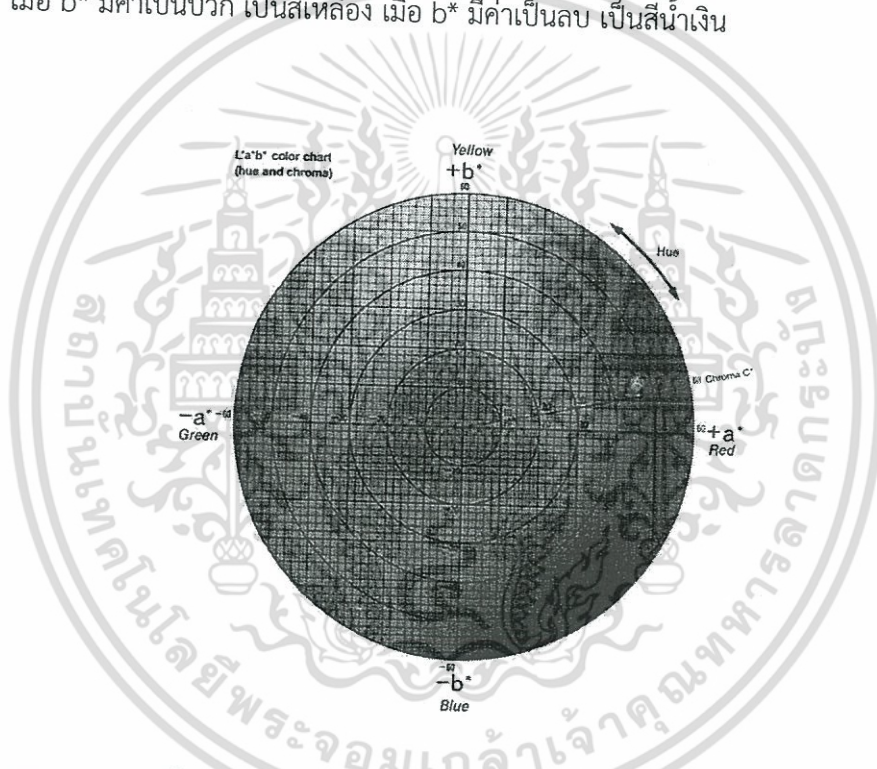
ก.1 การวัดค่าสีระบบ Hunter Lab

การวัดสีในระบบฮันเตอร์ (Hunter Lab) ทำการวัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta colorimeter (CR-300) (Minolta co.,Ltd, Osaka , Japan) วัดค่าสีในระบบฮันเตอร์ โดยวัดสี L^* เป็นค่าความสว่าง (lightness) a^* เป็นค่าสีแดงและเขียว (redness/greenness) และ b^* เป็นค่าสีเหลืองและน้ำเงิน (yellowness/blueness)

เมื่อ L^* คือค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

เมื่อ a^* มีค่าเป็นบวก เป็นสีแดง เมื่อ a^* มีค่าเป็นลบ เป็นสีเขียว และ a^* มีค่าเป็นศูนย์ เป็นสีเทา

เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวก เป็นสีเหลือง เมื่อ b^* มีค่าเป็นลบ เป็นสีน้ำเงิน



ภาพที่ ก1 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ : Hue บรรยายถึงเฉดสี และ Chroma บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี

ที่มา: Minolta, 1997.

วิธีการวัด

ก่อนการวัดทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่องด้วยแผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank) แล้วจึงทำการวัดสีตัวอย่าง ขนาดตัวอย่างประมาณกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร โดยวัด 2 จุด บันทึกค่าสี L^* , a^* , b^* นำมาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล วิธีRebelein

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างประมาณ 10.00 กรัม และน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำมาปั่นและกรองเพื่อแยกกาก

2.2 การเตรียมสาร

2.2.1 สารละลาย Z_1

ค่อยๆเติม ซัลฟิวริก แอซิด (sulphuric acid : H_2SO_4) 1 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นชั่ง คอปเปอร์ ซัลเฟต (copper (cupric) sulphate : $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บในขวดพลาสติก หรือ ขวดแก้วฝาพลาสติก

2.2.2 สารละลาย Z_2

ชั่ง โซเดียม โพแทสเซียม ทาเทต (sodium potassium tartrate) 250 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร จากนั้นชั่ง โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 80 กรัม ใส่ลงไปในสารละลาย โซเดียม โพแทสเซียม ทาเทต อาจจะต้องตั้งไฟให้ร้อน เพื่อให้ละลาย ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บในขวดพลาสติก หรือ ขวดแก้วฝาพลาสติก

2.2.3 สารละลาย Z_3

เติม 1 โมลาร์ NaOH 100 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร ชั่ง โพแทสเซียม ไอโอไดด์ (potassium iodide : KI) 300 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บในขวดพลาสติก หรือ ขวดแก้วฝาพลาสติก

2.2.4 สารละลาย Z_4

เตรียมซัลฟิวริก แอซิด (sulphuric acid : H_2SO_4) 175 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำกลั่น 825 มิลลิลิตร ช้าๆ เก็บในขวดพลาสติก หรือ ขวดแก้วฝาพลาสติก

2.2.5 สารละลาย Z_5

ชั่ง โพแทสเซียม ไอโอไดด์ (potassium iodide : KI) 20 กรัม และแป้ง 10 กรัม แยกบีกเกอร์กัน เตรียม 1 โมลาร์ NaOH 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ใช้สารละลาย NaOH ละลายโพแทสเซียม ไอโอไดด์ และแป้ง ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บในขวดพลาสติก หรือ ขวดแก้วฝาพลาสติก

2.2.6 สารละลาย Z_6

ชั่ง โซเดียม ไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) ละลายในน้ำกลั่น เติม 1 โมลาร์ NaOH 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บในขวดพลาสติก หรือ ขวดแก้วฝาพลาสติก

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 บีเปิด Z_1 10 มิลลิลิตร และ Z_2 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่

2.3.2 ใส่ลูกแก้ว 3 ลูก หรือ เศษแก้ว

2.3.3 บีเปิดตัวอย่างหรือน้ำกลั่น (แบลงค์) 2 มิลลิลิตร

2.3.4 นำไปตั้งไฟให้เดือด จับเวลา 30 วินาที และทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง

2.3.5 บีเปิด Z_3 , Z_4 , Z_5 อย่างละ 10 มิลลิลิตร

2.3.6 ไตเตรตโดยใช้ Z_6 ซึ่งจุดยุติ คือ สีครีม

2.4 การคำนวณ

ปริมาณน้ำตาล = ปริมาณที่เจือจาง \times
 (ปริมาณที่ไตเตรตของแบลงค์ - ปริมาณที่ไตเตรตของตัวอย่าง) กรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบการคัดเลือกความสุขของมะม่วงที่เหมาะสมในกระบวนการแช่อิ่มอบแห้ง

แบบทดสอบ

มะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง

ผู้ทดสอบ.....วันที่.....

1 = ไม่ชอบมาก

2 = ไม่ชอบ

3 = ไม่ชอบเล็กน้อย

4 = เฉยๆ

5 = ชอบเล็กน้อย

6 = ชอบ

7 = ชอบมาก

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	รหัส	รหัส	รหัส
สี			
กลิ่น			
ลักษณะปรากฏ			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบการคัดเลือกกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทำมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง

แบบทดสอบ
มะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง

ผู้ทดสอบ..... วันที่.....

1 = ไม่ชอบมาก

2 = ไม่ชอบ

3 = ไม่ชอบเล็กน้อย

4 = เฉยๆ

5 = ชอบเล็กน้อย

6 = ชอบ

7 = ชอบมาก

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง				
	รหัส	รหัส	รหัส	รหัส	รหัส
สี					
รสชาติ					
เนื้อสัมผัส					
ความชอบ โดยรวม					

ข้อเสนอแนะ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายประมวล ศรีกาหลง
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Pramoun Srikalong
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำ
- หน่วยงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 0 2329 8526 โทรสาร 0 2329 8526
E-mail : kjpramou@kmitl.ac.th, amam60@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

- ปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จบเมื่อ 2536
- ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จบเมื่อ 2539
- ปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จบเมื่อ 2550
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
- วิศวกรรมแปรรูปอาหาร
 - เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน
 - เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความเย็น
 - เทคโนโลยีน้ำมันพืช

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อโครงการวิจัย อุปกรณ์สาธิตแปรรูปอาหารด้วยความเย็น ได้รับทุนจาก เงินรายได้คณะ ประจำปี 2551
- ชื่อโครงการวิจัย การออกแบบอุปกรณ์ผลิตไบโอดีเซลแบบพกพา ได้รับทุนจาก เงินรายได้คณะ ประจำปี 2552
- ชื่อโครงการวิจัย การใช้เตาพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการผลิตปลาหมึกแห้ง เพื่อลดการใช้พลังงานจากเตาอบ ก๊าซธรรมชาติบางส่วน ได้รับทุนจาก งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ชื่อโครงการวิจัย บทบาทการมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนากระบวนการก่อน และ หลังการเก็บเกี่ยว ปุทะเลเพื่อเพิ่มมูลค่าและมาตรฐานการผลิต และการถ่ายทอด เทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดจันทบุรี ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจาก วช. ประจำปี พ.ศ. 2552
5. ชื่อโครงการวิจัย การปรับปรุงเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตมะม่วงดิบแผ่นอบแห้ง ได้รับทุนจาก เงินรายได้คณะ ประจำปี 2553
6. ชื่อโครงการวิจัย การเพิ่มมูลค่ามะม่วงสุกด้วยการพัฒนากระบวนการแปรรูปใหม่เป็นมะม่วงแผ่นชั้นรูปชนิดความเหนียวต่ำ ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจาก IRPUS3 สกว. ประจำปี 2553
7. ชื่อโครงการวิจัย Effect of Ohmic Heating on Increasing Guava Juice Yield นำเสนอผลงานวิจัย (Notification of Acceptance of the ICBSF 2011) Presentation ในการประชุม 2011 2nd International Conference on Biotechnology and Food Science (ICBSF 2011) ณ เกาะบาหลี ประเทศอินโดนีเซีย ระหว่างวันที่ 1 – 3 เมษายน 2554 ตีพิมพ์ใน Conference Proceeding ภายใต้ Thomson ISI, Ei Compendex and IEEE Xplore
งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ผู้ร่วมวิจัย
1. ชื่อโครงการวิจัย เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ ได้รับทุนจาก สกว. (ผู้ถือสิทธิคือ สกว. ร่วมกับนักวิจัย) ปี 2548-2550 ได้รับสิทธิบัตรแล้ว เลขที่ 26220
2. ชื่อโครงการวิจัย การสกัดวิตามินอีจาก Distillate ของน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจาก สกว. ประจำปี พ.ศ. 2549
3. ชื่อโครงการวิจัย การออกแบบ สร้าง และ การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผสมเกลือไอโอดีนชนิดรีบบอนตันแบบ ระยะเวลา 6 เดือน ได้รับทุนจาก องค์การยูนิเซฟ, พ.ศ. 2553
งานวิจัยที่กำลังทำ : ผู้ร่วมโครงการวิจัย
1. ชื่อข้อเสนอการวิจัย การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้ในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่น เพื่อเพิ่มผลผลิตและมูลค่า และการถ่ายทอดเทคโนโลยี ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากวช ประจำปี พ.ศ. 2554 ทำวิจัยว่า ได้ทำการวิจัยคล่องแล้วประมาณร้อยละ 95
2. ชื่อข้อเสนอการวิจัย โครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตหมูชะมวงแช่เยือกแข็งจากภูมิปัญญาท้องถิ่นของจันทบุรีสู่การเป็นสินค้าเศรษฐกิจชุมชน ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากวช. ประจำปี พ.ศ. 2554 ทำวิจัยว่า ได้ทำการวิจัยคล่องแล้วประมาณร้อยละ 95
3. ชื่อข้อเสนอการวิจัย ศึกษาการเก็บรักษาข้าวคั่วสมุนไพร ในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่น เพื่อเพิ่มมูลค่าและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่ ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากวช. ประจำปี พ.ศ. 2554 ได้ทำการวิจัยคล่องแล้วประมาณร้อยละ 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชื่อข้อเสนอการวิจัย โครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตหมูชะมวงแช่เยือกแข็งจาก
ภูมิปัญญาท้องถิ่นของจันทบุรีสู่การเป็นสินค้าเศรษฐกิจชุมชน ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากวช.
ประจำปี พ.ศ. 2554 ทำวิจัยว่า ได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละ 95
3. ชื่อข้อเสนอการวิจัย ศึกษาการเก็บรักษาข้าวคั่วสมุนไพร ในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่น
เพื่อเพิ่มมูลค่าและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่ ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากวช.
ประจำปี พ.ศ. 2554 ได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละ 80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้