

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการหุงข้าวโดยใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรง

( Rice Cooking By Ohmic Heating )

นายองอาจ เสรีรัตน์ประสาน รหัสนักศึกษา 47040861

๒๒๖.  
๐๑๗๗  
๒๕๕๐

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 85394

วัน,เดือน,ปี 11 พ.ศ. 2551

b. 120 10315
i. ....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ



นายองอาจ เสวีรัตน์ประสาน รหัสนักศึกษา 47040861

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....  
( ..... )

.....5...../...../...../2555... อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาย องอาจ เสรีรัตน์ประสาน 2550 – 2551 : การศึกษาการหุงข้าวโดยใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรง  
( Rice Cooking By Ohmic Heating ) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ประมวล ศรีกาหลง

### บทคัดย่อ

จากการทดลองหาอัตราส่วนระหว่างข้าวหอมมะลิค่อน้ำที่เหมาะสมในการนำไปหุงข้าวด้วยระบบกระแสไฟฟ้าโดยตรง ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 จะเป็นค่าอัตราส่วนในการหุงข้าวที่ดีที่สุด โดยข้าวจะสุกสม่ำเสมอ และ ขั้นตอนศึกษาวิธีการหุงข้าวด้วยระบบกระแสไฟฟ้าโดยตรง ร่วมกับการเติมสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่อัตราส่วนสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่างๆ ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาในการหุงสั้น แต่ไม่สามารถทำให้ข้าวสุกได้ ดังนั้นการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ จึงไม่มีความจำเป็น และจากการศึกษาทดลองการหุงข้าวโดยใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรง (ohmic Heating) โดยการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์นี้ ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์แต่ละอัตราส่วน มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอุณหภูมิ ในช่วงก่อนการลดลงของค่าการนำไฟฟ้า คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น และเมื่อถึงช่วงเวลานึงค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงในทุกความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ เนื่องจากข้าวเกิดการพองตัวและคูดน้ำเข้าไปในเม็ดแป้งร่วมกับ การดูดเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้าไปด้วย ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงอย่างต่อเนื่อง และจะลดลงอย่างทันที เมื่อน้ำแห้งจนหมด เนื่องจาก ไม่มีสารเหลวที่เป็นอิเล็กโตรไลต์เหลืออยู่

.....  
องอาจ เสรีรัตน์ประสาน

ลายมือชื่อนักศึกษา

.....  
ประมวล ศรีกาหลง

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

5...../...../ 2551

วัน / เดือน / ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดขอขอบคุณ ดร.ประมวล ศรีกาหลง ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าที่คอยแนะนำให้แนวคิด ความช่วยเหลือและดูแลแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้นด้วยและขอขอบคุณ อาจารย์ กัลยาณี เต็งพงศธร และ อาจารย์จิราภรณ์ สิริสัมพันธ์ อาจารย์คณะกรรมการที่สละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาและแนะนำแก้ไขข้อผิดพลาดในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้นขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่อาคารสถานที่ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านวัสดุอุปกรณ์ และเพื่อนทุกๆคนที่คอยให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา รวมทั้งทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีหลักสูตรปัญหาพิเศษนี้ขึ้น

รายงานนี้ สำเร็จด้วยดีเนื่องจากความตั้งใจและความมีน้ำใจของทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยเฉพาะ อาจารย์ประมวล ศรีกาหลง ที่ให้กำลังใจ ไม่ถอยตัวกับลูกศิษย์เวลาให้คำปรึกษาและต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่ เสมอมาในทุกๆ ด้าน ผู้จัดทำขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

.....คุณคณ.....เสรีรัตน์.....

( นายองอาจ เสรีรัตน์ประธาน )

4 เม.ย. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปัญหา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน	3
2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของไอเอ็มมิก	3
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง	9
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	9
3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง	14
บทที่ 4 ผลการทดลอง	17
4.1 ผลการทดลองระหว่างอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและเวลาในการหุงข้าว	17
4.2 ผลการทดลองที่อัตราส่วนสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่างๆ	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	29
5.1 สรุปผลการทดลอง	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก ก	33
ภาคผนวก ข	37

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาและกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ ในการที่หุงข้าวที่อัตราส่วนต่างๆ	18
ตารางที่ ก.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาใน การหุงข้าวที่อัตราส่วนข้าวค่อน้ำระดับต่างๆ	34
ตารางที่ ก.2 แสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าใน การคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 4 กรัม	35
ตารางที่ ก.3 แสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าในการคำนวณ หาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 6 กรัม	35
ตารางที่ ก.4 แสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า ในการคำนวณ หาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 8 กรัม	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการให้ความร้อนแบบ Ohmic heating	4
ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ	9
ภาพที่ 3.2 แสดงมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter)	10
ภาพที่ 3.3 แสดงมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า (Ammeter)	10
ภาพที่ 3.4 แสดงสวิตช์ปิด-เปิด (Circuit breaker)	11
ภาพที่ 3.5 แสดงสายไฟฟ้า	11
ภาพที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ	12
ภาพที่ 3.6 แสดงมิเตอร์แสดงค่าอุณหภูมิของสารละลาย (Thermostat)	12
ภาพที่ 3.8 แสดงกล่องอะคริลิก	13
ภาพที่ 3.9 แสดงแผ่นสแตนเลส	13
ภาพที่ 3.10 แสดงตัวเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า	15
ภาพที่ 3.11 แสดงการประกอบตัวเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า	15
ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะเม็ดยาวแต่ละชั้น ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1	19
ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะเม็ดยาวในเซลล์ ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1	19
ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะเม็ดยาว ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1.5	20
ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะเม็ดยาวในเซลล์ ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1.5	21
ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะเม็ดยาว ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2	22
ภาพที่ 4.6 แสดงลักษณะเม็ดยาวในเซลล์ ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2	22
ภาพที่ 4.7 แสดงลักษณะเม็ดยาว ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2.5	23
ภาพที่ 4.8 แสดงลักษณะเม็ดยาวในเซลล์ ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2.5	24
ภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและเวลาในการหุง	17
ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ผสมเกลือโซเดียมคลอไรด์	25
ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าผสมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับ 4 : 1000 กรัม	26
ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าผสมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับ 6 : 1000 กรัม	27
ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ผสมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับ 8 : 1000	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของการศึกษา

กระบวนการให้ความร้อนแก่อาหารต่างๆมีรูปแบบอยู่ด้วยกันด้วยกันหลายวิธี ซึ่งกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้ได้พลังงานความร้อนออกมา โดยความร้อนที่ได้นั้นมีหลักการที่คล้ายกับความร้อนที่เกิดจาก ไล่หลอดไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ กล่าวคือ เมื่อให้ความต่างศักย์กับสสารใดๆ แล้วจะเกิดกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในเนื้อของผลิตภัณฑ์ ( ของแข็ง ของเหลว หรือ ของผสม ) ที่มีความต้านทานค่าหนึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นเกิดพลังงานความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว การให้ความร้อนอาหารโดยใช้กระแสไฟฟ้าหรือการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก ( Ohmic heating ) เป็นเทคนิคการให้ความร้อนโดยตรงแก่อาหาร โดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในอาหารซึ่งมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้สารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เรียกว่า “ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ( Electrolytic solution ) ” เช่น สารละลายกรดเกลือ ถ้าเป็นกรดที่มี ปริมาณการแตกตัว 100% มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีมาก เรียกว่า กรดแก่ ได้แก่  $H_2SO_4$  ,  $HCl$  ,  $HBr$  ,  $HI$  ,  $HNO_3$  และ  $HClO_4$  ถ้าเป็นกรดที่มีปริมาณการแตกตัวน้อย ย่อมมีความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำ เรียกว่า กรดอ่อน ได้แก่ กรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์ อื่น ๆ รวมทั้งกรดที่ ใส่ในอาหาร ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนพลังงาน ไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อาหารร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอ ทำให้ภายในเนื้ออาหารเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและพร้อมกัน ทุกจุด กระบวนการนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แก้ ไขปัญหาด้านการความร้อนไม่ทั่วถึงและลดการสูญเสีย คุณค่าทางโภชนาการ และมี การนำไปพัฒนาใช้ ในกระบวนการผลิตอาหารด้านความร้อนต่างๆ เช่น การพาสเจอร์ไรส์ การสเตอริไลส์และการลวก หรือต้ม

ดังนั้นในปัญหาพิเศษนี้ครั้งนี้จึงได้ศึกษาทดลองค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร เพื่อศึกษาการหุงข้าวหอมมะลิโดยใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรง ตลอดจนศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวหอมมะลิที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง และศึกษาการหุงข้าวหอมมะลิโดยการผสมเกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ เวลาในการหุงข้าวหอมมะลิจนถึงน้ำแห้งพอดี

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราส่วนระหว่างข้าวหอมมะลิและน้ำที่เหมาะสมในการหุงข้าวโดยการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง(ohmic heating)
2. ศึกษาวิธีการหุงข้าวโดยใช้การให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ( ohmic heating )

## 1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ

1. สร้างชุดการทดลองการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกเพื่อวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย
2. สอบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ได้สร้างขึ้น
3. ศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทั้งแสดงความสัมพันธ์ออกมาในรูปของกราฟ
4. หาสมการค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบกระบวนการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิก
2. สามารถหาอัตราส่วนระหว่างข้าวหอมมะลิและน้ำที่เหมาะสมในการหุงข้าวโดยการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง(ohmic heating)
3. สามารถหาวิธีการหุงข้าวโดยใช้การให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ( ohmic heating ) ที่เหมาะสม

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

#### 2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานหลักการพื้นฐานของการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิก

กระบวนการให้ความร้อนแบบ Ohmic heating เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน โดยอาศัยค่าความต้านทานของอาหารที่มีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถวัดค่าได้ในรูปคุณสมบัติ การนำไฟฟ้าของอาหารสามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าแก่อาหาร จะเกิดกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านเข้าไปในอาหารนั้น ทำให้เกิดพลังงานความร้อนมากขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณมาก

##### 2.1.1 กฎของโอห์ม

ในวงจรไฟฟ้าใด ๆ จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าและตัวต้านทานหรืออุปกรณ์ ไฟฟ้าที่จะใส่เข้าไปในวงจร ไฟฟ้าในนั้น ๆ เพราะฉะนั้น ความสำคัญของวงจรที่จะต้องคำนึงถึงเมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าใด ๆ เกิดขึ้นคือทำอย่างไรจึงจะไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในวงจรมากเกินไปซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดเสียหายหรือวงจรไหม้เสียหายได้ ขอร์จซิมอน โอห์ม (1831) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันให้ความสำคัญของวงจรไฟฟ้า และสรุปเป็นกฎออกมาดังนี้ คือ

1. ในวงจรใด ๆ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรมานั้นจะเป็นปฏิภาค โดยตรงกับแรงดันไฟฟ้า

$$I \text{ ( กระแสไฟฟ้า ) } \propto E \text{ ( แรงดันไฟฟ้า ) }$$

- 2.) ในวงจรใด ๆ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรมานั้นจะเป็นปฏิภาค โดยกลับกับความต้านทานไฟฟ้า

$$I \propto 1 / R \text{ ( ความต้านทาน ) }$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรวมความสัมพันธ์ทั้ง 2 เข้าด้วยกัน และเมื่อ K เป็นค่าคงที่ของตัวนำไฟฟ้า จะได้สูตร

$$I \propto 1/R$$

$$I = K(1/R)$$

เพราะว่า  $K = 1$

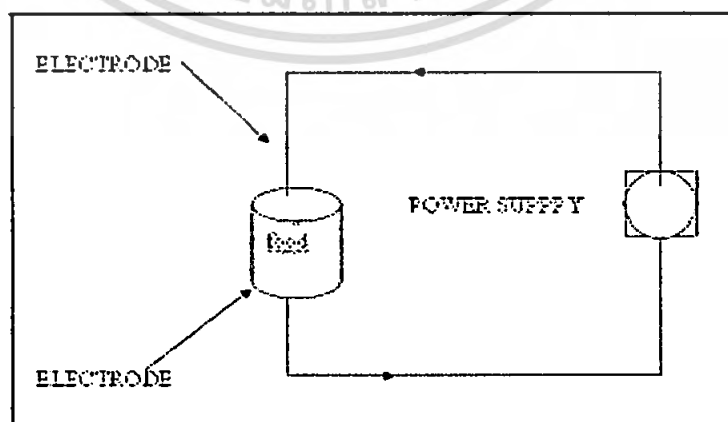
$$I \propto E/R$$

$\infty$  หมายถึง แปรผัน

K หมายถึง ค่าคงที่

### 2.1.2 หลักการพื้นฐานของการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิก

กระบวนการให้ความร้อนแบบ Ohmic heating เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน โดยอาศัยค่าความต้านทานของอาหารที่มีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถวัดค่าได้ในรูปคุณสมบัติ การนำไฟฟ้า ของอาหารสามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าแก่อาหารเหลวจะเกิดกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านเข้าไปในอาหารเหลวนั้น ทำให้เกิดพลังงานความร้อนมากขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณมาก ซึ่งสามารถนำประโยชน์จากกระบวนการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลว



ภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการให้ความร้อนแบบ Ohmic heating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นไอ้ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการให้ความร้อนในกระบวนการ Ohmic heating นี้ ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเป็นตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเป็นตัวกำหนดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น โดยค่าการนำไฟฟ้านี้เราจะพิจารณาได้จากสมการ

$$\sigma = iL / Av \quad (2.1)$$

$\sigma$  = ค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร ( S / m )

A = พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด ( m<sup>2</sup> )

i = กระแสไฟฟ้า ( ampere )

L = ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า ( m )

v = แรงดันไฟฟ้า ( volt )

โดยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ohmic นี้จะเป็นไปตามสมการ

$$Q = \sigma_1 E^2 \quad (2.2)$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อน ( Watt / m<sup>3</sup> )

E = ความเข้มสนามไฟฟ้า ( V / m )

$\sigma_T$  = ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารที่อุณหภูมิใดๆ ( S / m )

การที่จะคำนวณการกระจายอุณหภูมิในกระบวนการ ohmic ให้ถูกต้องตรงกับความเป็นจริง ต้องใช้การคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อน เช่น การใช้วิธี Finite element ซึ่งต้องใช้ คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำที่มากและใช้เวลานานแต่เราสามารถสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์อย่างง่ายโดยสมมติสภาวะการต่างๆ เพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้น และเป็นไปได้ในการปฏิบัติดังนี้ คือ

- ตัวอย่างอาหารอยู่นิ่ง
- การนำและการพาความร้อนระหว่างของเหลวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอุณหภูมิทุกจุดของอาหารจะมีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเข้มของสนามไฟฟ้ามิให้แก่ระบบมีค่าคงที่
- ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารมีความสม่ำเสมอในทุกจุด
- ระบบไม่มีการสูญเสียความร้อน
- อัตราการเกิดความร้อนไม่ขึ้นกับตำแหน่งภายในเครื่องให้ความร้อน

### 2.1.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์สำหรับการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

Halden , De Alwis และ Fryer (1990) ได้สร้างเซลล์ให้ความร้อนแบบ ohmic ทำจากกล่องพลาสติกชนิด โพลีโพรพิลีนขนาด 184\*70\*77 มิลลิเมตร ด้านในของกล่องมีขั้วไฟฟ้าชนิดเดียวกับที่ใช้ในทางการค้าติดตั้งอยู่ โดยต่อผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าเมน (Main supply) ที่มีแรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต ให้เหลือ 200 โวลต์ สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K ( K- type thermocouples ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ถูกนำมาใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลระบบคอมพิวเตอร์

Palaniappan และ Sastry (1991) สร้างเซลล์โดยใช้ท่อแตนเลสยาว 12.5 นิ้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 / 16 นิ้ว ด้านในของท่อสแตนเลสมีปลอกเทฟลอนสวมอยู่ ( เพื่อให้เป็นฉนวนไฟฟ้า ) ส่วนกลางท่อมีปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 / 16 นิ้ว สำหรับใส่ตัวอย่างและเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด T ( T-type thermocouple ) ที่ปลายทั้งสองด้านของท่อ มีขั้วไฟฟ้าที่ทำจากแผ่น โรเดียม ( Rhodium plated stainless steel electrodes ) สวมอยู่กับ Teflon pressure caps และ Compression fittings เซลล์ของ Gupta และ Jindal (1992) ประกอบด้วย ท่ออคริลิก ( Acrylic ) ยาว 8 เซนติเมตรเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 เซนติเมตร ที่ปลายทั้ง 2 ด้านของท่อ มีขั้วไฟฟ้าที่ทำจากแผ่นสแตนเลสติดอยู่กับซีลยางและแผ่นประกบ โดยใช้นี้ อุดและสกรู เป็นตัวยึดให้ แน่น ตามแนวยาวของท่อมี ช่องสำหรับเสียบเทอร์โมคัปเปิ้ล 3 ช่อง โดยช่องหนึ่งเสียบที่ตำแหน่ง กลางของท่อ ส่วนอีก 2 ช่องที่เหลืออยู่ห่าง จากปลายท่อข้างละ 1 เซนติเมตร

### 2.1.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร

1.) อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารสำหรับตัวอย่างอาหารเหลว Fryer และ คณะ (1993) สร้างอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าสำหรับ บอาหารเหลวประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ระบบไฟฟ้าที่ป้อนที่มีแรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต หม้อแปลงไฟฟ้าปรับแรงดันได้ เครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า, เครื่องบันทึกอุณหภูมิ, สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค ( K-type thermocouples ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ที่ปลายสายจะหุ้มด้วยโพลีเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เข้ามาใช้เว็บไซต์นี้เป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนการผ่านไฟฟ้ากระแสสลับไปยังอาหารที่มีต่อระบบการวัดอุณหภูมิเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้ในการบันทึกข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบ ขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้วทำจากแผ่นสแตนเลส (Stainless steel) ขนาดพื้นที่หน้าตัด  $7.5 \times 7.5$  เซนติเมตร เซลล์สำหรับการให้ความร้อนแบบ ohmic (Electric cell) ทำจากกล่องพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน ขนาด  $7.0 \times 7.77 \times 18.4$  เซนติเมตร

Gupta และ Jindal (1992) พัฒนาเซลล์สำหรับให้ความร้อนแบบ ohmic ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากตัวอย่างอาหารสู่ภายนอก โดยตัวเซลล์ทำจากท่ออะคริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 มิลลิเมตร ความยาว 80 มิลลิเมตร ที่ปลายท่อทั้งสองด้านมีขั้วอิเล็กโทรดทำจากแผ่นเหล็กไร้สนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นได้สอบเทียบ (Calibration) เพื่อดูความแม่นยำและความถูกต้อง โดยใช้สารละลายมาตรฐานสารละลายน้ำเกลือ ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 โมลาร์ เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบ

Palaniappan และ Sastry (1991) พัฒนาอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวซึ่งประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าปรับแรงดันได้ เครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เครื่องบันทึกอุณหภูมิ เครื่องคอมพิวเตอร์และเซลล์สำหรับให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ซึ่งทำจากท่อสแตนเลสความยาว 12.5 นิ้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15/16 นิ้ว ด้านในท่อสแตนเลสมีปลอกเทฟลอนทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าสวมอยู่ ตรงกลางท่อติดตั้งท่อขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 5/16 นิ้ว สำหรับบรรจุตัวอย่างอาหารและเสียบสายเทอร์โมคัปเปิล ที่ปลายท่อทั้งสองด้านมีขั้วอิเล็กโทรดซึ่งทำจากแผ่นโรเดียม (Rhodium plated stainless steel electrode)

## 2.) อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าสำหรับอาหารชิ้น

Mitchell และ De Alwis (1989) พัฒนาอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าสำหรับชิ้นอาหารที่ความถี่ 50 เฮิร์ต อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เซลล์สำหรับสร้างความร้อนแบบ Ohmic ทำจากท่อที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1 เซนติเมตร วางในแนวตั้งมีตัววัดทั้งด้านบนและด้านล่าง ปลายท่อด้านล่างมีขั้วอิเล็กโทรดชนิดคิก คอยู ส่วนปลายท่อด้านบนมีขั้วอิเล็กโทรดชนิดคิก ไร้ที่ปลายหัวกุดที่สามารถเลื่อนขึ้นลงได้ เพื่อให้ขั้วอิเล็กโทรดสัมผัสผิวหน้าของชิ้นอาหารที่มีความยาวต่างๆ กัน

Palaniappan และ Sastry (1991) สร้างเซลล์สำหรับให้ความร้อนแบบ Ohmic โดยตัวเซลล์ทำจากท่อสแตนเลส และมีปลอกเทฟลอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.35 เซนติเมตร ซ้อนอยู่ภายในที่ปลายทั้งสองด้านของท่อมีขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากแผ่นโลหะโรเดียม โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1 เซนติเมตร หลังจากปล่อยกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่แรงดันไฟฟ้า 60 โวลต์ ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60 เซิร์ต ผ่านตัวอย่าง จะมีการบันทึกอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยอุปกรณ์ที่ใช้บันทึกข้อมูลดังกล่าวจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบ

## 2.2 การนำไฟฟ้าของสารละลายกรด

สารละลายที่นำไฟฟ้าได้เรียกว่า “ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ( Electrolytic solution ) ” เช่น สารละลายกรดเกลือ

- ถ้านำไฟฟ้าได้มาก เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ ( strong electrolyte ) เช่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์

- ถ้านำไฟฟ้าได้น้อย เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน ( weak electrolyte ) เช่น สารละลายกรดอะซิติก

- ถ้าเป็นสารละลายที่ไม่นำไฟฟ้า เรียกว่า “ สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ ( Non-electrolytic solution ) ” เช่น สารละลายกลูโคส

การที่ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ นำไฟฟ้าได้ เพราะในสารละลายมีไอออนซึ่งมี ประจุ ไฟฟ้าเรียกว่า ไอออนบวก และ ไอออนลบ กล่าวคือ เมื่อสารละลายในน้ำจะมีการแตกตัวออกเป็นสองส่วนและมี ประจุ ตรงกันข้ามกัน แต่ ละส่วนเรีย กว่า “ ไอออน ” ไอออนส่วนนี้ จะมีประจุไฟฟ้าบวกเรียกว่า “ ไอออนบวก ” ไอออนอีกส่วนหนึ่งจะมีประจุไฟฟ้าลบเรียกว่า “ ไอออนลบ ” (มีปริมาณเท่ากับ ไอออนบวก ) เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า ไอออนบวกจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าลบ และ ไอออนลบ จะเคลื่อนที่ เข้าหาขั้วไฟฟ้าบวก ไอออนบวกที่เคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าลบจะไปรับประจุลบหรืออิเล็กตรอน ส่วน ไอออนลบที่เคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าบวกจะเป็นตัวพาประจุลบไปให้ขั้วไฟฟ้าไหลวนเวียนกันอยู่ในสารละลาย จึงก่อให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้น

## บทที่ 3

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน ตอนแรก คือ หาอัตราส่วนระหว่างขั้วหอม  
มะลิต่อน้ำที่เหมาะสมในการนำไปหุงข้าวด้วยระบบกระแสไฟฟ้าโดยตรง

ศึกษาวิธีการหุงข้าวด้วยระบบกระแสไฟฟ้าโดยตรงร่วมกับการเติมสารละลายเกลือ โซเดียม  
คลอไรด์

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 อุปกรณ์ในระบบวงจรไฟฟ้า

• เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (Regulator transformer)



ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า ( Voltmeter )



ภาพที่ 3.2 แสดงมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter)

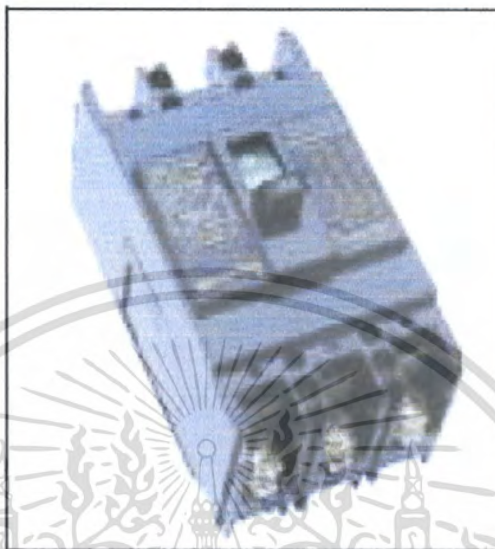
- มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า (Ammeter)



ภาพที่ 3.3 แสดงมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า (Ammeter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สวิตช์ปิด-เปิด (Circuit breaker)



ภาพที่ 3.4 แสดงสวิตช์ปิด-เปิด (Circuit breaker)

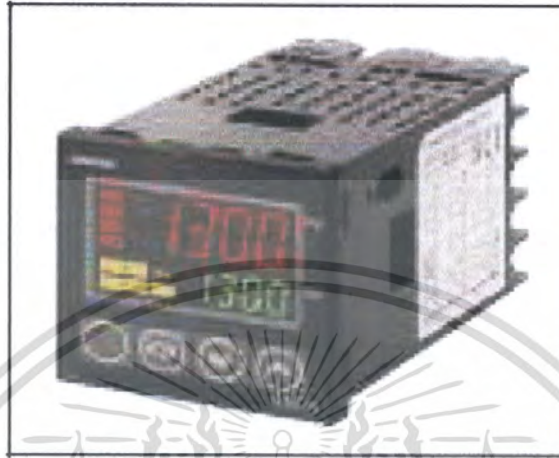
- สายไฟฟ้าแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.5 แสดงสายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มิเตอร์แสดงค่าอุณหภูมิของสารละลาย (Thermostat)



ภาพที่ 3.6 แสดงมิเตอร์แสดงค่าอุณหภูมิของสารละลาย (Thermostat)

- อุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ ( Resistance Temperature Detector : RTD PT 100  $\Omega$ )



ภาพที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 อุปกรณ์ทางเทคนิค

- ก่องอะคริลิก หน้า 5 มิลลิเมตร ขนาด 7 x 7 x 7 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 3.8 แสดงก่องอะคริลิก

- แผ่นสแตนเลส หน้า 0.5 มิลลิเมตร ขนาด 6 x 8 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.9 แสดงแผ่นสแตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 อุปกรณ์วิเคราะห์ทางเคมี

- บีกเกอร์
- ขวดวัดปริมาตร

### 3.1.4 สารละลายที่ใช้

- สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ระบุความเข้มข้น 4 กรัม ต่อ น้ำ 1000 กรัม , 6 กรัม ต่อ น้ำ 1000 กรัม และ 8 กรัม ต่อ น้ำ 1000 กรัม

### 3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

#### 1.) หารัศมีส่วนระหว่างข้าวหอมมะลิต่อน้ำที่เหมาะสมในการนำไปหุงข้าวด้วยระบบกระแสไฟฟ้าโดยตรง

- 1.1) ผสมข้าวต่อน้ำเป็น ข้าว 50 กรัม : น้ำ 50 กรัม , ข้าว 50 กรัม : น้ำ 75 กรัม , ข้าว 50 กรัม : น้ำ 100 กรัม , และข้าว 50 กรัม : น้ำ 125 กรัม
- 1.2) นำไปหุงด้วยเซลล์ไฟฟ้า โดยใช้ ไฟ 150 โวลต์ บันทึกเวลา, อุณหภูมิ, กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า จนกระทั่งน้ำในเซลล์แห้งหมด
- 1.3) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ ในแต่ละอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ และคุณลักษณะของเมล็ดข้าวที่หุงที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่างๆกัน

#### 2.) ศึกษาวิธีการหุงข้าวด้วยระบบกระแสไฟฟ้าโดยตรงร่วมกับการเติมสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์

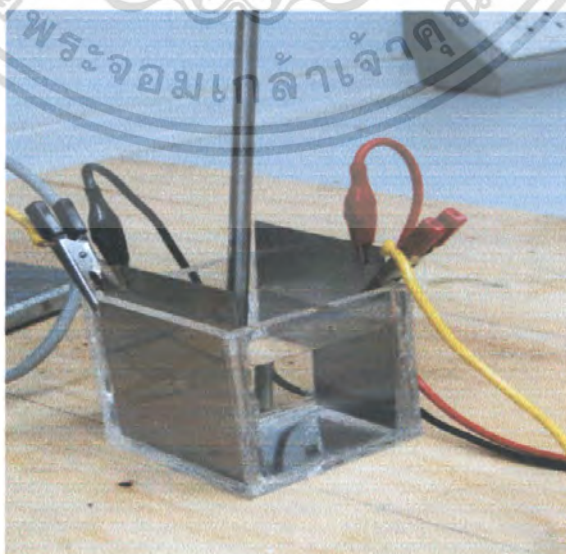
- 2.1) เตรียมสารละลาย เกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยใช้ เกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อน้ำดังนี้คือ 4 กรัม :1000 กรัม, 6 กรัม :1000 กรัม และ 8 กรัม :1000 กรัม
- 2.2) ผสมข้าวต่อสารละลาย เกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่อัตราส่วนที่เหมาะสม ที่ทดลองได้จากการทดลองตอนที่ 1
- 2.3) นำไปหุงด้วยเซลล์ไฟฟ้า โดยใช้ ไฟ 150 โวลต์ บันทึกเวลา, อุณหภูมิ, กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า จนกระทั่งน้ำในเซลล์แห้งหมด
- 2.4) คำนวณค่าการนำไฟฟ้าที่ใช้ ในแต่ละอัตราส่วนข้าวต่อสารละลาย เกลือโซเดียมคลอไรด์ และคุณลักษณะของเมล็ดข้าวที่หุงที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ไรต์ และคุณลักษณะของเมล็ดข้าวที่หุงที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่างๆกัน ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.) ตัวเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้าใช้แผ่นพลาสติกอะคริลิกใสหนา 0.5 เซนติเมตร ประกอบเป็นรูปกล่องทรงสี่เหลี่ยม ขนาดภายนอก 7 x7 x7 เซนติเมตร วัดขนาดภายในกล่องขนาด 6 x 6 x 5 เซนติเมตร เชื่อมติดด้วยกาวไคคโลโรมีเทนและเคลือบด้วยซิลิโคนเพื่อป้องกันการรั่ว
- 2.) ขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้คือ แผ่นสแตนเลส จำนวน 2 แผ่น ขนาด 6x 8 เซนติเมตร มาประกบในเซลล์ทั้งสองด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน



ภาพที่ 3.10 แสดงตัวเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดการประกอบตัวเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้าในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 การ วัดค่าการนำ ไฟฟ้า

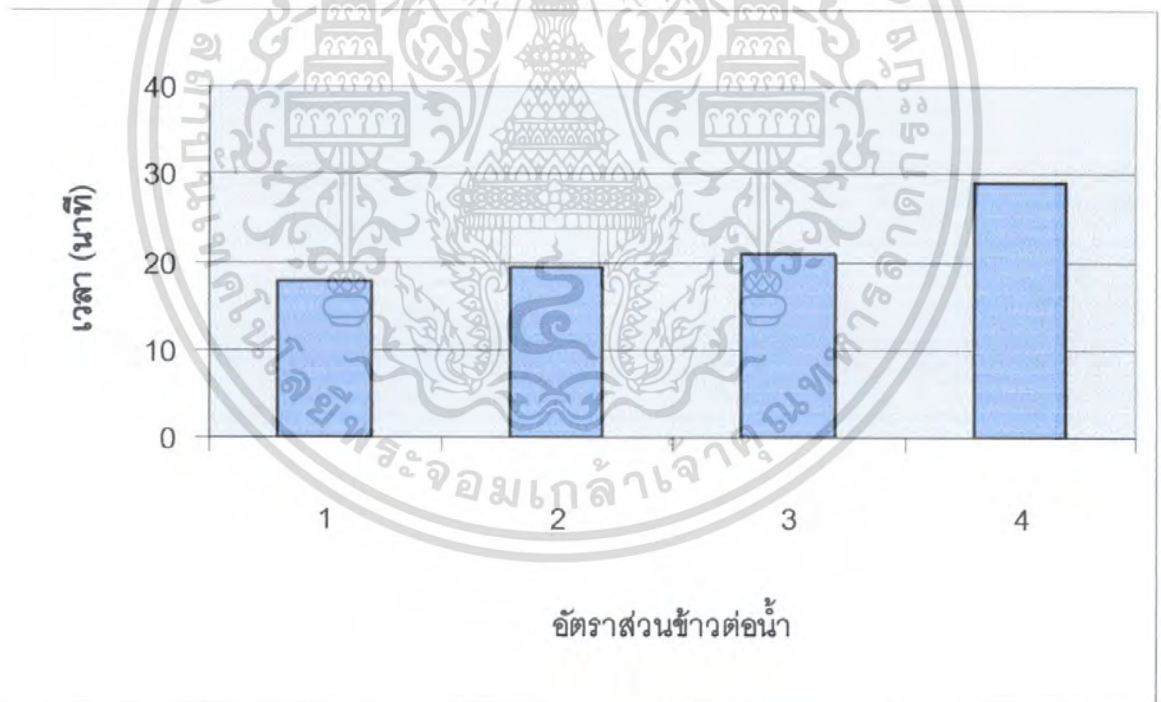
ในการศึกษานี้จะใช้อัตราส่วน ข้วหอมมะลิ ต่อ น้ำ ที่ระดับต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วน ข้วต่อ น้ำ 1 : 1 , 1 : 1.5 , 1 : 2 , และ 1 : 2.5 เมื่อต่อเข้ากับวงจร ไฟฟ้าแล้วมาวัดค่าการนำไฟฟ้าจากอุปกรณ์ วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น โดยปรับค่าแรงดัน ไฟฟ้าจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็น 150 โวลต์ จากนั้นเปิดสวิตช์ เบรกเกอร์ให้กระแสไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าและอ่านค่ากระแสไฟฟ้า ที่ได้จากมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในวงจร และอ่านค่าอุณหภูมิ ( ต้องบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า ทันทันเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า ) นำค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงในสารละลาย , ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ , ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดและขนาดพื้นที่หน้าตัดของ ขั้วอิเล็กโทรด มาคำนวณค่าการนำไฟฟ้า เมื่อได้ค่าการนำไฟฟ้าแล้วให้นำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำ ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ในอัตราส่วนระหว่าง ข้ว ต่อ น้ำ ใน ระดับค่าต่างๆ ซึ่งมีหน่วยของค่าการนำไฟฟ้าเป็นซีเมนต์ต่อเมตร (S/m) โดยการเขียนกราฟและหา สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับค่าอุณหภูมิที่ได้ของ อัตราส่วนระหว่างข้วต่อน้ำในระดับต่างๆ

## บทที่ 4

## ผลการทดลอง

## 4.1 ผลการทดลองหาอัตราส่วนระหว่างข้าวหอมมะลิต่อน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ

จากการทดลองหาอัตราส่วนระหว่างข้าวหอมมะลิต่อน้ำที่อัตราส่วนต่างๆคือ อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1 : 1 , 1 : 1.5 , 1 : 2 และ 1 : 2.5: นำไปหุงข้าวด้วยระบบกระแสไฟฟ้าโดยตรง จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและเวลาในการหุงข้าว ดังแสดงแสดงในกราฟที่1 และในการศึกษาทดลองในอัตราส่วนระหว่าง ข้าวหอมมะลิ ต่อ น้ำ 1:2 จะเป็นค่าอัตราส่วนในการหุงข้าวที่ดีที่สุด โดยข้าวจะสุกสม่ำเสมอทุกเม็ด และไม่แข็งหรือแฉะจนเกินไป



## กราฟที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและเวลาในการหุงข้าว

- โดย 1 หมายถึง อัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำเป็น 1:1  
 2 หมายถึง อัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำเป็น 1:1.5  
 3 หมายถึง อัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำเป็น 1:2  
 4 หมายถึง อัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำเป็น 1:2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักหอสมุดกลางพระจอมเกล้าลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหาอัตราส่วนระหว่างข้าวหอมมะลิค่อน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 1 : 1 , 1 : 1.5 , 1 : 2 และ 1 : 2.5 มาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลา , ค่ากระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการหุงข้าว โดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 150 โวลต์เท่ากัน จะแสดงได้ดังตารางที่ 1

อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำ	เวลา ( นาที )	I ( แอมแปร์ )	V ( โวลต์ )	P ( วัตต์ )
1:1	17.5 ± 0.354 a	0.5	150	75
1:1.5	19.0 ± 0.354 b	0.65	150	97.5
1:2	21.0 ± 0.000 c	0.68	150	102
1:2.5	25.0 ± 0.000 d	0.68	150	102

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาและกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการหุงข้าวที่อัตราส่วนต่างๆ

- 4.1.1 อัตราส่วนระหว่างข้าวกับน้ำเป็น 1:1 และหุงข้าวจนน้ำแห้งหมดพบว่าลักษณะเมล็ดข้าวที่หุงได้จะสุกไม่สม่ำเสมอเมื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแต่ละชั้นในเซลล์ไฟฟ้า จะพบลักษณะดังนี้

**ข้าวชั้นบน** แข็งเป็นเมล็ดข้าวสารอยู่ มีกลิ่นหอมเล็กน้อย ไม่เหนียว

**ข้าวชั้นกลาง** แข็งมีกลิ่นหอมและนุ่มบ้างเล็กน้อยไม่เหนียวไม่หนืด

**ข้าวชั้นล่าง** อ่อนนุ่มเล็กน้อย มีกลิ่นหอม เมล็ดข้าวเริ่มบานออกเป็นเมล็ดข้าวสุก สีขาวใส เนื่องจากว่าข้าวหอมมะลิใหม่ มีความนุ่มตัวเร็วในปริมาณน้ำน้อย

- แสดงลักษณะเมล็ดข้าวแต่ละชั้น ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1



ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะเมล็ดข้าวแต่ละชั้น ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1

- แสดงลักษณะเมล็ดข้าวในเซกัล ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1



ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะเมล็ดข้าวในเซกัล ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.1.2 อัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำเป็น 1:1.5 และหุงข้าวจนน้ำแห้งพบว่าลักษณะเมล็ดข้าวที่หุงได้เมื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแต่ละชั้นในเซลล์ไฟฟ้า จะพบลักษณะดังนี้

ข้าวชั้นบน แข็งแต่เริ่มมีความนุ่มเหนียวและมีกลิ่นหอมบ้างเล็กน้อย

ข้าวชั้นล่าง แข็งปานกลาง กลิ่นหอม นุ่มเหนียว มีสีขาวใส

ข้าวชั้นล่าง แข็งไม่มาก มีกลิ่นหอม นุ่ม กินได้ แต่แข็งแข็งอยู่เนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อข้าวไม่พอดีกับการพองตัวของเมล็ดข้าวดิบ

- แสดงลักษณะเมล็ดข้าว ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1.5



ภาพที่4.3 แสดงลักษณะเมล็ดข้าว ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แสดงลักษณะเม็ดข้าวในเซลล์ ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1.5



ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะเม็ดข้าวในเซลล์ ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:1.5

- 4.1.3 อัตราส่วนระหว่างข้าวกับน้ำเป็น 1:2 และหุงข้าวจนน้ำแห้งพบว่าลักษณะเม็ดข้าวที่หุงได้ เมื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแต่ละชั้นในเซลล์ไฟฟ้า จะพบลักษณะดังนี้

ข้าวชั้นบน	มีกลิ่นหอม นุ่ม มีความเหนียวเล็กน้อย เม็ดข้าวบานออกเต็มที่ สุก ทุกเม็ด สีขาวสวยงามน่ารับประทาน
ข้าวชั้นกลาง	มีกลิ่นหอม นุ่ม มีความเหนียวเล็กน้อย เม็ดข้าวบานออกเต็มที่ สุกทุกเม็ด สีขาวสวยงามน่ารับประทาน
ข้าวชั้นล่าง	มีกลิ่นหอม นุ่ม มีความเหนียวเล็กน้อย เม็ดข้าวบานออกเต็มที่ สุกทุกเม็ด สีขาวสวยงามน่ารับประทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แสดงลักษณะเมล็ดข้าว ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2



ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะเมล็ดข้าว ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2

- แสดงลักษณะเมล็ดข้าวในเซลล์ ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2



ภาพที่ 4.6 แสดงลักษณะเมล็ดข้าวในเซลล์ ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.1.4 อัตราส่วนระหว่างข้าวกับน้ำเป็น 1:2.5 และหุงข้าวจนน้ำแห้งพบว่า ลักษณะเมล็ดข้าวที่หุงได้ เมื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแต่ละชั้นในเซลล์ไฟฟ้า จะพบลักษณะ ดังนี้

ข้าวชั้นบน	เหนียวติดกันเป็นก้อน มีกลิ่นหอม
ข้าวชั้นกลาง	เหนียวเกาะติดกันเป็นก้อน กลิ่นหอม
ข้าวชั้นล่าง	และ เม็ดข้าวอุ้มน้ำเยอะเกินไป คล้ายข้าวต้ม

อัตราส่วนข้าวต่อน้ำนี้จะทำให้ข้าวและเกินไป ข้าวจะเกาะกันเป็นก้อน

- แสดงลักษณะเมล็ดข้าว ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2.5



ภาพที่ 4.7 แสดงลักษณะเมล็ดข้าว ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แสดงลักษณะเม็ดข้าวในเซลล์ ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2.5

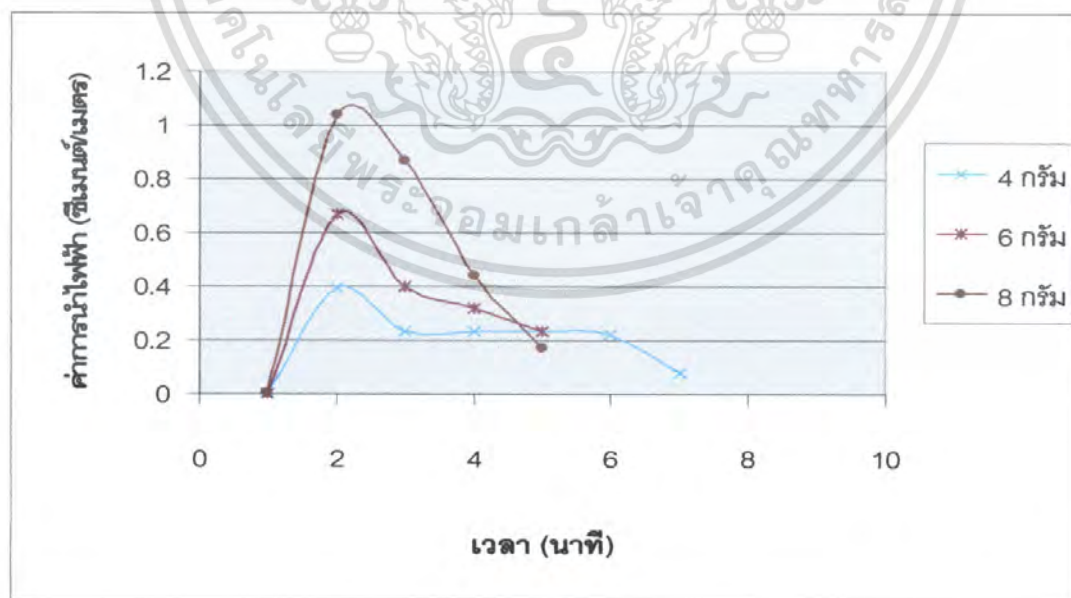


ภาพที่ 4.8 แสดงลักษณะเม็ดข้าวในเซลล์ ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ผลการทดลองที่อัตราส่วนสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่างๆ

ขั้นตอนนี้ศึกษาวิธีการหุงข้าวด้วยระบบกระแสไฟฟ้าโดยตรงร่วมกับการเติมสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่อัตราส่วนสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่างๆ คือ ระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่อ น้ำ ที่อัตราส่วน 4 กรัม : 1000 กรัม , 6 กรัม : 1000 กรัม และ 8 กรัม : 1000 กรัม จะใช้เวลาในการหุงสั้น เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์นำไฟฟ้าได้เร็ว ในขั้นตอนเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์นี้ไม่สามารถทำให้ข้าวสุกได้และจากการศึกษาทดลองการหุงข้าวโดยใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรง (ohmic Heating) โดยการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์นี้ ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์แต่ละอัตราส่วน มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอุณหภูมิ ในช่วงก่อนการลดลงของค่าการนำไฟฟ้า คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น และเมื่อถึงช่วงเวลานึงค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงในทุกความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ เนื่องจากข้าวเกิดการพองตัว และคู่น้ำเข้าไปในเม็ดแป้งร่วมกับการดูดเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้าไปด้วย ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงอย่างต่อเนื่อง และจะลดลงอย่างทันที เมื่อน้ำแห้งจนหมด เนื่องจาก ไม่มีสารเหลวที่เป็นอิเล็กโทรไลต์เหลืออยู่ ดังที่แสดงในตารางและกราฟการทดลองนี้



กราฟที่ 2 แสดงค่าการนำไฟฟ้าระหว่างการหุงข้าวที่ผสมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

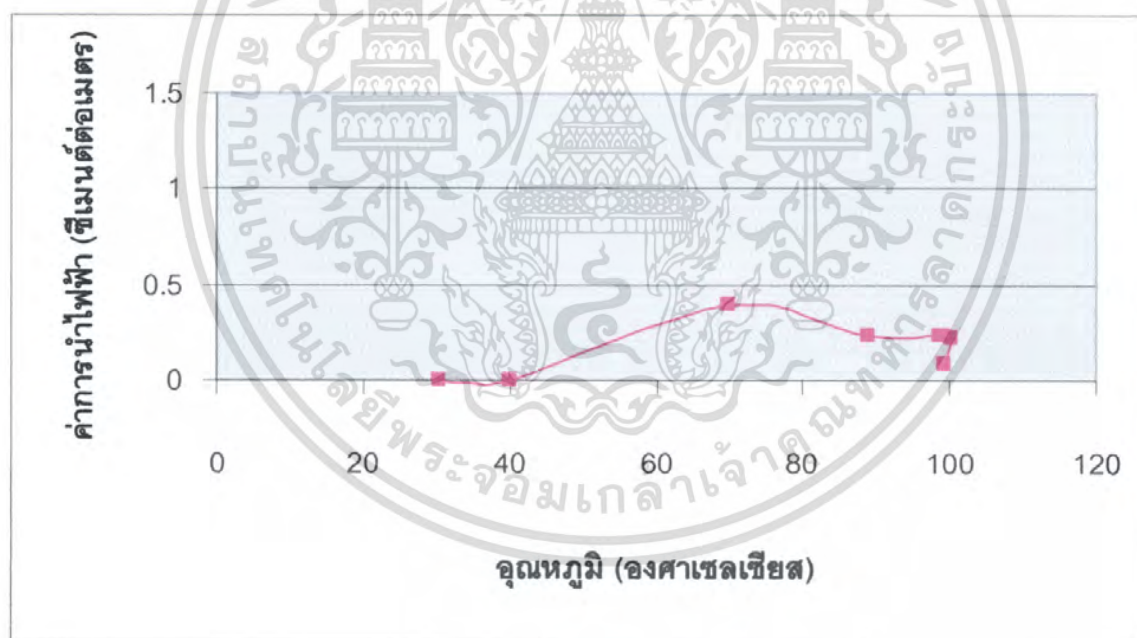
4.2.1 เมื่อหุงข้าวที่อัตราส่วนข้าวต่อ สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 4 กรัมต่อน้ำ 1000 กรัม เป็น 1:2 พบว่าน้ำจะเดือดเร็วมาก ข้าวจะสุกไม่เท่ากันทุกเม็ดซึ่งบางเม็ดยังเป็นข้าวสารอยู่

**ข้าวชั้นบน** นุ่มเล็กน้อยมีสีเหลืองอ่อนๆปะปนกับเม็ดข้าว ข้าวยังเป็นเม็ดข้าวดิบ อยู่และจะแข็ง

**ข้าวชั้นกลาง** เม็ดข้าวแห้งกรอบ มีสีน้ำตาล แข็งและยังเป็นเม็ดข้าวดิบอยู่

**ข้าวชั้นล่าง** เม็ดข้าวบางส่วนแฉะและบางส่วนจะแข็งแห้งเป็นเม็ดข้าวดิบ

ในอัตราส่วนนี้ น้ำจะเดือดที่เวลา 2 นาทีและน้ำจะแห้งหมดในเวลา 6 นาที



**กราฟที่ 3** แสดงค่าการนำไฟฟ้าระหว่างการหุงข้าวที่ผสมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 4 กรัม ต่อน้ำ 1000 กรัม ที่ความต่างศักย์ 150 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เมื่อหุงข้าวที่อัตราส่วนข้าวต่อ สารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 6 กรัมต่อน้ำ 1000 กรัม เป็น 1:2 พบว่าเมื่อน้ำแห้งรอบๆแผ่นเซลล์ ข้าวจะเริ่มแห้งกรอบมีรอยไหม้สีน้ำตาลเกิดขึ้นและเมล็ดข้าวแข็งเกาะที่กันแน่น ในอัตราส่วนนี้ น้ำจะเดือดที่เวลา 1 นาทีและน้ำจะแห้งหมดในเวลา 4 นาที

ข้าวชั้นบน ไม่สุกเลย เป็นเมล็ดข้าวดิบอยู่ มีการพองตัวขึ้นเล็กน้อย

ข้าวชั้นกลาง ข้าวจะสุกไม่สม่ำเสมอเมล็ดข้าวแห้งกรอบ เกาะกันแน่นมาก

ข้าวชั้นล่าง เมล็ดข้าวจะสุกและคิบไม่เท่ากันและมีบางส่วนที่แฉะเกินไป



กราฟที่ 4 แสดงค่าการนำไฟฟ้าระหว่างการหุงข้าวที่ผสมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 6 กรัม ต่อน้ำ 1000 กรัม ที่ความต่างศักย์ 150 โวลต์

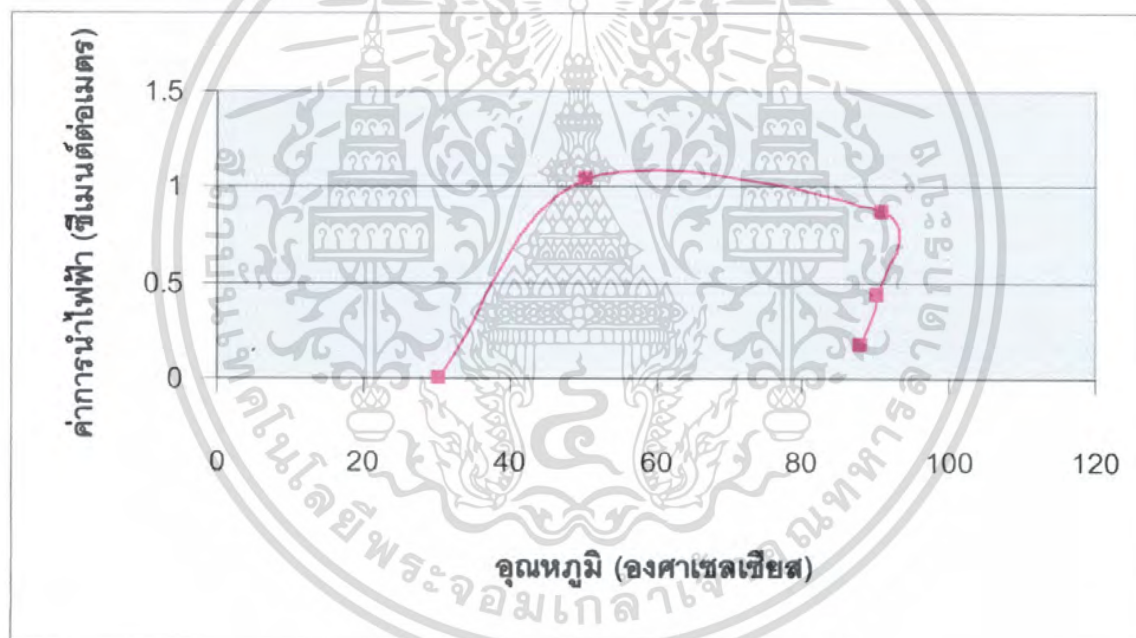
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 เมื่อหุงข้าวที่อัตราส่วนข้าวต่อ สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 8 กรัมต่อน้ำ 1000 กรัม เป็น 1:2 พบว่าน้ำจะเดือดแรงมาก เมื่อน้ำแห้งข้าวจะเริ่มกรอบเร็วมาก รอบๆด้านข้างของแผ่น เซลล์จะมีรอยไหม้สีน้ำตาล มีกลิ่นไหม้ หลังจากนั้นน้ำแห้งสนิทข้างจะแห้งแข็ง โดยเฉพาะรอบๆ จะเกาะกันแข็งมาก

ข้าวชั้นบน เป็นเมล็ดข้าวดิบอยู่

ข้าวชั้นกลาง เกาะติดกันแน่น และแห้งกรอบมีกลิ่นไหม้

ข้าวชั้นล่าง บางส่วนแฉะบางส่วนดิบ คล้ายกับข้าวที่แช่ธรรมดา



กราฟที่ 5 แสดงค่าการนำไฟฟ้าระหว่างการหุงข้าวที่ผสมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 8 กรัม ต่อน้ำ 1000 กรัม ที่ความต่างศักย์ 150 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 จะเป็นค่าอัตราส่วนในการหุงข้าวที่ดีที่สุด โดยข้าวจะสุกสม่ำเสมอ ไม่แข็งหรือแฉะจนเกินไป

ตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่างๆ ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาในการหุงสั้น แต่ไม่สามารถทำให้ข้าวสุกได้ ดังนั้นการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ จึงไม่มีความจำเป็น และจากการศึกษาทดลองการหุงข้าวโดยใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรง (ohmic Heating) นี้ ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์แต่ละอัตราส่วน มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอุณหภูมิ ในช่วงก่อนการลดลงของค่าการนำไฟฟ้า คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น และจะลดลงอย่างทันที เมื่อน้ำแห้งจนหมด เนื่องจาก ไม่มีสารเหลวที่เป็นอิเล็กโทรไลต์เหลืออยู่

#### 5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

1. การรั่วของเซลล์โอห์มมิกที่ใช้ในชุดทดลองจะทำให้ปริมาตรลดลง ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการรั่วซึมของเซลล์ ในการประกอบเซลล์จึงต้องมีการเคลือบด้วยซิลิโคนบริเวณรอยต่อด้วย
2. ค่าการนำไฟฟ้าที่หามาได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการให้ความร้อนของกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ ด้วยกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก
3. ในการประกอบเซลล์โอห์มมิกจะต้องให้ผู้ที่มีความชำนาญ มิฉะนั้นจะทำให้กล่องเซลล์อะคริลิกเกิดความคลาดเคลื่อนในเรื่องของปริมาตร และส่งผลต่อขนาดของขั้วอิเล็กโทรด (แผ่นสแตนเลสที่ประกบด้านในของเซลล์) ที่ไม่พอดี ทำให้มีปัญหาในการประกอบ
4. การอ่านค่าปริมาตรสารละลายตัวอย่างด้วยสายตา ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในเรื่องปริมาตร ซึ่งส่งผลต่อค่าที่แสดงทางมิเตอร์วัด
5. แผ่นสแตนเลสที่ใช้เป็นขั้วอิเล็กโทรด หากปล่อยให้สนิมจะมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมีค่าสูง

6.. เมื่ออุณหภูมิของสารละลายตัวอย่างสูงจนเดือด ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะขัดขวางการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าการนำไฟฟ้า ดังนั้นควรวัดค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของสารละลาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต .2535. “วิศวกรรมแปรรูปอาหาร:การถนอมอาหาร” ภาควิชาอุตสาหกรรม  
เกษตร . คณะเทคโนโลยีการเกษตร .สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง.กรุงเทพ
- ฤทธิชัย อัครราชันย์ และจิตใจ อัญชลีกิจ. 2542. “ การออกแบบและศึกษาเครื่องทำความร้อนระบบ  
โอห์มมิกฮีตเตอร์สำหรับน้ำผลไม้ (Design and Study on Ohmic Heating for fruit juice)” .  
ปริชญานิพนธ์ . ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร . คณะวิศวกรรมศาสตร์ . สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง . 52 หน้า
- ธีรพันธ์ จงอรุณงามแสง , ศราวุธ จากโพชน์ และอรพิน ปรีดา 2550 – 2551 : การศึกษาค่าการนำ  
ไฟฟ้าของสารละลายกรดในอาหารด้วยระบบโอห์มมิก (The study of conductivity value  
of acid in food with Ohmic system ) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรม  
เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- บุญทวี แสงพรหม และอมรพรหม สิงขโรทัย 2542 – 2543 : ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวใน  
กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกระบบสถิต ( Electrical Conductivity of Liquid  
Food in Ohmic Heating Proccess of Static System ) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะ  
เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- Fryer,P.J., De Alwis, A.A.P., Kour,E.,Stapley,A.G.E. and Zhang, L., 1993, “Ohmic  
Processing of Solid-Liquid mixture:Heat Generation and Convection Effects, “Journal  
of Food Engineering”, Vol.18,No.2,pp101-125
- Palaniappan, S. and Sastry, S.K., 1991 “Electrical Conductivity of Selected Food During  
Ohmic Heating, “Journal of Food Process Engineering , Vol.14, No.3, pp221-236  
<http://chemistry345.9f.com/“สาวละลายอิเล็กโทรไลต์”>. [online].Available:  
<http://chemistry345.9f.com/page5.html> [25Octoberber 2007]  
<http://ccsmail.sut.ac.th/e-ru/teacher/file/file1918.doc>[24 [ Decemberctoberber 2007]
- <http://www.osc.edu“ohmic heating”>. [online].Available:  
[http://www.osc.edu/research/video\\_library/ohmic.shtml](http://www.osc.edu/research/video_library/ohmic.shtml) [Decemberctoberber 2007]
- <http://th.wikipedia.org/“กรด”>. [online].Available:  
<http://th.wikipedia.org/wiki/%> [14 Decemberctoberber 2007]

## เอกสารอ้างอิง ( ต่อ )

<http://www.thaigoodview.com/>“ ไฟฟ้ากระแสตรง”. [online].Available:

[http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/khonkhan/electric/content/5\\_1.htm](http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/khonkhan/electric/content/5_1.htm)

<http://www.electron.rmutphysics.com/>“ สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ ”. [online].Available:

[http://www.electron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com\\_content&task=view&id=277&Itemid=4&limit=1&limitstart=4](http://www.electron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com_content&task=view&id=277&Itemid=4&limit=1&limitstart=4) [ 5 January 2008]

<http://www2.diw.go.th/>“ สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity)”. [online].Available:

<http://www2.diw.go.th/research> . [ 5 January 2008]

<http://www.geocities.com/> “ การนำไฟฟ้าของสาร ”. [online].Available:

[http://www.geocities.com/chemonline2000/modelatom/\\_7.html](http://www.geocities.com/chemonline2000/modelatom/_7.html). [ 5 January 2008]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากระบบกระแสไฟฟ้าโดยตรง

$$\sigma = iL/Av$$

- เมื่อ  $\sigma$  = ค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร (S/m)  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัดของขั้ว ELECTRODE (m<sup>2</sup>)  
 $i$  = กระแสไฟฟ้า (ampere)  
 $L$  = ระยะห่างระหว่างขั้ว ELECTRODE (m)  
 $v$  = แรงดันไฟฟ้า (volt)

การทดลองวัดค่าการนำไฟฟ้าระบบกระแสไฟฟ้าโดยตรง มีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (L) เท่ากับ 0.06 เมตร และมีพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรดแต่ละขั้ว (A) เท่ากับ 0.003 ตารางเมตร

ตัวอย่าง	ขั้ว	เวลา (นาท)	เฉลี่ย (SD)
1	1	17.5	0.353553
1	2	18	
2	1	19	0.353553
2	2	19.5	
3	1	21	0
3	2	21	
4	1	29	0
4	2	29	

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาในการหุงข้าวที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1. การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)	I (แอมแปร์)	$\sigma$ (S/m)
0	30.4	0.01	0.001333
1	40	0.03	0.004
2	70	2.97	0.396
3	89	1.75	0.233333
4	98.8	1.75	0.233333
5	99.4	1.76	0.234667
6	100.4	1.68	0.224
7	99.3	0.62	0.082667

ตารางที่ ก.2 แสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า ในการคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 4 กรัม

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)	I (แอมแปร์)	$\sigma$ (S/m)
0	30.4	0.02	0.002667
1	50	5.01	0.668
2	97	3	0.4
3	100.5	2.4	0.32
4	100.4	1.76	0.234667

ตารางที่ ก.3 แสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า ในการคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 6 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.4 แสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า ในการคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้า ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 8 กรัม**

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)	I (แอมแปร์)	$\sigma$ (S/m)
0	30.4	0.03	0.004
1	50.5	7.8	1.04
2	90.8	6.5	0.866667
3	90.1	3.3	0.44
4	87.9	1.3	0.173333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

การหาค่าเฉลี่ยงเวลาในการหุงข้าวที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำระดับต่างๆด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

### Descriptives

#### TIME

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	2	17.750	.354	.250	14.573	20.927	17.5	18.0
2	2	19.250	.354	.250	16.073	22.427	19.0	19.5
3	2	21.000	.000	.000	21.000	21.000	21.0	21.0
4	2	29.000	.000	.000	29.000	29.000	29.0	29.0
Total	8	21.750	4.645	1.642	17.867	25.633	17.5	29.0

### ANOVA

#### TIME

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	150.750	3	50.250	804.000	.000
Within Groups	.250	4	6.250E-02		
Total	151.000	7			

### Post Hoc Tests

#### Homogeneous Subsets

#### TIME

#### Duncan

	N	Subset for alpha = .05			
TRT		1	2	3	4
1	2	17.750			
2	2		19.250		
3	2			21.000	
4	2				29.000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นาย งามอาจ เสรีรัตน์ประสาน

เกิดวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2527

ภูมิลำเนา จังหวัดเชียงใหม่

การศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน ชรรมราชศึกษา พ.ศ 2546
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการหมัก ) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้