

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวในกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกระบบสถิตย์
(Electrical Conductivity of Liquid Food in Ohmic Heating Process of Static System)

โดย

นางสาวบุญทิวี แสงพรหม
นางสาวอมรพรรณ สิงขโรทัย

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

ดร.นง ฝักทอง
(ดร.นง ฝักทอง)

๒๒ / ๖๓ / ๕๖

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร



()

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

๖ ก.ค. ๒๕๔๓

ม.พ

ม ๕๖๓๑

๒๕๔๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวในกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกระบบสถิตย์
(Electrical Conductivity of Liquid Food in Ohmic Heating Process of Static System)



T096467

นางสาวบุญทวี แสงพรหม
นางสาวอมรพรรณ สิงขโรทัย

ปพ.
บ 463 ค
2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บุญทวี แสงพรหม และอมรพรรณ สิงขโรทัย 2542-2543 :ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวในกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกระบบสถิตย์(Electrical Conductivity of Liquid Food in Ohmic Heating Process of Static System) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ประมวล ศรีกาหลง

บทคัดย่อ

กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง (Ohmic Heating) เกิดจากการผ่านไฟฟ้ากระแสสลับไปยังอาหารทำให้อาหารสร้างความร้อนขึ้นภายในตัวอย่างเองอย่างรวดเร็ว และพร้อมกันทุกจุด ซึ่งกระบวนการนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนไม่ทั่วถึง และลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารที่เกิดจากการให้ความร้อนแก่อาหารด้วยวิธีอื่นๆ ถึงแม้การให้ความร้อนแบบโอห์ม ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมาเป็นเวลานาน แต่ไม่เป็นที่นิยมในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากข้อมูลทางเทคนิคค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ การนำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย จำเป็นต้องทราบข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของอาหารชนิดต่างๆ เพราะข้อมูลนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิในอาหาร ซึ่งมีข้อมูลอยู่น้อยมาก ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร โดยได้ทำการสร้างเครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวขึ้นโดยสอบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน NaCl สำหรับตัวอย่างอาหารเหลวที่ได้ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ นม, น้ำส้ม, น้ำสับปะรด, น้ำแอปเปิ้ล, น้ำแครอท และน้ำมะเขือเทศ ตลอดจนได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้, ความหนืด และค่าการเป็นกรด-ด่างของอาหาร พร้อมทั้งแสดงความสัมพันธ์ออกมาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ และความสัมพันธ์ที่ได้จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบและควบคุมกระบวนการให้ความร้อนกับอาหารด้วยเทคโนโลยี Ohmic Heating ต่อไป

บุญทวี แสงพรหม

(นางสาวบุญทวี แสงพรหม)

อมรพรรณ สิงขโรทัย

(นางสาวอมรพรรณ สิงขโรทัย)

ลายมือชื่อนักศึกษา

ประมวล ศรีกาหลง

(อาจารย์ประมวล ศรีกาหลง)

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

๒๕ / ๖.๑ / ๔๓

วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ ประมวล ศรีกาหลง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาคอยแนะนำ ให้คำปรึกษาและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างมาก รวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ ดร.พอใจ ถามากร และอาจารย์สนธิสุข วีระชัยชยดี ที่ กรุณาเป็นอาจารย์กรรมการ รวมทั้งแนะแนวทางในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ด้วย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำปัญหาพิเศษใน ครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา



.....
บุณศรี แสนพรหม
(นางสาวบุญทวี แสนพรหม)

.....
อศพน เทสิงห์ชัย
(นางสาวอมรพรรณ เทสิงห์ชัย)

22 มีนาคม 2543

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน	3
2.1 หลักการเบื้องต้นของการวัดค่าการนำไฟฟ้า	3
2.2 หลักการพื้นฐานของการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิก	5
2.3 อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว	6
2.4 สมการทำนายค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว	8
2.5 การใช้ประโยชน์จากระบบให้ความร้อนแบบโอห์มมิก	10
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิเคราะห์	11
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	11
3.2 วิธีการดำเนินการวิเคราะห์	13
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์	24
4.1 ผลการสอบเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น	24
4.2 ผลการวัดค่าการนำไฟฟ้าและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลว	26
4.3 ผลการทดสอบหาสมการทำนายค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลว	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก ก	38
ภาคผนวก ข	46
ประวัติผู้เขียน	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง	24
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของนมสด	26
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของน้ำส้ม	26
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของน้ำสับประรด	27
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของน้ำแอปเปิล	27
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของน้ำแครอท	27
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของน้ำมะเขือเทศ	28
ตารางที่ ก.1 แสดงผลการวัดค่าต่างๆ สำหรับการคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 25 °C	38

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 แสดงการวัดค่าความนำไฟฟ้าของสารละลาย	4
ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)	12
ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องวัดความหนืด	12
ภาพที่ 3.3 แสดงเทอร์โมมิเตอร์ 100 องศาเซลเซียส สำหรับใช้วัดอุณหภูมิ ภายในตัวเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า	14
ภาพที่ 3.4 แสดงแผ่นยางกันรั้วซึม	15
ภาพที่ 3.5 แสดงสกรูหางปลายาว 10 เซนติเมตร	16
ภาพที่ 3.6 แสดงขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากแผ่นโลหะสแตนเลส เชื่อมต่อกับสกรูยาว 5 เซนติเมตร	17
ภาพที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวที่ประกอบเสร็จแล้ว	18
ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (Slideup transformer)	19
ภาพที่ 3.9 แสดงมิเตอร์สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า	20
ภาพที่ 3.10 แสดงมิเตอร์สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า	21
ภาพที่ 3.11 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวเข้ากับระบบไฟฟ้า	21
ภาพที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง	25
ภาพที่ 4.2 แสดงค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของตัวอย่างอาหารเหลวที่ความเข้มข้น 5 Brix	28
ภาพที่ 4.3 แสดงค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของตัวอย่างอาหารเหลว ที่อุณหภูมิ 30 °C	29
ภาพที่ 4.4 แสดงค่าการนำไฟฟ้ากับความหนืดของนมสดที่อุณหภูมิต่างๆ	30
ภาพที่ 4.5 แสดงค่าการนำไฟฟ้ากับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของนมสดที่อุณหภูมิต่างๆ	31
ภาพที่ ก.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าของกระแสไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆ	39

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโตรด (m^2)
A	=	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
a	=	ค่าคงที่ (S/m)
a, b, c, d	=	ค่าคงที่
a ₁ , b ₁ , c ₁ , d ₁	=	ค่าคงที่
B	=	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Brix)
b	=	ค่าคงที่ ($S/m^{\circ}C$)
C	=	ความหนืด (cP)
C _p	=	ความร้อนจำเพาะ ($J/kg^{\circ}C$)
D	=	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
G	=	ความนำไฟฟ้า (Conductance) (ซีเมนต์)
G	=	อุณหภูมิ * ปริมาณของแข็งที่ละลายได้
I	=	กระแสไฟฟ้า (แอมป์)
K ₁	=	สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ($^{\circ}C$) ⁻¹
K ₂	=	สัมประสิทธิ์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (S/m -% Total solid)
L	=	ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโตรด (m)
Q	=	อัตราการเกิดพลังงานความร้อน (W/m^3)
R	=	ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)
S	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)
T	=	อุณหภูมิใดๆ ($^{\circ}C$)
T ₀	=	อุณหภูมิเริ่มต้น ($^{\circ}C$)
TIS	=	ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายทั้งหมด (% Dry weight)
TSS	=	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}Brix$)
V	=	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
ρ	=	ความหนาแน่น (kg/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

σ	=	ค่าการนำไฟฟ้า (S/m)
σ_{ac}	=	ค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้อง
σ_{mea}	=	ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น
σ_T	=	ค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิใดๆ (S/m)
σ_{T25}	=	ค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25°C (S/m)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของการศึกษา

กระบวนการให้ความร้อนแก่อาหารต่างๆ มีรูปแบบอยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้ได้พลังงานความร้อนออกมา โดยความร้อนที่ได้นั้นมีหลักการที่คล้ายกับความร้อนที่เกิดจากไส้หลอดไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ กล่าวคือ เมื่อให้ความต่างศักย์ไฟฟ้ากับสสารใดๆ แล้วจะเกิดกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในเนื้อของผลิตภัณฑ์ (ของแข็ง ของเหลวหรือของผสม) ที่มีความต้านทานค่าหนึ่ง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นเกิดพลังงานความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เกิดจากการผ่านไฟฟ้ากระแสสลับไปยังอาหารทำให้อาหารสร้างความร้อนขึ้นภายในตัวเองอย่างรวดเร็วและพร้อมกันทุกๆ จุด (De Alwis, 1992) ซึ่งกระบวนการนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนและลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร

จากหลักการดังกล่าวในทางอาหารนั้น ไม่ใช่เรื่องใหม่เลย เพราะในช่วงศตวรรษที่ 19 ได้มีการจดสิทธิบัตรวิธีการพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurize) นม โดยใช้หลักการทางโอห์มมิก ซึ่งเป็นการใช้กระแสไฟฟ้าผ่านระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด (Electrode) ที่เป็นโลหะตัวนำ แต่การใช้กระบวนการนี้ยังไม่แพร่หลายเนื่องจากมีข้อมูลทางเทคนิคค่อนข้างน้อย นอกจากนี้การนำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยจำเป็นต้องทราบข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของอาหารชนิดต่างๆ ซึ่งมีข้อมูลอยู่น้อยมาก เพราะข้อมูลนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิในอาหาร

ดังนั้นในปัญหาพิเศษครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาหาค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร โดยได้พัฒนาเครื่องมือและวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว ตลอดจนศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้, ความหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของอาหาร พร้อมทั้งแสดงความสัมพันธ์ออกมาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบและควบคุมกระบวนการให้ความร้อนกับอาหารด้วยเทคโนโลยี Ohmic Heating ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 พัฒนาเครื่องมือและวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารที่อยู่ในรูปของเหลว
- 1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า พร้อมทั้งแสดงความสัมพันธ์ออกมาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์

1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ

- 1.3.1 สร้างเครื่องมือและพัฒนาวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว
- 1.3.2 ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น
- 1.3.3 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอาหารเหลวที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ของอาหาร โดยทำการศึกษาในระบบสถิตย์ (Static system) พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์โดยแสดงออกมาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวบางชนิด รวมทั้งทราบปัจจัยทางเคมีและทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า เมื่อมีการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก
- 1.4.2 ได้สมการสำหรับทำนายค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบและควบคุมกระบวนการให้ความร้อนกับอาหารด้วยวิธีโอห์มมิกต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น

คุณสมบัติทางวิศวกรรมอาหารมีหลายประเภทด้วยกันเช่น คุณสมบัติทางความร้อน คุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมกระบวนการผลิตอาหาร

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับ ค่าการนำไฟฟ้า วิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้า ตลอดจนหลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนแบบ Ohmic และการประยุกต์ใช้งาน

2.1 หลักการเบื้องต้นของการวัดค่าการนำไฟฟ้า

ปัจจุบันค่าการนำไฟฟ้าของอาหารมีบทบาทสำคัญ ในกระบวนการอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น โดยเฉพาะระบบนำเชื้อในอาหารด้วยเทคนิค Ohmic Heating

2.1.1 สภาพความนำไฟฟ้า (Conductivity)

จากกฎของโอห์ม (สมการที่ 2.1) เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าคงที่แก่ตัวนำไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำจะมีค่ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของตัวนำนั้นๆ ความนำไฟฟ้าจะเป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานไฟฟ้าแสดงดังสมการที่ 2.2 (Palaniappan, 1991)

$$V = IR \quad \dots(2.1)$$

$$G = 1/R \quad \dots(2.2)$$

จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 จะได้ว่า

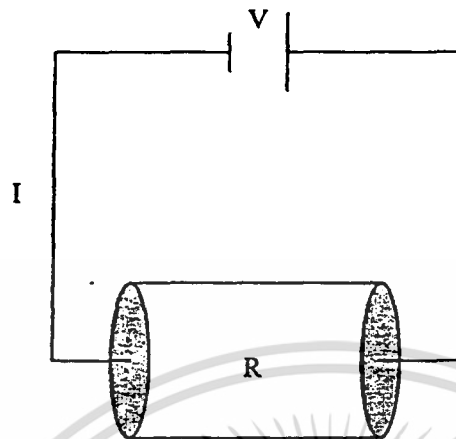
$$G = I/V \quad \dots(2.3)$$

โดยที่ G = ความนำไฟฟ้า (Conductance) (ซีเมนต์)

V = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมป์)

R = ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)



ภาพที่ 2.1 แสดงการวัดค่าความนำไฟฟ้าของสารละลาย

พิจารณาภาพที่ 2.1 ถ้าให้แรงดันไฟฟ้า (V) แก่ขั้วอิเล็กโทรดสองขั้วที่มีพื้นที่หน้าตัด (A) และวางห่างกันเป็นระยะ (L) ซึ่งจุ่มอยู่สารละลายจะเกิดกระแสไฟฟ้า (I) ไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรด แสดงว่าสารละลายดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าเช่นเดียวกับโลหะทั่วไป ค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนที่แตกกตัวเช่น H^+ OH^- Na^+ และ Cl^- เป็นต้น ชนิดและจำนวนไอออนที่เคลื่อนที่สารละลายจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ถ้าเราสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรดได้ก็จะสามารถคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้า (Conductance) ของสารละลายได้จากสมการที่ 2.3

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้า

จากสมการที่ 2.3 ถ้าให้แรงดันไฟฟ้าคงที่พบว่าค่าความนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสไฟฟ้าซึ่งแปรผันตรงตามปริมาณไอออนที่เคลื่อนที่ในสารละลาย นอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายอีกด้วย คือเมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นทำให้การเคลื่อนที่ของไอออนเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลคือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรดจะเพิ่มขึ้น

2.1.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

ตามที่กล่าวมาข้างต้นค่าความนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ ชนิดของไอออน จำนวนไอออนที่แตกตัวรวมทั้งอุณหภูมิ กำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ A และระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ L เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าคงที่แก่ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง จะเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรด เนื่องจากอออนที่เคลื่อนที่ไปมาระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ถ้าเปลี่ยนขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรดให้ใหญ่ขึ้น (A เพิ่มขึ้น) แต่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่าเดิม พบว่าปริมาณอออนที่เคลื่อนที่ไปมาระหว่างขั้วอิเล็กโทรดจะมากขึ้น ผลคือค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในสภาวะเดียวกันถ้าเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดมากขึ้น (L เพิ่มขึ้น) แต่ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรดเท่าเดิม พบว่าปริมาณอออนที่เคลื่อนที่ไปมาระหว่างขั้วอิเล็กโทรดมีปริมาณลดลง ผลคือค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายจะมีค่าน้อยลงเช่นกัน (American Public Health Association, 1981)

สรุปได้ว่าขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรดและระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดจะมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย ดังนั้นเพื่อให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานเดียวกันจึงกำหนดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ขึ้นมา ซึ่งหมายถึงค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายที่อยู่ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่วางห่างเป็นระยะทางใดๆ เทียบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด สามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้า ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด และค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ดังสมการที่ 2.4 (Palaniappan, 1991)

$$\varnothing = GL / A \quad \dots(2.4)$$

โดยที่

- \varnothing = ค่าการนำไฟฟ้า (S/m)
- G = ค่าความนำไฟฟ้า (S)
- L = ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (m)
- A = พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด (m²)

2.2 หลักการพื้นฐานของการเกิดความร้อนแบบ Ohmic

เกิดจากการผ่านไฟฟ้ากระแสสลับไปยังอาหารทำให้อาหารร้อนขึ้นภายในตัวเองอย่างรวดเร็วและพร้อมกันทุกๆ จุด สรุปคือพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานความร้อนนั่นเอง จากกฎข้อที่ 2 ของโอห์ม (สมการที่ 2.5) สามารถอธิบายการร้อนขึ้นของอาหารเนื่องจากการผ่านไฟฟ้ากระแสสลับไปยังอาหารได้ดังนี้ (De Alwis, 1989)

$$\text{จาก} \quad P = IV \quad \dots(2.5)$$

โดยที่ $P =$ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

ถ้าเราให้แรงดันไฟฟ้า V แก่ขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว ที่มีพื้นที่หน้าตัด A และวางห่างกันเป็นระยะทาง L จะเกิดกระแสไฟฟ้า I ไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ดังนั้นจะเกิดพลังงานความร้อนขึ้น P ซึ่งพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ให้และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรด โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรดสามารถจัดให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร ดังสมการที่ 2.6

$$I = AV\phi / L \quad \dots(2.6)$$

แทนค่า I ในสมการที่ 2.5 จะได้

$$P = A\phi V^2 / L \quad \dots(2.7)$$

หรือ $Q = \phi [\nabla v^2] \quad \dots(2.8)$

โดยที่ $Q =$ อัตราการเกิดพลังงานความร้อน (W/m^3)

ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลาใดๆ สำหรับอาหารที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 โดยมีสมมติฐานต่างๆ เพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้นและเป็นไปได้ในทางปฏิบัติดังนี้

- ตัวอย่างอาหารในระบบอยู่นิ่ง
- ไม่คิดการนำและการพาความร้อนในระบบ
- การกระจายสนามไฟฟ้าคิดในแนวแกนเท่านั้น
- ค่าการนำไฟฟ้าไม่ขึ้นกับตำแหน่ง
- คุณสมบัติทางความร้อนและทางกายภาพไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ
- ระบบไม่มีการสูญเสียความร้อน

จากสมการที่ 2.8 จะได้

$$\partial T / \partial t = \phi v^2 / \rho C_p \quad \dots(2.9)$$

โดยที่ $\phi = a + Bt$

อินทิเกรตสมการที่ 2.9 จะได้

$$T = [(a + bT_0)\exp(v^2bt / \rho C_p) - a] / b \quad \dots(2.10)$$

โดยที่ $T =$ อุณหภูมิใดๆ ($^{\circ}C$)

$T_0 =$ อุณหภูมิเริ่มต้น ($^{\circ}C$)

$\rho =$ ความหนาแน่น (kg/m^3)

$C_p =$ ความร้อนจำเพาะ ($J/kg^{\circ}C$)

2.3 อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว

เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเป็นปัจจัยวิกฤต (Critical parameter) ต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิในอาหารในกระบวนการ Ohmic heating ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายกลุ่มได้พัฒนาอุปกรณ์และวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fryer และคณะ (1989) สร้างอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าสำหรับอาหารเหลว ประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ระบบไฟฟ้าที่ป้อน (Main supply) ที่มีแรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต หม้อแปลงไฟฟ้าปรับแรงดันได้ เครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เครื่องบันทึกอุณหภูมิ สายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K-type thermocouples) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ที่ปลายสายจะหุ้มปิด (Shrunk) ด้วยโพลีเมอร์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากการผ่านไฟฟ้ากระแสสลับไปยังอาหารที่มีผลต่อระบบการวัดอุณหภูมิ เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้ในการบันทึกข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบ ขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้วทำจากแผ่นเหล็กไร้สนิม (Stainless steel) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 7.5×7.5 เซนติเมตร เซลล์สำหรับการให้ความร้อนแบบ Ohmic (Electrical cell) ทำจากกล่องพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนขนาด $7.0 \times 7.77 \times 18.4$ เซนติเมตร

Gupta และ Jindal (1992) พัฒนาเซลล์สำหรับให้ความร้อนแบบ Ohmic ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากตัวอย่างอาหารตู้ภายนอกเซลล์ โดยตัวเซลล์ทำจากท่ออะครีลิก (Acrylic tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 มิลลิเมตร ความยาว 80 มิลลิเมตร ที่ปลายท่อทั้งสองด้านมีขั้วอิเล็กโทรดทำจากแผ่นเหล็กไร้สนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นได้สอบเทียบ (Calibration) เพื่อดูความแม่นยำและถูกต้อง โดยใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 โมลาร์ เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบ

Palaniappan และ Sastry (1991) พัฒนาอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวซึ่งประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าปรับแรงดันได้ เครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เครื่องบันทึกอุณหภูมิ เครื่องคอมพิวเตอร์ และเซลล์สำหรับให้ความร้อนแบบ Ohmic ซึ่งทำจากท่อสแตนเลสความยาว 12.5 นิ้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $15/16$ นิ้ว ด้านในท่อสแตนเลสมีปลอกเทฟลอนทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าสวมอยู่ ตรงกลางท่อติดตั้งท่อขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง $5/16$ นิ้ว สำหรับบรรจุตัวอย่างอาหารและเสียบสายเทอร์โมคัปเปิล ที่ปลายท่อทั้งสองด้านมีขั้วอิเล็กโทรดซึ่งทำจากแผ่นโลหะโรเดียม (Rhodium plated stainless steel electrodes)

ประมวล ศรีกาหลง (2539) ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ และวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำสับประรด ซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ

1. เซลล์สำหรับการให้ความร้อนแบบ Ohmic ทำจากแผ่นพลาสติกอะครีลิก เป็นรูปกล่องทรงสี่เหลี่ยม ที่ปลายท่อทั้งสองข้างมีขั้วอิเล็กโทรด ทำจากแผ่นสแตนเลสติดอยู่กับซีลยางและแผ่นประกบ ซึ่งถูกยึดไว้แน่นด้วยสกรูและน็อตเพื่อป้องกันการรั่วซึม มีช่องสำหรับบรรจุตัวอย่างอาหาร และเสียบปลายตัววัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ระบบไฟฟ้า มาจากระบบไฟฟ้าหลัก (Main power supply) แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ความถี่ 50 เฮิร์ต และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ คือ สวิตช์ปิด-เปิด (Circuit breaker) เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (Slideup transformer) สำหรับปรับแรงดันไฟฟ้า มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

3.ระบบบันทึกข้อมูล ประกอบด้วยสายเทอร์โมคัปเปิลสำหรับรับส่งสัญญาณ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่างอาหาร ไปยังอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data logger) ซึ่งเชื่อมสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

2.4 สมการทำนายค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร

พศักร นวมานกร (2540) ศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหาร 5 ชนิดที่มีความหลากหลายของลักษณะปรากฏเช่น อาหารเหลวเนื้อเดียวกัน อาหารเหลวที่มีความหนืดสูงและอาหารเหลวที่มีชิ้นอาหารขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ การทดลองใช้ความเข้มข้นไฟฟ้า 5 โวลต์ต่อเซนติเมตร ความถี่ 50 เฮิร์ต ศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 20 ถึง 80 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารทั้ง 5 ชนิดแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.11

$$\sigma_T = a + bT \quad \dots(2.11)$$

โดยที่ σ_T = ค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิใดๆ (S/m)

T = อุณหภูมิใดๆ ($^{\circ}\text{C}$)

a = ค่าคงที่ (S/m)

b = ค่าคงที่ ($\text{S/m}^{\circ}\text{C}$)

Palaniappan และ Sastry (1991) ศึกษาผลเนื่องจากอุณหภูมิ ขนาดและปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของน้ำส้มคั้นและน้ำมะเขือเทศเข้มข้น ผลการทดลองพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างทั้งสองชนิดแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น สมการความสัมพันธ์แสดงดังสมการที่ 2.12 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อขนาดของของแข็งใหญ่ขึ้นมีผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างลดลง เนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออนที่แตกตัวได้ในส่วนที่เป็นสารละลายน้อยลง เพราะชั้นของแข็งที่มีขนาดใหญ่จะขวางหรือต้านการเคลื่อนที่ของไอออน (Drag for ionic movement)

$$\sigma_T = \sigma_{125}[1 + K_1(T - 25)] - K_2S \quad \dots(2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่	σ_T	= ค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิใดๆ (S/m)
	T	= อุณหภูมิใดๆ ($^{\circ}\text{C}$)
	σ_{T25}	= ค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25°C (S/m)
	K_1	= สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
	K_2	= สัมประสิทธิ์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (S/m-% Total solid)
	S	= ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)

Gupta และ Jindal (1992) ศึกษาผลเนื่องจากความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ อุณหภูมิของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) และของแข็งที่ไม่ละลายทั้งหมด (Total insoluble solid) ที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของน้ำผลไม้ พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ช่วง 5 – 50 เฮิร์ต มีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำส้มคั้นและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 20% และที่ช่วงความถี่ 10 – 1,000 เฮิร์ต ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง 2 ชนิดเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6% นอกจากนี้ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง น้ำมะเขือเทศ น้ำส้ม และน้ำสับปะรด มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายทั้งหมดแสดงดังสมการที่ 2.13 และสมการที่ 2.14 ตามลำดับ

$$\sigma_T = a + b * \text{TSS} + c * T + d * \text{TSS} * T \quad \dots(2.13)$$

$$\sigma_T = a_1 + b_1 * \text{TIS} + c_1 * T + d_1 * \text{TIS} * T \quad \dots(2.14)$$

โดยที่	TSS	= ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}\text{Brix}$)
	TIS	= ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายทั้งหมด (% Dry weight)
	a, b, c, d	= ค่าคงที่
	a_1, b_1, c_1, d_1	= ค่าคงที่

จากงานวิจัยที่ผ่านมาอาจสรุปได้ว่า อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในอาหารขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าของอาหารจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านอาหารได้มากหรือน้อย กล่าวคือ ถ้าค่าการนำไฟฟ้าของอาหารสูง กระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านอาหารได้มากเช่นกัน ส่งผลให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในอาหารเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกันถ้าค่าการนำไฟฟ้าของอาหารต่ำ กระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านอาหารได้น้อย อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในอาหารเกิดขึ้นอย่างช้าๆ

2.5 การใช้ประโยชน์จากกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

จากหลักการของการให้ความร้อนแบบ Ohmic ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้มีการนำเอาเทคนิคนี้มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารดังนี้

1. การละลายอาหารแช่แข็ง (Thawing) เช่น เนื้อแช่เยือกแข็งที่มีขนาดใหญ่
2. การลวก (Blanching) เช่น ลวกมันฝรั่งปอกเปลือกที่แช่อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีของมันฝรั่งที่เกิดจากเอนไซม์ (Enzyme discoloration)
3. การพาสเจอร์ไรซ์และสเตอริไรซ์ (Pasteurization and Sterilization) ทางบริษัท APV Baker ออกแบบระบบฆ่าเชื้อ Ohmic heating แบบต่อเนื่องเพื่อใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์นมและสเตอริไรซ์ซอสที่มีไส้กรอกแขวนลอยอยู่
4. การทำแห้งเนื้อปูเทียมก่อนขึ้นรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิเคราะห์

ปัญหาพิเศษนี้แบ่งการดำเนินการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการสร้างอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว และทำการสอบเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวนี้นำไปใช้ในส่วนของที่สอง คือ การวัดค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลวต่างๆ ตลอดจนศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของอาหารที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับประกอบเป็นเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว

- แผ่นพลาสติกอะครีลิกใสหนา 6 มิลลิเมตร
- แผ่นสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร
- สกรูยาว 5 เซนติเมตร
- แผ่นยางกันรั้วซึม
- สกรูหางปลา 10 เซนติเมตร
- ท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร

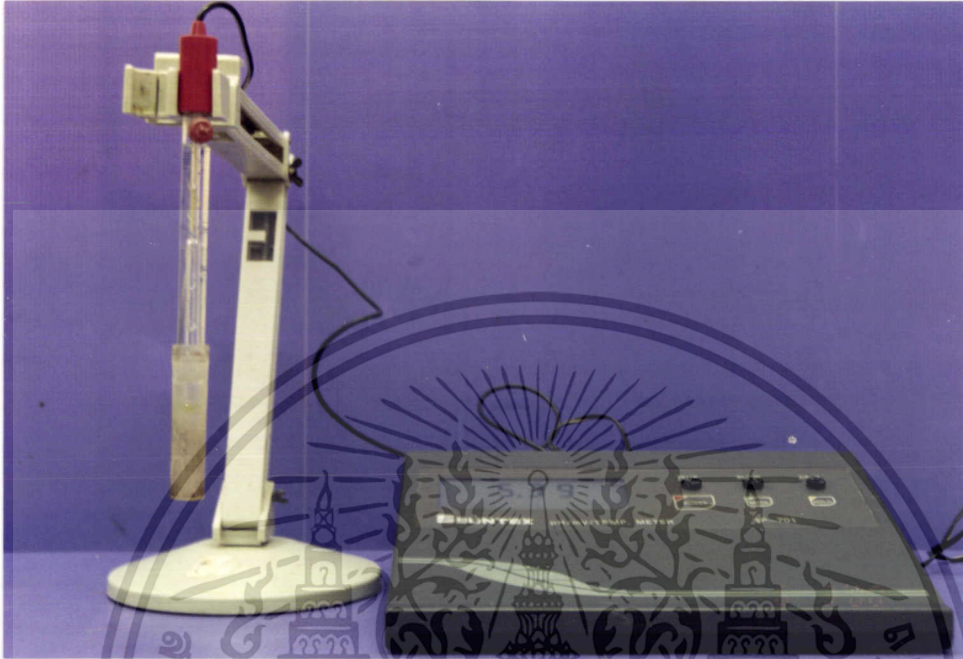
3.1.2 อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (Slideup transformer)
- มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า
- มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า
- สวิตช์เปิด-ปิด (Circuit breaker)
- สายไฟฟ้าแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของอาหาร

- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
- เครื่องวัดความหนืด (Brookfield)
- เครื่องวัดปริมาตรของแข็งที่ละลายได้ (Refractometer)
- เครื่องระเหยระบบสุญญากาศ (Vacuum evaporator)
- บีกเกอร์
- ขวดวัดปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องวัดความหนืด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 สารละลายและตัวอย่างอาหารเหลว

- สารละลายโซเดียมคลอไรด์
- นมสด
- น้ำส้ม
- น้ำสับประรด
- น้ำแอปเปิล
- น้ำแครอท
- น้ำมะเขือเทศ

3.2 วิธีการดำเนินการวิเคราะห์

3.2.1 การสร้างอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว

เพื่อให้อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องในการวัด จำเป็นต้องอาศัยสมมติฐานสำหรับการคำนวณค่าการนำไฟฟ้าดังนี้

สมมติฐานสำหรับการคำนวณค่าการนำไฟฟ้า

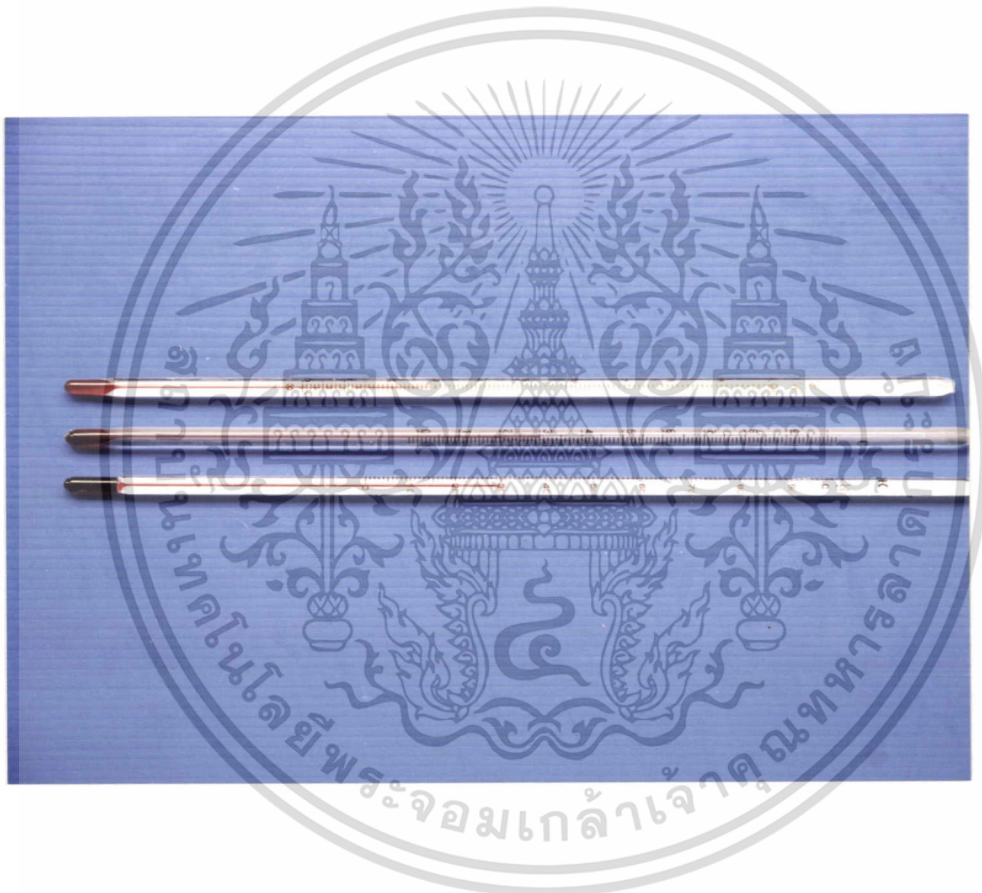
- ตัวอย่างอาหารอยู่ในระบบอยู่นิ่ง (Static system)
- การกระจายของสนามไฟฟ้าในระบบเกิดขึ้นเฉพาะในส่วน of ตัวอย่างอาหารเท่านั้น
- กระแสไฟฟ้าที่วิ่งระหว่างขั้วอิเล็กโทรดกระจายเต็มพื้นที่หน้าตัดขวางของขั้วอิเล็กโทรด
- ค่าการนำไฟฟ้าไม่ขึ้นกับตำแหน่ง
- อุณหภูมิของตัวอย่างอาหารกระจายอย่างสม่ำเสมอไม่ขึ้นกับตำแหน่ง
- คุณสมบัติทางความร้อน, ทางเคมี และทางกายภาพของอาหารไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ
- ระบบไม่มีการสูญเสียความร้อน

3.2.1.1 ตัวเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าใช้แผ่นพลาสติกอะคริลิกใสหนา 0.6 มิลลิเมตร มาประกอบเป็นรูปกล่องทรงสี่เหลี่ยมสูง 6.0 เซนติเมตร ความกว้างและความยาวภายใน 3.5 เซนติเมตร โดยใช้กาวไคคลอโรมีเทน พร้อมทั้งทำเป็นกรอบประคองแผ่นขั้วไฟฟ้า

3.2.1.2 เจาะรูที่ด้านข้างของกล่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เซนติเมตร 2 รู จากระยะ 2 เซนติเมตรจากด้านบนและด้านล่างของตัวกล่อง เพื่อต่อเข้ากับท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1.0 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นทางเข้าออกของอาหาร โดยใช้กาวซิลิโคนเป็นตัวติดป้องกันการรั่วของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.3 เจาะรูขนาด 0.8 เซนติเมตร อีก 3 รูที่ด้านข้างของกล่อง โดยให้ด้านที่ติดอยู่กับด้านที่เจาะรูให้อาหารเข้าออก โดยเจาะห่างจากด้านบนและด้านล่าง 1.0 เซนติเมตร 2 รู และตรงกลางห่างจากด้านบนและด้านล่าง 3.0 เซนติเมตร รวมเป็น 3 รู เพื่อใช้ต่อเข้ากับเทอร์โมมิเตอร์ 100 องศาเซลเซียสทั้ง 3 รู โดยให้ปลายของเทอร์โมมิเตอร์ยื่นเข้าไปภายในตำแหน่งกลางตัวกล่อง (1.75 เซนติเมตร) ใช้กาวซิลิโคนอุดป้องกันการรั่วของอาหาร



ภาพที่ 3.3 แสดงเทอร์โมมิเตอร์ 100 องศาเซลเซียส สำหรับใช้วัดอุณหภูมิภายในตัวเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4 ตัวแผ่นยางหนา 1.5 มิลลิเมตร กว้างและยาว 5.9 เซนติเมตร 2 แผ่น เจาะรูตรงกลางเพื่อให้สายไฟที่ต่อมาจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าต่อเข้ากับแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ช่องนี้ เป็นการป้องกันการรั่วของอาหารจากขอบของแผ่นขั้วไฟฟ้า และครอบประคองแผ่นขั้วไฟฟ้า



ภาพที่ 3.4 แสดงแผ่นยางกันรั่วซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.5 ใช้แผ่นพลาสติกหนา 0.6 เซนติเมตร กว้างและยาว 10 เซนติเมตร มาใช้ ประกอบเพิ่มความแข็งแรงและป้องกันการรั่ว แล้วมาเจาะรู 4 รู ที่มุมทั้งสี่ของแผ่นให้ห่างจากมุม 1.4 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นที่ร้อยสกรูหางปลาที่มีความยาว 10 เซนติเมตร และนำมา เจาะรูตรงกลางให้มีขนาดกว้างพอที่จะใส่สายไฟที่ต่อมาจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ต่อ ข้างกับแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ช่องนี้



ภาพที่ 3.5 แสดงสกรูหางปลา 10 เซนติเมตร

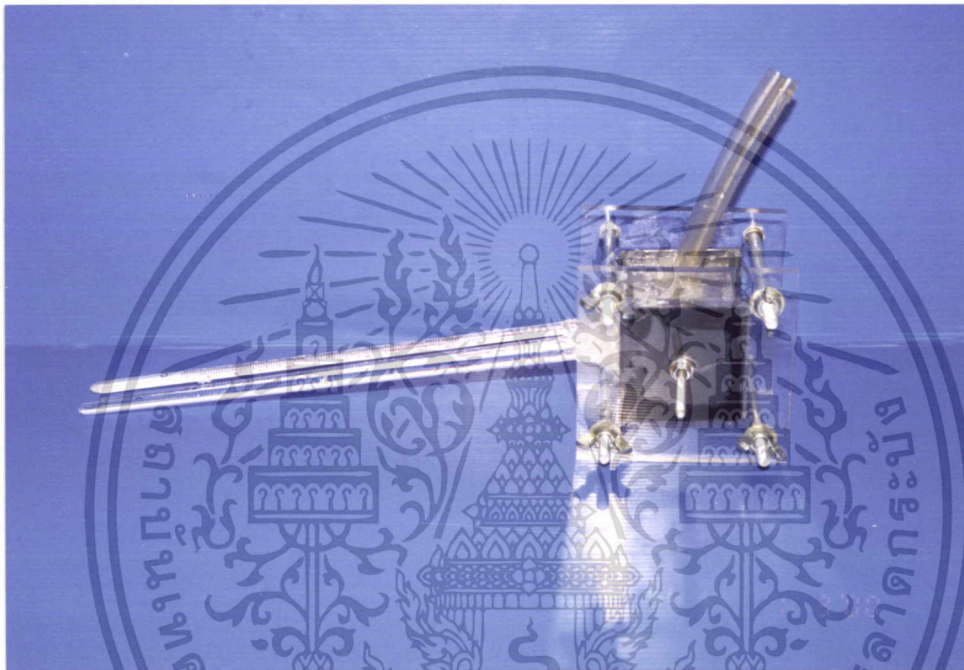
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.6 นำแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ทำจากสแตนเลสหนา 0.1 เซนติเมตร กว้างและยาว 3.5 เซนติเมตร 2 แผ่น ซึ่งแต่ละแผ่นมีการเชื่อมต่อกับสกรูยาว 5.0 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นจุดเชื่อมต่อกับสายไฟฟ้าที่ต่อมาจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ประคบเข้ากับกล่องด้านบนและด้านล่างให้พอดีกับกรอบประคองแผ่นขั้วไฟฟ้า นำแผ่นยางที่เตรียมไว้ประคบทับบนแผ่นยางกันรั่วอีกทีหนึ่ง สุดท้ายนำสกรูที่มีความยาว 10 เซนติเมตรมาร้อยเข้ากับรูที่เจาะไว้ที่มุมทั้งสี่ของแผ่นพลาสติกทั้งสอง ชั้นสกรูให้แน่นเพื่อกดอัดแผ่นยางไปอุดช่องระหว่างกรอบประคองแผ่นขั้วไฟฟ้าและแผ่นขั้วไฟฟ้า



ภาพที่ 3.6 แสดงขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากแผ่นโลหะสแตนเลส
เชื่อมต่อกับสกรูยาว 5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวที่ประกอบเสร็จแล้ว

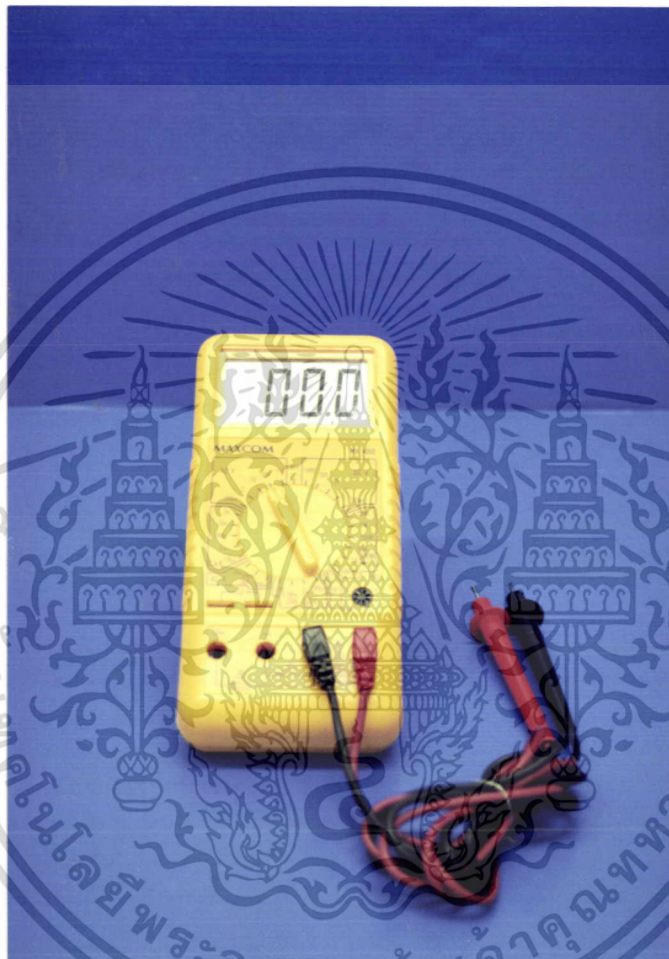
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นนำเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ประกอบเสร็จแล้วไปติดตั้งต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (Slideup transformer), มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า, มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า, สวิตช์ปิด-เปิด (Circuit breaker) ด้วยสายไฟฟ้าแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์



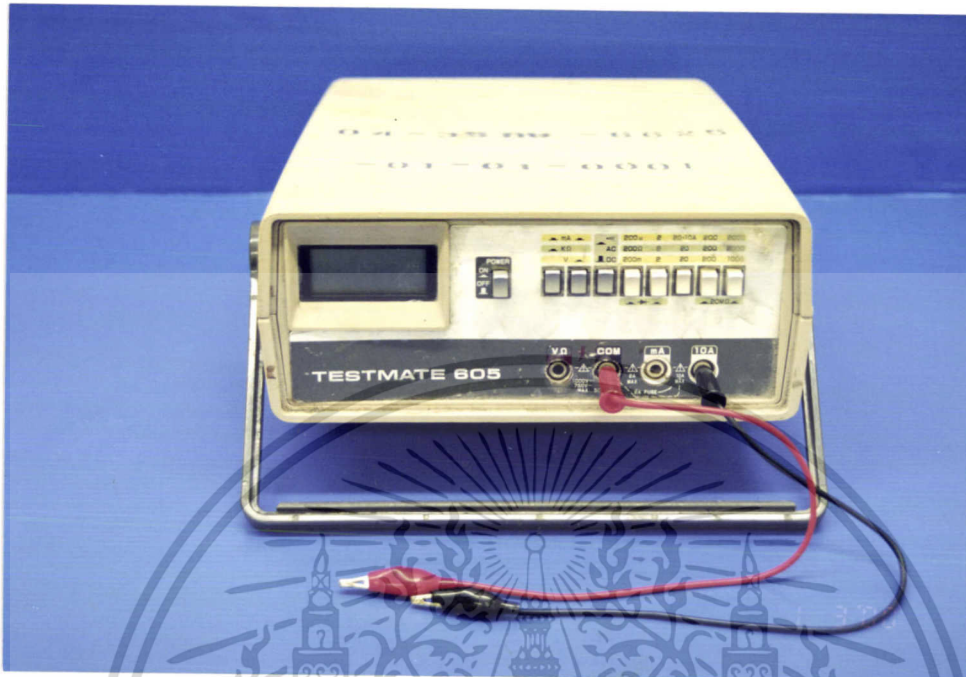
ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (Slideup transformer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

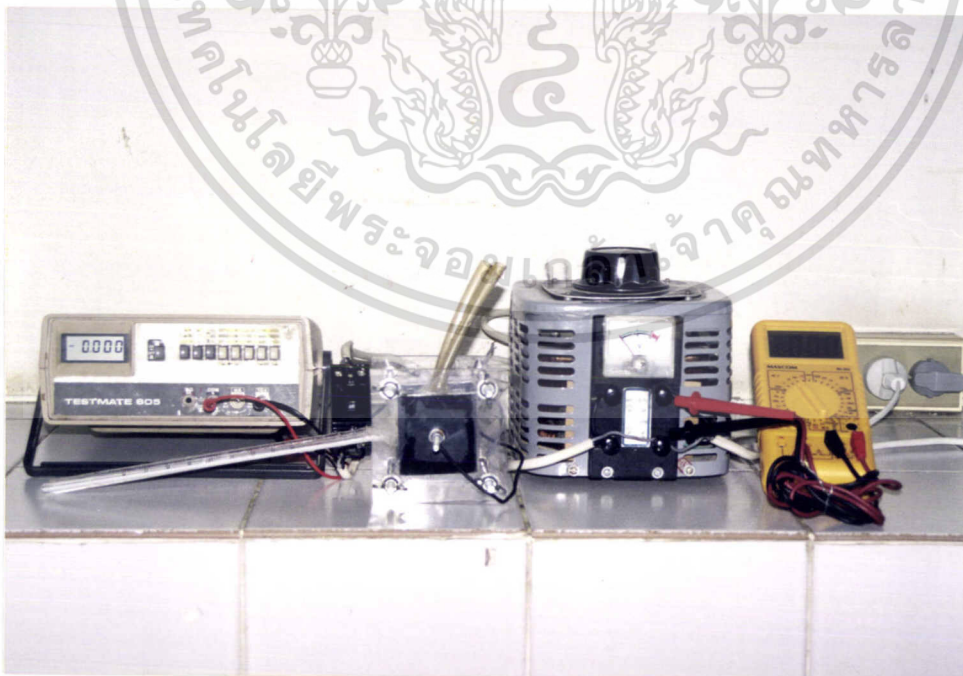


ภาพที่ 3.9 แสดงมิเตอร์สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 แสดงมิเตอร์สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 3.11 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลวเข้ากับระบบไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การสอบเทียบ (Calibration) ความถูกต้องของอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

ในการศึกษานี้ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบ โดยเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1,2,3,4,5 และ 6 กรัมต่อลิตร ใส่งลงในเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น (ทำการทดลองที่ละความเข้มข้น) และปรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็น 3 ระดับอยู่ในช่วง 50 ถึง 150 โวลต์ (เป็นการทำซ้ำ) โดยในแต่ละความเข้มข้นจะทำการทดลองที่ระดับความต่างศักย์จนครบ 3 ระดับ จากนั้นเปิดสวิตช์ เบรกเกอร์ให้กระแสไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า และอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่อยู่ในวงจร ที่อุณหภูมิของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็น 25 °C (ต้องบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าทันที เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์จะมีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า) นำค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงในอาหาร, ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้, ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด และขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด มาคำนวณค่าการนำไฟฟ้า เมื่อได้ค่าการนำไฟฟ้าแล้ว ให้นำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ จากนั้นนำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ มาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง ซึ่งมีหน่วยของค่าการนำไฟฟ้าเป็นซีเมนต์ต่อเมตร (S/m) โดยการเขียนกราฟและหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับค่าการนำไฟฟ้าอ้างอิง ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะแสดงให้เห็นว่า เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจะสามารถวัดค่าได้ถูกต้องมากน้อยเพียงไร ขณะเดียวกันความสัมพันธ์ที่ได้จะนำไปเป็นสมการที่จะใช้เป็นค่าแก้สำหรับค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้านี้ โดยจะแทนค่าการนำไฟฟ้าจากการวัดจริงของอาหารเหลวที่วัดด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้ลงในสมการ และทำการคำนวณให้ได้ค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องต่อไป

3.2.3 การวัดค่าการนำไฟฟ้าและทดสอบหาสมการในการประมาณค่าการนำไฟฟ้าจากคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างอาหารเหลว

3.2.3.1 นำตัวอย่างอาหารเหลวมาปรับความเข้มข้นให้มีค่าเท่ากับ 5,10,15,20 และ 25 องศาบริกซ์ โดยใช้เครื่องระเหยระบบสูญญากาศ (Vacuum evaporator) พร้อมวัดค่าความหนืดและค่า pH ในแต่ละความเข้มข้น นำตัวอย่างอาหารเหลวแต่ละความเข้มข้นมาใส่งลงในเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า เปิดสวิตช์เบรกเกอร์เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอาหาร และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าจากมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าและบันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 2 องศาเซลเซียส โดยอาหารเหลวที่ทุกความเข้มข้นจะทำตามลำดับดังนี้ทุกความเข้มข้น และในแต่ละความเข้มข้นจะทำการทดลองซ้ำ โดยแต่ละซ้ำของการทดลองจะเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 50 ถึง 100 โวลต์ จากนั้นนำค่าต่างๆ คือ ค่ากระแสไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟ้าที่ผ่านลงในอาหาร, ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้, ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด และขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด มาคำนวณค่าการนำไฟฟ้า และนำค่าการนำไฟฟ้าที่คำนวณได้นี้ไปแทนค่าลงในสมการที่ได้หาไว้จากข้อ 3.2.2 จะได้ค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของตัวอย่างอาหารเหลว

3.2.3.2 นำข้อมูลระหว่างของแข็งที่ละลายได้, อุณหภูมิ, ความหนืด, pH และค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้อง มาหาสมการความสัมพันธ์โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

3.2.3.3 ทำการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งที่ละลายได้, อุณหภูมิ, ความหนืด, pH และค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของตัวอย่างอาหารเหลวอื่นๆ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.3.1 และข้อ 3.2.3.2



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

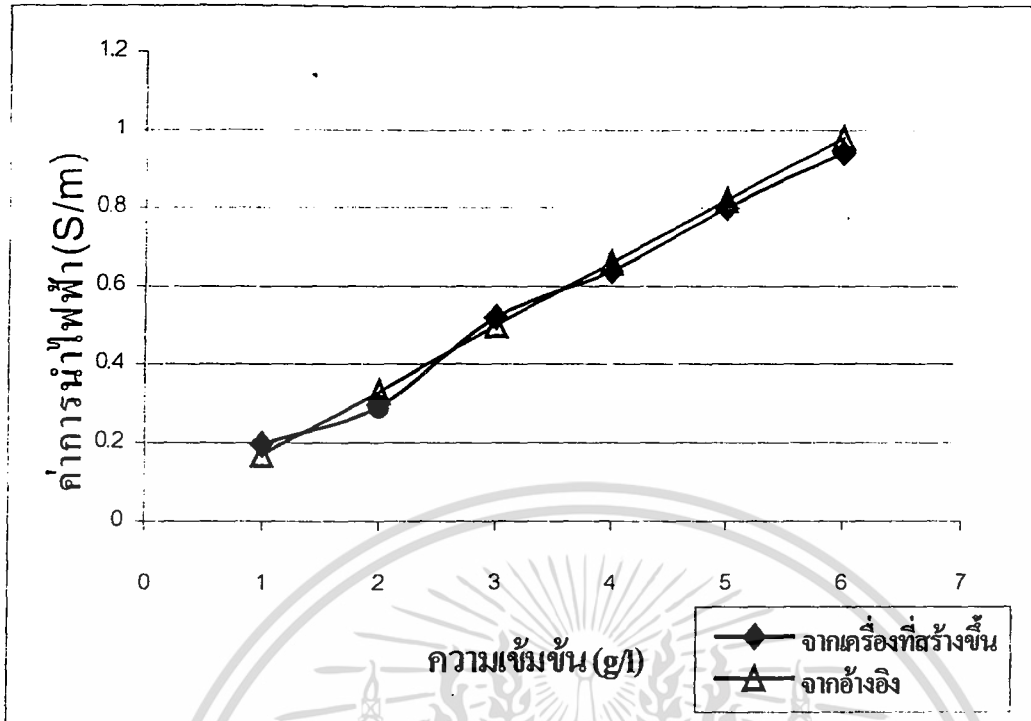
4.1 ผลการสอบเทียบ (Calibration) ความถูกต้องของอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

ความถูกต้องของอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้ ตรวจสอบได้โดยเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างที่วัดได้จริงกับค่าจากเอกสารอ้างอิง ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1,2,3,4,5 และ 6 กรัม/ ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบ รายละเอียดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นโดยเฉลี่ยที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน 3 ระดับ เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงเป็นดังตาราง ซึ่งรายละเอียดการคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นแสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง

ความเข้มข้น (g/l)	ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จาก เครื่องที่สร้างขึ้น (S/m)	ค่าการนำไฟฟ้าอ้างอิง (S/m)
1	0.197	0.170
2	0.294	0.330
3	0.520	0.500
4	0.639	0.660
5	0.800	0.820
6	0.942	0.980

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง

พิจารณาภาพที่ 4.1 พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง-และสังเกตว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน

หลังจากที่ได้ใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (แสดงในภาคผนวก ข.) ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นกับค่าการนำไฟฟ้าอ้างอิงหรือค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องนั่นเอง เป็นดังสมการ

$$\varnothing_{ac} = 1.052300\varnothing_{mea} - 0.018233 \quad \dots(4.1)$$

โดยที่ \varnothing_{ac} = ค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้อง

\varnothing_{mea} = ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น

โดยมีค่า $R^2 = 0.99391$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 4.1 ที่ได้นี้ จะนำไปใช้เพื่อหาค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของตัวอย่างอาหารเหลวอื่นๆ ต่อไป

4.2 ผลการวัดค่าการนำไฟฟ้าและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลว

หลังจากที่ได้นำสมการที่ 4.1 มาหาค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของตัวอย่างอาหารเหลวตัวอย่าง ดังแสดงในภาคผนวก ก. ซึ่งได้แก่ นมสด, น้ำส้ม, น้ำสับปะรด, น้ำแอปเปิล, น้ำแครอท และน้ำมะเขือเทศ เป็นดังตารางที่ 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของนมสด (หน่วยเป็น S/m)

อุณหภูมิ (°C)	5 Brix	10 Brix	15 Brix	20 Brix	25 Brix
	หนืด 2.00 cP pH 6.55	หนืด 2.80 cP pH 6.51	หนืด 5.60 cP pH 6.44	หนืด 8.50 cP pH 6.53	หนืด 24.50 cP pH 6.40
30	0.243	0.452	0.602	0.678	0.758
40	0.305	0.562	0.720	0.837	0.946
50	0.364	0.664	0.853	0.984	1.116
60	0.425	0.770	1.007	1.141	1.292
70	0.490	0.878	1.150	1.306	1.471
80	0.556	0.983	1.289	1.467	1.674

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของน้ำส้ม (หน่วยเป็น S/m)

อุณหภูมิ (°C)	5 Brix	10 Brix	15 Brix	20 Brix	25 Brix
	หนืด 10.00 cP pH 3.75	หนืด 10.60 cP pH 3.89	หนืด 11.30 cP pH 3.77	หนืด 12.50 cP pH 3.69	หนืด 14.50 cP pH 3.77
30	0.187	0.293	0.378	0.435	0.446
40	0.227	0.361	0.468	0.541	0.556
50	0.272	0.442	0.554	0.648	0.673
60	0.325	0.516	0.645	0.776	0.810
70	0.377	0.598	0.743	0.903	0.958
80	0.427	0.678	0.842	1.017	1.108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของน้ำสับประด (หน่วยเป็น S/m)

อุณหภูมิ (°C)	5 Brix หนืด 1.20 cP pH 3.82	10 Brix หนืด 1.80 cP pH 3.68	15 Brix หนืด 2.00 cP pH 3.68	20 Brix หนืด 2.80 cP pH 3.60	25 Brix หนืด 3.60 cP pH 3.53
30	0.195	0.321	0.390	0.465	0.516
40	0.239	0.390	0.487	0.574	0.638
50	0.282	0.458	0.583	0.689	0.766
60	0.323	0.525	0.685	0.808	0.893
70	0.367	0.593	0.788	0.932	1.018
80	0.408	0.661	0.889	1.050	1.164

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของน้ำแอปเปิล (หน่วยเป็น S/m)

อุณหภูมิ (°C)	5 Brix หนืด 0.30 cP pH 3.18	10 Brix หนืด 0.90 cP pH 3.23	15 Brix หนืด 1.10 cP pH 3.14	20 Brix หนืด 1.30 cP pH 3.17	25 Brix หนืด 1.60 cP pH 3.11
30	0.087	0.142	0.177	0.206	0.212
40	0.107	0.174	0.217	0.259	0.270
50	0.130	0.208	0.261	0.312	0.329
60	0.152	0.242	0.307	0.369	0.396
70	0.174	0.274	0.351	0.427	0.462
80	0.197	0.309	0.396	0.484	0.530

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของน้ำแครอท (หน่วยเป็น S/m)

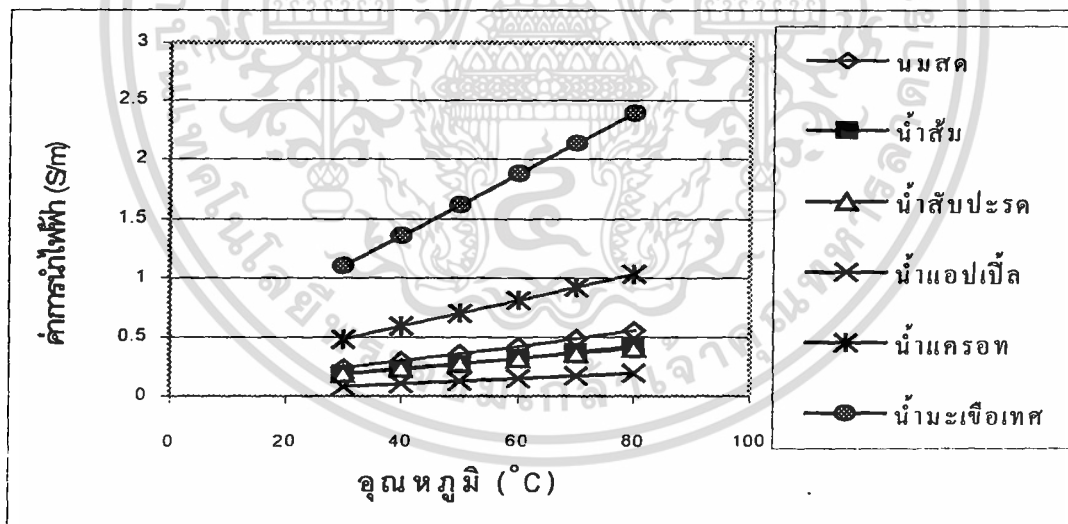
อุณหภูมิ (°C)	5 Brix หนืด 1.00 cP pH 4.80	8 Brix หนืด 1.20 cP pH 4.64	11 Brix หนืด 1.80 cP pH 4.67	14 Brix หนืด 2.10 cP pH 4.58	17 Brix หนืด 2.60 cP pH 4.58
30	0.486	0.699	0.837	1.015	1.086
40	0.595	0.854	1.031	1.255	1.342
50	0.704	1.009	1.225	1.496	1.599
60	0.815	1.166	1.419	1.736	1.856
70	0.925	1.322	1.614	1.977	2.113
80	1.034	1.479	1.810	2.219	2.371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับความรู้เท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของน้ำมะเขือเทศ (หน่วยเป็น S/m)

อุณหภูมิ (°C)	5 Brix หนืด 150 cP pH 3.68	8 Brix หนืด 218 cP pH 3.71	11 Brix หนืด 548 cP pH 3.76	14 Brix หนืด 796 cP pH 3.66
30	1.107	1.519	1.974	2.264
40	1.363	1.833	2.399	2.767
50	1.620	2.147	2.794	3.270
60	1.878	2.462	3.220	3.772
70	2.135	2.772	3.634	4.276
80	2.393	3.080	4.050	4.779

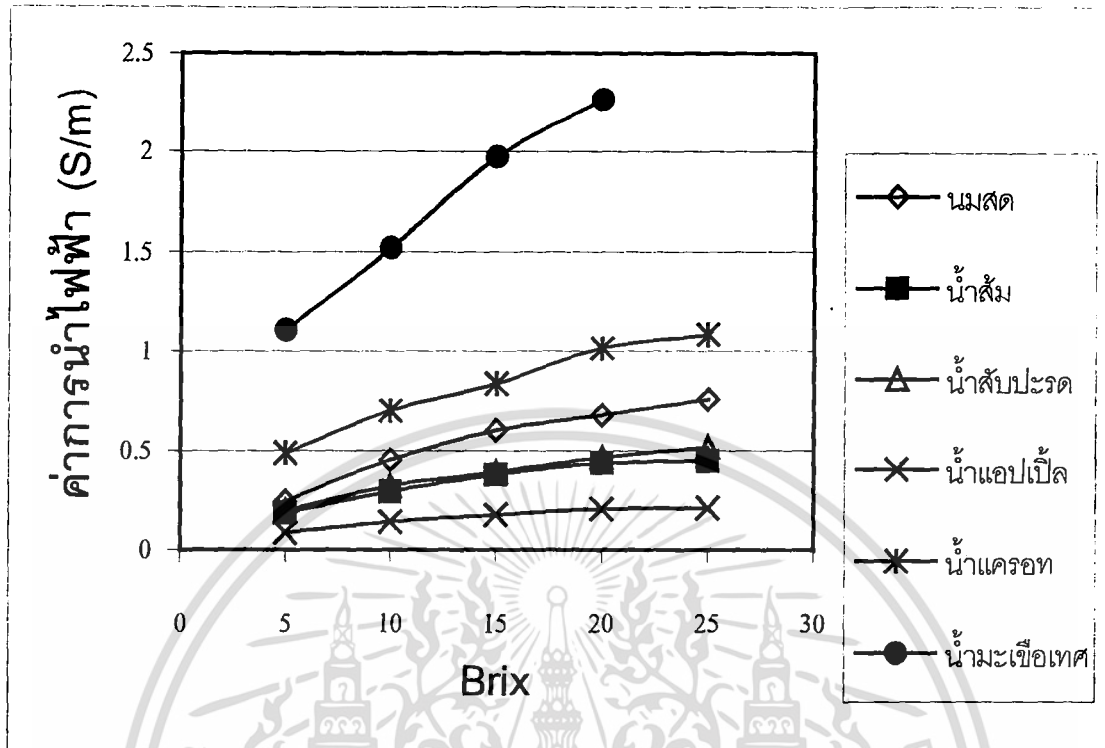
ซึ่งพบว่าคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลว นั่นคือ อุณหภูมิ, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้, ความหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลว ดังแสดงในภาพที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 แสดงค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของตัวอย่างอาหารเหลวที่ความเข้มข้น 5 Brix

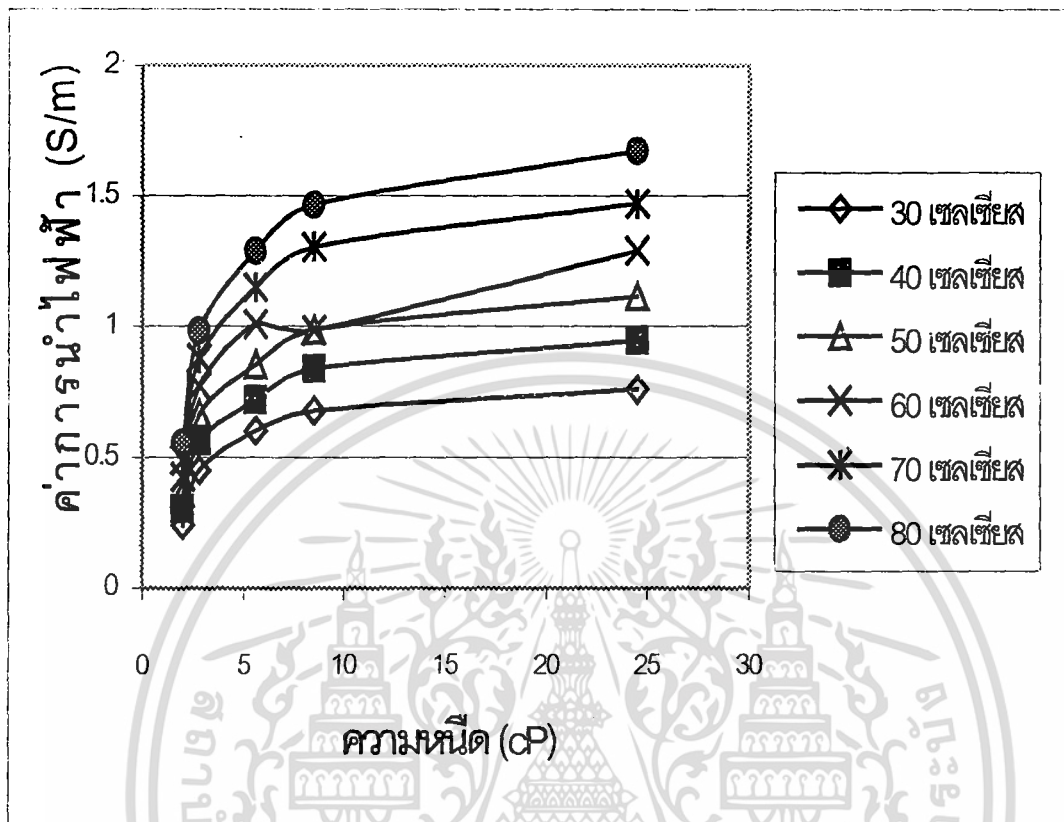
จากภาพที่ 4.2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิมีค่ามากขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลวทุกชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง โดยที่น้ำมะเขือเทศจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด และน้ำแอปเปิ้ลมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำที่สุดที่อุณหภูมิเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



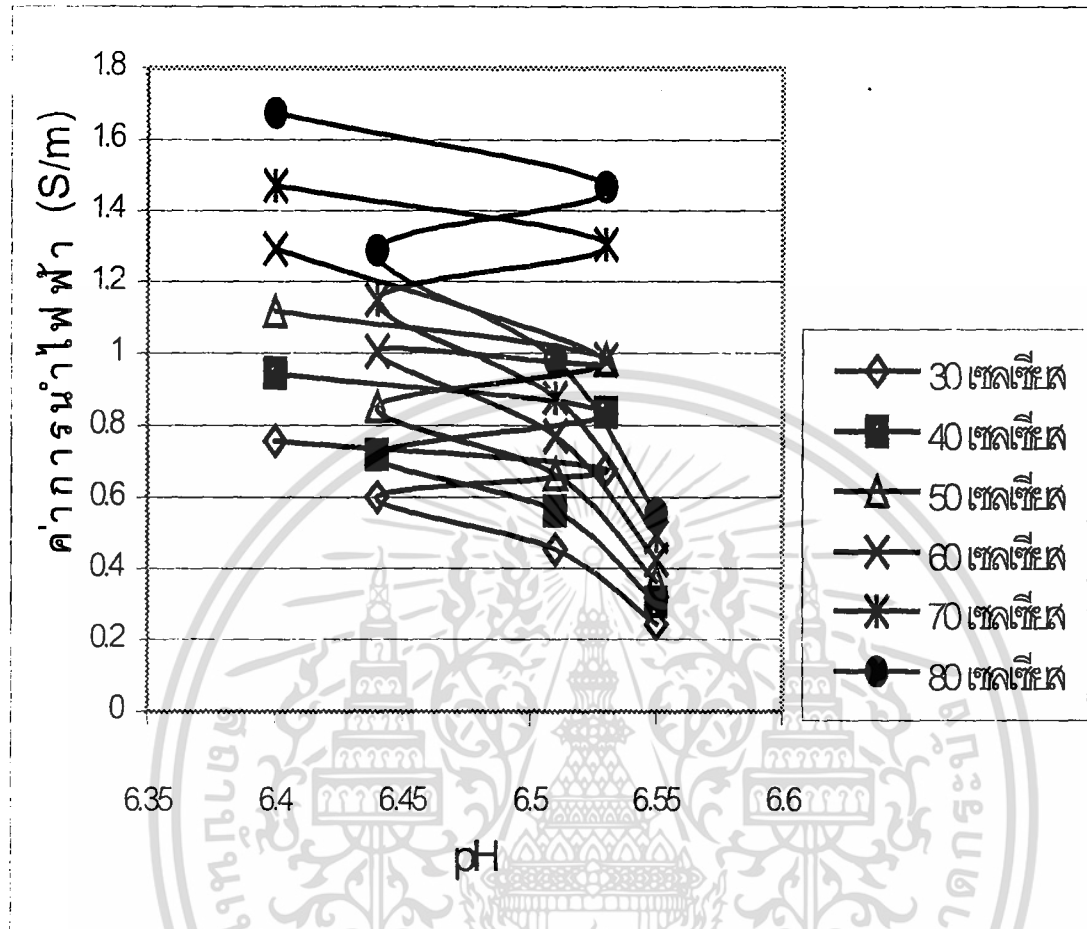
ภาพที่ 4.3 แสดงค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของตัวอย่างอาหารเหลว ที่อุณหภูมิ 30 °C

จากภาพที่ 4.3 พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลว มีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ คือเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างเกือบเป็นเส้นตรง โดยที่น้ำมะเขือเทศจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด และน้ำแอปเปิ้ลมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำที่สุด ที่ค่า Brix เดียวกัน เช่นเดียวกับอุณหภูมิ



ภาพที่ 4.4 แสดงค่าการนำไฟฟ้ากับความหนืดของนมสดที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพที่ 4.4 พบว่าค่าความหนืดของตัวอย่างอาหารเหลวมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า คือเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงความหนืดน้อยๆ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความหนืดมาก โดยที่อุณหภูมิ 80 °C จะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด และที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำที่สุด ที่ค่าความหนืดเดียวกัน



ภาพที่ 4.5 แสดงค่าการนำไฟฟ้ากับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของนมสดที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพที่ 4.5 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของตัวอย่างอาหารเหลวมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า คือเมื่อ pH เพิ่มขึ้น พบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง แต่ลดลงอย่างไม่เป็นรูปแบบ

4.3 ผลการทดสอบหาสมการทำนายค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลว

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าถดถอยพหุคูณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในภาคผนวก ข. ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า, อุณหภูมิ, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้, ความหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างอาหารเหลวต่างๆ ดังนี้

4.3.1 นมสด

$$\begin{aligned} \varnothing_{\text{นมสด}} &= 0.005557A + 0.022071B - 0.013109C - 0.0827459D \\ &\quad + (4.84908 \cdot 10^{-4})G + 5.307152 \\ R^2 &= 0.99129 \end{aligned}$$

4.3.2 น้ำส้ม

$$\begin{aligned} \varnothing_{\text{น้ำส้ม}} &= 0.003497A + 0.009268B - 0.031796C + 0.218909D \\ &\quad + (3.93027 \cdot 10^{-4})G - 0.531722 \\ R^2 &= 0.97668 \end{aligned}$$

4.3.3 น้ำสับปะรด

$$\begin{aligned} \varnothing_{\text{น้ำสับปะรด}} &= 0.010512A + 0.069906C - 1.397259D \\ &\quad + 4.975571 \\ R^2 &= 0.92128 \end{aligned}$$

4.3.4 น้ำแอปเปิ้ล

$$\begin{aligned} \varnothing_{\text{แอปเปิ้ล}} &= 0.001188A - 0.004600B + 0.075125C + 0.137881D \\ &\quad + (2.14615 \cdot 10^{-4})G - 0.417168 \\ R^2 &= 0.97953 \end{aligned}$$

4.3.5 น้ำแครอท

$$\begin{aligned} \varnothing_{\text{น้ำแครอท}} &= 0.005089A - 0.032886B + 0.160199C \\ &\quad - 1.340228D + 0.001283G + 6.566807 \\ R^2 &= 0.99605 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 น้ํามะเขือเทศ

$$\phi_{\text{น้ํามะเขือเทศ}} = 0.010627A + 0.009016B + (5.05378 \times 10^{-4})C + 1.042995D + 0.002799G - 3.564151$$

$$R^2 = 0.99969$$

- เมื่อ
- A = อุณหภูมิ (°C)
 - B = ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Brix)
 - C = ความหนืด (cP)
 - D = ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
 - G = อุณหภูมิ * ปริมาณของแข็งที่ละลายได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการพัฒนาอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว การสอบเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ตลอดจนการหาสมการทำนายค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลว สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น ได้รับการตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง โดยได้สมการสำหรับหาค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้อง คือ $\sigma_{ac} = 1.052300\sigma_{msa} - 0.018233$ โดยมีค่า $R^2 = 0.99391$

5.1.2 ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลว มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอุณหภูมิ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง

5.1.3 ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลว มีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ คือเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างเกือบเป็นเส้นตรง

5.1.4 ค่าความหนืดของตัวอย่างอาหารเหลวมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า คือเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงความหนืดน้อยๆ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความหนืดมาก

5.1.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของตัวอย่างอาหารเหลวมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า คือเมื่อ pH เพิ่มขึ้น พบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง แต่ลดลงอย่างไม่เป็นรูปแบบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การรั่วซึมของตัวอย่างอาหารตรงบริเวณขอบของขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งหากมีการรั่วซึมออกมาในปริมาณมาก จะมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง จึงควรใช้กาวซิลิโคนเป็นตัวซีลขั้วอิเล็กโทรดกับตัวเครื่องที่เป็นพลาสติกอะครีลิก ก่อนทำการประกบด้วยแผ่นยางประเก็นและแผ่นอะครีลิก

5.2.2 เทอร์โมมิเตอร์ที่เสียบเข้าไปในตัวเครื่องเพื่อวัดอุณหภูมิของตัวอย่างอาหาร อาจขัดขวางการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนชนิดของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมกว่า

5.2.3 เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างอาหารสูงจนเกิดการเดือด ฟองอากาศที่เกิดขึ้น จะขัดขวางการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้นจึงควรทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของอาหาร

5.2.4 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของตัวอย่างอาหารอย่างรวดเร็ว ทำให้การอ่านค่าของผู้ทดลองคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงควรใช้ระบบบันทึกข้อมูล ที่เป็น Data logger ซึ่งจะบันทึกข้อมูลได้ละเอียด ถูกต้อง และแม่นยำมากกว่า

เอกสารอ้างอิง

- ประมวล ศรีกาหลง. , 2539, "กระบวนการให้ความร้อนน้ำสับประรดด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้าโดยตรง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พงษ์ธร นวมานกร, 2540, "การพัฒนาระบบฆ่าเชื้อแบบ Ohmic." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
- อดิศักดิ์ สุขประเสริฐ. , 2541, "คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของอาหารที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อแบบ Ohmic." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
- American Public Health Association, 1981, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," 15th ed., Washington, D.C., APHA, pp. 70-73.
- APV. "Ohmic Heating Update." **Food Engineering**. (September 1993) : 39-42.
- De Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J., 1989, "A Finite-Element Analysis of Heat Generation and Transfer During Ohmic Heating of Food." **Chemical Engineering Science**, Vol. 45, No.6, pp. 1547-1559.
- De Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J., 1992, "Operability of The Ohmic Heating Process : Electrical Conductivity Effects." **Journal of Food Engineering**, Vol. 15, No. 1, pp. 21-48.
- Gupta , V.,1992, "Experimental Determination of Electrical Conductivity of Selected Fruit Juice." Thesis No.AE-92-10 . Bangkok. Asian Institute of Technology Bangkok Thailand
- Gupta, V. and Jindal, V.K., 1992, "Electrical Conductivity of Selected Fruit Juice." **Proceedings of The International Agricultural Engineering Conference**, 7-10 December 1992, Bangkok, pp. 1187-1195.
- Halden,K.,De Alwis , A.A.P. and P.J.,1990, "changes in the Electrical Conductivity of Foods During Ohmic Heating." **International Journal of Food Science and Technology** , Vol.25 :9-25.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Palaniappan, S. and Sastry, S.K., 1991, "Electrical Conductivity of Selected Food During Ohmic Heating." **Journal of Food Process Engineering**, Vol. 14, No. 3, pp. 221-236.

Palaniappan, S. and Sastry, S.K., 1991, "Modeling of Electrical Conductivity of Liquid-Particle Mixtures." **Food and Bioproducts Processing, Institution of Chemical Engineering**, Vol. 69, Part. C, pp. 167-174.

Sastry, S.K. and Sevugan, Palaniappan., 1992, "Influence of Particle Orientation on the Effective Electrical Resistance and Ohmic Heating Rate of a Liquid-Particle Mixture." **Journal of Food Process Engineer**, Vol.15 : 213-227.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น

ค่าการนำไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการ (Gupta,1992)

$$\varnothing = LI/VA$$

- เมื่อ \varnothing = ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง (ซีเมนต์/เมตร)
 I = กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงในตัวอย่าง (แอมแปร์)
 V = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ (โวลต์)
 L = ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (เมตร)
 A = ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด (ตารางเมตร)

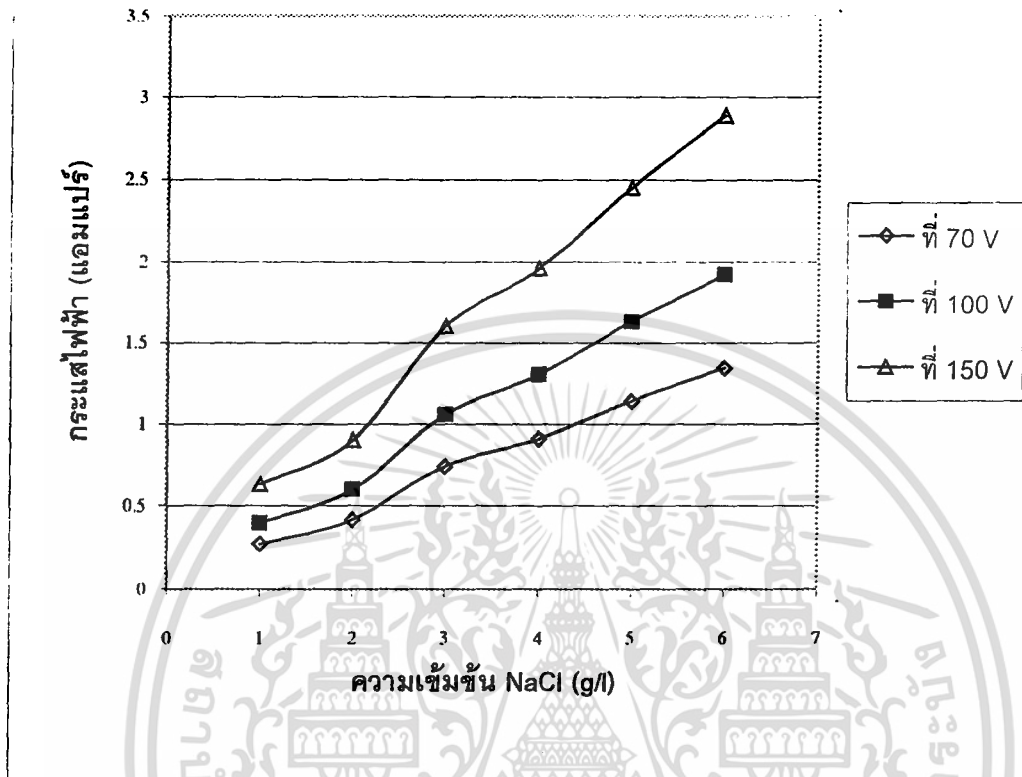
สำหรับเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น มีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (L) เท่ากับ 0.060 เมตร และมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรดแต่ละด้าน (A) เท่ากับ 0.001225 ตารางเมตร

ก.1 การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการวัดค่าต่างๆ สำหรับการคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 25 °C

ความเข้มข้น (g/l)	$I_{70\text{ v}}$	$\varnothing_{70\text{ v}}$	$I_{100\text{ v}}$	$\varnothing_{100\text{ v}}$	$I_{150\text{ v}}$	$\varnothing_{150\text{ v}}$	\varnothing เฉลี่ย
1	0.270	0.189	0.400	0.196	0.631	0.206	0.197
2	0.420	0.294	0.600	0.294	0.901	0.294	0.294
3	0.742	0.519	1.058	0.518	1.602	0.523	0.520
4	0.910	0.637	1.305	0.639	1.963	0.641	0.639
5	1.142	0.799	1.631	0.799	2.456	0.802	0.800
6	1.345	0.941	1.923	0.942	2.888	0.943	0.942

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าของกระแสไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆ

ก.2 การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของตัวอย่างอาหารเหลว

สามารถคำนวณค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของตัวอย่างอาหารเหลว โดยการแทนค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นลงในสมการที่ 4.1 นั่นคือ

$$\varnothing_{ac} = 1.052300\varnothing_{mea} - 0.018233$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.1 นมสด

อุณหภูมิ	Brix	ความหนืด (cP)	pH	ค่าการนำไฟฟ้า ที่วัดได้จาก เครื่อง (S/m)	ค่าการนำไฟฟ้า ที่ถูกต้อง (S/m)
30	5	2.00	6.55	0.248	0.243
40	5	2.00	6.55	0.307	0.305
50	5	2.00	6.55	0.363	0.364
60	5	2.00	6.55	0.421	0.425
70	5	2.00	6.55	0.483	0.490
80	5	2.00	6.55	0.546	0.556
30	10	2.80	6.51	0.447	0.452
40	10	2.80	6.51	0.551	0.562
50	10	2.80	6.51	0.648	0.664
60	10	2.80	6.51	0.749	0.770
70	10	2.80	6.51	0.852	0.878
80	10	2.80	6.51	0.951	0.983
30	15	5.60	6.44	0.589	0.602
40	15	5.60	6.44	0.702	0.720
50	15	5.60	6.44	0.833	0.853
60	15	5.60	6.44	0.974	1.007
70	15	5.60	6.44	1.110	1.150
80	15	5.60	6.44	1.242	1.289
30	20	8.50	6.53	0.662	0.678
40	20	8.50	6.53	0.813	0.837
50	20	8.50	6.53	0.952	0.984
60	20	8.50	6.53	1.102	1.141
70	20	8.50	6.53	1.258	1.306
80	20	8.50	6.53	1.412	1.467
30	25	24.50	6.40	0.738	0.758
40	25	24.50	6.40	0.916	0.946
50	25	24.50	6.40	1.078	1.116
60	25	24.50	6.40	1.245	1.292
70	25	24.50	6.40	1.415	1.471
80	25	24.50	6.40	1.608	1.678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.2 น้ำส้ม

อุณหภูมิ	Brix	ความหนืด (cP)	pH	ค่าการนำไฟฟ้า ที่วัดได้จาก เครื่อง (S/m)	ค่าการนำไฟฟ้า ที่ถูกต้อง (S/m)
30	5	10.00	3.75	0.195	0.187
40	5	10.00	3.75	0.233	0.227
50	5	10.00	3.75	0.276	0.272
60	5	10.00	3.75	0.326	0.325
70	5	10.00	3.75	0.376	0.377
80	5	10.00	3.75	0.423	0.427
30	10	10.60	3.89	0.296	0.293
40	10	10.60	3.89	0.360	0.361
50	10	10.60	3.89	0.438	0.442
60	10	10.60	3.89	0.508	0.516
70	10	10.60	3.89	0.586	0.598
80	10	10.60	3.89	0.662	0.678
30	15	11.30	3.77	0.377	0.378
40	15	11.30	3.77	0.462	0.468
50	15	11.30	3.77	0.544	0.554
60	15	11.30	3.77	0.630	0.546
70	15	11.30	3.77	0.723	0.743
80	15	11.30	3.77	0.817	0.842
30	20	12.50	3.69	0.431	0.435
40	20	12.50	3.69	0.531	0.541
50	20	12.50	3.69	0.633	0.648
60	20	12.50	3.69	0.755	0.776
70	20	12.50	3.69	0.875	0.903
80	20	12.50	3.69	0.984	1.017
30	25	14.50	3.77	0.441	0.446
40	25	14.50	3.77	0.546	0.556
50	25	14.50	3.77	0.657	0.673
60	25	14.50	3.77	0.787	0.810
70	25	14.50	3.77	0.928	0.958
80	25	14.50	3.77	1.070	1.108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.3 น้ำสับประรด

อุณหภูมิ	Brix	ความหนืด (cP)	pH	ค่าการนำไฟฟ้า ที่วัดได้จาก เครื่อง (S/m)	ค่าการนำไฟฟ้า ที่ถูกต้อง (S/m)
30	5	1.20	3.82	0.203	0.195
40	5	1.20	3.82	0.244	0.233
50	5	1.20	3.82	0.285	0.282
60	5	1.20	3.82	0.324	0.323
70	5	1.20	3.82	0.366	0.367
80	5	1.20	3.82	0.405	0.408
30	10	1.80	3.68	0.322	0.321
40	10	1.80	3.68	0.388	0.390
50	10	1.80	3.68	0.453	0.458
60	10	1.80	3.68	0.516	0.525
70	10	1.80	3.68	0.581	0.593
80	10	1.80	3.68	0.645	0.661
30	15	2.00	3.68	0.388	0.390
40	15	2.00	3.68	0.480	0.487
50	15	2.00	3.68	0.571	0.583
60	15	2.00	3.68	0.688	0.685
70	15	2.00	3.68	0.766	0.788
80	15	2.00	3.68	0.862	0.889
30	20	2.80	3.60	0.459	0.465
40	20	2.80	3.60	0.563	0.574
50	20	2.80	3.60	0.672	0.689
60	20	2.80	3.60	0.785	0.808
70	20	2.80	3.60	0.903	0.932
80	20	2.80	3.60	1.015	1.050
30	25	3.60	3.53	0.508	0.516
40	25	3.60	3.53	0.624	0.638
50	25	3.60	3.53	0.745	0.766
60	25	3.60	3.53	0.866	0.893
70	25	3.60	3.53	0.985	1.018
80	25	3.60	3.53	1.123	1.164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.4 น้ำแอปเปิล

อุณหภูมิ	Brix	ความหนืด (cP)	pH	ค่าการนำไฟฟ้า ที่วัดได้จาก เครื่อง (S/m)	ค่าการนำไฟฟ้า ที่ถูกต้อง (S/m)
30	5	0.30	3.18	0.100	0.870
40	5	0.30	3.18	0.119	0.107
50	5	0.30	3.18	0.141	0.130
60	5	0.30	3.18	0.162	0.152
70	5	0.30	3.18	0.183	0.174
80	5	0.30	3.18	0.205	0.197
30	10	0.90	3.23	0.152	0.142
40	10	0.90	3.23	0.183	0.174
50	10	0.90	3.23	0.215	0.208
60	10	0.90	3.23	0.247	0.242
70	10	0.90	3.23	0.278	0.274
80	10	0.90	3.23	0.311	0.309
30	15	1.10	3.14	0.186	0.177
40	15	1.10	3.14	0.224	0.217
50	15	1.10	3.14	0.265	0.261
60	15	1.10	3.14	0.309	0.307
70	15	1.10	3.14	0.351	0.351
80	15	1.10	3.14	0.394	0.396
30	20	1.30	3.17	0.312	0.206
40	20	1.30	3.17	0.263	0.259
50	20	1.30	3.17	0.314	0.312
60	20	1.30	3.17	0.368	0.369
70	20	1.30	3.17	0.423	0.427
80	20	1.30	3.17	0.477	0.484
30	25	1.60	3.11	0.219	0.212
40	25	1.60	3.11	0.274	0.270
50	25	1.60	3.11	0.330	0.329
60	25	1.60	3.11	0.394	0.396
70	25	1.60	3.11	0.457	0.462
80	25	1.60	3.11	0.521	0.530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.5 น้ำแครอท

อุณหภูมิ	Brix	ความหนืด (cP)	pH	ค่าการนำไฟฟ้า ที่วัดได้จาก เครื่อง (S/m)	ค่าการนำไฟฟ้า ที่ถูกต้อง (S/m)
30	5	1.00	4.80	0.479	0.486
40	5	1.00	4.80	0.583	0.595
50	5	1.00	4.80	0.687	0.704
60	5	1.00	4.80	0.792	0.815
70	5	1.00	4.80	0.896	0.925
80	5	1.00	4.80	1.000	1.034
30	8	1.20	4.64	0.682	0.699
40	8	1.20	4.64	0.829	0.854
50	8	1.20	4.64	0.976	1.009
60	8	1.20	4.64	1.125	1.166
70	8	1.20	4.64	1.274	1.322
80	8	1.20	4.64	1.423	1.479
30	11	1.80	4.67	0.813	0.837
40	11	1.80	4.67	0.997	1.031
50	11	1.80	4.67	1.181	1.225
60	11	1.80	4.67	1.366	1.419
70	11	1.80	4.67	1.551	1.614
80	11	1.80	4.67	1.737	1.810
30	14	2.10	4.58	0.982	1.015
40	14	2.10	4.58	1.210	1.255
50	14	2.10	4.58	1.439	1.496
60	14	2.10	4.58	1.667	1.736
70	14	2.10	4.58	1.896	1.977
80	14	2.10	4.58	2.126	2.219
30	17	2.60	4.58	1.049	1.086
40	17	2.60	4.58	1.293	1.342
50	17	2.60	4.58	1.537	1.599
60	17	2.60	4.58	1.781	1.856
70	17	2.60	4.58	2.025	2.113
80	17	2.60	4.58	2.271	2.371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.6 น้ำมะเขือเทศ

อุณหภูมิ	Brix	ความหนืด (cP)	pH	ค่าการนำไฟฟ้า ที่วัดได้จาก เครื่อง (S/m)	ค่าการนำไฟฟ้า ที่ถูกต้อง (S/m)
30	5	150	3.68	1.069	1.107
40	5	150	3.68	1.313	1.363
50	5	150	3.68	1.557	1.620
60	5	150	3.68	1.802	1.878
70	5	150	3.68	20.46	2.135
80	5	150	3.68	2.291	2.393
30	8	218	3.71	1.461	1.519
40	8	218	3.71	1.759	1.833
50	8	218	3.71	2.058	2.147
60	8	218	3.71	2.357	2.462
70	8	218	3.71	2.655	2.776
80	8	218	3.71	2.944	3.080
30	11	548	3.76	1.893	1.974
40	11	548	3.76	2.297	2.399
50	11	548	3.76	2.672	2.794
60	11	548	3.76	3.077	3.220
70	11	548	3.76	3.471	3.634
80	11	548	3.76	3.866	4.050
30	14	796	3.66	2.169	2.264
40	14	796	3.66	2.647	2.767
50	14	796	3.66	3.125	3.270
60	14	796	3.66	3.602	3.772
70	14	796	3.66	4.081	4.276
80	14	796	3.66	4.559	4.779

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

สารละลายโซเดียมคลอไรด์

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Listwise Deletion of Missing Data

Equation Number 1 Dependent Variable.. VAR00003

Block Number 1. Method: Enter VAR00002

Variable(s) Entered on Step Number
1.. VAR00002

Multiple R .99695
 R Square .99391
 Adjusted R Square .99239
 Standard Error .02649

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	.45813	.45813
Residual	4	.00281	.00070

F = 652.66786 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
VAR00002	1.052300	.041190	.996950	25.547	.0000
(Constant)	-.018233	.025676		-.710	.5168

End Block Number 1 All requested variables entered.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นมสด

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Listwise Deletion of Missing Data

Equation Number 1 Dependent Variable.. F

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
A B C D G

Variable(s) Entered on Step Number
5.. A

Multiple R .99563
R Square .99129
Adjusted R Square .99100
Standard Error .03517

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	5	21.11274	4.22255
Residual	150	.18555	.00124

F = 3413.51151 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
A	.005557	4.2809E-04	.225572	12.980	.0000
B	.022071	.001437	.510071	15.354	.0000
C	-.013109	4.5947E-04	-.532042	-28.531	.0000
D	-.827459	.081087	-.145945	-10.205	.0000
G	4.84908E-04	2.1985E-05	.725820	22.057	.0000
(Constant)	5.307152	.531605		9.983	.0000

End Block Number 1 POUT = .100 Limits reached.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำส้ม

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Listwise Deletion of Missing Data

Equation Number 1 Dependent Variable.. F

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
 A B C D G

Variable(s) Entered on Step Number
 5.. D

Multiple R .98827
 R Square .97668
 Adjusted R Square .97590
 Standard Error .03745

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	5	8.80956	1.76191
Residual	150	.21039	.00140

F = 1256.18181 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
A	.003497	4.5584E-04	.218130	7.671	.0000
B	.009268	.001624	.329134	5.706	.0000
C	-.031796	.002752	-.466343	-11.554	.0000
D	.218909	.053413	.075622	4.098	.0001
G	3.93027E-04	2.3410E-05	.903987	16.789	.0000
(Constant)	-.531722	.189566		-2.805	.0057

End Block Number 1 POUT = .100 Limits reached.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำสับประรด

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Listwise Deletion of Missing Data

Equation Number 1 Dependent Variable.. F

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
A B C D GVariable(s) Entered on Step Number
3.. DMultiple R .95984
R Square .92128
Adjusted R Square .91967
Standard Error .06797

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	3	7.89463	2.63154
Residual	146	.67453	.00462

F = 569.59258 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
A	.010512	3.7895E-04	.647735	27.741	.0000
C	.069906	.002899	.560882	24.117	.0000
D	-1.397259	.061812	-.527108	-22.605	.0000
(Constant)	4.975571	.226310		21.986	.0000

----- Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
B	-.020521	-.065632	.805209	-.792	.4296
G	-.002622	-.008247	.778613	-.099	.9210

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำแอปเปิด

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Listwise Deletion of Missing Data

Equation Number 1 Dependent Variable.. F

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
 A B C D G

Variable(s) Entered on Step Number
 5.. B

Multiple R .98971
 R Square .97953
 Adjusted R Square .97871
 Standard Error .01568

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	5	1.45934	.29187
Residual	124	.03049	.00025

F = 1186.87413 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
A	.001188	2.1504E-04	.166392	5.522	.0000
B	-.004600	.001386	-.303825	-3.318	.0012
C	.075125	.016878	.306211	4.451	.0000
D	.137881	.059960	.051904	2.300	.0231
G	2.14615E-04	1.2967E-05	.925509	16.551	.0000
(Constant)	-.417168	.192411		-2.168	.0321

End Block Number 1 POUT = .100 Limits reached.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำแครอท

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Listwise Deletion of Missing Data

Equation Number 1 Dependent Variable.. F

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
A B C D G

Variable(s) Entered on Step Number
5.. B

Multiple R .99803
R Square .99605
Adjusted R Square .99592
Standard Error .03311

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	5	41.52240	8.30448
Residual	150	.16446	.00110

F = 7574.45974 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
A	.005089	4.6601E-04	.147659	10.920	.0000
B	-.032886	.006868	-.325942	-4.788	.0000
C	.160199	.031349	.299393	5.110	.0000
D	-1.340228	.129347	-.196549	-10.361	.0000
G	.001283	3.4495E-05	.861518	37.197	.0000
(Constant)	6.566807	.620224		10.588	.0000

End Block Number 1 POUT = .100 Limits reached.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมะเขือเทศ

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Listwise Deletion of Missing Data

Equation Number 1 Dependent Variable.. F

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
 A B C D G

Variable(s) Entered on Step Number
 5.. B

Multiple R .99985
 R Square .99969
 Adjusted R Square .99967
 Standard Error .01607

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	5	81.83369	16.36674
Residual	98	.02531	.00026

F = 63361.72289 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
A	.010627	3.1559E-04	.179669	33.673	.0000
B	.009016	.002791	.034084	3.231	.0017
C	5.05378E-04	2.8390E-05	.148204	17.801	.0000
D	1.042995	.044336	.044281	23.525	.0000
G	.002799	3.1325E-05	.752338	89.353	.0000
(Constant)	-3.564151	.162748		-21.900	.0000

End Block Number 1 POUT = .100 Limits reached.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

1. นางสาวบุญทวี แสงพรหม

เกิดวันที่ 20 กันยายน 2520

ภูมิลำเนา จังหวัดนครราชสีมา

การศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนพิมายวิทยา พ.ศ.2539
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต(เทคโนโลยีการหมัก) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2543

2. นางสาวอมรพรรณ สิงขรโทย

เกิดวันที่ 21 พฤษภาคม 2522

ภูมิลำเนา จังหวัดสตูล

การศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย พ.ศ.2539
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต(วิศวกรรมแปรรูปอาหาร) จ เกสสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้