ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดในอาหารด้วยระบบโอห์มมิค

(The study of conductivity value of acid in food with Ohmic system)

จัดทำโดย

นางสาวธิรนันท์	จงอรุณงามแสง	รหัสนักศึกษา 47040865
นายศราวุธ	จากโพชน์	รหัสนักศึกษา 47040892
นางสาวอรพิน	ปรีดา	รหัสนักศึกษา 47040899

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

ประมาณ ฝึกหวง ..... 21 / มิถุ. / 51 **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(ประมาณ ฝึกหวง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดในอาหารด้วยระบบโอห์มมิค

(The study of conductivity value of acid in food with Ohmic system)

นางสาวชิรนันท์	จงอรุณงามแสง	รหัสนักศึกษา 47040865
นายศราวุธ	จากโพชน์	รหัสนักศึกษา 47040892
นางสาวอรพิน	ปรีดา	รหัสนักศึกษา 47040899

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 85436
วัน,เดือน,ปี 11 พ.ย. 2551

b 12009891
i.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธิรนันท์ จงอรุณงามแสง , ศราวุธ จากโพชน์ และอรพิน ปรีดา 2550 – 2551 : การศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดในอาหารด้วยระบบโอห์มมิค (The study of conductivity value of acid in food with Ohmic system) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ประมวล ศรีกาหลง

บทคัดย่อ

ปัจจุบันค่าการนำไฟฟ้าของอาหารมีบทบาทสำคัญในกระบวนการอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น โดยเฉพาะการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง (Ohmic heating) การเกิดความร้อนด้วยวิธีนี้เรียกว่า "การเกิดความร้อนแบบโอห์มมิค" เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปในอาหารที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ ซึ่งจะทำให้อาหารเกิดความร้อนอย่างรวดเร็ว และพร้อมกันทุกจุด นอกจากนี้ สำหรับการผลิตอาหารที่เป็นกรด กรดจะสามารถแตกตัวเป็นไอออนอิสระเช่นเดียวกับเกลือ กรดจึงเป็นสารอิเลคโทรไลท์ (electrolytic solution) ซึ่งมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ ค่าการนำไฟฟ้าถือว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเพิ่มอุณหภูมิในอาหารในกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิค ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาหาค่าการนำไฟฟ้าของกรดที่ใช้ในอาหารเชิงอุตสาหกรรม โดยสร้างอุปกรณ์จำลองการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิค เพื่อวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดตัวอย่างในอาหารที่ระดับ pH ต่าง ๆ กัน ได้แก่ สารละลายกรดซิตริก แลคติก มาลิก และอะซิติก ที่ระดับ pH 2 , 3 , 4 และ 5 จากการทดลองพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดแต่ละชนิดมีค่าแปรผันตรงกับอุณหภูมิและมีค่าแปรผกผันตามระดับ pH ซึ่งข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับอาหารที่มีกรดเป็นองค์ประกอบในกระบวนการให้ความร้อนด้วยระบบโอห์มมิค

ธิรนันท์ จงอรุณงามแสง
(นางสาวธิรนันท์ จงอรุณงามแสง)

ศราวุธ จากโพชน์
(นายศราวุธ จากโพชน์)

อรพิน ปรีดา	ประมวล ศรีกาหลง	21 / มี.ค. / 51
(นางสาวอรพิน ปรีดา)	(ดร. ประมวล ศรีกาหลง)	วัน/เดือน/ปี
ลายมือชื่อนักศึกษา	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือสนับสนุนจากหลายๆ ท่านโดยเฉพาะอาจารย์ประมวล ศรีกาหลง อาจารย์ระจิตร สุวพานิชย์ และอาจารย์กิตติชัย บรรจง ที่คอยกรุณาให้คำปรึกษาช่วยเหลือแก้ไขปัญหาและแนวคิดอีกทั้งยังได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ในขณะที่ทำการศึกษาค้นคว้าทดลอง จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณพี่เอกและเพื่อนทุกๆคนที่คอยให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา ร่วมทั้งทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีหลักสูตรปัญหาพิเศษนี้ขึ้น

รายงานนี้สำเร็จด้วยดีเนื่องจากความดีงามและความมีน้ำใจของทุกท่าน ที่ได้กล่าวมาข้างต้น และต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้าน คณะผู้จัดทำขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ธิรนันท์ จงอรุณงามแสง

(นางสาวธิรนันท์ จงอรุณงามแสง)

ศราวุธ จากโพธิ์

(นายศราวุธ จากโพธิ์)

อรพิน ปรีดา

(นางสาวอรพิน ปรีดา)

18 มีนาคม 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
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 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิค	3
2.2 ทฤษฎีกรด	8
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง	12
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	12
3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง	17
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
4.1 ผลการสอบเทียบ (Calibration) ความถูกต้องของอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น	21
4.2 ผลการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดตัวอย่างที่ระดับ pH เดียวกัน	23
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	30
5.1 สรุปผลการทดลอง	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก ก	35
ภาคผนวก ข	40
ภาคผนวก ค	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ระดับความเป็นกรดของอาหารบางชนิด 9

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณจากการทดลองหาค่าการนำไฟฟ้าของ 23
สารละลาย NaCl 0.1 โมลาร์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดชนิดต่างๆที่ pH 2 23

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดชนิดต่างๆที่ pH 3 24

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดชนิดต่างๆที่ pH 4 25

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดชนิดต่างๆที่ pH 5 26

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า ในการคำนวณ 35
หาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์

ตาราง ก.2 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดแต่ละชนิดที่ 36
ระดับ pH 2,3,4 และ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	แสดงระบบพื้นฐานของกระบวนการให้ความร้อนแบบ Ohmic	4
ภาพที่ 3.1	แสดงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ	12
ภาพที่ 3.2	แสดงมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter)	13
ภาพที่ 3.3	แสดงมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า (Ampmeter)	13
ภาพที่ 3.4	แสดงสวิตช์ปิด-เปิด (Circuit breaker)	14
ภาพที่ 3.5	แสดงสายไฟฟ้า	14
ภาพที่ 3.6	แสดงมิเตอร์แสดงค่าอุณหภูมิของสารละลาย (Thermostat)	15
ภาพที่ 3.7	แสดงอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ	15
ภาพที่ 3.8	แสดงกล่องอะคริลิก	16
ภาพที่ 3.9	แสดงแผ่นสแตนเลส	16
ภาพที่ 3.10	แสดงตัวเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า	18
ภาพที่ 3.11	แสดงการประกอบตัวเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า	18
ภาพที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิเปรียบเทียบค่าอ้างอิงกับ ค่าจากการทดลองของสารละลายโซเดียมคลอไรด์	22
ภาพที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของสารละลายกรดชนิด ต่าง ๆ ที่ pH 2	24
ภาพที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของสารละลายกรดชนิด ต่าง ๆที่ pH 3	25
ภาพที่ 4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของสารละลายกรดชนิด ต่าง ๆที่ pH 4	26
ภาพที่ 4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆที่ pH 5	27
ภาพที่ 4.6	กราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับระดับ pH ของกรด acetic	28
ภาพที่ 4.7	กราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับระดับ pH ของกรด citric	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.8 กราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับระดับ pH ของกรด lactic 29

ภาพที่ 4.9 กราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับระดับ pH ของกรด malic 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของการศึกษา

ผลิตภัณฑ์อาหารที่บริโภคย่อมมีจุลินทรีย์ และมีการเสื่อมเสียเกิดขึ้นแตกต่างกัน ตามองค์ประกอบของอาหารนั้นๆ ดังนั้น ในปัจจุบันได้มีการแบ่งชนิดของอาหารตามระดับความเป็นกรดด่าง โดยอาหารกรด (Acid food) จะมีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 เช่น มะนาว ส้ม มะยม ฝรั่ง และอาหารกรดต่ำ (Low acid food)จะมีค่า pH สูงกว่า 4.5 เช่น เนื้อ นม ปลา ไข่ กรดของอาหาร (acidity) มีความสำคัญต่อคุณภาพอาหารใน ด้านต่างๆ เช่น กลิ่นรส เคมี จุลชีววิทยาและการแปรรูป จึงมีการเติมกรดบางชนิด เช่น กรดซิตริค กรดแลกติก กรดมาลิก ลงในอาหารชนิดกรดต่ำบางตัว เรียกว่า อาหารปรับกรด (Acidified food) เพื่อให้อาหารมีความคงตัวดีมีสีตามต้องการ ป้องกันการเกิดสารสีน้ำตาลในผักผลไม้ที่ปอกเปลือกหรือหั่นแล้ว รวมทั้งลดอุณหภูมิในการให้ความร้อนเนื่องจากอาหารบางอย่าง เมื่อได้รับความร้อนสูง สภาพผนังเซลล์ถูกทำลาย เนื้อที่ได้จึงเหลวและเกิดสีคล้ำไม่น่ารับประทาน

การให้ความร้อนอาหาร โดยใช้กระแสไฟฟ้าหรือการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิค (Ohmic heating) เป็นเทคนิคการให้ความร้อนโดยตรงแก่อาหาร โดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในอาหารซึ่งมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ สารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เรียกว่า “สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic solution)” เช่น สารละลายกรดเกลือ ถ้าเป็นกรดที่มีปริมาณการแตกตัว 100% มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีมาก เรียกว่า กรดแก่ ได้แก่ H_2SO_4 , HCl , HBr , HI , HNO_3 และ $HClO_4$ ถ้าเป็นกรดที่มีปริมาณการแตกตัวน้อยมีความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำ เรียกว่า กรดอ่อนได้แก่ กรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์อื่น ๆ รวมทั้งกรดที่ใส่ในอาหาร ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อาหารร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอทำให้ภายในเนื้ออาหารเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและพร้อมกันทุกจุด กระบวนการนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แก้ไขปัญหาด้านการความร้อนไม่ทั่วถึงและลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและมีการนำไปพัฒนาใช้ในกระบวนการผลิตอาหารด้านความร้อนต่างๆ เช่น การพาสเจอร์ไรส์ การสเตอริไลส์และการลวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิค
2. หาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดตัวอย่างในอาหารด้วยกระบวนการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิค
3. เปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดตัวอย่างในอาหารที่ระดับความเข้มข้นกรด (pH) เดียวกันเพื่อหาความเหมาะสมในการให้ความร้อนแบบโอห์มมิค

1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ

1.สร้างชุดการทดลองการให้ความร้อนแบบโอห์มมิค เพื่อวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย
2. สอบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ได้สร้างขึ้น
3. ศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายของกรดแต่ละชนิด ในแต่ละระดับ pH พร้อมทั้งแสดงความสัมพันธ์ออกมาในรูปของกราฟ
4. หาสมการค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบกระบวนการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิค
2 .สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของสารละลายกรดได้
3. สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับ pH ของสารละลายกรดตัวอย่างแต่ละชนิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิค

กระบวนการให้ความร้อนแบบ Ohmic heating เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน โดยอาศัยค่าความต้านทานของอาหารที่มีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถวัดค่าได้ในรูปคุณสมบัติ การนำไฟฟ้าของอาหารสามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าแก่อาหารเหลวจะเกิดกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านเข้าไปในอาหารเหลวนั้น ทำให้เกิดพลังงานความร้อนมากขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณมาก

2.1.1 กฎของโอห์ม

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

1.) ในวงจรใด ๆ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรนั้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้า

I (กระแสไฟฟ้า) ∝ E (แรงดันไฟฟ้า)

2.) ในวงจรใด ๆ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรนั้นจะเป็นปฏิภาคโดยกลับกับความต้านทานไฟฟ้า

I ∝ 1 / R (ความต้านทาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรวมความสัมพันธ์ทั้ง 2 เข้าด้วยกัน และเมื่อ K เป็นค่าคงที่ของตัวนำไฟฟ้า จะได้สูตร

$$I \propto 1/R$$

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

เพราะว่า $K = 1$

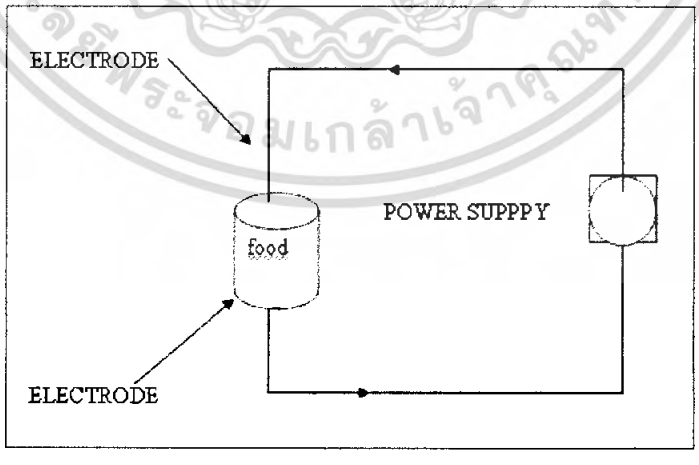
$$I \propto E/R$$

$\propto$ หมายถึง แปรผัน

K หมายถึง ค่าคงที่

2.1.2 หลักการพื้นฐานของการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิค

กระบวนการให้ความร้อนแบบ Ohmic heating เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน โดยอาศัยค่าความต้านทานของอาหารที่มีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถวัดค่าได้ในรูปคุณสมบัติ การนำไฟฟ้าของอาหารสามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าแก่อาหารเหลวจะเกิดกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านเข้าไปในอาหารเหลวนั้น ทำให้เกิดพลังงานความร้อนมากขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณมาก ซึ่งสามารถนำประโยชน์จากกระบวนการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลว



ภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการให้ความร้อนแบบ Ohmic heating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการให้ความร้อนในกระบวนการ Ohmic heating นี้ ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเป็นตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเป็นตัวกำหนดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น โดยค่าการนำไฟฟ้านี้เราจะพิจารณาได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{iL}{Av} \qquad (2.1)$$

σ = ค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร (S / m)

A = พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเลคโทรด (m^2)

i = กระแสไฟฟ้า (ampere)

L = ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (m)

v = แรงดันไฟฟ้า (volt)

โดยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ohmic นี้จะเป็นไปตามสมการ

$$Q = \sigma_T E^2 \qquad (2.2)$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อน (Watt / m^3)

E = ความเข้มสนามไฟฟ้า (V / m)

σ_T = ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารที่อุณหภูมิใดๆ (S / m)

การที่จะคำนวณการกระจายอุณหภูมิในกระบวนการ ohmic ให้ถูกต้องตรงกับความเป็นจริงต้องใช้การคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อน เช่น การใช้วิธี Finite element ซึ่งต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำที่มากและใช้เวลานาน แต่เราสามารถสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์อย่างง่าย โดยสมมติสภาวะการต่างๆเพื่อทำให้การคำนวณง่ายขึ้น และเป็นไปได้ในการปฏิบัติดังนี้ คือ

- ตัวอย่างอาหารอยู่นิ่ง
- การนำและการพาความร้อนระหว่างของเหลวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอุณหภูมิทุกๆจุดของอาหารจะมีค่าเท่ากัน
- ความเข้มของสนามไฟฟ้ามีให้แก่ระบบมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารมีความสม่ำเสมอในทุกจุด
- ระบบไม่มีการสูญเสียความร้อน
- อัตราการเกิดความร้อนไม่ขึ้นกับตำแหน่งภายในเครื่องให้ความร้อน

2.1.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์สำหรับการให้ความร้อนแบบโอห์มมิค

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

Palaniappan และ Sastry (1991) สร้างเซลล์โดยใช้ท่อแสตนเลสยาว 12.5 นิ้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 / 16 นิ้ว ด้านในของท่อสแตนเลสมีปลอกเทฟลอนสวมอยู่ (เพื่อให้เป็นฉนวนไฟฟ้า) ส่วนกลางท่อมีปล่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 / 16 นิ้ว สำหรับใส่ตัวอย่างและเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด T (T-type thermocouple) ที่ปลายทั้งสองด้านของท่อ มีขั้วไฟฟ้าที่ทำจากแผ่นโรเดียม (Rhodium plated stainless steel electrodes) สวมอยู่กับ Teflon pressure caps และ Compression fittings

เซลล์ของ Gupta และ Jindal (1992) ประกอบด้วย ท่ออคริลิก (Acrylic) ยาว 8 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 เซนติเมตร ที่ปลายทั้ง 2 ด้านของท่อ มีขั้วไฟฟ้าที่ทำจากแผ่นสแตนเลสติดอยู่กับซีลยางและแผ่นประกบ โดยใช้น็อตและสกรูเป็นตัวยึดให้แน่น ตามแนวยาวของท่อมีช่องสำหรับเสียบเทอร์โมคัปเปิ้ล 3 ช่อง โดยช่องหนึ่งเสียบที่ตำแหน่งกลางของท่อ ส่วนอีก 2 ช่องที่เหลืออยู่ห่างจากปลายท่อข้างละ 1 เซนติเมตร

2.1.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร

1.) อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหารสำหรับตัวอย่างอาหารเหลว

Fryer และ คณะ (1993) สร้างอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าสำหรับอาหารเหลวประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ระบบไฟฟ้าที่ป้อนที่มีแรงดันไฟฟ้า 240 โวลท์ ความถี่ 50 เฮิร์ต หม้อแปลงไฟฟ้าปรับแรงดันได้เครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า, เครื่องบันทึกอุณหภูมิ, สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค (K-type thermocouples) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ที่ปลายสายจะหุ้มด้วยโพลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนการผ่านไฟฟ้ากระแสสลับไปยังอาหารที่มีต่อระบบการวัดอุณหภูมิเครื่องคอมพิวเตอร์ใช้ในการบันทึกข้อมูลและควบคมการทำงานของระบบ ขั้วอิเลคโทรด 2 ขั้วทำจากแผ่นสแตนเลส (Stainless steel) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 7.5*7.5 เซนติเมตร เซลล์สำหรับการให้ความร้อนแบบ ohmic (Electric cell) ทำจากกล่องพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนขนาด 7.0*7.77*18.4 เซนติเมตร

Gupta และ Jindal (1992) พัฒนาเซลล์สำหรับหารให้ความร้อนแบบ ohmic ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากตัวอย่างอาหารสู่ภายนอก โดยตัวเซลทำจากท่ออะคริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 มิลลิเมตร ความยาว 80 มิลลิเมตร ที่ปลายท่อทั้งสองด้านมีขั้วอิเลคโทรดทำจากแผ่นเหล็กไร้สนิม 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 เครื่องคอมพิวเตอร์และเซลล์สำหรับให้ความร้อนแบบโอห์มมิค ซึ่งทำจากท่อสแตนเลสความยาว 12.5 นิ้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15/16 นิ้ว ด้านในท่อสแตนเลสมีปลอกเทฟลอนทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าสวมอยู่ ตรงกลางท่อติดตั้งท่อขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 5/16 นิ้ว สำหรับบรรจุตัวอย่างอาหารและเสียบสายเทอร์โมคัปเปิล ที่ปลายท่อทั้งสองด้านมีขั้วอิเลคโทรดซึ่งทำจากแผ่นโรเดียม (Rhodium plated stainless steel electrode)

2.) อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าสำหรับอาหารชิ้น

Miitchell และ De Alwis (1989) พัฒนาอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าสำหรับชิ้นอาหารที่ความถี่ 50 เฮิร์ต อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เซลล์สำหรับสร้างความร้อนแบบ Ohmic ทำจากท่อที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1 เซนติเมตร วางในแนวตั้งมีตัวยึดทั้งด้านบนและด้านล่าง ปลายท่อด้านล่างมีขั้วอิเลคโทรดยึดติดอยู่ ส่วนปลายท่อด้านบนขั้วอิเลคโทรดถูกยึดติดไว้ที่ปลายหัวกดที่สามารถเลื่อนขึ้นลงได้ เพื่อให้ขั้วอิเลคโทรดสัมผัสผิวหน้าของชิ้นอาหารที่มีความยาวต่างๆ กัน

Palaniappan และ Saatry (1991)สร้างเซลล์สำหรับให้ความร้อนแบบ Ohmic โดยตัวเซลล์ทำจากท่อสแตนเลส และมีปลอกเทฟลอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.35 เซนติเมตร ซ้อนอยู่ภายใน ที่ปลายทั้งสองด้านของท่อมีขั้วอิเลคโตรดที่ทำจากแผ่นโลหะโรเดียม โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วอิเลคโทรด 1 เซนติเมตร หลังจากปล่อยกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่แรงดันไฟฟ้า 60 โวลต์ ความถี่ 60 เฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านตัวอย่าง จะมีการบันทึกอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยอุปกรณ์ที่ใช้บันทึกข้อมูลดังกล่าวจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบ

2.2 ทฤษฎีกรด

กรด คือ สารประกอบที่มีไฮโดรเจนประกอบอยู่ เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) แต่ไฮโดรเจนไอออนไม่ได้อยู่เป็นไอออนเดี่ยว แต่จะรวมตัวกับน้ำ (H_2O) ได้เป็นไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+)

2.2.1 ชนิดของกรด

กรดอนินทรีย์ หรือเรียกอีกอย่างว่า "กรดแร่" (ทฤษฎีกรด-เบส ,1887) คือกรดที่เกิดจากแร่ธาตุ กรดประเภทนี้มักเป็นกรดที่มีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรง เช่น กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) หรือกรดเกลือ (กรดน้ำย่อย) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) หรือกรดกำมะถัน (กรดในแบตเตอรีรถยนต์) และกรดไนตริก (Nitric Acid) หรือกรดดินประสิว เป็นต้น

กรดอินทรีย์ เป็นกรดที่ได้จากพืชหรือสัตว์ มักเป็นกรดที่มีฤทธิ์กัดกร่อนไม่รุนแรง แตกตัวในน้ำเป็นไอออนได้น้อย เช่น กรดคาร์บอนิก (Carbonic Acid) , รดแอซิติก (Acetic Acid) , กรดซิตริก (Citric Acid) , กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) เป็นต้น

2.2.2 การจำแนกชนิดของอาหารตามความเป็นกรดด่าง

ความเป็นกรด (acidity) มีความสำคัญต่อคุณภาพอาหารในด้านต่าง ๆ เช่น กลิ่นรส เคมี จุลชีววิทยาและการแปรรูป เป็นต้น ความเป็นกรดของอาหารหาได้โดยการวัดค่า pH และการไทเทรต ค่า pH มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ $H3O^+$ ในอาหารแต่ไม่สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณกรดได้เพราะกรดในอาหารเป็นกรดอ่อน ดังนั้นค่า pH จึงใช้ในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น

1.) อาหารกรด (Acid food) อาหารกลุ่มนี้มีค่า pH ต่ำกว่า4.5 ตัวอย่างเช่น มะนาว ส้ม มะยม ฝรั่ง นมเปรี้ยว เป็นต้น

2.) อาหารกรดต่ำ (Low acid food) อาหารกลุ่มนี้มีค่า pH สูงกว่า 4.5 ตัวอย่างเช่น เนื้อ นม ปลา ไข่ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ระดับความเป็นกรดของอาหารบางชนิด

ตัวอย่างอาหาร	ค่า pH โดยประมาณ
มะนาวและส้มเปรี้ยวอื่นๆ	2.3-2.6
น้ำส้มสายชู	2.4-2.8
ไวน์	2.8-3.2
สตรอเบอรี	3.3-3.4
ผักดอง	3.5-4.0
นมเปรี้ยว	4.0-4.5
เบียร์	4.1-4.3
มันฝรั่ง	5.4-5.8

2.2.3 วัตถุเจือปนอาหารที่นิยมใช้เพื่อปรับคงวามเป็นกรด-ด่างของอาหารที่สำคัญได้แก่

1.) กรดซิตริก (Citric acid) ใช้ในอาหารทะเลบรรจุกระป๋อง กุ้งแช่เยือกแข็ง น้ำผลไม้ ผักและผลไม้บรรจุกระป๋อง และไอศครีม

2.) กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) ใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อปูบรรจุกระป๋อง และผงโกโก้

3.) กรดมาลิก (Malic acid) ใช้กับผลิตภัณฑ์ผักบรรจุกระป๋อง น้ำผลไม้ แยมและเยลลี่ น้ำมะเขือเทศเข้มข้น แตงกวาดอง ไอศครีม

4.) กรดแล็กติก (Lactic acid) ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็ก มะเขือเทศเข้มข้น

5.) กรดอะซิติก (Acetic acid) ใช้กับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้บรรจุกระป๋อง

6.) แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ใช้กับผลิตภัณฑ์โกโก้ผงและอาหารเสริม

7.) แคลเซียมซิเตรต (Calcium citrate) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้คือ ไอศครีม แยม และเยลลี่

8.) โซเดียมซิเตรต (Sodium citrate) ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเสริม แยมและเยลลี่ ไอศครีม และเนยเทียม

9.) โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ ได้แก่ เนย โกโก้ผง แยม มะเขือเทศเข้มข้น ไอศครีมและเยลลี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การนำไฟฟ้าของสารละลายกรด

สารละลายที่นำไฟฟ้าได้เรียกว่า " สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic solution) " เช่น สารละลายกรดเกลือ

- ถ้านำไฟฟ้าได้มาก เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์ แก่ (strong electrolyte) เช่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์

- ถ้านำไฟฟ้าได้น้อย เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน (weak electrolyte) เช่น สารละลายกรดอะซิติก

- ถ้าเป็นสารละลายที่ไม่นำไฟฟ้า เรียกว่า " สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ (Non-electrolytic solution) " เช่น สารละลายกลูโคส

การที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ นำไฟฟ้าได้ เพราะในสารละลายมีไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้า เรียกว่า ไอออนบวก และไอออนลบ กล่าวคือ เมื่อสารละลายในน้ำจะมีการแตกตัวออกเป็นสองส่วน และมีประจุตรงกันข้ามกัน แต่ละส่วนเรียกว่า " ไอออน " ไอออนส่วนหนึ่งจะมีประจุไฟฟ้าบวก เรียกว่า " ไอออนบวก " ไอออนอีกส่วนหนึ่งจะมีประจุไฟฟ้าลบเรียกว่า " ไอออนลบ " (มีปริมาณเท่ากับไอออนบวก) เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า ไอออนบวกจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าลบ และ ไอออนลบจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าบวก ไอออนบวกที่เคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าลบจะไปรับประจุลบหรืออิเล็กตรอน ส่วนไอออนลบที่เคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าบวกจะเป็นตัวพาประจุลบไปให้ขั้วไฟฟ้าไหลวนเวียนกันอยู่ในสารละลาย จึงก่อให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้น

2.2.5 สมบัติทั่วไปของสารละลายกรด

1.) มีรสเปรี้ยวและมีฤทธิ์กัดกร่อน

2.) มีค่า pH น้อยกว่า 7

3.) นำไฟฟ้าได้

4.) เปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ได้ โดยสามารถเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง เปลี่ยนสีฟีนอล์ฟทาลีนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี และเฉพาะกรดแร่เปลี่ยนสีสารละลายเจนเชียนไวโอเล็ตจากสีม่วงเป็นสีเขียวหรือน้ำเงิน ส่วนกรดจากพืชจะไม่เปลี่ยนสีเจนเชียนไวโอเล็ต

5.) ทำปฏิกิริยากับโลหะบางชนิดได้ก๊าซ H โลหะ + กรด --> เกลือ + H_2

6.) กรด ทำปฏิกิริยากับเบส จะได้ เกลือ และน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.) กรดรวมกับ สารประกอบคาร์บอเนต หรือ สารประกอบไฮโดรเจนคาร์บอเนต ผลที่ได้คือ เกลือ + น้ำ +CO_2

2.2.6 วัตถุประสงค์ใช้ปรับความเป็นกรด – ด่าง (Acidity Regulator)

ซึ่งจะแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น

1.) เพื่อให้อาหารมีความคงตัวดี เช่น การเติมแยม เยลลี่ ต้องปรับสภาพความเป็นกรดให้พอดี ถ้ากรดมากเกินไป ผลิตภัณฑ์จะเละ

2.) เพื่อให้อาหารมีสีตามต้องการ เช่น น้ำกระเจี๊ยบ จะมีสีแดงสด เมื่อมีความเป็นกรดสูงพอดี ถ้าความเป็นกรดต่ำลง คือ มีความเป็นด่างมากขึ้น จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

3.) เพื่อป้องกันการเกิดสารสีน้ำตาลในผักผลไม้ที่ปอกเปลือกหรือหั่นแล้ว ถ้าจุ่มหรือแช่ผักผลไม้เหล่านั้นในสารละลายกรด เช่น กรดซิตริก น้ำมะนาว จะป้องกันการเกิดสารสีน้ำตาลได้ เพื่อปรุงแต่งกลิ่น รส ให้ผลิตภัณฑ์อาหาร กรดชนิดต่าง ๆ ที่เติมลงไปในอาหารช่วยเพิ่มกลิ่นรส เช่น ทำให้มีรสเปรี้ยวรวมทั้งกลิ่นเฉพาะ เช่น กรดทาร์ทาริกจะให้รสองุ่นและรสมะขาม หรือกรดมาลิกจะให้รสแอปเปิ้ล เป็นต้น

นอกจากนี้ อาหารปรับกรด (Acidified food) บางตัว เพื่อลดอุณหภูมิในการให้ความร้อน เนื่องจากอาหารบางอย่างเติมกรดบางชนิด เช่น ขนุน ลูกตาล เมื่อได้รับความร้อนสูง จะเปลี่ยนสภาพผนังเซลล์ถูกทำลาย เนื้อที่ได้จึงเหลวและ ผู้บริโภคไม่ยอมรับ หรือ ลำไย ว่านหางจระเข้จะเกิดสีคล้ำไม่น่ารับประทานเมื่อได้รับความร้อนสูง ๆ นอกจากนี้การปรับกรดยังช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ดีอีกด้วย แต่ใช่ว่าอาหารทุกชนิดจะสามารถปรับกรดได้ทุกตัว ขึ้นอยู่กับการยอมรับของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

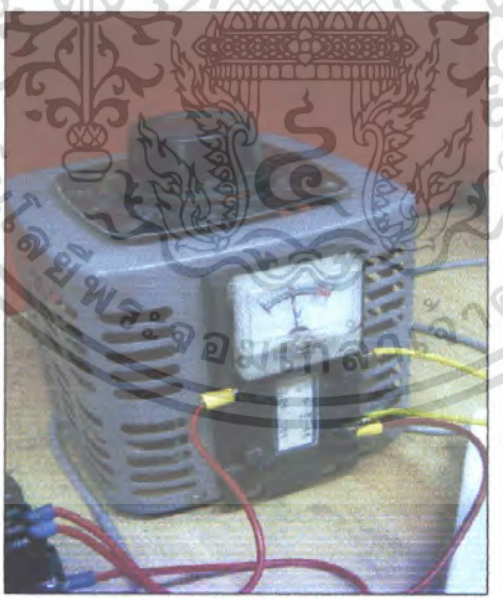
บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ การสร้างอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้า และการสอบเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์ ส่วนที่สอง คือ การวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดตามระดับความเข้มข้นที่ pH ต่างๆ

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์ในระบบวงจรไฟฟ้า

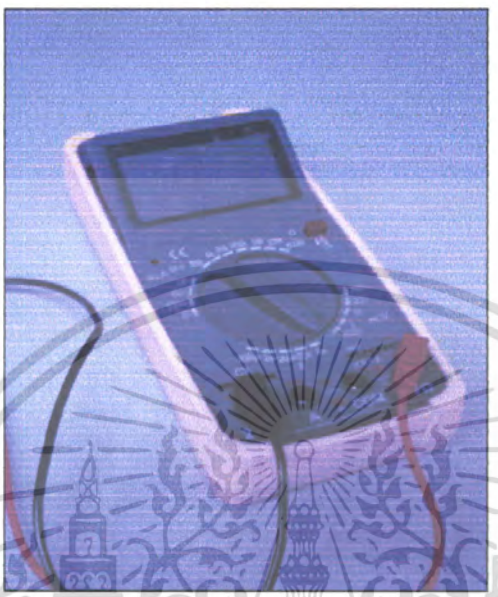
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (Regulator transformer)



ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter)



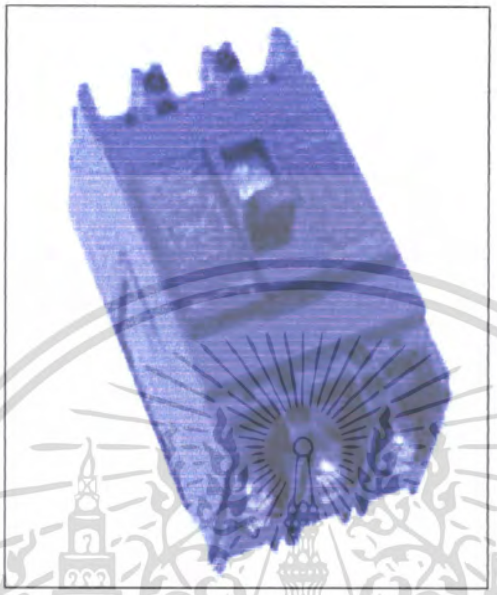
ภาพที่ 3.2 แสดงมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter)

- มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า (Ampmeter)

ภาพที่ 3.3 แสดงมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า (Ampmeter)

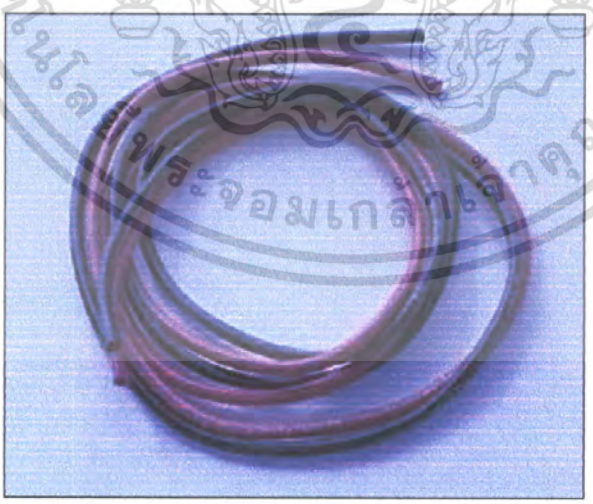
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สวิตช์ปิด-เปิด (Circuit breaker)



ภาพที่ 3.4 แสดงสวิตช์ปิด-เปิด (Circuit breaker)

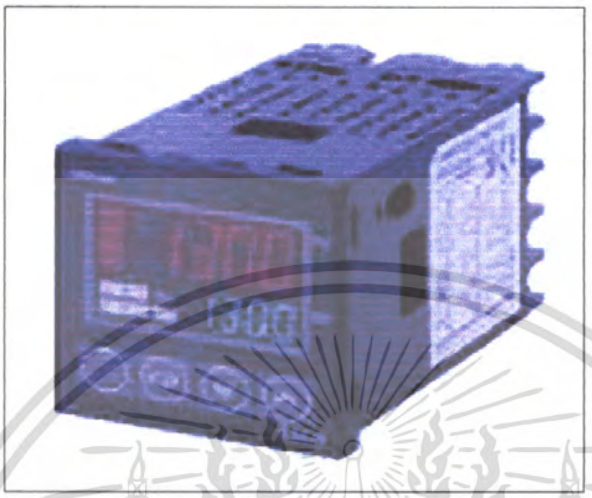
- สายไฟฟ้าแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.5 แสดงสายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มิเตอร์แสดงค่าอุณหภูมิของสารละลาย (Thermostat)



ภาพที่ 3.6 แสดงมิเตอร์แสดงค่าอุณหภูมิของสารละลาย (Thermostat)

- อุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ (Resistance Temperature Detector : RTD PT 100 Ω)

ภาพที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ

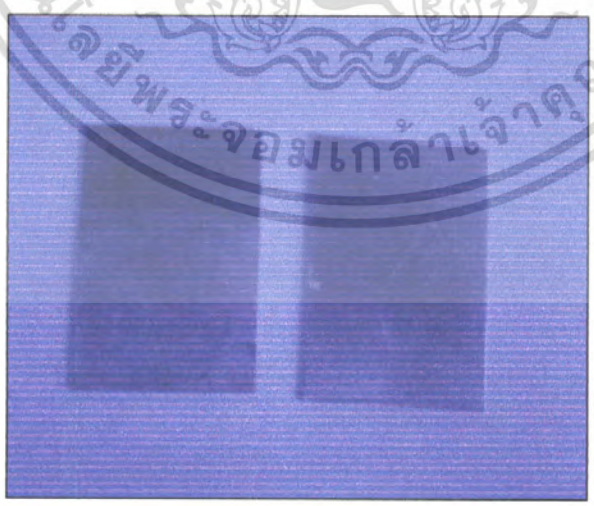
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์ทางเทคนิค

- กล่องอะคริลิก หนา 5 มิลลิเมตร ขนาด 7 x 7 x 7 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ภาพที่ 3.8 แสดงกล่องอะคริลิก

- แผ่นสแตนเลส หนา 0.5 มิลลิเมตร ขนาด 6 x 8 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.9 แสดงแผ่นสแตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.1.3 อุปกรณ์วิเคราะห์ทางเคมี

- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH meter)
- บีกเกอร์
- ขวดวัดปริมาตร

3.1.4 สารละลายที่ใช้

- สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ระดับความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
- สารละลายกรดซิตริกที่ระดับ pH 2 ,3 ,4 และ 5
- สารละลายกรดอะซิติกที่ระดับ pH 2 ,3 ,4 และ 5
- สารละลายกรดมาลิกที่ระดับ pH 2 ,3 ,4 และ 5
- สารละลายกรดแลคติกที่ระดับ pH 2 ,3 ,4 และ 5

3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.2.1 การสร้างอุปกรณ์ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า

เพื่อให้อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องในการวัด จำเป็นต้องอาศัยสมมติฐานสำหรับการคำนวณค่าการนำไฟฟ้าดังนี้

สมมติฐานสำหรับการคำนวณค่าการนำไฟฟ้า

- ตัวอย่างอาหารอยู่ในระบบนิ่ง (Static system)
- การกระจายของสนามไฟฟ้าในระบบเกิดขึ้นเฉพาะในส่วนของสารละลายตัวอย่างเท่านั้น
- กระแสไฟฟ้าที่วิ่งระหว่างขั้วอิเลคโทรดทั้ง 2 ขั้วกระจายเต็มพื้นที่หน้าตัดขวางของขั้วอิเลคโทรด
- ค่าการนำไฟฟ้าไม่ขึ้นกับตำแหน่ง
- อุณหภูมิของสารละลายตัวอย่างกระจายอย่างสม่ำเสมอไม่ขึ้นกับตำแหน่ง
- คุณสมบัติทางความร้อน , ทางเคมี และทางกายภาพของอาหารไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ
- ระบบไม่มีการสูญเสียความร้อน

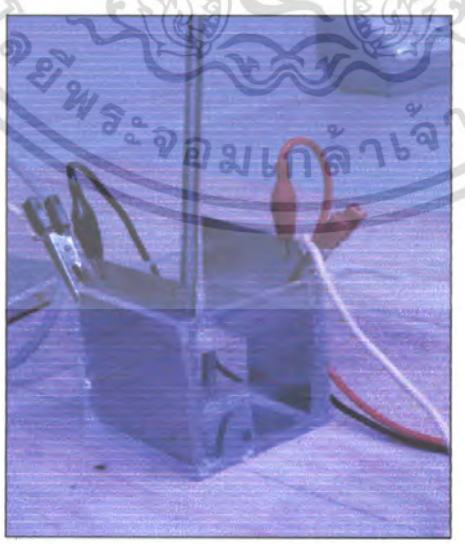
85436

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) ตัวเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้าใช้แผ่นพลาสติกอะครีลิกใสหนา 0.5 เซนติเมตร ประกอบเป็นรูปกล่องทรงสี่เหลี่ยม ขนาดภายนอก 7 x7 x7 เซนติเมตร วัดขนาดภายในกล่องขนาด 6 x 6 x 5 เซนติเมตร เชื่อมติดด้วยกาวไดคลอโรมีเทนและเคลือบด้วยซิลิโคนเพื่อป้องกันการรั่ว

2.)ขั้วอิเลคโทรดที่ใช้คือ แผ่นสแตนเลส จำนวน 2 แผ่น ขนาด 6x 8 เซนติเมตร มาประกบในเซลล์ทั้งสองด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน

ภาพที่ 3.10 แสดงตัวเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า



ภาพที่ 3.11 แสดงการประกอบตัวเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การสอบเทียบ (Calibration) ความถูกต้องของชุดการทดลองวัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

ในการศึกษานี้ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบ โดยเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ มาวัดค่าการนำไฟฟ้าจากอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น โดยปรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็น 30 โวลต์ (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) จากนั้นเปิดสวิตช์ เบรกเกอร์ให้กระแสไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าและอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในวงจร ที่อุณหภูมิของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 40 , 50 , 60 , 70 , 80 องศาเซลเซียส (ต้องบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าทันที เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์จะมีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า) นำค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงในสารละลาย , ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ , ระยะห่างระหว่างขั้วอิเลคโทรด และขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเลคโทรด มาคำนวณค่าการนำไฟฟ้า เมื่อได้ค่าการนำไฟฟ้าแล้วให้นำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ มาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง ซึ่งมีหน่วยของค่าการนำไฟฟ้าเป็นซีเมนต์ต่อเมตร (S/m) โดยการเขียนกราฟและหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับค่าการนำไฟฟ้าอ้างอิง

ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะแสดงให้เห็นว่า เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่าได้ถูกต้องมากน้อยเพียงไร ขณะเดียวกันความสัมพันธ์ที่ได้จะนำไปเป็นสมการที่จะใช้เป็นค่าแก้สำหรับค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้านี้ โดยจะแทนค่าการนำไฟฟ้าจากการทดลองของสารละลายที่วัดด้วยเครื่องโอห์มิคที่สร้างขึ้นนี้ลงในสมการ และทำการคำนวณให้ได้ค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้อง

3.2.2 การวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดตัวอย่าง

1.) นำตัวอย่างสารละลายกรดแต่ละชนิดมาปรับ pH ให้มีระดับ pH 2 , 3 ,4 และ 5 ด้วยเครื่องวัด pH (pH meter) แล้วนำตัวอย่างสารละลายกรดแต่ละชนิดที่ระดับ pH ต่างๆมาวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยชุดทดลองโอห์มมิค ทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าจากมิเตอร์วัดค่ากระแส โดยบันทึกอุณหภูมิที่ทุก ๆ 10 °C ที่เปลี่ยนไป ในแต่ละระดับ pH จะทำการทดลองซ้ำ โดยแต่ละซ้ำของการทดลองจะให้ค่าแรงดัน 50 –100 โวลต์ จากนั้นนำค่าต่างๆ คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่านลงในสารละลาย ค่าแรงดันที่ใช้ ระยะห่างระหว่างขั้วอิเลคโทรดที่ 2 ขั้ว และขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเลคโทรด มาคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้า และนำค่าการนำไฟฟ้าที่คำนวณได้ไปแทนค่าลงในสมการที่หาไว้ จากข้อ 3.2.1 จะได้ค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของตัวอย่างสารละลายกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องกับอุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดแต่ละชนิดในแต่ละระดับ pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

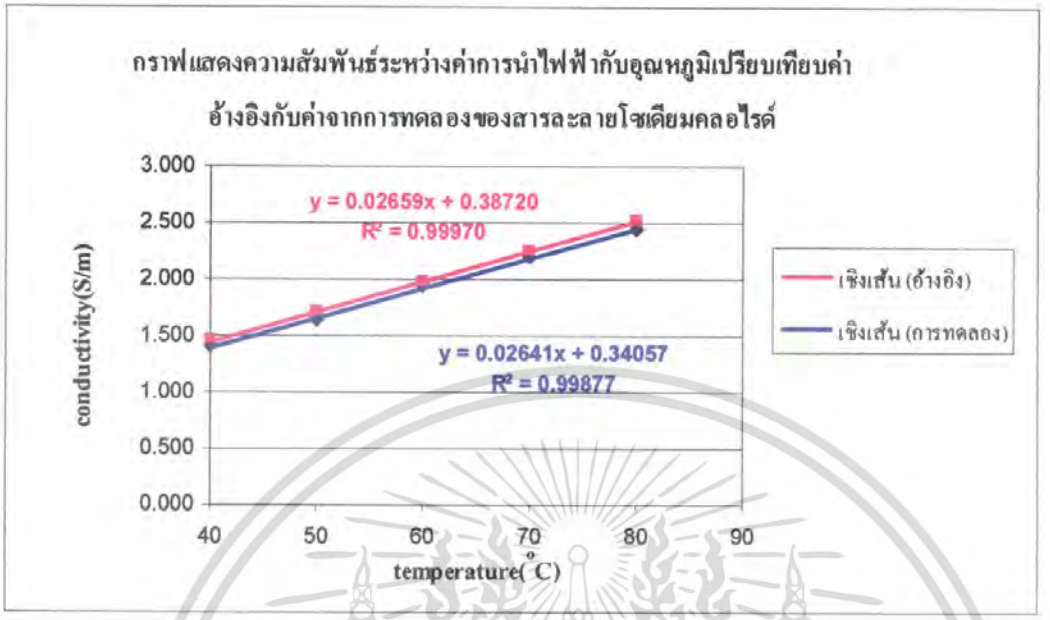
4.1 ผลการสอบเทียบ (Calibration) ความถูกต้องของอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

ความถูกต้องของอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้ ตรวจสอบได้โดยเปรียบเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างที่วัดได้จริงกับค่าจากเอกสารอ้างอิง ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบโดยวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 40 , 50 , 60 ,70 และ 80 $^{\circ}$C มาคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณจากการทดลองหาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย NaCl 0.1 โมลาร์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์

อุณหภูมิ ($^{\circ}$C)	กระแส (Amp)	โวลต์ (Volt)	ต้านทาน (Ohm)	ค่าความนำไฟฟ้าจากการทดลอง (S/m)	ค่าการนำไฟฟ้าอ้างอิง (S/m)
40	2.103	29.900	14.216	1.407	1.458
50	2.440	29.800	12.213	1.638	1.713
60	2.873	29.633	10.313	1.939	1.977
70	3.243	29.600	9.126	2.191	2.242
80	3.627	29.600	8.162	2.450	2.523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิเปรียบเทียบค่าอ้างอิงกับค่าจากการทดลองของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

สมการเชิงเส้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิ

อ้างอิง $y = 0.02659x + 0.38720$

การทดลอง $y = 0.02641x + 0.34057$

$$\% \text{ ความผิดพลาด} = \frac{(\text{ค่าอ้างอิง} - \text{ค่าจากการทดลอง}) \times 100}{\text{ค่าจากการทดลอง}}$$

$$= \frac{(0.02659 - 0.02641) \times 100}{0.02641}$$

$$= 0.68\ \%$$

พิจารณาภาพที่ 4.1 พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการนำค่าความชันของทั้ง 2 สมการมาเปรียบเทียบกันได้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0.68 % และสังเกตว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเพิ่มขึ้นด้วยโดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากได้ใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่วัดได้จากเครื่องสร้างขึ้นกับค่าการนำไฟฟ้าอ้างอิงหรือค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้อง เป็นดังสมการ

$$\sigma_{\text{อ้างอิง}} = 1.006\,\sigma_{\text{ทดลอง}} + 0.045 \qquad (4.1)$$

โดยที่ $\sigma_{\text{อ้างอิง}}$ คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้อง

$\sigma_{\text{ทดลอง}}$ คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น

$R^2 = 0.99861$

จากสมการที่ 4.1 ที่ได้นี้จะนำไปใช้เพื่อหาค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของตัวอย่างสารละลายกรดต่างๆ ในอาหารต่อไป

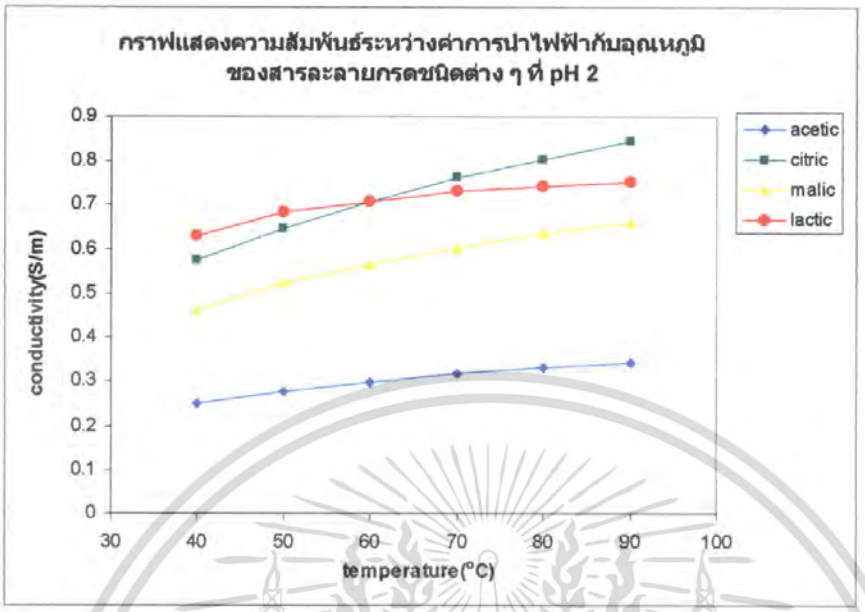
4.2 ผลการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดตัวอย่างที่ระดับ pH เดียวกัน

หลังจากที่ได้นำสมการที่ 4.1 มาหาค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ก. ซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก กรดซิตริก กรดมาลิก กรดแลคติก ที่ระดับ pH 2 , 3 ,4 และ 5 เป็นดังตารางที่ 4.2 , 4.3 , 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดชนิดต่างๆ ที่ pH 2

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ ที่ pH 2				
temp(°C)	acetic acid	citric acid	malic acid	lactic acid
40	0.250	0.576	0.461	0.629
50	0.277	0.646	0.522	0.684
60	0.299	0.710	0.564	0.709
70	0.317	0.763	0.603	0.732
80	0.331	0.803	0.638	0.743
90	0.341	0.845	0.661	0.754

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



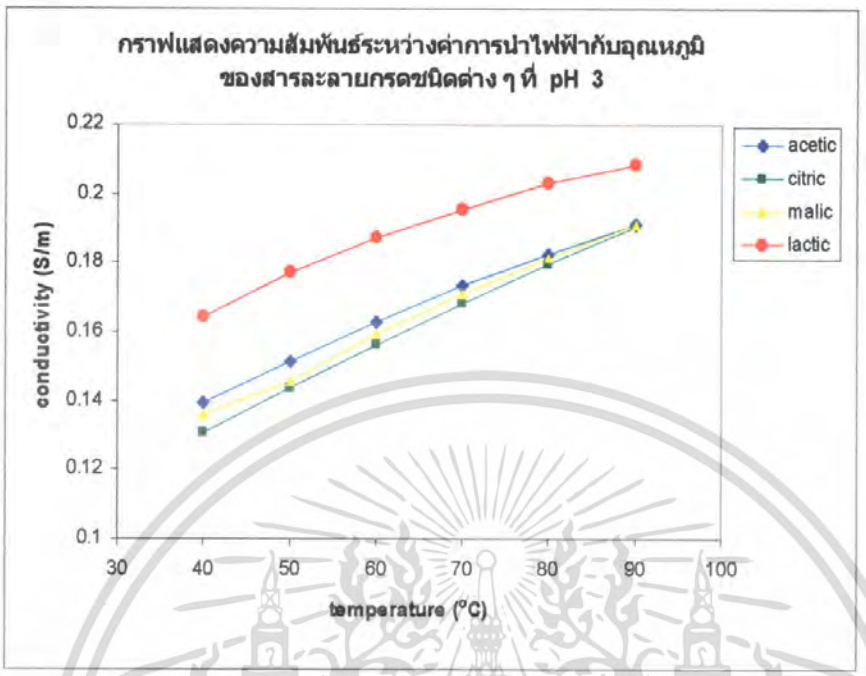
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ ที่ pH 2

จากภาพที่ 4.2 พบว่าสารละลายกรดที่ระดับ pH 2 ค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยกรดแลคติกจะมีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุดในช่วงแรก แต่เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 60 °C ขึ้นไปกรดซิตริกจะนำไฟฟ้าได้สูงสุด และกรดอะซิติกจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ ที่ pH 3

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ ที่ pH 3				
temp(°C)	**acetic acid**	**citric acid**	**malic acid**	**lactic acid**
40	0.139	0.131	0.136	0.164
50	0.152	0.144	0.145	0.177
60	0.163	0.156	0.160	0.187
70	0.173	0.168	0.171	0.196
80	0.183	0.180	0.182	0.203
90	0.191	0.191	0.191	0.209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



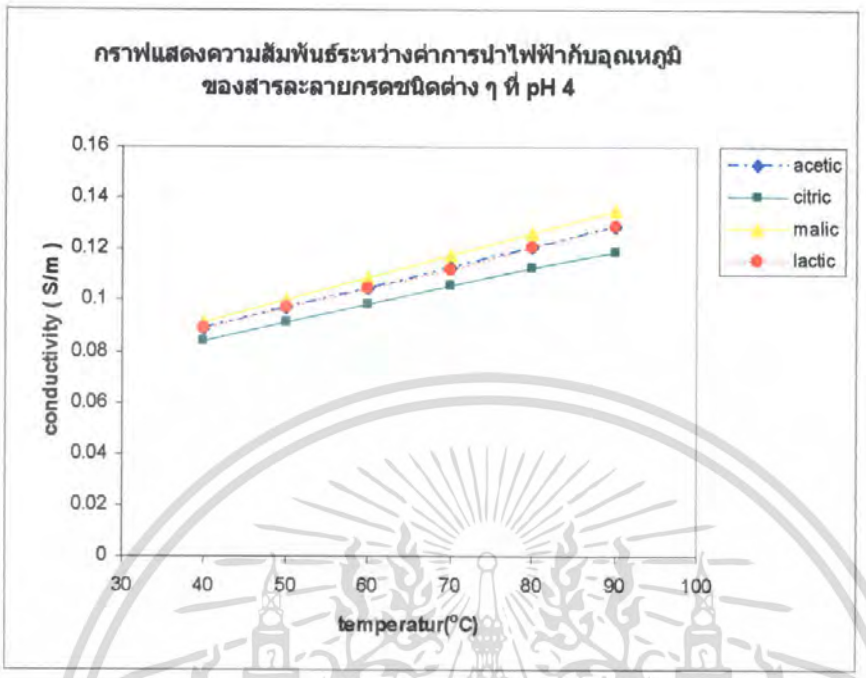
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆที่ pH 3

จากภาพที่ 4.3 พบว่าสารละลายกรดที่ระดับ pH 3 ค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยกรดแลคติกจะมีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุด และกรดซิตริกจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด

ตารางที่ 4. 4 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆที่ pH 4

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ ที่ pH 4				
temp(°C)	acetic acid	citric acid	malic acid	lactic acid
40	0.089	0.084	0.091	0.089
50	0.097	0.091	0.100	0.097
60	0.105	0.098	0.109	0.104
70	0.113	0.106	0.117	0.112
80	0.121	0.113	0.126	0.121
90	0.129	0.119	0.135	0.129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



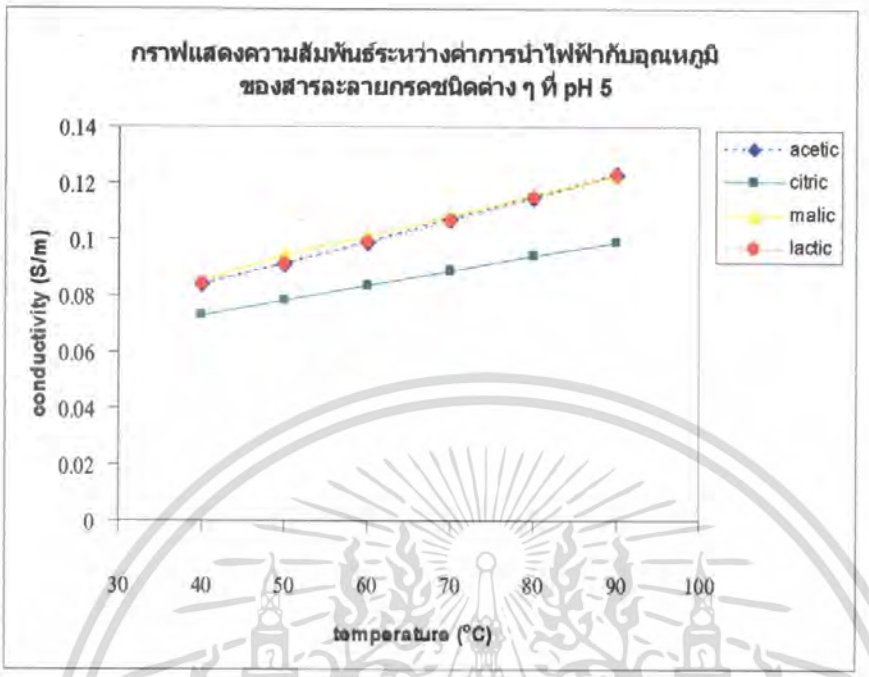
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆที่ pH 4

จากภาพที่ 4.4 พบว่าสารละลายกรดที่ระดับ pH 4 ค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยกรดมาลิกจะมีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุด และกรดซิตริกจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆที่ pH 5

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ ที่ pH 5				
temp(°C)	acetic acid	citric acid	malic acid	lactic acid
40	0.084	0.073	0.085	0.084
50	0.091	0.078	0.094	0.091
60	0.099	0.083	0.101	0.099
70	0.107	0.089	0.108	0.107
80	0.115	0.094	0.116	0.115
90	0.123	0.099	0.123	0.123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของสารละลายกรดชนิดต่าง ๆที่ pH 5

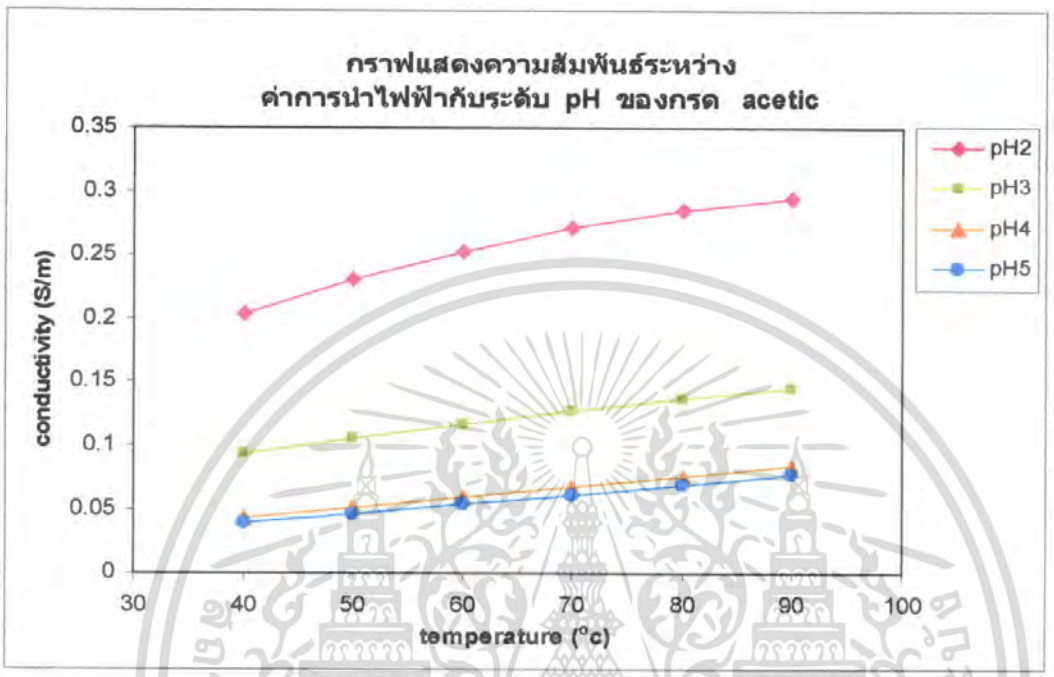
จากภาพที่ 4.5 พบว่าสารละลายกรดที่ระดับ pH 5 ค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยกรดมาลิกจะมีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุด และกรดซิตริกจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

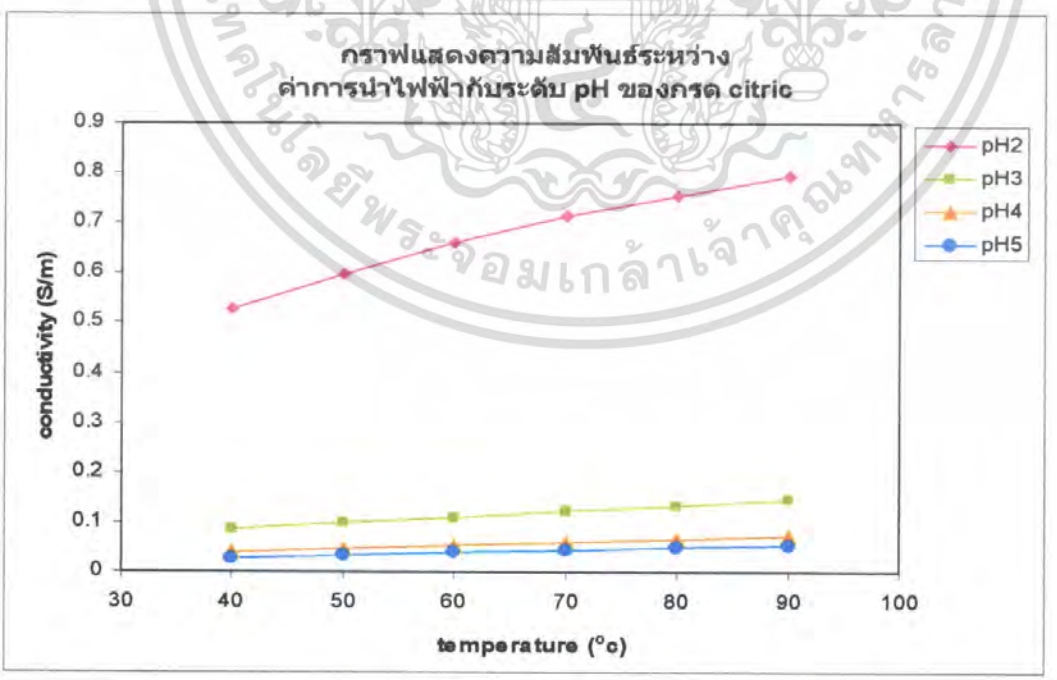
ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดแต่ละชนิด มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอุณหภูมิ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นจากการแตกตัวของกรด ทำให้เกิดเป็นไอออนอิสระที่สามารถนำไฟฟ้าได้ กราฟความสัมพันธ์ที่ได้จึงมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และค่าความเป็นกรด (pH) ของสารละลายมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า คือ ค่าการนำไฟฟ้าแปรผันตรงกับอุณหภูมิและการแตกตัว และแปรผกผันกับ pH มีแนวโน้มการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเดียวกันที่กรดต่างชนิดกัน แสดงดังภาพต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 กราฟผลการทดลอง

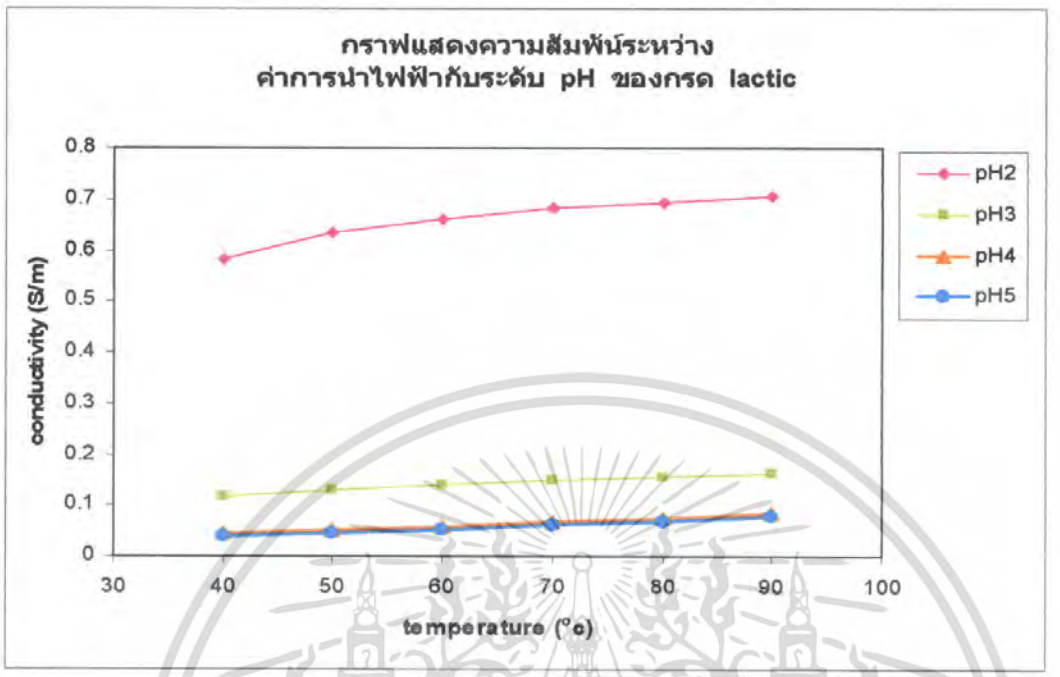


ภาพที่ 4.6 กราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับระดับ pH ของกรด acetic

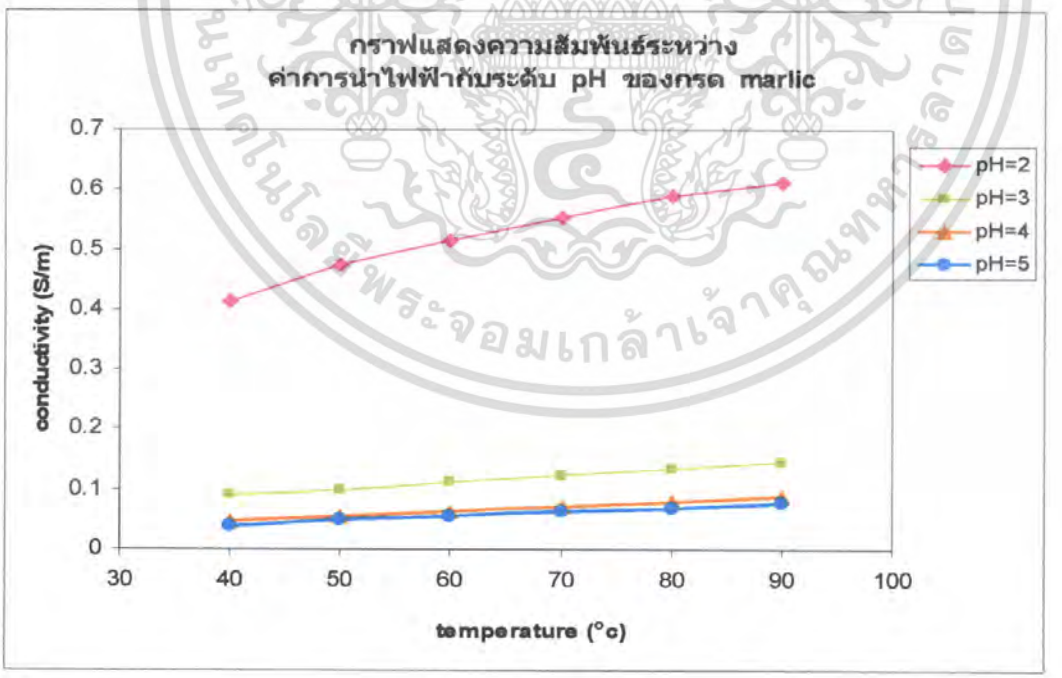


ภาพที่ 4.7 กราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับระดับ pH ของกรด citric

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 กราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับระดับ pH ของกรด lactic



ภาพที่ 4.9 กราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับระดับ pH ของกรด malic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1 . ชุดทดลองโอห์มมิคที่สร้างขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ ซึ่งได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงโดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0.68 % และได้สมการสำหรับหาค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องคือ $\sigma_{ถูกต้อง} = 1.006\,\sigma_{ทดลอง} + 0.045$

2. ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดแต่ละชนิด มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอุณหภูมิ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นจากการแตกตัวของกรด ทำให้เกิดเป็นไอออนอิสระที่สามารถนำไฟฟ้าได้ กราฟความสัมพันธ์ที่ได้จึงมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง

3. ค่าความเป็นกรด (pH) ของสารละลายมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า คือ เมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรดสูง (pH ต่ำ) แสดงถึงปริมาณไอออนอิสระที่มากขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนมากขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระดับค่าความเป็นกรด

4. แนวโน้มการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเดียวกันที่กรดต่างชนิดกัน แต่ค่าการนำไฟฟ้าไม่เท่ากัน คือ กรดต่างชนิดกันจะมีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุดที่ pH 2 รองลงมาคือ pH 3 , 4 และ 5 ตามลำดับ แต่มีค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละ pH ไม่เท่ากัน

5. ระดับ pH น้อยลงความแตกต่างของค่านำไฟฟ้ายิ่งมากขึ้นจนกระทั่ง pH 2 กับ pH 3 จะความแตกต่างมากในทุกกรดตัวอย่าง คือ ในสารละลายกรดทุกตัวอย่างที่ระดับ pH ยิ่งต่ำความแตกต่างระหว่างค่าการนำไฟฟ้าก็จะยิ่งมาก โดยจะมีความแตกต่างกันมากที่สุดที่ pH 2 และ pH 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิค

1. การรั่วของเซลล์โอห์มมิคที่ใช้ในชุดทดลองจะทำให้ปริมาตรลดลง ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการรั่วซึมของเซลล์ ในการประกอบเซลล์จึงต้องมีการเคลือบด้วยซิลิโคนบริเวณรอยต่อด้วย

2. ที่ระดับ pH แตกต่างกันกรดแต่ละชนิดจะมีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถระบุได้ว่ากรดชนิดใดมีค่าการนำไฟฟ้าได้ดีที่สุดหรือมีค่าการนำไฟฟ้าได้น้อยที่สุด เนื่องจากขึ้นอยู่กับระดับ pH ของสารละลาย

3. ค่าการนำไฟฟ้าที่หามาได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการให้ความร้อนของกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ ด้วยกระบวนการการให้ความร้อนแบบโอห์มมิค

4. ในการประกอบเซลล์โอห์มมิคจะต้องให้ผู้ที่มีความชำนาญ มิฉะนั้นจะทำให้กล่องเซลล์อะคริลิกเกิดความคลาดเคลื่อนในเรื่องของปริมาตร และส่งผลต่อขนาดของขั้วอิเลคโทรด(แผ่นสแตนเลสที่ประกบด้านในของเซลล์) ที่ไม่พอดี ทำให้มีปัญหาในการประกอบ

5. การอ่านค่าปริมาตรสารละลายตัวอย่างด้วยสายตา ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในเรื่องปริมาตร ซึ่งส่งผลต่อค่าที่แสดงทางมิเตอร์วัด

6. แผ่นสแตนเลสที่ใช้เป็นขั้วอิเลคโทรด หากปล่อยให้สนิมจะมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าที่หาได้จากการทดลอง ซึ่งส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมีค่าสูง

7. เมื่ออุณหภูมิของสารละลายตัวอย่างสูงจนเดือด ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะขัดขวางการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเลคโทรด ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าการนำไฟฟ้า ดังนั้นควรวัดค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต .2535. "วิศวกรรมแปรรูปอาหาร:การถนอมอาหาร" ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร . คณะเทคโนโลยีการเกษตร . สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .กรุงเทพ

ฤทธิชัย อัศวราชันย์ และจิตใจ อัญชลีกิจ. 2542. " การออกแบบและศึกษาเครื่องทำความร้อนระบบโอห์มมิคฮีตเตอร์สำหรับน้ำผลไม้ (Design and Study on Ohmic Heating for fruit juice)" . ปริญญานิพนธ์ . ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร . คณะวิศวกรรมศาสตร์ . สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง . 52 หน้า

วิไล วังสาดทอง .2549. "เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร(food processing technology)" .สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ . 500 หน้า

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 Gerneration and Convection Effects, "Journal of Food Engineering", Vol.18,No.2,pp101-125

Gupta, V. and Jindal, V.K. 1992 "Electrical Conductivity of Selected Fruit Juice" ,Proceeding of the International Agricultureal Engineering conference, 7-10 December 1992, Bangkok, pp. 1187-1195

Halden,K.,De Alwis,A.A.P. and Fryer, P.L.,1990, "Change in the Electrical Conductivity of foods During Ohmic Heating", International Journal of Food Science and Technology, Vol.25, No. 1,pp. 9-25.

Mitchell, F.R.G. and De Alwis, A.A.P.,1989, "Electrical Conductivity Meter for Food sample,"Journal of Physics, Vol.22,pp554-556

Sastry, S.K.,1991, "Electrical conductivity of selected Solid Food",Journal of food Process Engineering, Vol. 14,No.3,pp.221-236.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

http://chemistry345.9f.com/"สาวละลายอิเล็กโทรไลต์ ". [online].Available:
http://chemistry345.9f.com/page5.html [25Octoberber 2007]

http://fs.payap.ac.th/ " ความเป็นกรดของอาหาร ". [online].Available:
http://fs.payap.ac.th/kiat/DATA/Lab313_02.pdf [30Octoberber 2007]

http://ccsmail.sut.ac.th"กรดอินทรีย์ ". [online].Available:
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 [Decemberctoberber 2007]

http://th.wikipedia.org/ " กรด ". [online].Available:
http://th.wikipedia.org/wiki/% [14 Decemberctoberber 2007]

http://www.thaigoodview.com/" ไฟฟ้ากระแสตรง". [online].Available:
http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/khonkhan/electric/content/5_1.htm

http://host.psu.ac.th/" การแตกตัวกรด ". [online].Available:
http://host.psu.ac.th/~romran.c/genchem1/abslidex.pdf[5 [5 Janurary 2008]

http://www.pharm.chula.ac.th/ " วัตถุเจือปนอาหาร ". [online].Available:
http://www.pharm.chula.ac.th/clinic101_5/article/fadditive.htm[5 Janurary 2008]

http://www.electron.rmutphysics.com/" สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ ". [online].Available:
http://www.electron.rmutphysics.com/science-news/index.php?option=com_content&task=view&id=277&Itemid=4&limit=1&limitstart=4
[5 Janurary 2008]

http://www2.diw.go.th/" สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity)". [online].Available:
http://www2.diw.go.th/research .[5 Janurary 2008]

http://www.geocities.com/ " การนำไฟฟ้าของสาร ". [online].Available:
http://www.geocities.com/chemonline2000/modelatom/__7.html.[5 Janurary 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น

$$\sigma = \frac{iL}{Av}$$

เมื่อ σ = ค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร (S/m)

A = พื้นที่หน้าตัดของขั้ว ELECTRODE (m^2)

i = กระแสไฟฟ้า (ampere)

L = ระยะห่างระหว่างขั้ว ELECTRODE (m)

v = แรงดันไฟฟ้า (volt)

สำหรับชุดการทดลองวัดค่าการนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น มีระยะห่างระหว่างขั้วอิเลคโทรด (L) เท่ากับ 0.06 เมตร และมีพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเลคโทรดแต่ละขั้ว (A) เท่ากับ 0.003 ตารางเมตร

1. การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า ในการคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์

Temp(°C)	กระแสไฟฟ้า(ampere)				แรงดันไฟฟ้า(volt)				σ(S/m)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	avg	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	avg	
40	2.29	2.04	1.98	2.103	29.8	30	29.9	29.900	1.407
50	2.56	2.41	2.35	2.440	29.7	29.9	29.8	29.800	1.638
60	3.09	2.81	2.72	2.873	29.6	29.7	29.6	29.633	1.939
70	3.42	3.22	3.09	3.243	29.6	29.7	29.5	29.600	2.191
80	3.88	3.56	3.44	3.627	29.6	29.7	29.5	29.600	2.450

2. การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดแต่ละชนิด

การคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดแต่ละชนิดได้ โดยการแทนค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองในสมการ

$$\sigma_{ถูกต้อง} = 1.006\ \sigma_{ทดลอง} + 0.045$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 แสดงค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของสารละลายกรดแต่ละชนิดที่ระดับ pH 2,3,4 และ 5

Citric acid			
Temp(°C)	pH	ค่าการนำไฟฟ้าจากการทดลอง	ค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริง
40	2	0.527	0.576
50	2	0.597	0.646
60	2	0.661	0.710
70	2	0.714	0.763
80	2	0.754	0.803
90	2	0.795	0.845
40	3	0.085	0.131
50	3	0.098	0.144
60	3	0.111	0.156
70	3	0.122	0.168
80	3	0.134	0.180
90	3	0.145	0.191
40	4	0.039	0.084
50	4	0.046	0.091
60	4	0.053	0.098
70	4	0.060	0.106
80	4	0.067	0.113
90	4	0.073	0.119
40	5	0.028	0.073
50	5	0.033	0.078
60	5	0.038	0.083
70	5	0.043	0.089
80	5	0.049	0.094
90	5	0.054	0.099

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Acetic acid			
Temp(°C)	pH	ค่าการนำไฟฟ้าจากการทดลอง	ค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริง
40	2	0.204	0.250
50	2	0.231	0.277
60	2	0.252	0.299
70	2	0.271	0.317
80	2	0.285	0.331
90	2	0.294	0.341
40	3	0.094	0.139
50	3	0.106	0.152
60	3	0.117	0.163
70	3	0.128	0.173
80	3	0.137	0.183
90	3	0.145	0.191
40	4	0.044	0.089
50	4	0.052	0.097
60	4	0.059	0.105
70	4	0.067	0.113
80	4	0.075	0.121
90	4	0.084	0.129
40	5	0.039	0.084
50	5	0.046	0.091
60	5	0.054	0.099
70	5	0.061	0.107
80	5	0.069	0.115
90	5	0.077	0.123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Marlic acid			
Temp(°C)	pH	ค่าการนำไฟฟ้าจากการทดลอง	ค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริง
40	2	0.414	0.461
50	2	0.475	0.522
60	2	0.516	0.564
70	2	0.555	0.603
80	2	0.590	0.638
90	2	0.612	0.661
40	3	0.090	0.136
50	3	0.100	0.145
60	3	0.114	0.160
70	3	0.125	0.171
80	3	0.136	0.182
90	3	0.145	0.191
40	4	0.046	0.091
50	4	0.055	0.100
60	4	0.064	0.109
70	4	0.072	0.117
80	4	0.081	0.126
90	4	0.089	0.135
40	5	0.040	0.085
50	5	0.049	0.094
60	5	0.056	0.101
70	5	0.063	0.108
80	5	0.070	0.116
90	5	0.077	0.123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lactic acid			
Temp(°C)	pH	ค่าการนำไฟฟ้าจากการทดลอง	ค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริง
40	2	0.581	0.629
50	2	0.635	0.684
60	2	0.660	0.709
70	2	0.683	0.732
80	2	0.694	0.743
90	2	0.705	0.754
40	3	0.118	0.164
50	3	0.132	0.177
60	3	0.141	0.187
70	3	0.150	0.196
80	3	0.157	0.203
90	3	0.163	0.209
40	4	0.044	0.089
50	4	0.052	0.097
60	4	0.059	0.104
70	4	0.067	0.112
80	4	0.075	0.121
90	4	0.083	0.129
40	5	0.039	0.084
50	5	0.046	0.091
60	5	0.053	0.099
70	5	0.061	0.107
80	5	0.069	0.115
90	5	0.077	0.123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การหาสมการค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

สารละลายโซเดียมคลอไรด์

Regression

Variables Entered/Removed(b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	meas(a)	.	Enter

a All requested variables entered.

b Dependent Variable: conduct

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.999(a)	.999	.998	.018096

a Predictors: (Constant), meas

ANOVA(b)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.706	1	.706	2156.700	.000(a)
	Residual	.001	3	.000		
	Total	.707	4			

a Predictors: (Constant), meas

b Dependent Variable: conduct

Coefficients(a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta	B	Std. Error
1	(Constant)	.045	.042		1.064	.365
	meas	1.006	.022	.999	46.440	.000

a Dependent Variable: conduct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

Specific molecular conductivities – NaCl solutions (S/m)

Temperature(°C)	NaCl solutions (molar)					
	0.1	**0.2**	**0.5**	**1.0**	**2.0**	**4.0**
0	0.5938	0.5697	0.5375	0.4785	0.3978	0.3230
10	0.7848	0.7370	0.6937	0.6125	0.5441	0.4136
15	0.8854	0.8812	0.7778	0.6916	0.6060	0.4588
18	0.9476	0.8920	0.8276	0.7406	0.6443	0.4895
20	0.9888	0.9360	0.8656	0.7755	0.670	0.5495
30	1.2215	1.1447	1.0610	0.9471	0.8028	0.6237
40	1.4580	1.3630	1.2500	1.1240	0.9447	0.7438
50	1.7130	1.5850	1.4430	1.3090	1.1070	0.8636
60	1.9770	1.8320	1.6460	1.5060	1.2930	0.9906
70	2.2420	2.0660	1.8450	1.7170	1.4850	1.1110
80	2.5230	2.3220	2.0590	1.1910	1.8330	1.2370
90	2.8100	2.5870	2.3060	2.1020	1.9610	1.3340
100	3.1410	2.2900	2.5740	2.2880	2.0480	1.4870

หมายเหตุ ที่มา T.R. Lyle and R.Hosking (The Temperature Variations of the Specific molecular conductivity and the Fluidity of Sodium chloride Solutions) Phil.Mag.Ser. 6,3,487 (1902)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้