บทที่ 3

เทคนิคการทดลอง

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

การเตรียมสารเคมีที่สำคัญ

1. กรดน้ำส้ม ในการวิจัยครั้งนี้ใช้กรดน้ำส้มเข้มข้นของ คาร์โล เออร์บา (Carlo erba) ที่มีความบริสุทธิ์ในระดับ รีเอเจนท์ เพียวโร เออร์บา (reagent puro erba) โดยได้พยายามทำให้กรดน้ำส้มเข้มข้นนี้บริสุทธิ์ตามวิธีการของบัสฟีลด์(Bousfield's method)[26] ซึ่งใช้การวัดการนำไฟฟ้าของกรดน้ำส้มสำหรับตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกรดน้ำส้ม วิธีการก็เริ่มด้วยการทำให้กรดน้ำส้มเข้มข้นแข็งตัว(จุดเยือกแข็งประมาณ 16.6 °C)แล้วแยกเอาส่วนที่แข็งตัวออกเก็บไว้ ต่อจากนั้นก็ปล่อยให้ส่วนที่แข็งตัวเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องแล้วนำของเหลวนี้ไปเตรียมสารละลายโดยผสมกับน้ำที่เปอร์เซนต์ความเข้มข้นต่างๆ โดยปริมาตรเพื่อวัดการนำไฟฟ้าเปรียบเทียบกับกรดน้ำส้มที่นำมาใช้โดยไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งผลการวัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 จากตารางจะเห็นว่าเกือบจะไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการนำไฟฟ้าของกรดน้ำส้มที่ถูกทำให้บริสุทธิ์กับที่ไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์

ตารางที่ 3.1 การวัดการนำไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างกรดน้ำส้มที่ทำให้บริสุทธิ์โดยการทำให้แข็งตัวกับกรดน้ำส้มที่ไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นของกรดน้ำส้ม (% โดยปริมาตร)	$K_{s.p.} \times 10^{5}$ (ซีเมนส์ต่อเมตร)	
	ทำให้บริสุทธิ์	ไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์
12	1783.01	1783.02
16	1840.21	1840.20
20	1791.94	1791.92
25	1680.78	1680.80

เพื่อความแน่ใจได้ทำให้กรดน้ำส้มบริสุทธิ์อีกวิธีหนึ่งก่อนนำกรดน้ำส้มเข้มข้นมารีฟลักซ์(reflux) กับโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต(potassium permanganate)ซึ่งมีความเข้มข้น 2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วทำการกลั่นลำดับส่วน(fractional distillation) โดยทิ้งของเหลวที่ออกมาก่อนและหลังออกไปอย่างละหนึ่งในสี่ของของเหลวที่กลั่นออกมาทั้งหมดและเก็บของเหลวไว้เพียงหนึ่งในสองเพื่อนำไปทดสอบการนำไฟฟ้าเปรียบเทียบกับกรดน้ำส้มที่ไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งผลการเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การวัดการนำไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างกรดน้ำส้มที่ทำให้บริสุทธิ์โดยการรีฟลักซ์ แล้วกลั่นลำดับส่วนกับกรดน้ำส้มที่ไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นของกรดน้ำส้ม	$K_{s.p.} \times 10^{8}$ (มีเมนส์ต่อเมตร)	
(% โดยปริมาตร)	ทำให้บริสุทธิ์	ไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์
12	1783.04	1783.02
16	1840.23	1840.20
20	1791.97	1791.92
25	1680.78	1680.80

จะเห็นว่าผลการวัดการนำไฟฟ้าระหว่างกรดน้ำส้มที่ถูกทำให้บริสุทธิ์ทั้งสองวิธีกับไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์เกือบจะไม่แตกต่างกันเลยฉะนั้นจึงตัดสินใจว่าในการศึกษาคุณสมบัติทางโมเลกุลและทางไฟฟ้าจะนำกรดน้ำส้มเข้มข้นมาใช้โดยไม่ต้องมาทำให้บริสุทธิ์อีกครั้ง ส่วนความเข้มข้นของกรดน้ำส้มซึ่งมีน้ำเจือปนโดยเปอร์เซนต์ต่างๆโดยปริมาตรนั้นเมื่อต้องการทราบความเข้มข้นในหน่วยของโมลต่อลิตรก็สามารถทำได้โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ฟีนอลทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

2. น้ำ น้ำที่ใช้ต้องทำให้บริสุทธิ์มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เตรียมได้โดยการกลั่นด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า ดับเบิล ดิสติลเลชัน วอเตอร์ สติลล์ (Double Distillation

Water Still) แบบ 3 DWS ซึ่งผลิตโดยบริษัท เจมส์ เอ จอยลิง จำกัด แล้วผ่านไปยังตัวจับอิออน(ion exchange resin) จนในที่สุดจะได้น้ำที่มีการนำไฟฟ้าจำเพาะ 1.06×10^{8} โอห์มส์ต่อเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

3. สารเคมีอื่นๆ เช่น กรดไฮโดรคลอริก โปตัสเซียมคลอไรด์ โปตัสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เมอร์คิวรัสไนเตรต อะซีโตน อะซีโตไนตริล คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เอธิลอะซีเตต เบนซีน นอร์มอลเฮกเซน เป็นต้น ในงานนี้ใช้สารเคมีที่มีความบริสุทธิ์ในระดับเอาร์(AR Grade)ของบริษัท บีดีเอช เคมิคอลส์ จำกัด(BDH Chemicals Ltd.) โดยไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์อีก

การวัดคุณสมบัติทางโมเลกุลและทางไฟฟ้าที่สำคัญ

การวัดคุณสมบัติทางโมเลกุลและทางไฟฟ้าของกรดน้ำส้มที่มีความเข้มข้นต่างๆประกอบด้วย การวัดค่าคงที่ไดอีเลกตริก การนำไฟฟ้า และอื่นๆ ซึ่งจะได้กล่าวถึงโดยสังเขปดังต่อไปนี้

1. การวัดค่าคงที่ไดอีเลกตริก[27]

1.1 เครื่องมือ ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆ คือรีเฟลกซ์ไคลสตรอน(reflex klystron) เวฟมิเตอร์(wavemeter) แอทเทนูเอเตอร์(attenuator) แมจิกที(magic-T) ออสซิลโลสโคป(oscilloscope) ท่อนำคลื่น(waveguide) พลันเจอร์(plunger)

รีเฟลกซ์ไคลสตรอน เป็นหลอดออสซิลเลเตอร์(oscillator tube) ซึ่งใช้สร้างไมโครเวฟให้มีความถี่ต่างๆเพื่อป้อนเข้าไปยังท่อนำคลื่น ในงานวิจัยนี้ใช้ฟิลิปส์ ไคลสตรอน พาวเวอร์ซัพพลาย (Philips Klystron Power Supply) แบบ PM 7512 ซึ่งสามารถสร้างความถี่ได้ตั้งแต่ 8.2×10^{9}-12.4×10^{9} เฮิรตซ์

เวฟมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงไมโครเวฟโดยอาศัยหลักการเกิดอินาท(resonance) ในงานวิจัยนี้ใช้ สิเวอร์ส แลบ สวีเดน เวฟมิเตอร์ (Sivers Lab Sweden Wavemeter)แบบ PM 7070x

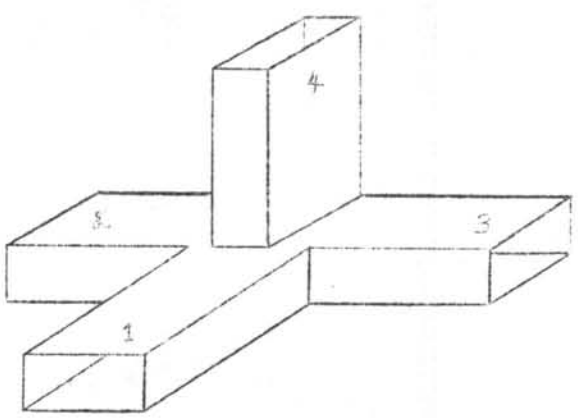
ท่อนำคลื่น เป็นสายส่งชนิดหนึ่งซึ่งทำด้วยโลหะในงานวิจัยนี้ใช้ท่อนำคลื่นชนิดท่อเหลี่ยมที่มีขนาดภายใน 0.06561 x 0.02278 x 0.01017 เมตร ซึ่งแต่เดิมเป็นท่อทองเหลืองของ สีเวอส์ แลบ สวีเดน ต่อมาถูกชุบด้วยทองคำเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกริยาระหว่างกรดน้ำส้มกับโลหะที่ใช้ทำท่อนำคลื่น

ออสซิลโลสโคป ใช้เปรียบเทียบความถี่ เฟส และอำพน

แอทเทนูเอเตอร์ ใช้ลดกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ไปตามท่อนำคลื่น แอทเทนูเอเตอร์มีหลายชนิดแต่ที่ใช้ทั่วๆไปจะมีแผ่น (vane) ซึ่งเป็นแผ่นแก้วหุ้มด้วยวัสดุที่ต้านคลื่น เช่น นิเกิล หรือโครเมียม แผ่นแก้วนี้จะอยู่ภายในท่อนำคลื่นและอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกับสนามไฟฟ้าซึ่งปรับความลึกของแผ่นได้ในหน่วยของมิลลิเมตร และจากหน่วยมิลลิเมตรสามารถจะคิดค่าการลดพลังงานออกมาเป็นหน่วยของเดซิเบลได้โดยเทียบจากแผ่นภูมิที่ติดอยู่กับแอทเทนูเอเตอร์ ในงานวิจัยนี้ใช้แอทเทนูเอเตอร์ของ สีเวอส์ แลบ สวีเดน แบบ PM 7110 x

พลันเจอร์ เป็นท่อนำคลื่นที่มีปลายปิดด้วยแผ่นโลหะโดยที่แผ่นโลหะนี้สามารถเลื่อนไปมาได้จึงสามารถใช้พลันเจอร์เป็นตัวเปลี่ยนเฟสของสัญญาณได้ พลันเจอร์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นของ สีเวอส์ แลบ สวีเดน แบบ PM 7216 x

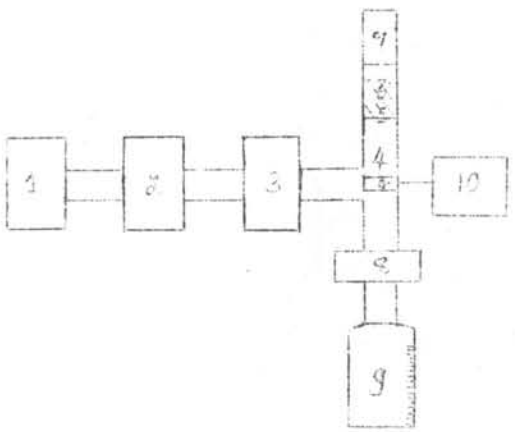
แมจิกที เป็นเครื่องมือที่มีท่อนำคลื่นหลายท่อมาต่อเข้าด้วยกันดังรูป



คุณสมบัติของแมจิกทีคือ ถ้าพิจารณาจากรูปของแมจิกทีในหน้าที่ 24 เมื่อสัญญาณไมโครเวฟป้อนเข้ามาทางแขน1 สัญญาณนี้จะแยกเข้าสู่แขน2 และแขน3 โดยมีอำพนและเฟสเท่ากันแต่จะไม่เข้าสู่แขน4 และสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากแขน2 และแขน3 เมื่อมีอำพนและเฟสเท่ากันแล้วสัญญาณทั้งสองจะรวมกันโดยมีเฟสที่เสริมกันออกมาทางแขน1 ทั้งหมดโดยจะไม่มีสัญญาณเข้าสู่แขน4 เลย ดังนั้นจึงใช้แมจิกทีเป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณได้ แมจิกทีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นของ สีเวอส์ แสบ สวีเคน แบบ PM 7195 x

1.2 วิธีวัด

ในการวัดค่าคงที่ไดอีเลคตริกทั้งหมดในงานวิจัยนี้ได้ใช้ท่อนำ-กลื่นชนิดท่อเหลี่ยมซึ่งชุบผิวหน้าของท่อด้วยทองคำ ความถี่ของไมโครเวฟที่ใช้เป็น 9.7×10^9 เฮิทซ์ ส่วนการควบคุมอุณหภูมิกระทำได้โดยใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้มีอุณหภูมิห้องเป็น 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากระบบของกรดน้ำส้มผสมน้ำมีการสูญเสียไดอีเลคตริกสูง (high dielectric loss) จึงใช้เทคนิคของการหาสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนมาใช้วัดค่าคงที่ไดอีเลคตริก ซึ่งจะทำการประกอบเครื่องมือดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้หาค่าคงที่ไดอีเลคตริกด้วยเทคนิคของการหาสัมประสิทธิ์ของการสะท้อน

1 = รีเฟรกอ์ไกลสตรอน 2 = ไอโซเลเตอร์ 3 = เวฟมิเตอร์

4 = แมจิกที 5 = ไมก้า 6 = ท่อนำคลื่นที่ชุบทองคำมีกรดน้ำส้มบรรจุอยู่

7 = แมทช์โลด 8 = แอทเทนูเอเตอร์ 9 = พลันเจอร์

10 = ตัวจับสัญญาณและออสซิลโลสโคป

เมื่อเปรียบเทียบแมจิกทีในรูปที่ 3.1 กับรูปของแมจิกทีในหน้าที่ 24 จะเห็นว่า แขนที่ต่อกับเวฟมิเตอร์ก็คือแขน1 แขนที่ต่อกับท่อนำกลื่นซึ่งจะใช้บรรจุสารที่ต้องการหาค่าคงที่ไดอิเลคตริกจะเป็นแขน2 ส่วนแอทเทนูเอเตอร์จะต่อกับแขน3 ของแมจิกที และแขน4 ของแมจิกทีก็อแขนต่อกับออสซิลโลสโคป ฉะนั้นเมื่อส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากรีเฟลกซ์ไคลสตรอน ด้วยความถี่ที่ต้องการมายังแมจิกทีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเข้าทางแขน1 แล้วจะแยกไปตามแขน2 และแขน3 ด้วยเฟสและอำพนที่เท่ากัน

วิธีการวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริกจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ

- ตอนที่หนึ่ง จะใช้แผ่นโลหะปิดปลายแขน2 ของแมจิกที่(กรงกำแหน่งไมก้า ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนที่สอง) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านมาตามแขน1 ของแมจิกทีจะถูกแยกออกไปทางแขน2 และแขน3 ด้วยเฟสและอำพนที่เท่ากัน เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปะทะกับแผ่นโลหะที่ปิดไว้ที่ปลายของแขน2 ก็จะสะท้อนกลับและในขณะเดียวกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้านแขน3 ก็จะสะท้อนจากพลันเจอร์กลับไปทางเดิม เพื่อให้เฟสที่สะท้อนกลับทั้งสองข้างเท่ากัน กระทำได้โดยการแก่งพลันเจอร์ (ซึ่งเป็นการเปลี่ยนกำแหน่งที่คลื่นสะท้อนนั่นเอง) จนกระทั่งเฟสของคลื่นที่สะท้อนกลับจากพลันเจอร์เข้าสู่แมจิกทีเท่ากับเฟสที่สะท้อนจากแผ่นโลหะที่ปิดแขน2 ของแมจิกทีไว้ ในกรณีนี้สัญญาณทั้งสองที่สะท้อนกลับมาจะรวมกันแล้วย้อนกลับไปทางแขน1 ทั้งหมดโดยไม่ออกทางแขน4 เลย ฉะนั้นสัญญาณในออสซิลโลสโคปจะต้องอ่านเท่ากับศูนย์ จากการแก่งพลันเจอร์นี้จะทำให้ทราบถึงกำแหน่งของโลหะ(ก็คือกำแหน่งของผิวหน้าของสารที่สะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต้องการหาค่าคงที่ไดอิเลคตริกซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป) และในที่นี้จะสมมติให้กำแหน่งนี้เท่ากับ z_1 นอกจากนี้ยังหาความยาวคลื่นไว้อีกด้วย

- ตอนที่สอง นำแผ่นโลหะที่ปิดปลายแขน2 ของแมจิกทีที่กล่าวไว้ในตอนที่หนึ่งออกแล้วเอาแผ่นไมก้า(mica)ที่บางมากมาปิดแทน จากนั้นก็นำเอาท่อนำคลื่นซึ่งชุบด้วยทองกำมาต่อกับแขน2 ของแมจิกที(โดยมีแผ่นไมก้ากั้นไว้) แล้วจึงเติมกรดน้ำส้มที่ต้องการวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริกลงไปในท่อนำคลื่นที่ชุบด้วยทองกำนี้ จะเห็นว่ากำแหน่งของผิวหน้าของกรดน้ำส้มซึ่งจะทำหน้าที่สะท้อนคลื่นกลับก็คือ z_1 ซึ่งหาไว้แล้วในตอนที่หนึ่งนั่นเอง เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ที่ต้องการถูกส่งมายังแมจิกทีก็จะแยกไปสองทางคือไปทางแขน2 และแขน3

ด้วยเฟสและอำพนที่เท่ากันกลื่นส่วนที่ไปทางแขน2 เมื่อกระทบผิวหน้าของกรดน้ำส้มก็จะมีส่วนหนึ่งสะท้อนกลับมาด้วยเฟสและอำพนที่เปลี่ยนไปเฟสของกลื่นในแขน2 ของแมจิกที่จะเท่ากับ $-2\beta z_1+\nu$ (เมื่อ ν คือเฟสชิฟท์ที่เกิดจากผิวหน้าของกรดน้ำส้ม) ส่วนกลื่นที่แผ่ไปทางแขน3 เมื่อกระทบกับพลันเจอร์ก็จะสะท้อนกลับแต่เฟสและอำพนจะไม่เท่ากับกลื่นที่สะท้อนมาทางแขน2 จึงต้องแต่งพลันเจอร์จนกระทั่งเฟสของกลื่นที่สะท้อนกลับเข้าสู่แมจิกที่เท่ากับเฟสของกลื่นที่สะท้อนจากกรดน้ำส้ม ในเวลาเดียวกันก็ต้องแต่งแอทเทนูเอเตอร์จนกระทั่งกลื่นที่สะท้อนกลับทางแขน3 มีความเข้มเท่ากับกลื่นที่สะท้อนจากกรดน้ำส้ม เมื่อเฟสและอำพนที่สะท้อนกลับทั้งสองข้างเท่ากันก็จะรวมกันย้อนกลับทางแขน1 ทั้งหมดโดยไม่ไปออกทางแขน4 เลยดังนั้นสัญญาณในออสซิลโลสโคปจึงอ่านเท่ากับศูนย์ จากการแต่งพลันเจอร์ครั้งนี้ทำให้ทราบว่าแต่งกลื่นจะสะท้อนกลับในแขน3 สมมติว่าเท่ากับ Z_2 ฉะนั้นเฟสทางแขน3 จะเท่ากับ $-2\beta z_2+\pi$ (เมื่อ π คือเฟสชิฟท์ที่เกิดจากผิวหน้าของแผ่นโลหะที่เคลือบที่ได้ในพลันเจอร์) เพราะเฟสทั้งสองข้างของแมจิกที่เท่ากัน ดังนั้น

$$-2\beta z_1+\nu = -2\beta z_2+\pi \qquad (3.1)$$

$$\nu = 2\beta(z_1-z_2)+\pi \qquad (3.2)$$

เพราะฉะนั้นในการหาค่าเฟสชิฟท์ที่เกิดจากผิวหน้าของกรดน้ำส้ม(ν) จึงหาได้จากสมการ(3.2) โดยที่ z_1 จะเป็นค่าคงที่ซึ่งหาไว้ตั้งแต่ในตอนที่หนึ่ง ส่วน z_2 จะขึ้นกับชนิดของสารที่จะหาค่าคงที่ไดอิเลคตริกซึ่งจะหาได้ในตอนที่สองนี้ สำหรับสมการ(3.2)สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\nu = \frac{4\pi}{\lambda}(z_1-z_2)+\pi \quad \text{เรเดียน}$$

หรือ

$$\nu = \frac{720(z_1-z_2)}{\lambda}+180 \quad \text{องศา}$$

และจากแอทเทนูเอเตอร์ที่อ่านในหน่วยของเดซิเบลจะทำให้หาค่าอัตราส่วนของอำพนที่สะท้อนต่ออำพนที่ตกกระทบที่ผิวหน้าของกรดน้ำส้ม(ρ)ได้ โดยที่ $\rho = 1/\log^{-1}\frac{DB}{10}$

สำหรับ ν และ ρ ของกรดน้ำส้มเมื่อมีความเข้มข้นต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 ส่วนผลการคำนวณค่าคงที่ไดอิเลคตริกไดนามิก(ε') แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 เช่นเดียวกัน

2. การวัดการนำไฟฟ้า

2.1 เครื่องมือ ประกอบด้วยคอนดักติวิตีบริดจ์(conductivity bridge) ใช้ร่วมกับเซลล์นำไฟฟ้า(conductance cell) สำหรับคอนดักติวิตีบริดจ์ที่ใช้วัดการนำไฟฟ้าในงานวิจัยนี้คือ เอ ซี คอนดักติวิตีบริดจ์(A.C.Conductivity Bridge)แบบ RC 18A ซึ่งผลิตโดยบริษัทเบกมานน์ อินสตรูเมนท์(Beckmann Instruments) มีความแม่นยำ(accuracy) ± 0.05 % โดยนำมาต่อเข้ากับเซลล์นำไฟฟ้า ซึ่งเซลล์นำไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นของบริษัทเบกมานน์ อินสตรูเมนท์ เช่นเดียวกัน โดยใช้เซลล์นำไฟฟ้า 2 แบบ คือ แบบ CEL--3B หรือในที่นี้จะเรียกว่าเซลล์I ซึ่งมีค่าคงที่ของเซลล์ (cell constant) 2.208755×10^{-2} m^{-1} ที่ 1000 เฮิทซ์ และ 2.1902111×10^{-2} m^{-1} ที่ 3000 เฮิทซ์ และแบบ CEL--3C หรือในที่นี้จะเรียกว่าเซลล์ II ซึ่งมีค่าคงที่ของเซลล์ 0.0765623×10^{-2} m^{-1} ที่ 1000 เฮิทซ์ และ 0.0755753×10^{-2} m^{-1} ที่ 3000 เฮิทซ์

2.2 วิธีวัด ในการวัดการนำไฟฟ้าของกรดน้ำส้มที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน ใช้เซลล์นำไฟฟ้า 2 เซลล์ โดยในช่วงความเข้มข้นที่มีการนำไฟฟ้าต่ำใช้เซลล์II และในช่วงที่มีการนำไฟฟ้าสูงใช้เซลล์I เมื่อทำให้เซลล์นำไฟฟ้าสะอาดและแห้งแล้วจึงเติมกรดน้ำส้มที่มีความเข้มข้นที่ต้องการให้เต็มเซลล์นำไฟฟ้าแล้วปิดจุกให้เรียบร้อย นำเซลล์นำไฟฟ้าไปจุ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการ โดยให้เซลล์นำไฟฟ้าจมอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิคงที่ แล้วจึงต่อวงจรเข้ากับเครื่องคอนดักติวิตีบริดจ์ รอสักครู่เพื่อให้อุณหภูมิของสารละลายในเซลล์นำไฟฟ้าเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วจึงทำการวัดการนำไฟฟ้าของกรดน้ำส้มในเซลล์นำไฟฟ้านี้ สำหรับผลการวัดการนำไฟฟ้าของกรดน้ำส้มที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.6- 4.12

3. การวัดคุณสมบัติทางโมเลกุลอื่นๆ

3.1 การวัดความหนาแน่น ในการหาความหนาแน่นของของเหลวนี้ได้ใช้ปิกโนมิเตอร์(pycnometer) ที่มีความจุ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยพยายามวัดอุณหภูมิภายในห้องทดลองให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่จะศึกษาให้มากที่สุด

แล้วเติมกรดน้ำส้ม(จากอ่างควบคุมอุณหภูมิ)ที่มีความเข้มข้นที่ต้องการลงไปในปิกโนมิเตอร์ที่สะอาด แห้ง และรู้น้ำหนักไว้ก่อนแล้ว เสร็จแล้วชั่งหาน้ำหนักเมื่อมีกรดน้ำส้มอยู่เพื่อคำนวณหาความหนาแน่นต่อไป ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

3.2 การวัดดัชนีหักเห ในงานนี้ใช้เครื่องมือวัดการหักเหของแสง(refractometer) แบบ แอบเบ 60 ซึ่งผลิตโดยบริษัท เบลลิงแฮม แอนด์ สแตนเลย์(Bellingham and Stanley) แห่งประเทศอังกฤษ เครื่องมือนี้ให้ความแม่นยอมของค่าดัชนีหักเหเป็น ± 0.0001 โดยใช้คลื่นแสงของโซเดียม ดี-ไลน์ (sodium D-line) โดยที่เครื่องมือวัดการหักเหของแสงเครื่องนี้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิที่บริเวณปริซึมได้โดยการปล่อยน้ำที่มีอุณหภูมิคงที่เข้าไปไหลวนรอบปริซึมแล้วไหลออกอีกทางหนึ่ง ฉะนั้นในการวัดค่าดัชนีหักเหทุกครั้งเราจึงมีการควบคุมอุณหภูมิอีก 2 ที่คือ ที่อ่างควบคุมอุณหภูมิซึ่งมีสารที่ต้องการวัดบรรจุอยู่และที่บริเวณปริซึม แต่ก่อนที่จะทำการวัดต้องทำความสะอาดปริซึมเสียก่อนแล้วทำให้แห้ง เมื่อปริซึมแห้งแล้วจึงทำการวัดดัชนีหักเหของสารที่อุณหภูมิที่ต้องการโดยอาศัยเข็มตารางที่ 3.3 แสดงดัชนีหักเหของสารประกอบมาตรฐานที่ทำการวัดเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือ ส่วนตารางที่ 4.3 แสดงผลการวัดดัชนีหักเหของกรดน้ำส้มเมื่อมีความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าดัชนีหักเหของสารประกอบมาตรฐานที่ได้จากเอกสารอ้างอิงและจากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

สารประกอบมาตรฐาน	ดัชนีหักเห	
	จากเอกสารอ้างอิง[28]	จากการทดลอง
อะซีโตน	1.357	1.3569
อะซีโตไนตริล	1.342	1.3418
เอธิลอะซีเตต	1.379	1.3699
คาร์บอน เตตระคลอไรด์	1.459	1.4591
เบนซีน	1.498	1.4978
ไอโซโปรปานอล	1.375	1.3750
นอร์มอล เฮกเซน	1.379	1.3791