

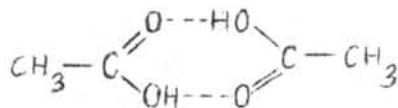
สรุปและวิจารณ์



ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับคุณสมบัติของกรคน้ำส้ม

ในการอภิปรายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้างกับคุณสมบัติของกรคน้ำส้ม นั้นจะแยกการอภิปรายออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งจะพิจารณาเฉพาะกรคน้ำส้มเข้มข้น ซึ่งปรากฏว่ามีผู้ทำการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติกันต่างๆ ไว้มากพอสมควรและในงานวิจัยนี้ก็มักทำการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกไว้ ส่วนที่สองนี้จะพิจารณาถึงกรคน้ำส้มที่มีน้ำอยู่ภายในปริมาณต่างๆกัน

สำหรับกรคน้ำส้มเข้มข้นนั้นจากผลของงานวิจัยต่างๆชี้ให้เห็นว่า โมเลกุลของกรคน้ำส้มเข้มข้นส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไซคลิกไดเมอร์ (cyclic dimer) ตามรูปร่างต่าง



งานวิจัยที่น่าจะอ้างถึงได้แก่ งานวิจัยของ มาทิว (10) กูเกียวัญญู (11a) พาร (12) ชิงกสาวไว้ (30) แฉ้ว โนบัทซึบะ หรือจากงานวิจัยของวอลด์สไตน์และแบลตซ์ (Waldstein and Blatz) ซึ่งใช้รามานสเปกโตรสโกปีที่มีความถี่ต่ำ (low-frequency raman spectroscopy) ทำการศึกษาโดยนำเอาสเปกตรัมของกรคน้ำส้มเข้มข้นไปเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของกรคน้ำส้มในนอร์มอลคอนเซนเทรชัน เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าการเกิดไซคลิกไดเมอร์ขึ้น และพบว่าเกิดการจับโครงสร้างเป็นไซคลิกไดเมอร์ขึ้นเป็นปริมาณมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ในกรคน้ำส้มเข้มข้น ซึ่งผลสรุปนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการใช้วิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction method) (31) และอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีที่มีความถี่ต่ำ (low-frequency infrared spectroscopy) (32, 33) นอกจากนี้ถ้าจะพิจารณาจากตารางที่ 5.1 ก็จะทำให้เห็นว่าทั้งกรคน้ำส้มเข้มข้น นอร์มอลโปรปีนแอลกอฮอล์ และไอโซโปรปีนแอลกอฮอล์ต่างก็เป็นสารประกอบที่มีขั้วและมีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกันแต่ความีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างกัน กล่าวคือจุดเดือด

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุล ( $M$ ) ความหนาแน่น ( $d$ )

จุดเดือด ( $b.p.$ ) และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสถิตย์ ( $\epsilon_0$ ) ของสารอินทรีย์  
ที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกับกรณน้ำส้ม

สารอินทรีย์	$M$	$d$ ( $g/cm^3$ )	$b.p.$ ( $^{\circ}C$ )	$\epsilon_0$
กรณน้ำส้ม	60.05 **	1.007 * ที่ $25^{\circ}C$	118.5 **	6.277 *
นอร์มอลโพรพิลแอลกอฮอล์	60.10 **	0.804 * * * ที่ $20^{\circ}C$	97.2 **	20.1 **
ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์	60.10 **	0.785 * * * ที่ $20^{\circ}C$	82.4 **	18.3 **

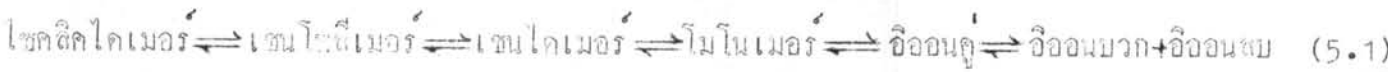
\* จากการวิจัยครั้งนี้

\* \* จากเอกสารอ้างอิงที่ 28

และความหนาแน่นของกรณน้ำส้มเข้มข้นจะสูงกว่าสารตัวอื่นๆ มากอันเป็นลักษณะทั่วไปของสารละลายประเภทที่เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลในสารละลายซึ่งทำให้ได้โมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น และเมื่อนำเอาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสถิตย์ของกรณน้ำส้มเข้มข้นนี้ไปจากงานวิจัยนี้มาพิจารณาประกอบด้วยแล้วจะเห็นว่ามีความต่ำกว่านอร์มอลโพรพิลแอลกอฮอล์และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์มากแสดงว่าโพลาไรเซชันของกรณน้ำส้มเข้มข้นต่ำกว่าสารสองตัวนี้ ซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องกันกับข้อสรุปที่ว่าโมเลกุลของกรณน้ำส้มเข้มข้นรวมตัวกันเป็นโมดูลโคโมเมอร์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้สมิธและโรเจอร์ส (Smith and Rogers) (34) และคีนเฮาเซอร์และโค (Dannhauser and Cole) (35) ยังพบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสถิตย์ของกรณน้ำส้มเข้มข้นสูงขึ้นตามอุณหภูมิซึ่งมีแนวโน้มว่าแตกต่างไปจากสารอื่น ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการเกิดการแตกตัวของโมดูลโคโมเมอร์ที่อุณหภูมิสูงออกเป็นเซนโพสิเมอร์หรือเซนโคเมอร์ อันจะเป็นผลทำให้ค่าโพลาไรเซชันและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสถิตย์สูงขึ้น

ถ้าหากว่าข้อเสนองานเกี่ยวกับโครงสร้างของกรณน้ำส้มเข้มข้นดังกล่าวมาแล้วเป็นที่ยอมรับก็น่าจะพิจารณาต่อไปว่าการเติมน้ำลงไปในกรณน้ำส้มเข้มข้นนั้นคงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างบ้างไม่มากนัก ซึ่งจากผลการวิจัยที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1, 4.4 และ 4.11 หน้า 33, 41 และ 54 ในบทที่ 4 จะเห็นว่าเมื่อเติมน้ำลงไปในกรณน้ำส้ม-

เข้มข้นจะทำให้ค่า  $d$ ,  $t$  และ  $\epsilon_0$  สูงขึ้น จนกระทั่งค่าสูงสุดสำหรับค่า  $d$  เกิดที่ 75% โดยปริมาตรของกรวดและค่า  $t$  เกิดที่ 86% โดยปริมาตรของกรวด ส่วนค่า  $\epsilon_0$  นั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความเข้มข้นของกรวดน้ำลดลง แสดงว่าในช่วงความเข้มข้นนั้นน้ำจะทำให้โครงสร้างของกรวดน้ำแตกตัวออกเกิดเป็น โครงสร้างใหม่ดังนี้



ในขณะที่ของผสมระหว่างกรวดน้ำสัมกับน้ำมีเปอร์ เซนต์ของน้ำเพียง เล็กน้อยโครงสร้างของกรวดน้ำสัมจะเป็นแบบเซนโพตีเมอร์ เป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อเปอร์ เซนต์ของน้ำเพิ่มขึ้นก็จะเกิดเซนโคเมอร์เพิ่มขึ้นแต่ก็น้ำจะยังน้อยกว่าเซนโพตีเมอร์มาก ที่เสนอกฎของการแตกตัวเป็น เซนนี้ เพราะว่าค่า  $d$  และ  $t$  สูงขึ้นแสดงว่าน่าจะมีการรวมตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นคือจาก โซลลิกโคเมอร์ ไปเป็นเซนโพตีเมอร์นั่นเองและยังทำให้ค่าโพตาโร เซชันสูงขึ้นซึ่งจะสอดคล้องกับผลการวิจัยเพราะว่าค่า  $\epsilon_0$  สูงขึ้น ถ้าจะพิจารณาในแง่ของการนำไฟฟ้าก็สอดคล้องกัน เนื่องจาก เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำจะทำให้เกิดการแตกตัวเพิ่มขึ้นการนำไฟฟ้าจึงสูงขึ้น สำหรับงานวิจัยที่สอดคล้องกับข้อเสนอนี้ได้แก่ งานวิจัยของ เควิสและโจนส์ (6) โกลเตสวาราม (8) บาทีว (10) กูเกียวซีญู (11) พาร (12) ซไนเคอร์ (13) ซึ่งได้กล่าวไว้โดยสังเขปแล้วในบทที่ 1

การที่ค่า  $d$  ลดต่ำลงเรื่อยๆ เมื่อความเข้มข้นของกรวดต่ำกว่า 75% โดยปริมาตรของกรวด และ  $t$  ลดลงเรื่อยๆ เช่นกันหลังจากที่ความเข้มข้นของกรวดต่ำกว่า 86% โดยปริมาตรของกรวด โดยที่ค่า  $\epsilon_0$  ยังเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์ เซนต์ของน้ำเพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลคั้งที่แสดงไว้ในสมการที่ (5.1) ในลักษณะที่ เมื่อความเข้มข้นของกรวดลดลงสมดุลของโครงสร้างจะเลื่อนไปทางขวามือ ฉะนั้น โครงสร้างทางซ้ายมือจะน้อยลงเรื่อยๆ ในที่สุดจะเหลือแต่ส่วนที่เป็น โมนิเมอร์และอ็อนตู่ซึ่งก็ใช้มาอธิบายถึงการที่ค่าคั้งที่โคอีเลคตริก สะแตกักและการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของกรวดลดลงได้

จะเห็นว่าในการอภิปรายข้างต้นนี้ เป็นการนำเอาคุณสมบัติต่างๆ ของกรวดน้ำสัมมา อภิปรายร่วมกัน เพื่อให้เห็นภาพของ โครงสร้างและแนว โนมในการ เปลี่ยนแปลงของกรวดน้ำสัม

ซึ่งเป็นการพิจารณาอย่างกว้างๆ ตลอดช่วงความเข้มข้นของกรด แต่จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่าที่บางช่วงความเข้มข้นของกรดได้แสดงคุณสมบัติบางอย่างที่น่าสนใจและควรจะนำมาอภิปรายสนับสนุนข้อเสนอกเกี่ยวกับโครงสร้างของกรคน้ำส้ม เป็นต้นว่า

— เปอร์เซนต์ของปริมาตรที่ปรากฏ ( $\% V_{app}$ ) และ เปอร์เซนต์ของปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง ( $\% V_{ch}$ ) :— ซึ่งจากรูปที่ 4.2 และ 4.3 ในหน้าที่ 34 และ 35 แสดงให้เห็นว่าตรงบริเวณความเข้มข้นของกรด 50% โดยปริมาตรสารจะหดตัวมากที่สุดซึ่งอธิบายได้ว่าที่ตำแหน่งนี้มีการจัดเรียงหรือบรรจุจำนวนอนุภาคต่างๆ ได้มากที่สุดในหนึ่งหน่วยปริมาตร จึงเป็นผลทำให้ระยะเวลาการผ่อนคลายของเคอมาย (Debye relaxation time) สูงสุด ดังดูได้จากรูปที่ 4.10 หน้าที่ 53 และยังเป็นผลทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสะสมที่ 50% โดยปริมาตรของกรดสูงอีกด้วยเพราะเมื่อบรรจุอนุภาคในหนึ่งหน่วยปริมาตรได้มากย่อมทำให้มีโพลาไรเซชันในหนึ่งหน่วยปริมาตรได้มากดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.11 หน้าที่ 54

— คำนวณหักเหของกรคน้ำส้ม :— เมื่อเขียนกราฟระหว่างผลต่างของโมลาร์รีแฟรกชันที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณ ( $\Delta R$ ) กับความเข้มข้นของกรดดังในรูปที่ 4.6 หน้าที่ 43 ก็พบว่าในช่วง 70-80% โดยปริมาตรของกรดจะมีค่า  $\Delta R$  สูงสุดก็น่าจะแปลความหมายได้ว่าในบริเวณนี้เกิดเป็นเซนโพตีเมอร์มาก เมื่อความเข้มข้นลดต่ำกว่า 70% ไปจนถึง 20% โดยปริมาตรของกรดจะมีการรวมตัวระหว่างกรคน้ำส้มกับน้ำมากทำให้ผลรวมของค่านหักเหของอนุภาคต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบในระบบที่ทำการวัดมีความแตกต่างจากค่าที่วัดได้อยู่มากเพราะ  $R_{app} - R_c$  มีค่าสูงดังดูได้จากรูปที่ 4.7 หน้าที่ 44 และเมื่อพิจารณาโมลาร์รีแฟรกชัน ( $R$ ) ของกรคน้ำส้มในรูปที่ 4.8 หน้าที่ 45 จะเห็นว่าค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นซึ่งแปลความหมายได้ว่าโมเลกุลของกรคน้ำส้มมีการรวมตัวสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นซึ่งจะสอดคล้องกับงานของ โกลส์มิกต์และ โฮเลมานน์<sup>(23)</sup> ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 นอกจากนี้ถ้าพิจารณาจากรูปที่ 4.4 และ 4.5 หน้าที่ 41 และ 42 จะเห็นว่าที่แต่ละความเข้มข้นค่าค่านหักเหของสารละลายที่อุณหภูมิค่ามีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิสูงซึ่งน่าจะเป็นเพราะว่าที่อุณหภูมิค่าโครงสร้างของกรคน้ำส้มใหญ่กว่าที่อุณหภูมิสูงนั่นเอง จึงเห็นได้ว่าอุณหภูมิก็นมีส่วนทำให้สมคุณของโครงสร้างของกรคน้ำส้มในสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงเพราะการเพิ่มอุณหภูมิจะไปทำให้พันธะไฮโดรเจนแตกออก

— การนำไฟฟ้าของกรคน้ำส้ม : — เมื่อกรคน้ำส้มมีความเข้มข้นเท่ากัน โดยปริมาตรกรนำไฟฟ้าที่จุดหมุมสูงจะดีกว่าที่จุดหมุมต่ำ เพราะเมื่อจุดหมุมสูงขึ้นสมดุสของ โครงสร้างเลื่อนไปเียงทางที่จะเกิดการแตกตัว เป็นอไอออนและความหนืดค่าคงอีกด้วย เมื่อ เปรียบเทียบกรนำไฟฟ้าจำเพาะของกรคน้ำส้มเมื่อมีความเข้มข้นต่างๆ ที่จุดหมุมสูงที่จะ เห็นว่ากรคน้ำส้มเข้มข้นจะมีการนำไฟฟ้าจำเพาะน้อยมากแต่เมื่อเก็บน้ำลงไปกรนำไฟฟ้า จำเพาะจะสูงขึ้นและสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเปอร์เซนต์ของน้ำสูงขึ้นจนถึงที่ 84% โดยปริ- มาตรของน้ำ หรือ 16% โดยปริมาตรของกรคน้ำส้ม เมื่อเปอร์เซนต์ของน้ำสูงมากกว่า 84% กรนำไฟฟ้าจำเพาะจะลดลงเรื่อยๆ ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้โดยสมการ

$$\Lambda = \frac{1000}{C} K_{s.p.} \text{ ซึ่งสามารถเขียนใหม่ได้เป็น}$$

$$K_{s.p.} = \left( \frac{\Lambda^{\circ}}{1000} \right) (\alpha C)$$

เนื่องจาก  $\Lambda^{\circ}/1000$  เป็นค่าคงที่ของสารละลายนี้ ฉะนั้น  $K_{s.p.}$  จึงแปรผันโดยตรงกับ  $\alpha C$  นั่นคือการนำไฟฟ้าจำเพาะแปรผันโดยตรงกับปริมาณไอออนที่แตกตัวจากรูปที่ 4.15 หน้า 68 จะเห็นว่าปริมาณไอออนที่แตกตัวสูงสุดของกรดที่มีค่าความเข้มข้น 16% โดยปริมาตรของ กรคน้ำส้ม ฉะนั้นกรนำไฟฟ้าจำเพาะจึงสูงสุดตรงตำแหน่งนี้ด้วย ข้อที่น่าสังเกตคือเมื่อเขียนกราฟ ระหว่าง  $K_{s.p.} \propto \alpha C$ ,  $I_c$  และ  $\alpha$  กับความเข้มข้นของกรคน้ำส้มนั้นมีลักษณะเหมือนกัน ดังดู ได้จากรูปที่ 4.13, 4.14, 4.15 และ 4.16 หน้า 66, 67, 68 และ 69 ส่วนค่าคงที่ ของการแตกตัวและค่าคงที่ของการรวมตัวนั้นถ้าเริ่มพิจารณาจากน้ำบริสุทธิ์จะเห็นว่าเมื่อ เปอร์เซนต์ความเข้มข้นของกรคน้ำส้มเพิ่มขึ้นค่า  $K_{dis.}$  จะค่อยๆ ลดลงแต่ค่า  $K_{ass.}$  จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของกรดสูงขึ้นไปอีกอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า  $K_{dis.}$  และ  $K_{ass.}$  จะเกิดขึ้นเร็วมากแสดงว่าการรวมตัวของกรคน้ำส้มสูงขึ้นในอัตราสูง ถึงแม้ว่าจะได้เสนอ โครงสร้างของกรคน้ำส้มที่ความเข้มข้นต่างๆ กันไว้ดังสมการที่ (5.1) แต่ค่าคงที่ของการ แยกตัวและค่าคงที่ของการรวมตัวที่คำนวณในงานวิจัยนี้หมายถึง เฉพาะส่วนที่เกิดปฏิกิริยาแตก ตัวและรวมตัวที่แสดงไว้ข้างล่างนี้เท่านั้น

$$\text{ส่วนที่ไม่แตกตัวเป็นอไอออน} = \frac{K_{dis.}}{K_{ass.}} \text{ อไอออนบวก} + \text{อไอออนลบ}$$

ประสิทธิภาพของเครื่องมือและประสิทธิภาพของวิธีวัดค่าคงที่ได้อีเลคตริก

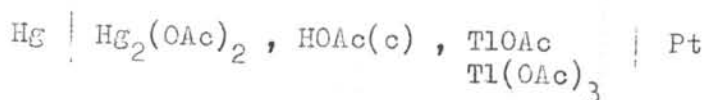
ในการวัดค่าคงที่ได้อีเลคตริกของกรณน้ำส้มก็หรือของน้ำก็ได้นี้ผู้ทำการวิจัยกัน  
ไว้มากแล้ว สำหรับกรณีของกรณน้ำส้มผสมน้ำนั้นผู้ทำการทดลองไว้มากแต่ไม่เคยและ  
ไม่ครอบคลุมช่วงความเข้มข้นได้กว้างพอ ฉะนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงนับได้ว่าเป็นงานวิจัยชิ้น  
แรกที่ทำการหาค่าคงที่ได้อีเลคตริกของกรณน้ำส้มตลอดช่วงความเข้มข้น ความปกติแล้ว  
การทดลองวัดค่าใดๆ ที่ยังไม่มีวิธีการหรือผลงานของผู้อื่นมาเป็นตัวอย่างผู้ทดลองก็จะหา  
ความเชื่อมั่นของวิธีการวัดและประสิทธิภาพของเครื่องมือโดยการหาค่าเหล่านั้นๆ ของสาร  
มาตรฐาน ในที่นี้ก็เช่นกันผู้วิจัยได้ทำการวัดค่าคงที่ได้อีเลคตริกของกรณน้ำส้มเข้มข้นและของ  
น้ำซึ่งได้มีผู้ทำการวัดและ เป็นค่าที่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไป

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการหาค่าคงที่ได้อีเลคตริกไดนามิกของน้ำ กรณน้ำส้มและ  
กรณน้ำส้มผสมน้ำ โดยวัดที่ความถี่  $9.7 \times 10^9$  เฮิรตซ์ที่อุณหภูมิ 25 °C เมื่อนำค่าที่วัดได้จาก  
น้ำและกรณน้ำส้มไปเปรียบเทียบก็งานวิจัยของผู้อื่นก็ไม่สามารถจะทำได้เนื่องจากความถี่หรือ  
อุณหภูมิที่ศึกษาแตกต่างกันหรือทั้งความถี่และอุณหภูมิที่ศึกษาแตกต่างกัน ฉะนั้นจึงทำการเปรียบเทียบ  
เทียบได้เฉพาะค่าคงที่ได้อีเลคตริกสะแตติกของน้ำและกรณน้ำส้ม โดยเมื่อนำค่าค่าคงที่ได้อี  
เลคตริกไดนามิกมากกว่านั้นเป็นค่าคงที่ได้อีเลคตริกสะแตติกก็จะคล้ายๆ ในเรื่องความถี่ที่ใช้  
ศึกษาลงไป และถ้าหากนำค่าคงที่ได้อีเลคตริกสะแตติกที่อุณหภูมิเดียวกันมาเปรียบเทียบก็  
ทำให้สามารถวิจารณ์หรืออภิปรายได้ชัดเจนขึ้น ดังเช่นในงานวิจัยครั้งนี้หาค่าคงที่ได้อีเลค  
ตริกไดนามิกของน้ำได้เป็น 59.34 เมื่อนำไปคำนวณเป็นค่าคงที่ได้อีเลคตริกสะแตติกจะใกล้เคียง  
เท่ากับ 79.75 ซึ่งมีความแตกต่างไปประมาณ 1.5% จากค่าคงที่ได้อีเลคตริกสะแตติกของ  
น้ำที่เป็นค่าที่ยอมรับกันทั่วไปจากงานวิจัยของไวแมน (Wyman) <sup>(36)</sup> คือ 70.54 ส่วน  
ค่าคงที่ได้อีเลคตริกสะแตติกของกรณน้ำส้มเข้มข้นที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้เท่ากับ 6.277 เมื่อ  
เปรียบเทียบกับค่าที่ใช้กันทั่วไปจากผลงานของเคลปีและลินเดล (Kelpi and Lindell) <sup>(4)</sup>  
ซึ่งเท่ากับ 6.21 จะมีความแตกต่างกันประมาณ 1.1% เมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์ของ  
ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้กับค่าที่ใช้กันทั่วไปทั้งน้ำและกรณน้ำส้มเข้มข้น  
จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันน้อยและ เปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างทั้งสองก็ใกล้เคียงกันด้วย

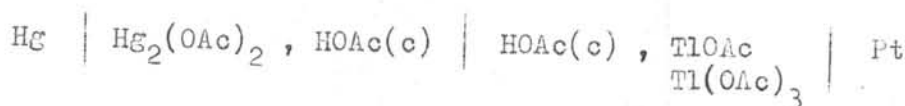
จึงทำให้เชื่อได้ว่าค่าการนำค่าคงที่ไอโออิเล็กทริกด้วยวิธีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ให้ความเชื่อมั่นที่สูง

ผลกระทบของงานวิจัยนี้ต่องานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากค่าคงที่ไอโออิเล็กทริกสะแตกึกของกรณน้ำส้มเมื่อมีความเข้มข้นต่างๆที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าแตกต่างกันไปจากค่าที่ได้จากเอกสารอ้างอิงที่ 4 ซึ่งนางสาวศิริรัตน์ได้นำมาใช้ในการคำนวณค่า  $f_{\pm}$  (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.14) ฉะนั้นค่า  $f_{\pm}$  ที่ใช้ในสมการของเป็นสก็ที่จะต้องแตกต่างกันไปด้วยเมื่อใช้ค่าคงที่ไอโออิเล็กทริกสะแตกึกต่างกัน และมีผลต่อไปคือทำให้ค่าศักย์มาตรฐาน ( $E^{\circ}$ ) ของขั้วไฟฟ้าแคลเซียม (III) / แคลเซียม (I) สำหรับเซลล์เคมีไฟฟ้า



เปลี่ยนจาก 0.9518 โวลต์ เป็น 0.9942 โวลต์ และสำหรับเซลล์เคมีไฟฟ้า

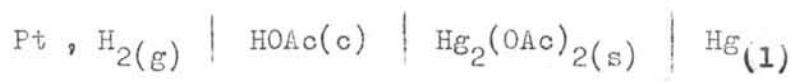


ก็จะเปลี่ยนจาก 0.9540 โวลต์ ไปเป็น 0.9832 โวลต์เมื่อกรณน้ำส้มมีความเข้มข้นเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ (โดยการคอกกราฟออกไป) นับว่าเป็นข้อดีเพราะว่าค่าศักย์มาตรฐานที่ได้ใหม่จะมีค่าใกล้เคียงยิ่งขึ้นกับค่าศักย์มาตรฐานของขั้วไฟฟ้าแคลเซียม(III) / แคลเซียม(I) ที่นางสาวศิริรัตน์ได้ศึกษาไว้ในเซลล์เคมีไฟฟ้า



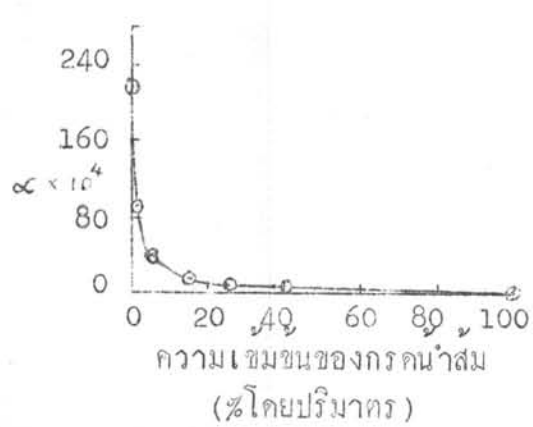
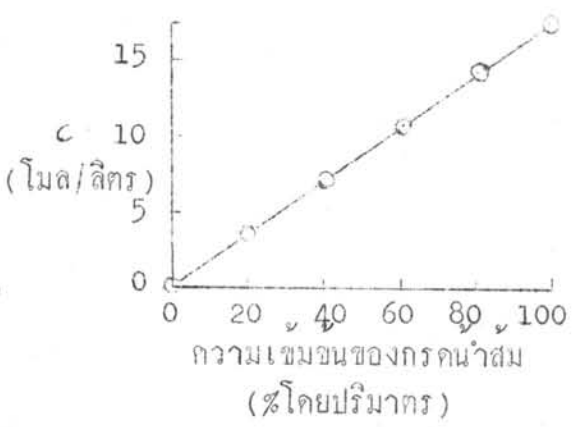
ซึ่งค่าที่นางสาวศิริรัตน์วัดได้เท่ากับ 1.0488 โวลต์

จากตารางที่ 4.16 หน้า 65 แสดงให้เห็นว่ากรคน้ำส้มแตกตัวน้อยลงๆ เมื่อ ความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น ฉะนั้นเพื่อตรวจสอบว่าถ้าจะนำเอากรคน้ำส้มไปใช้เป็นประ- โยชน์ในการ เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์กัมมีไฟฟ้ากรคน้ำส้มควรมีความเข้มข้นมากที่สุดได้เท่าใด ผู้วิจัยได้ทำการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์กัมมีไฟฟ้า



ก็พบว่าที่ความเข้มข้นของกรด 95 และ 100% โดยปริมาตรผู้วิจัยไม่สามารถจะวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้จึงเป็นปัญหาลักษณะเดียวกับงานวิจัยของนางสาวศิริรัตน์ (1) ทั้งนี้ผู้วิจัยเห็นด้วยกับคำอธิบายของนางสาวศิริรัตน์ที่ว่าสาเหตุเนื่องมาจากความสามารถในการแตกตัวของกรคน้ำส้มที่ความเข้มข้น 95 และ 100% โดยปริมาตรมีน้อยโดยดูจากค่าคงที่ของการแตกตัวในตารางที่ 4.16 ซึ่งมีค่าประมาณ  $1.5 \times 10^{-12}$  และ  $4.2 \times 10^{-16}$  ตามลำดับนั้นเป็นค่าที่น้อยเกินกว่าจะเป็นประโยชน์ในการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า แต่เมื่อใช้กรคน้ำส้มที่มีความเข้มข้น 90% โดยปริมาตร ซึ่งมีค่าคงที่ของการแตกตัวประมาณ  $6 \times 10^{-11}$  ก็สามารถจะวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้

สำหรับงานวิจัยของนายเทพจำนงค์ซึ่งแสดงไว้ในวิทยานิพนธ์ (2) หน้า 85 (และได้กล่าวถึงไว้แล้วในวิทยานิพนธ์ในหน้าที่ 3 ) โดยการเขียนกราฟระหว่าง  $\infty C$  กับความเข้มข้นของกรคน้ำส้มเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปรากฏว่า  $\infty C$  จะมีค่าสูงสุดตรงความเข้มข้น 16% โดยปริมาตรของกรคน้ำส้ม และงานวิจัยที่กำลังรายงานอยู่นี้ก็ได้ลดค่าของ  $\infty C$  เดียวกับในวิทยานิพนธ์ของนายเทพจำนงค์ แต่เนื่องจากนายเทพจำนงค์มิได้อธิบายเหตุผลไว้ เพราะอยู่นอกขอบข่ายของงาน ในที่นี้ใคร่จะอธิบายโดยอาศัยการเขียนกราฟจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองดังแสดงไว้ข้างล่างนี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้น





ของกรรณำส้มในหน่วยของ โมลลิกซ์ (C) กับความเข้มข้นในหน่วยของเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของกรดจะได้อกราฟที่เกือบเป็นเส้นตรงตั้งแต่ 0-100% โดยปริมาตรของกรด แต่ถ้าเขียนกราฟระหว่าง  $\infty$  กับความเข้มข้นของกรรณำส้มเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรกราฟที่ได้จะไม่เป็นเส้นตรง โดยในช่วงความเข้มข้น 0-5% โดยปริมาตรของกรดค่า  $\infty$  จะลดลงอย่างรวดเร็ว และลดลงอย่างปานกลางในช่วง 5-25% โดยปริมาตรของกรด และลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 25-100% โดยปริมาตรของกรด ฉะนั้นผลคูณระหว่าง  $\infty$  กับ C ที่มีความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเท่ากัน จะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นค่าหนึ่ง อย่างในกรณีกรรณำส้มผสมน้ำค่าสูงสุดอยู่ที่ 16 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของกรด สำหรับจุดสูงสุดเมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\infty$  กับความเข้มข้นของสารอื่นๆ ก็จะเกิดขึ้นเช่นกันแต่จะอยู่ตรงค่าหนึ่งใดของความเข้มข้นนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารและอุณหภูมิที่ศึกษา

ส่วนการหาค่า  $\Lambda^\circ$  ของเกลือแอสเลียมอะซิเตตในกรรณำส้มในงานของนายเทพ-จำนงค์นั้นทำได้โดยการเขียนกราฟระหว่าง  $\Lambda$  กับ  $I_c$  โดยถือว่ากรรณำส้มที่เป็นตัวทำละลายเมื่อมีปริมาณของเกลือแอสเลียมอะซิเตตต่างกันจะแสดงพฤติกรรมเหมือนกันและเหมือนกับกรรณำส้มบริสุทธิ์ (เพราะเกลือแอสเลียมอะซิเตตละลายในกรรณำส้มได้ไม่มากนัก) โดยไม่ไปมีส่วนรบกวนในระบบที่ศึกษา ทั้งนี้ในงานดังกล่าวผู้วิจัยได้แจ้งไว้ชัดเจนว่าจะถือว่ากรรณำส้มนี้ เป็นตัวทำละลายอย่างเกี่ยว โดยไม่มีส่วนในพฤติกรรมของระบบทั้งนี้เพื่อเป็นการกำหนดขอบข่ายของงานให้แคบเข้า แต่จากผลการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยคิดว่าค่า  $\Lambda^\circ$  น่าจะเปลี่ยนแปลงไปบ้างในเมื่อโครงสร้างของกรรณำส้มที่เป็นตัวทำละลายเปลี่ยนแปลงไปเพราะปริมาณของเกลือแอสเลียมอะซิเตตละลายในนั้นเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเป็นผลทำให้การนำไฟฟ้าที่เกิดจากกรรณำส้มนี้ เป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้นของเกลือแอสเลียมอะซิเตตต่างกันจะไม่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะกลไกในการนำไฟฟ้าของกรรณำส้มที่เป็นแบบการถ่ายเทโปรตอน (proton transfer) ต่างกัน

### ขอเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป

ในการคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสะแตกิกของกรณน้ำส้มเมื่อมีความเข้มข้นต่างๆ นั้นจำเป็นจะต้องทราบค่า  $\epsilon'$  และ  $\epsilon_{\infty}$  ดังสมการ (2.11) สำหรับค่า  $\epsilon'$  ได้อาศัยจากเอกสารอ้างอิงที่ 29 ซึ่งไม่ได้ทำการศึกษาไว้โดยตลอดช่วงความเข้มข้นของกรณน้ำส้ม ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10 หน้า 53 ฉะนั้นในการประมาณค่าในส่วนที่ไม่ได้ทำการศึกษาจึงอาจจะเป็นค่าที่ยังให้ความเชื่อมั่นได้ไม่สูงนัก ถ้าหากว่าในแต่ละความเข้มข้นของกรณน้ำส้ม ได้ใช้ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟหลายๆ ความถี่เพื่อศึกษาค่า  $\epsilon'$  ก็จะทำให้ได้ค่า  $\epsilon'$  หลากๆ ค่าเป็นผลทำให้สามารถคำนวณหาค่า  $\epsilon'$  ของกรณน้ำส้มผสมน้ำเมื่อมีความเข้มข้นต่างๆ ได้ ส่วนค่า  $\epsilon_{\infty}$  นั้นแม้ว่าผู้วิจัยได้ใช้ค่าที่ได้จากการบอกค่าดังสองของภาคผนวกที่หนึ่ง ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณ แต่หาพิจารณาจากสมการ

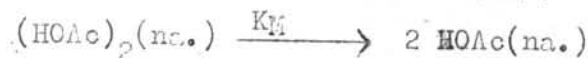
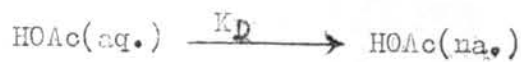
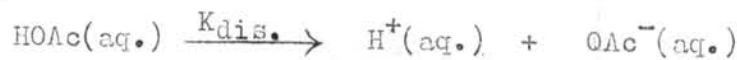
$$\epsilon' = \frac{\epsilon_0}{1 + \omega^2 \tau^2} + \left( \epsilon_{\infty} - \frac{\epsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau^2} \right)$$

จะเห็นว่าเทอมในวงเล็บของสมการทางซ้ายขวามือจะมีค่าน้อย ถ้าหากว่าค่า  $\epsilon_{\infty}$  จะลดขนาดเล็กลงไปบ้างก็คงไม่ค่อยมีผลกระทบกระเทือนอะไรมากนัก จึงพอจะสรุปได้ว่าในแต่ละความเข้มข้นของกรณน้ำส้มถ้าได้มีการหาค่า  $\epsilon'$  หลากๆ ค่า และหาค่า  $\epsilon'$  และ  $\epsilon_{\infty}$  ได้โดยตรงแล้วก็จะทำให้ผลของการคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสะแตกิกเป็นค่าที่มีความเชื่อมั่นสูงขึ้นอีก เพราะจะได้มีการเปรียบเทียบค่าต่างๆ เหล่านี้ที่ความเข้มข้นเดียวกันไปด้วย เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกครั้งนี้เป็นเครื่องมือของภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีอยู่เพียงชุดเดียวและทางภาควิชาฟิสิกส์ก็กำลังใช้ในการวิจัยสำหรับนิสิตปริญญาโทของภาควิชาเดียวกัน ฉะนั้นในการใช้เครื่องมือจึงต้องใช้ร่วมกัน สำหรับหาค่าคลื่นซึ่งเป็นส่วนประกอบชิ้นหนึ่งของเครื่องมือและใช้ในการบรรจุสารที่ต้องการหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกนั้นทำด้วยทองเหลือง ในงานนี้ผู้วิจัยต้องชุบผิวคานในของหอน้ำคลื่นด้วยทองคำโดยวิธีชุบไฟฟ้า (electro-plating) เพราะมีฉะนั้นกรณน้ำส้มจะมีปฏิกิริยากับทองเหลือง ในกรณีนี้ผู้วิจัยคิดว่าถ้าหากจะทำหอน้ำคลื่นด้วยโลหะอื่นที่ให้คุณสมบัติที่ใกล้เคียงแม่เหล็กไฟฟ้าได้เหมือนกันกับทองเหลืองแล้วสามารถทนต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารที่จะศึกษาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่เป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบส เช่น ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel)

ก็น่าจะทำให้ท่อนำคลื่นนี้ใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้นอีก และถ้าหากจะมีการปรับปรุงเครื่องมือให้สามารถวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ก็จะมีประโยชน์มากยิ่งขึ้น

อนึ่งในการทดลองที่ไดอิเล็กตริกของกรคน้ำผสมสมน้ำที่ความเข้มข้นต่างๆ นั้นผู้วิจัยได้เคยทดลองหาโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดโพลมิเตอร์ (dipolometer) ที่ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยที่ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องมือนี้เท่ากับ  $2 \times 10^6$  เฮิซ และอาศัยหลักการเกิดเรโซแนนซ์ (resonance) ปรากฏว่าไม่สามารถจะวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของกรคน้ำผสมสมน้ำได้ ผู้วิจัยคาดว่าเนื่องจากของผสมเหล่านี้มีการนำไฟฟ้าสูงเกินไปจึงไม่เหมาะสมสำหรับวิธีการหรือเครื่องมืออันนี้

สำหรับการเสนอโครงสร้างที่จะเกิดขึ้นได้ในกรคน้ำผสมนั้นยังไม่สามารถจะบังคับได้ชัดเจนลงไปว่าที่แต่ละความเข้มข้นจะมีโครงสร้างอะไรบ้างและมีโครงสร้างนั้นๆ อยู่มากหรือน้อยแค่ไหน ถ้าหากได้มีการศึกษาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่อุณหภูมิต่างๆ พร้อมกับวัดคุณสมบัติคอลลิเกทีฟ (colligative properties) ของเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพหรือใช้เวลานานสเปคโตรสโคปีศึกษาเพิ่มเติมก็น่าจะทำให้ไขข้อข้องใจได้ว่าอันจะก่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างของกรคน้ำผสมมากและแน่นอนยิ่งขึ้นอีก นอกจากนี้ถ้าหากว่า  $K_D$  (สัมประสิทธิ์ของการกระจาย),  $K_M$  (ค่าคงที่ของสมดุลระหว่างโมโนเมอร์และไดเมอร์ของกรคน้ำ) และ  $K_{dis.}$  ในขั้นที่เป็นน้ำ ที่อุณหภูมิต่างกันอย่างน้อยสองอุณหภูมิของปฏิกิริยาต่อไปนี้ ก็จะทำให้หาก  $\Delta H^\circ$  และ  $\Delta S^\circ$  ได้



ในขั้น aq. หมายถึงสารละลายในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ

na. หมายถึงสารละลายในตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำ

ซึ่งถ้าศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ  $\Delta H^\circ$  และ  $\Delta S^\circ$  เมื่อลักษณะของโครงสร้างและโพลาริตี (polarity) ของกรคน้ำเปลี่ยนแปลง (โดยเปลี่ยนความเข้มข้น) ก็จะเป็นอีกทางหนึ่งที่ทำให้ทราบถึงความมากหรือน้อยของปฏิกิริยาระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลาย (solute-solvent interaction)