



## การทดลองที่ 14 ทรานสเฟอร์เรนซ์ของไอออน

### จุดประสงค์

1. หาจำนวนทรานสเฟอร์เรนซ์ของไอออนในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก โดยวิธีวัดการเคลื่อนที่ของรอยต่อ (Moving-Boundary)

### ทฤษฎี

จำนวนทรานสเฟอร์เรนซ์ของไอออน หมายถึง เศษส่วนของกระแสไฟฟ้าที่นำโดยไอออนนั้นๆ นิยมใช้สัญลักษณ์  $t_+$  สำหรับจำนวนทรานสเฟอร์เรนซ์ของไอออนบวก และ  $t_-$  สำหรับจำนวนทรานสเฟอร์เรนซ์ของไอออนลบ ในกรณีที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดเดียว (single electrolyte)

$$t_+ = \frac{I_+}{I} \quad \text{และ} \quad t_- = \frac{I_-}{I} \quad (1)$$

เมื่อ  $I_+$  และ  $I_-$  คือกระแสไฟฟ้าที่นำโดยไอออนบวกและไอออนลบตามลำดับ ส่วน  $I$  คือกระแสไฟฟ้าทั้งหมด นอกจากนั้นจำนวนทรานสเฟอร์เรนซ์ยังเกี่ยวข้องกับ โมบิลิตีของไอออน ( $u$ ) ดังสมการ

$$t_+ = \frac{u_+}{u_+ + u_-} \quad \text{และ} \quad t_- = \frac{u_-}{u_+ + u_-} \quad (2)$$

ซึ่งเขียนได้ในรูปสภาพนำสมมูลของไอออน ( $\lambda$ ) เป็น

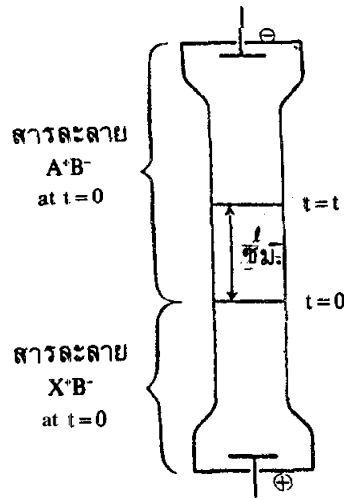
$$t_+ = \frac{\lambda_+}{\lambda_+ + \lambda_-} \quad \text{และ} \quad t_- = \frac{\lambda_-}{\lambda_+ + \lambda_-} \quad (3)$$

พิจารณาสมการ (1) (2) และ (3) จะเห็นว่าผลรวมของจำนวนทรานส์เฟอร์เรนซ์ของไอออนทั้งหมดในสารละลายมีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอคือ

$$t_+ + t_- = 1 \quad (4)$$

การหาจำนวนทรานส์เฟอร์เรนซ์ของไอออนในทางปฏิบัติทำได้ 3 วิธีคือฮิตทอร์ฟ (Hittorf) ซึ่งเป็นวิธีการทางเคมี การวัดการเคลื่อนที่ของรอยต่อ (Moving-Boundary) และการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า นิยมใช้สองวิธีแรก เนื่องจากวิธีวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าถึงแม้จะทำได้ง่ายและรวดเร็วแต่ให้ผลไม่ค่อยถูกต้อง จำนวนทรานส์เฟอร์เรนซ์ที่หาได้โดยวิธีนี้จึงเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น

การวัดการเคลื่อนที่ของรอยต่อ (moving boundary method) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาจำนวนทรานส์เฟอร์เรนซ์ของไอออนที่ละลาย และให้ผลถูกต้อง โดยอาศัยหลักการวัดความเร็วของไอออนในสารละลาย ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องมือใช้หลอดแก้วยาว บรรจุด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์สองชนิดที่มีไอออนร่วม (common ion) เช่น  $A^+B^-$  และ  $X^+B^-$  เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลาย จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของรอยต่อ โดยไอออนบวกคือ  $A^+$  และ  $X^+$  จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทด ขณะที่  $B^-$  เคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนด ถ้าขั้วแคโทดอยู่ในสารละลาย  $A^+B^-$  ดังรูปที่ 14.1 แต่ไอออน  $X^+$  เคลื่อนที่เร็วกว่าไอออน  $A^+$  จะทำให้เกิดการผสมระหว่างสารละลายทั้งสองเนื่องจากการแพร่ของไอออน ดังนั้นเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของรอยต่อชัดเจนระหว่างสารละลายทั้งสองไอออน  $A^+$  จะต้องเคลื่อนที่เร็วกว่า  $X^+$  และสารละลายที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะอยู่ชั้นล่าง ความเร็วของการเคลื่อนที่ของรอยต่อตามความยาวของหลอดแก้วก็คือความเร็วของไอออน  $A^+$  นั่นเอง การติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่จะเห็นได้ชัดเจน ถ้าสารละลายทั้งสองชนิดมีสีต่างกัน หรือใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมเติมลงไป หรือมีดัชนีหักเหต่างกัน



รูปที่ 14.1 แผนภาพการเคลื่อนที่ของรอยต่อ

พิจารณารอยต่อที่เคลื่อนที่ไปด้วยระยะทาง  $l$  ซม. ในเวลา  $t$  วินาที

$$\text{ปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านสารละลาย} = it \quad \text{คูลอมบ์} \quad (5)$$

$$= \frac{it}{F} \quad \text{ฟาราเดย์} \quad (6)$$

$$\text{ฉะนั้น จำนวนฟาราเดย์ที่นำโดยไอออน } A^+ = t_+ \frac{it}{F} \quad (7)$$

$$\text{หรือ จำนวนสมมูลที่นำโดยไอออน } A^+ = t_+ \frac{it}{F} \quad (8)$$

สารละลายมีความเข้มข้น  $C$  สมมูล.ลิตร<sup>-1</sup> ปริมาตร  $V$  ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรอยต่อในเวลา  $t$  วินาทีจะเป็น

$$v = t_+ \frac{it}{CF} \quad \text{ลิตร} \quad (9)$$

$$\text{หรือ} \quad v = 1000t_+ \frac{it}{CF} \quad \text{ลบ. ซม.} \quad (10)$$

และถ้าหลอดแก้วมีพื้นที่หน้าตัด คือ A คงที่จะได้

$$V = IA = 1000t_+ \frac{it}{CF} \quad (11)$$

ฉะนั้น 
$$t_+ = \frac{CFIA}{1000it} \quad (12)$$

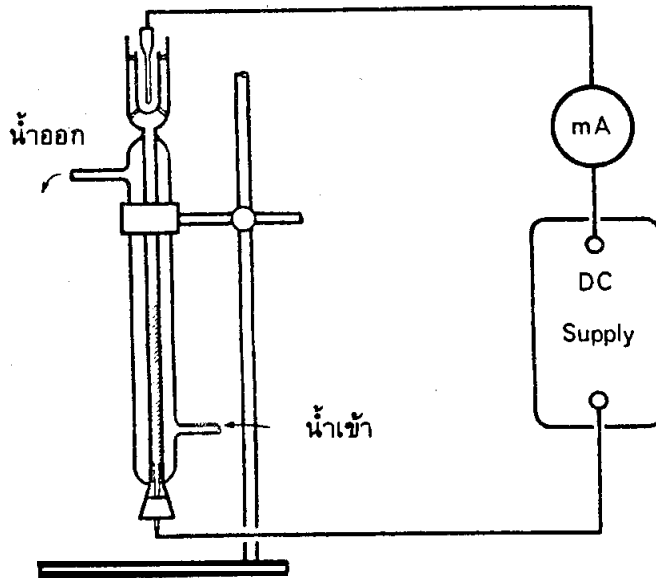
สมการ (12) เป็นสมการทั่วไปในการคำนวณหาจำนวนทรานส์เฟอร์เรนซ์ของไอออนบวก โดยวิธีวัดการเคลื่อนที่ของรอยต่อ

ส่วน  $t_-$  นั้น สามารถคำนวณจากความสัมพันธ์  $t_+ + t_- = 1$  ตารางที่ 14.1 แสดงจำนวนทรานส์เฟอร์เรนซ์ของไอออนบวกของสารละลายบางชนิดที่อุณหภูมิ 25°C

Solution normality	AgNO <sub>3</sub>	BaCl <sub>2</sub>	LiCl	NaCl	KCl	KNO <sub>3</sub>	LaCl <sub>3</sub>	HCl
0.01	0.4648	0.440	0.3289	0.3918	0.4902	0.5084	0.4625	0.8251
0.05	0.4664	0.4317	0.3211	0.3876	0.4899	0.5093	0.4482	0.8292
0.10	0.4682	0.4253	0.3168	0.3854	0.4898	0.5103	0.4375	0.8314
0.50		0.3986	0.300		0.4888		0.3958	
1.00		0.3792	0.287		0.4882			

ตารางที่ 14.1 จำนวนทรานส์เฟอร์เรนซ์ของไอออนของสารละลายบางชนิด ที่ 25°C

ในทางปฏิบัติกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายควรมีค่าคงที่ และไม่ควรมีค่ามากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับ ความร้อนการขยายตัว (expansion) และการพา (convection) ของสารละลาย ฉะนั้นควรใช้หลอดแก้วที่แคบและมีการควบคุมอุณหภูมิ ตลอดเวลาที่ทำการทดลอง นอกจากนี้ Kohlrausch พบว่าการเคลื่อนที่ของรอยต่อจะชัดเจนและให้ผลการทดลองที่ถูกต้องที่สุด เมื่อ  $t_+/C$  ของไอออนบวกทั้งสองชนิดมีค่าเท่ากัน รูปที่ 14.2 แสดงแผนภาพวงจรของเครื่องมือ



รูปที่ 14.2 แผนภาพวงจรของเครื่องมือหาจำนวนทรานเฟอร์เรนซ์ของไอออนด้วยการวัดการเคลื่อนที่ของรอยต่อ

### อุปกรณ์และสารเคมี

ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ลบ.ซม.

บีกเกอร์ขนาด 250 และ 500 ลบ.ซม.

ขั้วไฟฟ้า Ag

ขั้วไฟฟ้า Pt

นาฬิกาจับเวลา

D.C. Power Supply

เครื่องมือ Moving-Boundary

กรดไฮโดรคลอริก(hydrochloric acid(HCl))

### วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 และ 0.05 โมลาร์

จำนวน 500 ลบ.ซม.

2. นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ จำนวนหนึ่งมาเตรียมขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl โดยใช้ขั้ว Ag ที่ทำความสะอาด และขัดด้วยกระดาษทรายจนเรียบเป็นขั้วอะโนด และขั้ว Pt เป็นขั้วคะโทด ต่อวงจรเข้ากับ D.C. Power Supply ปรับกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 10 มิลลิแอมแปร์ เป็นเวลาประมาณ 40 นาที

3. ล้างเครื่องมือ Moving-Boundary และจัดตั้งให้อยู่ในลักษณะดังรูปที่ 14.2

4. นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ จำนวน 400 ลบ.ซม. ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 ลบ.ซม. หยดอินดิเคเตอร์ (methyl orange ที่เตรียมไว้ให้) จนกระทั่งสารละลายมีสีแดงเข้ม จากนั้นเติมสารละลายในบีกเกอร์สู่หลอดแก้ว ปิดปลายหลอดแก้วด้วยจุกที่ติดกับขั้ว Cu โดยอย่าให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นในหลอดแก้ว จากนั้นเติมสารละลายที่เหลือในบีกเกอร์ในส่วนบนของเครื่องมือ

5. นำขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ที่เตรียมได้ในข้อ 2 ใส่ลงในส่วนบนของเครื่องมือ ต่อเข้ากับขั้วลบของ D.C. Power Supply โดยขั้วไฟฟ้า Cu ที่อยู่ส่วนล่างของเครื่องมือ ต่อเข้ากับขั้วบวกของ D.C. Power Supply เมื่อตรวจสอบวงจรของเครื่องมือเรียบร้อยแล้ว เปิดน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเครื่องมือ เปิดเครื่อง D.C. Power Supply ให้กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 4-5 มิลลิแอมแปร์

6. เมื่อเกิดขึ้นสีเหลืองของสารละลายเคลื่อนที่จากส่วนล่างของเครื่องมือจนกระทั่งถึงขีดบอกปริมาตรของหลอดแก้ว เริ่มจับเวลาที่ชั้นสีเหลือง (boundary) เคลื่อนที่ทุก ๆ สเกลบอกปริมาตร (5-6 ค่า)

7. ทำการทดลองข้อ 2-6 ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง บันทึกเวลา และระยะทางในการเคลื่อนที่ทุก ๆ สเกลบอกปริมาตร

#### หมายเหตุ

- อย่าให้ขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl แห้ง ควรจะเตรียมแล้วใช้ทันที
- ก่อนเปิดเครื่อง D.C. Power Supply ในข้อ 5 ควรจะให้อาจารย์ผู้ควบคุมตรวจสอบเสียก่อน

- ล้างเครื่องมือ Moving-Boundary และขั้วไฟฟ้า ให้สะอาดและแห้งก่อนส่งคืน

## การวิเคราะห์ผลและการคำนวณ

1. หาเวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของ boundary
2. คำนวณจำนวนทรานส์เฟอร์เรนซ์ของ  $H^+$  และ  $Cl^-$  ใน 0.05 โมลาร์ HCl
3. เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า

## คำถาม

1. เหตุใดจึงเกิด boundary สีเหลืองทางด้านล่างของหลอดทดลอง และการเคลื่อนที่ของ boundary เนื่องจากอะไร
2. การจับเวลาช่วงต้น และช่วงปลายของสเกลบอกปริมาตร มีผลต่อจำนวนทรานส์เฟอร์เรนซ์ของไอออนที่ศึกษาหรือไม่ อธิบาย



แบบรายงานการทดลองที่ 14  
 ทรานส์เฟอเรนซ์ของ ไอออน

ชื่อนักศึกษา ..... รหัสประจำตัว .....

ชื่อผู้ร่วมงาน 1. .... รหัสประจำตัว .....

2. .... รหัสประจำตัว .....

กลุ่มที่ ..... ตอนที่ .....

วันที่ทำการทดลอง .....

อุดมhuriห้อง ..... ซ

อุดมhuriที่ทำการทดลอง ..... ซ

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ = มิลลิแอมแปร์

ปริมาตรที่เคลื่อนที่ (ลบ.ซม.)	เวลา (วินาที)

แบบรายงานการทดลองที่ 14  
 ทราบสเฟอเวอเรนซ์ของไอออน

ชื่อนักศึกษา ..... รหัสประจำตัว .....

ชื่อผู้ร่วมงาน 1. .... รหัสประจำตัว .....

2. .... รหัสประจำตัว .....

กลุ่มที่ ..... ตอนที่ .....

วันที่ทำการทดลอง .....

อุณหภูมิห้อง ..... °C  
 อุณหภูมิที่ทำการทดลอง ..... °C

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ =                      มิลลิแอมแปร์

ปริมาตรที่เคลื่อนที่ (ลบ. ซม. )	เวลา (วินาที)