

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

โปรดอ่านจุดประสงค์ คำค้ำแนวคิดสำคัญ และผังมโนทัศน์ แล้วจึงศึกษารายละเอียดของหน่วยที่ 4 ต่อไป

สาระการเรียนรู้

- ❖ เรื่องที่ 4.1 ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์
- ❖ เรื่องที่ 4.2 ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน
- ❖ เรื่องที่ 4.3 ประโยชน์ของศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน
- ❖ เรื่องที่ 4.4 เซลล์ความเข้มข้น

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวังประจำหน่วย

อภิปราย อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ ครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน สามารถนำค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานไปใช้อธิบายประโยชน์ได้

จุดประสงค์การเรียนรู้ประจำหน่วยที่ 4

หลังจากศึกษาหน่วยการเรียนรู้ที่ 4 และหัวเรื่องที่ 4.1 - 4.4 แล้วนักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ และครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้
2. อธิบายวิธีวัดค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ได้
3. บอกเกณฑ์ที่ใช้กำหนดศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ได้
4. อธิบายการเกิดปฏิกิริยาในครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานเมื่อต่อกับครึ่งเซลล์อื่น ๆ ที่ทราบค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ได้
5. ใช้ค่า E^0 ของครึ่งเซลล์ทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์และทิศทางการเกิดปฏิกิริยาได้
6. คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ได้
7. อธิบายการเกิดปฏิกิริยาในเซลล์ความเข้มข้นได้

ลำดับแนวคิดสำคัญประจำหน่วยการเรียนรู้ที่ 4

เมื่อต่อครึ่งเซลล์ต่างกันสองครึ่งเซลล์เข้าด้วยกันเป็นเซลล์กัลวานิก อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำไปยังขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า ความต่างศักย์ที่วัดได้คือ ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ มีหน่วยเป็น โวลต์

ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ทราบได้โดยอ่านจากค่าโวลต์มิเตอร์ เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันระหว่าง 2 ครึ่งเซลล์ เข็มโวลต์มิเตอร์จะเบนจากขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำไปหาขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า เรียกขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำว่า แอโนด และเรียกขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า แคโทด

การหาศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์วัดโดยตรงไม่ได้ ทำได้โดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้เรียกครึ่งเซลล์ที่ใช้เปรียบเทียบว่าครึ่งเซลล์มาตรฐาน เขียนย่อเป็น E^0 มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.00 โวลต์เมื่อต้องการทราบค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ใดก็นำไปต่อกับครึ่งเซลล์มาตรฐาน เรียกค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ว่า ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์

นักวิทยาศาสตร์กำหนดครึ่งเซลล์ที่ใช้เปรียบเทียบเพื่อเป็นมาตรฐานเดียวกัน คือครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าทำด้วยโลหะแพลทินัมอยู่ในหลอดแก้วที่มีแก๊ส H_2 ความดัน 1 atm. จุ่มอยู่ในสารละลายกรด HCl เข้มข้น 1 mol/dm^3 . ที่อุณหภูมิ $25^\circ C$ มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.00 V.

ครึ่งเซลล์ใดมีศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเป็นบวกหรือมากกว่า 0.00 แสดงว่าสารในครึ่งเซลล์นั้นรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า H^+ ไอออนในครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน ครึ่งเซลล์ใดมีศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเป็นลบหรือน้อยกว่า 0.00 แสดงว่า สารในครึ่งเซลล์นั้นเสียอิเล็กตรอนให้กับ H^+ ไอออนในครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน

เซลล์กัลวานิกเมื่อเกิดปฏิกิริยาความเข้มข้นของไอออนในสารละลายเปลี่ยนแปลง ค่าศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปด้วย จึงสามารถสร้างเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ชนิดเดียวกันแต่ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แตกต่างกันเรียกว่า เซลล์ความเข้มข้น

เรื่องที่ 4.1 ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์

ครึ่งเซลล์ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยโลหะจุ่มอยู่ในสารละลายที่มีไอออนของโลหะนั้น ๆ เช่น Cu จุ่มอยู่ในสารละลายที่มี Cu^{2+} ครึ่งเซลล์แต่ละชนิดจะมีศักย์ไฟฟ้าประจำตัว เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ ครึ่งเซลล์ต่างชนิดกันจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้และรับอิเล็กตรอนของไอออนในครึ่งเซลล์นั้น ครึ่งเซลล์ที่มีไอออนรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าจะมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า เมื่อต่อครึ่งเซลล์ต่างชนิดกันเข้าด้วยกันจะอ่านค่าศักย์ได้จากมิเตอร์ ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ นิยมใช้หน่วยเป็น โวลต์

ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์

ในทางปฏิบัติการหาค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ทำได้โดยการเปรียบเทียบคือ ต้องกำหนดว่า ครึ่งเซลล์ใดครึ่งเซลล์หนึ่งเป็นครึ่งเซลล์มาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบ โดยครึ่งเซลล์มาตรฐานคือครึ่งเซลล์ที่ประกอบด้วยสารละลายเข้มข้น 1 mol/dm^3 ถ้ามีแก๊สเกี่ยวข้องด้วยต้องมีความดัน 1 atm . ที่อุณหภูมิ 25°C ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน = 0.00 โวลต์ เขียนสัญลักษณ์ย่อเป็น E^0 ครึ่งเซลล์มาตรฐานที่จะใช้เปรียบเทียบจะเป็นครึ่งเซลล์ใดก็ได้ เช่น ครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$, ครึ่งเซลล์ $\text{Pb(s)} | \text{Pb}^{2+}(\text{aq})$ เป็นต้น เมื่อใช้ครึ่งเซลล์ใดเป็นมาตรฐานจะต้องเตรียมให้อยู่ในสภาวะดังนี้

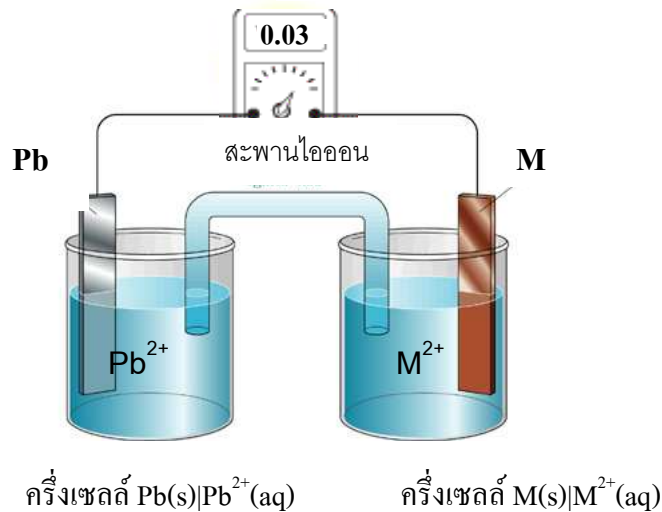
สภาวะมาตรฐานที่กำหนดให้เป็นสภาวะเปรียบเทียบดังนี้

1. สารละลายในครึ่งเซลล์จะต้องมีความเข้มข้น 1 mol/dm^3 และความเข้มข้นนี้จะต้องคงที่
2. ถ้าเป็นแก๊สจะใช้ความดัน 1 บรรยากาศ และต้องมีค่าคงที่ตลอดไป
3. ต้องใช้อุณหภูมิขณะทดลองคงที่ คือเท่ากับ 25°C
4. ต้องกำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์มาตรฐาน = 0.00 โวลต์

ครึ่งเซลล์ที่ใช้เป็นครึ่งเซลล์มาตรฐานเปรียบเทียบ จะใช้ครึ่งเซลล์ใดก็ได้ แต่ต้องจัดให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานตามที่กำหนดให้ดังกล่าวแล้ว

ตัวอย่างที่ 16 สมมติกำหนดให้ครึ่งเซลล์ $\text{Pb(s)} | \text{Pb}^{2+}(\text{aq})$ ใช้เปรียบเทียบ

เมื่อใช้ครึ่งเซลล์ $\text{Pb(s)} | \text{Pb}^{2+}(\text{aq})$ เป็นครึ่งเซลล์มาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบเพื่อหาค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ $\text{M(s)} | \text{M}^{2+}(\text{aq})$ นำมาต่อเป็นเซลล์กัลวานิกดังรูป



อธิบาย

จากรูปที่จะเห็นว่าเข็มของโวลต์มิเตอร์จะเบนเข้าหาขั้ว M และอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าได้ 0.03 โวลต์ แสดงว่ามีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้ว Pb ไปยังขั้ว M ดังนั้นครึ่งเซลล์ $\text{Pb(s)} | \text{Pb}^{2+}(\text{aq})$ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และครึ่งเซลล์ $\text{M(s)} | \text{M}^{2+}(\text{aq})$ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน มี Pb เป็นแอโนด (ขั้วลบ) และ M เป็นแคโทด (ขั้วบวก)

ความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ = ศักย์ไฟฟ้าแคโทด - ศักย์ไฟฟ้าแอโนด

$$\begin{aligned} \text{หรือ} \quad E_{\text{cell}}^0 &= E_{\text{cathode}}^0 - E_{\text{anode}}^0 \\ \text{ดังนั้น} \quad 0.03 &= \text{ศักย์ไฟฟ้าขั้ว M} - \text{ศักย์ไฟฟ้าขั้ว Pb} \\ 0.03 &= \text{ศักย์ไฟฟ้า M} - 0.00 \text{ V.} \\ \text{ศักย์ไฟฟ้า M} &= +0.03 \text{ V.} \end{aligned}$$

จากการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์มาตรฐานจะเห็นว่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์นั้น ๆ ถ้าเข็มมิเตอร์จะเบนเข้าหาครึ่งเซลล์ที่นำมาต่อศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นั้นจะเป็นบวก แต่ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้าหาครึ่งเซลล์มาตรฐาน ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นั้นจะเป็นลบ

ตัวอย่างที่ 17 จากผลการทดลองนำครึ่งเซลล์ $M(s) | M^{2+}(aq)$ เป็นครึ่งเซลล์มาตรฐาน นำมาต่อกับครึ่งเซลล์ต่าง ๆ ได้ผลดังนี้

ครึ่งเซลล์ที่ต่อกัน	เข็มมิเตอร์เบนเข้าหา	ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ (โวลต์)
$M(s) M^{2+}(aq)$ ต่อกับ $Cu(s) Cu^{2+}(aq)$	Cu	0.48 V.
$M(s) M^{2+}(aq)$ ต่อกับ $Mg(s) Mg^{2+}(aq)$	M	1.54 V.

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. จงหาค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ $Cu(s) | Cu^{2+}(aq)$
2. จงหาค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ $Mg(s) | Mg^{2+}(aq)$
3. ถ้านำครึ่งเซลล์ $Cu(s) | Cu^{2+}(aq)$ ต่อกับครึ่งเซลล์ $Mg(s) | Mg^{2+}(aq)$ ความต่างศักย์ของเซลล์เป็นเท่าใด เข็มมิเตอร์ไปไปทางใด

วิธีทำ 1. จงหาค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ $Cu(s) | Cu^{2+}(aq)$

แนวคิด ครึ่งเซลล์ $M(s) | M^{2+}(aq)$ เป็นครึ่งเซลล์มาตรฐานมีศักย์ไฟฟ้า = 0.00 โวลต์
 กรณีที่ต่อกับครึ่งเซลล์ $Cu(s) | Cu^{2+}(aq)$ เข็มมิเตอร์เบนเข้าหา Cu แสดงว่า Cu เป็นขั้วบวก(แคโทด) และ M เป็นขั้วลบ (แอโนด) หาศักย์ไฟฟ้าได้ดังนี้
 ความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ = ศักย์ไฟฟ้าแคโทด - ศักย์ไฟฟ้าแอโนด

$$\text{หรือ } E_{\text{cell}}^0 = E_{\text{Cu}}^0 - E_{\text{M}}^0$$

$$0.48 = \text{ศักย์ไฟฟ้า } Cu(s) | Cu^{2+}(aq) - 0.00 \text{ V.}$$

$$\text{ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ } Cu(s) | Cu^{2+}(aq) = +0.48 \text{ V.}$$

วิธีทำ 2. จงหาค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ $Mg(s) | Mg^{2+}(aq)$

แนวคิด ครึ่งเซลล์ $M(s) | M^{2+}(aq)$ เป็นครึ่งเซลล์มาตรฐานมีศักย์ไฟฟ้า 0.00 โวลต์
 กรณีที่ต่อกับครึ่งเซลล์ $Mg(s) | Mg^{2+}(aq)$ เข็มมิเตอร์เบนเข้าหา M แสดงว่า M เป็นขั้วบวก(แคโทด) และ Mg เป็นขั้วลบ (แอโนด) หาศักย์ไฟฟ้าได้ดังนี้
 ความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ = ศักย์ไฟฟ้าแคโทด - ศักย์ไฟฟ้าแอโนด

$$\text{หรือ } E_{\text{cell}}^0 = E_{\text{M}}^0 - E_{\text{Mg}}^0$$

$$1.54 = 0.00 \text{ V} - \text{ศักย์ไฟฟ้า } Mg(s) | Mg^{2+}(aq)$$

$$\text{ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ } Mg(s) | Mg^{2+}(aq) = -1.54 \text{ V}$$

วิธีทำ 3. ถ้านำครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ ต่อกับครึ่งเซลล์ $\text{Mg(s)} | \text{Mg}^{2+}(\text{aq})$ ความต่างศักย์ของเซลล์เป็นเท่าใด เข็มมิเตอร์ไปทางใด

แนวคิด ถ้านำครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ ต่อกับครึ่งเซลล์ $\text{Mg(s)} | \text{Mg}^{2+}(\text{aq})$ มาต่อกัน พิจารณาจากศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ต่อไปนี้

- ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) = +0.48 \text{ V.}$
- ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ $\text{Mg(s)} | \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) = -1.54 \text{ V}$

ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ มากกว่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ $\text{Mg(s)} | \text{Mg}^{2+}(\text{aq})$ ดังนั้น $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ เป็นขั้วบวกและ $\text{Mg(s)} | \text{Mg}^{2+}(\text{aq})$ หาศักย์ไฟฟ้าได้ดังนี้

ความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ = ศักย์ไฟฟ้าแคโทด - ศักย์ไฟฟ้าแอโนด

$$\begin{aligned} E_{\text{cell}}^0 &= E_{\text{Cu}}^0 - E_{\text{Mg}}^0 \\ &= +0.48 \text{ V.} - (-1.54 \text{ V.}) \\ &= +2.02 \text{ V.} \end{aligned}$$

ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ = +2.02 V

กิจกรรมที่ 4.1

สำรวจ ตรวจสอบ ความรู้ความเข้าใจเรื่อง ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์

- กำหนดให้ครึ่งเซลล์ $B(s) | B^{2+}(aq)$ เป็นครึ่งเซลล์มาตรฐานที่สร้างขึ้นที่สภาวะมาตรฐาน (ความเข้มข้น 1 mol/dm^3 , ที่อุณหภูมิ 25°C) นำมาวัดหาศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์โดยใช้ โวลต์มิเตอร์ชนิดที่เชื่อมเบนไปในทิศทางกรเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนได้ผลดังนี้

เซลล์ไฟฟ้าเคมี	ความต่างศักย์ (โวลต์)	ทิศทางกรเบนของเข็มมิเตอร์
$A(s) A^{2+}(aq)$ กับ $B(s) B^{2+}(aq)$	0.56	เบนเข้าหาขั้ว B
$B(s) B^{2+}(aq)$ กับ $C(s) C^{2+}(aq)$	0.98	เบนเข้าหาขั้ว C
$A(s) A^{2+}(aq)$ กับ $C(s) C^{2+}(aq)$	0.42	เบนเข้าหาขั้ว A
$C(s) C^{2+}(aq)$ กับ $D(s) D^{2+}(aq)$	0.38	เบนเข้าหาขั้ว C

จงตอบคำถามต่อไปนี้

- เมื่อนำครึ่งเซลล์ $A(s) | A^{2+}(aq)$ มาต่อกับครึ่งเซลล์ $B(s) | B^{2+}(aq)$ ครึ่งเซลล์ใดมีค่าศักย์ไฟฟ้ามากกว่ากัน.....
- ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ $A(s) | A^{2+}(aq)$ มีค่าเท่าใด.....
- ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ $C(s) | C^{2+}(aq)$ มีค่าเท่าใด.....
- ถ้าสร้างเซลล์ $A(s) | A^{2+}(aq)$ และ $C(s) | C^{2+}(aq)$ จะได้ศักย์ไฟฟ้ากี่โวลต์.....
.....
.....
- ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ $D(s) | D^{2+}(aq)$ มีค่าเท่าใด.....
.....
.....

