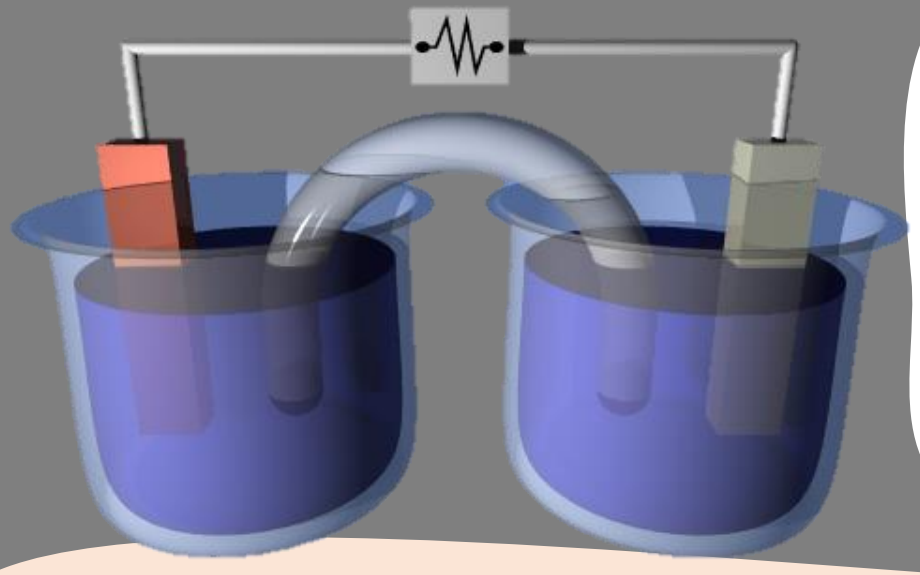
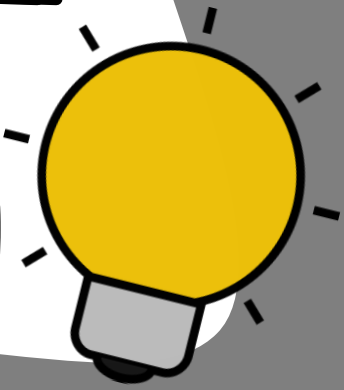
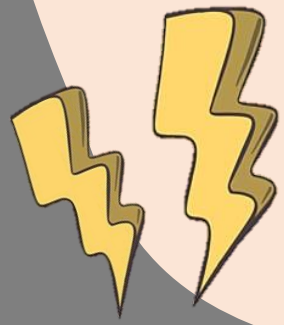
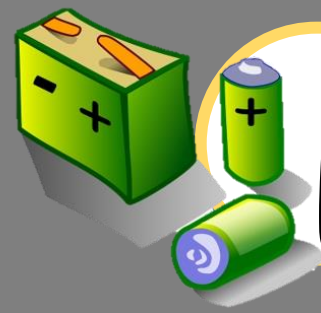


บทที่ 11
เคมีไฟฟ้า



เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์





เคมีไฟฟ้า

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

11.2 การดุลสมการรีดอกซ์

11.3 เซลล์เคมีไฟฟ้า

11.4 ประโยชน์ของเซลล์เคมีไฟฟ้า

11.5 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเคมีไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

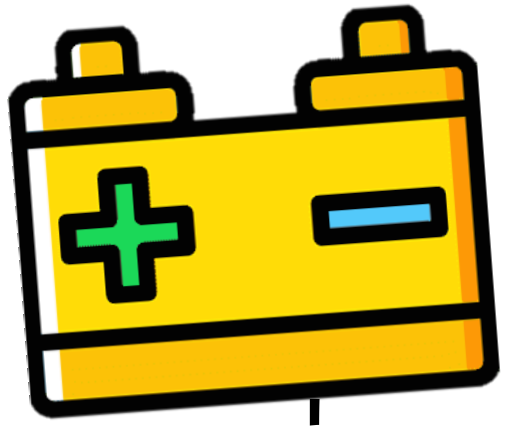
1. คำนวณเลขออกซิเดชันของธาตุในสารประกอบและไอออนต่าง ๆ
2. อธิบายความหมายของปฏิกิริยารีดอกซ์ และระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์จากเลขออกซิเดชันของสารในปฏิกิริยา
3. อธิบายความหมายของครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน ตัวรีดิวซ์ และตัวออกซิไดส์
4. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน และระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์
5. ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าอาจได้มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งอาศัยพลังงานกลเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่ซึ่งอาศัยปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า การเกิดปฏิกิริยาเคมีและพลังงานไฟฟ้าเรียกว่า **เคมีไฟฟ้า (electrochemistry)**

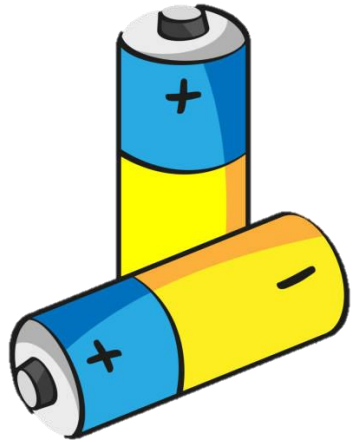
11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

แหล่งกำเนิดไฟฟ้า



แบตเตอรี่รถยนต์

ถ่านไฟฉาย



11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

พลังงานไฟฟ้าเกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารเรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) การถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่ทำปฏิกิริยาเคมีนั้น

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

เลขออกซิเดชันเป็นค่าที่แสดงประจุไฟฟ้าสมมติของไอออนหรืออะตอมของธาตุ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

1. อะตอมของธาตุอิสระทุกชนิดที่อยู่ในรูปอะตอมหรือโมเลกุล เช่น Ca Fe He S_8 O_2 อะตอมของธาตุเหล่านี้ Ca Fe He S O มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 0

2. ไอออนของธาตุมีเลขออกซิเดชันเท่ากับประจุของไอออนนั้น เช่น

Na^+ มีเลขออกซิเดชันเป็น +1 Mg^{2+} มีเลขออกซิเดชันเป็น +2

Cl^- มีเลขออกซิเดชันเป็น -1 S^{2-} มีเลขออกซิเดชันเป็น -2

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

3. ในสารประกอบ เลขออกซิเดชันของธาตุหมู่หลักมีค่าดังนี้

- ฟลูออรีน มีเลขออกซิเดชันเป็น -1 เสมอ
- ธาตุหมู่ 1A มีเลขออกซิเดชันเป็น +1 เสมอ
- ธาตุหมู่ 2A มีเลขออกซิเดชันเป็น +2 เสมอ
- ธาตุหมู่ 3A มีเลขออกซิเดชันเป็น +3 เสมอ

ยกเว้น Tl มีเลขออกซิเดชัน +3 หรือ +1

- ธาตุ H มีเลขออกซิเดชันเป็น +1 เมื่อเกิดพันธะกับธาตุอโลหะ และมีเลขออกซิเดชันเป็น -1 เมื่อเกิดพันธะกับธาตุโลหะ
- ออกซิเจน มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ในสารประกอบส่วนใหญ่

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

4. สารประกอบมีผลรวมของเลขออกซิเดชันเท่ากับ 0 เช่น NaCl โซเดียมมีเลขออกซิเดชันเป็น +1 ดังนั้นคลอรีนมีเลขออกซิเดชันเป็น -1

5. กลุ่มไอออนมีผลรวมของเลขออกซิเดชันเท่ากับประจุของกลุ่มไอออนนั้น เช่น ฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) มีผลรวมของเลขออกซิเดชันของธาตุทุกตัวในกลุ่มไอออนเท่ากับ -3

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

ตัวอย่างที่ 1

หาเลขออกซิเดชันของธาตุทั้งหมดในสารที่กำหนดให้ต่อไปนี้

1. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)
2. ฟอสเฟตไอออน (PO_2^{3-})

วิธีทำ 1. หาเลขออกซิเดชันของธาตุทั้งหมดในซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

จากข้อกำหนด

O มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ในสารประกอบส่วนใหญ่

เนื่องจากผลรวมเลขออกซิเดชันของธาตุทั้งหมดใน SO_2 เท่ากับ 0 สามารถหาเลขออกซิเดชันของ S ได้ดังนี้

[เลขออกซิเดชันของ S] + [2 x (-2)] = 0

เลขออกซิเดชันของ S = +4

ดังนั้น เลขออกซิเดชันของกำมะถันเท่ากับ +4 และเลขออกซิเดชันของออกซิเจนเท่ากับ -2

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

ตัวอย่างที่ 1

2. หาเลขออกซิเดชันของธาตุทั้งหมดในซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (PO_2^{3-})

จากข้อกำหนด

O มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ในสารประกอบส่วนใหญ่

เนื่องจากผลรวมเลขออกซิเดชันของธาตุทั้งหมดใน PO_2^{3-} เท่ากับ -3 สามารถหาเลขออกซิเดชันของ P ได้ดังนี้

[เลขออกซิเดชันของ P] + [4 x (-2)] = -3

เลขออกซิเดชันของ P = +5

ดังนั้น เลขออกซิเดชันของฟอสฟอรัสเท่ากับ +5 และเลขออกซิเดชันของออกซิเจนเท่ากับ -2

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

แบบทดสอบ

1. สารประกอบใดที่ออกซิเจนมีค่าเลขออกซิเดชัน = -1/2

ก PbO_2 ✗

ข H_2O_2 ✗

ค BaO_2 ✗

ง KO_2 ✓

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

แบบทดสอบ

2. สารประกอบใดที่ออกซิเจนมีค่าเลขออกซิเดชัน = -1

ก PbO_2

ข H_2O_2

ค BaO_2

ง KO_2

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

แบบทดสอบ

3. เลขออกซิเดชันของ N ใน NH_2OH คือข้อใด

ก -2

ข -1

ค 0

ง +1

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

เลขออกซิเดชันของธาตุในสารประกอบบางชนิด

หมู่	ธาตุ	สารประกอบ (เลขออกซิเดชัน)
IVA	C	CH_4 (-4) CCl_4 (+4) CO (+2) CO_2 (+4)
	Si	Ca_2Si (-4) $SiCl_4$ (+4) SiO_2 (+4)
VA	N	NH_3 (-3) NCl_3 (+3) N_2O (+1) NO (+2) N_2O_3 (+3) NO_2 (+4) N_2O_5 (+5)
	P	PH_3 (-3) PCl_3 (+3) PCl_5 (+5) P_2O_3 (+3) P_2O_5 (+5)
VIA	O	H_2O (-2) Na_2O_2 (-1)
	S	H_2S (-2) SCl_2 (+2) SO_2 (+4) SO_3 (+6)
VIIA	Cl	HCl (-1) Cl_2O (+1) Cl_2O_7 (+7) $KClO_2$ (+3) $KClO_3$ (+5) $KClO_4$ (+7)
VIIB	Mn	MnO (+2) Mn_2O_3 (+3) MnO_2 (+4) Mn_2O_5 (+5) K_2MnO_4 (+6) $KMnO_4$ (+7)
VIB	Cr	CrO (+2) $CrCl_3$ (+3) CrI_4 (+4) CrF_5 (+5) CrO_3 (+6)

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

จากตารางธาตุหมู่ IVA VA VIA VIIA (ยกเว้นฟลูออรีน) และโลหะแทรนซิชันส่วนใหญ่มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า

เมื่อทราบเลขออกซิเดชันของธาตุทำให้สามารถระบุได้ว่าปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่ทำปฏิกิริยาเคมีกัน

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารละลายกรดไฮโดรคลอริกกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$$

เลขออกซิเดชัน (+1)(-1) (+1)(-2)(+1) (+1)(-1) (+1)(-2)

ปฏิกิริยานี้**ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์** เนื่องจากธาตุทุกชนิดในปฏิกิริยาเคมีไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน

เลขออกซิเดชันลดลง

$$Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$$

เลขออกซิเดชัน (0) (+2)(+6)(-2) (+2)(+6)(-2) (0)

เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

ปฏิกิริยานี้เป็น**ปฏิกิริยารีดอกซ์** เนื่องจากมีธาตุที่มีการาเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

แบบทดสอบ

4. ข้อใดต่อไปนี้ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

ก $Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$

ข $2H_2S(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2SO_2(g) + 2H_2O(g)$

ค $HCO_3^-(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(l) + CO_3^{-2}(aq)$

ง $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$

กิจกรรม 11.1

การทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

ในปฏิกิริยารีดอกซ์ สารที่เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการ**ให้อิเล็กตรอน**เรียกว่า **ตัวรีดิวซ์ (reducing agent)** ส่วนสารที่มีเลขออกซิเดชันลดลง ซึ่งเกิดจากการ**รับอิเล็กตรอน** เรียกว่า **ตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent)**

ถ้าให้ X เป็นตัวรีดิวซ์ และ Y^+เป็นตัวออกซิไดซ์ เขียนปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ดังนี้

$$X(s) + Y^+(aq) \longrightarrow X^+(aq) + Y(s)$$

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

ปฏิกิริยารีดอกซ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ครึ่งปฏิกิริยา

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation half-reaction คือ ครึ่งปฏิกิริยาที่ให้อิเล็กตรอน)

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน (Oxidation half-reaction คือ ครึ่งปฏิกิริยาที่รับอิเล็กตรอน)

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $X(s) \longrightarrow X^{+}(aq) + Y(s)$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $Y^{+}(aq) + e^{-} \longrightarrow Y(s)$

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

ดังนั้น เมื่อพิจารณาปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะสังกะสีกับสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ดังสมการ

$$Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$$

สามารถเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน ได้ดังนี้

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$

จะเห็นว่า สารที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุองค์ประกอบจะไม่นำมาเขียนในครึ่งปฏิกิริยา

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

ตรวจสอบความเข้าใจ

ระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกไดส์ พร้อมทั้งเขียนแสดงครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์ต่อไปนี้

1. $Cu(s) + 2Ag^{+}(aq) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$

ตัวรีดิวซ์ คือ $Cu(s)$ ตัวออกซิไดส์ คือ $Ag^{+}(aq)$

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^{-}$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $2Ag^{+}(aq) + 2e^{-} \longrightarrow 2Ag(s)$

2. $2Al(s) + 6H^{+}(aq) \longrightarrow 2Al^{3+}(aq) + 3H_2(g)$

ตัวรีดิวซ์ คือ $Al(s)$ ตัวออกซิไดส์ คือ $H^{+}(aq)$

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $2Al(s) \longrightarrow 2Al^{3+}(aq) + 6e^{-}$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $6^{+}(aq) + 6e^{-} \longrightarrow 3H_2(s)$

กิจกรรม 11.2

การทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะ

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์

ธาตุ	ดี ← ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ → ไม่ดี K Ca Na Mg Al Zn Fe Ni Pb H_2 Cu Hg Ag Au
ไอออน	ไม่ดี → ความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ → ดี K^+ Ca^{2+} Na^+ Mg^{2+} Al^{3+} Zn^{2+} Fe^{2+} Ni^{2+} Pb^{2+} H^+ Cu^{2+} Hg^{2+} Ag^+ Au^{3+}

*จากตารางธาตุโลหะหมู่หลักเป็นตัวรีดิวซ์ได้ดีกว่าโลหะแทรนซิชัน และไอออนของธาตุโลหะแทรนซิชันเป็นตัวออกซิไดส์ได้ดีกว่า

11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

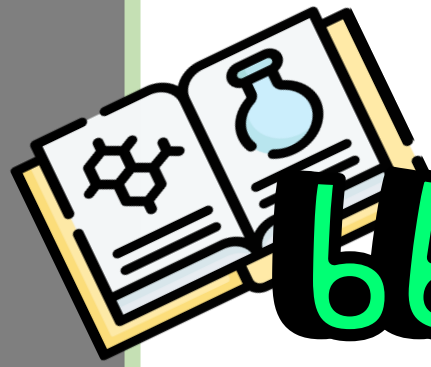
ตรวจสอบความเข้าใจ

จากตารางโลหะใดบ้างเมื่อจุ่มลงในสารละลายกรดแล้วเกิดปฏิกิริยาให้แก๊สไฮโดรเจน (H_2)

โลหะ K Ca Na Mg Al Zn Fe Ni Pb เพราะ H^+ เป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่าไอออนของโลหะเหล่านี้

2. ถ้าใส่ทองคำ (Au) ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ทองคำจะเกิดการออกซิไดส์กลายเป็นไอออนหรือไม่ เพราะเหตุใด

ไม่เกิด เนื่องจากไอออนของ Au (Au^{3+})เป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่า H^+ ดังนั้น H^+ จึงไม่สามารถรับอิเล็กตรอนจาก Au ได้



แบบฝึกหัด 11.1