

แผนการสอนสัปดาห์ที่ 15

หน่วยเรียนที่ 7 กรด-เบส และสมดุลไอออน
บทเรียนที่ 7.2 สมดุลไอออน

จำนวนชั่วโมง 3

จุดประสงค์การสอน (จุดประสงค์ทั่วไป)

1. เพื่อให้เข้าใจสมดุลไอออน

ผลการเรียนรู้ (จุดประสงค์เฉพาะ)

1. คำนวณเกี่ยวกับสมดุลของเกลือ
2. คำนวณเกี่ยวกับไฮโดรไลซิส
3. คำนวณเกี่ยวกับสารละลายบัฟเฟอร์
4. อธิบายสมดุลไอออนเชิงซ้อน

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. การบรรยาย
2. กิจกรรม

สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

เอกสารประกอบการสอน

เอกสาร powerpoint

http://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=137

<http://facebook.com/chemographics>

<http://slideshare.net/woravith>

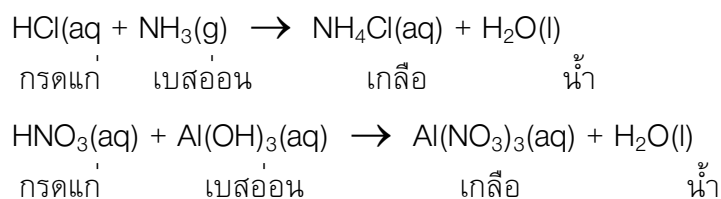
การวัดผล

1. การสอบย่อย/การสอบกลางภาค/การสอบปลายภาค
2. การประเมินจากผลงานที่มอบหมาย/กิจกรรม



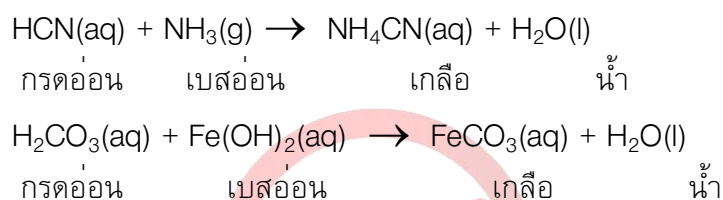
เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่ สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ทำปฏิกิริยากับน้ำ) สารละลายมีสมบัติเป็นเบส

1.3) เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน เช่น



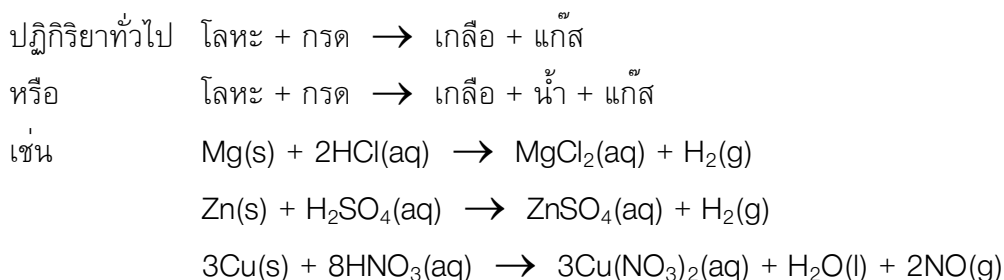
เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ทำปฏิกิริยากับน้ำ) สารละลายมีสมบัติเป็นกรด

1.4) เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสอ่อน เช่น

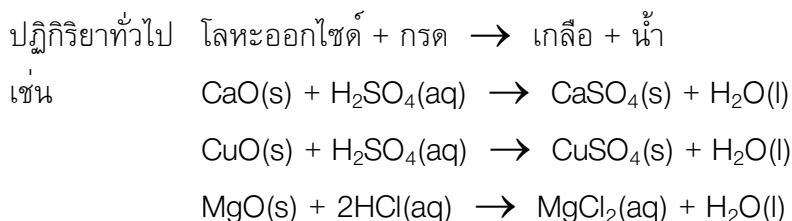


เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสอ่อน สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ทำปฏิกิริยากับน้ำ) สารละลายมีสมบัติเป็นได้ทั้งกรด เบส และกลาง

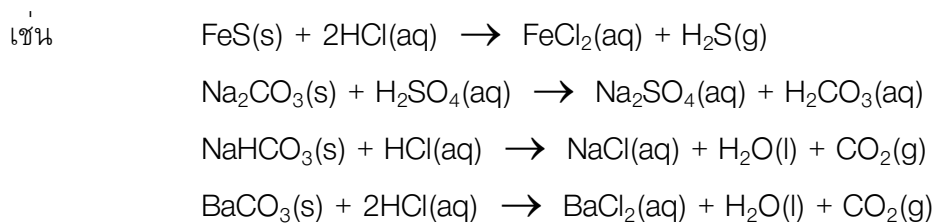
2) เตรียมจากปฏิกิริยาของโลหะกับกรด



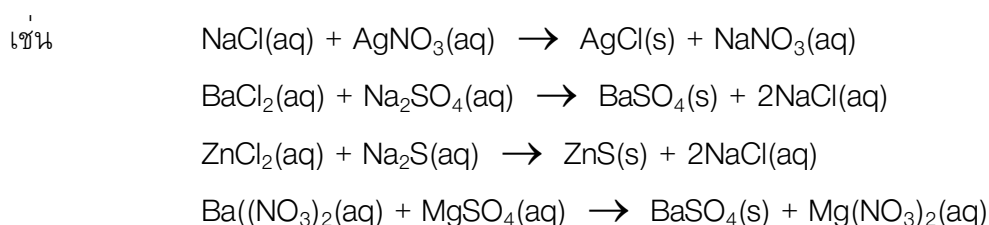
3) เตรียมจากปฏิกิริยาของโลหะออกไซด์กับกรด



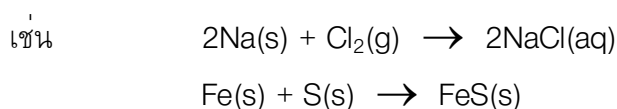
4) เตรียมจากปฏิกิริยาของเกลือกับกรด



5) เตรียมจากปฏิกิริยาของเกลือกับเกลือ



6) โดยการรวมตัวกันโดยตรงของโลหะกับโลหะ



ตัวอย่าง 7.20 เขียนปฏิกิริยาการเตรียมเกลือต่อไปนี้

- 1) $2\text{HCl(aq)} + \text{Mg(OH)}_2\text{(aq)} \rightarrow 2\text{MgCl}_2\text{(aq)} + 2\text{H}_2\text{O(l)}$
- 2) $\text{HNO}_3\text{(aq)} + \text{NH}_3\text{(aq)} \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3\text{(aq)}$
- 3) $\text{Zn(s)} + 2\text{HCl(aq)} \rightarrow \text{ZnCl}_2\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$
- 4) $\text{FeS(s)} + 2\text{HNO}_3\text{(aq)} \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_2\text{(aq)} + \text{H}_2\text{S(g)}$
- 5) $\text{Fe(s)} + \text{O(g)} \rightarrow \text{FeO(s)}$

การเรียกชื่อเกลือ

เกลือจะเรียกตามการเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก (พันธะไอออนิก) โดยให้เรียกชื่อไอออนบวกก่อนแล้วตามด้วยไอออนลบ

- 1) ชื่อไอออนบวกเรียกตามชื่อธาตุ (ดูภาคผนวก ข)
- 2) ชื่อไอออนลบให้เปลี่ยนคำลงท้าย

2.1) ไอออนลบที่เป็นอะตอมเดี่ยวให้เปลี่ยนคำลงท้ายเป็น -ไอด์ (-ide) ตามหลักการเรียกชื่อไอออนลบในสารประกอบไอออนิก (หน่วยเรียนที่ 4) ชื่อเรียกเกลือที่ประกอบด้วยไอออนลบที่เป็นอะตอมเดี่ยว แสดงดังตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 ชื่อเรียกเกลือที่ประกอบด้วยไอออนลบที่เป็นอะตอมเดี่ยว

เกลือ	ไอออนบวก	ไอออนลบ	ชื่อเรียกเกลือ
NaCl	Na ⁺	Cl ⁻	โซเดียมคลอไรด์
CaBr ₂	Ca ²⁺	Br ⁻	แคลเซียมโบรไมด์
KI	K ⁺	I ⁻	โพแทสเซียมไอโอไดด์
Na ₂ S	Na ⁺	S ²⁻	โซเดียมซัลไฟด์
MgO	Mg ²⁺	O ²⁻	แมกนีเซียมออกไซด์
Na ₃ N	Na ⁺	N ³⁻	โซเดียมไนไตรด์

2.2) ถ้าไอออนลบเป็นอนุมูลที่มาจากกรดที่ลงท้ายด้วย -อิก (-ic) ชื่อเรียกเกลือให้เปลี่ยนคำลงท้ายเป็น -เอต (-ate) ดังตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.6 ชื่อเรียกเกลือที่ประกอบด้วยไอออนลบของอนุมูลกรดที่ลงท้ายด้วย -อิก

เกลือ	ไอออนบวก	ไอออนลบ	ชื่อเรียกอนุมูลกรด	ชื่อเรียกเกลือ
Na ₂ CO ₃	Na ⁺	CO ₃ ²⁻	คาร์บอริก	โซเดียมคาร์บอเนต
Ca ₃ (PO ₄) ₂	Ca ²⁺	PO ₄ ³⁻	ฟอสฟอริก	แคลเซียมฟอสเฟต
K ₂ SO ₄	K ⁺	SO ₄ ²⁻	ซัลฟิวริก	โพแทสเซียมซัลเฟต
Na ₂ SO ₄	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	ซัลฟิวริก	โซเดียมซัลเฟต

2.3) ถ้าไอออนลบเป็นอนุมูลกรดมาจากกรดที่ลงท้ายด้วย -อัส (-ous) ชื่อเรียกเกลือให้เปลี่ยนคำลงท้ายเป็น -ไอต์ (-ite) ดังตารางที่ 7.7

ตารางที่ 7.7 ชื่อเรียกเกลือที่ประกอบด้วยไอออนลบของอนุมูลกรดที่ลงท้ายด้วย -อัส

เกลือ	ไอออนบวก	ไอออนลบ	ชื่อเรียกอนุมูลกรด	ชื่อเรียกเกลือ
K ₂ SO ₃	K ⁺	SO ₃ ²⁻	ซัลฟิวรัส	โพแทสเซียมซัลไฟต์
Mg(NO ₂) ₂	Mg ²⁺	NO ₂ ⁻	ไนไตรต์	แมกนีเซียมไนไตรต์

3) ถ้าไอออนบวกมีเลขออกซิเดชันมากกว่า 1 ค่า ให้ระบุเลขออกซิเดชันเป็นเลขโรมันไว้ในวงเล็บหลังชื่อไอออนบวก เช่น

Fe(NO₃)₂ เรียกว่า เหล็ก(II) ไนเตรต

Fe(NO₃)₃ เรียกว่า เหล็ก(III) ไนเตรต

SnCl₂ เรียกว่า ทิน(II) คลอไรด์

SnCl₄ เรียกว่า ทิน(IV) คลอไรด์

ประโยชน์ของเกลือ

เกลือและสารละลายของเกลือหลายชนิดนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน การแพทย์และอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 7.8

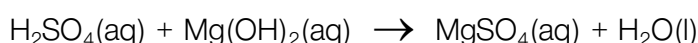
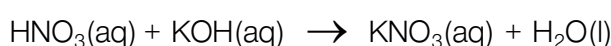
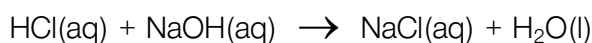
ตารางที่ 7.8 ประโยชน์ของเกลือบางชนิด

สูตรเคมี	ชื่อทางเคมี	ชื่อทางการค้า	ประโยชน์
NaCl	โซเดียมคลอไรด์	เกลือแกง	- ใช้ปรุงอาหาร และถนอมอาหาร - ใช้เป็นวัตถุเติมในอุตสาหกรรมผลิตโซดาไฟและโซดาแอช
KCl	โพแทสเซียมคลอไรด์	-	- ใช้รักษาภาวะโพแทสเซียมในร่างกายต่ำ (hypokalemia) - ใช้เป็นปุ๋ย - ใช้เป็นสารพิษในการฉีดเข้าเส้นเลือดเพื่อประหารชีวิต
KNO ₃	โพแทสเซียมไนเตรต	ดินประสิว	- เป็นส่วนผสมของดอกไม้เพลิง - ใช้ทำดินปืน - ใช้ใส่อาหารหมักดอง
NH ₄ NO ₃	แอมโมเนียมไนเตรต	-	- ใช้เป็นปุ๋ยเคมี
Ca ₃ (PO ₄) ₂	แคลเซียมฟอสเฟต	-	- เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน
BaSO ₄	แบเรียมซัลเฟต	-	- ใช้ในการตรวจระบบทางเดินอาหาร - ใช้เป็นตัวฟิลเลอร์ (filler) ในการทำพลาสติก - ใช้เป็นตัวออกซิไดซ์สำหรับทำดอกไม้ไฟ
NaHCO ₃	โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต	-	- ใช้ทำขนมให้ฟู - ใช้เป็นยาลดกรดในกระเพาะอาหาร - ใช้ประโยชน์ในการดับไฟป่า
CaCO ₃	แคลเซียมคาร์บอเนต	หินปูน	- ใช้เป็นยาลดกรดในกระเพาะอาหาร - ใช้เป็นตัวเติม (filler) เพื่อปรับปรุงผิวของพลาสติก
Na ₂ SO ₄	โซเดียมซัลเฟต	-	- ใช้ในอุตสาหกรรมสบู่ ผงซักฟอก สีย้อมแก้ว กระดาษ
MgSO ₄	แมกนีเซียมซัลเฟต	ดีเกลือ	- ใช้ในการแก้ไขและรักษาดินขาดธาตุแมกนีเซียม
MgCO ₃	แมกนีเซียมคาร์บอเนต	-	- ใช้เป็นยาขับถ่าย
NH ₄ Cl	แอมโมเนียมคลอไรด์	-	- ใช้เป็นยาขับปัสสาวะและขับเสมหะ
FeSO ₄	เหล็ก(II) ซัลเฟต	-	- ใช้รักษาโรคโลหิตจาง
KI	โพแทสเซียมไอโอไดด์	-	- ใช้รักษาโรคคอหอยพอก

ความเป็นกรด-เบสของเกลือ

เมื่อเกลือละลายน้ำ สารละลายที่เกิดขึ้นอาจมีสมบัติเป็นได้ทั้งกรด เบส หรือกลาง ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดและเบสเริ่มต้น เรียกปฏิกิริยาที่เกลือทำปฏิกิริยากับน้ำว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ถ้าเกลือละลายน้ำแล้วไอออนที่แตกตัวไปสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำ แล้วแตกตัวให้ H^+ เกลื่อนั้นจะมีสมบัติเป็นกรด แต่ถ้าแตกตัวให้ OH^- เกลื่อนั้นจะมีสมบัติเป็นเบส ดังนั้นการพิจารณาต้องดูเกลือที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากกรดแก่หรือกรดอ่อนกับเบสแก่หรือเบสอ่อน สรุปได้ดังนี้

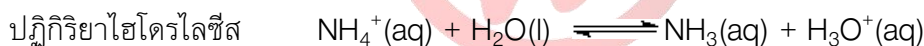
1) เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ เช่น



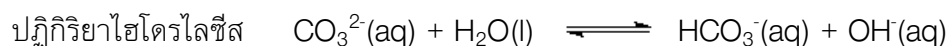
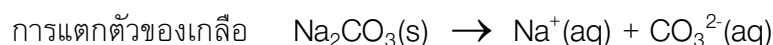
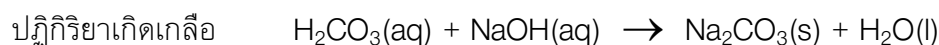
ค่า pH เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสแก่เป็นกลาง ($pH=7$) เนื่องจากเกลือประเภทนี้ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส กล่าวคือ เกลือประเภทนี้เมื่อละลายน้ำแล้วไม่สามารถแตกตัวให้ H^+ หรือ OH^- ค่า pH จึงเป็นกลาง เนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำบริสุทธิ์

2) เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน

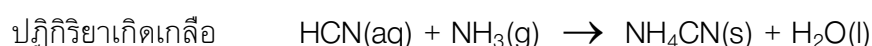
เกลือประเภทนี้เมื่อละลายน้ำแล้วสารละลายจะมีสมบัติเป็นกรดอ่อน ($pH < 7$) เนื่องจากเมื่อเกิดการละลายแล้วส่วนของเกลือที่มาจากเบสอ่อนจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำ เช่น NH_4Cl



3) เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่ เกลือประเภทนี้เมื่อละลายน้ำแล้วสารละลายจะมีสมบัติเป็นเบสอ่อน ($pH > 7$) เนื่องจากเมื่อเกิดการละลายแล้วส่วนของเกลือที่มาจากกรดอ่อนจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำ เช่น Na_2CO_3



4) เกลือที่เกิดจากกรดอ่อนและเบสอ่อน เกลือประเภทนี้เมื่อละลายน้ำแล้วสารละลายจะมีสมบัติอาจเป็นได้ทั้งกรด เบส หรือกลาง เช่น NH_4CN



จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเห็นว่าสปีส์กรดอ่อนและเบสอ่อนสามารถเกิดไฮโดรไลซิสได้ทั้งคู่ ดังนั้นเกลือประเภทนี้จะเป็นกรดหรือเบส ขึ้นกับค่าคงที่การแตกตัว เนื่องจาก ค่า $K_b > K_a$ ดังนั้นแสดงว่า CN^- เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้ OH^- ได้ดีกว่า NH_4^+ ดังนั้น $[\text{OH}^-] > [\text{H}^+]$ สารละลายของเกลือ NH_4CN จึงแสดงสมบัติเป็นเบส ($\text{pH} > 7$)

ตัวอย่าง 7.21 จงเขียนสมการแสดงการละลายน้ำของเกลือโซเดียมแอสเตต (CH_3COONa) และให้บอกว่าสารละลายเป็นกรดหรือเบส

วิธีคิด เกลือ CH_3COONa เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ Na^+ และ CH_3COO^- ดังสมการ



Na^+ ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

CH_3COO^- เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังสมการ



จากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ OH^- ดังนั้นสารละลายของเกลือ CH_3COONa จึงมีสมบัติเป็นเบส

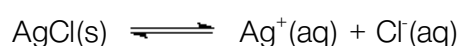
สมดุลการละลายของเกลือ

เมื่อเกลือประเภทนี้ละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนบวกและไอออนลบทั้งหมด เกลือประเภทนี้จึงจัดเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) เช่น NaCl ละลายในน้ำได้ดี จะแตกตัวให้ Na^+ และ Cl^- ดังนั้นในสารละลายจะมีแต่ Na^+ และ Cl^- ละลายอยู่ในน้ำ โดยไม่มี NaCl เหลือ ดังนั้น เกลือประเภทนี้จึงเป็นสมดุลไอออนที่อยู่ในวัฏภาคเดียวกันทั้งหมด และเมื่อมีการแตกตัวอย่างสมบูรณ์จึงไม่เกิดภาวะสมดุลเกลือที่ละลายน้ำได้ดี ประกอบด้วยเกลือดังนี้

- 1) เกลือหมู่ 1A ทุกชนิด
- 2) เกลือของหมู่ NH_4^+ ทุกชนิด
- 3) เกลือของ NO_3^- ทุกชนิด
- 4) เกลือหมู่ 2A รวมกับไอออนประจุ -1
- 5) เกลือ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

เกลือไอออนิกที่ละลายน้ำได้น้อย (แตกตัวได้ไม่สมบูรณ์) จะเกิดสมดุลในสารละลายเป็นสมดุลไอออนที่อยู่ในวัฏภาคต่างกัน เกลือบางชนิดละลายน้ำได้น้อยมากจนถือว่าไม่ละลายน้ำ เช่น AgCl , BaSO_4 และ Ag_2SO_4

ดังนั้นเมื่อ AgCl ละลายในน้ำจะยังมีตะกอน AgCl เหลืออยู่ และมี Ag^+ และ Cl^- ที่เกิดจากการละลายน้อยมาก ปฏิกิริยาการละลายของเกลือ AgCl เกิดภาวะสมดุลได้ดังปฏิกิริยา



ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการละลายของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย เขียนได้เหมือนค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาทั่วไป

$$K = \frac{[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]}{[\text{AgCl}]} \quad \text{.....(7.30)}$$

เนื่องจาก AgCl สถานะเป็นของแข็งมีความเข้มข้นคงที่ จึงไม่ต้องนำมาคิดในสมการค่าคงที่สมดุลสมการ (7.30) จึงเขียนได้เป็น

$$K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] \quad \text{.....(7.31)}$$

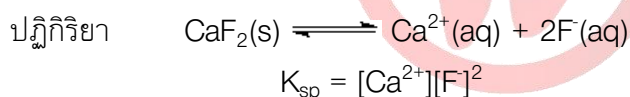
เมื่อ K_{sp} = ค่าคงที่สมดุลของการละลาย

กรณีที่เป็นสมดุลของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อยใช้สัญลักษณ์ K_{sp} แทน K โดยเรียกว่า ค่าคงที่สมดุลของการละลาย หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ผลคูณการละลาย

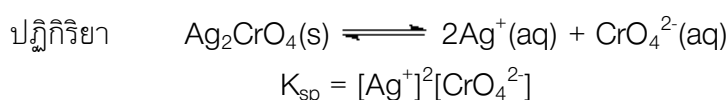
ค่า K_{sp} ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเช่นเดียวกับค่าคงที่สมดุลอื่นๆ ค่า K_{sp} เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าเกลือชนิดนั้นละลายน้ำได้มากน้อยเพียงใดที่อุณหภูมิคงที่และใช้สำหรับเปรียบเทียบว่าเกลือใดละลายน้ำได้ดีกว่ากัน ค่า K_{sp} ของเกลือบางชนิดแสดงในตารางที่ 7.9 โดยปกติเกลือที่มีค่า K_{sp} มากกว่าจะละลายน้ำได้ดีกว่า เช่น BaF_2 และ CaF_2 มีค่า K_{sp} เท่ากับ 1.7×10^{-6} และ 3.9×10^{-11} ตามลำดับ แสดงว่า BaF_2 ละลายในน้ำได้ดีกว่า CaF_2

ตัวอย่าง 7.22 การเขียนสมการค่าคงที่สมดุลของเกลือละลายน้ำได้น้อย

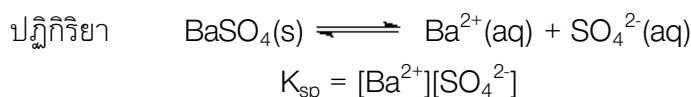
ก) CaF_2



ข) Ag_2CrO_4



ค) BaSO_4

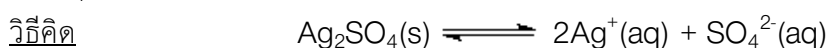


ปริมาณการละลายของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย นิยมบอกเป็นค่าการละลาย (solubility หน่วย g/L) และค่าการละลายเป็นโมลาร์ (molar solubility หน่วย mol/L) จากค่า K_{sp} สามารถใช้คำนวณความสามารถในการละลายของเกลือ และใช้ในการทำนายการตกตะกอนของเกลือไอออนิก

ตารางที่ 7.9 ค่าคงที่สมดุลของการละลาย (K_{sp}) ของเกลือบางชนิดที่ 25°C

เกลือ	สูตรเคมี	สมการการละลาย	K_{sp}
อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์	$Al(OH)_3$	$Al(OH)_3(s) \rightleftharpoons Al^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	1.3×10^{-33}
แบเรียมคาร์บอเนต	$BaCO_3$	$BaCO_3(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$	5.1×10^{-9}
แบเรียมซัลเฟต	$BaSO_4$	$BaSO_4(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$	1.1×10^{-10}
แคลเซียมคาร์บอเนต	$CaCO_3$	$CaCO_3(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$	2.8×10^{-9}
แคลเซียมฟลูออไรด์	CaF_2	$CaF_2(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2F^-(aq)$	5.3×10^{-9}
แคลเซียมซัลเฟต	$CaSO_4$	$CaSO_4(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$	9.1×10^{-6}
โครเมียม(III) ไฮดรอกไซด์	$Cr(OH)_3$	$Cr(OH)_3(s) \rightleftharpoons Cr^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	6.3×10^{-31}
เหล็ก(III) ไฮดรอกไซด์	$Fe(OH)_3$	$Fe(OH)_3(s) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	4.0×10^{-38}
ตะกั่ว(II) คลอไรด์	$PbCl_2$	$PbCl_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$	1.6×10^{-5}
ตะกั่ว(II) โครเมต	$PbCrO_4$	$PbCrO_4(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + CrO_4^{2-}(aq)$	2.8×10^{-13}
ตะกั่ว(II) ไอโอไดด์	PbI_2	$PbI_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2I^-(aq)$	7.1×10^{-9}
ตะกั่ว(II) ซัลเฟต	$PbSO_4$	$PbSO_4(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$	6.3×10^{-7}
แมกนีเซียมคาร์บอเนต	$MgCO_3$	$MgCO_3(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$	3.5×10^{-8}
แมกนีเซียมฟลูออไรด์	MgF_2	$MgF_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2F^-(aq)$	3.7×10^{-8}
แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์	$Mg(OH)_2$	$Mg(OH)_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	1.8×10^{-11}
แมกนีเซียมฟอสเฟต	$Mg_3(PO_4)_2$	$Mg_3(PO_4)_2(s) \rightleftharpoons 3Mg^{2+}(aq) + 2PO_4^{3-}(aq)$	1.0×10^{-25}
ปรอท(I) คลอไรด์	$HgCl$	$HgCl(s) \rightleftharpoons Hg^+(aq) + Cl^-(aq)$	1.3×10^{-18}
ปรอท(I) ไอโอไดด์	HgI	$HgI(s) \rightleftharpoons Hg^+(aq) + I^-(aq)$	1.1×10^{-28}
เงินโบรไมด์	$AgBr$	$AgBr(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Br^-(aq)$	5.0×10^{-13}
เงินคาร์บอเนต	Ag_2CO_3	$Ag_2CO_3(s) \rightleftharpoons 2Ag^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)$	8.5×10^{-12}
เงินคลอไรด์	$AgCl$	$AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$	1.8×10^{-10}
เงินโครเมต	Ag_2CrO_4	$Ag_2CrO_4(s) \rightleftharpoons 2Ag^+(aq) + CrO_4^{2-}(aq)$	1.1×10^{-12}
เงินไอโอไดด์	AgI	$AgI(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + I^-(aq)$	8.5×10^{-17}
เงินซัลเฟต	Ag_2SO_4	$Ag_2SO_4(s) \rightleftharpoons 2Ag^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$	1.5×10^{-5}

ตัวอย่าง 7.23 เกลือ Ag_2SO_4 มีค่าการละลายเท่ากับ 1.5×10^{-2} mol/L ที่อุณหภูมิ 25°C จงคำนวณหา
ค่า K_{sp} ของเกลือ Ag_2SO_4



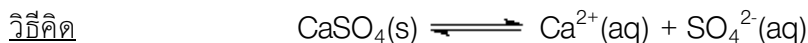
จากสมการจะเห็นได้ว่า 1 mol ของ Ag_2SO_4 จะให้ Ag^+ 2 mol และ SO_4^{2-} 1 mol
ดังนั้นถ้า Ag_2SO_4 1.5×10^{-2} mol/L ความเข้มข้นของแต่ละไอออนเป็น

$$[Ag^+] = 2(1.5 \times 10^{-2}) = 3.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$[SO_4^{2-}] = 1.5 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\begin{aligned}
 K_{sp} &= [\text{Ag}^+]^2[\text{SO}_4^{2-}] \\
 &= (3.0 \times 10^{-2})^2(1.5 \times 10^{-2}) \\
 &= 1.4 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 7.24 เกลือ CaSO_4 มีค่า $K_{sp}=9.1 \times 10^{-6}$ จงคำนวณ $[\text{Ca}^{2+}]$ และ $[\text{SO}_4^{2-}]$



$$[\text{]}_{\text{สมมูล}} (\text{mol/L}) \quad \quad \quad \text{s} \quad \quad \quad \text{s}$$

$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$$

$$9.1 \times 10^{-6} = s^2$$

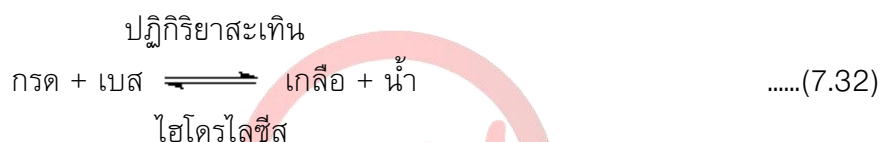
$$s = 3.02 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น $[\text{Ca}^{2+}]$ และ $[\text{SO}_4^{2-}] = 3.02 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

7.2.2 ไฮโดรไลซิส

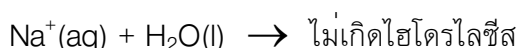
ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) คือปฏิกิริยาระหว่างเกลือกับน้ำ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจัดเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาสะเทิน

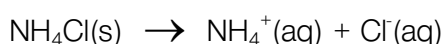


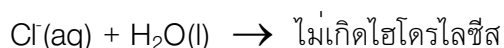
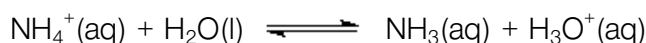
ไฮโดรไลซิสของเกลือ ทำให้สารละลายของเกลือนั้นมีสมบัติเป็นกรดอ่อนหรือเป็นเบสอ่อน เพราะไอออนบวกหรือไอออนลบที่แตกตัวออกจากเกลือ เมื่อเป็นสารละลายไปทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วสามารถให้ H^+ หรือ OH^- ได้ สมบัติความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ จึงขึ้นอยู่กับไอออนบวกและไอออนลบในสารละลายทำปฏิกิริยาน้ำ ดังนั้น ค่า pH ของเกลือขึ้นอยู่กับ การแตกตัวให้ H^+ หรือ OH^-

เมื่อนำเกลือ CH_3COONa (เกลือที่เกิดจากกรดอ่อน-เบสแก่) ไปละลายน้ำจะแตกตัวให้ Na^+ และ CH_3COO^- จากนั้น CH_3COO^- สามารถเกิดไฮโดรไลซิสกับน้ำ เกิดเป็น OH^- ขึ้น ทำให้สารละลายที่ได้มีสมบัติเป็นเบส ส่วน Na^+ ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

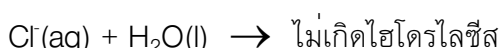
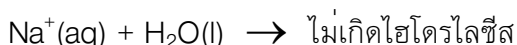


เมื่อนำเกลือ NH_4Cl (เกลือที่เกิดจากกรดแก่-เบสอ่อน) มาละลายน้ำจะแตกตัวเป็น NH_4^+ และ Cl^- พบว่า NH_4^+ สามารถเกิดไฮโดรไลซิสกับน้ำเกิด H_3O^+ ขึ้น ทำให้สารละลายที่ได้มีสภาพเป็นกรด ส่วน Cl^- ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส





เมื่อนำเกลือ NaCl (เกลือที่เกิดจากกรดแก่-เบสแก่) มาละลายน้ำจะแตกตัวได้ Na^+ และ Cl^- เกิดขึ้นทั้ง Na^+ และ Cl^- ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส สารละลายที่ได้มีสภาพเป็นกลาง เนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ

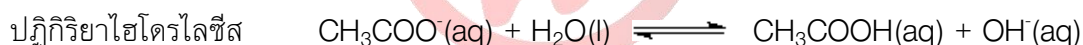


จากตัวอย่างของเกลือ CH_3COONa , NH_4Cl และ NaCl สามารถสรุปค่า pH ที่จุดสมมูลได้ว่า

- 1) เกลือที่ได้จากกรดแก่-เบสแก่ นำไปละลายน้ำจะได้สารละลายที่เป็นกลาง (ไม่เกิดไฮโดรไลซิส)
- 2) เกลือที่ได้จากกรดแก่-เบสอ่อน นำไปละลายน้ำจะได้สารละลายที่เป็นกรด
- 3) เกลือที่ได้จากกรดอ่อน-เบสแก่ นำไปละลายน้ำจะได้สารละลายที่เป็นเบส
- 4) เกลือที่ได้จากกรดอ่อน-เบสอ่อน สารละลายที่ได้อาจเป็นได้ทั้งกรด เบส หรือกลาง

ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

เกลือที่สามารถเกิดไฮโดรไลซิสได้ ณ ภาวะสมดุล สามารถเขียนค่าคงที่สมดุลของการเกิดไฮโดรไลซิส เช่น การเกิดไฮโดรไลซิสเกลือที่เกิดจากกรดอ่อน-เบสแก่ เช่น CH_3COONa



ค่าคงที่สมดุล

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \quad \dots(7.33)$$

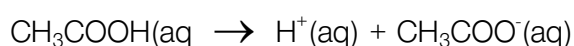
เมื่อ $K_h =$ ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

สมการ (7.33) ถ้านำ $[\text{H}^+]$ คูณทั้งเศษและส่วน จะได้

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]} \quad \dots(7.34)$$

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}] K_w}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]} \quad \dots(7.35)$$

จากปฏิกิริยาการแตกตัว CH_3COOH จะได้



$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad \dots(7.36)$$

จากสมการ (7.36)

$$\frac{1}{K_a} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]} \quad \text{.....(7.37)}$$

แทนสมการ (7.37) ลงในสมการ (7.35) จะได้

$$K_h = \frac{K_w}{K_a} \quad \text{.....(7.38)}$$

ในทำนองเดียวกัน เกลือของกรดแก่-เบสอ่อน สามารถเกิดไฮโดรไลซิสได้ และมีค่าคงที่สมดุลไฮโดรไลซิสเป็น

$$K_h = \frac{K_w}{K_b} \quad \text{.....(7.39)}$$

ส่วนเกลือของกรดอ่อน-เบสอ่อน เกิดไฮโดรไลซิสแล้วสารละลายอาจเป็นได้ทั้งกรด เบส หรือกลาง ค่าคงที่สมดุลไฮโดรไลซิสเป็น

$$K_h = \frac{K_w}{K_a K_b} \quad \text{.....(7.40)}$$

ตัวอย่าง 7.25 คำนวณค่าคงที่ไฮโดรไลซิส ของสารต่อไปนี้

1) HC_2O_4^- (K_a ของ $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 = 5.9 \times 10^{-2}$)

วิธีคิด HC_2O_4^- เป็นคู่เบสของกรด $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$

จากสมการ (7.38)

$$K_h = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{5.9 \times 10^{-2}} = 1.7 \times 10^{-13}$$

2) NH_4^+ (K_b $\text{NH}_3 = 1.8 \times 10^{-5}$)

วิธีคิด NH_4^+ เป็นคู่กรดของเบส NH_3

จากสมการ (7.39)

$$K_h = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^{-10}$$

ตัวอย่าง 7.26 คำนวณค่า pH ของสารละลาย CH_3COONa เข้มข้น 1.0 mol/L (K_a ของ $\text{CH}_3\text{COOH} = 1.8 \times 10^{-5}$)

วิธีคิด เกลือ CH_3COONa เป็นเกลือจากปฏิกิริยาระหว่าง CH_3COOH และ NaOH

ปฏิกิริยาการแตกตัว $\text{CH}_3\text{COONa}(s) \rightarrow \text{Na}^+(aq) + \text{CH}_3\text{COO}^-(aq) \quad (1)$

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส $\text{CH}_3\text{COO}^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{OH}^-(aq) \quad (2)$

ค่าคงที่สมดุลไฮโดรไลซิส

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

ปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดอ่อน $HA(aq) \rightarrow H^+(aq) + A^-(aq)$
ค่าคงที่การแตกตัวของกรด HA คือ

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \quad \text{.....(7.41)}$$

$$[H^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]} \quad \text{.....(7.42)}$$

ทำ -log จะได้ $-\log[H^+] = -\log\left(K_a \frac{[HA]}{[A^-]}\right)$ (7.43)

$$-\log[H^+] = -\log K_a - \log \frac{[HA]}{[A^-]} \quad \text{.....(7.44)}$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]} \quad \text{.....(7.45)}$$

ในกรณีสารละลายบัฟเฟอร์เบส ประกอบด้วยเบส HB และเกลือ B⁻ สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$pOH = pK_b + \log \frac{[B^-]}{[HB]} \quad \text{.....(7.46)}$$

สมการ (7.45) และ (7.46) เรียกว่า สมการของเฮนเดอร์สัน-ฮาเซลบัลช์ (Henderson-Hasselbalch's equation)

ตัวอย่าง 7.27 อธิบายวิธีการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 5.0 ปริมาตร 100 mL ระหว่าง 0.50 mol/L CH_3COOH และ 0.50 mol/L CH_3COONa
วิธีคิด สมการ (7.45)

$$pH = pK_a + \log \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

$$5.0 = 4.76 + \log \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

$$\log \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 0.24$$

ทำ anti-log $\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 1.73$

ดังนั้น จะต้องผสม $[CH_3COONa]$ กับ $[CH_3COOH]$ ให้มีอัตราส่วนเป็น 1:1.73

ตัวอย่าง 7.28 จงคำนวณค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมโดยการละลายเกลือ CH_3COONa หนัก 25.5 g ในน้ำปริมาตร 500 mL ที่มี CH_3COOH เข้มข้น 0.550 mol/L ละลายผสมอยู่
วิธีคิด

ปฏิกิริยาการแตกตัวของเกลือ $\text{CH}_3\text{COONa(s)} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq})$

ปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดอ่อน $\text{CH}_3\text{COOH(aq)} \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$

คำนวณความเข้มข้นของเกลือ CH_3COONa หนัก 25.5 g ในน้ำปริมาตร 500 mL

$$[\text{CH}_3\text{COONa}] = 25.5 \text{ g} \times \left(\frac{1 \text{ mol CH}_3\text{COONa}}{82.4 \text{ g CH}_3\text{COONa}} \right) \left(\frac{1000 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} \right) = 0.622 \text{ mol/L}$$

แสดงว่า $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0.622 \text{ mol/L}$

คำนวณค่า pH จากสมการ (7.45)

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{pK}_a + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \\ \text{pH} &= 4.76 + \log \left(\frac{0.622}{0.550} \right) \\ &= 4.70 \end{aligned}$$

7.2.4 สมดุลไอออนเชิงซ้อน

ไอออนเชิงซ้อน (complex ion) คือ สารประกอบที่เกิดจากอะตอม หรือไอออนของโลหะอยู่ตรงกลางแล้วถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลที่เป็นกลางหรือไอออนลบตั้งแต่สองตัวขึ้นไป เรียก สารประกอบที่เกิดขึ้นว่า สารประกอบเชิงซ้อน (complex compound)

สารประกอบเชิงซ้อนจะประกอบด้วยอะตอมหรือไอออนของโลหะที่อยู่ตรงกลาง เรียกว่า อะตอมกลาง (central atom) และโมเลกุลที่เป็นกลาง หรือไอออนลบที่ล้อมรอบอะตอมกลาง เรียกว่า ลิแกนด์ (ligand)

สารประกอบโคออร์ดิเนชัน

โดยปกติพันธะระหว่างอะตอมกลางกับลิแกนด์เป็นพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ โดยลิแกนด์จะใช้คู่อิเล็กตรอนเกิดพันธะกับอะตอมกลาง จึงนิยมเรียกสารประกอบเชิงซ้อนว่า สารประกอบโคออร์ดิเนชัน (coordination compound) อะตอมกลางอาจเป็นได้ทั้งอะตอมหรือไอออนของโลหะ ส่วนมากเป็นโลหะทรานซิชัน ทำหน้าที่เป็นผู้รับคู่อิเล็กตรอน (electron acceptor) จากลิแกนด์

การเขียนสูตรสารประกอบเชิงซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 7.5 และ 7.6 ซึ่งบริเวณที่ไอออนเชิงซ้อนอยู่ในเครื่องหมาย [] เรียกว่า โคออร์ดิเนชันสเฟียร์ (coordination sphere) ส่วนไอออนใดๆ ที่แสดงอยู่นอกโคออร์ดิเนชันสเฟียร์ เรียกว่า ไอออนดุลประจุ (counter ion) จะเขียนหรือไม่ก็ได้ การเขียนไอออนดุลประจุเพียงเพื่อให้สารประกอบโคออร์ดิเนชันมีประจุเป็นกลางเท่านั้น ไอออนดุลประจุไม่ได้เกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับอะตอมกลางแต่อย่างใด แรงดึงดูดระหว่างไอออนดุลประจุกับไอออนเชิงซ้อนจะเป็นแรงดึงดูดทางประจุไฟฟ้าสถิตระหว่างไอออนบวกและไอออนลบเช่นเดียวกับสารประกอบไอออนิก ดังนั้นโดยทั่วไปการเขียนสูตรสารประกอบโคออร์ดิเนชันจะนิยมเขียนเฉพาะไอออนเชิงซ้อน และการเขียนเครื่องหมายโคออร์ดิเนชันสเฟียร์เพื่อป้องกันการสับสนระหว่างไอออนเชิงซ้อนและไอออนดุลประจุ

เลขโคออร์ดิเนชัน (coordination number) คือตัวเลขที่บอกจำนวนอะตอมที่สามารถสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ หรือ จำนวนอะตอมของผู้ให้อิเล็กตรอนที่อยู่ทั้งหมดในสารประกอบเชิงซ้อน เลขโคออร์ดิเนชันมีตั้งแต่ 2 ถึง 8 (สมมติ ถ้ามีลิแกนด์ 6 อะตอมล้อมรอบอะตอมกลาง จะเรียกว่า สารประกอบเชิงซ้อนนั้นมีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 6 หรือ ถ้ามีลิแกนด์ 4 อะตอมล้อมรอบอะตอมกลาง จะเรียกว่า มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 4) อาจกล่าวสรุปได้ว่า เลขโคออร์ดิเนชัน คือจำนวนลิแกนด์ที่มาสร้างพันธะกับอะตอมกลาง เช่น

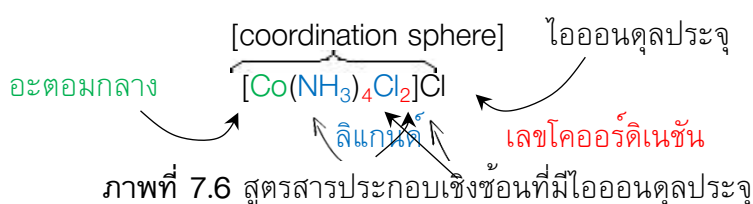
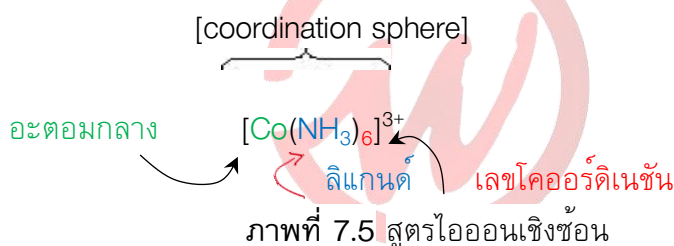
$[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ และ $[\text{CuCl}_4]^{2+}$ ไอออนเชิงซ้อนทั้ง 3 ชนิดนี้ Cu^{2+} มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 4

$[\text{FeF}_6]^{3-}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ และ $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ไอออนเชิงซ้อนทั้ง 3 ชนิดนี้ Fe^{2+} มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 6

เลขโคออร์ดิเนชันของสารประกอบเชิงซ้อนที่พบมากได้แก่ 2, 4 และ 6

การเขียนสูตรสารประกอบเชิงซ้อนจะมีส่วนที่คล้ายกับสารประกอบไอออนิก และสารโคเวเลนต์อยู่บ้าง โดยทั่วไปจะพบสูตรสารประกอบเชิงซ้อน 2 ลักษณะ คือ

- 1) สูตรสารประกอบเชิงซ้อนมีประจุ เช่น $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ และ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$
- 2) สูตรสารประกอบเชิงซ้อนไม่มีประจุ เช่น $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$



อะตอมกลาง

อะตอมกลางของสารโคออร์ดิเนชันจะเป็นโลหะทรานซิชัน เนื่องจากโลหะทรานซิชันมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า สารประกอบที่เกิดจากอะตอมกลางชนิดเดียวกันแต่มีเลขออกซิเดชันต่างกันหรือมีโครงสร้างโมเลกุลต่างกัน มีผลทำให้สีของสารประกอบนั้นแตกต่างกันไปด้วย

ในการพิจารณาเลขออกซิเดชันของโลหะทรานซิชันในสารโคออร์ดิเนชันจะสามารถพิจารณาได้จากชนิดและจำนวนของลิแกนด์ ดังนี้

1.1) ถ้าเป็นลิแกนด์ที่มีประจุเป็นกลาง เลขออกซิเดชันของโลหะทรานซิชันจะเท่ากับประจุไอออนเชิงซ้อน โดยจำนวนลิแกนด์ไม่มีผลต่อเลขออกซิเดชัน ดังตารางที่ 7.10

1.2) ถ้าเป็นลิแกนด์ที่มีประจุเป็นลบ เลขออกซิเดชันของโลหะทรานซิชันจะเท่ากับผลต่างระหว่างประจุไอออนเชิงซ้อนและประจุรวมของลิแกนด์ตามจำนวนลิแกนด์ในสารประกอบเชิงซ้อน ดังตารางที่ 7.10

ตารางที่ 7.10 สารโคออร์ดิเนชันและเลขออกซิเดชันของอะตอมกลาง

สารโคออร์ดิเนชัน	อะตอมกลาง	ลิแกนด์	ประจุลิแกนด์	จำนวนลิแกนด์	ประจุไอออนเชิงซ้อน	เลขออกซิเดชันของอะตอมกลาง
$[\text{Co}(\text{NH}_2)_6]^{4-}$	Co	NH_2	-1	6	+3	+2
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	Co	NH_3	0	6	+2	+2
$[\text{Fe}(\text{CO})_5]$	Fe	CO	0	5	0	0
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	Fe	CN	-1	6	-4	+2
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	Fe	CN	-1	6	-3	+3

ลิแกนด์

ลิแกนด์ คืออะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลาง หรือไอออนลบที่อยู่ล้อมรอบอะตอมกลาง ลิแกนด์ทำหน้าที่เป็นผู้ให้คู่อิเล็กตรอนแก่อะตอมกลางอย่างน้อย 1 คู่ เพื่อเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ การแบ่งประเภทลิแกนด์สามารถแบ่งตามจำนวนการให้คู่อิเล็กตรอนแก่อะตอมกลาง คือ

ลิแกนด์ที่ให้คู่อิเล็กตรอน 1 คู่ เรียกว่า โมโนเดนเทต (monodentate)

ลิแกนด์ที่ให้คู่อิเล็กตรอน 2 คู่ เรียกว่า ไบเดนเทต (bidentate)

ลิแกนด์ที่ให้คู่อิเล็กตรอน 3 คู่ เรียกว่า ไตรเดนเทต (tridentate)

ลิแกนด์ที่ให้คู่อิเล็กตรอน 4 คู่ เรียกว่า เทตระเดนเทต (tetradentate)

ลิแกนด์ที่ให้คู่อิเล็กตรอน 6 คู่ เรียกว่า เฮกซะเดนเทต (hexadentate)

โดยทั่วไปลิแกนด์ที่สามารถให้คู่อิเล็กตรอนได้มากกว่าหนึ่งคู่ในโมเลกุลเดียวกัน เรียกว่า โพลีเดนเทต (polydentate ligand) กระบวนการเกิดสารประกอบโคออร์ดิเนชันที่ประกอบด้วยลิแกนด์ประเภทโพลีเดนเทต เรียกว่า การเกิดคีเลต หรือคีเลชัน (chelation) และลิแกนด์พวกนี้จะเรียกว่า สารคีเลต (chelating agent) ชื่อเรียกลิแกนด์แสดงดังตารางที่ 7.11, 7.12 และ 7.13

ตารางที่ 7.11 ลิแกนด์และชื่อเรียกของลิแกนด์ประเภทโมโนเดนเทตที่เป็นประจุลบ

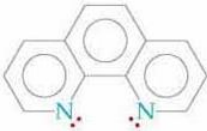

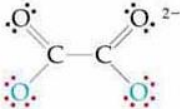
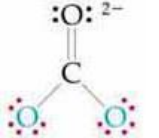
ลิแกนด์	ชื่อไอออนลบ	ชื่อลิแกนด์
Br ⁻	โบรไมด์ (bromide)	โบรโม (bromo)
Cl ⁻	คลอไรด์ (chloride)	คลอโร (chloro)
F ⁻	ฟลูออไรด์ (fluoride)	ฟลูออโร (fluoro)
OH ⁻	ไฮดรอกไซด์ (hydroxide)	ไฮดรอกโซ (hydroxo)
CN ⁻	ไซยาไนด์ (cyanide)	ไซยาเนโต (cyanato)
H ⁻	ไฮไดรด์ (hydride)	ไฮไดริโด (hydrido)
O ²⁻	ออกไซด์ (oxide)	ออกโซ (oxo)

NH_2^-	เอไมด์ (amide)	เอมิโด (amido)
NO_2^-	ไนโตร (nitro)	ไนตริโต (nitrito)
SCN^-	ไธโอไซยาเนต (thiocyanate)	ไธโอไซยาเนโต (thiocyanato)
NCS^-	ไธโอไซยาเนต (thiocyanate)	ไอโซไธโอไซยาเนโต (isothiocyanato)

ตารางที่ 7.12 ลิแกนด์และชื่อเรียกของลิแกนด์ประเภทโมโนเดนเทตที่มีประจุเป็นกลาง

ลิแกนด์	ชื่อโมเลกุล	ชื่อลิแกนด์
NH_3	แอมโมเนียม (ammonia)	แอมมีน (ammine)
H_2O	น้ำ (water)	อะควา (aqua)
CO	คาร์บอนมอนอกไซด์ (carbonmonoxide)	คาร์บอนิล (carbonyl)
$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	ไพริดีน (pyridine)	ไพริดีน (pyridine)
CH_3NH_2	เมทิลลามีน (methylamine)	เมทิลลามีน (methylamine)

ตารางที่ 7.13 ลิแกนด์และชื่อเรียกของลิแกนด์ประเภทไบเดนเทต

ประจุลิแกนด์	ชื่อลิแกนด์	ตัวย่อ	สูตรโครงสร้าง
	เอทิลีนไดเอมีน (ethylenediamine)	en	$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$
0	ฟิแนนโทโรลีน (phenanthroline)	phen	
	ไบไพริดีน (bipyridine)	bipy	
-2	ออกซาเลโต (oxalato)	-	
	คาร์บอเนโต (carbonato)	-	

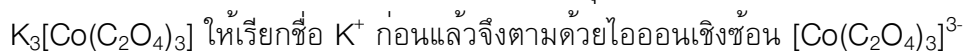
การเรียกชื่อสารประกอบเชิงซ้อน

ตามข้อตกลงระหว่างนักเคมีนานาชาติให้ใช้ระบบ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ในการเรียกชื่อสารประกอบเชิงซ้อนดังนี้

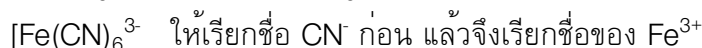
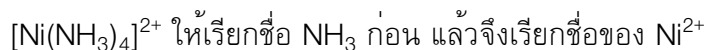
1) เรียกชื่อไอออนบวกก่อนไอออนลบ เช่นเดียวกับการเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก โดยให้ไอออนเชิงซ้อนในโคออร์ดิเนชันสเฟียร์เสมือนเป็นไอออนบวก ส่วนชื่อไอออนลบให้เรียกตามหลักสารประกอบไอออนิก เช่น

$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ ให้เรียกชื่อไอออนเชิงซ้อน $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ก่อน แล้วจึงตามด้วย Cl

ในกรณีที่ไอออนเชิงซ้อนที่มีประจุเป็นลบ ให้เรียกไอออนบวกตามชื่อโลหะแทรนซิชันก่อนแล้วตามด้วยชื่อไอออนเชิงซ้อนตามหลักการเรียกไอออนเชิงซ้อนที่มีประจุเป็นลบ เช่น



2) การเรียกชื่อไอออนเชิงซ้อน (ในโคออร์ดิเนชันสเฟียร์) ให้เรียกชื่อลิแกนด์ก่อนแล้วตามด้วยชื่อของโลหะแทรนซิชัน เช่น



3) การเรียกชื่อลิแกนด์

3.1) ลิแกนด์ที่มีประจุลบ (anionic ligand) ให้เรียกตามชนิดลิแกนด์ ดังตารางที่ 7.11

ไอออนลบที่ลงท้ายด้วย -อิด (-ide) ให้เปลี่ยนคำลงท้ายเป็น -โอ (-o)

ไอออนลบที่ลงท้ายด้วย -เอต (-ate) ให้เปลี่ยนคำลงท้ายเป็น -เอโต (-ato)

ไอออนลบที่ลงท้ายด้วย -อิต (-ite) ให้เปลี่ยนคำลงท้ายเป็น -ไอโต (-ito)

3.2) ลิแกนด์ที่ไม่มีประจุหรือเป็นกลาง (neutral ligand) ให้เรียกชื่อเหมือนกับชื่อโมเลกุล ยกเว้นลิแกนด์ที่เป็นกลางบางชนิดให้เรียกชื่อเฉพาะตัว ดังตารางที่ 7.12

3.3) ลิแกนด์ประเภทไบเดนเทต เรียกตามตารางที่ 7.13

4) ถ้าไอออนเชิงซ้อนมีลิแกนด์ชนิดเดียวกันมากกว่าหนึ่งลิแกนด์ ให้ระบุจำนวนที่ซ้ำกันไว้หน้าชื่อเรียกลิแกนด์ ดังตารางที่ 7.14

ตารางที่ 7.14 จำนวนที่ซ้ำกันของลิแกนด์

จำนวนลิแกนด์ที่ซ้ำกัน	เรียกจำนวนซ้ำ
2	ได (di)
3	ไตร (tri)
4	เตตระ (tetra)
5	เพนตะ (penta)
6	เฮกซะ (hexa)

เช่น $(CN)_6$ เรียก hexacyano

$(C_2O_4)_3$ เรียก trioxalato

แต่ถ้าเป็นลิแกนด์ประเภทโพลีเดนเทต (ลิแกนด์ที่สามารถเกิดพันธะกับไอออนได้ตั้งแต่ 2 ตำแหน่งขึ้นไปใน 1 ลิแกนด์) ให้เรียกจำนวนซ้ำกันดังตารางที่ 7.15

ตารางที่ 7.15 จำนวนที่ซ้ำกันของลิแกนด์ประเภทโพลีเดนเทต

จำนวนลิแกนด์ที่ซ้ำกัน	เรียกจำนวนซ้ำ
-----------------------	---------------

2	บิส (bis)
3	ทริส (tris)
4	เตตระกิส (tetrakis)

เช่น $(en)_2$ เรียกว่า bisethylenediamine

5) ถ้าไอออนเชิงซ้อนมีประจุเป็นลบ ชื่อโลหะแทรนซิชันให้เปลี่ยนคำลงท้ายเป็น -เอต (-ate) ดังตารางที่ 7.16 และใส่เลขออกซิเดชันเป็นเลขโรมันไว้ในวงเล็บหลังชื่อของโลหะแทรนซิชัน

ตารางที่ 7.16 ชื่อโลหะแทรนซิชันในไอออนเชิงซ้อนที่มีประจุลบ

โลหะแทรนซิชัน	ชื่อโลหะแทรนซิชัน	ชื่อเรียกโลหะแทรนซิชันในไอออนเชิงซ้อน
Al	อะลูมิเนียม (aluminium)	อะลูมิเนต (aluminate)
Cr	โครเมียม (chromium)	โครเมต (chromate)
Mn	แมงกานีส (manganese)	แมงกานेट (manganate)
Ni	นิกเกิล (nickel)	นิกเกิลเลต (nickelate)
Co	โคบอลต์ (cobalt)	โคบอลเตต (cobaltate)
Zn	สังกะสี (zinc)	สังกะสีเกต (zincate)
Mo	โมลิบดีนัม (molybdenum)	โมลิบดีเนต (molybdate)
W	ทังสเตน (tungsten)	ทังเกตเตต (tungstate)

โลหะแทรนซิชันที่มีชื่อเรียกเป็นภาษาละติน ให้ใช้ภาษาละตินและลงท้ายด้วย -เอต (-ate) ดังตารางที่ 7.17

ตารางที่ 7.17 โลหะแทรนซิชันที่มีชื่อเรียกเป็นภาษาละติน

โลหะแทรนซิชัน	ชื่อธาตุแทรนซิชัน		ชื่อเรียกโลหะแทรนซิชันในไอออนเชิงซ้อน
	ภาษาอังกฤษ	ภาษาละติน	
Fe	iron	ferrum	เฟอเรต (ferrate)
Cu	copper	cuprum	คิวเปรต (cuprate)
Au	gold	aurum	ออเรต (aurate)
Ag	silver	argentum	อาร์เจนเตต (argentate)
Pb	lead	plumbum	พลัมเบต (plumbate)
Sn	tin	stannum	สแตนเนต (stannate)

เช่น $[Fe(CN)_6]^{3-}$ เรียกว่า hexacyanoferrate(III) ion

$[Co(C_2O_4)_3]^{3-}$ เรียกว่า trisoxalatocobaltate(II) ion

$[Cr(NO_2)_6]^{3-}$ เรียกว่า hexanitrochromate(III) ion

หมายเหตุ โลหะแทรนซิชันที่ต้องชื่อเรียกเป็นภาษาละติน ในกรณีที่ป็นไอออนเชิงซ้อนประจุลบเท่านั้น

5) ไอออนเชิงซ้อนที่มีประจุบวกและเป็นกลาง ให้อ่านชื่อของโลหะแทรนซิชันตามชื่อธาตุเดิมและไม่ต้องเปลี่ยนค่าลงท้าย และใส่เลขออกซิเดชันเป็นเลขโรมันไว้ในวงเล็บหลังชื่อของโลหะแทรนซิชัน

เช่น $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ เรียกว่า tetraammine copper(II) ion

$[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ เรียกว่า hexaaqua cobalt(III) ion

$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ เรียกว่า hexaaqua chromium(III) ion

6) ไอออนเชิงซ้อนที่มีลิแกนด์มากกว่า 2 ชนิด

(1) ถ้าเป็นลิแกนด์ประเภทเดียวกัน คือมีประจุลบหรือไม่มีประจุเหมือนกัน เรียกชื่อลิแกนด์ตามลำดับอักษรภาษาอังกฤษ เช่น

$[\text{Fe}(\text{NH}_3)_4\text{CO}]^{2+}$ เรียกว่า tetraamminecarbonyl iron(II) ion

(2) ถ้าเป็นลิแกนด์คนละประเภท เรียกชื่อลิแกนด์ในไอออนเชิงซ้อนตามลำดับดังนี้ ลิแกนด์ที่มีประจุลบ ลิแกนด์ที่ไม่มีประจุ และลิแกนด์ที่มีประจุบวก ตามลำดับ เช่น

$[\text{Co}(\text{CN})_5\text{H}_2\text{O}]^{3+}$ เรียกว่า pentacyanoaqua cobalt(II) ion

$[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{CO}]^{2+}$ เรียกว่า pentacyanocarbonyl iron(III) ion

ตัวอย่าง 7.29 เรียกชื่อสารประกอบโคออร์ดิเนชันต่อไปนี้

- | | |
|---|--|
| 1) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ | diaminesilver(I) ion |
| 2) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$ | dichlorotetraamminecobalt(II) ion |
| 3) $\text{Na}_3[\text{Cr}(\text{NO}_2)_6]$ | sodium hexanitrochromate(III) |
| 4) $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ | dicyanoargentate(I) ion |
| 5) $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{SO}_4]\text{Br}$ | sulfatopentaaminechromium(III) bromide |

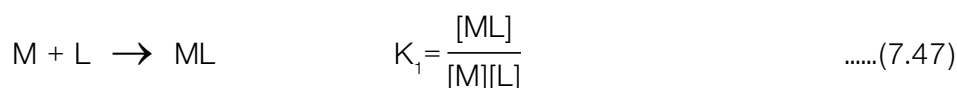
ตัวอย่าง 7.30 เขียนสูตรสารประกอบโคออร์ดิเนชันจากชื่อเรียกต่อไปนี้

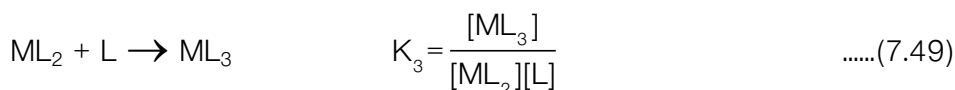
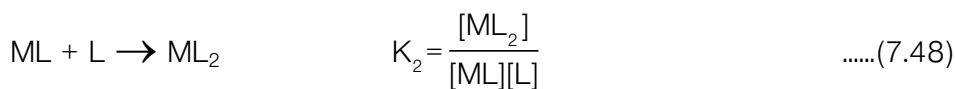
- | | |
|---|--|
| 1) hexacyanoferrate(II) ion | $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ |
| 2) dichlorotetraamineplatinum(IV) chloride | $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}_2$ |
| 3) sodium tetracyanocobaltate(II) | $\text{Na}_2[\text{Co}(\text{CN})_4]$ |
| 4) bis(ethylene diamine)cobalt(II) chloride | $[\text{Co}(\text{en})_2]\text{Cl}_2$ |
| 5) hexacarbonylchromium(0) ion | $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$ |

สมดุลของไอออนเชิงซ้อน

ค่าคงที่สมดุลของไอออนเชิงซ้อน มีลักษณะเดียวกับสมดุลเคมีของปฏิกิริยาเคมีทั่วไป สำหรับสมดุลไอออนเชิงซ้อน ค่าคงที่สมดุลของไอออนเชิงซ้อน เขียนแทนด้วย K_f โดยค่า K_f จะบอกถึงการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะตอมกลางและลิแกนด์

สมมติ M เป็นอะตอมกลาง และ L เป็นลิแกนด์ประเภทโมโนเดนเทต เขียนสมการได้ดังนี้



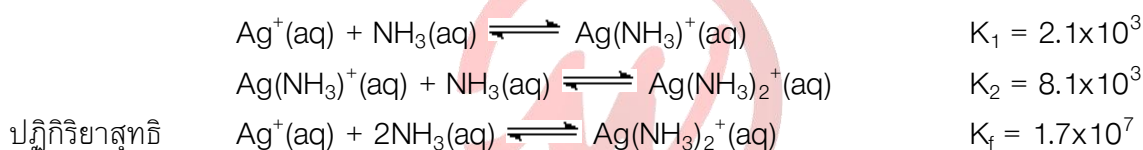


เมื่อ K_1, K_2, K_3 เป็นค่าคงที่สมดุลของการเกิดไอออนเชิงซ้อนแต่ละขั้น (stepwise) ของไอออนโลหะ M ค่าคงที่สมดุลของการเกิดไอออนเชิงซ้อนรวม (overall) เขียนได้เป็น

$$K_f = K_1 K_2 K_3 \quad \dots(7.50)$$

ค่า K_f คือ ค่าคงที่สมดุลของการเกิดไอออนเชิงซ้อนของโลหะไอออนบวก (formation constant หรือ stability constant) ถ้ามีค่า K_f มาก แสดงว่าโลหะไอออนบวกชอบเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อน ไอออนเชิงซ้อนนั้นๆ มีความเสถียรมาก

เพื่อป้องกันความสับสนระหว่างเครื่องหมายความเข้มข้นในสมการค่าคงที่สมดุล (K_f) กับเครื่องหมายโคออร์ดิเนชันสเฟียร์ในสารประกอบเชิงซ้อน ปฏิกิริยาการเกิดไอออนเชิงซ้อนจึงเขียนเฉพาะไอออนเชิงซ้อน เช่น การเกิดไอออนเชิงซ้อนของ $Ag(NH_3)_2^+$ จะเกิดขึ้นทีละขั้นตอน ดังนี้



การคำนวณค่า K_f ของการเกิดไอออนเชิงซ้อนของ $Ag(NH_3)_2^+$ จากสมการเกิดไอออนเชิงซ้อนทั้งสองขั้น คือ

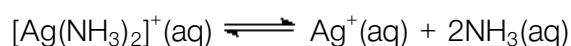
$$K_1 = \frac{[Ag(NH_3)^+]}{[Ag^+][NH_3]} = 2.1 \times 10^3$$

$$K_2 = \frac{[Ag(NH_3)_2^+]}{[Ag(NH_3)^+][NH_3]} = 8.1 \times 10^3$$

$$K_f = K_1 K_2 = \left(\frac{[Ag(NH_3)^+]}{[Ag^+][NH_3]} \right) \left(\frac{[Ag(NH_3)_2^+]}{[Ag(NH_3)^+][NH_3]} \right) = (2.1 \times 10^3)(8.1 \times 10^3)$$

$$K_f = \frac{[Ag(NH_3)_2^+]}{[Ag^+][NH_3]^2} = 1.7 \times 10^7$$

ปฏิกิริยาการแตกตัวของไอออนเชิงซ้อน เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาการเกิดไอออนเชิงซ้อน ตัวอย่าง ปฏิกิริยาการแตกตัวของไอออนเชิงซ้อน



สามารถเขียนสมการค่าคงที่สมดุลการแตกตัวของไอออนเชิงซ้อนได้ดังนี้

$$K_d = \frac{[Ag^+][NH_3]^2}{[Ag(NH_3)_2]^+} \quad \dots(7.51)$$

เมื่อ K_d = ค่าคงที่การแตกตัวของไอออนเชิงซ้อน (dissociation constant of complex ion)

ถ้า K_d มีค่ามากแสดงว่า ไอออนเชิงซ้อนแตกตัวได้ดี แสดงความเสถียรของไอออนเชิงซ้อนมีค่าน้อย กล่าวคือ อะตอมกลางและลิแกนด์ไม่ชอบเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อน ดังนั้น ค่า K_d จึงเป็นส่วนกลับของค่า K_f ดังนี้

$$K_d = \frac{1}{K_f} \quad \dots(7.52)$$

ค่าคงที่สมดุลของการเกิดไอออนเชิงซ้อนในน้ำของไอออนเชิงซ้อนบางชนิด แสดงดังตารางที่ 7.18

ตารางที่ 7.18 ค่าคงที่สมดุลของการเกิดไอออนเชิงซ้อนในน้ำที่ 25°C

ไอออนเชิงซ้อน	สมการสมดุล	K_f
$Ag(NH_3)_2^+$	$Ag^+(aq) + 2NH_3(aq) \rightleftharpoons Ag(NH_3)_2^+(aq)$	1.7×10^7
$Ag(CN)_2^-$	$Ag^+(aq) + 2CN^-(aq) \rightleftharpoons Ag(CN)_2^-(aq)$	1.0×10^{21}
$Ag(S_2O_3)_2^{3-}$	$Ag^+(aq) + 2S_2O_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons Ag(S_2O_3)_2^{3-}(aq)$	2.9×10^{13}
$CdBr_4^{2-}$	$Cd^{2+}(aq) + 4Br^-(aq) \rightleftharpoons CdBr_4^{2-}(aq)$	5.0×10^{13}
$Cr(OH)_4^-$	$Cr^{3+}(aq) + 4OH^-(aq) \rightleftharpoons Cr(OH)_4^-(aq)$	8.0×10^{29}
$Co(SCN)_4^{2-}$	$Co^{2+}(aq) + 4SCN^-(aq) \rightleftharpoons Co(SCN)_4^{2-}(aq)$	1.0×10^3
$Cu(NH_3)_4^{2+}$	$Cu^{2+}(aq) + 4NH_3(aq) \rightleftharpoons Cu(NH_3)_4^{2+}(aq)$	5.0×10^{12}
$Cu(CN)_4^{2-}$	$Cu^{2+}(aq) + 4CN^-(aq) \rightleftharpoons Cu(CN)_4^{2-}(aq)$	1.0×10^{25}
$Ni(NH_3)_6^{2+}$	$Ni^{2+}(aq) + 6NH_3(aq) \rightleftharpoons Ni(NH_3)_6^{2+}(aq)$	1.2×10^9
$Fe(CN)_6^{4-}$	$Fe^{2+}(aq) + 6CN^-(aq) \rightleftharpoons Fe(CN)_6^{4-}(aq)$	1.0×10^{35}
$Fe(CN)_6^{3-}$	$Fe^{3+}(aq) + 6CN^-(aq) \rightleftharpoons Fe(CN)_6^{3-}(aq)$	1.0×10^{42}

แบบฝึกหัด

1. จงคำนวณหา pH ของการไฮโดรไลซิสของเกลือ NH_4Cl เข้มข้น 0.10 mol/L
(K_b ของ $\text{NH}_3 = 1.8 \times 10^{-5}$)
2. จงคำนวณหา $[\text{OH}^-]$, $[\text{H}^+]$ และ pH ของสารละลาย CH_3COONa เข้มข้น 0.01 mol/L ถ้า $K_a = 5.6 \times 10^{-10}$
3. การละลายของ $\text{Pb}(\text{IO}_3)_2$ เท่ากับ $4.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ที่ 25°C จงคำนวณ K_{sp}
4. จงคำนวณความเข้มข้นของ Ag^+ และ CrO_4^{2-} ในสารละลายอิ่มตัวของ Ag_2CrO_4 ที่ 25°C
5. จงคำนวณหาค่าการละลายเป็นกรัมต่อ 100 mL ของ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ซึ่งมีค่า $K_{sp} = 8.52 \times 10^{-20}$
6. จงอธิบายวิธีการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 ปริมาตร 100 mL ระหว่าง CH_3COOH เข้มข้น 0.50 mol/L ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$) และ CH_3COONa เข้มข้น 0.50 mol/L
7. จงเรียกชื่อสารโคออร์ดิเนชันต่อไปนี้
 - 1) $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl}_3$
 - 2) $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Br}_3$
 - 3) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
 - 4) $\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4$
 - 5) $\text{Fe}(\text{CO})_5$
8. จงเรียกชื่อสารโคออร์ดิเนชันต่อไปนี้
 - 1) hexaammineiron(III) nitrate
 - 2) chloroaminecobalt(III) ion
 - 3) tetraaminezinc(II) ion
 - 4) hexacyanoferrate(II)
 - 5) potassium tetracyanonickellate(0)