

ธาตุทรานสิชัน (TRANSITION ELEMENTS)

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันหาดี

ธาตุทรานสิชัน (Transition Elements)

- ความหมาย
- การแบ่งกลุ่มธาตุทรานสิชัน
- โครงแบบอิเล็กตรอนของธาตุทรานสิชัน
- สมบัติทั่วไป
 - สมบัติทางกายภาพ
 - สมบัติทางเคมี
- สารประกอบของธาตุทรานสิชัน
- ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันหาดี

1. ความหมาย

ธาตุทรานสิชัน → ธาตุที่อะตอมหรือไอออนมีอิเล็กตรอนใน valence d-orbital หรือ f-orbital ไม่เต็ม

ธาตุทรานสิชัน ได้แก่

- ธาตุพวก d-block และ f-block ในตารางธาตุ
- ธาตุหมู่ B ในตารางธาตุ ยกเว้น ธาตุหมู่ IIB

**** ธาตุหมู่ IIB ไม่จัดเป็นธาตุทรานสิชัน เนื่องจากมีอิเล็กตรอนเต็มใน valence d-orbital และมีสมบัติหลายประการต่างออกไป ****

**** อย่างไรก็ตาม จะกล่าวถึงธาตุหมู่ IIB รวมไว้ในบทนี้ด้วย ****

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรดา กันหาดี

3

2. การแบ่งกลุ่มธาตุทรานสิชัน

- ธาตุทรานสิชันที่มีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็มใน d-orbital

- เรียกว่า “ธาตุทรานสิชันหลัก”
- แบ่งออกเป็น 3 แถว (อนุกรม) คือ

– ธาตุทรานสิชันแถวที่ 1 (First transition series) ได้แก่ ธาตุ Sc ----> Cu และมีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็มใน 3d-orbital

– ธาตุทรานสิชันแถวที่ 2 (Second transition series) ได้แก่ ธาตุ Y ----> Ag และมีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็มใน 4d-orbital

– ธาตุทรานสิชันแถวที่ 3 (Third transition series) ได้แก่ ธาตุ La ----> Au และมีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็มใน 5d-orbital

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรดา กันหาดี

4

2. การแบ่งกลุ่มธาตุทรานสิชัน

- ธาตุทรานสิชันที่มีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็มใน f-orbital

- เรียกว่า “ธาตุทรานสิชันชั้นใน (Inner transition)”

(เนื่องจากการจัดเรียงอิเล็กตรอนไม่เต็มใน $(n-2)$ f-orbital ซึ่งอยู่ชั้นในเมื่อเทียบกับ valence ns-orbital)

- แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (อนุกรม) คือ

- ธาตุอนุกรมแลนทาไนด์ (Lanthanide series) ได้แก่ ธาตุ Ce ----> Lu
มีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็มใน 4f-orbital

- ธาตุอนุกรมแอคติไนด์ (Actinide series) ได้แก่ ธาตุ Th ----> ธาตุ Lr
มีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็มใน 5f-orbital

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันหาดี

5

3. โครงแบบอิเล็กตรอนของธาตุทรานสิชัน

- ธาตุทรานสิชันที่อยู่ใน คาบที่ n จะมีอิเล็กตรอนเต็มใน ns-orbital และบรรจุไม่เต็มใน $(n-1)$ d-orbital หรือ $(n-2)$ f-orbital

- ตัวอย่างเช่น

$^{28}\text{Ni} = [\text{Ar}] 3d^8 4s^2$ ----> เป็นธาตุทรานสิชันหลัก

Ni ----> อยู่คาบ 4, มี e^- เต็มใน 4s-orbital ----> ไม่เต็มใน 3d-orbital

$^{92}\text{U} = [\text{Rn}] 5f^4 7s^2$ ----> เป็นธาตุแอคติไนด์

U ----> อยู่คาบ 7, มี e^- เต็มใน 7s-orbital ----> ไม่เต็มใน 5f-orbital

(U จึงจัดเป็น ธาตุทรานสิชันชั้นใน เนื่องจากการจัดเรียงอิเล็กตรอนไม่เต็มใน $(n-2)$ f-orbital ซึ่งอยู่ชั้นในเมื่อเทียบกับ valence ns-orbital)

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันหาดี

6

3. โครงแบบอิเล็กตรอนของธาตุทรานสิชัน

- โครงแบบอิเล็กตรอนแบบไม่ปกติ

- ธาตุทรานสิชันในแต่ละแถว (อนุกรม) --> พบว่าธาตุที่อยู่หมู่ 6B และหมู่ 1B จะมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนต่างจากหมู่อื่น

- ตัวอย่างพิจารณา ได้แก่ ธาตุ Cr (หมู่ 6B) และ ธาตุ Cu (หมู่ 1B)



(เนื่องจาก การบรรจุอิเล็กตรอนจำนวนครึ่งหนึ่งใน d-orbital ทำให้อะตอมมีความเสถียรมากขึ้น --> เรียกว่า การจัดเรียงแบบ half-filled)



(เนื่องจาก การบรรจุอิเล็กตรอนจำนวนเต็มหรือครบใน d-orbital ทำให้อะตอมมีความเสถียรมากขึ้น --> เรียกว่า การจัดเรียงแบบ full-filled หรือ filled)

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรดา กันทาดี

7

3. โครงแบบอิเล็กตรอนของธาตุทรานสิชัน

- การเกิดเป็นไอออนของธาตุทรานสิชัน

- อะตอมของธาตุทรานสิชันจะเสีย e^- ใน ns-orbital ก่อน

เช่น $\text{Fe} = [\text{Ar}] 3d^6 4s^2$ (บรรจุ e^- ใน 3d-orbital ก่อน 4s-orbital)



- แสดงว่า 4s-orbital มีระดับพลังงานสูงกว่า (อยู่ห่างจากนิวเคลียสมากกว่า) 3d-orbital จึงเสีย 4s-electron ได้ง่าย

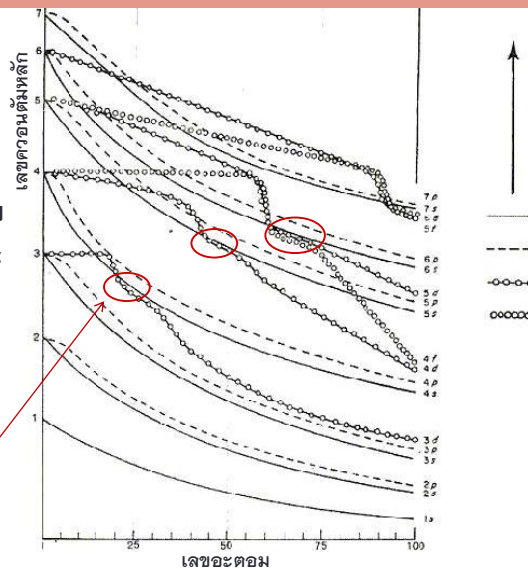
*** จะเห็นว่าการบรรจุอิเล็กตรอนของธาตุทรานสิชันจะ ตรงกันข้ามกับธาตุเรพรีเซนเททีฟ ซึ่งบรรจุใน 4s-orbital ก่อน 3d-orbital ***

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรดา กันทาดี

8

3. โครงแบบอิเล็กตรอนของธาตุทรานสิชัน

- พบว่าธาตุต่างชนิดกัน จะมีระดับพลังงานของ orbital ต่างๆไม่เท่ากัน ดังรูป
- ช่วง **ธาตุทรานสิชัน** คือ เลขอะตอม 21-29, 39-47 และ 57-79 ระดับพลังงานของ $(n-1)d$ -orbital จะต่ำกว่า ns -orbital เล็กน้อย
เช่น $3d\text{-orbital} < 4s\text{-orbital}$ เล็กน้อย (เลขอะตอม 21-29)



9

3. โครงแบบอิเล็กตรอนของธาตุทรานสิชัน

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

- Shielding Effect** --> ผลของอิเล็กตรอนชั้นใน ในการกำบังแรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสและอิเล็กตรอนชั้นนอก
ธาตุทรานสิชัน --> $(n-1)d$ -orbital กำบัง ns -orbital ได้ดี
 - Penetrating Power** --> ความสามารถของอิเล็กตรอนในการเข้าใกล้และดึงดูดกับนิวเคลียส
ธาตุทรานสิชัน --> $(n-1)d$ -orbital เข้าใกล้นิวเคลียสได้ดีกว่า ns -orbital
- ** ดังนั้นธาตุทรานสิชัน จะเสีย e^- ใน ns -orbital ก่อน เพื่อเกิดเป็นไอออน ****

4. สมบัติทั่วไป

4.1 สมบัติทางกายภาพ

- ธาตุทรานสิชันทั้งหมด มีสมบัติเป็นโลหะ

- นั่นคือ เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดี, m.p. และ b.p. สูง, มีความหนาแน่นสูง, ผิวน้ำมันวาว

- สมบัติต่างๆ เกิดจากธาตุทรานสิชันมีขนาดอะตอมเล็กและยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโลหะ จึงทำให้อะตอมยึดกันอย่างแข็งแรง, นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี

เช่น ธาตุ Cu นำไฟฟ้าดีที่สุดในบรรดาธาตุทรานสิชันแถวที่หนึ่ง → นิยมทำลวดนำไฟฟ้า

ธาตุ Fe พบปริมาณมากบนพื้นโลก → ใช้เป็นวัสดุโครงสร้างเพื่อความแข็งแรง

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันทาดี

11

4. สมบัติทั่วไป

4.1 สมบัติทางกายภาพ

- ธาตุทรานสิชันบางตัวมีสมบัติแม่เหล็ก หรือทำให้เป็นแม่เหล็กได้

ตัวอย่าง ได้แก่ ธาตุ Fe, Co, และ Ni --> ดึงดูดแม่เหล็กได้ เนื่องจาก

- อะตอมมีการจัดเรียง e^- เดี่ยวในวงนอก แสดงสมบัติเป็นแม่เหล็กเล็กๆ

- ถ้าถูกเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็กเป็นเวลานาน --> โลหะเหล่านี้จะกลายเป็นแม่เหล็กไปด้วย

- ขนาดอะตอมของธาตุทรานสิชัน

- ตามคาบ ขนาดอะตอมลดลงจากซ้ายไปขวาเช่นเดียวกับธาตุเรฟรีเซนเทฟ

- ตามหมู่ ไม่ได้มีขนาดอะตอมใหญ่ขึ้นจากบนลงล่างมากเท่าที่ควร โดยเฉพาะธาตุอนุกรมที่ 3 จะมีขนาดอะตอมใกล้เคียงกับอนุกรมที่ 2 มากหรืออาจเล็กลงด้วย

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันทาดี

12

4. สมบัติทั่วไป

4.1 สมบัติทางกายภาพ

- การที่ธาตุทรานสิชันในอนุกรมที่ 3 มีขนาดใกล้เคียงกับธาตุอนุกรมที่ 2 มาก มาจากผลของ “Lanthanide Contraction”
- **Lanthanide contraction** เกิดจาก
 - ธาตุทรานสิชันในอนุกรมที่ 3 ได้ผ่านธาตุกลุ่มแลนทาไนด์มาก่อน ซึ่งมีการบรรจุ valence electron ใน 4f และ 5d-orbital เช่น $\text{Hf} = [\text{Xe}] 4f^{14} 5d^2 6s^2$
 - แต่ 4f และ 5d-electron บดบังแรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสและ 6s-electron ช้นนอกได้ไม่ดี
 - ธาตุอนุกรมที่ 3 มีเลขอะตอมมาก --> จำนวนโปรตอนที่นิวเคลียสมาก ส่งผลให้ 6s-electron สามารถดึงดูดกับนิวเคลียสซึ่งมีจำนวนโปรตอนอยู่มากได้ดี อะตอมธาตุเหล่านี้จึงมีขนาดเล็ก

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันทาดี

13

4. สมบัติทั่วไป

4.1 สมบัติทางกายภาพ

- ขนาดอะตอมของธาตุทรานสิชันทั้ง 3 อนุกรม แสดงดังตาราง

ตาราง รัศมีอะตอมของธาตุทรานสิชัน (pm)

อนุกรม	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
ที่ 1	144	132	122	117	117	116	116	115	117	125
อนุกรม	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
ที่ 2	--	145	134	129	--	124	125	125	134	141
อนุกรม	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
ที่ 3	--	144	134	130	128	126	126	129	134	144

รัศมีอะตอมใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันทาดี

14

4. สมบัติทั่วไป

4.2 สมบัติทางเคมี

**** ในที่นี้จะกล่าวถึงสมบัติของธาตุทรานสิชันอนุกรมที่ 1 เป็นหลัก ****

- ค่า E° ของธาตุทรานสิชันมีแนวโน้มมากขึ้นจากซ้ายไปขวาจึงไม่ค่อยว่องไวต่อปฏิกิริยาเท่ากับธาตุกลุ่ม s-block (เช่น ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนได้เมื่อให้ความร้อน แต่ปฏิกิริยาไม่รุนแรง)
- ธาตุทรานสิชันส่วนใหญ่ เมื่อเกิดสารประกอบมีเลขออกซิเดชันได้ > 1 ค่า เนื่องจาก
 - ระดับพลังงานของ (n-1)d-orbital และ ns-orbital ใกล้เคียงกันมาก
 - การดึง e^- วนนอกแต่ละตัว จึงใช้พลังงาน IE ลำดับต่างๆ ไม่แตกต่างกันมาก
 - การเสียอิเล็กตรอน จึงเสียได้ทั้ง (n-1)d-orbital และ ns-orbital

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1

เพชรดา กันทาดี

15

4. สมบัติทั่วไป

4.2 สมบัติทางเคมี

- เลขออกซิเดชันของธาตุทรานสิชันอนุกรมที่ 1 แสดงดังตาราง

ธาตุ	เลขออกซิเดชัน	ข้อสังเกต
Sc	+ 3	มีค่าเดียว $\rightarrow$ Sc = [Ar] 3d ¹ 4s ² นิยมเสีย e^- ทั้ง 3 ตัว
Ti	+ 2	ไม่เสถียรในน้ำ
	+ 3	ได้จากการรีดิวซ์ Ti^{4+} ด้วย Zn
	+ 4	เสถียรที่สุด
V	+ 2	เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง
	+ 3	เสถียร
	+ 4	เสถียรที่สุด
	+ 5	เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงปานกลาง
Cr	+ 2	เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง
	+ 3	เสถียรที่สุด
	+ 6	เป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดี เช่น $Cr_2O_7^{2-}$

16

4. สมบัติทั่วไป

ตาราง (ต่อ)

Mn	+ 2	เสถียรที่สุด
	+ 3	เสถียรในรูปของสารเชิงซ้อน
	+ 4	พบในรูปของ MnO_2 มากที่สุด
	+ 6	ไม่ค่อยพบ
	+ 7	เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก เช่น MnO_4^-
Fe	+ 2	เสถียร แต่ถูกออกซิไดซ์เป็น +3 ได้ง่าย
	+ 3	เสถียรที่สุด
	+ 6	หายาก
Co	+ 2	เสถียรในตัวทำละลายน้ำ หรือในรูปสารประกอบอย่างง่าย
	+ 3	เสถียรในรูปของสารเชิงซ้อน
Ni	+ 2	เสถียรที่สุด
	+ 3	หายาก
Cu	+ 1	Cu^+ ไม่เสถียร ในสารละลายมักเกิด disproportionation $2 \text{Cu}^+ \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Cu}$
	+ 2	เสถียรมากในตัวทำละลายน้ำ
Zn	+ 2	มีค่าเดียว

17

5. สารประกอบของธาตุทรานสิชัน

ลักษณะการเกิดสารประกอบของธาตุทรานสิชัน

- ธาตุทรานสิชัน มีค่า IE และ EN สูงขึ้นเมื่อเทียบกับโลหะกลุ่ม s
- สารประกอบของธาตุทรานสิชันจึงมี **ลักษณะเป็นโคเวเลนต์** มากกว่าสารประกอบของโลหะกลุ่ม s-block
- สารประกอบของธาตุทรานสิชันจึง **ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์** ซึ่งเป็นสารประกอบโคเวเลนต์ได้ (หลักของ “Like dissolve Like”)
- มีสมบัติแม่เหล็กเป็น paramagnetic เพราะมีอิเล็กตรอนเดี่ยวบรรจุใน valence d- หรือ f-orbital
- ธาตุทรานสิชันเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ง่าย และส่วนใหญ่จะมีสี

5. สารประกอบของธาตุทรานสิชัน

การเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อน

- ขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ เลขออกซิเดชัน และชนิดของลิแกนด์ที่เข้ามาสร้างพันธะ
- สีที่มองเห็นนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนวงนอกใน d-orbital ดูดกลืนพลังงานแสงในช่วง visible แล้วเปลี่ยนระดับพลังงาน
- แสงที่เหลือจากการดูดกลืนของอิเล็กตรอน --> จะปรากฏเป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนให้เรามองเห็น
- สารประกอบเชิงซ้อนใดที่ธาตุอะตอมกลาง มีอิเล็กตรอนบรรจุเต็ม หรือเสียอิเล็กตรอนไปจนหมด ใน valence d-orbital --> สารประกอบนั้นจะไม่มีสีหรือเป็นสีขาว

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอินทรีย์ 1

เพชรดา กันหาดี

19

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

Periodic Table of the Elements

1
H
Hydrogen

2
He
Helium

3
Li
Lithium

4
Be
Beryllium

11
Na
Sodium

12
Mg
Magnesium

19
K
Potassium

20
Ca
Calcium

37
Rb
Rubidium

38
Sr
Strontium

55
Cs
Cesium

56
Ba
Barium

87
Fr
Francium

88
Ra
Radium

14
Si
Silicon

15
P
Phosphorus

16
S
Sulfur

17
Cl
Chlorine

18
Ar
Argon

23
V
Vanadium

24
Cr
Chromium

25
Mn
Manganese

26
Fe
Iron

27
Co
Cobalt

28
Ni
Nickel

29
Cu
Copper

30
Zn
Zinc

31
Ga
Gallium

32
Ge
Germanium

33
As
Arsenic

34
Se
Selenium

35
Br
Bromine

36
Kr
Krypton

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

48
Cd
Cadmium

49
In
Indium

50
Sn
Tin

51
Sb
Antimony

52
Te
Tellurium

53
I
Iodine

54
Xe
Xenon

59
Pr
Praseodymium

60
Nd
Neodymium

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

67
Ho
Holmium

68
Er
Erbium

69
Tm
Thulium

70
Yb
Ytterbium

71
Lu
Lutetium

73
Ta
Tantalum

74
W
Tungsten

75
Re
Rhenium

76
Os
Osmium

77
Ir
Iridium

78
Pt
Platinum

79
Au
Gold

80
Hg
Mercury

81
Tl
Thallium

82
Pb
Lead

83
Bi
Bismuth

84
Po
Polonium

85
At
Astatine

86
Rn
Radon

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium

99
Es
Einsteinium

100
Fm
Fermium

101
Md
Mendelevium

102
No
Nobelium

103
Lr
Lawrencium

13
B
Boron

14
C
Carbon

15
N
Nitrogen

16
O
Oxygen

17
F
Fluorine

18
Ar
Argon

39
Y
Yttrium

40
Zr
Zirconium

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

48
Cd
Cadmium

49
In
Indium

50
Sn
Tin

51
Sb
Antimony

52
Te
Tellurium

53
I
Iodine

54
Xe
Xenon

57
La
Lanthanum

58
Ce
Cerium

59
Pr
Praseodymium

60
Nd
Neodymium

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

67
Ho
Holmium

68
Er
Erbium

69
Tm
Thulium

70
Yb
Ytterbium

71
Lu
Lutetium

72
Hf
Hafnium

73
Ta
Tantalum

74
W
Tungsten

75
Re
Rhenium

76
Os
Osmium

77
Ir
Iridium

78
Pt
Platinum

79
Au
Gold

80
Hg
Mercury

81
Tl
Thallium

82
Pb
Lead

83
Bi
Bismuth

84
Po
Polonium

85
At
Astatine

86
Rn
Radon

89
Ac
Actinium

90
Th
Thorium

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium

99
Es
Einsteinium

100
Fm
Fermium

101
Md
Mendelevium

102
No
Nobelium

103
Lr
Lawrencium

1
H
Hydrogen

2
He
Helium

3
Li
Lithium

4
Be
Beryllium

5
B
Boron

6
C
Carbon

7
N
Nitrogen

8
O
Oxygen

9
F
Fluorine

10
Ne
Neon

11
Na
Sodium

12
Mg
Magnesium

13
Al
Aluminum

14
Si
Silicon

15
P
Phosphorus

16
S
Sulfur

17
Cl
Chlorine

18
Ar
Argon

19
K
Potassium

20
Ca
Calcium

21
Sc
Scandium

22
Ti
Titanium

23
V
Vanadium

24
Cr
Chromium

25
Mn
Manganese

26
Fe
Iron

27
Co
Cobalt

28
Ni
Nickel

29
Cu
Copper

30
Zn
Zinc

31
Ga
Gallium

32
Ge
Germanium

33
As
Arsenic

34
Se
Selenium

35
Br
Bromine

36
Kr
Krypton

37
Rb
Rubidium

38
Sr
Strontium

39
Y
Yttrium

40
Zr
Zirconium

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

48
Cd
Cadmium

49
In
Indium

50
Sn
Tin

51
Sb
Antimony

52
Te
Tellurium

53
I
Iodine

54
Xe
Xenon

55
Cs
Cesium

56
Ba
Barium

57
La
Lanthanum

58
Ce
Cerium

59
Pr
Praseodymium

60
Nd
Neodymium

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

67
Ho
Holmium

68
Er
Erbium

69
Tm
Thulium

70
Yb
Ytterbium

71
Lu
Lutetium

72
Hf
Hafnium

73
Ta
Tantalum

74
W
Tungsten

75
Re
Rhenium

76
Os
Osmium

77
Ir
Iridium

78
Pt
Platinum

79
Au
Gold

80
Hg
Mercury

81
Tl
Thallium

82
Pb
Lead

83
Bi
Bismuth

84
Po
Polonium

85
At
Astatine

86
Rn
Radon

87
Fr
Francium

88
Ra
Radium

89
Ac
Actinium

90
Th
Thorium

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium

99
Es
Einsteinium

100
Fm
Fermium

101
Md
Mendelevium

102
No
Nobelium

103
Lr
Lawrencium

14
Si
Silicon

15
P
Phosphorus

16
S
Sulfur

17
Cl
Chlorine

18
Ar
Argon

23
V
Vanadium

24
Cr
Chromium

25
Mn
Manganese

26
Fe
Iron

27
Co
Cobalt

28
Ni
Nickel

29
Cu
Copper

30
Zn
Zinc

31
Ga
Gallium

32
Ge
Germanium

33
As
Arsenic

34
Se
Selenium

35
Br
Bromine

36
Kr
Krypton

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

48
Cd
Cadmium

49
In
Indium

50
Sn
Tin

51
Sb
Antimony

52
Te
Tellurium

53
I
Iodine

54
Xe
Xenon

59
Pr
Praseodymium

60
Nd
Neodymium

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

67
Ho
Holmium

68
Er
Erbium

69
Tm
Thulium

70
Yb
Ytterbium

71
Lu
Lutetium

73
Ta
Tantalum

74
W
Tungsten

75
Re
Rhenium

76
Os
Osmium

77
Ir
Iridium

78
Pt
Platinum

79
Au
Gold

80
Hg
Mercury

81
Tl
Thallium

82
Pb
Lead

83
Bi
Bismuth

84
Po
Polonium

85
At
Astatine

86
Rn
Radon

89
Ac
Actinium

90
Th
Thorium

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium

99
Es
Einsteinium

100
Fm
Fermium

101
Md
Mendelevium

102
No
Nobelium

103
Lr
Lawrencium

14
Si
Silicon

15
P
Phosphorus

16
S
Sulfur

17
Cl
Chlorine

18
Ar
Argon

23
V
Vanadium

24
Cr
Chromium

25
Mn
Manganese

26
Fe
Iron

27
Co
Cobalt

28
Ni
Nickel

29
Cu
Copper

30
Zn
Zinc

31
Ga
Gallium

32
Ge
Germanium

33
As
Arsenic

34
Se
Selenium

35
Br
Bromine

36
Kr
Krypton

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

48
Cd
Cadmium

49
In
Indium

50
Sn
Tin

51
Sb
Antimony

52
Te
Tellurium

53
I
Iodine

54
Xe
Xenon

59
Pr
Praseodymium

60
Nd
Neodymium

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

67
Ho
Holmium

68
Er
Erbium

69
Tm
Thulium

70
Yb
Ytterbium

71
Lu
Lutetium

73
Ta
Tantalum

74
W
Tungsten

75
Re
Rhenium

76
Os
Osmium

77
Ir
Iridium

78
Pt
Platinum

79
Au
Gold

80
Hg
Mercury

81
Tl
Thallium

82
Pb
Lead

83
Bi
Bismuth

84
Po
Polonium

85
At
Astatine

86
Rn
Radon

89
Ac
Actinium

90
Th
Thorium

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium

99
Es
Einsteinium

100
Fm
Fermium

101
Md
Mendelevium

102
No
Nobelium

103
Lr
Lawrencium

14
Si
Silicon

15
P
Phosphorus

16
S
Sulfur

17
Cl
Chlorine

18
Ar
Argon

23
V
Vanadium

24
Cr
Chromium

25
Mn
Manganese

26
Fe
Iron

27
Co
Cobalt

28
Ni
Nickel

29
Cu
Copper

30
Zn
Zinc

31
Ga
Gallium

32
Ge
Germanium

33
As
Arsenic

34
Se
Selenium

35
Br
Bromine

36
Kr
Krypton

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

48
Cd
Cadmium

49
In
Indium

50
Sn
Tin

51
Sb
Antimony

52
Te
Tellurium

53
I
Iodine

54
Xe
Xenon

59
Pr
Praseodymium

60
Nd
Neodymium

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

67
Ho
Holmium

68
Er
Erbium

69
Tm
Thulium

70
Yb
Ytterbium

71
Lu
Lutetium

73
Ta
Tantalum

74
W
Tungsten

75
Re
Rhenium

76
Os
Osmium

77
Ir
Iridium

78
Pt
Platinum

79
Au
Gold

80
Hg
Mercury

81
Tl
Thallium

82
Pb
Lead

83
Bi
Bismuth

84
Po
Polonium

85
At
Astatine

86
Rn
Radon

89
Ac
Actinium

90
Th
Thorium

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium

99
Es
Einsteinium

100
Fm
Fermium

101
Md
Mendelevium

102
No
Nobelium

103
Lr
Lawrencium

14
Si
Silicon

15
P
Phosphorus

16
S
Sulfur

17
Cl
Chlorine

18
Ar
Argon

23
V
Vanadium

24
Cr
Chromium

25
Mn
Manganese

26
Fe
Iron

27
Co
Cobalt

28
Ni
Nickel

29
Cu
Copper

30
Zn
Zinc

31
Ga
Gallium

32
Ge
Germanium

33
As
Arsenic

34
Se
Selenium

35
Br
Bromine

36
Kr
Krypton

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

48
Cd
Cadmium

49
In
Indium

50
Sn
Tin

51
Sb
Antimony

52
Te
Tellurium

53
I
Iodine

54
Xe
Xenon

59
Pr
Praseodymium

60
Nd
Neodymium

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

67
Ho
Holmium

68
Er
Erbium

69
Tm
Thulium

70
Yb
Ytterbium

71
Lu
Lutetium

73
Ta
Tantalum

74
W
Tungsten

75
Re
Rhenium

76
Os
Osmium

77
Ir
Iridium

78
Pt
Platinum

79
Au
Gold

80
Hg
Mercury

81
Tl
Thallium

82
Pb
Lead

83
Bi
Bismuth

84
Po
Polonium

85
At
Astatine

86
Rn
Radon

89
Ac
Actinium

90
Th
Thorium

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium

99
Es
Einsteinium

100
Fm
Fermium

101
Md
Mendelevium

102
No
Nobelium

103
Lr
Lawrencium

14
Si
Silicon

15
P
Phosphorus

16
S
Sulfur

17
Cl
Chlorine

18
Ar
Argon

23
V
Vanadium

24
Cr
Chromium

25
Mn
Manganese

26
Fe
Iron

27
Co
Cobalt

28
Ni
Nickel

29
Cu
Copper

30
Zn
Zinc

31
Ga
Gallium

32
Ge
Germanium

33
As
Arsenic

34
Se
Selenium

35
Br
Bromine

36
Kr
Krypton

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

48
Cd
Cadmium

49
In
Indium

50
Sn
Tin

51
Sb
Antimony

52
Te
Tellurium

53
I
Iodine

54
Xe
Xenon

59
Pr
Praseodymium

60
Nd
Neodymium

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

67
Ho
Holmium

68
Er
Erbium

69
Tm
Thulium

70
Yb
Ytterbium

71
Lu
Lutetium

73
Ta
Tantalum

74
W
Tungsten

75
Re
Rhenium

76
Os
Osmium

77
Ir
Iridium

78
Pt
Platinum

79
Au
Gold

80
Hg
Mercury

81
Tl
Thallium

82
Pb
Lead

83
Bi
Bismuth

84
Po
Polonium

85
At
Astatine

86
Rn
Radon

89
Ac
Actinium

90
Th
Thorium

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium

99
Es
Einsteinium

100
Fm
Fermium

101
Md
Mendelevium

102
No
Nobelium

103
Lr
Lawrencium

14
Si
Silicon

15
P
Phosphorus

16
S
Sulfur

17
Cl
Chlorine

18
Ar
Argon

23
V
Vanadium

24
Cr
Chromium

25
Mn
Manganese

26
Fe
Iron

27
Co
Cobalt

28
Ni
Nickel

29
Cu
Copper

30
Zn
Zinc

31
Ga
Gallium

32
Ge
Germanium

33
As
Arsenic

34
Se
Selenium

35
Br
Bromine

36
Kr
Krypton

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

48
Cd
Cadmium

49
In
Indium

50
Sn
Tin

51
Sb
Antimony

52
Te
Tellurium

53
I
Iodine

54
Xe
Xenon

59
Pr
Praseodymium

60
Nd
Neodymium

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

67
Ho
Holmium

68
Er
Erbium

69
Tm
Thulium

70
Yb
Ytterbium

71
Lu
Lutetium

73
Ta
Tantalum

74
W
Tungsten

75
Re
Rhenium

76
Os
Osmium

77
Ir
Iridium

78
Pt
Platinum

79
Au
Gold

80
Hg
Mercury

81
Tl
Thallium

82
Pb
Lead

83
Bi
Bismuth

84
Po
Polonium

85
At
Astatine

86
Rn
Radon

89
Ac
Actinium

90
Th
Thorium

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium

99
Es
Einsteinium

100
Fm
Fermium

101
Md
Mendelevium

102
No
Nobelium

103
Lr
Lawrencium

14
Si
Silicon

15
P
Phosphorus

16
S
Sulfur

17
Cl
Chlorine

18
Ar
Argon

23
V
Vanadium

24
Cr
Chromium

25
Mn
Manganese

26
Fe
Iron

27
Co
Cobalt

28
Ni
Nickel

29
Cu
Copper

30
Zn
Zinc

31
Ga
Gallium

32
Ge
Germanium

33
As
Arsenic

34
Se
Selenium

35
Br
Bromine

36
Kr
Krypton

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

48
Cd
Cadmium

49
In
Indium

50
Sn
Tin

51
Sb
Antimony

52
Te
Tellurium

53
I
Iodine

54
Xe
Xenon

59
Pr
Praseodymium

60
Nd
Neodymium

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

67
Ho
Holmium

68
Er
Erbium

69
Tm
Thulium

70
Yb
Ytterbium

71
Lu
Lutetium

73
Ta
Tantalum

74
W
Tungsten

75
Re
Rhenium

76
Os
Osmium

77
Ir
Iridium

78
Pt
Platinum

79
Au
Gold

80
Hg
Mercury

81
Tl
Thallium

82
Pb
Lead

83
Bi
Bismuth

84
Po
Polonium

85
At
Astatine

86
Rn
Radon

89
Ac
Actinium

90
Th
Thorium

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium

99
Es
Einsteinium

100
Fm
Fermium

101
Md
Mendelevium

102
No
Nobelium

103
Lr
Lawrencium

14
Si
Silicon

15
P
Phosphorus

16
S
Sulfur

17
Cl
Chlorine

18
Ar
Argon

23
V
Vanadium

24
Cr
Chromium

25
Mn
Manganese

26
Fe
Iron

27
Co
Cobalt

28
Ni
Nickel

29
Cu
Copper

30
Zn
Zinc

31
Ga
Gallium

32
Ge
Germanium

33
As
Arsenic

34
Se
Selenium

35
Br
Bromine

36
Kr
Krypton

41
Nb
Niobium

42
Mo
Molybdenum

43
Tc
Technetium

44
Ru
Ruthenium

45
Rh
Rhodium

46
Pd
Palladium

47
Ag
Silver

20

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(1) ธาตุหมู่ 3B

21	44.96
Sc	Scandium
39	88.91
Y	Yttrium
57	138.91
La	Lanthanum

- ประกอบด้วย --> ธาตุ Sc, Y, La
- จัดเรียง e^- แบบ $(n-1)d^1 ns^2$ --> มีเลขออกซิเดชัน +3 เท่านั้น
- สารประกอบของธาตุหมู่ IIIB จึงไม่มีสีหรือเป็นสีขาว
- สารประกอบได้แก่พวก ไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และซัลเฟต → ละลายน้ำแล้วจะแตกตัวเป็นไอออน สารละลายเป็นเบสเล็กน้อย
- สารประกอบออกไซด์ของธาตุหมู่ 3B จะคงตัว (เสถียร)

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันหาดี

21

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(2) ธาตุหมู่ 4B

22	47.90
Ti	Titanium
40	91.22
Zr	Zirconium
72	178.49
Hf	Hafnium

- ประกอบด้วย --> ธาตุ Ti, Zr, Hf
- จัดเรียง e^- แบบ $(n-1)d^2 ns^2$
- ธาตุ Ti และ Zr มีเลขออกซิเดชัน +2, +3, +4 ส่วนธาตุ Hf เป็น +4
- **Ti**
 - ลักษณะขาววาวคล้ายเงิน, m.p., b.p. สูง, แข็ง, เหนียว, ดึงเป็นเส้นได้
 - ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องบินไอพ่น (ความหนาแน่นต่ำที่สุด, น้ำหนักเบา)
 - สภาพปกติ Ti จะเฉื่อยต่อปฏิกิริยามาก แต่ที่อุณหภูมิสูง ($> 500^\circ\text{C}$) เกิดปฏิกิริยากับไอน้ำได้แก๊ส H_2



เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันหาดี

22

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(2) ธาตุหมู่ 4B

22	47.90
Ti	
Titanium	
40	91.22
Zr	
Zirconium	
72	178.49
Hf	
Hafnium	

- ตัวอย่างสารประกอบของ Ti และปฏิกิริยา



(พ่น TiCl_4 ในบริเวณอากาศชื้นจะเกิดควันสีขาว)

ใช้ประโยชน์ในกิจการทหาร เช่น การทำม่านควัน, sky writing

- TiO_2 ธรรมชาติพบในแร่ rutile (มีสีขาว เกลี้ยง) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสี, เครื่องเคลือบ

- นอกจากนี้ TiO_2 มีสมบัติเป็น amphoteric

- ทำหน้าที่เป็นเบส, ละลายในกรดได้ TiO^{2+}



เบส กรด

- ทำหน้าที่เป็นกรด, ละลายในเบสได้ TiO_3^{2-}



กรด เบส

23

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(2) ธาตุหมู่ 4B

22	47.90
Ti	
Titanium	
40	91.22
Zr	
Zirconium	
72	178.49
Hf	
Hafnium	

• Zr และ Hf

- มีสมบัติคล้ายคลึงกันมาก ทั้งขนาดและสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (ขนาด $\text{Zr} = 145 \text{ pm}$, $\text{Hf} = 144 \text{ pm}$)

- สารประกอบที่สำคัญได้แก่ ZrO_2 และ HfO_2 มีสมบัติเป็นเบสและละลายในกรดได้ดีกว่า TiO_2

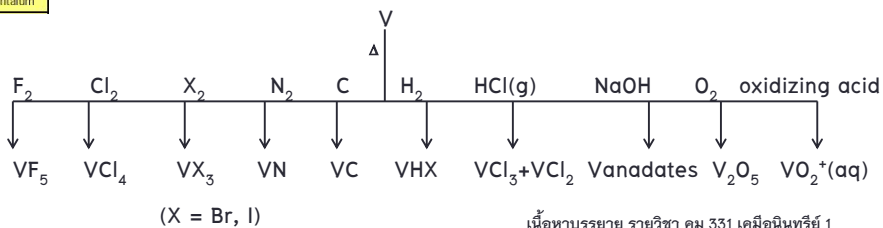
- ZrO_2 มี m.p สูงมาก (3100 K) ยิ่งเผาให้ร้อนมาก ๆ จะมีสมบัติทนกรด-เบส สมบัติเชิงกลดี จึงนิยมทำวัสดุทนไฟและผิวภายในเตาเผา เบ้าทนไฟ เป็นต้น

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(3) ธาตุหมู่ 5B

23	50.94
V	
Vanadium	
41	92.91
Nb	
Niobium	
73	180.95
Ta	
Tantalum	

- ประกอบด้วย --> ธาตุ V, Nb, Ta จัดเรียง e⁻ แบบ (n-1)d³ ns²
- ธาตุ V มีเลขออกซิเดชัน +2, +3, +4, +5 ธาตุ Nb, Ta มักพบเฉพาะ +3, +5
- **V**
 - ในธรรมชาติมักพบในสินแร่ปนกับโลหะอื่น
 - สามารถเกิดปฏิกิริยาได้สารประกอบที่มีเลขออกซิเดชันต่างๆ ดังนี้



เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันหาดี

25

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(3) ธาตุหมู่ 5B

23	50.94
V	
Vanadium	
41	92.91
Nb	
Niobium	
73	180.95
Ta	
Tantalum	

- สารประกอบของ V⁵⁺ เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง หรือถูกรีดิวซ์ได้ง่ายแม้ใช้ตัวรีดิวซ์ที่อ่อน ตัวอย่างเช่น



- VO₂ เป็น amphoteric
- ทำหน้าที่เป็นเบส, ละลายในกรดได้ VO²⁺



เบส กรด

- ทำหน้าที่เป็นกรด, ละลายในเบสได้ VO₃²⁻ หรือ VO₄⁴⁻



กรด เบส

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันหาดี

26

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(3) ธาตุหมู่ 5B

23	50.94
V	
Vanadium	
41	92.91
Nb	
Niobium	
73	180.95
Ta	
Tantalum	

- สารประกอบของ V^{4+} เมื่อถูกรีดิวซ์ด้วยตัวรีดิวซ์ที่แรงขึ้น เช่น H_2 , CO จะได้ V^{3+}

- สารประกอบของ V^{3+} เช่น V_2O_3 มีสมบัติเป็นเบส

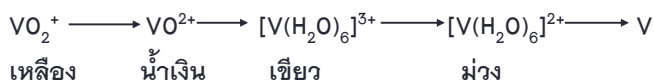


- สารประกอบของ V^{2+} เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงมาก ตัวอย่างเช่น VO

- ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของ



พิจารณาได้จากการเกิดปฏิกิริยากับ Zn/HCl

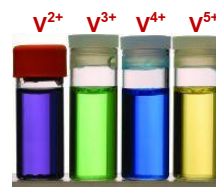


เหลือง

น้ำเงิน

เขียว

ม่วง



เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1

เพชรลดา กันหาดี

27

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(3) ธาตุหมู่ 5B

23	50.94
V	
Vanadium	
41	92.91
Nb	
Niobium	
73	180.95
Ta	
Tantalum	

• **Nb และ Ta**

- มีสมบัติทั่วไปคล้ายคลึงกันมาก มักเกิดด้วยกันในธรรมชาติและแยกออกจากกันได้ยาก

- Nb มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง เมื่อ T ต่ำมาก จะกลายเป็น "superconductor"

- สารประกอบที่สำคัญมีเลขออกซิเดชัน +5 เช่น Nb_2O_5 และ Ta_2O_5

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1

เพชรลดา กันหาดี

28

6. ธาตุทวารานลิชั้นหมู่ต่างๆ

(4) ๕๓๓๖ ๖๖

24	51.996
Cr	
Chromium	
42	95.94
Mo	
Molybdenum	
74	183.85
W	
Tungsten	

- Cr^{6+} เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากในสารละลายกรด $\rightarrow$ อยู่ในรูปของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
- Cr^{6+} เกิดสารประกอบกับธาตุที่มี EN สูงๆ เช่น O, F, Cl ได้ CrO_3 , CrF_6 , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^{2-} , CrO_2Cl_2
- CrO_4^{2-} และ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ สามารถเปลี่ยนไปมาระหว่างกันได้เมื่อ pH เปลี่ยนแปลง

2CrO_4^{2-}	$\rightleftharpoons$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
เสถียรในเบส		เสถียรในกรด
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ในสารละลายกรด นิยมใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ในการหาปริมาณไอออนเหล็ก ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) เนื่องจาก $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ มีค่า E^0 ค่อนข้างมาก

$$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \longrightarrow 2 \text{Cr}^{3+} + 7 \text{H}_2\text{O} \quad E^0 = 1.33 \text{ V}$$
- สารประกอบของ Cr^{2+} จัดเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงมาก

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอินทรีย์ 1

เพชรลดา กันทาดี

31

6. ธาตุทวารานลิชั้นหมู่ต่างๆ

(4) **ธาตุหมู่ 6B**

24	51.996
Cr	
Chromium	
42	95.94
Mo	
Molybdenum	
74	183.85
W	
Tungsten	

- Cr^{3+} เป็นไอออนที่เสถียรที่สุดในกลุ่มของโครเมียม Cr^{3+} สามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่เสถียรกับ ligand หลายชนิดและให้สีแตกต่างกัน โดยส่วนมากมักมีโครงสร้างเป็น Octahedral
- **Mo และ W**
 - มีสมบัติคล้ายคลึงกันมาก มักใช้ประโยชน์ในการทำชิ้นส่วนเครื่องมือที่ต้องรับอุณหภูมิสูงขณะใช้งาน เช่น X-ray tube, เตาหลอมไฟฟ้า (electric furnace) และเส้นลวดในหลอดไฟฟ้า (tungsten wire)
 - Mo และ W มักเกิดสารประกอบที่มีเลขออกซิเดชันสูงๆ เช่น +4, +5, +6 ที่สำคัญคือ +6
 - Mo^{6+} และ W^{6+} มักเกิดเป็นโมเลกุลหรือไอออนที่มีอะตอมโลหะจำนวนมาก เรียกว่า “Cluster” เช่น $[\text{Mo}_7\text{O}_{24}]^{6-}$
- เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอินทรีย์ 1
เพชรดา กันทาดี

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอินทรีย์ 1

เพชรลดา กันทาดี

32

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(5) ธาตุหมู่ 7B

25	54.94
Mn	
Manganese	
43	(98)
Tc	
Technetium	
75	186.21
Re	
Rhenium	

- ประกอบด้วย --> ธาตุ Mn, Tc, Re

• Mn

- มีสมบัติคล้ายเหล็กแต่ทนความร้อนได้ไม่ดีเท่าเหล็ก (m.p ต่ำกว่า)
- มักพบในรูปสารประกอบออกไซด์ เช่น MnO_2 , Mn_2O_3 และไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต
- เกิดสารประกอบโดยมีเลขออกซิเดชันตั้งแต่ +2 ถึง +7 แต่ที่สำคัญคือ +2, +4, +7
- โดยทั่วไป Mn^{2+} เสถียรที่สุด เช่น ไอออน MnO_4^- เมื่อถูกรีดิวซ์ในสารละลายกรดจะได้ Mn^{2+} เท่านั้น



เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1

เพชรลดา กันหาดี

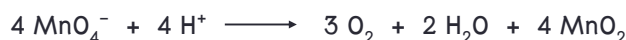
33

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(5) ธาตุหมู่ 7B

25	54.94
Mn	
Manganese	
43	(98)
Tc	
Technetium	
75	186.21
Re	
Rhenium	

- KMnO_4 เสถียรและเก็บไว้ได้นานหากอยู่ในที่มืด เนื่องจากแสงจะเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวให้เร็วขึ้น



- การที่สารประกอบของ Mn^{2+} เสถียรมาก เนื่องจากการจัดเรียง e^- เป็น $[\text{Ar}] 3d^5$ ซึ่งเป็น half-filled

- Mn^{3+} ปกติจะไม่เสถียร มักเกิด disproportionation (self redox) ได้ Mn^{2+} และ MnO_2 ดังสมการ



- Mn^{3+} ที่เสถียรบ้าง มักอยู่ในรูปของสารเชิงซ้อนหรือสารประกอบออกไซด์

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1

เพชรลดา กันหาดี

34

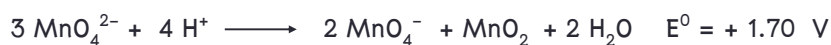
6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(5) ธาตุหมู่ 7B

25	54.94
Mn	
Manganese	
43	(98)
Tc	
Technetium	
75	186.21
Re	
Rhenium	

- Mn^{4+} มักไม่เสถียรในรูปของสารประกอบต่างๆ ยกเว้น MnO_2 ที่เสถียรมาก

- สารประกอบของ Mn^{5+} และ Mn^{6+} มักไม่เสถียร ที่สำคัญคือ MnO_4^{2-} ซึ่งเสถียรในเบส ส่วนในกรดจะเกิด disproportionation ได้ MnO_4^- และ MnO_2 ดังสมการ



- Mn^{7+} เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง เช่น KMnO_4 ซึ่งนิยมใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ในทางเคมีวิเคราะห์

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรดา กันทาดี

35

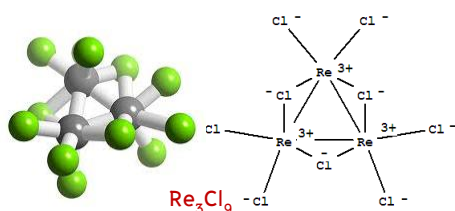
6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(5) ธาตุหมู่ 7B

25	54.94
Mn	
Manganese	
43	(98)
Tc	
Technetium	
75	186.21
Re	
Rhenium	

• Tc และ Re

- Tc เป็นธาตุที่สังเคราะห์ขึ้น ไม่พบในธรรมชาติและเป็นธาตุกัมมันตรังสี
- Tc และ Re มีสมบัติคล้ายคลึงกันมากและแตกต่างจาก Mn อย่างชัดเจน
- Tc มีเลขออกซิเดชัน +4 และ +7 ส่วน Re มีเลขออกซิเดชัน +3, +4 และ +7
- สารประกอบที่สำคัญ เช่น ออกไซด์ Tc_2O_7 และ Re_2O_7 ซึ่งได้จากการเผาไหม้ในอากาศและอาจเกิดเป็น cluster เช่น Re_3Cl_9



เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรดา กันทาดี

36

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(6) ธาตุหมู่ 8

- ประกอบด้วย กลุ่มธาตุตามแนวนอนและแนวตั้งในตารางธาตุ ดังนี้

26 55.85 Fe Iron	27 58.93 Co Cobalt	28 58.70 Ni Nickel
44 101.07 Ru Ruthenium	45 102.91 Rh Rhodium	46 106.40 Pd Palladium
76 190.20 Os Osmium	77 192.22 Ir Iridium	78 195.09 Pt Platinum

Fe	Co	Ni
Ru	Rh	Pd
Os	Ir	Pt

- การจัดกลุ่มธาตุเหล่านี้ไว้เป็นหมู่เดียวกัน เนื่องจากพบว่าธาตุที่เรียงกันตามแนวนอนมีสมบัติใกล้เคียงกัน และมากกว่าธาตุที่เรียงกันตามแนวตั้ง

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันหาดี

37

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(6) ธาตุหมู่ 8

- นอกจากนี้ยังมีการแบ่งกลุ่มธาตุออกเป็นกลุ่มย่อย 2 กลุ่ม คือ ธาตุตระกูลเหล็ก และธาตุตระกูลแพลตินัม

26 55.85 Fe Iron	27 58.93 Co Cobalt	28 58.70 Ni Nickel
----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

- ธาตุตระกูลเหล็ก (Iron Family)**

- ประกอบด้วย ธาตุ Fe, Co และ Ni

- Fe, Co และ Ni เป็นโลหะแข็ง มี m.p, b.p สูง และว่องไวต่อปฏิกิริยาปานกลาง สารประกอบมักมีเลขออกซิเดชัน +2 และ +3

- Fe**

- เป็นธาตุทรานสิชันที่มีปริมาณมากที่สุด และเป็นอันดับ 4 ในบรรดาธาตุทั้งหมด (อันดับ 1 = ออกซิเจน, อันดับ 2 = ซิลิกอน, อันดับ 3 = อะลูมิเนียม)
- มีความแข็งแรงมาก จึงนิยมใช้เป็นวัสดุโครงสร้างทำสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ แต่มักไม่ใช่เหล็กบริสุทธิ์
- ในธรรมชาติ เหล็กมักเกิดเป็นสารประกอบร่วมกับธาตุอื่นๆ อยู่ในรูปของเหล็กออกไซด์ คาร์บอนेट ซัลไฟด์

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันหาดี

38

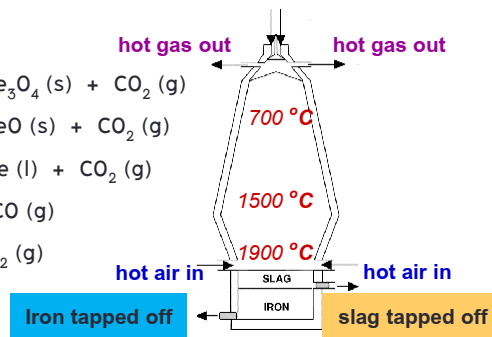
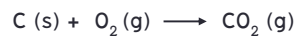
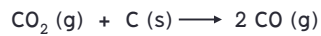
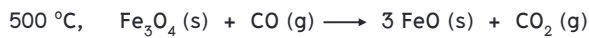
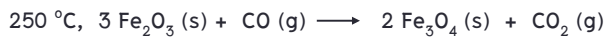
6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(6) ธาตุหมู่ 8

• Fe

26	55.85	27	58.93	28	58.70
Fe		Co		Ni	
Iron		Cobalt		Nickel	

- การถลุงเหล็ก จะใช้ CO หรือ CO_2 เป็นตัวรีดิวซ์สินแร่เหล็กในเตา โดยเติมสินแร่เหล็ก หินปูน และถ่านโค้กลงด้านบนของเตา แล้วผ่านอากาศร้อนจัดทางด้านล่างเข้าไปในเตา
- ปฏิกิริยา ณ จุดต่างๆ ของเตาจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้



6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

“Blast furnace”

1: Iron ore + Calcareous sinter

2: coke

3: conveyor belt

4: feeding opening, with a valve that prevents direct contact with the internal parts of the furnace

5: Layer of coke

6: Layers of sinter, iron oxide pellets, ore,

7: Hot air (around 1200°C)

8: Slag

9: Liquid pig iron

10: Mixers

11: Tap for pig iron

12: Dust cyclon

13: air heater

14: Smoke outlet (can be redirected to carbon capture & storage (CCS) tank)

15: feed air for Cowper air heaters

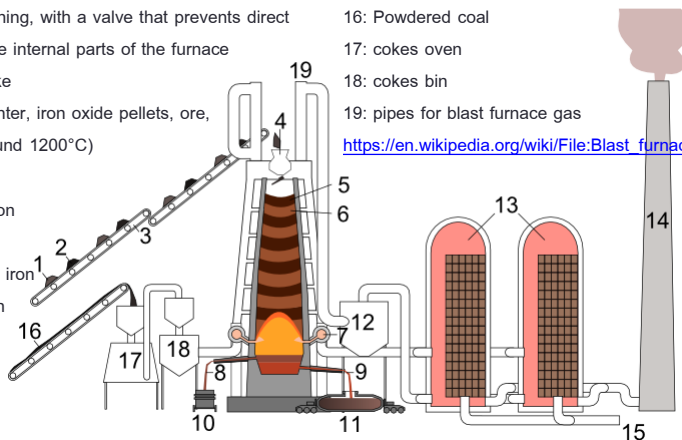
16: Powdered coal

17: cokes oven

18: cokes bin

19: pipes for blast furnace gas

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Blast_furnace_NT.PNG



6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(6) ธาตุหมู่ 8

• Fe

26	55.85	27	58.93	28	58.70
Fe		Co		Ni	
Iron		Cobalt		Nickel	

- ในสินแร่เหล็กมักมีสารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 ปนอยู่ด้วย ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยากับหินปูนที่เติมลงไป



- “slag” ที่เกิดขึ้นจะลอยอยู่เหนือเหล็กหลอมเหลว ช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กสัมผัสกับออกซิเจน และ slag ยังสามารถนำไปผลิตเป็นซีเมนต์ได้

- เหล็กเมื่อทิ้งไว้ในอากาศที่มีความชื้น มักจะกลายเป็นสนิมเหล็ก $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{X H}_2\text{O}$ เกิดที่ผิว --> การป้องกันการเกิดสนิมอาจเคลือบด้วยดีบุก สังกะสี หรือโครเมียม

- Fe^{2+} และ Fe^{3+} เกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายชนิด บางตัวให้สีเข้มและใช้ประโยชน์ทางด้านเคมีวิเคราะห์

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอินทรีย์ 1

เพชรดา กันทาดี

41

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(6) ธาตุหมู่ 8

• Fe

26	55.85	27	58.93	28	58.70
Fe		Co		Ni	
Iron		Cobalt		Nickel	

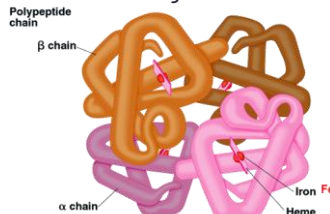
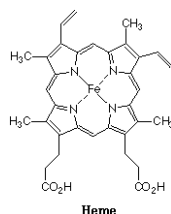


สีแดงเลือดนก



(phen = 1,10-phenanthroline)

- สารเชิงซ้อนของเหล็กที่สำคัญมากในสิ่งมีชีวิต คือ heme หรือ iron porphyrin ซึ่งสามารถรวมตัวกับโปรตีน คือ globin เกิดเป็น hemoglobin และทำหน้าที่รับส่ง O_2 ได้



42

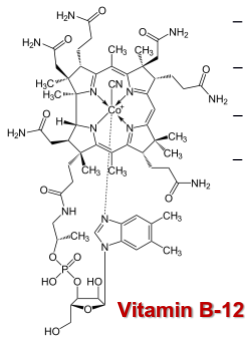
6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(6) ธาตุหมู่ 8

26	55.85	27	58.93	28	58.70
Fe		Co		Ni	
Iron		Cobalt		Nickel	

• Co

- เป็นโลหะที่มีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กและค่อนข้างเฉื่อยต่อปฏิกิริยา
- ตัวอย่างสารประกอบโคบอลต์ เช่น Co_3O_4 , CoF_2 , CoX_2 ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$)
- Co^{2+} มักเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีเลขออกซิเดชัน +3 ซึ่งเสถียรขึ้น
- เมื่อนำ Co เจือกับ Fe, Ni และ Al จะได้โลหะเจือที่ใช้ทำแม่เหล็กถาวร
- Co ยังใช้เจือกับโลหะอื่น $\rightarrow$ เกิดความแข็งแรง ทนทานต่อการผุกร่อน
- วิตามิน B-12 ก็เป็นสารประกอบของโคบอลต์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน



เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอินทรีย์ 1
เพชรดา กันทาดี

43

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(6) ธาตุหมู่ 8

26	55.85	27	58.93	28	58.70
Fe		Co		Ni	
Iron		Cobalt		Nickel	

• Ni

- Ni เป็นอีกธาตุหนึ่งที่มีสมบัติแม่เหล็ก
- Ni^{2+} สามารถถูกรีดิวซ์เป็น Ni ได้ง่ายในสารละลายกรด

$$(\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Ni}(\text{s}), E^0 = -0.25\text{ V})$$
- ธรรมชาติมักพบในรูปของ NiS เป็นสินแร่ และอาจเกิดร่วมกับสารหนูและพลวง
- การถลุงแร่เพื่อให้ได้โลหะ Ni จะเผาแร่ซัลไฟด์ในอากาศ และรีดิวซ์ด้วยคาร์บอน

$$\text{NiS} \xrightarrow{\text{เผาใน } \text{O}_2} \text{NiO} \xrightarrow{\text{เผาใน C}} \text{Ni}$$
- Ni เป็นตัวรีดิวซ์ที่เลว (เสีย e^- ยาก) จึงทนต่อการกัดกร่อนได้ดี
- สารประกอบและสารเชิงซ้อนส่วนใหญ่มักเป็น Ni^{2+} เช่น NiS , NiO , $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
- Ni นิยมใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะเจือ เช่น ผสมกับเหล็ก ทองแดง โครเมียม
- nichrome เป็นตัวอย่างโลหะเจือ ประกอบด้วย Ni ~ 80% + Cr ~ 20% $\rightarrow$ มีสมบัติทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงๆ ได้ดี จึงใช้ทำขดลวดความต้านไฟฟ้า

44

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(6) ธาตุหมู่ 8

44 101.07 Ru Ruthenium	45 102.91 Rh Rhodium	46 106.40 Pd Palladium
76 190.20 Os Osmium	77 192.22 Ir Iridium	78 196.09 Pt Platinum

• ธาตุตระกูลแพลตินัม

- ประกอบด้วย ธาตุ Ru Rh Pd Os Ir Pt
- ธาตุกลุ่มนี้มีสมบัติคล้ายกัน มี m.p., b.p. สูงมาก --> แสดงถึงพันธะโลหะที่แข็งแรง ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา
- พบธาตุเหล่านี้ในรูปของธาตุอิสระในธรรมชาติบ้าง หรือในรูปของโลหะเจือหรือเกิดร่วมกับธาตุหมู่ 1B คือ Cu, Ag, Au
- ธาตุกลุ่มนี้มีปริมาณน้อยมากในธรรมชาติ จึงมีราคาแพง
- Pd มีประโยชน์ในการเร่งปฏิกิริยาที่พื้นผิว ส่วน Pt นิยมใช้ทำเป็นขั้วไฟฟ้า เบ้าทนไฟ และภาชนะที่ทนความร้อนและการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากเฉื่อยต่อปฏิกิริยา

45

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(7) ธาตุหมู่ 1B

29 63.55 Cu Copper	3d ¹⁰ 4s ¹
47 107.87 Ag Silver	4d ¹⁰ 5s ¹
79 196.97 Au Gold	5d ¹⁰ 6s ¹

- ประกอบด้วย --> ธาตุ Cu, Ag และ Au
- มีการจัดเรียง valence e⁻ เป็น (n-1)d¹⁰ ns¹ --> filled configuration
- มีขนาดเล็ก จึงมีความหนาแน่น m.p และ b.p. สูงกว่าโลหะอัลคาไล (หมู่ 1A) มาก
- มีค่า I.E. สูง และ E⁰ = + มาก จึงไม่ค่อยว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา (เกิดเป็นไอออนบวกได้ยาก) และสารประกอบยังถูกรีดิวซ์เป็นโลหะบริสุทธิ์ได้ง่าย
- ผิวเป็นมันวาว จึงนิยมใช้ทำเป็นเครื่องประดับและเหรียญต่างๆ

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

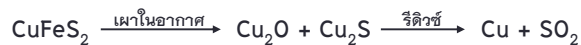
(7) ธาตุหมู่ 1B

29	63.55
Cu	
Copper	
47	107.87
Ag	
Silver	
79	196.97
Au	
Gold	

• Cu

- ในธรรมชาติมีทั้งที่เป็นโลหะอิสระและสารประกอบ เช่น chalcocite, Cu_2S หรือ copper pyrite, CuFeS_2 เป็นต้น

- เมื่อให้ความร้อนจะรีดิวซ์ได้เป็นโลหะทองแดงค่อนข้างง่ายดังนี้



- โลหะ Cu ที่ได้ยังไม่บริสุทธิ์และมักมีเหล็กเจือปน จึงต้องทำ electrolysis อีกครั้งหนึ่ง

- ในสารประกอบส่วนมาก Cu จะมีเลขออกซิเดชันเป็น +2 และ +1 แต่ปกติ Cu^+ มักไม่เสถียร

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1

เพชรลดา กันทาดี

47

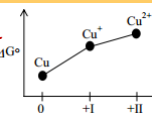
6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(7) ธาตุหมู่ 1B

29	63.55
Cu	
Copper	
47	107.87
Ag	
Silver	
79	196.97
Au	
Gold	

• Cu

Frost diagram for copper

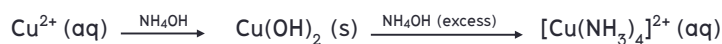


- Cu^+ จะเกิด disproportionation ในสารละลาย ได้เป็น Cu และ Cu^{2+}



- สารประกอบของ Cu^+ จะเสถียรขึ้นถ้าอยู่ในสภาวะของแข็งหรือเป็นสารประกอบที่มีการละลายต่ำ

- สารประกอบของ Cu^{2+} ส่วนมากเป็นสีน้ำเงินหรือน้ำเงินแกมเขียว โดยเฉพาะเมื่อน้ำอยู่ในสารละลายและอยู่ในรูปของ $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ หรือ $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ นอกจากนี้ยังเกิดเป็นสารเชิงซ้อนได้มากมาย



สีฟ้าอ่อน

สีน้ำเงินเข้ม

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1

เพชรลดา กันทาดี

48

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(7) ธาตุหมู่ 1B

29	63.55
Cu	Copper
47	107.87
Ag	Silver
79	196.97
Au	Gold

- **Cu**

- โลหะทองแดง นิยมใช้ทำเป็นลวดนำไฟฟ้า โลหะเจือ เช่น $\text{Cu} + \text{Ni} + \text{Zn}$ ใช้ทำเหรียญกษาปณ์, $\text{Cu} + \text{Zn}$ ได้ทองเหลือง, $\text{Cu} + \text{Sn}$ ได้บรอนซ์



- **Ag และ Au**

- มีปริมาณน้อยในโลก
- Ag มีเลขออกซิเดชันที่เสถียร คือ Ag(I)
- สารประกอบของ Ag(I) ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้น้อย
- AgBr นิยมใช้มากในกระบวนการถ่ายรูปและล้างรูป
- สารประกอบของ Au มีไม่มากนัก และมักมีเลขออกซิเดชัน $+3$ ที่เสถียร

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอินทรีย์ 1

เพชรลดา กันทาดี

49

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(7) ธาตุหมู่ 1B

29	63.55
Cu	Copper
47	107.87
Ag	Silver
79	196.97
Au	Gold

- **Ag และ Au**

- Au(I) ไม่เสถียร สามารถเกิด disproportionation ได้ง่ายเกิดเป็น Au(0) และ Au(III)



- Ag และ Au เป็นโลหะที่อ่อน ดึงเป็นเส้นได้ง่าย นำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดีมาก และนิยมทำเป็นเครื่องประดับ

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอินทรีย์ 1

เพชรลดา กันทาดี

50

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(8) ธาตุหมู่ 2B

30	65.37
Zn	
Zinc	
48	112.41
Cd	
Cadmium	
80	200.59
Hg	
Mercury	

- ประกอบด้วยธาตุ Zn, Cd และ Hg
- มีการจัดเรียง valence electron เป็น $(n-1)d^{10} ns^2$
- ไม่จัดเป็นธาตุทรานสิชัน เนื่องจากมีสมบัติคล้ายกับธาตุเรพรีเซนเททีฟมากกว่า
- ดึงให้เป็นเส้นได้ยาก มี m.p. และ b.p. ต่ำ จึงกลายเป็นไอได้ง่าย
- Hg เป็นธาตุที่หนักที่สุดในกลุ่มนี้ และเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง
- Zn และ Cd เกิดเป็นไอออนบวกได้ดีกว่าปรอท
เช่น $Zn(s) + 2H^+(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + H_2(g)$
- ธาตุทั้งสามมีเลขออกซิเดชันสูงสุด คือ +2 (แต่ปรอทมีเลขออกซิเดชัน +1 ได้ด้วย)

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันทาดี

51

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(8) ธาตุหมู่ 2B

30	65.37
Zn	
Zinc	
48	112.41
Cd	
Cadmium	
80	200.59
Hg	
Mercury	

- **Zn และ Cd**
 - จัดว่ามีปริมาณน้อยในโลก แต่เตรียมได้ง่ายและใช้ประโยชน์กันมาก
 - พบในธรรมชาติในรูปของ ZnS โดยเกิดร่วมกับเหล็กและตะกั่ว เช่น แร่ sphalerite, (ZnFe)S เกิดร่วมกับ galena, PbS
 - Zn และ Cd มีลักษณะขาว วาวคล้ายเงิน แต่เมื่อถูกอากาศจะเกิดเป็น ZnO และ CdO ที่ผิวทำให้สีขุ่นมัวลงและป้องกันไม่ให้โลหะชั้นในถูกออกซิไดซ์ต่อ
 - จึงนิยมนำสังกะสีมาใช้เคลือบผิวเหล็กเพื่อป้องกันการเกิดสนิม

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1
เพชรลดา กันทาดี

52

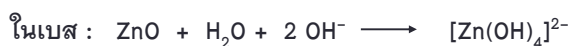
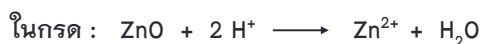
6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(8) ธาตุหมู่ 2B

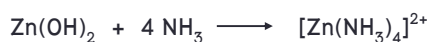
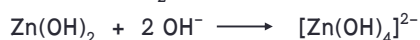
30	65.37
Zn	
Zinc	
48	112.41
Cd	
Cadmium	
80	200.59
Hg	
Mercury	

• Zn และ Cd

- ZnO เป็นสาร amphoteric คือ ละลายได้ในกรด และยังสามารถละลายในเบสเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนอีกด้วย



ตะกอนของ $\text{Zn}(\text{OH})_2$ สามารถละลายในเบสแก่ และแอมโมเนียได้ดังสมการ



เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1

เพชรลดา กันหาดี

53

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(8) ธาตุหมู่ 2B

30	65.37
Zn	
Zinc	
48	112.41
Cd	
Cadmium	
80	200.59
Hg	
Mercury	

• Zn และ Cd

- Cd ใช้เป็นตัวป้องกันสนิมได้เช่นกันและทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่า Zn อีกด้วย

- โลหะที่ต้องใช้งานในทะเลหรือน้ำเค็ม นิยมเคลือบด้วย Cd

- CdS เป็นสารสีที่มีคุณภาพดีแต่ราคาแพง และเป็นสารกึ่งตัวนำในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

• Hg

- มักเกิดในรูปของ HgS (แร่ cinnabar) เมื่อเผาในอากาศจะกลายเป็นออกไซด์ และเป็นไอปรอทที่ $T = 500^\circ\text{C}$

- Hg ไม่ทำปฏิกิริยากับ O_2 ที่อุณหภูมิปกติถ้าไม่มีความชื้น

เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1

เพชรลดา กันหาดี

54

6. ธาตุทรานสิชันหมู่ต่างๆ

(8) ธาตุหมู่ 2B

30	65.37
Zn	
Zinc	
48	112.41
Cd	
Cadmium	
80	200.59
Hg	
Mercury	

- **Hg**

- HgO มีสีแดง นิยมใช้ฉาบกระจกเพื่อเป็นกระจกเงา และเป็นสารสีในการผลิตสีแดง

- พรอทใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์ อิเล็กโทรด และผสมโลหะอื่นเพื่อเป็นโลหะเจือ เรียกว่า amalgam ตัวอย่างเช่น silver amalgam ใช้เป็นวัสดุสำหรับอุดฟัน

- ปัจจุบันยังมีข้อถกเถียงถึงอันตรายของพรอทและมีการพยายามนำ resin composite มาทดแทนวัสดุอุดฟัน แต่คุณสมบัติความคงทนยังด้อยกว่า silver amalgam จึงคงมีการใช้สารทั้งสองกลุ่ม



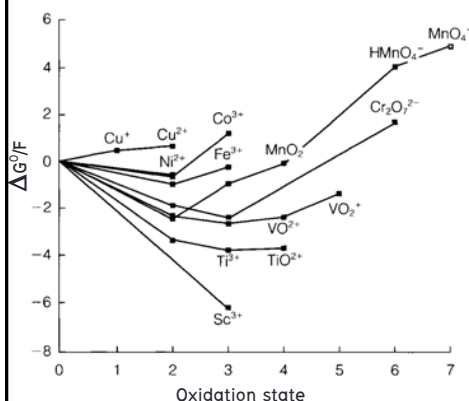
เนื้อหาบรรยาย รายวิชา คม 331 เคมีอนินทรีย์ 1

เพชรลดา กันทาดี

55

7. Frost Diagram

- จัดเป็น redox stability diagram → ช่วยทำนายความเสถียรของ oxidation state เทียบกับ oxidation states ที่อยู่ข้างเคียง (สูงกว่าและต่ำกว่า) ณ สภาวะ pH หนึ่งๆ

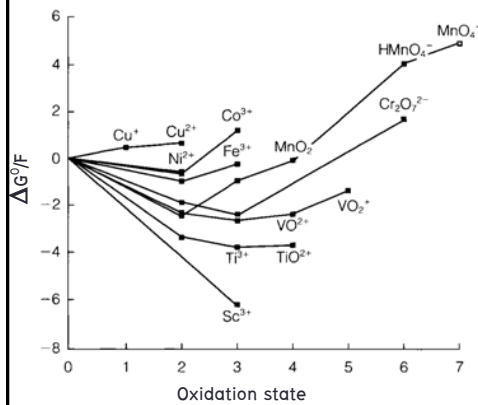


- plot ระหว่าง $\Delta G^\circ/F$ กับ oxidation state ต่างๆ ของโลหะ
- ΔG° แปรผันตรงกับค่า ΔE° → พิจารณาความเป็น oxidizing หรือ reducing agent ของแต่ละ oxidation state ได้
- Highest $\Delta G^\circ/F$ → **strongest oxidizing agent**
- Lowest $\Delta G^\circ/F$ → **most stable oxidation state**

56

7. Frost Diagram

- Oxidation state ที่อยู่ระหว่างกลางและอยู่บนตำแหน่งจุดหักมุม → เกิด disproportionation ไปเป็น oxidation ที่อยู่ข้างเคียงและเสถียรขึ้นได้



- ตัวอย่างพิจารณา เช่น ไอออนของ Cu

- Cu^{2+} เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงที่สุด
- Cu^0 เสถียรที่สุด
- disproportionation:
$$2 \text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^0 + \text{Cu}^{2+}$$