

เอกสารประกอบการบรรยาย วิชา คม331 เคมีอนินทรีย์ 1

สมบัติทางเคมีของธาตุทรานสิชัน (Chemistry of transition elements)

อาจารย์ ดร. วีรินทร์ดา ทะปะละ
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

IUPAC Periodic Table of the Elements

d-block

Key:

atomic number
Symbol
name
conventional atomic weight
standard atomic weight

1 H hydrogen 1.008 [1.0078, 1.0082]	2 He helium 4.0026											13 B boron 10.81 [10.806, 10.821]	14 C carbon 12.011 [12.009, 12.012]	15 N nitrogen 14.007 [14.006, 14.008]	16 O oxygen 15.999 [15.999, 16.000]	17 F fluorine 18.998	18 Ne neon 20.180
3 Li lithium 6.94 [6.938, 6.997]	4 Be beryllium 9.0122											5 Al aluminium 26.982	6 Si silicon 28.085 [28.084, 28.086]	7 P phosphorus 30.974	8 S sulfur 32.06 [32.059, 32.076]	9 Cl chlorine 35.45 [35.446, 35.457]	10 Ar argon 39.948
11 Na sodium 22.990	12 Mg magnesium 24.305 [24.304, 24.307]	3 Sc scandium 44.956	4 Ti titanium 47.867	5 V vanadium 50.942	6 Cr chromium 51.996	7 Mn manganese 54.938	8 Fe iron 55.845(2)	9 Co cobalt 58.933	10 Ni nickel 58.693	11 Cu copper 63.546(3)	12 Zn zinc 65.38(2)	13 Ga gallium 69.723	14 Ge germanium 72.630(8)	15 As arsenic 74.922	16 Se selenium 78.971(8)	17 Br bromine 79.904 [79.901, 79.907]	18 Kr krypton 83.798(2)
19 K potassium 39.098	20 Ca calcium 40.078(4)	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirconium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybdenum 95.95	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.07(2)	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60(3)	53 I iodine 126.90	54 Xe xenon 131.29
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49(2)	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23(3)	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38 [204.38, 204.39]	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganeson

57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.36(2)	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25(3)	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97
89 Ac actinium	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03	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

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 28 November 2016.
Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

ธาตุทรานซิชัน (transition element) คือ ธาตุ หรือ ไอออน ที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนวงนอกสุดใน d -orbital โดยที่อิเล็กตรอนจำนวนนั้นต้องไม่เต็มใน d -orbital

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	3B	4B	5B	6B	7B	8B			1B	2B
1 st row transition elements (3d)	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn
2 nd row transition elements (4d)	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd
3 rd row transition elements (5d)	57- 71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg
4 th row transition elements (6d)	89- 103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn

Inner transition

Lanthanide	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinide	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

การเปรียบเทียบธาตุหมู่ 1A (Alkali metal) และ 1B (Cu, Ag, Au)

1A valence electron $\Rightarrow ns^1$ 1B valence electron $\Rightarrow ns^1 (n-1)d^{10}$

1A	2A									3A	4A	5A	6A	7A	8A	IE1 (kJ/mol)	
Li																K (425)	Cu (745)
Na																Rb (409)	Ag (731)
K																Cs (382)	Au (890)
Rb																	
Cs																	
Fr																	

- I.E. ของ 1B > 1A $\Rightarrow$ 1B จึงว่องไวต่อปฏิกิริยาน้อยกว่า เนื่องจาก 1B มีการกำบังนิวเคลียสที่ไม่สมบูรณ์ของ d-electron วงใน ทำให้ s-electron ด้านนอกดึงดูดกับนิวเคลียสมาก
- Cu, Ag, Au จึงเฉื่อยต่อปฏิกิริยามาก จึงอยู่ในรูปธาตุบริสุทธิ์ และถูกนำไปใช้ผลิตเหรียญและอัญมณี จึงอาจเรียกกลุ่มนี้ว่า “coinage metal”

การจัดเรียงอิเล็กตรอนและสมบัติของทรานซิชันแถวแรก

	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
Electron configuration									
M	4s ² 3d ¹	4s ² 3d ²	4s ² 3d ³	4s ¹ 3d ⁵	4s ² 3d ⁵	4s ² 3d ⁶	4s ² 3d ⁷	4s ² 3d ⁸	4s ¹ 3d ¹⁰
M ²⁺	—	3d ²	3d ³	3d ⁴	3d ⁵	3d ⁶	3d ⁷	3d ⁸	3d ⁹
M ³⁺	[Ar]	3d ¹	3d ²	3d ³	3d ⁴	3d ⁵	3d ⁶	3d ⁷	3d ⁸
Electronegativity	1.3	1.5	1.6	1.6	1.5	1.8	1.9	1.9	1.9
Ionization energy (kJ/mol)									
First	631	658	650	652	717	759	760	736	745
Second	1235	1309	1413	1591	1509	1561	1645	1751	1958
Third	2389	2650	2828	2986	3250	2956	3231	3393	3578
Radius (pm)									
M	162	147	134	130	135	126	125	124	128
M ²⁺	—	90	88	85	91	82	82	78	72
M ³⁺	83	68	74	64	66	67	64	—	—
Standard reduction potential (V)*	−2.08	−1.63	−1.2	−0.74	−1.18	−0.44	−0.28	−0.25	0.34

*The half-reaction is M²⁺(aq) + 2e[−] → M(s) (except for Sc and Cr, where the ions are Sc³⁺ and Cr³⁺, respectively).

ข้อสังเกต

จาก Sc – Cu ประจุนิวเคลียสมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อิเล็กตรอนนั้นถูกเพิ่มไปยังชั้นย่อย $3d$ -orbital ซึ่งมีอำนาจการบดบัง (shield) ใกล้เคียงกัน ทำให้ผลของการเพิ่มประจุบวกที่นิวเคลียสที่มีต่ออิเล็กตรอนวงนอกสุดใน $4s$ -orbital นั้นถูกบดบังไปค่อนข้างมาก นั่นคือ ในกรณีของธาตุทรานซิชัน ประจุนิวเคลียสยังผล (effective nuclear charge) มีค่าแตกต่างกันไม่มากนักจากซ้ายไปขวา ส่งผลให้แนวโน้มการลดลงของขนาดอะตอมจากซ้ายไปขวาไม่รวดเร็วนักเมื่อเทียบกับธาตุเรฟรีเซนเททีฟ

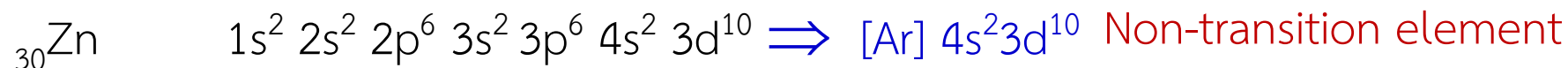
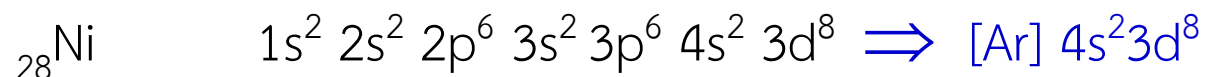
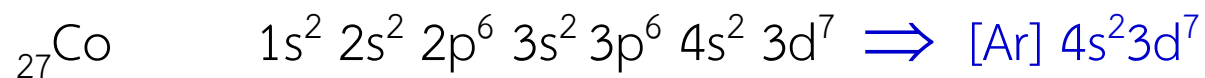
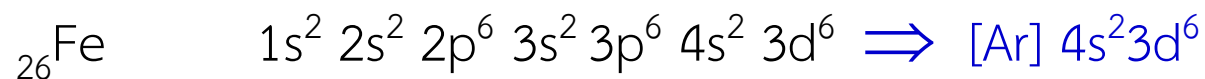
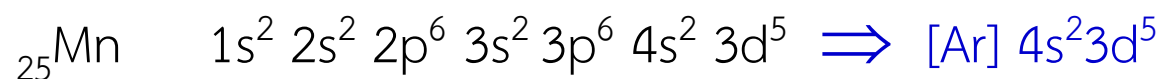
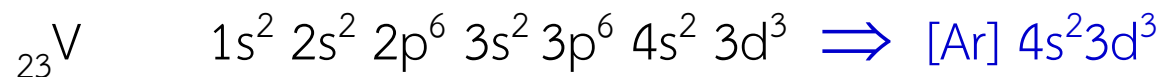
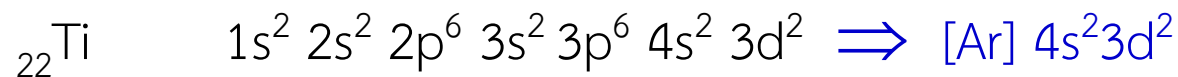
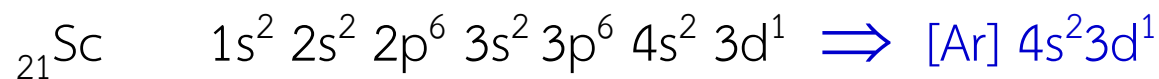
“Shielding Effect: ผลของอิเล็กตรอนชั้นใน ในการกำบังแรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสและอิเล็กตรอนชั้นนอก”

ความสามารถในการกำบัง: $s > p > d > f$ (สำหรับค่า n เดียวกัน)

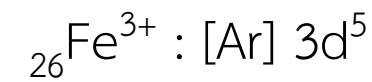
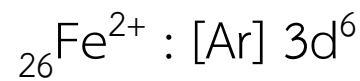
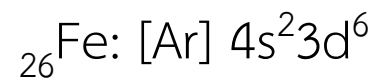
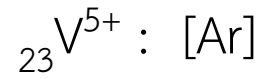
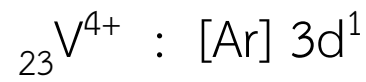
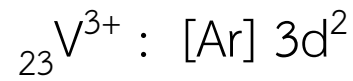
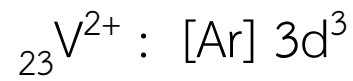
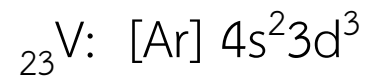
ธาตุทรานซิชัน: $(n-1)d$ -electron กำบัง ns -electron ได้ดี

- ค่า EN, IE และ E° ของธาตุทรานซิชันชั้นเป็นไปในทางเดียวกันกับ 1A และ 2A แสดงว่าธาตุทรานซิชันมีสมบัติเป็นโลหะ และชอบที่จะให้อิเล็กตรอน และเกิดเป็นไอออนบวก
- โดยปกติค่า IE เพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีอะตอมลดลง และประจุนิวเคลียสเพิ่มขึ้น แต่ธาตุทรานซิชันที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบ half filled และ full filled มีค่า IE สูงกว่า เช่น Cr^+ และ Cu^+ มีค่า IE2 มาก

การจัดเรียงอิเล็กตรอน (Electron configuration)



การเกิดเป็นไอออนบวก (อะตอมสูญเสีย e^-)



Penetrating Power: ความสามารถของอิเล็กตรอนในการเข้าใกล้และดึงดูดกับนิวเคลียส

ความสามารถทะลุทะลวง: $s > p > d > f$ (สำหรับค่า n เดียวกัน)

ธาตุทรานสิชัน $\Rightarrow (n-1)d$ -electron เข้าใกล้นิวเคลียสได้ดีกว่า ns -electron

**** ดังนั้นธาตุทรานสิชัน จะเสีย e^- ใน ns -orbital ก่อน เพื่อเกิดเป็นไอออน ****

สมบัติทางกายภาพของธาตุทรานซิชัน

- มีสมบัติการเป็นแม่เหล็ก
- ธาตุทรานซิชันทั้งหมด มีสมบัติเป็นโลหะ ดังนั้นจึงเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดีโดย Ag เป็นตัวนำที่ดีที่สุด และ Cu รองลงมา
- ธาตุทรานซิชันมีความหนาแน่นสูง จุดเดือดจุดหลอมเหลวสูง และมีค่าความร้อนของการหลอมและการกลายเป็นไอ มากกว่าโลหะอัลคาไลน์และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธ เนื่องจากมีขนาดของอะตอมและไอออนเล็ก และโครงสร้างแบบจัดเรียงตัวชิดที่สุดเป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีลักษณะพันธะเป็นพันธะโลหะที่แข็งแรง

สมบัติทางกายภาพของธาตุ K ถึง Zn

	1A	2A	Transition Metals									2B
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Atomic radius (pm)	227	197	162	147	134	130	135	126	125	124	128	138
Melting point (°C)	63.7	838	1539	1668	1900	1875	1245	1536	1495	1453	1083	419.5
Boiling point (°C)	760	1440	2730	3260	3450	2665	2150	3000	2900	2730	2595	906
Density (g/cm ³)	0.86	1.54	3.0	4.51	6.1	7.19	7.43	7.86	8.9	8.9	8.96	7.14

■ ขนาดอะตอมของธาตุทรานสิชัน

- คาบเดียวกัน ขนาดอะตอมลดลงจากซ้ายไปขวา
- หมู่เดียวกัน ไม่ได้มีขนาดอะตอมใหญ่ขึ้นจากบนลงล่างมากเท่าที่คาดไว้ โดยเฉพาะธาตุอนุกรมที่ 3 จะมีขนาดอะตอมใกล้เคียงกับอนุกรมที่ 2 มาก หรืออาจเล็กลงด้วย

รัศมีอะตอมของธาตุทรานสิชัน (pm)

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

รัศมีอะตอมใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน



“Lanthanide Contraction”

Lanthanide contraction เกิดจาก

- ธาตุทรานสิชันในอนุกรมที่ 3 ได้ผ่านธาตุกลุ่มแลนทาไนด์มาก่อน ซึ่งมีการบรรจุ valence electron ใน $4f$ และ $5d$ -orbital เช่น $\text{Hf} = [\text{Xe}] 4f^{14} 5d^2 6s^2$
- $4f$ และ $5d$ -electron ทำหน้าที่ “ก้ำบัง” แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสและ $6s$ -electron ชั้นนอกได้ไม่ดีนัก
- valence electron ใน $6s$ -orbital จึงได้รับอิทธิพลจาก “ประจุนิวเคลียสสุทธิ (Z_{eff})” สูงมาก ทำให้เกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันมาก จึงทำให้อะตอมธาตุเหล่านี้จึงมีขนาดเล็ก

ธาตุอนุกรมที่ 3 มีเลขอะตอมมาก --> จำนวนโปรตอนที่นิวเคลียสมากส่งผลให้ $6s$ -electron สามารถดึงดูดกับนิวเคลียสซึ่งมีจำนวนโปรตอนอยู่มากได้ดี อะตอมธาตุเหล่านี้จึงมีขนาดเล็ก

สมบัติทางเคมีของธาตุทรานซิชัน

- ธาตุทรานซิชันไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเท่าธาตุกลุ่ม s (IE และ EN ของ $d\text{-block} > s\text{-block}$)
- ธาตุทรานซิชันมีค่า E^0 เป็นลบน้อยกว่าธาตุกลุ่ม s ไอออนของธาตุทรานซิชันจึงถูกรีดิวซ์ได้ง่ายกว่า
- ธาตุทรานซิชันมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ซึ่งจะเคลือบเป็นผิวด้านนอกของโลหะเอาไว้ ทำให้ทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยากับกรดได้ดีขึ้น เช่น Cr_2O_3 จึงนิยมใช้ Cr เป็นวัสดุเคลือบผิวโลหะชนิดอื่นเพื่อป้องกันการผุกร่อน รวมทั้งการเคลือบโครเมียม (chromium plating)



กรณี Au, Ag, Pt และ Pd จะไม่เกิดออกไซด์

■ มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ยกเว้นหมู่ 3B

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
				+7				
			+6	+6	+6			
		+5	+5	+5	+5			
	+4	+4	+4	+4	+4	+4		
+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3
	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2
								+1



โลหะทรานซิชันมักแสดงสถานะออกซิเดชันค่าสูงที่สุดเมื่อเกิดเป็นสารประกอบกับธาตุที่มี EN สูง เช่น ออกซิเจน และฟลูออรีน เช่น V_2O_5 , CrO_3 และ Mn_2O_7

- สารประกอบส่วนใหญ่มีสี (ยกเว้นหมู่ 3B) ขณะที่สารประกอบของธาตุกลุ่ม s และ p ไม่มีสี

ตัวอย่างสีของสารละลายของ
โลหะในเตרכתบางตัว

ไอออนของโลหะ	สีของสารละลายในน้ำ
Cr^{3+}	น้ำเงินเข้ม
Mn^{2+}	ชมพูอ่อน
Fe^{2+}	เขียวอ่อน
Fe^{3+}	น้ำตาลเหลือง
Co^{2+}	ชมพู
Ni^{2+}	เขียว
Cu^{2+}	น้ำเงิน



- มีแนวโน้มเกิดเป็นสารเชิงซ้อน หรือ สารประกอบโคออร์ดิเนชัน (coordination compound)

ตัวอย่างสีของละลายของสารเชิงซ้อน Co^{3+}



(a) CN^- , (b) NO_2^- , (c) phen, (d) en, (e) NH_3 , (f) gly, (g) H_2O , (h) ox^{2-} , (i) CO_3^{2-} .

ธาตุหมู่ 3B

Sc Scandium
Y Yttrium
La Lanthanum
Ac Actinium

Lanthanide

Actinide

- จัดเรียง e- แบบ $ns^2 (n-1)d^1$
- มีเลขออกซิเดชัน +3 เท่านั้น $\Rightarrow (n-1)d^0 ns^0$
- สารประกอบของธาตุหมู่ 3B จึงไม่มีสี
- Sc มีสมบัติทั่วไปคล้าย Al เช่น
 - ทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ
 - Sc(OH)_3 หรือ Sc_2O_3 ไม่ละลายน้ำ
 - เป็นแอมโฟเทอริก

ธาตุหมู่ 4B

Ti Titanium
Zr Zirconium
Hf Hafnium
Rf rutherfordium

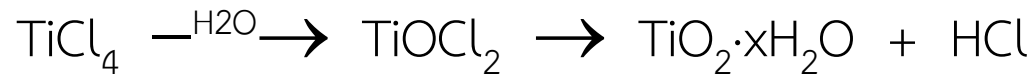
- จัดเรียง e^- แบบ $ns^2(n-1)d^2$
- ธาตุ Ti และ Zr มีเลขออกซิเดชัน +2, +3, +4 ส่วนธาตุ Hf เป็น +4

Ti

- ลักษณะขาววาวคล้ายเงิน, m.p., b.p. สูง, แข็ง, เหนียว, ดึงเป็นเส้นได้
- ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องบินไอพ่น (ความหนาแน่นต่ำที่สุด, น้ำหนักเบา)
- สภาวะปกติ Ti จะเฉื่อยต่อปฏิกิริยามาก แต่ที่อุณหภูมิสูง ($> 500^\circ\text{C}$) ก็สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะได้สารประกอบโควาเลนต์ เช่น TiO_2 , TiCl_4 และยังเกิดปฏิกิริยากับไอน้ำได้แก๊ส H_2



- TiCl_4 เป็นของเหลวไม่มีสี จุดเดือดต่ำ ระเหยง่าย และถูกไฮโดรไลส์ด้วยน้ำได้ง่าย



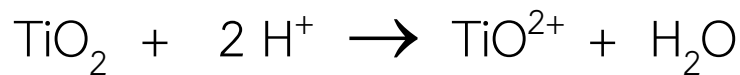
พ่น TiCl_4 ในบริเวณอากาศชื้นจะเกิดควันสีขาว ใช้ประโยชน์ในการเขียนข้อความบนท้องฟ้า (sky writing) และในกิจการทหาร เช่น การทำม่านควัน



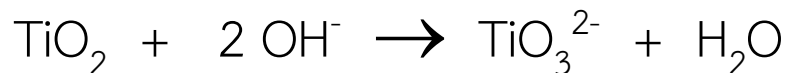
- TiO_2 ธรรมชาติพบในแร่ rutile (มีสีขาว เสถียร) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสี (pigment) เครื่องเคลือบ

TiO_2 มีสมบัติเป็น amphoteric

- ทำหน้าที่เป็นเบส, ละลายในกรดได้ TiO^{2+}

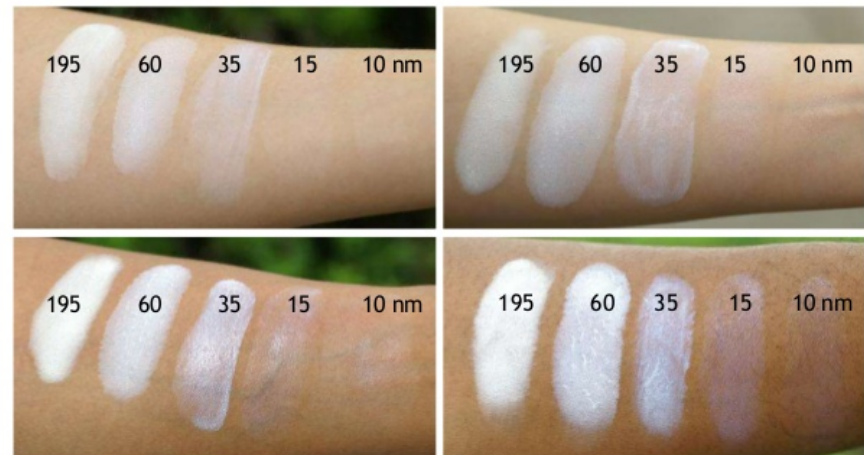


- ทำหน้าที่เป็นกรด, ละลายในเบสได้ TiO_3^{2-}



Zr และ Hf

- มีสมบัติคล้ายคลึงกันมาก ทั้งขนาดและสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (ขนาด Zr = 145 pm, Hf = 144 pm)
- สารประกอบที่สำคัญได้แก่ ZrO_2 และ HfO_2 มีสมบัติเป็นเบสและละลายในกรดได้ดีกว่า TiO_2
- ZrO_2 มี m.p สูงมาก (3100 K) ยิ่งเผาให้ร้อนมาก ๆ จะมีสมบัติทนกรด-เบส สมบัติเชิงกลที่ดี จึงนิยมทำวัสดุทนไฟและผิวภายในเตาเผา แบ้าทนไฟ เป็นต้น



10nm TiO₂ (110 nm dispersion particle size) makes transparent dispersions for all skin types.

All dispersions diluted in Cyclopentasiloxane (to 20% TiO₂)

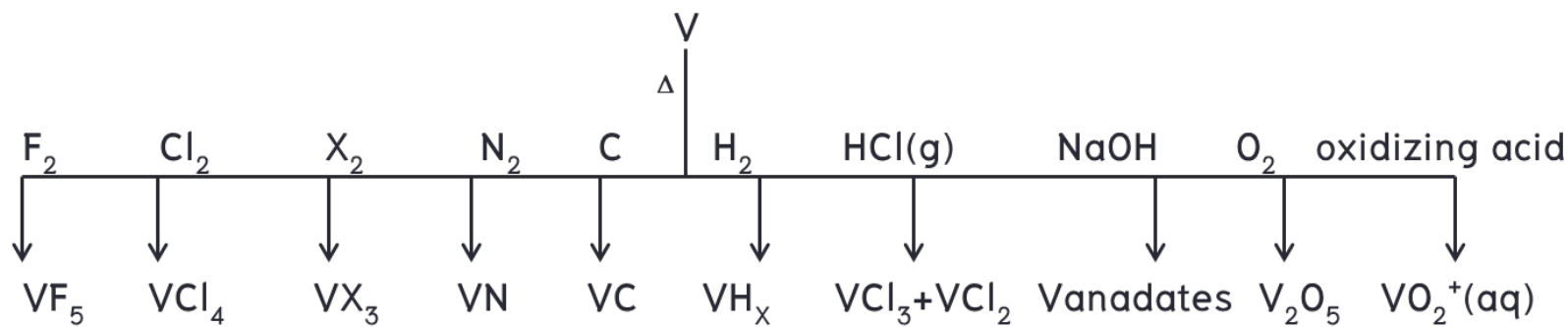
ธาตุหมู่ 5B

V Vanadium
Nb Niobium
Ta Tantalum
Db Dubnium

- จัดเรียง e^- แบบ $ns^2(n-1)d^3$
- ธาตุ V มีเลขออกซิเดชัน +2, +3, +4, +5 ธาตุ Nb, Ta มักพบเฉพาะ +3, +5

V

- ในธรรมชาติมักพบในสินแร่ปนกับโลหะอื่น เช่น vanadinite ($Pb_5(VO_4)_3Cl$) และ carnotite ($K(UO_2VO_4 \cdot 1.5H_2O)$)
- สามารถเกิดปฏิกิริยาได้สารประกอบที่มีเลขออกซิเดชันต่างๆ ดังนี้

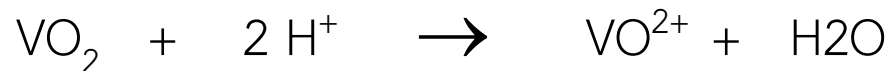


(X = Br, I)

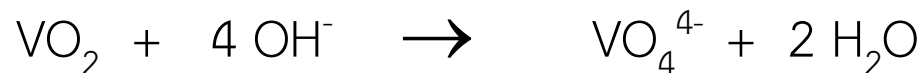
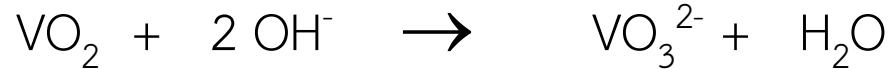
- สารประกอบของ V^{5+} เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง หรือถูกรีดิวซ์ได้ง่ายแม้ใช้ตัวรีดิวซ์ที่อ่อน
ตัวอย่างเช่น $V_2O_5 \rightarrow VO_2$ ($V^{5+} \rightarrow V^{4+}$)

- VO_2 เป็น amphoteric

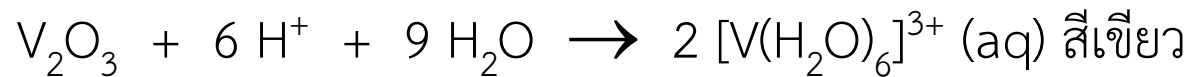
- ทำหน้าที่เป็นเบส, ละลายในกรดได้ VO^{2+}



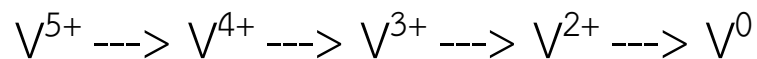
- ทำหน้าที่เป็นกรด, ละลายในเบสได้ VO_3^{2-} หรือ VO_4^{4-}



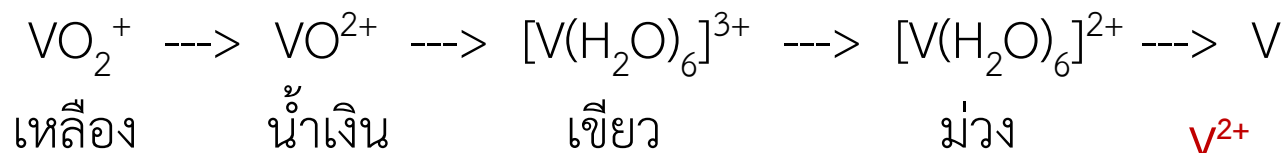
- สารประกอบของ V^{4+} เมื่อถูกรีดิวซ์ด้วยตัวรีดิวซ์ที่แรงขึ้น เช่น H_2 , CO จะได้ V^{3+}
- สารประกอบของ V^{3+} เช่น V_2O_3 มีสมบัติเป็นเบส



- สารประกอบของ V^{2+} เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงมาก ตัวอย่างเช่น VO
- ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของ



พิจารณาได้จากการเกิดปฏิกิริยากับ Zn/HCl และให้ความร้อนในภาชนะปิด



Nb และ Ta

- มีสมบัติทั่วไปคล้ายคลึงกันมาก มักเกิดด้วยกันในธรรมชาติและแยกออกจากกันได้ยาก
- Nb มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง เมื่อ T ต่ำมาก จะกลายเป็น “superconductor”
- สารประกอบที่สำคัญมีเลขออกซิเดชัน +5 เช่น Nb_2O_5 และ Ta_2O_5

Cr Chromium
Mo Molybdenum
W Tungsten
Sg Seaborgium

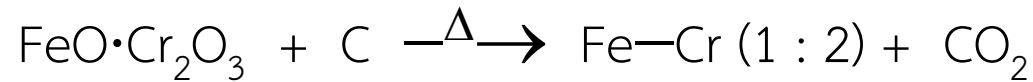
- จัดเรียง e^- แบบ $ns^1 (n-1)d^5$
- มี m.p และ b.p สูงมาก

Cr

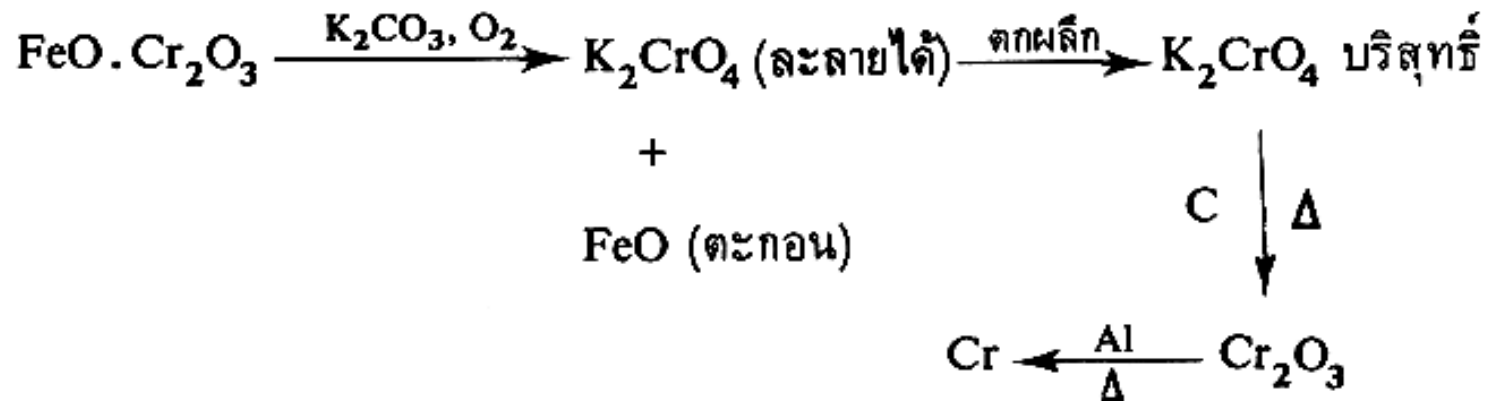
- นิยมใช้เคลือบผิวโลหะเพื่อป้องกันการผุกร่อนและความสวยงาม เนื่องจากผิวของสิ่งที่เคลือบแล้วจะมีเป็นมันวาวและค่อนข้างเฉื่อยต่อปฏิกิริยา
- Cr สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วย O_2 ในอากาศเกิดเป็น Cr_2O_3 ซึ่งทนต่อการกัดและต่าง จึงทำหน้าที่ป้องกันเนื้อโลหะที่มันเคลือบอยู่ได้ดี (protective oxide film)
- Cr^{6+} เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากในสารละลายกรด อยู่ในรูปของ $Cr_2O_7^{2-}$ Cr^{6+} เกิดสารประกอบกับธาตุที่มี EN สูงๆ เช่น O, F, Cl ได้ CrO_3 , CrF_6 , $Cr_2O_7^{2-}$ และ CrO_4^{2-}

การผลิตโครเมียม

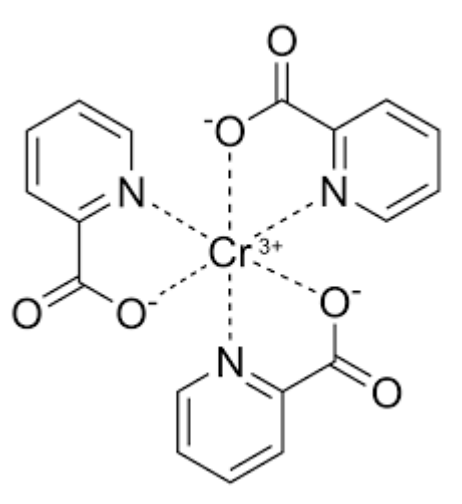
- ในธรรมชาติ Cr มักอยู่ในรูปของออกไซด์ผสม แร่ที่สำคัญคือ Chromite ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$)
- รีดิวซ์ด้วย C ในเตาไฟฟ้า จะได้โลหะเจือเหล็ก-โครเมียม (ferrochrome)



- โลหะเจือนี้ใช้ผสมในเหล็กกล้าทำให้เหล็กทนทานและแข็งแรงขึ้น
- การทำโลหะบริสุทธิ์



- Cr³⁺ เป็นไอออนที่เสถียรที่สุดในกลุ่มของโครเมียม Cr³⁺ สามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่เสถียรกับ ligand หลายชนิดและให้สีแตกต่างกัน โดยส่วนมากมักมีโครงสร้างเป็น Octahedral



แอล-คาร์นิทีน แอปเปิ้ล พาว์
 (Inulin • Vitamin C • Coenzyme Q10 • Chromium picolinate • L-Carnitine and Apple powder)
 (ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร)
 ตรา เออร์เน

ใน 1 ซอง (15,000 มก.) ประกอบด้วย	
• Apple powder พวแอปเปิ้ล	8,150.00 mg
• Inulin อินูลิน	6,100.00 mg
• L-Carnitine L-Tartrate (as L-Carnitine 68.2%) แอล-คาร์นิทีน เอล คาร์นิทรา (ให้แอล-คาร์นิทีน 68.2%)*	500.00 mg
• Vitamin C วิตามิน ซี	60.00 mg
• Coenzyme Q 10 โคเอนไซม์ คิวเทน	30.00 mg
• Chromium picolinate (as Cr 12.43%) โครเมียม พิคลิเนต (ให้โครเมียม 12.43%)	1.00 mg

* Imported from France / นำเข้าจากฝรั่งเศส

ควรกินอาหารหลากหลายครบ 5 หมู่ ในสัดส่วนที่เหมาะสมเป็นประจำ ไม่มีผลในการป้องกันและรักษาโรค

คำเตือน เด็ก สตรีมีครรภ์และสตรีให้นมบุตร ไม่ควรรับประทาน

น้ำหนักสุทธิ 150 กรัม / Net Weight 150 g



Chromium picolinate

- โครเมียม เป็นธาตุที่สำคัญในขบวนการเผาผลาญน้ำตาลกลูโคส คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เพื่อให้ได้พลังงานไปหล่อเลี้ยงส่วนต่างๆ ในร่างกาย
- โครเมียม เป็น cofactor กับอินซูลิน (insulin) ซึ่งช่วยควบคุมระดับกลูโคสในร่างกาย การขาดโครเมียมจึงอาจทำให้เกิด insulin resistance และการ metabolism ของสารจำพวก คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันผิดปกติไปได้

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 $[\text{Mo}_7\text{O}_{24}]^{6-}$



ธาตุหมู่ 7B

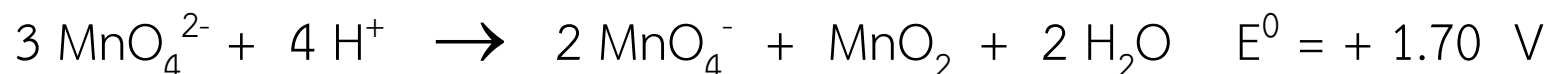
Mn Manganese
Tc Technetium
Re Rhenium
Bh Bohrium

- จัดเรียง e^- แบบ $ns^2(n-1)d^5$
- 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 ซึ่งได้จากการเผาโลหะในอากาศ และอาจเกิดเป็น cluster เช่น Re_3Cl_9

- มีสมบัติคล้ายเหล็กแต่ทนความร้อนได้ไม่ดีเท่าเหล็ก (m.p ต่ำกว่า)
- มักพบในรูปสารประกอบออกไซด์ เช่น MnO_2 , Mn_3O_4 และไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต
- เกิดสารประกอบโดยมีเลขออกซิเดชันตั้งแต่ +2 ถึง +7 แต่ที่สำคัญ คือ +2, +4, +7
- โดยทั่วไป Mn^{2+} เสถียรที่สุด เช่น ไอออน MnO_4^- เมื่อถูกรีดิวซ์ในสารละลายกรดจะได้ Mn^{2+}
$$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} \quad E^0 = 1.51 \text{ V}$$
- KMnO_4 เสถียรและเก็บไว้ได้นานหากอยู่ในที่มืด เนื่องจากแสงจะเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวให้เร็วขึ้น
$$4 \text{MnO}_4^- + 4 \text{H}^+ \rightarrow 3 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{MnO}_2$$
- การที่สารประกอบของ Mn^{2+} เสถียรมาก เนื่องจากการจัดเรียง e^- เป็น $[\text{Ar}] 3\text{d}^5$ ซึ่งเป็น half-filled
- Mn^{3+} ปกติจะไม่เสถียร มักเกิด disproportionation (self redox) ได้ Mn^{2+} และ MnO_2
$$\text{Mn}^{3+} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{MnO}_2 + 4 \text{H}^+ \quad E^0 = + 0.56 \text{ V}$$
- Mn^{3+} ที่เสถียรบ้าง มักอยู่ในรูปของสารเชิงซ้อนหรือสารประกอบออกไซด์

Mn

- 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

ธาตุหมู่ 8B

Fe Iron	Co Cobalt	Ni nickel
Ru Ruthenium	Rh Rhodium	Pd Palladium
Os Osmium	Ir Iridium	Pt Platinum
Hs Hassium	Mt Meitnerium	Ds Darmstadtium

- ธาตุที่เรียงกันตามแนวนอนมีสมบัติใกล้เคียงกันมากกว่าธาตุที่เรียงกันตามแนวตั้ง
- แบ่งกลุ่มธาตุออกเป็นกลุ่มย่อย 2 กลุ่ม คือ ธาตุตระกูลเหล็ก และธาตุตระกูลแพลตินัม
- ธาตุตระกูลเหล็ก (Iron family) ประกอบด้วย ธาตุ Fe, Co และ Ni
- ธาตุตระกูลแพลตินัม (Platinum family) ประกอบด้วย ธาตุ Ru, Rh, Pd, Os, Ir และ Pt

- เหล็กจัดเป็นโลหะที่พบมากที่สุดในเปลือกโลก รองจากอะลูมิเนียม
- เหล็กเป็นองค์ประกอบในแร่หลายชนิด เช่น ไอร์ออนไพไรต์ (ironpyrite, FeS_2) ซิเดอไรต์ (siderite, FeCO_3) ฮีมาไทต์ (hematite, Fe_2O_3) และแมกเนไทต์ (magnetite, Fe_3O_4 หรือ $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) โดยฮีมาไทต์และแมกเนไทต์จะเหมาะนำมาถลุงเพื่อผลิตเหล็กมากที่สุด
- เหล็กเมื่อทิ้งไว้ในอากาศที่มีความชื้น มักจะกลายเป็นสนิมเหล็ก $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ เกิดที่ผิว โดยสามารถป้องกันโดยทาสีกันสนิม เคลือบด้วยโลหะที่เหมาะสม เช่น ดีบุก สังกะสี โครเมียม หรือผสมโลหะบางชนิดลงไป
- เหล็กเป็นโลหะที่ว่องไวปานกลาง สามารถทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางให้แก๊สไฮโดรเจน
$$\text{Fe}_{(s)} + 2\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_{2(g)}$$
- กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) จะออกซิไดซ์ Fe^{2+} ให้เป็น Fe^{3+} ได้
- กรดไนตริกจะไม่สามารถออกซิไดซ์ Fe^{2+} ให้เป็น Fe^{3+} ได้ แต่จะทำให้เกิดชั้นสีน้ำตาลแดงของ Fe_3O_4 หรือ สนิมเหล็ก

ตัวอย่างสารประกอบของเหล็ก



FeO (สีดำ)



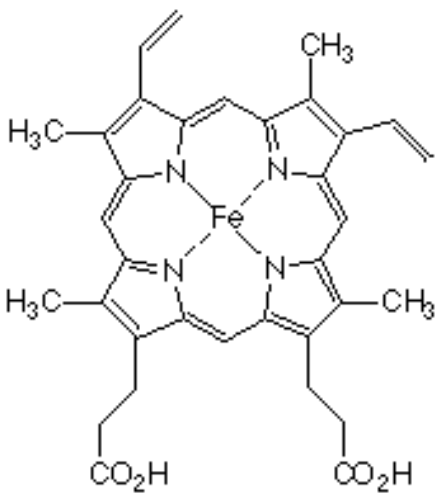
FeSO₄.7H₂O (สีเขียว)



FeS (สีดำ)



FeCl₃.nH₂O (สีเหลือง)

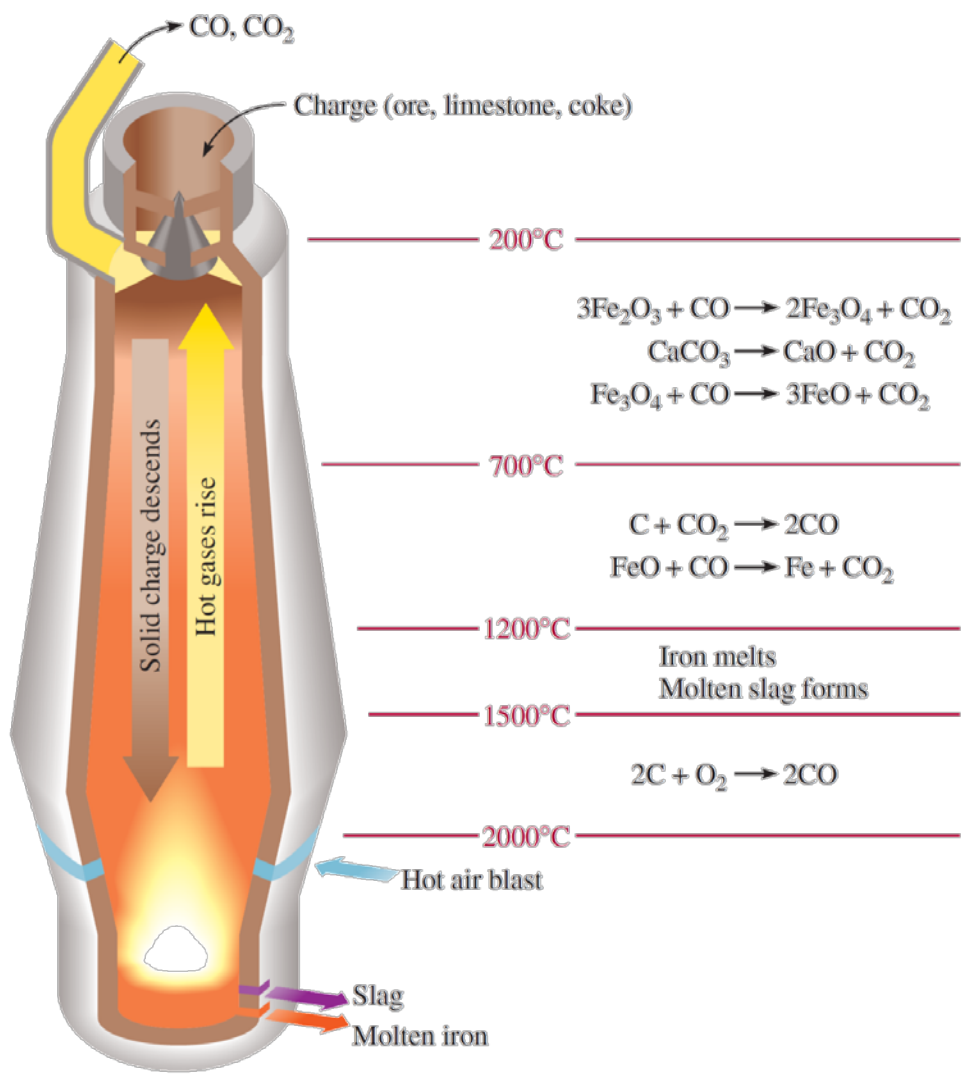


Heme

Heme จะรวมตัวกับ
โปรตีน คือ globin
เกิดเป็น hemoglobin
ทำหน้าที่รับส่ง O₂ ได้

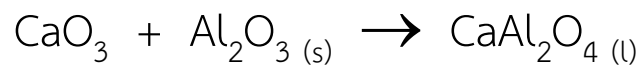
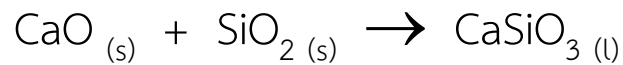
การถลุงเหล็ก

- รีดักชันโดยสารเคมีของแร่ โดยใช้คาร์บอน (ถ่านโค้ก) หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นตัวรีดิวซ์สินแร่เหล็กในเตาถลุงแบบพ่นลม (blast furnace)

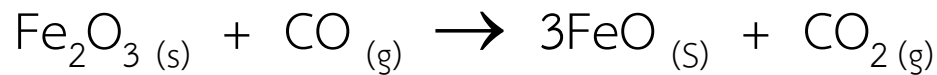


- ใส่สินแร่เหล็กเข้มข้น หินปูน (CaCO₃) และ ถ่านโค้กทางด้านบน
- พ่นลมร้อนเป่าสว่นจากด้านล่างของเตาขึ้น ด้านบน
- O₂ ในลมร้อนจะทำปฏิกิริยากับ C เกิดเป็น CO (ส่วนใหญ่) และ CO₂ (ส่วนน้อย)
- CO และ CO₂ ลอยตัวขึ้นด้านบนจะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของเหล็กที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ

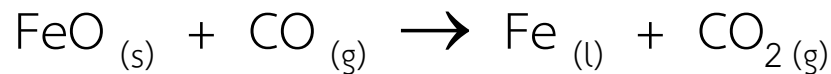
- ในสินแร่เหล็กมักมีสารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 ปนอยู่ด้วย ดังนั้นจึงมีการเติมหินปูน (CaCO_3) เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับ SiO_2 และ Al_2O_3 ได้เป็น “กากถลุง (slag)” ลอยอยู่เหนือเหล็กหลอมเหลว ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กสัมผัสกับออกซิเจน และ slag ยังสามารถนำไปผลิตเป็นซีเมนต์ได้



- Fe_2O_3 ที่เกิดขึ้น จะเคลื่อนสู่ส่วนล่างของเตาถลุงซึ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้น (500°C) และถูกรีดิวซ์ต่อ



- FeO จะถูกรีดิวซ์เป็นโลหะเหล็กบริเวณก้นเตา ซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง $1300-1900^\circ\text{C}$ เหล็กที่ได้จะหลอมเหลว



- CO_2 ที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยากับถ่านโค้กให้ CO ซึ่งจะใช้ประโยชน์ต่อไปได้



- ปฏิกิริยารวม
$$\text{Fe}_2\text{O}_3 (s) + 3\text{CO} (g) \rightarrow 2\text{Fe} (l) + 3\text{CO}_2 (g)$$
 เหล็กที่ได้ เรียกว่า “เหล็กถลุง (pig iron)” หรือ “เหล็กหล่อ (cast iron)” ซึ่งอาจมี C (5%), Si, P, Mn, S ปนอยู่ ซึ่งจะมีความเปราะ จุดหลอมเหลวค่อนข้างต่ำ (1180°C)

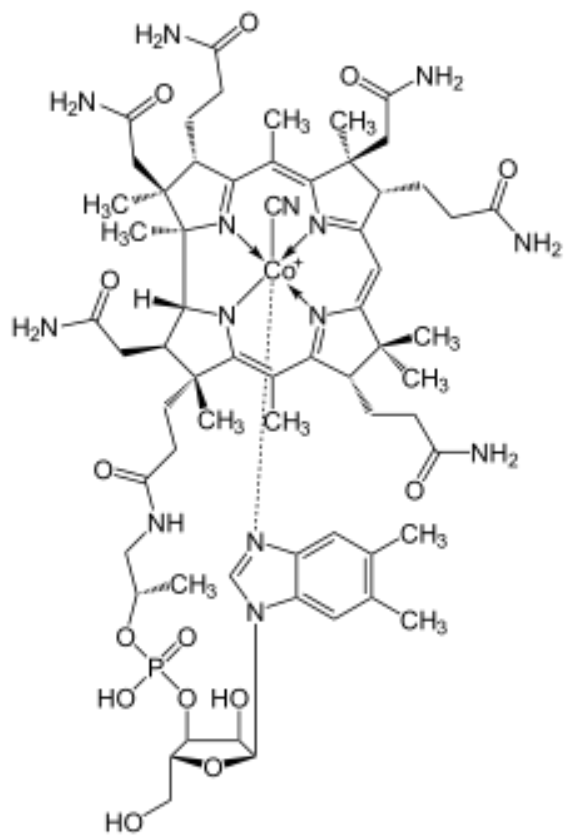
เหล็กกล้าชนิดต่างๆ

Type	Composition (Percent by Mass)*								Uses
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Others	
Plain	1.35	1.65	0.04	0.05	0.06	—	—	Cu (0.2–0.6)	Sheet products, tools
High-strength	0.25	1.65	0.04	0.05	0.15–0.9	0.4–1.0	0.3–1.3	Cu (0.01–0.08)	Construction, steam turbines
Stainless	0.03–1.2	1.0–10	0.04–0.06	0.03	1–3	1–22	4.0–27	—	Kitchen utensils, razor blades

*A single number indicates the maximum amount of the substance present.

Co

- เป็นโลหะที่มีความแข็งมากกว่าเหล็กและค่อนข้างเฉื่อยต่อปฏิกิริยา
- ตัวอย่างสารประกอบโคบอลต์ เช่น Co_3O_4 , CoF_2 , CoX_2 ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$)
- Co^{2+} มักเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีเลขออกซิเดชัน +3 ซึ่งเสถียรขึ้น
- เมื่อนำ Co เจือกับโลหะอื่น เกิดความแข็งแรง ทนทานต่อการผุกร่อน
- วิตามิน B-12 ก็เป็นสารประกอบของโคบอลต์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน



- Ni เป็นธาตุหนึ่งที่มีสมบัติแม่เหล็ก
- ในธรรมชาติมักพบในรูปของ NiS เป็นสินแร่ และอาจเกิดร่วมกับสารหนูและพลวง
- การถลุงแร่เพื่อให้ได้โลหะ Ni จะเผาแร่ซัลไฟด์ในอากาศ และรีดิวซ์ด้วยคาร์บอน



- สารประกอบและสารเชิงซ้อนส่วนใหญ่มักอยู่ในรูป Ni^{2+} เช่น NiS, NiO, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
- Ni เป็นตัวรีดิวซ์ที่ไม่ดี (เสีย e^- ยาก) จึงทนต่อการกัดกร่อนได้ดี
- Ni นิยมใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะเจือ ได้แก่ เหล็ก ทองแดง โครเมียม เช่น Nichrome ประกอบด้วย $\text{Ni} \sim 80\% + \text{Cr} \sim 20\% \rightarrow$ มีสมบัติทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงๆ ได้ดี จึงใช้ทำขดลวดความร้อนไฟฟ้า

<u>ธาตุตระกูลแพลตินัม</u>	Ru	Rh	Pd
	Os	Ir	Pt

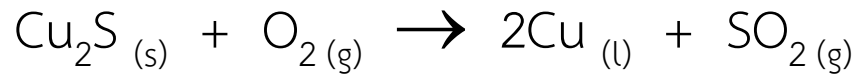
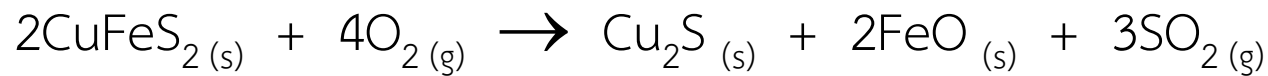
- ธาตุกลุ่มนี้มีสมบัติคล้ายกัน มีจุดเดือด จุดหลอมเหลวสูงมาก แสดงถึงพันธะโลหะที่แข็งแรง และไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา
- พบธาตุเหล่านี้ในรูปของธาตุอิสระในธรรมชาติบ้าง หรือในรูปของโลหะเจือหรือเกิดร่วมกับธาตุหมู่ 1B คือ Cu, Ag, Au
- ธาตุกลุ่มนี้มีปริมาณน้อยมากในธรรมชาติ จึงมีราคาแพง
- Pd มีประโยชน์ในการเร่งปฏิกิริยาที่พื้นผิว ส่วน Pt นิยมใช้ทำเป็นขั้วไฟฟ้า แบตเตอรี่ และ ภาชนะที่ทนความร้อนและการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากเฉื่อยต่อปฏิกิริยา

ธาตุหมู่ 1B

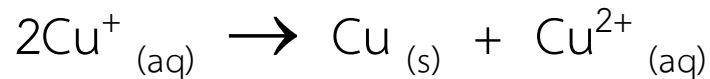
Cu Copper
Ag Silver
Au Gold
Rg Roentgenium

- จัดเรียง e^- แบบ $ns^1 (n-1)d^{10}$ “Full-filled configuration”
- มีความหนาแน่น มีจุดเดือด จุดหลอมเหลวสูงกว่าโลหะหมู่ 1A มาก
- เป็นตัวนำที่ดีกว่าโลหะหมู่ 1A มาก
- มีค่า I.E. สูง และ E^0 เป็นบวกมาก จึงไม่ค่อยว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา (เกิดเป็นไอออนบวกได้ยาก) และสารประกอบยังถูกรีดิวซ์เป็นโลหะบริสุทธิ์ได้ง่าย
- ผิวเป็นมันวาว จึงนิยมใช้ทำเป็นเครื่องประดับและเหรียญต่างๆ $\Rightarrow$ โลหะเงินตรา (Coinage metal)

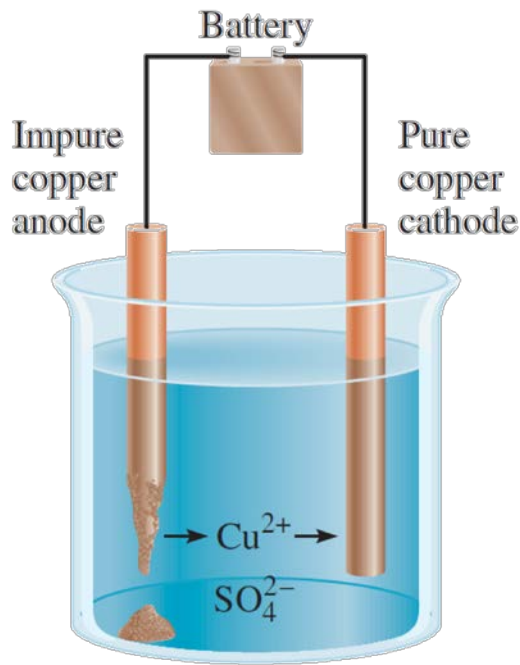
- ทองแดง จัดเป็นธาตุหายาก (มีเพียง 0.0068% โดยมวลของเปลือกโลก)
- ในธรรมชาติพบทั้งทองแดงบริสุทธิ์และสินแร่ เช่น คาลโคไพไรต์ (chalcopyrite, CuFeS_2) และ ชาโคไซต์ (chalcocite, Cu_2S) เมื่อให้ความร้อนและรีดิวซ์จะได้ทองแดง



- ทองแดงจัดเป็นโลหะที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเป็นอันดับสอง รองจากเงิน
- ทองแดงเป็นตัวนำความร้อนที่ดีมาก
- ทองแดงทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริกเข้มข้นที่ร้อนเท่านั้น
- ทองแดงสามารถเกิดปฏิกิริยา “Disproportionation” ในสารละลายได้



- ทองแดงไม่บริสุทธิ์สามารถนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้า หรือ กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (electrolysis) โดยทองแดงที่ไม่บริสุทธิ์ทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด และโลหะทองแดงบริสุทธิ์ทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด ในสารละลาย H_2SO_4 ที่มี Cu^{2+} ละลายอยู่



Anode (oxidation):



Cathode (reduction):



ที่ขั้วแอโนด สารมลทิน เช่น สังกะสี เหล็ก จะถูกออกซิไดซ์ ละลายออกไปในรูปของสารละลายในรูป Fe^{2+} และ Zn^{2+} ส่วนโลหะเจือปนอื่นๆ เช่น ทองและเงิน ซึ่งพร้อมให้อิเล็กตรอนน้อยกว่าจะไม่ถูกออกซิไดซ์ ซึ่งโลหะเหล่านี้จะตกไปยังก้นเซลล์ในรูปของแข็ง

ตัวอย่างสารประกอบของเหล็ก



Cu_2O (สีแดง)



CuO (สีดำ)



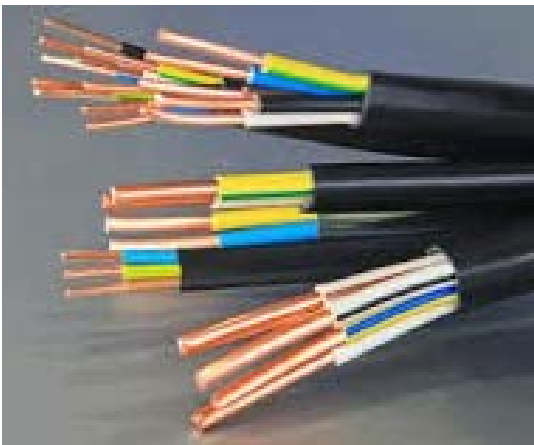
CuS (สีดำ)



$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (สีฟ้า)

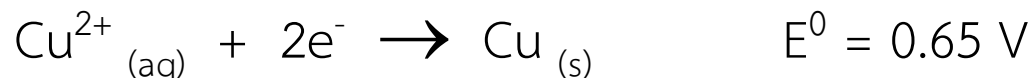
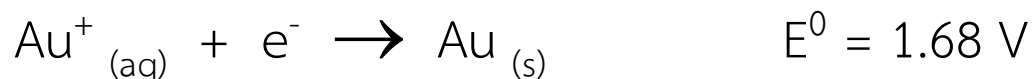
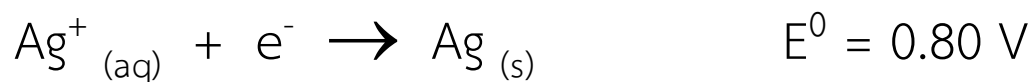
การนำทองแดงไปใช้ประโยชน์

- สายไฟฟ้า วงจรไฟฟ้า และเครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ
- ผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น nickel silver $\text{Cu}+\text{Ni}+\text{Zn}$ ทองเหลือง ($\text{Cu}+\text{Zn}$)
- โลหะผสม (อัลลอย) และใช้เคลือบผิวของโลหะ



Ag และ Au

- มีปริมาณน้อยในโลก
- เป็นโลหะที่อ่อน ดึงให้เป็นเส้นได้ง่าย นำไฟฟ้านำความร้อนได้ดีมาก โดยเงินนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีที่สุด ส่วนทองคำสามารถทำเป็นแผ่นได้บางที่สุด
- สามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย



- Ag มีเลขออกซิเดชันที่เสถียร คือ Ag(I)
- สารประกอบของ Ag (I) ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้น้อย ยกเว้น AgNO_3 และ AgClO_4
- สารประกอบของ Au มีไม่มากนัก และมักมีเลขออกซิเดชัน +3 ที่เสถียร
- Au^+ เกิดปฏิกิริยา “Disproportionation” ในสารละลายได้



ธาตุหมู่ 2B

Zn Zinc
Cd Cadmium
Hg Mercury
Cn Copernicium

- จัดเรียง e^- แบบ $ns^2(n-1)d^{10}$
- ไม่จัดเป็นธาตุทรานสิชัน เนื่องจากมีสมบัติคล้ายกับธาตุเรพรีเซนเททีฟ มากกว่า
- ดึงให้เป็นเส้นได้ยาก มี m.p. และ b.p. ต่ำ จึงกลายเป็นไอได้ง่าย
- Hg เป็นธาตุที่หนักที่สุดในกลุ่มนี้ และเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง
- Zn และ Cd เกิดเป็นไอออนบวกได้ดีกว่าปรอท ละลายในกรดได้
เช่น $\text{Zn}_{(s)} + 2\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_{2(g)}$
- ธาตุทั้งสามมีเลขออกซิเดชันสูงสุด คือ +2 (แต่ปรอทมีเลขออกซิเดชัน +1 ได้ด้วย คือ Hg^{2+})

- สังกะสีในธรรมชาติในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ (S^{2-}) โดยเกิดร่วมกับเหล็กและตะกั่ว เช่น สฟาเลอไรต์ (sphalerite, $(ZnFe)S$) อยู่ร่วมกับกาลีนา (galena, PbS)
- แคดเมียมเกิดรวมอยู่กับสังกะสี ซึ่งจะแยกออกจากสังกะสีได้โดยการกลั่นหรือใช้สมบัติทางเคมี เช่น รีดิวิซ์ $CdSO_4$ ด้วย Zn
- Zn และ Cd มีลักษณะขาว วาวคล้ายเงิน แต่เมื่อถูกอากาศจะเกิดเป็น ZnO และ CdO ที่ผิว ทำให้สีขุ่นมัวลงและป้องกันไม่ให้โลหะชั้นในถูกออกซิไดซ์ต่อ จึงนิยมนำสังกะสีมาใช้เคลือบผิวเหล็กเพื่อป้องกันการเกิดสนิม และ Cd ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่า Zn ดังนั้นโลหะที่ต้องใช้งานในทะเลหรือน้ำเค็ม นิยมเคลือบด้วย Cd
- HgO มีสีแดง นิยมใช้ฉาบกระจกเพื่อเป็นกระจกเงา และเป็นสารสีในการผลิตสีแดง
- พรอทใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์ อิเล็กโทรด และผสมโลหะอื่นเพื่อเป็นโลหะเจือ เรียกว่า amalgam ตัวอย่างเช่น silver amalgam ใช้เป็นวัสดุสำหรับอุดฟัน



silver amalgam



resin composite