เอกสารประกอบการบรรยาย
เคมีทั่วไป (10303100)

ตารางธาตุ และแนวโน้มของสมบัติธาตุ

- ตารางธาตุในปัจจุบัน
- การจำแนกกลุ่มธาตุ
- แนวโน้มสมบัติของธาตุในตารางธาตุ

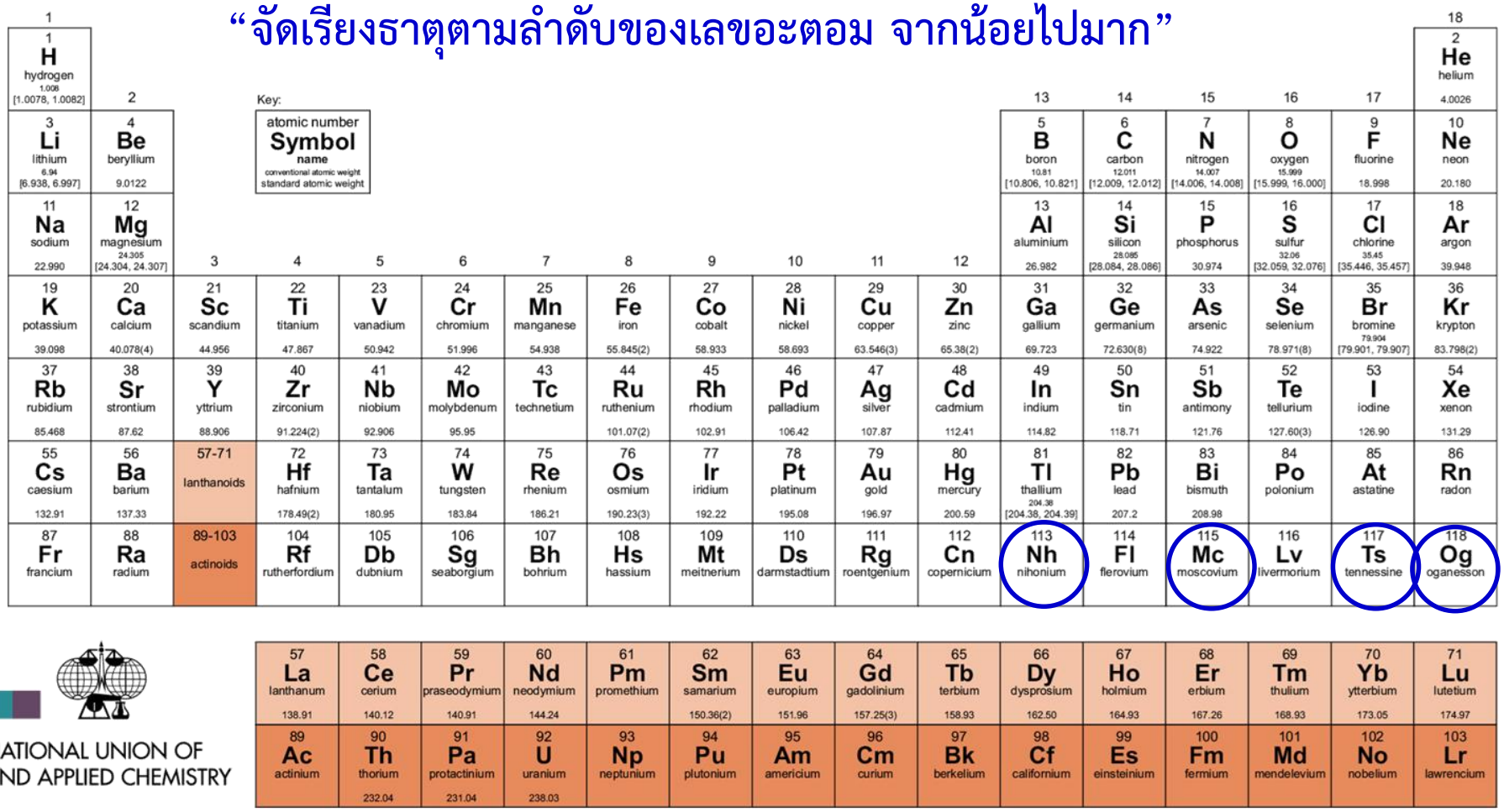
อาจารย์ ดร. วีรินท์รดา ทะปะละ

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีการศึกษา 2/2565

ตารางธาตุ

“จัดเรียงธาตุตามลำดับของเลขอะตอม จากน้อยไปมาก”



INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

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.

113 = Nihonium (Nh)

115 = Moscovium (Mc)

117 = Tennessine (Ts)

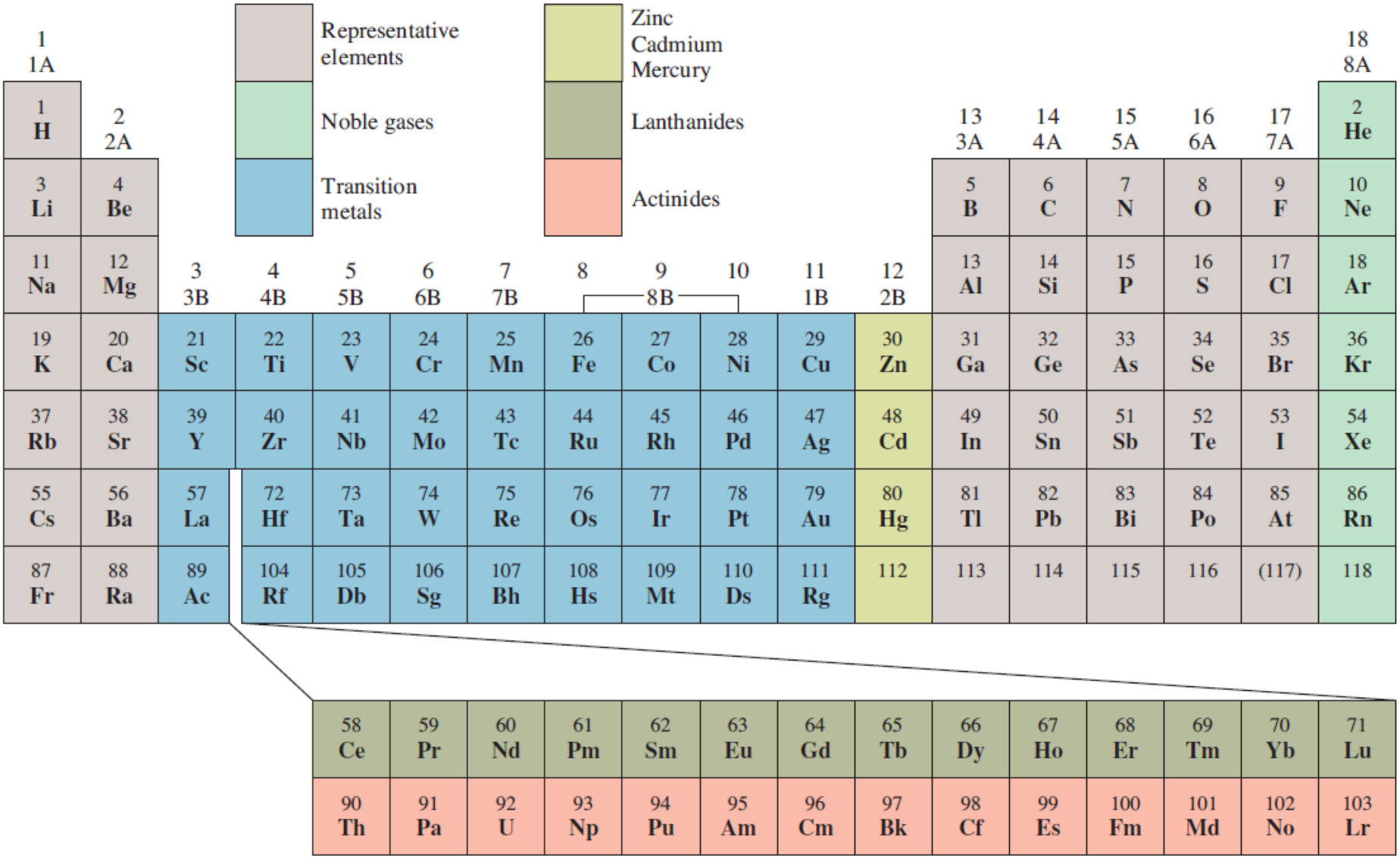
118 = Organesson (Og

- แถวในแนวนอน เรียกว่า “คาบ (period)” ซึ่งมีทั้งหมด 7 คาบ
- แถวในแนวตั้ง เรียกว่า “หมู่ (group)” ซึ่งมีทั้งหมด 18 หมู่

ลักษณะสำคัญของธาตุในตารางธาตุ

- ธาตุที่อยู่ในหมู่เดียวกันมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน จึงทำให้มีสมบัติเคมีคล้ายคลึงกัน
- ธาตุในหมู่ย่อย A (IA - VIIIA) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับเลขที่ของหมู่ เช่น ธาตุในหมู่ IA และ IIA จะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1 และ 2 ตามลำดับ
- ธาตุในคาบเดียวกันมีจำนวนระดับพลังงานเท่ากัน และเท่ากับเลขที่ของคาบ
- ชื่อเรียกชื่อเฉพาะหมู่
  - หมู่ 1A $\Rightarrow$ โลหะอัลคาไลน์ (Alkali metal) : Li Na K Rb Cs Fr
  - หมู่ 2A $\Rightarrow$ โลหะอัลคาไลน์เอิร์ท (Alkali earth metal): Be Mg Ca Sr Ba Ra
  - หมู่ 7A $\Rightarrow$ ฮาโลเจน (Halogen) : F Cl Br I At
  - หมู่ 8A $\Rightarrow$ แก๊สเฉื่อย (Inert/Noble gas) : He Ne Ar Kr Xe Rn

การจำแนกกลุ่มธาตุ



- **ธาตุเรพรีเซนเตติฟ หรือ ธาตุหมู่หลัก (Main group or Representative)**

  ธาตุหมู่ 1A–7A ซึ่งชั้นย่อย *s* และ *p* ของเลขควอนตัมหลักสูงสุดมีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็ม

- **แก๊สเฉื่อย (Inert gas or Noble gas)**

  ธาตุหมู่ 8A ซึ่งชั้นย่อย *p* มีอิเล็กตรอนบรรจุเต็ม ยกเว้น He ที่มีการจัดเรียงเป็น $1s^2$

- **ธาตุทรานซิชัน (Transition)**

  ธาตุหมู่ 1B และ 3B–8B ซึ่งชั้นย่อย *d* มีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็ม

- **ธาตุที่ไม่ใช่ทั้งเรพรีเซนเตติฟและธาตุทรานซิชัน**

  ธาตุหมู่ 2B คือ Zn, Cd และ Hg

- **ธาตุทรานซิชันชั้นใน (Inner transition)**

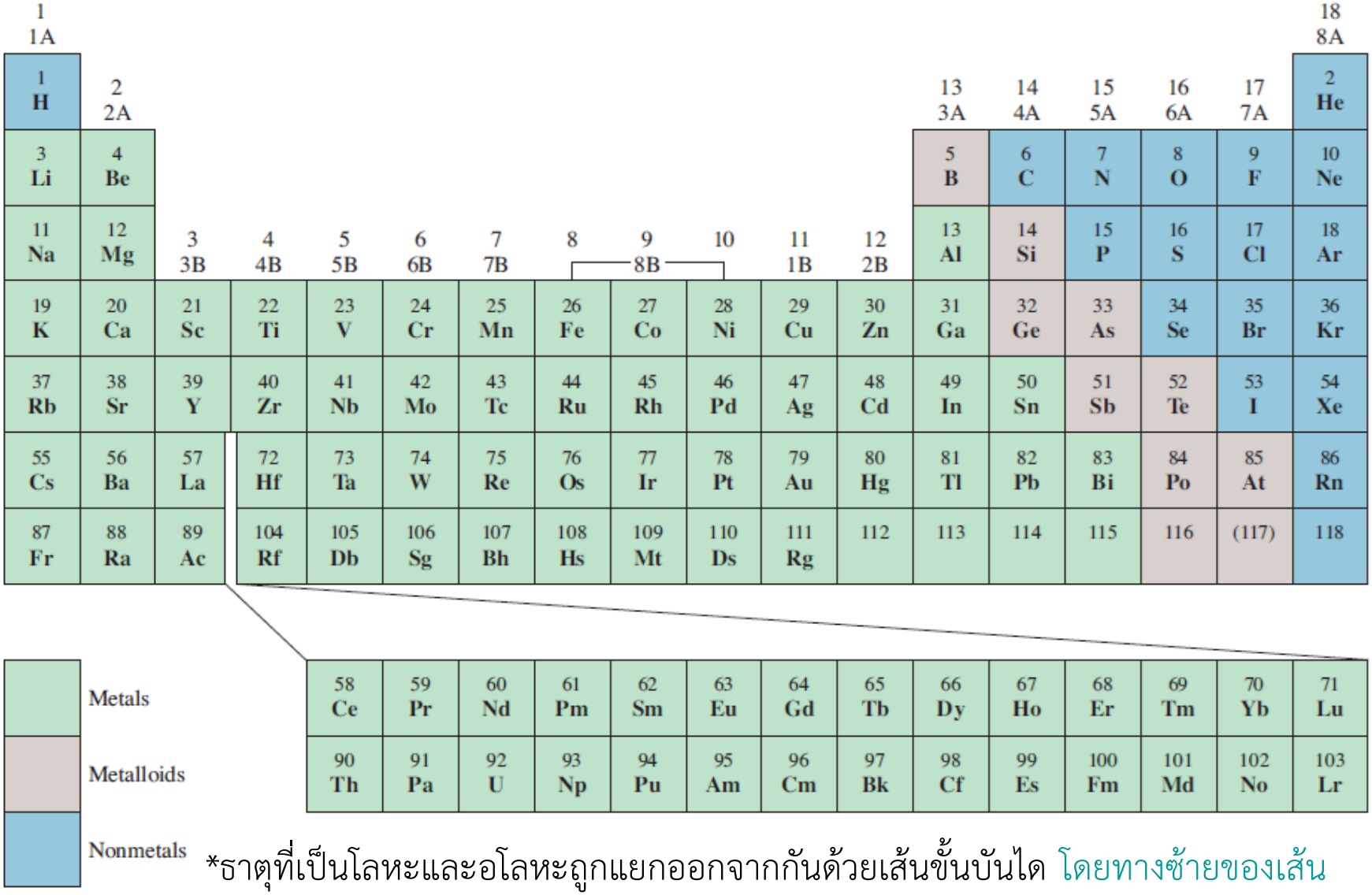
  ชั้นย่อย *f* มีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็ม

  - แลนทาไนด์ (Lanthanide) หรือ ธาตุแร่หายาก (rare earth)

    ธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 58 ถึง 71
  - แอกทิไนด์ (Actinide) หรือ ธาตุแร่หายากหนัก (heavy rare earth)

    ธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 90 ถึง 103

การจำแนกกลุ่มธาตุ: โลหะ กึ่งโลหะ และอโลหะ

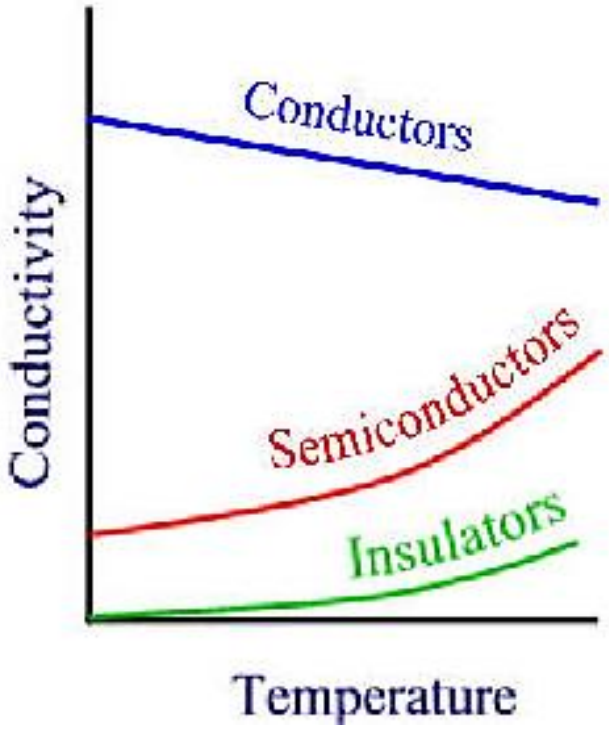


*ธาตุที่เป็นโลหะและอโลหะถูกแยกออกจากกันด้วยเส้นขั้นบันได โดยทางซ้ายของเส้นบันไดเป็นโลหะ ทางขวาของเส้นขั้นบันไดเป็นอโลหะ ส่วนธาตุที่อยู่ชิดเส้นบันไดจะมีสมบัติก้ำกึ่งระหว่างโลหะกับอโลหะ เรียกธาตุพวกนี้ว่า ธาตุกึ่งโลหะ (Metalloid)

สมบัติของโลหะ	สมบัติของอโลหะ
1. เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ยกเว้น ปรอท เป็นของเหลว	1. มีได้ทั้ง 3 สถานะ คือ ของแข็ง เช่น กำมะถัน; ของเหลว เช่น โบรมีน; แก๊ส เช่น ออกซิเจน คลอรีน ไนโตรเจน
2. มันวาว	2. ไม่เป็นมันวาว
3. นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีที่อุณหภูมิปกติ แต่ที่อุณหภูมิสูงจะนำไฟฟ้าได้น้อยลง	3. ไม่นำไฟฟ้าและไม่นำความร้อน เว้น แกรไฟต์
4. เคาะจะมีเสียงดังกังวาน	4. เคาะจะไม่มีเสียงกังวาน
5. แข็งและเหนียว สามารถทำให้เป็นแผ่นและเป็นเส้นได้	5. ส่วนมากเปราะ ไม่สามารถตีเป็นแผ่นหรือเส้นได้
6. มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง	6. ส่วนมากมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดต่ำ ยกเว้น คาร์บอน ซิลิกอน และกำมะถัน
7. มีความหนาแน่นสูง	7. มีความหนาแน่นต่ำ

การนำไฟฟ้าและความร้อนของโลหะ อโลหะ และกึ่งโลหะ

- โลหะ เป็นตัวนำที่ดี แต่การนำไฟฟ้าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
- อโลหะ เป็นฉนวน มีความต้านทานสูงมาก
- กึ่งโลหะ นำไฟฟ้าได้ แต่จะนำได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

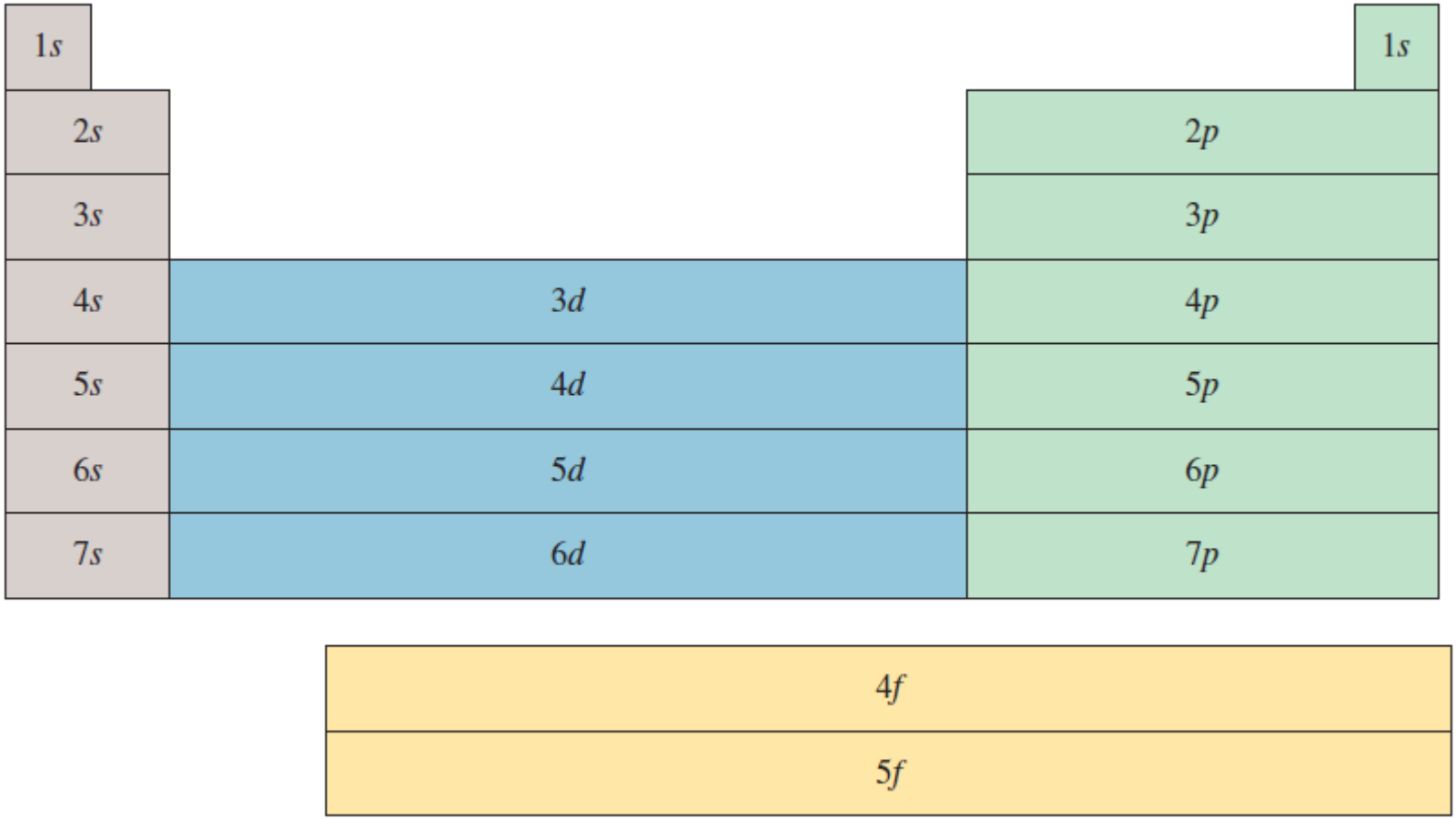


การจำแนกกลุ่มธาตุ: ชั้นย่อยที่ใช้บรรจุอิเล็กตรอนวงนอก

$_{11}Na$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ $\Rightarrow$ $[Ne]3s^1$

$_{17}Cl$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$ $\Rightarrow$ $[Ne]3s^23p^5$

$_{24}Cr$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^5$ $\Rightarrow$ $[Ar]4s^13d^5$



แนวโน้มสมบัติของธาตุในตารางธาตุ

- ธาตุเรพรีเซนเตติฟ
- ธาตุทรานซิชัน (Transition)
- ขนาดของอะตอมและไอออน
- ความเป็นกรด-เบสของสารประกอบ

ธาตุเรพรีเซนเตติฟ

ธาตุเรพรีเซนเททีฟ (Representative element) หรือ ธาตุหมู่หลัก (Main group element) คือ ธาตุที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนบรรจุใน *s*- และ *p*-orbital โดยที่ใน *d*- และ *f*-orbital อาจจะไม่มีอิเล็กตรอนอยู่เลย หรือมีบรรจุอยู่เต็มหมดแล้ว

IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po*	At*	Rn
Fr*	Ra*						

“ความเป็นโลหะของธาตุลดลงจากซ้ายไปขวา (คาบเดียวกัน) และ เพิ่มขึ้นจากบนลงล่าง (หมู่เดียวกัน)”

- **สารประกอบไม่มีสี**

Sodium chloride: NaCl

Barium sulfate: $BaSO_4$

Potassium chlorate: $KClO_3$

- **การทดสอบเปลวไฟ (Flame test)**

Li	Crimson red
Na	Yellow
K	Pale violet
Rb	Violet
Cs	Blulish

Na^+

Ba^{2+}

K^+

ธาตุทรานซิชัน

ธาตุทรานซิชัน (transition element) คือ ธาตุหรือไอออนที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนวงนอกสุดใน *d*-orbital โดยที่อิเล็กตรอนจำนวนนั้นต้องไม่เต็มใน ใน *d*-orbital

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

การจัดเรียงอิเล็กตรอน (Electron configuration)

Scandium	$_{21}Sc$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^1$	$\Rightarrow$	$[Ar]\ 4s^2 3d^1$
Titanium	$_{22}Ti$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^2$	$\Rightarrow$	$[Ar]\ 4s^2 3d^2$
Vanadium	$_{23}V$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^3$	$\Rightarrow$	$[Ar]\ 4s^2 3d^3$
Chromium	$_{24}Cr$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^5$	$\Rightarrow$	$[Ar]\ 4s^1 3d^5$ การบรรจุแบบครึ่ง (half-filled)
Manganese	$_{25}Mn$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^5$	$\Rightarrow$	$[Ar]\ 4s^2 3d^5$
Iron	$_{26}Fe$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^6$	$\Rightarrow$	$[Ar]\ 4s^2 3d^6$
Cobalt	$_{27}Co$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^7$	$\Rightarrow$	$[Ar]\ 4s^2 3d^7$
Nickel	$_{28}Ni$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^8$	$\Rightarrow$	$[Ar]\ 4s^2 3d^8$
Copper	$_{29}Cu$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^{10}$	$\Rightarrow$	$[Ar]\ 4s^1 3d^{10}$ การบรรจุแบบเต็ม (full-filled)
Zinc	$_{30}Zn$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}$	$\Rightarrow$	$[Ar]\ 4s^2 3d^{10}$

การเกิดเป็นไอออนบวก (อะตอมสูญเสีย e^-)

$_{23}V$: [Ar] $4s^2 3d^3$

$_{23}V^{2+}$: [Ar] $3d^3$

$_{23}V^{3+}$: [Ar] $3d^2$

$_{23}V^{4+}$: [Ar] $3d^1$

$_{23}V^{5+}$: [Ar]

$_{26}Fe$: [Ar] $4s^2 3d^6$

$_{26}Fe^{2+}$: [Ar] $3d^6$

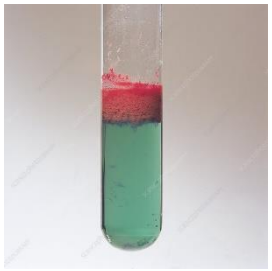
$_{26}Fe^{3+}$: [Ar] $3d^5$

3d e^- หลุดออกที่หลัง 4s e^- เพราะ 3d orbtial มีอำนาจการทะลุทะลวง (penetrate) ดีกว่า 4s orbital ทำให้ 3d e^- เข้าใกล้นิวเคลียสได้มากกว่า 4s e^-

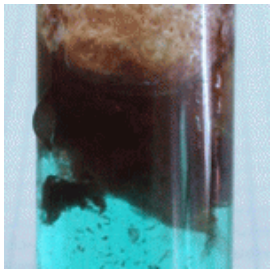
สมบัติทั่วไปของธาตุทรานซิชัน

- ธาตุทรานซิชันที่อยู่ในหมู่เดียวกันจะมีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพคล้ายกัน
- มีแนวโน้มเกิดเป็นสารเชิงซ้อน

$[Fe(SCN)]^{2+}$



$[Ni(DMG)_2]$



$Cu_2[Fe(CN)_6]$

- มีสมบัติการเป็นแม่เหล็ก
- ธาตุทรานซิชันมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ซึ่งจะเคลือบเป็นผิวด้านนอกของโลหะเอาไว้ ทำให้ทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยากับกรดได้ดีขึ้น เช่น Fe_2O_3 และ Cr_2O_3 เป็นต้น โดย Cr นิยมใช้เป็นวัสดุเคลือบผิวโลหะชนิดอื่นเพื่อป้องกันการผุกร่อนรวมทั้งการเคลือบโครเมียม (chromium plating)

กรณี Au, Ag, Pt และ Pd จะไม่เกิดออกไซด์

- ธาตุทรานซิชันมีความหนาแน่นสูง จุดเดือดจุดหลอมเหลวสูง และมีค่าความร้อนของการหลอมและการกลายเป็นไอ มากกว่าโลหะอัลคาไลน์และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธ เนื่องจากมีขนาดของอะตอมและไอออนเล็ก และโครงสร้างแบบจัดเรียงตัวชิดที่สุดเป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีลักษณะพันธะเป็นพันธะโลหะที่แข็งแรง
- ธาตุทรานซิชันมีนำไฟฟ้าและความร้อนสูง โดย Ag เป็นตัวนำที่ดีที่สุด และ Cu รองลงมา

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

- 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

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

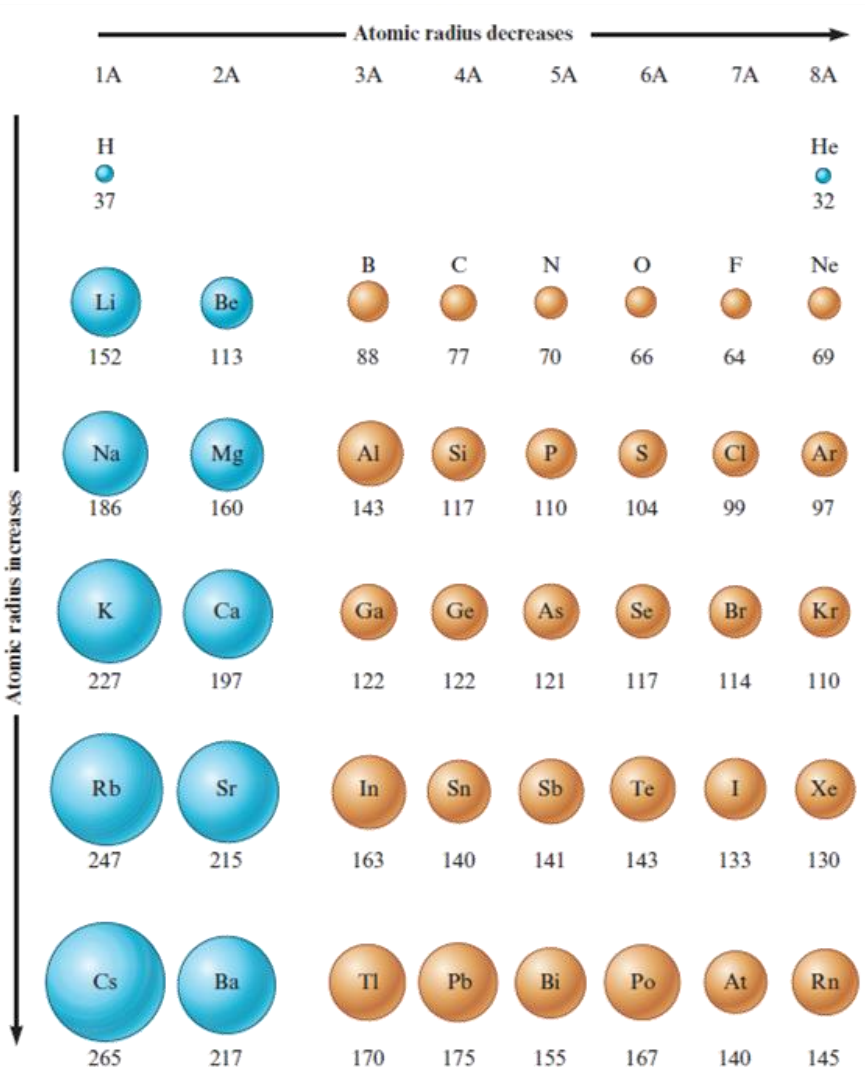
ตัวอย่างสีของสารละลายของโลหะไนเตรตบางตัว: $M(NO_3)_x$

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

ขนาดของอะตอม

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอะตอม</u>

- จำนวนชั้นของอิเล็กตรอน [เลขควอนตัมหลัก (n) ของเวเลนซ์อิเล็กตรอน]
- แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอน



- หมู่เดียวกัน: ขนาดอะตอมใหญ่ขึ้นจากบนลงล่าง

  เช่น Li < Na < K < Rb < Cs

  (ธาตุที่อยู่ด้านล่างมี n มาก)

- คาบเดียวกัน: ขนาดของอะตอมจะเล็กลงจากซ้ายไปขวา

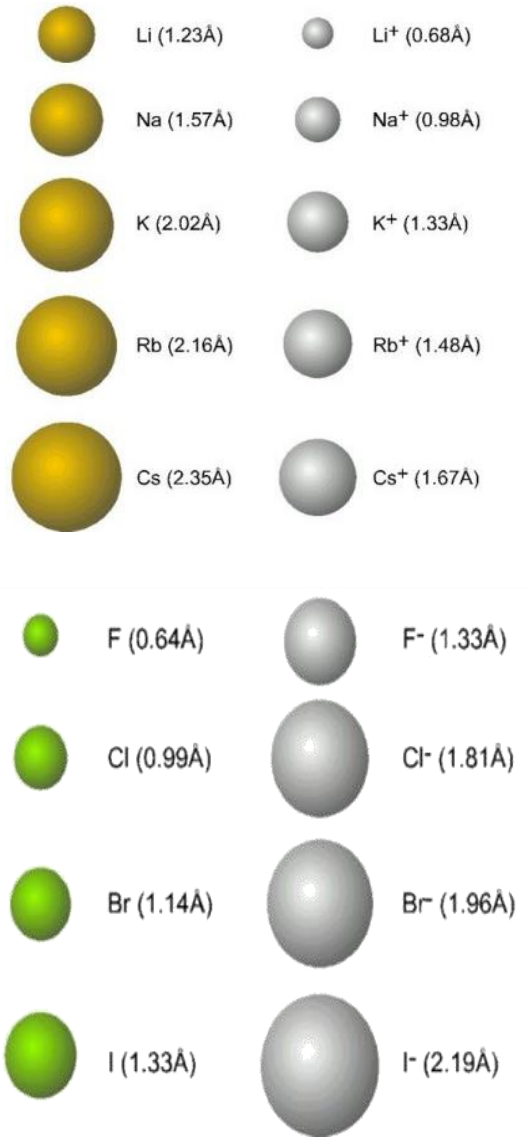
  เช่น Li > Be > B > C > N > O > F

ขนาดของไอออน

"ขึ้นกับประจุบวกของนิวเคลียส จำนวนอิเล็กตรอน และออร์บิทัลของเวเลนซ์อิเล็กตรอน"

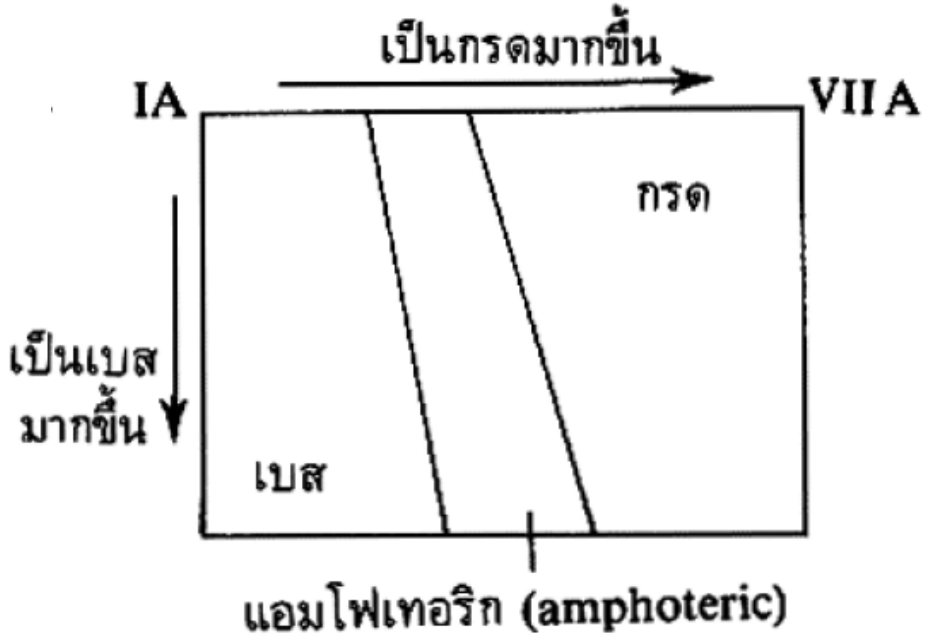
- **ไอออนบวก (Cation)** เกิดจากการเสียอิเล็กตรอนออกจากอะตอม ดังนั้นจะมีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยลง ในขณะที่โปรตอนเท่าเดิม จึงทำให้มีขนาดเล็กลงกว่าอะตอมที่เป็นกลาง
- **ไอออนลบ (Anion)** เกิดจากการรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามา แต่จำนวนโปรตอนยังเท่าเดิม ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าอะตอมที่เป็นกลาง
- ไอออนที่มีประจุเท่ากัน รัศมีไอออนของหมู่เดียวกันจะเพิ่มขึ้นจากบนลงล่าง
- ไอออนที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน (isoelectronic series) ถ้าประจุของนิวเคลียสเพิ่มขึ้น ขนาดอะตอมจะเล็กลง

  เช่น $_{8}O^{2-} > {}_{9}F^{-} > {}_{11}Na^{+} > {}_{12}Mg^{2+} > {}_{13}Al^{3+}$



ความเป็นกรด-เบสของสารประกอบ

- **สารประกอบ<u>ออกไซด์:</u>** สารประกอบระหว่างธาตุหนึ่งๆ กับออกซิเจน
  เช่น CaO SO_2 และ CO_2
- **สารประกอบ<u>ไฮดรอกไซด์:</u>** สารประกอบของ OH^- เช่น NaOH และ $Ca(OH)_2$



$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$

$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

ตัวอย่าง การเปรียบเทียบความเป็นกรดเบสของธาตุในคาบที่ 3

Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl_2O_7
$NaOH$	$Mg(OH)_2$	$Al(OH)_3$	$SiO_2 \cdot xH_2O$	H_3PO_4	H_2SO_4	$HClO_4$
เบสแก่	เบสอ่อน	กรดอ่อน/ เบสอ่อน	กรดอ่อน	กรดแก่ขึ้น	กรดแก่	

ตัวอย่าง การเปรียบเทียบความเป็นกรดเบสของธาตุในหมู่ที่ 5

N_2O_5 (HNO_3)	กรดแก่
P_4O_{10} (H_3PO_4)	กรดอ่อน
As_4O_{10} (H_3AsO_4)	กรดอ่อน
Sb_4O_6	แอมโฟเทอริก (amphoteric)
Bi_2O_3	เบสอ่อน

ตัวอย่าง การเปรียบเทียบความเป็นกรดเบสของธาตุที่มีเลขออกซิเดชันหลายค่า

ความเป็นกรด	$HClO$	<	$HClO_2$	<	$HClO_3$	<	$HClO_4$
	+1		+3		+5		+7