

# เอกสารประกอบการบรรยาย

## วิชา คม 103 หลักเคมี 2

### ธาตุเรพรีเซนเททีฟ (Representative elements)

- ☐ ธาตุหมู่ IA-VIIIA
- ☐ สารประกอบของธาตุหมู่ IA-VIIIA
- ☐ สมบัติต่างๆ ของธาตุหมู่ IA-VIIIA

อาจารย์ ดร. วีรินทร์ดา ทะปะละ

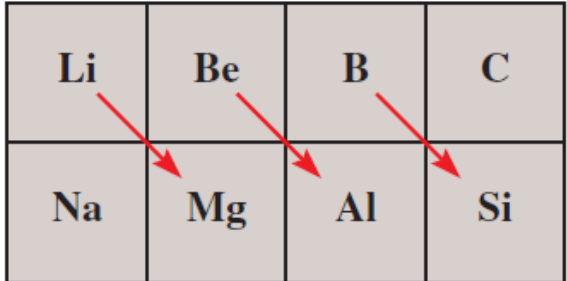
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

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

| IA |     |      |     |    |     |      |    | VIIIA |
|----|-----|------|-----|----|-----|------|----|-------|
| H  | IIA | IIIA | IVA | VA | VIA | VIIA | 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  |      |     |    |     |      |    |       |

- ธาตุที่อยู่ในหมู่เดียวกัน คือมีโครงสร้างอิเล็กตรอนวงนอกสุดเหมือนกัน จะมีสมบัติทางเคมีเหมือนกัน
- ธาตุสมาชิกตัวบนสุดของแต่ละหมู่ (ธาตุในคาบที่ 2: Li, Be, B, C, N, O และ F) มักมีสมบัติที่แตกต่างไปจากธาตุอื่นๆ ในหมู่เดียวกัน เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่ามาก เมื่อเทียบกับธาตุอื่นๆ ในหมู่เดียวกัน
- Li, Be และ B จะแสดง “สมบัติแนวทแยง (Diagonal relationship)”

| 1A | 2A | 3A | 4A |
|----|----|----|----|
| Li | Be | B  | C  |
| Na | Mg | Al | Si |



Li จะแสดงสมบัติทางเคมีหลายประการที่คล้ายคลึงกับ Mg

# ธาตุไฮโดรเจน (Hydrogen, $1s^1$ )

IA

|    |
|----|
| H  |
| Li |
| Na |
| K  |
| Rb |
| Cs |
| Fr |

- ธาตุไฮโดรเจนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในระบบสุริยะจักรวาล รองลงมาคือฮีเลียม (He)
- มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ  $-252.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  และ จุดเดือดเท่ากับ  $-259.1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ที่อุณหภูมิและความดันปกติ ธาตุไฮโดรเจนจะอยู่ในรูปของแก๊สไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) คล้ายกับธาตุฮาโลเจน ( $\text{X}_2$ ) ซึ่งจัดเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว จึงไม่ละลายน้ำที่จัดเป็นโมเลกุลมีขั้ว
- แก๊สไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และเป็นแก๊สที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด

สมบัติของไฮโดรเจนจะมีทั้งส่วนที่คล้ายคลึงกับโลหะหมู่ 1A และ ธาตุฮาโลเจนหมู่ 7A

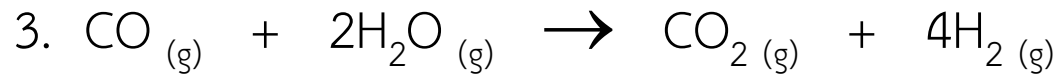
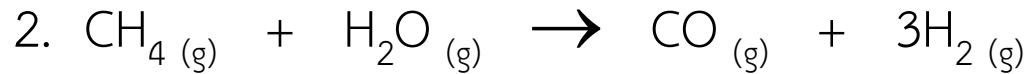
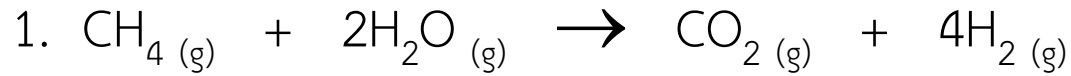
### สมบัติที่คล้ายกับโลหะหมู่ 1A

- มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็นแบบ  $1s^1$  เหมือนกับโลหะหมู่ 1A  $\Rightarrow$  เกิดเป็น  $H^+$  ได้
- สามารถเกิดปฏิกิริยากับธาตุฮาโลเจนได้เป็นสารประกอบที่มีสูตรทั่วไปเป็น  $HX$  โดยชนิดของพันธะใน  $HX$  เป็นพันธะโควาเลนต์ ในขณะที่ธาตุหมู่ 1A เกิดปฏิกิริยากับธาตุฮาโลเจนได้สารประกอบที่มีสูตรทั่วไปเป็น  $MX$  ซึ่งชนิดของพันธะใน  $MX$  เป็นพันธะไอออนิก

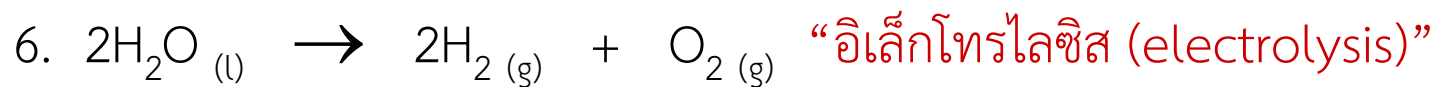
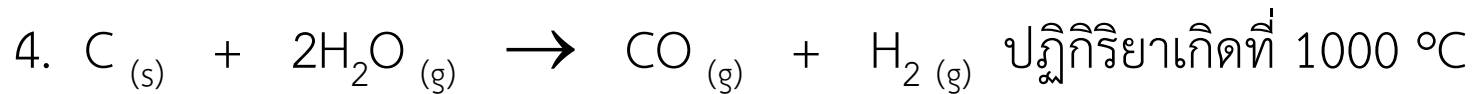
### สมบัติที่คล้ายกับโลหะหมู่ 7A

- ที่อุณหภูมิและความดันปกติ ธาตุไฮโดรเจนจะอยู่ในรูปโมเลกุลของแก๊ส โดยที่หนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยสองอะตอม (diatomic molecule) ซึ่งเหมือนกับ  $X_2$  ของฮาโลเจน
- มีสมบัติเป็นอโลหะ คือ มีค่า IE และ EN สูง
- เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะจะสามารถรับอิเล็กตรอนเกิดเป็น “ไฮไดรด์ (hydride,  $H^-$ )” เกิดเป็นสารประกอบกับโลหะหมู่ 1A เช่น  $LiH$  และ  $NaH$

## การเตรียมแก๊สไฮโดรเจนในอุตสาหกรรม

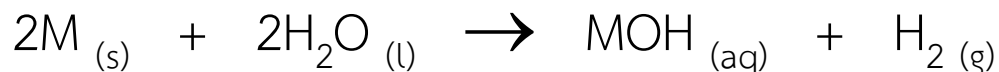


ใช้ Ni เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ที่ 900 °C



# โลหะอัลคาไลน์ หมู่ 1A (Alkali metals, $ns^1$ , $n \geq 2$ )

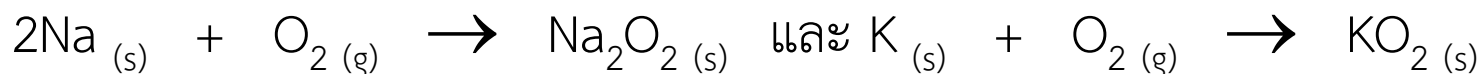
- โลหะอัลคาไลน์ทุกธาตุจะมีค่า IE ต่ำ ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่จะเสียอิเล็กตรอน แล้วเกิดเป็นไอออนที่มีประจุบวก 1 ( $M^+$ )
- โลหะอัลคาไลน์ทุกชนิดเป็นโลหะที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา (reactive) มาก จึงไม่ปรากฏในรูปธาตุอิสระ แต่มักจะอยู่ในรูปสารประกอบ
- โลหะอัลคาไลน์จะทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำเกิดเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ (MOH) และแก๊สไฮโดรเจน



- เมื่อถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศ โลหะอัลคาไลน์จะค่อยๆ ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน ( $O_2$ ) เกิดเป็นสารประกอบออกไซด์รูปต่างๆ และสูญเสียความมันวาวไป



- โลหะอัลคาไลน์สามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน ( $O_2$ ) เกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (peroxide,  $O_2^{2-}$ ) และซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide,  $O_2^-$ )



สมบัติที่สำคัญของโลหะอัลคาไลน์

| ธาตุ                                                               | Lithium<br>Li   | Sodium<br>Na    | Potassium<br>K  | Rubidium<br>Rb  | Cesium<br>Cs    |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| การจัดอิเล็กตรอนวงนอกสุด                                           | 2s <sup>1</sup> | 3s <sup>1</sup> | 4s <sup>1</sup> | 5s <sup>1</sup> | 6s <sup>1</sup> |
| จุดหลอมเหลว (°C)                                                   | 179             | 97.5            | 63.7            | 39.0            | 28.5            |
| จุดเดือด (°C)                                                      | 1336            | 880             | 760             | 700             | 670             |
| ความหนาแน่น (g cm <sup>-1</sup> )                                  | 0.53            | 0.97            | 0.86            | 1.53            | 1.90            |
| รัศมีอะตอม (pm)                                                    | 155             | 190             | 235             | 248             | 267             |
| รัศมีไอออน (pm)                                                    | 60              | 95              | 133             | 148             | 169             |
| IE (kJ mol <sup>-1</sup> )                                         |                 |                 |                 |                 |                 |
| first order, IE1                                                   | 526             | 502             | 425             | 409             | 382             |
| second order, IE2                                                  | 7305            | 4569            | 3058            | 2638            | 2430            |
| ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน, E <sup>0</sup> (V)                              | - 3.05          | - 2.71          | - 2.93          | - 2.93          | -2.92           |
| M <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub> + e <sup>-</sup> → M <sub>(s)</sub> |                 |                 |                 |                 |                 |

\* Francium (Fr) ธาตุกัมมันตรังสี

ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญของโลหะอัลคาไลน์ โดย M คือ โลหะหมู่ 1A ยกเว้นตามทีระบุ

| ปฏิกิริยา                                      | หมายเหตุ                                    |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| $2M + X_2 \rightarrow 2MX$                     | $X_2$ = halogen gas                         |
| $4M + O_2 \rightarrow 2M_2O$                   |                                             |
| $2Na + O_2(\text{excess}) \rightarrow Na_2O_2$ | ต้องใช้ออกซิเจนปริมาณมากเกินไป              |
| $M + O_2 \rightarrow MO_2$                     | $M = K, Rb, Cs$                             |
| $2M + S \rightarrow M_2S$                      | รวมทั้งปฏิกิริยากับ Se และ Te               |
| $6Li + N_2 \rightarrow 2Li_3N$                 | เฉพาะ Li เท่านั้น                           |
| $12M + P_4 \rightarrow 4M_3P$                  | รวมทั้งปฏิกิริยากับ As และ Sb               |
| $2M + C \rightarrow M_2C_2$                    | $M = Li$ และ $Na$ เท่านั้น                  |
| $2M + H_2 \rightarrow 2MH$                     | เกิดที่อุณหภูมิสูง และ $LiH$ เสถียรที่สุด   |
| $2M + H_2O \rightarrow 2MOH + H_2$             | เกิดที่อุณหภูมิห้อง และปฏิกิริยารุนแรง      |
| $2M + H^+ \rightarrow 2M^+ + H_2$              | ปฏิกิริยารุนแรง                             |
| $2M + 2NH_3 \rightarrow 2MNH_2 + H_2$          | $NH_{3(l)}$ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น $Fe$ |

- การเตรียมโลหะอัลคาไลน์ วิธีที่ใช้ทั่วไปคือ อิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) เกลือคลอไรด์ หลอมเหลว  $MCl_{(s)}$
- ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะอัลคาไลน์ มีค่าติดลบมาก แสดงว่าโลหะอัลคาไลน์ มีแนวโน้มที่จะให้อิเล็กตรอนได้ดี จึงจัดเป็น “ตัวรีดิวซ์ (reducing agent)” ที่ดี
- ในธรรมชาติมักจะพบอยู่ในรูปของสารประกอบของ เช่น  $Li_2O$ ,  $NaCl$ ,  $NaNO_3$  และ  $KCl$
- สารประกอบโดยทั่วไปของโลหะหมู่ 1 ละลายน้ำได้ดี ยกเว้น  $LiOH$ ,  $Li_2O_3$ ,  $Li_3PO_4$ ,  $Li_2CO_3$ ,  $LiF$  และ  $KClO_4$  ที่ตกตะกอนเล็กน้อย
- การทดสอบเปลวไฟ (Flame test)

|    |             |
|----|-------------|
| Li | Crimson red |
| Na | Yellow      |
| K  | Pale violet |
| Rb | Violet      |
| Cs | Bluish      |



Na



K

## การนำโลหะอัลคาไลน์ไปใช้ประโยชน์

- ลิเทียม (Li) ใช้เป็นขั้วแบตเตอรี่ (Lithium battery) เนื่องจากมีศักยภาพในการให้อิเล็กตรอนที่ดี
- โซเดียม (Na) เป็นธาตุทำปฏิกิริยาได้ว่องไวมาก จึงจำเป็นต้องเก็บในน้ำมัน ในชีวิตประจำวันมีการใช้ประโยชน์จากสารประกอบโซเดียมมากมาย เช่น เกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) ซึ่งใช้ในการประกอบอาหาร ผงฟูหรือโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ซึ่งใช้ในการทำขนมปังให้ฟู เป็นต้น
- ใช้ในการบำบัดโรค เช่น Li ใช้ในการรักษาความผิดปกติทางอารมณ์และช่วยควบคุมอารมณ์ให้อยู่ในระดับปกติ
- โพแทสเซียม (K) ใช้ทำปุ๋ย เช่น  $\text{KCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{KNO}_3$

# โลหะอัลคาไลน์เอิร์ท หมู่ 2A (Alkali earth metals, $ns^2$ , $n \geq 2$ )

|                 |
|-----------------|
| Be<br>Beryllium |
| Mg<br>Magnesium |
| Ca<br>Calcium   |
| Sr<br>Strontium |
| Ba<br>Barium    |
| Ra<br>Radium    |

หายากที่สุด

มีมาก

ค่อนข้างหายาก

ธาตุกัมมันตรังสี

- โลหะอัลคาไลน์เอิร์ทเป็นโลหะเนื้อแข็ง มีความหนาแน่นสูง จุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง นำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี
- มีแนวโน้มที่จะสูญเสียอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออน  $+2$  ( $M^{2+}$ ) เนื่องจากมีค่า IE1 และ IE2 ต่ำ โดยแนวโน้มของค่า IE จะลดลงจากบนลงล่าง ทำให้โลหะอัลคาไลน์เอิร์ทมีแนวโน้มที่จะสูญเสียอิเล็กตรอนง่ายขึ้นจากบนลงล่าง  
ความเป็นโลหะมากขึ้นจากบนลงล่าง
- เป็นโลหะที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (แต่ไม่เท่ากับ 1A) ทำให้ไม่ค่อยพบธาตุหมู่ 2A ในรูปธาตุอิสระ แต่มักอยู่ในรูปเกลือคาร์บอเนต ( $CO_3^{2-}$ ) ซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$ ) และคลอไรด์ ( $Cl^-$ )
- การเตรียมโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท ใช้วิธีเดียวกับการเตรียมโลหะอัลคาไลน์ อิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) เกลือคลอไรด์หลอมเหลว  $MCl_{2(s)}$

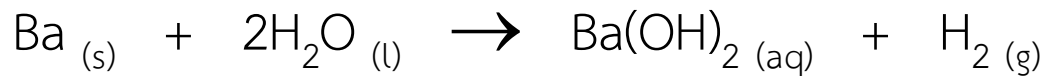
สมบัติที่สำคัญของโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท

| ธาตุ                                       | Be     | Mg     | Ca     | Sr     | Ba     |
|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| การจัดอิเล็กตรอนวงนอกสุด                   | $2s^2$ | $3s^2$ | $4s^2$ | $5s^2$ | $6s^2$ |
| จุดหลอมเหลว (°C)                           | 1280   | 651    | 851    | 800    | 850    |
| จุดเดือด (°C)                              | 1280   | 651    | 851    | 800    | 850    |
| ความหนาแน่น (g cm <sup>-1</sup> )          | 1.86   | 1.75   | 1.55   | 2.6    | 3.59   |
| รัศมีอะตอม (pm)                            | 112    | 160    | 197    | 215    | 222    |
| รัศมีไอออน (pm)                            | 31     | 65     | 99     | 113    | 135    |
| IE (kJ mol <sup>-1</sup> )                 |        |        |        |        |        |
| first order, IE1                           | 906    | 744    | 596    | 556    | 509    |
| second order, IE2                          | 1763   | 1457   | 1152   | 1071   | 972    |
| third order, IE3                           | 14855  | 7739   | 4918   | 4210   | -      |
| ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน, E <sup>0</sup> (V)      | - 1.85 | - 2.36 | - 2.87 | - 2.89 | - 2.91 |
| $M^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow M_{(s)}$ |        |        |        |        |        |

ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญของโลหะอัลคาไลน์ โดย M คือ โลหะหมู่ 2A ยกเว้นตามทีระบุ

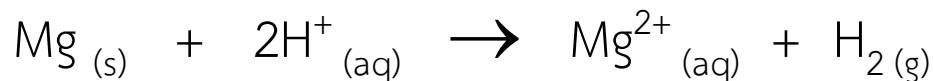
| ปฏิกิริยา                                | หมายเหตุ                                                      |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| $M + X_2 \rightarrow MX_2$               | $X_2$ = halogen gas                                           |
| $2M + O_2 \rightarrow 2MO$               |                                                               |
| $Ba + O_2 (excess) \rightarrow Ba_2O$    | ต้องใช้ออกซิเจนปริมาณมากเกินไป                                |
| $M + S \rightarrow MS$                   | รวมทั้งปฏิกิริยากับ Se และ Te                                 |
| $3M + N_2 \rightarrow M_3N_2$            | ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิสูง                                   |
| $6M + P_4 \rightarrow 2M_3P_2$           | ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิสูง                                   |
| $M + 2C \rightarrow MC_2$                | เกิดที่อุณหภูมิสูง M ยกเว้น Be                                |
| $M + H_2 \rightarrow MH_2$               | เกิดที่อุณหภูมิสูง M = Ca, Sr, Ba กรณี Mg ต้องทำภายใต้ความดัน |
| $M + 2H_2O \rightarrow M(OH)_2 + H_2$    | M = Ca, Sr, Ba เกิดที่อุณหภูมิห้อง                            |
| $Mg + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + H_2$  | มีลักษณะเหมือนไอน้ำเดือด ส่วน Be ไม่เกิดปฏิกิริยา             |
| $M + 2H^+ \rightarrow M^{2+} + H_2$      | ปฏิกิริยาอ่อนแอ                                               |
| $2M + 2NH_3 \rightarrow M(NH_2)_2 + H_2$ | M = Ca, Sr, Ba สารตั้งต้นเป็น $NH_3(l)$ โดยมีตัวเร่ง          |
| $3M + 2NH_3 \rightarrow M_3N_2 + 3H_2$   | $3M + 2NH_3 \rightarrow M_3N_2 + 3H_2$                        |

- ความว่องไวของโลหะอัลคาไลน์ในการทำปฏิกิริยากับน้ำแตกต่างกันอย่างมาก Be ไม่น้ำ ในขณะที่ Mg จะทำปฏิกิริยาช้าๆ กับไอน้ำ ส่วน Ca, Sr และ Ba สามารถทำปฏิกิริยาได้แม้กับน้ำเย็น



- ความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนมีทิศทางเดียวกัน คือ ว่องไวขึ้นจาก Be ไปจนถึง Ba โดย Be และ Mg จะเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ BeO และ MgO ตามลำดับ ที่อุณหภูมิสูง ในขณะที่สารประกอบ CaO, SrO และ BaO สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ

- โลหะ Mg จะทำปฏิกิริยากับกรดได้แก๊สไฮโดรเจน



- Ca, Sr, Ba สามารถทำปฏิกิริยากับกรดได้เช่นกัน แต่โลหะเหล่านี้ปฏิกิริยาได้ดีกับน้ำ ซึ่งกรดโดยทั่วไปจะมีน้ำเจือปนอยู่ จึงทำให้ปฏิกิริยาทั้งสองเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน

- สารประกอบคลอไรด์ โบรไมด์ ไอโอดีน ไนเตรต คลอเรต เปอร์คลอเรต ของโลหะหมู่ 2A ละลายน้ำได้ดี แต่สารประกอบฟลูออไรด์ ไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ ซัลเฟต คาร์บอเนต ไฮโดรเจนฟอสเฟต และออกซาเรต ของโลหะหมู่ 2A ไม่ละลายน้ำ ยกเว้น  $\text{MgSO}_4$  ละลายน้ำได้ดี

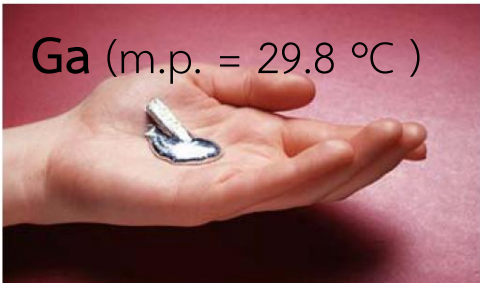
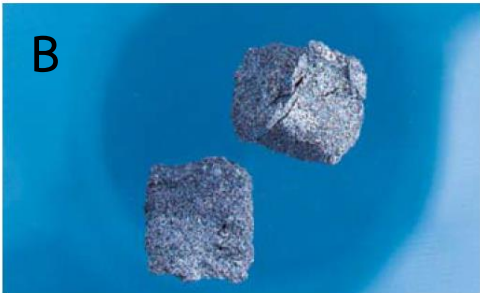
## การนำโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทไปใช้ประโยชน์

- Be มีสีเทาเหมือนเหล็ก แข็งแรง น้ำหนักเบา แต่เปราะ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวที่ทำให้โลหะผสมแข็งขึ้น (โดยเฉพาะทองแดงเบริลเลียม ใช้ทำส่วนประกอบของเรือเดินทะเล)
- Mg ใช้เป็นตัวผสมโลหะเพื่อทำโลหะผสมอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม  
MgO ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็ก แก้ว ซีเมนต์ การเกษตร อุตสาหกรรมก่อสร้าง  
กระป๋องเครื่องดื่ม (aluminium-magnesium alloys)  
Mg(OH)<sub>2</sub> ใช้เป็นส่วนผสมในยาสีฟัน และใช้เป็นยาลดกรดในกระเพาะอาหาร
- Ca มันมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะในระบบสรีรวิทยาของเซลล์และการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ  
CaSO<sub>4</sub> ใช้ในอุตสาหกรรมปูนปลาสเตอร์
- Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ใช้ทำพลุ ดอกไม้เพลิงสีแดง
- Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ใช้ทำพลุ ดอกไม้เพลิงสีเขียว

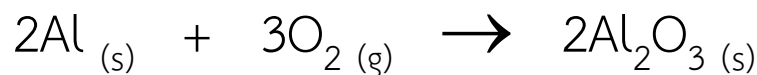
# ธาตุหมู่ 3A ( $ns^2np^1$ , $n \geq 2$ )

|                 |
|-----------------|
| B<br>Boron      |
| Al<br>Aluminium |
| Ga<br>Gallium   |
| In<br>Indium    |
| Tl<br>Thallium  |
| Nh<br>Nihonium  |

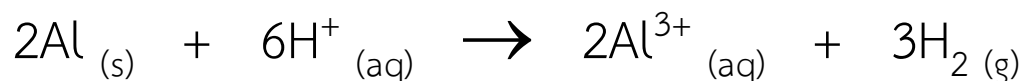
- B มีสมบัติเป็นกึ่งโลหะ ส่วนธาตุอื่นๆ เป็นโลหะ
- Al เป็นโลหะที่มีมากที่สุดในโลก โดยอยู่ในรูปสารประกอบ  $KAlSi_3O_8$  หรือในรูปออกไซด์  $Al_2O_3 \cdot nH_2O$
- สามารถเกิดเป็นไอออนบวกได้ 2 แบบ คือ  $M^+$  และ  $M^{3+}$  โดย Al มีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียว คือ +3 ส่วน Ga, In และ Tl อาจมีเลขออกซิเดชันเป็น +1 และ +3 โดยจะพบ  $Ga^{+3}$  และ  $Tl^+$  มากกว่า



- สมบัติทางเคมีของ B แตกต่างไปจากธาตุอื่นๆ ในหมู่เดียวกัน เช่น ไม่ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบไอออนิกแบบไบนารี (binary ionic compound) และไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนกับน้ำ ซึ่งต่างจาก Al ซึ่งจะเกิดสารประกอบออกไซด์ทันทีเมื่อโดนอากาศ ชั้นออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทนต่อการผุกร่อนมากกว่า Al เพียงอย่างเดียว



- Al สามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นไอออนประจุ +3 ( $\text{Al}^{3+}$ ) ได้ และทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกให้แก๊สไฮโดรเจน



- Al ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน ให้  $\text{AlH}_3$  มีสมบัติคล้ายกับ  $\text{BeH}_2$  (Diagonal relationship)

## ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญของธาตุหมู่ 3A

| ปฏิกิริยา                                          | หมายเหตุ                                                                 |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $2M + X_2 \rightarrow 3MX_3$                       | $X_2$ = halogen gas;<br>Tl เกิดสารประกอบ TLX ( $X \neq I_2$ )            |
| $4M + 3O_2 \rightarrow 2M_2O_3$                    | เกิดที่อุณหภูมิสูง; Tl ให้ $Tl_2O$ ด้วย                                  |
| $2M + 3S \rightarrow M_2S_3$                       | เกิดที่อุณหภูมิสูง; Tl ให้ $Tl_2S$ ด้วย<br>รวมทั้งปฏิกิริยากับ Se และ Te |
| $2Al + N_2 \rightarrow 2AlN$                       | Al เท่านั้น                                                              |
| $2M + 6H^+ \rightarrow 2M^{3+} + 3H_2$             | $M = Al, Ga, In$ ; Tl ให้ $T^+$                                          |
| $2M + 2OH^- + 6H_2O \rightarrow 2M(OH)_4^- + 3H_2$ | $M = Al$ และ $Ga$                                                        |

- แก๊สซัลเฟต ไนเตรต และเฮไลด์ของโลหะหมู่ 3A นี้ละลายน้ำได้ดี
- ไฮดรอกไซด์ของโลหะหมู่ 3A นี้ไม่ละลายน้ำ
- ออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของ Al และ Ga มีสมบัติเป็นแอมโฟเทอริก (amphoteric)

Reaction with acids;  $Al_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2O$

Reaction with base;  $Al_2O_3 + 2NaOH + 3H_2O \rightarrow 2NaAl(OH)_4$

## การนำธาตุหมู่ 3A ไปใช้ประโยชน์

- โบรอน (B)



Borosilicate glassware  
เช่น beakers และ test tube



Boron carbide ใช้เป็นแผ่น  
กันกระสุนในเสื้อกันกระสุน

- อะลูมิเนียม (Al)

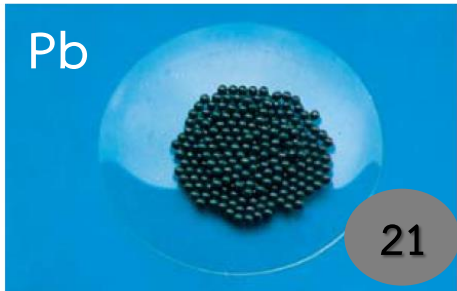
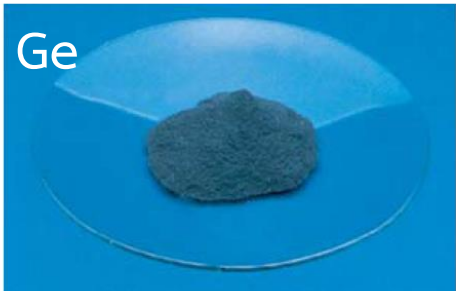
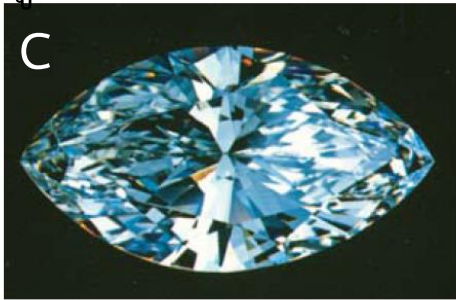
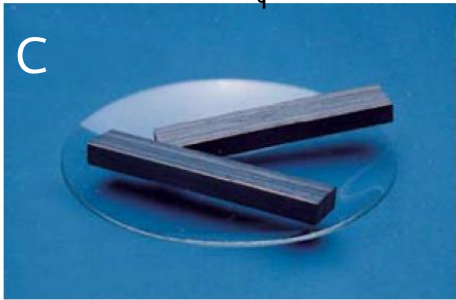
เป็นวัสดุทำ automobiles, aircraft, trucks, railway cars, marine vessels, bicycles,  
Packaging (cans, foil)



# ธาตุหมู่ 4A ( $ns^2np^2$ , $n \geq 2$ )

|                 |
|-----------------|
| C<br>Carbon     |
| Si<br>Silicon   |
| Ge<br>Germanium |
| Sn<br>Tin       |
| Pb<br>Lead      |
| Fl<br>Flerovium |

- มีทั้งอโลหะ (C) กึ่งโลหะ (Si และ Ge) และโลหะ (Sn และ Pb)  
ความเป็นโลหะเพิ่มขึ้นเมื่อเลขอะตอมสูงขึ้น
- เกิดสารประกอบที่มีเลขออกซิเดชัน +2 และ +4 สำหรับ C และ Si เลขออกซิเดชันที่เสถียรมากกว่าคือ +4 เช่น  $\text{CO}_2$  เสถียรมากกว่า CO และ  $\text{SiO}_2$  เป็นสารประกอบที่เสถียร
- C พบมากในธรรมชาติในรูปของสารประกอบคาร์บอเนต เช่น  $\text{CaCO}_3$   
ส่วนธาตุอิสระจะอยู่ในรูปของแกรไฟต์และเพชร



ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญของธาตุหมู่ 4A โดย M คือ Sn และ Pb ยกเว้นตามที่ระบุ

| ปฏิกิริยา                                      | หมายเหตุ                                                |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $M + X_2 \rightarrow 2MX_4$                    | $X_2$ = halogen gas;<br>M = Ge และ Sn; Pb ให้ $PbX_2$   |
| $M + O_2 \rightarrow MO_2$                     | M = Sn เกิดที่อุณหภูมิสูง;<br>Pb ให้ PbO หรือ $Pb_3O_4$ |
| $M + 2S \rightarrow MS_2$                      | M = Sn ; Pb ให้ PbS                                     |
| $M + H^+ \rightarrow M^{2+} + H_2$             | M = Sn และ Pb                                           |
| $M + OH^- + 2H_2O \rightarrow M(OH)_3^- + H_2$ | ปฏิกิริยาเกิดช้า                                        |

- Sn และ Pb เป็นโลหะอ่อน มีจุดหลอมเหลวต่ำ และค่อนข้างว่องไว แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ แต่สามารถทำปฏิกิริยากับกรด เช่น HCl ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจน
- สารประกอบของ  $Pb^{2+}$  ไม่ค่อยละลายน้ำ ยกเว้น  $Pb(NO_3)_2$  และ  $Pb(CH_3COO)_2$

# ธาตุหมู่ 5A ( $ns^2np^3$ , $n \geq 2$ )

|                  |
|------------------|
| N<br>Nitrogen    |
| P<br>Phosphorous |
| As<br>Arsenic    |
| Sb<br>Antimony   |
| Bi<br>Bismuth    |
| Mo<br>Moscovium  |

- N และ P เป็นสารอโลหะ ขณะที่ As และ Sb เป็นสารกึ่งโลหะ และ Bi เป็นโลหะ
- ธาตุไนโตรเจนที่อุณหภูมิและความดันปกติจะอยู่ในรูป  $N_{2(g)}$  และสามารถเกิดสารประกอบออกไซด์ได้หลายรูป เช่น  $NO_{(g)}$ ,  $N_2O_{(g)}$ ,  $NO_{2(g)}$ ,  $N_2O_{4(g)}$  และ  $N_2O_{5(s)}$   $[N_2O_{5(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow HNO_{3(aq)}]$
- N มีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอน เกิดเป็น  $N^{3-}$  และเกิดสารประกอบไอออนิกกับโลหะ เช่น  $Li_3N$  และ  $Mg_3N_2$
- P จะอยู่ในรูปโมเลกุล  $P_4$  และสามารถเกิดสารประกอบออกไซด์ได้ 2 รูป คือ  $P_4O_6$  และ  $P_4O_{10}$   $[P_4O_{10(s)} + 6H_2O_{(aq)} \rightarrow 4H_3PO_{4(aq)}]$
- As, Sb และ Bi มีโครงสร้างเป็นแบบโครงข่าย
- Bi เป็นโลหะ แต่จะไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับโลหะหมู่ 1A-4A

# ธาตุหมู่ 6A ( $ns^2np^4$ , $n \geq 2$ )

|                   |
|-------------------|
| O<br>Oxygen       |
| S<br>Sulfur       |
| Se<br>Selenium    |
| Te<br>Tellurium   |
| Po<br>Polonium    |
| Lv<br>Livermorium |

- O, S และ Se เป็นธาตุอโลหะ ขณะที่ Te และ Po เป็นสารกึ่งโลหะ
- ที่อุณหภูมิและความดันปกติจะอยู่ในรูป O, S และ Se จะอยู่ในรูป  $O_2$ ,  $S_8$  และ  $Se_8$  ตามลำดับ
- Te และ Po มีโครงสร้างเป็นแบบโครงข่าย
- Po เป็นสารกัมมันตรังสี
- O มีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอน 2 ตัว เกิดเป็น ออกไซด์ (oxide,  $O^{2-}$ ) โดยมักพบในสารประกอบไอออนิกหลายชนิด
- S, Se และ Te รับอิเล็กตรอน 2 ตัว เกิดเป็น ซัลไฟด์ (sulfide,  $S^{2-}$ ), เซเลไนด์ (selenide,  $Se^{2-}$ ) และ เทลลูไรด์ (telluride,  $Te^{2-}$ ) ตามลำดับ
- ธาตุหมู่ 6A โดยเฉพาะ O สามารถเกิดสารประกอบโควาเลนต์ได้กับอโลหะหลายชนิด

# ธาตุฮาโลเจนหมู่ 7A (Halogen, $ns^2np^5$ , $n \geq 2$ )

|                  |
|------------------|
| F<br>Fluorine    |
| Cl<br>Chlorine   |
| Br<br>Bromine    |
| I<br>Iodine      |
| At<br>Astatine   |
| Ts<br>Tennessine |

- มีสมบัติเป็นอโลหะ และปรากฏในรูปโมเลกุล  $X_2$  เสมอ
- มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามาก และจะไม่พบในรูปของธาตุอิสระเลย จะปรากฏในรูปสารประกอบมากกว่า
- At เป็นสารกัมมันตรังสี
- มีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอน 1 ตัว เกิดเป็น เฮไลด์ (halide,  $X^-$ ) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะหมู่ 1A และ 2A เกิดเป็นสารประกอบไอออนิก เช่น NaCl, KBr และ  $MgCl_2$  เป็นต้น

## สมบัติที่สำคัญของฮาโลเจน

| ธาตุ                                       | F           | Cl          | Br          | I           |
|--------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| การจัดอิเล็กตรอนวงนอกสุด                   | $2s^2 2p^5$ | $3s^2 3p^5$ | $4s^2 4p^5$ | $5s^2 5p^5$ |
| สี ( $X_2$ )                               | เหลืองอ่อน  | เขียวอ่อน   | น้ำตาล      | ม่วงเข้ม    |
| จุดหลอมเหลว ( $^{\circ}\text{C}$ )         | - 223       | - 102       | - 7         | +114        |
| จุดเดือด ( $^{\circ}\text{C}$ )            | - 188       | - 34        | + 59        | + 185       |
| รัศมีอะตอม (pm)                            | 72          | 99          | 114         | 133         |
| รัศมีไอออน (pm)                            | 136         | 181         | 195         | 216         |
| IE1 ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )               | 1680        | 1250        | 1140        | 1000        |
| EN                                         | 4.0         | 3.2         | 3.0         | 2.7         |
| พลังงานพันธะ ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )      | 155         | 243         | 193         | 151         |
| ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน, $E^0$ (V)               | + 2.87      | + 1.36      | + 1.07      | + 0.54      |
| $X_{2(aq)} + 2e^- \rightarrow 2X^-_{(aq)}$ |             |             |             |             |

## ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญของธาตุฮาโลเจน

| ปฏิกิริยา                                    | หมายเหตุ                                                                                                     |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $2M + nX_2 \rightarrow 2MX_n$                | $F_2, Cl_2$ เกิดปฏิกิริยาได้กับโลหะทุกตัว<br>ส่วน $Br_2, I_2$ ทำปฏิกิริยาได้กับโลหะทั่วไป ยกเว้นโลหะมีตระกูล |
| $X_2 + H_2 \rightarrow 2HX$                  | $F_2$ ไม่เกิดปฏิกิริยา                                                                                       |
| $X_2 + H_2O \rightarrow H^+ + X^- + XOH$     | $F_2$ เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว                                                                              |
| $2X_2 + 2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4X^- + O_2$ | $Br_2, Cl_2$ เกิดปฏิกิริยาต้องใช้แสง และเกิดซ้ำ                                                              |
| $X_2 + 2X'^- \rightarrow X_2' + 2X^-$        | $F_2 > Cl_2 > Br_2 > I_2$                                                                                    |

- ในหมู่เดียวกันโมเลกุลของธาตุหมู่ 7A ที่มีขนาดเล็กกว่า จะสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮไลต์ที่มีขนาดใหญ่กว่าได้ เนื่องจากมีค่า EN น้อยกว่า

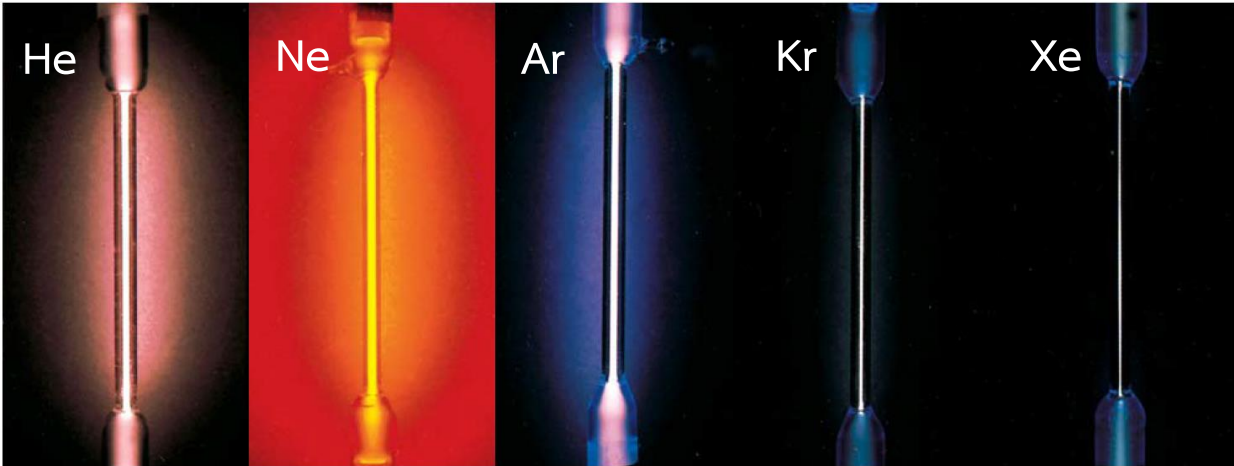


- ธาตุฮาโลเจนสามารถเกิดเป็นสารประกอบกับอโลหะอื่นๆ ได้ เช่น  $\text{PCl}_5$  และ  $\text{NF}_3$
- ธาตุฮาโลเจนมีลักษณะเฉพาะตัว คือ สามารถเกิดเป็นสารประกอบระหว่างธาตุหมู่เดียวกัน (Interhalogen) เกิดเป็นโมเลกุลโควาเลนต์ เช่น  $\text{ICl}$  และ  $\text{BrF}_3$
- สามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนเกิดเป็นสารประกอบ “ไฮโดรเจนเฮไลด์ (hydrogen halide)” ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ โดย  $\text{HF}$  เป็นกรดอ่อน ส่วน  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$  และ  $\text{HI}$  เป็นกรดแก่
 
$$\text{H}_{2(g)} + \text{X}_{2(g)} \longrightarrow 2\text{HX}_{(g)}$$
- ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับ  $\text{F}$  จะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและระเบิดได้ เนื่องจาก  $\text{F}$  มีขนาดเล็กมาก

# แก๊สมีตระกูลหมู่ 8A (Noble gas, $ns^2np^6$ , $n \geq 2$ )

|                 |
|-----------------|
| He<br>Helium    |
| Ne<br>Neon      |
| Ar<br>Argon     |
| Kr<br>Krypton   |
| Xe<br>Xenon     |
| Rn<br>Radon     |
| Og<br>Oganesson |

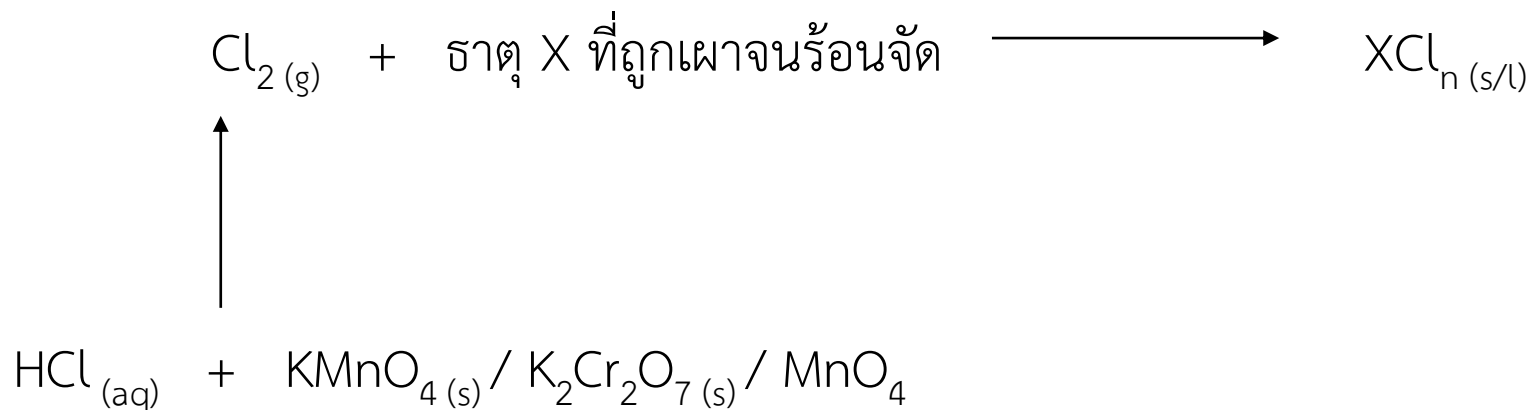
- มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิและความดันปกติ โดย 1 โมเลกุลจะมีเพียง 1 อะตอม (monoatomic gas) ซึ่งทุกชนิดไม่มีสี ไม่มีกลิ่น
- ไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ “แก๊สเฉื่อย (inert gas)”
- Xe, Kr และ Rn สามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบได้ เนื่องจากมีค่า IE ต่ำพอที่จะเกิดปฏิกิริยาได้ โดยมีเลขออกซิเดชัน คือ  $Kr^{+2}$  ( $KrF_2$ ) และ  $Rn^{+4}$  ส่วน Xe มีหลายสถานะ คือ +2, +4, +6 และ +8 เช่น  $XeF_4$ ,  $XeO_3$ ,  $XeO_4$ ,  $XeOF_4$
- He, Ne และ Ar มีค่า IE สูงมาก จึงไม่สามารถสร้างพันธะกับธาตุอื่นๆ ได้



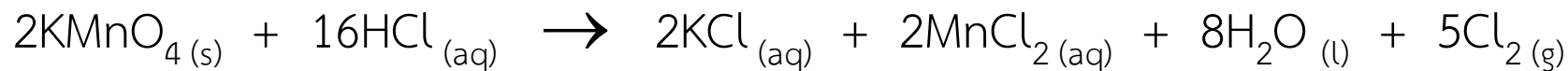
# สารประกอบคลอไรด์ (Chloride compounds)

“สารประกอบของธาตุหนึ่งๆ กับธาตุคลอรีน (Cl) ที่อยู่ในรูปของไอออนลบคลอไรด์ ( $\text{Cl}^-$ )”

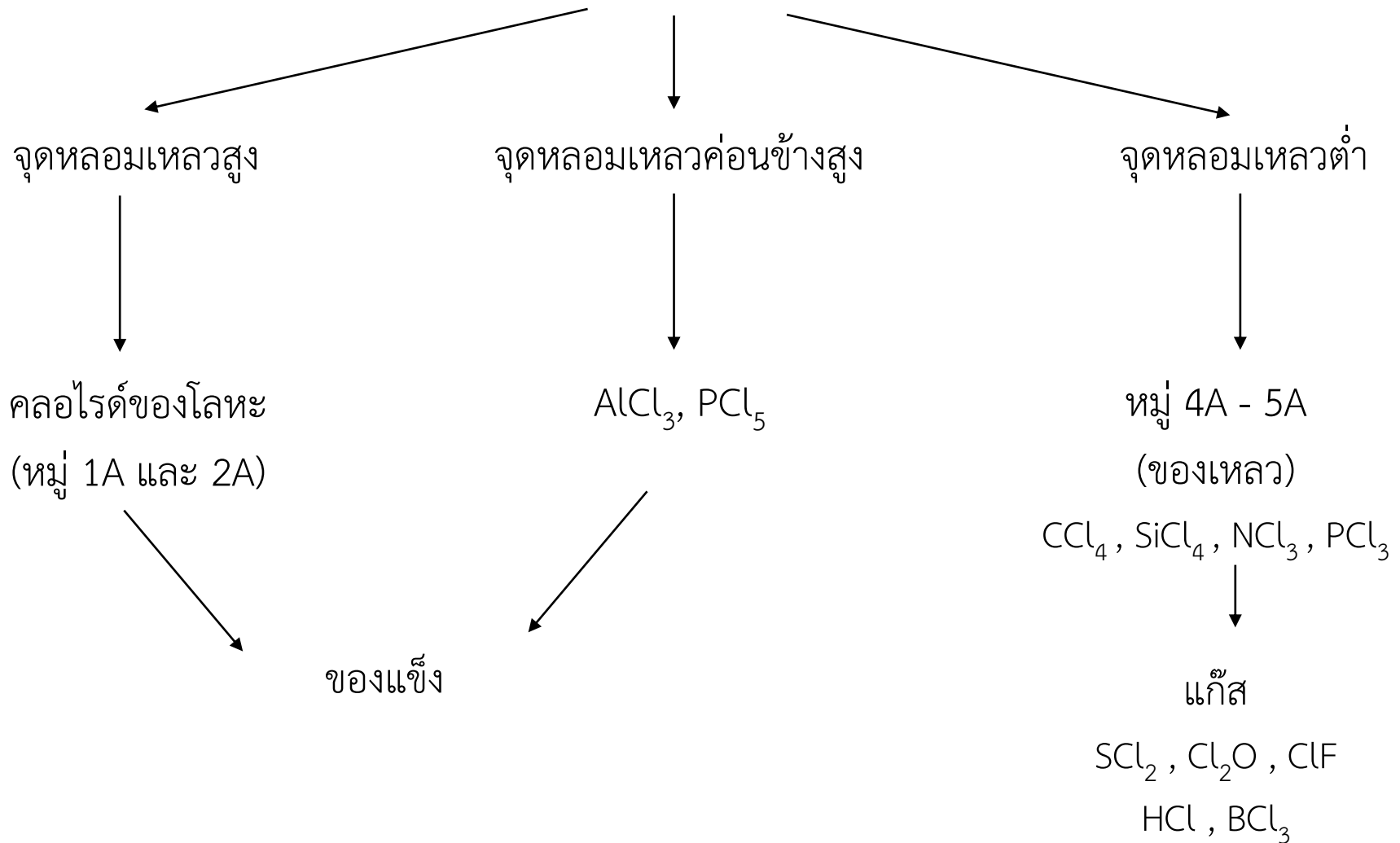
การเตรียมสารประกอบคลอไรด์



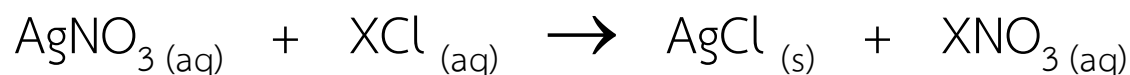
ปฏิกิริยาการเตรียมแก๊สคลอรีน



# สารประกอบคลอไรด์



- สารประกอบคลอไรด์มีทั้ง 3 สถานะ
- โดยทั่วไปสารประกอบคลอไรด์ของโลหะเป็นสารประกอบไอออนิก ซึ่งละลายน้ำได้ สารละลายที่เป็นกลาง
- สารประกอบคลอไรด์ของอโลหะ ละลายน้ำได้สารละลายที่เป็นกรด ยกเว้น  $\text{CCl}_4$  กับ  $\text{NCl}_3$  ซึ่งเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว จึงไม่ละลายน้ำ
- กรณีที่มีสารประกอบที่สงสัยว่าเป็นสารประกอบคลอไรด์หรือไม่ สามารถทดสอบได้โดยเติมสารละลายซิลเวอร์คลอไรด์ลงไป ถ้าเป็นสารประกอบคลอไรด์จะได้ตะกอนสีขาวขุ่นของซิลเวอร์คลอไรด์ ( $\text{AgCl}$ )



ไม่ละลายน้ำ ไม่เป็นกรดหรือเบส

|                     |                       |                       |                       |                      |                                                                            |                     |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| LiCl <sub>(s)</sub> | BeCl <sub>2 (s)</sub> | BCl <sub>3 (g)</sub>  | CCl <sub>4 (l)</sub>  | NCl <sub>3 (l)</sub> | Cl <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub><br>(ClO <sub>2</sub> , ClO <sub>7</sub> ) | ClF <sub>(g)</sub>  |
| NaCl <sub>(s)</sub> | MgCl <sub>2 (s)</sub> | AlCl <sub>3 (s)</sub> | SiCl <sub>4 (l)</sub> | PCl <sub>3 (l)</sub> | SCl <sub>2 (l)</sub>                                                       | Cl <sub>2 (g)</sub> |
|                     |                       |                       |                       | PCl <sub>5 (s)</sub> |                                                                            |                     |

← เป็นกลาง → ← เป็นกรด →

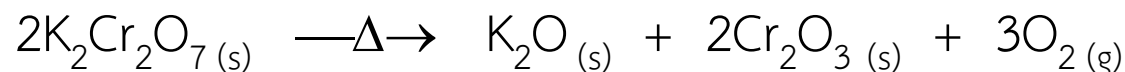
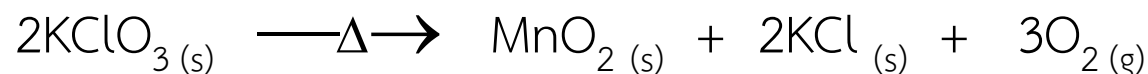
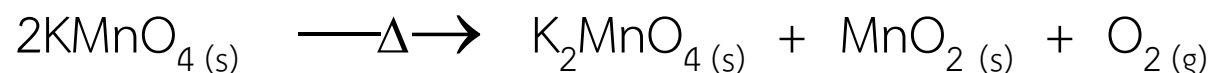
- คลอไรด์ของธาตุหมู่ 3A, BCl<sub>3</sub> เป็นแก๊สและเป็นสารประกอบโคเวเลนต์ แต่ AlCl<sub>3</sub> เป็นของแข็งและเป็นสารประกอบไอออนิก
- คลอไรด์ของธาตุหมู่ 6A, Cl<sub>2</sub>O เป็นแก๊ส แต่ SCl<sub>2</sub> เป็นของเหลว เพราะมวลมากขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจึงมากขึ้น
- คลอไรด์ของธาตุหมู่ 7A เป็นแก๊สทั้งหมด
- จุดหลอมเหลวจะลดลงจากซ้ายไปขวา เนื่องจากคลอไรด์ของโลหะเป็นสารประกอบไอออนิก จึงมีจุดหลอมเหลวสูงมาก ส่วนคลอไรด์ของอโลหะเป็นสารประกอบโคเวเลนต์จึงมีจุดหลอมเหลวต่ำลง

# สารประกอบออกไซด์ (Oxide compounds)

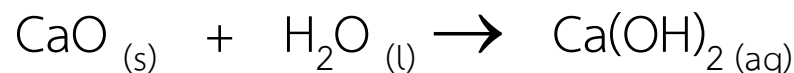
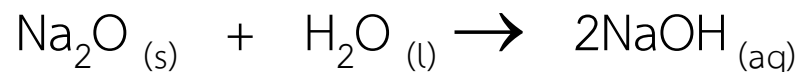
“สารประกอบของธาตุหนึ่งๆ กับธาตุออกซิเจนในรูปของไอออนที่มีประจุ  $-2$  ( $O^{2-}$ )”

- เตรียมได้โดยการทำปฏิกิริยาโดยตรงของธาตุที่เผาให้ร้อนจัด ในบรรยากาศของ  $O_{2(g)}$

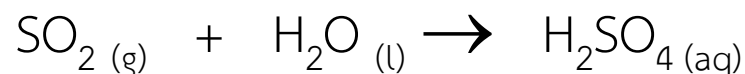
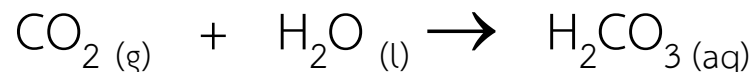
- การเตรียมแก๊สออกซิเจน



- ธาตุโลหะหมู่ 1A และ 2A เกิดสารประกอบออกไซด์ที่มีสมบัติเป็นเบส เมื่อละลายน้ำ



- ธาตุอโลหะหมู่ 3A - 7A เกิดสารประกอบออกไซด์ที่มีสมบัติเป็นกรด เมื่อละลายน้ำ

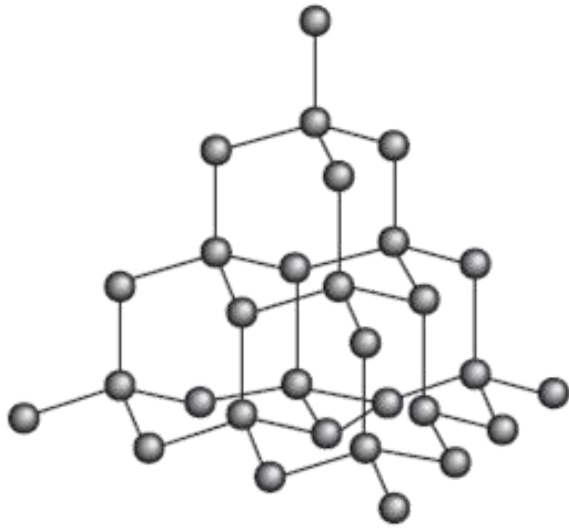


- ออกไซด์ของโลหะบางชนิด มีสมบัติของละลายที่เป็นกลาง เช่น  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  และ  $\text{NO}$
- ออกไซด์ของ Be ( $\text{BeO}$ ) และ Al ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) มีสมบัติเป็นได้ทั้งกรดและเบส
- สารประกอบออกไซด์ของธาตุหมู่ 3A – 7A มีจุดหลอมเหลวต่ำ ส่วนมากจึงเป็นของเหลวหรือแก๊ส ยกเว้น  $\text{N}_2\text{O}_5$  และ  $\text{P}_4\text{O}_{10}$  เป็นของแข็ง
- สารประกอบออกไซด์ของธาตุหมู่ 1A และ 2A มีจุดหลอมเหลวสูงมาก และเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

# สูตรของสารประกอบของธาตุหมู่ต่างๆ

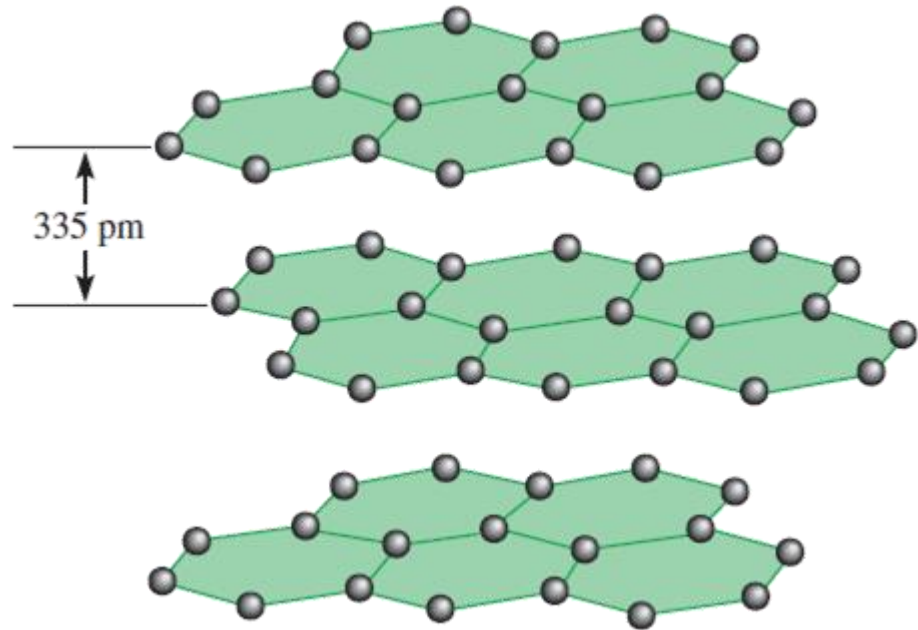
| ธาตุหมู่ (X) | สูตรของสารประกอบ                                         |                                                                                                                                  |                                                                |
|--------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|              | คลอไรด์                                                  | ออกไซด์                                                                                                                          | ซัลไฟด์                                                        |
| 1A และ 7A    | XCl                                                      | X <sub>2</sub> O                                                                                                                 | X <sub>2</sub> S                                               |
| 2A           | XCl <sub>2</sub>                                         | XO                                                                                                                               | XS                                                             |
| 3A           | XCl <sub>3</sub>                                         | X <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                                                                    | X <sub>2</sub> S                                               |
| 4A           | XCl <sub>4</sub>                                         | XO <sub>2</sub>                                                                                                                  | XS <sub>2</sub>                                                |
| 6A           | XCl <sub>2</sub>                                         | XO <sub>2</sub>                                                                                                                  | XS                                                             |
| 5A           | NCl <sub>3</sub><br>PCl <sub>3</sub><br>PCl <sub>5</sub> | N <sub>x</sub> O <sub>y</sub><br>P <sub>4</sub> O <sub>10</sub><br>P <sub>4</sub> O <sub>6</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | N <sub>2</sub> S <sub>5</sub><br>P <sub>2</sub> S <sub>5</sub> |

# โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอน



เพชร

- $sp^3$ -C
- เป็นโครงข่ายสามมิติ
- เป็นธาตุที่มีความแข็งที่สุด
- จุดหลอมเหลว  $3550^\circ\text{C}$
- เป็นฉนวนไฟฟ้า



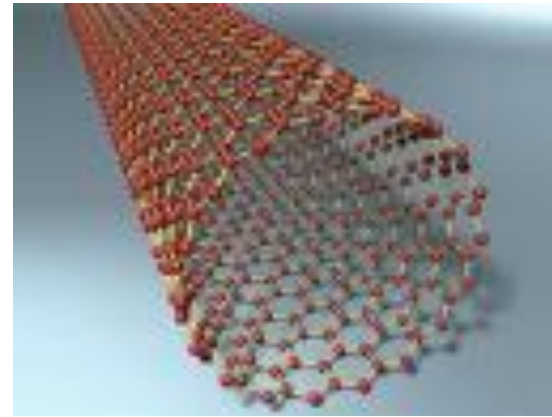
แกรไฟต์

- $sp^2$ -C
- $2p$  ที่เหลือใช้สร้างพันธะไพ
- นำไฟฟ้าได้เฉพาะในทิศทางตามแนวระนาบของ C
- ระหว่างชั้นยึดด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ที่อ่อน
- สารหล่อลื่น ไส้ดินสอ ผ้าหมึก



### ฟูลเลอร์รีน (Fullerenes)

- โมเลกุลโควาเลนต์
- 1 โมเลกุล ประกอบด้วย C 60 อะตอม ( $C_{60}$ ) เรียกว่า Bulkyball
- โมเลกุลยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงระหว่างโมเลกุลอ่อนๆ
- อุณหภูมิการระเหิด 450-500 °C

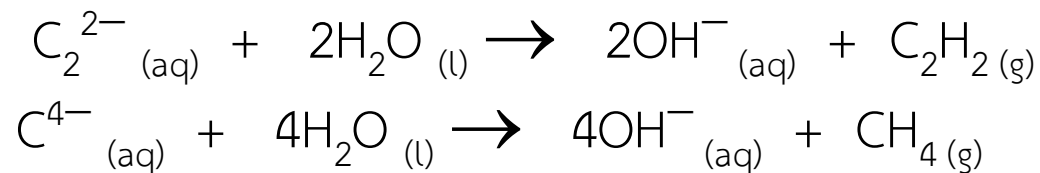


### Carbon nanotube (CNT)

- C จัดเรียงตัวเป็นแผ่น โดยเชื่อมกันเป็นตาข่าย ที่มีรูรูปหกเหลี่ยม แต่มีลักษณะม้วนเข้าหากันเป็นท่อ
- มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา และมีความยืดหยุ่น

- คาร์บอนสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะเกิดเป็นสารประกอบ “คาไบด์ (carbide,  $C_2^{2-}$  หรือ  $C^{4-}$ )” เช่น  $CaC_2$ ,  $SiC$  และ  $BeC_2$

- ไอออนลบคาไบด์เป็นเบสที่แรง สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำให้ไอออนไฮดรอกไซด์



- สารประกอบของคาร์บอน

$CO$  เป็นแก๊สไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีฤทธิ์เป็นกลาง เกิดจากปฏิกิริยาเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

$CO_2$  เป็นแก๊สที่ใช้มากในอุตสาหกรรมน้ำอัดลม สารดับเพลิง และอุตสาหกรรมการผลิต

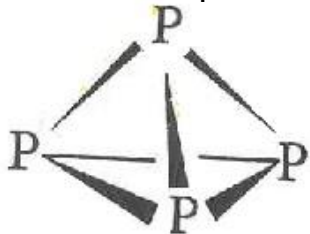
ผงฟู ( $NaHCO_3$ ) และโซดาไฟ ( $Na_2CO_3$ )

$CO_2 (g)$  น้ำแข็งแห้ง ใช้ในเครื่องทำความเย็น และการทำฝนเทียม

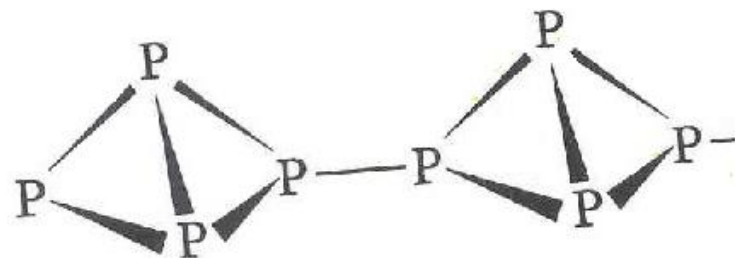
- สารประกอบออกไซด์ของธาตุหมู่ 1A และ 2A มีจุดหลอมเหลวสูงมาก และเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

# โครงสร้างโมเลกุลของฟอสฟอรัส

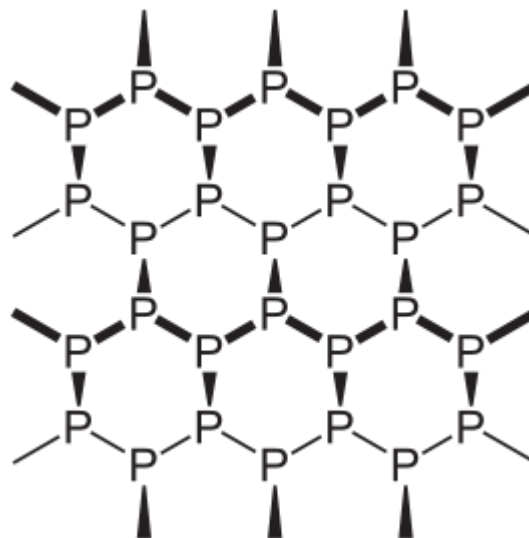
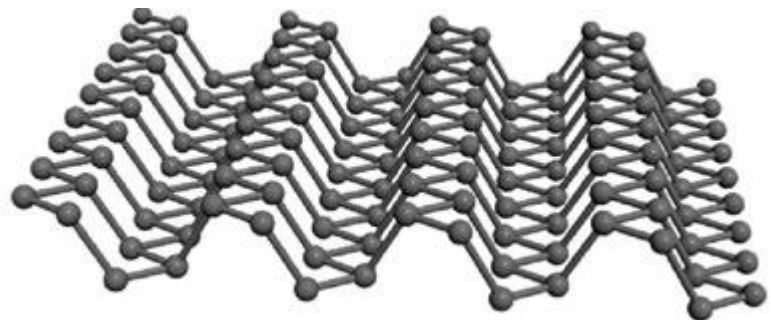
White phosphorus ( $P_4$ )



Red phosphorus  $\{(P_4)_n\}$

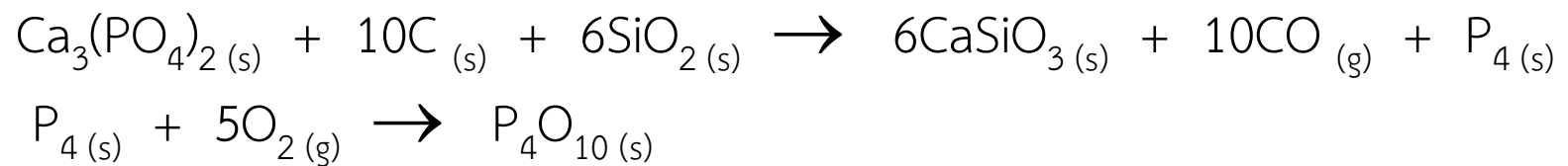


Black phosphorus



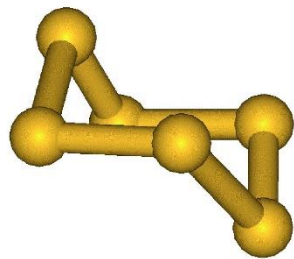
- แหล่งของฟอสฟอรัสในธรรมชาติ คือ หินฟอสเฟต (phosphate rock) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมฟอสเฟต  $\{Ca_3(PO_4)_2\}$  และ ฟลูออโรพาไทต์  $\{Ca_5(PO_4)_3F\}$  ซึ่งเมื่อถูกกรดจะให้ฟอสฟอรัสในรูปของ “ฟอสฟอรัสขาว (white phosphorus,  $P_4$ )” ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral)

- $P_4$  ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยามาก สามารถติดไฟได้เองในอากาศอย่างรวดเร็วเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์

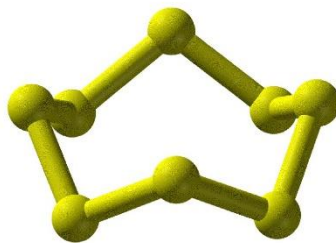


- เมื่อฟอสฟอรัสขาวได้รับความร้อนเกินกว่า  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  ในระบบปิด โครงสร้างจะเปลี่ยนเป็น “ฟอสฟอรัสแดง  $\{red\ phosphorus, (P_4)_n\}$ ”
- ฟอสฟอรัสที่เสถียรที่สุดคือ “ฟอสฟอรัสดำ (black phosphorus)” มีลักษณะและสมบัติทางกายภาพคล้ายแกรไฟต์ และไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา
- สารประกอบที่สำคัญของฟอสฟอรัสคือ  $P_4O_6$  และ  $P_4O_{10}$  ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด ใช้ดูดความชื้นในแก๊ส และกำจัดน้ำในตัวทำละลาย  $P_4O_{10}(s) + 6H_2O(l) \rightarrow 4H_3PO_4(aq)$

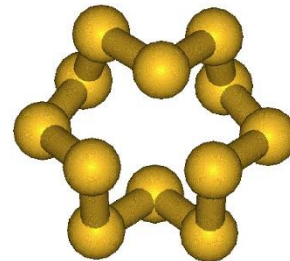
# โครงสร้างโมเลกุลของกำมะถัน



$S_6$



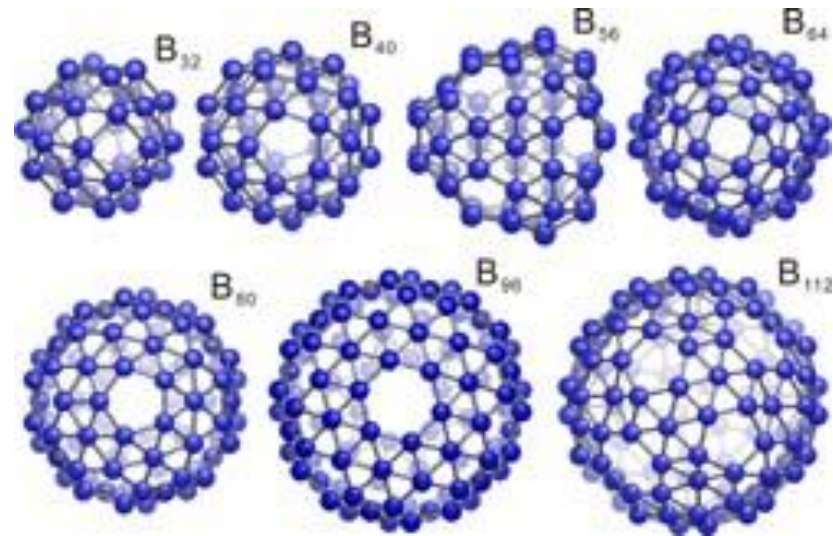
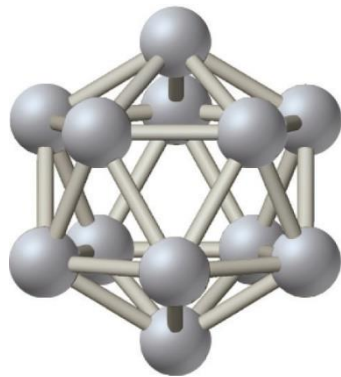
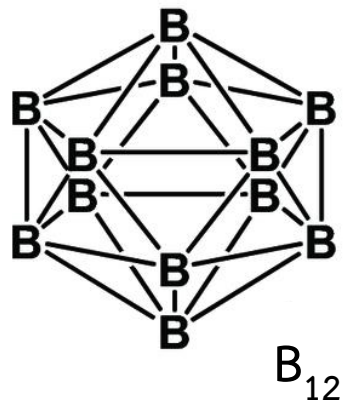
$S_8$  (เสถียรที่สุด)



$S_{12}$

- กำมะถันเป็นธาตุที่มีไม่มากในเปลือกโลก แต่ปรากฏในรูปของธาตุอิสระค่อนข้างมาก
- สารประกอบของกำมะถันได้แก่ ยิปซัม ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) และแร่ซัลไฟด์อื่นๆ เช่น ไพไรต์ (pyrite,  $\text{FeS}_2$ )
- กำมะถันมีเลขออกซิเดชันหลายค่า ได้แก่ -2 ( $\text{H}_2\text{S}$ ), 0 ( $\text{S}_8$ ), +1 ( $\text{S}_2\text{Cl}_2$ ), +2 ( $\text{SCl}_2$ ), +4 ( $\text{SO}_2$ ) และ +6 ( $\text{SO}_3$ )
- กำมะถันหลอมเหลวที่จุดหลอมเหลวจะมีสีเหลือง

# โครงสร้างโมเลกุลของโบรอน



- โบรอนตามธรรมชาติจะไม่ปรากฏในรูปของธาตุอิสระ แต่จะอยู่ในรูปของ “บอแรกซ์ (borax)” คือสารประกอบ  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  ซึ่งเมื่อถูกทำให้เป็นกรด จะเกิดเป็น “กรดบอริก (boric acid,  $\text{B}(\text{OH})_3$  หรือ  $\text{H}_3\text{BO}_3$ )” และหากให้ความร้อนต่อไป จะเกิดการสูญเสียน้ำและเกิดเป็น “บอริกออกไซด์ (boric oxide,  $\text{B}_2\text{O}_3$ )”
- ผลึกมีหลายอัญรูป (allotrope) แต่ทุกอัญรูปประกอบด้วยหน่วยย่อยทรงเหลี่ยมยี่สิบหน้า (icosahedral) ของ  $\text{B}_{12}$
- โบรอนสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะที่อุณหภูมิสูง เกิดเป็น “สารประกอบโบไรด์ (boride)”