

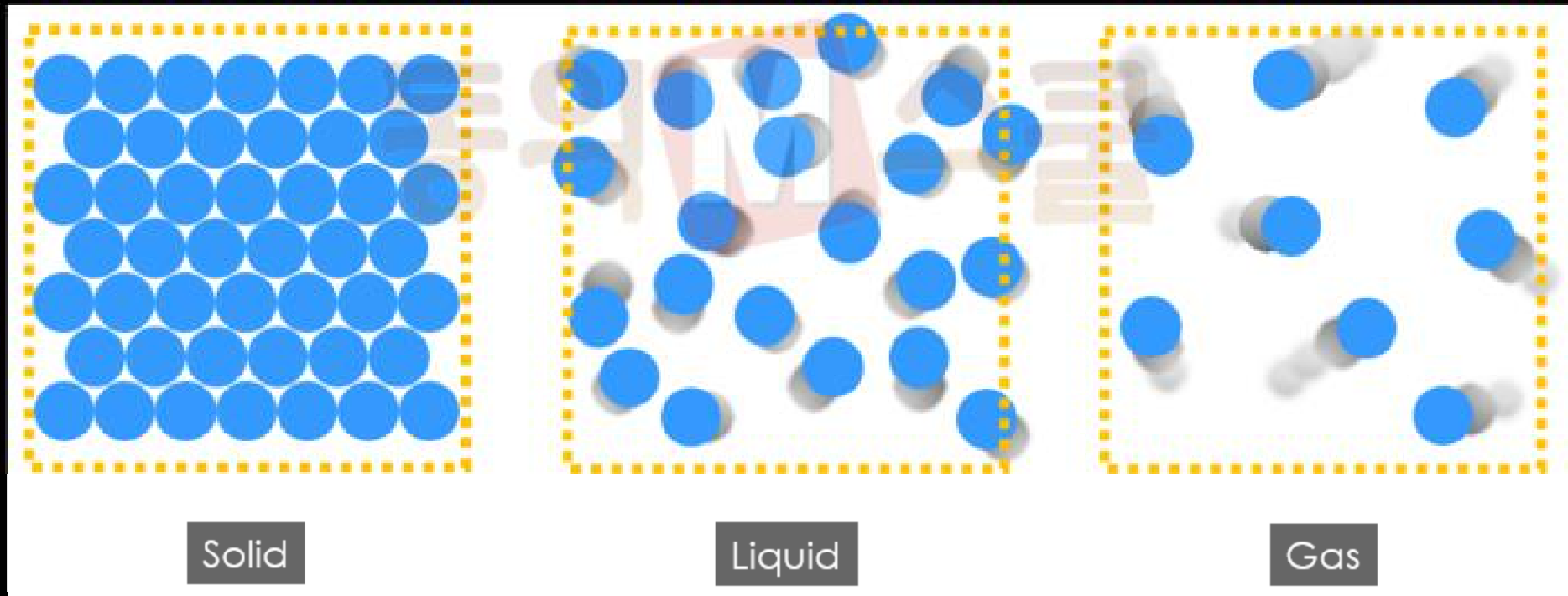
[2026 안병천 고체화학]

	S	O	L	I	D	
			T	I	M	E



고체

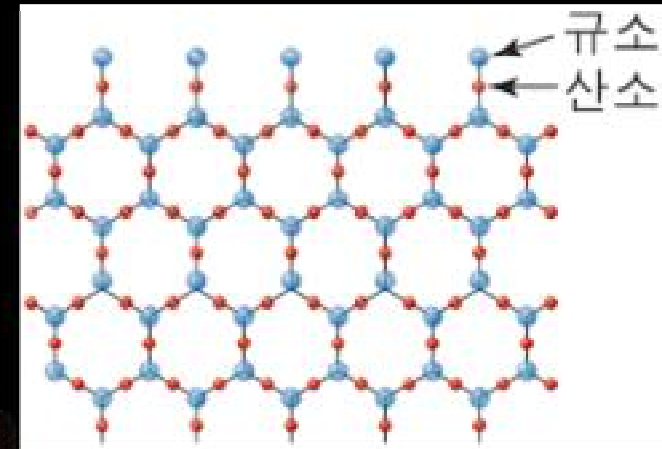
(1) 물질의 3가지 상(태)



(2) 결정성 고체와 비결정성 고체

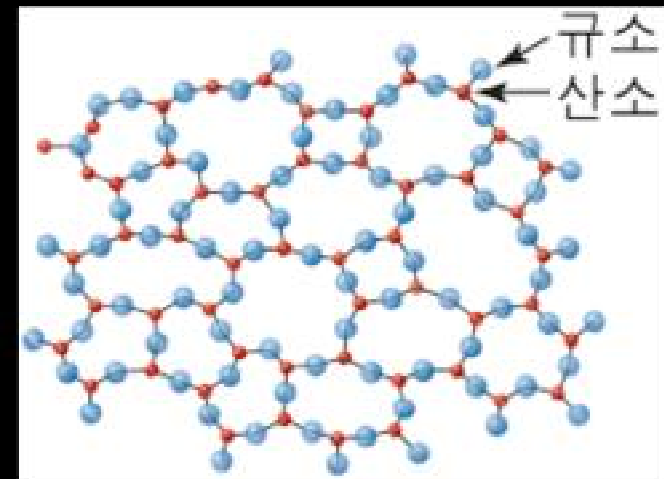
① 결정성 고체

- 정의 : 구성 입자의 배열이 규칙적임.
- 성질 : 입자 사이의 인력이 균일하여 결합을 끊는 데 필요한 에너지가 일정하고 녹는점이 일정함.
- 예 : NaCl, 석영, 금, 은, 구리, 다이아몬드, 드라이아이스, 얼음 등



② 비결정성 고체

- 정의 : 구성 입자의 배열이 불규칙적임.
- 성질 : 입자 사이의 인력이 일정하지 않고 녹는점이 일정하지 않음.
- 예 : 유리, 플라스틱, 고무 등



(3) 격자의 종류(Bravais lattice : 14가지)

Cubic(입방정계)

$$a = b = c$$
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Tetragonal(평방정계)

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Hexagonal(육방정계)

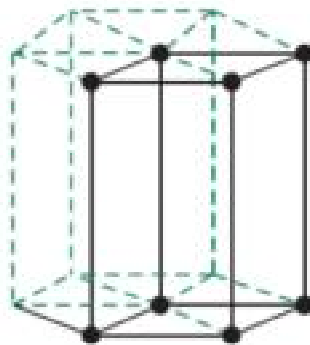
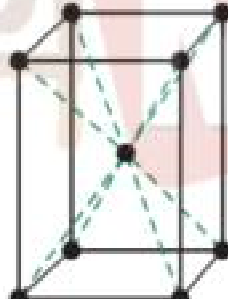
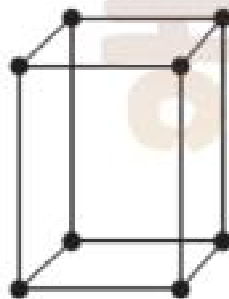
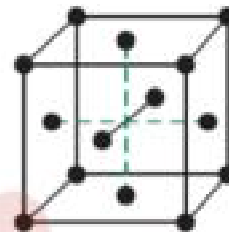
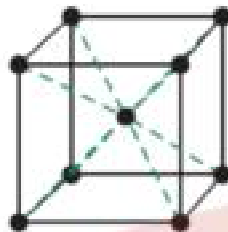
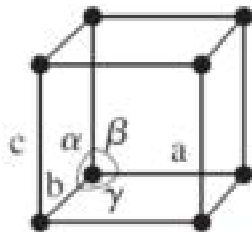
$$\begin{aligned} a &= b \neq c \\ \alpha &= \beta = 90^\circ \\ \gamma &= 120^\circ \end{aligned}$$

원시

제 3 장

면심

단심



격자(lattice)

결정(crystal)

미시적(수학적 체계)

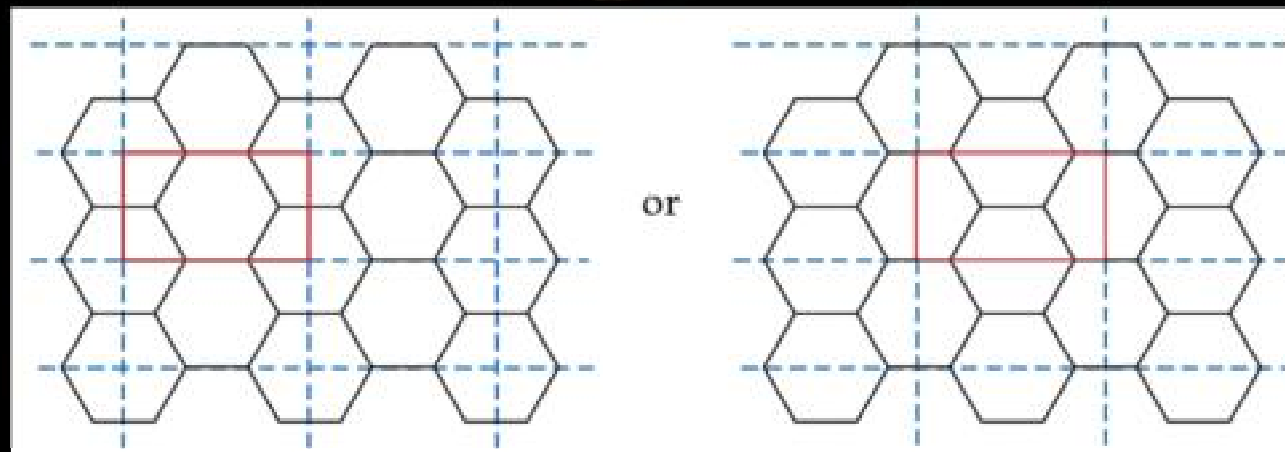
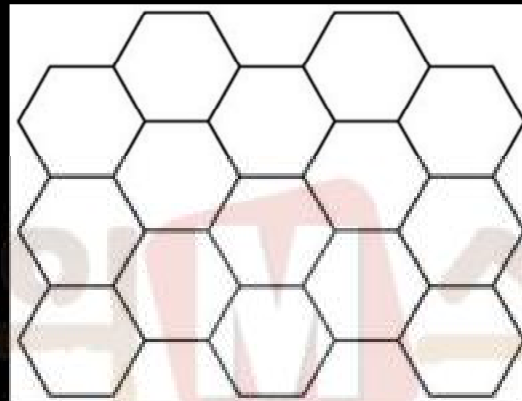
거시적

14가지(점과 선 구성)

다양함

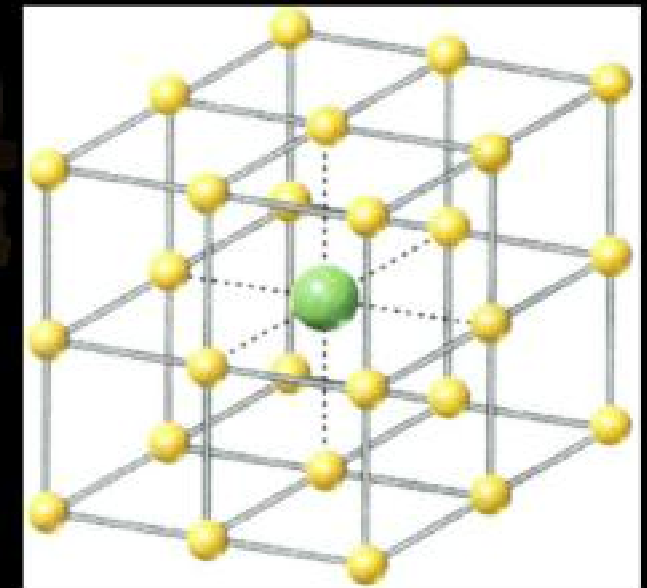
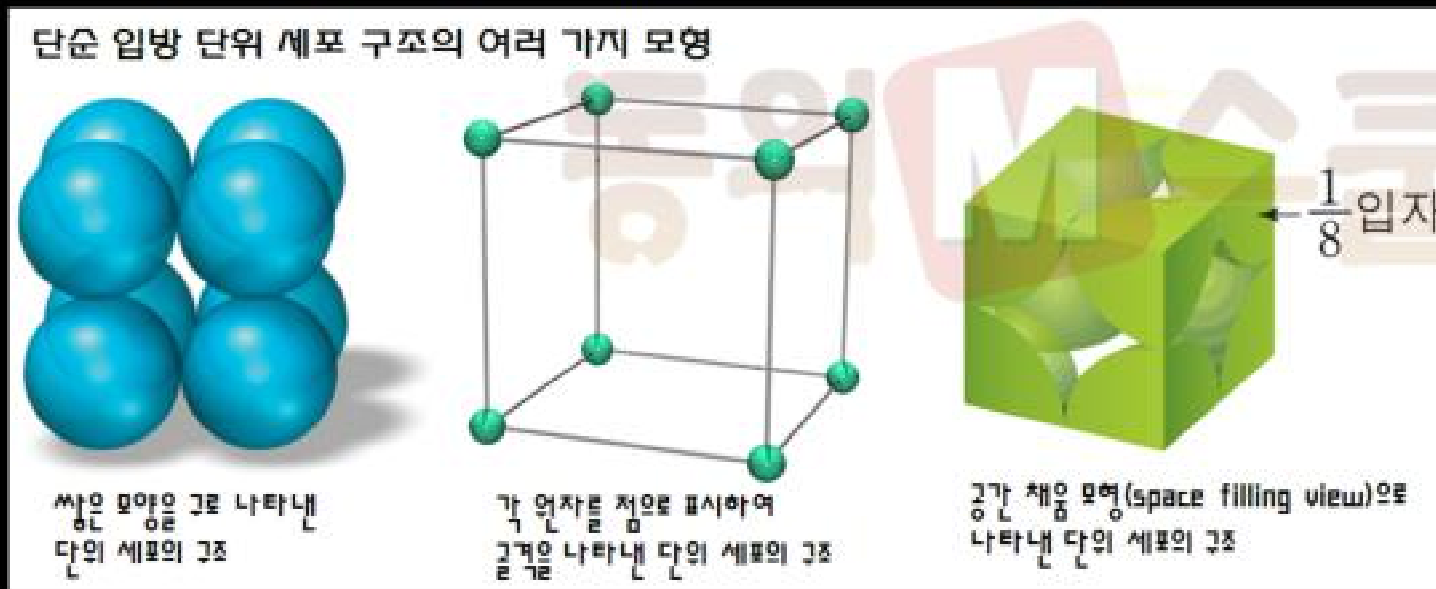
다의 세포는 실서 부부이지만
오바저계 프리즈 저체로 나타내어 다.

(4) 단위 세포(unit cell, 격자의 최소 반복 단위) 확인



(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

① 단순 입방 구조(primitive cubic structure, pc 또는 sc)



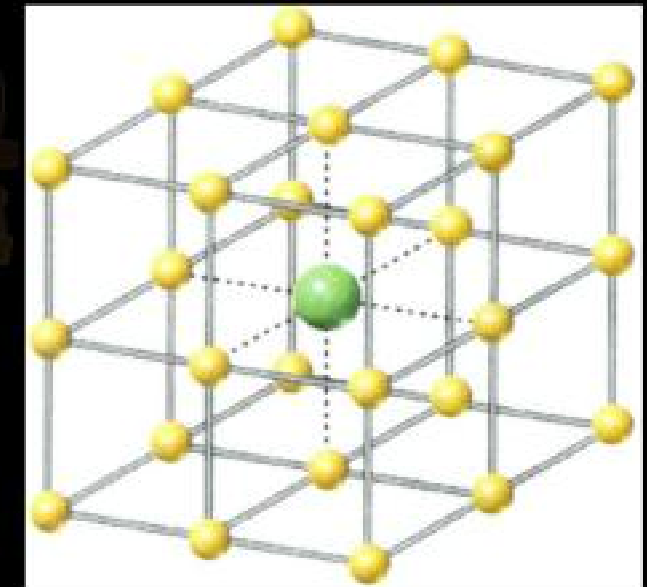
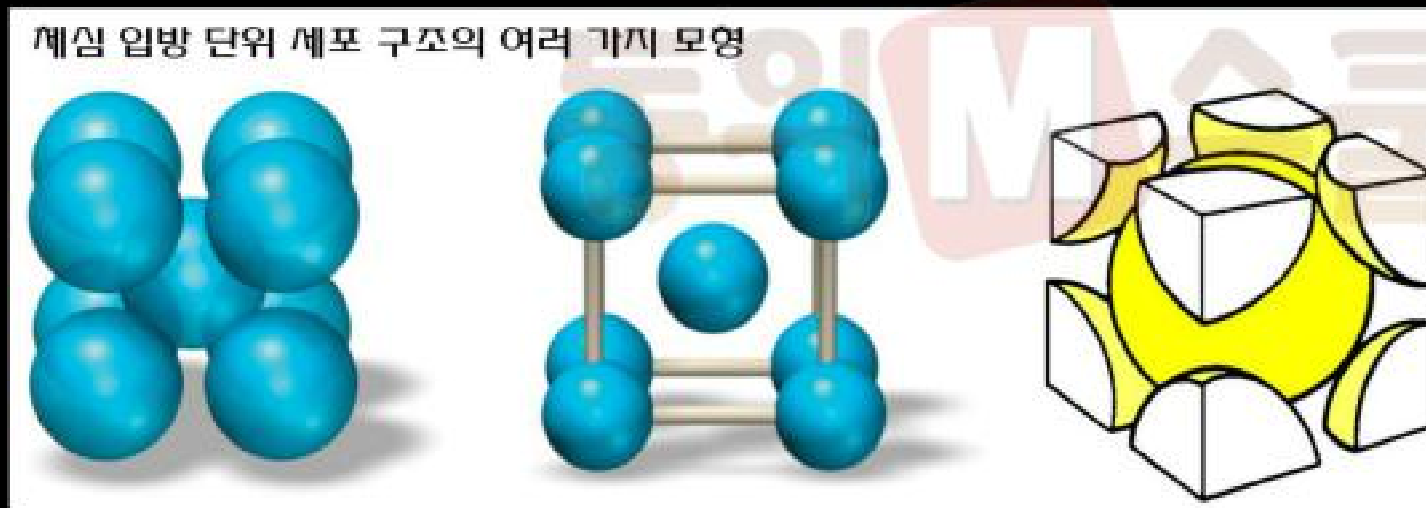
<격자점의 수>

$$N = N_{\text{체심}} + \frac{N_{\text{면심}}}{2} + \frac{N_{\text{모서리}}}{4} + \frac{N_{\text{꼭지점}}}{8}$$

<배위수>

(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

② 체심 입방 구조(body centered cubic structure, bcc)



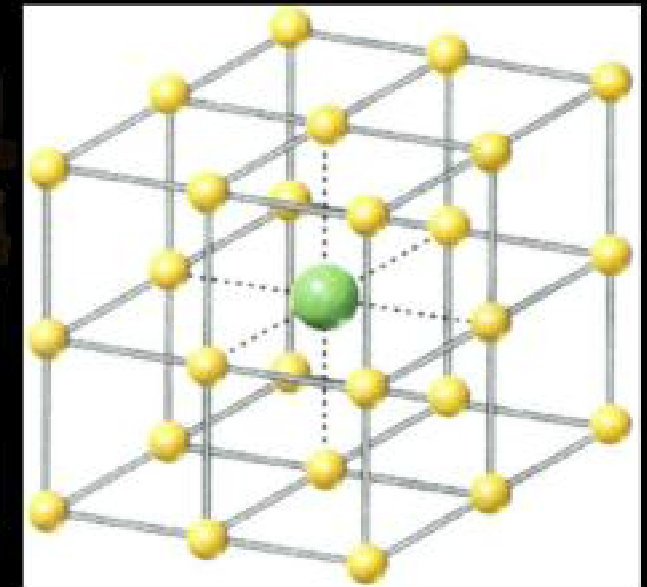
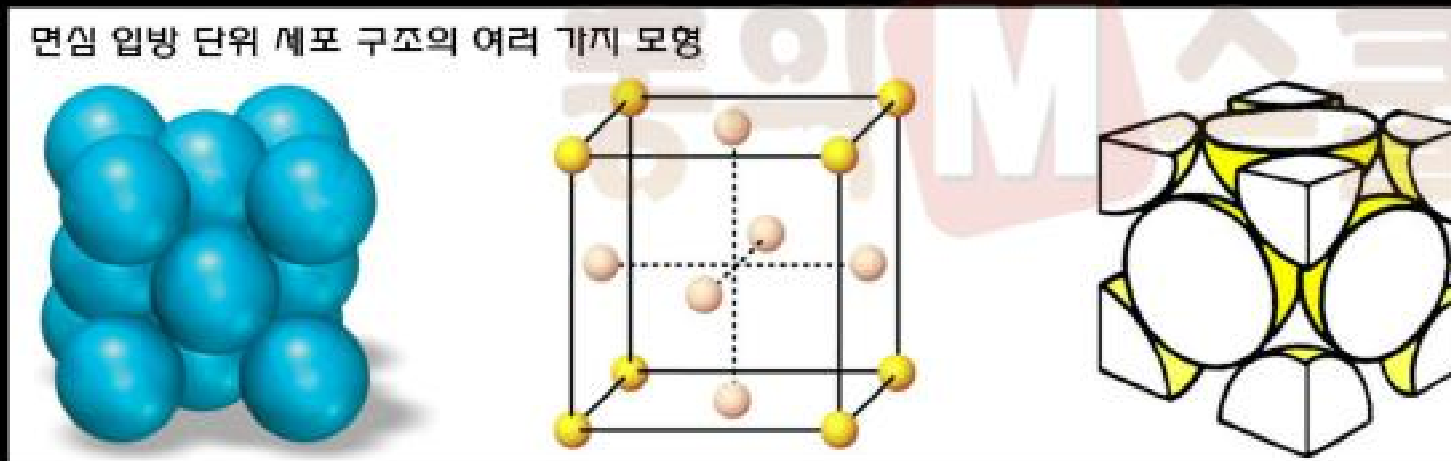
<격자점의 수>

$$N = N_{\text{체심}} + \frac{N_{\text{면심}}}{2} + \frac{N_{\text{모서리}}}{4} + \frac{N_{\text{꼭지점}}}{8}$$

<배위수>

(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

③ 면심 입방 구조(face centered cubic structure, fcc)



<격자점의 수>

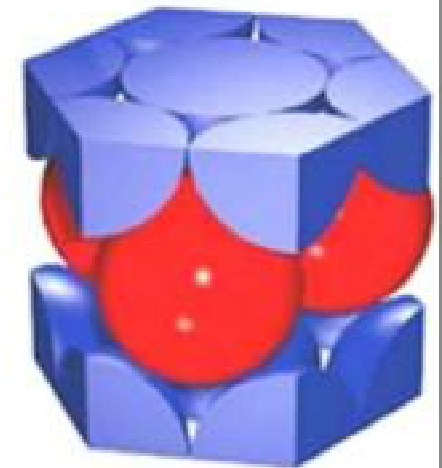
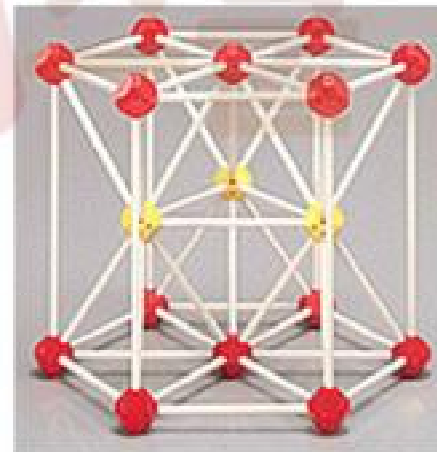
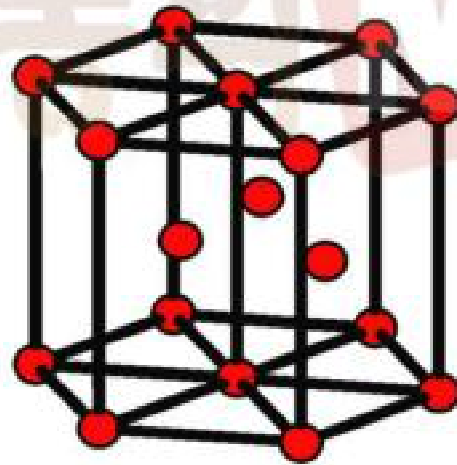
$$N = N_{\text{체심}} + \frac{N_{\text{면심}}}{2} + \frac{N_{\text{모서리}}}{4} + \frac{N_{\text{꼭지점}}}{8}$$

<배위수>

(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

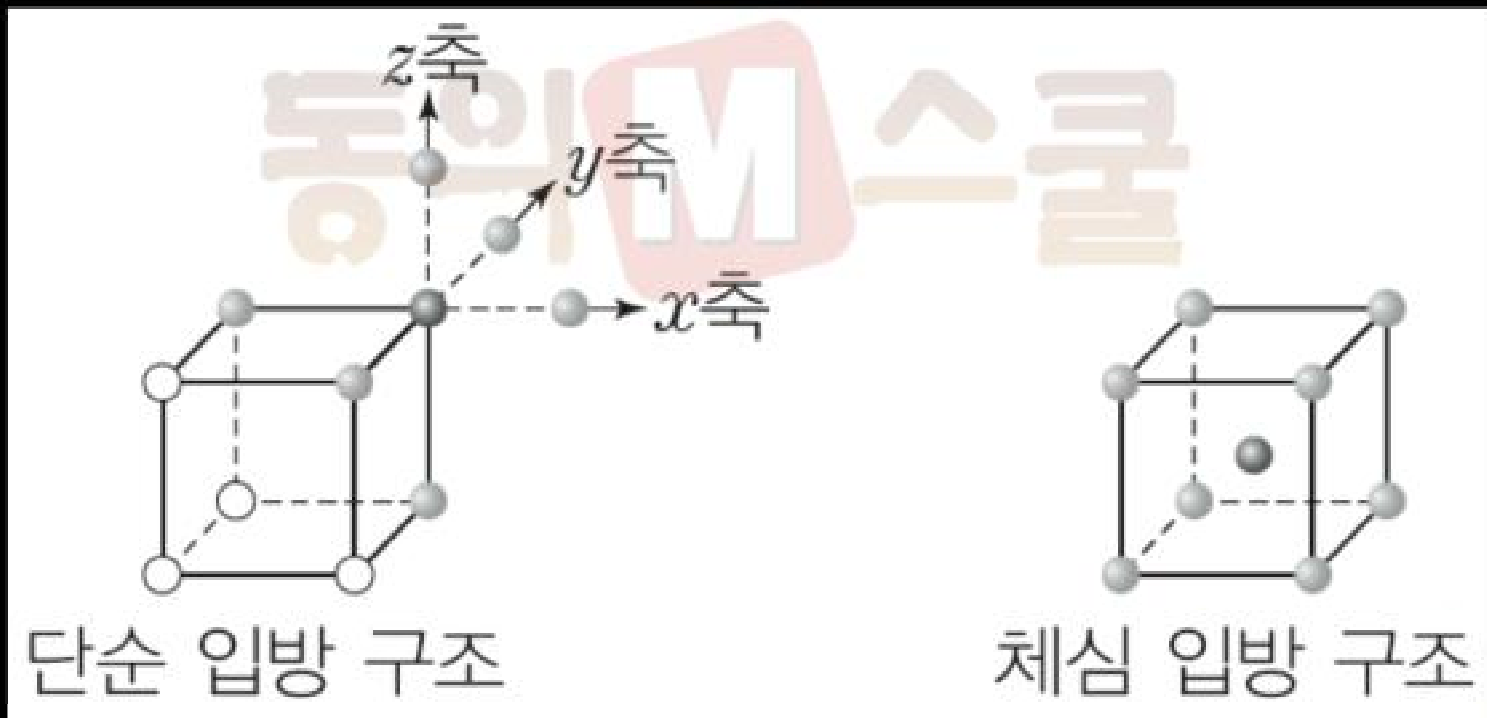
④ 육방 조밀 쌓음 구조(hexagonal close packed structure, hcp)

육방 밀집 구조의 여러 가지 모형



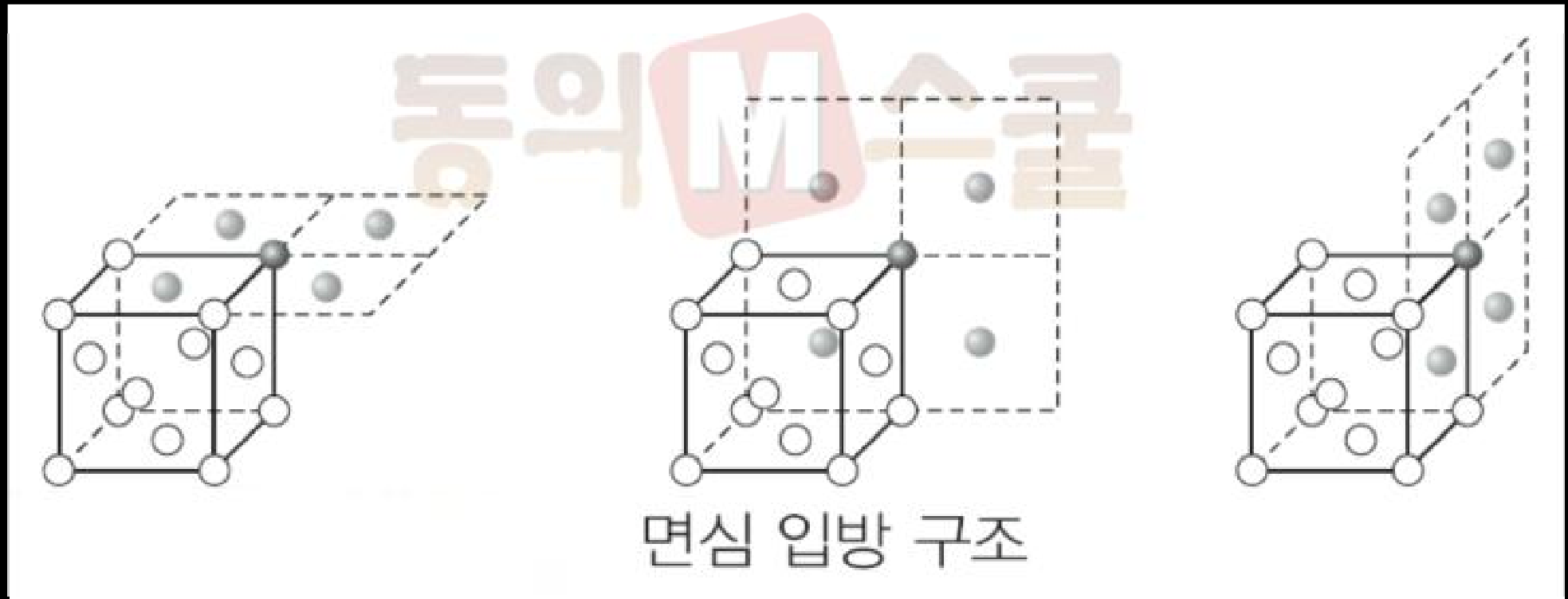
(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

⑤ 입방 격자(결정) 구조의 배위수 결정



(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

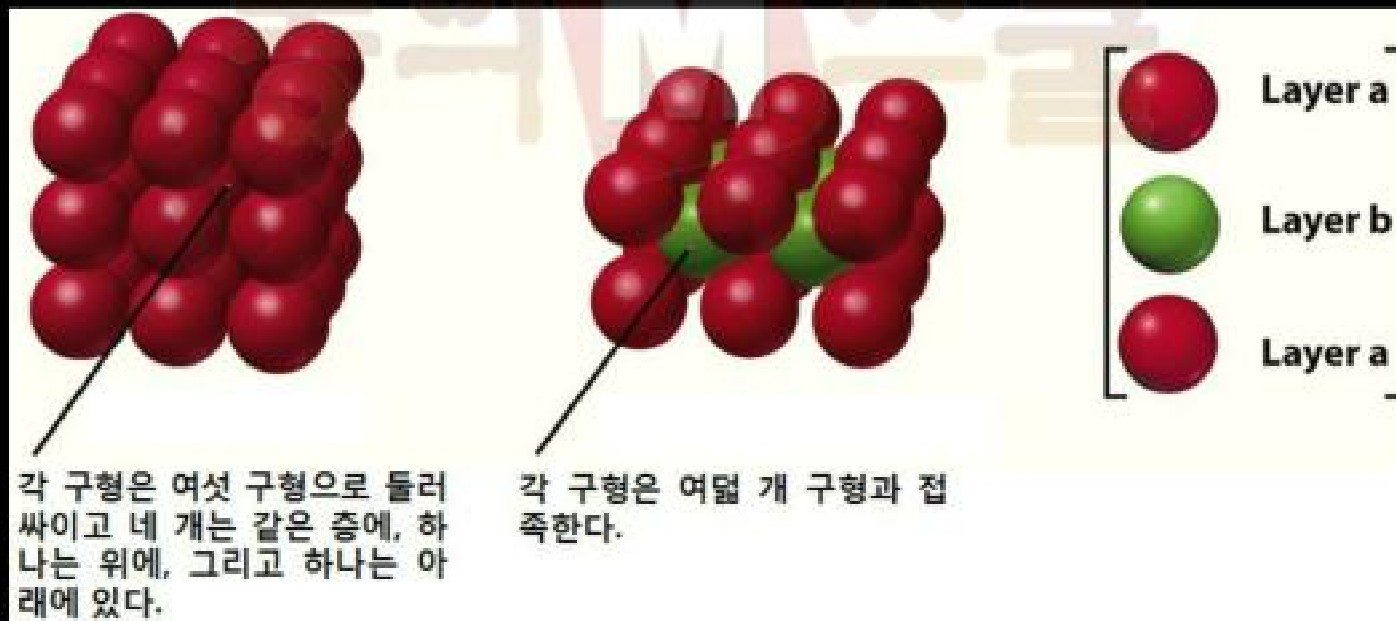
⑤ 입방 격자(결정) 구조의 배위수 결정



(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

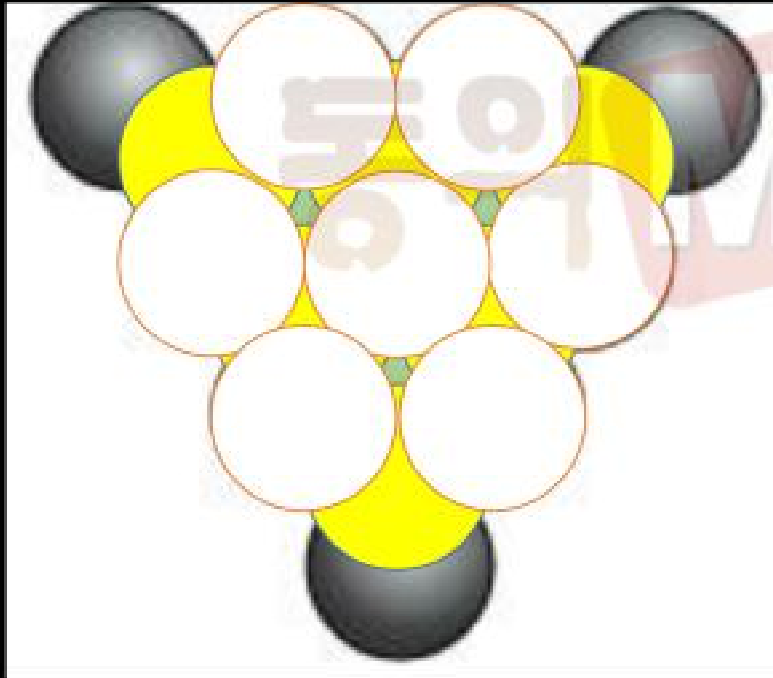
⑥ 쌓음 구조와 조밀 쌓음 구조(배열 방식)

<단순입방구조> <체심입방구조>

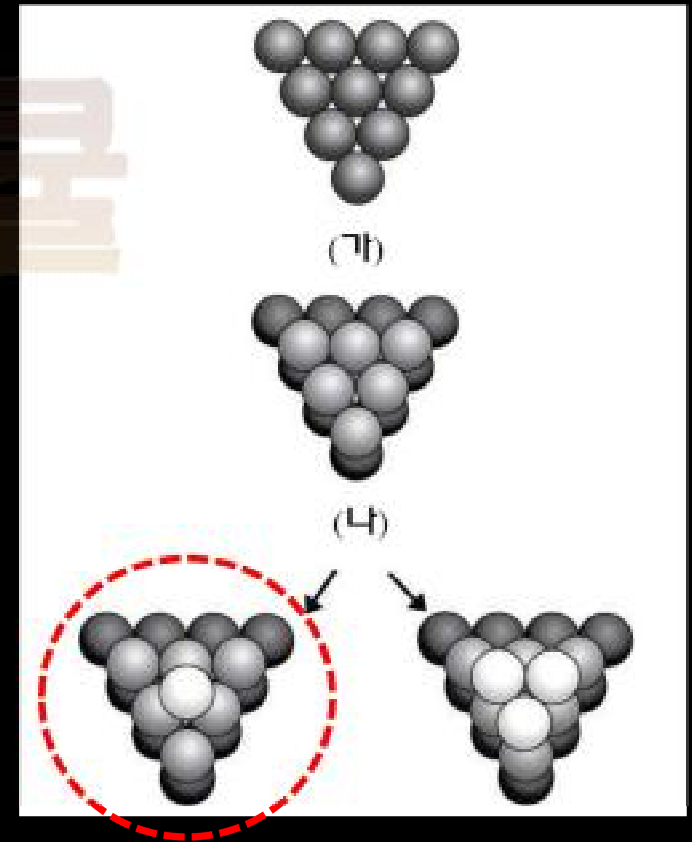


(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

⑥ 쌓임 구조 종류와 조밀 쌓임 구조(배열 방식)의 이해

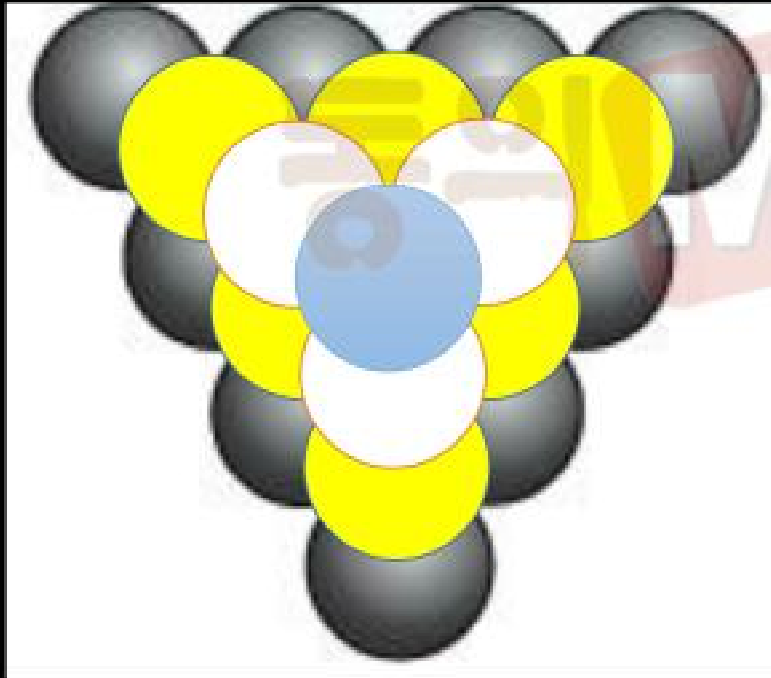


<육방 조밀 쌓임 구조 : AB 배열>

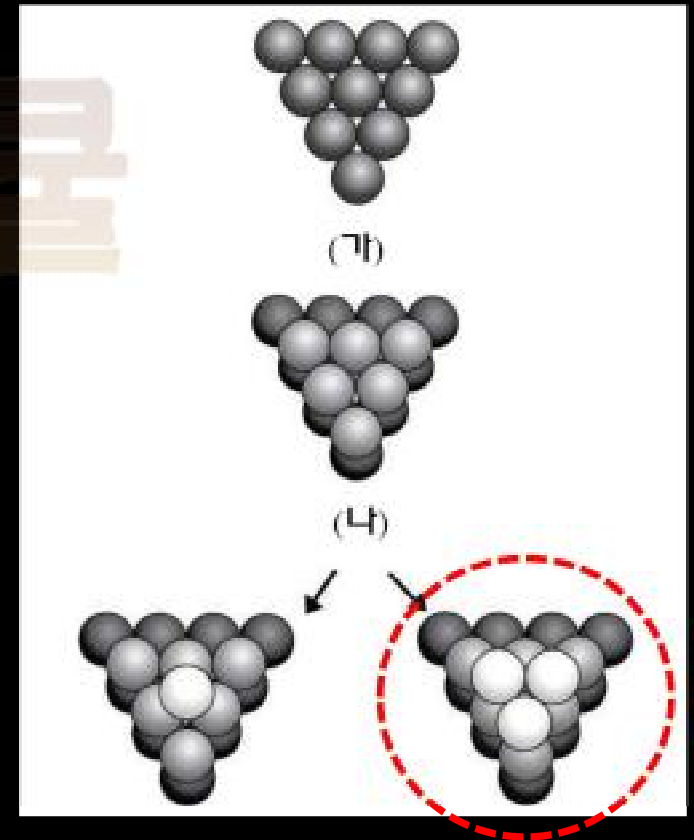


(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

⑥ 쌓임 구조 종류와 조밀 쌓임 구조(배열 방식)의 이해

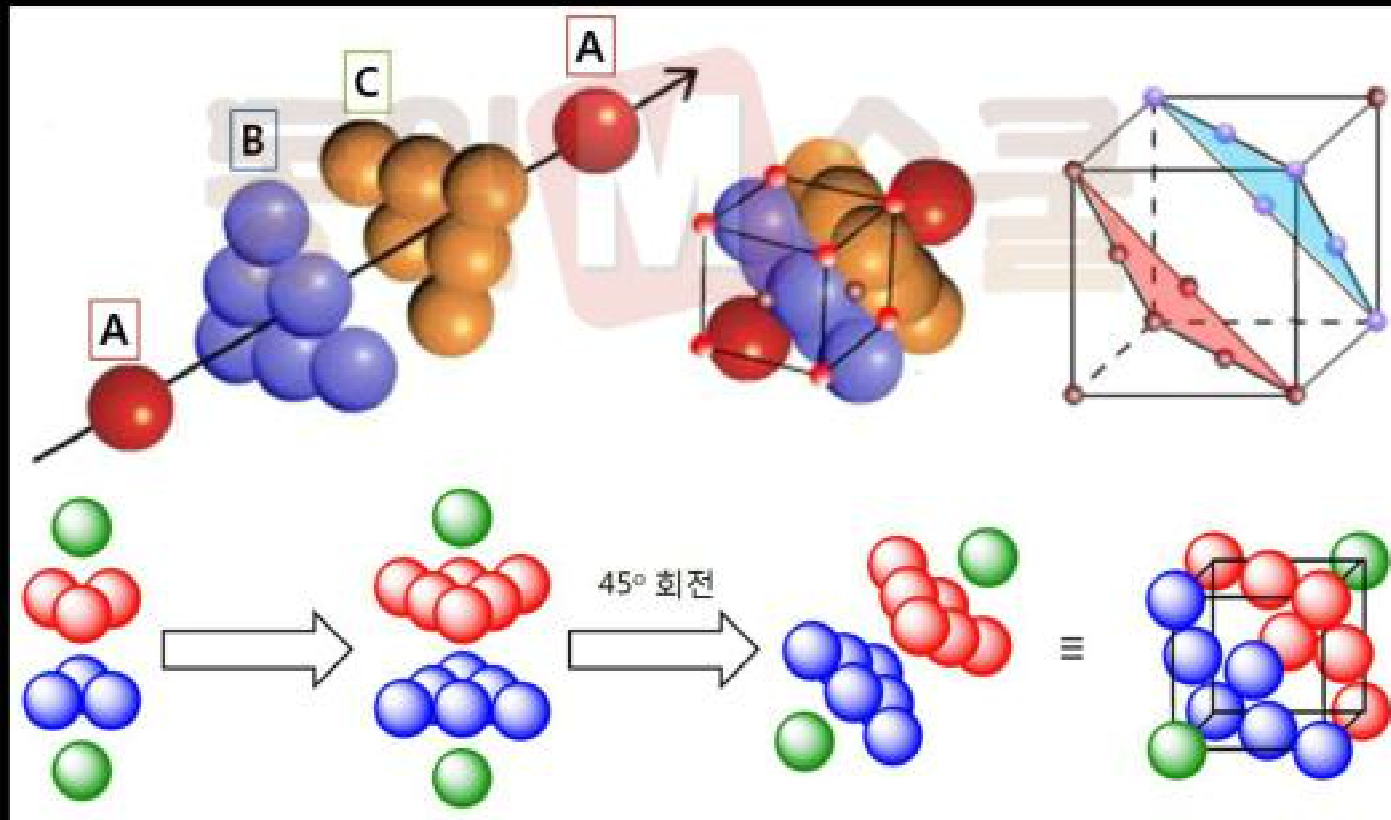


<입방 조밀 쌓임 구조 : ABC 배열>



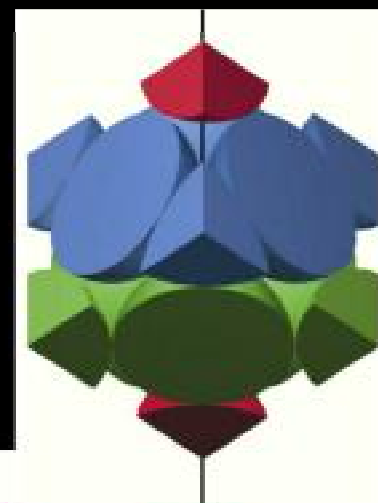
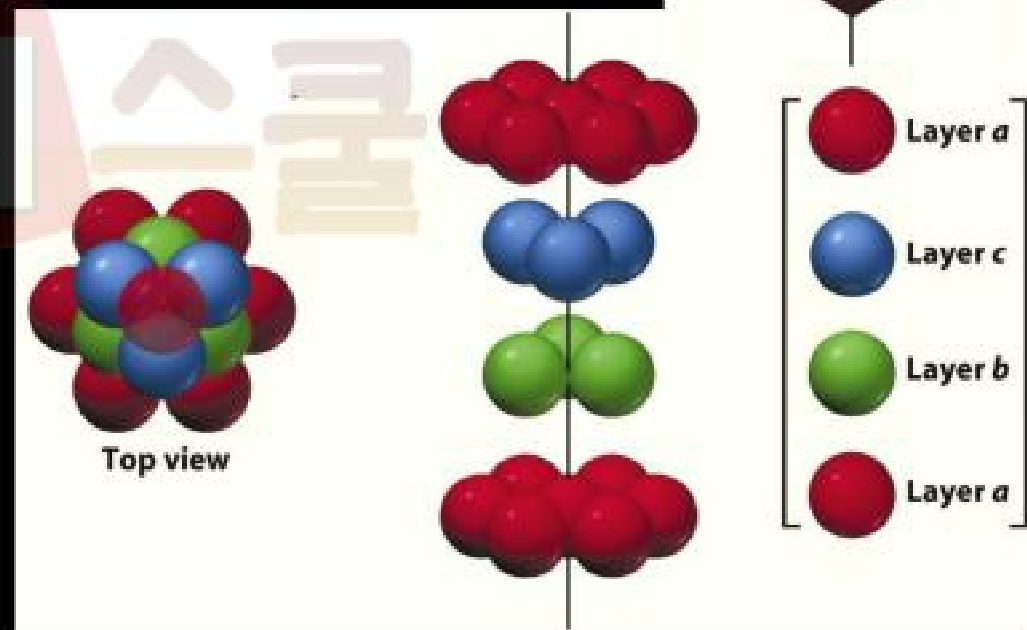
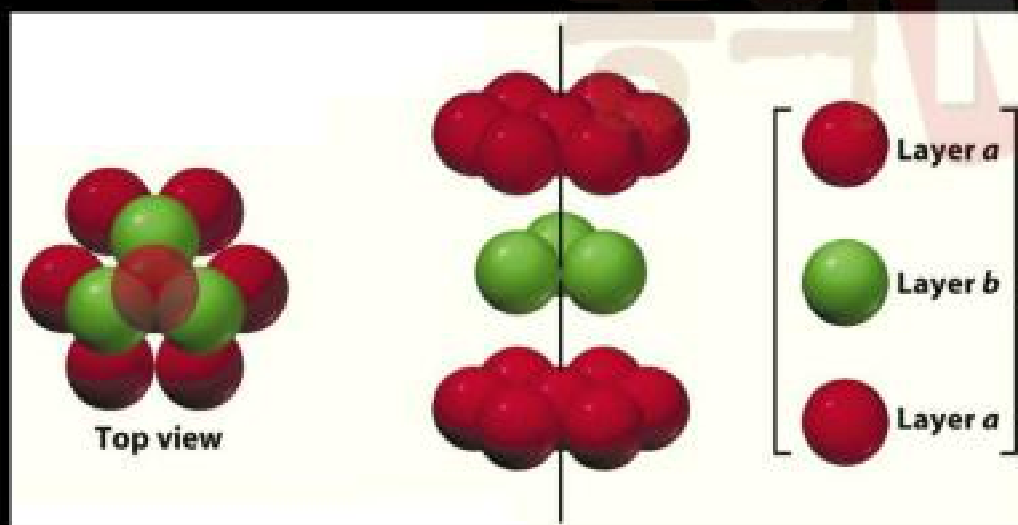
(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

⑦ 입방 조밀 쌓음 구조의 이해



(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

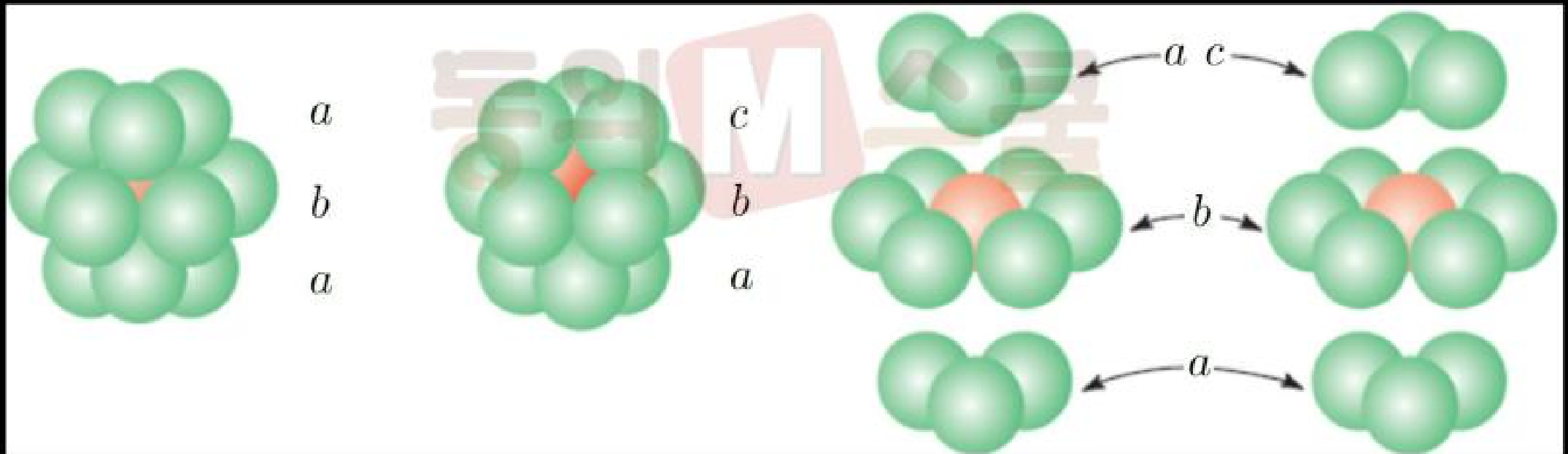
⑧ 조밀 쌓음 구조의 비교



<육방조밀쌓음구조 : AB 배열> <입방조밀쌓음구조 : ABC 배열>

(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

⑧ 조밀 쌓음 구조의 비교



<hcp 구조>

<ccp 구조>

(5) 대표적인 격자(결정)의 단위 세포 종류

⑧ 조밀 쌓음 구조의 비교

① 입방 조밀 쌓음 구조 (면심입방구조)

↕ 변환 = 최조밀 = 밀집 → abc 배열 방식

② 육방 조밀 쌓음 구조

→ ab 배열 방식

공간점유율 74%
배위수 12개

$\frac{1}{2} \times \frac{1}{3}$: 반날아가고
 $120^\circ (\frac{1}{3})$



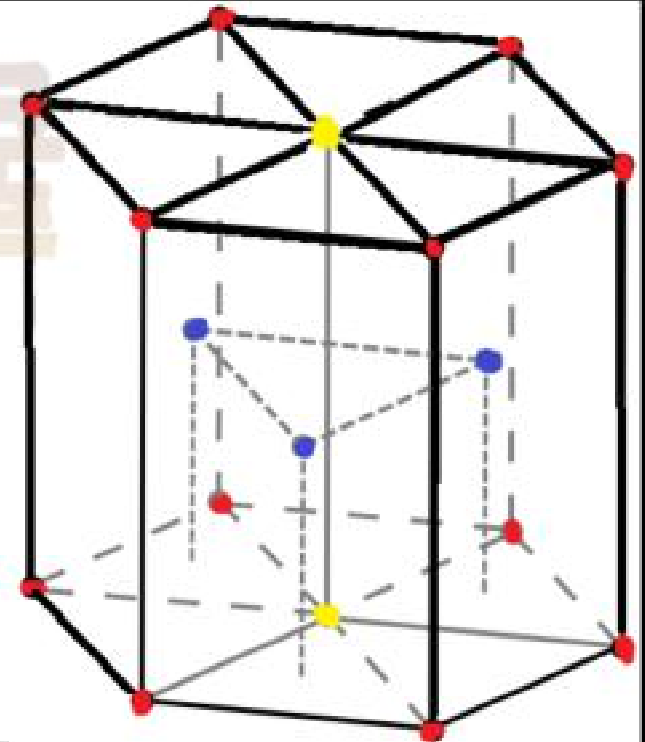
육방조밀
쌓음구조

◆ 격자점의 수 : $3 + \frac{1}{2} \times 2 + \frac{1}{6} \times 12$

◆ 배위수 : 12개

◆ 공간점유율 : 74%

◆ 배열방식 : ab 배열



(6) 입방 격자 구조 요약

금속의 구조	단순 입방 구조	체심 입방 구조	면심 입방 구조
공간 점유율(%) $\frac{(4/3)\pi r^3 \times N}{a^3} \times 100(\%)$	52	68	74
세포의 변(a)과 원자 반지름(r)	$r = \frac{a}{2}$	$r = \frac{\sqrt{3}a}{4}$	$r = \frac{\sqrt{2}a}{4}$
단위세포 당 원자수(N)	1	2	4
배위수	6	8	12
배열 방식	AA 배열	AB 배열	ABC 배열

(6) 입방 격자 구조 요약(단순 입방 구조)

① 격자점의 수 = $\frac{1}{8} \times 8 = 1$

↳ 단위세포 속에 존재하는 원자의 총수

② 구의 반지름(r) vs 격자상수(a)

$$2r = a$$

$$\therefore r = \frac{a}{2}$$

③ 배위수 = 6개

↳ 접한구의 총수(단위세포와 관계 X)

④ 공간점유율(%)

$$= \frac{\text{격자점의 수} \times \text{구의 부피}}{\text{단위세포의 부피}} \times 100$$

$$= \frac{1 \times \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3} \times 100$$

$$r = \frac{a}{2}$$

$$\approx 52\% \left(\frac{50}{3}\pi\% \right)$$

⑤ 공극률(%)

$$= 100 - \text{공간점유율}$$

$$\approx 48\%$$

⑥ 배열방식 = aa 배열방식

⑦ P₀만 준금속

- 단순입방구조

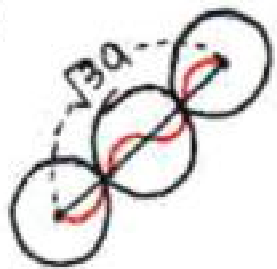
- ✓ 동일한 원소
- ✓ 동일한 크기 + 고체
- ✓ 중성 전하

- 금속 결정

(6) 입방 격자 구조 요약(체심 입방 구조)

① 격자점의 수 = $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$

②



$$4r = \sqrt{3}a$$

$$\therefore r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$$

④ 공간점유율

$$= \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi r^3}{a^3} \times 100$$

$$= 68\% \left(\frac{25\sqrt{3}}{2} \pi \% \right)$$

$$r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$$

⑥ 배열방식 = ab 배열방식

③ 배위수 = 8개

⑤ 공극률

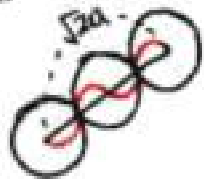
$$= 100 - 68$$

$$= 32\%$$

(6) 입방 격자 구조 요약(면심 입방 구조)

① 격자점의 수 = $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$

②



$$4r = \sqrt{2}a$$

$$\therefore r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$$

④ 공간 점유율

$$= \frac{4 \times \frac{4}{3} \pi r^3}{a^3} \times 100$$

$$= 74\% \left(\frac{50\sqrt{2}}{3} \pi \% \right)$$

$$r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$$

⑥ 배열방식 = abc 배열방식

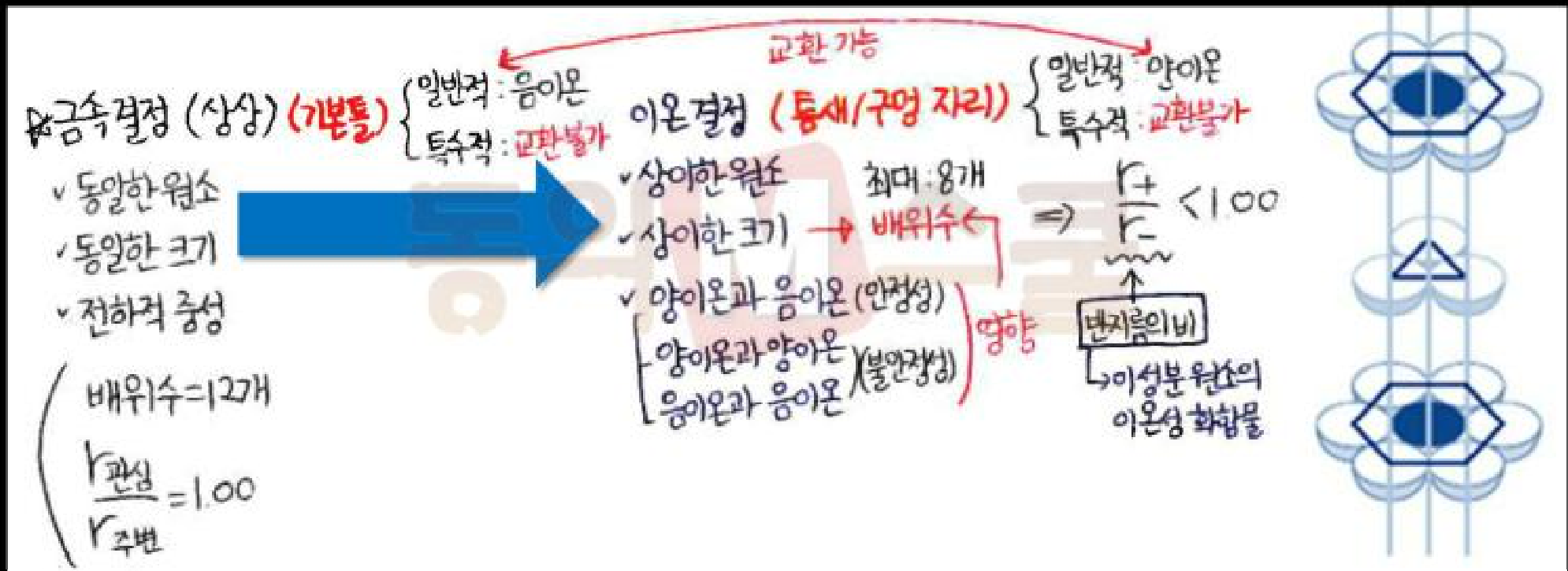
③ 배위수 = 12개

⑤ 공극률

$$= 100 - 74$$

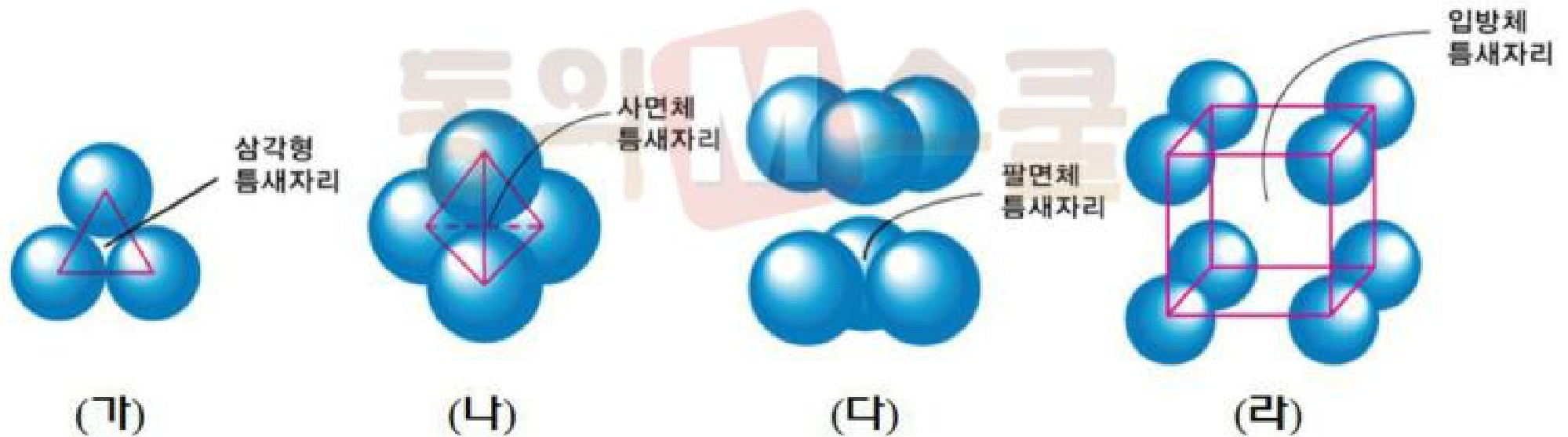
$$= 26\%$$

(7) 금속 결정 구조에서 이온 결정 구조 표현의 개념



(8) 틈새 자리

① 입자와 입자 사이에 다른 입자가 들어갈 수 있는 틈새 자리가 존재함.



(9) 이온 결정 구조에 따른 한계 반지름의 비

① 배위수=6

◆ 기본틀: 면심입방구조
(입방조밀 쌓임 구조)

◆ $\frac{r_+}{r_-}$ (조건: 양이온 - 음이온 O
양이온 - 양이온 X
음이온 - 음이온 O)
크기가 너무 작아 접하지 않음
배위수 6 유지
: 양이온의 크기가 커지면
음이온 간의 간격이 벌어져
변형 감소
→ 극한(한계)반지름의 비 $\leq \frac{r_+}{r_-}$

◆ 통새자리 [팔면체 정육
사면체]

◆ NaCl 구조

- 팔면체 통새 자리 수 = $1 + \frac{1}{4} \times 12 = 4$ 개 ← Cl⁻ 4개
→ 단위세포 속에 존재
N개 ← N개

$$\sqrt{2}a = 4r_-$$

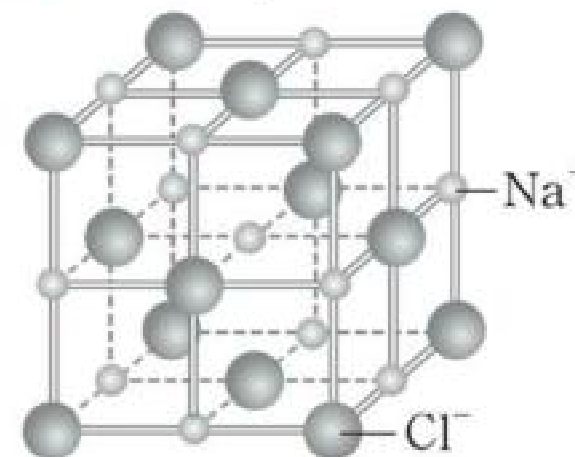
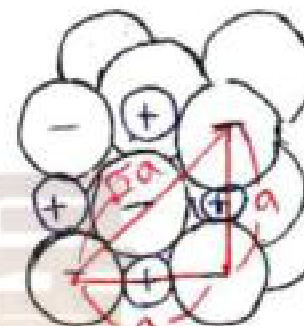
$$a = 2r_- + 2r_+$$

$$\cos 45^\circ = \frac{2r_- + 2r_+}{4r_-}$$

$$2\sqrt{2}(r_- + r_+) = 4r_-$$

$$r_+ = (\sqrt{2} - 1)r_-$$

$$\therefore \frac{r_+}{r_-} = \sqrt{2} - 1 = 1.414 - 1 = 0.414$$



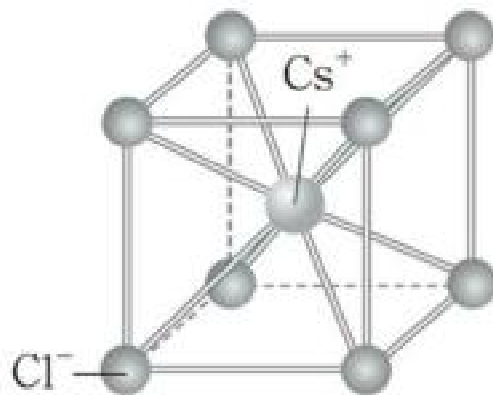
(9) 이온 결정 구조에 따른 안계 반지름의 비

② 배위수 = 8

◆ 기본틀: 단순입방구조

◆ $\frac{r_+}{r_-}$ (조건: 양이온-음이온 O
양이온-양이온 X
음이온-음이온 O)
→ $0.732 \leq \frac{r_+}{r_-}$

◆ 틈새자리: 입방체 틈새자리



$$\begin{aligned}\sqrt{3}a &= 2r_- + 2r_+ \\ a &= 2r_- \\ 2\sqrt{3}r_- &= 2r_- + 2r_+ \\ (\sqrt{3}-1)r_- &= r_+ \\ \therefore \frac{r_+}{r_-} &= \sqrt{3}-1 \\ &= 1.732-1 \\ &= 0.732\end{aligned}$$

◆ CsCl 구조

CsCl 형 체심입방구조

- 입방체 틈새 자리의 수 = 1개
- CsCl 화학식 단위의 수: $\text{Cs}^+\text{Cl}^- \rightarrow \text{CsCl}$ (1개)

(9) 이온 결정 구조에 따른 안계 반지름의 비

③ 배위수 = 4

◆ 기본틀: 면심입방구조

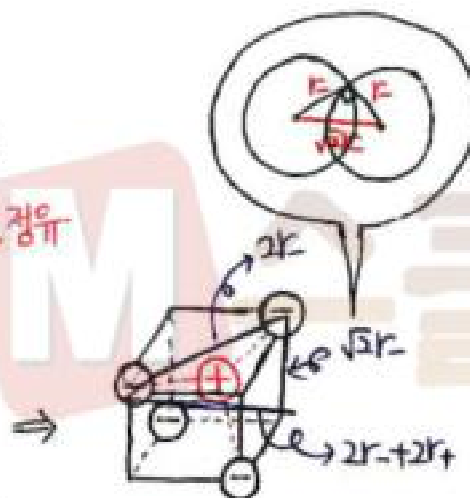
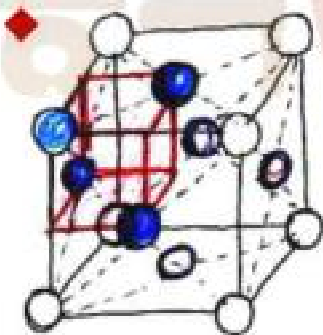
(입방조밀 쌓임구조)

◆ $\frac{r_+}{r_-}$ (조건: 양이온-음이온 O
양이온-양이온 X
음이온-음이온 O)

$$\rightarrow 0.225 \leq \frac{r_+}{r_-} < 0.414$$

◆ 틈새자리 [팔면체
사면체 정위]

◆ 틈새자리 [팔면체
사면체 정위]



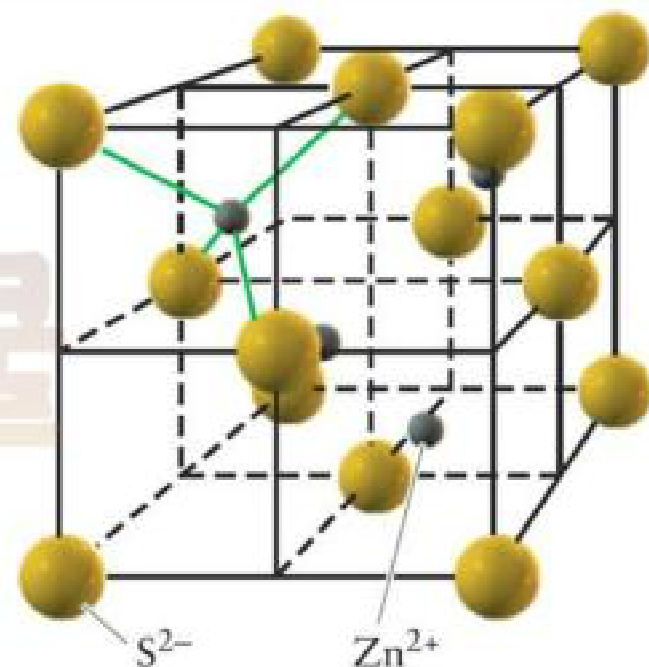
$$(2r_- + 2r_+)^2 = (2r_-)^2 + (\sqrt{2}r_-)^2$$

$$2r_- + 2r_+ = \sqrt{6}r_-$$

$$(\sqrt{6} - 2)r_- = 2r_+$$

$$\therefore \frac{r_+}{r_-} = \frac{\sqrt{6} - 2}{2}$$

$$\approx 0.225$$



(9) 이온 결정 구조에 따른 한계 반지름의 비

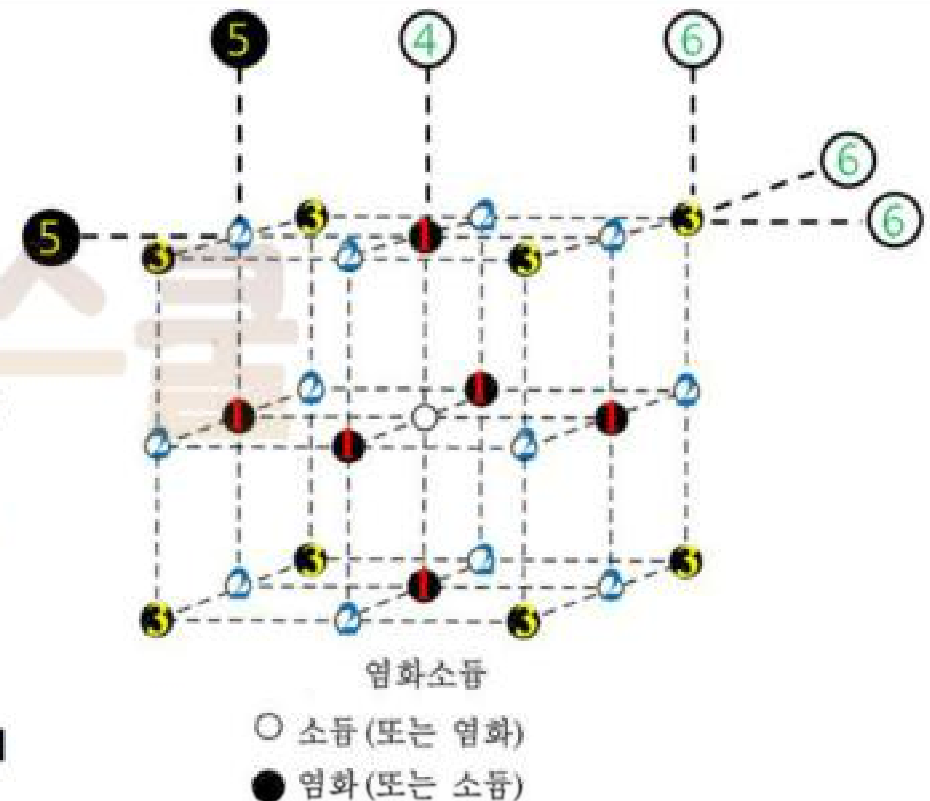
한계 반지름의 비	사면체 틈새 자리	팔면체 틈새 자리	입방체 틈새 자리
$\frac{r_+}{r_-}$	0.225	0.414	0.732

구분	사면체 틈새 자리	팔면체 틈새 자리	입방체 틈새 자리
반지름의 비 ($r = r_+/r_-$)	$0.225 \leq r < 0.414$	$0.414 \leq r < 0.732$	$r \geq 0.732$
배위수	4	6	8
가능한 격자구조	ZnS	NaCl	CsCl

(10) 대표적인 이온 결정 구조

① NaCl(암염 구조(rock-salt structure), NaCl형 면심 입방구조)

- ① 면심 입방구조를 가짐.
- ② 부피가 큰 이온이 면심 입방구조를 하고, 팔면체 틈새(구멍) 자리에 양이온이 점유함.
- ③ 단위 세포의 중심 이온에 대한 6개의 최근접 반대 전하 이온이 세포의 면심에 위치함으로써 중심 이온 주변에 팔면체를 형성함.
- ④ 12개의 두 번째 최근접 이온들은 세포의 모서리 중심에 위치하여 중심 이온과 같은 전하를 가짐.
- ⑤ 8개의 세 번째 최근접 이온들은 단위 세포의 꼭지점에 위치하여 중심 이온과 반대 전하를 가짐.
- ⑥ 배위수 : $\text{Na}^+ - 6$ 개, $\text{Cl}^- - 6$ 개
- ⑦ 격자점의 수 : $\text{Na}^+ = 1 + \frac{1}{4} \times 12 = 4$ 개, $\text{Cl}^- = \frac{1}{2} \times 6 + \frac{1}{8} \times 8 = 4$ 개

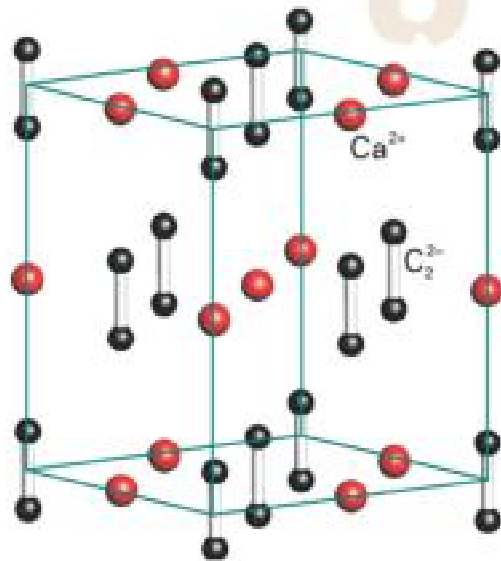


(10) 대표적인 이온 결정 구조

② 탄소화 칼슘(CaC_2) 구조

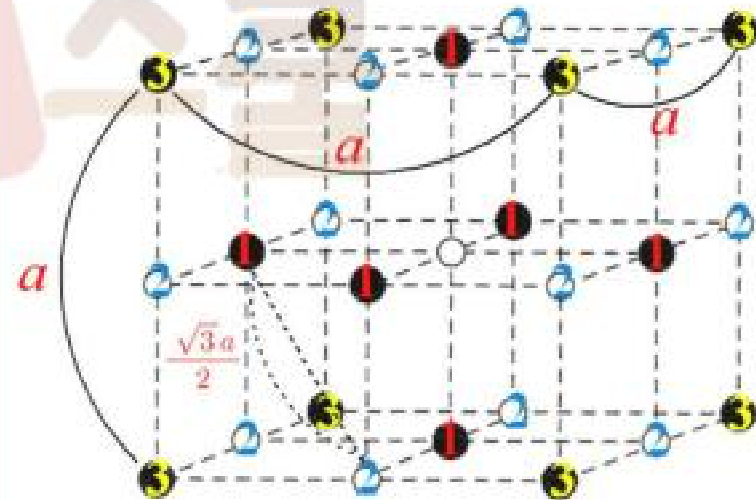
- ① 암염 구조(rock-salt structure)의 면심 입방구조를 가짐.
- ② C_2^{2-} 이온의 축과 평행한 방향으로 길어져 있음.
- ③ 격자점의 수 : $\text{Ca}^{2+} = 1 + \frac{1}{4} \times 12 = 4$ 개,

$$\text{C}_2^{2-} = \frac{1}{2} \times 6 + \frac{1}{8} \times 8 = 4 \text{개}$$



[모범 답안] Ca^{2+} 으로부터 두 번째 가까운 C_2^{2-} 까지의 이온 간 거리

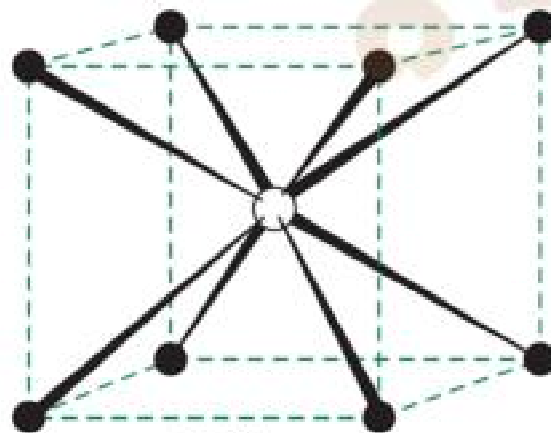
$$= \left\{ \left(\frac{a}{2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right\}^{1/2} = \left\{ \frac{3a^2}{4} \right\}^{1/2} = \frac{\sqrt{3}a}{2}$$



(10) 대표적인 이온 결정 구조

③ CsCl(CsCl형 체심 입방구조)

- ① 음이온이 단순 입방 구조를 가지며, 양이온은 입방체 틈새(구멍) 자리를 점유함.
- ② 배위수 : $\text{Cs}^+ - 8$ 개, $\text{Cl}^- - 8$ 개
- ③ 격자점의 수 : $\text{Cs}^+ = 1$ 개, $\text{Cl}^- = \frac{1}{8} \times 8 = 1$ 개

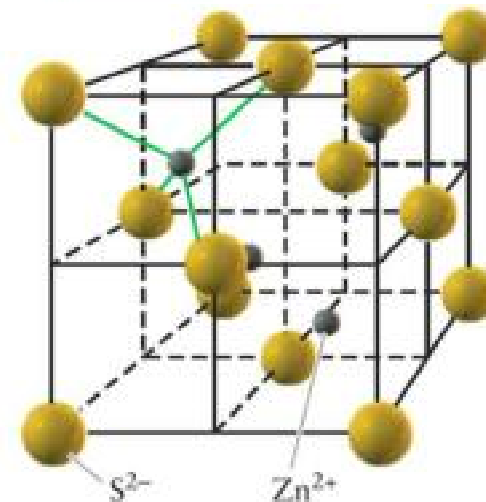


CsCl

- Cs^+ (또는 Cl^-)
 ● Cl^- (또는 Cs^+)

④ ZnS 첨가연광 구조(zinc-blende structure)

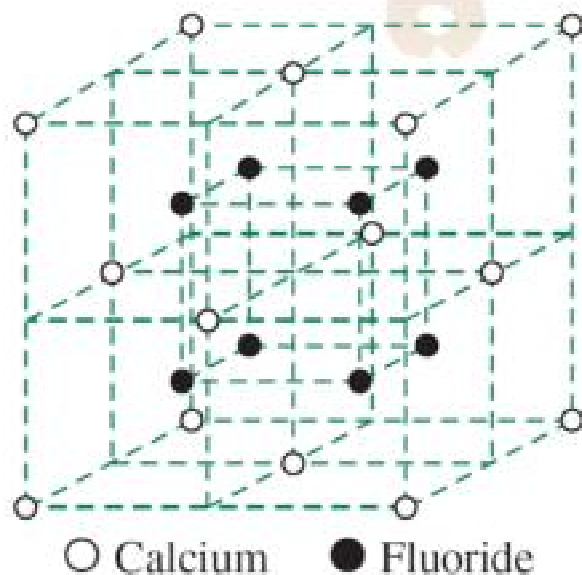
- ① 음이온이 면심 입방 구조(입방 조밀 쌓임 구조)에 점유하고, 양이온들은 사면체 틈새(구멍) 자리 50% 점유함.
- ② 각 이온들은 4개의 다른 전하의 이온과 접함.
- ③ 배위수 : $\text{Zn}^{2+} - 4$ 개, $\text{S}^{2-} - 4$ 개
- ④ 격자점의 수 : $\text{Zn}^{2+} = 4$ 개, $\text{S}^{2-} = \frac{1}{2} \times 6 + \frac{1}{8} \times 8 = 4$ 개



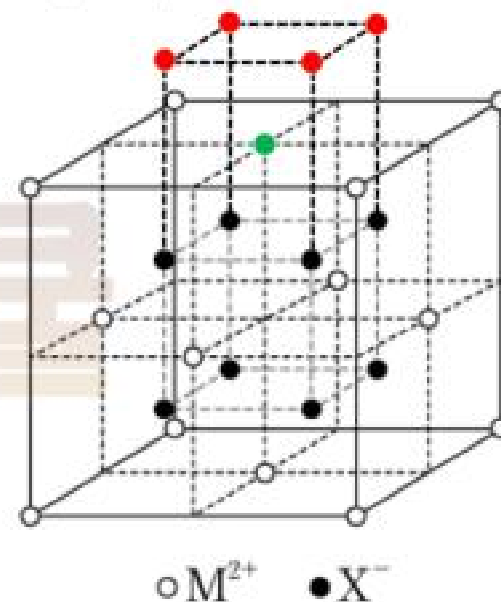
(10) 대표적인 이온 결정 구조

⑤ CaF_2 (형석, fluorite structure)

- ① 양이온이 면심 입방구조(입방 조밀 쌓음 구조)를 점유함.
- ② 음이온은 8개의 사면체 틈새(구멍) 자리를 100%를 점유함.
- ③ 배위수 : Ca^{2+} - 8개, F^- - 4개
- ④ 격자점의 수 : Ca^{2+} - $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 개, F^- - 8개



① 금속 이온(M^{2+})의 배위수 : 8



② M^{2+} 과 인접한 X^- 사이의 이온간 거리 : $\frac{\sqrt{3}}{4}a$

[설명] M^{2+} 과 인접한 X^- 사이의 이온간 거리

$$= \left\{ \left(\frac{a}{4} \right)^2 + \left(\frac{a}{4} \right)^2 + \left(\frac{a}{4} \right)^2 \right\}^{1/2} = \left\{ 3 \left(\frac{a}{4} \right)^2 \right\}^{1/2} = \frac{\sqrt{3}}{4}a$$