

# 1장. 금속 상태도와 조직

-목 차-

1.1 금속재료 이해

1.2 상태도 해설

1.3 철강 상태도와 조직

학습목표: 금속재료 기초지식 습득 및 강의 상태도

해석과 활용에 필요한 기본개념 습득

학습내용: 금속의 구성원리와 각 합금간의 영향,

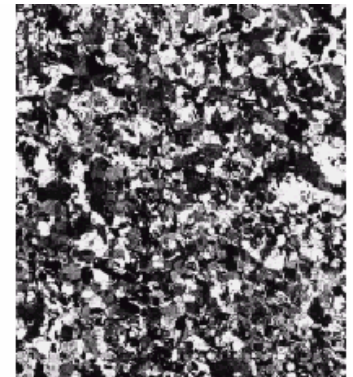
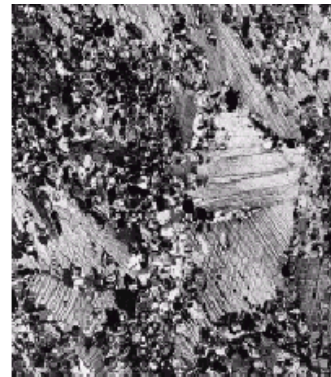
상태도해석 및 철강재료의 조직판독 학습

미리 생각 해보기 : -병원에서 암조직을 보는 이유는?

-금속조직은 왜 바뀌는가?

-조직을 보고 금속의 성분, 생산공정을 파악할 수 있는가?

재결정 단계의 현미경 사진(활동)

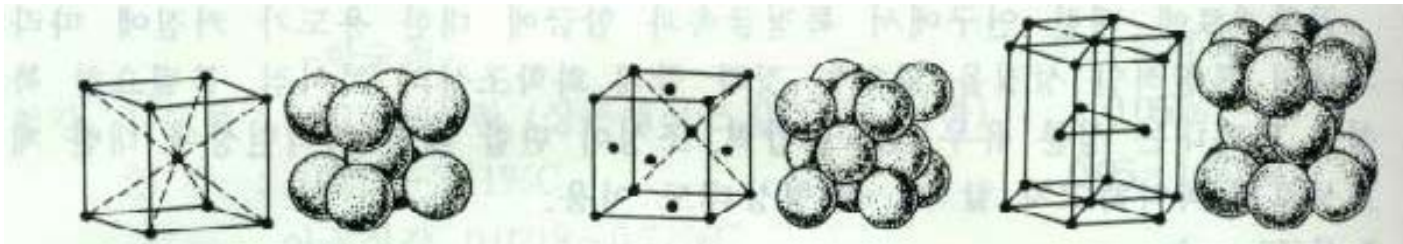


# 1.1 금속재료이해

## 1.1.1 금속의 공통적 특성

- 1) 상온에서 고체이며 결정체이다. (단, Hg는 제외)
- 2) 열과 전기의 양도체이다.
- 3) 비중이 크고 금속적 광택을 갖는다.
- 4) 소성변형이 있어 가공하기 쉽다.
- 5) 이온화하면 양(+)이온이 된다.

▼결정구조와 해당되는 금속



BCC(체심입방격자)구조 :

Ba,Cr, 알파-Fe, Mo,Nb

V,Ta

FCC(면심입방격자)구조:

Ag, Al, Au, Cu, Ni, Pb, Pt

HCP(조밀육방격자)구조:

Be, Cd, Mg, Ti, Te, Zn

## 1.1.2 결정구조 해석

\* 결정구조 해석과 실무이해

1. 방향(direction)표시 :  $[xyz]$  --- 방향족  $\langle \quad \rangle$
2. 면 (plane) 표시 :  $(xyz)$  --- 면족  $\{ \quad \}$

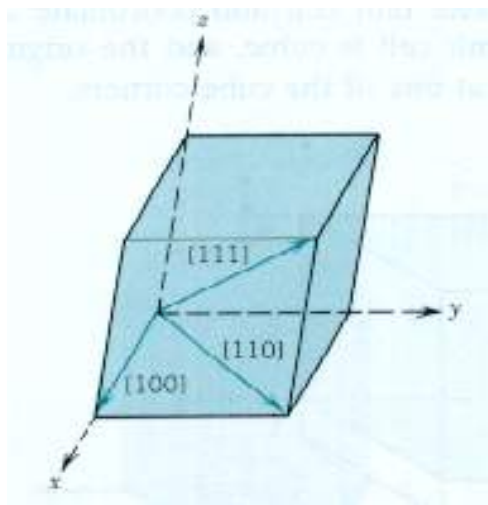
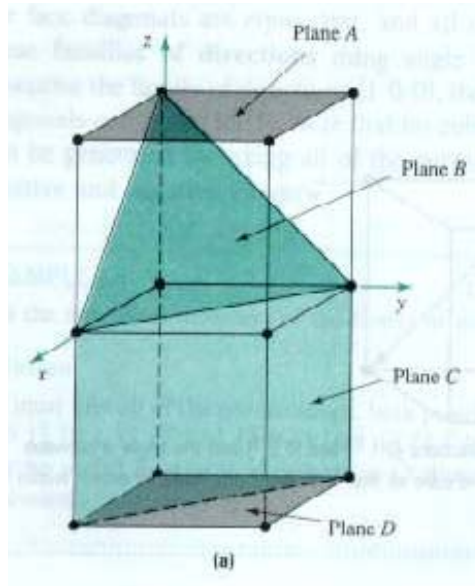
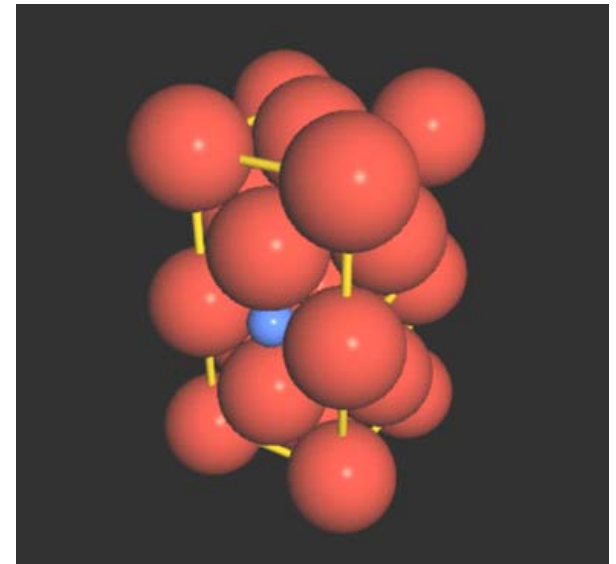


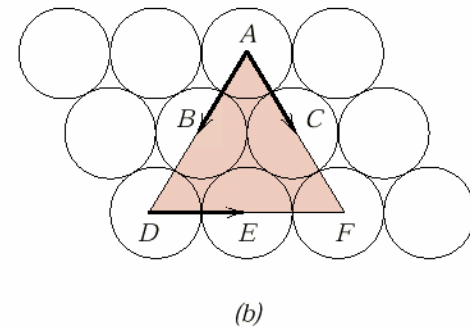
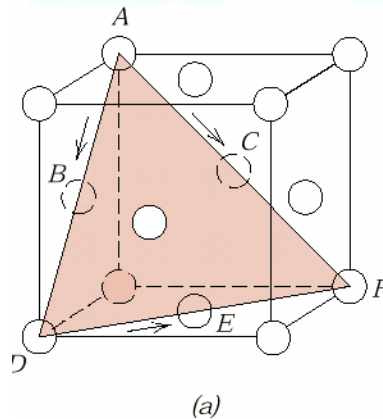
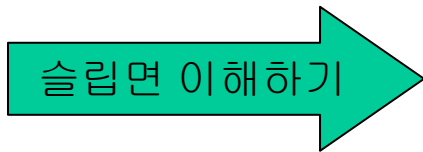
그림 a



그림b

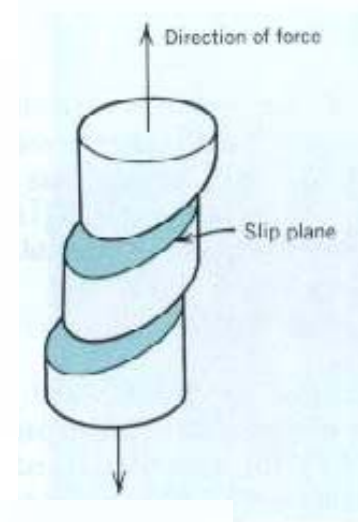
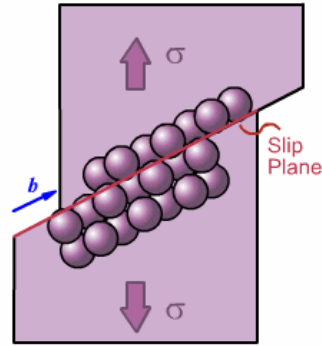


그림c

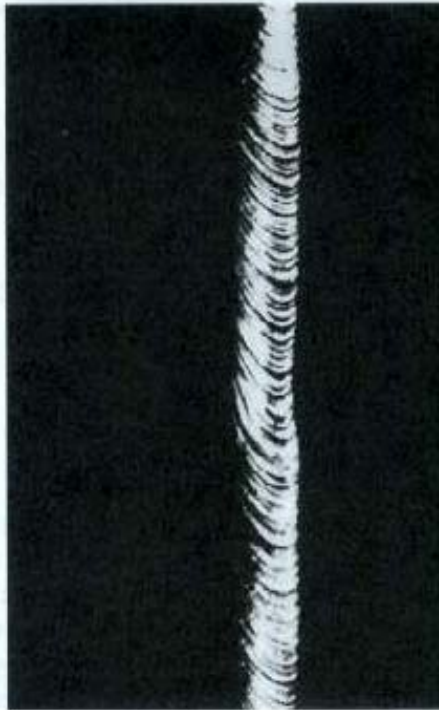


알고 감시다!

슬립(Slip)에 대하여 알기 쉽게 이해하기



단결정의 슬립



가공된  
금속의  
슬립밴드

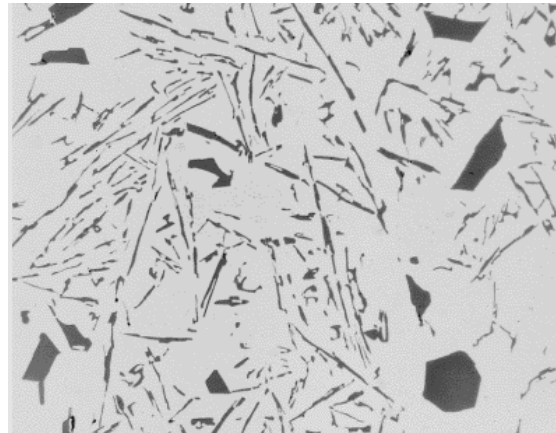
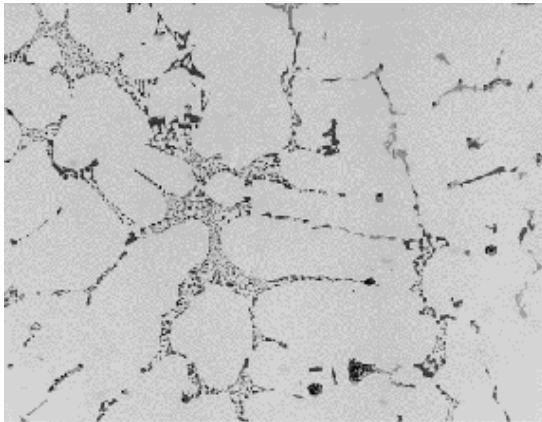
### 1.1.3 순금속과 합금

-순 금속: 단일금속

-합금 : 2종 이상의 금속 또는 금속과 비금속을 혼합한 재료

▼합금의 구조 (3가지)

- 1) 고용체: 고용체란 어느 금속이 타금속(비금속 포함)과 혼합(합금)될때에 수용되는 금속(용질원자)은 한개한개의 원자가 되어 수용하는 금속(용매원자)의 결정격자속으로 들어가 균일한 단상(單相)을 이루고 있을 때 이를 고용체(solid solution)이라 한다.
- 2) 공정:응고할 때 A,B금속이 융합되지 않고, 단순히 혼합될 때
- 3) 금속간 화합물 : A금속과 B금속이 화합물을 구성할 때

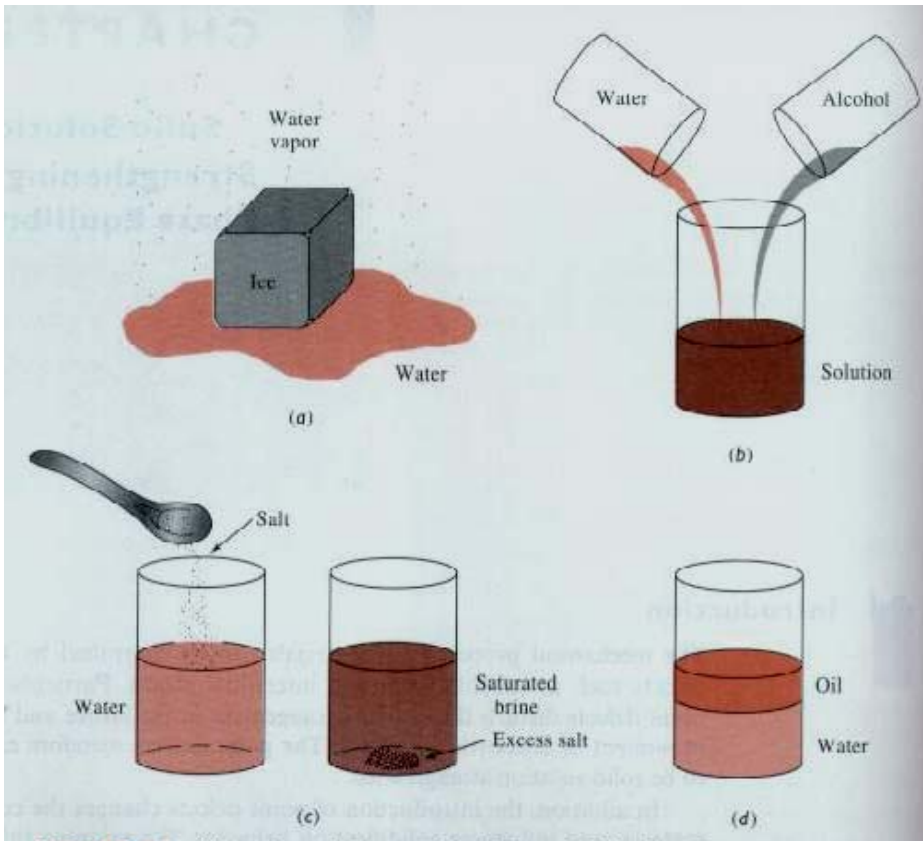


Al-Si 합금에서 관찰된  $\alpha$ 상과 공정조직    Al-Si 합금에서 관찰된 초정 Si 과 공정조직

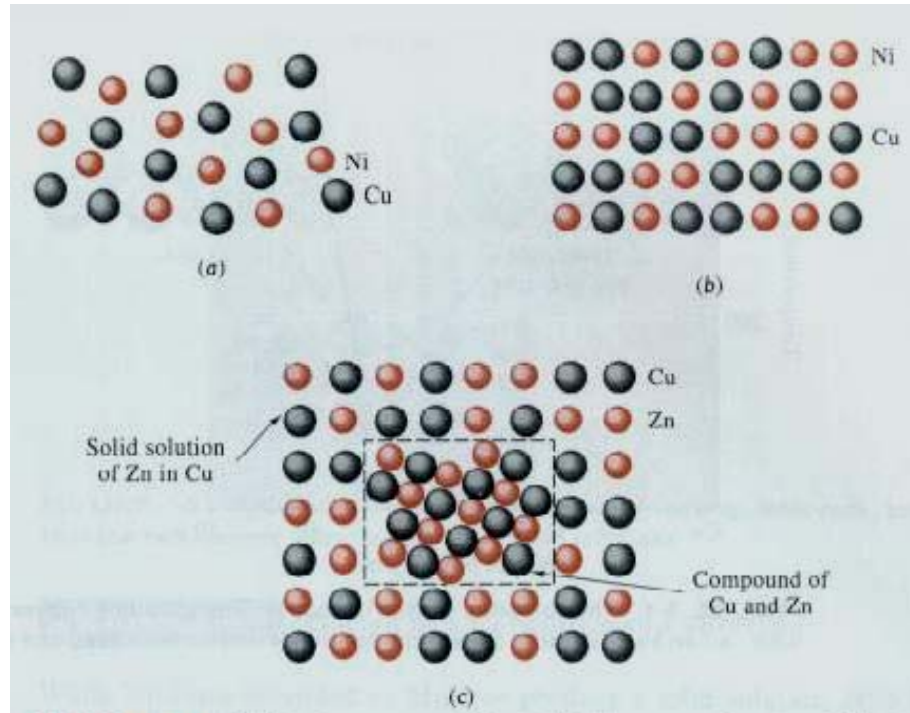
# 1.1.4 합금구조 알기 쉽게 이해하기

상(Phase)과 고용체(Solid Solution), 화합물의 구조

상의 이해와 합금구성 원리



Cu-Ni합금에서의 액상, 고상, & Cu-Zn의 화합물



## 1.2 상태도 해설

### 1.2.1 개요

공학재료에 대한 연구에서 특정금속과 합금에 대한 용도가 커짐에 따라 재료의 본질적인 성질을 밝히는 것과 함께 화학조성의 차이점, 불필요한 특성을 나타내는

성분 유무, 온도, 압력, 조성이 변할 때의 여러현상에 대한 재료성질을 파악하고자 할 때

→평형상태도 이용.

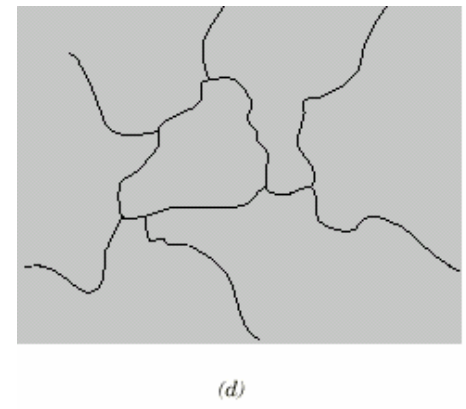
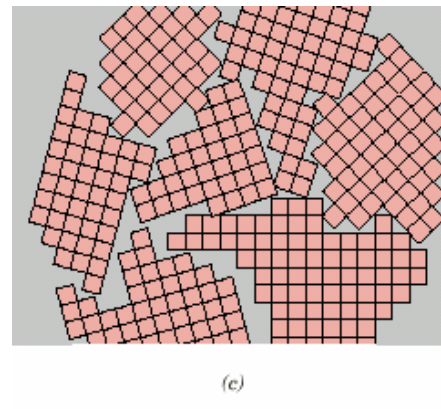
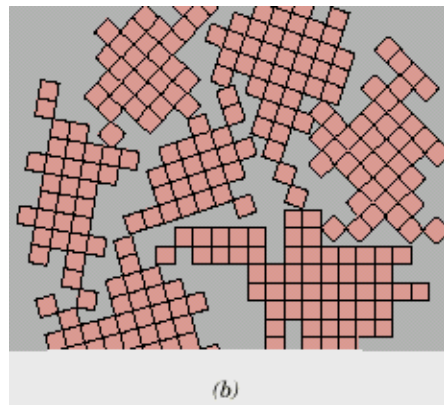
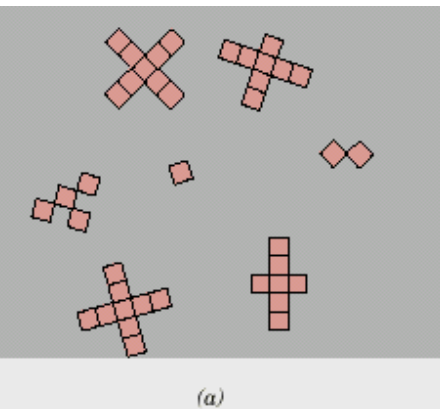
#### ▶ 상(Phase)

물리적으로 독특하고, 화학적으로 동질이며, 기계적으로 분리할 수 있는 물질.

#### ▶ 평형상태도(equilibrium phase diagram)

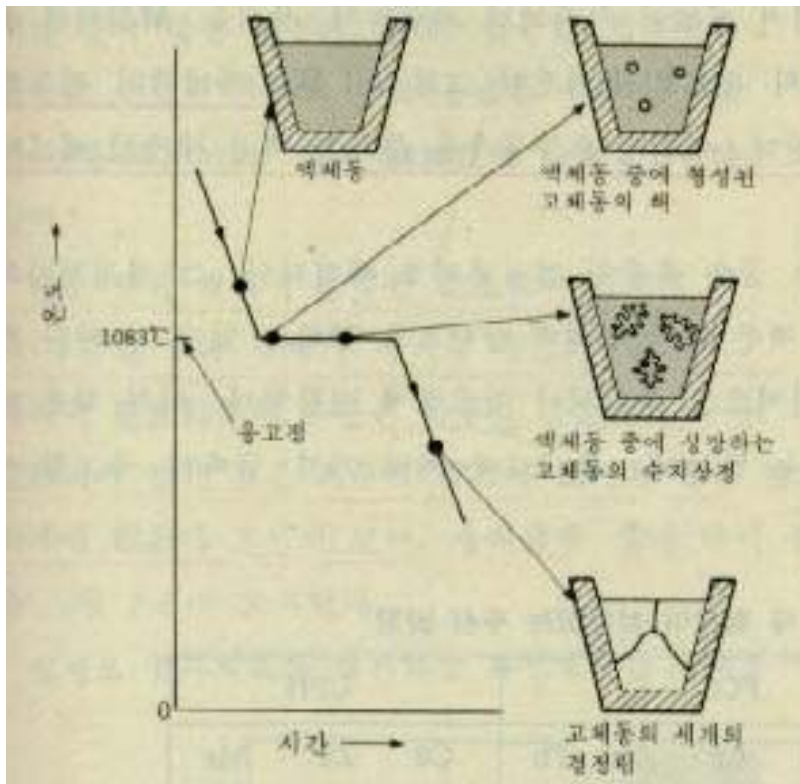
3가지 중요한 변수: 온도(temperature), 압력(pressure), 조성(composition)

액체금속은 냉각되어 용점에 이르면 응고가 시작되며 각 이온은 結晶을 구성하는 일정한 格子點에 고정되므로 이제까지의 운동에너지가 열의 형태로 방출(응고의 潛熱)되며, 액체전부가 응고할때까지 온도가 일정하게 유지.



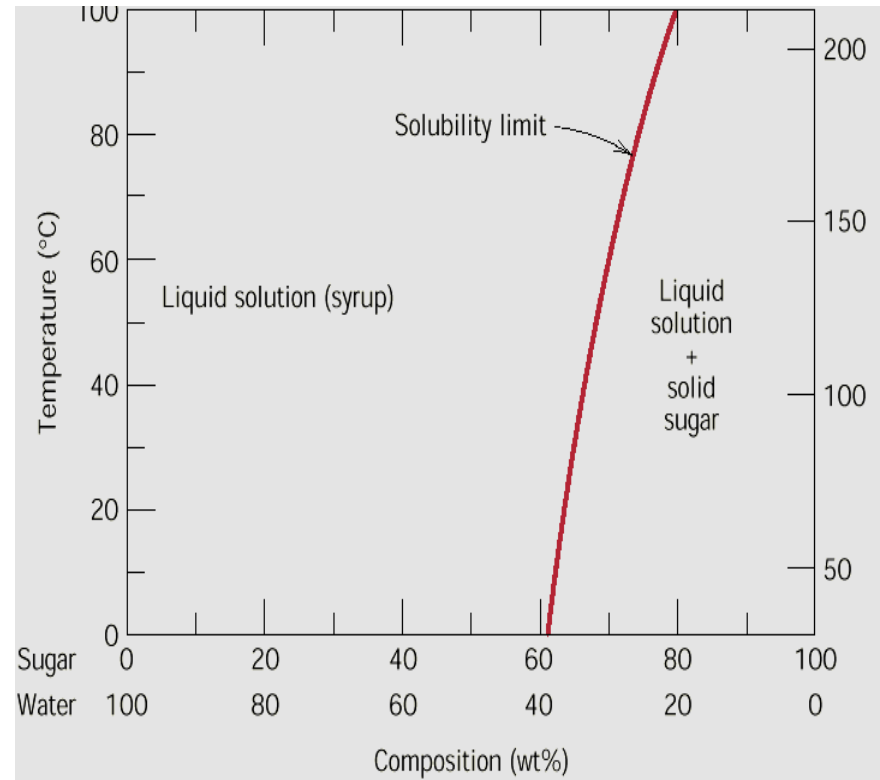
## 1.2.2 냉각곡선과 용해도 연구

### ▼냉각곡선



<소량의 액체동의 응고에 대한 시간-온도곡선>

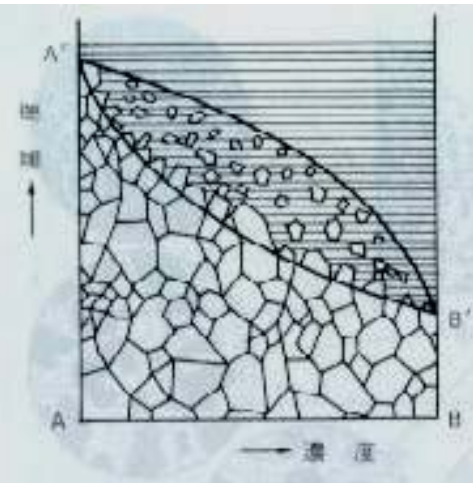
### ▼용해도 연구



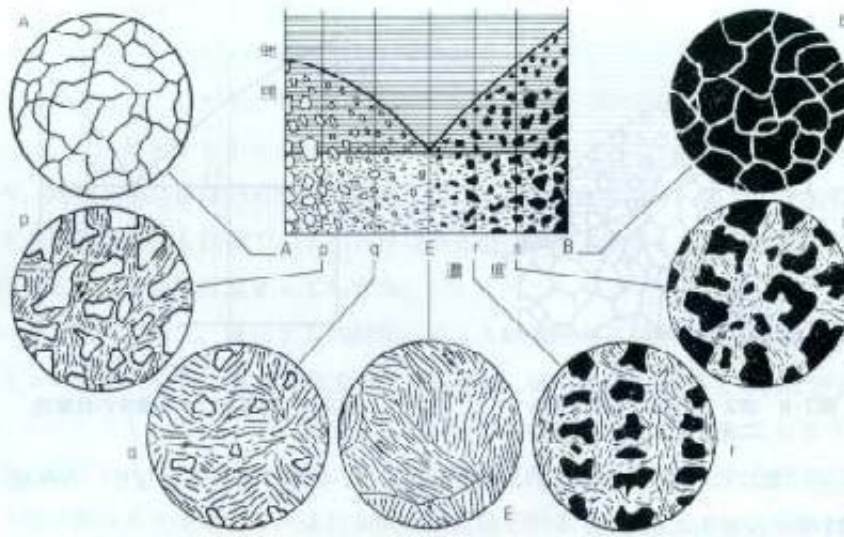
<Al-Ag 평형상태도에서 석출을 나타낸다>

### 1.2.3 상태도 연구(예로서 A,B 금속을 액상에서 혼합하여 합금하는 경우)

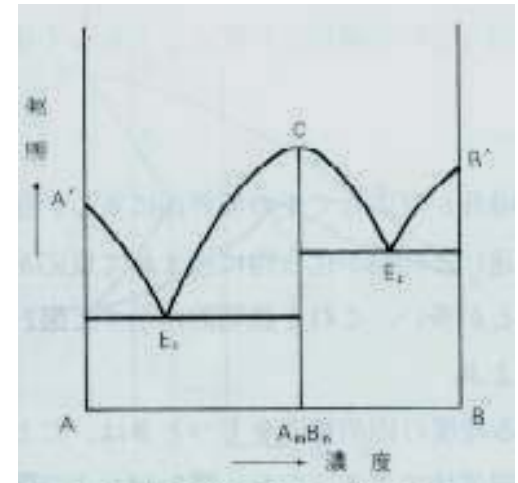
☞ 고용체



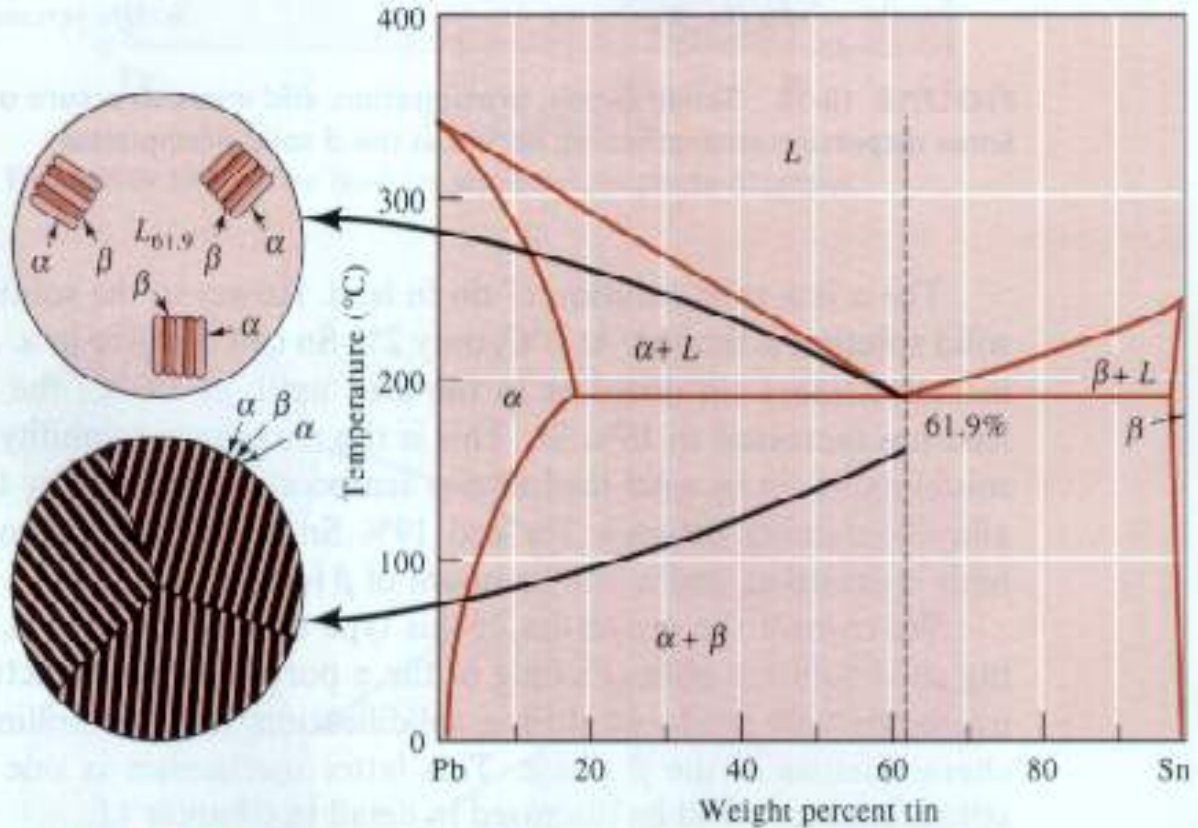
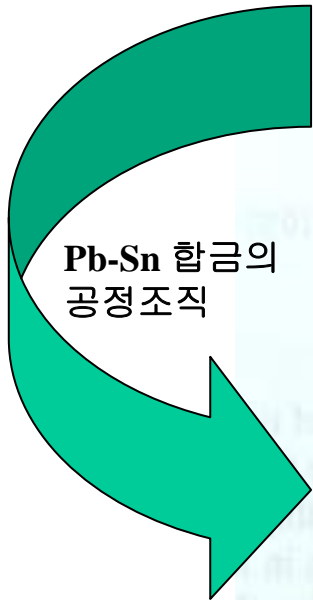
☞ 共晶



☞ 금속간 화합물

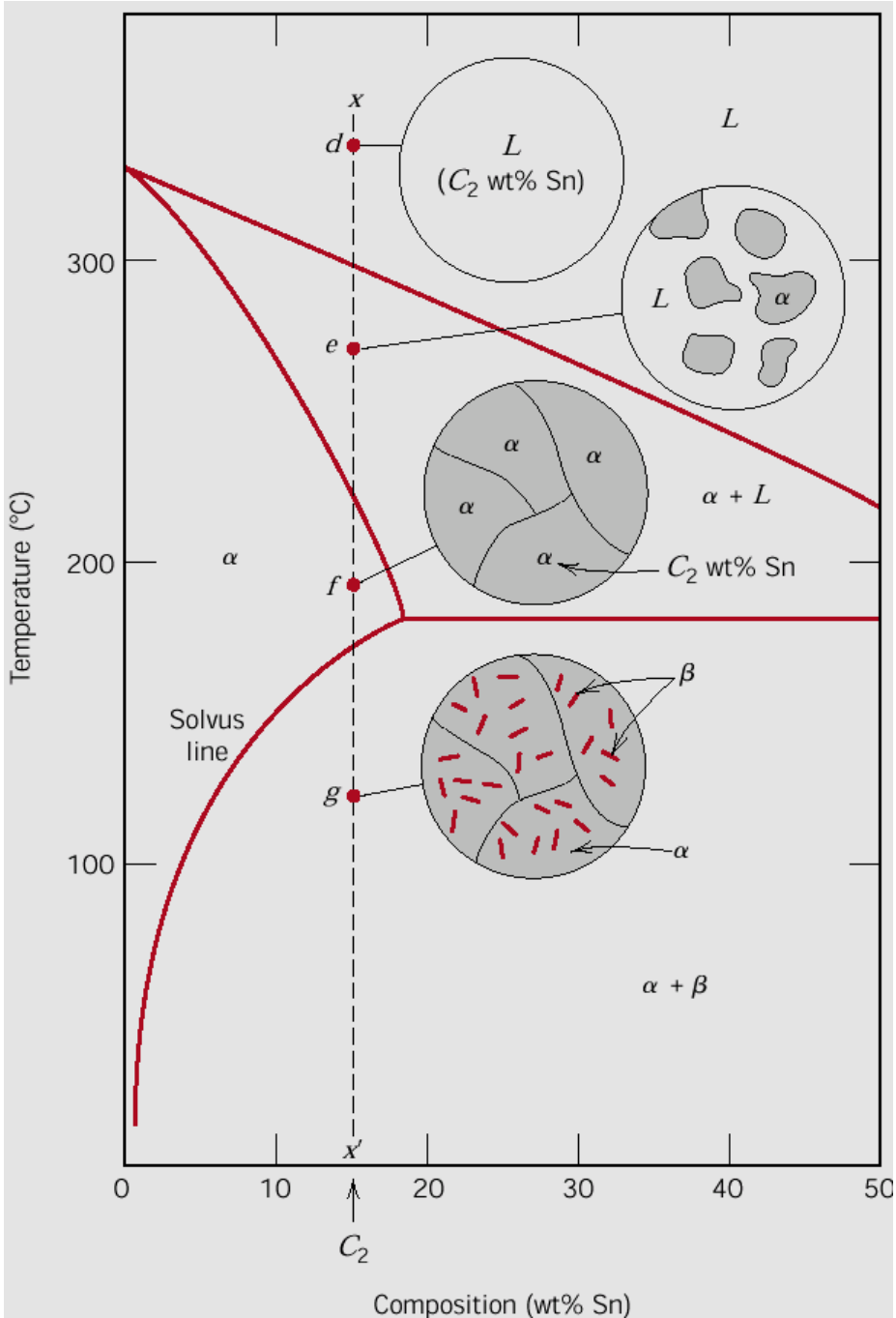


예) 공정조직의 이해



좀더 알아보기

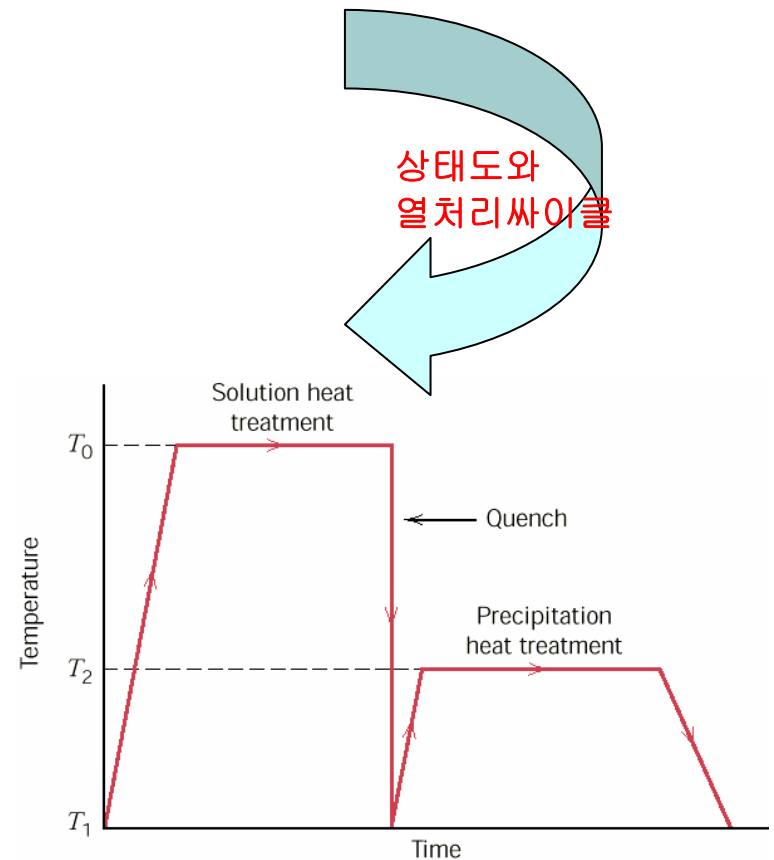
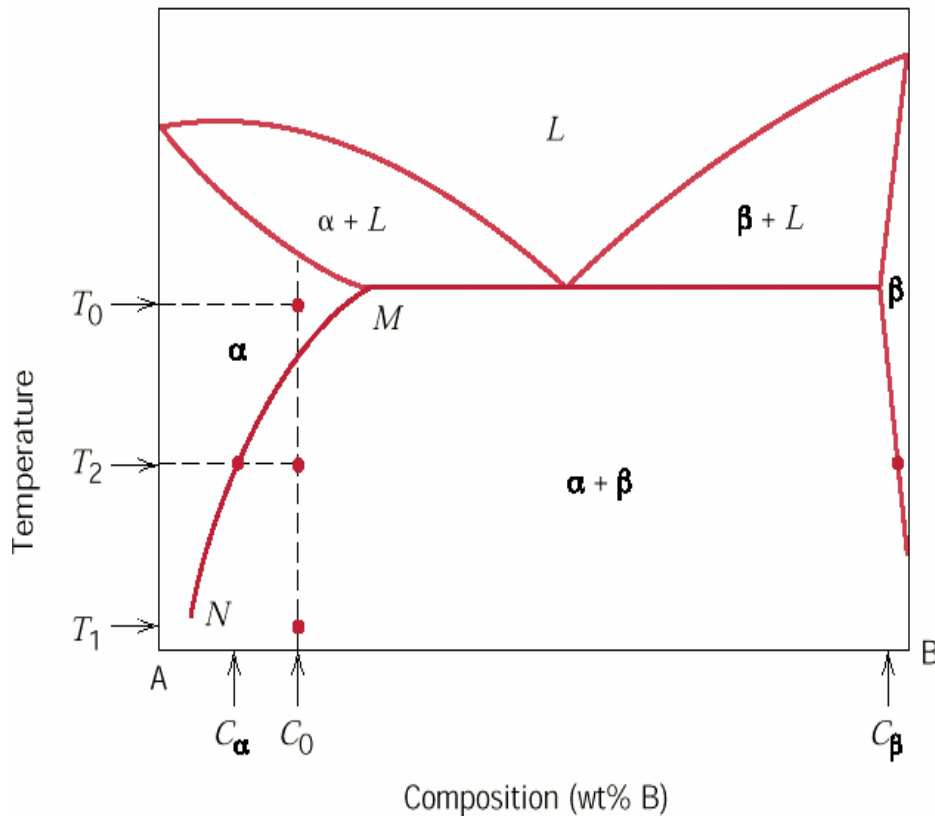
고용체와 석출의  
차이점을 알자

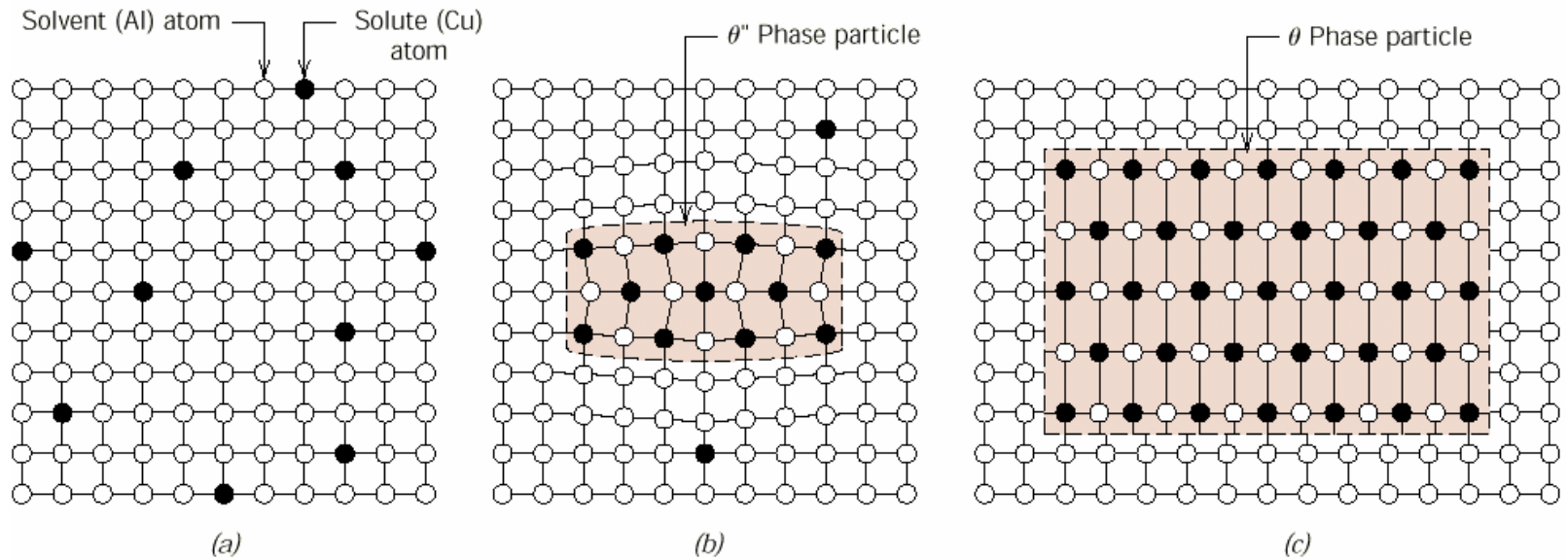


\* 석출물, 분산입자에 의한 강화

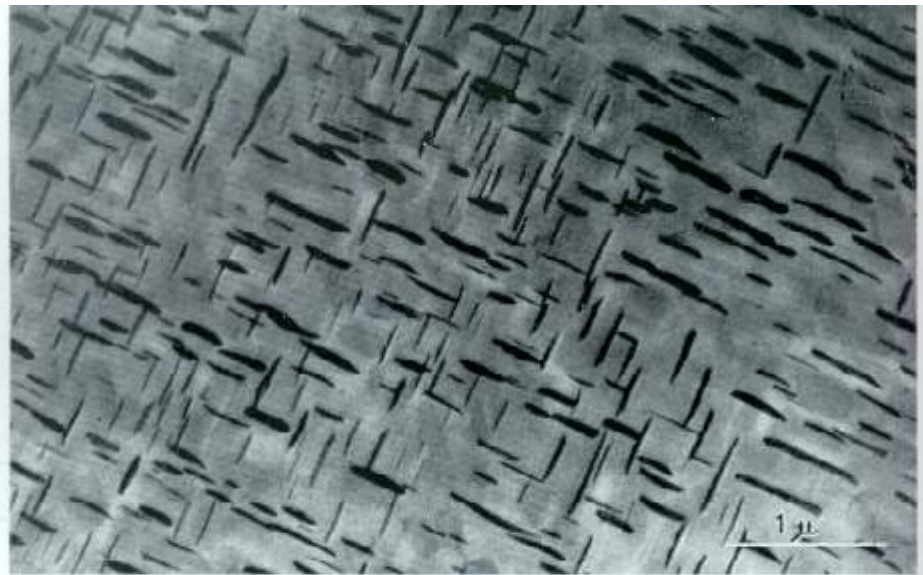
a. 탄소강에 V, Mo, W, Cr, 또는 Nb 등을 첨가하면 템퍼링 과정에서 2차경화를 일으키고 강도가 향상된다. 이것은 550°C 부근의 템퍼링으로 V<sub>4</sub>C<sub>3</sub> 또는 C, WC, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, NbC 등의 탄화물이 석출되기 때문이다.

b. Al 합금에서의 T6열처리 (아래 그림 참조)





Al-Cu합금에서의  
T6 열처리후-전자현미경  
으로 조직 관찰



TEM image of an Al-3.8 wt% Cu alloy aged at 240°C for 2 hours showing  $\theta$   $\text{CuAl}_2$  precipitates. Specimen offered by S. Koda and taken by JEOL.

## 1.3 철강 상태도와 조직

\*\*\* 가장 많이 사용하고 있는 금속 : Fe과 그 합금

### 1.3.1 재료의 구비조건

- ① 쉽게 구할 수 있는 재료 (경제성)
- ② 가공이 용이한 재료 (가공성)
- ③ 기계의 성능을 장기간 유지 할 수 있는 재료(성능 유지성)

### 1.3.2 철강의 분류 및 Fe-C상태도

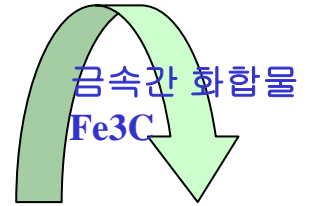
- 학술적 -

- 공업적 -

철강...1)순철 : 0.0218%이하 (상온에서는 0.008% 이하)      0.05% 이하

2) 강 : 0.0218 ~ 2.11%C      0.05 ~ 1.50%C  
아공석강...0.0218 ~ 0.77%C  
공석강 .....0.77%C  
과공석강...0.77 ~ 2.11%C

3)주철 : 2.11 ~ 6.68%C      2.5 ~ 3.8%C  
아공정주철...2.11 ~ 4.3%C  
공정주철.....4.3%C  
과공정주철...4.3 ~ 6.68%C

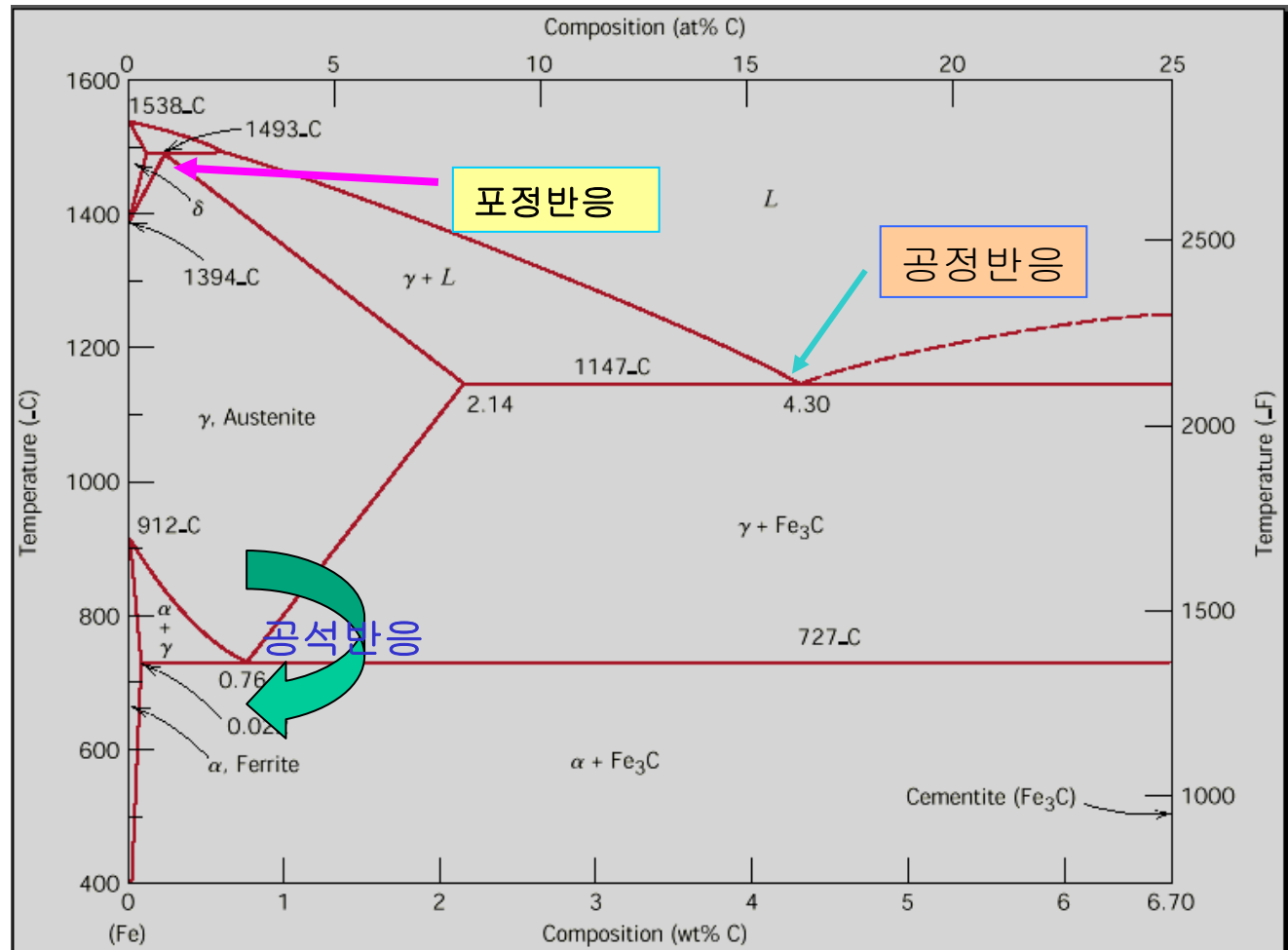


### 1.3.3 철강 상태도 이해하기

지금까지 배운 합금의 구성요건이 철-탄소 상태도에서 어떻게 활용되는지 확인 해보자.

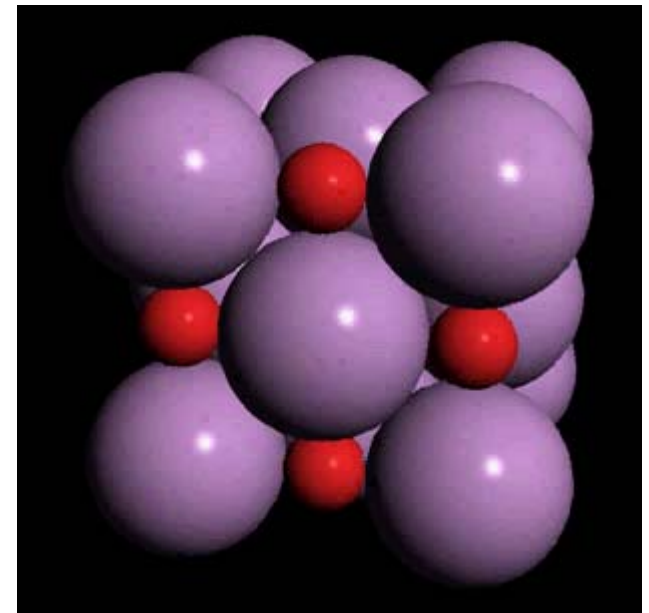
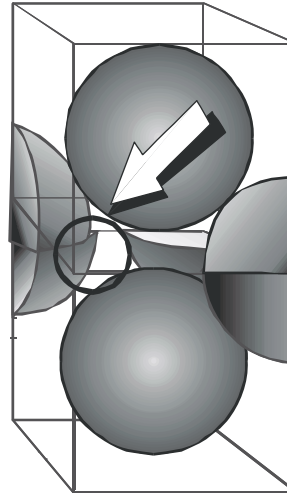
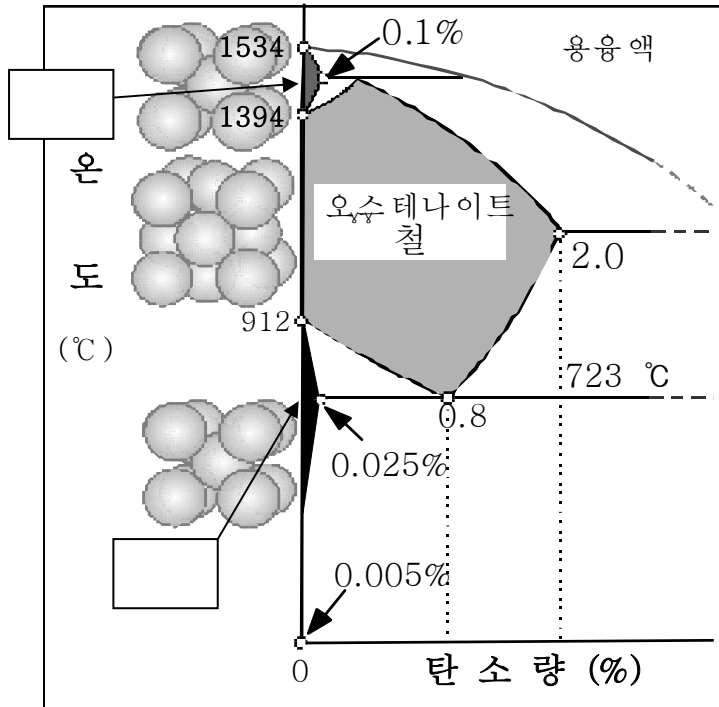
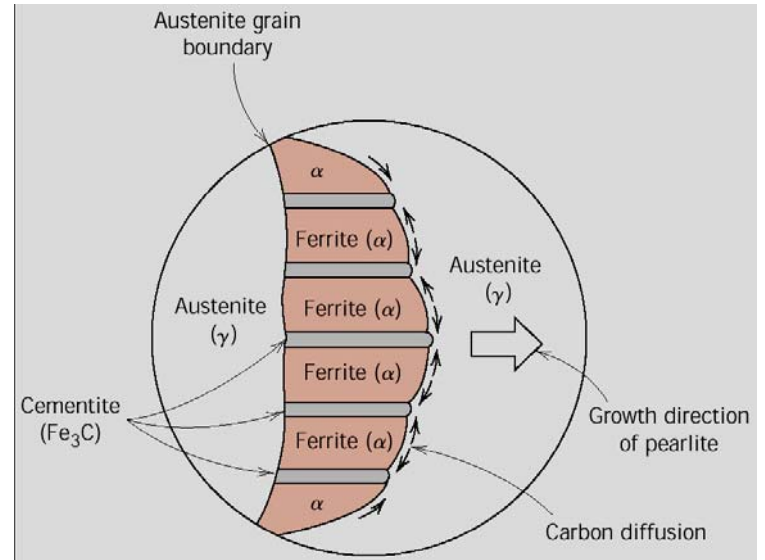
**철의 상태도**

- 고용체
- 포정
- 공정
- 공석
- 금속간 화합물



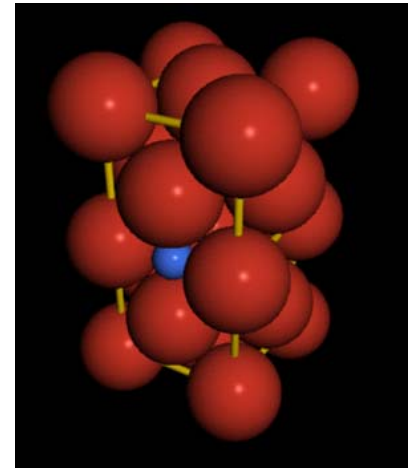
# 1) 상태도/조직판독에 필요한 지식

철강 상태도에 대한 충분한 이해가 필요.



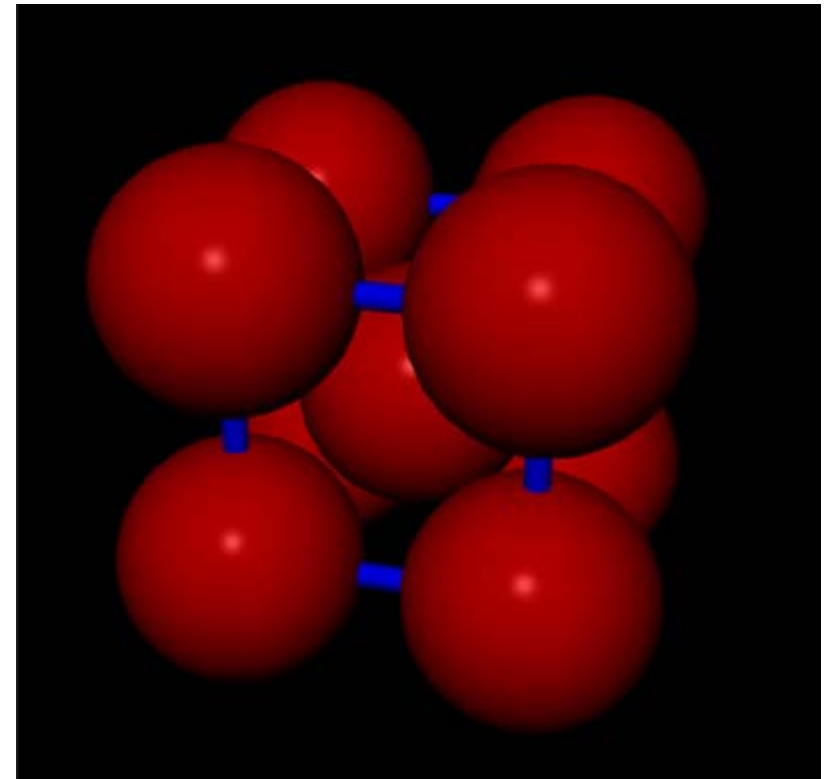
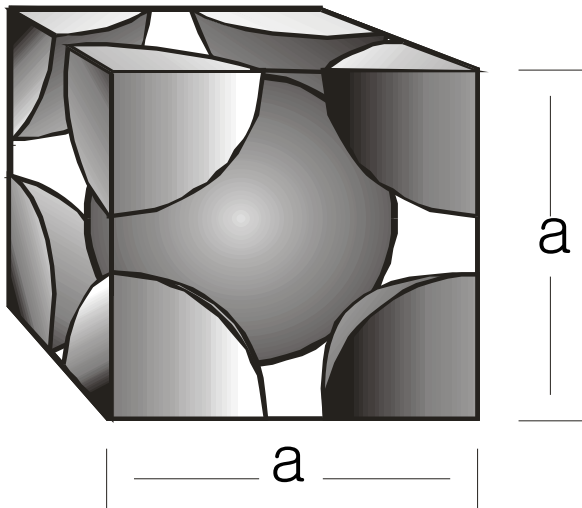
생각해 보기

예:FCC결정에서의  
침입공간



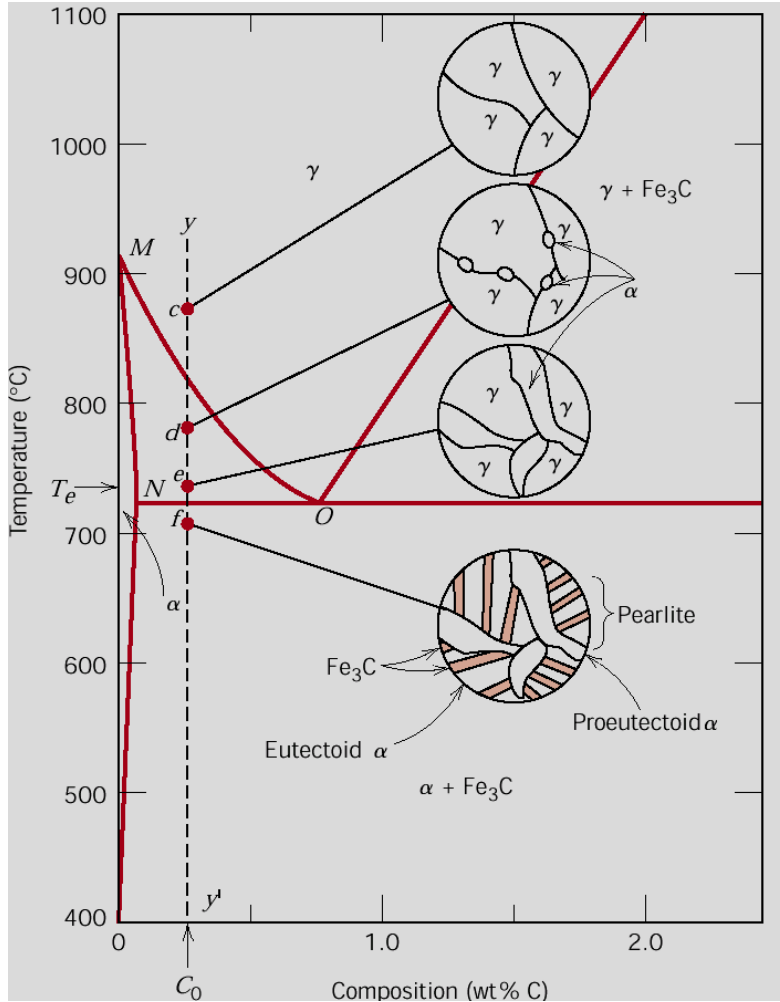
BCC결정구조에서 침입구조를 찾아보자!

침입공간을 찾자!

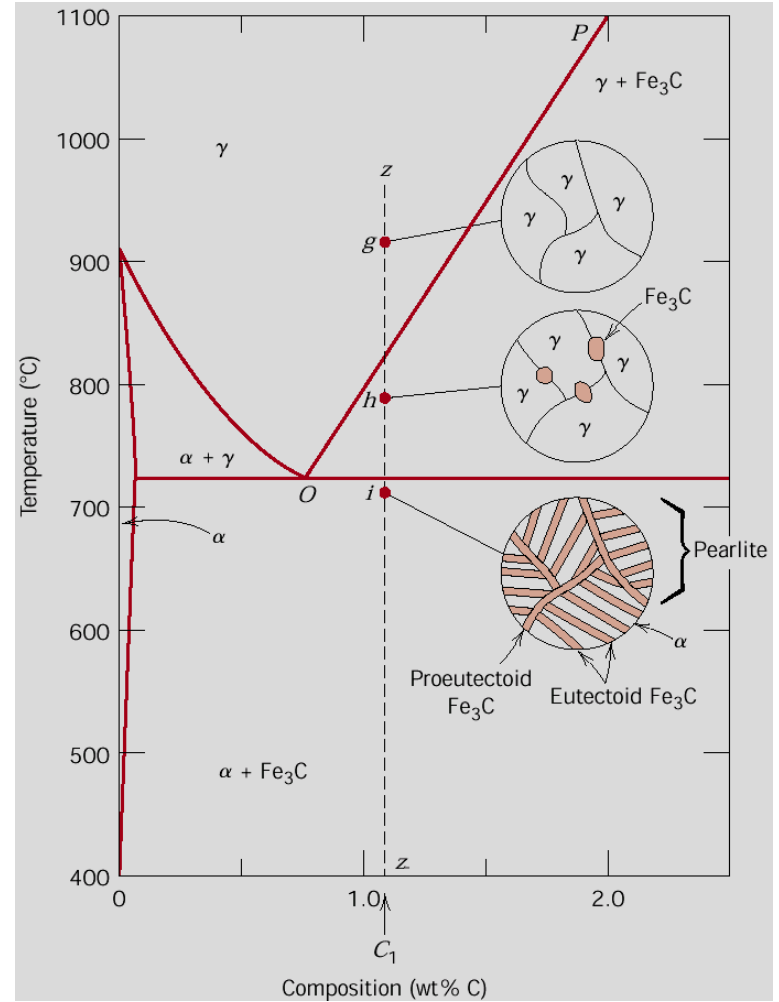


## 2) 각 구간별 상의 변화 및 원소간의 반응

### 아공석강의 변태

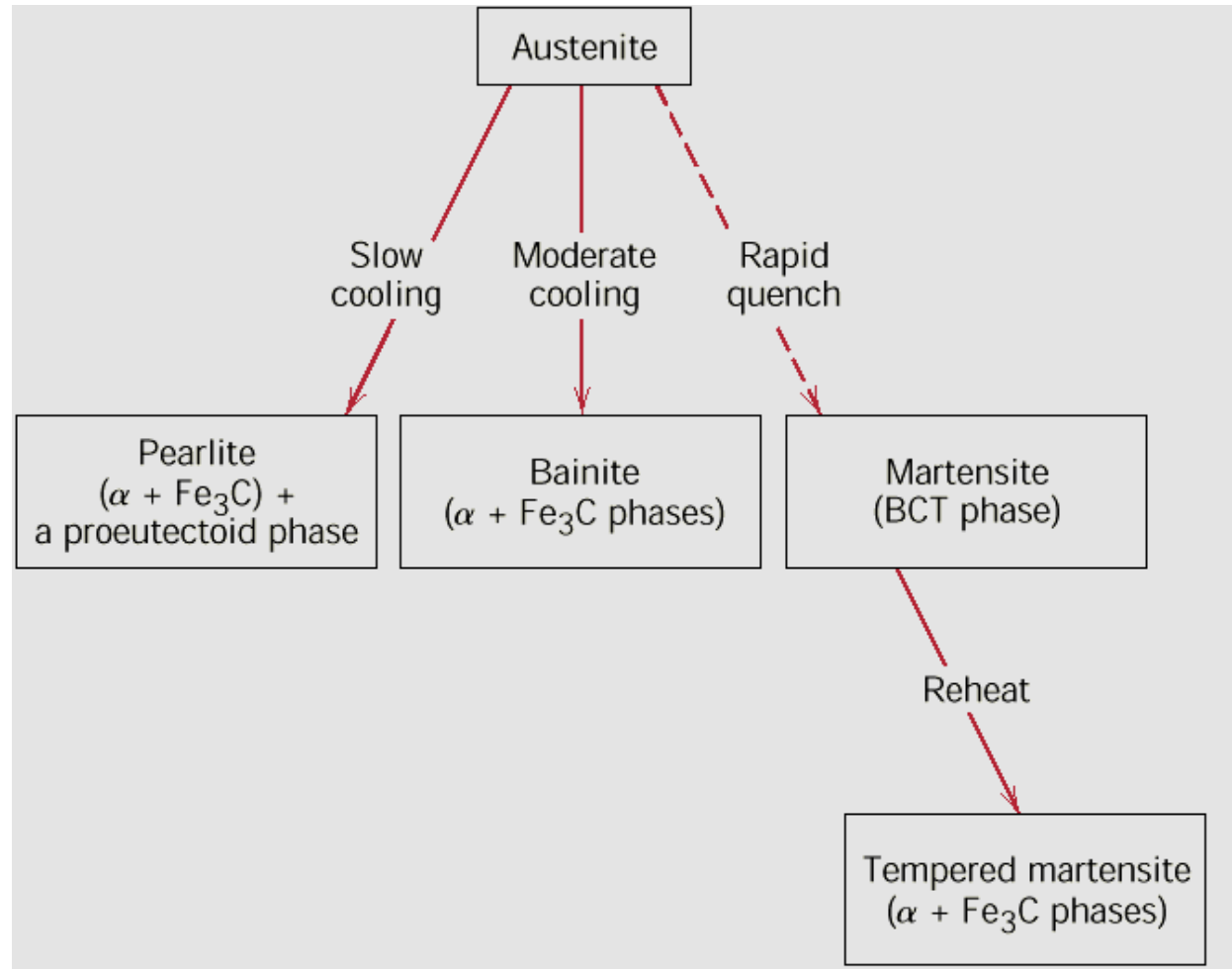


### 과공석강의 변태



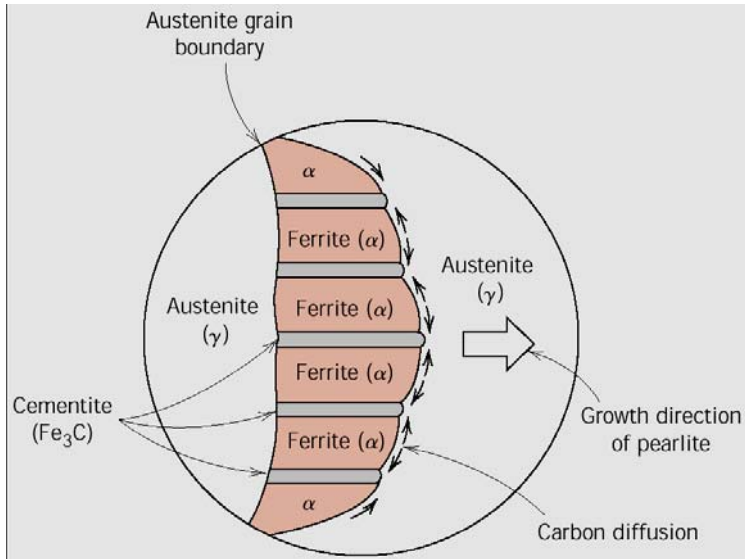
### 3) 왜 열처리가 되는가(열처리 원리)

- a) 철과 탄소의 역할
- b) 냉각속도에 따라 조직이 바뀐다.

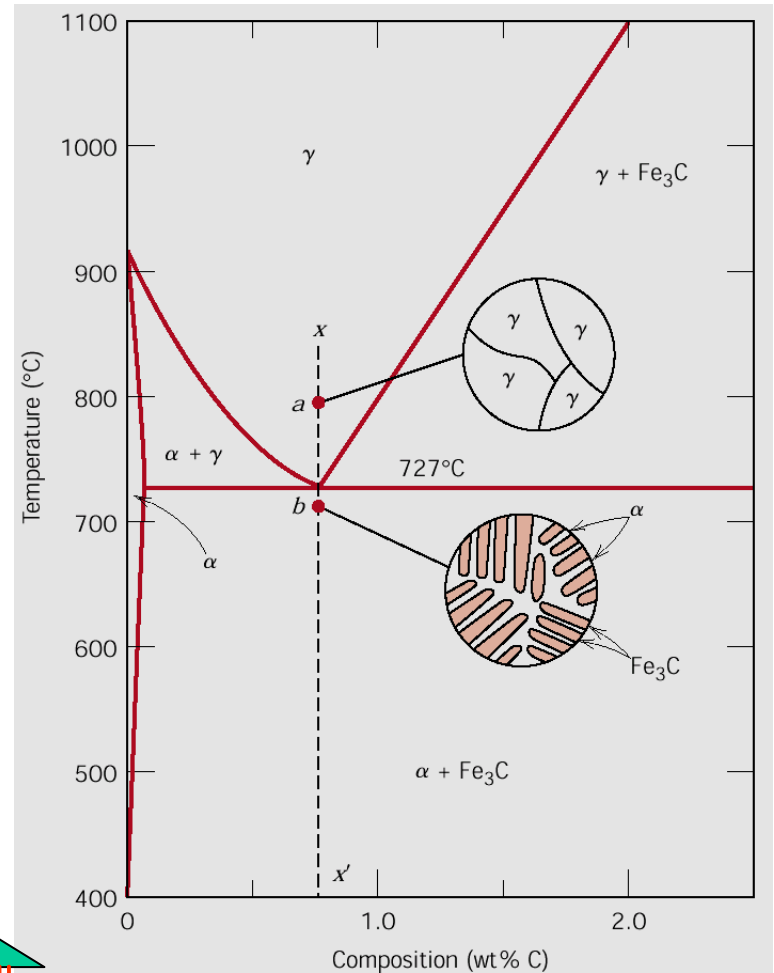


#### 4) 강의 가열변태

Pearlite로부터 Austenite로의 변태를 이해하자!



A1 변태



가열시의 오스테나이트변태 원리를 이해하자

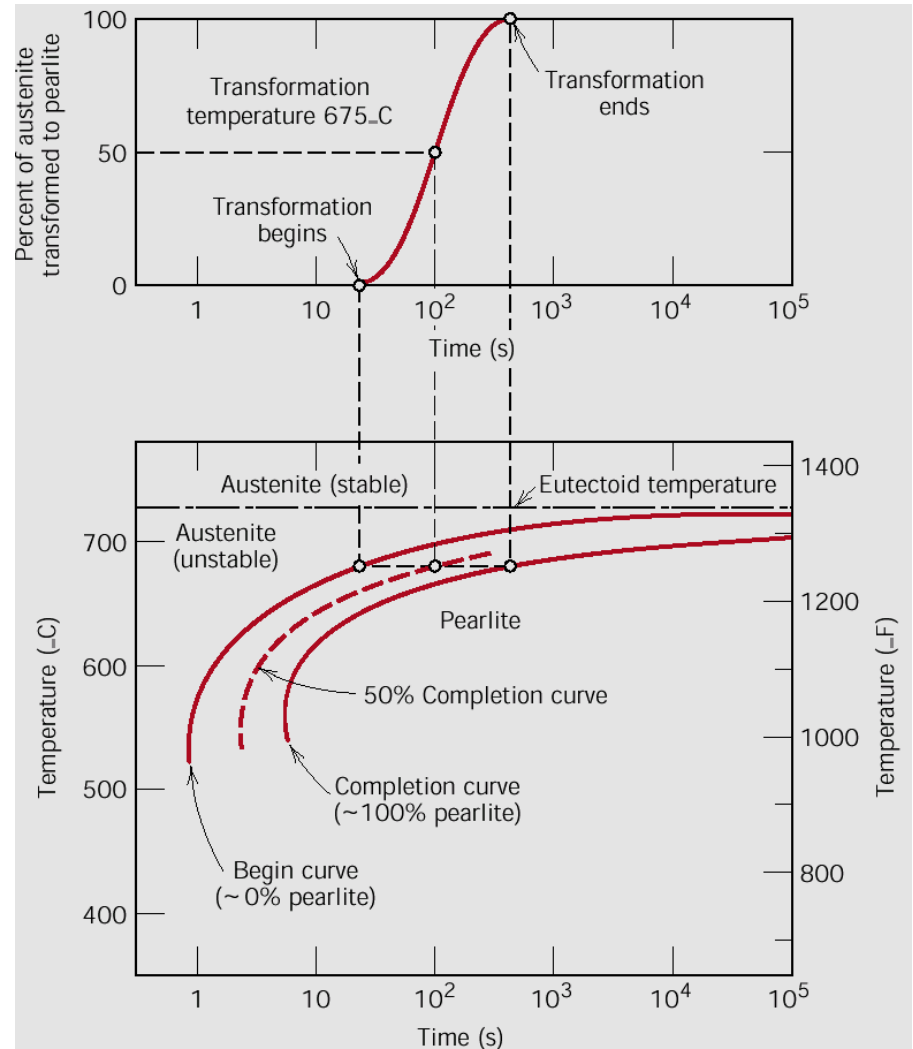
## 5) 강의 성질에 미치는 Austenite 입도의 영향

오스테나이트가 퍼얼라이트로 변태 할 때는 오스테나이트 결정립의 표면에서 일어난다.

따라서 오스테나이트 결정립이 미세 할수록 그 표면 넓이가 커지고 퍼얼라이트 변태가 촉진된다.



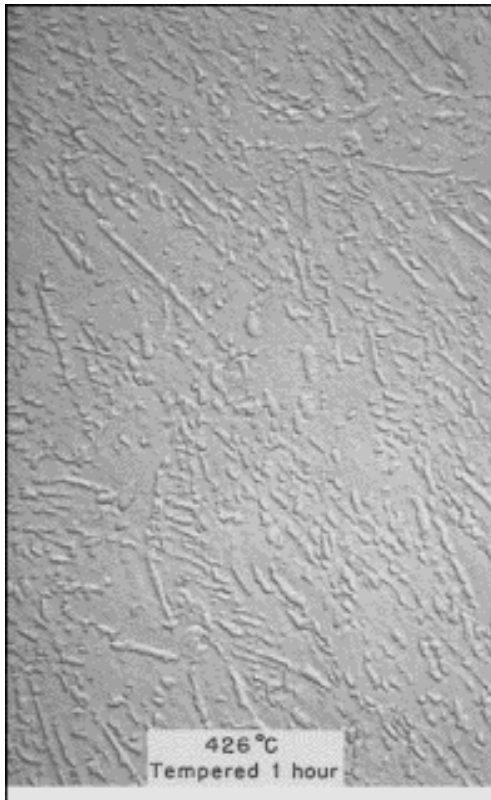
강의 담금질에 있어서는 오스테나이트 결정립이 미세 할수록 냉각속도를 빠르게 해서 퍼얼라이트 변태를 저지하도록 한다.



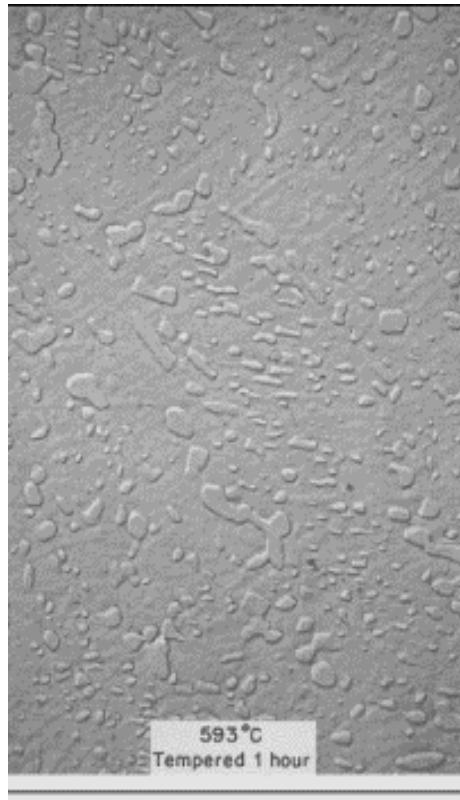
## 6) 변태에 의하지 않은 강을 가열할 때의 조직변화

a) 강이 상온 가공 경화 되었을 경우에 A1 변태점 이하의 가열에 의해 재결정이 일어난다.

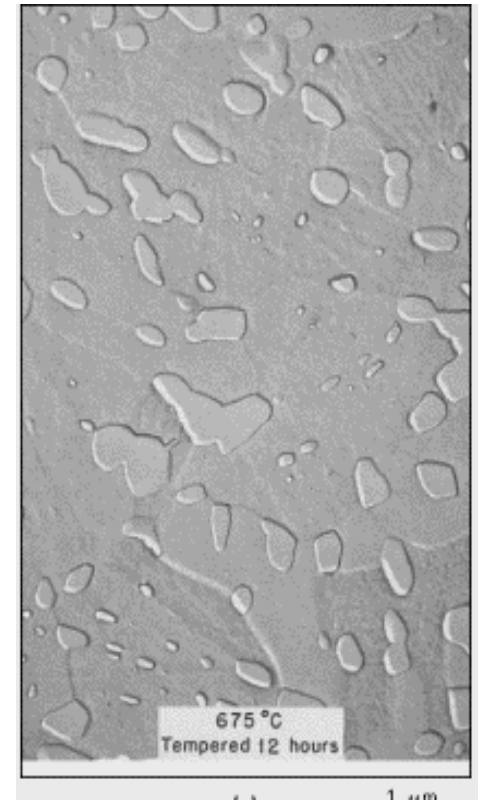
b) A1 변태점 바로 아래의 온도로 장시간 가열하면 시멘타이트의 구상화가 일어난다. (아래사진)



(a)



(b)

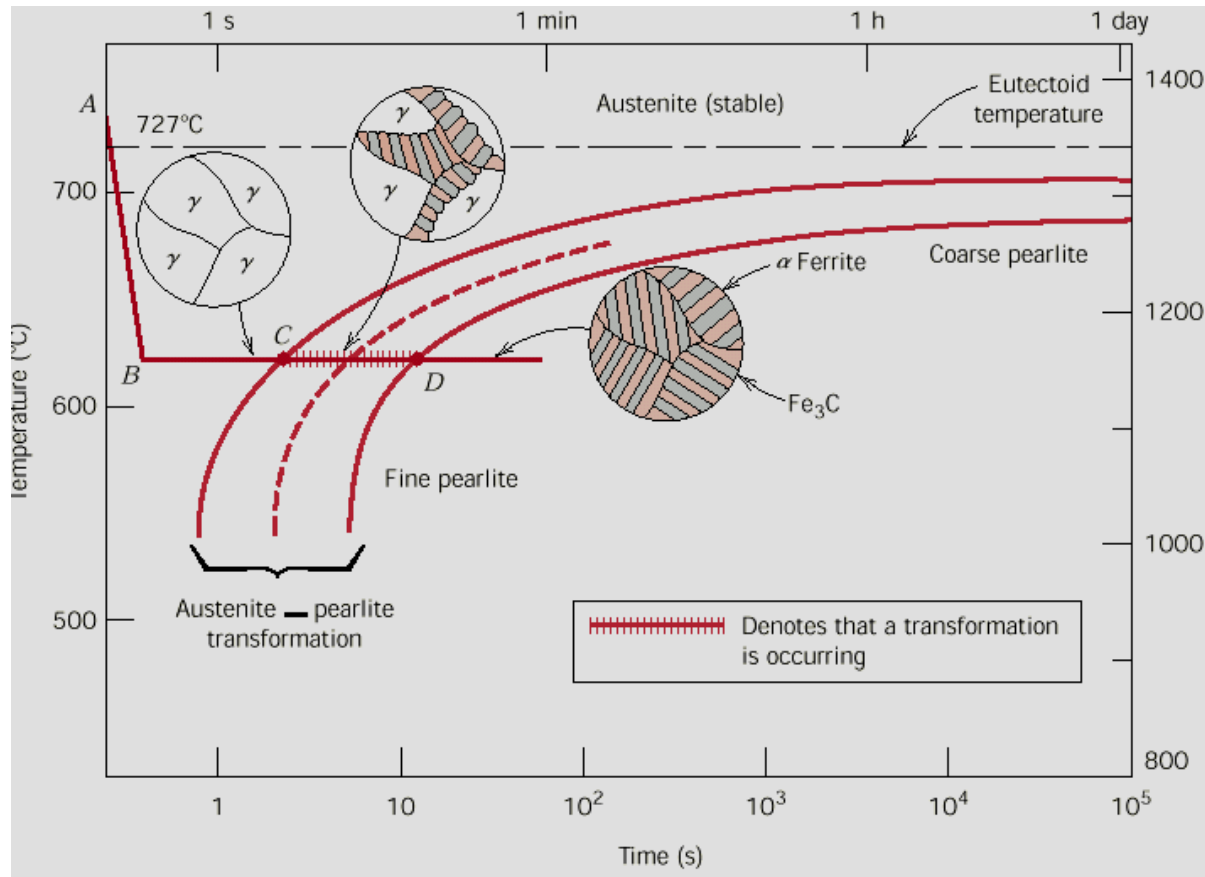


(c)

## 7) 냉각변태 (TTT곡선의 활용)

### ▶ TTT곡선이란

오스테나이트( $\gamma$ ) 상태의 강을 A1변태점 이하의 일정온도로 급냉하여 그 온도에서 유지하면  $\gamma$  상은 어느 시간 변하지 않고 준안정상태로 있다가 변태를 시작하여 어느 시간 후에 변태를 끝낸다. 이와 같이  $\gamma$  상을 일정온도로 유지한 채 변태시키는 처리를 항온변태 또는 등온변태라 하며 이의 곡선을 TTT곡선(Time-Temperature Transformation Diagram) 또는 S곡선이라 한다.



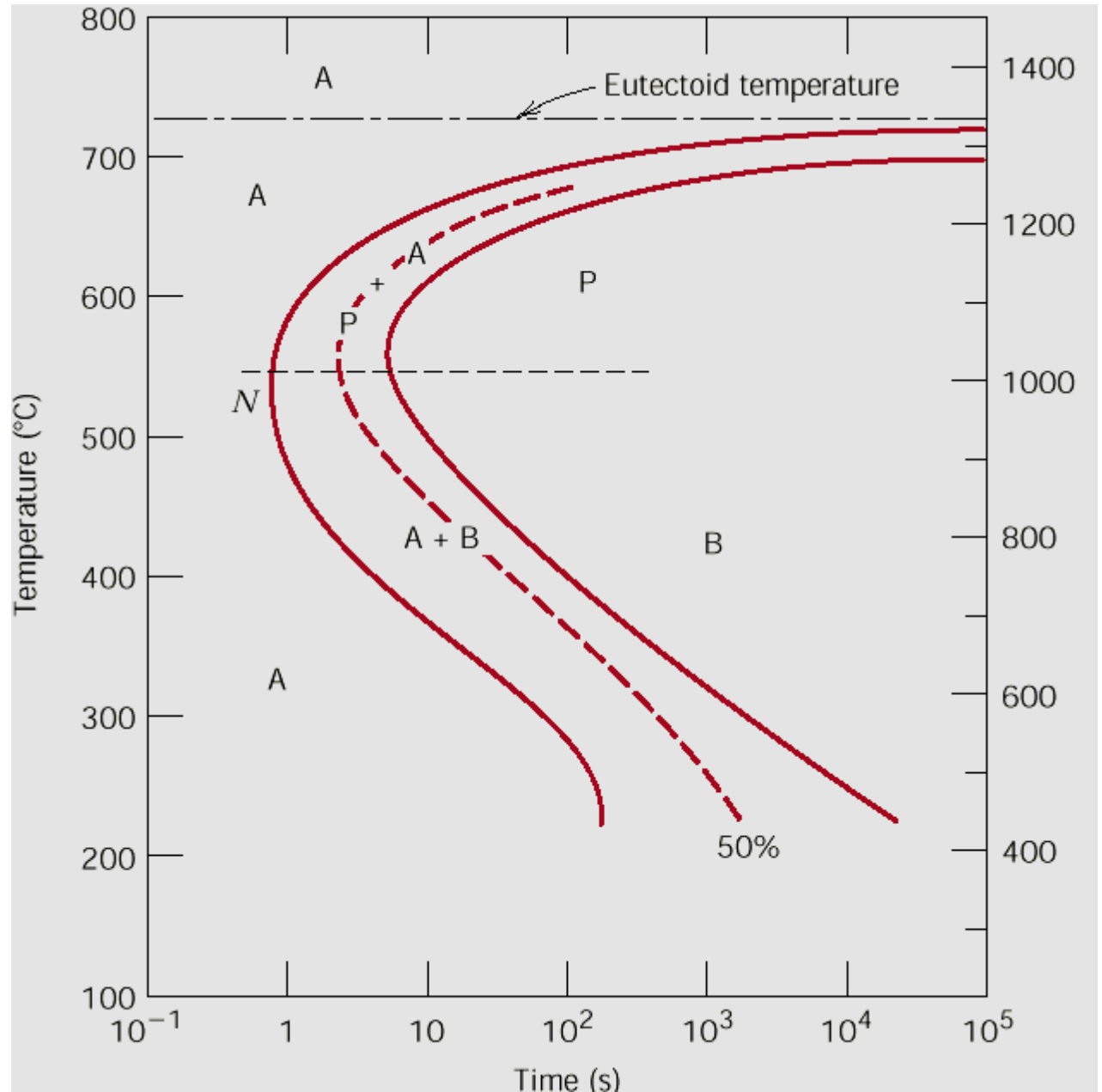
## TTT곡선 활용하기

### 변태곡선의 활용연습

#### ▼조직제어 예

공석강에서 다음과 같은 미세구조를 얻는데 필요한 과정의 개략적인 시간·온도 다이어그램을 그려라.

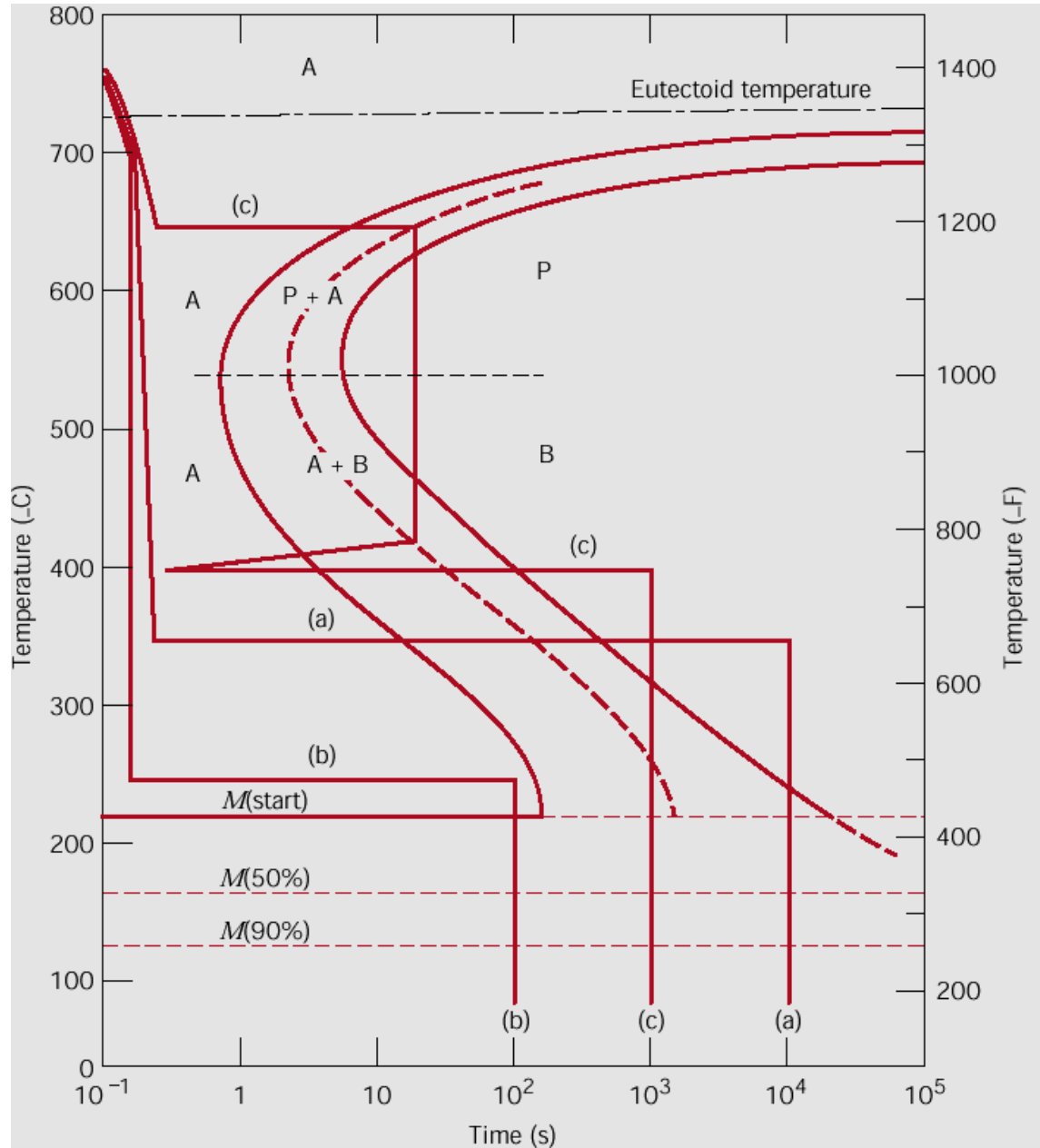
- (a) 조대한 펄라이트
- (b) 50% 펄라이트와 50% 베이나이트
- (c) 80% 마르텐사이트와 20% 펄라이트



## 연습문제 풀기

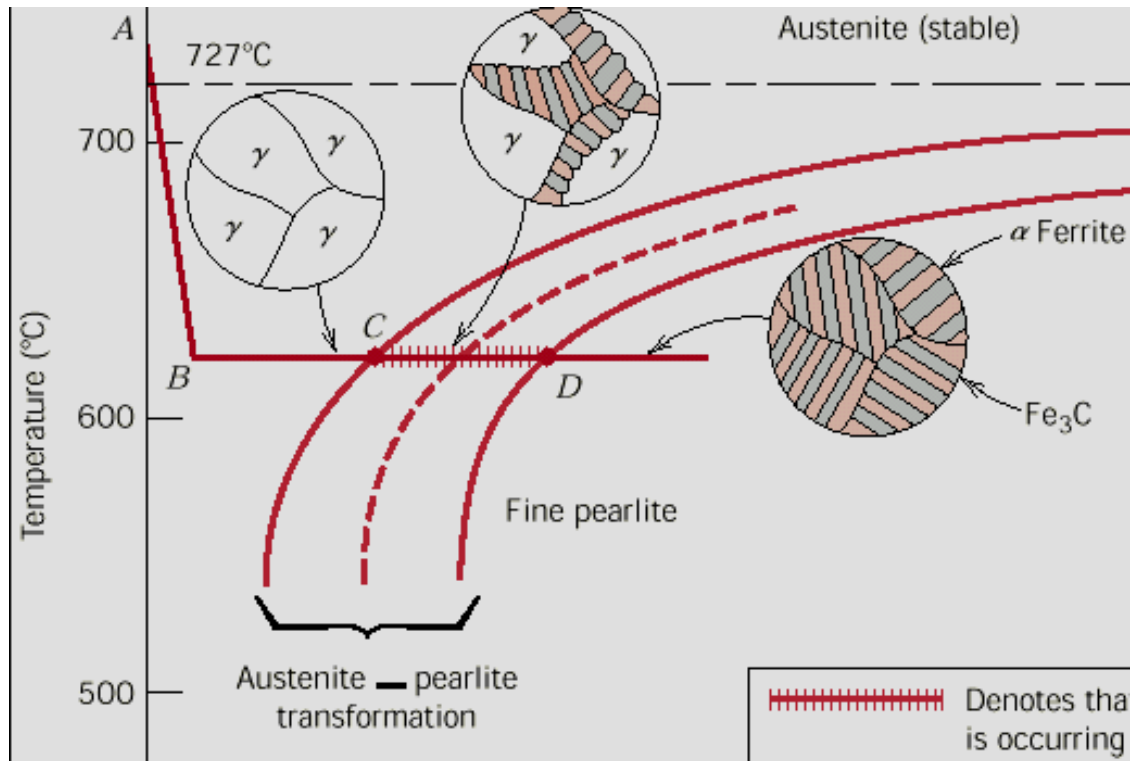
오른쪽 그림에서 (a) (b) (c)의 조직이 바르게 된 것은?

- 1) (a) 100% 베이나이트  
(b) 50% 펄라이트  
50% 베이나이트  
(c) 100% 마르텐사이트
- 2) (a) 100% 베이나이트  
(b) 100% 마르텐사이트  
(c) 50% 펄라이트  
50% 베이나이트
- 3) (a) 100% 마르텐사이트  
(b) 100% 베이나이트  
(c) 50% 펄라이트  
50% 베이나이트



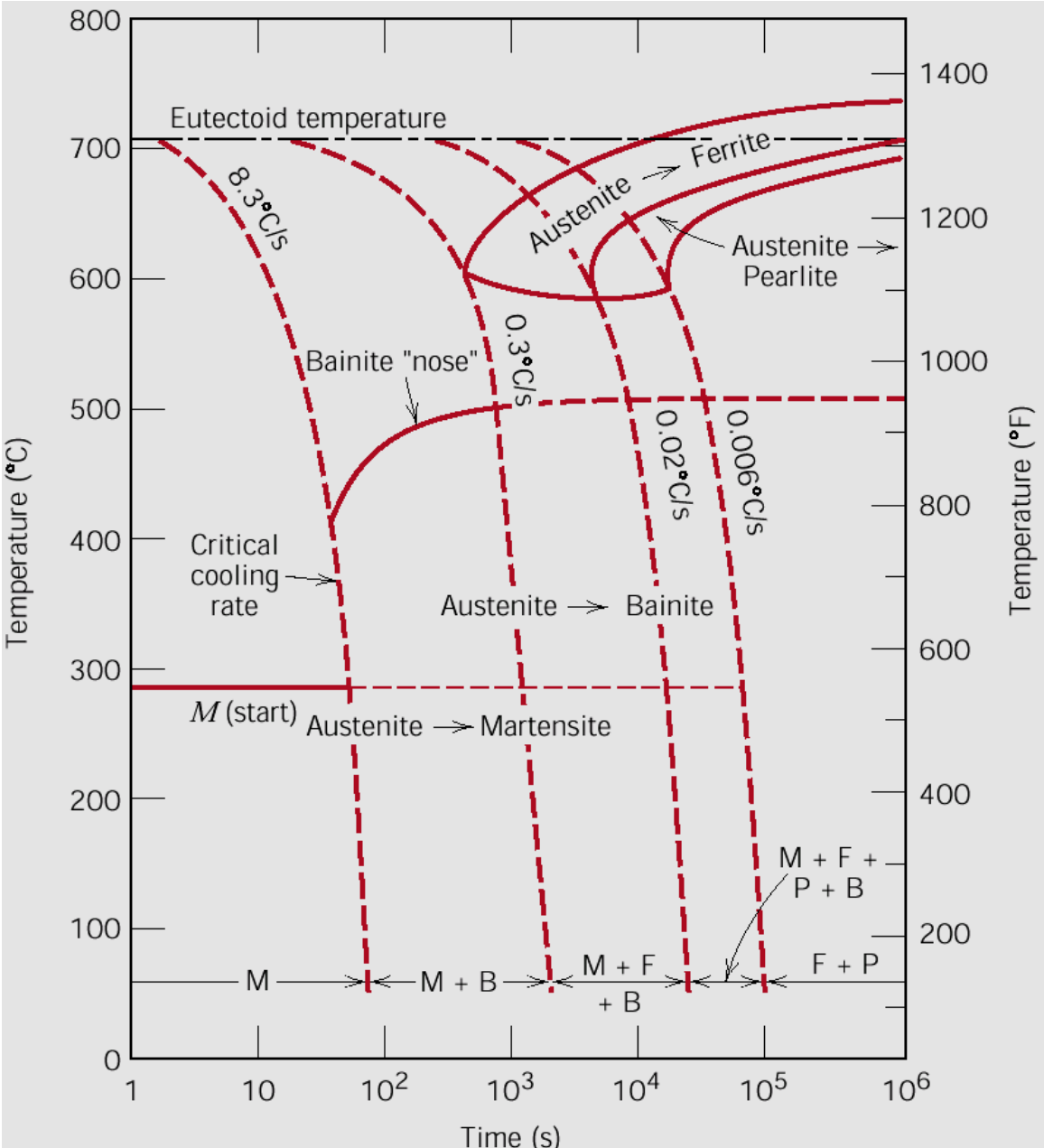
# 알아보기 1

- ▶ TTT변태과정: ①727°C이상에서  $\gamma$ 는 안정된 상이며 ②727~566°C까지는  $\gamma$ 는 펄라이트인  $\alpha +$  탄화물로 변태 → 온도가 내려감에 따라 변태에 걸리는 시간이 감소(왜냐하면 핵생성이 용이해지기 때문) → 낮은 온도에서의 빠른 핵생성은 더욱 미세한 펄라이트(HBS 170~400)를 만든다.
- ③566~216°C까지는  $\gamma$ 는 베이나이트인  $\alpha +$  탄화물로 등온변태 한다. → 온도가 내려감에 따라 변태에 걸리는 시간이 증가(왜냐하면 핵생성이 용이 하더라도 확산이 느리기 때문) → 온도가 감소함에 따라 높은 핵생성은 더욱 미세한 베이나이트(HBS 400~580)를 만든다.
- ④216~ -46°C까지는 Ms~ Mf로  $\gamma$ 는 냉각함에 따라 마르텐사이트로 변태한다.



# 알아보기 2

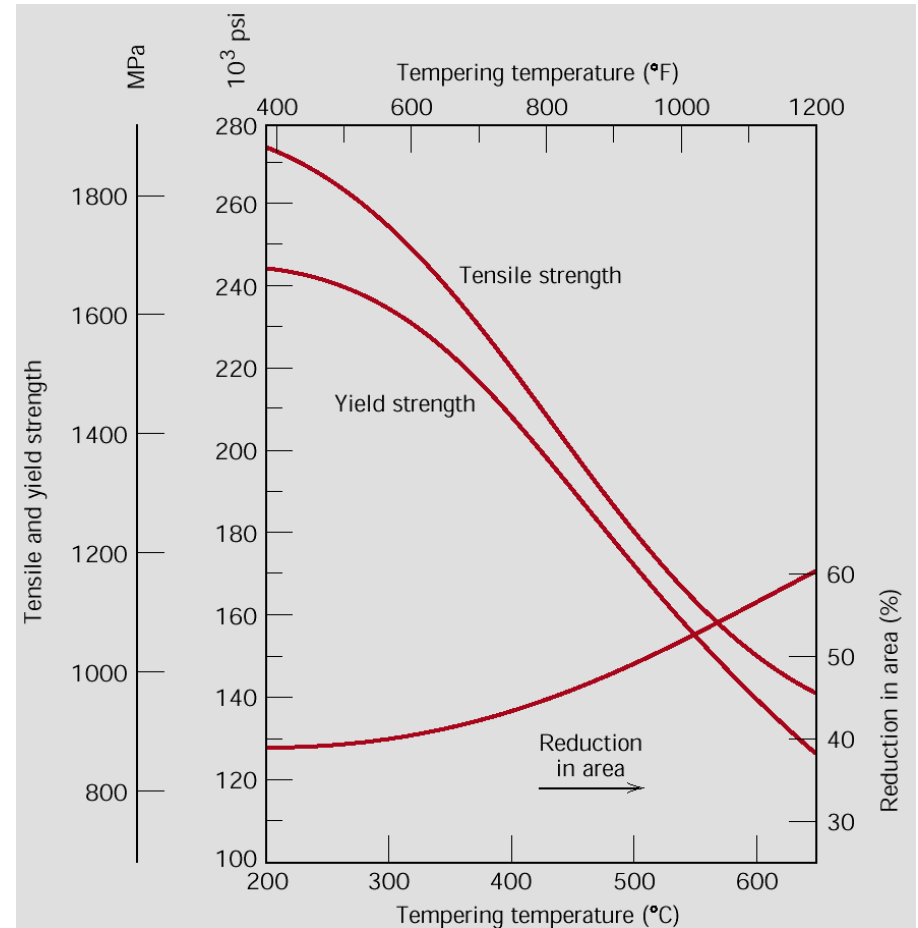
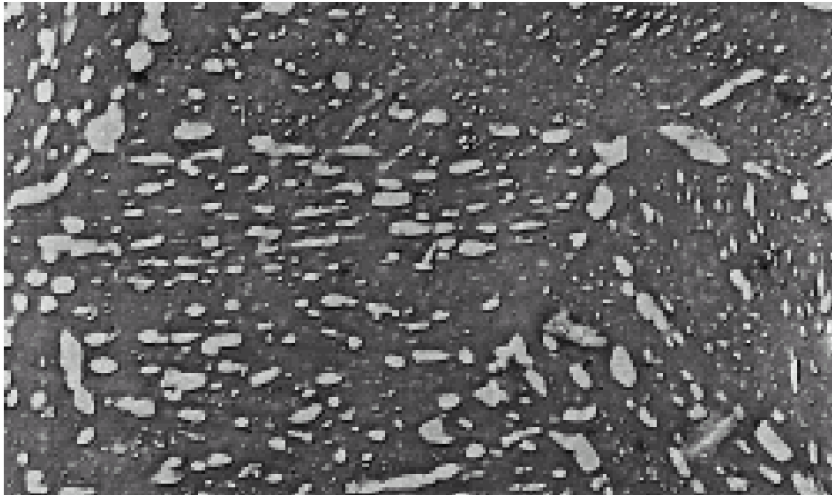
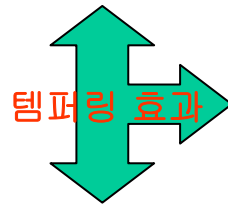
▶ CCT곡선이란  
 오스테나이트를 일정한 냉각속도로 연속냉각하여 변태의 개시점과 종료점을 측정해서 온도와 對數는금의 시간관계로 도시한 곡선을 연속냉각변태곡선 (Continuous Cooling Transformation Diagram) 또는 CCT곡선이라 한다.



## 8) 강의 뜨임 변태

담금질된 강을 뜨임하면

1. 정방정 마르텐사이트의 결정격자에서 탄소원자의 석출
2. 잔류 오스테나이트의 분해
3. 시멘타이트에로의 분해
4. 시멘타이트의 응집



### 1.3.4 강의 명칭

강은 합금원소의 종류나 용도, 제조방법에 따라 분류되고 다음과 같은 명칭으로 부른다.

#### 1) 합금원소에 의한 분류 :

탄소강...주요 합금원소로서 탄소를 함유한 강

합금강...특별한 성질을 주기 위하여 탄소 이외의  
합금원소를 첨가한 강

#### 2) 제강로에 의한 분류

전로강...고로에서 보내는 용선을 원료로 전로에서  
정련한 강

전기로 강...주로 강철을 원료로 전기로에서 정련한 강  
평로강....용선 또는 강철을 원료로 평로에서 정련한 강

#### 3) 제조방법에 의한 분류

압연강재...압연기에서 열간압연을 하여 만들어진 강

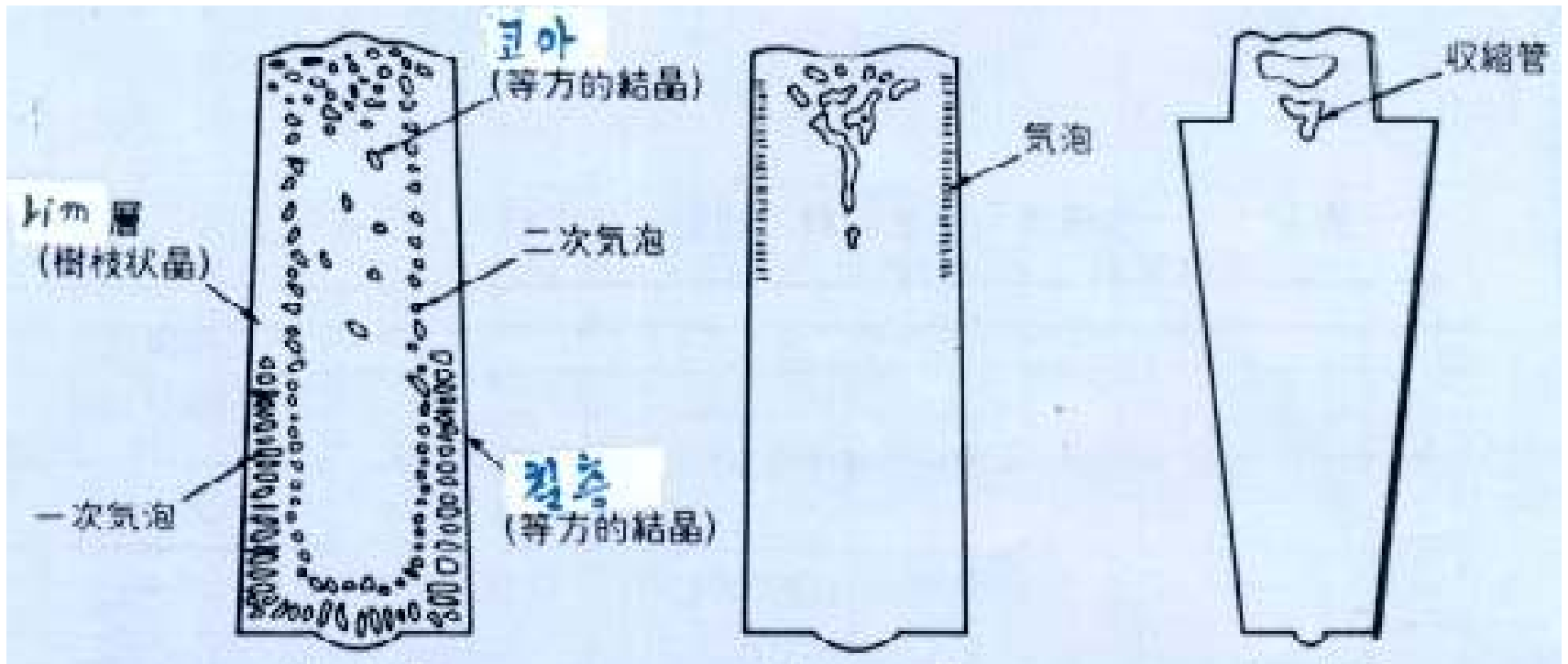
단강품...강괴를 단련하여 만들어진 강제품

주강품...용강을 주형에 부어서 주물로 만들어진 강제품



4) 탈산방법에 의한 분류

- a. 림드강...주로 Mn을 용강에 첨가하여 가볍게 탈산하여 만들어진 강
- b. 킬드강...Mn외에 Si, Al을 사용하여 충분히 탈산한 강
- c. 세미킬드강...림드강과 킬드강의 중간정도에서 탈산하여 만들어진 강



*Rimmed 강*

*Semi-killed 강*

*Killed 강*

### 1.3.5 금속재료의 기본성질

#### 1) 물리적 성질과 원소의 특성(합금에서의 역할)

금속	원소기호	융점(°C)	밀도(비중) g/cm <sup>3</sup>	합금에서의 특성(역할)
니켈	Ni	1,453	8.9	인성증가,저온 충격저항증가
크롬	Cr	1,875	7.19	내마모성, 내식성
몰리브덴	Mo	2,610	10.22	뜨임취성의 방지
" 텅스텐	Mo, W	" 3,410	10.22, 19.3	고온에서 인장강도/경도증가
구리	Cu	1,083	8.96	강 중에서 내산화성
실리콘	Si	1412	2.328	전자기특성, 내열성
바나듐 티타늄,지르 코늄	V Ti, Zr	1,900 1,668, 1857	6.1 4.5 6.51	결정립의 조절

## 2) 각종 원소와 금속/조직간의 특성

특 성	원 소
페라이트 강화성	P, Si, Mo, Ni, Cr, W, Mn
담금질효과 침투성	V, Mo, Mn, Cr, Ni, W, Cu, Si
오스테나이트 결정립의 성장방지성	Al, V, Ti, Zr, Mo, Cr, Si, Mn
뜨임저항성	V, Mo, W, Cr, Si, Mn, Ni
탄화물 생성	Ti, V, Cr, Mo, W

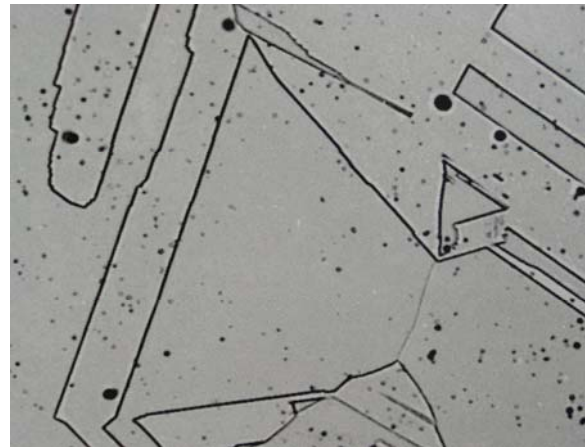
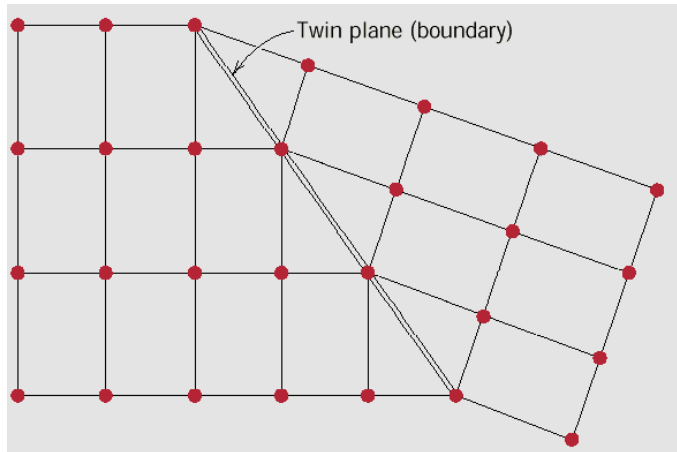
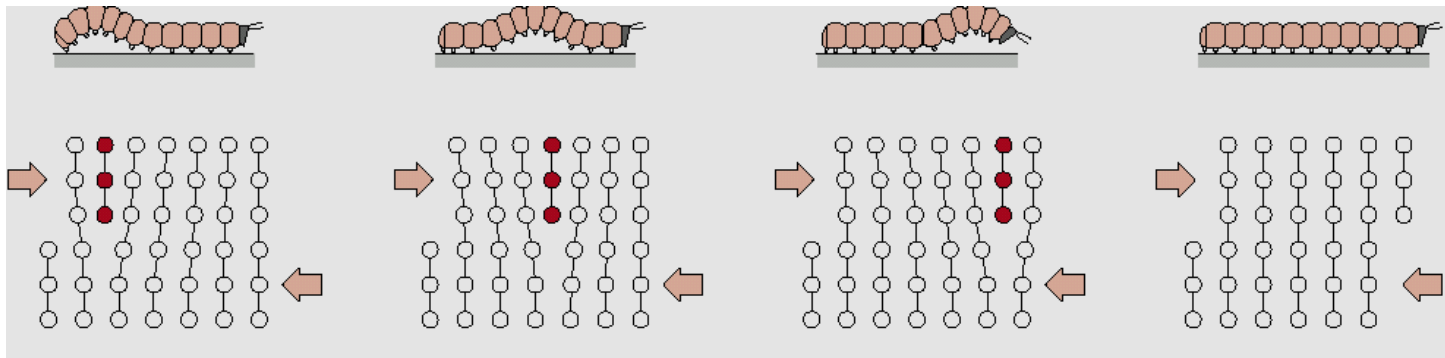


	탄소강	합금강	공구강
제조:	냉간가공, 열간가공된 봉재, 평편 박판, 스트립	열간가공된 봉재, 평편	열간가공한 봉재, 던조품
조성:	Fe + C + Mn 선택 S, P	Fe + C + Mn 선택: Cr, Ni, Mo, Si, V, S, Pb, Al	Fe + C O 선택: Cr, Ni, Mo, Mn, Si, W, Co, S, V, Al

# 좀더 알아보기

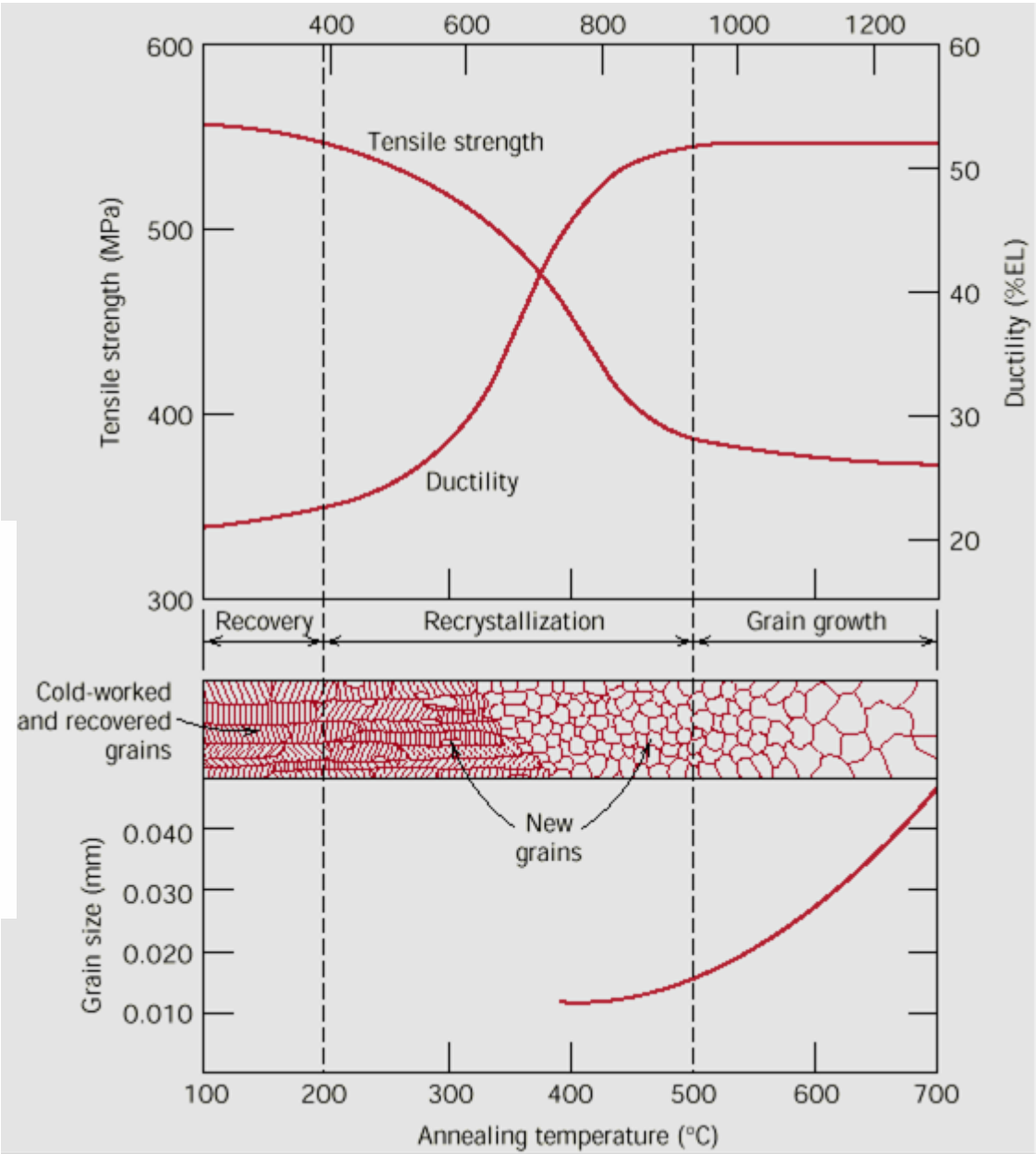
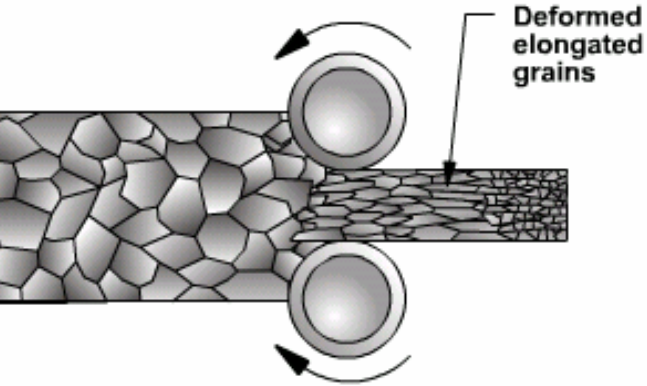
## 소성변형 양식

금속재료의 탄성변형은 원자 사이의 거리변화에 기인하나, 소성변형은 결정의 변형에 원인이 있으며 이에 대한 원리에는 슬립, 쌍정이 있다



# 재결정 알아보기

가공된 황동합금의 소둔 온도가 인장 강도와 연성에 미치는 영향



## 1장. 금속상태도 조직 요점정리

- 금속의 결정구조에 따라 금속의 성질이 바뀐다.
- 합금의 원리는 고용체, 공정(공석포함), 금속간 화합물 3가지가 있다.
- 철-탄소 합금은 탄소함유량에 따라 분류한다.
- 상태도를 이용하여 금속의 조직변화를 예측할 수 있다.
- 철에 합금원소를 첨가하여 내부조직을 개선, 원하는 물성을 얻을 수 있다.
- 철강의 조직은 고용체 - 페라이트, 오스테나이트
  - 공정 - 레데브라이트
  - 공석 - 퍼얼라이트
  - 화합물 - 시멘타이트 가 있다.