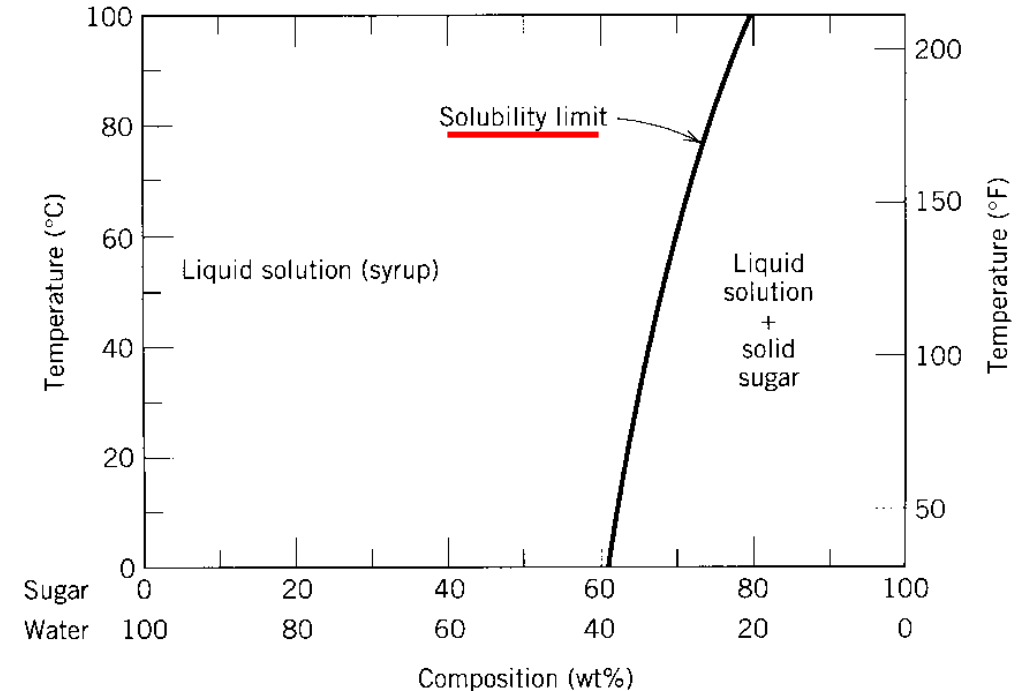


Chap.8 상태도 & 상변태-1

정의와 기본개념

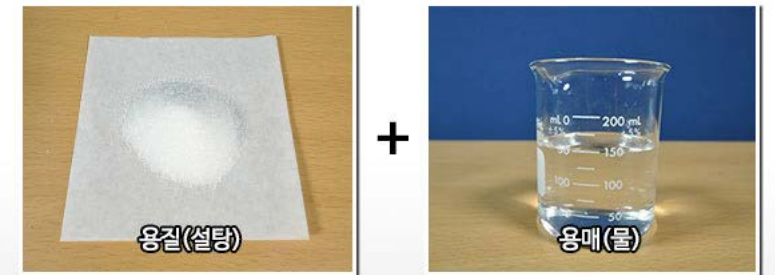
- 성분 (component) : 합금을 구성하는 순금속
- 고용체 (solid solution) :
 - 2가지 이상의 원소로 구성
 - 용질 원자가 용매 원자의 격자 점유 (interstitial or substitutional form): **용매의 격자 구조 유지**
- 용해한도 (solubility limit)
 - 별개의 고용체나 화합물이 형성(2nd phase)되지 않는 용질의 최대 고용량
 - 온도에 따라 결정
 - Example (물+설탕)



정의와 기본개념

- 상 (Phase)

- 물리적/화학적으로 특성이 균일한 계
 - 1개의 상: 균질계 (homogeneous system)
 - 2개 이상의 상: 혼합물 또는 비균질계 (heterogeneous system)
- Examples:
 - 얼음, 물, 수증기: 각각은 1개의 상
 - 얼음물: 2개의 상
 - 설탕, 물: 각각 1개의 상
 - 설탕물: ?
 - α -Fe(BCC), γ -Fe(FCC): 각각 1개의 상
 - FCC와 BCC의 혼합구조를 갖는 재료: ?
- 미세조직 (microstructure)
 - 상의 수, 비율, 분포 등에 의해 특징 결정
 - 합금 원소의 종류, 농도, 열처리 등에 따라 변화
 - 단일상 또는 고용체의 경우 미세조직은 ?



용해



평형 상태도

- **상평형**

- 평형(equilibrium)

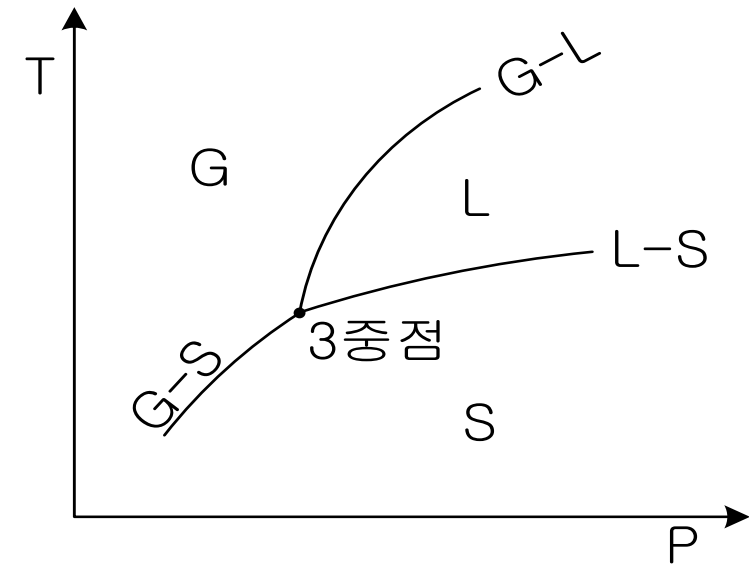
- 특정 온도, 압력, 조성에서 자유에너지가 최소인 상태 (**가장 안정된 상태**)
 - 시간에 따라 계의 특성이 불변
 - **온도, 압력, 조성 변화에 따라 변화** (새로운 평형 상태로 이동)

- 상평형

- 시간에 따라 상의 특성이 불변하는 상태

- **상태도 (phase diagram)**

- **평형 상태에서 온도, 조성, 상의 양 등의 관계를 표시**
 - **특정 합금의 미세조직과 상의 구조 파악에 활용**
 - 상변태 : 온도 변화에 따른 상의 변화

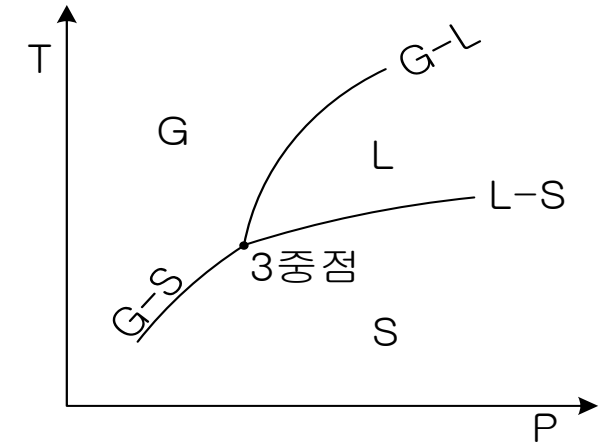
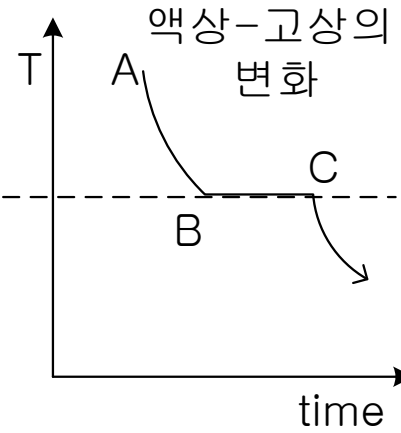
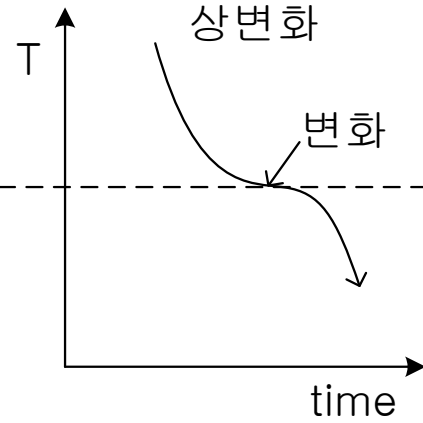
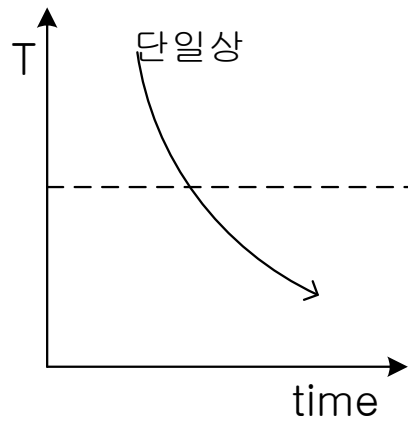


평형 상태도

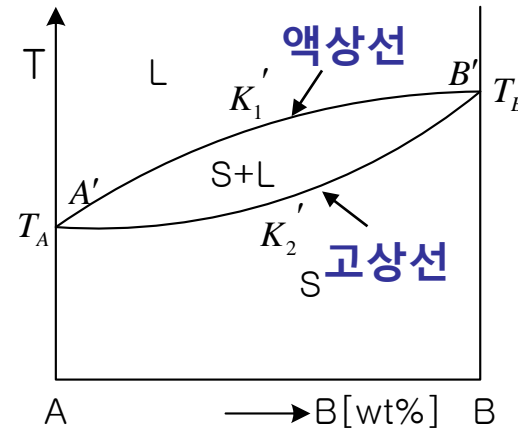
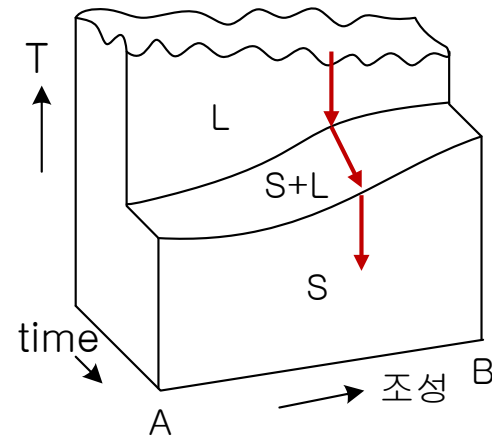
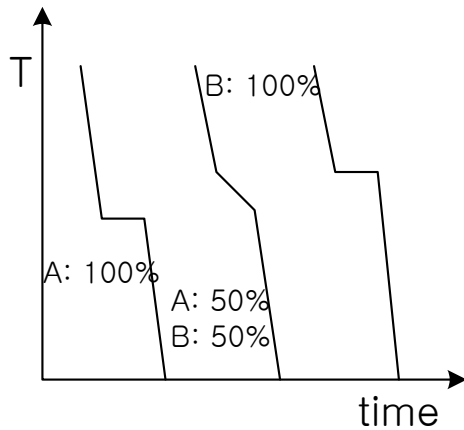
고체의 상태도

- 온도와 합금조성으로 상의 영역 표시

온도 :



조성 :



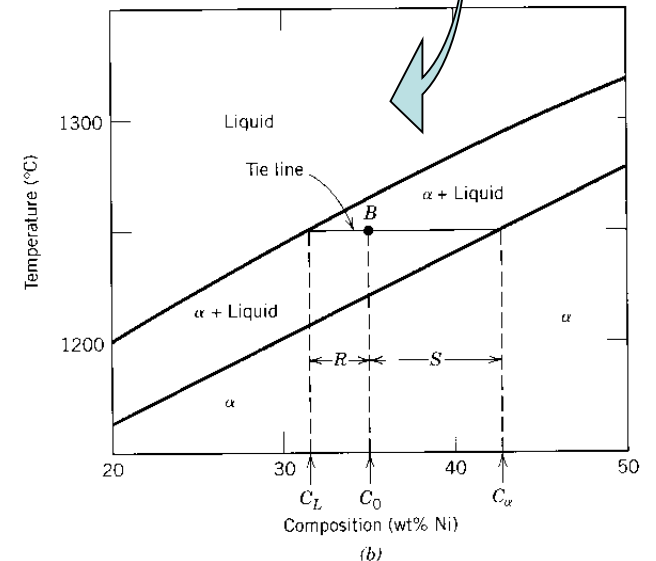
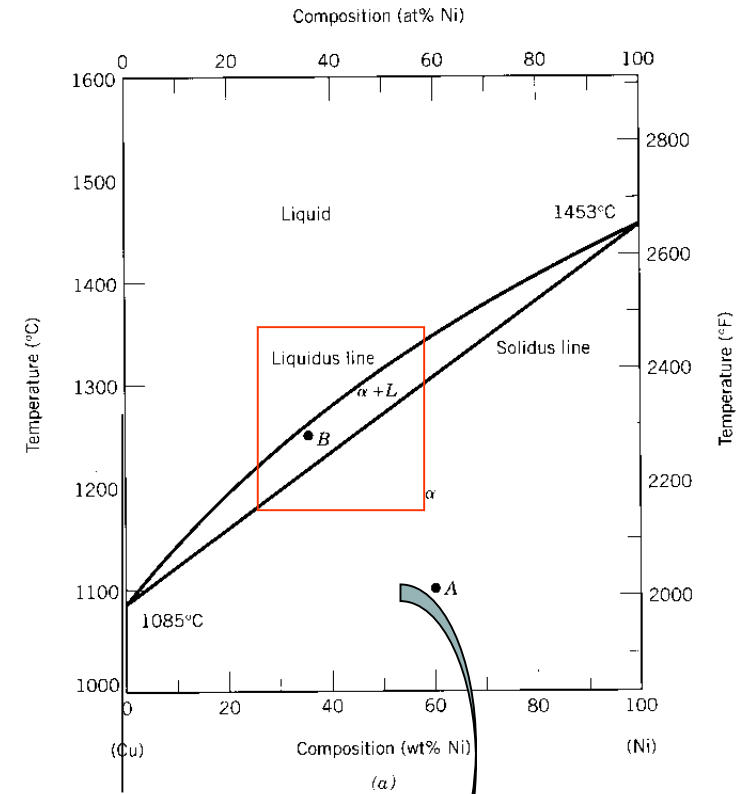
평형 상태도

• 2원 전용고용체계

- 액체 상태 뿐 아니라 고체 상태에서 2합금 원소가 **완전한 고용체를 형성하는 경우 (석출(x))**
- 상의 종류
 - 온도-조성 위치로부터 결정(A, B)
- 상의 화학조성
 - 단상 상태: 합금의 조성과 일치
 - 2상 상태: 온도에 따라 결정
 - 일정 온도에서 **상경계 (액상선, 고상선)의 조성 (C_L, C_α)**
- 상의 량 (분률)
 - 주어진 온도에서 lever rule 적용
 - L과 α 의 무게 분률 (W_L, W_α)

$$W_L = \frac{S}{S+R} = \frac{C_\alpha - C_0}{C_\alpha - C_L}$$

$$W_\alpha = \frac{R}{S+R} = \frac{C_0 - C_L}{C_\alpha - C_L}$$



평형 상태도

- Sum of weight fractions:

$$W_L + W_\alpha = 1$$

- Conservation of mass (Ni):

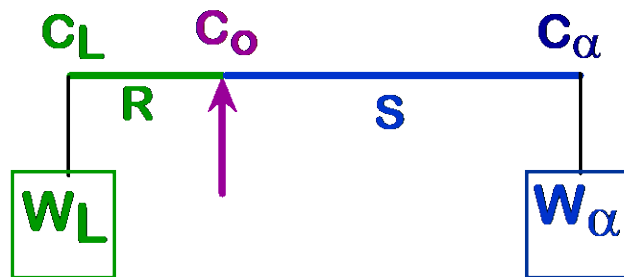
$$C_O = W_L C_L + W_\alpha C_\alpha$$

- Combine above equations:

$$W_L = \frac{C_\alpha - C_O}{C_\alpha - C_L} = \frac{S}{R+S}$$

$$W_\alpha = \frac{C_O - C_L}{C_\alpha - C_L} = \frac{R}{R+S}$$

- A geometric interpretation:



moment equilibrium:

$$W_L R = W_\alpha S$$

$$1 - W_\alpha$$

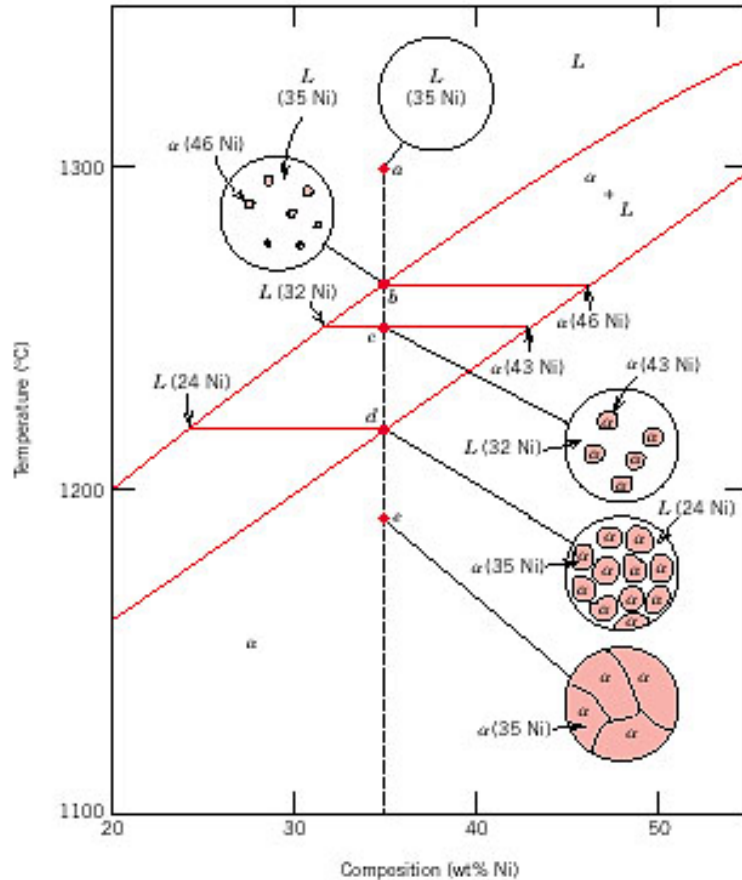
solving gives Lever Rule

평형 상태도

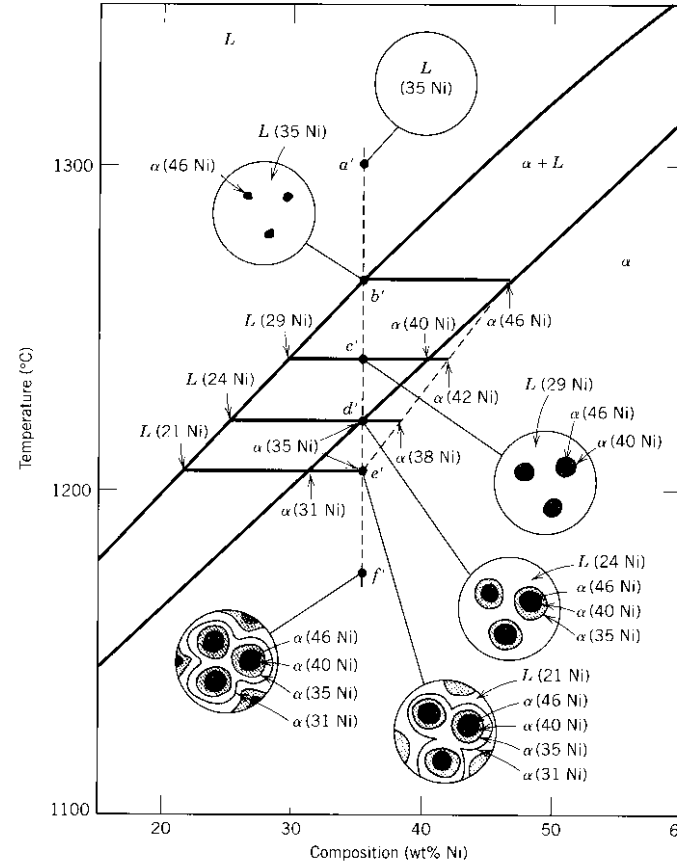
- 2원 전용고용체계
 - 냉각과 미세조직

<이상적인 냉각 조건>

FIGURE 9.3 Schematic representation of the development of microstructure during the equilibrium solidification of a 35 wt% Ni-65 wt% Cu alloy.



<실제 냉각 조건>



-> 결정립계 편석 원인

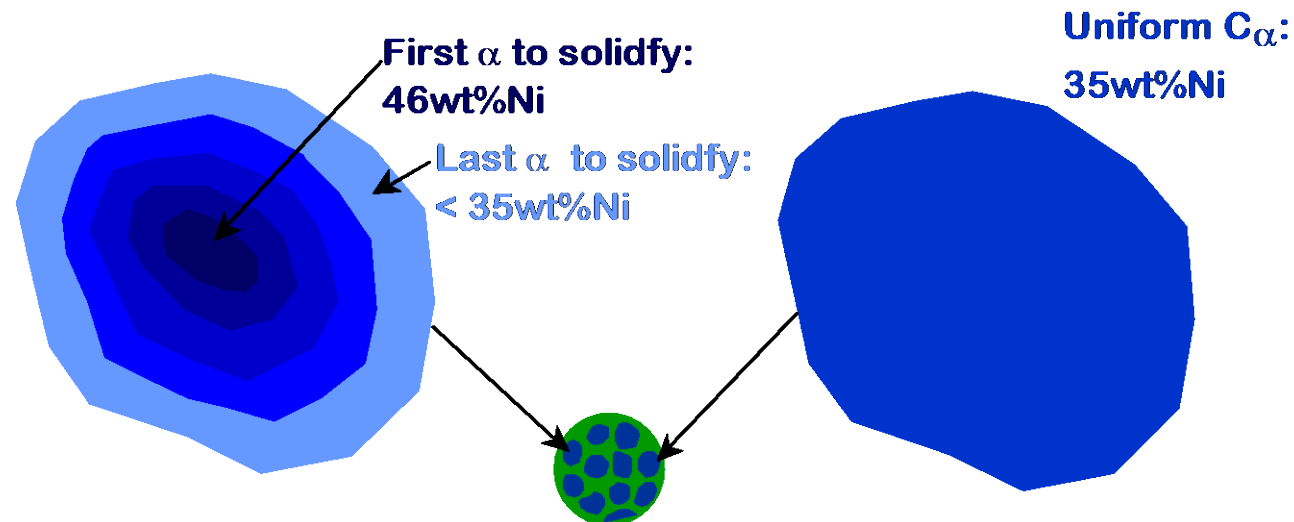
평형 상태도

- 2원 전용고용체계

- C_α changes as we solidify.
- Cu-Ni case: First α to solidify has $C_\alpha = 46\text{wt}\%Ni$.
Last α to solidify has $C_\alpha = 35\text{wt}\%Ni$.

- **Fast rate of cooling:**
Cored structure

- **Slow rate of cooling:**
Equilibrium structure

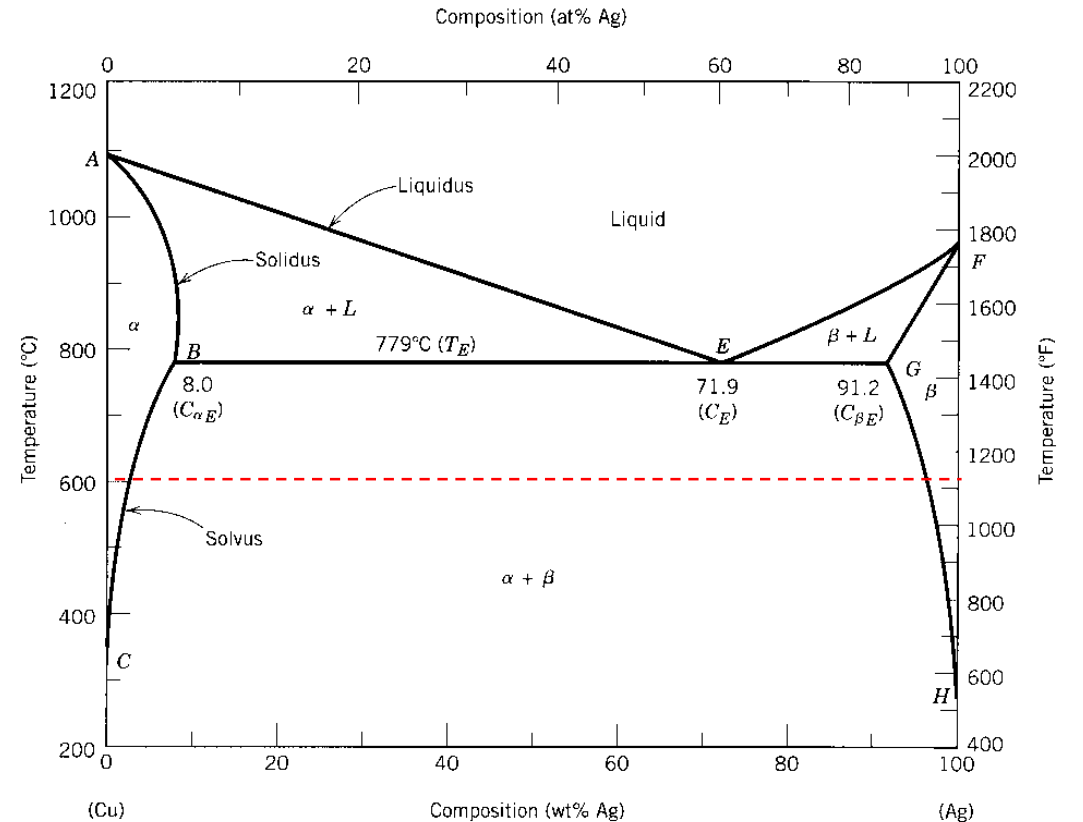
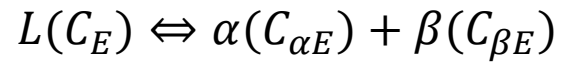


평형 상태도

- 2원 공정계

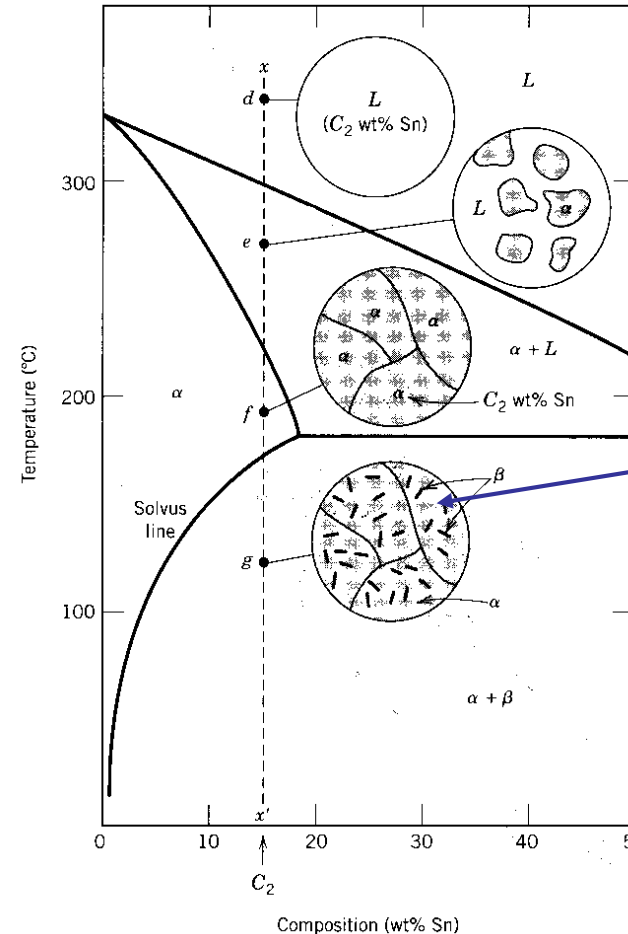
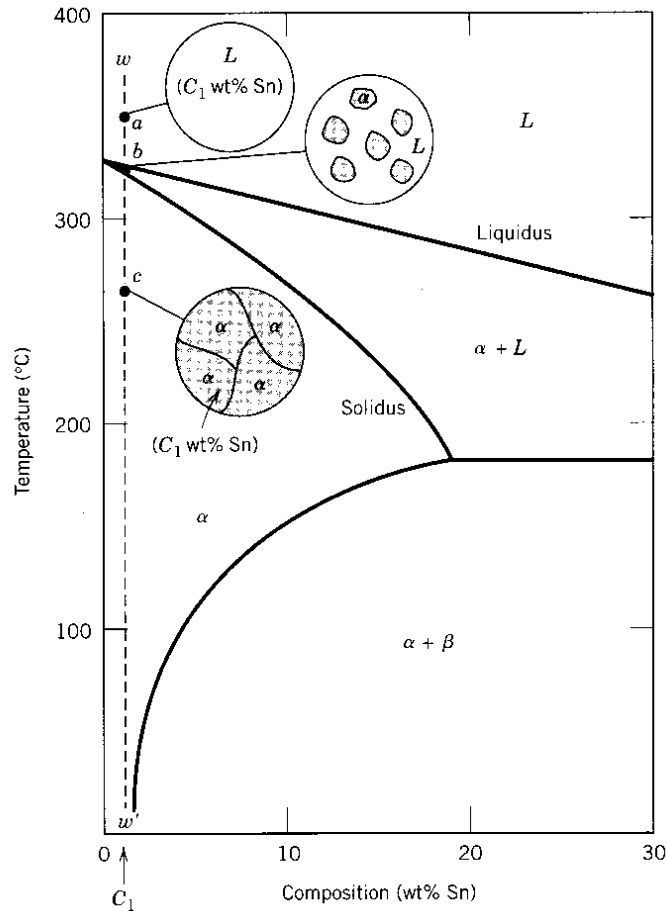
- 구성

- 3개의 단상 영역과 3개의 2상 영역
- α 상과 β 상에서 각 합금원소의 용해도 한계
- 조성이 C_E , 온도가 T_E 인 합금의 공정반응 (액상이 2개의 고체상으로 함께 변화)



평형 상태도

- 2원 공정계
 - 냉각과 미세조직 (단상 및 석출)

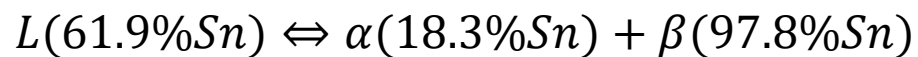
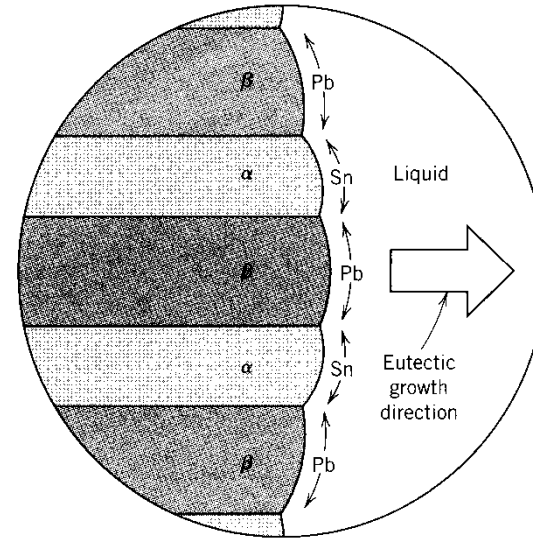
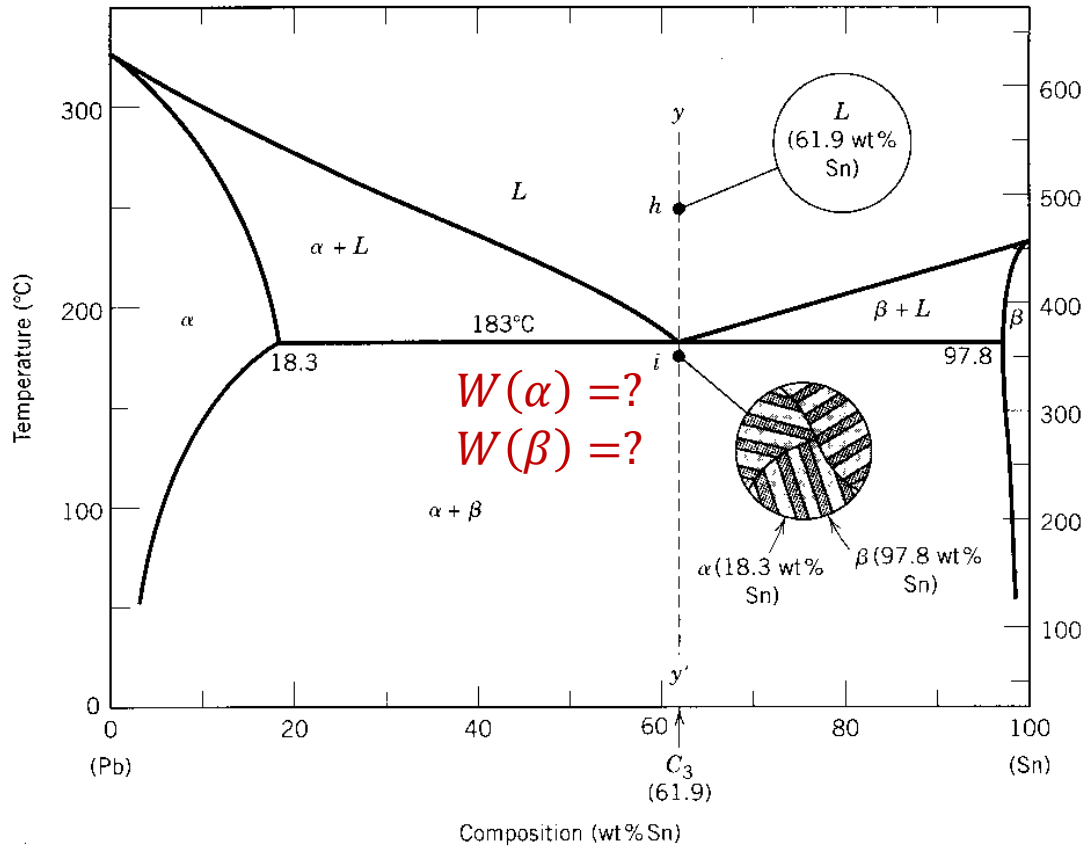


$W(\alpha) = ?$
 $W(L) = ?$

α -상 내의 고용도 한계로 인해 g 점에서 β -상 형성

평형 상태도

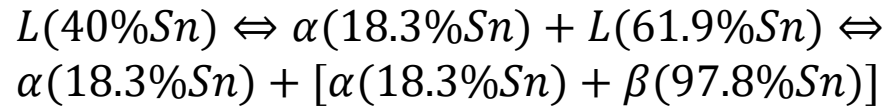
- 2원 공정계
 - 냉각과 미세조직 (공정반응)



평형 상태도

• 2원 공정계

- 반응



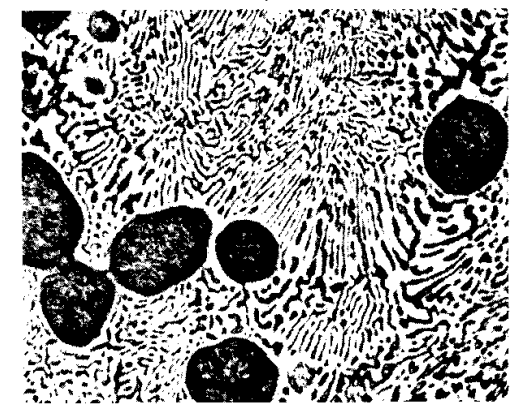
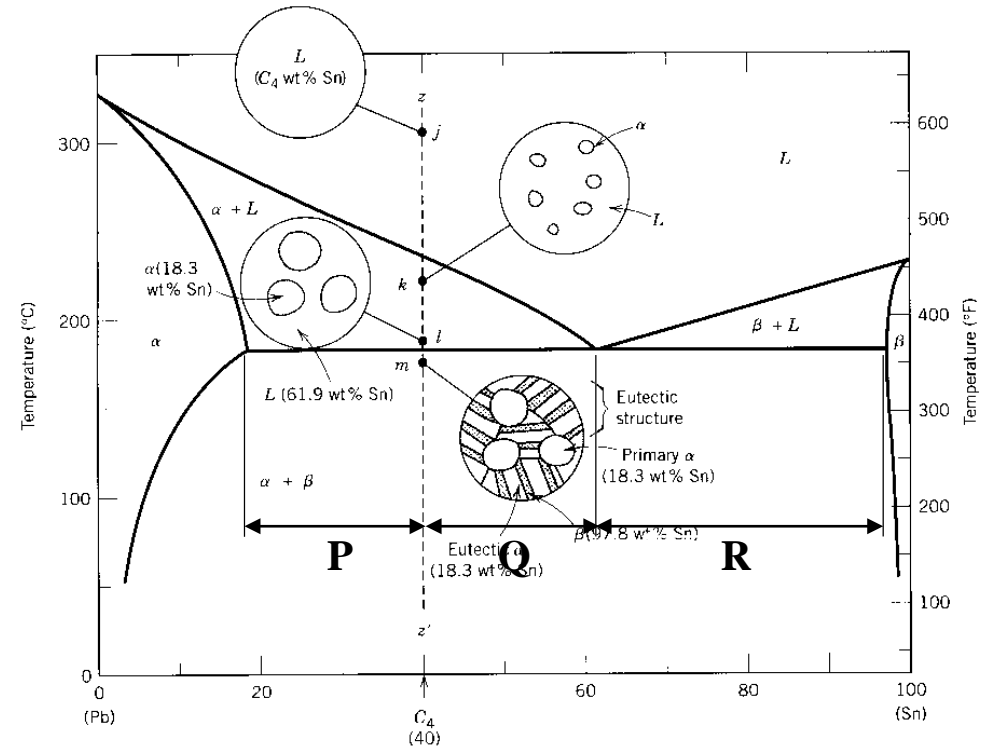
- 각 상의 분률

• 공정 분률: $W_e = W_L = \frac{P}{P + Q}$

• 초정 α' -상의 분률: $W_{\alpha'} = \frac{Q}{P + Q}$

• 총 α -상의 분률: $W_{\alpha} = W_{\alpha'} + W_L \left(\frac{R}{P + Q + R} \right)$
 $= \frac{Q + R}{P + Q + R}$

• β -상의 분률: $W_{\beta} = W_L \frac{P + Q}{P + Q + R}$



Fe-C 상태도



• Fe-Fe₃C 상태도

- 구성
 - Ferrite(α, δ), Austenite(γ), Fe₃C, L 등
- 탄소 함량에 따른 구분
 - 순철: C < 0.008%
 - 강: C = 0.008~2.14%
 - 주철: C = 2.14~6.70%
- Ferrite
 - α -상 : BCC (상온에서 안정)
 - 최대 탄소용해도 : 0.022%
- Austenite
 - γ -상: FCC (>727°C에서 안정)
 - 최대 탄소용해도 : 2.14%
- Cementite (Fe₃C)
 - 727°C이하 : α -상 고용한도(0.022%) 이상의 C 함량
 - 727°C이상 : γ -상 고용한도(2.14%) 이상의 C 함량
 - **단단하고 취성이 강함**

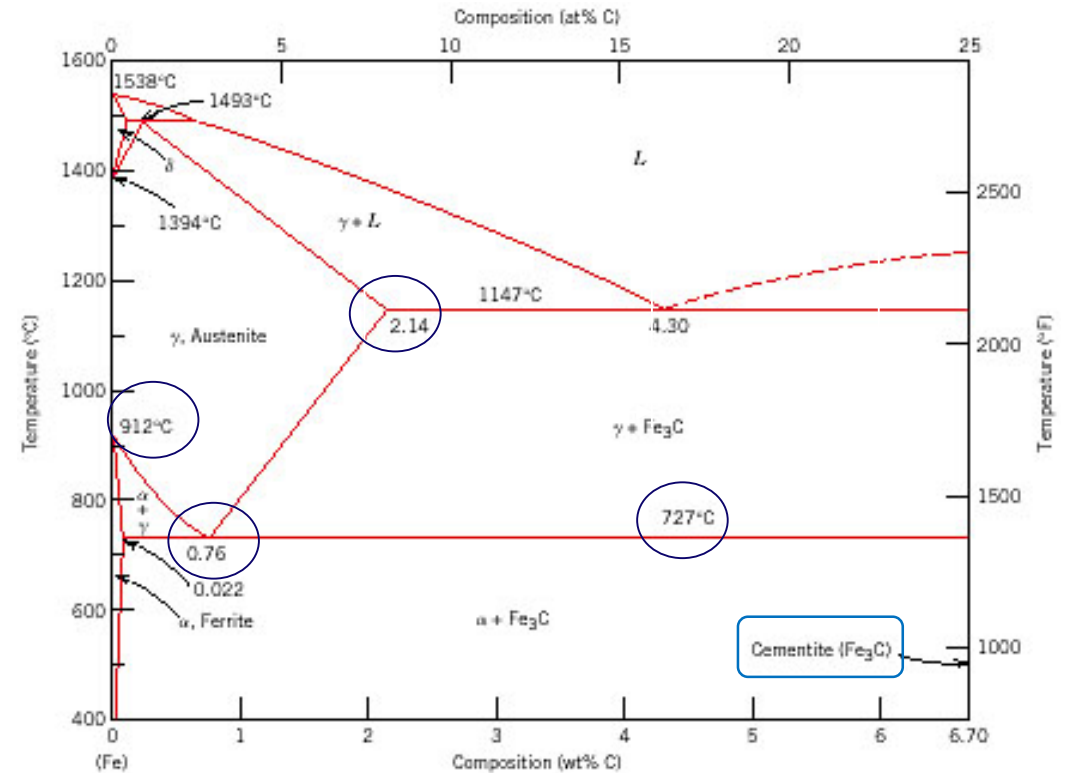
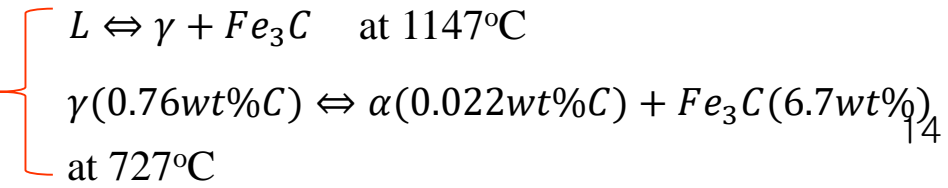


FIGURE 9.22 The iron-iron carbide phase diagram. (Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski, Editor-in-Chief, 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH.)

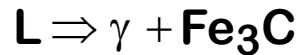


Fe-C 상태도

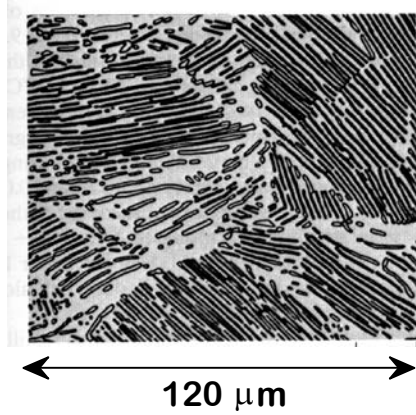
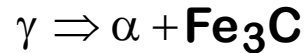
- Fe-C 합금의 미세조직(공석강 : eutectoid steel)

- 2 important points

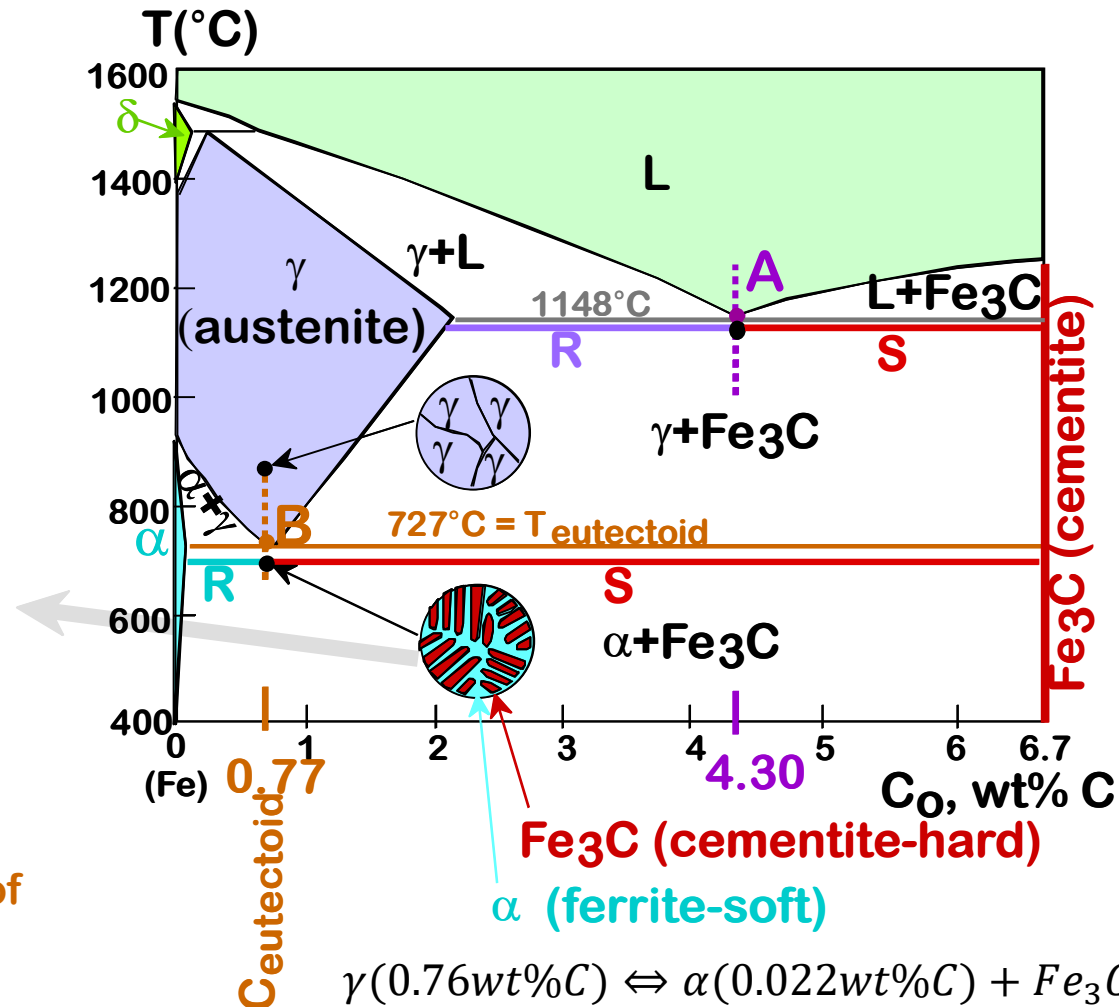
- Eutectic (A):



- Eutectoid (B):

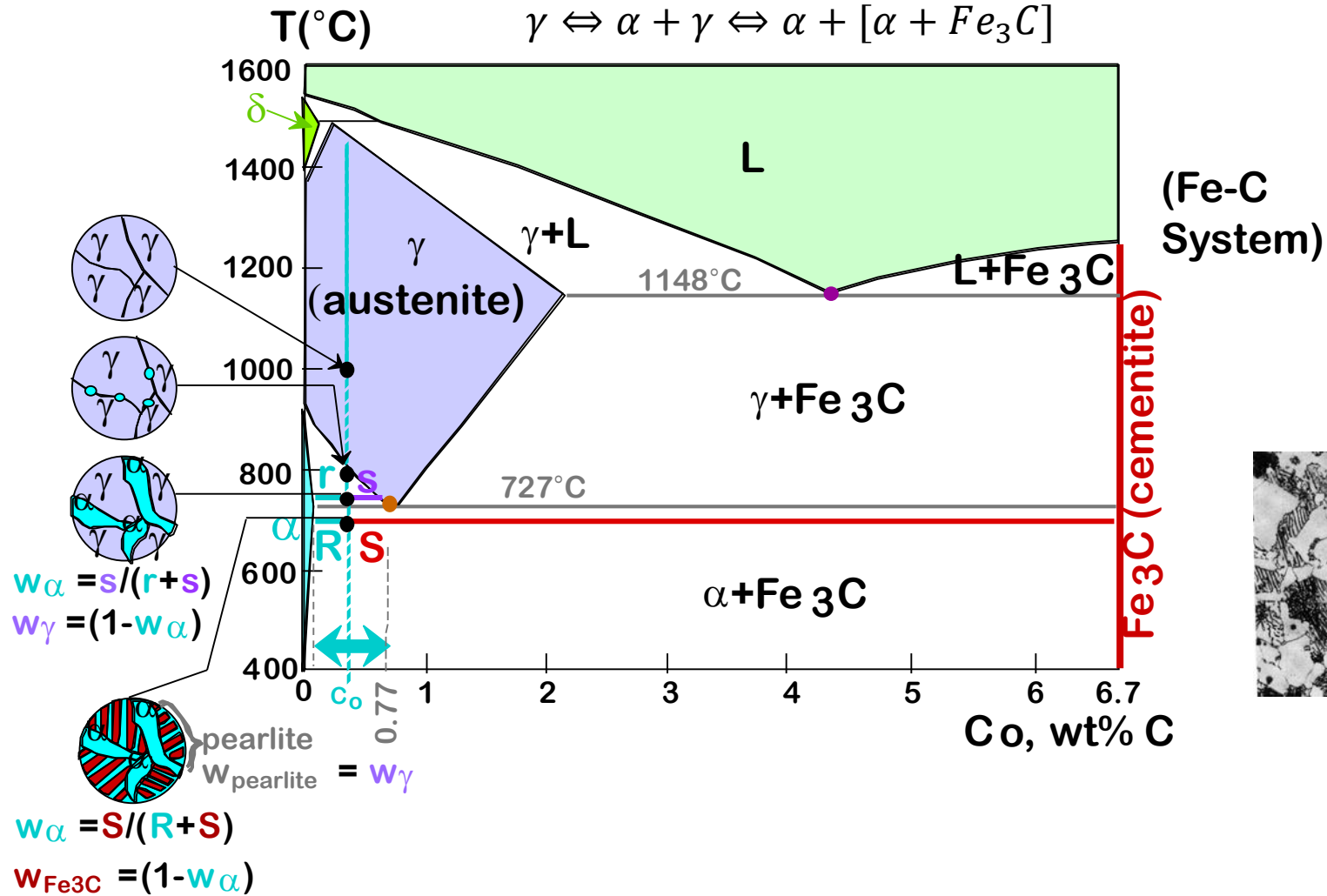


Result: Pearlite = alternating layers of α and Fe_3C phases.



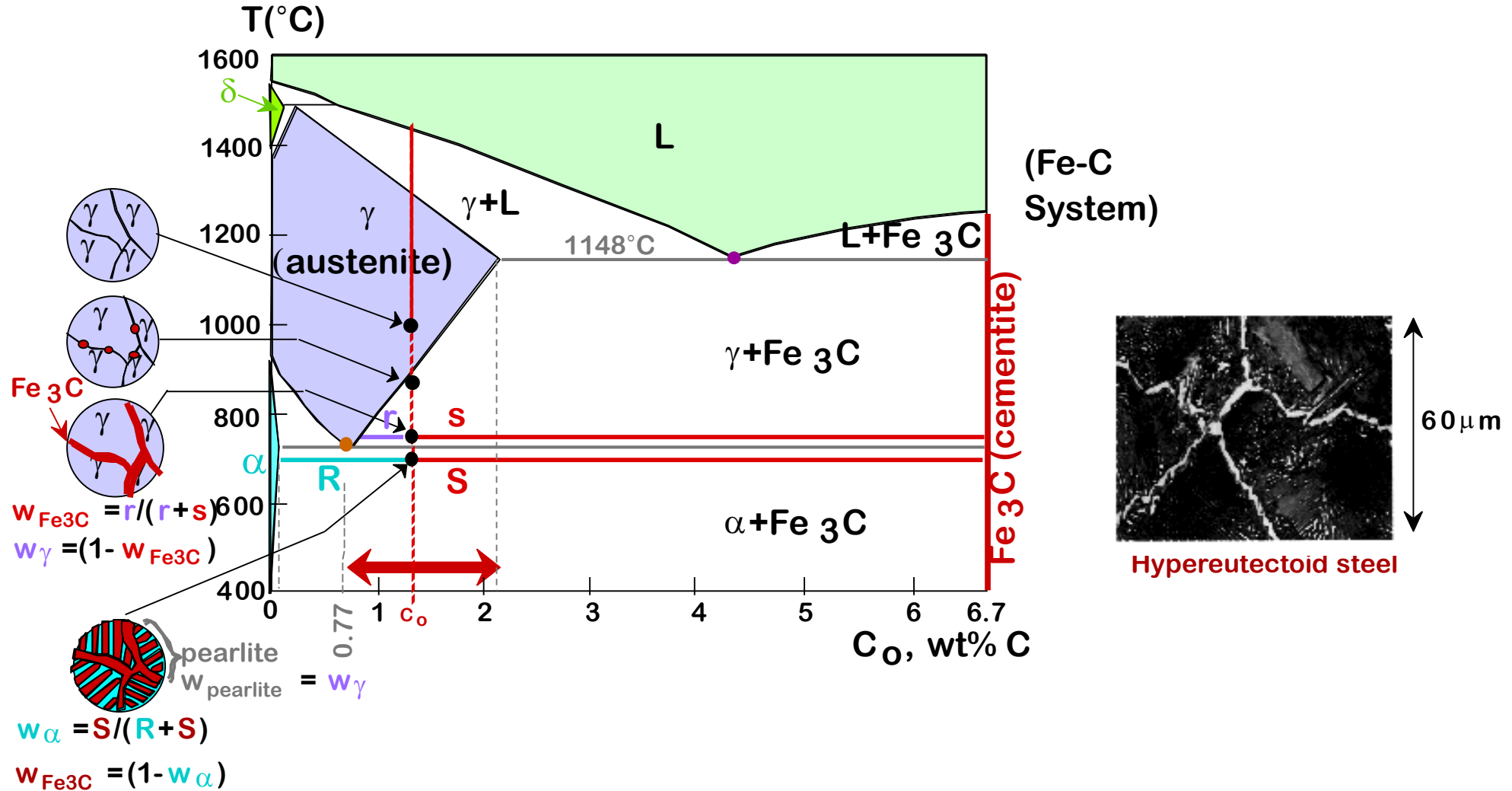
Fe-C 상태도

- Fe-C 합금의 미세조직(아공석강 : hypoeutectoid steel)



Fe-C 상태도

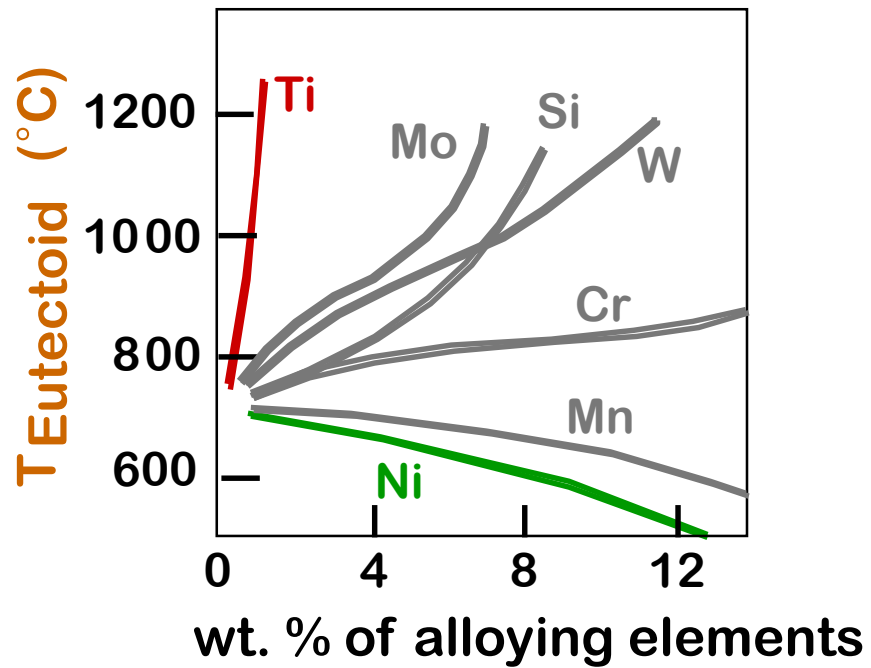
- Fe-C 합금의 미세조직 (과공석강 : hypereutectoid steel)



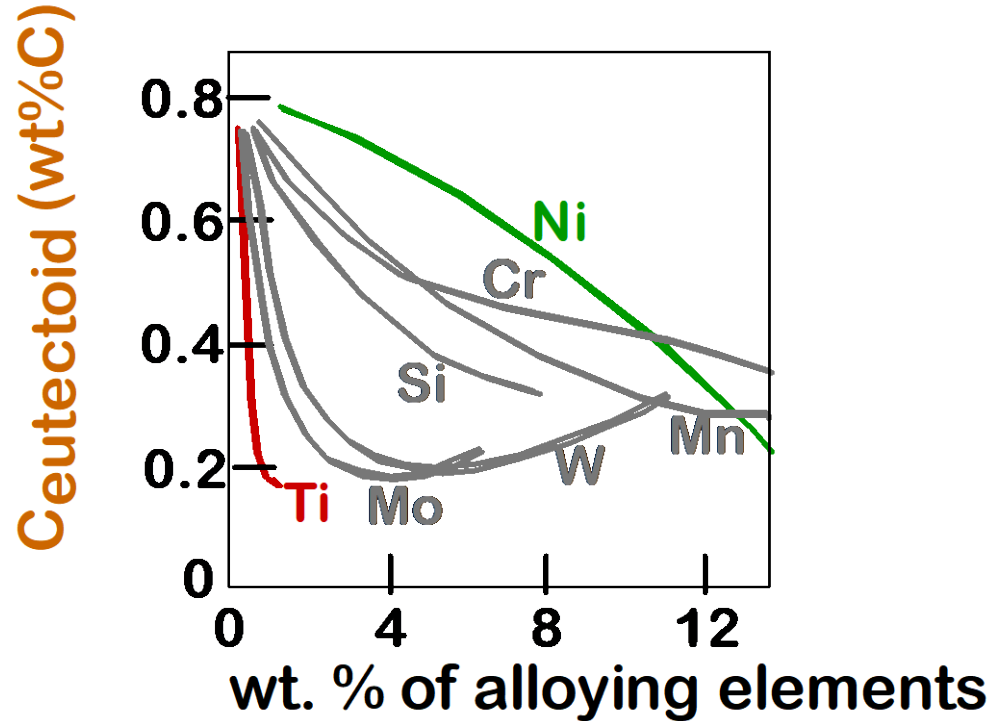
Fe-C 상태도

- 기타 합금원소의 영향
 - 공석반응 온도와 탄소함량 변화

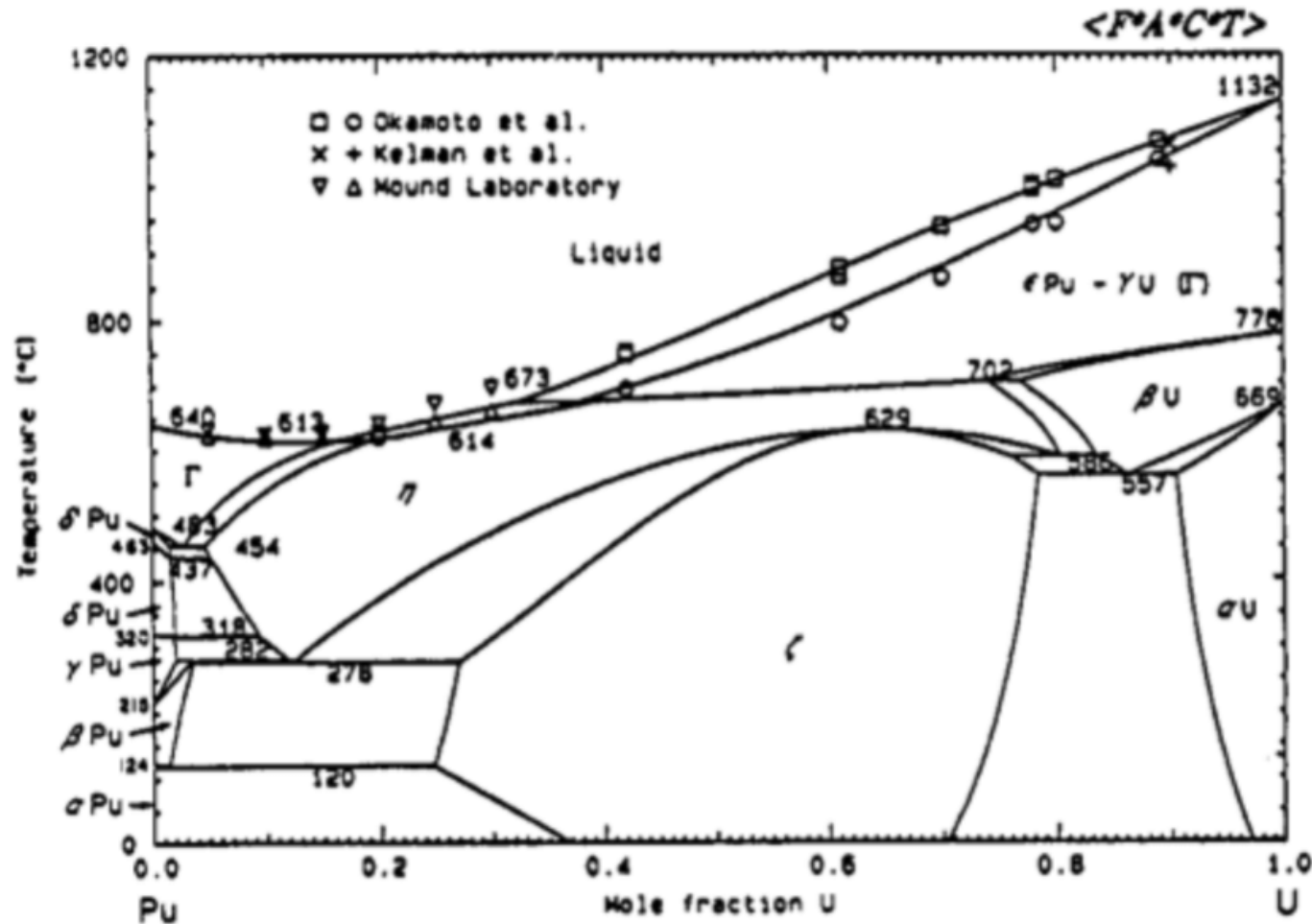
- $T_{\text{eutectoid}}$ changes:



- $C_{\text{eutectoid}}$ changes:

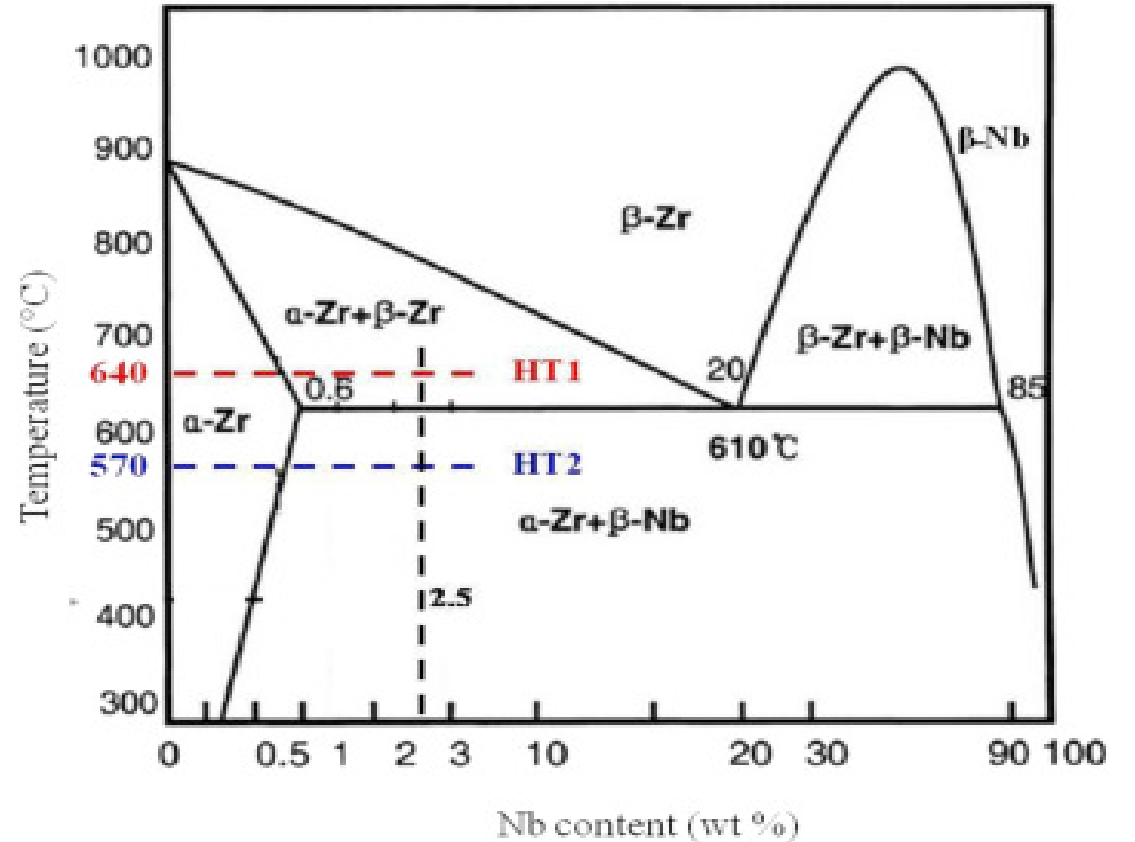
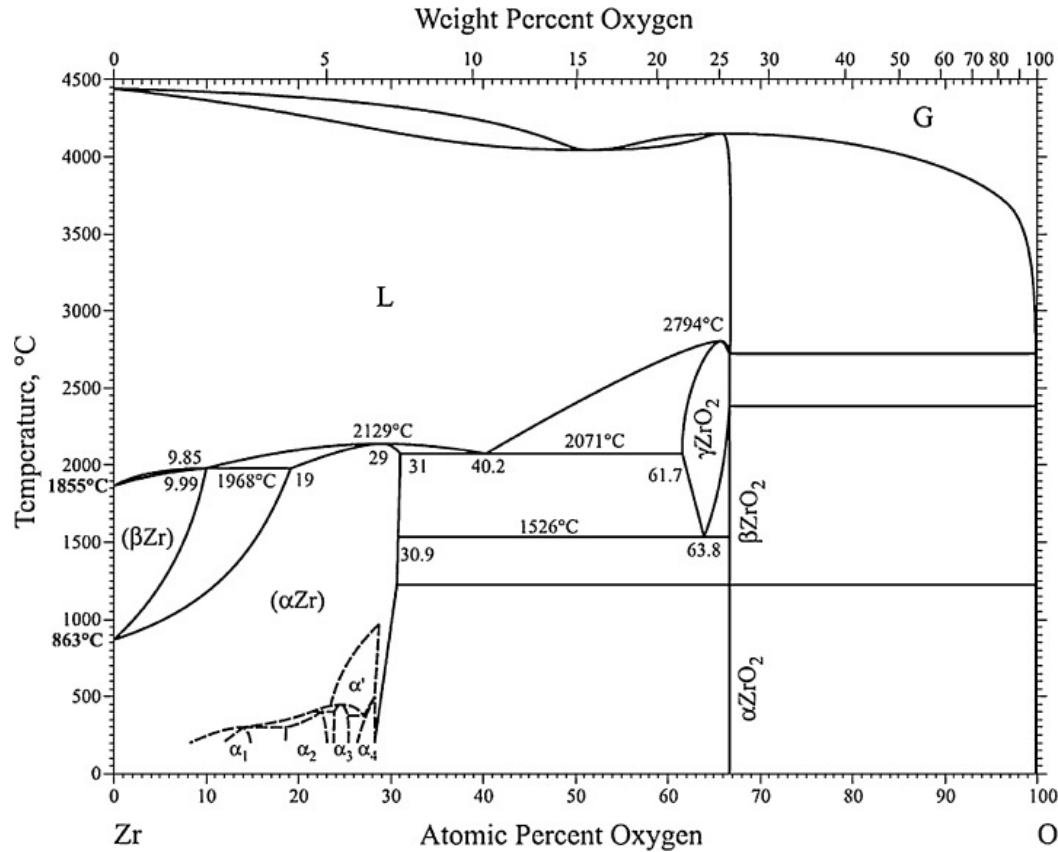


U-Pu 상태도



- U: α (660°C) \rightarrow β (770°C) \rightarrow γ (1132°C) \rightarrow L
- Pu: α (122°C) \rightarrow β (205°C) \rightarrow γ (318°C) \rightarrow δ (452°C) \rightarrow δ' (476°C) \rightarrow ϵ (640°C) \rightarrow L

Zr-O/ Zr-Nb 상태도



- Zr: α (863°C) \rightarrow β (1855°C) \rightarrow L