

技術資料

# 주강의 탈산기술(I)

김봉완\*, 이계완\*\*

## Deoxidation of Cast Steel(I)

B.W.Kim\*, K.W.Lee\*\*

### 서론

제강조업은 일차적으로 산화공정으로서, 정련된 용강내에 산소함량을 높이게 된다. 그러므로 탈산공정은 일반적으로 고급품질의 주강에서 필수적이다.

제강의 초창기(Bessemer, Thomas)부터 제강소에서 용강내의 산소가 담당하는 중요한 역할을 익혀 알고 있었다. 산소는 주강의 기공(氣空)과 개재물의 요인이 되는 주요원소의 하나이다.

용강에서 강력한 탈산제의 사용이 이루어지지 않으면 주물에서 CO의 형성과 기공을 초래할 수 있다. 용해로내의 CO반응은 Si과 Mn을 Fe-Si, Fe-Mn, Si-Mn 형태로 용강에 첨가하여 행하는 일차 탈산에 의하여 일반적으로 제어된다. 주입시 대기로부터 흡수되는 산소와 주형사의 증발수분에 함유된 산소에 의한 용강의 재산화는 주물표면의 산소량을 충분히 높여서 최종의 주물제품에 CO 핀홀(Pinhole)을 만든다. CO 핀홀의 형성은 레이들내의 용강에 강력한 탈산제를 첨가하여 행하는 최종 탈산에 의하여 훨씬 억제된다.

탈산에 사용되는 원소는 산화철보다 열역학적으로 안정된 산화물을 형성하는 것들이다. 이들 원소는 Si, Mn, Al, Ca, Zr, Ti, Bo 및 희토류 원소를 포함한다(그림 1). 고급주물용 용강은 기공의 완전제거를 확실하게 하기 위하여 반드시 탈산하여야 한다. 그러나, 탈산후에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 같은 탈산생성물이 용강내에 남아있게 되면 함유된 유황과 반응하여 산유화물(Oxysulfide)의 개재물을 형성할 수 있는 비금속개재물을 초래하게 된다.

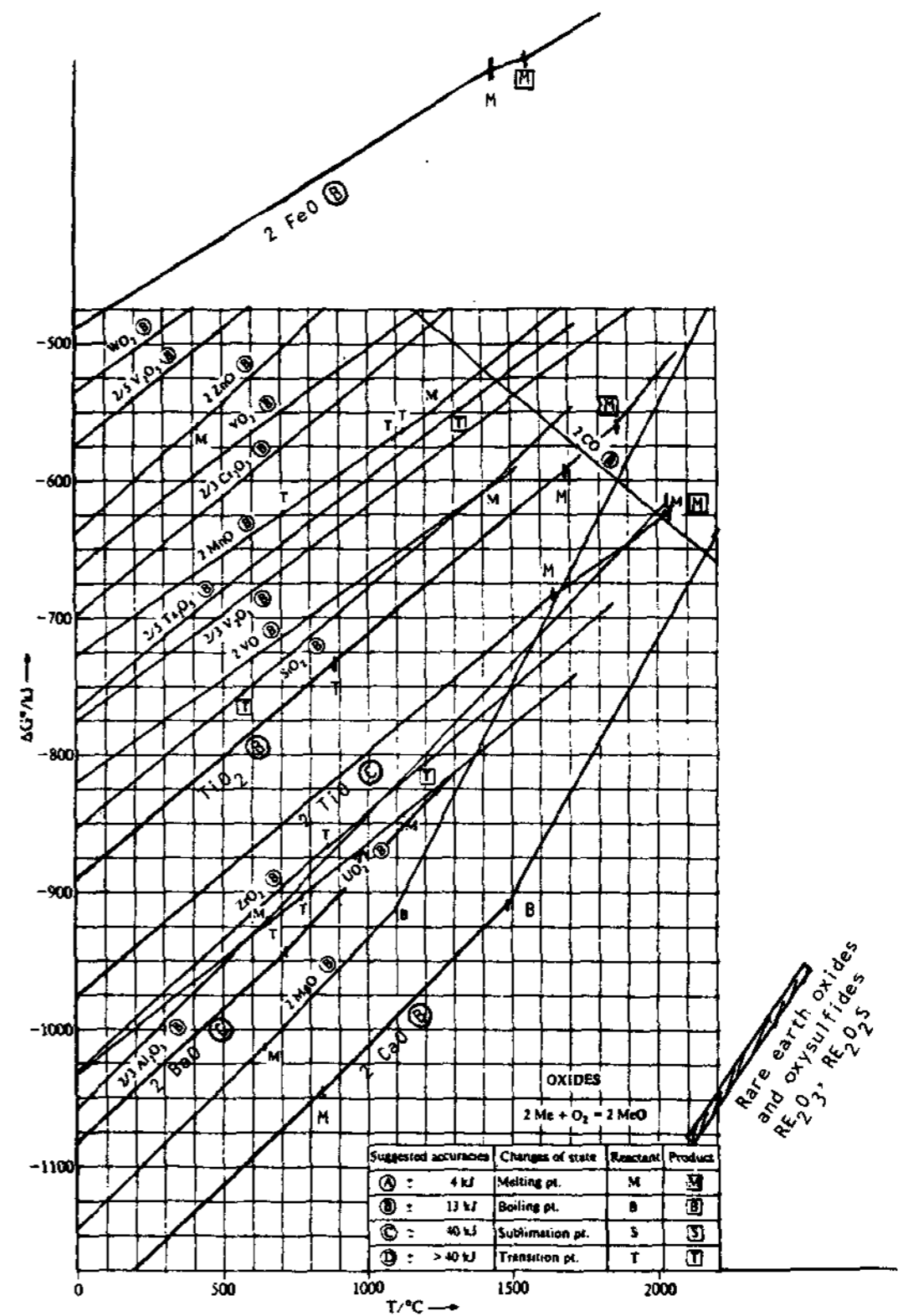


그림 1. 여러가지 탈산제의 산화물과 ΔG<sup>B</sup>-T의 관계.

그래서, 최종 탈산은 주물의 응고중 형성되는 산화물 및 산유화물로 이루어지는 개재물의 형태와 형상을 조절하는데 주된 목적이 있다.

유화물의 형상은 Type I, Type II 및 Type III

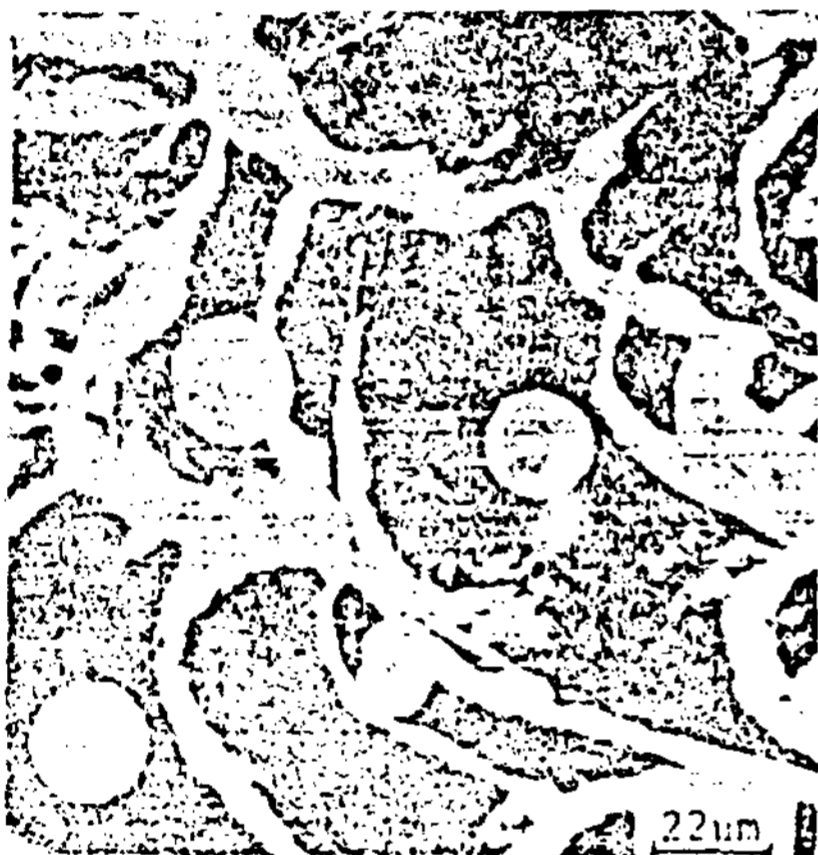
\* 중소기업진흥공단

\*\* 한양대학교

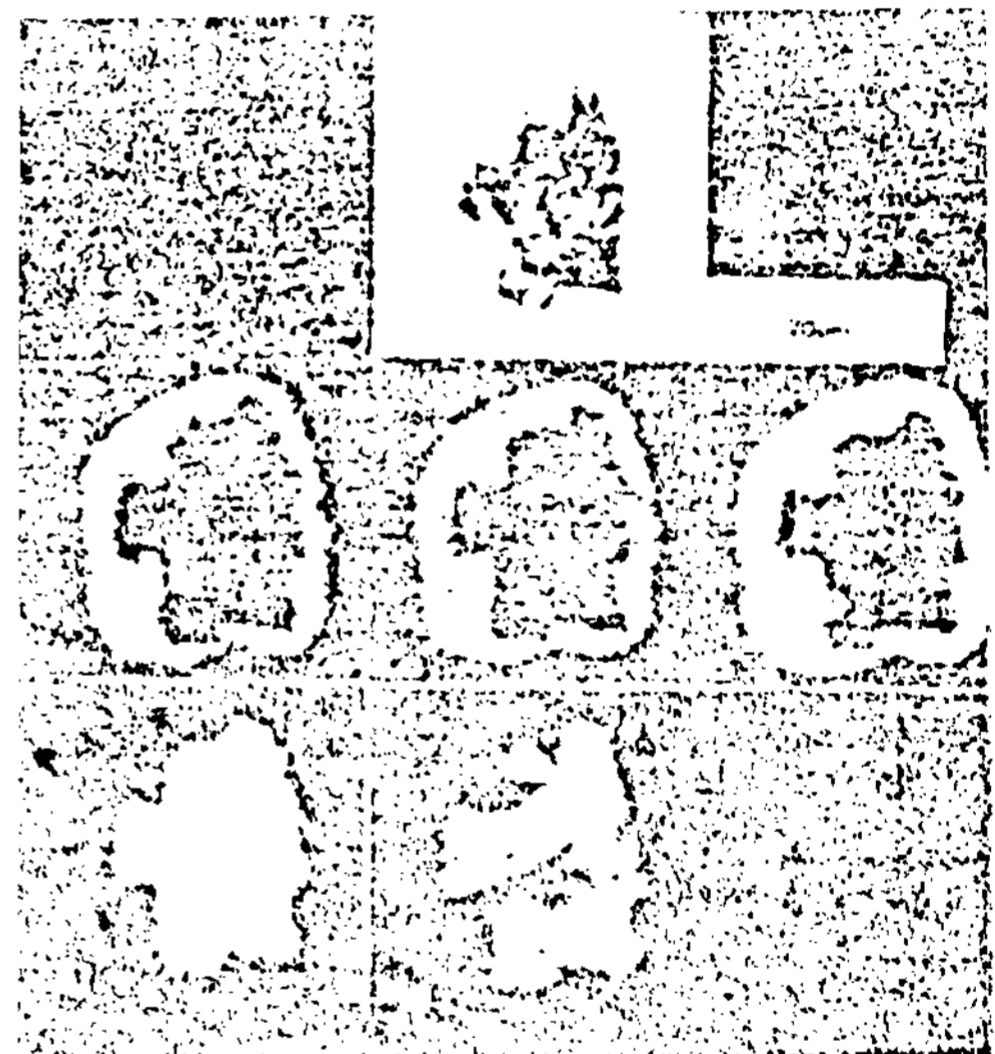
| 분 류      | 산화상태                         | 유화물 형상         |
|----------|------------------------------|----------------|
| Type I   | 과소탈산-용융Al이 낮고 잔류산소가 높다.      | 임의로 분포된 대형 구상  |
| Type II  | 완전탈산에 가까움-용융Al, 잔류산소가 낮다.    | 입자간 미세 석출      |
| Type III | 과잉탈산-용융 Al이 낮고, 잔류산소가 아주 낮다. | 임의분포된 대형의 각형석출 |
| Type IV  | Type III + Ca, Re 등          | 변형된 구상         |



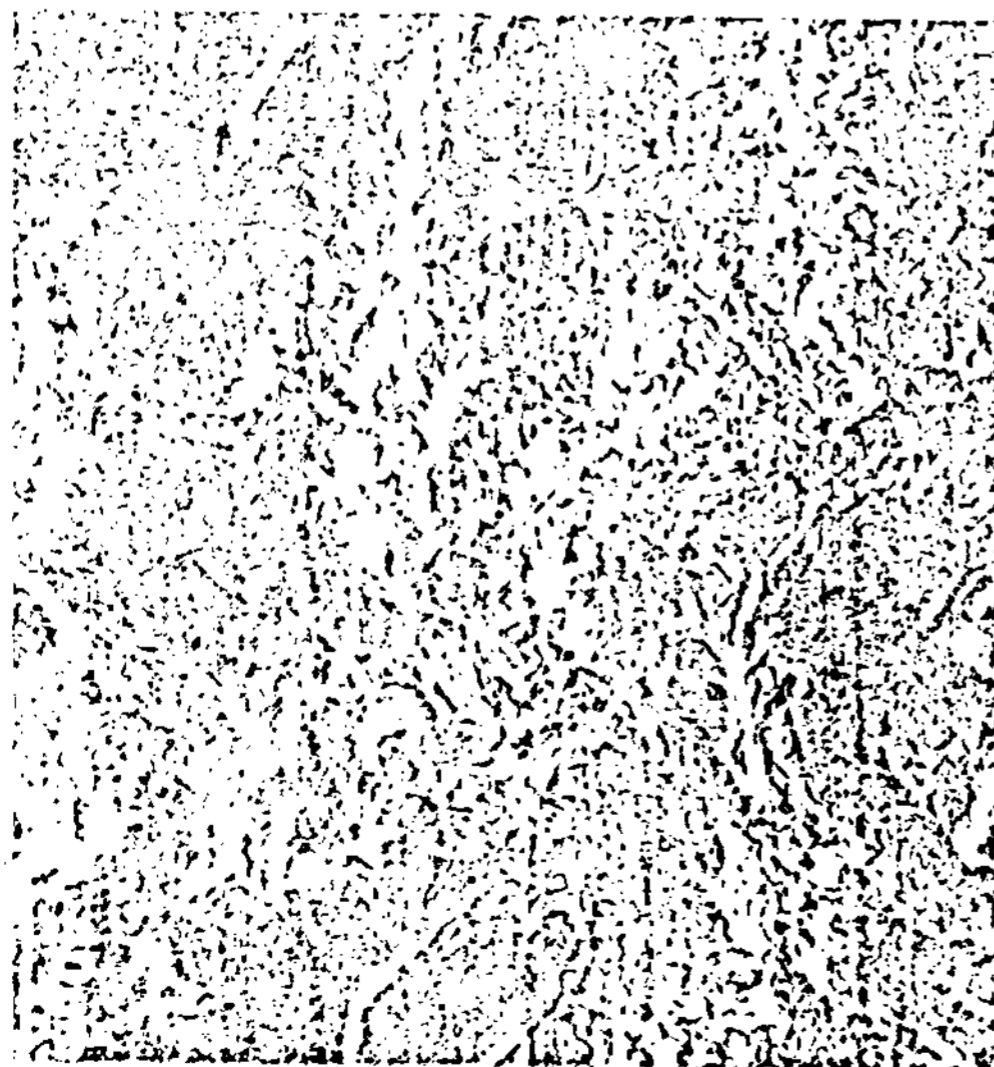
Type III 유화물



Type I 유화물



Type IV 유화물 (즉 수정된 유화물)



Type II 유화물

그림 2. 주조상태에서의 MnS 개재물의 분류

1-3의 개재물로 분류되고, 한편 변형된 산유화물은 그림2에 사진으로 보여주는 바와 같은 Type IV로 분류된다. 이와 같은 형상은 주물제품의 기계적 성질에 중요한 영향을 미친다. 그러므로, 탈산된 주물제품은 산화물의 불충분한 제거로 인하여 여러가지 기계적 성질을 불량하게 된다. 이러한 해로운 영향에 대한 몇가지 실례는 다음과 같다.

- 1) 인장-연성 비율이 낮다.
- 2) 개재물의 형태 및 분포가 나쁘다.
- 3) 취약하다.

- 4) 상온 및 저온 충격치가 낮다.
- 5) Rock candy형 파단.
- 6) 결정입자크기 및 현미경조직이 비정상.

고급주강의 유황함량을 낮추는 데에는 레이들 내의 최종 탈황작업도 행하여 진다. 그러므로, 복합의 탈산-탈황작업은 산유화물의 형상과 형태 및 초래되는 기계적 성질을 결정하는 데 중요한 영향을 미친다. 그러나, 낮은 유황함량 자체가 기계적 성질의 개선을 보증하는 것은 아니다; 산소량도 역시 고려되어야 한다. 그림 3.에 보여준 것처럼, 0.01%S에 70ppm의 산소는 같은 양의 유황이나 10ppm의 산소를 가지는 주장에 비하여 충격치가 훨씬 낮아지게 된다. (4)

주강의 합금량 및 산소함유량에 따라 응고중에 형성되는 유화물은 고체의 MnS, 또는 복합의 액체 산유화물(Oxysulfide)이 될 수 있다. 그러나, 과소 탈산되어 MnO로 포화된 주장에서는 액체의 산유화물이 형성된다. 산유화물은 1.0%까지의 유황함량에 대하여 공정점, 즉 1200°C에 이르기까지 액체로 남는다. 그림 4는 Fe-Mn-S와 Fe-Mn-S-O 상태계의 상관계를 보여준다. (5)

주물의 기계적 성질을 개선하기 위하여는 이들 탈산/탈황 생성개재물의 함유량을 가능한한 적게 하여야 한다. 이들 개재물의 존재는 두꺼운 주물에서 특히 문제된다. 이들 주물은, 주물단면에 걸친 이와 같은 개재물의 분균일 분포로 인하여, 기계적 성질의 상당한 변화를 보여준다. 이는 두꺼운 주물에서는 응고속도가 광범하게 변화하기 때문에 일어난다.

이들 탈산개재물의 정도를 낮출 수 있는 기술에 두가지가 있다: 즉,

- 1) 응고중에 주물로부터 개재물의 분리,
- 2) 주입전에 레이들이나 처리용기에 담겨져 있는 동안 용강으로부터의 개재물의 제거 등이다.

전자의 기술은 실행하기 어려우며, 개재물의 분균일분포를 초래하는 경향이 있다. 그러므로, 근래의 참고문헌은, 주입전에 개재물을 만족할 수 있는 정도까지 제거할 수 있는 이론과 실제를 주로 다루고 있다.

두꺼운 주물에 전적으로 적용되는 탈산작업에는 참고할 수 있는 문헌은 거의 없으나, 탈산이론은 전체적으로 활용할 수가 있다. 그러므로, 이하의 설명에서는, 대표적인 탈산반응과 용강으로부터의 탈산생성물 제거에 대하여, 두꺼운 주물에 적용할 수 있는 열역학, 반응역학(動力學), 제거

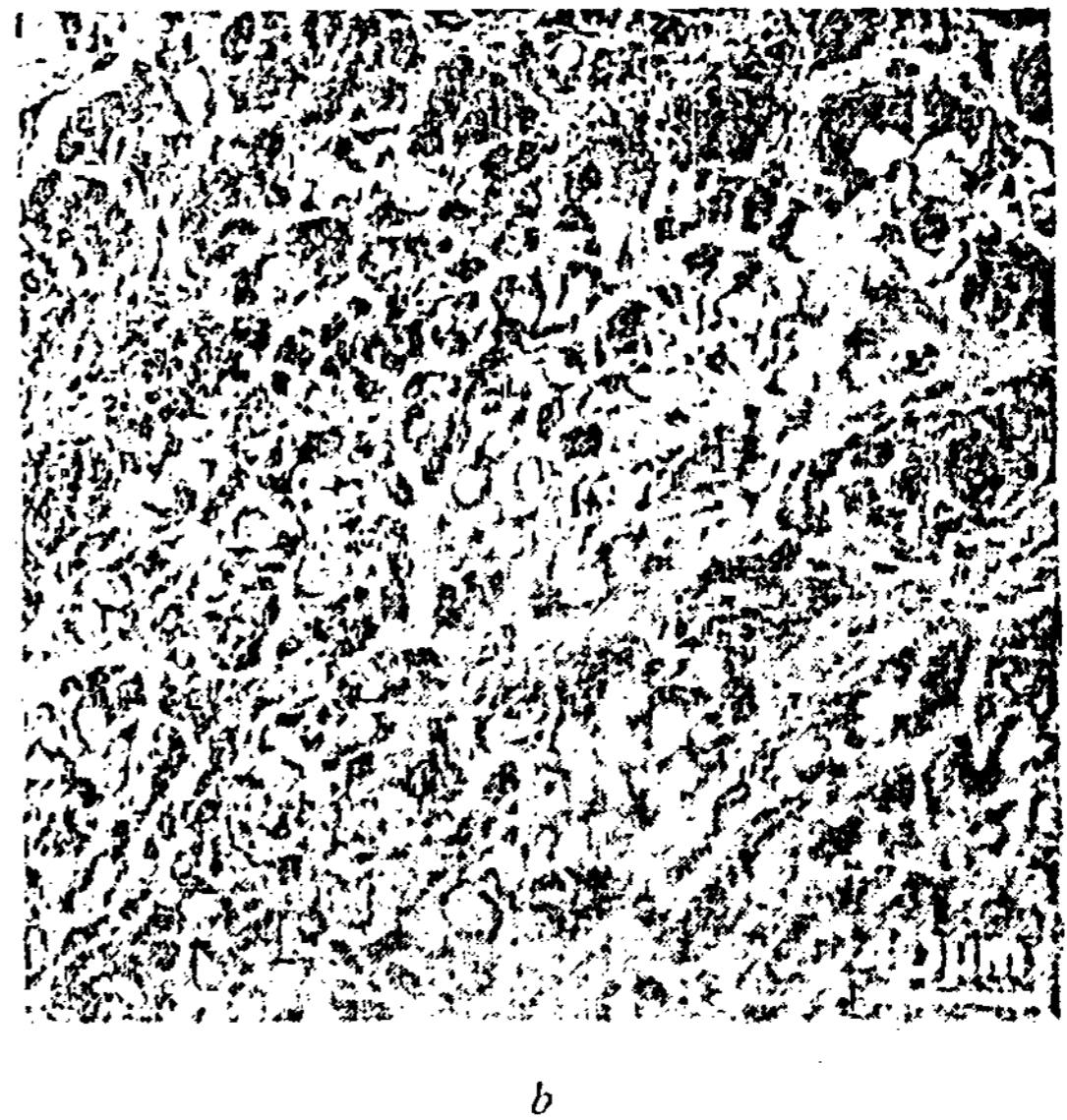
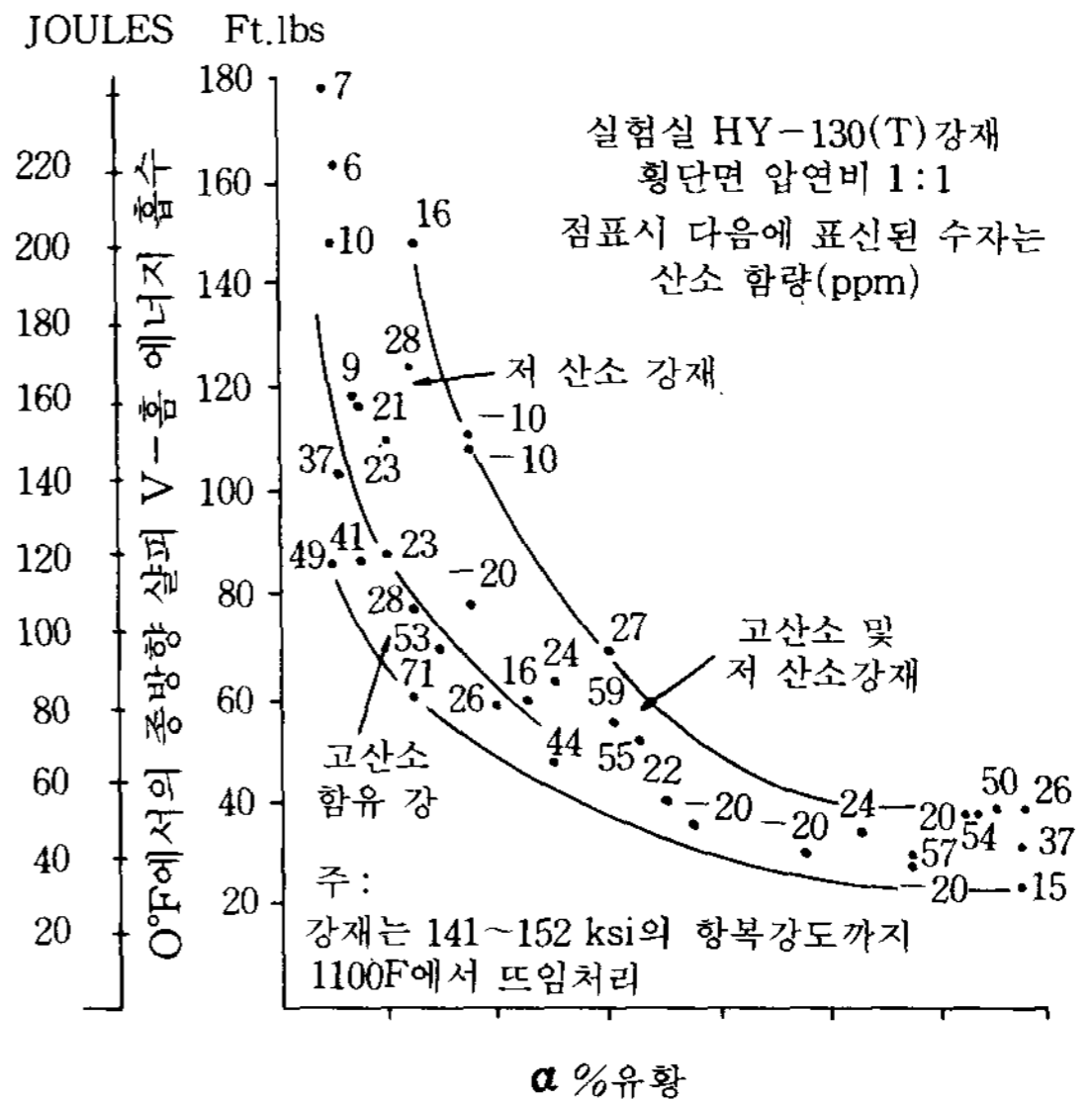


그림 3. a) 담금질 및 뜨임처리된 강의 CVN값에 대한 유황과 산소의 영향  
b) 과잉의 Al 탈산과 탈산생성물의 불충분한 제거로 인하여 형성된 대표적인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 개재물의 알맹이

율, 반응제어단계 및 실무적인 고려사항등을 검토하고자 한다.

강의 탈산물리화학

용강으로부터의 산소제거는, 안정성이 더욱 크

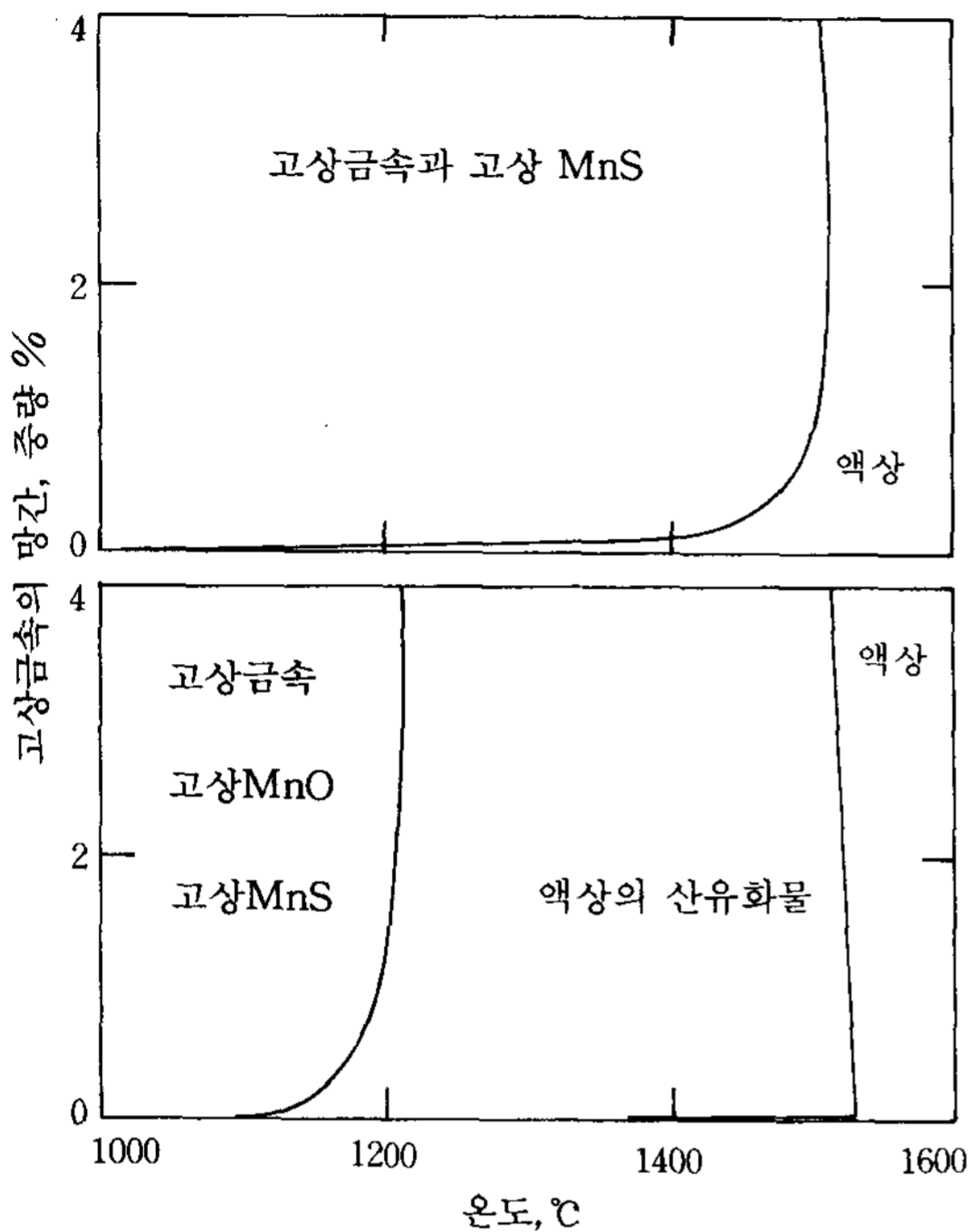


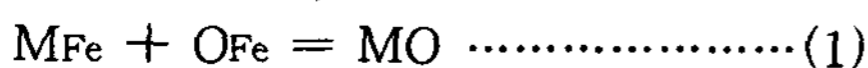
그림 4. 고상선에서 MnS와 액상 산유화물의 형성을 보여주는 Fe-Mn-S와 Fe-Mn-S-O제에 대한 상관관계

거나(더욱 음가인  $\Delta G^Q$ ), 또는 용탕의 주어진 온도, 압력 및 조성하에서는 FeO보다는 안정성이 더욱 낮은 산화물을 형성하는 탈산제를 첨가함으로써 이룩된다. 그림1에서 FeO 이하의 산화반응선은 각각 표준열역학조건 아래에서의 이 요구조건을 만족시킨다. 그러나, 용강중에 있는 산소에 대한 어떤 원소의 거동은 탈산생성물의 활성도와 특성에 의존된다. 용강에서 가능한 정도까지 탈산생성물을 제거하는 것도 마찬가지로 중요하다. 만일 이것이 이루어지지 못하면 이들 탈산생성물은 계속하여 응고되는 강주물에서 개재물의 원인이 되어, 주조품의 기계적 성질을 심하게 감소시키는 결과를 가져온다.

**탈산반응의 열역학**

탈산제가 용탕속에 첨가될 때 용해산소가 금속에서 제거되는 반응이 일어나며, 보다 활성적인 산화물, 즉 탈산생성물을 형성한다. 이론적으로는 이 반응은 평형에 이를 때 끝난다.

일반적인 반응식은,



이 반응의 평형상수, K는,

$$K = a_{MO} / (a_{Fe} \cdot a_{O_{Fe}}) \dots\dots\dots(2)$$

로 주어진다.

여기서  $a_{MO}$ ,  $a_M$  및  $a_o$ 는 산화물(탈산생성물), 탈산제 및 산소를 각각 나타낸다. K는 M, O, 또는 MO의 활동도 변화에 따라 변하지는 않고 단지 온도에만 의존하지만, 반응물 또는 생성물의 활동도 변화는 반응범위에 영향을 미친다. 즉,  $a_{MO}$  값의 감소는  $a_{O_{Fe}}$  및 / 또는  $a_{M_{Fe}}$ 에서의 필연적인 감소를 필요로 하게 된다. 그러므로 MO를 적절한 slag상으로 반응하게 하여 탈산생성물을 복합시키면  $a_{MO}$ 는 낮아지며 이에 따라 용강의 산소 수준도 감소하게 된다. 산화물 MO가 순수한 고체로 존재하고 M과 O가 용강에서 이상적인 용액으로 거동하면, M과 O의 활동도는 그들의 농도에 직접 비례하며, MO의 활동도는 불변으로 간주할 수 있다. 이 경우 M과 O의 농도의 곱셈 값을 탈산상수 K'로 정의한다:

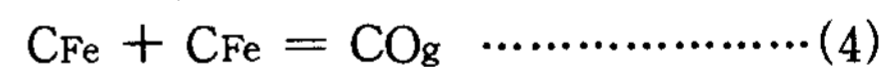
$$K' = [\%M] \cdot [\%O] \dots\dots\dots(3)$$

여기서  $K = \text{탈산상수} = 1 / K'$

그래서, 탈산상수, K, 또는  $[M] \cdot [\%O]$ 의 크기는 탈산범위의 측정기준이 된다. 따라서, 적절한 탈산제를 선정하기 위하여는 여러가지 원소-산소의 열역학적 관계를 조사하는 것이 유리하다.

**C-O의 관계**

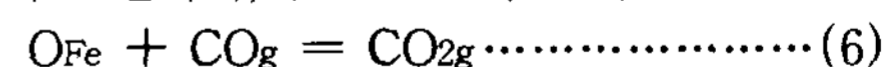
용융철내에 용해된 탄소와 산소의 반응, 즉 강에서 동시에 일어나는 탈산 및 탈탄 반응에 대하여 수많은 연구가 있었다:



이 반응에 대한 평형상수는

$$K_1 = P_{CO} / (a_{C_{Fe}} \cdot a_{O_{Fe}}) \dots\dots\dots(5)$$

와 같이 표현되나, 낮은 탄소함량에서는



의 반응이 일어나며, 여기서 평형상수는

$$K_2 = P_{CO_2} / (a_{O_{Fe}} \cdot P_{CO}) \dots\dots\dots(7)$$

실험치(5~7)에 의한  $K_1$ 과  $K_2$ 의 값은,

$$\log K_1 = 1168 / T + 2.07 \dots\dots\dots(8)$$

$$\log K_2 = 8448 / T - 4.58 \dots\dots\dots(9)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

탄소의 활성도는 그의 농도와 함께 변화하고, 탈산상수는 온도에 의존한다. 이 반응에 대한 탈산상수, K'의 값은

$$K' = [\%C]_{Fe} \cdot [\%O]_{Fe} \dots\dots\dots(10)$$

몇몇 연구자<sup>(6)</sup>에 의하여 계산되었으며, 1600°C의

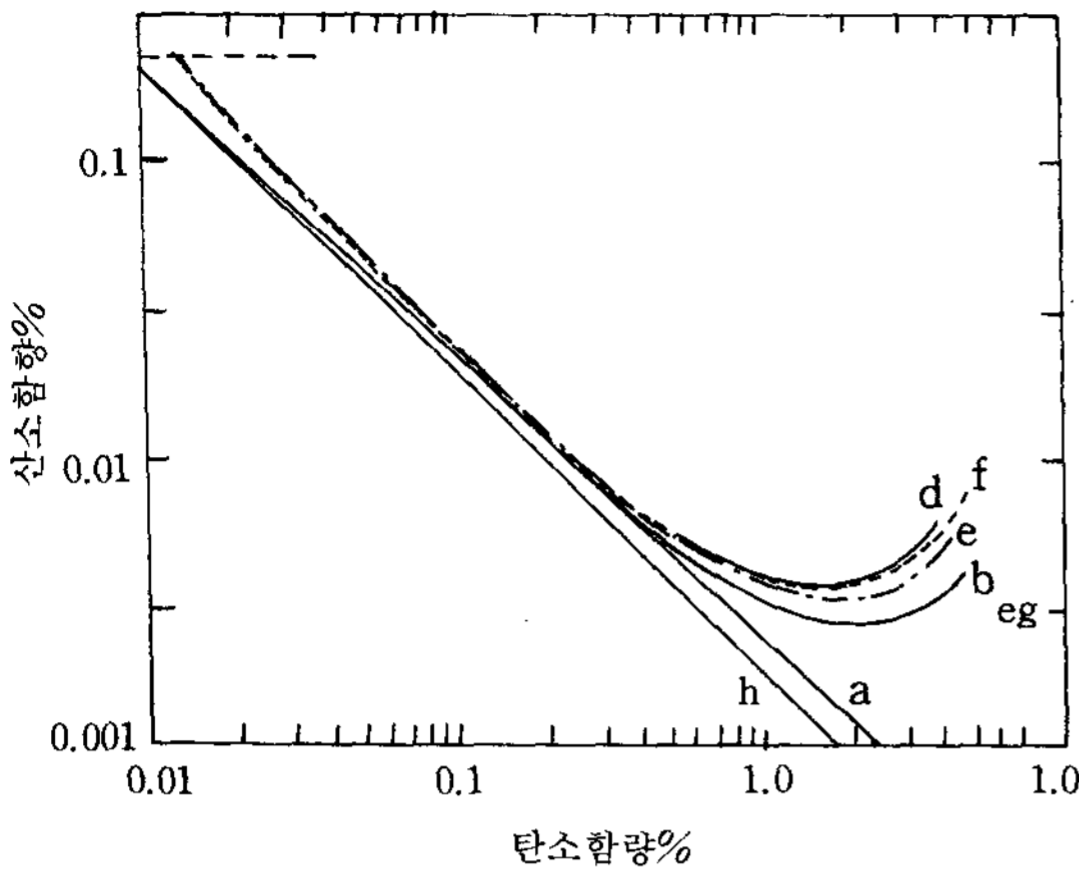


그림 5. 1600°C에서 용융철의 산소용해도에 미치는 탄소의 영향

평형조건에서는  $2.0 \times 10^{-3}$ 인 것으로 발견되었다. 1600°C의 용융철의 산소용해도에 대한 탄소의 영향은 그림5에 보여준다. 1%까지의 탄소함량서는 여러 조사자들이 얻은 결과가 만족하게 일치하는 것을 알 수 있다.

제강조업에서 관찰된 [%C] [%O]의 값인 실제값  $K'$ 는 평형값과 같지는 않다. 평로와 전기로의 연구에서 발견된 산소 대 탄소에 대한 곡선을 평형값<sup>(8,9)</sup>과 비교하여 그림 6에 보여준다. 두 경우에 있어서  $K'$ 값은 어떤 주어진 분위기에서의 일산화탄소(CO)와의 평형보다는 높다. 이러한 차이는 각 제강공정의 반응기와 관련이 있는 것으로 생각된다. 즉, 산소는 슬라그에서 금속을 통하여 용해로의 바닥내화물로 확산되며, 여기서 기포 형성(nucleation)이 불균일하게 일어난다.

**Mn-O의 관계**

강이 망간으로 탈산될 때의 반응생성물은 FeO와 MnO의 액상 또는 고상의 용체이다. 이들 조건하에서의 금속의 산소함량은 슬라그 중에 있는 FeO의 양에 비례한다. 이는 MnO가 금속에 불용이기 때문인 것으로 해석된다.

평형식은 다음과 같이 주어진다.



여기서, 이 상용액을 가정하면 평형상수는,

$$K = (MnO) / ([\%Mn] [\%O]) \dots (11)$$

및  $K' = [\%Mn] [\%O] (a_{MnO} = 1 \text{로 가정})$ 로 주어진다.

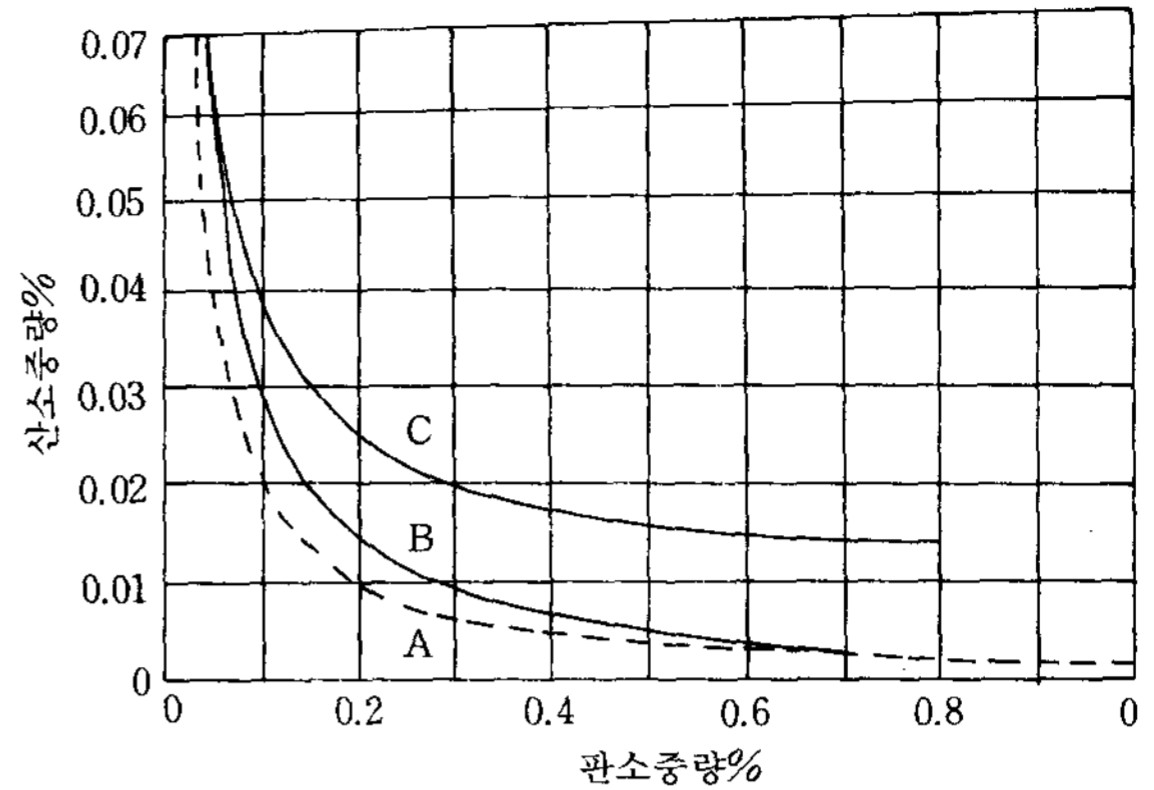


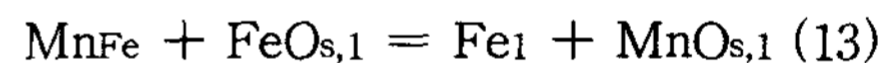
그림 6. 강제용해로의 탄소+산소 평행도 ; A) 평형, 1600°C ; B) 전기로 ; C) 평로

탈산상수  $K'$ 의 값은,

$$\log K' = +12,760 / T - 5.68 \dots (12)$$

로 표현된다.<sup>(10)</sup>

Turkdogan<sup>(5)</sup>은 다음의 반응식을 이용하여 망간탈산을 고찰하였다.



여기서, FeO와 MnO 혼합물의 이상적인 고상 및 액상 용체라 가정하면,

$$K_{Mn} = (N_{MnO}) / (N_{FeO} [\%Mn]) \dots (14)$$

여기서, N=분자분율이고, 탈산생성물은 고체이거나 액체일 수 있다. Turkdogan은 액체 및 고체 양쪽에 대하여  $K_{Mn}$ 의 온도의존도를 아래와 같이 결정하였다.

$$\log K_{Mn}(\text{liq. ox.}) = 6440 / T - 2.95 \quad (15)$$

$$\log K_{Mn}(\text{sol. ox.}) = 6945 / T - 2.95 \quad (16)$$

용융철의 Mn농도와 평형을 이루는 탈산생물의 조성을 1500°C, 1600°C, 1700°C에서 방정식 15와 16으로 계산하여 그림7.에 보여주며, 이에 상당하는 Mn-O의 평형을 그림8.에 나타내었다.

이들 열역학적인 데이터(data)에서 망간은 약한 탈산제인 것을 알 수 있다. 0.1% 산소를 함유하는 용융강속은 망간함량이 0.4%를 넘을 때까지는 1600°C에서 탈산이 시작되지 않는다.

**Si-O의 관계**

용융철내에서의 Si-O 반응을 위한 평형조건을 많은 연구자들이 결정하였다. 탈산생성물은 SiO<sub>2</sub>로 구성되며, 평형관계는 아래와 같이 나타낸다.<sup>(7)</sup>

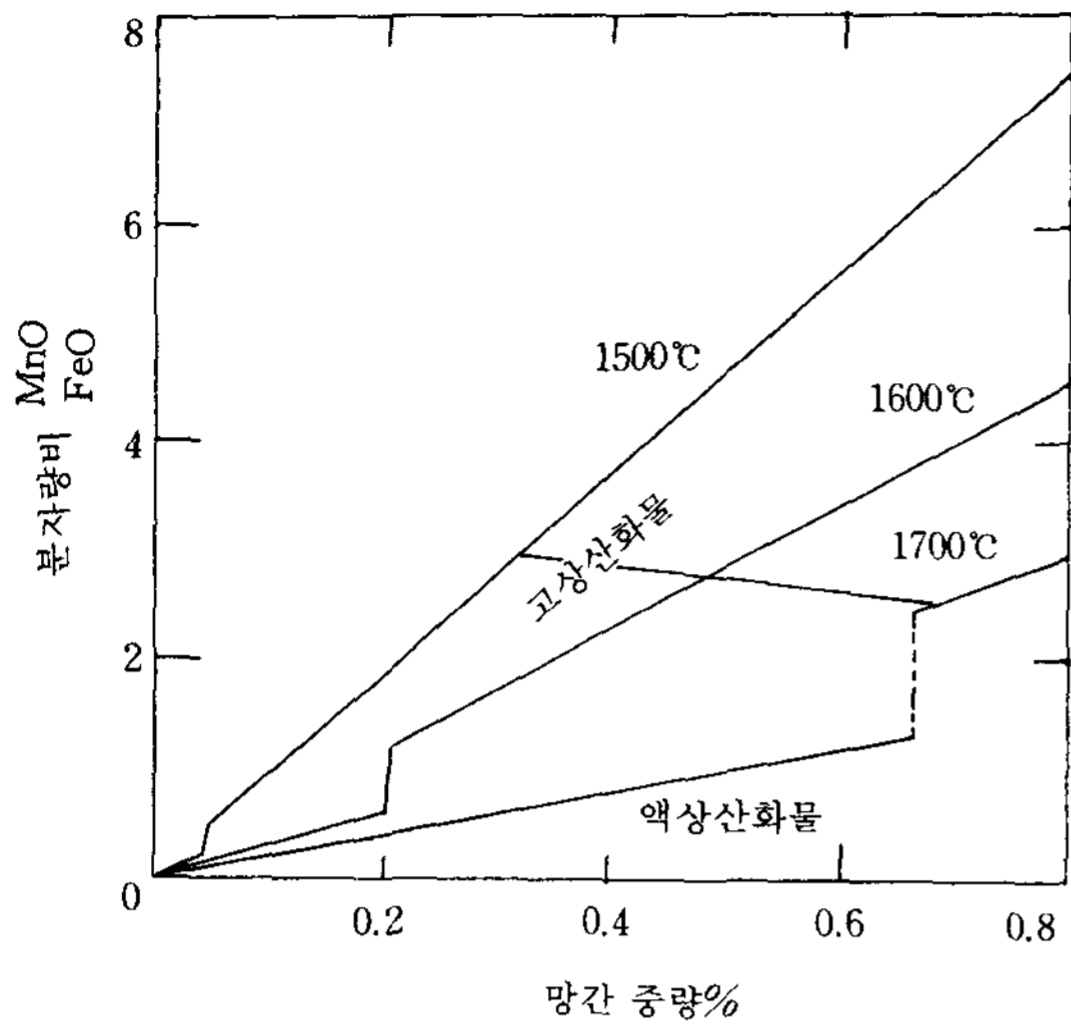
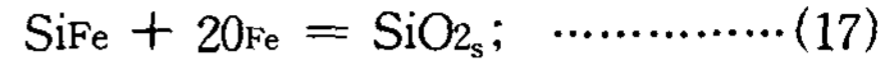


그림 7. Fe-Mn-O 용탕과 액상 또는 고상 FeO-MnO 용해평형의 조성관계



$$\Delta G^0 = -142,000 + 54.97 T \text{ cal}$$

$$\text{여기서, } K = a_{\text{SiO}_2} / ([\% \text{Si}] [\% \text{O}]^2) \dots\dots(18)$$

3% 이하의 Si를 함유하고 SiO<sub>2</sub>(silica)로 포화된 용탕에서, 탈산생성물,  $K_{\text{Si}} = [\% \text{Si}] [\% \text{O}]^2$ 는 Si함량과 무관한 것으로 대체로 의견이 일치되고 있다. 만일 Si함량이 증가하면, Si의 활성계수  $f_{\text{Si}}$ 는 증가하고 산소의 활성계수,  $f_{\text{O}}$ 는 감소하여 Si ~ 3%에 대하여  $K_{\text{Si}}$ 는 일정하다. Si-O의 평형은 그림 9에 도식으로 보여준다.<sup>(5)</sup>

SiO<sub>2</sub>로 포화된 산성스라그의 제강조업에 대하여 SiO<sub>2</sub>의 활성도는 불변으로, 즉,  $a_{\text{SiO}_2} = 1$ 이다. 그러나, 염기성 스라그에서는 SiO<sub>2</sub>는 염기성 산화물 CaO, MgO 또는 MnO와 결합하여, 필연적으로 생성물,  $[\text{Si}] [\text{O}_2]^2$ 의 감소를 가져오고, SiO<sub>2</sub>로 포화된 산성스라그에서 얻을 수 있는 것보다 더욱 완전한 탈산이 가능하며, 그의 활성도는 낮아질 것이다. 그러므로, Si과 Mn에 의한 동시탈산은 감소된 세리카(SiO<sub>2</sub>)의 활성도로 인하

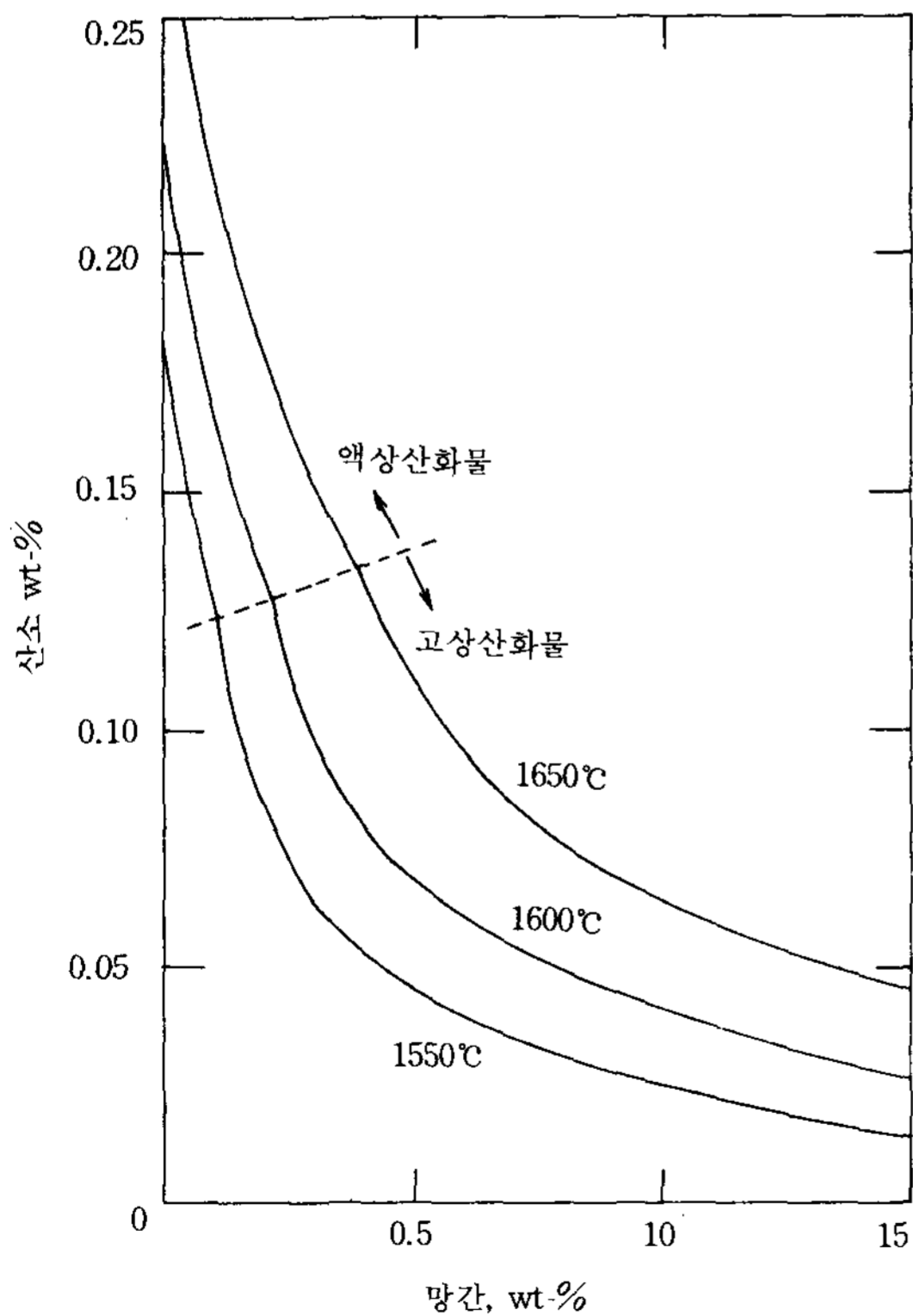


그림 8. FeO-Mn의 액상 또는 고상 용체와 평형을 이루는 철의 Mn 및 O<sub>2</sub>의 함량

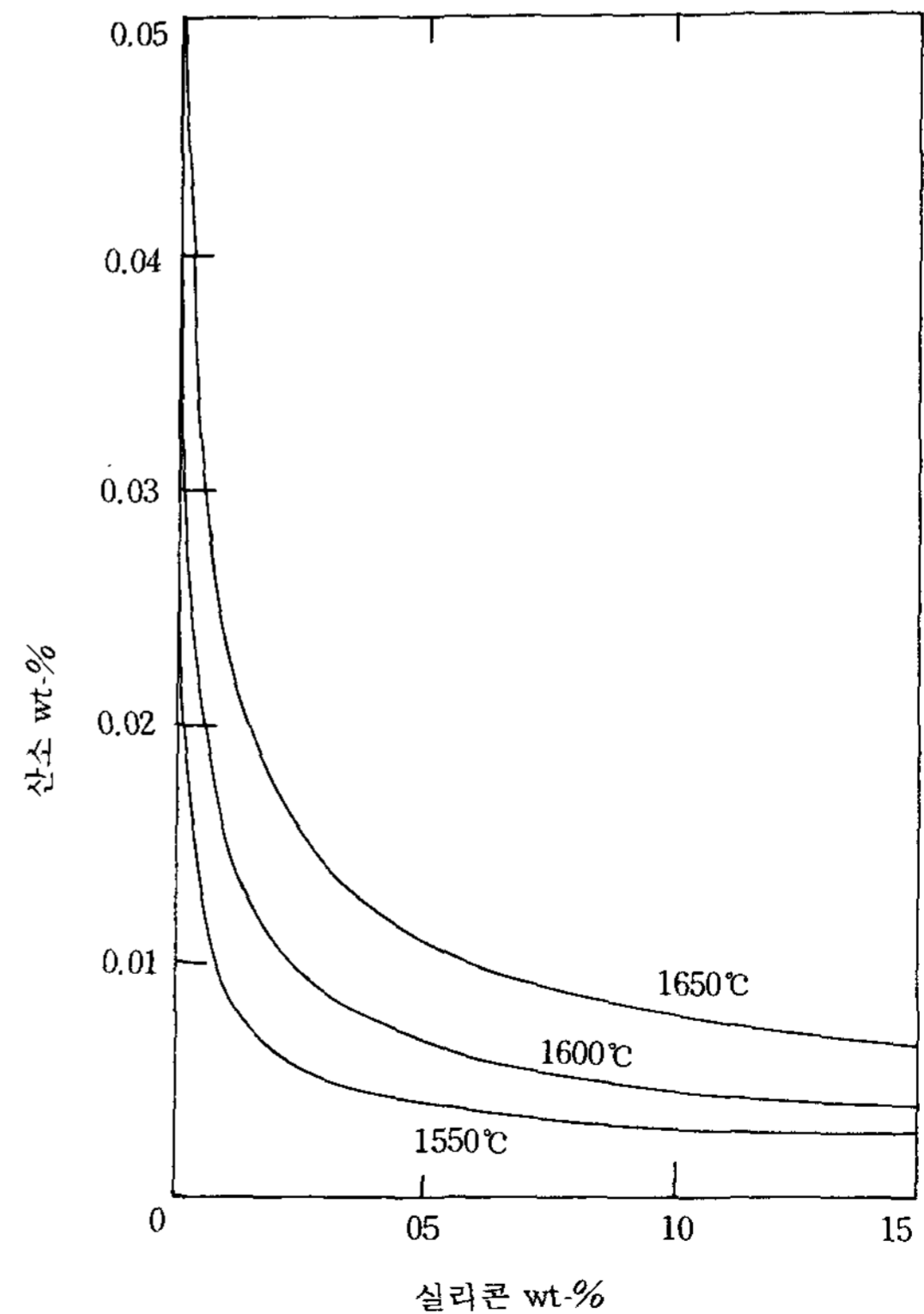
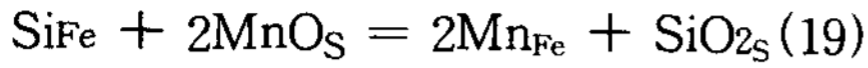


그림 9. 고상 SiO<sub>2</sub>와 평형을 이루는 철의 Si와 O<sub>2</sub>의 함량

여 훨씬 낮은 잔류산소를 가지게 된다.

Si과 Mn에 의한 탈산반응의 합계는;



이에 대하여,

$$K_{\text{Mn,Si}} = \left( \frac{[\% \text{Mn}]^2}{[\% \text{Si}]} \right) \cdot (a_{\text{SiO}_2}) / (a_{\text{MnO}})^2 \dots\dots\dots (20)$$

이 반응에 대한 평형상수, K는 Turdogan<sup>(5)</sup>에 의하여 다음 식으로 주어진다:

$$\log K = (1510/T) + 1.27 \dots\dots\dots (21)$$

MnO-SiO<sub>2</sub> 상태도에서 MnO와 SiO<sub>2</sub>의 활성도를 알면 위에 주어진 평형 데이터로부터 Si-Mn 탈산제 첨가량은 용이하게 계산할 수 있다. Si과 Mn에 의한 용강의 동시탈 산과 관련된 산소함량의 감소 및 탈산생성물의 액체 또는 고체 상태를 그림10을 보여준다.

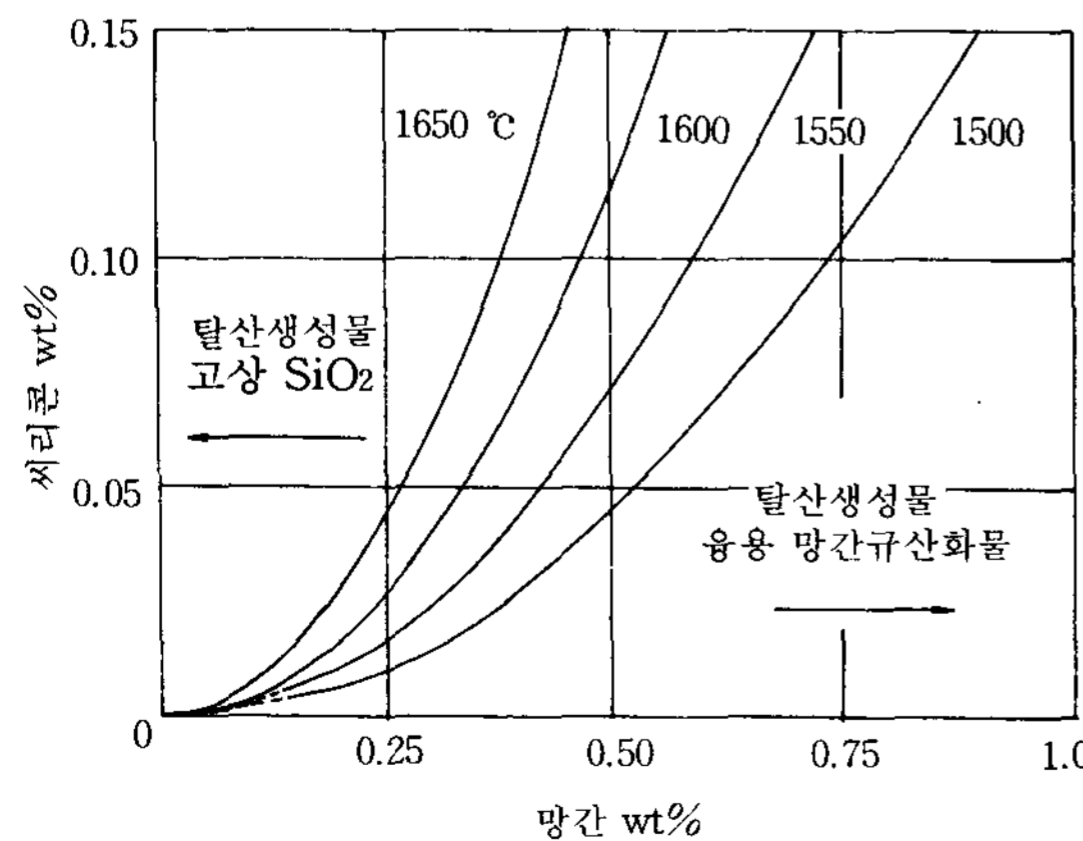
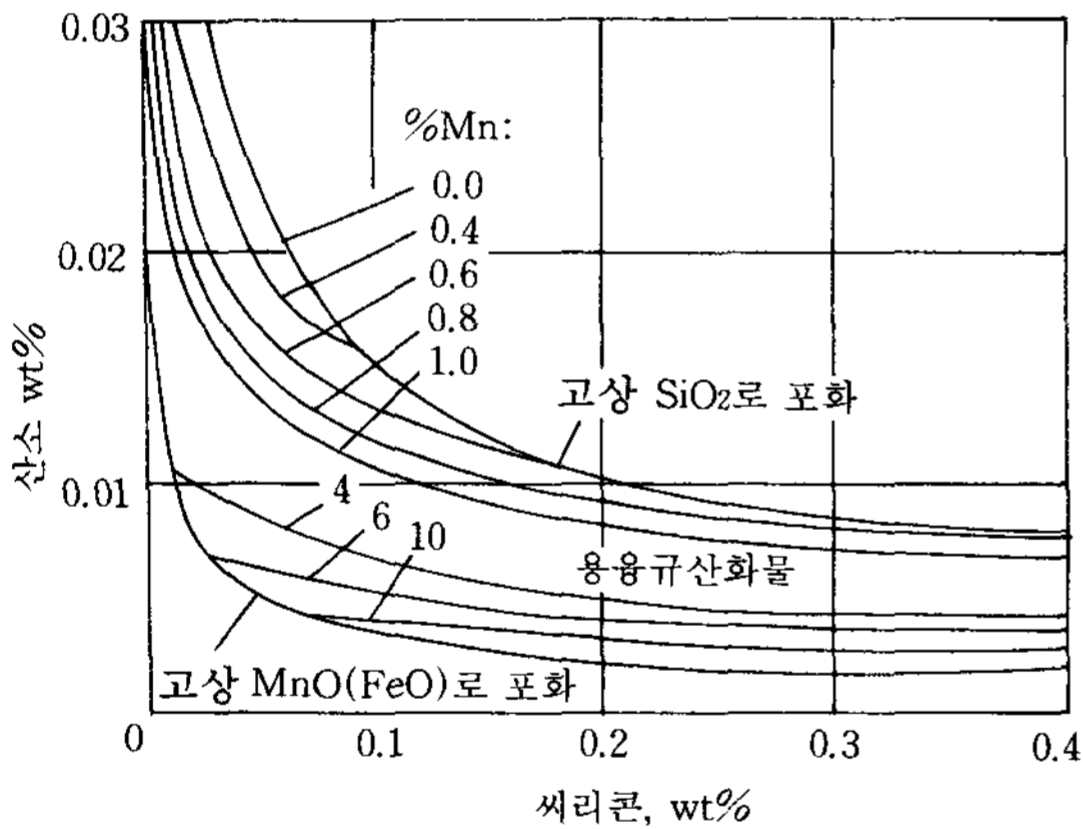
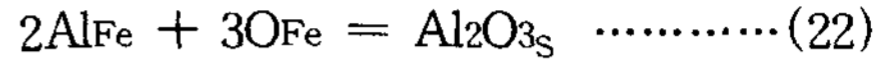


그림 10. 1600°C에서 Si 및 Mn에 의한 동시탈산강재의 평형 data

Al-O의 관계

Al은 그림 1에 언급된 바와 같이 강력한 탈산제의 하나로 제강조업에서 널리 쓰인다. Al을 함유하는 강의 산소함량은 매우 낮으며, 탈산반응은 다음과 같이 나타낸다.



$$\text{여기서, } K = (\text{Al}_2\text{O}_3) / (a_{\text{Al}}^2 \cdot a_{\text{O}}^3) \dots\dots\dots (23)$$

탈산상수 [Al]<sup>2</sup> [O]<sup>3</sup>는 Chipman에 의하여 아래와 같이 결정된다:

$$\log K = 64,000/T - 20.46 / <10^{13} (1600\text{C에서}) \dots\dots\dots (24)$$

용고전에 10ppm의 산소를 함유하는 깨끗한 강을 얻기 위하여는, 일반적으로 0.015wt%의 잔류 Al이 필요하다.

Al은 매우 효과적인 탈산제이지만, 개재물, 즉 FeO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(hercynite), MnO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(galaxite) 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(alumina)의 제거는 주요한 문제를 가지며 특히 두꺼운 주물에서 문제가 되는 것을 최근의 연구<sup>11-15</sup>에서 알 수 있다.

Al에 대한 탈산거동을 그림11.에 보여준다. Al의 탈산거동에 대한 기타 원(Si, Mn, Fe 등)의 영향을 무시될 수 없다. 앞에 보여준 바와 같이, 개선된 결과를 목적하는 용강에서 Mn-Si 탈산이 추천되고 있으며, Al의 탈산거동에 대한 Mn의 이로운 효과를 그림 12<sup>(16)</sup>에서 알 수 있다.

Ti-O의 관계

용강에서의 Ti과 산소의 반응은, Ti농도가 0.3% 이하일 때, 고체산화물 상태로서의 TiO<sub>2</sub>를 형성한다. 그 이상의 Ti농도에서는, 반응생성물은

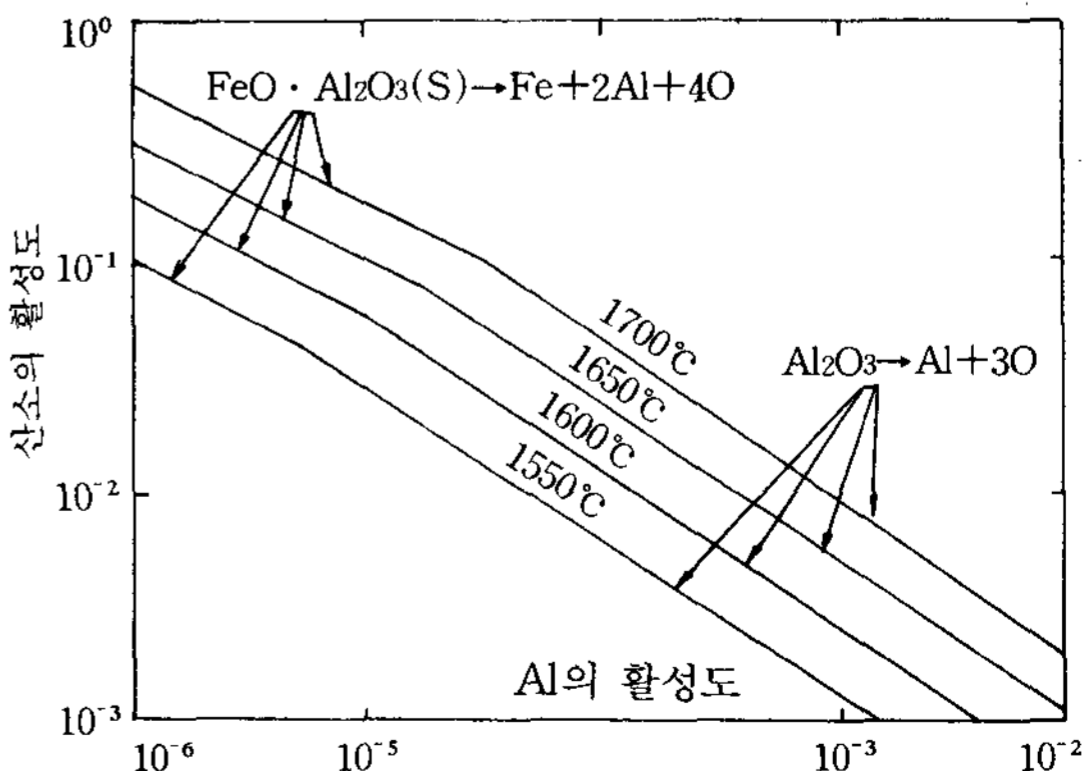


그림 11. 액상상태에서의 Al에 대한 탈산상태도

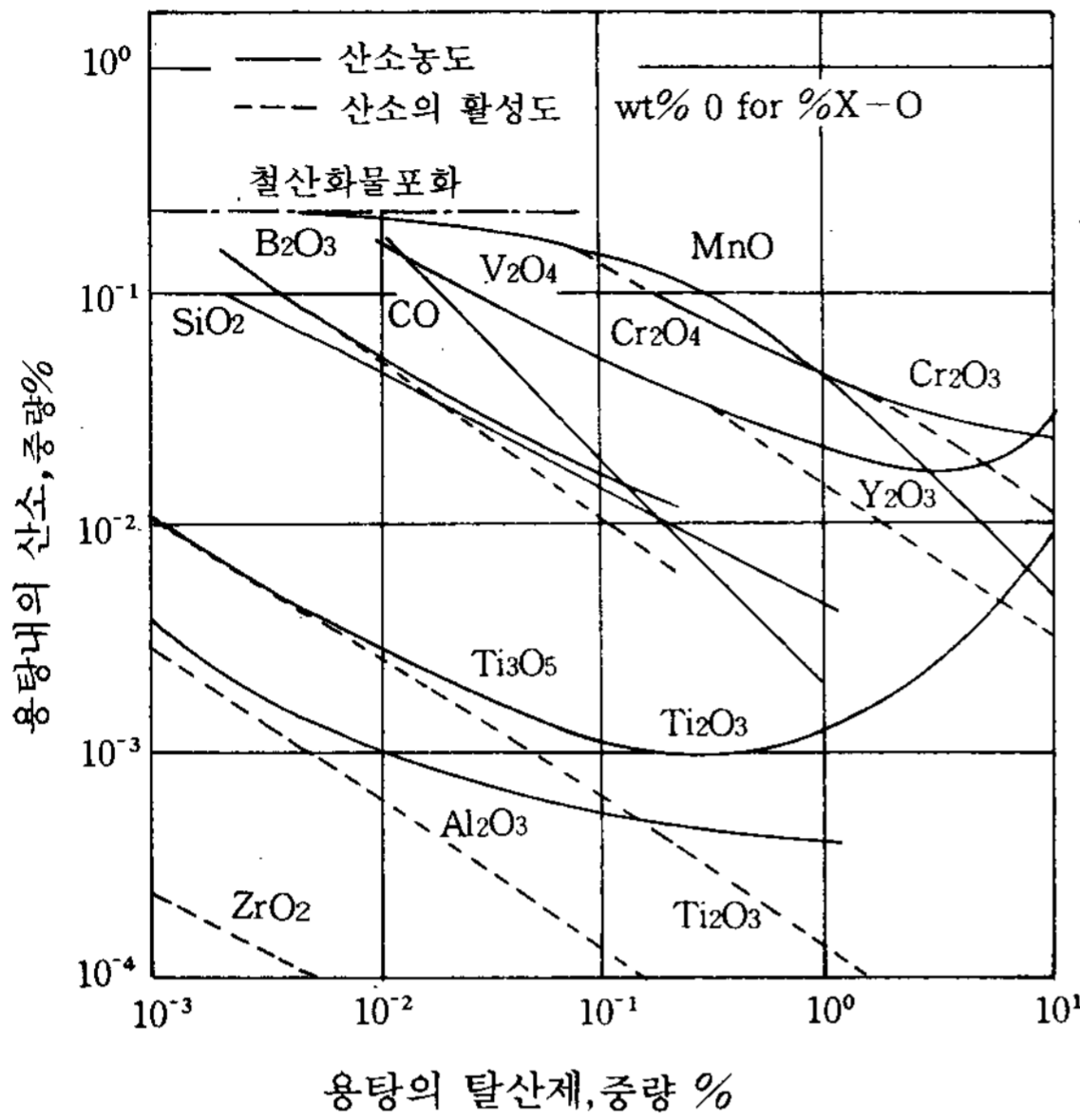


그림 12. 1600°C에서의 액상 철합금의 탈산 평형도

TiO이고, 금속의 산소농도 Ti함량의 증가와 함께 증가한다. Ti함량이 증가하면서 산소의 활성계수의 감소효과는 그림12.에 표시된 바와 같이 용강 중의 고농도의 Al의 거동과 비슷하다.

기타의 금속-산소 관계

몇가지 다른 금속도 용강의 탈산제로 작용한다. 이들 금속으로, B, Zr, Mg, Ca 및 희토류가 이에 속한다. 이들 원소는 다른 목적을 위하여 용강에 첨가되며, 단지 탈산제로서 만은 아니다. 이들의 대부분은 Type IV인 변형 산유화물(Oxysulfide)의 개재물(예, Zr, Ca, Mg, 희토류)의 형성을 촉진한다.

Al과 함께 Cu합금을 사용하여 용강을 탈산하면, Type II의 개재물은 감지할 수 있을 정도의 Al과 Ca를 함유하지 않으나, Type IV의 개재물은 항상 Al과 Ca를 포함한다고 Watt와 Chiero (17)는 결론지었다.

Ototani와 Kataura의 보고에 의하면, 어떤 주어진 산소함량과 함께 최대의 탈황은 Al를 함유하는 Ca의 복합탈산제의 첨가로 얻을 수 있으며, 최선의 탈산 및 탈황 효과를 얻으려면 Ca복합탈산제를 Al:Ca:Si:Mn:Fe=1:1:1:1:1의 비율로 사용하여야 한다고 하였다.

앞서의 고찰에서 복합산화물을 형성하거나 복

합탈산제의 사용 또는 탈산제와 함께 CaO의 첨가에 의하여 탈산생성물의 활성도를 감소시키면, 탈산효과를 높이고 잔류산소량을 낮출 수 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 복합탈산제의 몇가지 실례를 아래에 자세히 설명하고자 한다.

Si-Mn의 동시탈산

액체 또는 고체의 탈산생성물은 그림13.에 보여준 바와 같이 Si/Mn의 동시탈산으로 이루어질 수 있다. 용융된 Mn-Si 산화물의 조성은 용융철에서의 [%Si] / [%Mn]<sup>2</sup>에 비례하고, 방정식 19로 설명된다. 여기서,

$$K = ([\%Mn]^2 / [\%Si]) \cdot (a_{SiO_2} / a_{MnO}^2) = 118 (1600^\circ C \text{에서})$$

Si-Mn 탈산제는, 충분히 탈산하여도 비교적 높은 수준의 산소량, 예를 들면 70~100ppm을 남기게 되므로, 반탈산강(rimmed steel)의 산소량을 조절하기 위하여 사용된다.

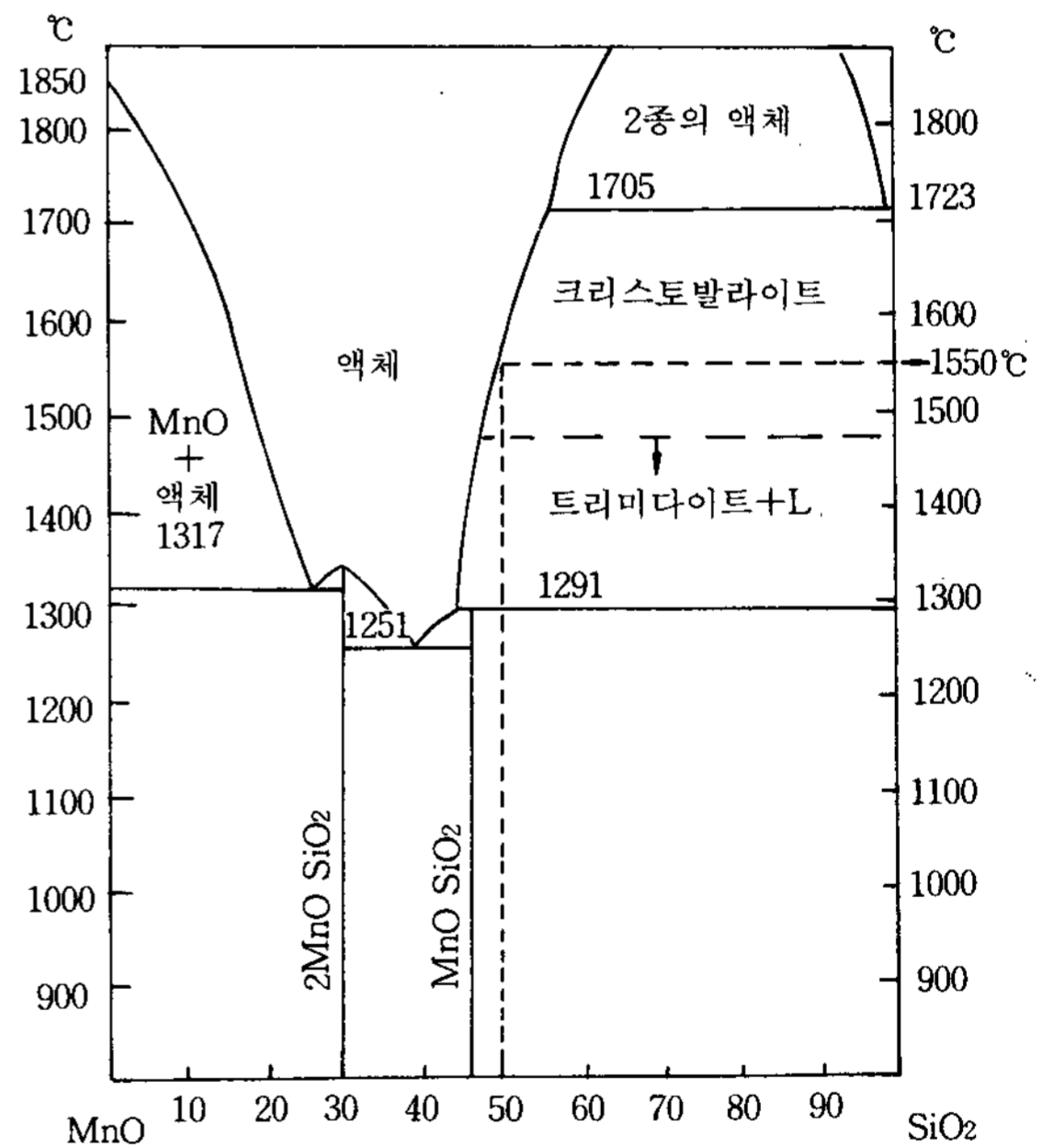


그림 13. Maun과 Osborne에 의한 2성분상태도. MnO/SiO<sub>2</sub>비가 1.0, 즉 50% MnO, 50% SiO<sub>2</sub>인 경우, 저탄소 강에 대한 대표적인 텀디시내의 온도 1550°C에서 상태도의 SiO<sub>2</sub> 쪽에 있는 액상선에 해당한다. 액상의 탈산 생성물은 MnO/SiO<sub>2</sub>=2:1에서 생성되고, 고상의 탈산생성물은 MnO/SiO<sub>2</sub>=1:1이하에서 생성된다.



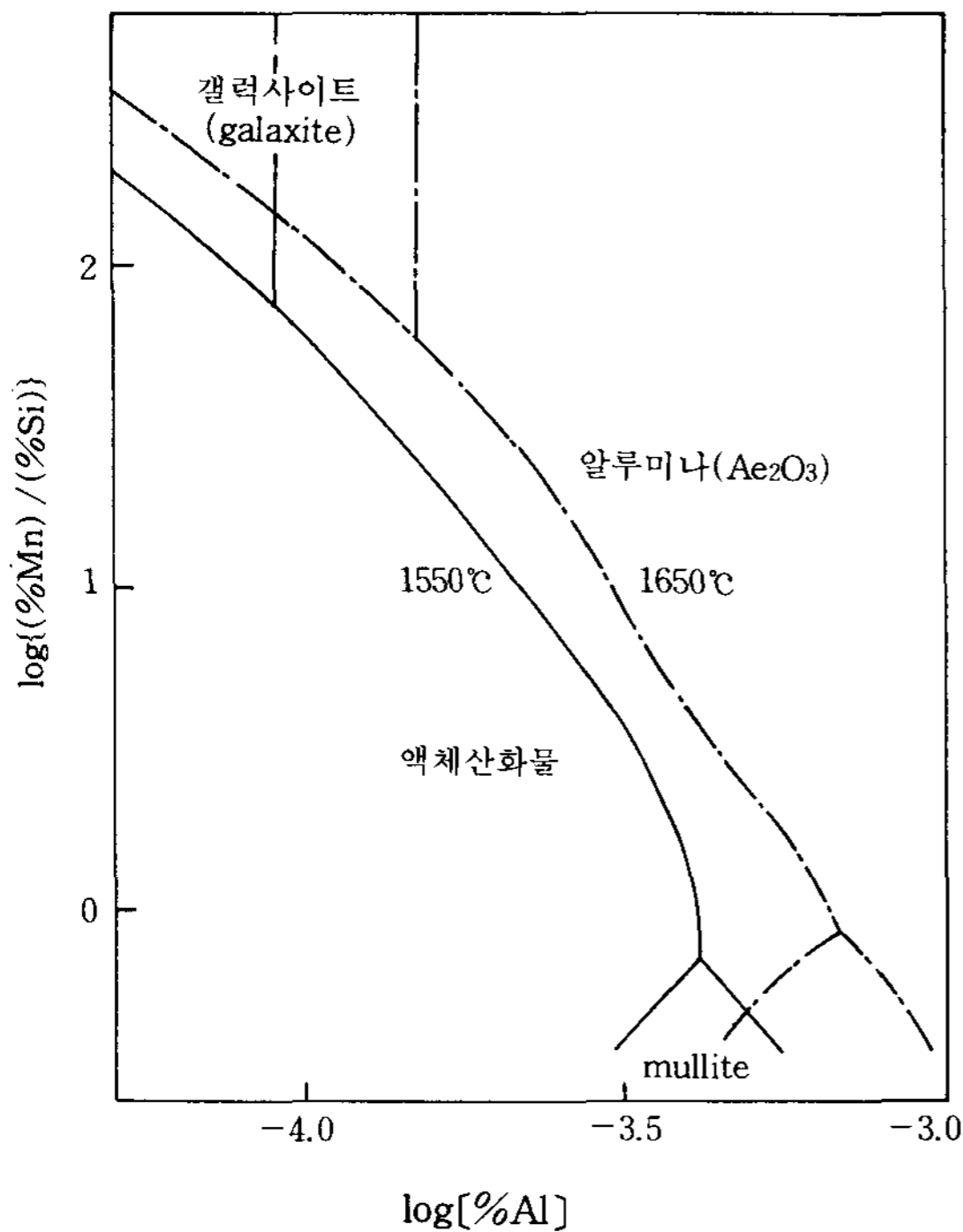


그림 14. %Si + %Mn = 1에 대한 Al-Si-Mn에 의한 용강탈산에서의 평형관계

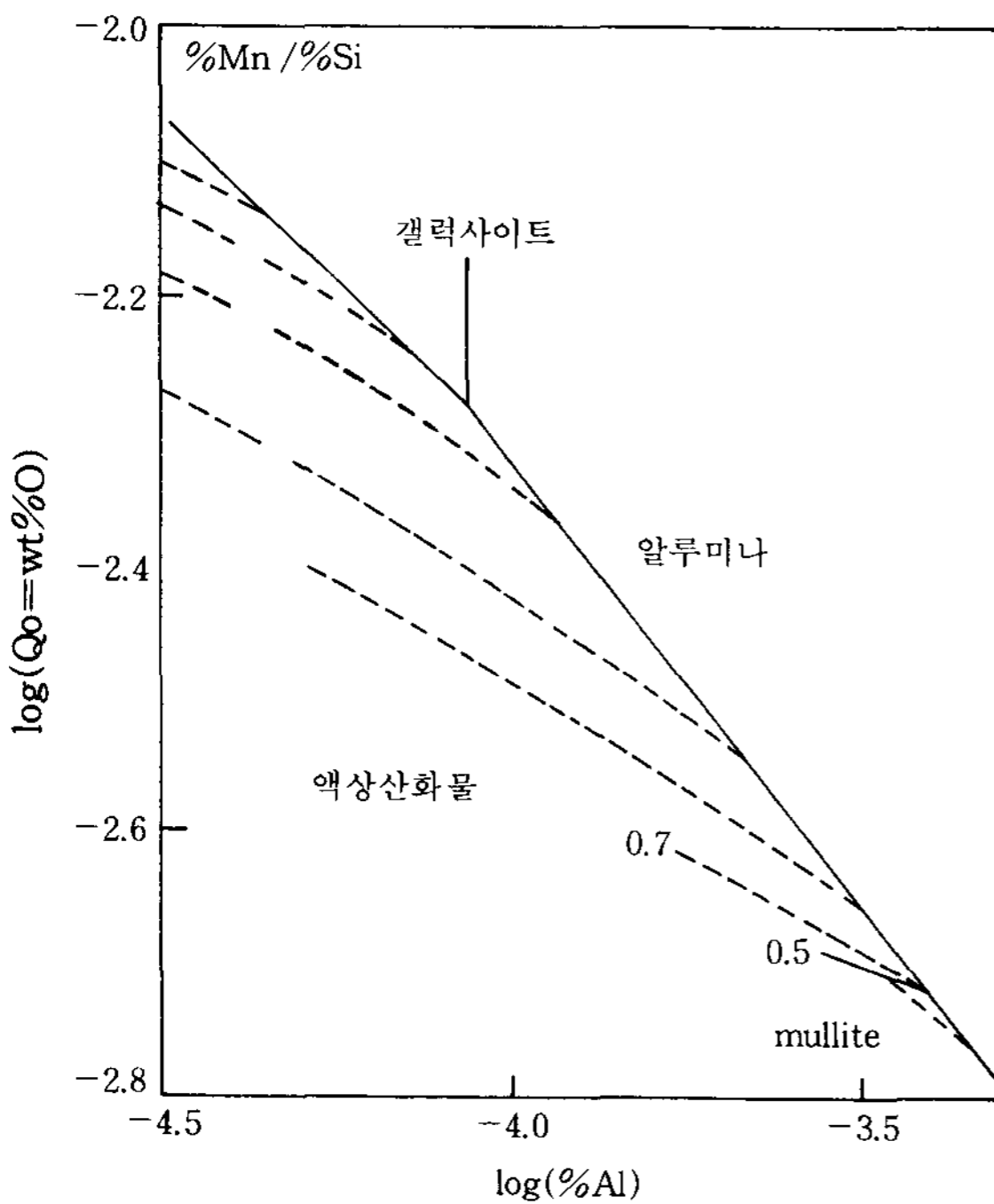


그림 15. T.Fusisawa와 H.Sakao에 따르는 1550°C에서 용강내의 %Al 및 %Mn / %Si 비의 함수로서의 평형 산소의 활성도

Al/ Si/ Mn의 탈산

이는 30~60ppm의 잔류산소를 갖는 반진정강 (semikilled steel)의 생산에 쓰인다. 탈산생성물은 용융철중의 Al, Si, Mn의 농도에 관계되고, 다음의 형태중 한가지를 취하게 된다(그림14. 참조):

- 1) 액체  $Al_2O_3 \cdot SiO_2$
- 2) galaxite,  $MnO \cdot Al_2O_3$ , m.p.  $-1850^\circ C$
- 3) corundum,  $Al_2O_3$ , m.p.  $2054^\circ C$
- 4) mullite,  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ , m.p.  $\geq 1850^\circ C$

이런 형식의 탈산에 대하여 연관되는 산소량을 그림15.에 설명하였다. 여기서, Mn/Si 비율을 3에서 200까지 증가시키면 용융 Al, Si의 산화물이 형성될 수 있는 범위는 증가한다.

Al/ CaO의 탈산

Al 진정강의 완전탈산은 CaO을 첨가하여 용융

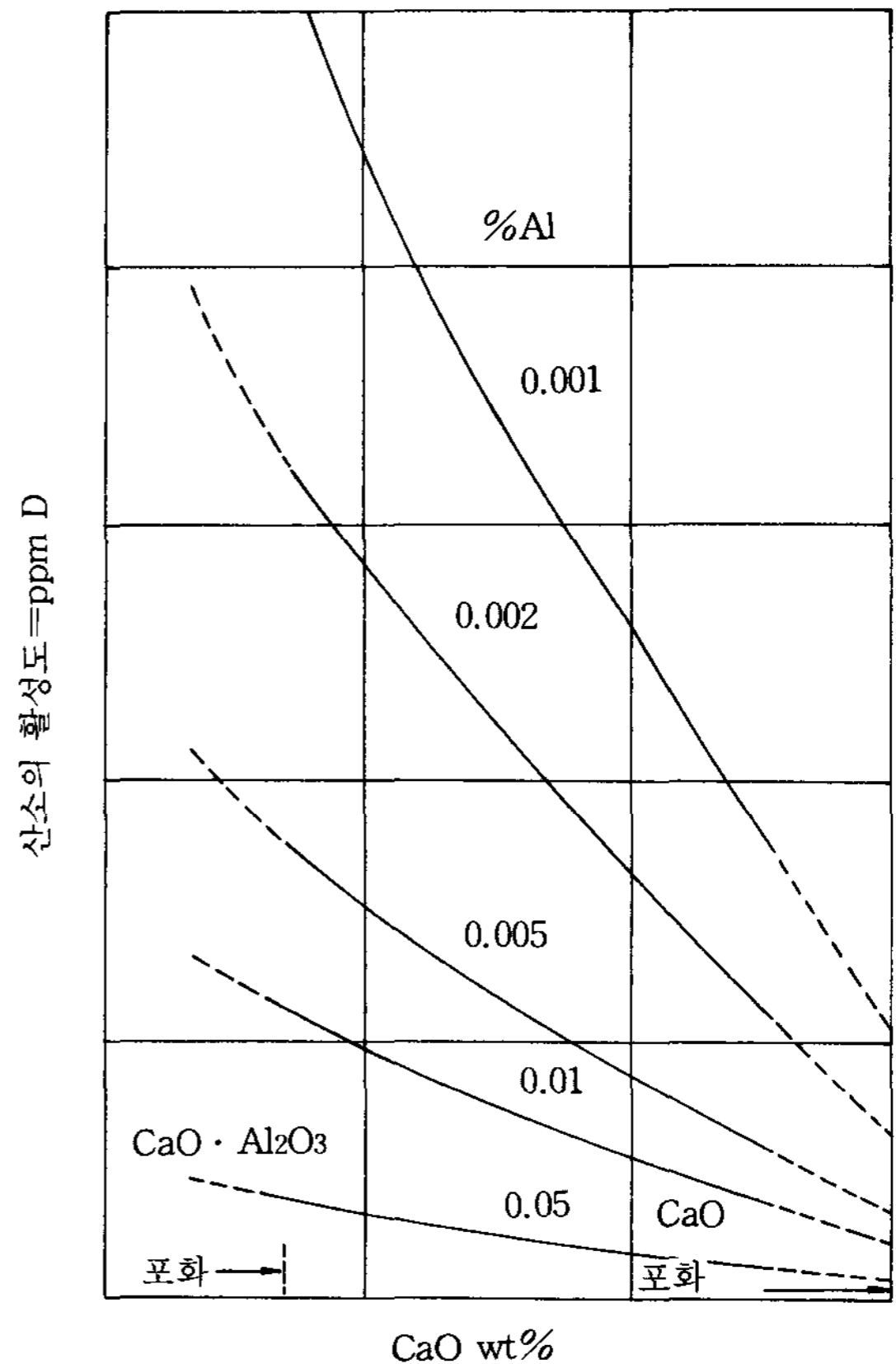


그림 16. 1600°C에서의 Al 및 CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 탈산평형

상태의 알루미늄산 칼시움(Calcium aluminate, CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 형성시킴으로써 촉진된다 (그림16. 참조) 즉,



만일, 용융상태의 CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 탈산생성물이 필요하다면 CaO는 37% 이상 존재할 필요가 있으나, 반면 잔류 Al을 0.001%에서 0.05%까지 증가시키면 잔류산소량을 충분히 감소시킨다. 실제

로, 용융의 탈산생성물이 요구된다면, CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 유동시키기 위하여 10~15%의 Ca-Fe를 첨가하여야 한다. 즉, Al의 탈산에서는 4ppm의 O와 0.02%의 잔류 Al을 Al+CaO의 탈산에서는 4ppm의 O와 0.001%의 잔류 Al을 얻는다. 실제의 조업에서는, CaO가 포화된 CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(용융상태)를 만들어 aAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 감소시키고 산소제거를 조장하기 위하여, CaO:Al=3:1의 비율로 만들어야 한다.

## FURNACES ASIA 1992

*11th - 13th November, 1992*

*Hilton International Hotel, Seoul, Korea*

The exhibition will focus on the full range of Industrial Heating Technology, featuring a wide range of plant equipment, materials, consumable, ancillary products and services associated with the Thermal Processing Industries. Listed here are some of the categories of products that will be on show: Furnaces—all type, all temperatures, Ovens, Kilns/Dryers, Lehrs, Incinerators, Heat Sources—burners, elements, etc, Furnace fittings, fixtures and furniture, Controls and Instrumentation, Gas and atmosphere generators, Refractories and Insulation, Oxygen and atmosphere analysers, Fume and dust extraction, Power sources, Consultancy.

Organisers : FMJ International Publications Ltd.

ENGLAND

Tel : 0737-768611, Fax : 0737761685 / 760467

※자세한 내용을 원하시면 학회 사무국으로 연락바랍니다.