

技術資料

# 공정온도에 따른 주철용탕성상의 추정

森中眞行

## Estimation of Molten Metal Properties Via Eutectic Temperature

Mayuki Morinaka

### 1. 서 론

주철에 있어서 용탕성상의 변화는 응고형태에 영향을 미치며 재질의 여러가지 특성을 변화시키는 중요한 문제이므로 종래 보다 용탕에 대한 탄소의 용해도 변화[1], 안정계 평형공정온도 및 준안정계 평형공정온도의 온도차 변화[2], 흑연 공정과 백선공정의 성장속도[3] 등에 의해 설명되어 지고 있다. 저자[4]는 열분석용기에 접종제 또는 금속 Te를 설치하여 구한 실측치를 기준으로 하여 안정계 공정온도 및 준안정계 공정온도의 차가 흑연화 효력과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타내었다. 한편, 첨가제를 사용하지 않고 측정된 공정온도는 용탕의 성상에 의해 변화한다는[5] 것이 알려져 있지만 안정계 공정온도 및 준안정계 공정온도와는 그와 같은 관계가 명확하지는 않다. 또한 용탕성상을 나타내는 지표로써 철 임계냉각속도가 있고 냉각속도가 다른 4개의 열분석 용기[6] 또는 화학성분에 의해 산출된 안정계 공정온도와 준안정계 공정온도와 1개의 열분석 기기[7] 또는 금속 Te를 설치한 용기를 포함한 3개의 열분석 기기[8]로써 공정온도로부터 측정하는 방법이 있지만 흑연형상에 관한 알려진 견해는 얻을 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 공정온도에 의한 칠층 깊이에 대해서 뿐만 아니라 흑연형상을 가미한 용탕성상의 추정을 실험하였다.

### 2. 실험방법

Nippon Sublance Probe Engineering Ltd.

본 자료는 1995년도 추계학술발표 및 기술강연대회 발표내용임.

고주파유도로에서 선철과 강고철을 원료로 하여 표 1에 표시한 기본조성의 주철용탕 60kg을 1,773K에서 용해하였다. C, Si 및 Cr의 조성은 표 2에 표시한 배합목표에 따라 가탄제, Fe-75mass%Si 및 Fe-50massCr을 첨가시켰다.

더욱이 Cr을 첨가하는 실험에서는 소량의 Cr을 첨가하는 것만으로는 안정계 공정온도와 준안정계 공정온도가 일치하므로 Cr의 영향을 측정하기 어렵기 때문에 Si함유량을 2.3mass% 많게 하여 실험을 하였다. 용탕성상의 변화는 용탕을 1,773K에서 유지하고, 노내 접종 직후 0.6ks 후, 1.2ks후에 공정온도 및 칠층깊이를 측정하였다. 또한 일부시료에 대해서는 흑연형상을 관찰하였다. 공정온도를 측정하는 열분석 용기의 형상을 그림 1에 나타내었다. 공정온도의 측정은 Fe-38mass%Si-12mass%Ca-9mass%Ba의 접종제를 1.2mass% 설치된 열분석 용기에 의해 공정온도를 안정계 공정온도(TEg), 금속 Te를 0.7mass% 설치한 용기에 의해 공정온도를 준안정계 공정온도(TEc)로 하여 측정함과 동시에 첨가물이 없는 용기에 의해 공정온도(TEO)도 측정

표 1. 기본조성

C	Si	Mn	P	S
3.1	1.5(2.3)	0.75	0.07	0.05

표 2. 배합목표치(mass%)

C	Si	Cr
2.9	1.5	0.1
3.1	1.7	0.3
3.2	1.9	0.6
3.4	2.1	0.9
3.5	2.3	1.4

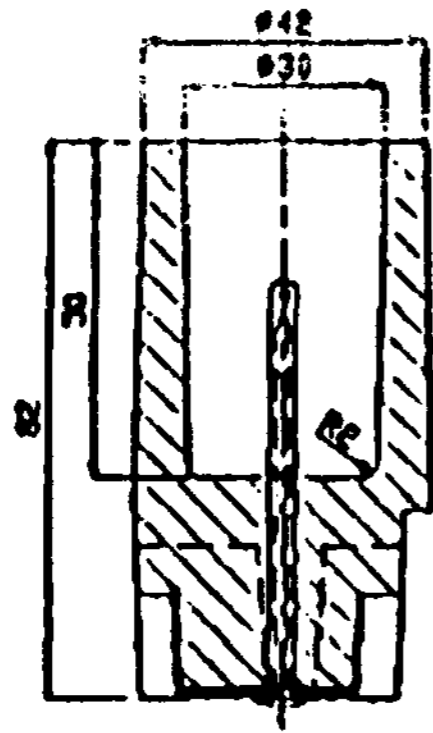


그림 1. 열분석 용기 형상

하였다. 냉각곡선은 그림 2에 모식도를 나타낸 것처럼 TEg 및 TEc를 측정하는 경우에는 공정온도가 다시 상승하는 것을 나타내지 않지만 TEO를 측정하면, 대부분의 경우에 공정온도의 재상승을 나타내는 것으로부터 공정 재상승 전의 최저점을 TEO로 측정하였다. 본 연구에서는 준안정계 공정온도를 측정하기 위한 열분석기기에 Te가 설치되어 있으므로 변화가 생길 가능성이 있다. 여기서 예비실험으로서 Mo 및 Cr 함유량을 변화시킨 용탕을 1,753K에서 14.4ks의 용탕유지를 하여 핵물질을 소실시켜 그대로 준안정계 공정온도를 한 용탕을 한편으로는 Te를 설치하고 다른 쪽에는 설치하지 않은 열분석기에 동시에 주탕하는 것으로서 양자의 공정온도를 측정하였다. 그 결과 그림 3에 나타낸 것과 같이 Mo 및 Cr 함유량을 변화시킨 것 어느 쪽에 대해서도 Te를 설치한 열분석기에서는 공정온도가 3K 정도 높은 수치를 나타내었다. 이것으로부터 본 연구에서는 TEc는 측정치보다 3K 낮은 수치를 사용하였다.

흑연현상의 관찰은 TEO를 측정한 열분석 시료로서 열전대 근방의 1/2위치에서 행하였다. 칠 깊이의 측정은 ASTM 규격 3C의 강제칠법에 의해 하였고 응고후의 시료를 파단하여 클리어 칠부의 길이를 칠 깊이로서 측정하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 C 함유량의 변화

C 함유량을 변화시킨 경우의 공정온도 측정결과 및 칠 깊이 측정결과를 그림 4에 나타내었다.

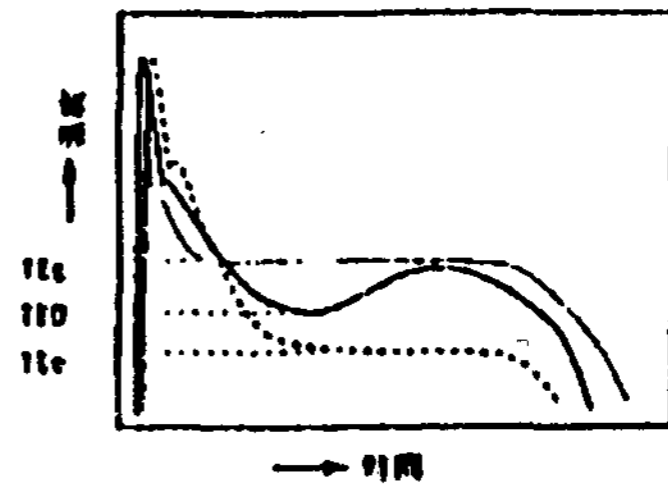


그림 2. 냉각곡선의 모식도

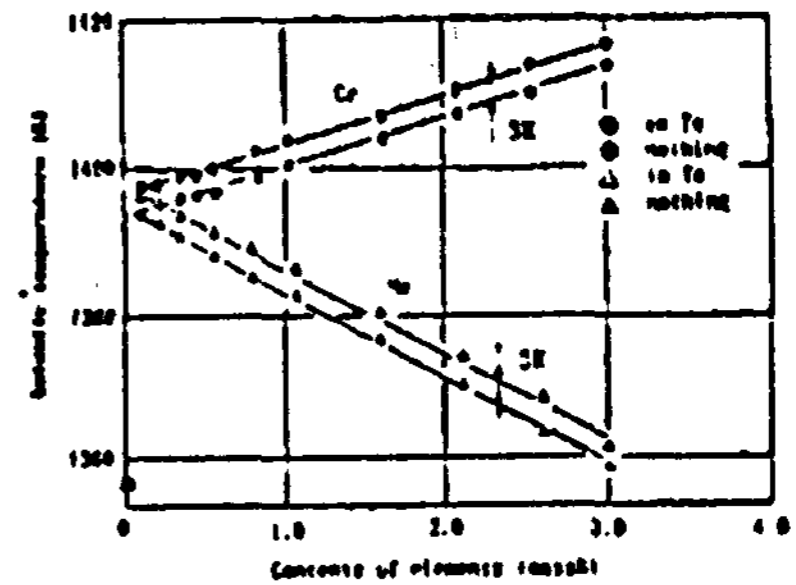


그림 3. 공정온도에 미치는 Te의 영향

TEg는 C 함유량이 2.5mass%의 경우에는 1,413K로 약간 낮은 값을 나타내지만, C 함유량이 3mass% 이상의 범위에서는 보통 1,420K에서 일정하였다. 또한 TEg는 유지시간에는 영향을 받지 않았다. TEc는 C 함유량에 영향을 받지 않고 또한 시간경과에 의해서도 일정하였다. TEO는 C의 함유량이 높을수록 높은 온도를 나타내었다. 또한 TEO는 유지시간에 따라 저하하지만 저하도는 C의 함유량이 낮을수록 크다. 더욱이 접종 직후부터 0.6ks까지의 저하가 현저하고 0.6ks부터 1.2ks까지의 저하는 비교적 완만하였다. 칠 깊이는 C 함유량이 높을수록 낮은 값을 나타내는 경향이 있었다. 또한 유지시간에 따라 각 C 함유량과 함께 칠은 깊어지지만 접종 직후부터 0.6ks까지의 칠 깊이의 변화는 0.6ks부터 1.2ks 변화보다도 크다.

#### 3.2 Si 함유량의 변화

Si 함유량을 변화시킨 경우의 공정온도 측정결과 및 칠 깊이 측정결과를 그림 5에 나타내었다. TEg는 Si함유량 증가에 의해 직선적으로 상승하나 유지시간에는 영향을 받지 않는다. TEO도 Si함유량이 높을수록 높은 온도를 나타내었지만 시간 경과에 따라 강하하고 1.2ks후에는 TEc

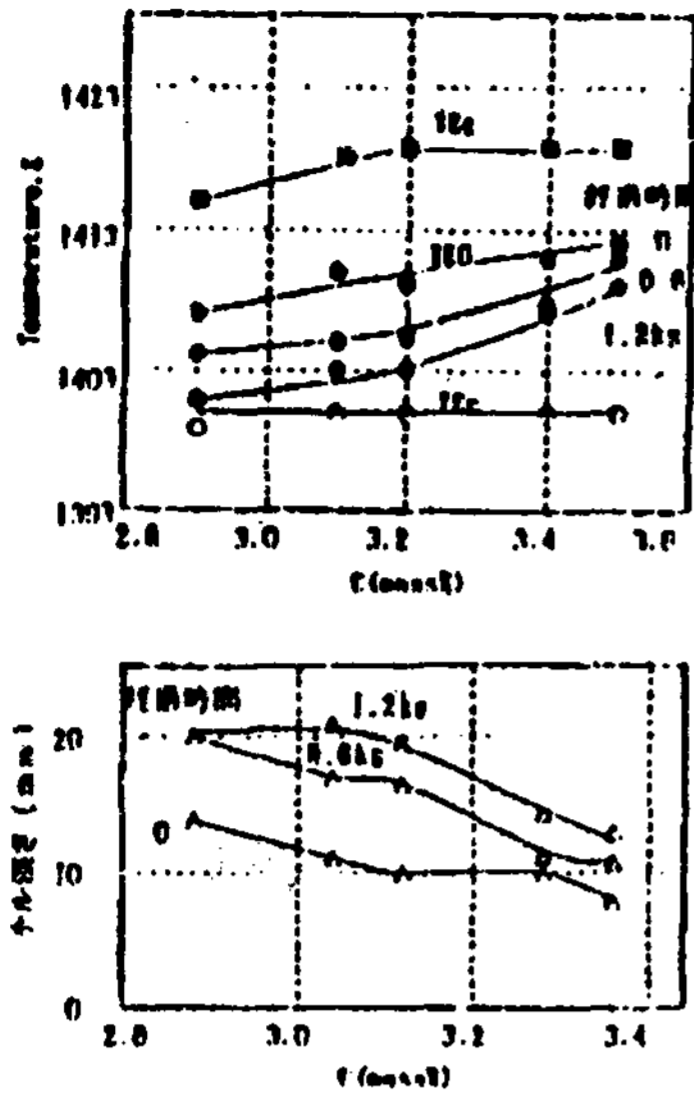


그림 4. 공정온도와 철 깊이(3C)에 미치는 C 함유량과 유지시간의 영향

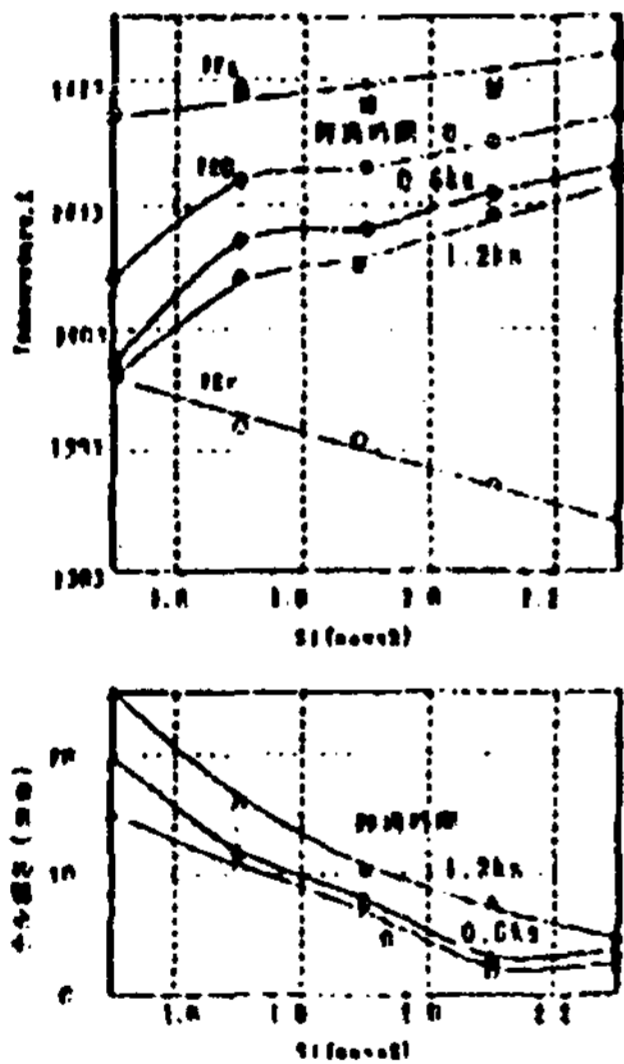


그림 5. 공정온도와 철 깊이(3C)에 미치는 Si 함유량과 유지시간의 영향

에 일치하고 있었다. TEc는 Si 함유량 증가에 따라 직선적으로 저하되지만, TEg의 경우와 같이 유지시간에 영향을 받지 않았다. 철 깊이는 Si함유량 증가에 따라 약간 감소하며 또한 철 깊이는 유지시간에 따라 증가하였다.

### 3.3 Cr 함유량의 변화

Cr 함유량을 변화시킨 경우 공정온도의 측정

결과 및 철 깊이 측정결과를 그림 6에 나타내었다. TEg는 Cr함유량 증가에 따라 직선적으로 저하되지만 유지시간에는 영향을 받지 않았다. 그러나 TEO는 유지시간에 영향을 받는 각각의 Cr 함유량과 함께 저하하였다. TEc는 Cr함유량 증가에 따라 상승하지만 유지시간과의 관계는 관찰할 수 없었다.



그림 6. 공정온도와 철 깊이(3C)에 미치는 Cr 함유량과 유지시간의 영향

### 3.4 흑연형상의 관찰

Fe-3.1mass%C-1.9mass%Si-0.75mass%Mn-0.07mass%P-0.005mass%S의 용탕을 유지했을 때의 흑연형상의 관찰결과를 그림 7에 나타내었다. 이 그림으로부터 알 수 있듯이 동일 용탕에 관계없이 흑연형상은 점종 직후에는 A형이지만 0.4ks후에는 E형으로 되고 0.8ks후에는 D형으로 되며, 2.4ks후에는 D형 흑연과 레데브라이트가 혼재된 조직으로 변화되었다.

## 4. 고 찰

### 4.1 철 깊이의 추정

종래에는 평형공정온도와 공정최저온도(TEO)의 차는 용해온도가 높을수록 또는 유지시간이 길어질수록 커짐[5],[9]과 동시에 철 깊이가 증가하는 것으로 알려져 있다. 그래서 본 실험에서는 TEg와 TEO의 차( $\Delta T_2$ )와 철 깊이의 상관계수를 조사함과 동시에 TEO와 TEc의 차( $\Delta T_1$ )

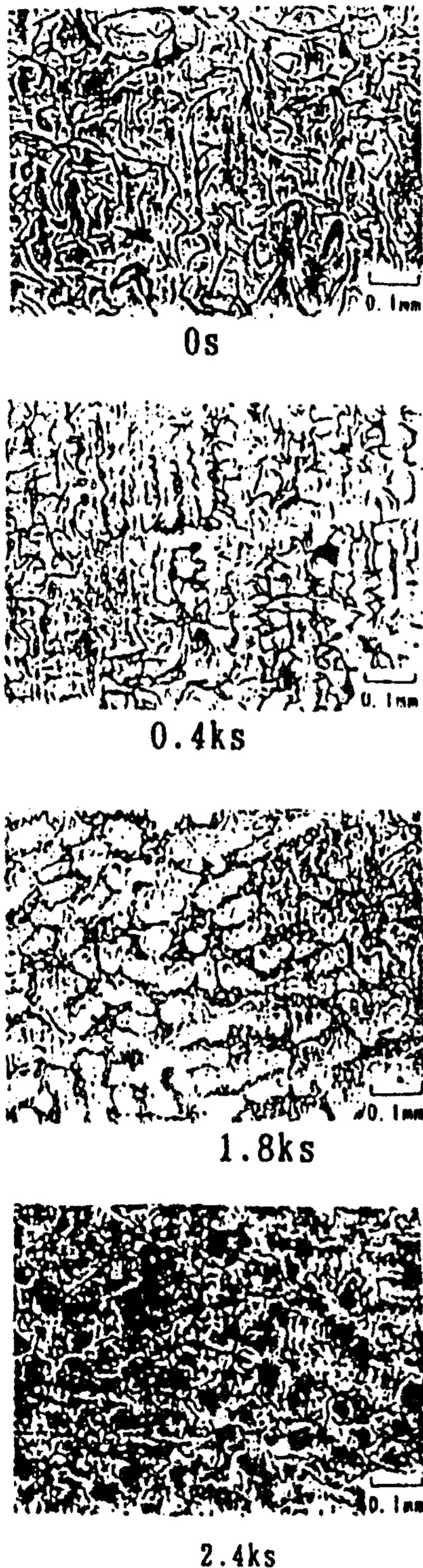


그림 7. 흑연형상에 미치는 유지시간의 영향

도 화학성분이 일정한 경우에는 칠 깊이와 음의 관계[10]로 부터 본 실험에서 상관계수를 조사하였다. 더욱이  $TE_g$ 와  $TE_c$ 의 차( $\Delta T_3$ )에 관해서도 흑연화의 효력과 관계가 있는 것으로부터 칠 깊이와의 상관관계를 조사하였다. 각 온도범위와 칠 깊이의 상관계수는 표3에 나타낸 것처럼 매우 의미 있는 상관관계가 있었다. 이 이유로  $\Delta T_1$ 은 TEO가  $TE_c$ 로 부터 얼마만큼 거리를 두고 있는가를 나타내고 있는 것이므로 이것이 증가하면 칠은 얇아지고  $\Delta T_2$ 에 대해서는 TEO가 얼마만큼  $TE_g$ 에 가까이 있는가를 나타내고 있으므로 이것이 감소하면 칠이 얇아지기 때문이라고 사료되어진다. 한편  $\Delta T_3$ 는 용탕의 화학성분에 따라 결정되어지는  $TE_g$ 와  $TE_c$ 가 얼마만큼 떨어져 있는가를 나타내는 것이므로 용탕 성상과는 직접관계가 없는 것으로 사료되어지며 용탕성상을 변화시킨 본 실험에 있어서도  $\Delta T_1$  및  $\Delta T_2$ 와 비교해서 낮은 상관계수를 나타내었다. 그래서 접종 직후에 대한  $\Delta T_3$ 와 칠 깊이의 상관계수를 산출한 경우, 표3에 나타낸 것과 같이  $\Delta T_1$  및  $\Delta T_2$ 의 상관계수는 약간 저하하며  $\Delta T_3$ 의 상관계수는 상승하였다. 이것으로부터 접종 직후처럼 흑연화 능력이 충분한 조건하에서는  $\Delta T_3$  즉, 용탕의 화학성분이 칠 깊이에 대하여 중요한 점을 반영한다고 사료되어진다.

표 3. 각 온도범위와 칠 깊이의 상관계수

	r(전 데이터)	r(접종 직후)
$\Delta T_1$	-0.85	-0.83
$\Delta T_2$	0.75	0.73
$\Delta T_3$	-0.71	-0.77
$\Delta T_1/\Delta T_3$	-0.90	-0.86

$\Delta T_1$ 과 칠 깊이와의 관계에 대해서 원소별로 검토하였다. 우선 C 함유량 및 용탕성상을 변화시킨 경우  $\Delta T_1$ 과 칠 깊이의 관계를 그림 8에 나타내었다. C 함유량이 변화되어도  $\Delta T_1$ 과 칠 깊이의 관계는 일정하다는 것을 알 수 있었다. 다음으로 Si 함유량 및 용탕성상, 또는 Cr 함유량과 용탕성상을 변화시킨 경우의  $\Delta T_1$ 과 칠 깊이의 관계를 그림 9 및 그림 10에 나타내었다. Si 또는 Cr의 함유량이 변화하면 다른 관계를 나타내었으며  $\Delta T_1$ 이 같을 경우에도 Si 함유량이 증가하면 칠 깊이는 증가하고 역으로 Cr 함유량이

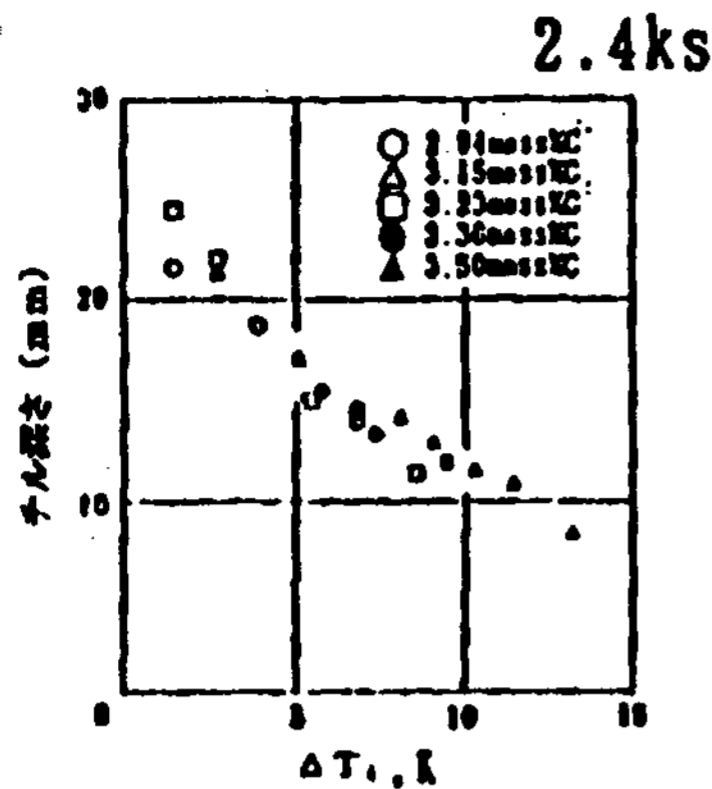


그림 8. 철 깊이(3C)와 ΔT1의 관계에 미치는 C 함유량의 영향

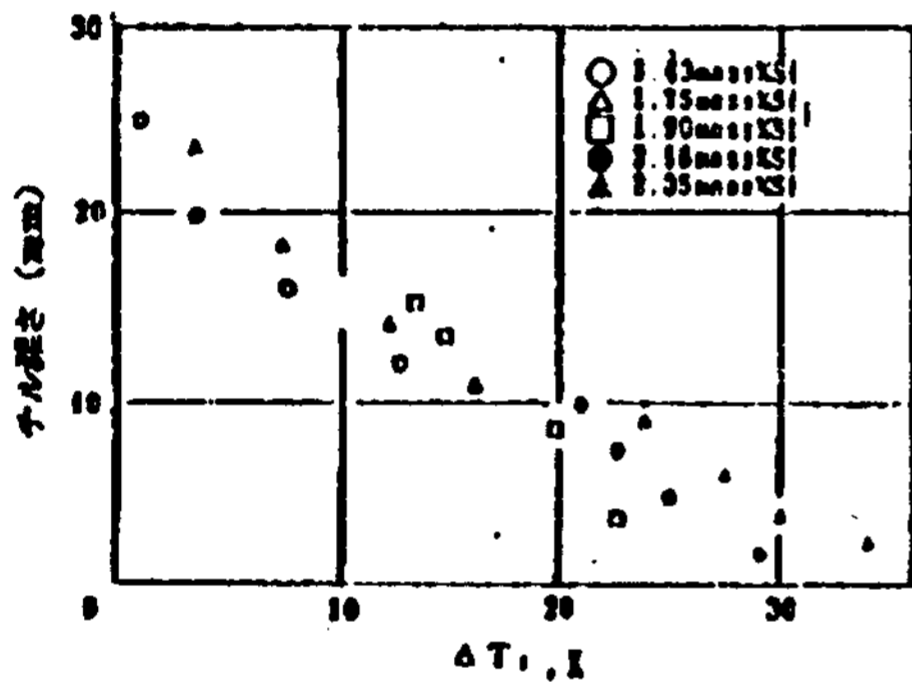


그림 9. 철 깊이(3C)와 ΔT1의 관계에 미치는 Si 함유량의 영향

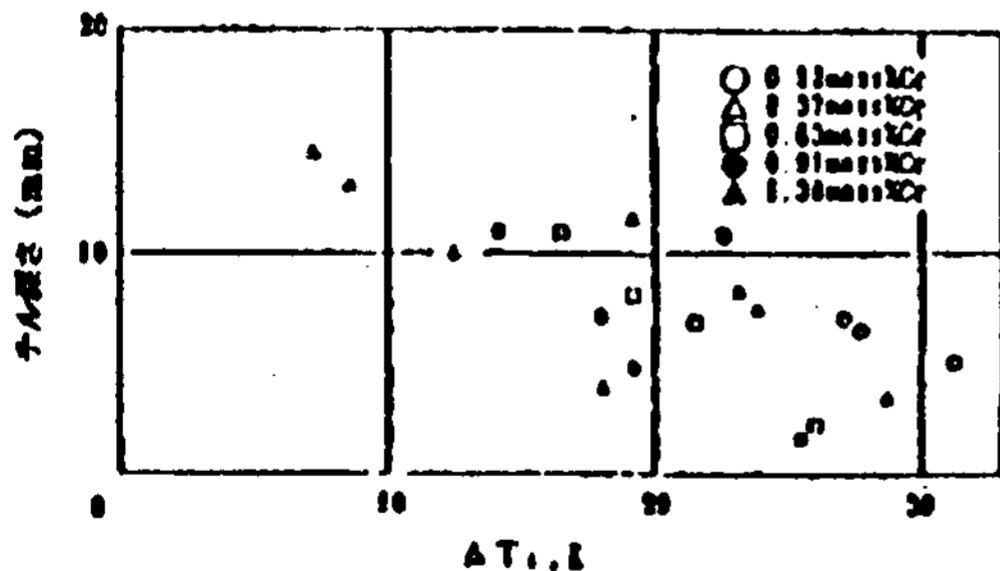


그림 10. 철 깊이(3C)와 ΔT1의 관계에 미치는 Cr 함유량의 영향

증가하면 철 깊이는 감소하는 현상을 나타내었다. 따라서 이러한 현상을 고찰하였다. 어떤 용탕의 고정응고온도(TEO)를 고찰하는 경우 TEO가 그 용탕의 TEg에 가까운 경우에는 철이 얇고 역으로 TEc에 가까운 경우에는 철이 깊어지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 철 깊이가 용탕

성분 뿐만 아니라 TEg와 TEc의 사이에 의한 TEO의 위치, 즉, ΔT1/ΔT3에 의하여 철 깊이가 영향을 주는 것을 나타내었다. 따라서 ΔT1/ΔT3와 철 깊이와의 관계를 구해보면 그림 11에 나타낸 것과 같이 아주 좋은 상관관계가 확인되었다. 그러므로 주조전의 용탕상태에 의한 ΔT1/ΔT3를 측정하는 것으로서 용탕의 철 깊이를 추정하는 것이 가능하였다.

이것으로부터 C 함유량을 변화시킨 경우에 ΔT1의 쪽에서 철 깊이와 상관관계가 명확해진 이유는 TEg 및 TEc가 C 함유량이 2.9~4.9mass %의 범위에서는 변화하지 않고[4] 용탕성상에 의해 변화하는 TEO와 TEc의 차(ΔT1)가 철 깊이와 밀접한 관계를 나타내는 것으로 사료되었다. 또한 Si 및 Cr 함유량이 일정한 경우에는 ΔT1과 철 깊이 사이에 상관관계가 나타나는 것과 함유량이 다른 경우에는 다른 관계선을 나타내는 이유는 다음과 같이 생각되었다. Si 함유량의 증가는 TEg를 상승시켜 TEc를 저하시키고 ΔT3를 확대[4]시키므로 ΔT1이 같아져도 ΔT1/ΔT3는 작아지므로 철 깊이가 증가되었으며 역으로 Cr 함유량의 증가는 TEg를 저하시켜 TEc를 상승시키고 ΔT3를 감소시키므로 ΔT1이 같아져도 ΔT1/ΔT3가 커짐에 따라 철 깊이가 감소되었다고 사료되었다.

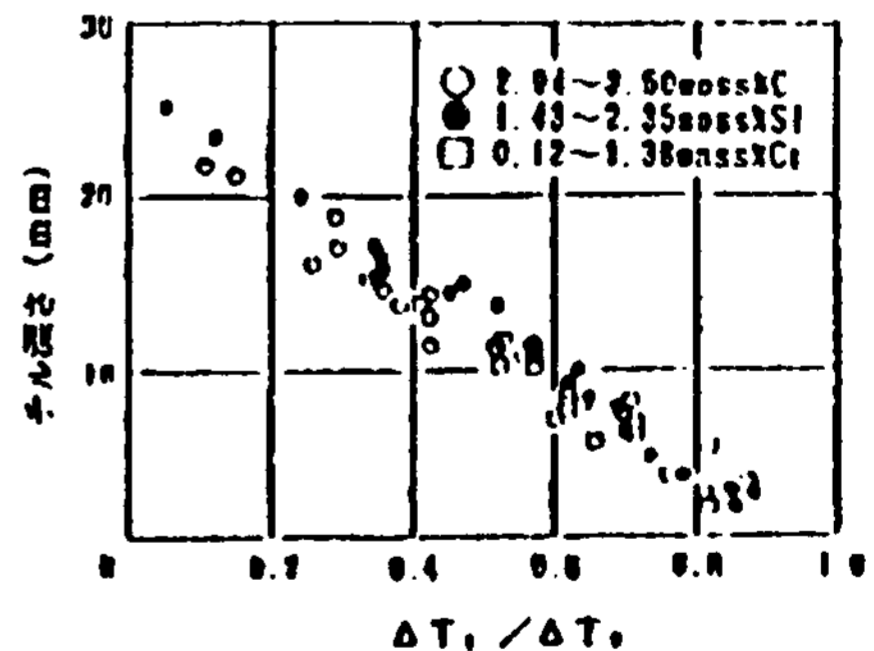


그림 11. 철 깊이(3C)와 ΔT1/ΔT3의 관계

#### 4.2 흑연형상의 추정

그림 7에 나타낸 것과 같이 동일한 용탕을 유지시킨 경우에 흑연형상이 변화(A형→E형→D형→D형+철)하였다. 따라서 철 깊이의 경우와 같이 ΔT1/ΔT3에 의한 흑연형상추정을 실험하였다. 흑연형상의 수치화에는 여러가지 방법이 있

지만 여기서는 표4에 표시한 단순한 포인트 화를 행하고 전술한 측정 결과 및 다른 화학성분에 따른 흑연형상과  $\Delta T_1/\Delta T_3$ 의 관계를 조사하였다. 그 결과 그림 12에 나타낸 것과 같은 관계가 확인되었다. 여기서 그림중 ①은 Ti을 0.23mass % 함유한 합금으로서 제외시키면 흑연형상은 주조전의 용탕상태에 의해  $\Delta T_1/\Delta T_3$ 를 측정하는 것로부터 추정이 가능하다.

표 4. 흑연형상의 수치화

흑연형상	포인트
A	1.2
E	0.9
B	0.6
D	0.3
철	0

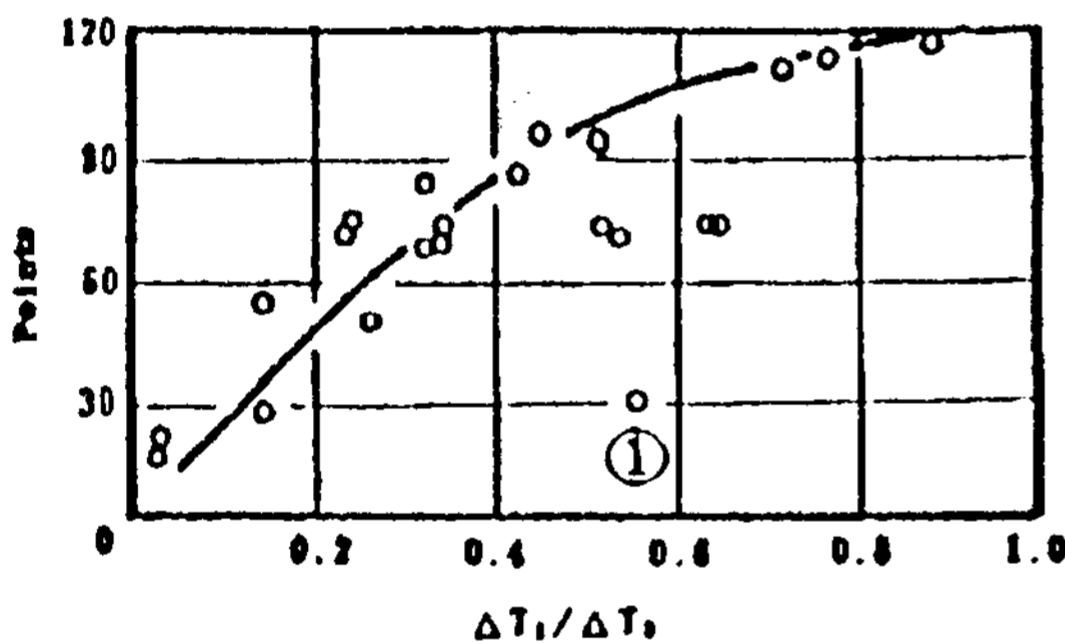


그림 12. 흑연형상 포인트와  $\Delta T_1/\Delta T_3$ 의 관계

### 5. 결 론

공정온도에 의한 주철용탕성상의 추정을 위하여 용탕을 유지하면서 집종제를 설치한 열분석 용기에서의 공정온도(TEg), Te를 설치한 열분석 용기에서의 공정온도(TEc), 첨가물이 없는 용기에서의 공정온도(TEO)를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) C, Si, Cr함유량에 관계없이 용탕성상의 변화는 TEg, TEc에는 영향을 주지 않았다.

2) 용탕성상은 TEO와 밀접한 관계가 있고 TEO는 용탕유지를 하면 TEg측으로부터 TEc측으로 저하하였다. 이러한 TEO의 저하도는 낮은 C 조성 또는 낮은 Si 조성일수록 커졌다.

3) 철 깊이는 용탕성분 뿐만 아니라 TEO가 TEg와 TEc의 범위내의 어느 위치에 존재하는가 ( $\Delta T_1/\Delta T_3$ )에 의해 추정할 수 있었다.

4) 흑연현상은 TEO가 TEg에 가까운 경우에는 A형, 또는 TEc에 가까운 경우에는 D형을 나타내는 경향이 확인되었으며  $\Delta T_1/\Delta T_3$ 에 의해 추정하는 것이 가능하였다.

5) 종래 정성적으로 사용되었던 용탕성상의 개념을 공정온도에 의해 정량치로서 취급할 수 있음을 알았다. (번역: 천병욱·동아대)

### 참고문헌

- [ 1 ] F. Neumann, H. Schenck : Arch. Eisenhuttenw, 30(1959), 477.
- [ 2 ] W. Oldfield : B.C.I.R.A. Jour., 10(1962), 17.  
W. Oldfield : B.C.I.R.A. Jour., 9(1962), 506.
- [ 3 ] M. Hillert, Subba Rao V.V.: The Solidification of Metals, (1968), 204.
- [ 4 ] 平岡, 森中, 久保田, 菅野, 佐原 : 第2回日中鑄造技術交流合作會論文集(1995).
- [ 5 ] 加山, 加藤 : 總合鑄物 센터-研究調查報告書 157(1972).
- [ 6 ] 日本鑄物協會 : 「鑄鐵鑄解技術と 溶湯性狀に關する研究部會」資料 No.60-1-2.
- [ 7 ] 富田, 中村, 炭木 : 日本鑄物協會 第126回全國講演大會概要集(1995), 44.
- [ 8 ] 富田, 中村, 炭木 : 日本鑄造工學會 第126回全國講演大會概要集(1995), 79.
- [ 9 ] K. H. Caspers : Giesserei, 58(1971), 4, 77.
- [ 10 ] 特開平7-113771