

# 鑄鐵의 遺傳性

丁海哲 \*

1982년 4월 14일~4월 17일 미국에서 개최한 제 49차 International Foundry Congress에서 발표된 논문중에서 관심을 갖게 한 논문에 대하여 직접 참석한 회원에게 의뢰하여 이를 정리 게재합니다. (편집자주)

## 1. 유전성의 개념

주물인은 때때로 선철의 조직과 성질의 경향이 비록 그 성분이 기본철과는 상당한 차이가 있음에도 주조시에 재생되는 것을 목적하게 된다. 이러한 특성을 유전성 (Heredity)라고 한다.

주물에서는 이를 용해 후에 주철의 chill이라 patch tendency 같은 기본 구조적 성질의 유전을 나타내는 말로 쓰이고 있다.

이와같은 유전성의 원인은 다음과 같은 것이 있다.

- 1) 화학적유전성 : 원장입 물질로부터 나오는 화학조정제의 존재와
- 2) 물리적 유전성 : 재용해 후 까지도 존재하는 핵

실질적인 유전성을 일으키는(화학적 유전성에는 적용되지 않음) 핵의 본질에 대해서는 아래와 같이 요약되어 있다.

- 1) 산화물이나 규산염과 같이 쉽게 용해되지 않는 불순물로 구성된 비균질성의 결정핵
- 2) 재용해 중 완전히 해체되지 않아 부분적으로 용융된 균질성의 embryos 또는 이들의 집합체

이것들을 용융시키기 위해서는 상당한 과열이 필요하다.

생물학에서 처럼 주물에도 상당한 발전이 있었지만 아직도 완전히 해명되지 못하고 있으며 이

것은 용융 Fe-C-Si 합금에 대하여 최신의 장 비로써 계속된 실험을 통하여 이룩될 수 있다.

이 논문의 목적도 이러한 현상의 이해를 돕고자 하는 데 있다.

## 2. 현 황

수많은 전문가 들이 이 주제에 대해 공헌을 해왔으며 그 중의 한 사람이 Horace Gillett<sup>1)</sup>인데 그의 고전 논문의 내용을 요약하면,

유전성의 복잡한 문제로서 잔존하는 kish와 그의 용해에 대한 이론은 그 단순성 때문에 관심을 끌지만 아무도 그 근본을 잘 정립하고 있지 못하다. Submicroscopic silicate와 oxide nuclei의 이론은 직접적인 증거가 어렵고 이것은 이 현상을 설명해 줄 뿐이다.

세심한 화학성분에 의해 평가된 기본요소가 필요하고 우리가 “화학 조성의 거동의 변화”에 대한 이론을 정립 하기 전에 먼저 우리는 그 조성이 같다는 것을 확실히 해야하고 또한 같은 원광석이 사용되었다고 만족해서는 안되는 것이다.”라고 진술하고 있다.

그후 40년 후에 이 현상에 대해 유명한 전문가인 J.C.Margerie<sup>2)</sup>가 말하듯이 그 동안 이 현상에 대해 어떠한 진보도 없었다고 할 수 있다.

사실상 이 분야의 완전한 이해와 금속학적인, 철거동을 보다 자세하게 설명하기 위해서는 저자가 권고하듯이, 열역학적인 그리고 화학적 물리적

\* 현대엔진공업(주) 이사

인 철의 성질이 고려되어야만 할 것이다. 이 기간중 다른 나라에서도 체계적인 연구가 행해져서 Gillet는 Battele의 후원 아래 특수하고 복잡한 연구를 계속하였다. 즉 다른 근본을 갖는 13종의 선철의 용해, 재용해로 회주철, 백주철, 가단 주철을 생산하려는 계획을 했다. 그는 선철과 그들의 용해된 것을 분석하고 금속학적인 조직과 강도, chill의 깊이, 접종반응, hard spot, 수축경향, 기계가공성, 밀도등의 특성에 대해 실험하였다. 이러한 실험을 수천만번에 걸쳐 실시하여 이 결과를 통계학상으로 정의하였다.:

실험결과 선철은 어느 범위까지는 성질들이 잔존하고(용해 기구나 주물의 종류에 관계없이) 이들 특성중 몇몇은 Fe가 선철이 되기 전부터 존재한다는 것이 밝혀졌다.

Dr Gillet<sup>3)</sup>는 수차에 걸친 실험에도 불구하고 재용해 후에 특성불변성의 이유는 불분명하다"고 결론지었다.

최근에 M. Decrop<sup>4)</sup>는 Heredity 현상을 그들의 반응기구에 의해 화학적 유전성과 물리적 유전성으로 분류하였다. 그는 첫번째 형의 유전성을 고철이나 철광석 등에서 기원되는 제 2차 미량 원소의 존재 때문이라고 설명했다.

만약 Al과 같은 불순물<sup>4)</sup>이 함유해 있다면 pin hole의 존재로써 실재 선철의 화학적 유전기구를 확인할 수 있다.

이것과 관련하여 Parent와 Margerie<sup>2,6,7)</sup>는 불순물요인 "I"을 도입하였다. 이것은 불순물에 의해서 생기는 원자이온 부피의 변화를 측정하는 King factor<sup>8)</sup>에서 얻어진 것이다. 좀더 중요한 원소를 감안하면 factor "I"은 아래와 같다.

$$I = 4.9 \% \text{Cu} + 0.37 (\% \text{Ni} + \% \text{Cr}) + 7.9 \% \text{Mo} + 4.4 \%$$

$$\text{Ta} + 39 \% \text{Sn} + 0.44 \% \text{Mn} + 5.6 \% \text{P}$$

실제적으로 이와같은 불순물에 의해 유전성을 완전하게 해명할 수는 없다.<sup>9~11)</sup> 문제의 주철은 Cupola 또는 전기유도로에서의 재용해 후에 chill의 깊이나 경도에 차이가 크게 나지만 그것의 impurity factor의 값은 비슷하게 나타난다. 또 이것은 유전과 관련이 있는 비소 안티

몬등의 원소를 고려치 않았으므로 그다지 좋은 결과를 가져온다고는 말할 수 없다.

M. Decrop은 유전성 외부원소에 의하지 않는 것으로 보고 흑연의 보기와 형태로써 유전성 현상을 규명하기 위한 유전성의 물리적 형태의 가설을 세웠다. 어떤 특별한 조업조건 하에서는 부분적으로 또는 단범위 격자 규칙도를 유지해서 이것이 불완전 용해해서 소부분으로 고체상태로 남아 이렇게 해서 존재하는 embryo는 공정반응 동안 흑연 석출의 핵과 같이 작용할 수 있는 것이다. 예를 들어 Cupola 용해<sup>4)</sup>에서 흑연의 용해가 늦은 것은 선철이 빠른 용융속도를 가지기 때문이며 이때문에 흑연의 재생이 일어난다.

반대로 전기로 용해에 있어서는 용해로 모든 핵을 용융시키고 따라서 어떤 범위내에서 과열온도가 유지될 때만 존재할 수 있는 조대한 흑연에 의해 유전성을 감소시킨다. 재용해로 얻어진 조직과 성질은 일반적으로 이것에 가해질 열순환에 의존할 것이며 이런 조직의 변화는 잘 설명되어 있고<sup>6)</sup> 화학적인 조성의 변화에 의해서는 해명될 수 없다.

Parent와 Margerie<sup>6,7)</sup>는 그의 저서에서 blast furnace pouring spot에서 예열된 도가니로 출탄된 주철에서 선철에 대한 직접적인 금속학적인 시험방법을 기술하였다. 이 방법에 의해 원선철의 파면이 보이는 grain의 불균일성과 포준선철의 마크로조직사이에는 유사성이 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 이들 Crystalization anomalies의 주요 원인은 주철의 hypereutectro 조성 때문이다.<sup>2~6)</sup>이 어느 것도 유전성과의 연결성을 증명하지 못한다. 이 보고된 금속학적인 시험은 어떤 한정된 조건하에서 기본철을 특징지어서 주조에서의 유전될 수 있는 성질을 식별할 수 있게 한 것이다.

J. Motz와 K. Rohring<sup>12)</sup>은 논문에서 재용해 후에 유전될 수 있는 특성을 가능한한 많이 예상하기 위해 상세하게 선철을 확인하고 확정 짓고 있다. 이미 다른 학자에 의해 밝혀진 사항이지만 P와 Sn을 감소시키고 또, V, Ni, Gr, Mo을 감소시키고 슬랙 염기도를 증가하여 철내의 patch tendency를 강화할 수 있다.<sup>2,6,7)</sup> 또 선

철에서 발견되는 것으로 D-type 흑연으로 특징 지워지는 patch나 area는 유전되어지는 것이므로 바람직한 것이 아니다.

이와 관련하여 강(10,20,30,40%)과 선철(20,30,40,50%) 그리고 기원이 다른 선철의 품위를 변화시키면서 같은 조성의 회주철을 Cnpola와 전기로로써 20개소의 주조공장에서 시험하여 각각의 장입물질에 대한 기계적 성질(인장강도, 경도, 기계가공성)과 주조성(chill, depth 두께 감도 수축감도)등의 차이를 각각의 용해별로 시험하고 분석하였다.<sup>13)</sup>

위 시험의 결과 matrix는 다음과 같다.

- №.1 — ferritic — pearlitic
- №.2 — charcoal — pearlitic
- №.3 — ferritic
- №.4 — pearlitic

실험에서 14원소 화학분석은 보다 순도가 낮은(0.1% Cu, 0.45% Sn, 0.086% Cu) №.4를 제외하고는 비슷하다. 선철의 근원에 속하는 매개변수만을 고려하면 사용될 melting unit에는 무관하게 №.2, №.3 iron의 인장강도, 경도, 기계가공성 등은 single pollution때문으로 생각되며 №.1은 거의 비슷한 것으로 생각되며 №.1은 거의 비슷한 것으로 생각할 수 있으나, №.4는 덜 resistant하고 기계가공성이 떨어지며 더욱 경도가 높아 상당한 차이를 보였다. 이것은 불순물 때문인 것으로 생각된다. 따라서 pig iron의 근원은 철의 깊이와 두께감도에 거의 영향이 없고 오직 №.3만이 수축경향과 관련이 있는 것 처럼 보였다. 그리고 모든 예상과는 반대로 선철에서 발견될 ferrite의 양이 저용해 후에 얻을 수 있는 조직과는 관계가 없다.

이는 선철 №.1의 №.3 Fe보다 더 높은 ferrite를 함유하고 있는 것으로 알 수 있다.

실제적인 유전성의 결과를 증명하기 위해 위의 것과는 다른 실험을 행하였다.<sup>14)</sup> 즉, 16원소의 값이 유사함에도 불구하고 흑연분포가 상당히 근원이 다른 3종의 pig iron을 비교한 것이다. 이 실험은 cnpola에서 행해졌고 이 실험에서 각 시편 간에는 physical-mechanical-morphological, property가 비슷하였으며, pig 주조 Vol. 2, №.3(1982)

iron의 근원에 따라 조직의 유전현상이 일어나지 않는다는 것을 알 수 있었다. 이 같은 것은 이차 원소가 iron의 현상이나 성질에 영향을 줄 수 있다는 basis에 의해 뒷받침 될 수 있다.

### 3. 연구방법

첨가된 원소에 의해 금속학적인 성질의 유전을 고려하여 여기에서는 현재 주조공학에서 실제로 나타나고 있는 pig iron batch에 대한 물리적인 유전성의 영향을 명백히 하고자 한다.

H.W. Lownies<sup>15)</sup>, Jr는 각기 다른 조직을 얻기 위해 단일 용광로에서 금형과 내화주형에 출탕하여 화학조성이 같은 두종의 선철을 용선로에서 재용해하여 원래 조직이 재용해한 후에도 나타남을 밝혀냈다.

그리하여 장입에 사용된(같은 조성이나 조직이 다른) 선철과 전기로와 용선로에서의 주철과의 물리적인 형태의 유전의 한계를 규명하기 위한 실험이 계획되었다.

### 4. 실험계획 및 재료

Fig 1에 실험의 program을 나타내었다. 실험의 목적은 전기로와 용선로에서 용해기기의 영향을 측정하고자 하는 것이다.

사용된 재료로써는 Cupola에는 billet에서 나온 steel scrap, 전기로에는 Armco 철을 그리고 주전기에서 냉각속도를 다르게 해서 성질을 다르게 한 용광로에서 나온 선철등이다.

각기의 재료를 열거하면,

- 1) P<sub>1</sub> : 보통의 주조기에서의 것보다, 강한 냉각에 의해 만든 선철
  - cold, stripping casting
  - max allowed speed (23-24 m/min)
  - max, nebulization and nozzles distance the uncol quantity
  - pig dropping into container full of running mater
- 2) P<sub>2</sub> : 일반공장의 표준에 의해 만들어진 선철
- 3) P<sub>3</sub> : 최저의 냉각속도에 의해 얻어진 선철 즉, 미리 가열된 주전기에서 주조한 것으로

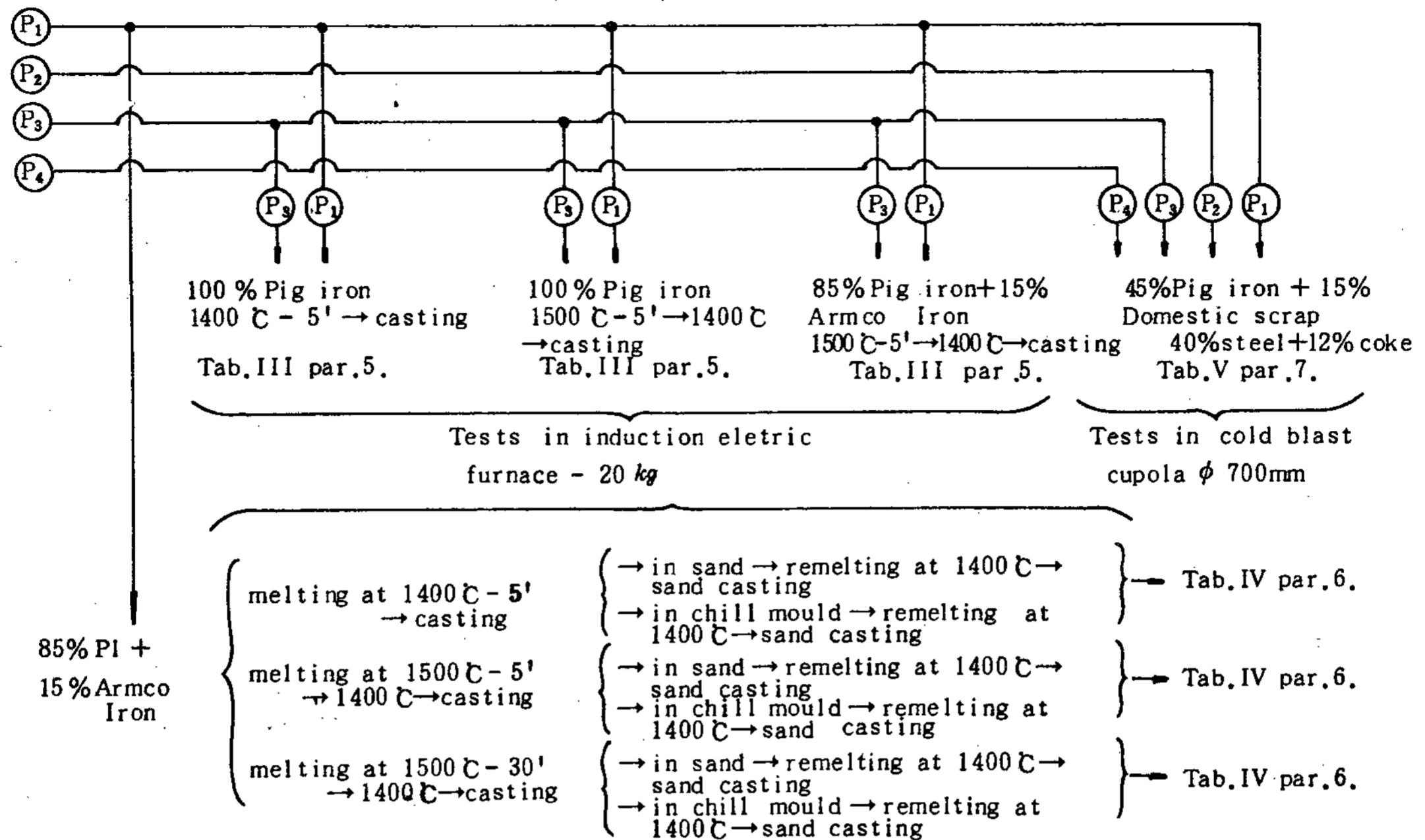


Fig. 1. Test Program

Table 1. Chemical Composition of Used Materials

ELEMENT %	PIG IRON GRADE				STEEL	Armco iron ppm
	P1	P2	P3	P4		
C	3.86	3.85	3.87	4.03	0.18	80
Si	2.82	2.83	2.78	2.85	0.12	200
Mn	0.91	0.93	0.94	0.82	0.75	100
S	0.021	0.020	0.022	0.026	0.015	110
P	0.058	0.059	0.057	0.046	0.022	70
Cr	-	0.019	-	0.016	0.009	100
Ni	-	0.015	-	0.011	0.010	<300
Mo	-	0.003	-	0.003	0.005	<50
Ti	-	0.064	-	0.058	<0.05	<50
Al	-	0.0026	-	0.0030	0.0072	<50
Sn	-	0.0003	-	0.0003	<0.05	<50
Cu	-	0.005	-	0.005	0.025	<200
V	-	0.0053	-	0.0049	<0.05	<50
Co	-	0.0017	-	0.0014	0.007	-
As	-	0.0070	-	0.0065	<0.05	-
Sb	-	0.0005	-	0.0005	<0.010	-
Mg	-	0.0017	-	0.0010	-	-
Zn	-	0.0035	-	0.0027	-	-
Pb	-	0.0002	-	0.0002	-	-
Bi	-	0.003	-	0.0004	-	-
Zr	-	<0.001	-	0.001	-	-
Ba	-	0.0018	-	0.0016	-	-
B	-	-	-	-	-	-
Zn P.P.m	-	55	-	55	-	-

Table 2. Original Structure of Processed Pig Irons

PIG IRON GRADE	P1	P2	P3	P4
GRAPHITE	A 5 C 2-3 30% D8	A 5-6 C 4 20% D8	A 5 C 3 10% D8	A 5 C 3-4 20% D8
MATRIX	10%-20% Pearlitic  80%-90% Acicular	70-90% Pearlitic and/ or acicular  10-30% Ferritic	70% Pearlitic  30% Ferritic	95% Pearlitic and/ or acicular  5% Ferritic

속도는 13 ~ 15 m/min

- min, sprinkling on solid pigs on truck

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, 선철은 고로 작업중 sloy flux 로써 olivine 을 첨가하였고 P<sub>4</sub>는 olivine 없 이 표준 냉각을 시켰다.

Table 1에 이들의 화학조성을 나타내었고 Table 2에는 macrographies에서 나타난 각기 다른 선철의 보통의 조직을 나타낸 것이다.

### 5. 비접종 전기로 재 용해

온도와 접종상태를 달리한 Fe에서 시료를 채

취 하여 실험한 결과 큰 차이가 없었으며 이는 출탕시 접종을 하지 않아야 액상의 조직특성이 바뀌지 않는다는 것을 나타내는 것이다.

또한 실험횟수를 줄이고 반응을 확실하게 하기 위해 급냉과 서냉의 조직차이가 큰 2종의 선철 을 선택하여 melting cycle을 여러가지로 변화 시켜 실험했으며 장입은 Fig 1에 의해서 했다.

이것을 아래에 자세히 설명했다.

A) charge : 100% pig iron

cycle : 1400 C까지 승온하여 melt 를

균일히 하기 위해 이 온도에서 5' holding

B) charge : 100% pig iron

Table 3. Average Results of Remelting Tests

PIG IRON GRADE and MELTING NO.	P1 1,2,3,4	P3 5,6,7,8	P1 9,10,11,13	P3 15,16,17	P1 11	P3 14	P1 18,19,20,21	P3 22,23,24,25
C.E.	4.49	4.50	4.46	4.49	4.63	4.62	3.86	3.87
Pearlite % (30mm diam.)	70	35	58	30	50	30	70	73
HB <sub>30</sub>	114	112	116	118	115	112	159.2	161.6
HB <sub>60</sub>	87	94	100	99.2	100	102	156	154
Chill depth, mm	2.6	1.4	3	2	2.7	1.9	5.3	4.4
	100% pig iron 1400°C-5'→ casting		100% 1500°C→1400°C→ casting				85% pig iron+15% A- rmco iron 1500°C-5'-1400°C→ca- sting	

cycle : 1500 ℃까지 온도 올려서 5' holding 한 후 약 3'으로 급냉 (1,400 ℃) 하여 주조

3) charge : 85 %, pig iron 과 15 % Armco, iron.

cycle : 1500 ℃로 승온후 5' holding., 1400 ℃로 급냉해서 주조

이때 적절한 과열온도를 1400 ℃, 1500 ℃로, 간주 하였다. 특히 1500 ℃의 온도에서는 보통 주물생산시에 가열되는 온도의 범위 내에 들어 있으며 흑연의 solution을 C.E. 5%까지 끌어 올릴 수가 있다. 또한 이 온도에서 균일성이 가장 높고 표준 조직과 관계가 있는 것이다.

로는 중주파(10,000 Hz)이고 용량이 20 kg인 유도로이며 각 용해 후에 주조 방법은.

1) chill 시험편은 chill mold에서 65 × 65 × 12의 size로 주조한다.

2) 시험봉은 30 φ, UNI, 5007과 60 φ이며 CE값은 아래의 공식에 의해 산출

$C.E = C + (Si + P) / 3 - (Mn - 2S) / 12.8$   
 집중은 하지 않았으며 Table 3에 이의 결과를 나타내었다.

## 6. 전기로 재용해

집중치 않은 pig iron을 전기로에서 재용해한 결과 ferrite-pearlite비율과 chill의 깊이에 있어서 상당한 차이가 있게 된다. 이러한 경향은 1400 ℃에서 제조된 cast iron에서는 명백하게 나타나고 1500 ℃에서는 약간 감소하고 장입물에 iron 15%를 첨가했을 때 없어진다.

여기서 중요한 것은 15% iron을 첨가하여 remelting하여도 (Fig 2) chill의 깊이에는 큰 차이가 나지 않는다.

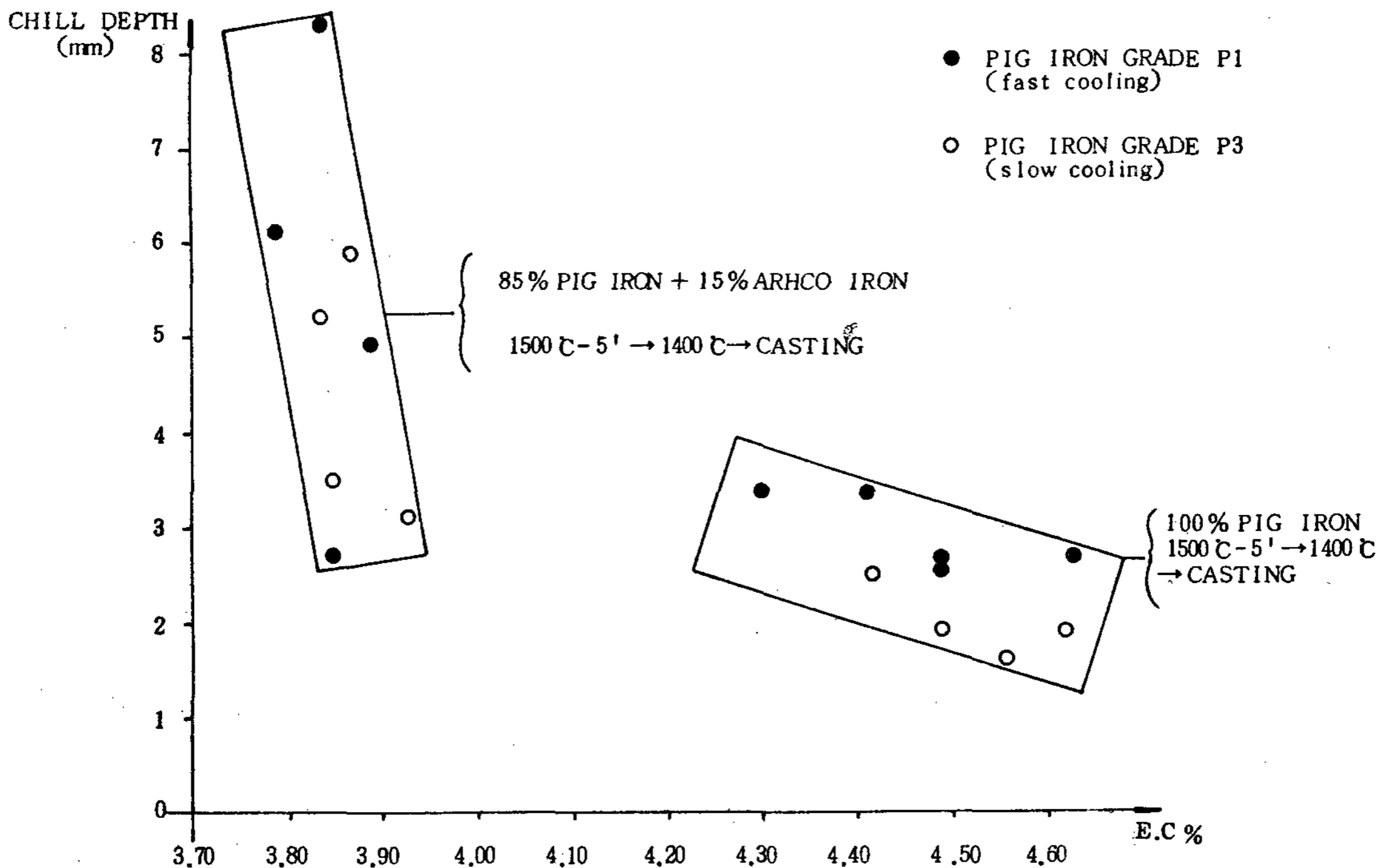


Fig.2. Relationship between chill depth and E. C. % at 1500 C with pig iron only or pig iron(85%) plus Armco iron(15%); solidification in sand or chill molds with subsequent remelting at 1400 C

## 7. 비접종 전기로 사형 및 금형주철과 재용해 비교

앞의 결과로써 이들 경향을 확인하기 위해서는 그 차이를 더 크게 하여 확인하는 것이 중요하다.

이를 위해 remelting 후에 1/2은 refractory sand에 주조하고 나머지 1/2은 급냉하기 위해 chill mold에 주조한다. 여기에 chill 층을 두껍게 하기 위해 85% pig iron과 15% Armco iron으로 구성된 (P<sub>1</sub>)을 사용했으며 시험 cycle은 아래와 같다.

A) 1400°C에서 melting하여 5' holding하여 melt를 균질하게 만들고 이 온도에서 주조하였다. 주조시 1/2는 직경 60의 sand mold

에 1/2은 chill mold를 사용했다. 그리고 sand cast bar는 1400°C에서 remelting하고 pig도 또한 1400°C에서 remelting하여 sand mold에 주조

B) 1500°C에서 melting, hold time 5' 주입온도는 1400°C

(B cycle은 A cycle을 사용한 것과 같은 specimen과 같은 조건)

C) 1500°C에서 용해 유지시간 30', 1400°C까지 온도를 낮춰 1/2는 sand에 1/2은 chill mold에 주입하고 1400°C에서 remelting하여 이 결과를 Table 4에 나타냈다.

(결과는 평균 값이다.)

Table 4. Average Results of Melting Tests Different Temperatures of Pig Iron(85%) and Armco Iron(15%), Cast in Sand and Chill Molds, With Subsequent Remelting at 1400°C

	T*	C*	T*	C*	T*	C*
	Melting no. 1,2,3	Melting no. 4,5,6	Melting no. 7,8,9	Melting no. 10,11,12	Melting no. 13,14,15	Melting no. 16,17,18
C %	3.11	3.14	3.04	3.06	2.84	2.89
Si %	2.16	2.12	1.84	1.92	2.01	2.03
C.E	3.78	3.79	3.60	3.65	3.46	3.51
Pearlite %	70	80	68.3	73.3	66.6	65
30 mm ϕ HB <sub>30</sub>	181	181.6	170.7	175.7	186	184
HB <sub>60</sub>	160.8	162	151.3	158.3	177.5	169
Chill depth, mm	8.6	10.7	8.3	6.3	15.1	11.3
	Melting at 1400°C - 5' → casting		Melting at 1500°C - 5' → 1400°C → casting		Melting at 1500°C - 30' → 1400°C → casting	

\*T = Remelting from sand casting

\*C = Remelting from chill mould casting

## 8. 사형과 금형주철의 비교

Table 4에 나타난 결과에 대해 single melting시 각각의 parameter의 결과를 C.E로써 나타내 본다.

동일 C.E, ϕ. 30, 60 시편에서 표면경도 또 pearlite %에 있어서 사형주조의 재용해시 보다는 선철 재용해에서 얻은 값이 더 높은 것을 주조 Vol. 2, No. 3 (1982)

나타내며 이것은 ϕ 60의 경도와 C.E와의 관계는 나타내지 못하고 있다.(Fig 3 4)

주철의 근원은 1500°C에서 유지 시간을 30분으로 연장했을 때 알수가 없게 되고 chill 깊이에 대해서는 1500°C로 과열하여 유지시간을 짧게 (5분)하는 경우 1400°C에서의 chill 깊이는 차이를 보인다.(Fig 5)

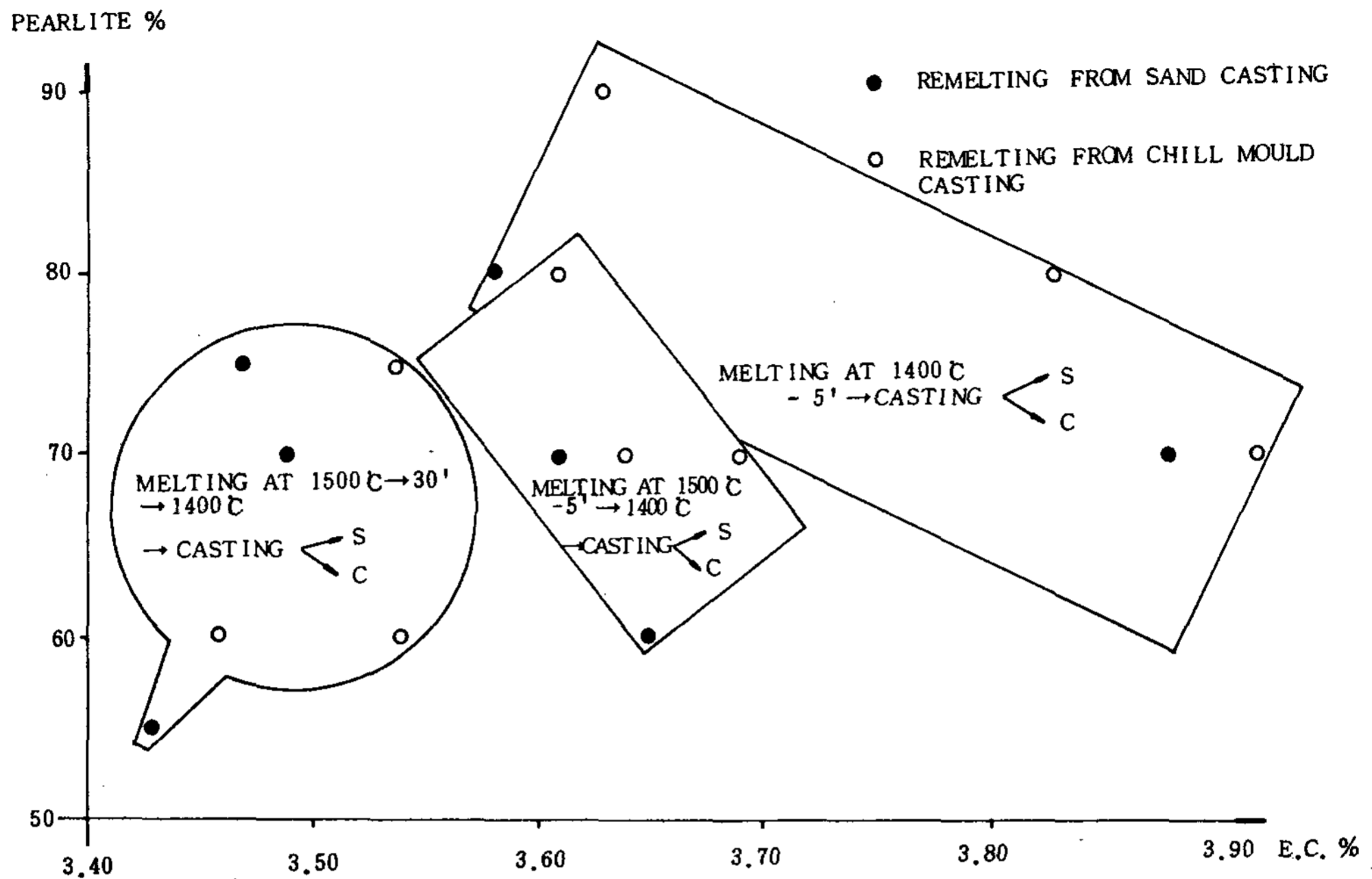


Fig. 3. Relationship between percentage of pearlite and E.C. %; solidification in sand molds or chill molds with subsequent remeltings at 1400 C.

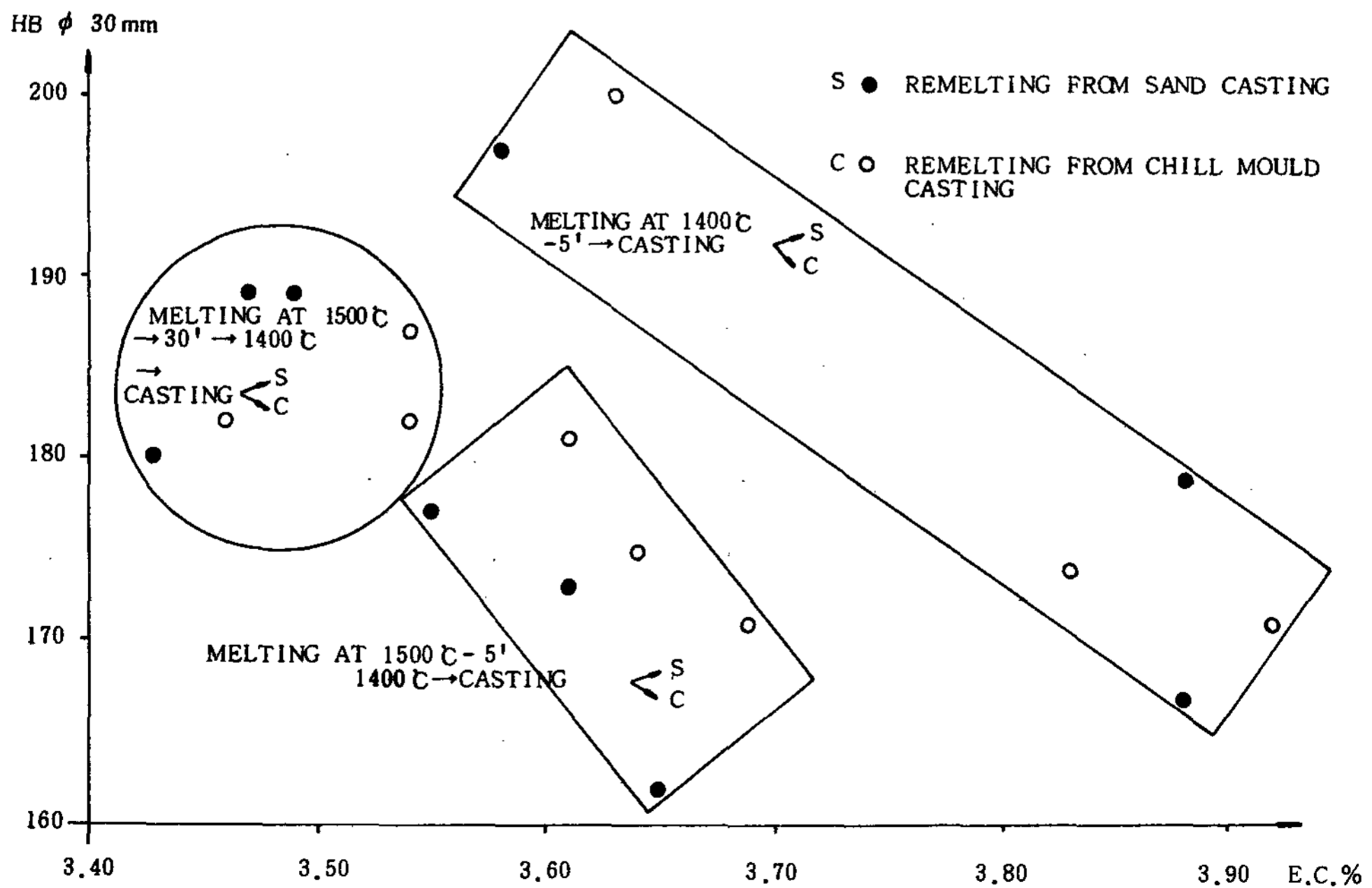


Fig. 4. Relationship between surface hardness of test bar (300mm dia) and E.C. %; solidification in sand or chill molds with subsequent remeltings at 1400 C.



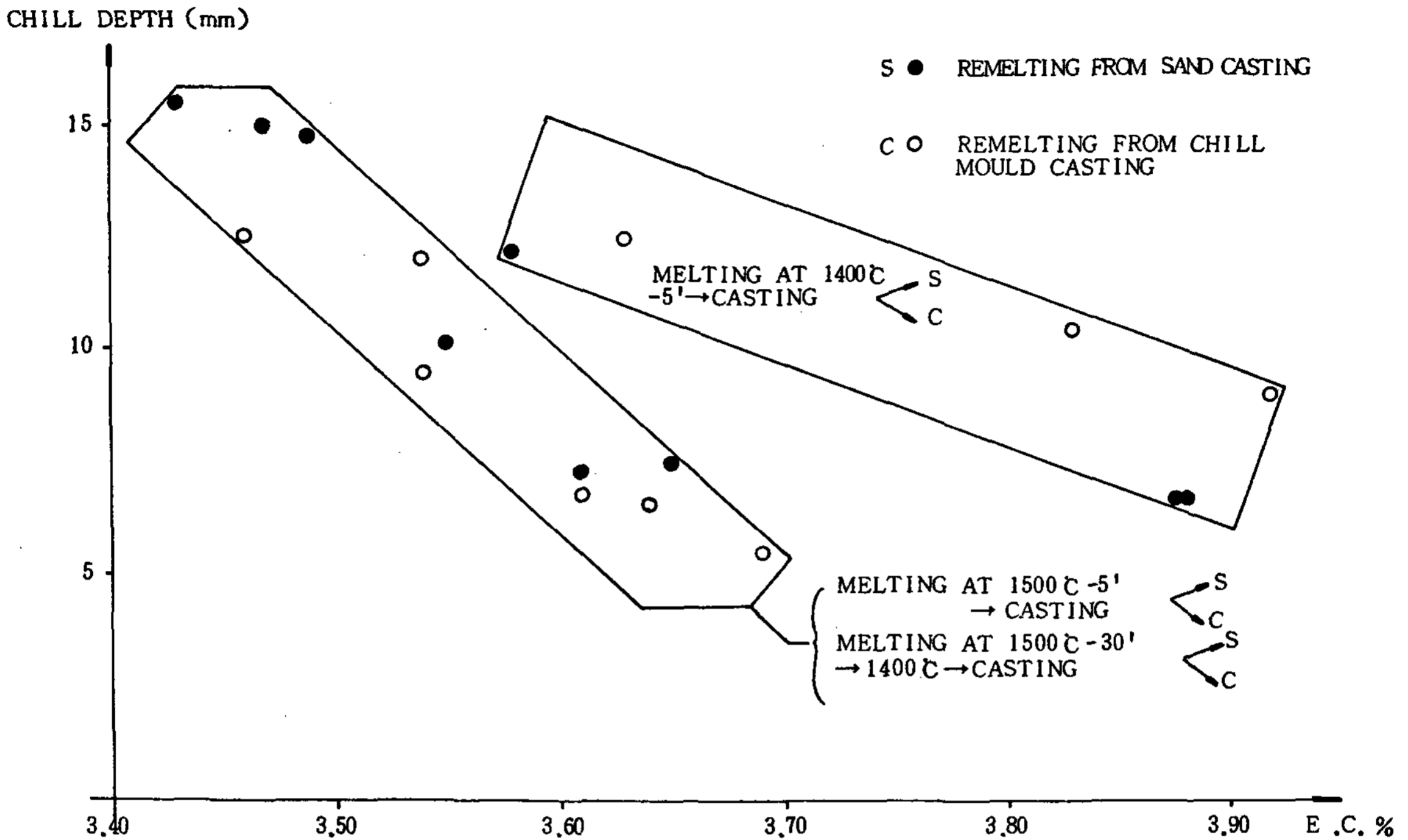


Fig.5. Relationship between chill depth and E.C. % ; solidification in sand or in chill molds with subsequent remeltings at 1400C.

### 9. 용선로 재용해

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>의 각각의 선철에 대해 두가지로 용해를 하였다. (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>는 주조기에서 냉각속도에 의해서 다른 종류가 된것), 여기서 P<sub>4</sub>는 blast furnace 작업중 olivine을 첨가하지 않은 것이다. P<sub>2</sub>, P<sub>4</sub>에서 몇개의 secondary element에 근소한 차이가 있음을 생각한다면 냉각속도가 같으므로 동일한 것으로 간주할 수 있다.

	P <sub>2</sub>	P <sub>4</sub>
Cr	0.019	0.016
Ni	0.015	0.011
Ti	0.064	0.058
Al	0.026	0.030
V	0.0053	0.0049
As	0.0070	0.0065

이 실험에는  $\phi 700$ 의 cold blast cupola를  
주조 Vol. 2, No. 3 (1982)

사용했고 장입 성분은 다음과 같다.

- Pig iron, 45 %
- Simulated, domestic scrap, 15 %
- Steel scrap, 40 %
- Coke : 장입물의 12 %
- Si and Mn, briquets

Domestic scrap와 비슷하게 하기위해 장입시 사용된 선철과 같은 선철로 생산되었다. 용선로 장입은 60 %, pig iron과 40 %, steel serap이고 pig의 형태로써 sand에 주조하였다.

접종은 Si %, 60 ~ 65, Mn %, 5 ~ 7, Zr % 5 ~ 7을 0.2 %의 비율로 cupola channel에 가하였다. 이에 생산되는 시편은,

- 1) 20과 30  $\phi \times 175$  length, 또는 60과 90  $\phi \times 210$  length, size의 시험편
- 2) 30  $\phi$ , UNI, 5007의 인장시험편
- 3) wedge-shaped chill specimens

시편의 test는

1) Chill 깊이의 측정  
 2) 18  $\phi \times 108$  long 시편에 대해 50J 또는  $10^{15} \text{ J/m}^3$ 로 표시되는 pendulum으로써 충격량을 결정한다.

3) UNI, 5007 시편의 인장강도와, HB 경도를 결정  
 4) 20 ~ 90  $\phi$  시편에서 HB와 금속학적인 검사 등의 결과를 Table 5에 나타냈다.

Table 5. Results of Cupola Remeltings

Pig iron grade	C.E.	Chill width mm	R $\phi$ 30 N/mm <sup>2</sup>	MC $\times 10^5 \text{ J/m}^3$	HB $\phi$ 30	HB on test bars: $\phi$ mm				
						20	30	60	90	
Without inoculation	P1	4.14	3.0	197.4	5.3	184	212	198	162	151
	P1	4.04	4.6	240.6	5.1	204.5	235	222	189	173
	P2	3.63	9.0	230.9	4.5	235	309	236	195	183
	P3	3.88	5.4	229.2	5.6	200.5	237	226	185	173
	P3	3.97	5.2	226.5	5.8	209	237	239	189	179
	P4	3.99	7.5	249.3	5.9	210	244	219	182	171
With inoculation	P1	3.98	2.1	245.6	6.3	196.5	-	210	182	169
	P1	4.10	1.5	240.9	6.1	196	229	207	169	162
	P2	3.60	4.5	213.1	5.0	209	-	-	184.5	-
	P3	3.94	2.2	201.6	5.4	193	212	207	174.5	166
	P3	4.09	2.2	237.1	6.2	198.5	216	200	169	164
	P4	3.92	3.6	250.1	6.7	199	239	213	185	176

## 10. 실험결과

아래는 cast iron의 여러 특성을 C.E와 연 관시켜 나타낸 것이다.

### Tensile Strength

일련의 C.E값에 대해 강도가 산포돼 있어서 비교가 곤란했다.

### Chill의 깊이

자연적으로 chill은 C.E값에 반비례한다. (Fig 6) correlatron factor는 접종하지 않은 pig iron에서는  $r = 0.844$ 이고 접종한 것은 0.898이다. ( $r_{0.05} = 0.811$ )

아래와 같은 Laplanehe의 식에 의해 유용한 상관관계식이 얻어지며 이것이 Fig 7에 나타내져 있고 여기서는 여러 선철의 칠거동이 매우 유사한 것으로 생각한 것이다.

$$PG = 2/3 \text{ Si}(1 - \text{Si}/(5C + \text{Si})),$$

### Impact Modulus

P<sub>2</sub>에서 얻은 주철의 값을 제외하고는 거의 비슷한 값을 가지며 이는 C.E가 비교적 낮은 때 생성하기 쉬운 trace cementite의 존재 때문으로 생각된다.

### Brinell경도

접종하지 않은 것으로  $\phi$  30의 UNI, 50007 시험봉의 경도와  $\text{HB} = 530 - 244 \text{ Sc}^{16}$ 에 의한 계산값을 Fig 8에 도시했다. 이 그림에서 시험값은 계산값과 매우 유사하며, Correlation factor  $r = 0.892$ 이다. 접종후에, 경도값은 접종치 않은 것보다 분산되어 있고, 낮은 값을 갖지만 같은 부류로 생각할 수 있다.

### Section Sensitivity (두께강도)

이 것은 각개의 직경에 대해 경도를 측정함으로써 시험하는 것으로 측정된 값에는 그다지 큰 차이를 보이지 않는다. Fig 9에는 접종하지 않

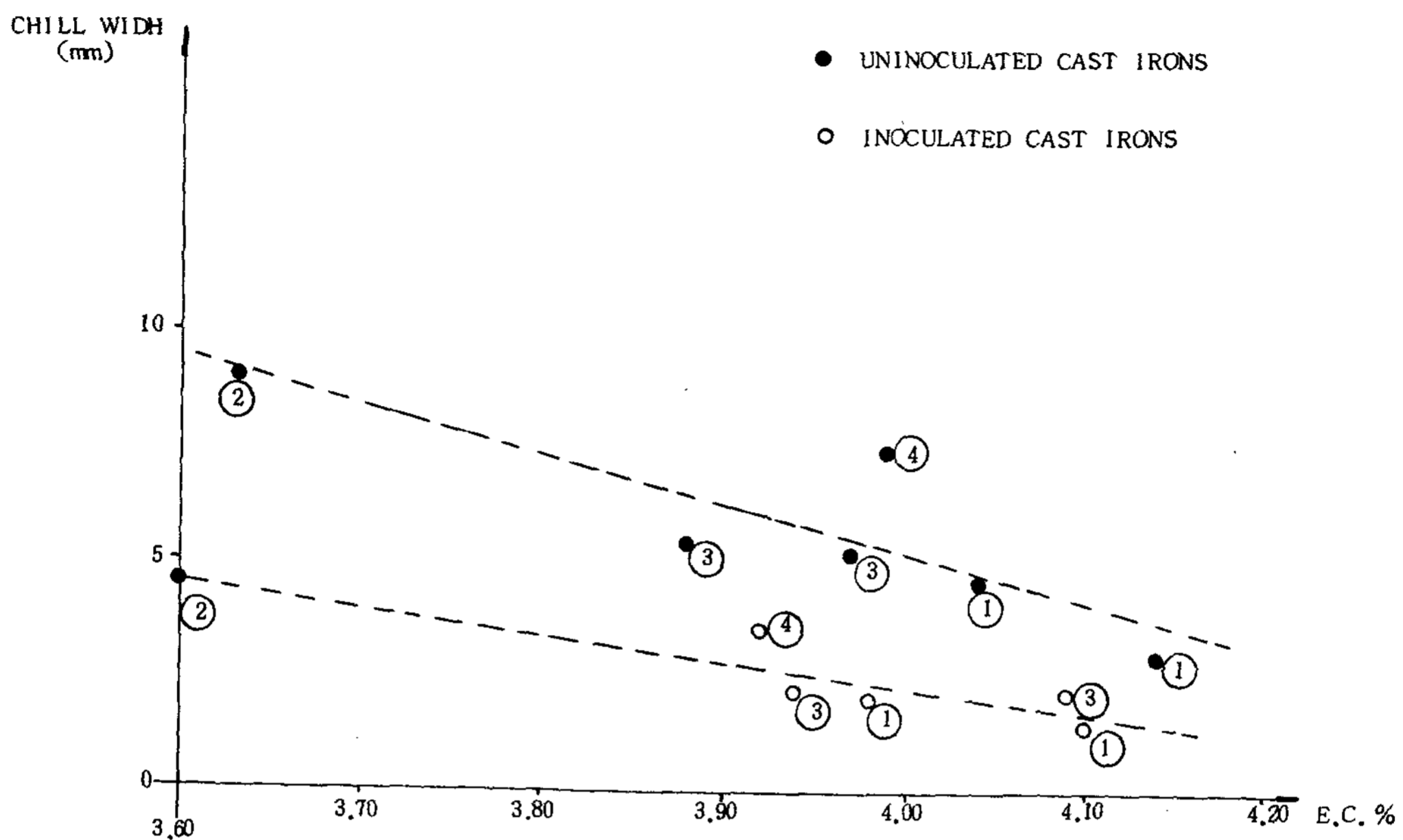


Fig.6. Relationship between chill width and E.C.%; for cupola remelted inoculated and uninoculated cast irons.

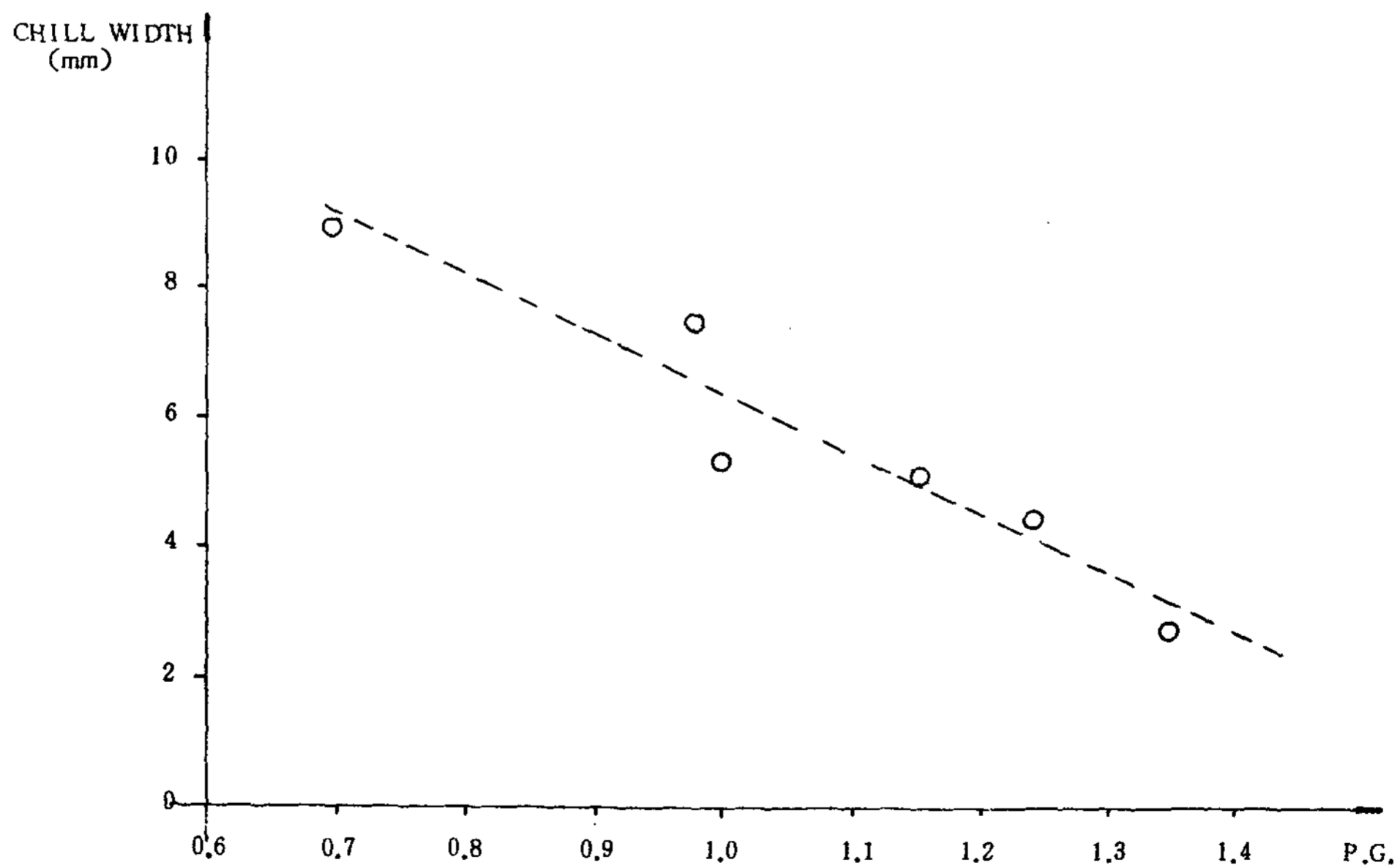


Fig.7. Relationship between graphitization index and chill width.

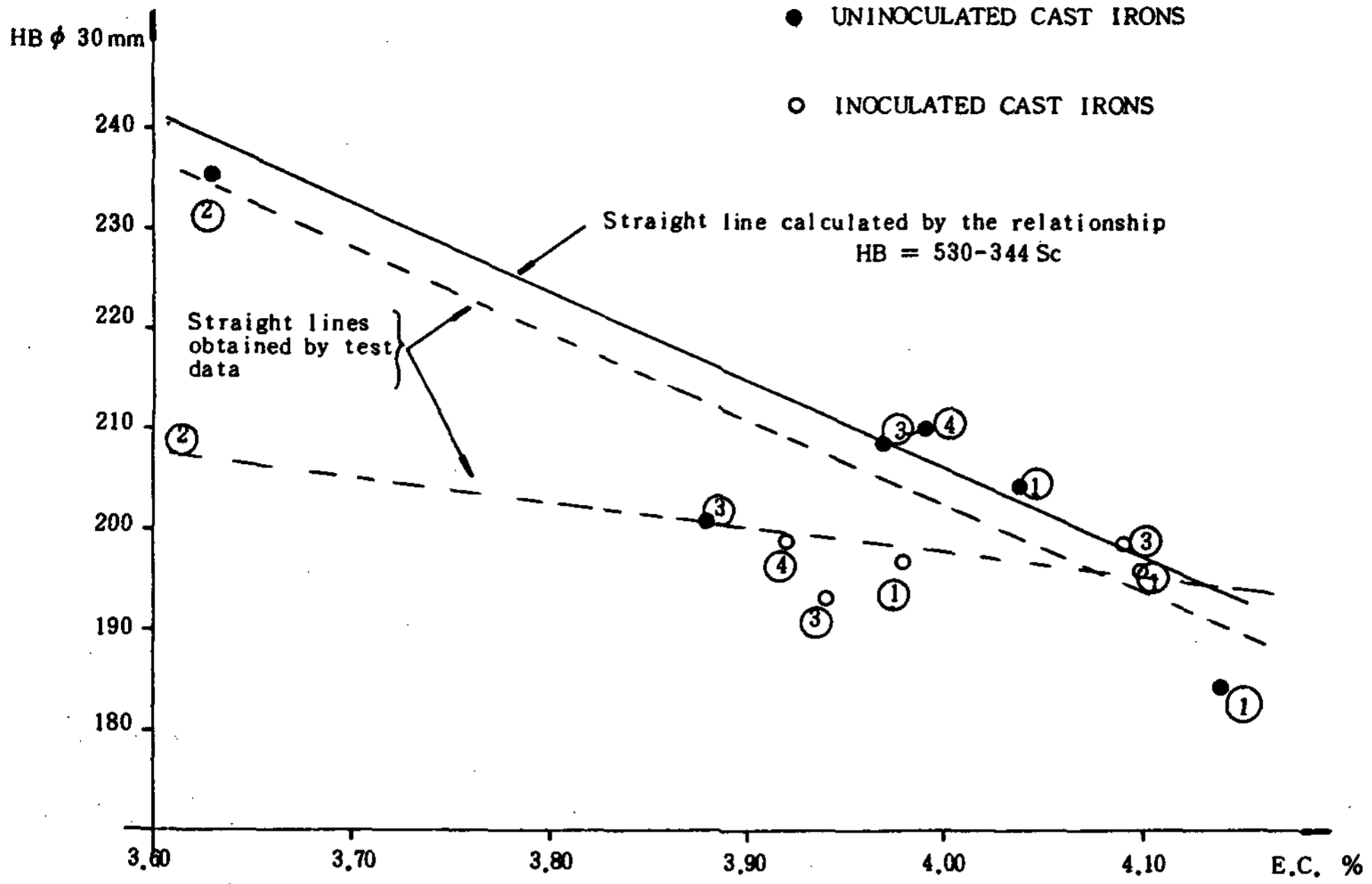


Fig. 8. Relationship between HB UNI 5007 and E.C. % for cupola remelted inoculated and uninoculated cast irons.

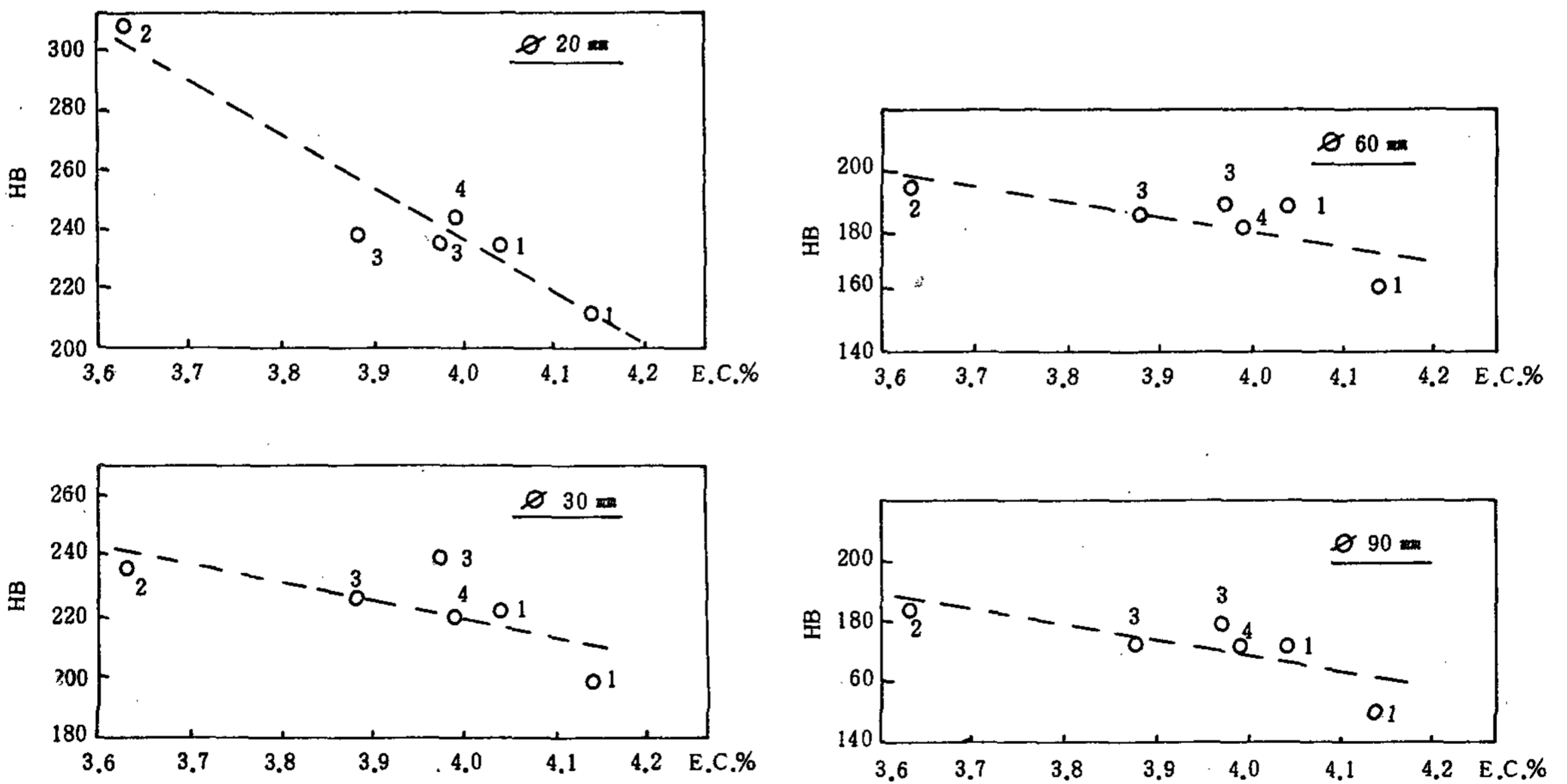


Fig. 9. Relationship HB E.C.% for test bars of 20, 30, 60 and 90 mm in dia, for pig irons PI-2-3-4, cupola remelted and uninoculated.

은 경우를 보이고 있다.

### Eutectic Cells

30  $\phi$  시험봉에는 큰 차이는 없고 그 숫자의 범위는 11.9 ~ 13.8 Cell/cm이다.

## 11. 용선로재용해 비교

Regression line 을 고려해 볼 때 heredity 의 현상은 보이지 않았으며 graph 상에서 분포의 한계는 실험에서 피할 수 없는 오차인 것으로 생각된다. 접종의 여부에 관계없이 행해지는 조건이 같고 동일 조건하에서 비교한다면 여러종류의 pig iron 은 거의 유사한 것으로 나타났고 같은 부류에 속한다고 할 수 있다.

## 12. 결 론

화학조성은 같으나 조직이 다른 선철이 전기로에서 용해되고 접종을 하지 않았을 때 이것들의 조직적인 특성과 용해후 상에서의 특성을 유전하는 경향이 있음을 알 수 있다. 즉, 이것은 물리적인 형태의 유전현상을 나타내는 것이며 이러한 경향은 1400 C에서 용해했을 때 뚜렷하고 1500 C에서는 감소하며, 장입물에 15%의 iron 을 첨가하면 사라진다. 이는 첨가된 iron 이 핵생성을 다양하게 변화시키는 데 그 원인이 있는 것으로 생각된다. 이와 같은 melting cycle 에 의해 용해된 선철에 마지막으로 접종을 하면 차이가 없어 지게 된다. 또 전기로에서 remelting 한 후 접종치 않은 것을 chill mold 에 주조한 것과 refractory mold 에 주조하면 위의 현상을 더 확실히 할 수 있다.

1500 C의 고온에서 유지시간을 길게 (30min) 하면 그 상황을 정상화 해서 성질유전은 나타나지 않는다. 이는 핵 용해 때문으로 생각된다.

Engineering-grade cast Iron 을 생산하기 위한 조업조건하에서 접종의 여부에 관계없이 cupola 를 사용하여 시험을 하면 조업과 사용되고 있는 장입물의 한계에서 기본적인 성질의 유전현상은 나타나지 않는다. 이와 관련하여 저자는 secondary element 는 다르고 기본조성은 동일한 iron 이 Cupola remelting 후일지라도 화학적인 형태의 유전현상이 확실하게 나타난다는 것  
주조 Vol. 2, No. 3 (1982)

을 주장한다. 보다 명백한 것은 Cupola 같은 용해기구는 강한 접종 효과를 갖기 때문에 조직 특성 같은 강력하지 않은 유전현상을 없앨지도 모른다는 것이다.

이러한 결과가 시험되어진 현상학적인 어떠한 국면을 밝혔다고 하더라도 더욱 정도가 깊은 시험이 필요한 사실을 모르고 지나온 것도 있다.

연구된 이 현상의 범위는 이것은 쉽사리 얻어질 수 있고 또 어떤 경우에는 현재의 주조공장에서 control 될 수 있다고 추측할 수 있게끔 하는 것이다.

## 참 고 문 헌

1. H.W.Gillett, "Heredity in cast iron," Metals and Alloys, Vol. 5, 1934.
2. J.C.Margerie, "The notion of heredity in cast iron metallurgy," The Metallurgy of Cast Iron, May 29-31/1974, Georg Publ.
3. H.W.Gillett, "Cupola raw materials," AFS, Vol. 52, 1944.
4. M. Decrop, "L'heredite de la fonte en deuxieme fusion," Hommes et Fonderie, Aout-Septembre, 1974.
5. M. Johansson, B. Thyberg, "The influence of some carburizing materials on the properties of electromelted cast iron," The British Foundryman, Vol. 67, part 5, May 74.
6. S. Parent, J.C. Margerie, "Etude des fontes hematites par un essai de seconde fusion," Communication, France, 34<sup>e</sup> Congres International de Fonderie, Paris, (October, 1967).
7. S. Parent, J.C. Margerie, "Etude des proprietes metallurgiques des fontes neuves," Fonderie, 308 (Janvier, 1972).
8. H. King, "Quantitative Size-factors for metallic solid solutions," Journal of Materials Science, 1 (1966).
9. E. Borghigiani, R. Casimiro, F. Morino,

"Ereditarieta delle ghise: I'aspetto chimico del fenomeno," La Fonderia Italiana, n° 3, 1981.

10. G. Cola, A. Sarti, A. Scaccia, Comunicazione privata CSM n° 3077R, Nov. 1978.
11. A. Sarti, A. Scaccia, Comunicazione privata CSM n° 3576R, July 80.
12. J. Motz, K. Rohrig, "Untersuchung einiger Gefugezusammenhange in phosphorarmen Giessereiroheisen," Giesse-reifor schung, n° 4, 1970.
13. Commission Des Communaites Europeennes, Chambre syndacale des producteurs de fontes brutes, Convention n. 6210-87/3/301, Rapport final, "L'emploi des fontes neuves dans les charges des cubilots ou des fours el-

ectriques en vue d'ameliorer les proprietes des fontes de moulage," Centre Technique des Industries de la Fonderie Septembre 1975.

14. E. Borghigiani, R. Casimiro, F. Marino, "Influenza di ghise in pani di diversa origine sulla G25 elaborata al cubilotto," memoria presentata al XIV Congresso di Fonderia, Rimini (Italia), (Settembre, 1978).
15. H. W. Lownie, Jr., "Use of pig iron in iron foundries (with particular attention to specifications, prices, secondary elements, and 'heredity'," Trans. AFS (1956).
16. H. Laplanche, "Les diagrammes de structure finale des pieces de fonte," Fonderie, 297 (1971).

### AFS Technical Publication For Sale

( 1 )

	Non Member	AFS Member
Analysis of Casting Defects .....	\$ 48.00	\$ 24.00
Blast Cleaning and Allied Processes .....	\$ 47.00	\$ 47.00
Casting Defects Handbook .....	\$ 30.00	\$ 15.00
Cleaning Castings .....	\$ 70.00	\$ 35.00
Fettling and Cleaning of Iron Castings .....	\$ 36.00	\$ 36.00
Foundry Technology of the 80's .....	\$ 60.00	\$ 60.00
Foundry Engineering .....	\$ 28.95	\$ 28.95
Foundry Metallography .....	\$ 24.00	\$ 24.00
Gases in Cast Metals .....	\$ 40.00	\$ 20.00
History Cast in Metal .....	\$ 30.00	\$ 30.00
History of the Metalcasting Industry .....	\$ 50.00	\$ 25.00
Industrial Engineering in the Foundry .....	\$ 66.00	\$ 33.00