

接種(INOCULATION)에 대하여

* 이 용 원

** 이 정 석

1. 머릿말

鑄鐵에서의 接種은 品質이 우수한 鑄鐵製品을 生産하기 위한 하나의 수단으로서 강구되어 왔으며, 특히 지난 50年間 괄목할만한 발전을 가져왔다. 그리고 근래 고급 鑄鐵의 수요가 급증함에 따라 接種은 鑄造分野에서 生産의 필수 工程으로 정착하게끔 되었다.

본 해설에서는 接種의 歷史, 定義, 目的, mechanism 등에 관하여 간략하게 언급한 후 실제적인 接種의 管理에 대해서 설명하고자 한다.

그리고 차후에 계속하여 custom blended inoculant 의 概念 및 최신 接種기술 등에 관하여 발표하고자 한다.

2. 接種의 역사

종래의 接種은 단순한 技術 또는 技能으로 認識되어 왔으나 1920년경부터 과학적으로 규명되기 시작하였다.

1920년대의 중반 및 후반부터 주철용탕에 Fe-Si 을 첨가시키므로서 良質의 주철을 얻었다는 기록이 나타났고 1930년대 후반과 1940년대 초반에는 ladle 接種과 凝固에 관한 연구가 본격화되었으며 1940년대 후반 球狀黑鉛鑄鐵이 등장함에 따라 接種에 관한 연구도 새로운 전환점을 맞게 되었다.

또한 1950년대 후반과 1960년대 초반에 이르러서는 Fe-Si 중에 微量함유된 Ca 및 Al 등이 接種에 有效하다는 것이 밝혀졌으며 이때부터 接種은 金屬化學的인 측면에서도 검토되기 시작했다.

그리고 1960년대 후반부터는 Ba, Sr 등의 원

소의 接種과의 관계가 거론되기 시작했으며 1970년대에 들어서서는 장입재료, 接種반응, 接種방법 등이 검토되면서 接種에 관한 연구가 더욱 세분화되었다.

아울러 이무렵부터 效果的인 接種제라는 문제와 소멸시간(fading time)등도 광범위하게 연구되기 시작했으며 1970년대 초부터 현재까지는 金屬學 및 凝固現象에 관한 많은 연구의 결과로 接種에 관한 검토도 多角的으로 이루어지고 있다.

3. 接種의 정의

일반적으로 接種이란 용융상태의 주철에 少量(重量比; 0.05~0.8%)의 “어떤 特殊한 物質”을 가능한한 주입직전에 첨가하여 金屬組織學的으로는 흑연분포를 變化시키고 응고학적으로는 Liquid → Graphite + Austenite 의 반응을 촉진하여 궁극적으로 기계적 성질을 개선, 향상시키는 행위를 말한다. 이때 사용되는 “어떤 특수한 물질”을 接種劑라고 한다.

4. 接種의 목적

接種의 최종 목적은 주철주물의 기계적성질을 향상시킨다는 것이다. 그리고 이외에도

① 흑연조직의 微細化

② Chill 의 억제

③ 過冷방지

④ 基地組織 均일화

⑤ Eutectic cell 수의 증가 등이 接種의 목적으로 거론되기도 하지만 이들은 接種의 목적이라기 보다는 최종목적을 위한 必要條件들이라고 인

* 한국 호세코(주) 기술용역 부장

** " " " 차장

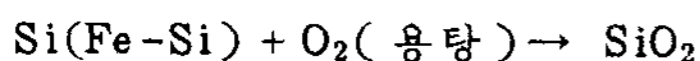
정해야 할 것이다.

5. 접종의 Mechanism

접종의 理論에 관해서는 그간 수많은 연구, 보고가 있었지만 아직까지 완벽하게 규명된 이론은 없으며 여기서는 그 代表的인 몇가지를 간략하게 소개하고자 한다.

(1) Gas 說

접종제로서 Fe-Si 을 첨가하면 용탕 내부의 酸素含量이 다음과 같이 변화한다.



이 trgdimite 상의 SiO₂ 가 黑鉛核生成의 근거가 된다.

(2) 硫化物 說

접종제중에 함유된 미량의 Ca, Ba, Sr, Ce, Mg 등이 강력한 유화물을 생성하여 黑鉛核의 기초가 된다.

(3) 表面에너지 說

흑연과 금속의 界面에서 어떤 물질을 제거시키거나 첨가시키므로써 表面에너지의 변화를 초래하여 흑연의 형태와 크기가 변한다.

(4) 珪酸鹽 說

첨가된 규소(Si)가 규산염의 핵 집합체를 만들어서 A-type 흑연의 생성을 촉진시킨다.

6. 접종의 관리

본 해설의 서론에서 언급한 바와 같이 접종은 고급 주철생산을 위한 한 공정으로 정착되었기 때문에 더욱 관리할 필요성이 있다. 그렇다면 관리의 point 를 어디에 두는가가 문제되는 바 일반적으로 아래의 3가지 事項이 접종에 중요한 영향을 주는 요소들이라고 생각된다.

- (1) 접종제의 첨가량 → 얼마나 첨가해야 하는가?
- (2) 접종제의 粒子 → 입자는 어느정도가 좋은가?
- (3) 접종의 시기 → 언제 접종을 할 것인가?

여기서 접종관리 이전의 문제인 접종의 필요성에 관해서는 table -1 을 참고하기 바란다.

table - 1. 접종의 必要性

항 목	접종이 더욱 요구되는 경우	접종이 좀 덜 요구되는 경우
材 質	구 상 흑 연 주 철	회 주 철
熔 解 方 法	○ 전기로 용해 ○ 高溫에서 holding 할 때	Cupola 용해
장 입 재 료	○ Steel scrop의 비율이 높을 때 ○ 심하게 녹슨 scrap	Pig iron의 비율이 높을 때
成 分	○ C.E. 値가 낮을 때 ○ Si(%)가 낮을 때	C.E. 値가 높을 때
소 멸 시 간 (fading time)	holding 시간이 길 때	출탕후 바로 주입할 때
주 입 온 도	너무 높은 온도에서 주입할 때	
주 조 품 형 상	○ 얇은 두께 ○ 두께의 변화가 심할 때	○ 두꺼운 鑄物
鑄 型	鑄型強度가 높을 때	

6-(1) 접종제의 첨가량

(A) 灰鑄鐵의 경우

회주철의 경우에는 chill 을 제거하고, 바람직한 흑연형태를 얻기 위하여 접종을 한다.

목적은 이와같을지라도 0.01%의 鑄型內접종이 있는가 하면 0.8%의 ladle 접종등 각 주물공
주조 Vol.2, No.4(1982)

장의 여건에 따라 첨가량은 다르다.

접종제가 필요이상으로 많이 첨가되었을 경우와 적게 첨가되었을 경우로 나눠 검토해 보자.

(a) 첨가량이 너무 적을 때

- * Chill 및 硬度的 증가
- * 不完全한 접종효과

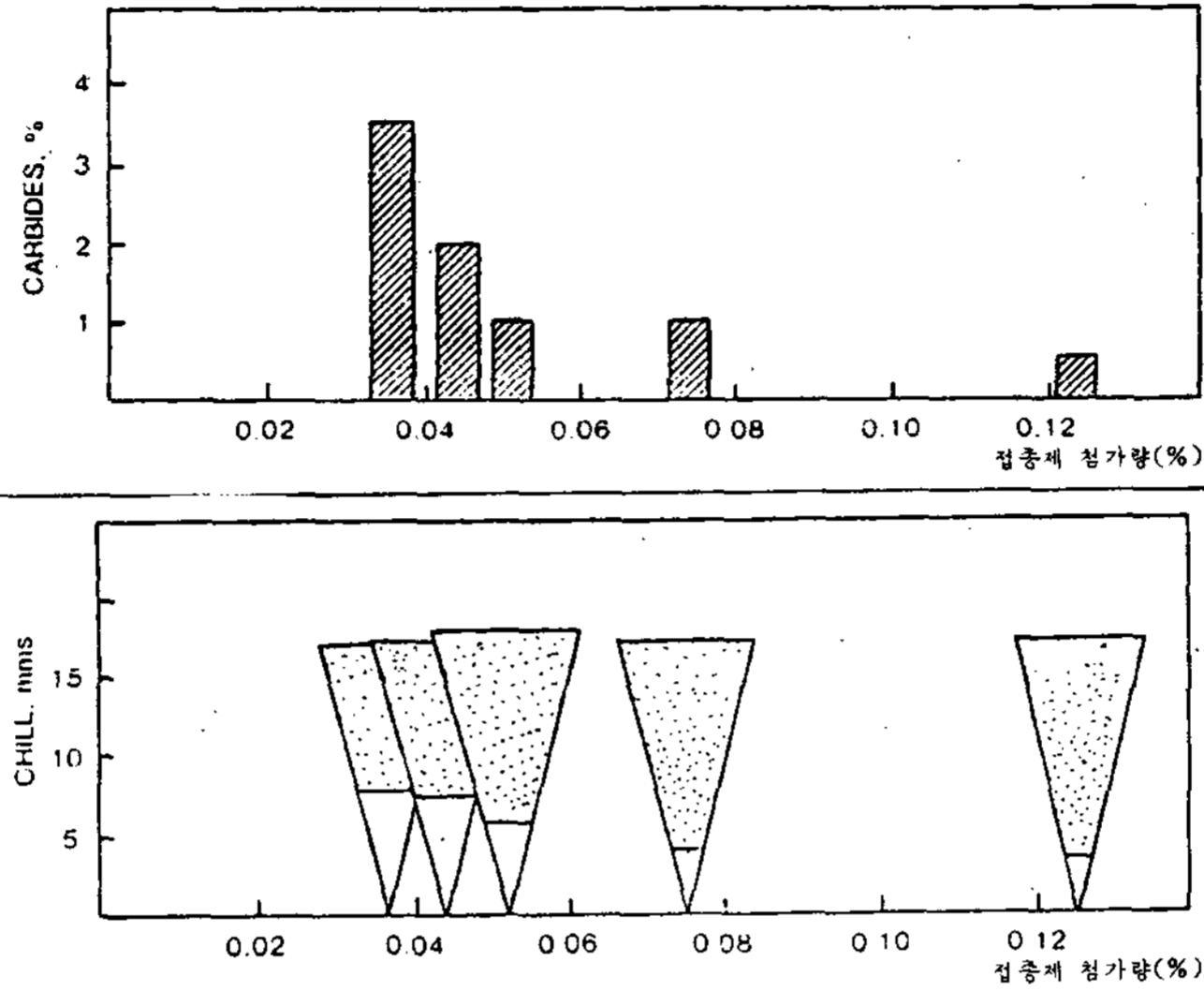


Fig 1. 접종제 첨가량의 영향

appendix 1

용 해 로 : 9 ton 유도로	C 3.45 %
장 입 비 : 35 % 回收鐵	Si 1.96 %
60 % 鋼古鐵	Mn 0.7 %
5 % 銑 鐵	S 0.12 %
合金鐵	P 0.10 %
출탕온도 : 1510 °C	

처리방법 : 용탕을 550 kg 주입용 ladle 에서 접종하여 2分이내에 주입

접종제 첨가 (%)	Chill 깊이 (mm)	Matrix % on Test bar		
		Pearlite	Ferrite	Carbides
0.10	3	100	-	Tr
0.06	3	100	-	Tr
0.04	5	100	-	Tr
0.038	6	98	1	1
0.03	7	92	3	5

또한 table-2에서 보는 바와 같이 접종제의 양을 과도하게 줄였을 때 기계적 성질 및 기계가 공성이 현저히 저하된다.

(b) 첨가량이 너무 많을 때
* 첨가량의 증가에 비례하여 접종효과가 나타나지는 않는다.

TABLE 2. 접종량 증가에 따른 變化

Ladle	1	2	3	4	5
접종제 첨가량 (%)	0.125	0.075	0.052	0.045	0.038
Matrix					
Pearlite, %	100	100	100	98	92
Ferrite, %	0	0	0	1	3
Carbides, %	Tr	Tr	Tr	1	5
Graphite					
A, %	97	97	95	95	93
D & E, %	3	3	5	5	7

* 過接種에 따른 收縮의 발생이 우려된다.
 * 첨가한 접종제가 모두 용탕속에 용해되지 않기 때문에 dross化하여 dross결합의 원인이 된다.
 Fig. 2 는 어떤 수준 이상에서 접종제의 증가는 인장강도와 무관함을 잘 나타내어 주고 있다.

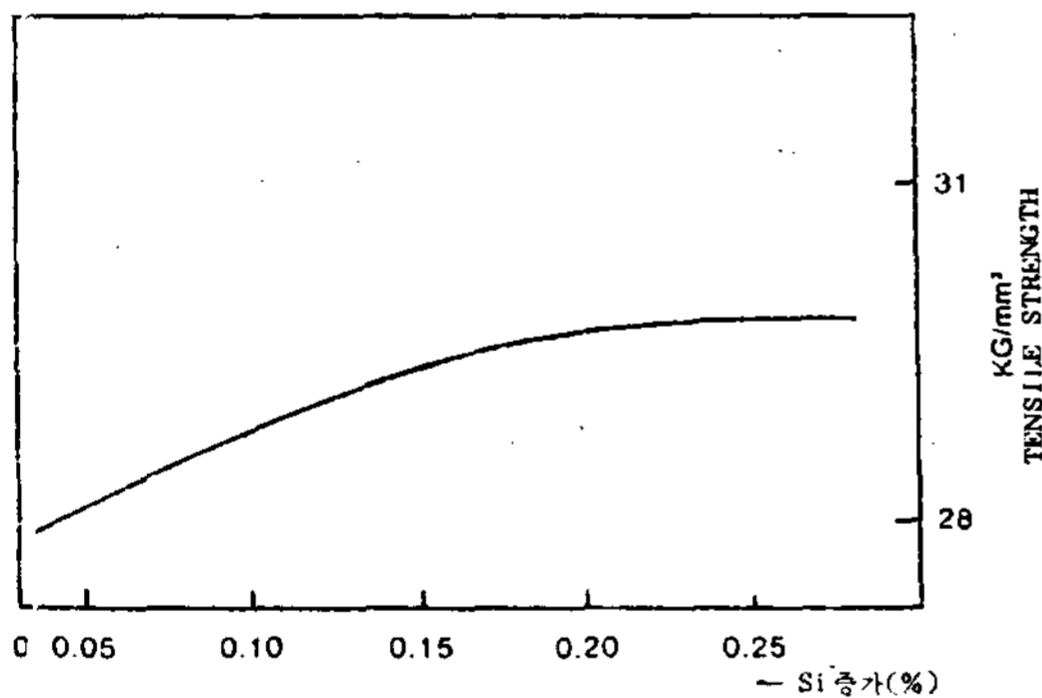


Fig 2. 접종이 인장강도에 미치는 영향

더구나 과접종은 수축을 유발하며 이에 Hecht와 Cloarec⁽¹⁾은 과접종의 위험을 Fig.- 3에서 $IR = (\sqrt{S})^3$ 의 공식으로 증명하고 있다.
 즉 Fig-3 최하단부의 IR은 기공지수 (Porosity Index)이며 S는 X선 사진으로 볼 수 있는 기공표면적의 합계를 나타낸다.

다음은鑄型內 접종에 관하여 살펴보자.

鑄型內 접종은 ladle 접종보다는 접종후에 영향을 미치는 因子들이 훨씬적이다.

Fig. 4 와 App-2는 용탕의 흐름(sprue부위)

에 접종시킨 결과를 나타내고 있다. 접종제 양을 0.3%까지 증가시켰을 때 요구되는 우수한 제품의 성질들을 모두 얻었으며 그 이상의 첨가는 dross 결합만을 나타냈을 뿐이다.

鑄型內 접종은 처리후 짧은 시간안에(數秒內) 즉시로 高度의 접종효과를 나타내고 응고가 진행되기 때문에 회주철이나 구상흑연주철의 경우 모두 ladle 접종보다 훨씬 강력한 작용을 한다.

Fig. 5는 주형내에 삽입한 접종제의 실험을 위한 탕구방안을 나타낸 것이며 0~0.12%에 걸친 실험결과가 Fig. 6 및 App-3에 나타내었다.

여기서도 명확하게 나타났지만 접종제의 첨가량을 증가시킨다고 그에 따라 주조품의 제반성질이 비례적으로 개선되지는 않는다는 것을 명심해야 한다.

(B) 球狀黑鉛鑄鐵의 경우

구상흑연주철의 접종은 회주철의 경우와 다른점이 많다.

- ① Mg 處理(球化作業) 공정이 추가되므로 변동요인이 될 수 있다.
- ② Mg나 Ce의 carbide 생성 경향을 억제하기 위하여 보다 많은 양의 접종제가 요구된다.⁽²⁾
- ③ 잔류 S와 산소가 낮기 때문에 접종효과를 얻기가 더욱 힘들다.⁽³⁾
- ④ 過共晶 組成으로 되기 쉽다.
- ⑤ 용탕의 Si 허용치 때문에 첨가접종제의 사용량에 제약을 받는다.

따라서 구상흑연주철의 경우는 회주철의 경우보다 접종제의 소요가 많으며 흑연계 접종제 보다는

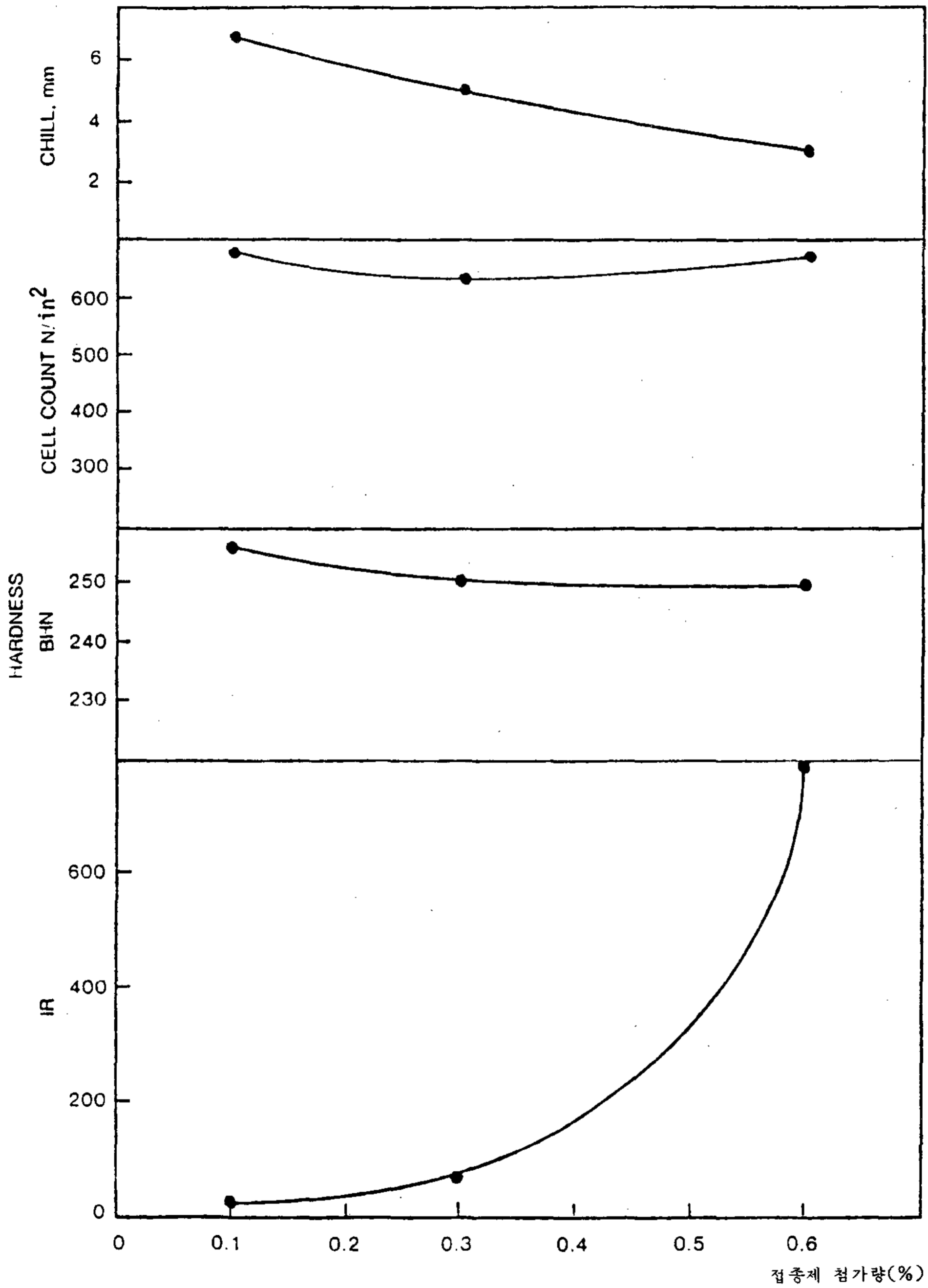


Fig. 3 접종량 증가에 따른變化

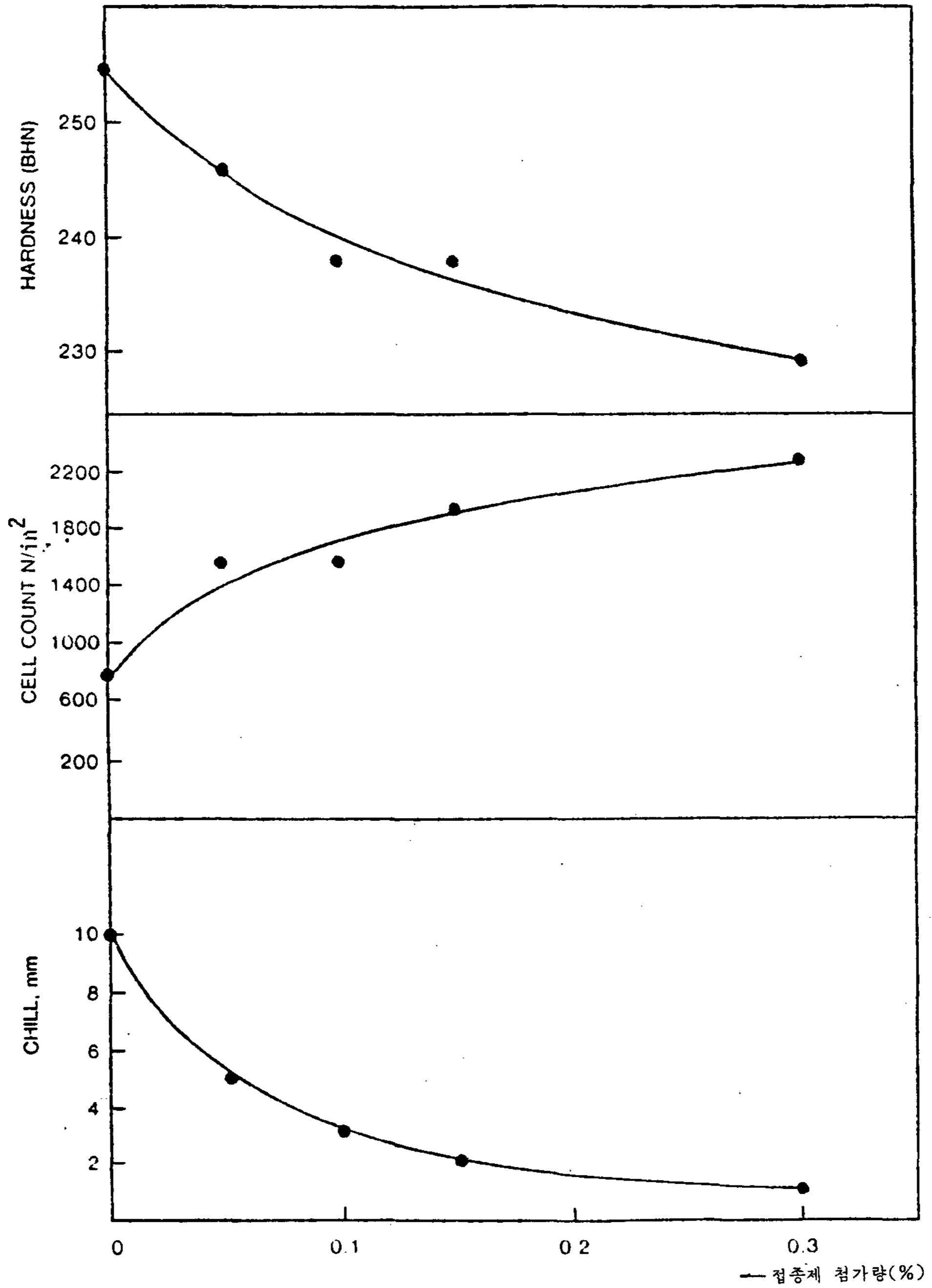


Fig. 4 SPRUE에서 접종했을때의 변화

TABLE 3. 접종제 사용량과 잔류 Mg 과의 관계

용 해 로 : 9 ton 유도로
성 분 : C 3.8 %
처리후온도 : 1427 °C
처 리 방 법 : 1480 °C에서 1100 kg의 球化處理用 ladle로 출탕 Sandwich 法에 의한 處理 後 300 kg 주입용 ladle로 옮기면서 접종

후접종제첨가 (%)	0.15	1.08
원탕의 Si (%)	1.4	1.8
잔류 Mg (%)	0.08	0.05
최종 Si (%)	2.5	2.4
Nodule Count N/mm ² (15 分 후)	280	380
球 化 劑	Fe-Si-Mg	Pure Mg

(b) 첨가량이 너무 많을 때

- * 과접종에 의한 수축발생
- * 불필요한 접종으로 비 경제성
- * dross 생성의 경향
- * Si 함량이 너무 높아져서 기계적성

질이 나빠진다.

(c) 첨가량의 관리 방안

접종제의 첨가량을 원활히 관리할 수 있는 방법으로 다음의 3가지를 들 수 있다.

- ① 첨가시마다 중량을 검토하는 방법
- ② 미리 중량을 검토하여 봉투, bag 등에 준비하는 방법

③ 경험에 의하여 접종제의 중량을 다른 特性(부피, 투입시간 등)과 연관짓는 방법

이상의 방법중에서 ①이 가장 정확하기는 하지만 생산공장의 작업성 등을 고려할 때 ②가 무난하며 접종제의 bulk density는 거의 변화가 없다는 점을 인식한다면 ③도 아주 편리하게 적용될 수 있다.

6-(2) 접종제의 粒子

접종제의 입자는 용해온도와 더불어 접종제가 용탕속으로 용해되어가는데 가장 큰 영향을 주는 요소 중의 하나이다. 일반적으로 접종제의 입자가 적합하지 못할 때 발생할 수 있는 요소들은 다음과 같다.

(a) 너무 微細한 粒子일 때

- * 빨리 용해되지만 쉽게 소멸된다.
- * 빨리 산화되어서 dross 생성이 많다.
- * 처리할 때 분진이 많이 발생한다.

(b) 너무 粗大한 粒子일 때

* 너무 늦게 용해하여 접종이 잘 이루어지지 않으며 혼입결함 (inclusion defect)의 원인이 된다.

* 불균일한 접종이 된다.

Fig. 7 과 App-4 에 각각 다른 粒度의 SiC로 ladle 접종을 행한 실험결과를 나타내었는데 -10 ~ +60 mesh의 경우가 가장 좋음을 알 수 있다.

그리고 Fig. 8 에서는 미세한 입도의 접종제가 ladle 접종제로 사용될 경우 더욱 나쁜 결과를 초래함을 보여주고 있으며 - 3/8 ~ + 60의 경우가 가장 양호함을 알 수 있다.

용해가 늦게 되는 접종제는 자체성분을 조정함으로써 변화를 줄 수 있다.

Ca-Si 계 접종제는 Fe-Si 계 보다 빨리 녹으며 Fe-Si는 흑연제 보다 빠르다.

50 g씩의 접종제(-10 ~ + 40)를 150 kg의 주철 용탕에 1454 °C에서 접종한 결과를 table 4 에 나타내었다.

여기서 사용된 접종제는 표준 Fe-Si, 調製 Fe-Si (Si 75 %, Ca 0.8 %, Al 0.8 %, Mn 5.5 %, Zr 1.6 %) 및 synthetic graphite인데 graphite의 용해속도가 가장 늦음을 알 수 있다.

또한 접종제에다 소량의 촉매제를 첨가함으로써 용해속도가 빨라짐을 역시 table 4 에서 알 수 있다. 첨가된 촉매제가 용탕중에서 접종제의 主成分인 Si 나 Carbon 으로부터 발생한 끈적끈적한 산화물이나 灰分을 재빨리 제거시키므로서 용해속도가 증가된다. 특히 table 5 와 App-5 에서 보는 바와 같이 흑연에 5%의 borax를 첨가하기 전까지는 Fe-Si 보다 성능이 떨어진다.

TABLE 4. 灰鑄鐵의 경우에 촉매제가
접종제의 용해속도에 미치는 영향

용 해 로 : 160 kg 고주파 유도로
 출탕온도 : 1450 °C
 시험방법 : 0.03 %의 접종제를 용탕 上面에 투입한 후 용해되어가는 時間을 check
 실험횟수 : 同一한 방법으로 5회

접 종 제	촉 매 제	용 해 시 간
(표준 FeSi)	—	2分
(調製. FeSi With Mn)	—	2分 50秒
(Synthetic graphite)	—	2分 50秒
Ferro-silicon	5 % Barium carbonate	2分 50秒
Ferro-silicon	5 % BaF ₂	2分 50秒
Ferro-silicon	5 % Borax	2分 50秒
調製. Ferro-silicon	5 % Barium carbonate	2分 50秒
調製. Ferro-silicon	5 % BaF ₂	2分 50秒
調製. Ferro-silicon	5 % Borax	2分 50秒
Synthetic graphite	5 % Barium carbonate	2分 50秒
Synthetic graphite	5 % BaF ₂	2分 50秒
Synthetic graphite	5 % Borax	2分 50秒

TABLE 5. 접종제에서 촉매제의 영향

접 종 제	첨가량 (%)	Chill (1分)	Chill (15分)
무 접 종	0	White	White
FeSi	0.44	5 mm	7 mm
Graphitic	0.44	14 mm	14 mm
Graphitic	1. 0.44	2 mm	2 mm
+ 5% Borax	2. 0.32	3 mm	4 mm

appendix 2

용 해 로 : 230 kg 고주파 유도로	40% 鋼古鐵
장 입 비 : 50% 回收鐵	其他 必要合金
10% 銑 鐵	출탕온도 : 1480 °C

처리방법 : 용탕을 50 kg 주입용 ladle로부터 주입시에 접종했으며 사용 접종제는 Fe-Si (75% Si, 0.8% Ca, 0.8% Al)이다.

접종제 첨가 (%)	Chill 깊이 (mm)	1"시편 中央의 黑鉛狀	Cell Count N/in ²	Hardness BHN
0	10	A+D+E	870	255
0.05	5	A5+D	1,530	246
0.1	4	A5+D	1,530	238
0.15	2	A5	1,930	238
0.3	1	A5	2,290	229

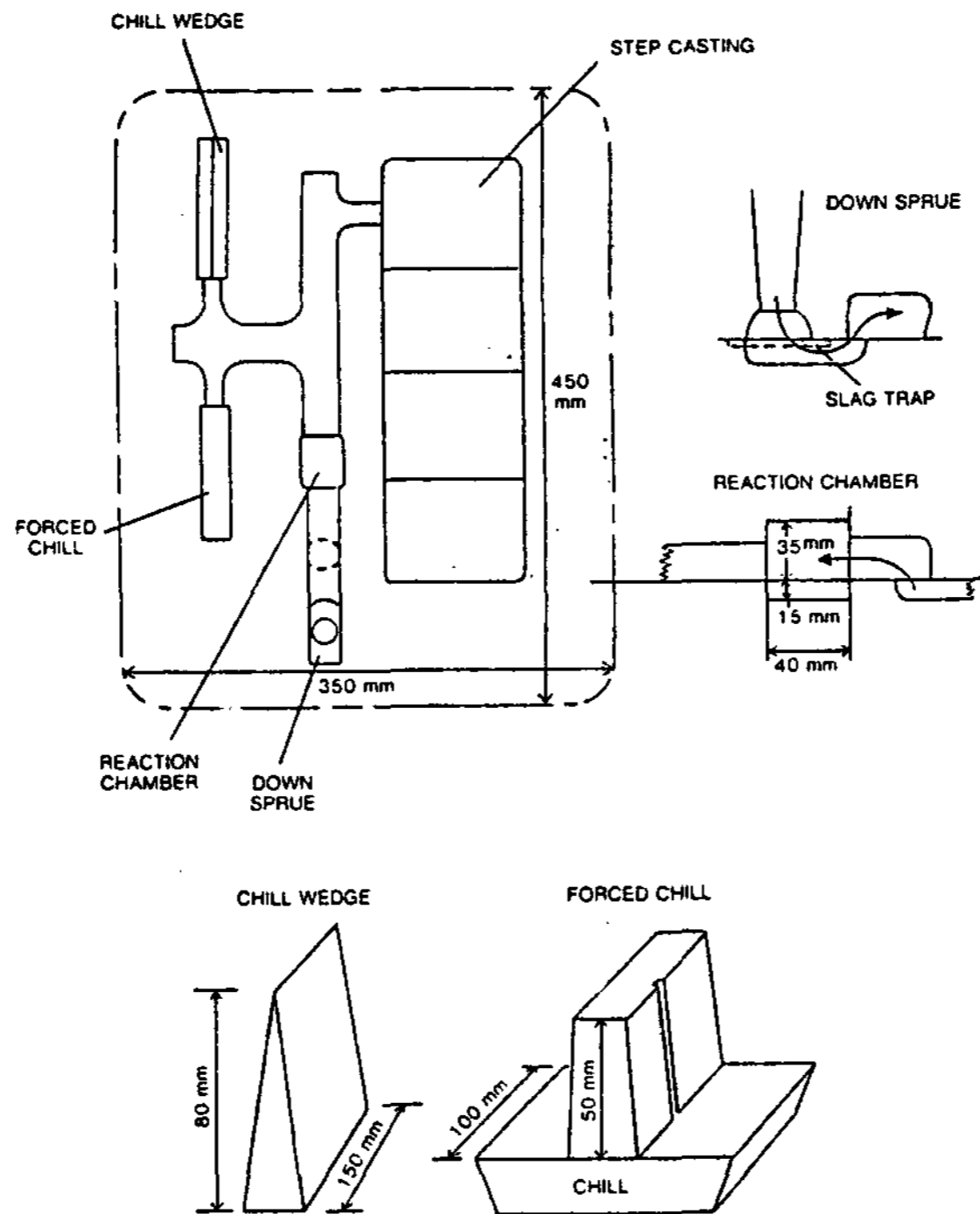


Fig. 5 鑄型內 挿入 接種제 실험을 위한 시험구조용 鑄型

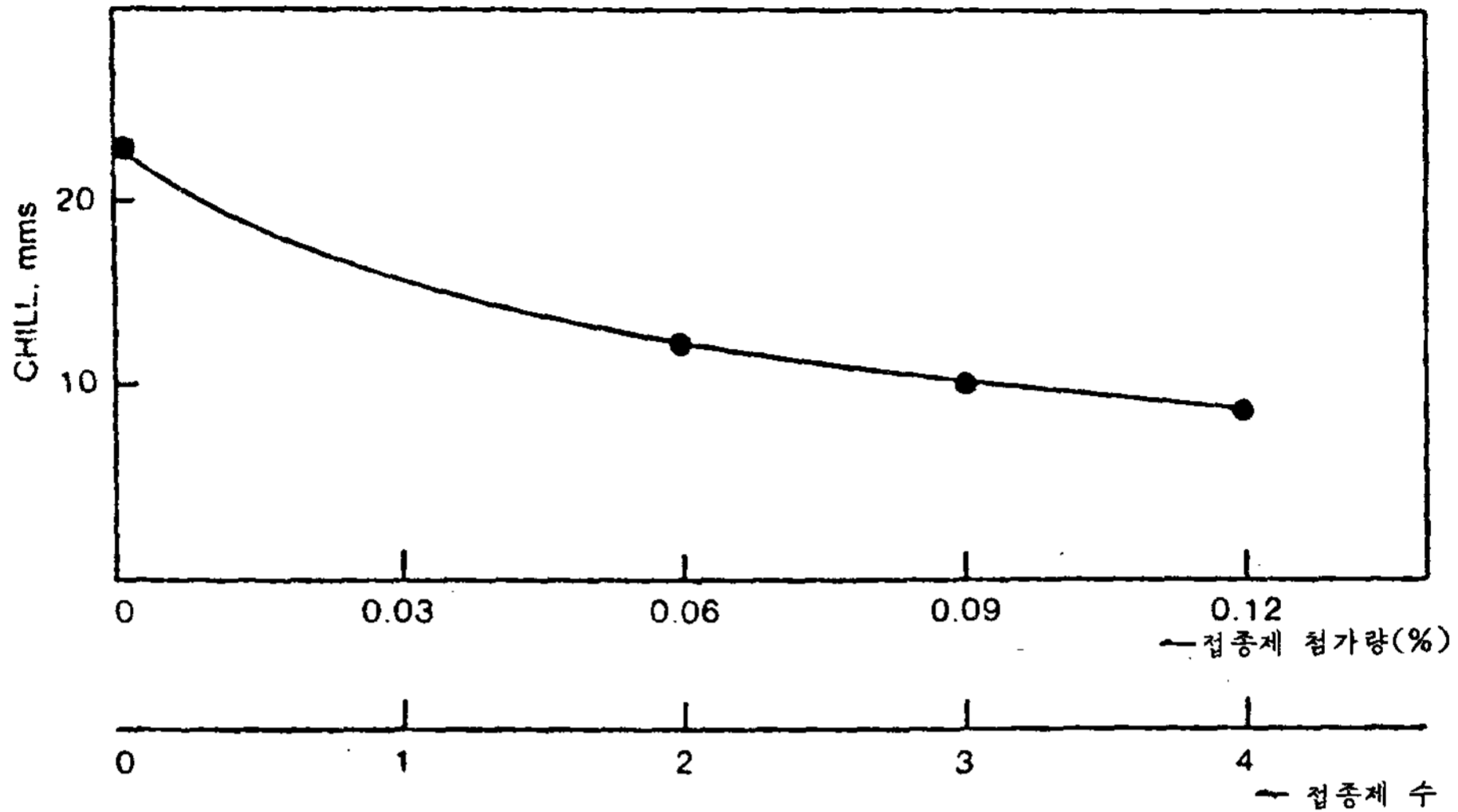


Fig. 6 鑄型内 挿入 点종제 외 영향

appendix 3

용 해 로 : 용선로(Cupola)	Si 1.9 %
출탕 온도 : 1420 °C	Mn 0.8 %
C 3.2 %	S 0.1 %

처리방법 : 용탕을 1 ton 이동용 ladle 로 출탕하여 250 kg 주입용 ladle 옮겨서 주입

점종제의 수량	점종제 첨가 (%)	최초 Chill (mm)	주입 온도 (°C)	최종 Chill (mm)
0	0	15	1,335	24
2	0.06	17	1,346	12
3	0.09	17	1,354	10
4	0.12	17	1,354	9

Si 제 점종제가 더욱 효과적인 것으로 증명되었다.⁽⁴⁾ 여기서도 회주철의 경우처럼 2가지로 나누기로 하자

(a) 첨가량이 너무 적을 때

구상흑연주철에서는 점종제가 carbide 의 생성을 억제시키는 것도 중요하지만 양호한 球狀黑鉛을 유도하는 것이 더욱 중요하다.

불완전한 점종이 되었을 때는 fading이 심하고 chill이 증가하며 더우기 凝片狀 黑鉛組織이 나타난다. 대부분의 공장에서는 Fe-Si-Mg 등과 같은 高 Si 系의 黑鉛球狀化劑를 사용하고 있기 때문
주조 Vol. 2, No. 4 (1982)

에 후점종으로 첨가될 수 있는 Si의 범위는 제한된다.

이 제약때문에 fading을 충분히 억제시킬 수 있는 원활한 후점종이 어렵게 된다. 이런 경우에는 잔류 Mg을 높여야만 만족스러운 구상흑연을 얻게 된다.

table - 3에서는 pure-Mg 처리를 한 후 충분한 후점종처리를 했을 때의 비교 실험치가 나타나 있다. 즉 이것은 후점종제의 량을 증가시키면 잔류 Mg이 낮은 상태에서도 양호한 구상흑연주철을 얻을 수 있음을 나타낸다.

접종제를 입도의 측면에서는 다음의 2가지로分類된다.

① 粉末狀 ② 塊狀

① 粉末狀 : 이 형태의 접종제는 inclusion이나 Pin hole 등의 불량을 발생시키지 않는 범위내에서 미세할 필요가 있다. 여러 입도의 Fe-Si를 sprue에다 첨가한 실험결과를 Fig.-9 및 App-6에 나타내었는데 다른 특기사항은 없고 굵은 입자의 접종제로 처리하였을 때 dross defect와 미리 녹지 못한 접종제가 확인되었다.

같은 방법으로 SiC를 사용하여 실험한 결과도 아울러 나타나 있으며 이 경우에는 가장 미세한 입도(-200 mesh)일 때가 가장 양호함을 알 수 있다.

② 塊狀 : 이 형태의 접종제는 신속용해보다는 점진적용해를 촉진시키자는 목적을 가지고 있으며鑄型內에 삽입되어 용탕이 그 위를 지나감으로서 접종이 이루어진다. 따라서 전체주입용탕이 끌고루 접종되려면 천천히 용해되는 것이 바람직하다. 특히 粉末狀 접종제에 비해 주입시간을 고려해야 하는데 이는 최종용탕의 통과시까지 접종제의 역할은 계속되어야 하기 때문이다.

(c) 접종제의 입도관리

접종제의 입도는 접종제의 제조회사에서 엄격히 관리되지만 각 주물공장에서 관리할 필요가 있다. 즉鑄物砂 관리와 같이 간단한 sieving 방법에 의하여 정기적으로 검사하여 입도관리에 의한 접종효과를 최대로 유도해야 한다.

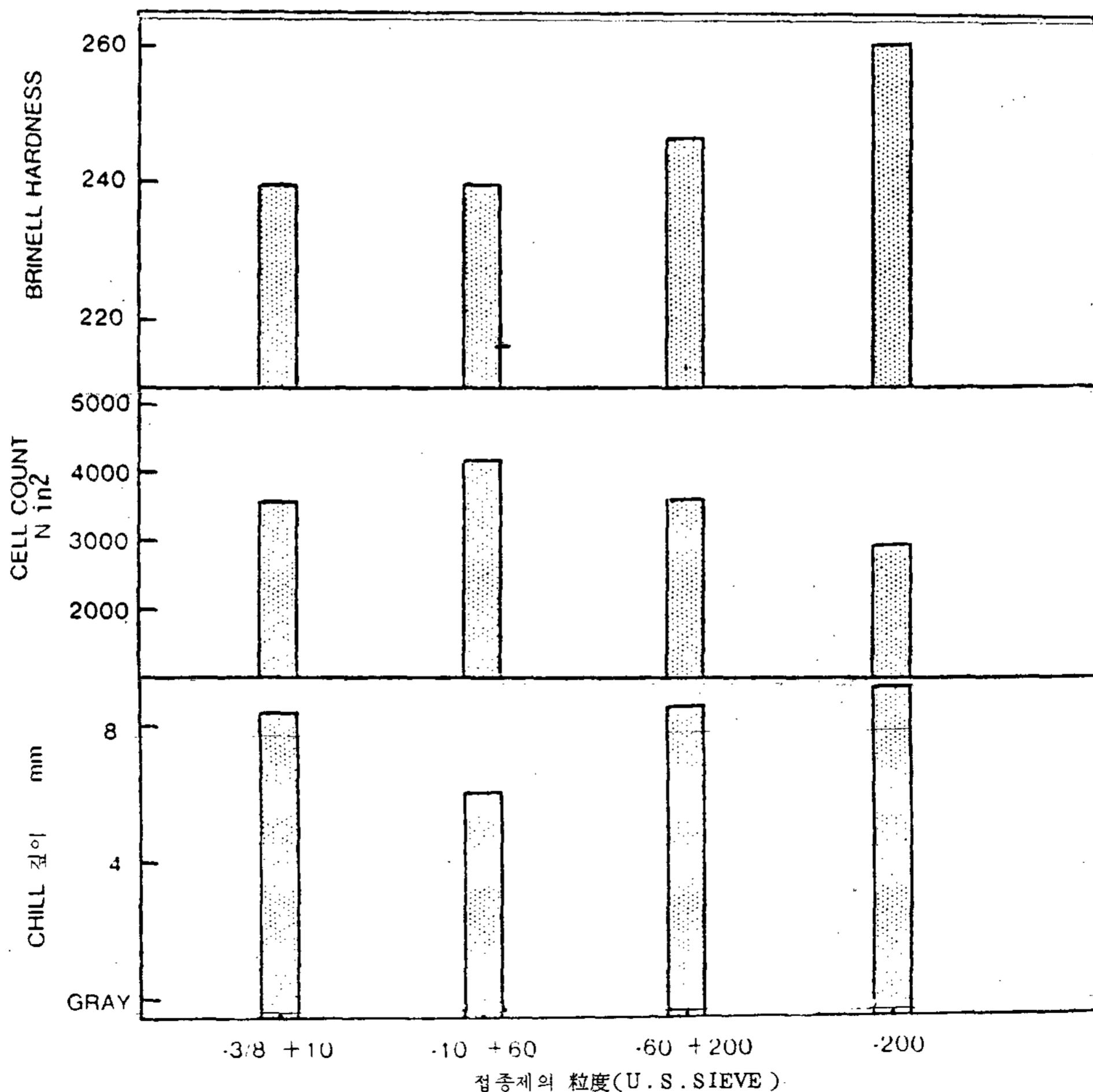


Fig. 7 여러 粒度의 sic를 ladle에 접종했을때의 效果

appendix 4

용 해 로 : 230 kg의 고주파 유도로	출탕온도 : 1482 °C
장 입 비 : 50 % 回收鐵	C 3.1 %
10 % 銑 鐵	Si 2.1 %
40 % 鋼古鐵	Mn 0.6 %
合金鐵 添加	S 0.04 %

처리방법 : 용탕이 50 kg의 주입 ladle 에 옮겨지면서 접종처리

접 종 제	첨가량 (%)	粒 度	BHN	Chill 깊이 (mm)	Cell count N/in ²
None	-	-	265	White	870
FeSi	0.15	-3/8" + 10	246	3	2,960
FeSi	0.15	-10 + 60	229	4	2,960
FeSi	0.15	-60 + 200	262	8	1,930
FeSi	0.15	- 200	265	White	1,130
SiC	0.15	-3/8" + 10	238	8	3,600
SiC	0.15	-10 + 60	238	6	4,200
SiC	0.15	-60 + 200	246	8	3,600
SiC	0.15	- 200	265	8.5	2,960

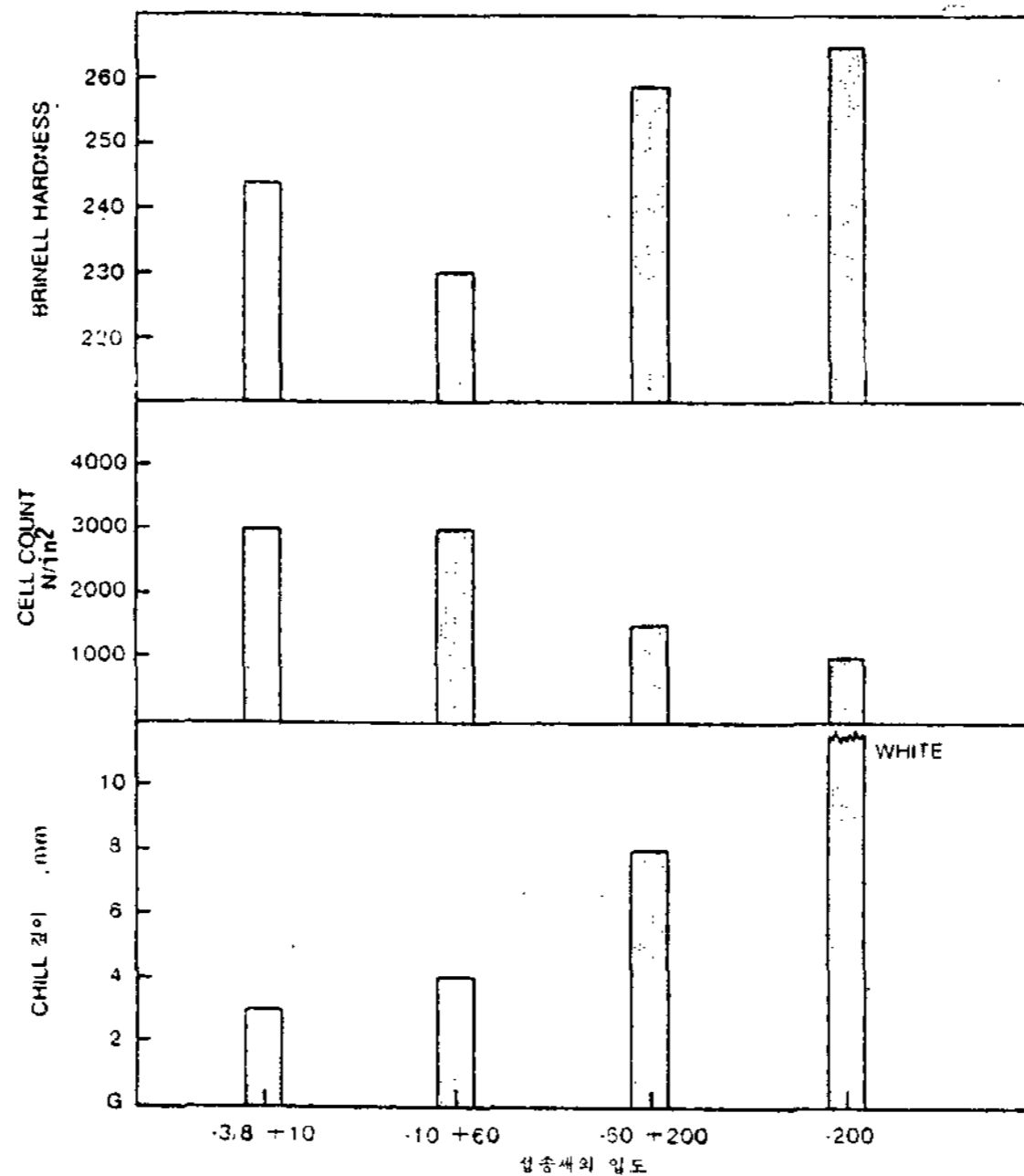


Fig. 8 Fe-Si의 粒度分布에 따른 접종效果

appendix 5

용 해 로 : 6 ton 유도로	<table border="1"> <tr> <th>成 分</th> <th>접종제 A</th> <th>접종제 B</th> </tr> <tr> <td>C</td> <td>44.0</td> <td>40.4</td> </tr> <tr> <td>Si</td> <td>36.9</td> <td>35.6</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Al</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Borax</td> <td>-</td> <td>5 %</td> </tr> </table>	成 分	접종제 A	접종제 B	C	44.0	40.4	Si	36.9	35.6	Ca	0.5	0.5	Al	0.5	0.5	Borax	-	5 %
成 分		접종제 A	접종제 B																
C		44.0	40.4																
Si		36.9	35.6																
Ca		0.5	0.5																
Al		0.5	0.5																
Borax	-	5 %																	
출탕온도 : 1510 °C																			
C 3.40 %																			
Si 2.12 %																			
S 0.06 %																			
Mn 0.55 %																			

처리방법 : 용탕을 800 kg 주입용 ladle 에 옮기면서 접종

	첨 가 량 (%)	접종후 1分 경과 時의 Chill(mm)	접종후 15分 경과 時의 Chill(mm)
무 접 종	-	White	White
75 % FeSi	0.44	5	7
Graphitic 접종제 A	0.44	14	14
Graphitic 접종제 B	0.44	2	2
Graphitic 접종제 B	0.32	3	4

appendix 6

용 해 로 : 230 kg 고주파 유도로	출탕온도 1493 °C
장 입 비 : 50 % 回收鐵	C 3.2 %
10 % 銑 鐵	Si 2.1 %
40 % 鋼古鐵	Mn 0.55 %
合金鐵	S 0.07 %

처리방법 : 용탕을 230 kg 주입용 ladle 에 옮겨서 주입시에 접종

접 종 제	첨 가 량 (%)	粒 度	Chill mm	BHN	Cell count N/in ²
무 접 종	-	-	White	250	1,530
SiC	0.10	-3/8 +10	16	250	1,930
SiC	0.10	-10 +60	12	250	2,290
SiC	0.10	-60 +200	9	241	2,290
SiC	0.10	-200	9	238	2,650
무 접 종	-	-	White	256	1,130
FeSi	0.10	-3/8 +10	2	238	2,290
FeSi	0.10	-10 +60	1	238	2,290
FeSi	0.10	-60 +200	9	255	1,930
FeSi	0.10	-200	13	256	1,530

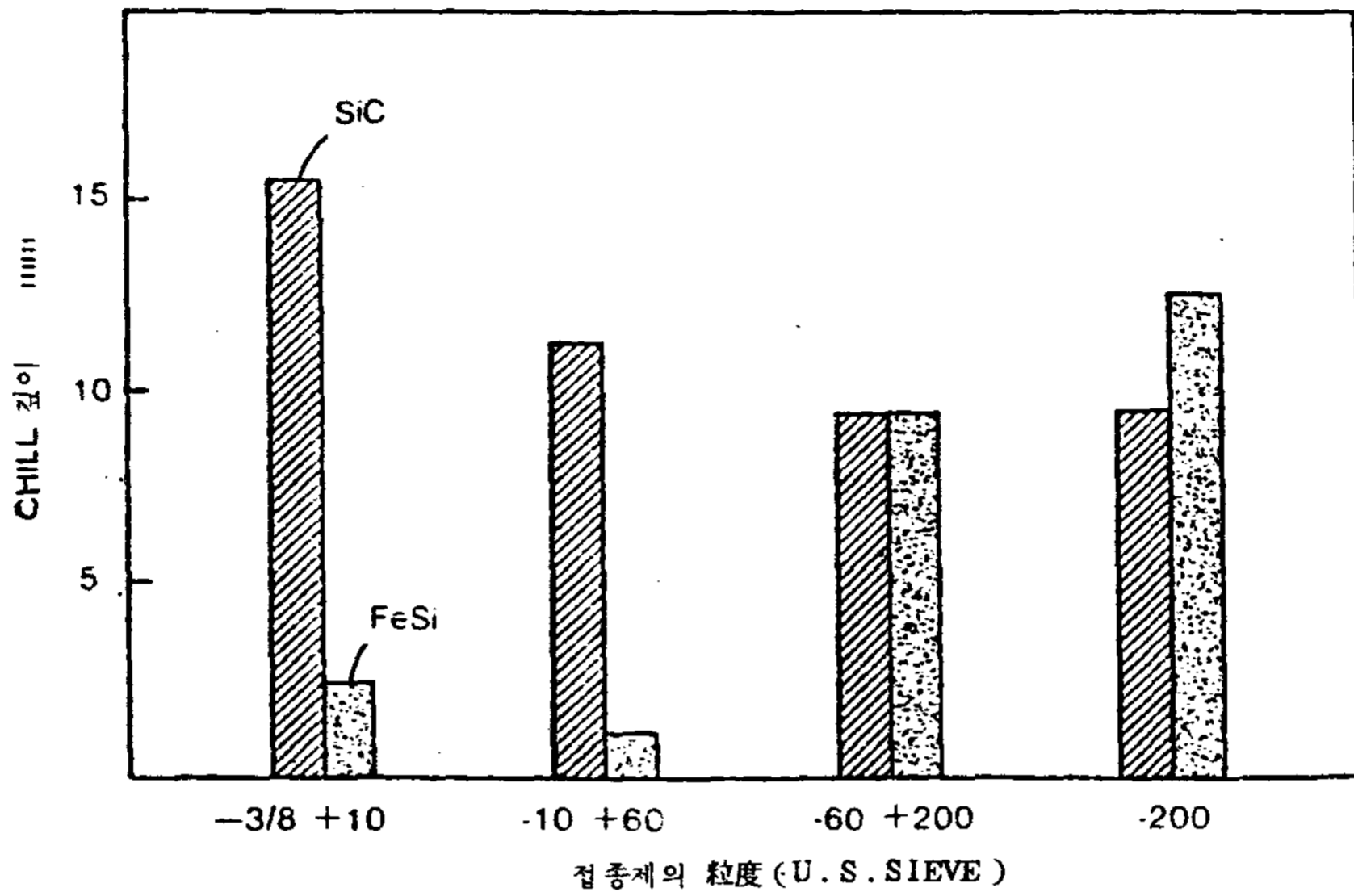


Fig. 9 鑄型內 접종에 있어서 粒度의 영향

6-(3) 접종시기

접종을 언제 하는 것이 가장 경제적인가 하는 질문에 가장 정확한 해답은 가능한한 늦게 주입직전에 하라는 것이다.

Fig. 10 에서와 같이 접종의 시기결정에는 5가지의 가능성이 있다.

- ① 용해로 (유도로)
- ② 이동 (운반) ladle
- ③ 주입용 ladle
- ④ 주입시의 용탕흐름
- ⑤ 鑄型內 설치

접종시기에 따른 각 현상들을 검토해 보자

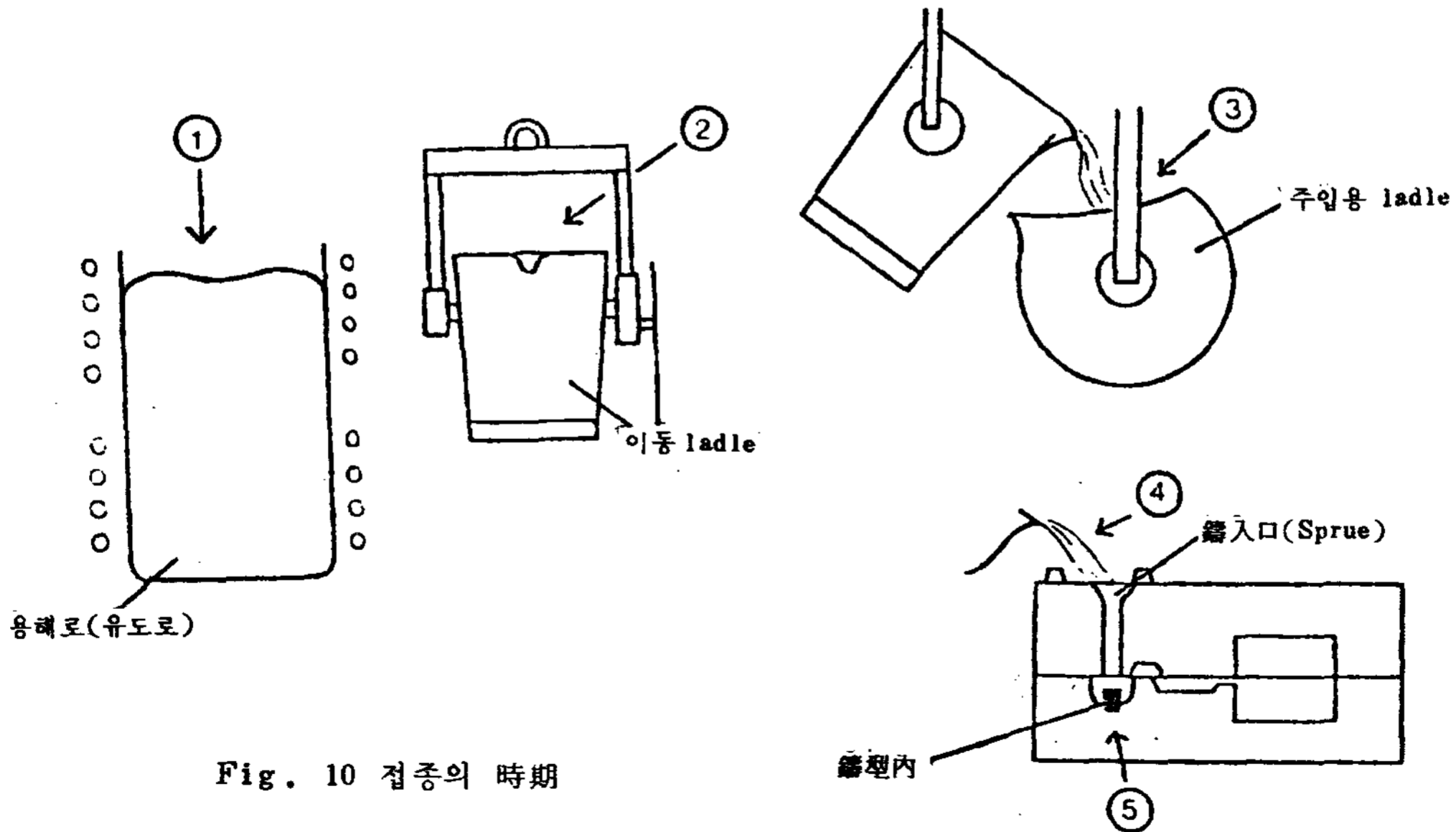


Fig. 10 접종의 時期

(a) 너무 일찍 투입했을 때
 만약 접종제가 뜨거운 ladle 의 밑바닥에 투입
 한다면 용탕이 채워지기도 전에 접종제는 산화되
 고 ladle 벽에 눌러 붙어 버린다.
 * 접종제의 손실
 * 접종효율의 감소
 * 내화물에 덕께가 앉는다.

(b) 너무 늦게 투입했을 때
 용탕이 ladle 에 다 채워진 후에 접종제를 첨
 가한다면 (비록 투입후에 저어 준다고 하더라도)
 접종제가 용탕면의 Slag 나 산화피막과 먼저 반응
 하기 때문에 접종 의 효과가 감소된다.
 * 불균일한 접종
 * 접종제의 산화

주입 ladle 에서 접종제를 첨가하는 것이 가장
 보편적인 방법이지만 최근에는 鑄型內 접종이 상

당한 증가추세에 있다.

GILBERT⁽⁵⁾ 는 구상흑연주철의 실험에서
 Sprue 에서의 접종이 ladle 접종보다 약 5배의
 효과가 있음을 밝힌 바 있다. 회주철에 대한 실험
 결과를 App 7 에 나타내었으며 사용한 실험주조
 품은 Fig. 11 과 같다.

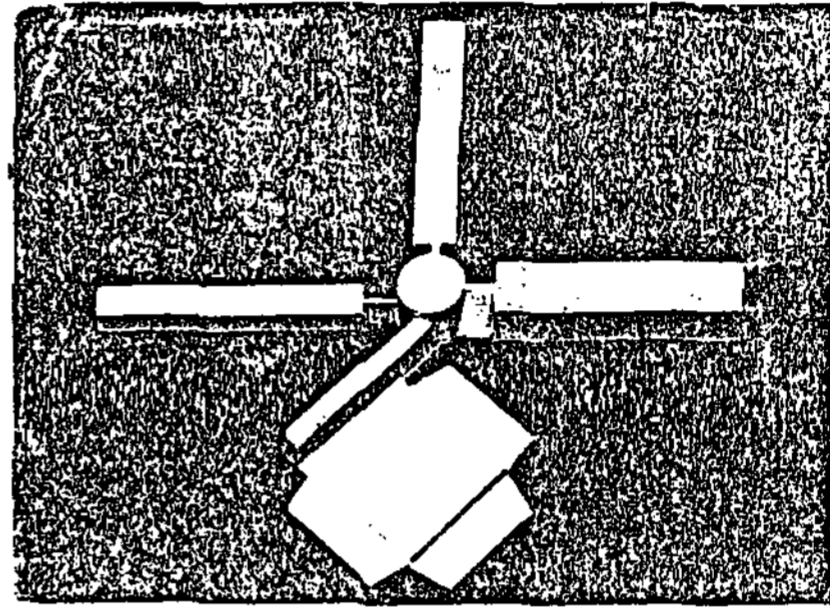


Fig. 11 鑄型內 접종과 ladle 접종의
 差異를 규명하기 위한 시험
 鑄造品

appendix 7

용 해 로 : 200 kg 고주파 유도로	C 3.05 %
장 입 비 : 40 % 回收鐵	Si 2.0 %
60 % 鋼古織	Mn 0.65 %
合金鐵	S 0.1 %
출탕온도 : 1454 °C	

처리방법 : 용탕을 50 kg 주입 ladle 에서 주입 ladle 접종제는 출탕시에 첨가 鑄型內 접종제는 Sprue
 에서 첨가

시 편 NO.	첨 가 량 (%)		Chill(mm)		
	Ladle	Mold	1/8 "	1/4 "	3/8 "
1	-	-	W	M	M
2	-	0.06	18	Tr	G
3	0.15	-	W	11	3
4	0.30	-	7	G	G
5	0.40	-	6	G	G

시 편 No.	첨 가 량 (%)		소 멸 시 간 (分)	파 단 면 을 보 여 주 는 그 립
	Ladle	Mold		
1	-	-	0	13
4	0.15	-	0	13
6	-	0.06	0	13
7	0.15	-	4	14
8	-	0.06	4	14
9	0.15	-	9	15
10	-	0.06	9	15
11	0.15	-	16	16
12	-	0.06	16	16

여기서 사용한 주조품은 3개의 사각 bar(3/4", 1", 1 1/4") 와 3개의 chill plate (1/8", 1/4", 3/8" 두께) 였으며 그때의 상황은 다음과 같다.*6

- ① 무접종
- ② 0.06% 접종 (3g의塊狀접종제를 5kg 주형에 삽입)
- ③ 0.15% 調製 Fe-Si, ladle 접종, 1분 후 주입
- ④ 0.30% 調製 Fe-Si, ladle 접종, 1분 후 주입
- ⑤ 0.40% 調製 Fe-Si, ladle 접종, 1분 후 주입

Chill plate의 破斷面은 Fig.-12에 나타나 있으며 bar에서의 소멸시간을 보여주는 파단면은 Fig.-13, 14, 15, 16에 나타나 있다.

이상에서 알수 있는 바와 같이 소멸시간이라는 또하나의 因子를 고려한다면鑄型內 接종의 효과는 한층 뚜렷해 진다.

첨가량	너무 적을 때	○ chill 및 경도의 증가 ○ 바람직한 기계적성질을 얻기 곤란
	너무 많을 때	○ 경제적 손질 ○ 용탕성분 우려 ○ 수축 결함 ○ dross 발생
입도	너무 굵을 때	○ 용해의 지연으로 인한 접종효과 감소 ○ inclusion 불량
	너무 고울 때	○ fading ○ 분진, dross 발생 ○ 산화
접종시기	너무 일찍 투입했을 때	○ slag 및 dross 부착 ○ 산화
	너무 늦게 투입했을 때	○ 불균일 접종 ○ 접종효과 감소

접종은鑄放상태의 조직을 결정짓는 주철생산의 한 중요한 단계이므로 각 공장의 여건에 맞는 효과적인 접종작업을 채택하고 철저히 관리할 때 접종의 잇점을 충분히 實感할 수 있다고 본다.

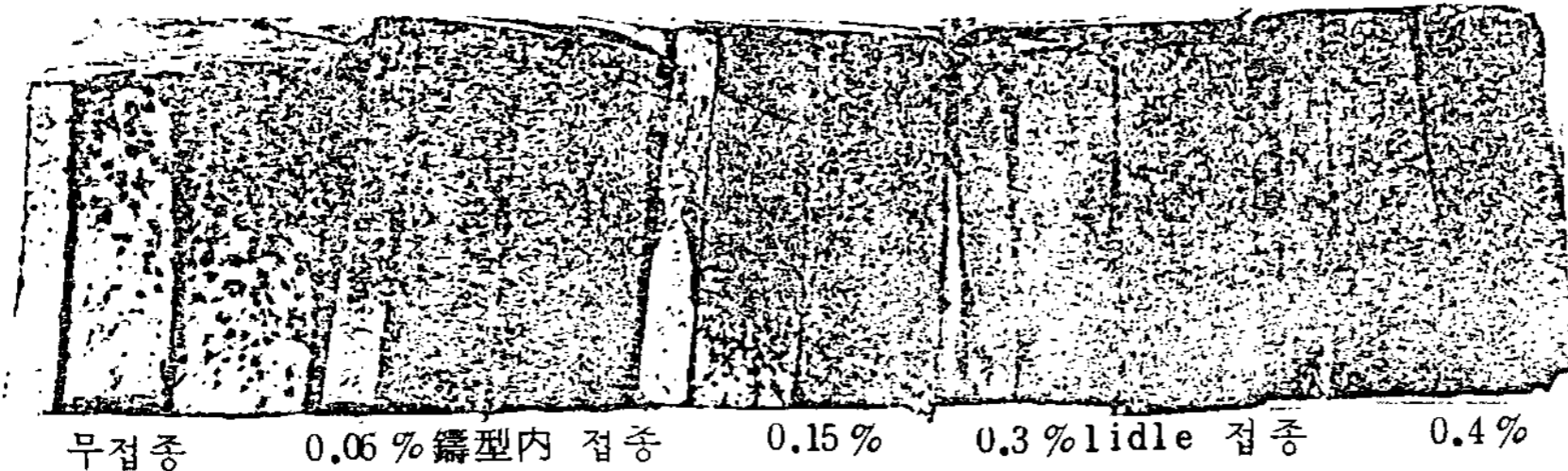


Fig. 12 Chill의 破斷面

(c) 接종의 시기

접종시기관리의 관건은 철저한 작업 감독이다. 물론 접종설비나 작업방법이 기본적으로 요구되기도 하지만 얼마나 철저히 작업관리를 했는지가 접종시기관리에서 가장 중요하다.

6-(4) 끝맺는 말

접종에 영향을 주는 요소들은 무수히 많지만 접종이 생산공정의 하나로 정착한 이상에는 다른공정과 같이 관리할 필요성이 있다.

우선 각각의 공장 여건에 맞는 접종제가 선택되었다면 그 다음으로 첨가량, 입도, 접종시기 등의 3가지 요소는 꼭 관리해야 한다.

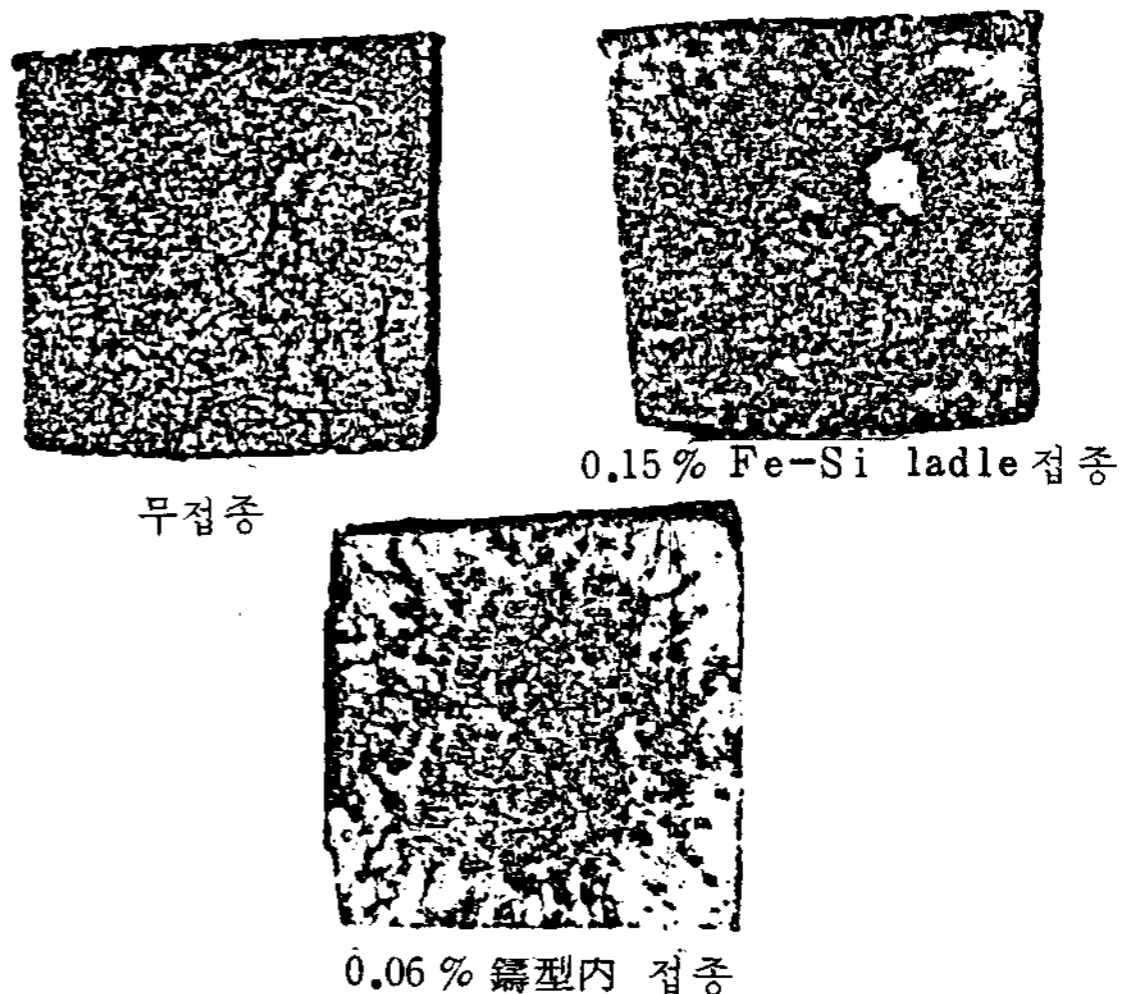
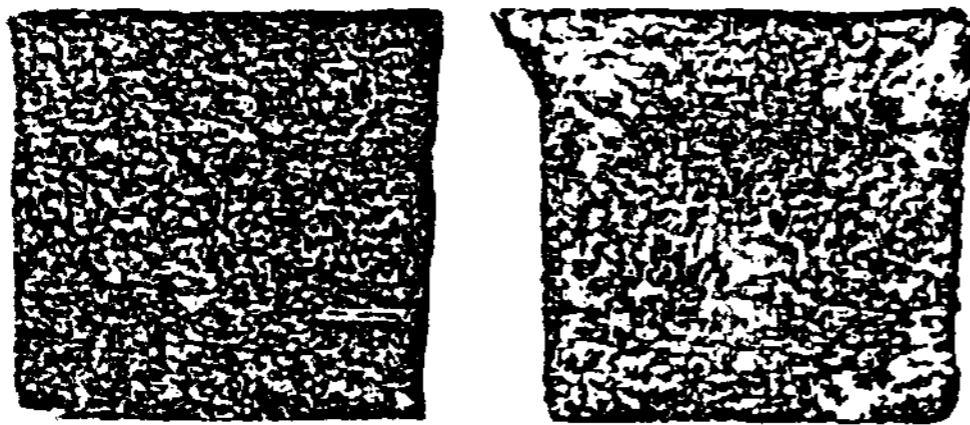
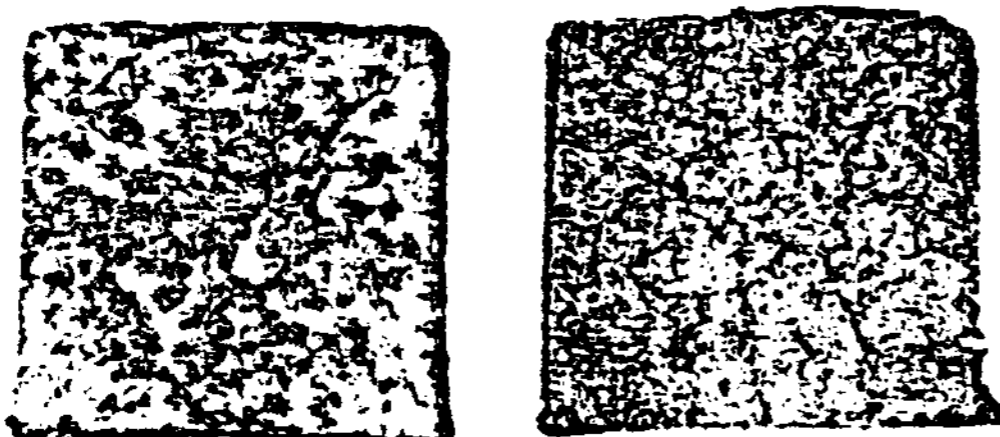


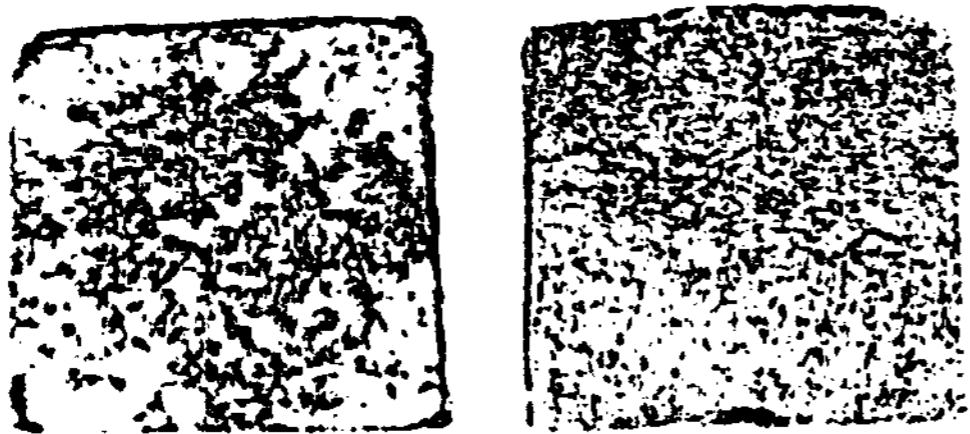
Fig. 13 接종후 즉시



0.15% Fe-Si ladle 접종 0.06% 鑄型內 접종
Fig. 14 접종후 4分경과



0.15% Fe-Si ladle 접종 0.06% 鑄型內 접종
Fig. 15 접종후 9分 경과



0.15% Fe-Si ladle 접종 0.06% 鑄型內 접종
Fig. 16 접종후 16分 경과

1. M.Hecht and P.Cloarec, "Inoculation des Fontes a Graphite Lamellaire", Fonderie 352, Jan. 1979, pp.3-19.
2. B.C.I.R.A. Broadsheet 5-2, 1975.
3. A.Moore, "Some Recent Advances in the Practice and Understanding of Inoculation", I.B.F. Annual Conference, Mag 1974, Stratford-on-Avon.
4. A. Moore, "Some Factors Influencing Inoculation and Inoculant Fade in Flake and Nodular Graphite Irons", 77th A.F. S. Casting Congress Montreal, 1973.
5. G.N.J.Gilbert, Unpublished work at B.C.I.R.A., 1978.
6. J. Briggs and R.W. Neuman (FOSELO Inc., Cleveland, Ohio), "Control of Inoculation" AFS-CMI Conference, Feb. 1979, Rosemont, Illinois.