

接 種 의 理 論 과 実 際

編 輯 室 譯

1. 接種의 意味

接種 (inoculation, Impfen) 은 黑鉛球狀化處理, 스톱처리 및 脫가스처리 처럼 熔湯處理의 하나이고, 生物學的 의미로 이름 붙인 「꼭 合金 效果를 갖지 않더라도 熔湯의 核生成을 增加시키는 後期 레를 添加」를 意味하는 말이다.

또, 接種이라함은 「現在의 普通分析上의 相違로는 說明하기 困難하나, 어떤 物質을 熔湯에 添加해서, 그의 組織을 變更 또는 修正하므로써, 目的으로 하는 性質을 改善한다」는 것이라고 하고 있다.

2. 接種處理의 推移

灰鑄鐵의 接種에 關한 最初의 文獻은 1908年에 보여지는데 實用化는 1922年에 G. E. Meehan이 「白銑 또는 斑銑熔湯을 珪化칼슘으로 接種해서 灰銑에서 바로 鑄物로 한 強力鑄鐵」에 關해서 美國特許를 얻음으로서 널리 퍼졌다.

日本에는 미하나이트鑄鐵製造技術의 一部로서 第2次 大戰後 導入되어, 接種處理는 特許로 이미 끊어졌고, 그런데 簡單하고 또 有力한 材質改善의 手段임이 判斷되어, 日本의 鑄鐵熔解 技術을 크게 바꾸었다.

日本에서의 接種에 關한 報告는 1952年 以來 많이 보여지고, 또, 1954~1955年에 미하나이트鑄鐵에 關하여 浜住博士, 接種에 關해서 網谷博士의 解説이 「鑄物」誌에 있다.

그 以後 約20年以上이 經過하고, 接種處理는

強 鑄鐵製造에서 普遍的인 方法으로 되어 손쉽게 하고 있는데, 熔解法의 相違等에 있어서 微妙한 差가 생겨온다.

3. 接種의 目的

(1) 組織 및 機械的性質의 改善

接種에 依해서 均一한 크기로 方向性이 없는 良好한 黑鉛, 即 A型黑鉛이 얻어지고, 또 其他는 펴라이트만으로 된다.

이들의 組織變化 및 共晶셀이 가늘어짐에 (그림 1) 依해서 引張強度, 抗折荷重, 韌性 등이 增加하고, 硬度가 減少한다.

이 效果는 低 C, 低 Si 인 경우 特히 效果的이다.

(2) 質量效果를 減少시킨다.

即, 두께 感度를 減少시킨다.

(3) 白銑化傾向을 減少시키고, 珪化를 防止한다.

4. 接種의 其他의 效果

(1) 初晶오스테나이트 덴드라이트가 가늘고, 均一하게 되고, 方向性이 없어진다.

(2) 接種後의 셀境界는 두껍고, 넓어도 넓어져 不明瞭하게 된다.

또, 셀 境界의 增加와 固·液界面에서의 늦은 成長速度 때문에 偏析 패턴의 變化를 갖는다.

(3) 接種에 依해 緻密한 MnS 介在物의 數가 增加하고, 셀 境界에 보여짐이 적어진다.

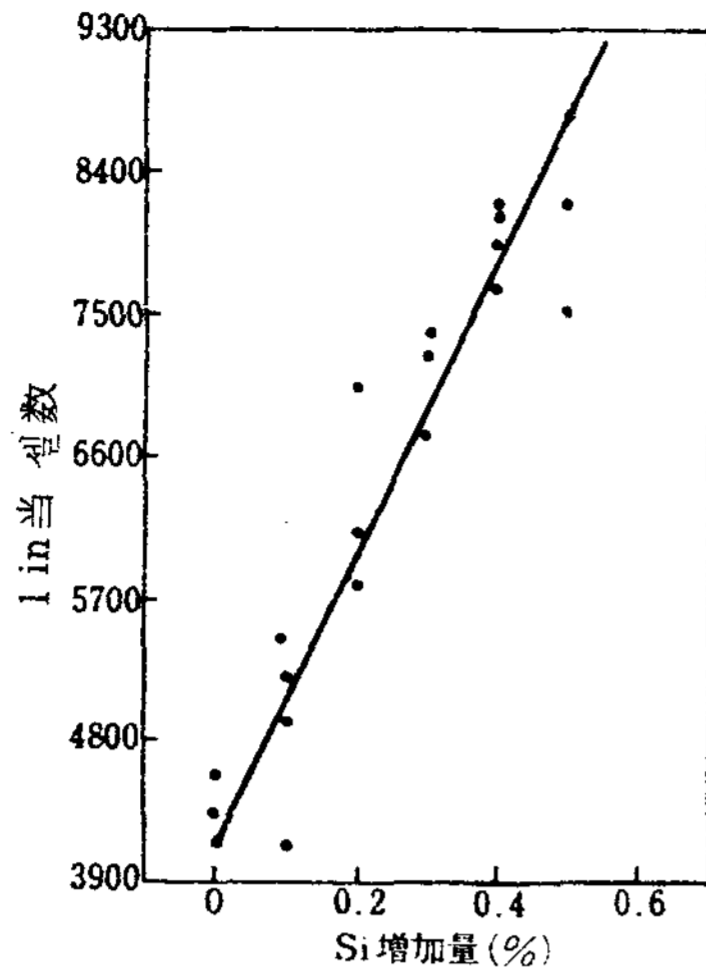


그림 1 灰鑄鐵의 共晶셀數의 接種劑의 量의 影響

(4) 過冷이 적어지고, 溫度의 再上昇이 빨리 일어난다.

이는 다음의 式으로 豫想된다.

$$R^2 n^2 N^3 = \frac{dQ/dt}{4\pi LA^2} \dots\dots\dots(1)$$

여기서

- R : 共晶셀의 半徑
- n : 單位길이당 黑鉛片의 數 (1/λ)
- N : 單位길이당 共晶셀界面의 數
- dQ/dt : 熱抽出 速度
- L : 單位體積當의 熔融潛熱
- A : 常數

即, (1)式의 左邊을 크게 하든가, 右邊을 적게 하면, 過冷이 적어지는데, 接種에 依해 特히 N가 크게 되어 左邊이 커지기 때문에 過冷이 減少한다.

따라서 接種은 鑄의 깊이를 減少하고, 이것으로부터 接種劑의 有効性의 測定에 鑄 깊이를 採用함에 信賴性이 保證된다.

(5) 接種은 (2), (3)式으로부터 알 수 있는 바와 같이 共晶셀의 成長速度를 늦게 하고 (그림 2) 黑鉛片을 성기게 한다.

即,
$$\frac{dR}{dt} = B (\Delta T)^q \dots\dots\dots(2)$$

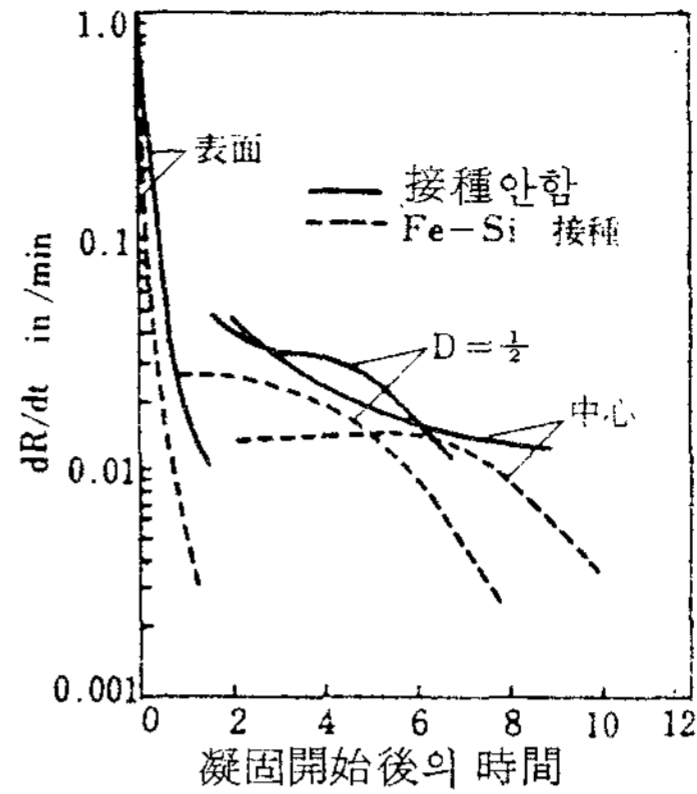


그림 2 接種에 따른 灰鑄鐵의 共晶셀 成長 速度의 變化

여기서

- $\frac{dR}{dt}$: 界面의 成長速度
- B, q : 常數
- ΔT : 過冷

$$n = 1/\lambda = \Delta T/AB \dots\dots\dots(3)$$

여기서

λ : 黑鉛片의 間隔

大量의 接種劑의 使用은 鑄 깊이를 減하기 보다 는 오히려 黑鉛片을 성기게 하기 爲해 必要하다.

接種鑄鐵에서는 一般으로 큰 黑鉛片과 셀數가 많음이 서로 매듭져 있으나, 黑鉛크기의 變化는 接種劑의 有効性이 信賴되는 基準으로는 되지 않는다.

(6) 接種劑의 有効性은 鑄物의 冷却速度, C 量 (또는 CE 值)에 따라서 變한다.

即, 接種의 效果는 冷却速度가 빠를수록 크고, 또, 低C量 (또는 低CE值)에서 顯著하다.

(그림 3)

이는 冷却速度가 빨랐다면, 低C인 편이 接種에 따라 過冷이 減少하는 可能性이 크다고 하는 것이며, 또 低C인 때에는 初晶오스테나이트가 間接적으로 接種劑의 量을 增加함과 같은 效果를 갖기 때문이다.

(7) 接種의 效果는 鑄込前의 熔湯의 놓아 둠에 依해서 消滅된다.

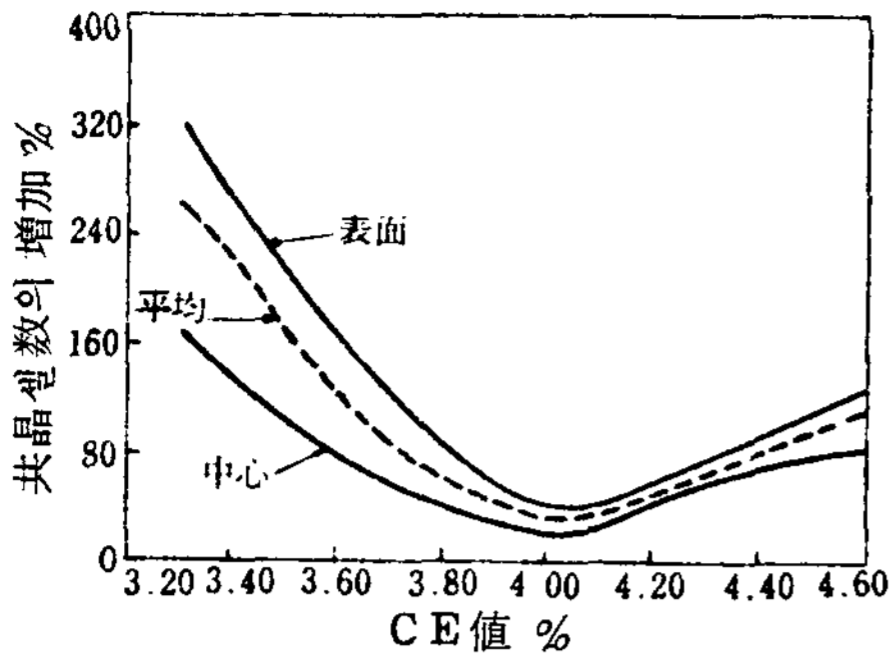


그림 3 灰鑄鐵에서의接種에 의한 셀 수의 증가에 미치는 CE值 및 冷却速度의 影響

即, fading이 일어난다. (그림 4)

그의 程度는 使用하는 接種劑의 種類와 量에 따라서 달라진다. (그림 5 및 6)

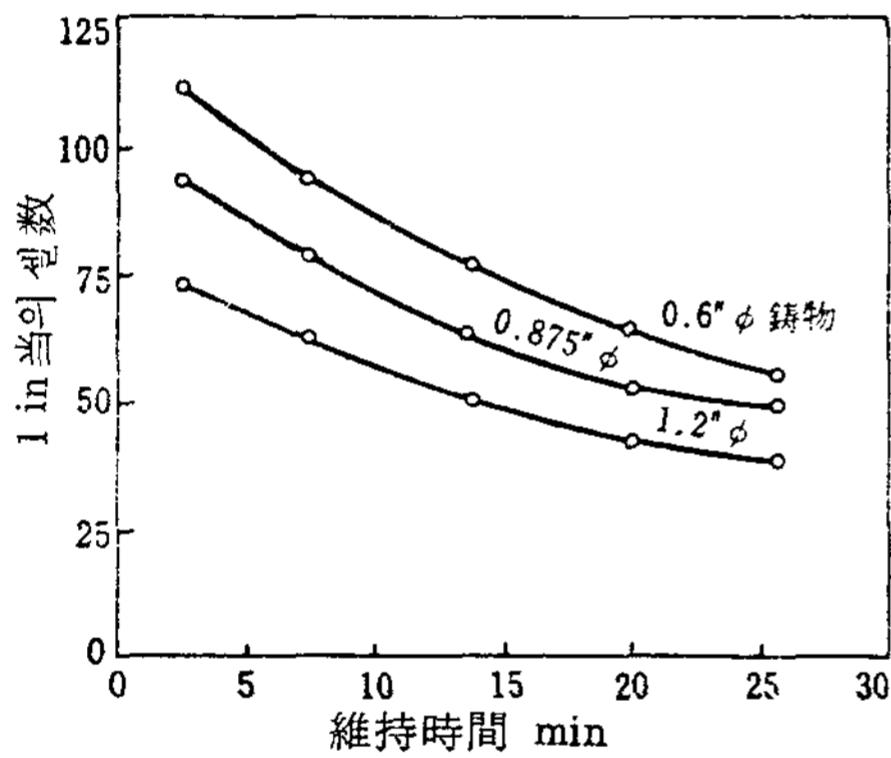


그림 4 灰鑄鐵의 共晶セル수에 미치는 接種後의 維持時間의 影響

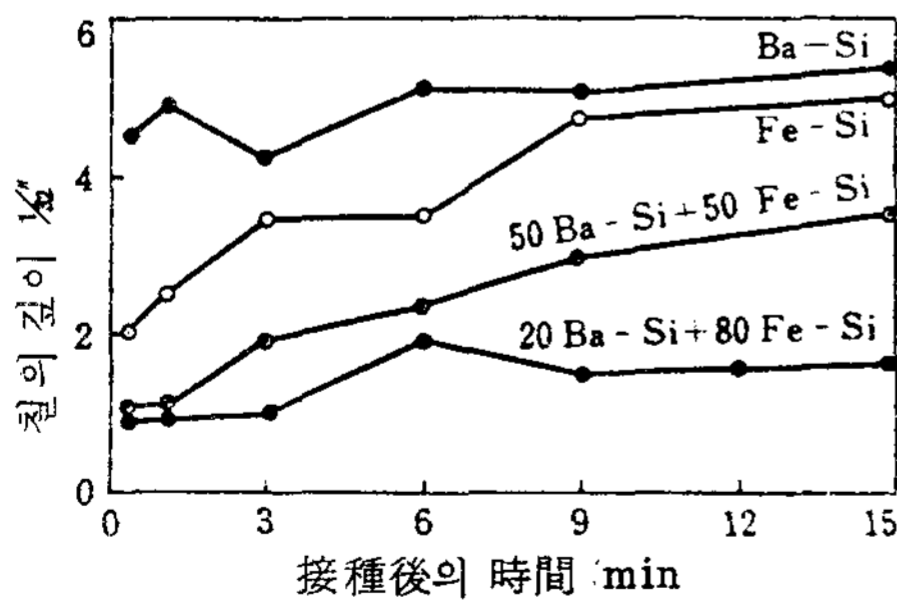


그림 5 灰鑄鐵에 미치는 接種效果 (철 깊이) 의 減少에 미치는 接種劑의 種類의 影響

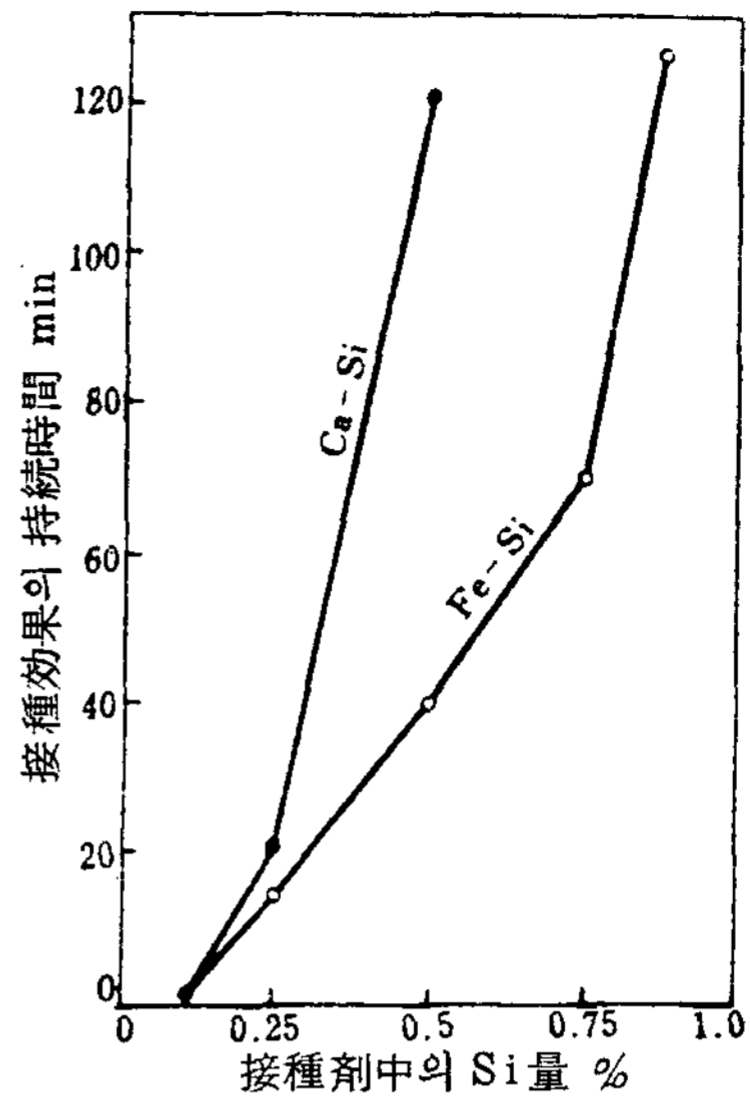


그림 6 灰鑄鐵의 接種效果의 持續時間에 미치는 接種量의 影響

一般으로 接種中の Ca 나 Ba 의 비율이 크면 fading 은 ㄴ다.

또, 熔湯의 維持方法의 影響도 크다.

(8) 接種前에 過熱되면 接種劑는 多量으로 必要하게 되는데, 接種은 效果的이 된다.

過熱이 同一인 경우에는 接種 및 鑄込 溫度가 높은 쪽이 接種效果가 크다.

5. 接種劑 (inoculant, Impfmittel)

B. Lux 等에 따르면 灰鑄鐵의 核生成은 周期率表의 I, II 및 III 族의 經金屬의 添加에 依해 增加됨을 나타내고 있다.

H. D. Merchant 는 1964 年에 過去 10 年間의 文獻을 調査하여 多種多樣한 接種劑를 列挙하고 있는데 (表 1), 큰 添加物은 Ca 나 Al 을 包含하고 있고, Fe-Si, Si-Mn-Zr (SMZ) 및 Si 에서는 Ca 나 Al 의 存在가 그의 有効性에 對해서 必須이다.

또, 亞共晶組成에서는 Ca-Si 가 Fe-Si 보다 有効하고, 過共晶鑄鐵이나 球狀黑鉛鑄鐵에서는 逆이다.

또, 黑鉛은 亞共晶鑄鐵에서는 強力한 接種劑이

表 1 各種接種劑

Ca;Al, Ca-Si, Fe-Si, 黑鉛, Fe-Si-Ba, CaCN ₂ , N ₂ , K ₄ Fe(CN) ₆ , K ₃ Fe(CN) ₆ , Ca-Mn-Si, Al-Si, Al-Si-Ti, Fe-Si-Zr, Si-Zr, Fe-Si-B, Fe-Si-Be, Ni-Si-Ca-Al-Mg, Ni-Si, Si-Mn-Zr, K ₂ CO ₃ , Fe ₂ O ₃ , CaH ₂ , Ca-Si-Ti, Si-Ti, Cr-Si, Cr-Si-Mn, Cr-Si-Mn-Zr, Cr-Si-Mn-Ti-Ca, Mo-Si, Si-C, CaC ₂ , Si-Mn
--

나 過共晶鑄鐵이나 球狀黑鉛鑄鐵에서는 效果가 없다.

以上과 같이 一般으로 接種劑는 黑鉛化 促進劑와 脫酸劑를 包含하는 경우가 많다.

이것을 黑鉛化 接種劑(graphitizing inoculant, graphitisierendes Impfmittel)라고 부르고, 페라이트의 生成을 억제하는 接種劑, 即, Mn, Cr, Mo, V 등을 主로하는 接種劑를 安定化 接種劑(stabilizing inoculant, stabilisierendes Impfmittel)라 부른다.

그런데, 炭化物이 너무 安定化 되어도 困難하므로 黑鉛化元素를 併用해서 複合 接種劑(complex inoculant)로서 複合接種(Doppelimpfung)하는 경우가 많다.

이 때에는 合金效果도 期待된다.

現用되고 있는 接種劑에 對해서 1971년에 日本鑄物協會東海支部鑄鐵研究會가 委員 各社로부터 收集한 資料(以下 調査資料라고 부른다)에 따르면 表2와 같다.

그런데 使用法은 꼭 單純하지는 않고, 2種以上の 接種劑의 組合도 많이 使用되고 있다.

예를 들면, Fe-Si + Ca-Si, 50 S + Ca-Si, 50 S + 이노팩 HW, 50 S + 이노큐린, Fe-Si + 이노큐린 等이다.

表 2 接種劑의 使用狀況

接種劑의 種類	50 S	Ca-Si	75% Fe-Si	OZ 劑	이노큐린	其他
使用件數	12	8	5	3	3	C粉, K아로이, 이노팩, HW, 가로이, 各 1

또, 이 資料에서 보이는 限 GC 20 以上에서는 50 S의 使用이 많고, GC 25 以上에서 Ca-Si의 使用比率이 많아지고 있는것 같다.

6. 接種의 方法

6-1 粒 度

添加條件과 熔湯量에 따라서 約 0.2 mm 로부터 3 mm 사이가 普通인데, 8 mm 程度까지 使用되고 있다.

6 메쉬로부터 140 메쉬 사이에서 한 實驗에서는 大粒인 경우가 有效하였다.

이것은 大端히 가는(細) 接種劑의 경우, 可成酸化에서 없어지기 때문이라고 생각된다.

6-2 接種溫度

적어도 1455 ℃의 熔湯이 必要하다고 한다.

調査資料에서는 光高溫計의 읽기로 1340 ~ 1430 ℃ 사이에 걸쳐 있으며, 1380 ℃ 前後가 가장 많고, 補正이 끝난것으로는 1450 ~ 1500 ℃ 로 1480 ℃ 前後가 많았다.

6-3 添加方法

桶에서 添加하든가, 約 1/4 湯이 들어간 레틀에 添加하는 것이 가장 좋다고 한다.

實際로는 桶에서 添加하든가, 熔解爐로부터 레틀에, 또는 前爐로부터 레틀에 湯을 넣을 때 레틀에 加한다.

6-4 接種目的과 接種劑의 添加量

黑鉛化 接種劑의 效果(예를 들면 共晶 線的數)는 約 0.2~0.4 %의 添加까지는 上昇한다.

強度는 一部 特히 0.1~0.3 %의 添加에서 最高가 된다고 하고 있다.

調査資料에 따르면, Fe-Si에서는 0.1~0.5 % (0.3 %가 가장 많다), Ca-Si에서 0.1~0.5 % (0.2 %가 가장 많다), 50 S에서 0.1~0.5 % (0.3 %가 가장 많다)로, 其他 이노큐린에서 0.1~0.4 %, 카로이에서 0.1~0.25 %가 添加되고 있다.

中村에 따르면 一般的인 接種의 方法으로 表3이 주어진다.

表 3 一般的인 接種方法 (中村)

接種의 目的	熔湯의 性質	接種劑의 種類 및 量 (%)	注意事項
薄肉部의 蝕化防止	酸化되어 있는 경우	Fe-Si 또는 Ca-Si 0.1~0.2	C, Si가 낮고 白銑化傾向이 클 때에는 Fe-Si의 量을 0.4% 정도 增加한다. (強度는 약간 낮음)
	C, Si가 낮은 경우	Fe-Si 0.1~0.2	
強度의 改善	白鑄鐵	Ca-Si 또는 高 Al Fe-Si 0.2~0.4	過剩接種이 되지 않도록 注意한다. 接種量이 많으면 強度는 逆으로 低下한다.
	灰鑄鐵	Ca-Si 0.2~0.3	
	酸化되어 있는 경우	Ca-Si 0.2~0.4	接種後 15分 以內에 鑄込한다.
材質의 均一化		Ca-Si 0.1~0.2	
페라이트 析出의 阻止	C, Si가 높은 경우	Si-Zr, Fe-Cr	
	두꺼운 부분의 페라이트화	Ca-Si*	

* 酸化熔湯等の 特殊한 場合

6-5 接種後 주입까지의 時間

前述한바와 같이 接種의 効果는 維持時間과 함께 減少하여, 20~30分에서 無處理의 狀態로 돌아가든가, 低下한다.

따라서 接種後 될수록 빨리 鑄込할 必要가 있으며, 늦어도 20分以內에 鑄込을 끝내도록 한다.

但, 大物로 아주 長時間을 必要로 하는 경우에는 接種劑를 넉넉하게 添加한다.

7. 接種效果의 判定法

다른 製造條件(配合, 熔解等)이 同一한 경우, 가장 迅速한 方法은 胛기形 試驗片에 依한 蝕 試驗이다.

그런데 正確하고 가장 信賴가 되는 試驗法은 共晶矽의 測定이다.

調査資料에 따르면 各社 어디든 蝕 試驗法을 採用하고 있고, 熱分析法(CE메타等)과의 併用도 보여진다.

또, 蝕 試驗法은 強制 蝕 試驗法과 胛기形 試驗法으로 나뉘어지고, 前者의 경우가 많았다.

7-1 強制 蝕 試驗法 (板 蝕 試驗法)

本 法은 ASTM 및 日本鑄物協會等에서 採用되고 있는데, 胛기形과 달라서 試驗片의 두께는 各 各 一定하고 一端을 蝕板에 接觸시켜서 그의 急冷端부터의 蝕 두께를 測定해서 熔湯의 性質을 判定한다.

胛기形에 比較해서 一般으로 鑄型이 작고, 冷却速度가 빠르므로, 結果를 보다 迅速히 알 수가 있다.

蝕板에는 鑄鐵, 鋼, 銅, 黑鉛等이 使用되는데, 蝕板의 溫度가 250℃以上으로 올라가지 않도록, 특히 되풀이 使用할 때 注意하지 않으면 안된다.

試驗片은 油砂型, 矽型, CO₂型等으로 4~5 個를 한 상자로 하는 것이 便利한데, 이 경우, 各 各의 사이를 적어도 試驗片의 두께의 2.5倍以上 떨어져도록 함이 要望된다.

그림 7은 一般으로 쓰여지고 있는 強制 蝕 試驗片의 모양 및 蝕 두께의 測定部를 나타낸다.

또, 그림中의 各部의 치수에 對해서, 表 4에 NIK法에 指定된 치수, 表 5에 알맞는 蝕 두께를 나타냈다.

表 6은 調査資料에 依한 各社의 試驗片의 치수 및 使用鑄型等을 나타내고 있다.

또, 各社의 接種效果는 判定基準은 表 7과 같다.

其他 A社에서는 比較的 蝕의 發生이 쉬운 製品(GC 20程度)에 對해서, 蝕 두께와 引張強度 및 蝕 두께와 CE 값의 概略의 傾向을 把握

하고 있다.

또, 元來의 熔湯의 鋳 깊이로부터 表8과 같은 3段階의 接種量의 作業標準을 定하고 있다.

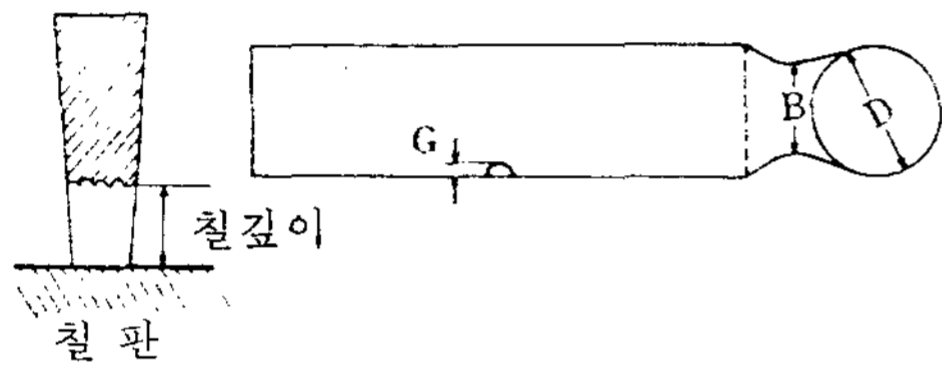
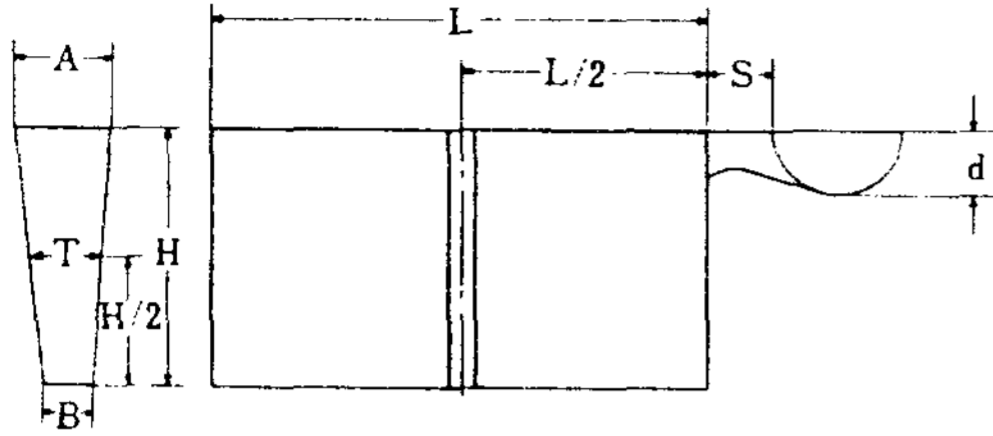


그림 7 強制 鋳 試驗片

表 4 NIK法에 따른 模型 치수

番号	A	B	H	L	D	d	G
C1	6.0	3.0	30.0	65.0	18.0	12.5	0.8
C2	8.5	5.0	37.5	75.0	22.0	12.5	0.8
C3	11.0	8.0	45.0	85.0	22.0	12.5	1.3
C4	15.5	12.0	50.0	100.0	25.0	15.0	1.3
C5	20.0	16.5	65.0	125.0	25.0	15.0	1.5

表 5 試驗片에 알맞는 鋳 두께 \parallel (mm)

番 号	鋳 깊 이
C1	2~9.5
C2	3~13
C3	4.5~20
C4	6.5~25
C5	8.5~30

表 6 各社의 強制 鋳 試驗法의 치수, 鑄型 및 鋳板

	A	B	H	L	D	d	G	鑄型	鋳 板
A社	44	42	50	103				CO ₂ 型	8mm鋼板
B社	15	10	45	108	22	11	4	CO ₂ 型	210×300 ×14mm 鑄鐵板
C社	10	8	30	120			0	셀 型	20×150 mmφ
D社	ASTM 2C 改良型								

表 7 判定方法 (材質의 鋳 깊이)

	FC 20	FC 25	FC 30	Ni-Mo 鑄鐵	接 種 劑
B社	1~4	3~6	8~12		75% Fe-Si
C社	2~6	2~7	5~16	2~17	50 S (粒狀 3~8mm), OZ 劑 (粉末)
D社		< 7			이노큐린 (粒狀 1~3mm)
		< 7			75% Fe-Si (粒 狀), Ca-Si (3~ 5mm), C粉

表 8 鋳 깊이와 接種量의 作業標準(GC 20)

鋳 깊이 (mm)	接種量(50 S) (%)
< 4	0.2~0.3
4~10	0.3~0.4
> 10	0.5

7-2 쇄기形 試驗法

이 方法은, NIK法을 처음, 學振法, ASTM法, 미하나이트法等에서 널리 採用하고 있어서, 同一條件에서 同一모양의 쇄기形 試驗片用鑄型에 鑄込하고, 冷却後 試料斷面의 先端으로부터 鋳 깊이, 또는 鋳 部分과 斑銑部分의 境界의 幅等を 測定

해서 熔湯의 性質을 判定하는 方法이다.

鑄型은 主로 CO₂ 型, 生型 및 油砂型에서 몇 個를 한상자에 넣는 경우가 많다.

미하나이트鑄鐵에서 接種效果를 充分히 얻기 爲해서는 接種後의 最大 錐部의 幅 L, L'를 測定해서 $L/L' > 2$ 가 希望된다고 하고 있다.

또, 斑銑部의 깊이, 周辺部와 中心部의 錐 깊이의 變化等으로부터 熔湯의 C, Si의 比率이나 酸化의 程度를 判定할 때도 있다.

그림 8은 쇄기型의 断面모양으로, 表 9 및 10은 NIK法 및 ASTM法の 各部 尺寸이다.

表 11에 各社의 쇄기型 試驗片의 尺寸의 例를 나타내고 있고, 各各의 判定方法을 列挙하면 다음과 같이 된다.

即, E社는 接種前後의 錐部의 最大幅을 測定하고, 또 初晶溫度를 체크하고 있다.

그의 基準은 表 12와 같다.

G社는 錐 試驗만으로는 散布가 크므로 CE 메타를 隨時 併用하고 있는데, CE 메타를 主로해서, 錐 試驗을 이에 따르는 方向으로 하고 있다.

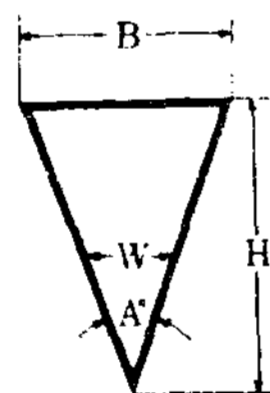


그림 8 쇄기型 試驗片의 断面모양

表 9 NIK法에 依한 쇄기型 錐 試驗用 模型의 尺寸

番 号	B	H	길이
W1	5.0	25.0	100.0
W2	10.0	30.0	100.0
W3	20.0	37.5	100.0
W4	25.0	45.0	125.0
W5	30.0	50.0	150.0

表 10 ASTM法에 依한 쇄기型 試驗用 模型의 尺寸

	B	H	A	길이
W1	0.20	1.00	11.5°	4
W2	0.40	1.25	18°	4
W3	0.75	1.50	28°	4
W4	1.25	4.00	34.5°	6

注) 그림 8 中の W는 B/2 以上이 되어서는 안된다.

表 11 各社의 쇄기型 試驗片의 例

	B (mm)	H (mm)	A (deg)	길이 (mm)	鑄型	備 考
E社	16	77	18	50	油砂型	CE 메타를 併用
F社	20	40		70	生型	成分調整에 CE 메타를 併用
	12	25		70	生型	
G社					CO ₂ 型	CE 메타를 主로 한다

表 12 接種效果의 判定基準 (E社)

	元湯 W (mm)	接種後 W (mm)	初晶溫度 [F(C)]	接種劑
GC 30	8	3~3.5	2220±10 (1216±5)	Ca-Si (2mm)
GC 25	4	1.5~2.5	2190±10 (1199±5)	50 S (3~8mm)
GC 20	2	<1.5	2150±10 (1177±5)	50 S (3~8mm)

8. 接種의 理論

接種에 依해서 얻어지는 前述한바의 여러 가지 效果를 說明하기 爲해서 核說, 脫酸說, 脫硫說 및

局部的濃化說 등이 提案되고 있다.

井川은 鑄鐵의 接種機構를 다음과 같이 말하고 있다.

(1) 接種劑中에 含有되어 있는 元素와 熔湯과의 反應에 依해서 生成되는 核物質 (Ca, Al 등의 炭化物等)

(2) 接種劑中에 含有되는 Si의 熔湯中에의 녹아 들어감의 過程에서 形成되는 C의 高活量微小 範圍의 分散

(3) 接種에 依해서 일어나는 脫酸, 脫硫 등의 熔湯性狀變化가 共晶セル成長에 미치는 影響과 그의 結果 얻어지는 黑鉛組織 및 基地組織의 變化

(4) 이를 諸機構에 依해서 가져오는 組織變化에 따른 機械的性質의 向上

이들中, (1)의 機構에 對해서 B, Lux는 다음과 같이 생각한다.

即, 黑鉛이 均質核生成하기 爲해서는 그림 9의 上圖처럼 同時에 6個의 C原子가 모이는데, 下圖처럼 段階的으로 모여 6角의 黑鉛環을 形成할 必要가 있는데, 이와같은 頻度는 아주 적다.

이 때문에 異質核에 依한 核生成을 생각 하지 않으면 안된다.

Lux는 異質核으로서 炭化物을 생각하였다.

即, 周期律表의 I~V族의 元素를 純 Fe-C, Fe-C-Si系 熔湯에 接種해서 共晶セル 및 過冷度를 調査하여, I~III族의 元素가 共晶セル을 가늘게 하고, 過冷度를 減少시키고, 그의 代表的인 것이 Ca, Al인 것을 알았다.

또, 表 13에 依해 共晶セル 數를 增加시키는데 效果가 있는 元素는 炭化物鹽 (Salt like carbide)를 形成하고, 共晶セル 數에 影響이 적은 IV 및 V族의 元素는 金屬的 炭化物 (metallic carbide)를 形成함을 알수 있다.

이제 炭化物鹽의 例로서 CaC_2 를 取한다.

純 CaC_2 는 常溫에서는 비틀어진 NaCl型 格子인데, 高溫에서는 비틀림이 없어져, 面心立方의 NaCl型 格子가 된다.

C_2^{2-} 는 Cl의 位置에 있고, Ca는 Na의 位置에 들어간다.

C-C의 距離는 $1.4 \pm 0.2 \text{ \AA}$ 으로 黑鉛의 底面에 있어서의 C-C의 距離 1.42 \AA 과 잘 一致하고 있다.

表 13 주기율표에 따라서 整理한 各種 炭化物

炭 化 物 鹽			金 屬 炭 化 物	
I	II	III	IV	V
$Li_2C_2, LiHC_2$	Be_2C			
$Na_2C_2, NaHC_2$	$MgC_2?, Mg_2C_3$	Al_4C_3		
K_2C_2, KHC_2	CaC_2	$(Sc_4C_3?)$	TiC	VC, $(V_4C_3?)$
$Rb_2C_2, RbHC_2$	SrC_2	YC_2	ZrC	NbC
$Cs_2C_2, CsHC_2$	BaC_2	LaC_2^*	HfC	TaC, Ta_2C
Fr(?)	Ra(?)	Ac(?)**		

* CeC_2 , MeC_2 Me = 希土類元素 ** ThC_2 , UC_2 , ThC, UC

□印은 CaC_2 와 같은 C_2^{2-} 이온을 갖인 炭化物

또, 高溫에서 C_2^{2-} 이온은 그의 重力中心의 주위에서 回轉運動을 한다.

黑鉛晶出의 第一段階는 核表面에서의 黑鉛環의 形成이다.

CaC_2 格子는 C_2^{2-} 이온은 自由로히 回轉되고 있어서, C-C距離의 黑鉛과의 類似로부터 黑鉛環의 一辺으로 變하는 것은 極히 쉽다고 생각된다.

거기에 熔湯中으로부터 C_2 分子가 加해져 多數의 黑鉛環이 形成된다.

C_2^{2-} 이온이 相互의 距離는 4.19 \AA 으로, 連續하는 黑鉛環의 對應 C-C距離가 4.26 \AA 인 것도 有利하게 作用하고 있다고 생각된다.

또, 黑鉛의 底面間의 距離는 $Co(\text{黑鉛})/2 = 3.36 \text{ \AA}$ 으로, CaC_2 格子의 (111)面間의 距離가 $a_0(CaC_2)/3 \times \sqrt{3} = 3.41 \text{ \AA}$ 으로, C軸에 있어서도 두個의 格子는 잘 一致하고 있어 黑鉛의 成長에 有利하다.

要는, Lux에 따르면 C_2 分子를 그 中에 含有되어 있는 異質核에 依한 黑鉛의 形成이라고 생각하였다.

또, CaC_2 의 生成自由에너지의 變化는 CaO, CaS 보다 적으나, 接種時의 平衡에 達하지 않은 狀態에서는 CaC_2 는 生成되는 것이라고 생각하고 있다.

다음에 (2)의 Si의 운동에 대해서, F. Hurum은 接種劑로서의 Fe-Si의 용해를 顯微鏡的 觀察에 依해서 그림 11과 같이 생각하였다.

即, 熔湯中에 添加된 固體의 Fe-Si의 表面에 Fe가 擴散해서, ε相을 形成한다.

또한, Fe의 擴散에 따라서 시리코·페라이트, 시리코·오스테나이트의 形成이 進行되어, 이 Fe의 合金化에 따라서 周圍의 熔湯中에서의 C의 濃化가 일어난다, C도 또 시리코·오스테나이트中에 擴散한다.

이 結果 시리코·오스테나이트中에 Si 炭化物의 析出이 일어난다, 周圍의 熔湯으로부터의 C의 擴散과 함께 그 數를 增加한다.

이와같이 해서 接種劑의 最外周部의 시리코·오스테나이트가 熔湯中에 溶해되면, 그 内部에 생긴 Si 炭化物이 熔湯中에 散布하여 이것이 核이 된다고 한다.

井川은 이 微細粒子가 熔湯中에 均一하게 分散함에 依하여 各各 周圍에 Si과 C가 豊富한 微細領域을 形成하여, 或 그 附近에 有効核이 存在할때, 黑鉛의 晶出을 促進한다고 생각함이 妥當하다고 말하고 있다.

其他 (3)은 여러가지의 實驗結果로 肯定되고 있고, (4)는 接種의 理論과는 關係가 없다.

以上이 有力한 接種의 理論인데, 꼭 接種에 어떤 效果를 網羅하는것은 아니고, 未解決의 問題도 있다.

黑鉛이나 銑鐵의 接種效果는 熔解過程에서의 C의 微細·구름形成에 따른 均質核生成이라고 생각된다.

또, 草川等의 實驗等으로부터 接種劑中の 非金屬介在物의 作用도 無視할 수 없다고 생각된다.

9. 其他의 接種 過程

이제까지 주로 灰鑄鐵의 接種에 대해서 말하여 왔으나, 球狀黑鉛鑄鐵에서도 熔湯의 核生成을 增加시키기 爲해서 接種을 한다.

이 경우, Fe-Si 接種劑와 함께 Al이나 Ca를 添加하더라도 接種의 어떤 改良도 얻지 못한다.

球狀黑鉛鑄鐵에서는 球狀化劑와 Fe-Si와의 添加의 順序는 대단히 重要한데, 球狀化 處理前의 添加는 接種效果가 없고, 處理後의 添加가 가장 效果的이다.

同時添加는 中間의 效果를 갖고 있다.

球狀黑鉛鑄鐵에서의 接種은 過冷을 減少하고, 炭化物의 生成을 防止한다.

眞空熔解한 鑄鐵은 少量의 Fe-Si, Ca 또는 Ca-Si의 添加에 依해서 部分的 또는 完全히 球狀組織이 얻어지는데, 이 경우에는 Ca-Si 쪽이 Fe-Si 보다 效果的이다.

白鑄鐵에 Fe-Si, Ca-Si 또는 Ca를 加하면 黑鉛化가 助長된다.

Fe-Si로 接種하면 全 Si量으로 變化가 나타나지 않더라도, 白鑄鐵의 可鍛化 때문에 亞닐링 時間이 짧아진다.

液狀의 接種劑를 鑄鐵에 加하는 試圖로 하였다.

液狀의 接種劑로서는 Fe-Si, 鋼 및 低C 鑄鐵이 있고, 可成의 接種效果가 얻어진다.

凝固하는 融液의 核生成은 音波, 超音波, 回轉 또는 攪拌에 따라 效果的으로 增加한다.

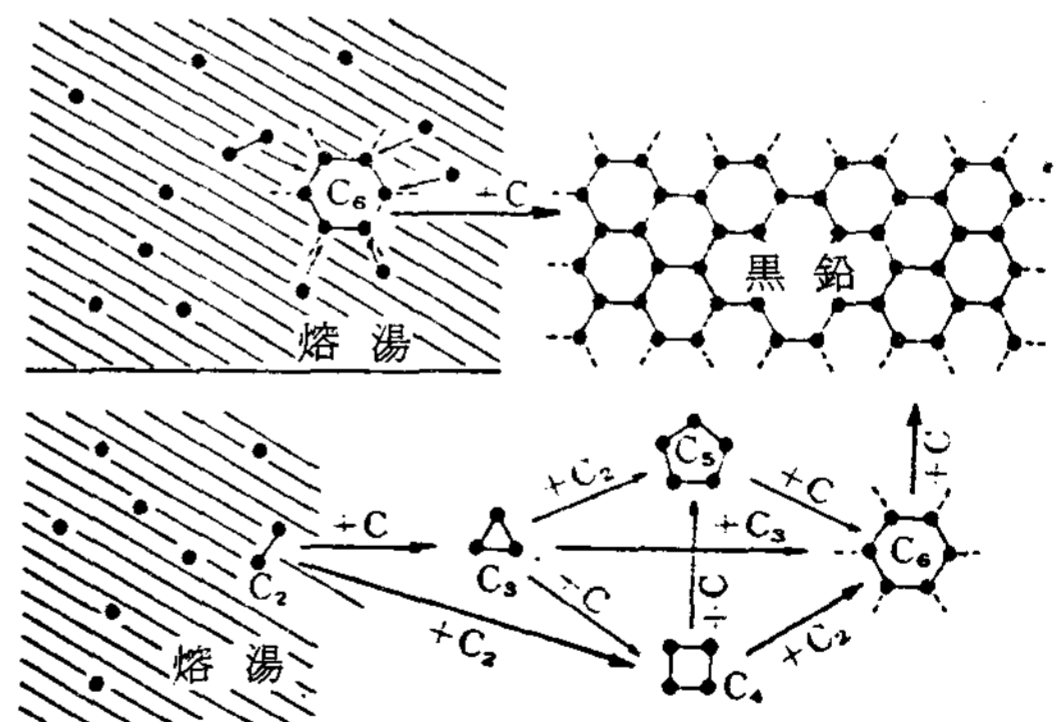


그림 9 黑鉛의 均質核生成 -C 原子의 黑鉛環으로의 生長

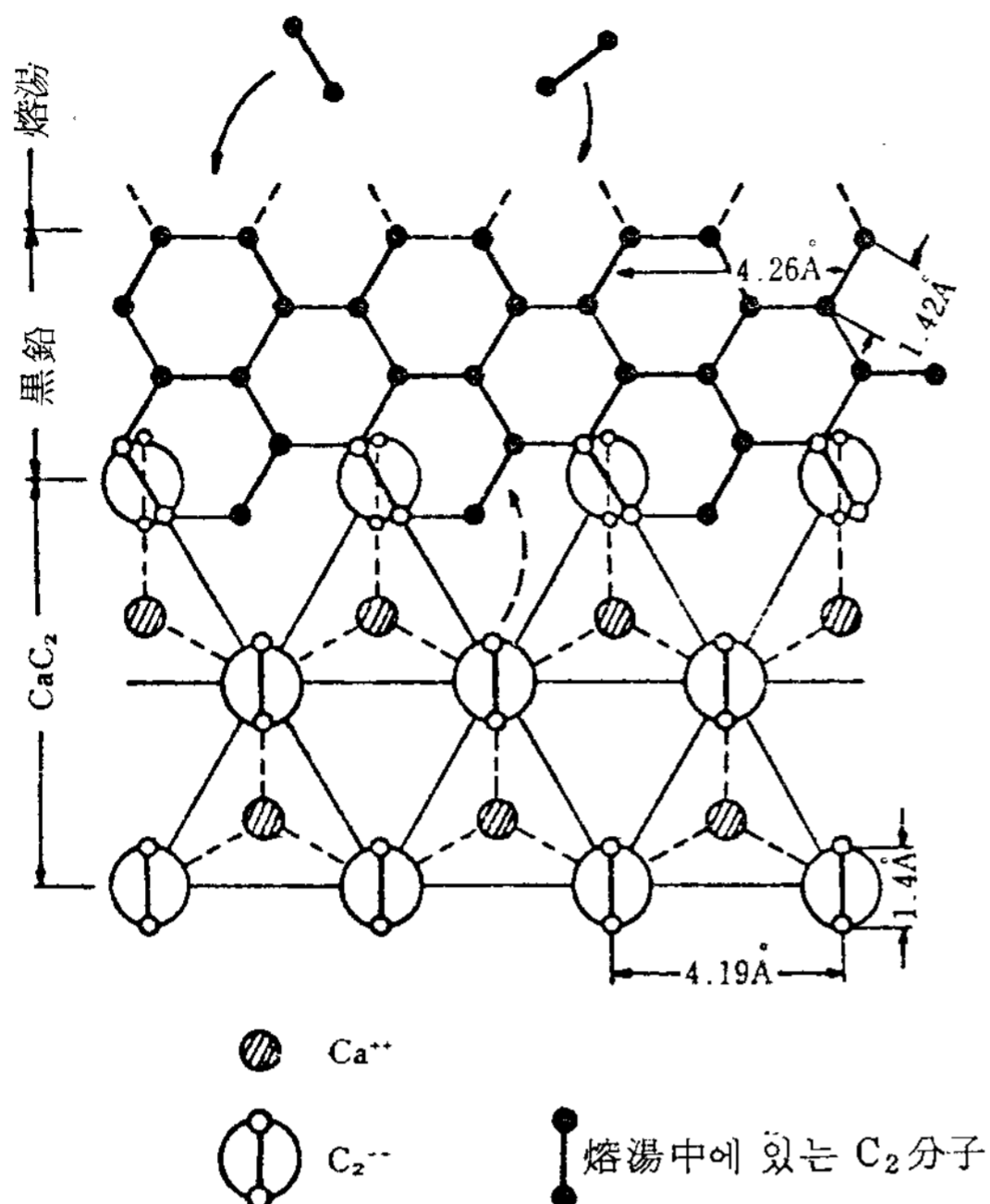


그림 10 CaC₂의 (111) 면에 있어서의 C₂의析出에 따른 黑鉛底面의 形成

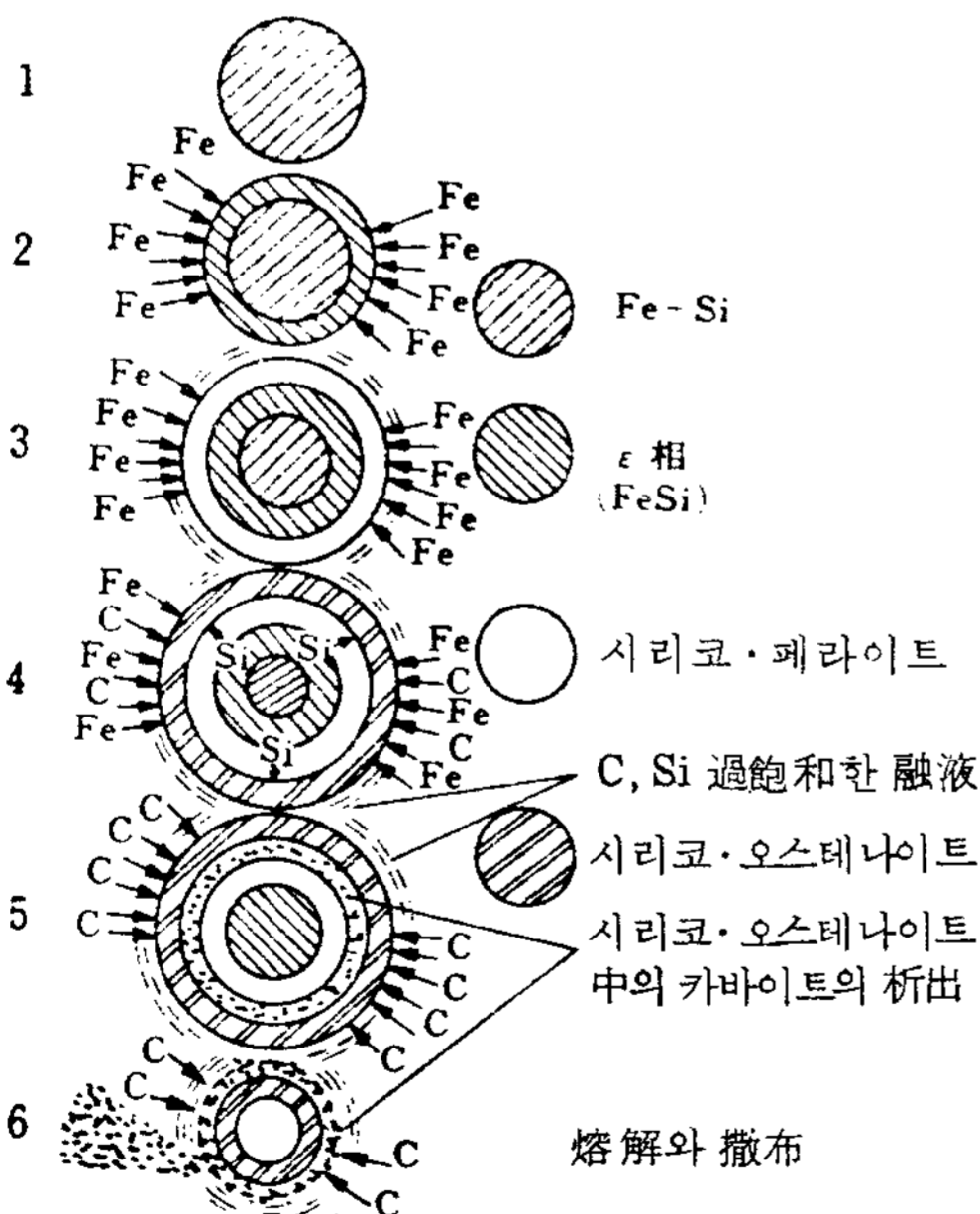


그림 11 鑄鐵熔湯中에 接種된 Fe-Si 合金에 있어서의 拡散段階

文 獻

- 1) H.D. Merchant : "Recent Research on Cast Iron" (1968) (Gordon & Breach)
- 2) 網谷 : 鑄物, 27 (1955), 2, 81
- 3) 浜住 : 鑄物, 27 (1955), 1, 35
- 4) 日本鑄物協會東海支部鑄鐵硏究會 : 「鑄鐵의 接種 및 黑鉛化」 (1971)
- 5) 中村 : 「鑄鐵熔湯과 그의 改良處理」 講習會 教材 (1975) (日本鑄物協會 關西支部)
- 6) 日本鑄物協會鑄鐵熔解部會 : 鑄物, 41 (1969) 12, 1003
- 7) 日本鑄物協會 : 「큐포라 핸드북」 (1957) (丸善)
- 8) 井川 : 日本金屬學會會報, 3 (1964), 9, 477
- 9) F. Hurum : Trans AFS, 65 (1957), 66
- 10) 草川, 藥師寺, 森村 : 學振 第24委員會鑄鐵分科會 資料 No. 39 (1975)

付 記

近着의 Giesserei誌 (62 (1975), 692)에 따르면, 結晶狀의 SiO₂가 異質核이 된다고 한다. 即, [O]로 過飽和한 熔湯에 Fe-Si로 接種하면, 部分的으로 [Si]로 過飽和가 되어, 또, 酸素를 含有하는 것으로 接種하면 凝固時 部分的으로 [O]의 過飽和가 생겨, 結晶狀의 SiO₂가 된다.

이 SiO₂는 結晶表面을 갖는 限 有效하여, 스라그化 되면 效果가 없어진다.

(資料 : 鑄物 Note No 27 (3) 1976 東邦코오 크스 販賣(株) 發行)