

## CV 黑鉛鑄鐵의 製造에 관한 基礎研究

朴 興 日\* · 金 明 鎬

金屬 및 材料工學科

(1984. 4. 30 접수)

## 〈要 約〉

본 연구에서는 구상흑연주철용 용탕보다 S 및 Mn의 함량이 다소 높은 灰鑄鐵用 熔湯(GC-10規格)을 사용하여 黑鉛球狀化劑의 少量첨가법에 의한 CV 黑鉛鑄鐵을 제조하는데 필요한 基礎資料를 얻고자 시도하였다.

특히 본 연구에서는 흑연구상화제의 첨가량에 따른 잔류화합성분의 변화 및 흑연조직의 변화에 관하여 중점적으로 고찰하였다.

그 결과 Mg 回收率은 Fe-Si-Mg 첨가량이 적을수록 높으며, CV 黑鉛組織은 Mg 當量/S의 값에 따라 변화하며, fading 효과는 CV 黑鉛鑄鐵의 경우가 구상흑연주철의 경우보다 매우 완만함을 알 수 있었다.

## A preliminary study on the production of Compacted Vermicular graphite cast iron

Heung-Il Park\* · Myung-Ho Kim

Dept. of Metallurgy and Materials Science

(Received April 30, 1984)

## 〈Abstract〉

A method for the production of Compacted-Vermicular graphite cast iron with GC-10 melt by means of additions of Fe-Si-Mg alloy has been studied.

The variations of both the residual alloying compositions and the structure of as-cast iron with the amount of Fe-Si-Mg additive have been investigated, and following results were obtained; the ratio of residual Mg content in the as-cast iron to the initial amount of additive has been decreased with increasing amount of Fe-Si-Mg additive. The graphite structure of the as-cast iron has been found to vary with the ratio of Mg equivalent/S, and fading phenomena with holding time in Compacted-Vermicular graphite cast iron has been found to occur more slowly than in spheroidal graphite cast iron.

## I. 緒 論

球狀黑鉛과 片狀黑鉛의 중간적인 形態, 즉 구상흑연과 같이 分離·獨立해 있지도 않으며, 또한 편상흑연에 비하여는 흑연형상의 끝이 둥글며 黑鉛幅

에 대한 길이의 비도 적어 종래 ASTM 規格의 III 型에 가까운 흑연형태를 가지는 주철을 Compacted-Vermicular 흑연주철(일명 CV 鑄鐵)이라 한다. 이 주철은 그 특유의 흑연형태 때문에 구상흑연주철 보다는 凝固收縮率이 낮고 鑄造性 및 熱傳導性이 뛰어나며, 편상흑연주철 보다는 引張強度가 높고 약

\* 울산공과대학 재료공학과 대학원

간의 延性을 가지는  $\delta$  -  $\gamma$  共析물과 晶상유연주철의 共析적인 性質을 나타내는 特性이 알려져 최근 發표된 鑄鐵渣材料가 鑄아라고 되므로, 이에 대한 製法, 性質 및 利用에 관한 研究가 활발히 進행되고 있다. <sup>1,2,3,4,5,6,7</sup>

이러한 Compacted-Vermicular 渣材料 중 CV 渣鑄鐵의 製法으로는 (1) 渣材料의 攪拌하고 feeding 時상을 注意하는 방법과, (2) 渣材料와 渣粒자를 充分분해한 鑄용사라고하여 球狀化를 不完全하게 처리하는 방법, 그리고 (3) 熔澆混合法, (4) gas 吹入法 및 (5) 渣材料와 渣粒자의 混雷元素를 適量 配合하여 澆鑄·取鑄하는 것은 CV 渣鑄鐵化處理別을 이하는 方法 등으로 報告되고 있다. <sup>1,2,3,4</sup>

E. R. Evans 博士은 渣材料의 攪拌 時가 되는 上記 (2)의 方法을 利用한 S 含量에 依하여 殘留 Mg의 管理法이 달라지며, 그 결과 目的하는 鑄鐵形狀의 變化幅이 커지므로, 第一한 CV 形鑄를 生成한 渣材料를 渣粒자를 充分한 渣粒자의 攪拌된다고 하였다.

그리고 이 渣材料의 製法에 經濟的으로 CV 渣鑄鐵을 鑄조한 一 例로는 判斷이 있으므로, 본 報告에서는 渣材料의 攪拌 時에 適量의 S 및 Mn의 添加가 조성을 充分하게 制御하는 것이 必要라고 생각하여 渣材料의 攪拌 時에 Fe-Si 및 Fe-Mn의 合金鐵을 添加하고 있다.

이에 따라 본 報告에서는 渣材料의 攪拌 時에 適量의 S 및 Mn의 添加가 조성을 充分하게 制御하는 것이 必要라고 생각하여 渣材料의 攪拌 時에 Fe-Si 및 Fe-Mn의 合金鐵을 添加하고 있다.

이요라고를 실행하였다.

II. 實驗方法

Mg을 添加한 渣粒자材料가 灰鑄鐵(GC-10 規格)의 渣材料로써 鑄아라고로 澆鑄하고 合金鐵을 添加하고(Table. 1, Table. 2), 高의 攪拌時에 攪拌(攪拌機, 50rev, 1min, 25kgs)의 Table. 3과 같이 攪拌하고 渣粒자에서 溶解하였다. 鑄鐵의 鑄造狀態에 關한지된 目的으로 渣粒자의 渣材料를 渣粒자에서 攪拌한 渣粒자(Fe-Si 및 Fe-Mn의 合金鐵을 添加하고 渣粒자에서 攪拌한 渣粒자)를 澆鑄하였다. 이에 關한 渣粒자의 渣粒자(渣粒자)도 報告되어 있다.

湯温이 (500~1550°C)에 達 後까지 攪拌한 渣粒자, 攪拌時에 攪拌한 渣粒자(渣粒자)의 Fig. 1과 같은 open ladle法으로 渣粒자(渣粒자)를 澆鑄하였다.

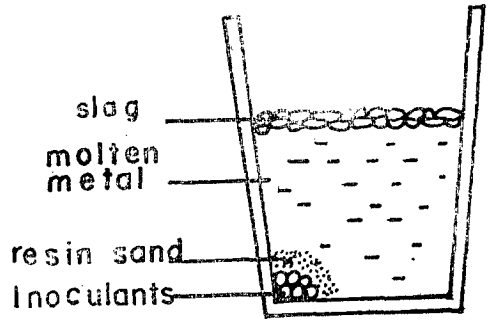


Fig. 1 無殼球狀化劑 澆鑄 ladle의 說明圖

Table. 1 原料鐵 및 合金鐵의 成分

(%)	C	Si	Mn	P	S	Remark
pig iron	3.4~3.8	1.20~1.80	0.80~0.90	0.05Max	0.50Max	POSCO
steel scrap	0.13~0.18	0.15~0.35	0.30~0.60	0.03Max	0.025Max	
Fe-Si		75.0				
Fe-Mn			35.0			

Table. 2 實驗熔湯 및 灰鑄鐵(GC-10規格)의 成分比較

(%)	C	Si	Mn	P	S	Remark
molten metal	3.87	1.60	0.71	0.07	0.014	
GC-10 cast iron	3.50~3.80	2.00~2.50	0.40~0.80	0.20Max	0.10Max	

Table. 3 實驗熔湯의 裝入基準

materials	Wt. (kg)	Remark
pig iron	23.4	POSCO
steel scrap	1.5	
Fe-Si	0.14	furnace $\frac{1}{2}$ , ladle $\frac{1}{2}$
Fe-Mn	0.11	furnace
Inoculant	0.5—4.0(%)	Wt. (%) of molten metal

Table. 4 Fe-Si-Mg alloy 의 化學成分

(%)	Fe	Si	Mg	Ca	RE	Remark
Inoculant	Bal.	45.0	4.5	2.0	2.0	OGRC-4.5

黑鉛球狀化劑를 Fig.1에 나타낸 바와 같이 resin sand 로서 約 1cm 두께로 피복시켜 定置한 것은 ladle 에 熔湯이 收渡될 때 黑鉛球狀化劑가 收湯 즉시 熔湯과 反應하여 생길 수 있는 酸化損失을 最大 한으로 억제하기 위해서 였으며, 또 미리 豫熱된 ladle 의 熱에 의하여 resin sand 는 용이하게 딱딱한 shell 작을 만들게 때문이다.

全熔湯이 ladle 에 收渡된 後 湯面을 flux 로 덮고, 10mm  $\phi$  의 銅棒으로 ladle 바닥에 있는 resin sand 의 shell 작을 파괴시키고 동시 3~4回 저어서 接種反應을 促進시켰다.

Fe-Si 의 後接種은 위의 작업이 끝난 直後, 全體 첨가량의 2분의 1, 즉 爐內에 첨가하고 남은 殘量을 投入시켰다.

CV 黑鉛化處理를 위한 適量의 黑鉛球狀化劑 첨가량을 관찰하기 위하여 黑鉛球狀化劑를 處理熔湯에 대한 重量比率로 各各 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 및

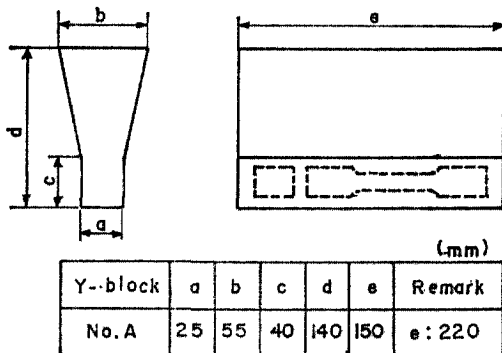


Fig. 2 Y-block 의 形狀 및 寸수

4.0%씩 첨가하였다.

湯溫이 1350°C 가 되었을 때 25mm 規格의 Y-block(Fg.2)를 鑄造하였다. 이때 使用된 鑄型은 生型砂型이며, 黑鉛球狀化劑의 fading 效果를 관찰하기 위해서 同一한 裝入成分의 熔湯을 接種이 끝난 後 各各 3, 5 및 7分間 holding 하여 Y-block 을 鑄造하였다.

化學成分은 chill 型 試片으로 金型에 鑄造하여 分光分析裝置에서 分析하였고, 黑鉛組織 및 機械的 性質을 관찰하기 위한 顯微鏡組織試片, 引張試片(Fig. 3) 및 충격試片(Fig.4)은 各各 Fig.2의 Y-block 에서 採取 加工하여, 引張試驗(日, Simatzu 社, 30 Ton), 충격시험(西獨, Sank 社, 150Joule), 黑鉛組織의 顯微鏡 관찰(西獨, Versament 社)을 하였다.

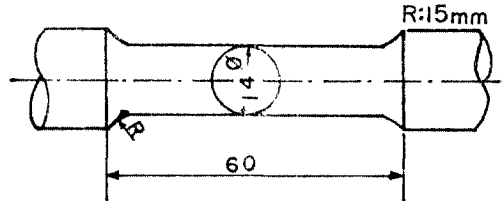


Fig. 3 引張試片의 形狀 및 寸수(KSB 0801 4號)

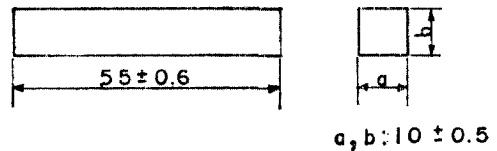


Fig. 4 衝擊試片의 形狀 및 寸수(Unnotched)

### Ⅲ. 實驗結果 및 考察

#### 1. 化學成分의 變化

Fig.5는 黑鉛球狀化劑의 첨가량에 따른 化學成分의 變化를 보여주며, Fig.6은 黑鉛球狀化劑의 첨가량과 Si, Mg 의 回收率 關係를 보여준다.

Si 의 量은 黑鉛球狀化劑의 첨가량에 比例하여 增加하고 있으며 그 增加推移는 黑鉛球狀化劑의 첨가량이 1.5%까지 첨가되었을 때 約 40%의 回收率을 나타내었으나, 2.0%에서는 60%, 3.0%에서는 80%, 4.0%에서는 거의 100% 回收率을 보였다.

P 및 Mn 의 成分變化는 거의 없으나, S 의 量은 黑鉛球狀化劑의 첨가량이 增加할수록 急減하였

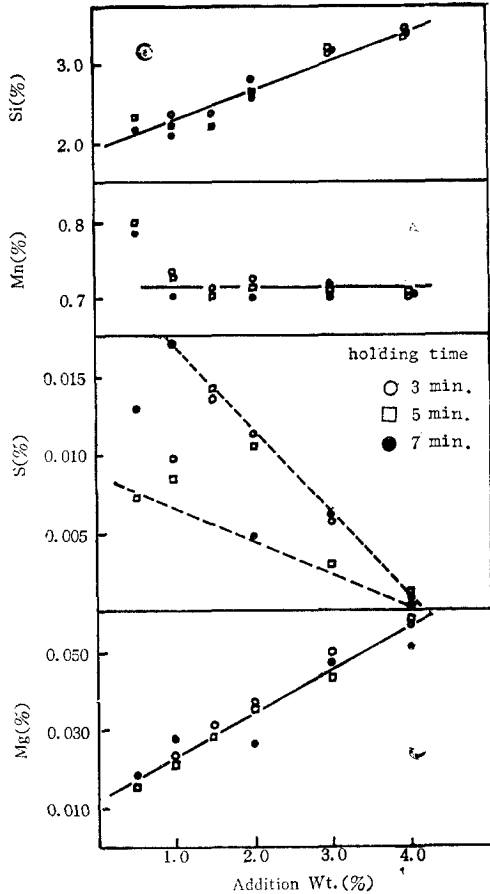


Fig. 5 黑鉛球狀化劑 첨가량에 따른 化學成分의 變化

다. 특히 黑鉛球狀化劑가 4.0% 첨가되었을 경우 元湯에 含有되어 있는 S가 거의 완전히 제거되었다.

黑鉛球狀化劑의 첨가량과 殘留 Mg 量과의 關係를 고찰하여 보면 Fig. 5에서 보는 바와 같이 黑鉛球狀化劑의 첨가량 增加에 따라 殘留 Mg 量은 比例하여 增加함은 自明하다. 그러나 殘留 Mg의 回收率은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 黑鉛球狀化劑를 0.5% 첨가하였을 경우 84%, 1.0% 첨가한 경우는 63%, 1.5%에서 50%, 2.0% 첨가한 경우는 40%로서, 黑鉛球狀化劑의 첨가량이 增加할수록 減少하는 傾向을 나타내었다. 이러한 현상이 일어나는 理由에 관하여 고찰하여 보면 다음과 같다.

본 實驗에서 使用된 黑鉛球狀化劑는 Fe-Si-Mg 系로서 黑鉛化의 促進元素인 Si 및 球狀化 促進元

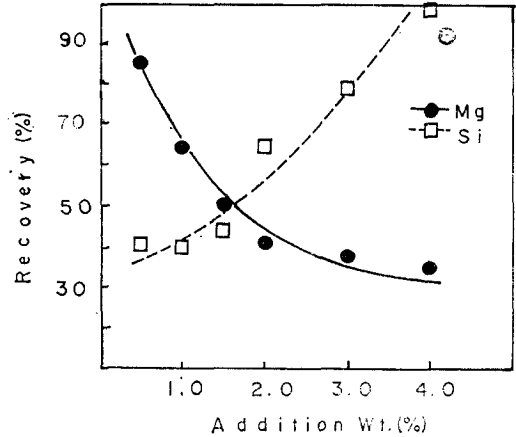


Fig. 6 黑鉛球狀化劑 첨가량과 Si 및 Mg의 回收率 關係

素인 Mg이 熔湯中の O 및 S와 結合하여 일어날 수 있는 反應들은 다음과 같이 大別할 수 있다.<sup>22)</sup>

- (1)  $2Mg + O_2 = 2MgO$
- (2)  $2Mg + S_2 = 2MgS$
- (3)  $Si + O_2 = SiO_2$
- (4)  $Si + S_2 = SiS_2$

上記 反應에 의한 化合物의 生成거동은 黑鉛球狀化劑의 主成分들이 熔湯內에서 어떠한 狀態로 존재하는가에 따라 달라질 것이다.

Mg은 熔湯中에 存在할 때, 黑鉛球狀化處理時 平衡下에서는 300 ppm 까지 충분히 용해되며 통상의 黑鉛球狀化 處理와 같은 非平衡條件下에서는 氣泡 狀態로 존재한다고 보고되고 있다.<sup>(23)(24)(25)</sup> 따라서 Fig. 6에서 흑연구상화제를 0.5% 첨가하였을 때, 上記의 (1)식이 (3)식보다, (2)식이 (4)식보다 일어나기 쉬움에도 불구하고 Mg의 回收率이 높고 Si의 回收率은 낮은 것은, Fe-Si-Mg系 黑鉛球狀化劑가 0.5% 첨가될 때 그 중에 함유되어 있는 Mg의 量은 全體 處理熔湯 및 그 중에 함유된 Si의 量에 비하면 아주 미량으로서 용탕중에서의 Mg 증기 압도 매우 낮으므로, Mg과 O 및 S와의 반응은 Si와 O 및 S와의 반응에 비하여 매우 소규모로 일어날 것이다. 그 결과 Fig. 6에서 보는 바와 같이 低 Mg일수록 높은 Mg의 回收率이 안정하게 얻어진 것으로 생각된다.

## 2. 黑鉛組織의 變化

Fig. 7은 黑鉛球狀化劑를 處理熔湯에 대한 重量比

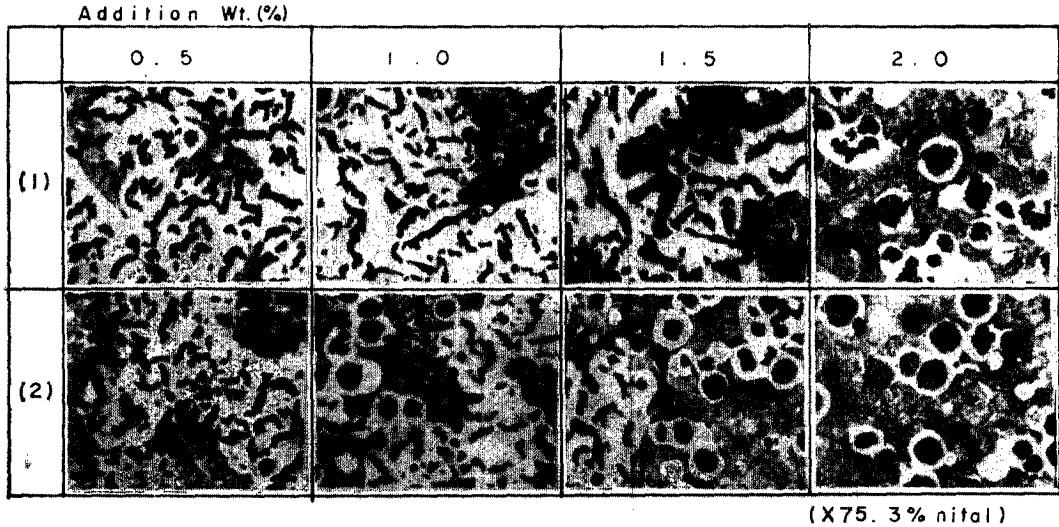


Fig.7 黑鉛球狀化劑 첨가량 및 冷却速度에 따른 黑鉛組織의 變化

率로 各各 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0%씩 첨가하고 holding time 을 5分으로 하였을 때 나타난 黑鉛組織의 變化를 보여 준다. (1)은 Fig.2의 Y-block 상단부에서, (2)는 引張試片部에서 採取한 組織試片의 黑鉛組織이다. 이 黑鉛組織을 관찰하여 보면 黑鉛球狀化劑의 첨가량이 減少할수록 CV 黑鉛化率은 크게 增加하고 있으며, 또 같은 量의 黑鉛狀化劑가 첨가되었을 경우라도 試片採取의 位置에 따라서 黑鉛形態 및 CV 黑鉛化率에 큰 差異가 있음을 알 수 있다. 이는 黑鉛球狀化劑로 Fe-Si-Mg 系를 使用할 경우 殘留 Mg 의 量 및 冷却速度에 따라 黑鉛組織의 形狀은 큰 變化를 보인다는 M. J. Lalich 의 報告<sup>1)</sup>와 잘 일치됨을 볼 수 있다. 또 基地 組織의 pearlite 中에 炭化物이 析出되어 點在하고 있음은 본 實驗에 使用된 熔湯의 炭素當量( $CE=C\%+Si/3\%$ )이 4.4~4.8로서 매우 높은데 기인한 것으로 보여진다.

Fig.8은 黑鉛球狀化劑를 各各 0.5 및 1.0% 첨가한 후, holding time 을 3, 5 및 7分으로 하였을 때의 黑鉛組織의 變化를 나타낸다. 이 때의 fading 효과는 흑연구상화제를 1.0% 첨가하였을 경우가 0.5% 첨가하였을 경우보다 더욱 큼을 보여 준다. 또한 흑연구상화제를 0.5% 첨가한 경우에는 holding time 에 따른 黑鉛組織의 變化, 즉 잔류 Mg

량의 fading 速度가 완만하게 진행된다고 볼 수도 있다. 따라서 유지시간에 따른 fading 효과는 CV 黑鉛鑄鐵의 경우가 球狀黑鉛鑄鐵의 경우보다 매우 완만하다고 할 수 있으며, 이는 기존의 보고들<sup>7),14)</sup>과 잘 일치한다.

Table.5와 Fig.9는 黑鉛球狀化劑의 첨가량에 따른 Mg 當量( $Mg-Equivalent(\%) = Mg(\%) - 3/4 S(\%)$ )<sup>26)</sup>의 變化를 보여주며, 이때 즉 Fe-Si-Mg 系를 첨가하였을 경우 殘留 Mg 의 量은 熔湯中의 S 量 뿐만 아니라 holding time 에도 영향이 있음을 보여 준다.

따라서 CV 黑鉛組織은 黑鉛球狀化劑의 첨가량과 holding time 에 의하여 調整된 適定의 殘留 Mg 當量範圍 내에서 形成될 것이라는 가정하에, 이러한 適定의 Mg 當量範圍를 구하고자 본 實驗에서 얻어진 黑鉛組織을 Fig.10에 黑鉛球狀化劑의 첨가량 및 holding time 을 무시하고 Mg 當量順으로 배열하여 보았으며, Fig.11에는 Mg 當量/S(%)값에 따른 黑鉛組織의 變化를 圖示하였다. 이 경우 Mg 當량이 0.0215 以下(黑鉛球狀化劑 첨가량이 1.5% 以下) 및 Mg 當量/S(%)의 값이 2.0 以下가 되었을 때 CV 黑鉛組織이 나타나기 시작하였으며, 특히 Mg 當량이 0.0157 以下일 때 良好한 CV 黑鉛組織을 보였다.

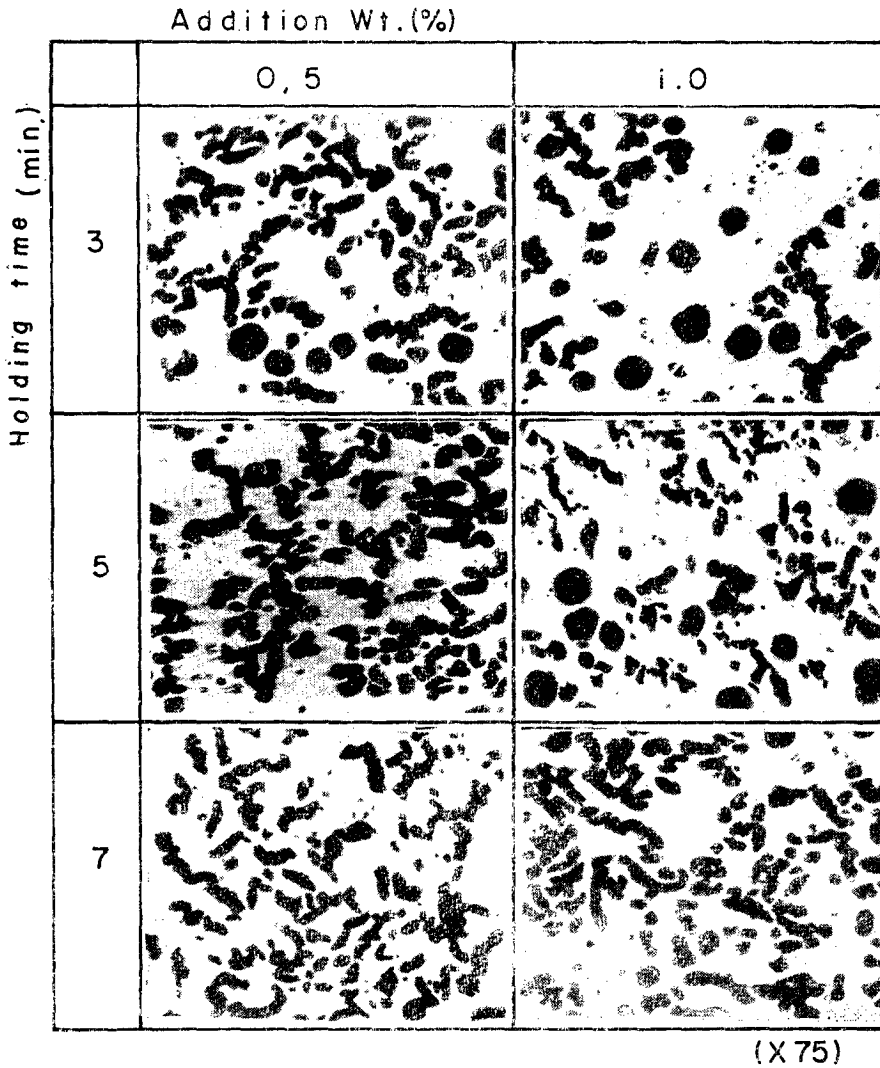


Fig. 8 黑鉛球狀化劑 첨가량과 holding time 에 따른 fading 효과와 黑鉛組織의 變化

Table. 5 黑鉛球狀化劑 첨가량과 holding time 에 따른 Mg 當量의 變化

Addition Wt. (%)	sample No.	fading time (min)	Mg-Equivalent (%)	C. E
0.5	1	3		
	2	5	0.01025	4.55
	3	7	0.00355	4.41
1.0	4	3	0.01723	4.45
	5	5	0.01576	4.51
	6	7	0.01478	4.59

Addition Wt. (%)	sample No.	fading time (min)	Mg-Equivalent (%)	C. E.
1.5	7	3	0.02145	4.59
	8	5	0.01745	4.52
2.0	9	3	0.02833	4.75
	10	5	0.02740	4.69
	11	7	0.02323	4.61
3.0	12	3	0.04598	4.71
	13	5	0.04158	4.73
	14	7	0.04260	4.72
4.0	15	3	0.05835	4.91
	16	5	0.05810	4.79
	17	7	0.05140	4.77

\* Mg-Equivalent(%)=(Mg-3/4 S)%

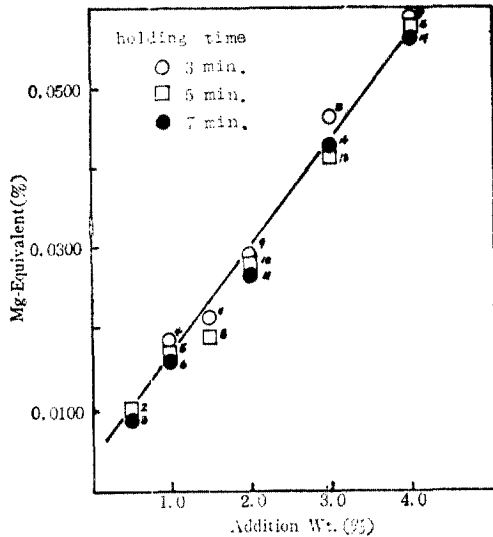


Fig. 9 黑鉛球狀化劑 첨가량과 Mg 當量の 關係

### 3. 機械的 性質

Fig. 12 및 Fig. 13은 黑鉛球狀化劑의 첨가량에 따른 引張強度, 硬度, 伸率 및 吸收 energy의 關係를 나타내며, Table. 6은 本 實驗의 結果와 他 研究에서 보고된 機械的 性質과를 比較한 것이다. Fig. 12 및 Fig. 13에서 보는 바와 같이 CV 黑鉛鑄鐵의 범위, 즉 黑鉛球狀化劑를 0.5~1.0% 첨가한 경우, 引張強度는 35.0~45.0kg/mm<sup>2</sup>, 硬度는 162~180 H<sub>B</sub>, 伸率은 3~4%, 吸收 energy는 0.8~1.0kg-m로서 이는 기존의 보고된 CV 黑鉛鑄鐵과 그 機械的 性質이 잘 일치함을 보여준다. 또한 黑鉛球狀化劑의 첨가량 2.0%를 基點으로 機械的 性質이 크게 變함은 Fig. 7, Fig. 8 및 Fig. 11에 나타난 바와 같이 CV 黑鉛이 球狀黑鉛으로 變化하는 推移와도 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

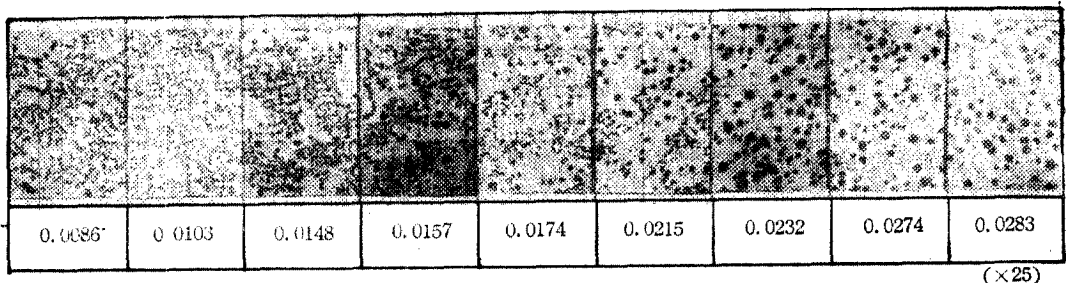
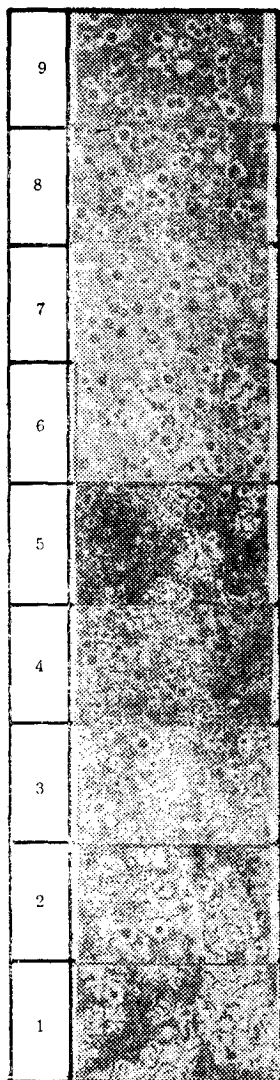


Fig. 10 Mg 當量과 黑鉛組織의 關係



(×25, 3% nital)

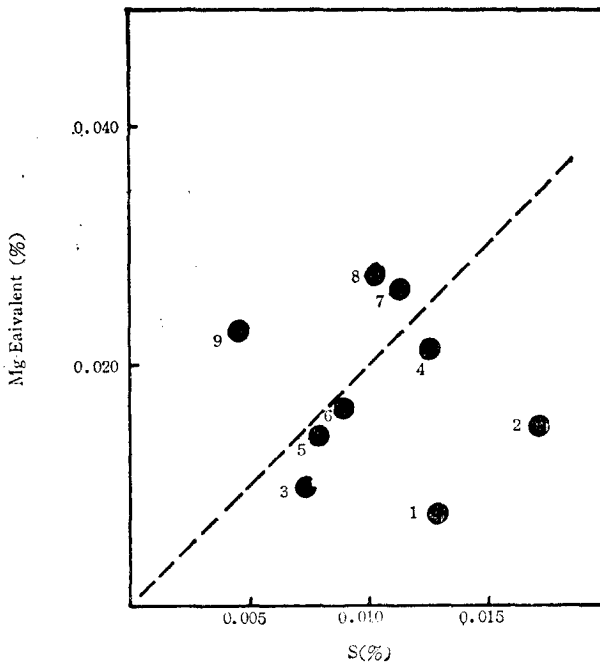


Fig. 11 Mg 當量/S 値와 黑鉛組織의 關係

Table. 6 機械的 性質에 대한 本 實驗의 結果와 他 研究結果와의 比較表

Results	Ref.	4) Lalich	9) 張 博	9) 張 博	11)* 大出卓	16) Evans	31)* 石 原	31)** 石 原
C. E.	4.4-4.6	4.2	4.4	4.5	4.3	4.2	4.1	4.5
Tensile strength(kg/mm <sup>2</sup> )	35.0 -45.0	32.9 -62.1	40.9 -48.1	51.3 -55.2	44.9	33.7 -40.1	45.5	31.1
Hardness (H <sub>B</sub> )	162-180		143-146	164-170	225-245		217	134
Elongation (%)	3-4	1-6	4-8	5-7	1.5	3-5	2.6	4.0
Absorbed energy (kg-m)	0.8-1.0							

\* pearlite 系, \*\* ferrite 系



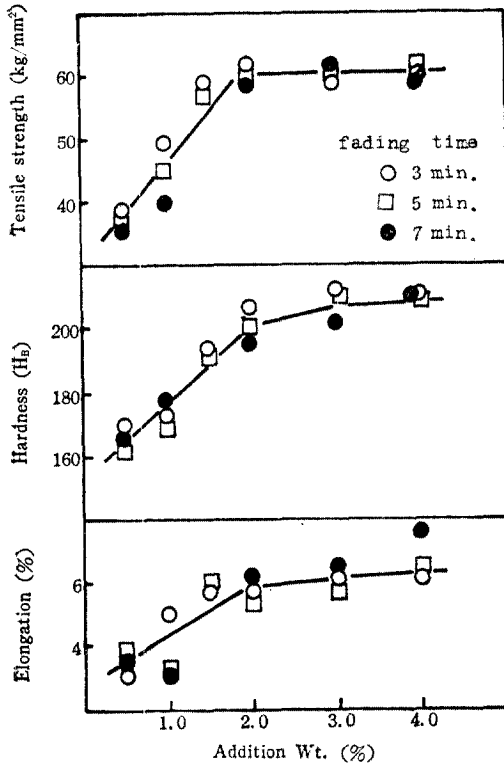


Fig. 12 黑鉛球狀化劑 첨가량에 따른 機械的 性質의 變化

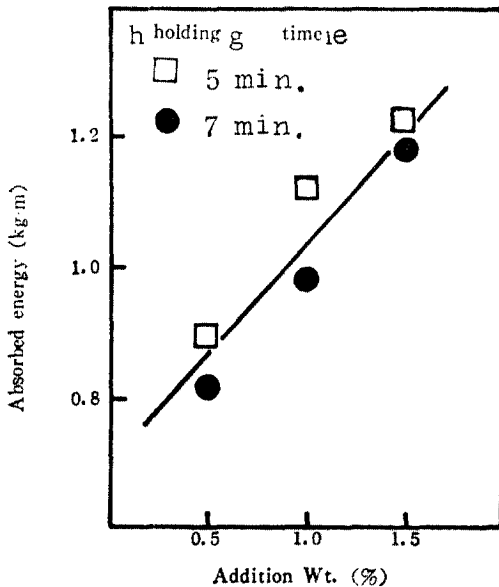


Fig. 13 CV 黑鉛鑄鐵 範圍에서의 吸收 energy 變化

IV. 結 論

球狀黑鉛鑄鐵用 熔湯보다도 S 및 Mn의 含量이 높은 GC-10 規格의 熔湯을 使用하여, 高周波誘導熔解爐에서 Fe-Si-Mg系 黑鉛球狀化劑를 單獨으로 少量 첨가하는 方法으로 CV 黑鉛鑄鐵 製造를 위한 基礎實驗을 한 結果 다음의 結論을 얻었다.

1) Fe-Si-Mg系 黑鉛球狀化劑의 첨가량이 적을 수록 Mg의 回收率은 높았으며, 첨가량이 增加할 수록 回收率은 減少하였다. 즉 球狀化劑를 0.5%를 첨가하였을 경우에는 84%의 回收率을 나타내었으나, 2.0% 첨가시에는 40%로 減少하였다.

2) Mg 當量/S의 값이 2.0 이하가 될 경우부터 CV 黑鉛鑄鐵이 나타나기 시작하였으며, Mg 當量이 0.0157 이하일 때 良好한 CV 黑鉛鑄鐵을 보였다.

3) holding time에 따른 fading 효과는 CV 黑鉛의 生成範圍內에서는 球狀黑鉛의 生成範圍內에서 보다 매우 完만함을 알 수 있었다.

4) 이때 形成된 CV 黑鉛鑄鐵의 機械的 性質은 기존의 報告된 CV 黑鉛鑄鐵과 같 일치함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) L. Sofroni, I. Riposan, I. Chira. The metallurgy of cast iron. 179. (1974)
- 2) M. J. Lalich, Foundry M & T, 9, 56. (1978)
- 3) K. P. Cooper, C. R. Loper Jr., AFS trans, 86, 267~272. (1978)
- 4) P. A. Green, A. J. Thomas, AFS trans, 87, 569~572. (1979)
- 5) K. J. Best. Foundrymen M & T 110, 72~75. (1982)
- 6) M. J. Lalich, AFS trans, July, 50~53. (1976)
- 7) 張博, 鑄鐵造と熱處理, 413, 1~11. (1982), 414, 19~25. (1982)
- 8) 岩本啓一, 鑄鐵造と熱處理, 412, 41~48. (1982)
- 9) 大出卓外, 鑄物, 52, 7, 418~425. (1980)
- 10) 千田外, 鑄鐵造と熱處理, 386, 3~9. (1981)
- 11) 堤信久, 金屬, 86~91. (1982)
- 12) C. R. Loper, R. W. Heine, C. C. Wang, AFS trans, 84, 203~214. (1976)

- 13) 堤信久 外, 鑄物, 55, 8, 17—23. (1983)
- 14) E.R. Evans, J.V. Dawson, M.J. Lalich, AFS international cast metals. J., June, 13—18. (1976)
- 15) N. Isutsumi 外, Report of casting Research. Lab., Waseda Univ. 32—33. (1981)
- 16) 堀江 皓, 鑄造と熱處理, 393, 9—22. (1980)
- 17) 大出卓 外, 鑄物 54. 5, 301—308. (1982)
- 18) E.R. Kuch, morden casting, 69—11, 103—105. (1979)
- 19) 池永 明 外, 鑄物, 53, 10, 541—546. (1981)
- 20) 田中雄一 外, 鑄物, 53, 4, 187—192. (1981)
- 21) Gary F. Ruff, Bharat K. Doshi, morden casting, 70, 9, 54—57. (1980)
- 22) J. Tartera, International Cast Metals J., 5, 4, 7—14, (1980)
- 23) 加藤, 鑄物, 38, 1, 1. (1966)
- 24) 張山本 外, 金屬學會誌, 41, 10, 1019. (1977)
- 25) 草川 外, 鐵と鋼, 67, 4, S180. (1981)
- 26) J.F. Janowak, C.R. Loper, AFS trans, 79, 594—599. (1971)
- 27) 許甫寧, 한양대학교 博士學位論文(1982).
- 28) 石原安興, 綜合鑄物, 23, 6, 6—13, (1982)