

論 文

球狀黑鉛鑄鐵의 耐磨耗性에 미치는 Sb添加의 效果에 관한 研究

李炳燁** 李啓完*

A Study for the Effects of Sb Addition on the Wear Resistance of Ductile Cast Iron

B.Y.Lee.** K.W.Lee.*

ABSTRACT

It is very important to obtain wear resistant ductile iron by adding more economical alloying elements.

In this study, 10 heat of Mg-treated ductile iron were made according to Sb content (0-0.1% Sb).

Each melt was casted to 30 φ test bars in CO₂ mold under the same condition and inspected wear characteristics, mechanical properties and microstructures.

The results obtained from this study are as follows;

1. It is confirmed that Sb should be a simple and useful additive for improving wear resistance in ductile iron.
2. Hardness of ferrite and pearlite is improved with increasing Sb amount in ductile iron.
3. For ductile iron, the recommended ladle addition of Sb amount is to 0.02-0.03%.
4. Sb has adverse influence on spheroidizing of graphite if the amount is over 0.04%.

I. 序 論

鑄鐵은 磨耗에 견뎌야하는 機械部品으로 널리 사용되고 있다. 그러나 鑄鐵은 그 種類에 따라 磨耗特性이 크게 다르다. 磨耗는 대단히 복잡한 機構로 이루어지는 현상으로서, 鑄鐵의 경우는 鋼이나 기타의 合金과는 달리 非金屬인 黑鉛이 matrix에 불규칙한 형태로 존재하기 때문에 그 마모 양상이 더욱 복잡하다.

鑄鐵의 耐磨耗性은 주로 素地組織과 黑鉛組織 및 共晶細胞組織에 크게 좌·우되므로 적당한 合金元素를 첨가하여 그 組織을 耐磨耗組織으로 改善시키고자 하는 研究가 많이 進行되고 있다.

著者 등은 少量의 Sb添加에 의한 pearlite 組織의 일반 灰鑄鐵과 球狀黑鉛鑄鐵의 製造에 관한 研究 結果를 발표한 바 있다.^{6,7)}

本 實驗에서는 球狀黑鉛鑄鐵에 대하여 Sb添加量을 0~0.1% 범위로 변화시켰을 때에 磨耗特性에 미치는 效果를 機械的性質과 顯微鏡組織의 側面에서 調査 檢討하고자 하였다.

II. 實驗方法

2-1. 試料의 製造

Fig.1 은 試料의 製造 過程을 표시한 것이다.

現場의 3 ton 용량 저주파 爐에 目標組成으로 銑鐵, 鑄鐵 scrap 및 鋼 scrap을 장입하여 용해한 1470 C의 熔湯을 300 kg 용량의 제 1 차 ladle 에 주입하면서 黑鉛球狀化處理를 실시하고, 이 용탕을 동일 용량의 제 2 ladle 에 주입하면서 接種한 다음 10 kg 용량의 주입용 ladle 에 나누어 주입하면서 Sb 를 첨가하여 0 ~0.1% 범위로 Sb 함량이 서로 다르게 10종의 φ

* 한양대학교 공과대학 금속과 교수

** 대전개방대학 교수

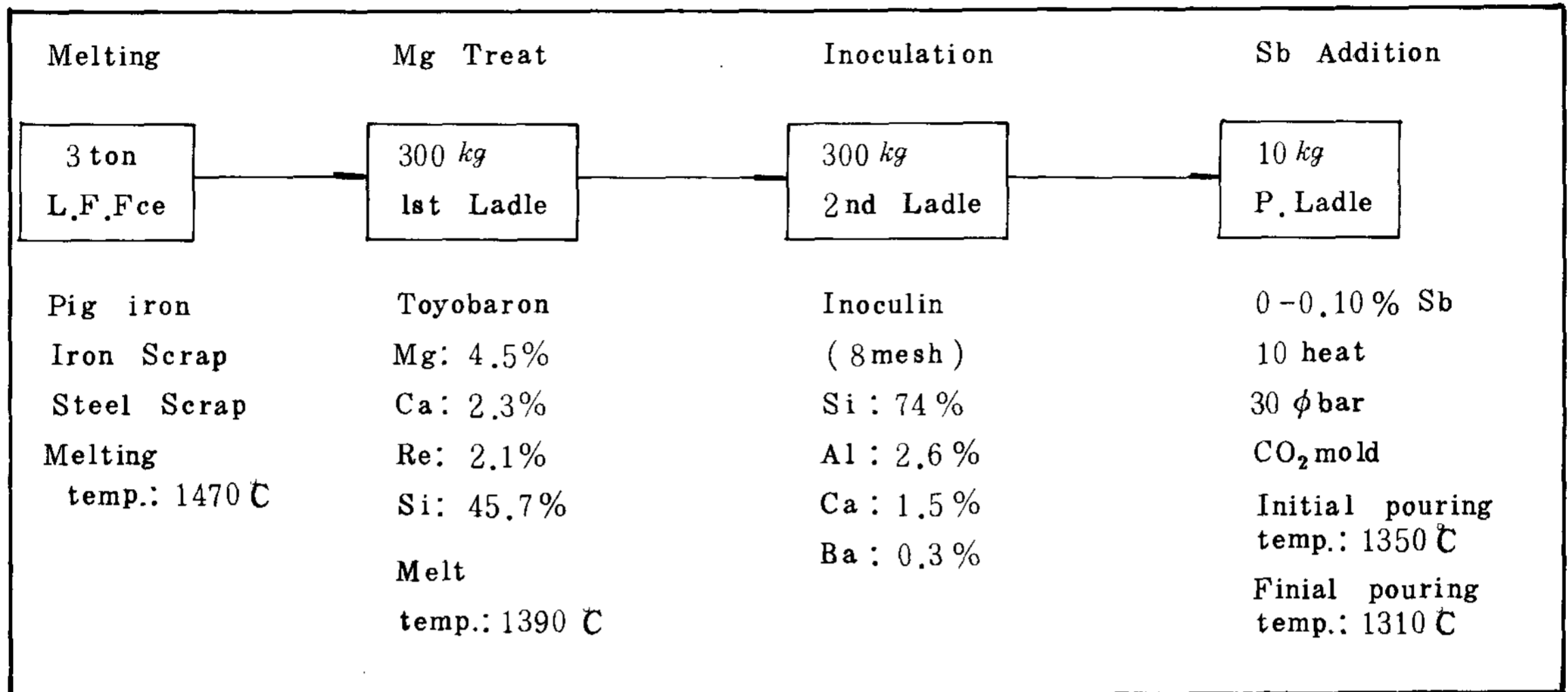


Fig.1. Schematic diagram of production sequence of samples

30 mm 試驗棒을 CO₂ 주형에 鑄造하여 製造하였다. 이 때 fading 현상과 주입온도차를 극소화시키기 위해서 단시간 처리를 하고자 노력하였으나 주입온도가 최초의 1350 C로부터 최종의 1310 C로 40 C의 온도 강하가 발생하였음을 밝혀둔다. 그러나 1 heat의 熔金을 이용하여 Sb의 첨가량만을 변화시켰기 때문에 各 試料間의 化學組成變化는 극소화 되었을 것으로 믿어진다.

Table 1. 은 各種 試料의 化學分析值이다.

2-2. 試驗片의 製作

위의 方法으로 製造한 30 mm φ棒을 KS B 0801 8

Table 1.

Chemical analysis of samples

	C	Si	Mn	P	S	Mg	Sb	Remark
SG 1	3.499	2.681	0.303	0.024	0.0079	0.041	0	※reference
SG 2	"	"	"	"	"	0.040	0.008	
SG 3	"	"	"	"	"	0.038	0.025	
SG 4	"	"	"	"	"	0.038	0.029	
SG 5	"	"	"	"	"	0.036	0.033	
SG 6	"	"	"	"	"	0.035	0.050	
SG 7	"	"	"	"	"	0.034	0.0625	
SG 8	"	"	"	"	"	0.034	0.0775	
SG 9	"	"	"	"	"	0.033	0.0875	
SG 10	"	"	"	"	"	0.033	0.1025	

참고 : Mg 과 Sb %는 AA에 의한 분석치이고 기타는 분광분석기에 의한 평균값임.

C호의 引張試驗片으로 가공하여 引張試驗을 실시한 다음 그 머리部分에서 硬度試驗片, 顯微鏡組織試驗片, 그리고 磨耗試驗片을 採取하여 各各의 試驗을 실시하였다.

Fig.2는 本 試驗에 사용한 磨耗試驗片의 規格이다.

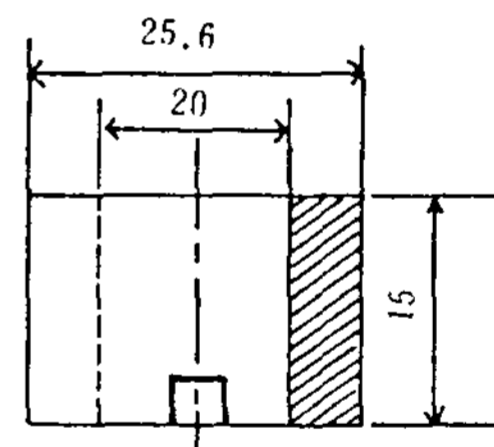


Fig.2 Dimension of Rotor and Stator.

2-3. 試驗條件

[磨耗試驗]

磨耗條件은 磨耗機構에 큰 영향을 미친다. 球狀黑鉛鑄鐵은 磨耗條件으로서의 接觸壓力 또는 미끄럼速度의 어느 것에 의하여 Fig.3에 나타난 바와 같은 磨耗特性曲線이 얻어지고, 磨耗傾向을 달리하는 各各의 領域에 있어서의 磨耗機構가 서로 다르다는 것이 確認되고 있다.²⁾ 즉, 低壓-低速 條件에서는 Fe₂O₃의 生成이 관찰되는 酸化磨耗로서, 이 磨耗領域에서는 전반적으로 磨耗量이 적고, 어느 速度 (Fig.3에서 0.5~0.8m/sec; 壓力이 늘게될수록 速度는 작게됨)에 도달하면 機械的破壞를 주체로 하는 磨耗機構

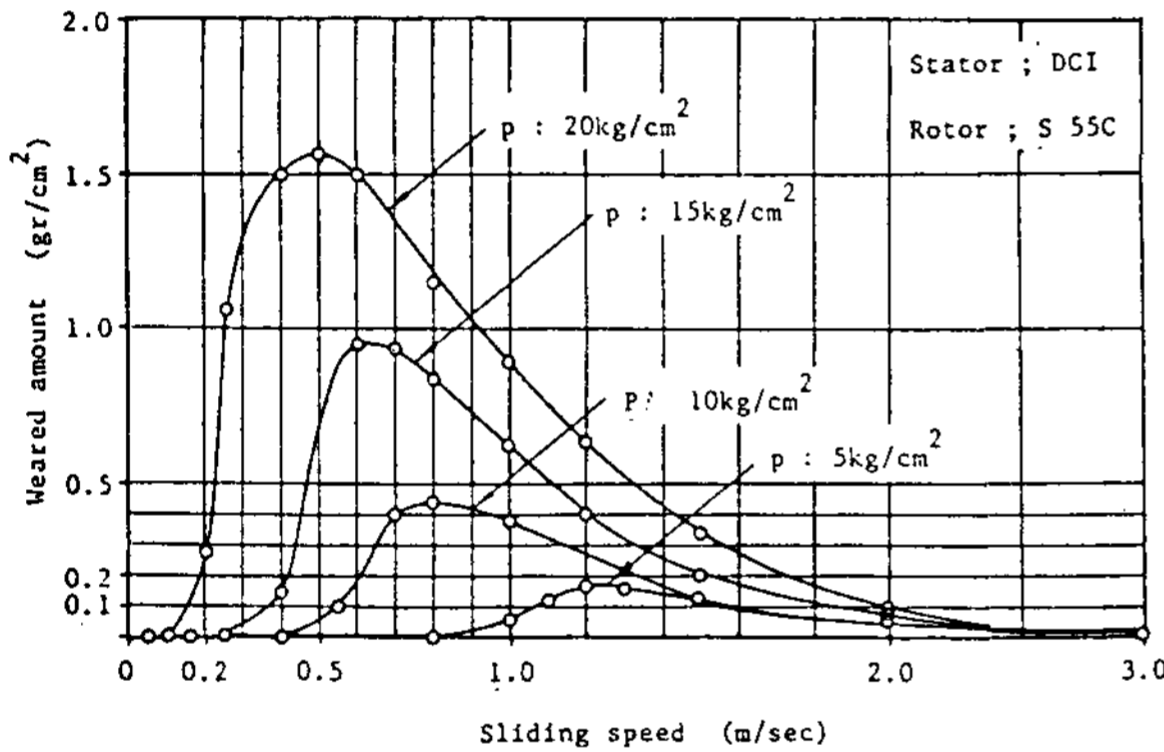


Fig.3 Speed-Wear characteristics of bulls eye type DCI (stator).

로 바뀌어 磨耗量이 아주 크게 된다. 그러나 보다 高壓, 高速으로 되면 미끄럼面은 磨擦熱에 의해서 현저하게 高溫으로 되어 熔融狀態에 이르게 되고, Fe₃O₄가 검출되는 소위 熔融磨耗로 되어 磨耗量은 다시 감소한다고 알려져 있다. 또, 機械的 破壞에 의해서 일어나는 磨耗量의 最大值는 壓力이 높아질수록 低速側으로 이동한다.

실제 사용시에 일어나는 鑄鐵의 磨耗는 이상의 여러 條件이 組合되어 일어나지만, 그 중에서도 機械的破壞磨耗가 主体를 이루고 있다고 판단되므로 本 實驗에서는 球狀黑鉛鑄鐵에 대한 大越, 坂井과 竹内榮一의 速度-磨耗 特性에 關한 實驗結果를 참조하여 接觸壓力과 미끄럼速度 (5.25 kg/cm² - 1.2 m/sec)를 결정하였다.²⁾

또한, 鑄鐵은 組成과 組織이 不均一한 경우가 많고,

同一한 條件으로 鑄造하였다 하더라도 位置에 따라 熱應力과 變態應力, 그리고 以後의 機械加工에 의한 殘溜應力 등이 다르게 될 수 있으므로 試驗片을 일정한 尺寸로 가공한 다음 550℃에서 低溫 annealing 하였고 磨擦面은 同一한 條件으로 研磨하였다.

試驗機는 TOYO BALDWIN Co. 제 원통형 回轉磨耗試驗機를 사용하였으며, Fig.2와 같은 規格의 試驗片을 stator로 하고 이와 同一尺寸의 S45C 재를 rotor로 하여 接觸壓力 5.25 kg/cm², 미끄럼速度 1.20 m/sec, 走行距離 300 m로 各各 試驗하였다. 이때 실제의 마모조건에 접근시키기 위해서 rotor (S45C材)를 880℃에서 quenching 한 다음 570℃로 tempering하여 sorbite 조직으로 하여 試驗하였다.

[硬度 및 強度 試驗]

Brinell이나 Rockwell 硬度計로 측정된 灰鑄鐵의 硬度는 軟한 黑鉛의 硬度和 硬한 金屬素地硬度的 중간값이다. 黑鉛의 크기와 分析狀態가 달라지면 金屬素地의 硬度가 一定할지라도 硬度 (특히 HR경도)에 큰 變化가 생긴다. 따라서 경도의 상호關係를 比較하고자 하는 경우는 比較하는 鑄鐵中의 黑鉛의 형상과 量이 一定해야만 한다. 그러나 著者 등이 이미 발표했던 바와 같이 Sb는 강력한 pearlite 安定化作用을 하고, 析出黑鉛의 量, 크기, 形상 및 分析狀態에 영향을 미치므로 硬度比較에 문제가 발생할 수도 있다. 이러한 점을 감안하여 硬度試驗은 素地組織과 黑鉛 및 기타 組織의 平均硬度를 가장 理想的으로 나타내준다고 생각할 수 있는 Brinell 硬度 (HB 3000/10)를 擇하였다.

引張試驗에는 Shimadzu 製 Model 25 T U.T.M을 사용하였다.

III. 實驗 結果 및 考察

Fig.4는 接觸壓力 5.25 kg/cm², 미끄럼速度 1.20 m/sec, 走行距離 300 m로 各種 試片을 磨耗試驗했을 때의 Sb 添加量과 磨耗量 (g/cm²)과의 關係이다.

이 結果로부터 알 수 있는 바와 같이 球狀黑鉛鑄鐵의 磨耗量은 Sb의 添加量이 약 0.06%까지 증가함에 따라 급격히 감소하고, 그 이상의 含量 범위에서는 큰 變化를 보이지 않는다. 이것은 Sb의 添加에 의하여 球狀黑鉛鑄鐵의 磨耗特性을 좌우하는 素地組織, 析出黑鉛量과 黑鉛의 球狀化率 및 共晶細胞組織 (steadite)의 分布狀態)이 變化되기 때문이라 믿어진다.

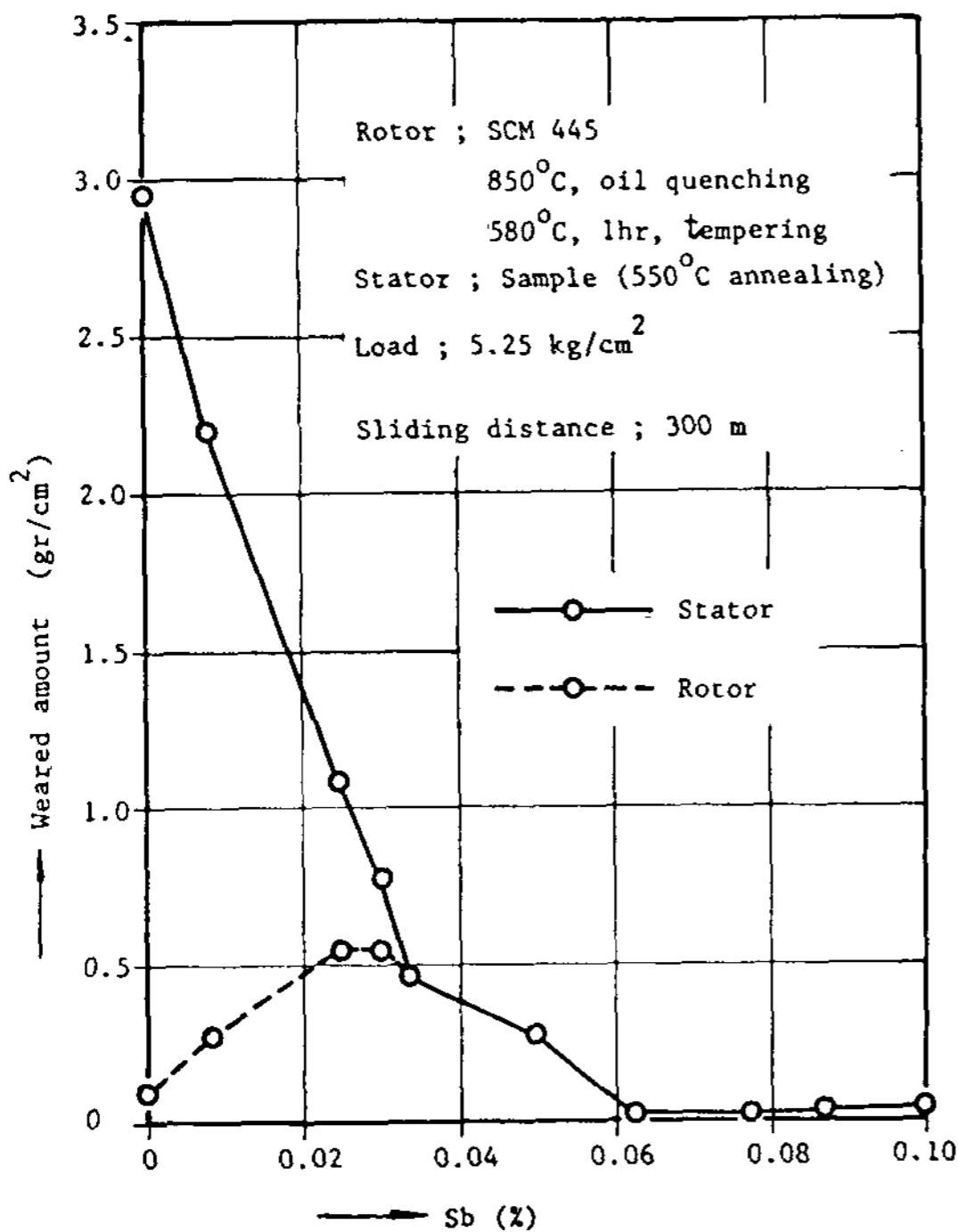


Fig. 4 Effect of different Sb additions on wear resistance of DCI.

Sb의 첨가에 의해서 이와 같은 변화가 발생하면 강도나 경도와 같은 기계적 성질도 자연히 변화하게 되는데, 이에 대해서는 後述하기로 하고, 우선 組織에 중점을 두어 간단히 考察해 보기로 하겠다.

鑄鐵의 素地組織中에는 상당량의 黑鉛이 존재하고, 그 형상, 크기, 析出量 및 分布狀態의 어느 것에 의해서 機械的 性質이나 磨耗特性이 變化하는 것은 당연하

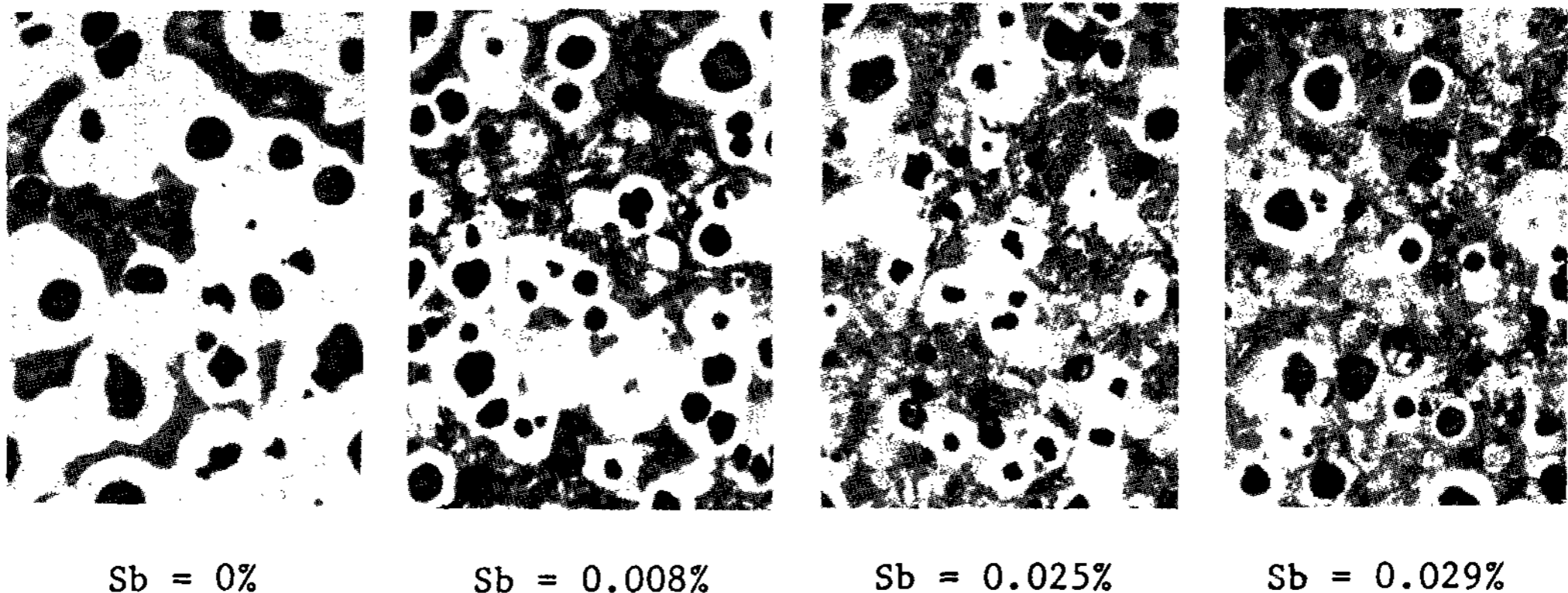
다. 片狀黑鉛鑄鐵의 경우는 黑鉛의 先端이 대단히 예리하게 되어 있고, 外部로부터의 應力이 이 部分에 집중되어 機械的 強度를 저하시키며, 이러한 현상이 磨耗의 경우에도 영향을 미친다고 알려져 있다.²⁾ 즉, 미끄럼面 附近에 존재하는 黑鉛은 그 先端部에 應力集中이 일어나고, 이것이 原因이 되어 比較的 낮은 衝擊的 에너지나 熱衝擊에 의해서도 破壞가 일어난다는 것이다. 그러나 球狀黑鉛鑄鐵은 黑鉛 주변의 edge가 片狀黑鉛의 경우와 같이 예리하지 않기 때문에 衝擊的 에너지에 의한 破壞磨耗가 덜 일어난다고 할 수 있다. 또, 黑鉛은 自体潤滑性을 갖고 있어서 磨擦係數가 작고, 面壓이 높은 경우에도 燒着 등에 의한 異常磨耗를 일으키는 일이 적는데, 이러한 현상은 球狀黑鉛의 析出量, 크기, 형상, 分布狀態 등에 따라서 달라질 것으로 생각된다.

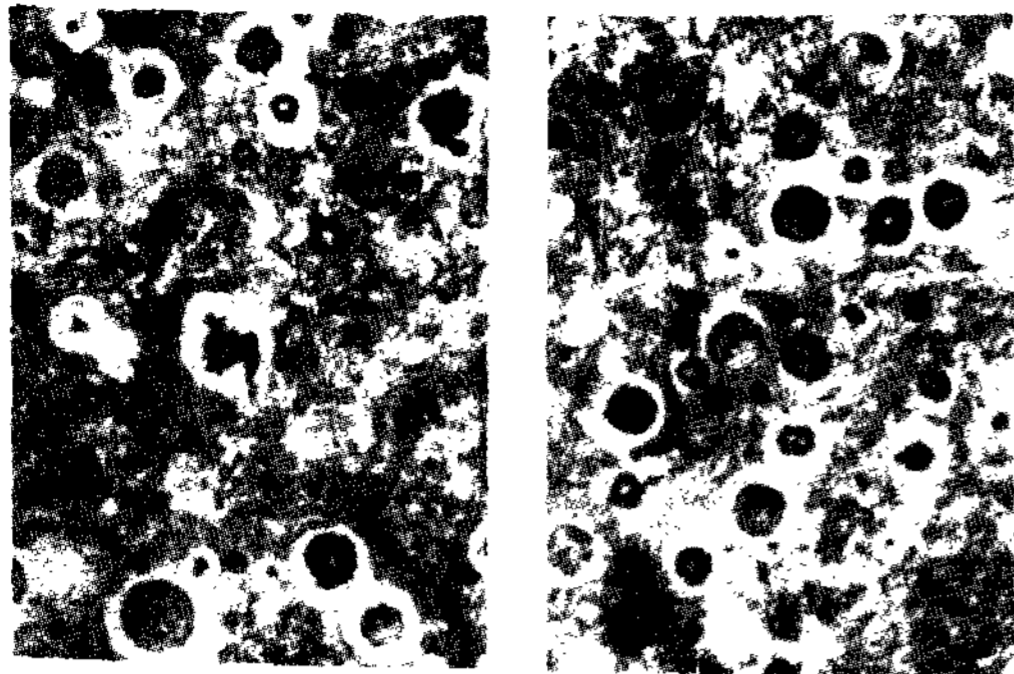
다음에 素地組織中에 존재하는 ferrite, carbide, steadite 등의 析出量 및 分布狀態에 따라서도 磨耗抵抗性이 변화하게 되며, 특히 ferrite가 析出하면 機械的 強度가 저하될 뿐만 아니라 磨耗도 促進된다는 것은 이미 밝혀진 사실이다.^{1,2,6,7)}

3-1. 素地組織의 影響에 對하여

前述한 바와 같이 鑄鐵의 素地組織中에 ferrite의 析出量이 많게 되면 硬度, 強度 등의 기계적 성질이 저하되고, 이것이 磨耗抵抗性에 나쁜 영향을 미치게 된다. Fig. 5는 Sb첨가량의 증가에 따르는 素地組織의 變化關係를 나타낸 組織寫眞이다.

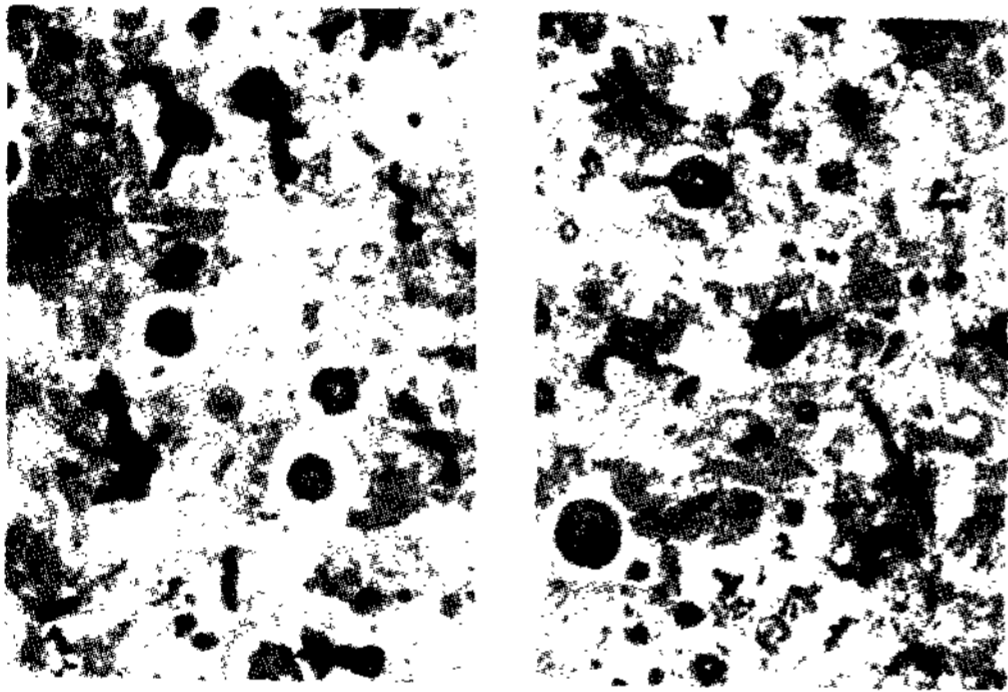
鑄鐵의 組織에 미치는 Sb의 가장 큰 效果는 pearlite의 安定化이며, 약 0.04% Sb 이상에서 matrix가 거의 모두 pearlite化하고, 0.07% Sb 이상





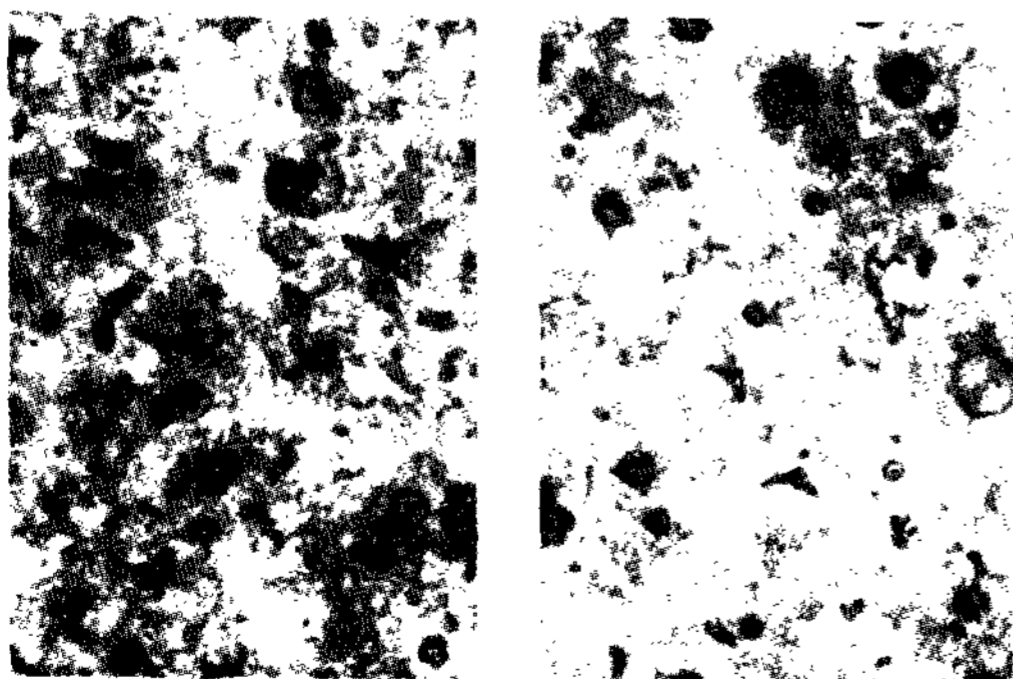
Sb = 0.033%

Sb = 0.050%



Sb = 0.0625%

Sb = 0.0775%



Sb = 0.0875%

Sb = 0.1025%

Fig.5 Effect of different Sb additions on pearlitizing of matrix. x100, picral.

에서는析出 ferrite가 전혀 나타나지 않는다.

Fig.4에서 比較用 試料 (Sb% = 0)의 磨耗量이 가장 많은 理由中の 하나는 Fig.5에서 確認할 수 있

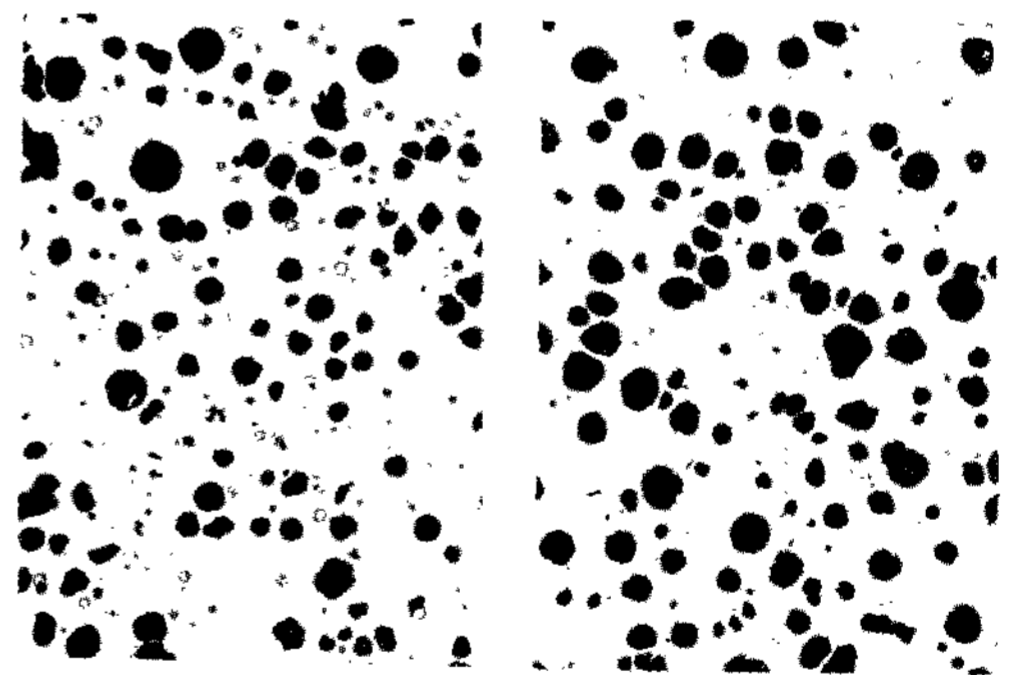
는 바와 같이 상당량의 析出 ferrite가 존재하기 때문이며, Sb의 첨가량이 약 0.06%까지 증가함에 따라 磨耗量이 급격히 감소하는 理由中の 하나는 一次的으로 Sb의 pearlite 安定化作用으로 ferrite의 析出이 억제되었기 때문이라고 판단된다.

물론 後述하게 되는 黑鉛의 형상과 析出量, ferrite의 強化 (Sb의 固溶에 의한)로 인한 pearlite의 硬度상승 등의 効果도 耐磨耗性에 크게 기여한다고 판단된다.

3-2. 黑鉛組織의 影響에 對하여

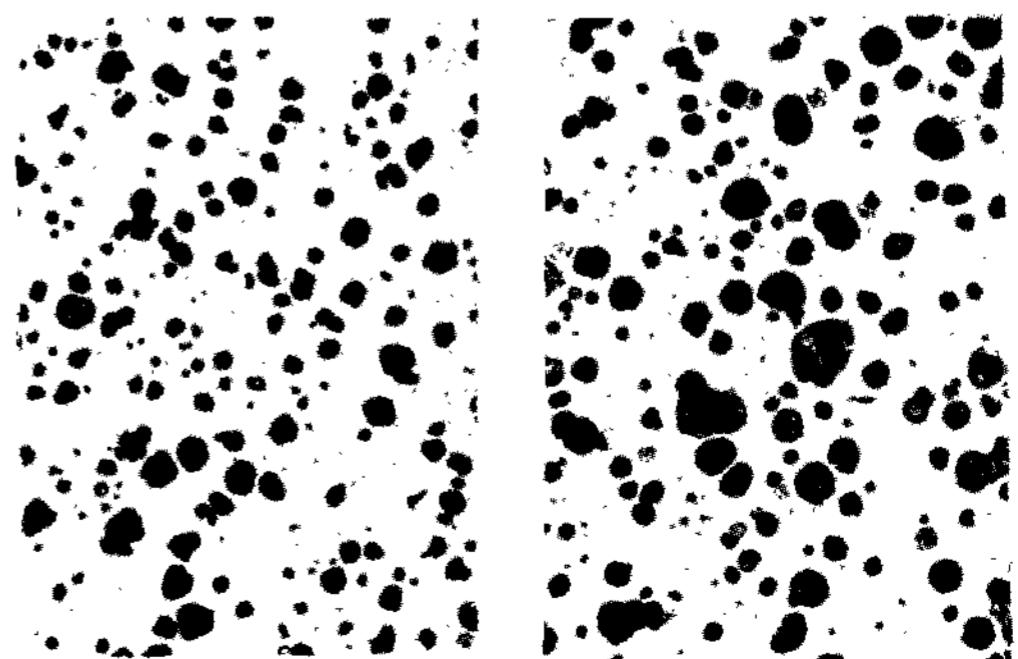
Fig.6은 黑鉛球狀化에 미치는 Sb添加量의 影響을 나타낸 顯微鏡組織寫眞이다.

Sb는 黑鉛球狀化를 방해하는 元素로 알려져 있으나 그 阻害作用을 나타내기 시작하는 含有量에 대해서는 研究者들 간의 의견이 일치하지 않고 있다. Morrogh는 0.004% Sb 이상에서, 靑木 등은 극소량의 Ti가 존재하는 경우에 0.012% Sb 이상에서 (Ti량이 증가하게 되면 그 이하에서) 球狀化 阻害作用을 하며, 田中 등은 0.1% Sb첨가까지는 影響이 없으나



Sb = 0%

Sb = 0.008%



Sb = 0.025%

Sb = 0.029%

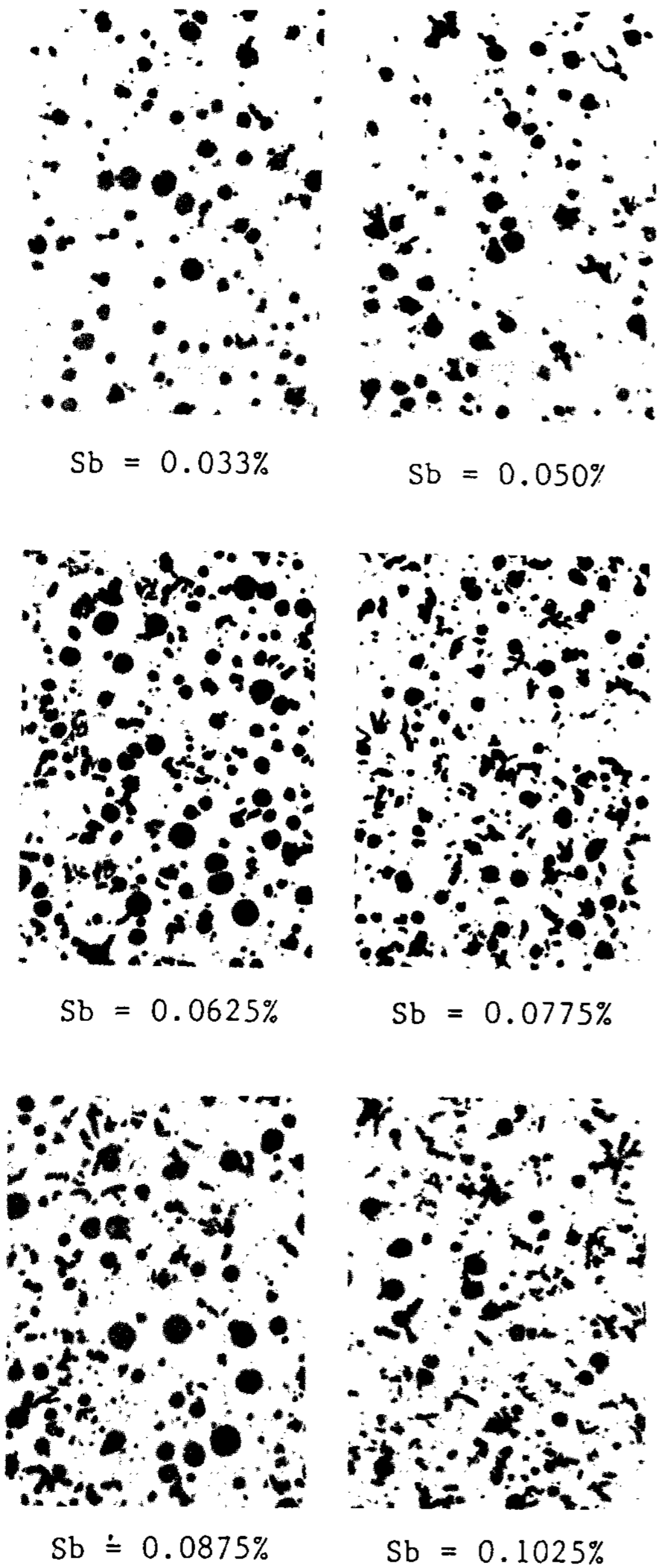


Fig.6 Effect of Varion Sb additions on spheroidizing of graphite. x50, As polished.

0.2% 이상 첨가되면 黑鉛球狀化가 不完全하게 된다고 記述하고 있으나²⁾ Sb의 첨가 방법이나 시기에 대해서는 언급이 없다.

그러나 本 實驗을 통하여 확인한 바에 의하면 Fig.

6에서 보는 바와 같이 0.03% Sb 이상에서부터 黑鉛球狀化 阻害作用이 나타나기 시작하며, 0.1% Sb 이상에서는 그 작용이 현저하였다. nodule 數는 Sb 무첨가試料에 比하여 ~0.03% Sb 범위에서 증가경향을 보였으나 그 이상의 첨가량에서는 오히려 감소경향을 나타내는 점이 특이한 현상이다.

鑄鐵의 미끄럼面에 析出되어 있는 黑鉛이 磨耗에 미치는 영향에 있어서는 黑鉛의 형상, 크기, 析出量, 隣接黑鉛間의 距離, 黑鉛의 潤滑性 등의 여러 因子를 생각할 수 있다. 黑鉛의 量과 크기가 증가하면 surface-roughening 效果를 일으키고, 荷重을 지지하는 素地金屬의 表面이 감소되어 定常磨耗가 더 커지는 것은 당연한 결과라 하겠다. 磨耗抵抗에 미치는 黑鉛의 기본적인 영향은 自体潤滑作用으로 粘着磨耗가 일어나지 않도록 하는 일이며, 이 目的에 必要로 하는 것보다 量이 더 많거나 큰 黑鉛이 존재하는 경우는 定常磨耗에 對한 抵抗性이 감소될 것으로 판단된다. 또, 凝着이 原因으로 되어 일어나는 磨耗損失이 主体로 되는 磨耗條件에서는 初期 및 定常磨耗領域에서의 耐磨耗性은 黑鉛間隔의 接近에 比例하여 向上된다고 알려져 있다. 그러나 熱衝擊과 같은 破壞를 수반하는 磨耗條件에서는 黑鉛間隔이 近接될수록 破壞를 일으킬 기회가 많아져서 반대로 耐磨耗性이 낮아질 수도 있다.

따라서 Sb의 첨가에 의하여 nodule 수가 0.01% Sb 부근에서 최대로 되었다가 그 이상으로 Sb 함량이 증가할수록 감소하고, 黑鉛間의 間隔이 균일하게 되며, 그 析出量이 감소하는 것도 本 實驗에서 磨耗量이 감소된 理由中의 하나라 할 수 있다.

3-3. 共晶細胞組織의 影響에 對하여

지금까지 共晶細胞와 磨耗와의 關係에 대한 實驗報告는 그리 많지 않다.

鑄鐵의 耐磨耗性 向上을 위해서는 0.20~0.50% 정도의 P를 첨가하기도 한다. P는 그 10배 정도의 steadite (91.5% Fe, 1.96% C, 6.89% P의 三元共晶)를 생성하고, 더우기 炭化物을 安定化시켜 chill 현상을 일으키기 쉬우며, 이 때문에 切削性을 현저히 나쁘게 한다고 알려져 있다.¹⁾ 그러나 반면에 P의 첨가는 鑄鐵의 耐磨耗性 向上에 대단히 유효하며, 오래전부터 이에 대한 많은 연구 결과가 보고되어 왔다.

P는 순수한 ferrite 중에 1.7%까지 固溶되나 일

반 灰鑄鐵에서는 이 양보다 적게 함유되었더라도 *steadite*가 나타난다. 즉, 일반 灰鑄鐵中の *ferrite*는 Si를 함유한 *silico-ferrite*로 되기 때문에 P의 固溶度가 적게 되고, 또 結晶粒間에 P가 偏析되면서 凝固되므로 殘溜溶液中에 P가 濃縮되어 最終 凝固部인 共晶細胞境界에 *steadite*가 나타나게 된다. 그런데 球狀黑鉛鑄鐵의 共晶 cell 형성과정은 일반 片狀黑鉛鑄鐵의 경우와는 다르다.

球狀黑鉛의 發生機構에 대한 學說에는 Wittmoser 등이 제창한 過飽和 *austenite*說, Morrogh-Williams가 제창한 *Carbide* 分解說, 그리고 Mortough가 *Carbide* 分解說을 訂正한 融體說 등이 있다. 이 중 過飽和 *austenite*說과 融體說은 유사한 점이 있다.

Fig. 7은 Hughes에 의한 球狀黑鉛鑄鐵의 共晶 固進行過程을 묘사한 그림이다. 이와 같이 응고한다.

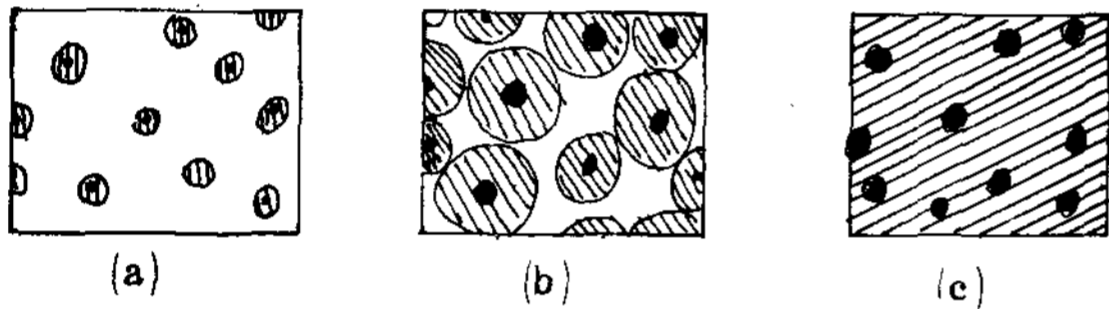


Fig.7 Eutectic solidification process of DCI. (by Mughes). (a) Formation of eutectic cells. (b) Growth of eutectic cells. (c) End of eutectic solidification.

면 한개씩의 球狀黑鉛粒이 各各 한개의 共晶單位로 되어서 片狀黑鉛의 경우에 比하여 共晶 cell 수가 대단히 많게 될 것이고, *steadite*는 그 境界에 分布될 것이다. 著者 등은 이의 확인을 위해서 1350~1310 C의 試料溶湯을 $\phi 40$, 두께 5mm 정도로 金型에 chill 주조하여 球狀黑鉛粒의 晶出 如否를 관찰하였다.

Fig.8로 부터 알 수 있는 바와 같이 球狀化處理를 하지 않은 試料에서는 熔湯으로부터 chill 鑄造한 경

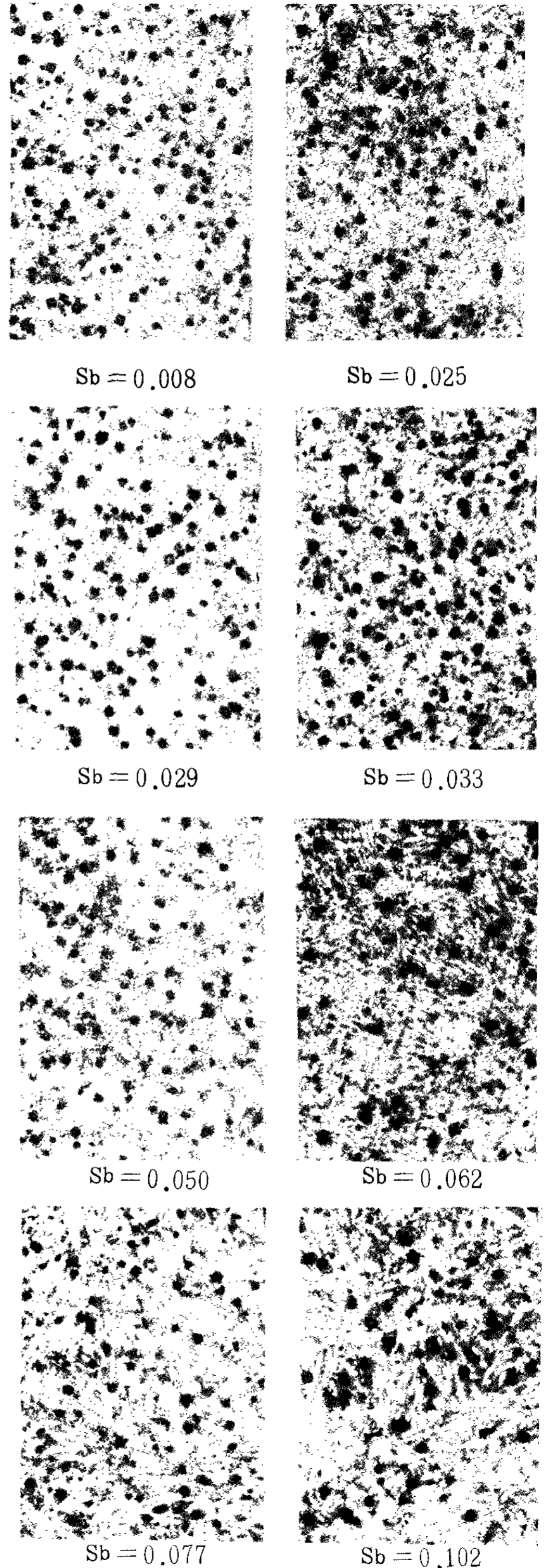
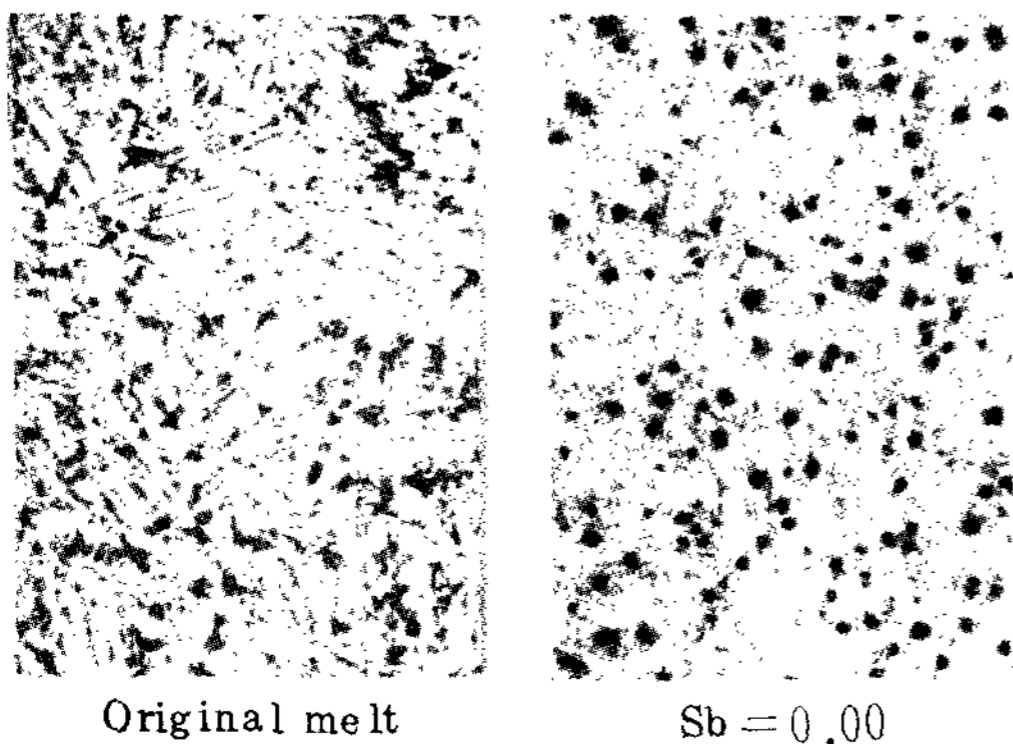


Fig.8 Microstructures of Chill Samples.



우에 黑鉛이 析出하지 않고 matrix가 完全白鑄鐵로 되어 있으나 球狀化處理를 실시한 試料에서는 상당량의 黑鉛粒이 析出되어 있다. 이 사실은 球狀黑鉛이 이미 液相에서 晶出되었음을 意味하며, 個個의 黑鉛粒을 單位로 하여 共晶 cell이 形成되고, 그 境界에 steadite가 존재하게 될 것이다.

이 steadite는 $\alpha\text{-Fe}_3\text{C-Fe}_3\text{P}$ 의 三元共晶 이라 말하였으나 Si 량이 많고 冷却速度가 낮은 일반 灰鑄鐵의 경우에는 Fe_3C 의 析出이 어렵고, 혹 析出되었다 할지라도 ferrite와 黑鉛으로 分解되므로 ferrite와 Fe_3P 만의 二元共晶組織과 같이 보이게 된다. 그러나 Fe_3C 의 分解를 억제하는 元素들이 含有되는 경우에는 steadite의 相의 내용도 달라지게 될 것이다.

Fig.9는 이의 확인을 위하여 組織中에서 steadite만을 檢出한 顯微鏡組織寫眞이다. 사진으로부터 확인할 수 있는 바와 같이 Sb첨가량이 낮을수록(0.05% Sb이하로) steadite의 偏析이 심할 뿐만 아니고 二元共晶이 많아지나 Sb첨가량이 0.06% 이상으로 되면 偏析이 극히 줄어들고 明確한 三元共晶으로 微細分布되고 있다.

著者 등은 이미 발표한 논문에서 Sb는 주로 Fe_3C 에 固溶되고, cell境界에 偏析하여 독립물질을 형성한다고 보고한 바 있다. 즉, Sb는 Fe_3C 에 溶解되어 $\text{Fe}_3(\text{SbC})$ 를 형성하므로써 Fe_3C 의 分解를 억제하고, 따라서 steadite가 三元共晶으로 되게 하여 硬度를 높여줄 뿐만 아니라 微細한 共晶 cell 境界에 均一分布되게 하여 磨耗抵抗性を 向上시킨다고 할 수 있다.

3-4. 機械的 性質의 影響에 對하여

磨耗限界가 鑄鐵의 機械的 性質과 어떠한 관련성을 갖는가에 대한 검토를 해보는 것은 實用的인 面에서 큰 意味가 있다고 생각된다. 卽, 凝着을 일으키고 있는 部分이 미끄럼과 함께 剪斷應力에 의해서 破斷되고 그 一部가 미끄럼面으로부터 脫落하는 것이 중요한 磨耗機構의 하나라고 생각한다면 당연히 鑄鐵의 硬度, 引張強度, 耐衝擊性 등의 機械的 特質도 磨耗現象과 關係가 있을 것이라는 것을 쉽게 推측할 수 있다.

Fig.10은 Sb添加量의 증가에 따른 球狀黑鉛鑄鐵의 強度와 硬度의 變化關係이다. 引張強度는 약 0.03

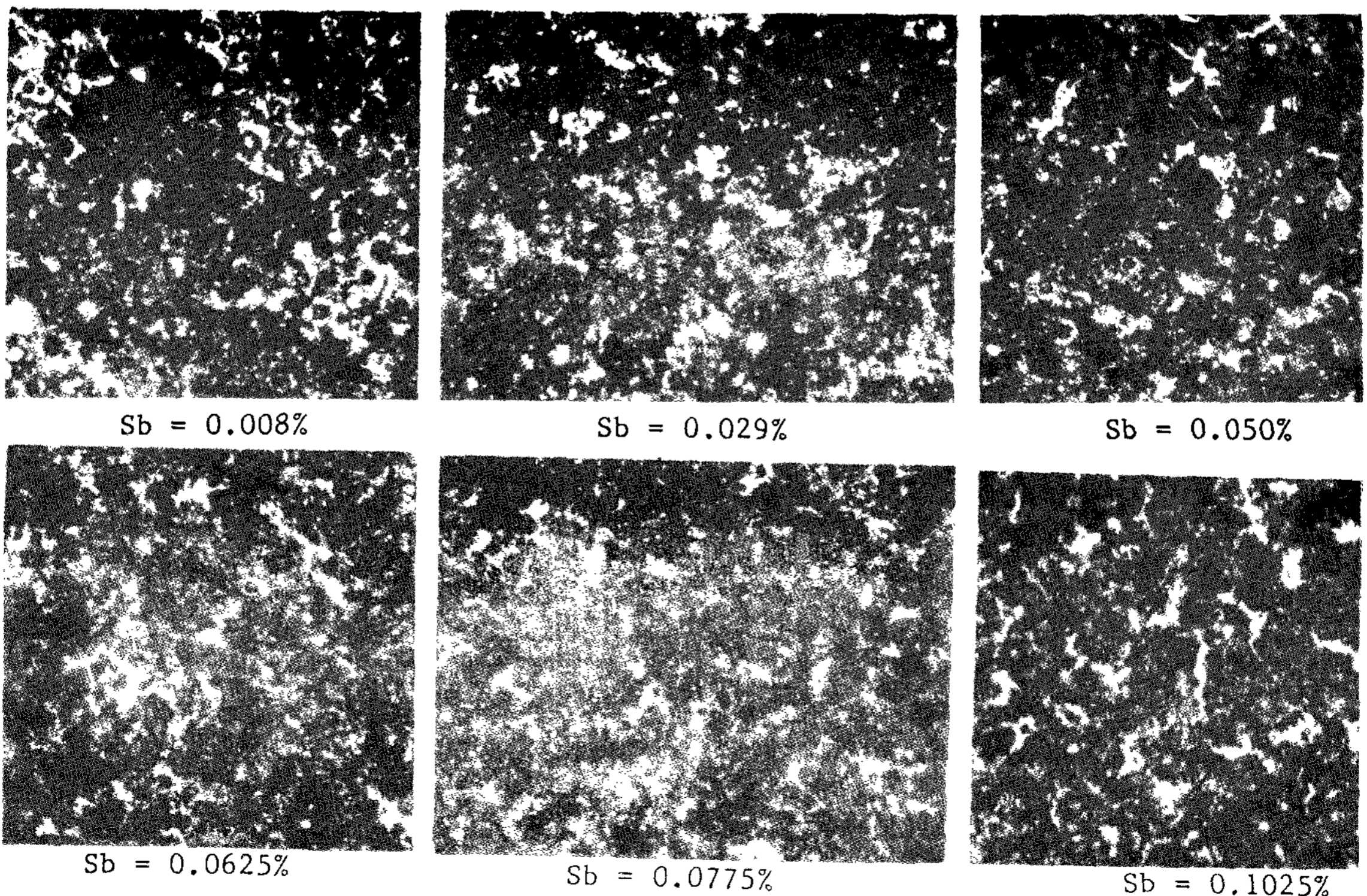


Fig.9 Effect of different addition on dispersion of steadite. x 50, stead's reagent.

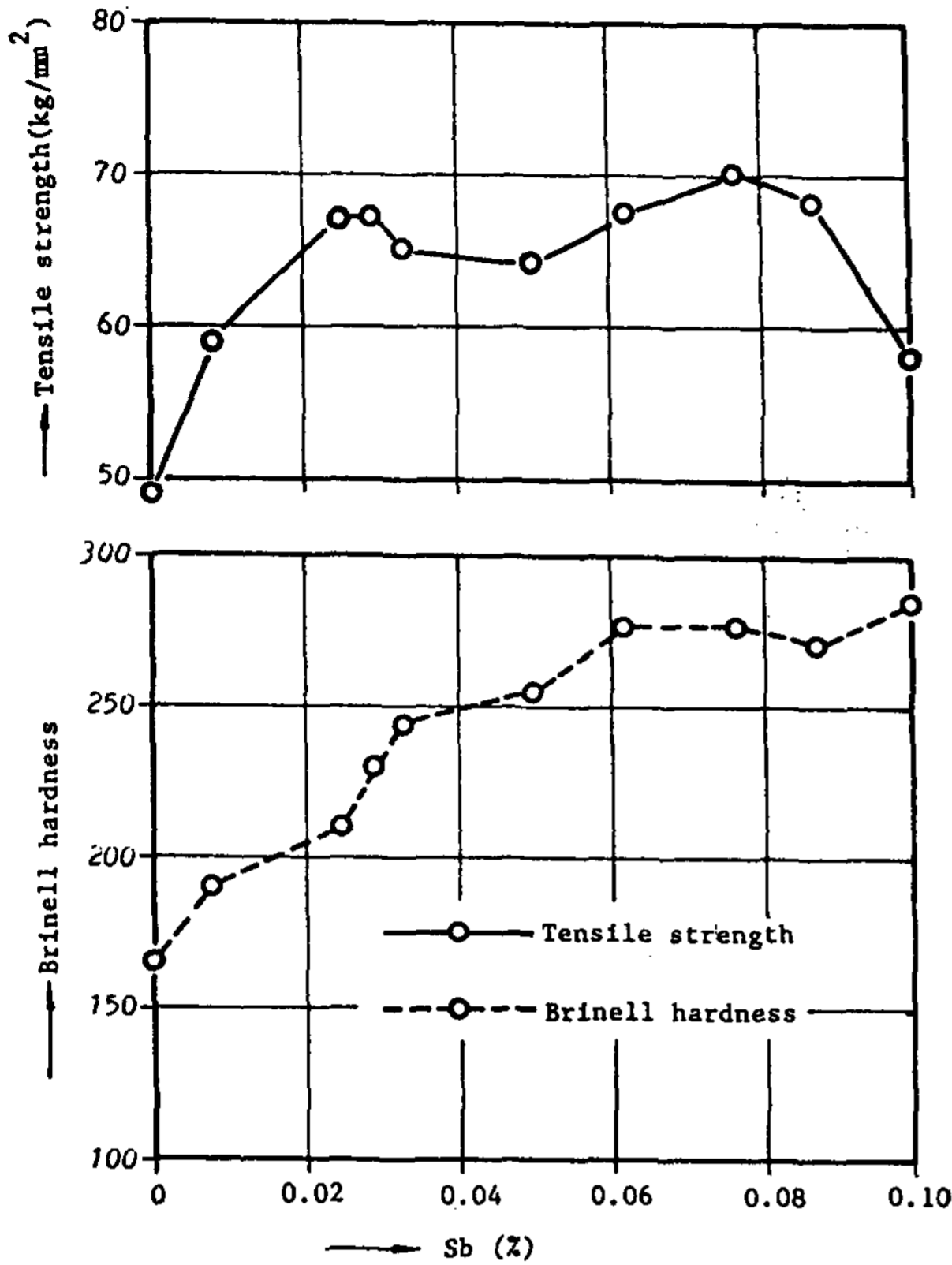


Fig.10 Effect of various Sb additions on tensile strength and hardness of DCI.

%까지 Sb 添加量の 증가와 함께 거의 直線的으로 증가하고, 0.03 이상 0.05% Sb 범위에서 감소경향을 나타내었다가 다시 완만하게 증가하여 0.08% Sb 부근에서 최대치에 이른 다음 그 이상의 Sb 含量에서 급격히 강하였다. 硬度는 0.06% 까지 Sb 量の 증가와 함께 거의 直線的으로 증가하고 그 이상의 Sb 量에서는 거의 變化가 없었다. 그러나 Sb 添加量を 더욱 증가시켜서 遊離 Fe₃C가 析出되면 硬度가 더욱 상승할 것으로 생각되나 黑鉛의 球狀化가 더욱 不完全하게 될 것이므로 球狀黑鉛鑄鐵에서는 별 意味가 없을 것으로 판단된다.

Sb 添加量の 증가와 함께 強度가 향상되는 주 원인은 前述한 바와 같이 Sb의 pearlite 安定化作用으로 matrix가 pearlite 化하는 때문이며, 後述하는 ferrite의 強化도 強度向上에 기여한다고 할 수 있다. 0.08% Sb 이상에서 強度가 급격히 저하하는 理由는 Sb의 作用으로 黑鉛球狀化가 不完全하게 되기 때문이며 (Fig.6 참조), 0.03~0.05% Sb 범위에서 強度

가 약간 감소되는 傾向을 보인 것은 Sb의 pearlite 安定化 作用과 ferrite의 強化作用에 의한 強度의 증가폭보다 球狀化 阻害作用에 의한 強度 저하폭이 더 컸던 때문이라 생각할 수 있다.

한편 延伸率은 Fig.11과 같이 0.03% Sb까지 Sb 量이 증가함에 따라 급격히 감소하고 그 이상의 Sb 量에서 완만한 감소를 보였다. 이 現象도 前述한 바

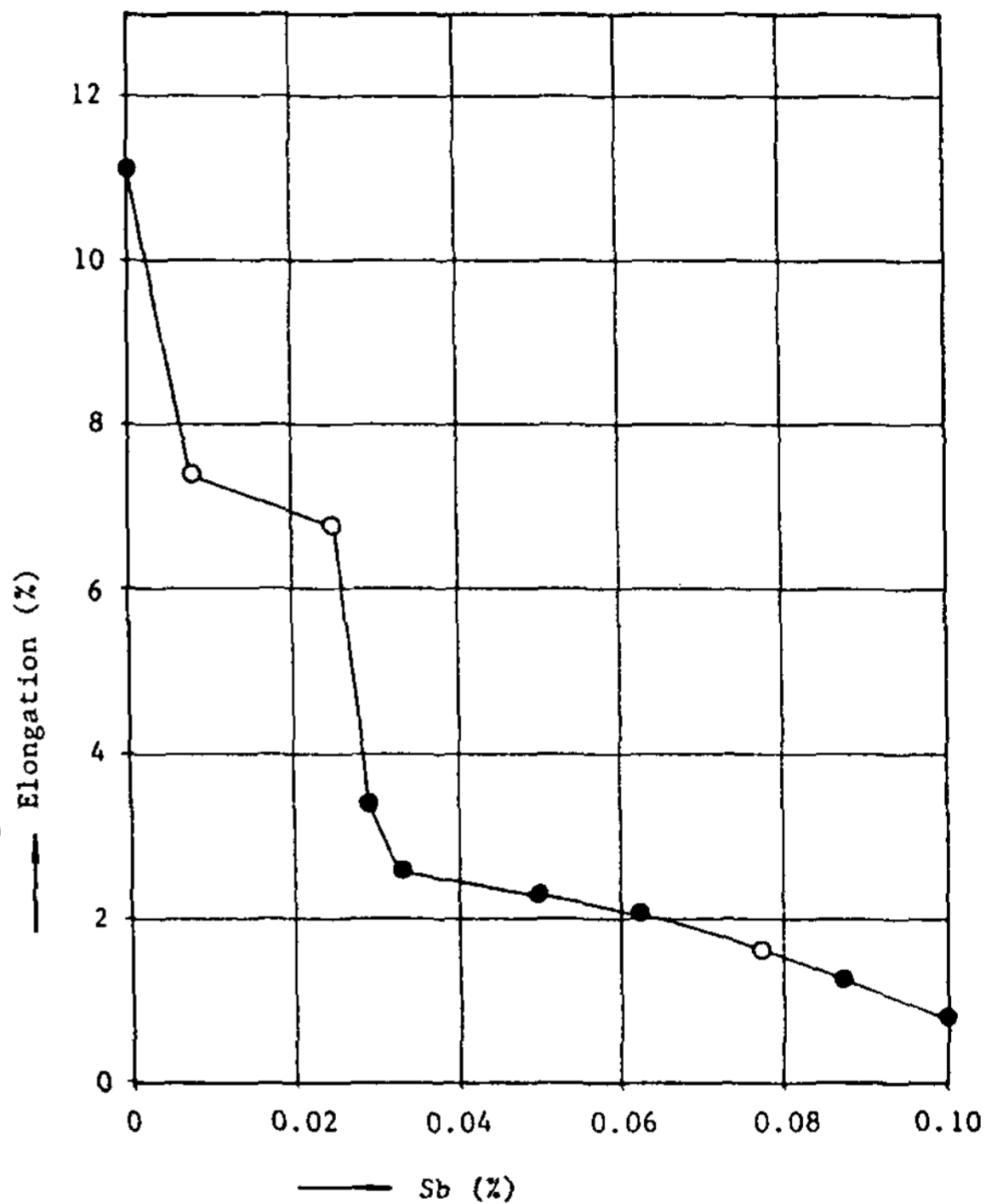


Fig.11 Effect of different Sb additions on elongation (%) of DCI.

와 같이 matrix의 pearlite 化와 後述하는 Sb의 固熔에 의한 ferrite의 強化가 주 原因이라 할 수 있다. 즉, 球狀黑鉛鑄鐵의 永久變形은 析出 ferrite와 pearlite 中の ferrite 층에서 일어나게 되는데 Sb 添加量の 증가에 따라 matrix에 ferrite가 析出될 수 없게 되고, 또 pearlite 中の ferrite 층이 強化되기 때문이다.

다음에 거의 直線的인 硬度의 증가는 前述한 바와 같이 matrix의 pearlite 化와 pearlite의 強化에 主 原因이 있다고 판단된다. ferrite matrix가 pearlite 化하면 強度와 硬度가 증가하는 것은 당연하다. 그런데 本 實驗에서 matrix 中の pearlite 만을 選擇하여 微小硬度計로 測定해본 結果 Fig.12와 같이 Sb

添加量의 증가에 따라 pearlite의 硬度가 증가함을 알 수 있었다. pearlite의 硬度가 상승하는 主要原因

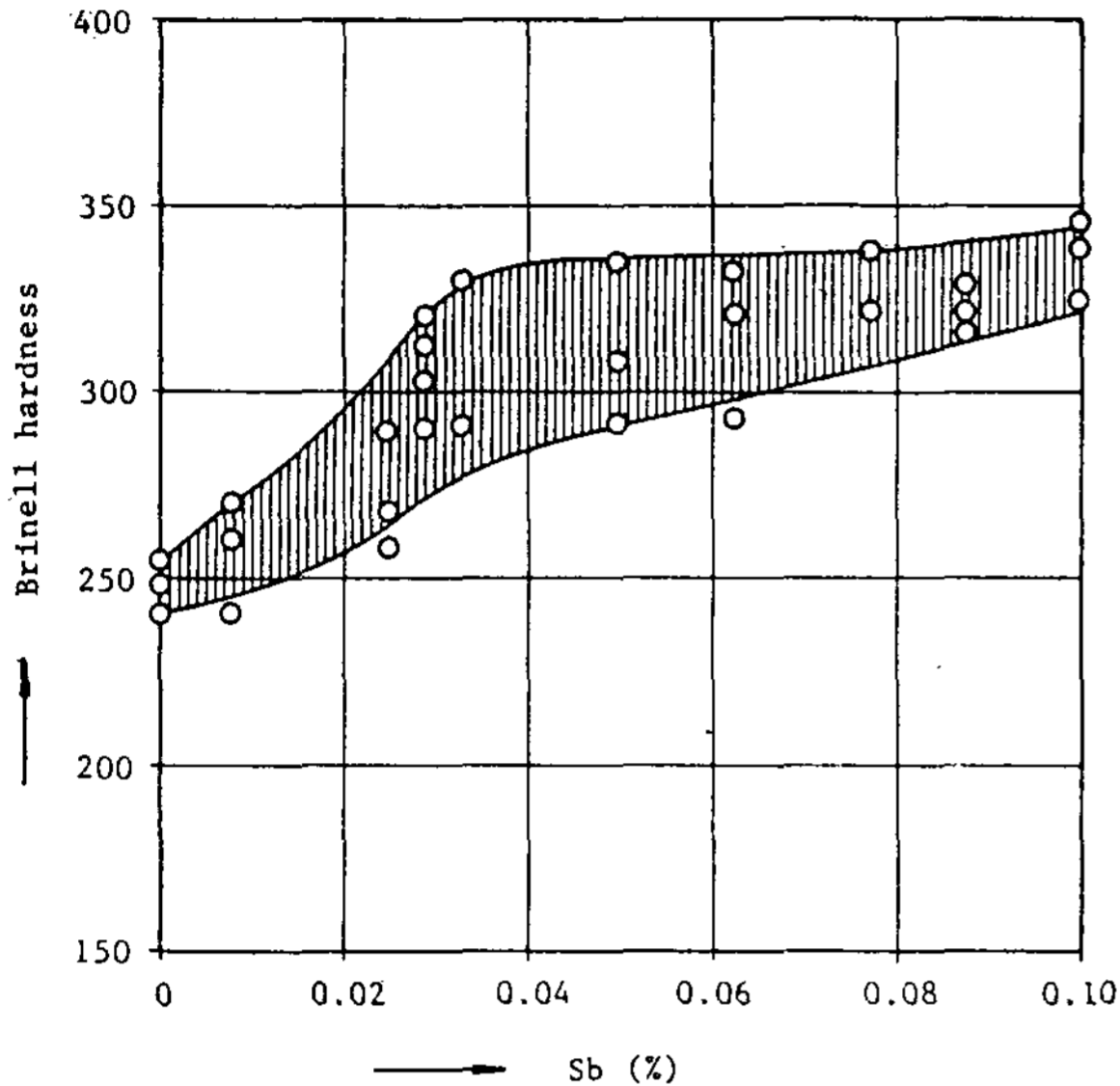


Fig.12 Effect of various Sb additions on hardness of pearlite.

은 pearlite의 微細化에도 原因이 있겠지만 pearlite 中の ferrite에 Sb가 固溶되어 固溶強化되는 것이 보다 큰 理由라 판단되며, matrix에 硬度測定이 가능한 크기의 析出 ferrite가 존재하는 범위에서 ferrite의 硬度를 測定해 본 結果 Sb添加量의 증가와 더불어 ferrite의 硬度가 상승됨을 확인할 수 있었다.

따라서 硬度가 直線的으로 증가하는 0.06% Sb 까지 Sb添加量의 증가와 함께 磨耗量이 급격히 감소하고, Sb添加量이 증가하여도 硬度變化가 거의 없는 0.06% Sb 이상에서는 磨耗量에 거의 변화가 없다 (Fig.4 참조). 그러나 0.1% Sb 부근에서 磨耗量이 약간 증가하는 傾向은 黑鉛의 不完全球狀化 때문인 것으로 판단된다.

여기에서 한가지 特記할 만한 사항은 磨耗試驗片中에서 Sb量이 증가함에 따라 球狀黑鉛鑄鐵試片인 stator의 磨耗量이 감소하면 相對試片인 S45C 材인 rotor의 磨耗量이 증가될 것으로 생각되는데, Fig. 4에서 보는 바와 같이 ~0.03% Sb 범위에서는 stator의 磨耗量이 감소하는 반면에 相對的으로 rotor의 磨耗量이 증가하나 0.03% Sb 이상에서는 sta-

tor의 磨耗量과 rotor의 磨耗量이 동시에 감소한다는 사실이다.

Fig.13은 이와 같은 原因의 一部를 알아보기 위해서 미끄럼面의 表面狀態를 관찰한 結果이다. 0.03% Sb 미만에서는 磨擦表面에 酸化皮膜이 형성되지 않았으나 그 이상의 Sb含量에서는 stator와 rotor의 磨擦面에 모두 黑色의 酸化皮膜이 형성되었다.

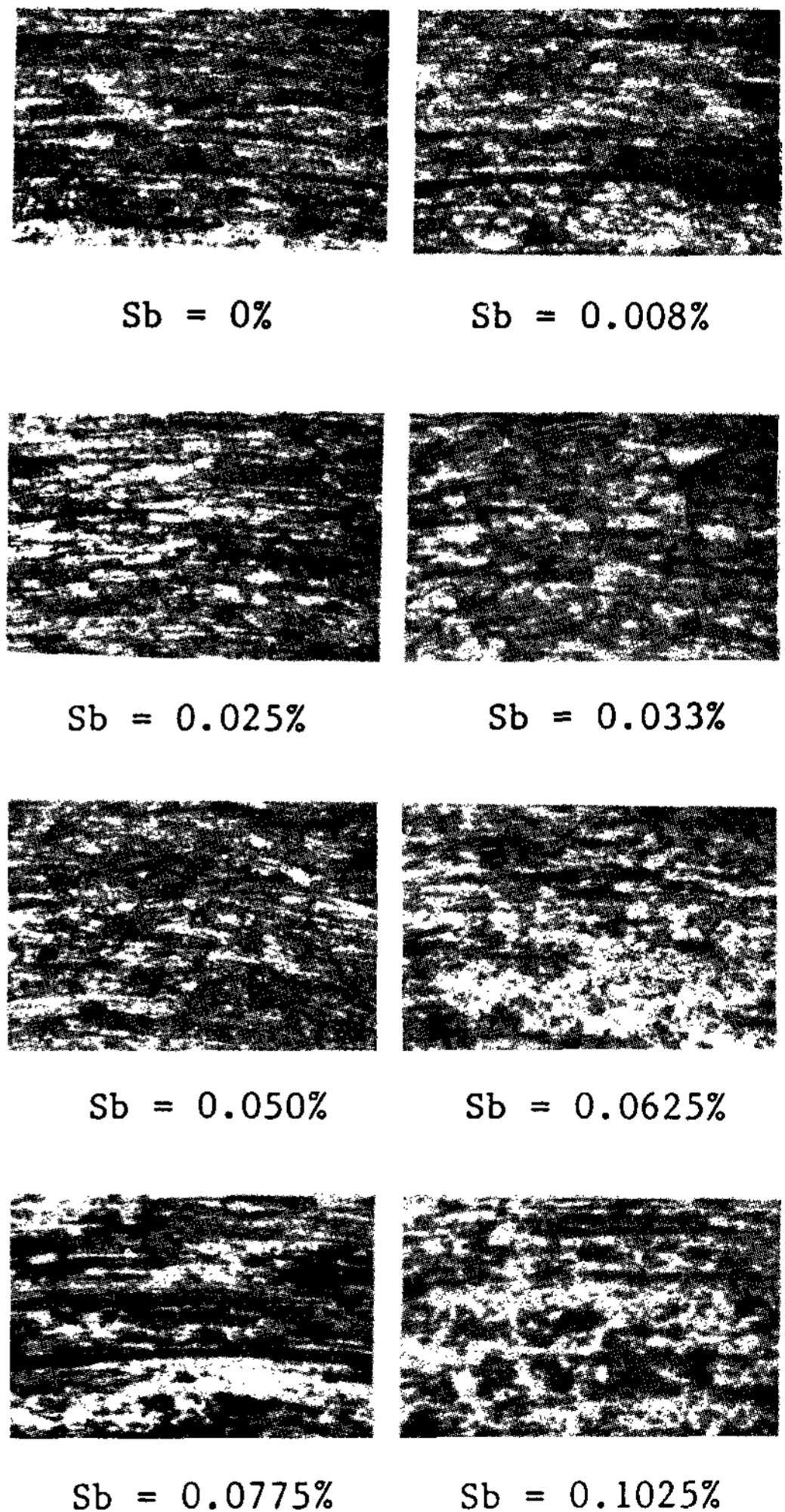


Fig.13 Effect of various Sb additions on wear characteristics of DCI.

이 사실로부터 0.03% Sb 이하에서는 機械的破壞 磨耗가 主体를 이루고 있으나 그 이상의 Sb含量에서는 Sb의 증가에 따라 점차로 酸化磨耗가 主体를 이루어가고 있음을 알 수 있다. 그러나 그 理由는 本實

驗을 통하여 확인할 수 없었으므로 今後의 研究課題로 하였다.

IV. 結 論

이상의 實驗 結果들을 綜合 檢討하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. Sb는 구상흑연주철의 건식마모 저항성을 극히 향상시키며, 최대마모 저항성은 0.06% Sb 부근에서 나타난다.

2. Mg 처리한 용금에 ladle 첨가하는 경우, Sb의 흑연구상화 저해작용은 0.03% Sb 이상에서부터 나타난다.

3. Sb는 pearlite형 구상흑연주철 제조에 유용하게 사용할 수 있는 원소이며, 적정량은 0.02~0.03% 범위이다.

參 考 文 獻

1. 日本鑄物工業會編, "鑄鐵의 材質", pp.10,32~33, 110~119.

2. 竹內榮一, "鑄鐵의 磨耗", pp.33~64, 66~75, 98~101, 119~146, 193~198, 250~252.

3. E.Voros, "The Effect of Antimony Contents on Solidification and Cast Iron Properties", 36th International Foundry Congress (Belgrade; Sept. 1969).

4. R.H.Aborn, "What Antimony may do for in Gray and Ductile Iron", AFS Transaction, Vol 84, pp.503~506 (1976).

5. 日本金屬學會 鑄造分科會編, "球狀黑鉛鑄鐵의 理論と 實際", pp.125~141, 169~176.

6. 李炳燁, 李啓完, "鑄鐵의 性質에 미치는 Sb添加의 效果에 關한 研究(I)", 韓國鑄造工學會誌, Vol. 4, 1984.11.

7. 李炳燁, "鑄鐵의 性質에 미치는 Sb添加의 效果에 關한 研究(II)", 大田開放大學論文集 第3輯, pp.361~367.

8. ASM, Metals Handbook, Vol.1.