

国内資源을 活用한 加炭材의 開發에 關한 研究< I >

金東玉* · 崔正吉**

1. 諸 論

鑄鐵 및 鑄鋼의 電氣炉熔解에서 많이 使用되고 있는 加炭材는 주로 값비싼 鑄鐵을 대신하여 스크랩을 裝入할때 많이 使用되며 熔湯중의 C成分을 調節하기 위해서 燥業상 없어서는 않되는 필수적인 原資材이다. 現在 国内에서 使用하는 加炭材로는 部分的으로는 電極스크랩이나 天然黑鉛 등의 國産이 있으나 大部分 高級의 黑鉛質加炭材를 輸入, 使用하는 실정이다. 外國에서는 석유코크스를 加工한 人造黑鉛加炭材, 燒成한 석유코크스, 電極스크랩, 冶金用코크스, 天然黑鉛, 炭火, 갈탄 등이⁽¹⁾ 널리 쓰이고 있다. 国内에서는 加炭材의 主原料가 되는 석유코크스나 高品位의 冶金用코크스 등이 없으므로 이들을 加工하여 加炭材를 만들기는 어려운 실정이며 오히려 国内에는 中級加炭材의 原料가 될 수있는 黑鉛이나 無煙炭등이 豊富하므로 이들을 原料로 製品化된 中級加炭材를 만들 可能性은 있다. 따라서 加炭材의 國産化를 위한 一次的인 方案은 高級加炭材로써의 開發보다는 国内에서 많이 産出되고 있는 良質의 黑鉛이나 無煙炭을 利用한 中級加炭材의 開發에 集中해야 할 것이다. 즉, 이들 原料를 간단히 生産工程을 통해 알맞게 加工하여 저렴하고도 均質하며 항상 安定된 供給을 할 수 있는 中級の 加炭材를 開發할 수 있으면 特殊鑄物을 除外한 一般鑄鐵, 鑄鋼用 加炭材로써 全鑄物工場을 cover 할 수도 있을 것이다. 또한 加炭材産業이 이러한 바탕위에서 安定된다면 外國에서 原料를 輸入하든지 또는 國産原資材의 品質을 向上시켜서 高級加炭材를 生産함으로써 国内 모든 鑄物工場에서 所要되는 加炭材를 모두 國産化하고 더 나아가 輸出까지도 豫想함으로써 外貨節約 및 獲得에 크게 寄與할 수 있을 것이다. 本 實驗에서는 國産原資材를 利用한

中級加炭材의 開發을 위하여 国内에서 加炭材로써 利用可能性이 있는 몇몇 土狀黑鉛, 鱗狀黑鉛 및 無煙炭을 鉞山에서 採取하여 成分分析한 후 이중 몇가지를 택하여 加工過程을 거쳐 一次, 二次熔解試驗을 통하여 回收率, 加炭速度, 再現性등을 檢討하여 加炭材로써의 使用可能性 与否를 檢討하였다.

2. 實驗方法

2.1 試料採取

国内에 매장되어 있는 無煙炭 및 黑鉛의 産地別 生産現況을 動力資源部로부터 資料를 調査하였으며 이를 附錄에 나타내었다. 이중 年間生産量 및 發熱量이 높고 (5000 kcal/kg 이상) 고정탄소(F.C)가 70% 이상의 品位를 갖는 것으로 비교적 埋藏量이 많은 것을 대상으로 江原道, 忠清北道, 慶尙北道 등지에서 地域別로 11個炭鉞을 선정하여 試料를 採取하였으며 試料는 碎炭을 각 20 kg씩 취하였다.

採取된 각 試料의 所在地, 生産品, 品位등은 Table 1 같다.

2.2 試料의 成分分析

採取한 각 試料의 成分分析 結果는 Table 2와 같다.

加炭材의 成分은 加炭材回收率, 加炭速度, 再現性등에 직접적인 영향을 미친다. 특히 중요한것은 固定炭素로써 固定炭素分이 낮을 때에는 加炭速度 回收率이 낮을 뿐 아니라 많은 量의 不 유물(dross) 및 슬랙를 形成하여 電氣炉, 레이들 등에 附着하여 슬랙제거에 많은 加炭시간을 필요로 하며 또한 加炭材나 合金元素등이 슬랙에 트랩(trop)됨으로 인해 回收率을 저하시키고 脫黃能率도 저하된다. 또한 水分과 揮發分등이 높을

* 責任研究員 研究員

** 韓國科學 技術院, 鑄物技術센터

Table 1. 採取된 각 試料의 所在地 및 特性

No.	炭 鉍 名	所 在 地	生産量(ton/年)	品位(kcal/kg)	種 類
1	합 태	강원, 삼척, 황지, 소도	631,453	5,243	無 煙 炭
2	동 원	강원, 삼척, 사북 5리	1,650,762	5,210	無 煙 炭
3	자 미 원	강원, 정선, 남면, 문곡	123,930	6,050	無 煙 炭
4	강 원	강원, 삼척, 장성, 철암 380	672,132	5,210	無 煙 炭
5	삼 창	경북, 문경, 마성	235,354	5,320	黑鉛質無煙炭
6	봉 명	경북, 문경, 마성	268,217	5,915	黑鉛質無煙炭
7	보 은	충북, 보은, 마로, 소여	47,123	6,175	黑鉛質無煙炭
8	마 로	충북, 보은, 마로	15,319	-	黑鉛質無煙炭
9	월 명	경북, 상주, 모서	9,320	-	黑鉛質無煙炭
10	평 택	경기, 평택, 오성	464	-	鱗 狀 黑鉛
11	오 류	경기, 부천, 소패	415	-	鱗 狀 黑鉛

Table 2. 각 試料의 成分分析結果

No.	項 目	試 料 名	水 分 (%)	灰 分 (%)	揮 發 分 (%)	固 定 炭 素 (%)	硫 黃 (%)
1		합 태	3.23	14.32	3.15	78.34	0.96
2		동 원	2.81	25.53	2.64	68.76	0.26
3		자 미 원	3.34	16.54	2.91	76.77	0.44
4		강 원	3.58	22.87	2.45	70.78	0.32
5		삼 창	3.77	16.01	3.57	76.34	0.31
6		봉 명	0.24	11.97	5.06	82.69	0.04
7		보 은	2.33	12.63	5.43	78.87	0.74
8		마 로	1.68	18.76	3.59	75.96	0.01
9		월 명	0.80	16.75	3.55	78.89	0.01
10		평 택	0.31	22.55	4.29	72.81	0.04
11		오 류	0.60	23.05	4.37	77.97	0.01

경우에는 熔湯의 폭발, 튀김, 프레임, 연기등을 발생시켜서 작업환경 및 용해장에 악영향을 미친다.

또한 S는 熔湯중 大部分 흡수되어 灰鑄鐵의 경우는 문제가 되지 않으나 球狀黑鉛鑄鐵의 경우는 큰 문제가 된다. 위의 試料들 중에서 S가 낮고 固定炭素分이 높은 것을 基準으로 하여 黑鉛質無煙炭중에서 삼창, 봉명, 월명과 鱗狀黑鉛중에서

평택흑연을 택하여 加工段階를 거쳐 熔解試驗을 하였다.

2.3 加工工程

原鉍의 加工은 다음과 같이 실시하였다. 加炭材는 形狀 즉, 表面積/體積比가 클수록 加炭速度가 크므로 加工時 일단(펠릿)을 만들어서 적절

한 입도분포를 갖는 각형의 상태로 破碎하여 表面積/體積比을 크게하여 使用하였다. 試料를 P-elletizing drum에서 펠릿로 成形하였으며 粘

結劑는 덱스트린(4%) + 벤토나이트(1%)를 使用하였으며 加工工程을 표시하면 Fig 1과 같다.

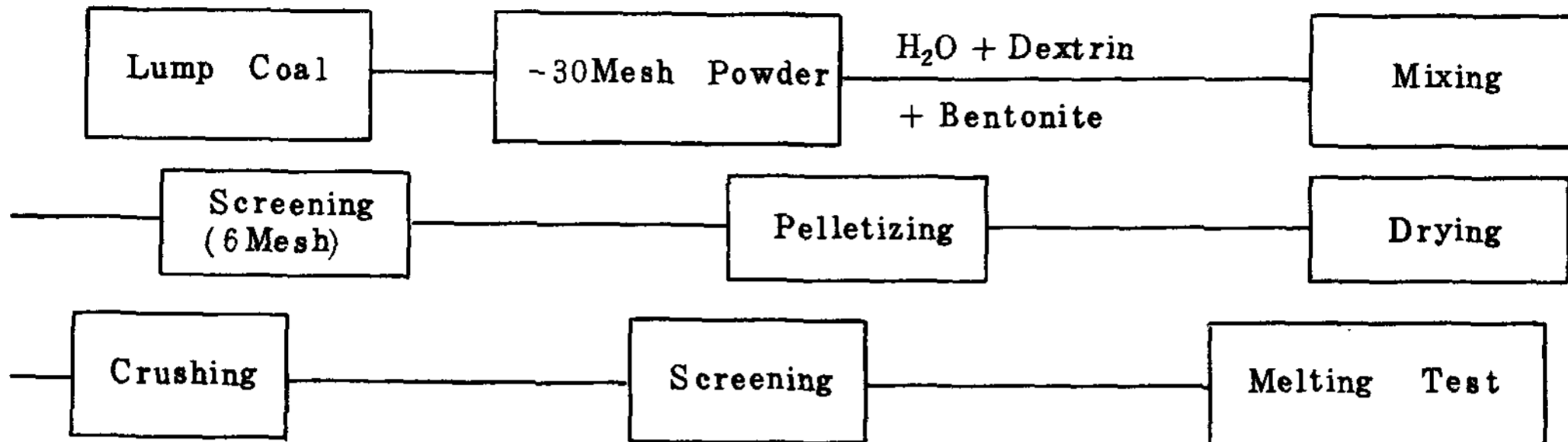


Fig 1. 原鉱의 加工工程圖

Fig 1에 표시한 工程을 통해 加工함으로써 試料가 多孔質狀態로 되어 熔湯과의 反應表面積을 넓혀줄 수 있으며 때때로 原料가 成分上 不均一한 경우는 品位가 높은 다른 炭을 混合하여 成分調整이 용이하므로 항상 一定한 品位의 均質한 製品을 生産할 수 있는 長點이 있다.

2.4 各試料의 粒度

使用한 各試料의 粒度分布는 Table 3과 같다.

<Table 3> 使用한 各試料의 粒度分布

mesh	%	mesh	%
+ 6	3	30/50	16
6/10	15	50/100	13
10/20	24	-100	18
20/30	11		

加炭材는 입자크기가 적을수록 表面積이 크므로 熔湯과의 接觸이 활발하여 熔解를 促進시킨다. 그러나 아주 미세한 입자(100mesh程度)가 많을 경우 熔湯위의 熱對流에 의한 燃燒損失, 분진손실(dust loss)등이 일어나므로 실수율이 감소하며, 따라서 -100mesh가 一般적으로 15% 내외가 적당하다. 熔湯이 높은 교반작용, 고온, 저탄소량일 경우 熔解速度, 回收率이 높아서 加炭材의 입도크기는 큰 영향을 미치지 않으므로 加炭材의

입도가 커도(3~9mm) 얼마든지 使用될 수 있다.

반대로 回收率과 熔解速度가 낮을 때에는 입도가 적은 것이(0~3mm) 一般적으로 選擇된다.⁽¹⁾

本 實驗에서는 加炭效率을 最大로 높이기 위해 -100mesh를 18%까지 높이면서 10/20 mesh를 정점으로 하여 6/10mesh~-100mesh까지 비슷한 分布를 택하여 實驗하였다.

2.5 熔解實驗

加工된 試料들로 加炭速度, 加炭率, 再現性등을 조사하기 위하여 熔解實驗을 實施하였다. 熔解實驗은 80kw, 300 cycle, 100 kg 容量의 마그네시아 라이닝의 中周波誘導爐에서 하였다. 熔湯의 飽和濃度는 熔湯의 溫度, 他元素들의 濃度등에 따라 의존하며 다음 (1)식과 같다.⁽¹⁾⁽²⁾

$$\%C_{Max} = 1.30 + 0.00257T^{\circ}C - 0.31si\% - 0.33p\% + 0.027Mn\% - 0.4s\% \dots (1)$$

(1)식에 따르면 加炭效率에 影響을 크게 미치는 것은 熔湯溫도와 熔湯中の si% 그리고 $C_{Max} - C_{Melt}\%$ 이다. 즉, 熔湯溫度가 높을 수록 加炭率은 增加하며 熔湯中 加炭前의 si%가 높을수록 加炭率이 감소하고 $C_{Max} - C_{Melt}\%$ 가 적을수록 加炭率은 감소한다. 이밖에 熔湯의 攪拌速度가 클수록 加炭率은 增加한다. 本 實驗에서는 熔湯의 組成을 一定하게 하고(C:2.03~2.10%, si:1.00~1.19%) 熔湯의 攪拌速度, 熔湯量(100kg), 加炭材의 粒形, 粒度分布등을 一定하게 하였다. 熔解

은 강스크랩, 선철, 스타팅블록과 함께 加炭材 1 kg을 装入하고 熔落後 1400℃에서 C分析試料를 採取하고 1.5 kg~2.0 kg의 試料를 1400~1500℃ 구간에서 투입하여 溫度上昇에 따라 C分析試料를 採取하였다. 採取한 試料는 氣體容量分析法에 의하여 C를 分析하여 加炭率을 구하였다.

Table 4는 装入材의 組成을 나타내었다.

〈Table 4〉 装入材의 組成

装入材	C	si	Mn	P	S
starting block	3.30	2.19	0.64	0.03	0.01
pig iron	4.30	1.13	0.15	0.08	0.035
steel scrap	0.16	0.01	0.61	—	0.045

3. 實驗結果 및 檢討

3.1 一次熔解實驗

炭鉍에서 採取하여 온 11가지 試料中 고정탄소분이 높고 S가 낮은 것을 基準으로 하여 삼창, 봉명, 월명 黑鉛質無煙炭과 평택麟狀黑鉛을 선택하여 加工工程을 거쳐 熔解實驗을 통하여 加炭材로써의 成能을 比較하였다. Fig 2에 結果를 나타내었다.

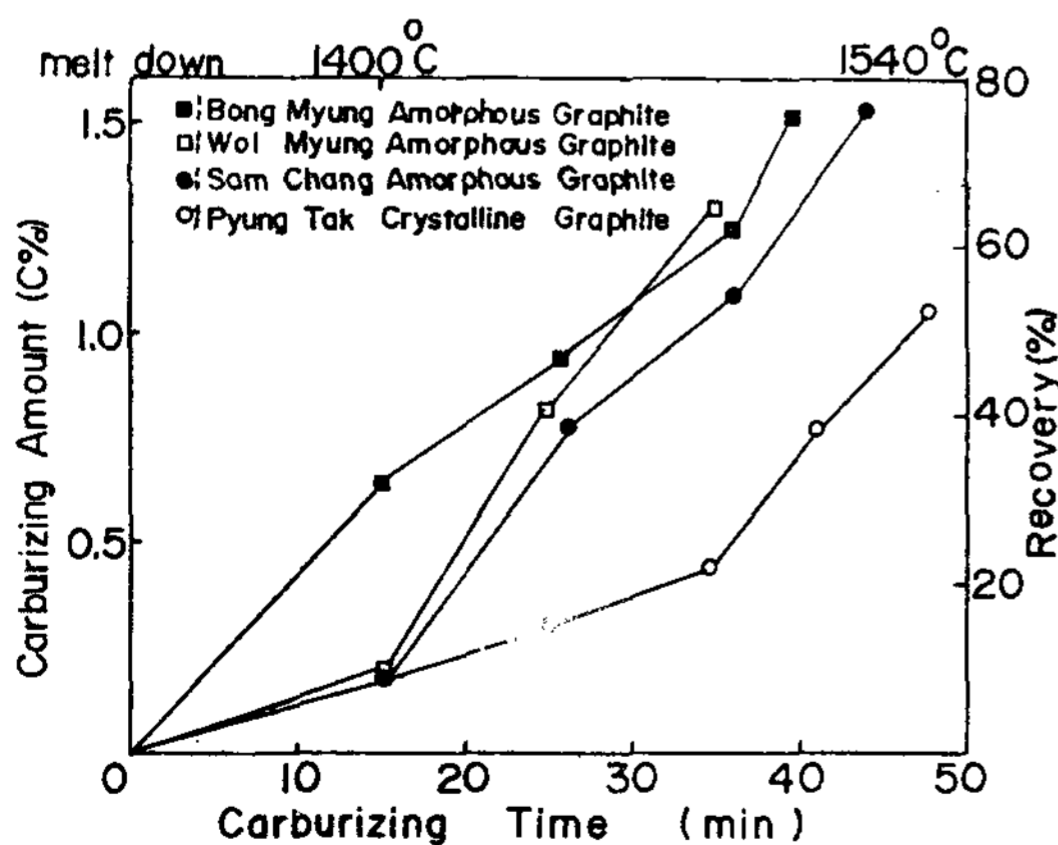


Fig 2. 各 試料의 加炭成能의 比較

Fig 2에서 나타낸 바와 같이 回收率에 있어서 평택 51.5%, 월명 64.6%, 봉명 74.0%, 삼창 76.0%로 삼창이 가장 回收率이 높고 평택이 가장 回收率이 낮은 것으로 나타났다. 加炭材를 初期装入했을 때는 봉명炭의 경우 装入後 1400℃까지 溫度上昇에 따라 가탄이 잘 進行되어 0.641% C의 加炭量을 나타내나 삼창, 월명, 평택은 装入後 1400℃까지 0.20% C의 낮은 加炭量을 가지다가 1400℃이후 溫度上昇에 따라 加炭速度가 빨라짐을 나타내주고 있다. 이로 보건대 봉명이 다른 試料에 비해 加炭이 低溫에서 부터 活潑하게 進行되며 월명, 삼창은 1400℃ 이상에서 평택은 1500℃ 이상에서 加炭이 活潑하게 進行됨을 알 수 있다. 위의 結果를 따라 加炭率이 제일 낮은 평택 麟狀黑鉛은 加炭材로써 부정당하다고 판단하고 봉명, 삼창, 월명 黑鉛質無煙炭을 対象으로 하여 加炭材의 再現性(reproducibility) 實驗을 하였다.

3.2 二次熔解實驗

3.1과 同一한 熔解條件 아래서 同一한 粒度의 試料로 加炭材의 再現性을 比較檢討하기 위하여 熔解實驗을 하였으며 그 結果는 Fig 3, Fig 4, Fig 5 및 Fig 6과 같다.

이들 結果를 살펴볼 때 装入材가 熔落된 후 1400℃까지의 溫度區間에서는 봉명탄은 삼창, 월명탄에 비하여 加炭反應이 比較的 活潑하게 進行되며 1400℃ 이후에서는 세 試料가 모두 비슷한 정도로 加炭反應이 進行되고 있음을 보여주고 있다. 再現性에 있어서도 봉명탄이 삼창, 월명탄보다 훨씬 安定되어 있음을 보여주고 있다. 加炭材의 加炭量, 加炭速度, 再現性등에 영향을 미치는 가장 중요한 인자는 회분이다. 회분량이 많을 수록 고정탄소분이 회분으로부터 分離되기가 어려우며 따라서 熔湯과 加炭材사이의 反應比表面積이 적어지므로 加炭量 및 加炭速度가 낮아지게 된다. 또한 熔湯이 攪拌됨에 따라 회분량이 많을 수록 加炭材가 炉内壁에 달라붙는 현상이 심하여지며 따라서 炉内壁를 浸蝕시키면서 加炭이 遲延되어지다가 溫度上昇에 따라 고정탄소의 解離 및 熔解가 促進되어 加炭이 進行하게 된다. 여기서 各 試料는 회분량이 봉명 12.0%, 월명 16.8%, 삼창 16.0%

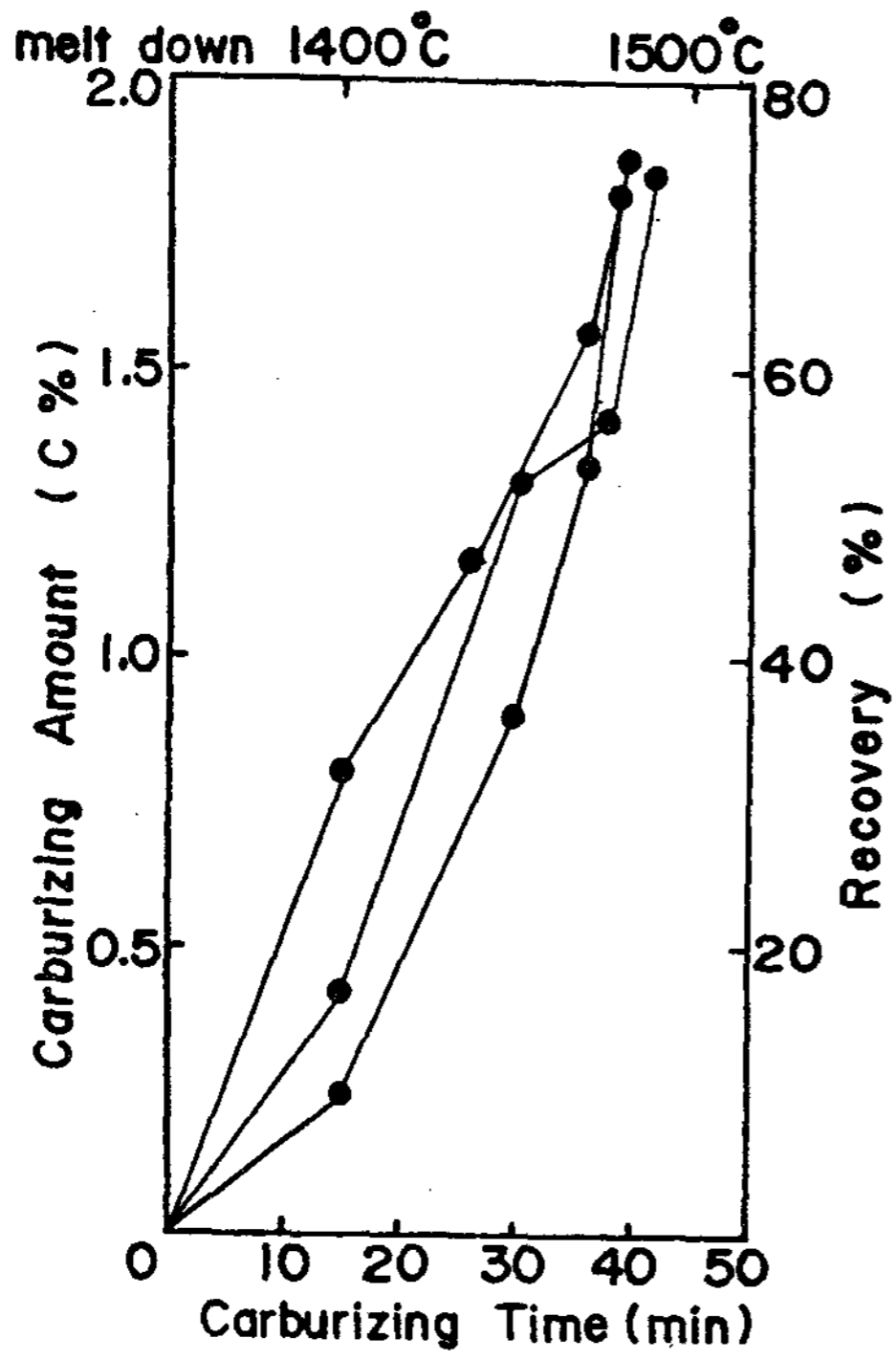


Fig 3. 봉명 黑鉛質 無煙炭의 再現性

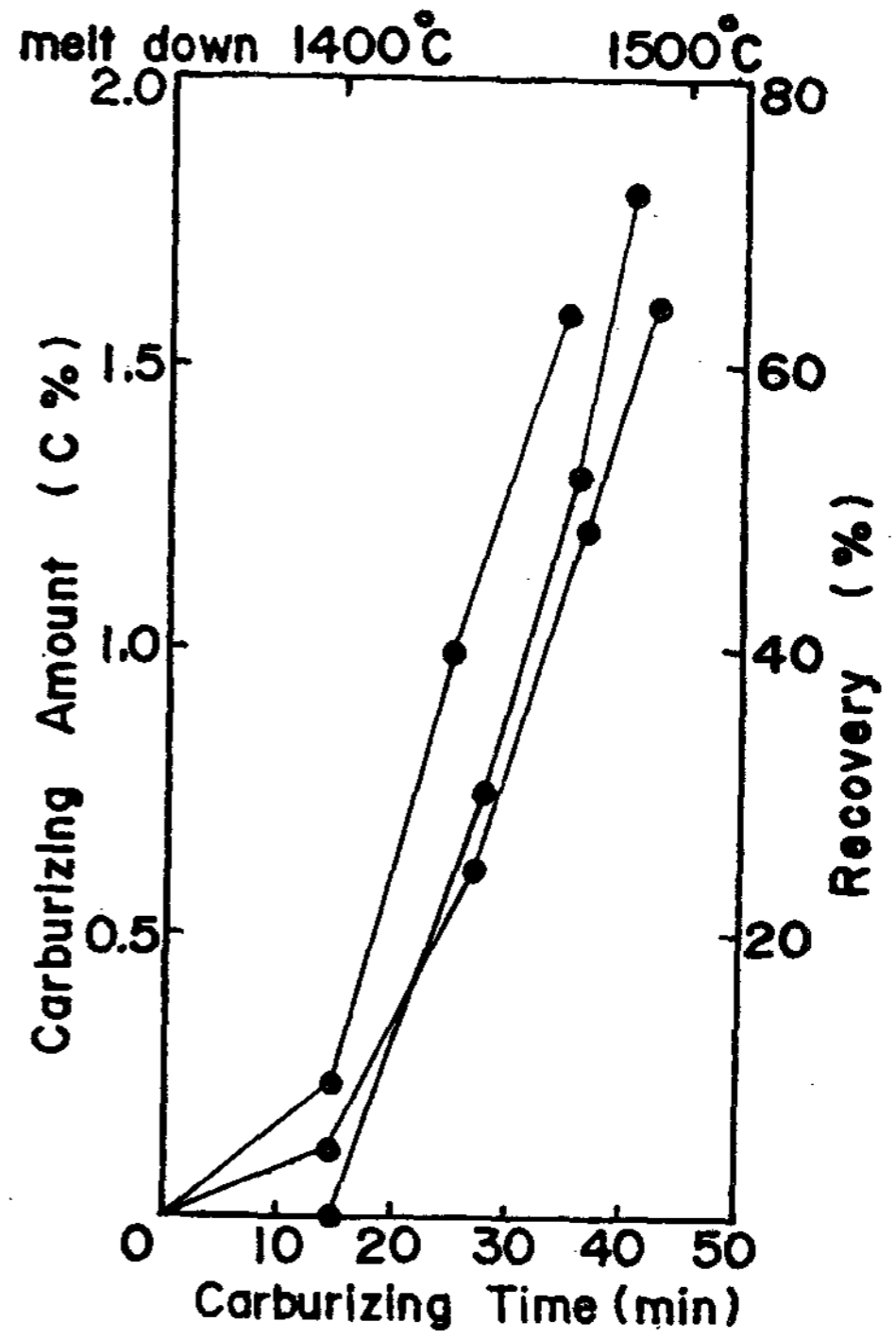


Fig 4. 월명 黑煙質 無煙炭의 再現性

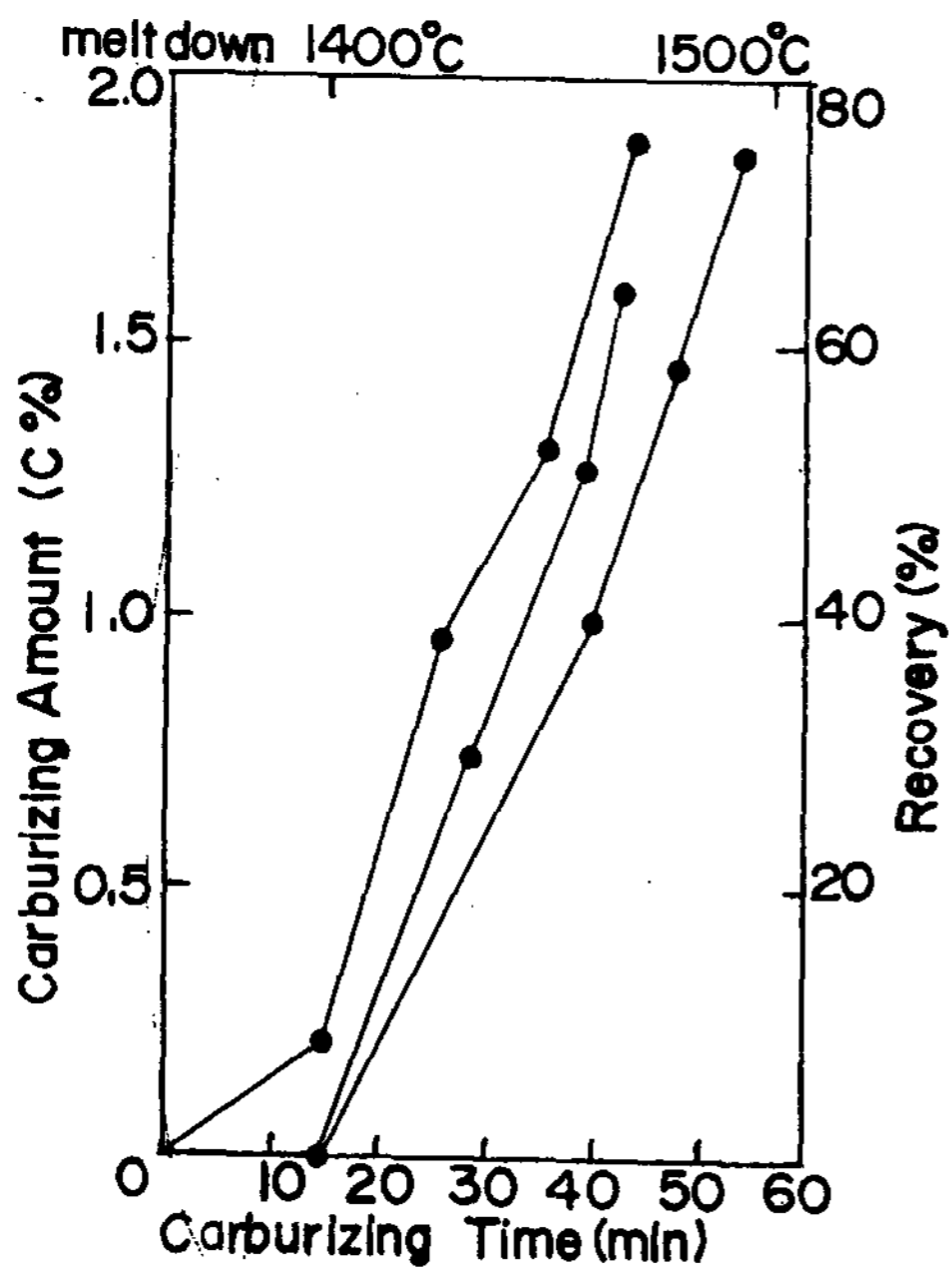


Fig 5. 삼창 黑鉛質 無煙炭의 再現性

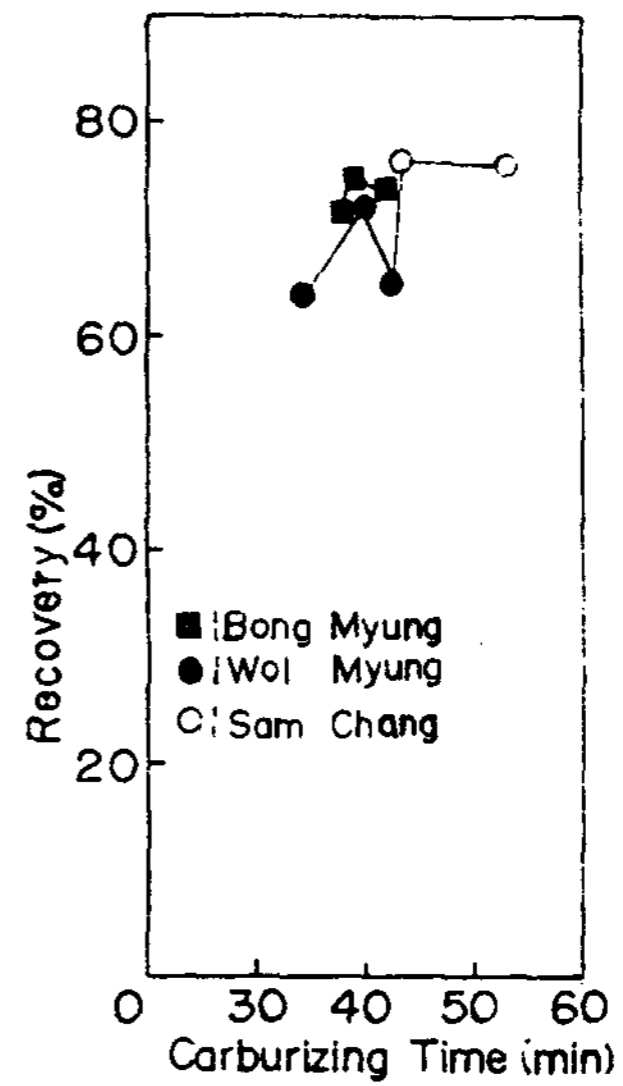


Fig 6. 各 試料의 再現性의 比較

Table 5. 各 試料의 熔解特性 比較

特 性	試 料	월 명	삼 창	봉 명
落落 ~ 1400 ℃의 加炭量 (C%)		0.123	0.075	0.474
落落 ~ 1400 ℃의 加炭速度 (%C/min)		0.008	0.005	0.032
1400 ~ 1540 ℃의 加炭量 (%C)		1.538	1.724	1.344
1400 ~ 1540 ℃의 加炭速度 (%C/min)		0.062	0.054	0.054
全 体 加 炭 量 (%C)		1.661	1.799	1.818
全 体 加 炭 速 度 (%C/min)		0.042	0.039	0.045
		64.6	64.0	74.0
全 体 加 炭 回 收 率 (%)		71.9	71.4	71.3
		63.8	63.6	73.0
加 炭 材 中 S 量 (%)		0.01	0.31	0.04
加 炭 前 熔 湯 中 S 量 (%)		0.03	0.03	0.03
加 炭 後 熔 湯 中 S 量 (%)		0.03	0.045	0.03

로써 모두 회분량이 많은 편이나 그중 봉명이 比較的 회분량이 적은 편이며 따라서 回收率, 加炭速度, 再現性등이 比較的 높고 安定된 것으로 말할 수 있다. Table 5에 各 試料의 加炭材로써의 加炭現象에 대한 特性을 比較하였다. 加炭結果 熔湯中 S의 增加는 봉명 및 월명탄에서는 일어나지 않았으나 삼창탄의 경우 0.015% S의 增加가 있었다.

4. 結 論

国内黑鉛 및 無煙炭資源의 加炭材로써의 加工 및 熔解實驗結果는 다음과 같다.

1. 各 鉞山에서 採取하여 온 試料中 봉명, 월명, 삼창 黑鉛質無煙炭이 国産中級加炭材로써의 使用可能性이 있는 것으로 檢討되어 졌으며 熔解實驗結果는 全体回收率에 있어 봉명이 74.0, 71.3, 73.0%, 월명 64.9, 71.9, 63.8%, 삼창 76.0,

64.6, 75.4%로 나타 났으며 봉명탄의 再現性이 가장 좋았다.

2. 熔落 - 1400 ℃의 比較的 低温의 溫度區間에서 세가지 試料 모두 加炭이 저조하였으며 그중 월명, 삼창은 거의 加炭이 進行되지 않았고 봉명은 初期裝入量의 45%程度가 加炭되었다. 반면 1400 ℃이상으로 溫度가 上昇함에 따라 세가지 試料 모두가 加炭이 活潑하게 進行되었으며 全体加炭速度는 봉명 0.045, 월명 0.042, 삼창 0.039 %C/min 순으로 나타났다.

參 考 文 獻

1. R.B. Coates, British Foundryman Vol 72, (1979) Part 8, pp.178-196
2. O Angeles rsch asst, AFS Trans., Vol 76, (1968) pp.629-637

부록 : 無煙炭의 產地別 現況

炭田別	炭鉞名	生産量	品位 (kcal/kg)	炭田別	炭鉞名	生産量	品位 (kcal/kg)	
강릉	강릉 (좌)	5,421	5,500	성원	성원	25,970	3,260	
	강릉	106,353	4,375		합태	631,453	5,243	
	낙풍	29,713	4,550		동해	360,252	5,210	
	홍일	22,995	4,200		동화	12,800	4,000	
	구진	8,722	4,375		삼정	16,496		
	정림	2,089	5,500		경동	484,508	5,210	
	대령	1,905	5,500		국일	45,646		
	관동	5,239			삼마	131,064	5,150	
	영동	31,244	4,550		대방	40,566	5,000	
	화령	72,586	4,700		계원	13,307	5,500	
	부경	328	4,100		강동	164,020	5,299	
	칠보	10			정동	177,578	5,210	
	성일	1,005			묵산	43,262	5,150	
	대진	582			한영	286,365	5,150	
	우성	11,873	3,750		경일	223,015	5,150	
	해동	2,479			달전	42,237		
	임동	200			한양	5,030		
	정선	우전 (좌)	124,770		5,390	풍곡	150	
		회동 (좌)	35,960		4,850	미로광업로	51	
		동곡	58,147		5,150	신지	5,220	
세풍		12,033	5,300	미로광업사	5			
정선		1,398		단양	140,635	5,300		
풍기		140		한일	54,696	5,150		
예미		5,654		단양	112,289	5,060		
합창		126		보발	27,706	5,130		
구암		1,248		영월	68,380	4,500		
주진		2,950		영대	13,982	4,500		
삼척	동원 (좌)	1,650,762	5,210	태일	8,900	5,060		
	삼척 (좌)	1,221,667	5,210	봉양	8,039	5,500		
	강원	672,132	5,210	대효	1,460			
	어룡	543,393	5,210	니한	1,500			
	한성	291,982	5,210	대봉	6,068	4,500		
	황지	500,200	5,210	삼보	3,130			
	장원	331,323	5,330	용배	1,650			
	태영	130,255	5,300	동화	3,069			
	광전	170,552	5,300	보은	47,123	6,675		
	성연	77,067	5,100	동주	35,924	4,200		
	자민	123,930	6,050	동양	25,956	4,150		
				일월	15,300	4,260		

炭田別	炭鉞名	生産量	品位 (k cal/kg)	炭田別	炭鉞名	生産量	品位 (k cal/kg)	
문 경	마로	15,319		호 남	아미산	13,575	4,000	
	대성 (좌)	816,874	4,910		태화	18,003	4,000	
	봉명	268,217	5,915		성보	1,420	3,500	
	삼창	235,354	5,320		흥마	650		
	장자	55,736	5,330		진풍	720		
	정산	66,447	5,000		대운	325		
	태산	67,297	4,850		미산	580		
	대정	95,422	4,770		동진	1,890		
	우북	20,203	5,800		대창	13,810	3,500	
	계림	85,828	5,300		광시	3,592		
	상원	25,800	5,000		한보	2,640		
	옥산	6,023	4,000		삼대	3,125		
	대현	9,200	5,000		충남	2,250		
	오정	10,016	3,500		용천	1,700		
	함원	4,150	4,500		대북	195		
	경진	76,139	5,330		길포	400		
	광암유연탄	1,630			정금	200		
	함창	6,190	3,000		대성	250		
	총 남	태일	1,697			동보	20,929	4,350
		삼성	30			림	12,246	2,930
덕산		3,100		호남 (좌)	180,290	5,390		
영보		2,610		호남	47,419	5,600		
태건		2,197		삼성	24,767	4,560		
경주		450		삼정	17,285	5,100		
태흥		286		이양	59,129	5,300		
월산		16,791	4,500	화일	14,770	2,500		
예산		15,912	5,300	구암	9,439	4,500		
보성		13,616	4,000	대북	12,110	2,510		
동명		76,500	5,000	광진	8,565	5,000		
원풍		48,483	4,850	화양	1,525			
백월		9,420	5,000	동일	7,981	4,700		
남보		18,275	2,910	남선	915			
무량		34,904	4,500	대성	1,140			
보령	12,655	5,000	화산	680				
외산	25,150	2,120	전북	32,850	4,380			
성풍	15,487	4,000	대덕					