

忠南炭田 無煙炭의 特性

朴爽煥* · 朴鉷洙*

Property of the Jurassic anthracite (Anthracite from the Seongju Area of the Chungnam Coalfield)

Park, Suk Whan and Park, Hong Soo

Abstract: The anthracite coalfields of Korea are confined to the areas where sedimentary rocks of Permian and Jurassic are preserved.

The Chungnam coalfield lies in the sedimentary rocks of Jurassic which belongs to the Daedong Supergroup (the Nampo group).

For the property analysis of each coalseam interbedded in Daedong Supergroup, Seongju area is chosen and twelve coalseams are taken.

Many standard tests have been established for optical analysis (maceral analysis, coalification degree measurement), chemical analysis (proximate, ultimate analysis) and physical analysis (ignition temperature, ash fusion temperature, hardgrove grindability index and X-ray diffraction).

The Jurassic anthracite mainly consist of vitrinite and macrinite and the range of the reflectance is R_{max} 5.0-6.5 which means metaanthracite rank.

By the chemical composition analysis, it shows low H/C and high O/C value compare with international average value.

By the physical analysis, it has very high ignition temperature (531-584°C) and ash fusion temperature (1510-1700°C) and very low combustion velocity (0.2-1.9 mg/min).

The very wide range of the hardgrove grindability index (46-132) means that the grindability controlled mainly by the structural conditions of coal bearing strata.

序 言

忠南炭田은 國內賦存 中生代 含炭層의 代表的인 分布地로서 時代未詳의 變成岩類와 이를 不整合으로 被覆하는 大同累層群 그리고 이들을 買入한 脈岩類로 構成된다.

大同累層群 堆積岩層은 下部로부터 峨嵋山層, 造溪里層, 白雲寺層, 聖住里層으로 이루어진다. 이들 岩層 中 最上部層인 聖住里層만 除外하고 나머지 岩層들은 모두 石炭層을 몇 枚씩 挾在한다.

忠南炭田 大同累層群內에 挾在되는 炭層은 約 30 枚 內外이고 이 中 現在 稼行中인 炭層은 約 15 枚 內外이다.

本 研究를 爲한 石炭試料 採取는 本 地域內에서 層序가 잘 밝혀졌고 石炭生産이 活發히 進行되고 있는 木坊本坑, 양지斜坑, 덕수新斜坑, 개화元坑, 심

*韓國動力資源研究所(Korea Institute of Energy and Resources, 219-5 Garibongdong Kurogu, Seoul, 152-600, Korea)

Table 1. Coal seams and sample locations.

Formation	Location	Audit (level)	Coal seam	Thickness (m)	Seam No.
Baegunsa	Muk Bang	Muk Bang Bon (9)	upper	0.7	15 (JB-4)
	Baeg Jae	Yang Ji incline (3)	middle upper	0.6	14 (JB-3)
			middle lower	0.2	13 (JB-2)
	Deuksu	Deogsu New incline (8)	lower	0.7	12 (JB-1)
Jogaeri	Deuksu	Deogsu New incline (8)	upper	0.8	11 (JJ-2)
			lower	0.8	10 (JJ-1)
Amisan	Gaewha	Gaewha Won (6)	Gaewha upper	0.8	9 (JA-6)
			Gaewha middle	0.7	8 (JA-5)
			Gaewha lower	0.6	7 (JA-4)
	Okseo	Gaewha Won (6)	Okseo upper	0.4	6 (JA-3)
			Okseo middle	0.5	5 (JA-2)
			Okseo lower	0.5	4 (JA-1)
			Hwa Jang	Simwon (2)	Okseo upper
		Okseo middle	0.8	2 (JA-2)	
		Okseo lower	0.8	1 (JA-1)	

원2坑 등에서 實施되었다. 이 중 峨嵋山層內의 下部炭層 3枚는 王馬地區(개화, 옥서地區)와 造溪地區(화장지구)에서 各各 따로 採取하였다. 試料採取地域 및 炭層은 Table 1과 같다.

光學的 特性

石炭의 光學的인 特性을 利用하여 石炭의 構成物質 組成比와 石炭의 炭化程度를 測定하였다.

石炭構成物質分類(Maceral analysis)

現在 國際石炭岩石學會(ICCP)에서 承認 決定되어 使用되고 있는 石炭의 構成物質 分類基準은 瀝靑炭(bituminous coal)과 褐炭(lignite)을 分類하기 위한 基準 뿐이고(Table 2) 無煙炭(anthracite)을 分類하기 위한 基準은 아직도 마련되어 있지 않다. 그러므로 國內 無煙炭의 構成物質을 分類함에 있어 既存의 瀝靑炭構成物質 分類基準을 適用할 수 있는 部分은 이 分類基準을 그대로 使用하였으며 瀝靑炭에서 볼 수 없는 새로운 物質들은 새로운 이름을 붙여 分類하도록 하였다.

새로 만든 無煙炭의 分類基準은 Table 3과 같으며 이 分類基準은 아직도 國際的으로 公認되지 않은 것이며, 向後 더욱 研究해서 修正과 보충이 實

施되어야 할 것이다.

이들 無煙炭에 對한 새로운 分類基準은 주로 顯微鏡下에서 確認되는 光學的 性質에 依해서 分類된 것이며 이들 새로운 構成物質의 起源과 變成過程 그리고 現在 갖고 있는 化學的, 物理的 特性은 아직 究明되지 못하고 있다. 그러므로 이들 構成物質에 대한 特性和 起源설명은 아직 추측단계를 벗어나지 못한 것이다.

○ Graphinite는 變成이 深한 일부 無煙炭에서 볼 수 있는 物質로서 金屬性 노랑색(metallic yellow color)를 띠며 매우 높은 反射率을 갖는다. 그러나 微細한 粒狀構造를 갖고 있어 反射率測定은 不可能하다. 크로스니콜(cross nicol)下에서 스테이지(stage)를 회전시키면 Graphinite는 붉은색에서 파랑색으로 그리고 다시 노랑색으로 色相變化가 일어나는 것이 特徵 중의 하나이다.

이 物質의 生成起源은 炭質物의 黑鉛化作用(graphitization)과 관련이 깊은 것으로 추측된다. 또한 이 物質이 天然코크스(natural cokes)일 가능성도 있어 向後 계속적인 研究가 要望된다.

○ Mottlite는 그 全體的인 形態는 大體로 vitrinite와 같고 vitrinite나 inertinite와 연결되어 帶狀으로 分布되고 있으나 사각형내지 마름모꼴의 光學的 單位區域(사방 20 μm 이하)으로 되어 있어 그물 같은 모양을 보여주고 있다. 이 物質의 生成

Table 2. Maceral classification of brown coal and bituminous coal.

Brown coal		Bituminous coal	
maceral group	maceral	maceral group	maceral
	textinite		telinite
	ulminite		
huminite	attrinite	vitrinite	vitrodetrinite
	densinite		
	gelinite		
	corpohuminite		collinite
	sporinite		sporinite
	cutinite		cutinite
	resinite		resinite
liptinite (exinite)	suberinite	liptinite (exinite)	alginite
	alginite		liptodetrinite
	liptodetrinite		chlorophyllinite
	chlorophyllinite		bituminite
	bituminite		
	fusinite		fusinite
	semifusinite		semifusinite
inertinite	macrinite	inertinite	macrinite
	sclerotinite		sclerotinite
	inertodetrinite		inertodetrinite

起源은 아직 밝혀지지 않고 있으나 炭質物이 갖고 있는 粘結性(plastic property)과 깊은 관계가 있는 것으로 추측된다.

炭質物이 地下에서 炭化過程을 거치는 동안 어느 溫度의 範圍內에 놓이게 되면 炭質物의 一部는 粘結性을 갖게되어 mesophase 를 形成하게 되는데 이 때에 構造的인 힘을 받게되는 경우 이 炭質物 內에 多樣한 힘의 영역이 일어나 結果的으로 本來의 光學的 特性은 상실되고 새로운 힘의 方向에 영향을 받은 光學的 특징을 갖게되어 이와 같은 현상이 일어난 것으로 해석된다.

이러한 해석에 근거를 둔다면 mottlite 는 아마도 炭質物 中에서 粘結性이 강한 部分이 그의 起源物質이 될 것이다.

○ Impregnite 는 대부분 vitrinite 內에 발달된 皴裂(crack)를 충진한 상태로 나타나고 있어 좁고 (폭 2 μm 이내) 긴 실 모양으로 발달되고 있다.

Table 3. Maceral classification of Korean anthracite.

maceral group	maceral
Graphinite	Graphinite
	Graphinite B
Impregnite	Impregnite
Vitrinite	Vitrinite 1
	Vitrinite 2
	Vitrinite B
Mottlite	Mottlite 1
	Mottlite 2
	Mottlite B
Inertinite	Inertinite
	Inertinite B

이 物質은 vitrinite 나 inertinite 보다 높은 反射率을 갖고 있으며 강한 異方性을 보여주고 있다. 이 物質은 熱分解性 炭素(pyrolytic carbon)와 깊은 관계가 있거나 같은 起源일 것으로 사료된다.

Vitrinite 와 Inertinite 는 瀝靑炭에서의 分類基準을 그대로 적용하였으며 다만 vitrinite 는 inertinite 보다 훨씬 큰 異方性을 갖고 있는데 이러한 성질이 瀝靑炭에서의 경우와 다른 점이다.

各 maceral 의 어미에 붙인 "B"는 Bracciated 의 約字로서 maceral 이 10 μm 이하의 size 로 破碎되어 있는 경우를 의미한다.

또한 各 maceral 어미에 붙인 "1", "2"는 "1"의 경우는 細胞構造가 있는 경우이고 "2"의 경우는 細胞構造가 없는 경우이다.

새로운 石炭構成物質 分類基準에 따른 이들 無煙炭의 構成物質分類結果는 Table 4와 같다. 이 分類結果에 依하면 峨嵋山層에 挾在된 炭層에 Impregnite 와 Macrinite 가 多量含有되고 있으며 특히 Vitrinite 는 대부분 Detocollinite 로서 불안정한 堆積盆地內에서의 石炭層의 급격한 퇴적형성을 잘 설명해 주고 있다.

Mineral 은 대부분이 粘土鑛物로 構成되는데 특이할 것은 Kaoline-coal tonstein 이 그의 특이한 형태에 의해서 확인된다. 이 tonstein 이 多量含有되는 경우에는 石炭灰의 熔融點이 상승되며 이들이 두꺼운 層을 이루고 있을 때는 耐火材로서 사용될 수도 있다.

Table 4. Petrographic composition of Korean anthracite.

(Unit: Vol. %)

coal seam	GP	IP	VT	SP	RE	MA	MT	SF	FU	SC	M
15 (JB-4)	0.5	2	82.0		1	3.5		7.5			3.5
14 (JB-3)	4		50.5								45.5
13 (JB-2)			70.6			1.3		0.9			27.2
12 (JB-1)			86.0		0.5	4		7	0.5		2
11 (JJ-2)			68.0			3	0.5	12	1		15.5
10 (JJ-1)	0.5	1	79.5		2	10.5		3.5		0.5	2.5
9 (JA-6)		1.2	73.5			17.6		1.3			6.4
8 (JA-5)	4	1.5	51	0.5	1.5	10.5	0.5				30.5
7 (JA-4)	8.5	0.5	45.6	1	0.5	5	0.5	1.6	0.5	1	35.3
6 (JA-3)		0.5	47		1	44.5		3.5			3.5
5 (JA-2)		1	50	0.5	0.5	34.5	1	10	1		1.5
4 (JA-1)		0.5	68.5	0.5	0.5	1	0.5	5.5	5.5		17.5
3 (JA-3)											
2 (JA-2)			85.5	0.5	0.5	1.5	2.5	4.5	1.5		3.5
1 (JA-1)	6.5		67.5					1			25

GP: Graphinite, IP: Impregnite, VT: Vitrinite, SP: Sporinite, RE: Resinite, MA: Macrinite, MT: Mottlite, SF: Semifusinite, FU: Fusinite, SC: Sclerotinite, M: Mineral

石炭의 炭化程度

石炭의 炭化程度는 化學分析值(FC 값, VM 값, C 값 等)에 依한 경우와 顯微鏡下에서 石炭構成物 質中 비트리나이트의 反射率(vitrinite reflectance)에 依한 경우로 分類되어 表示될 수 있다.

現在 國際의으로는 여러가지 長點 때문에 비트리나이트의 反射率에 의한 炭化程度 測定方法이 널리 使用되고 있다. 特히 無煙炭의 炭化程度는 비트리나이트 反射率에 있어서의 異方性에 의해 잘 表示된다. 즉 炭化程度가 심해질수록 異方性은 점차 커지며 無煙炭에서 變成無煙炭으로 되면서 異方性은 급격히 증가되는 현상을 보여준다(Fig. 1).

이들 실험대상 無煙炭의 炭化程度를 測定하는 基準으로는 反射率方法을 選擇하였다.

이들 無煙炭은 비트리나이트 反射率이 Rmoil 5.0~6.0으로서 變成無煙炭에 해당되고 있으며 이들의 비트리나이트 反射率 異方性도 Fig. 1과 같이 이들이 變性無煙炭에 해당되는 것을 잘 보여주고 있다.

化學的 特性

石炭에 對한 化學分析을 實施하는 경우 주로 工業分析(proximate analysis)과 元素分析(ultimate analysis)이 實施되고 있으며 石炭이 含有하고 있는 鑛物質의 成分을 알기 위하여 灰成分分析을 實施하고 있다.

工業 및 元素分析

工業 및 元素分析은 分析할 때의 基準에 따라 無水基準(dry basis), 無水無灰基準(dry ash free basis) 等으로 나누어 지는데 이들 各 基準에 따른 分析值는 計算에 依해서도 求해질 수 있다.

이들 無煙炭에 對한 化學分析 結果는 Table 5와 같다.

이들 化學分析結果를 炭化程度(炭素의 含有量)에 대한 各各의 性質과 比較하여 보면 Fig. 2, 3, 4와 같이 發熱量과 水素含量은 國際基準值보다 낮은 편이고 酸素含量은 높은 편이다.

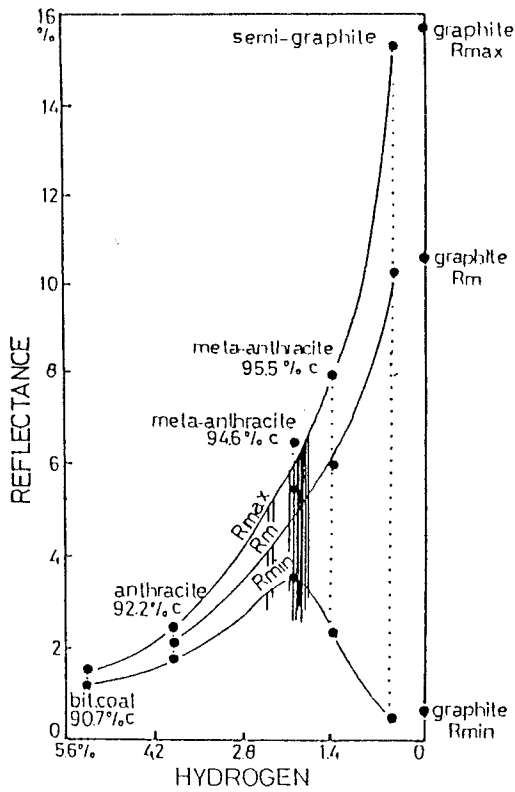


Fig. 1. Bireflectance of Korean anthracite, (shown by vertical lines).

灰成分分析

石炭灰는 대부분 石炭內에 含有된 鑛物質로 構成되는데 鑛物質의 量과 灰分의 量은 일치하지 않는다.

石炭灰는 石炭의 燃燒過程에서 촉매역활을 하며 製鐵用炭과 成型炭에서는 각각 燃燒 後의 強度유지를 위한 중요한 역할을 하기도 한다. 그러나 石炭灰는 石炭의 發熱量을 低下시키며, 運搬過程과 選炭過程에서 非經濟的이며 特히 보일러에서 使用時 灰熔融, slagging 현상을 일으켜 여러가지 문제점을 야기시키고 있다.

灰成分으로는 Table 6과 같이 10가지로 區分될 수 있는데 이들 成分의 組成比에 따라서 灰熔融性, 灰熔融時 灰의 粘度(Viscosity), Slagging 性 등이 영향을 받게 된다.

Nicholls & Loring(1960)은 粘土層內의 Na 와 K의 成分比(Na/K)를 求하여 이 값으로 粘土層 堆積당시의 堆積速度(rate of sedimentation)를 판단하였는데 後에 이러한 方法은 The Mount Allan Coal層에도 적용하여 본 결과 野外調查結果(Gibson ; 1985)와 일치하였다. 이 結果에 따르면 Na/K 값이 크면 느린堆積(slow burial)이고 Na/K 값이 작으면 빠른堆積(rapid burial)이었다. 이러

Table 5. Results of proximate and ultimate analyses.

(dry basis)

coal seam	VM	FC	ASH	H ₂ O	T.C	H	N	S	O	Kcal/Kg
15 (JB-4)	5.82	68.11	26.07	2.64	68.59	0.51	0.17	2.12	2.54	5,530
14 (JB-3)	4.66	44.43	50.91	3.31	45.13	0.50	0.20	0.96	2.30	3,840
13 (JB-2)	5.10	53.09	41.81	4.21	53.20	0.61	0.22	1.21	2.95	4,210
12 (JB-1)	6.40	69.81	23.79	3.98	70.12	0.34	0.11	3.56	2.08	5,660
11 (JJ-2)	4.17	67.79	33.04	3.20	63.50	0.41	0.17	0.13	2.75	4,820
10 (JJ-1)	3.53	65.63	30.84	2.63	66.02	0.40	0.18	0.24	2.32	5,060
9 (JA-6)	5.67	62.87	31.46	4.64	63.46	0.72	0.46	0.70	3.20	4,940
8 (JA-5)	4.05	53.90	42.05	3.52	54.24	0.27	0.27	0.42	2.75	4,170
7 (JA-4)	4.45	49.86	45.69	2.10	50.26	0.36	0.18	0.84	2.67	3,690
6 (JA-3)	7.55	59.68	32.77	2.57	63.31	0.37	0.15	0.72	2.68	4,850
5 (JA-2)	6.06	74.01	19.93	3.08	76.93	0.35	0.15	0.15	2.49	5,950
4 (JA-1)	3.94	53.01	43.05	2.74	53.64	0.46	0.26	0.51	2.08	4,320
3 (JA-3)	5.03	23.18	71.79	0.92	25.23	0.22	0.28	0.33	2.15	<1,500
2 (JA-2)	4.91	77.94	17.15	2.19	78.74	0.48	0.29	0.62	2.72	6,340
1 (JA-1)	5.09	64.91	30.00	2.67	66.83	0.47	0.26	0.69	1.75	4,940

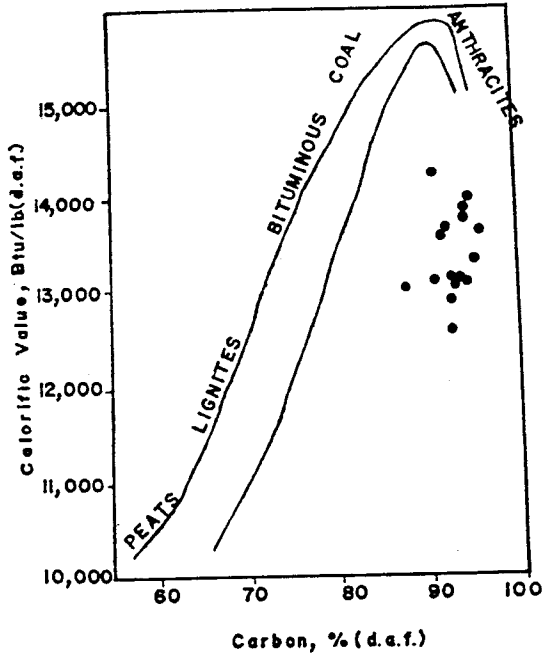


Fig. 2. The calorific value of the Korean anthracite (Black dot).

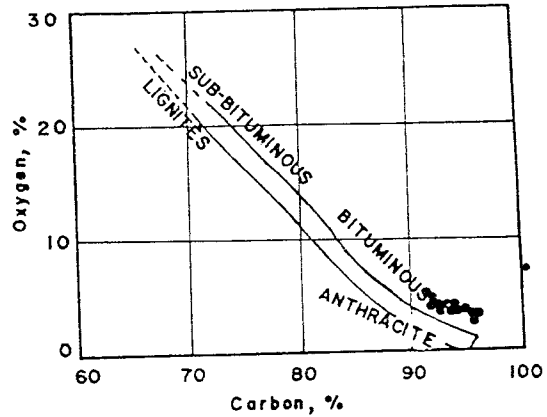


Fig. 4. The oxygen content of the Korean anthracite (Black dot).

이 그림에 依하면 峨嵋山層 下部에서부터 中上部까지는 매우 느린 堆積相을 보이며 峨嵋山層 中上部부터 造溪里層을 지나 白雲寺層 中部까지는 매우 빠른 堆積相을 보여준다. 白雲寺層 中部 이후는 다시 느린 堆積相을 띄기 시작한다.

物理的 特性

石炭의 物理的 特性은 比重, 電氣傳導度, 透水率 等 基礎的인 特性이 있고, 粘結性, 燃燒性, 灰熔融性, 破碎性 等 실제 石炭使用에 直결되는 特性 等이 있다.

이들 無煙炭에 實施된 試驗은 燃燒試驗, 灰熔融性試驗, 破碎性試驗, X-線 廻折分析 等이다. 國內 無煙炭의 경우 粘結性은 없거나 거의 없는 것으로 밝혀져 있다.

燃燒試驗

石炭에 對한 燃燒試驗은 石炭이 燃燒함으로써 생기는 무게 減少를 여러가지 側面에서 檢討하여 着火溫度, 可燃成分量, 燃燒時間, 平均燃燒速度 等を 求하게 되는 것이다.

石炭의 燃燒特性을 보면 石炭粒子가 加熱되면 最初로 石炭粒子內의 揮發分이 放出되어 粒子表面에서 燃燒되기 시작하는데 이 때 生成된 가스相의 生成物質은 주위의 가스들과 反應하게 된다. 揮發分이 燃燒된 後 殘有物인 char의 燃燒가 시작되는

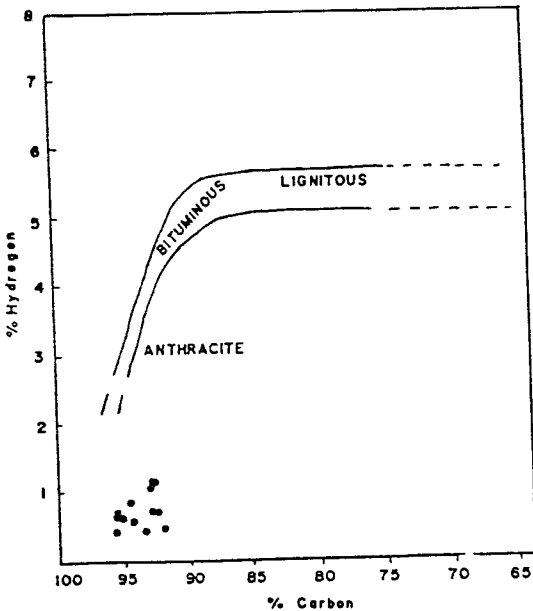


Fig. 3. The hydrogen content of the Korean anthracite (Black dot).

한 方法을 利用하여 各各의 炭層에 對한 Na/K 값을 求하여 炭層別로 表示한 것이 Fig. 5이다.

Table 6. Chemical analysis of each coal seam ash.

Sample No. coal seam	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	P ₂ O ₅ (%)
15 (JB-4)	53.49	16.13	8.17	1.41	1.50	0.29	1.25	0.61	0.11	0.11
14 (JB-3)	56.68	29.78	2.60	0.99	0.61	0.46	6.64	1.16	0.04	0.08
13 (JB-2)	49.52	32.01	3.06	3.15	0.82	0.85	6.65	1.20	0.85	0.68
12 (JB-1)	56.11	25.29	2.71	9.39	0.28	0.14	1.90	0.46	0.14	0.02
11 (JJ-2)	53.86	32.23	3.33	0.50	0.76	0.64	7.41	0.98	0.08	0.08
10 (JJ-1)	59.32	29.93	2.11	0.26	0.65	0.18	5.70	1.57	0.01	0.03
9 (JA-6)	54.34	28.54	5.14	2.68	1.51	0.25	6.02	1.16	0.06	0.10
8 (JA-5)	55.99	30.55	2.70	0.31	0.83	0.17	7.74	1.23	0.01	0.05
7 (JA-4)	56.21	28.52	3.37	0.91	0.77	0.38	7.93	0.95	0.03	0.09
6 (JA-3)	61.67	29.95	1.84	0.74	0.60	0.47	3.14	0.78	0.04	0.05
5 (JA-2)	59.13	30.60	1.51	0.93	0.54	0.62	5.07	0.96	0.03	0.06
4 (JA-1)	51.44	34.13	4.31	0.54	0.85	2.32	4.90	1.28	0.03	0.09
3 (JA-3)	54.32	33.70	1.18	0.32	0.48	2.90	4.80	1.33	0.002	0.13
2 (JA-2)	52.37	27.57	8.50	2.06	1.22	0.99	5.33	1.03	0.24	0.07
1 (JA-1)	53.66	29.64	7.80	0.21	1.48	1.68	4.48	0.77	0.02	0.07

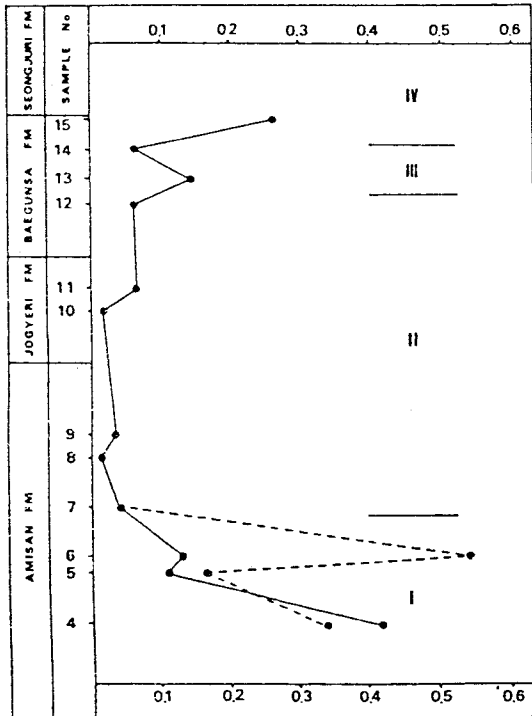


Fig. 5. The variation of Na/K with coal seam.

이 때의 燃燒速度는 급격히 늦어지게 된다. 이것은 char가 炭素質임과 同時에 그 表面이 燃燒의 進行과 함께 生成되는 灰分으로 被覆되기 때문이다.

이들 對象 無煙炭에 對한 燃燒試驗 結果는 Table 7과 같다.

燃燒試驗 結果와 같이 無煙炭은 기타 炭種에 비해 特徵的으로 着火溫度가 높고 單位粒子的 燃燒速度가 느리기 때문에 無煙炭을 産業用으로 利用할 때 많은 問題點을 야기시키고 있어 産業用으로 는 주로 有煙炭(瀝靑炭)이 使用되고 있다.

灰分熔融度試驗

石炭을 燃料로서 利用할 때에, 石炭灰의 熔融性은 燃燒設備의 規格과 運轉操作 條件을 制約하는 要因의 하나이다.

灰分熔融溫度는 灰分의 化學成分과 밀접한 關係를 가지며 灰分의 化學成分은 石炭內에 含有된 鑛物質과 밀접한 關係를 갖는 것으로 알려져 왔다. 그러나 石炭灰의 熔融性을 支配하는 要因에 관해서는 지금까지 많은 研究가 實施되어 왔음에도 불

Table 7. Results of ignition test.

coal seam	Ignition Temp. (°C)	Combustible matter (mg/g)	Ignition time (min/g)	Average velocity (mg/min)
15 (JB-4)	575	657	355	1.85
14 (JB-3)	531	329	334	0.99
13 (JB-2)	567	529	353	1.50
12 (JB-1)	566	614	372	1.65
11 (JJ-2)	566	357	278	1.28
10 (JJ-1)	567	646	366	1.77
9 (JA-6)	567	586	339	1.73
8 (JA-5)	582	529	286	1.85
7 (JA-4)	571	371	241	1.54
6 (JA-3)	566	629	356	1.77
5 (JA-2)	582	643	331	1.94
4 (JA-1)	584	471	302	1.56
3 (JA-3)	565	43	177	0.24
2 (JA-2)	567	700	433	1.62
1 (JA-1)	566	186	196	0.95

구하고 충분히 解明되어 있지 않다. 예를 들면 灰의 化學成分을 酸性成分과 鹽基性成分으로 區別하고 이들 成分의 組成比에 따라서 灰熔融性, 灰熔融時 灰의 粘度(viscosity), slagging 性 등을 豫測하고 있으나 豫測 結果가 반드시 有效하지는 못한 실정이다.

최근에 H. Unuma 등(1985)은 石炭灰 熔融溫度의 指標로써 鑛物組成比를 使用하였다. 즉 鑛物組成指數 = 粘土含有量 - 0.2 × (長石含有量) + 0 × (矽石含有量) ※ 粘土 + 長石 + 矽石 = 100%. 上記 鑛物組成指數를 灰分의 化學組成成分의 含量%에 의해 계산하면

$$\text{鑛物組成指數 (MCI)} = (\text{Al}_2\text{O}_3 - 2.19\text{CaO} - 3.14\text{MgO}) \div (1.7\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - 1.26\text{MgO}) \times 100$$

이들 無煙炭灰의 熔融試驗 結果는 Table 8과 같으며 鑛物組成指數와 熔融點과의 관계는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에 의하면 鑛物組成指數와 熔融點과는 높은 相關係數($r=0.868$)를 갖는다. 이것은 鑛物組成指數가 높으면 灰의 熔融點도 높아진다는 것을 의미한다.

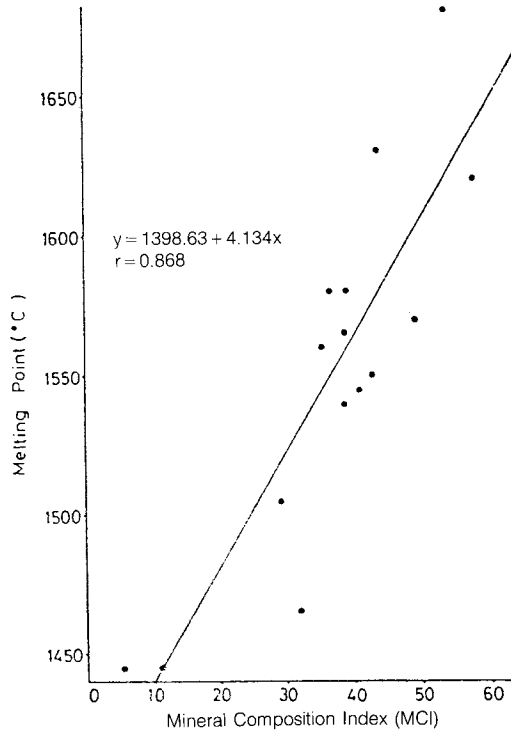


Fig. 6. Relationship between melting point and MCI.

破碎性試驗

石炭이 燃料로서 利用되는 경우 대부분의 石炭은 燃燒 및 燃燒을 위한 運搬工程 때문에 微粒子로 破碎되어 使用된다. 特히 보일러內에서 微粒粉炭으로 燃燒되는 경우에는 170 mesh 이하의 超微粒이 要求되기 때문에 石炭의 破碎過程은 또다른 費用부담의 要因이 된다.

石炭의 破碎性은 그 石炭의 構成物質 組成比, 그 石炭의 炭化程度와 鑛物質의 含有程度 등에 의해서 左右된다.

L. C. Mc Cade(1942)에 의하면 石炭構成物質 各各이 破碎되기 위해서 要求되는 힘을 비교해 보면 그 비율은 fusain : vitrain : clarain : Durain = 1 : 2 : 3 : 7½이다. 그러므로 exinite group의 maceral이 가장 낮은 破碎性을 갖고 있다. 또한 J. C. Hower(1987)에 의하면 monomaceral microlithotype가 많으면 破碎性은 높아지고 trimaceral microlithotype가 많으면 破碎性은 낮아지는

Table 8. Results of ash fusion temperature and mineral composition index (MCI) of ash.

coal seam	Softening point (°C)	melting point (°C)	Flowing point (°C)	Softening range (°C)	Flowing range (°C)	MCI
15 (JB-4)	1,320	1,445	1,510	125	65	11.43
14 (JB-3)	1,280	1,580	1,590	300	10	39.05
13 (JB-2)	1,290	1,630	1,640	340	10	44.07
12 (JB-1)	1,320	1,445	1,510	125	65	5.52
11 (JJ-2)	1,310	1,570	1,590	260	20	49.25
10 (JJ-1)	1,290	1,540	1,590	250	50	38.98
9 (JA-6)	1,320	1,505	1,650	185	145	28.95
8 (JA-5)	1,260	1,550	1,580	290	30	42.88
7 (JA-4)	1,305	1,580	1,638	275	58	36.49
6 (JA-3)	1,320	1,560	1,650	240	90	35.67
5 (JA-2)	1,270	1,565	1,600	295	35	38.80
4 (JA-1)	1,280	1,620	1,645	340	25	57.95
3 (JA-3)	1,320	1,680	1,700	360	20	54.26
2 (JA-2)	1,220	1,465	1,543	245	78	32.09
1 (JA-1)	1,275	1,545	1,562	270	17	41.08

것으로 알려져 있다.

炭化程度와 破碎性과의 관계는 炭化의 進行에 따라 破碎性은 점점 높아져서 低揮發分瀝青炭 (Low volatile bituminous coal)에서 最高點에 이르고 다시 破碎性이 낮아지기 시작해서 無煙炭에서는 매우 낮은 破碎性을 보여주고 있다.

石炭의 破碎性 指數 HGI(Hardgrove Grindability Index)는 대체로 30~120의 수치로 나타내지며 指數가 클수록 破碎性이 높은 것을 의미한다.

이들 無煙炭의 破碎性 試驗 結果는 Table 9와 같다. 이들 HGI 測定結果를 보면 HGI가 45.84~132.45로써 비교적 破碎性이 良好한 편이나 HGI의 범위가 매우 넓어 炭層間에 매우 큰 破碎性 差異를 보여주고 있다. 이러한 현상의 원인은 각 炭層別 構成物質의 組成狀態의 差異와 鑛物質의 含有상태 그리고 特히 地殼變動에 따른 地質構造의 영향 때문인 것으로 사료된다.

X-線 廻折分析

石炭은 炭化가 進行됨에 따라 炭素成分이 점차

增加하게 되고 이들 炭素 sheet와 炭素 sheet 사이를 연결시키는 교량(bridge)역할을 하는 酸素와 水素成分은 차츰 減少되어 石炭의 結晶構造도 거의 炭素 sheet로만 構成되게 된다. 이러한 結晶構造를 確認하기 위하여 X-線 廻折方法을 利用하였다.

忠南炭田 無煙炭試料에 대한 X-線 廻折分析 結果는 Fig. 7 및 Table 10과 같다.

(002)最高點에서의 “d”값은 Bragg의 法測에 의하여 구하였으며 “d”값이 적을수록 炭化程度가 높다.

Landis(1971)는 완전한 흑연구조를 갖는 炭素物質을 完全層狀黑鉛(fully ordered graphite)라고 하고 不完全한 構造를 갖는 것에 대해서는 (002)最高點의 d 값과 최고점거리/半幅거리의 比에 의해 結晶度가 낮은 것으로부터 높은 것으로 graphite d3, d2, d1으로 區別하였다.

또한 Franklin(1951)은 黑鉛狀鑛物에 대해 炭素의 六角網平面이 無秩序하게 겹쳐진 部分과 秩序있게 겹쳐진 部分을 區別하여, 無秩序 部分의 全體에 대한 比率(黑鉛化度) “P”를 다음 式에서 求하는 것을 提案했다.

Table 9. Experimental results of H.G.I.

coal seam	200 mesh over/50g	200 mesh under/50g	H.G.I.
15 (JB-4)	36.90	13.10	97.76
14 (JB-3)	42.91	7.09	59.00
13 (JB-2)	36.26	13.74	101.88
12 (JB-1)	40.96	9.04	71.57
11 (JJ-2)	37.65	12.35	92.92
10 (JJ-1)	35.21	14.79	108.66
9 (JA-6)	31.52	18.48	132.45
8 (JA-5)	42.53	7.47	61.45
7 (JA-4)	42.06	7.94	64.48
6 (JA-3)	44.89	5.11	46.23
5 (JA-2)	44.12	5.88	51.19
4 (JA-1)	41.72	8.28	66.67
3 (JA-3)	36.11	13.89	102.85
2 (JA-2)	44.95	5.05	45.84
1 (JA-1)	39.02	10.98	84.08

$$d(002) = 3,440 - 0,086(1 - P^2)$$

石炭에서도 六角平板狀網平面이 數枚 겹쳐진 結晶狀態와 이것들이 不規則하게 存在하는(亂層構

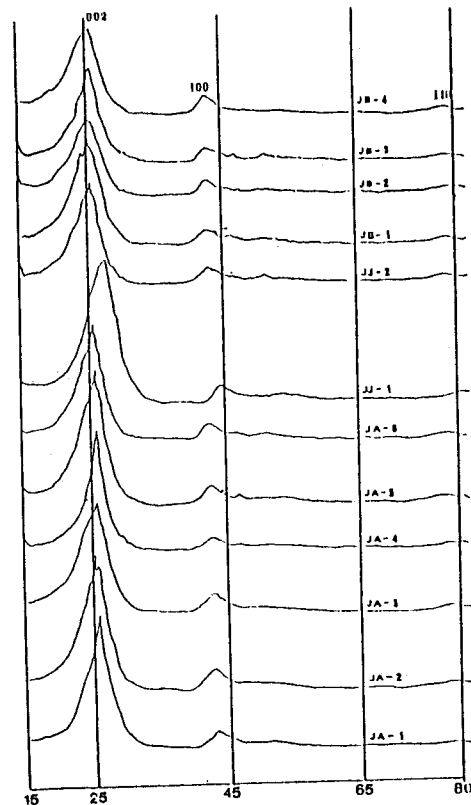


Fig. 7. X-ray diffraction patterns of anthracite.

Table 10. Experimental results of X-ray diffraction analysis.

coal seam	2θ°	d(002) Å	Graphitization Type	height/width at 1/2 height	P value
15 (JB-4)	25.1	3.635	G-d ₂	1.696	1.808
14 (JB-3)	25.4	3.594	G-d ₂	2.220	1.671
13 (JB-2)	25.2	3.621	G-d ₂	1.420	1.726
12 (JB-1)	25.2	3.621	G-d ₂	1.816	1.762
11 (JB-2)	25.2	3.621	G-d ₂	2.210	1.762
10 (JB-1)	27.1	3.384	G-d ₁	2.310	0.590
9 (JA-6)	25.5	3.581	G-d ₂	2.539	1.625
8 (JA-5)	25.4	3.594	G-d ₂	2.750	1.671
7 (JA-4)	25.6	3.568	G-d ₂	3.884	1.577
6 (JA-3)	25.2	3.621	G-d ₂	2.000	1.762
5 (JA-2)	25.2	3.621	G-d ₂	2.850	1.762
4 (JA-1)	25.6	3.568	G-d ₂	2.750	1.577
2 (JA-2)	24.8	3.676	G-d ₂	1.629	1.935
1 (JA-1)	25.9	3.530	G-d ₂	2.344	1.430

造) 경우를 구별하여 "P"값을 구하였다. 黑鉛化度 P 값은 d 값의 減少에 따라 減少한다. 즉 石炭化度가 進行되면 P 값은 減少한다.

이들 測定結果에 의하면 造溪里層 下部炭層의 炭化程度가 제일 높아서 가장 많이 黑鉛質化 되었다.

結 論

忠南炭田 無煙炭은

1. 構成物質은 Vitritinite(45.6~86.0%), Macrinite(0~44.5%), Semifusinite(0~12%), Graphininite(0~8.5%), Fusinite(0~5.5%), Impregnite(0~2%), Exinite(0~2%), Mottlite(0~2.5%), Sclerotinite(0~1%) 그리고 광물질이 1.5~45.5%이다.

2. 炭化程度는 R_{max} 5.01~6.52이고 異方性이 $R_{max}-R_{min}=2.94\sim4.45$ 로서 變成 無煙炭(meta anthracite)에 해당하고 있다.

3. 炭素含量(炭化程度)에 對한 發熱量과 水素含量은 基準値보다 낮게 나타난다.

4. 灰分의 鑛物組成指數가 增加함에 따라 灰의 熔融點도 增加한다는 관계가 밝혀졌다.

5. 灰成分分析 資料中 Na/K의 資料는 石炭堆積 당시의 堆積速度를 알려주는 資料로서 活用될 수 있을 것이다.

6. 燃燒性은 着火溫度가 530~585°C, 可燃成分이 43~700 mg/g 이고, 燃燒時間은 177~433 min/g, 平均燃燒速度는 0.2~2.0 mg/min 이다.

7. 灰熔融溫度는 軟化點이 1220~1320°C, 熔融點이 1445~1680°C 이고, 熔流點은 1510~1700°C 이다.

8. 破碎性은 HGI 45.84~132.45로써 炭層에 따라 많은 差異를 보여주고 있다.

9. X-線 廻折分析 結果에서 (002)peak 는 $2\theta = 24.8\sim 27.1^\circ$, 芳香族의 박층간의 거리는 $d(002) = 3.384\sim 3.676 \text{ \AA}$ 이고, 黑鉛化度 $P=0.590\sim 1.935$ 이다. 造溪里層의 無煙炭(JJ-1)이 가장 黑鉛化度가 높은 것으로 나타났다.

參考文獻

배경희(1984) 우리나라 石炭의 反射度 測定 및 X-線 廻折研究, 이화여자대학교 교육대학원 석사논문.

資源開發研究所(1980) 石炭資源調查報告書, 第2號, 忠南炭田(I).

한국동력자원연구소(1981) 忠南炭田開發合理化研究, KIER Bull. Vol. 24.

鶴沼英郎(1985) 石炭灰의基礎性狀과熔融性, 燃料協會誌, Vol. 64, p. 830-839.

北崎梅香(1952) 石炭의構造, 地質學雜誌, Vol. 59, p. 241-255.

平岩武郎(1981) 石炭의復權, 亞紀書房.

ASTM-D-409-71 (1978) Grindability of coal by the hardgrove machine method. p.226-232.

Brown, H.R. *et al.* (1961) Some remarkable antarctic coals Fuel, Vol.40, p. 211-224.

Davis, A. *et al.* (1976) The influence of properties of coals on their conversion in the clear fuels. Energy Source, 3(1), p.55-81.

Davis, A. (1976) The petrographic composition of coal; its importance in liquefaction process. Coal chemistry workshop in Stanford research institute.

Davis, A. (1978) The reflectance of coal; Analytical methods for coal and coal products. I, p.27-121.

Elliott, M.A. (1981) Chemistry of coal utilization secondary supplementary volume. p.1390-1399.

Franklin, R.E. (1951) The structure of graphitic carbons. Acta Cryst., Vol.4, p.253-262.

Goodarzi, F. *et al.* (1987) Distribution of major, minor and trace elements in coals of the Kootenay group, mount Allan, Alberta. Canadian Mineralogist, Vol. 25, p.555-565.

Hower, J.C. *et al.* (1987) Influence of microlithotype composition on hardgrove grindability for selected Eastern Kentucky coals. Int. J. Coal. Geol., Vol.7, p.227-244.

ICCP (1971) International handbook of coal petrography.

Ijawa, E. (1968) Carbonaceous matter in some metamorphic rocks in Japan. Jour. Geol. Jap., 74(8), p.427-432.

KS-E-3710(1980) Methods for Testing of Coal

Landis, C.A. (1971) Graphitization of dispersed carbonaceous material in metamorphic rocks. Contr. Miner. Petrol., Vol.30, p.34-45.