

國 產 低 質 炭 의 利 用

金
萬
鍾*

緒 論

灰분이 많은지 또는 水分이 많아 熱量이 적은 炭을 低質炭이라 하나 韓國에서는 着火點이 높아 燃燒 困難한 것이 또한 特徵인바 이러한 低質炭 利用에는 一般의 으로 잘 알려진 여러 隘路에도 불구하고 鼓舞的인 점도 많아 그 理論의이며 實驗的인 資料를 公表함은 無益한 일이 아니라고 생각한다. 順序로서 먼저 低質炭 利用에 관한 一般의인 情勢와 背景을 紹介하고 다음 金屬·燃料綜合研究所에서 이루어진 研究試驗으로서 國產褐炭으로서의 陶磁器燒成試驗, 黑鉛化한 無煙炭의 流動化 燃燒試驗 및 高灰無煙炭을 原料로한 구멍炭의 燃燒試驗概況을 紹介하고 過去의 研究 및 外國의 새로운 研究와 關聯시켜 技術의 理論的인 點을 再檢討하였다.

* 金屬·燃料綜合研究所

低質炭利用의 意義

燃料問題는 經濟問題와 直結되어 있으므로 보다 더 便利하고 廉價인 燃料가 먼저 利用된다는 것은 不可避하다. 1951年 燃料使用 合理化 運動이 展開됨에 따라 各種 家庭用 焚口가 登場競合하였으며, 一部서는 加工 賃이 不必要하므로 粉炭이 有利하다고 主張하였지만 筆者는 粉炭燃燒에는 勞賃이 더 많이 들므로 구멍炭이 더 便利하고 廉價라고 主張하였던바 現在 粉炭을 使用하는 家庭은 殆無한 것을 보더라도 보다 더 便利하고 最終價格이 廉價인 것이 勝利한다는 事實을 잘 알 수 있다. 그동안 美國에서는 使用에 不便한 無煙炭이 家庭燃料로서의 地盤을 喪失하고 天然가스 및 油類가 판을 치게되어 大部分의 無煙炭鑛은 廢鑛되었으며 1948年 57,000,000톤이나 生産되던 것이 1961년에는 不過 17,446,000톤으로 減産되고 말았다.

韓國에서 1953년에 880,051톤을 生産하던 無煙炭이 1963년에는 8,858,000톤으로 卽, 10年間에 約 10倍로 増産된 것과는 完연한 反對現象을 나타내고 있다. 한편 燃料資源이 貧弱한 印度 一部地方에서는 牛糞을 成型乾燥하여 家庭燃料로서 使用하고 있고 蒙古와 우리 나라 濟州道에서도 類似한 現象이 일어나고 있다.

韓國에서는 低換率로 因하여 輸入油類와 瀝青炭이 國產炭價格의 1/3 정도이던 때도 있었으나 換率現實化로 現在는 熱當量으로 輸入燃料가 國產炭價의 3倍 以上으로 되었으며 특히 프로판가스는 10kg 當 600원으로 引上된 후 구멍炭價의 無慮 14倍로 되었으므로 世界油類의 60%를 生産하고 있는 美國의 흥내를 無條件 낼 수도 없는 形便이다.

한편 原子力發展도 英國에서는 化石燃料과 燃料價가 맞먹게 되었다지만 石炭을 直接 燃燒하였을 때의 熱効率は 75% 以上인데 비하여 石炭으로서 일단 發電하여 電熱을 利用하였을 때의 熱効率は 不過 25%이므로 原子力發電에 의한 電熱이 石炭의 直接燃燒熱과 價格上 競爭하려면 아직 遼遠한 感이 없지 않다.

이러한 情勢下에서 國產炭이 増産利用되는 것은 좋으나 可採良質炭의 殘存量은 漸次로 減少하고 있으며 따라서 低質炭의 利用은 不可避한 狀態에 있다.

商工部調査에 依하던 韓國內 低品位炭 生産豫想量은 表 1과 같다.

今後 良質炭이 枯竭해감에 따라 低質炭鑛開發은 더 욱 擴大될 것 같다. 低質炭이라 하여도 灰分 40%以下 熱量 4,000kcal/kg 以上인 것이 大部分이라 長畝의 平均熱量 約 3,200kcal/kg 보다는 높으며 農村의 燃料事情惡化로 밀짚, 겨, 乾草 등 堆肥資料까지 모조리 燃料로서 使用해버리므로 食糧増産에도 支障이 많다는

표 1. 低品位炭生産豫想量

(單位 1,000톤)

炭田別	1963			1964			1965			1966		
	가	나	計	가	나	計	가	나	計	가	나	計
東 部 三 陟	—	422	422	—	414	414	—	414	414	—	453	453
江 陵	135	—	135	135	—	135	180	—	180	180	—	180
西 部 三 陟	—	67	67	—	98	98	—	160	160	—	222	222
寧 越	108	—	108	360	—	360	360	—	360	360	—	360
玉 洞	—	17	17	—	17	17	—	17	17	—	17	17
旌 善	—	20	20	—	50	50	—	138	138	—	192	192
聞 慶	184	—	186	216	—	216	276	—	276	276	—	276
和 順	34	60	94	61	60	121	106	60	166	136	60	196
忠 南	77	—	77	90	—	90	115	—	115	127	—	127
其 他	42	—	42	42	—	42	42	—	42	42	—	42
計	580	586	1,166	904	639	1,543	1,079	789	1,868	1,121	944	2,065

註 ㉠는 天然의 低質炭層에서 나는 炭. (3,500~4,500kcal/kg)
 ㉡는 良質炭 生産에 수반되는 低質炭.

資料: 低質炭에 關한 檢討(商工部).

점을 參酌한다면 低質無煙炭, 土炭 등의 利用이 더욱 重要하게 된다.

低質炭의 特徵

低質炭은 良質炭과 同一한 採掘費, 荷役費, 運賃, 貯炭費 등을 必要로 하므로 良質炭을 大量確保可能한 地域에서는 低質炭의 利用은 問題視되지 못한다. 한때 高唱되던 土炭利用이 고개를 숙이게된 것이 그 때문이다. 그러므로 良質炭 搬入運賃이 地方産 低質炭의 缺點을 超過하게 되어가는 地方에서는 低質炭利用이 有利하게된다. 이러한 地理的 條件 運賃 등 關係를 改善하기 爲하여 低質炭利用은 從來 山元發電 또는 山元가스화 등의 形態로 研究되어 왔으나 發電所, 送電線, 가스工場, 가스導管 등은 莫大한 投資가 所要되므로 本 研究에서는 直接燃燒熱利用만을 取扱기로 하였다. 한마디로 低質炭이라 하여도 그 基準은 當該國內의 燃料經濟事情에 따라 恒時 變動할 수 밖에 없다. 예를 들면 灰分 20%의 無煙炭은 美國서는 低質炭이지만 韓國서는 良質炭에 속한다.

年前 구멍炭 品質을 當局에서 取締할 때 熱量基準을 4,800 kcal/kg 以上이라 定하였으므로 그 以下 熱量炭을 低質炭이라 부르는 것이 韓國實情에 맞을듯 하다. 低質炭은 灰分이 많을 뿐아니라 水分이 많아 熱量이 낮고 혹은 熱量이 높다 하더라도 半黑鉛化하여 比重과 着火點이 높고 또는 硫黃分이 많아 家庭燃料로서는 惡臭가甚하며 보일러 燃料로서는 銑蝕의 侵蝕이甚하다. 低質褐炭 및 土炭燃燒에 있어서는 水分過多로 蒸發熱의 損失이 尤甚하고 암모니아가스의 惡臭가甚할 때도

많다. 즉 低質炭은 低熱量을 代表的 特徵으로하되 그 熱量의 效果的 利用에도 各種 支障을 주게 되는 着火不良, 低燃燒性에 의한 火力不足, 蒸發熱의 損失, 灰中可燃物 및 砂灰顯熱損失, 亞黃酸가스에 의한 鐵器物의 損傷, 除灰人夫費의 過多 등 缺點을 수반하게 된다.

低質炭이라 할 수 있는 國産 無煙炭의 分析 例를 들면 표 2와 같다.

표 2. 低質炭의 分析 例

炭 種	水分	揮發分	固定炭素	灰分	發熱量 (kcal/kg)	硫黃分
和順炭	5.30	4.56	57.69	32.45	4,690	0.61
"	7.80	3.22	56.48	32.47	4,578	0.61
江西炭	1.69	3.12	56.36	38.83	4,791	—
保寧炭	4.42	5.56	46.78	43.24	3,990	0.20
聞慶炭	4.34	4.76	51.03	39.60	4,450	0.22
扶國炭	7.36	4.14	48.00	40.50	4,030	0.20

一般的으로 低質炭은 그 燃燒利用에 있어서 다음과 같은 缺點이 있다. 즉 黑鉛化度가 높아 比重이 높으며 着火點이 높으므로 잘 着火하지 않을뿐 아니라 燃燒速度가 느리며 가스 反應性이 낮다.

이러한 炭은 同時에 燃燒中斷을 일으키기 쉬우며 灰中에 可燃物이 많게 된다. 燃燒速度가 느리므로 火力이 弱하며 熱量이 적으므로 持火時間이 짧다.

砂灰로서 灰障壁(ash barrier)을 이루므로 内部까지 空氣가 잘 들어가지 않고 타지못한 部分 즉 黑心(black core)을 남기므로 熱效率은 떨어지고 砂灰顯熱의 完全回收가 困難하게 된다. 砂質가 클링가 大塊로 成長하

먼除去가 困難하게 되고 長時間 運轉이 어렵게 된다. 클링카는 또한 耐火材를 侵蝕하며 보일라鐵管部의 磨耗를 招來한다. 灰分이 많을수록 火床에서의 空氣均配를 妨害하며 部分的 過熱 또는 過剩空氣의 弊端을 招來하여 燃燒熱은 낮고 熱傳導率과 熱效率은 낮아진다. 低質炭은 良質炭과 比할 때 熱量은 떨어지나 容量은 同一하므로 熱量當으로는 採掘費, 荷役費, 運賃, 加工費, 貯炭費, 燃燒火夫 및 除灰夫의 勞賃이 그만큼 高價로 된다. 그러나 以上은 良質炭과 比較하였을 때의 評價이고 水分이 많은 長所 등과 比較하였을 때는 低質炭이라 하여 그다지 不利하지 않다. 또한 以上의 여러 缺點도 良質炭과 같은 方法으로서 利用하였을 때의 評價이고 低質炭에 適合하도록 새 方法이 適用되었을 때는 이러한 缺點이 除去될 수 있는 것이다.

國產 褐炭을 利用한 陶磁器 燒成試驗

陶磁器燒成은 이미 無煙炭으로서도 滿足할만한 成果를 얻었으나 褐炭은 더 쉬운 것이므로 普及의 早速을 期하기 위하여 商工部 要請에 따라 本 試驗을 施行하였다. 褐炭의 揮發分은 大部分 低分子가스로 乾溜되어 불꽃의 黑度가 낮아 陶磁器 燒成過程에서 強還元焰이 難得하므로 乾溜結分인 炭素를 가스化해보고자 가스化燃燒法을 使用 試驗하였다.

(1) 褐炭產地: 浦項

(가) 熱量: 5,870 kcal/kg

(나) 分析: 水分 10.0%, 揮發分 42.9%, 固定炭素 37.2%, 灰分 9.8%

(다) 粒度: 25~75mm 의 塊炭

(2) 燃燒方法: 自然通風에 의한 가스化燃燒法.

(가) 窯內雰囲気: 強還元性

(나) 燒成溫度: 1,310°C

(다) 燒成時間: 12時間

(라) 時間—溫度曲線: 그림 1과 같다.

(마) 燒成成績: 溫度上昇이 順調롭고 強還元焰이 確保되어 靑磁器는 美麗한 靑靑色을 나타내었다.

(3) 燃燒成績: 國產褐炭으로서 高溫度를 얻기 어려우며 酸化焰이 되기 쉬운 關係上. 一般 陶磁器工場에서 그 使用을 躊躇해왔으나 가스化燃燒爐에서 燃燒한 結果 高溫度와 還元焰이 쉽게 얻어져 좋은 成果를 얻었다. 着火는 極히 容易하고 着火後 初期에는 淡黃色煙氣가 若干 甚하나 煤煙은 볼 수 없다. 火焰은 短小하나 固定炭素도 容易하게 가스化하여 繼續인 長焰이 確保되었다. 缺點으로서 砂灰가 硬固한 클링카로 되어 除去가 若干 困難하므로 大塊로 되기 前에 누차 除去해야한다는

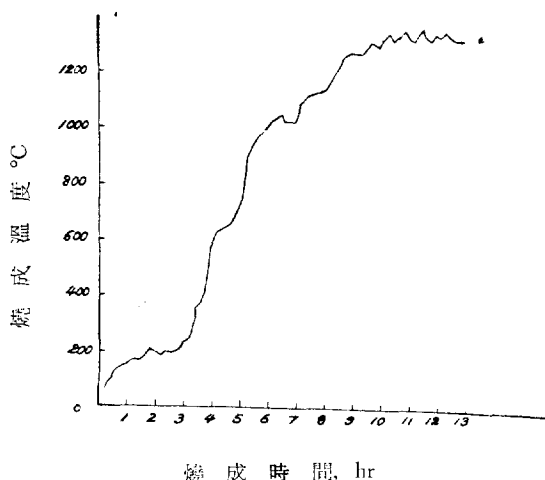


그림 1. 褐炭을 利用한 陶磁器 燒成試驗

點이다.

(4) 結論: 從來 揮發分이 적든지 또는 揮發分에서 나는 가스의 成分, illuminants, CH₄, CO, H₂, 탈分 등의 含率로서 低質炭燃燒性의 指數로 삼고자 하였으나 가스化燃燒法으로서 是 最 燃燒하기 쉬운 CO 및 H₂로 固定炭素를 가스化하여 燃燒하므로 低質炭의 한가지 缺點인 揮發分의 過小 및 그 成分 如何 問題는 쉽게 解決된 것이다.

黑鉛化한 無煙炭의 流動化 燃燒

黑鉛化한 無煙炭은 一般 無煙炭보다 比重이 높은 同時에 着火溫度가 높으며, 따라서 燃燒率은 낮고 一般 固定火床에서보다 거의 瞬間的으로 燃燒해야하는 流動化燃燒에는 不適當하다고 認定되고 있으므로 着火困難한 低質炭의 燃燒問題를 解決키 爲하여 研究키로 하였다.

(1) 試驗燃料: 鳳鳴黑鉛

(가) 分析: 水分 0.8%, 揮發分 7.0%, 固定炭素 82.0%, 灰分 10.7%.

(나) 熱量: 6,831kcal/kg

(다) 比重: 1.8

(라) 着火點: 560°C

(마) 粒度: 10mm

(2) 燃燒方法: 流動化 燃燒

(가) 炭豫熱溫度: ±500°C

(나) 空氣豫熱溫度: ±100°C

(다) 流動化床高: 500mm

(라) 灰箱壓力: 130mm. W.G.

(마) 燃燒率: 140kg/m³/hr.

(3) 燃燒成績 :

(가) 먼저 無煙炭과 同一速度로 着火시켜 流動化하고자 하였으나 數次 火焰吹消(flame blow off)를 일으켜 燃燒가 中斷되므로 다시 長斫에서 着火해야 하였다.

(나) (가)의 失敗를 參酌하여 早急히 着火시키려고 서둘지 않고 約 30分 가량 固定火床燃燒를 持續, 爐格周邊溫度가 着火溫度 以上으로 된 후 極히 操心스럽게 漸進的으로 風壓을 올려가며 流動化에 成功하였다. 完全流動化 所要時間은 約 1時間이며 無煙炭의 約 2倍가 所要되었다.

(다) 爐溫度가 1200°C 에 達하였을 때의 燃燒速度는 無煙炭과 大差없게 되었다.

(라) 爐溫度 1200°C 以上에서는 가스化가 일어나 爐壁에서 새어든 二次空氣와 生成된 가스가 燃燒하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 좋은 成果는 爐溫度 1200°C 以上에서는 炭과 空氣가 제대로 豫熱되는 結果라고 생각된다.

(4) 結論 : 黑鉛은 着火點이 높고 燃燒困難한 炭의 代表的인 것이라고 볼 수 있는바 着火點이 높은 低質炭은 炭과 空氣를 豫熱함과 同時에 爐溫度를 훨씬 높게 運轉함으로써 良質炭과 同一한 燃燒速度를 얻을 수 있다.

高灰分인 低質無煙炭을 原料로한 구멍炭의 燃燒

高灰分은 低質炭의 가장 代表的인 缺點인바 高灰低質炭은 着火難, 火力不足, 燃燒中斷, 灰中可燃物의 過多 등으로 有利하게 利用되지 못하고 있다. 이러한 缺點을 克服하기 爲한 研究試驗結果 灰分 40%, 熱量 4000kcal/kg 까지의 低質炭은 灰分 20%의 良質炭과 同一한 燃燒速度로 燃燒할 수 있었다.

(1) 燃料 : 比較하기에 便利하도록 適當한 比率로 灰分이 增加해가는 低質炭 數種은 얻기 어려운 關係上 粘土混入量을 漸増함으로써 이러한 數種炭을 配合調製하였다.

表 3. 粘土添加에 依한 灰分增加

基本炭	粘土添加量	粘土添加炭 灰分	推定熱量 kcal/kg
100	5	23.8%	5,700
100	10	27.2	5,200
100	15	30.4	4,900
100	20	33.3	4,600
100	25	36.0	4,400
100	30	38.4	4,150
100	35	40.7	3,900

(2) 基本炭 : 豐谷炭

(가) 熱量 : 6,040 kcal/kg.

(나) 分析 : 水分 3.92%, 灰分 20.0%, 揮發分 4.80% 固定炭素 72.5%.

(3) 燃燒方法 : 低質炭은 大概 着火가 困難하되 着火後 爐溫度가 上昇하고나면 比較的 잘 탄다는 點에 비추어 着火를 促進시키기 爲하여 上部에 灼熱炭 下部에 燒結炭을 둔 中間에 新炭을 넣어 着火시키는 구멍炭 3個燃燒法을 使用하였다. 그밖에 燃燒를 促進시키기 爲하여 燃燒觸媒劑로서 苦灰石, 石灰石, 食鹽, 曹達灰 등을 5%씩 加해보았다.

(4) 試驗方法 : 흔히 低質炭도 研究結果 熱量이 增加하였다고 主張하지만 筆者는 그러한 것은 不可能하므로 燃燒速度를 比較하기 爲하여 구멍炭上 100 mm 位置에 熱電氣溫度計를 插入하여 時間-溫度 플롯트를 作成하는 한편 廢氣中の CO₂를 分析記錄하였다.

(5) 試驗結果 : 大體로 爐溫度보다 CO₂% 上昇이 앞서며 低質炭 쪽이 오히려 爐溫上昇이 빠르나 速히 爐溫度가 떨어진다는 것이 그림 2와 같다. 熱量이 적으므로 速히 爐溫度가 떨어진다는 것은 當然하나, 低質炭이 더 빨리 탄다는 點은 注目할만하다. 燃燒觸媒의 影響으로서는 食鹽, 曹達灰는 불꽃의 光輝性을 增加시켜 約 50°C 程度 爐溫度가 높고 石灰와 苦灰石은 熱氣排出流速을 增加시켰는바 이러한 炭酸化合物은 그 分解過程에서 發生하는 炭酸가스가 Boudovard 反應을 CO₂를 供給한다는 것을 알게 되었다.

(6) 結論 : 從來 灰分이 많은 低質炭은 잘 타지 않는다고만 믿었으나 燃燒方法을 改良한 結果 良炭보다 오히려 燃燒速度가 높다는 것이 明白하게 되었다.

低質炭中에는 灰分이 많든지 水分이 많아 熱量이 낮은 炭 또는 熱量이 높더라도 黑鉛化하였는지 또는 揮發分이 不適當하다는 등 原因으로 着火와 燃燒速度가 낮은 炭이 包含된다. 以上の 試驗으로서 高灰炭 및 着火不良炭이 研究되었으므로 水分이 많은 低質炭도 試驗하는 것이 順序이지만 이러한 炭은 우리나라에서는 比較的 적을 뿐더러 對策도 簡易하므로 省略하고, 그림 3으로서 Louvre(루버) 라하여 프랑스 등에서 쓰고 있는 吸濕性低質炭의 乾燥, 豫熱裝置를 說明하면, 炭이 A 호파에 投入되면 B部 45° 炭落下傾斜表面은 爐溫에 露出되는 關係上 即時 乾燥豫熱되고 C部는 炭이 落下치 못하도록 側壁을 이루게 되어 複雜한 乾燥, 豫熱裝置가 不必要하게 된다.

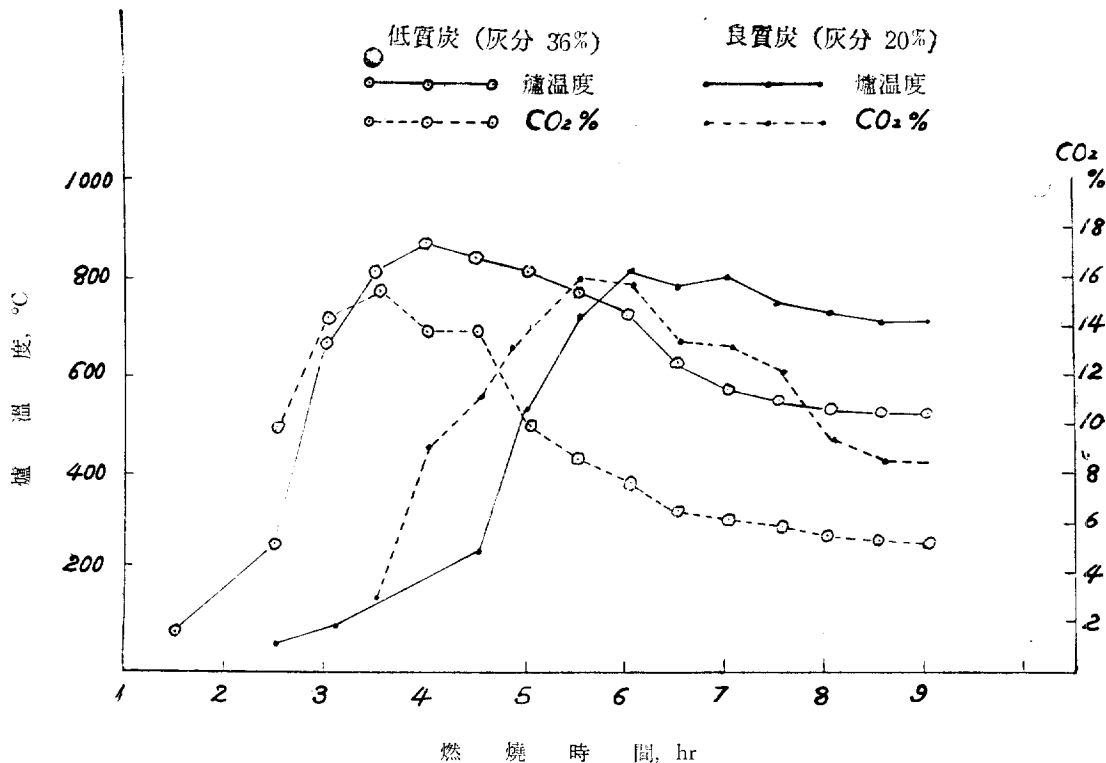


그림 2. 低質炭과 良質炭의 燃燒速度 比較

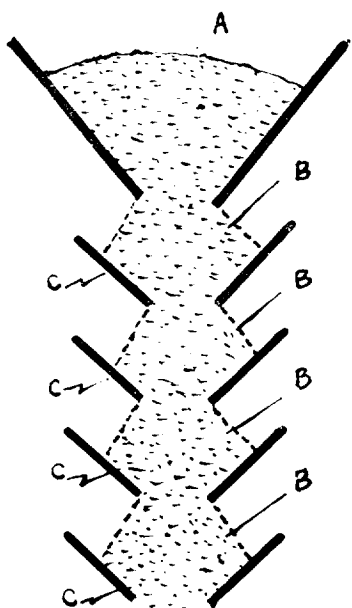


그림 3. Louvre

國內外 低質炭 利用에 關한 研究 및 實施 例

1954年 6月 筆者는 下記 分析値의 三陟炭으로서 1300°C의 窯內高溫度와 強還元性長焰을 얻어 純白色의 磁器를 燒出하였던바²⁾ 이 記錄은 灰分이 많은 低質國產無煙炭으로서는 高溫度와 長焰이 必要한 陶磁器等 工業에는 使用할 수 없다는 一般的인 定說에 對한 좋은 反證으로 되었다.

水分 4.13%, 揮發分 5.82%,

固定炭素 42.07%, 灰分 47.98%,

發熱量 4,000kcal/kg

日本에서는 選炭時의 淡粉, 天然的인 低質炭, 煇石 등의 利用에 多大한 努力을 바치고 있으며³⁾ 蒸氣發生方面에서는 微粉炭燃燒法과 체인·그레이트·스토카의 結合 또는 스프레다·스토카와 체인·그레이트·스토카의 結合等으로 3,500 kcal/kg 程度의 低質炭으로서 山元發電에 成功하고 있다⁴⁾. 低質炭燃燒에 있어서의 特異한 點은 給炭量과 除灰量이 大幅 增加한다는 것이므로 체인·그레이트·스토카는 特히 多量의 砂灰를 除去할 수 있어 低質炭 利用에 많이 使用되고 있다.

美國에서는 灰分 30~40%의 低質炭 또는 버럭(bone coal)을 利用, 한 때 工業的으로 가스化하였으며, 灰分 35~50%의 버럭도 가스原料로서 試驗되었으나 原來 良質炭이 豊富한 美國이라 工業化되지는 못하였고, 獨逸에서는 灰分 60~65%의 低質炭이 가스化 利用되었다⁵⁾.

소聯에서는⁶⁾ 모스크 地域에서 下記 分析値의 低質褐炭層을 利用하여 地下가스化法으로서 熱量 729 kcal/m³의 가스를 日當 1,164,800m³ 程度씩 生産中이라고 한다.

水分 25.15%, 水素 2.35%,

窒素 0.77%, 炭素 32.00%,

酸素 13.03%, 硫黃 1.60%,

灰分 25.1%

熱量 3,722kcal/kg.

低質炭은 熱量當으로 採掘費, 運賃 등이 高價로 치이므로 石炭을 採掘하지 않고 地下에서 가스化하여 가스를 需要地까지 運搬하는 方法은 가장 効果的인 低質炭의 利用法이라 할 수 있다.

以上 外國에서의 實例를 볼 때 國內서 4,000kcal/kg 程度의 低質炭을 利用하자는 것은 決코 韓國 特有의 窮餘之策이 아니라는 것을 알 수 있다.

爐內 溫度와 燃燒速度

爐內 溫度가 높아갈수록 着火, 燃燒, bovdovard 反應

및 水性가스 反應이 加速된다는 點에 關하여서는 이제 異論이 없다. 大森가⁷⁾ 提示한 數值를 플로트하면 그림 4

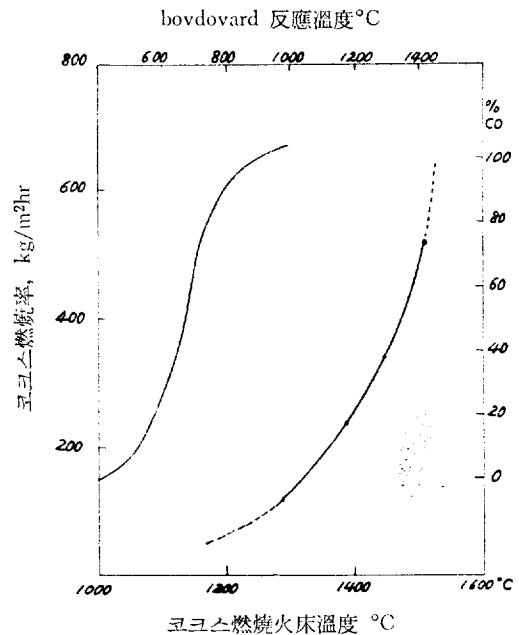


그림 4. 코크스燃燒率과 Bovidovard 反應平衡圖

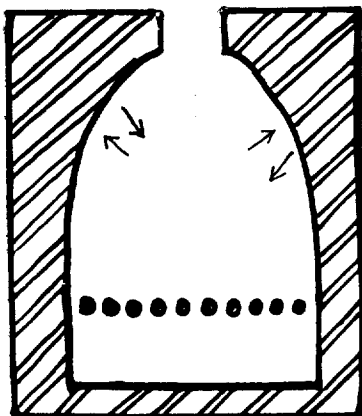
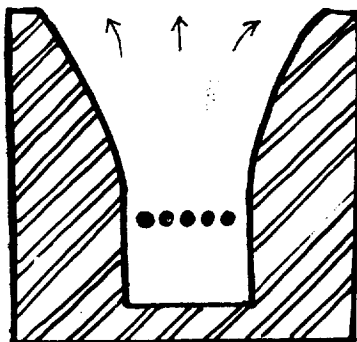


그림 5.

無煉炭用 火德 料理爐

燃燒熱을 爐壁이다시 火床에 反射케 하므로 爐溫이 높으며 熱氣排出을 抑制하고 燃燒熱의 爐內 滯留率을 높게 한다. 燃料은 無煙塊炭 또는 水粘粉炭.

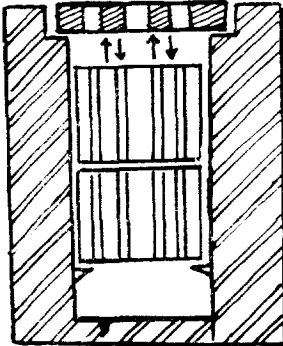


木炭火德

木炭은 着火가 容易하며 燃燒率도 높으므로 放熱面積을 크게하기 爲하여 上圖와 反對型的 爐를 使用하고 있다.

↓ 耐火物遮盤

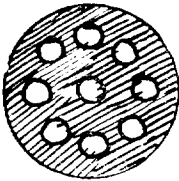
그림 6.



遮盤(baffle plate)을 덮은 火徳

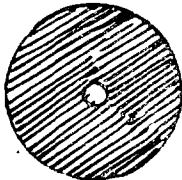
熱이 直接 外部로 擴散치 않고 一旦 遮盤에 부딪쳐 火床으로 反射되므로 爐內 溫度는 높고 燃燒가 促進된다. 爐內 구멍炭上 溫度를 900°C 以上으로 維持하면 一酸化炭素의 完全燃燒에도 도움이 된다.

燃燒促進用遮盤



구멍에서 流速이 빠른 高溫度熱氣가 上昇하므로 上部를 開放하는 것보다 高熱을 얻게 된다.

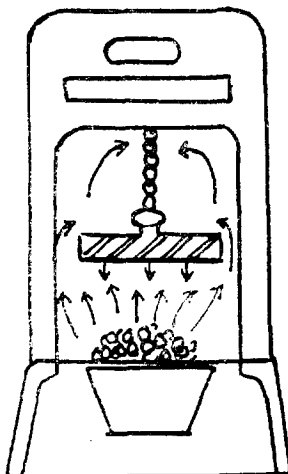
貯火用 遮盤



中央小孔에서 炭酸瓦斯가 排出될 뿐이므로 燃燒抑制가 되며 長時間 불을 維持할 수 있다.

그림 7.

耐火遮盤을 無煉炭燃燒室上에 設置한 美國 家庭用 熱湯보일러



← 耐火遮盤

耐火遮盤(refractory baffle)을 設置함으로써 燃燒熱의 爐內滯留時間을 延長하여 熱效率을 높이고 反射熱로서 火床과 爐內溫度를 높여 燃燒를 促進시키고 있다. 使用炭은 低質炭이 아니지만 低質炭에 이러한 方法을 使用하면 더욱 効果的이다.

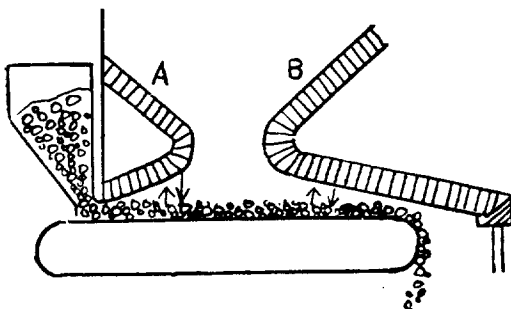
와 같이 코크스燃燒에 있어서 火床溫度가 높을수록 燃燒率은 增加되되 1600°C 以上에서는 非常하게 燃燒

率이 加速된다는 것을 알 수 있다.

着火溫度가 높은 低質炭은 그만큼 燃燒爐內溫度를 올

려줌으로써 그 缺點이 補償되며 着火溫度가 낮은 燃料와 同一 또는 그 以上の 燃燒率, 가스化率, 着火速度 등을 얻을 수도 있다. 爐溫度를 올리자면 燃燒率을 올리는 同時에 燃燒熱의 爐內 滯留率을 높이는 수 밖에 없으나 低質炭은 元來 燃燒率이 낮으므로 結局 燃燒熱의 爐內 滯留率을 높일 수 밖에 없으며 그러자면 燃燒熱이 火床으로 反射케 하든지 또는 爐壁耐火材에 吸收되게 해야 한다. 燃燒爐에서는 恒時 廢氣를 排出해야만 酸素를 吸入할 수 있으므로 對流熱은 爐溫을 올리기에 使用할 수 없으며 結局 火床에 對한 反射熱과 爐壁에 對한 傳導熱을 可及 利用할 수 밖에 없다. 現在 反射熱로서 爐溫을 높이고 있는 例로서는 그림 5의 火德에서는 爐壁上部가 굽혀들므로서 燃燒熱을 火床에 反射케 하였으며 그림 6의 구멍炭爐에서는 上部에 遮盤을 덮게 함으로써 上昇熱을 火床으로 反射케 하였다. 筆者는 1951年 以前에는 구멍炭周邊에다 砂灰을 채우던 慣習을 土管을 使用토록 奨勵함으로써 구멍炭周圍와 爐壁間에 더 많은 空氣를 供給하는 同時에 熱을 구멍炭으로 反射케 하고 또 土管中에 吸收케 함으로써 구멍炭의 燃燒率을 大幅增加케 할 수 있었다. 그림 7은 美國에서 使用하는 熱湯爐(hot water heater)에다 無煙炭燃燒을 促進시키기 爲하여 耐火物遮盤(refractory baffle)을 設置한 것이며, 그림 8은 체인·그레이트에서 無煙炭의 着火과 完全燃燒을 돕기 爲하여 着火用前面아취(ignition front arch)와 完全燃燒用 後面아취(rear arch for complete combustion)를 設置한 것을 圖示하였다. 以上은 無煙炭, 黑鉛, 低質炭 등 着火困難한 燃料의 燃燒性을 높이기 爲하여 耐火物로된 爐壁, 遮盤, 遮壁등을 設置함으로써 燃燒熱을 火床으로 反射케 하여 爐溫度를 올리는 通俗的인 方法들이다.

그림 8. 着火 및 完全燃燒用 아취를 設置한 체인·그레이트·스토카



이렇게 着火用 前面 아취 A와 完全燃燒用 後面 아취 B를 設置함으로써 燃燒熱이 火床에 反射되어 爐溫이 덩게 되고 燃燒率은 增加하였다.

Sinkinson⁹⁾은 石炭中の 灰分도 耐火物과 類似한 成分이며 灰分은 純炭과 緻密히 混合되어 있으므로 純炭分의 燃燒時 그 燃燒熱이 灰分細粒에 反射되어 火床溫度를 높이므로 適當量의 灰分은 燃燒促進에 不可缺少하다하였다. 이 理論에 關聯하여 생각해야할 點은 純炭分은 黑色이므로 熱을 吸收하며, 耐火物 또는 灰分은 近白色이므로 熱을 反射한다는 點이다. 發熱體와 反射體의 距離가 너무 가까운 感이 있지만 遍射熱은 距離의 自乘에 反比例한다는 法則이 있으므로 發熱體와의 距離가 가까울수록 遍射熱은 強할 수 밖에 없다. 또한 純炭分, 燭스, 無煙炭 등은 0~1000°C 사이에서 그 比熱이 約 0.35인데 對하여 灰分의 比熱은 0.22이므로 高灰炭일수록 着火點까지의 加熱에 必要한 熱量이 적다할 수 있다. 特히 石炭이 타고난 砂灰은 極히 多孔性이라 걸 比重은 낮다. Sinkinson⁹⁾의 理論은 從來 韓國서의 구멍炭 製造時 黃土, 珪藻土, 砂灰 등 灰分을 增加시키는 物質을 넣음으로써 더 잘 타게 된다는 主張을 說明하는 듯하다. 同時에 同理論은 灰분이 많은 低質炭의 燃燒性에 對한 좋은 辯護가 된다. 一部에서는 無煙炭에다 새로이 他處에서 얻은 粘土를 混合하였을 때는 燃燒促進이 되지만 버럭(硬炭)中の 灰分은 燃燒促進上 有害하다고 생각하고 있는바 그것은 버럭은 鑛石中에 緻密히 炭素가 封入되어 있으므로 灰障壁(ash barrier)을 이루어 空氣와의 接觸이 不良한 까닭이라고 생각되므로 이러한 缺點은 粉碎함으로써 除去될 것이다. 石炭속의 灰分과 粘土間에 別差異가 없다는 證據로서는 砂灰을 「아스」(ash의 音寫)라 稱하여 特히 機關車의 「아스」를 蒐集粉碎하여 煉炭燃燒促進劑로서 使用하고 있는 것으로서도 알 수 있다.

燃燒率이 낮은 低質炭을 燃燒率이 높은 良質炭과 同一速度로 燃燒하자면 兩者의 着火溫度差 以上으로 爐溫度를 올리면 된다. 가령 着火困難하고 燃燒率이 낮은 黑鉛質無煙炭의 着火溫度가 550°C인 것을 着火溫度 400°C인 良質瀝青炭을 1200°C의 爐溫度에서 燃燒하던 것과 同一速度로 燃燒시키려던 黑鉛質無煙炭爐는 1350°C의 爐溫에서 運轉해야 한다는 計算으로 된다. 이렇게 運轉溫度를 높이는 것은 熱을 더 消費하는 것이 아니고, 爐內에 熱을 保有하는 것이므로 銀行殘高가 많은 企業體와 같이 何等 損失은 없다.

爐內에 高熱을 維持하기 爲하여는 比熱과 比重이 높고 熱容量이 많은 耐火材를 쓰는 것이 좋다. 即 크롬, 마그네시아 등 耐火材는 高溫度로 加熱되어 쉽게 冷却되지 않으므로 燃燒의 安定性(combustion stability)을 얻을 수있으며 爐內蓄熱量을 增加시켜 高熱維持에 有益하다. 끝으로 燃燒物의 enthalpy를 增加시키는 方法으로서 炭과 空氣를 加熱하는 方法이 있으며 着火困難

한 黑鉛등은 良質炭과의 着火溫度差 以上으로 豫熱하고 空氣도 可及 加熱함으로써 좋은 結果를 얻었다는 것은 前述한 바와 같다.

筆者 研究의 ガス化燃燒法에 있어서는 爐內의 熱交換率을 높임으로써 1535°C의 高熱을 國產無煙炭으로서 낼 수 있었던바 그 原理를 說明하면 다음과 같다.

그림 9

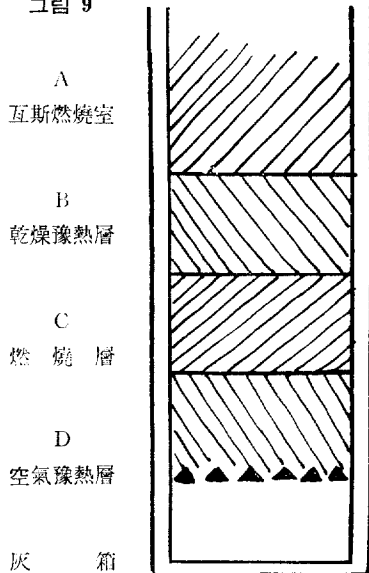


그림 9의 가스化深床에서 生成된 가스는 A 燃燒室에서 高溫度로 燃燒하므로 B로 投炭되면 C의 固體燃燒熱과 A의 氣體燃燒熱로 因하여 炭은 高溫度로 豫熱된다. 한편 空氣는 D殘灰의 顯熱을 回收하여 高溫度로 豫熱된다. 豫熱된 炭과 豫熱된 空氣가 C燃燒層에서 相逢하므로 高溫度로 燃燒할 수 밖에 없다. 이러한 機構로서 複雜한 炭豫熱裝置 및 空氣豫熱裝置의 必要없이 더욱 効果의으로 炭과 空氣를 豫熱할 수 있게 되었다. 炭豫熱溫度는 1000~1200°C 程度이므로 有煙炭과 無煙炭의 反應性指數差는 10¹⁰ 問題도 되지 않게 된 것이다. 이러한 研究로서 低質炭을 良質炭보다 高率로 燃燒하는 것은 容易하게 되었다.

燃燒 觸媒劑로서의 灰分

Eric Sinkinson⁹⁾은 耐火材나 石炭灰分의 表面이 一酸化炭素, 炭酸가스, 메탄, 水素 등을 吸着, 이온化하여 無焰燃燒하므로 그 放射熱이 燃燒에 必要한 活性化에너지를 供給한다고 하였다. 筆者는 이 點에 關하여 多年間 檢討해오던 中 最近에 와서 새로운 點을 發見하게 되었다. 即 高溫度燃燒爐內에서는 燃燒速度가 非常히 加速되므로 空氣의 供給速度가 率速을 支配하게 된다는 點

은 公知 事實이며 CO₂와 H₂O도 高溫度에서 解離하여 CO와 H₂로 된다. 實驗을 通하여¹⁰⁾ 燃燒觸媒劑로서 알려져있는 Fe₂O₃가 高溫度에서는 CO와 H₂로서 還元되어 FeO로 된다는 것과 酸素가 供給되는 데로 即時 FeO는 다시 Fe₂O₃로 된다는 것을 明確히 한 筆者는 Fe₂O₃가 高熱燃燒爐內에서 酸素授受作用을 한다는 것을 알게된 것이다.

萬一 이러한 酸素銀行이 없다면 高熱爐內에 酸素供給이 中斷될 때는 燃燒室息狀態를 더욱 더 일으키기 쉬운 것이며 또한 過剩酸素를 迅速히 回收해 주지 않는다면 過剩空氣狀態를 招來하여 爐溫度를 떨어뜨리게 될 것이다. 그러므로 이러한 酸素授受는 高熱下 燃燒의 安定性을 增加시킬 것이며 燃燒을 促進시킬 것이 明白하다.

其他 耐火材 및 石炭灰分中 重要成分인 Al₂O₃, SiO₂, TiO₂ 등에 關하여 Ryshkewitch¹²⁾는 還元元焰下에서 SiO₂는 1500°C 以下の 溫度에서도 SiO로 變하여 蒸氣壓이 增加하며 또한 1350°C 程度의 低溫에서도 SiO₂는 H₂로서 還元되어 Si로 된다고 하였다. 또한 高溫度의 炭素는 가장 強力한 還元劑로서 SiO₂는 SiO로, Al₂O₃는 AlO로, B₂O₃는 BO 등으로 還元되면서 酸素를 내놓는 過程을 說明하였다. 그가 引用한 Winter에 依하면 固體酸化物間의 酸素交換反應은 300~600°C의 低溫에서 始作되며 「감마·알미나», 亞鉛華, 토리야, 酸化티탄 등에서 實例를 볼 수 있되 原子量 18인 重酸素로서 放射性物質追跡方法을 使用한 試驗結果 이러한 酸素交換反應은 急激하며 廣範圍한 것을 알 수 있다 한다. 가스反應速度는 H₂O, CO₂, Ar, O₂, Air, Ne, He의 順序라 하므로 H₂O, CO₂, O₂ 등이 豊富한 高溫爐內에서는 H₂O, CO, CO₂, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃ 등 사이에 酸素交換이 石炭燃燒爐內 溫度範圍內에서도 極히 活潑할 것이 分明하다. 平溫에서는 AlO, SiO 등 物質이 檢出되지 않으므로 이들이 酸素授受作用을 한다고 생각된다. 即 爐內物質은 다음과 같은 酸素飽和狀態와 酸素缺立狀態 間을 來往하는 것이 明白하다.

完全還元狀態	半還元 또는 半酸化狀態	完全酸化狀態
C	CO	CO ₂
Fe	FeO, Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃
Si	SiO	SiO ₂
Ti	TiO	TiO ₂
Al	AlO	Al ₂ O ₃
H	HO	H ₂ O

參考로 酸化物의 高溫度 蒸氣壓은 다음과 같다¹²⁾.

1730°C 2730°C

화학공학

Al ₂ O ₃	25Torr	>760Torr
Cr ₂ O ₃	3	>760
TiO ₂	3	>760
SiO ₂	2	>760
MgO	0.3	750
CaO	0.2	700
ThO ₂	3×10 ⁻³	16
ZrO ₂	6×10 ⁻⁴	16

但 E. Torricelli 에 따라 /Torr 은 水銀柱 /mm의 壓力을 表示한다.

低質炭의 熱効率

低質炭으로서 熱效率이 낮은 重要한 理由는 一般的으로 灰中可燃物의 過多 및 灰中顯熱의 回收不良에 있다고 할 수 있다. A. A. Godel¹³⁾ 은 重油燃焼時 熱效率이 86%인데 對하여 燃焼困難한 無煙粉炭燃焼에 있어서 88%의 熱效率을 얻었다하므로 低質炭의 燃焼效率은 그 燃焼方法 如何에 달렸다고 할 수 있다. 一般的으로 油類의 燃焼效率이 높다고 생각하고 있는 것은 게가 없는 것만 알고 莫大量의 煤煙이 煉炭을 通하여 虛失되고 있는 點을 看過하는 까닭이다.

結 論

低質炭 中 揮發分이 적은 炭은 가스化 燃焼法으로서 그 缺點이 是正되며 反應性이 낮은 炭은 爐溫을 높이는 同時에 炭과 空氣를 豫熱함으로써 良質炭보다 오히려 高率로서 燒燒할 수 있다. 灰分이 많은 炭도 灰分 40%까지는 長所보다 熱量이 높으므로 灰分の 燃焼觸媒作用으로 高率로 燃焼可能하며 完全燃焼와 灰顯熱回收로서 油類보다 높은 熱效率을 얻을 수 있다. 灰分 40% 以上の 低質炭은 良質炭과 混炭하여 使用할 수 있고 水分이 過多한 吸濕性 低質炭은 爐內熱로서 乾燥할

수 있다.

低質炭 利用은 資源이 貧弱한 韓國에서의 特殊한 窮餘之策이 아니고 先進 各國의 共同關心事이며 國內産業發展을 爲하여 晩時之歎이 있다.

參 考 書

1. 商工部: 低質炭에 關한 檢討
2. 金萬鍾: 陶磁器의 無煙炭燒成法, (1954)
3. 伊木貞雄: 瀾石および無煙炭의 特性とその利用, 燃料協會誌 36卷 368號, (1957, 12)
4. 福田幾昌: 低品位炭利用의 火力發電, 燃料協會誌 34卷 340號, (1955)
5. J. W. Eckerd, J. D. Clendenin, W. S. Sanner and R. E. Morgan: Gasification of Bone Anthracite, (1960) R. I. 5594, U. S. Bureau of Mines.
6. G. D. Bakulev: An Economic Analysis of Underground Gasification of Coal, (1962) I. C. 8069 U. S. Bureau of Mines.
7. 大森貫一: 無煙炭燃焼理論, 朝鮮無煙炭利用研究會, (1943)
8. Wilhelm Gums: Gas Producers and Blast Furnaces, (1950)
9. Eric Sinkinson: A New Theory Concerning the Combustion of Anthracite, (1938)
10. 張宗植: 石炭과 火力發電所, 石炭 No. 15, 1962, 12
11. 金萬鍾: 高麗磁器의 靑磁色影과 燒成室內雰圍氣와의 關係, 金屬學會誌 1卷 4號 (1963, 12)
12. Eugene Ryshkewitch: Oxide Ceramics, Physical Chemistry and Technology, (1960)
13. A. A. Godel: Meeting Report, The Combustion Engineering Association Document, No. 7624 & 7781, (1963 & 1964)