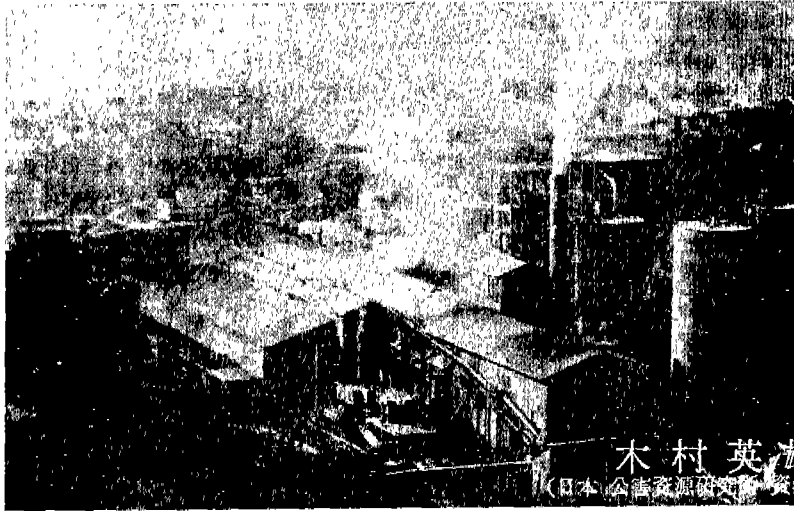


石炭의 가스화 · 液化技術



木村 英雄
(日本公營資源機構 資源部長)

1. 머리말

石炭은 石油에 比해서 輸送, 貯藏 및 灰分 등, 그 取扱上에 不利한 면이 있으므로 이들 問題를 解決할 必要가 있다. 石炭은 炭素, 水素, 酸素를 主體로 하는 有機質固體이며 또한 成因上 若干의 無機物을 含有하고 있으며, 炭種에 따라 組織의 差異가 있다.

따라서 現在의 石油, 天然가스를 主體로 하는 産業 構造의 시스템 속에 집어 넣기 위해서는 石炭의 가스화, 液化 등의 手段에 依해 流體나 氣體燃料로 轉換해서 利用할 必要가 있다. 同時에 이들의 處理過程에 있어, 環境保全上 問題가 되는 煤塵, SO_x, NO_x 등의 發生을 되도록 減少할 수 있겠음 清潔化하고 清潔燃料로서 利用하는 일이 바람직하다. 다음 面의 [表-1]은 世界의 石炭에너지 開發狀況이다.

參考로 日本에서의 石炭利用 現狀을 보면 製鐵業, 鑛物業에 關連된 코오크스 製造를 위한 乾留用이 主流을 차지하고 있다.

石油의 流體化技術로서는 가스화 · 液化가 比較的 長期目標을 指向하고 있으나, 比較的 早期에 實現이 可能할 것으로 여겨지는 것으로는 石炭의 超微粉碎에 依한 超微粉炭, 기름과의 混合處理에 依한 콜로이드燃料 및 直接燃燒法으로서의 流動床燃燒 등이 있다.

2. 最近의 가스화技術

가스화法을 過程別로 본다면 아래 4 種類가 있다. 勿論 目的하는 가스의 種類에 依하면 高칼로리, 中~低칼로리, 合成原料가스, 還元가스 등이 있고 무엇을 目的으로 하느냐에 따라서도 過程, 가스화劑 및 가스화條件 등이 달라진다. 또 石炭의 高溫乾留 혹은 低溫乾留에 依한 코오크스, 木炭의 副産物로서의 가스 다르도 있다.

① 固定床가스화法

예를 들면 Lurgi法, Ruhrkchle法(西獨), Morgantown法, GE法(美國) 등이 있다.

② 流動床가스화法

예를 들면 Winkler法, RBW法(西獨), Synthane法, Hy gas法, CO₂ Acceptor法, BI gas法(一部噴流床), U gas法, WH法(美國), 日立法(하이브리드 가스화), 三藤法(물添加가스화), 石炭技研法(低칼로리 가스화) 등이 있다.

③ 噴流床가스화法

예를 들면 Koppers Totzek法, Shell Koppers法(西獨), CF法(美國) 등이 있다.

[表-1] 世界の石炭 에너지 開發狀況

美	高칼로리가스화: 120t/d級 플랜트 運轉中 가스화發電: 480t/d級 플랜트 設計中
獨	石炭液化: 600t/d級 플랜트 建設中
西	高칼로리가스화: 3萬m ³ /d級 파인릿 플랜트 運轉中 가스화發電: 17萬kw(約1,500t/d)級 플랜트 運轉中
獨	石炭液化: 0.5t/d 벤치스케일 플랜트 運轉中
불란서	別로 없음(太陽에너지, 原子力에 重點)
英	石炭의 가스화: 基礎研究中 石炭液化: 0.5t/d級 벤치스케일 플랜트 運轉中(오일러 直接燃焼技術에 重點)
日本(선사인計劃)	高칼로리가스화: 7,000m ³ /d級 파인릿 플랜트 詳細設計 着手 가스화發電: 5t/d 파인릿 플랜트 運轉中 40t/d級 파인릿 플랜트 建設中 石炭液化: 1t/d級 파인릿 플랜트 建設
南阿聯邦	石炭液化: 合成법에 의한 1,000t/d 플랜트 運轉中

④ 熔融床 가스화法

예를 들면 Otto Rummel 法, Saarberg Otto 法(西獨), Kellogg 法, AT gas 法(美國), 三菱重工法(熔融鐵), 新明和法(熔融鐵) 등이 있다.

現在 世界的으로 石炭의 가스화가 實際로 工業의 規模로 實施되는 것은 모두 獨逸에서 옛 날부터 技術이 開發되었던 Lurgi 法(加壓型), Koppers Totzek 法(常壓) 및 Winkler 法(常壓) 등이 다. 日本에서도 에너지의 流體化가 始作된 1960年代 中半경까지는 都市가스 또는 H₂+CO의 合成原料가스를 얻기 위하여 Winkler 爐, Koppers Totzek 爐의 技術導入이 이루어졌던 일, 또 關係化學會社에서 改良되고 開發된 微粉炭가스화爐 등이 많이 活用된 일은 알려진 바이다.

이런 意味에서 中~低칼로리가스의 分野를 指向하는 것이라면, 常壓가스화爐에 依해 比較的 早期에 石炭의 가스화를 實現하는 일이 可能하다고 말할 수 있을 것이다.

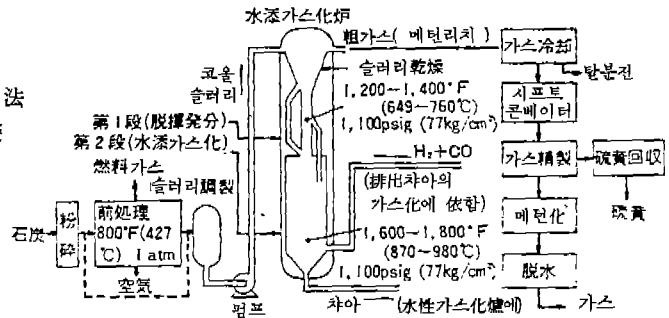
(1) 美國의 技術開發

美國에 있어서는 特히 高칼로리 製造技術의 開發이 한창이다. 이것은 不足되는 天然가스對策으로서 注目되고 있는 것으로, 石炭을 産炭地 附近에서 加壓下에 가스화해서 高칼로리의 代替天然가스(SNG)를 製造하고 이것을 美國內에 거미줄처럼 敷設된 天然가스의 파이프라인網에 보내려는 방식인 것이다.

現在까지 여러가지 過程의 技術開發이 推進되고 있지만 이들 事業은 1976年 10月에 設立된 에너지廳의 에너지研究開發局(ERDA)에 依한 政策과 巨額의 研究費에 依한 것이다. 이들 中에서 主要한 것을 든다면 [表-2]와 같다.

研究開發이 가장 進捗되고 있는 것은 Hy gas 法(그림-1 參照), Synthane 法, BI gas 法, CO₂ Acceptor 法이며 이中 앞의 두 가지가 가장 注目되고 期待되고 있는 듯하다.

流動床法은 一定하게 粉碎된 粒徑의 粒炭을 가스화 爐 안에서 가스화劑에 依해서 流動化시키며 또한 加壓下에서 流動狀態에서 가스화하므로 石炭의 大量處理에 適合하다. 따라서 大量의 代替天然가스取得을 指向하고 있는 美國에서는 加壓型의 流動床方式에 關해서 급속히 研究開發이 進行되고 있는 現狀이다.



[그림 1] Hy gas 法

한편 高壓의 流動床에 있어서는 어떻게 粉炭을 爐안에 裝入하며 또 反應後의 찌꺼기를 爐밖으로 꺼내느냐가 問題가 된다. 예를 들어 Synthane 法에서는 Petrocard 社의 목크흡퍼方式을 採用하여 檢討하고 있다. 또한 流動床上部로부터 가스화가스와 함께 排出되는 타르, 더스트, 트러블(塵埃問題) 및 流動床下部의 차아 排出口에 있어서는 크링카트러블 등에 關해서도 여러 가지 檢討가 加해지고 있다.

Hy gas 法에서는 H₂+CO 가스에 依한 添水가스화에 依해서 粗가스의 메탄含有量을 42% 程度로 Synthane 法의 11~18%와 比較해서 높이고 後段의 메탄화에 要하는 比重을 내리고 있다. 또한 高壓流動床 爐속으로의 粉炭裝入에 對해서는 기름 슬러리에 依한 方式을 採用하고 있다.

美國에서의 商業爐의 規模는 一般的으로 700萬Nm³/d(石油處理量 約 1.5萬 t/d) 程度가 한 單位로 생각되고 있지만 Hy gas 法에 있어서는 試算例는 [表-3]에 나타낸 바와 같다

[表-2]

美國에 있어서의 主要한 가스化 技術(高칼로리 가스)

프로세스名	開發機關	石油處理量 (t/d)	가스化條件		가스生産量 (ft ³ /d)	開發狀況
			溫度(°C)	壓力 (kg/cm ²)		
Synthane 法	ERDA, Pitts- burgh Energy Research Center	75	927	40	30×10 ⁴	加壓流動床 가스化法으로 1975년에 完成하여 試驗中. 크링카트라분을 檢 討中
Hy gas 法	Institute of Gas Technology	75	一段階(上段) 649~760 二段階(下部) 870~980	77	150×10 ⁴	水素添加加壓流動床 가스化法으로 1970년에 建設하여 試驗中. 粗가스르 에탄딕치를 저장한다.
CO ₂ Acceptor 法	Consolidation Coal Co.	40	830	10~20	200×10 ⁴	도르마이트使用의 脫 CO ₂ 加壓流動 床가스化法으로 1971년에 建設하여 試 驗中. 도르마이트에 依한 脫黃
Bl gas 法	Bituminous Coal Research Inc.	120	一段階(下部, 噴流床)1,600 二段階(上部) 900	70~100	240×10 ⁴	2 段高溫加壓流動床 가스化法으로 1975년에 建設하여 試驗中. 高溫故灰 는 슬러그
Kellogg 法	M.W. Kellogg Co.	벤치스케일 爐徑 2inφ×3ft	1,000	30	—	熔融爐에 依한 加壓熔融床가스化法 으로 1960년부터 研究
AT gas 法	Applied Technology Corp.	벤치스케일 27inφ의 2.7爐	1,400~1,450	常壓	—	熔融爐에 依한 常壓熔融床가스化法으로 1973년부터 研究, 中止했다 傳해진다.

[表-3]

Hy gas 法 (1974年)

A) 파일럿플랜트	
石炭處理量	75t/d
建設코스트	1,000萬弗
가스生産量	150 ft ³ /d
人 員	約 60名
B) 商業爐	
所費코스트	3 億弗
石炭處理量	500萬t/yr
파이프라인가스	2 億 5,000萬ft ³ /d
石炭必要量	1 億 2,500萬t(25yr)
人 員	約 450名
가스生産코스트	1.15/1,000ft ³

注) 最近에는 所費코스트 10億弗, 가스코스트 2.5~3.5弗/
1,000ft³ 까지 上昇

다음으로 最近에는 燃料用 및 가스化發電用으로
가스化劑에 空氣와 水蒸氣를 쓰는 低칼로리가스化에
關한 技術開發이 한창이다. 이들 가스化法の 主要한
것들은 다음과 같다.

① U gas 法

加壓流動床가스化法이며 IGT 가 開發中, 벤치스케
일, 4ftφ×30ft, 壓力 10kg/cm²이다.

② GE 法

加壓固定床가스化法이며 General Electric 社가 開
發中, 0.5t/d, 壓力 20kg/cm²이다.

③ WH 法

도르마이트를 使用하는 加壓流動床 가스化法이며,
Westinghouse Electric 社가 開發中, 550kg/h, 20kg/
cm², 出口溫度 980°C, 가스칼로리 1,500~3,000kCal
/kg 이다.

④ CE 法

常壓噴流床가스化法이며 Combustion Engineering
社가 開發中, 5t/h, 出口溫度 890°C, 가스칼로리 1,500
kCal/kg 이다.

(2) 其他의 여러 나라

現在, 西獨 및 南阿聯邦에서 가장 盛行하고 있다.
西獨에서는 이미 世界的으로 注目을 끌고 또한 商業
爐로서 活躍고하 있는 것이 Lurgi爐 및 Koppers Tot-
zbek 爐이다. 그리고 高溫原子爐의 核熱 利用에 依한
가스化法에 關해서도 檢討가 進行되고 있다.

① Lurgi 法

加壓固定床가스化法이며 Lurgi 社가 開發. 溫度 800
~1,200°C, 壓力 20~30kg/cm², 現狀에서의 單機最
大容量 20~30t/h, 1936 年以來 世界各國에서 50 基 以
상의 實績을 갖는 商業爐. 但 低~中칼로리의 燃料用
및 合成原料가스用이 主體이다.

② Koppers Totzek 法

常壓噴流床가스化法이며 Essen 의 Heinrich Kop-
pers 社에 依해 開發, 溫度는 1,500~1,800°C로 높다.
74μm 程度의 微粉炭常壓가스化가 特徵, 現狀에서의

單機最大容量은 2 버어너爐 16t/h, 4 버어너爐 35t/h, 1949年以來 世界各國에서 25基 以上の 實績을 갖는 商業廠, 但 H_2+CO 의 合成原料用이 主體이다.

Lurgi 法에 關해서 記述한다면 Lurgi 法의 原料石炭은 非粘結炭이 좋으며 또한 粒度는 3~30mm의 塊炭을 必要로 하는 가스化를 特徵으로 하고 있다. 現在 西獨의 Steag AG가 Lünen의 Kellerman 發電所에서 Lurgi 法(石炭處理量 70t/h)을 利用하여 過給보일러에 依한 가스터어빈(燃燒가스溫度 820°C, 1380t/h, 7.4萬 kW)과 스팀터어빈(9.6萬kW)에 依한 複合發電시스템의 가스化發電(合計 17萬kW)에 關해서 技術開發을 進捗시키고 있다.

南阿聯邦의 Sasol에서는 Lurgi 法에 依한 가스化와 Fischer Tropsch 合成과의 混合方法을 利用하여 合成原料가스, 都市가스, 合成原油의 製造를 商業規模로 實施하고 있으며 特別히 石炭을 原料로 하여 合成原油를 製造하고 있는 世界唯一의 合成液化工場(Lurgi 爐 13基, 石炭處理量 6500t/h, 粗가스 880萬Nm³/d)이다. 南阿聯邦에서는 가까운 將來에 Sasol II로서 第2期 計劃을 갖고 있으며 石炭處理量 850t/d, 粗가스 5萬 Nm³/d의 Lurgi 爐를 33基, 豫備爐 6基를 設置하여 合計 粗가스 165萬Nm³/d, 精製가스 110萬Nm³/d를 얻어 이것을 Fischer Tropsch 合成(synthol 爐 10基)에 걸어 가솔린 150萬t/年, 其他 에티펜, 케미컬즈, 타르, 암모니아, 硫黃 등을 包含하여 合計 210萬t/年을 製造할 計劃을 작성 進行시키고 있다고 알려져 있다.

最近, Ruhrkohle AG에서는 Lurgi 爐의 壓力을 40~100kg/cm²까지 上昇시키는 試驗을 始作했지만 이것은 石炭處理量을 끌어올림과 同時에 粗가스의 메탄 含有量을 增大시켜 高칼로리가스를 指向하기 위한 때문이다.

Lurgi 法에 依한 高칼로리가스製造에 알맞는 가스化에 關해서는 西獨은 勿論 美國에 있어서도 El Paso Natural Gas 社가 New Mexico 州 北西部에 700萬 Nm³/d 規模의 가스化플랜트에 關해서 檢討한 적이 있다. 英國에서도 Scottish Gas Board 社가 Westfield에서 7萬Nm³/d 規模의 試驗을 實施하고 있다.

③ 其他

西獨에서는 最近 Saarbergwerke AG가 過去의 Otto Rummel 法을 改良한 슬러그利用에 依한 熔融床法인 Saarberg Otto 法(5~10t/h)의 試驗을, Shell 社가 Koppers 社와의 共同에 依하여 加壓型噴流床의 Shell Koppers 法(6t/d, 1,800~1,900°C, 30kg/cm²) 試驗, Rheinische Braunkohlenwerke AG가 加壓型流動床 添水가스化(4.8t/d, 스케일업計劃은 168~240t/d)의

試驗을 各各 開始하여 今後 發展이 注目되고 있다.

3. 最近의 液化技術의 開發

液化法을 過程別로 보면 다음의 種類가 있다.

① 直接添水液化法

예를 들면 Bergius 法(西獨), H Coal 法, Synthoil 法(美國), 北海道工業開發試驗所(선샤인 계획) 등

② 乾留添水化法

예를 들면 COED 法(美國) 등

③ 抽出添水液化法

예를 들면 Port Broche 法(西獨), CSF 法, SRC 法, Exxon 法(美國), 公害資源研究所, 九州工業技術試驗所(솔브리시스法) 등

④ 合成液化法

예를 들면 Fischer Tropsch 法(西獨) 등이다.

現在 世界的으로 보아 石炭液化를 工業的 規模로 實施하고 있는 것은 前述한 바와 같이 南阿聯邦뿐이다.

原料石炭은 가스化와는 달리 炭種에 對한 制限이 있으며, 理想的인 것은 瀝青炭이지만 褐炭도 對象이 될 수 있다.

最近에 있어서 液化技術의 開發은 從來의 Bergius 法에 依해서 代表되는 直接液化法뿐만이 아니라 오히려 石炭中의 添水分解하기 쉬운 部分만을 抽出하든지 또는 乾留해서 乾留타르 및 輕質油를 取得하든지 더 나아가서는 이들을 二次添水하여 보다 輕質化하는 方法이 採用되고 있다.

石炭은 石油와 比較해 보면 化學組成上 그 H/C(原子比)는 無煙炭 3.0, 高揮發分瀝青炭 0.8, 褐炭 0.7 程度이고 原油 1.8, 가솔린 1.9 程度에 比較해서 水素가 적은 것이 明白하다.

따라서 石炭을 液化해서 合成原油를 取得한 경우에는 炭種의 選定이 重要하지만 同時에 高價인 水素의 消費量을 되도록 減少시키는 일과 어디서부터 어떤 形態로 水素源을 얻는가가 問題가 된다. 더욱 나아가서 石炭이 天然資源이므로 無機物, 石炭組織의 影響도 加味된다. 어쨌서이고 하니 無機物의 存在는 그만큼 裝置의 損傷, 슬러리의 取扱을 困難하게 함과 同時에 未反應殘渣+灰分과의 固液分離를 보다 困難하게 할 것이며 石炭組織에서는 同一石炭化度의 石炭일지라도 이니치니트·그룹에 依해서 代表되는 후지니트 등의 不活性成分이 많은 石炭으로는 風化炭, 酸化炭 등과 함께 液化率이 보다 低下하는 傾向이 있기 때문이다.

[表-4]

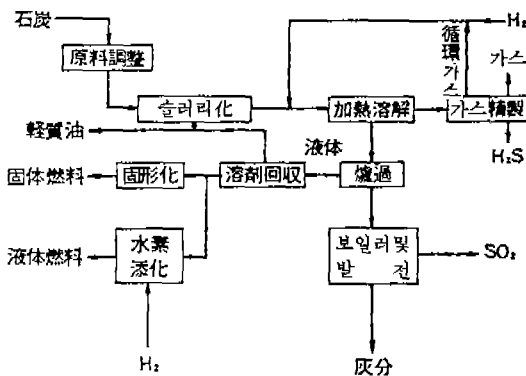
美國의 主要 液化技術

프로세스 名	開發機關	石炭 또는 슬라리 處 理量(t/d)	가스화條件		觸媒	生産量(%)		開發狀況
			溫度(°C)	壓力 (kg/cm ²)		기름 가스 목탄		
H Coal 法	Hydrocarbon Research Inc.	3	450~500	150~180	CO~MO系 캐레트	3.0bb1/t 20		沸騰床觸媒層에 依한 直接添水法이 며 1965년부터 研究開發中. 現在 600t/d 建設中
Synthoil 法	ERDA Pittsburgh Energy Re- search Center	0.5	450	140~280	CO~MO系 캐레트	3.3bb1/t — 10		固定床觸媒層에 依한 直接添水法이 며 1969년부터 研究開發中. 現在 10t/d 建設中
COED 法	Food Machinery Corp	36	480~550 二次添水 370~430	常 壓 120~175	Ni-CO 系	1.1bb1/t 16,000ft ³ /t 1,000b1/t		3~5段의 流動床常壓低溫乾留를 實 施하고 生成타르를 二次水素化하는 多段流動乾留添水法이며 1970年부 터 試驗中
SRC 法	Pittsburgh & Midway Coal Mining Co.	50	400~480	70	無	90 — —		溶劑處理炭(SRC)을 製造하는 溶劑 抽出液化法이며 1975년부터 試驗中. 輕質油를 열기 위해서는 또한 二次 添水, SRC II 計劃이 있다.
Exxon 法	Exxon	1	425~470	105~140	無	35~40 10 40~45		Donor Solvent法이라고도 불리는 溶劑抽出液化法이며 1974년부터 試 驗中. 250t/d를 計劃中.
CO Steam 法	ERDA, PERC	0.2	400~425	280	K ₂ CO ₃ 또는 Na ₂ CO ₃	60		CO+Steam에 依한 直接液化法이며 從來는 都市廢棄物 處理用, 10t/d를 計劃中.

(1) 美國의 技術開發

美國에 있어서 1960年에 石炭研究局(OCR)을 新設한 以來, 現在의 ERDA 에 이르기까지 高칼로리 가스화 和 함께 石炭의 液化技術開發을 積極的으로 推進하고 있다. 世界 第2位라 하는 莫大한 量의 石炭이 埋藏된 美國에서는 炭種의 確保 및 選定도 容易하지만 世界的인 石油危機感도 있으므로 幅 넓은 研究開發이 進行되고 있다. 이들 中에서 主要한 것을 列擧하면 위의 [表-4]와 같다.

現在 美國에서 大規模로 技術開發이 進行되고 있는 것은 COED 法의 36t/d, SRC 法(그림 2 參照)의 50t/d 이지만 SRC 法, Exxon 法이 가장 注目을 끌고 있는



[그림 2] SRC 法

것 같다. SRC II 法은 美國·日本·西獨間에는 技術協力으로 6,000t/d 規模가 推進된다고 하며, Exxon 法에서는 250t/d 規模의 技術開發에 美國으로부터 日本의 關係會社에게 資金지원이 있다고 傳해진다.

美國에서의 商業規模의 爐는 一般的으로 10萬bb1/d (石炭處理量 2.5萬t/d) 程度가 考慮되고 있으나 例를 들어 Synthoil 法에 依하면 合成原유코스트는 炭價에 따라 다르지만 20 弗/t로 12.38 弗/bbl로 試算되고 있으며 裝置規模의 大型化에 의해서 脫黃重渣와 充分히 競合할 수 있다고 傳해진다.

(2) 其他의 여러 나라

西獨, 英國, 南阿聯邦, 濠州 등의 여러 나라에서도 研究開發이 進行되고 있다.

특히 西獨에서는 過去の 直接添水液化法인 Bergius 法의 經驗을 살린 技術開發이 進行되고 있다.

한편, 溶劑抽出液化法에 關係해서도 美國의 SRC 法에 關心을 갖고 있으며 前述한 것처럼 美國과의 技術協력을 檢討하고 있는 것 같다.

英國, 南阿聯邦, 濠州에서도 특히 溶劑抽出液化法에 對한 關心이 높지만 이들은 前述한 것처럼 石炭中의 抽出하기 쉬운 部分을 比較的 溫和한 條件下에서 꺼내어 必要에 따라 보다 輕質화하고 싶을 경우에는 二次添水を 하는 것으로 모두가 共通의인 思考方式이다. ♣