『石炭의 液化方法』

"石炭에 水素의 添加"로 液化

精製法 〔Hydrogen-donor system과 Fischer Trospch 結合이〕 經濟的

石炭의 液化方法과 經濟性

18世紀 産業革命以後부터 約 150餘年동안 石炭이 人類의 主「에너지」源으로 利用되어 왔으나, 石油가 發見되고 産業化되면서는 石油가 今世紀의 主「에너지」源으로 君臨하게 되었다.

人類가 利用可能한 地球上의 「에너지源」(重水素을 除外)은 도합 石油換算 8.15×10^{12}kl에 達하고 있는데 이중 石炭이 절반을 넘는 57.7%이고 石油는 겨우 3.1%에 不過하여 석유의 可採年數가 30년이라는 限界에 도달하여, 세계각국은 석유에 代身할 수 있는 새로운 「에너지」源 開發에 힘쓰고 있다.〈表 1참조〉 그러나 지지부진한 상태이고 또한 製品化된다 하더라도 「코스트」가 石油보다 相當히 높으며, 1985년에 가서도 1次 「에너지」部分에서 차지하는 比重이 2%未滿일 것으로 추정되고 있다.

따라서 近年에 와서 地球上의 가장 豊富한 「에너지」源인 石炭의 効率的 利用方法으로서, 石炭의 「개스」化 내지 液化에 對한 各國의 關心度가 政治的으로나, 經濟的인 理由를 바탕으로 점차 고조되고 있다.

이 글에서는 最近 美國에서 檢討된 바 있는 石炭의 液化方法과 商業的 利用可能性에 對해 알아본다.

1. 概 要

石炭의 液化내지는 「개스」化 原理는 이미 오래전부터 알려졌으며 몇몇 小規模의 試驗生産도 있었다. 따라서 現在로서는 이 技術을 商業的으로 利用하는데 必要한 液化工場 建設資金 調達 및 價格등이 問題되고 있다.

1820年代에 美國의 東北部 및 中西部地方에서는 石炭「개스」가 照明, 炊事用으로 利用되다가 2次大戰後 天然「개스」가 널리 供給되자 石炭개스가 천연 개스보다 火力이 떨어진다는 이유로 사라지게 되었다.

또한 石炭의 液化는 2次大戰中 獨逸에서 大規模로 施行되었고, 現在에도 南阿聯邦에서 相當한 規模로 推進되고 있다. 合成「개솔린」 生産量은 獨逸이 하루12,000「배럴」에 이르렀고, 單一工場으로 最大規模는 하루생산량 4,000「배럴」水準이었으며, 南阿聯邦의 「사솔」 合成燃料工場에서는 石炭을 「개스」化한後, 다시 液化하는 2段階工程을 거쳐 하루 300百萬立方「피트」의 「개스」를 生産 處理하였다. 한편 處理石炭量은 獨逸이 最大 하루 600屯 南阿聯邦의 「사솔」工場이 하루 3,500屯 程度이다. 그러나 美國의 「에너지」關係者들은 日 25,000屯 以上의 石炭을 處理

할「플랜트」를 構想하고, 이 境遇 獨逸이나 南阿聯邦에서 採擇한 工程으로는 經濟性이 없다고 判斷하여 새로운 石炭의 液化方法을 硏究하게 되었다.

그 結果, 價格面에서 現在 美國內에서 生産되고 있는 石油와 天然「개스」에 競爭할 수 있는 石炭의 量産液化 및「개스」化 技術을 開發하게 되었다.

이 새로운 技術의 出現으로 美國內 石油 및 天然「개스」業界는 採算性 問題로 開發을 미뤄왔던 油田과 天然「개스」井의 開發을 促進하게 될 것이며, 이것은 다시 石炭을 利用한 合成燃料의 生産을 誘發하게 될 것으로 期待되고 있다.

實際的으로 石炭價는 石油價에 比例해서 上昇하고 있는데 合成燃料 價格의 경우는 石炭液化「플랜트」設備를 通한 加工生産 段階를 거치게 되므로 石油나 天然「개스」의 價格變動의 影響을 크게 받지 않을 것으로 보고 있다.

2. 石炭의 液化 및「개스」化 原理

石炭의 液化 및「개스」化를 가장 쉽게 表現하여 "石炭에 水素의 添加"라고 할 수 있다. (石炭中 H:C=0.8:1, 石油中 H:C=1.75:1) 水素는 물(水蒸氣)에서 얻어지며, 水素를 分離해 내는데 必要한「에너지」는 液化할 石炭 그 自體에서 얻어져야 한다. 即 水素의 分離는 石炭의 液化 및「개스」化 工程中 가장 많은 Cost를 要하는 過程으로, 必要한「에너지」를 工程內에서 調達할 수 없는 石炭의 液化 및「개스」化 方法은 經濟性이 없는 것이다.

모든 石炭의 液化工程은「개스」化 段階를 거치게 되는데, 이때 石炭은 水蒸氣와 反應케 된다. 이 目的은「개스」製品을 生産하기 위한 것이 아니고, 단지 工程中에 必要한 水素를 더 많이 얻기 위한 한 方法으로 水蒸氣와 잘 融合하는($Co+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$) 合成「개스」($CO+H_2$)를 얻는 것이다. 또한 모든 石炭液化 工程은「메탄」(CH_4)을 包含한 炭化水素類「개스」를 生産하게 되는데 이는 天然「개스」에 代替될 수 있다.

다음으로는 石炭液化및「개스」化 方法中 4가지의 基本的인 것을 紹介한다. 이 方法들은 石炭의 液化過程中 副産物로 개스를 生産하고 있다.

表 1 地球窮極「에너지」埋藏量

源別		原數値	石油換算値(kl)
石炭		6.7兆톤	4.70×10^{12}
亞炭		2.0 〃	0.70×10^{12}
石油		3,463億톤	0.25×10^{13}
天然가스		2,330 〃	0.16×10^{12}
頁岩油		3,200 〃	0.22×10^{12}
Tar Sand		3,800 〃	0.27×10^{12}
우라늄		2,500萬톤	1.85×10^{12}
重水素		48兆톤	3.50×10^{28}
年間供給	水質源	25.0億m^3	5.4×10^{8}/Y
	水力	12.7kwh	26.0×10^{8}/Y
	潮力	23.0億톤	16.0×10^{8}/Y
	風力	70.0 〃	50.0×10^{8}/Y
	地熱	1,150.0 〃	810.0×10^{8}/Y
	太陽熱	17.6×10^{20} kcal	176.0×10^{13}/Y

資料：日本 科學技術廳 資源調査所

(가) 石炭乾溜法(Carbonization)

石炭液化法中 가장 簡單한 方法이 石炭乾溜法으로 空氣를 遮斷한 狀態에서 石炭을 加熱케 되면 石炭은 分解되어 「타르」와 「개스」를 放出하고 固型殘滓를 남기게 된다. 이 固型殘滓가 「코오크스」로서 「코오크스」生産에 石炭乾溜法이 오랫동안 利用되어 왔었다. 그러나 이 石炭乾溜法에 의해 合成「오일」과 合成「개스」를 生産할 수 있다고는 하나, 「코오크·오븐」의 設備에 所要되는 投資가 커서 合成「오일」의 生産에는 適合치 못하였다.

따라서 所謂「코개스」(Coal-oil-gas)라 불리우는 새로 개발된 石炭乾溜方法에 의하면 石炭乾溜가 비교적 低溫下의 石炭流道床(流體化된 固體粉末層에서 이루어지는 것이 特徵이다. 이때에 流道床은 石炭分解効率을 向上시키고 石炭은 分解되어 「타르」와 一次 「개스」外에 固型「차르」(Char)를 生成한다.

이 「코개스」法으로, 合成 「개스」로부터 硫黃分이 적은 良質燃料油까지 얻을 수 있는데, 이때 石炭은 約 600psi로 壓縮된 水素의 存在下에 화씨 약1,000度(섭씨약 537°)로 加熱된다. 이때의 適切한 水素壓은 生成石炭오일의 量과 質을 높여 주게 된다.

生成된 1次 「개스」는 冷却하여 合成 「오일」化하는데, 이때 竝産物인 最終製品 「개스」의 質을 높이기 위해 硫黃分을 除去해 준다. 다음에 合成 「오일」은 蒸溜되어 「개솔린」과 重燃料油로 分類되고, 合成「개스」는 매우 低溫에서 蒸溜되어 水素分을 分離해 내게 되는데, 이 水素는 水素添加 工程內에 再使用케 된다.

한편 固型 「차르」는 大氣와 混合하여 燃燒한 後 水蒸氣와 反應시켜 「개스」化하는데 이때 역시 水素를 生成케 된다.

全工程에 必要한 「에너지」는 固型「차르」와 剩餘 「개스」를 燃燒시켜 얻게된다.

最近 報告에 의하면 石炭乾溜法에 의해 生産된 合成「개스」의 價格은 百萬立方「피트」當 $ 2. 4, 燃料油는 「배럴」當 $15, 「개솔린」은 「갤론」當 ¢33라고 한다. (그림 1 石炭乾溜工

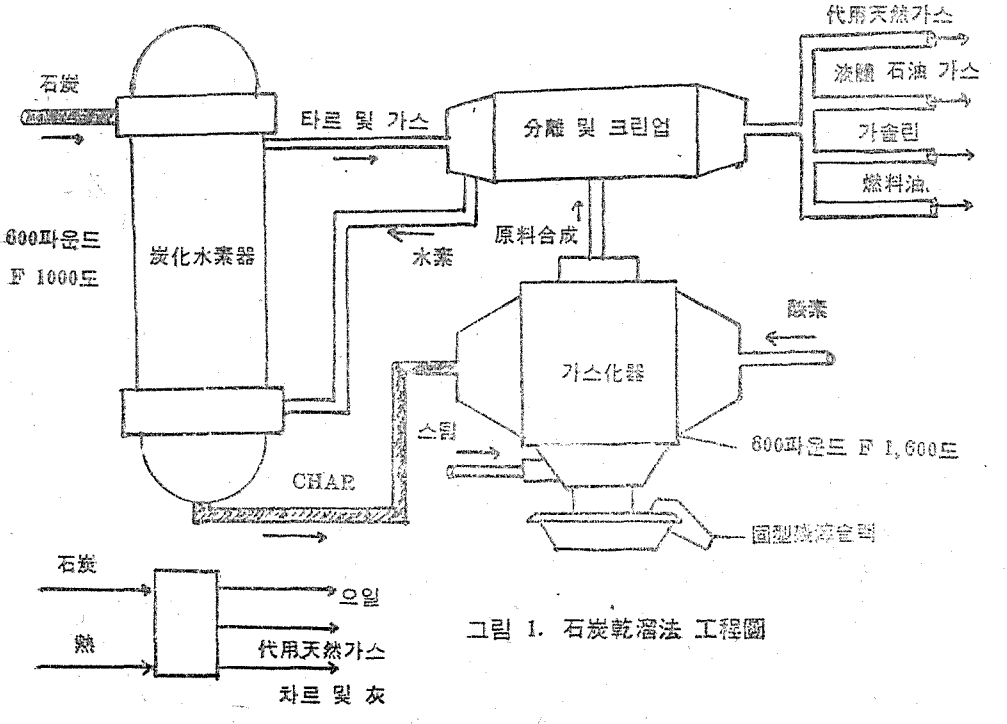

그림 1. 石炭乾溜法 工程圖

程圖)

(나) 水素 直接 反應法(Direct Hydrogenation)

이 方法은 2次大戰中 獨逸에서 利用했던 石炭液化法으로, 觸媒를 使用하여, 高壓에서 石炭을 水素와 直接 反應시킨다. 석탄은 「슬러리」化 되어 反應器에 供給되며, 水素와 反應後 生成된 合成「오일」은 蒸溜하여 合成「개스」로 부터 燃料油에 이르는 製品을 生産한 後, 固型殘滓를 남기게 된다. 이 固型殘滓가 「개스」化되어 工程에 必要한 水素를 生成케 됨은 石炭乾溜法에서와 마찬가지다. 水素反應時 觸媒는 보통 「코발트·모리브덴」을 使用하며, 때에 따라서는 전혀 觸媒를 使用치 않는 수도 있다. 觸媒를 使用하는 方法에도 觸媒를 反應器에 固着시키는 法과 流動시키는 法이 있다.

어쨌든 이 方法에서 反應器內의 溫度調節이 가장 어려운 問題로 反應器의 溫度에 따라 生産物의 成分과 品質이 달라지게 된다.

水素 直接反應法에 必要한 溫度는 화씨 約 800度이며, 壓力은 2,000~4,000psi이다. 이 方法에 의하면 다른 어느 石炭液化法보다 많은 合成「오일」을 얻을 수 있고 生産物의 價格은 「배럴」當 $14~$18일 것으로 본다. (그림 2)

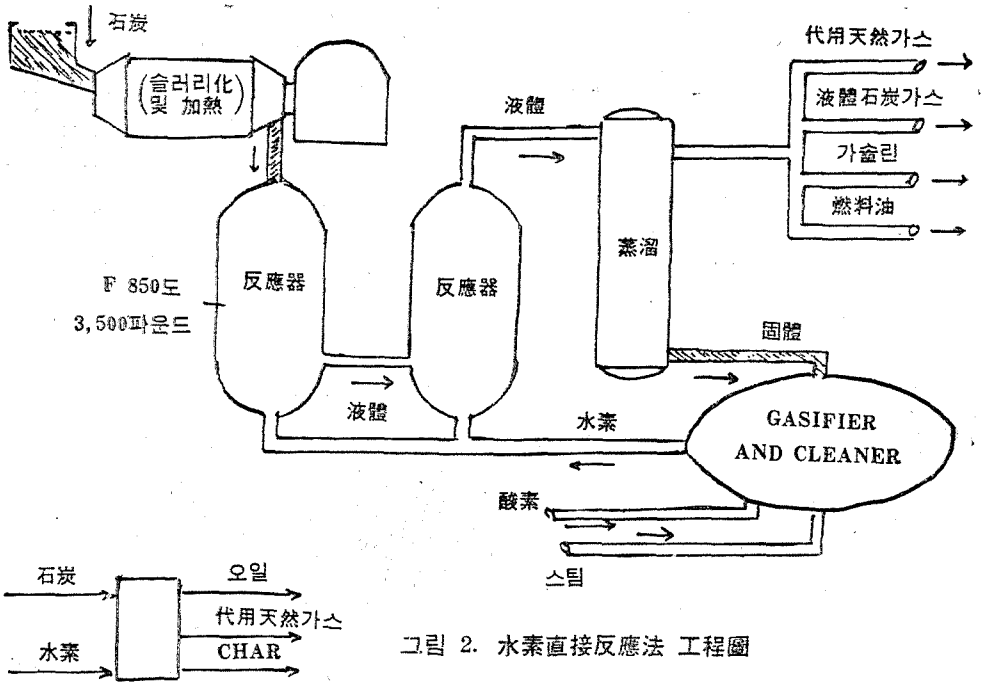

그림 2. 水素直接反應法 工程圖

(다) 抽出法(Extraction)

이 石炭液化法은 石炭에 水素를 注入하는 方法에 따라 工程이 달라지긴 하나, 石炭의 일부 또는 全部를 有機溶媒에 溶解시킨다는 것이 特徵이다.

첫째 方法인 〈Solvent-refined-coal-system〉은 石炭을 約 2,500psi의 높은 壓力으로 壓縮된 水素의 存在下에서 有機溶媒에 녹이게 된다. 이때 거의 全體의 石炭을 녹게 하고 남은 「슬러리」는 「휠터」로 걸러낸 後, 石炭이 녹아있는 容液을 蒸溜하여 「Solvent」를 回收하고, 나머지는 冷却하여 石炭으로 再生한다.

또 한 方法은 〈Hydrogen-donor system〉으로 石炭을 「솔벤트」와 混合한 後 비교적 낮은 壓力인 300psi서에 溶融시킨다. 이 溶液中 채 녹지 않은 石炭은 除去한 다음 水素를 反應시켜 合成

石油分과 「솔벤트」가 多量 含有되도록 한다. 이 「솔벤트」는 水素를 多量 含有하고 있으므로 抽出時에 水素를 石炭에 添加시키게 되는 것이다.

이 方法에 의해 生産되는 代用 天然 「개스」의 價格은 百萬立方「피트」當 $2.3, 合成石油는 「배럴」當 $15이다. (그림 3)

㈑ Fischer-Tropsch法

現在 南阿聯邦의 「사솔」工場에서 採擇하고 있는 方法으로, 먼저 石炭을 酸素와 水蒸氣中에서 태워 一酸化炭素와 水素를 多量 含有한 1次 「개스」를 生成한다. 이 1次 「개스」를 淨化한 다음 燭媒에 通過시키면 合成 「개스」를 비롯하여, 여러 種類의 合成「오일」을 얻게된다.

이 方法에 의해 하루 50,000 「배럴」의 合成 「오일」을 生産할 수 있는 工場이 設立될 경우 合成 「개스」는 百萬立方「피트」當 $2.25, 「개솔린」은 「갤론」當 ¢31에 販賣될 수 있을 것이다.

한편 上記 4가지의 石炭液化法을 여러 側面에서 比較해보면 表 2와 같다. (표 2)

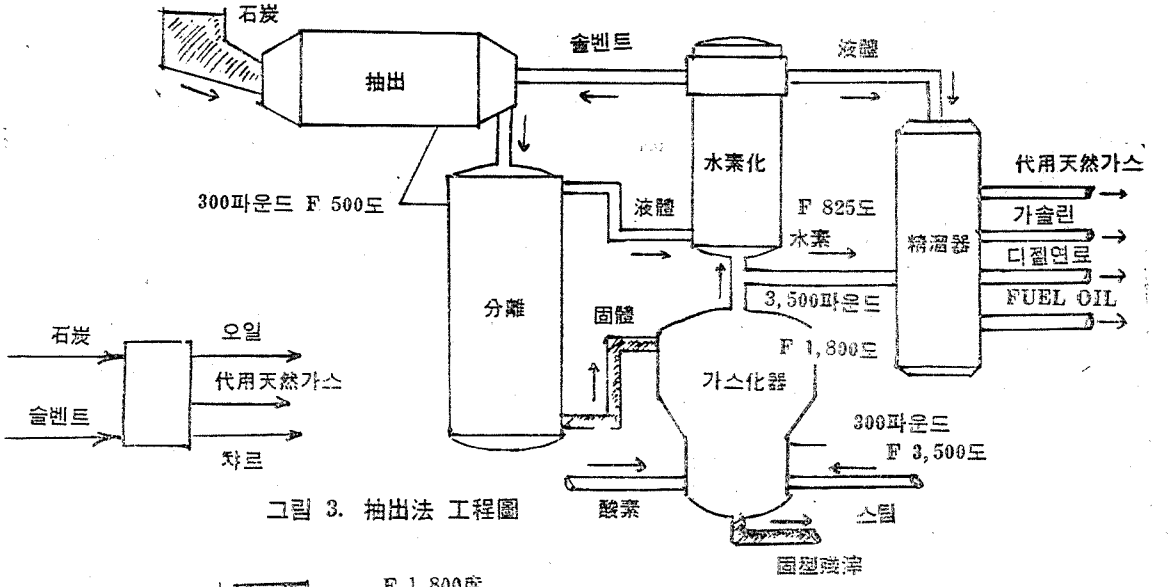

그림 3. 抽出法 工程圖

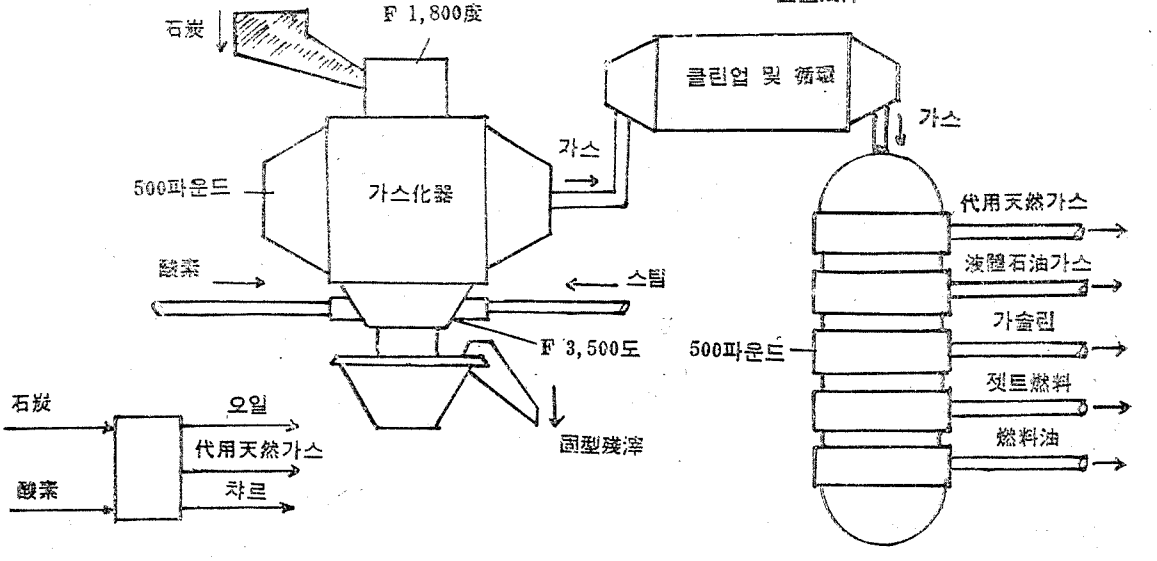

表 2　　石 炭 液 化 法 比 較

	單 位	石 炭 乾溜法	水素直接 反應法	抽出法	Fischer-Tropsch 法
石炭 1屯當					
合成「오일」生産量	「배 럴」	1~1.5	2.5~3.5	2~3	1.5~2
合成「개스」生産量	立 方「피 트」	4,000~5,000	2,000~3,000	3,500~4,500	8,000~10,000
所 要 壓 力	기 압*	1~70	200	20~200	30
熱 效 率	%	55~65	60~65	60~70	55~70

1기압=14.7psi

3. 石炭 精製法

各 石炭液化法은 獨自的인 工程으로 生産可能하지만, 가장 經濟性 있는 方法은 各 石炭液化法을 複合 利用하였을 때라고 한다. 이 複合型을 單純히 "石炭 精製法"이라 칭한다면, 가장 바람직한 石炭精製法은 抽出法中 Hydrogen-donor system과 Fischer-Tropsch法의 結合일 것이다. 即 이 두 方法 모두가 350~500psi의 낮은 壓力下에서 工程이 이루어지므로「플랜트」의 設計를 單純化시켜 주고, 稼動時의「코스트」도 節減시켜 주기 때문이다.

이와같은 石炭 精製工場(Coal Refinery)은 石炭鑛 가까이 位置하여야 하는데, 이는 石炭輸送費가 原價에 미치는 影響을 最小化하기 위해서이다. 採炭, 選炭을 거친 石炭은 紛末化된 後, 水素가 飽和된 溶媒에 섞여져서「슬러리」가 되게 한다. 이 水素飽和 溶媒는 工程內에서 製造 循環되고, 石炭의 分解를 促進시켜 주는 役割을 하게 된다. 石炭과 溶媒의「슬러리」는 화씨 약 500도로 加熱되어서 抽出器로 넘어간다. 抽出時間이 길수록 石炭의 分解率은 커져서 90%以上을 分解할 수도 있지만 가장 적당한 石炭分解率은 60~70%사이이다. 용매와 석탄의 重量比는 2對 1로 하여, 石炭中 水素의 添加를 促進시키기 위해 水素를 反應器에 더 加할 수도 있다. 抽出이 끝난 溶液은 中粒 硅藻土로 만들어진「휠타」를 通過하면서 채 녹지않은 石炭과 抽出溶液으로 分離된다.

채 녹지 않은 石炭은 流道床 石炭乾溜器를 지나면서 石炭乾溜法에서의 공정에 따라 處理된다. 이때 生成되는「챠르」는 高溫에서 酸素와 함께「개스」化되어 Fischer-Tropsch法에 따라 最終製品을 生産케 된다. 한편「휠타」를 通過한 抽出溶液은 蒸溜하여 용매를 回收하고, 나머지는 炭化水素 過程을 거쳐, 이 과정을 거친 合成「오일」이 蒸溜되어「개솔린」을 포함한 各種 製品으로 만들어지는데 이 과정은 Fisher-Tropsch法의 最終段階와 同一한 것이다.

이와같은 抽出法, 乾溜法, Fischer-Tropsch法의 複合型 等 石炭 精製法은 供給되는 石炭의 種類에 關係없이 適用될 수 있으리라 보고 있다.

美國에서 構想하고 있는 石油精製플랜트의 規模는 하루 25,000屯의 石炭을 處理하여 50,000「배럴」의 合成「오일」類를 生産하는 것으로, 投資額은 15億弗로 推算하고 있다.

이「플랜트」가 稼動되면 每日「개스」205百萬立方「피트」,「개솔린」 40,000「배럴」, 燃料油 5,000「배럴」, LPG5,000「배럴」을 生産케 되며, 副産物로 500屯의 硫黃과 3,000屯의 骨材를 얻게 될 것이라 한다.

<자원정보에서>

6.25가 따로 없다 방심하면 6.25다