

美国의 오일셰일資源과 技術

—新技術開發研究所—

I. 머리말

2 차에 걸친 석유위기를 계기로 石炭을 비롯한 한 오일 샌드 및 오일 셰일 등의 石油代替燃料油 개발이 주목을 받기에 이르렀다. 그 중에서도 오일 셰일에서 회수되는 「셰일 오일」은 자원, 技術, 경제적 면에서 볼 때 비교적 早期에 상업생산이 가능한 액체 연료라는 점에서 그 개발에 대한 세계적 관심은 漸高되고 있다.

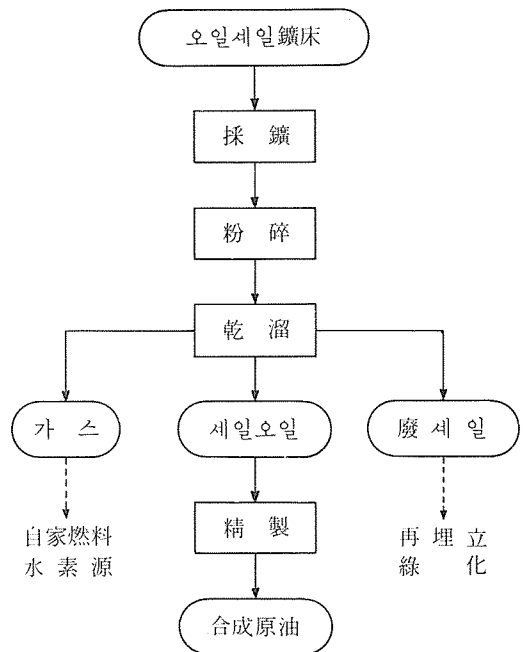
특히 美国은 풍부한 오일 셰일 자원을 갖고 있을 뿐만 아니라, 幅넓은 연구와 시험적 생산실적을 갖고 있음으로써 이 분야에서의 技術개발의 중심이 되고 있으며, 가까운 장래에 상업적 규모의 생산이 실시될 전망이다.

오일 셰일이란 간단히 말해서 호수나 海低에 粘土 등의 鑛物質과 같이 퇴적된 珪潮類 등이 오랜 세월동안에 분해되어 생성한 固体狀의 有機物(Kerogen)을 함유한 水成岩으로서, 油母頁岩이라고도 불리우는 암석인데, 이것을 가열하면 Kerogen 이 분해되어 가스와 오일이 생성한다는 것은 옛날부터 알려진 사실이다.

이러한 오일 셰일은 세계 여러 나라에 분포되고 있으나 주요 지역은 美国과 브라질 및 소련이며, 매장량은 석유환산 약 3兆배럴(含油率 10gal/t 이상의 것)이라고 한다. 그러나 최근에는 濠洲, 아프리카 및 東南아시아 등에서도 새로운 매장이 확인되고 있어 앞으로의 탐사에 의해 더 증가할 가능성이 있다.

오일 셰일을 石油代替燃料油로 이용하기 위해서는 <그림-1>에 보이는 프로세스를 거쳐야 한다. 즉 乾溜에 의해 회수된 오일 셰일은 광석의 종류나 乾溜方式에 따라 다르지만, 일반적인 原油에 비하여 올레핀을 함유하고, 流動點이 높고, 窒素分·金屬分이 많은 반면에 硫黃分은 비교적 적다는 특징을 가지고 있으며, 通常 정제하여 合成原油로 하고 있다.

<그림-1> 오일셰일의 利用概念圖



II. 오일 셰일의 資源과 回收技術

〈表-2〉 美国에서의 오일셰일 乾溜技術의 분류와 프로세스

1. 資 源

美國 동부에도 분포되고 있으나, 品位가 낮고, 高品位의 鑛床은 서부의 콜로라도, 유타, 와이오밍의 3州에 걸치는 Green River Formation (地層帶의 넓이: 4.4万km²)에 존재하며, 그 매장량은 4兆배럴(.5 gal/t 이상)로서 全美國의 약 60%를 차지한다.

〈表-1〉에 보인 바와 같이, 서부라도 콜로라도州에 집중하고 있으며, 當面한 개발대상의 25gal/t 이상의 자원은 6,000億배럴이나 되어 石油의 輸入매장량에 匹敵하는 규모이다.

分 類	熱媒体	乾溜 프로세스
地上乾溜法 (Surface Retorting法)	直接法	燃燒가스 Union-A, Paraho, Superior
	間接法	加熱가스 Union-B, Union-SGR, Paraho, Superior
		廢세일 Lurgi-Ruhrgas, Chevron-STB
	磁性 불	Tosco-II
地下乾溜法 (In-Situ法)	MIS	燃燒가스 Occidental, Rio Blanco
	TIS	燃燒가스 Geokinetics

註: MIS: Modified In-Situ法

TIS: True In-Situ法

〈表-1〉 美国西部의 오일셰일資源 (Green River Formation)

(單位: 10億배럴)

品位 (gal/t)	콜로라도州	유타州	와이오밍州	合 計
≥15	1,200	321	321	1,842
≥25	607	64	60	731
≥30	355	50	13	418

2. 採鑛技術

採鑛에는 종래의 광산기술이 적용 가능하며, 露天採掘과 坑内採掘의 둘로 大別된다. 採石效率이 좋은 露天採掘을 계획하고 있는 곳도 있으나, 자연파괴 등의 환경문제 때문에 거의 채용되지 않고 있다. 坑内採掘의 Room and Pillar法 (柱房法)이 주체가 되어 있는데, 이 法은 坑道の 補強用에 기둥이나 마루部分을 남기기 때문에 採石效率이 나쁘지만, 환경문제는 경감된다.

3. 油回收技術

오일 셰일에서 오일을 회수하는 방식은 오늘 현재는 거의가 加熱(약 500℃)에 의한 乾溜方式으로서, 地上乾溜法과 地下乾溜法이 있는데, 〈表-2〉에 乾溜기술의 분류와 프로세스를 보였다.

地上乾溜法에는 가열방식의 상이함에 따라 발생 가스를 炉内에서 연소시켜 高温燃燒가스로 乾溜하는 直接加熱法과 熱媒体를 이용하는 間接加熱法이 있다. 高칼로리 가스가 얻어지는(熱源 및 水素源으로 하는) 間接法을 美國은 지향하고 있는데, 이것은 直接法에 比하여 廢세일中の 殘存 炭素質이 많기 때문에 이것을 연소시켜 열을 회수하는 工程을 갖춘 프로세스도 있으나, 장치의 複雜化는 불가피한 것 같다.

地下乾溜法은 광석의 일부(20~30%)를 지표에 파낸(地上乾溜로 돌린다) 다음 오일 셰일 層을 폭파하여 地層内에 通氣 가능한 乾溜炉를 만들어 공기를 불어넣어 오일 셰일을 직접 연소하는 Modified In-Situ(MIS)法 또는 공기의 注入抗과 오일의 生産坑만을 굴착하여 鑛石을 파지 않고 폭파만으로 地層内에 炉를 만들어 乾溜하는 True In-Situ(TIS)法이 있다. 地上乾溜法에 比하여 炉는 사용하고 나면 못쓰기 때문에 그 때마다 構築하여야 하고 오일의 회수율은 낮으나(40~60%) 鑛石의 채굴, 粉碎, 運搬工程이 없고, 廢세일의 처리문제도 경감된다. 모두 원리적으로는 地上乾溜의 直接加熱法과 똑같다.

이 밖에 高壓水素 분위기하에서 乾溜하는 방식, 高周波加熱方式, 溶劑抽出方式 등의 기술도 연구되고 있다.

4. 回收 셰일 오일의 精製技術

회수된 셰일 오일은 前述한 性狀을 갖기 때문에 石油製品 수준의 품질로 하기 위해서는 정제가 필요하고, 많은 프로젝트가 水素化처리에 의해 合成原油로 할 계획이다. 合成原油로 하면 통상적인 石油精製기술이 적용 가능하지만 제품의 품질 및 안정성을 높이기 위해 다시 硫酸洗淨, 白土처리, 水素化처리 등의 2次처리를 필요로 한다.

정제에서의 가장 중요한 기술적 문제는 窒素分の 제거인데, 水素化정제에 의한다고 해도 水素化분해에 가까운 가혹한 조건을 필요로 하기 때문에 水素消費量이 크므로 금후 고성능 촉매의 개발이 필요하게 된다.

이상 중요한 공정에 따라서 기술적 내용을 개관 하였으나, 그 밖에도 ① 鑛石 및 오일의 취급(鑛石의 운반, 粉碎시스템, 流動點降下劑 등 오일의 貯藏移送대책), ② 廢가스 및 廢水처리(환경규제 특히 더스트대책), ③ 廢셰일의 처리 ④ 附帶設備(도로, 工業用水, 動力시스템, 수소의 생산), ⑤ 안전성 坑內보안, 폭약의 저장관리, 오일 및 廢셰일의 안전성 확인, ⑥ 종업원을 위한 생활환경의 정비 등의 周辺技術 혹은 자연 및 사회환경대책을 포함한 종합적인 검토가 필요하다.

Ⅲ. 오일 셰일 프로젝트

美國에는 현재 8個에 달하는 프로젝트가 발표되고 있으며, 이미 착공되고 있는 Lond Ridge, Colony, Cathedral Bluffs의 3개 프로젝트 이외는 엔지니어링 및 認可手續 또는 기술의 實證단계에 있다. 그 밖에 Chevron, Mobil, Exxon 등 계획중에 있는 프로젝트와 地上乾溜法의 Chevron(STB: 流動床式), IGT(Hytort—水素雰圍氣) 및 地下乾溜法의 Occidental(MIS), Geokinetics(TIS), Multi-Mineral(IIS-Integrated In-Situ) 등 기술개발의 프로젝트도 있다.

이들 프로젝트의 계획생산량은 1985년까지 약 8만 BPD, 1990년까지는 40만 BPD 규모로 되어 있으며, 合辦事業으로서 石油企業의 참여가 많고 현재는 콜로라도주에 개발이 집중되고 있다.

기술적으로는 地下乾溜法 보다는 地上乾溜法이

많으며, Colony 프로젝트와 같이 당초부터 5만 BPD의 생산규모로 스타트하는 것과 1만~1.5만 BPD의 데먼스트레이션 플랜트규모에서 단계적으로 생산을 증가시켜 가는 것, 또는 複數의 프로세스를 채용하고 있는 計劃도 있다.

경제성에 대해서는 5만 BPD규모의 프로젝트에서 20~30億달러(1981價格)의 투자가 필요한 것으로 되어 있으며, 최근의 試算에서는 Colony 프로젝트(4.7만 BPD)가 34億달러, 또한 Cathedral Bluffs Shale Oil 프로젝트(9.4만 BPD)에서의 1990년까지의 총투자액은 59億달러가 될 것으로 예상하고 있다.

한편 셰일 오일을 1차정제(水素化처리의 추정 코스트는 약 7.5달러/Bbl)한 合成原油價格은 30~38달러/Bbl로 보고 현재의 原油價格 수준이 될 것으로 推算하고 있다.

Ⅳ. 콜로라도주의 프로젝트 현황

1. 오일 셰일의 賦存地域

오일 셰일의 寶庫인 Piceance Creek Basin은 州의 북서부 콜로라도江과 화이트江 사이에 긴 1.5만 km² 정도의 지역으로서 5~6千萬年前에 존재한 거대한 湖水의 밑바닥이 隆起한 자리라고 한다. Rifle에서 Grand Junction에 이르는 약 100km의 콜로라도江에 接하고 있는 南面은 2,700m의 높이에 隆起하고 있으며, 강의 침식으로 標高差 1,200m의 벼랑이 끝없이 이어지고 있다. 그 북쪽, 화이트江을 향해 완만하게 경사되어 뻗어가는 高原狀의 台地가 오일셰일의 가장 풍부한 賦存地帶로서 아름다운 層狀의 露頭를 보이고 있다.

2. 地上乾溜法의 프로젝트 現場

◇Paraho Anvil Points Oil Shale Mine & Retorting Facility

江가의 段丘 벼랑의 標高 2,400m에 露頭하는 오일 셰일層(마호가니層으로 불리우고 油含有率이 높다)을 坑口로 하고 18m(60ft)를 단위로 하는 Room and Pillar法으로 採鑛, 坑內는 대형 土木機

械가 자유롭게 움직일 수 있는 넓이다. 鑛石은 50톤 덤프로 산중턱에 있는 파일러트 플랜트(標高 1,800m)에 운반되어 3段的 크래싱으로 1/4~3인치로 분쇄하여 482°C (900°F)에서 乾溜한다. 乾溜炉는 高炉를 닮은 縱型 사프트炉로 직접 또는 間接加熱의 兩用이 가능하다. 지금까지 11万배럴의 세일오일이 생산되어 각종 시험에 사용된 실적을 갖고 있다. 工業用水는 세일 오일 1배럴當 1.5배럴 정도가 採鑛, 精製, 廢세일의 처리 등에 사용된다.

◇Long Ridge프로젝트 및 Colony 프로젝트

두 箇의 프로젝트는 콜로라도江의 支流인 Parachute Creek를 북으로 하여 24km쯤 들어간 곳에 인접하여 鑛區가 있는데, 모두 浸蝕谷에 露頭하는 마호가니層의 광석(35gal/t)을 Room & Pillar 法으로 採掘하여 地上乾溜裝置로 오일을 회수할 계획이다. Long Ridge 프로젝트에서는 乾溜프로세스로서 개발된 Union-B(호트 가스에 의한 間接加熱方式으로 오일 세일은 특수한 Rock Pump로 炉의 하부에서 공급된다)를 채용, 1983년에 1万BPD, 1988년까지 4系列을 더 증설하여 5万BPD의 생산을 예정하고 있으며, 회수된 세일 오일은 水素化精製하여 合成原油로 한다.

한편 Colony 프로젝트는 Exxon(60%) 및 TOSCO(40%)에 의하여 추진되고 있으며, 1985년에 4.7万BPD의 생산을 개시할 계획인데 乾溜프로세스로서 TOSCO-II(1/2인치의 磁性불을 熱媒体로 하는 間接加熱方式, 1.1万t/d×6系列)가 예정되고 있다.

山中턱에서 채굴된 광석을 벨트 콘베이어로 山頂의 台地에 올려 乾溜플랜트에 의해 회수되는 세일 오일을 인접하는 精製플랜트로 合成原油로 하여 파이프 라인으로 정유공장에 보낼 계획이다. 또한 工業用水(오일 1배럴當 3배럴의 물이 필요)의 확보와 廢세일의 流出防止를 겸한 두 개의 댐의 건설도 예정되고 있다.

3. 地下乾溜法の 프로젝트 現場

◇Cathedral Bluffs Shale Oil프로젝트

20km²에 달하는 鑛區에 MIS기술을 적용하여 1987년까지 5.5万BPD의 생산을 예정하고 있다.

標高 2,100m의 완만한 起伏의 널직한 台地에 높이 50m 및 100m의 콘크리트製의 거대한 타워가 3개 건설되고, 그 밑에는 오일 세일의 鑛床에 이르는 깊이 600m의 堅坑이 굴착되고 있다. 이 坑은 인원과 機材의 운반, 給氣用的 서비스坑, 鑛石의 搬出坑, 排氣 및 脫出坑이 된다. 지하에 구축되는 乾溜炉는 1基 165×165×290ft의 크기로 상부에 불어 넣는 공기에 의해 1日 1ft의 속도로 燃燒시켜서 10개월의 장기간에 걸쳐 乾溜를 계속하여 約20万배럴의 오일을 회수한다. 결국 1991년에 가서는 9.4万BPD의 생산량을 달성하게 된다는 계획이다.

◇Rio Blanco Oil Shale 프로젝트

이 프로젝트는 지하와 地上乾溜(Lurgi-Ruhr-gas 法을 예정) 法을 혼합하도록 계획되었다. 그러므로 Occidental에서 MIS法の의 기본기술을 도입하여 현장의 실정에 알맞는 독자적인 MIS 기술을 개발하기 위해 實證테스트가 실시되고 있다. 현장은 2개의 堅坑과 給排氣, 油回收, 油水分離, 가스洗淨 등의 諸般설비와 回收油의 저장탱크 등이 있고, 소형의 地下乾溜테스트는 80년에 終了하여 현재 81년에 점화한 대형 乾溜炉(60×60×393ft)가 運轉中인데 약 1년에 걸쳐 1.7万배럴의 오일을 회수한다.

실제 플랜트는 87년에 건설을 시작하여 1991년부터 5万BPD의 생산을 예정하고 있다.

V. 맺는 말

이상에서 소개한 오일 세일에 관한 것을 요약하면 다음과 같다.

(1) 오일 세일은 資源量이 크고 유력한 石油代替燃料의 하나이다.

(2) 各種 방식의 乾溜技術이 併存하고 있으며, 일부는 데먼스트레이션 또는 파이오니어 플랜트의 단계에 이르고 있다.

(3) 대량의 고체를 취급(5万BPD규모에서 7~10万t/d의 鑛石을 公정마다 移送)하기 때문에 금후 스케일 업한 商業生産규모에서의 기술의 實證이 필요하다.

(4) 採鑛, 粉碎, 乾溜, 정제 등 一連의 각종 기

술을 종합하여 유기적으로 시스템화할 필요가 있다.

(5) 세일 오일의 코스트는 原油가격에 대항할 수 있게 되었다고는 하지만, 그 개발에는 환경대책을 포함하여 巨額의 投資가 필요하다.

美國에서의 오일 세일의 개발은 1980年代中에 몇가지의 先行 프로젝트가 실현되어 생산이 개시 되는 것은 틀림없는 사실이지만 본격적인 상업화에 앞선 實證플랜트라는 성격이 강하다. 後續프로젝트도 수많이 발표되고 있으나 先行프로젝트의 기술 및 경제성의 동향, 社會情勢의 推移를 확인하고서 하려는 자세를 엿볼 수 있다.

즉 80년대의 방향은 에너지의 안전보장과 OPEC에 대한 전략적인 관점에서 기술의 확립과 실증

을 함과 동시에 각종방식을 비교 검토하는데 主眼點이 놓여져 石油의 供給安定성과 가격, 기술의 信賴性에 좌우되면서도 개발의 인센티브를 주는 정책적인 지원에 힘입어 伸張이 도모될 것으로 보인다.

한편 우리 나라에 있어서도 이미 紙上報道된 바와 같이, 濠洲의 SPP社가 韓濠 兩國間의 資源協力方案의 一環으로 濠洲의 오일 세일에 대한 合作開發을 제의해 왔는데, 同社에 의하면, 오일 세일의 생산비는 現OPEC의 公式價格인 배럴當 29달러보다 훨씬 낮은 배럴當 20달러線이 될 것이라고 주장했다. *

□ 石油開發動向 □

BP, 새로운 시스템을 이용한 北海의 小規模 油田開發 승인 획득

British Petroleum은 에너지省으로부터 北海의 소규모 油田, Cyrus井 개발에 대한 공식적인 승인을 획득했다. 이 油田開發에는 가히 혁명적이라고 할 수 있는 特殊船舶이 사용될 것인데 이 特殊船舶은 벨파스트의 Harland & Wolff 조선소에서 조만간에 건조가 시작될 것이다. BP는 소위 「SWOPS」라는 시스템을 아버딘 北東쪽 150마일의 360ft 水深海域에 있는 油井에 대해 사용할 계획이다. 1987년부터 가동될 이 SWOPS시스템은 시초에는 1일 15,000바렐을 생산할 것이며, 자연적인 流出狀態에서 1千萬바렐 이상을 회수할 수 있을 것으로 기대된다. 그 이상의 생산은 gas lift를 통해 달성될 수 있을 것이다. 生産井 설비 및 海底裝備 설치가 포함되는 SWOPS시스템 설치에 드

는 비용은 1億1千萬파운드 정도가 될 것이다. SWOPS시스템은 재래식 플랫폼을 사용하기에는 너무 작은 油田들로부터 경제적인 石油生産을 하기 위해 설계된 것이다. 이 시스템은 rota system을 사용함으로써 한쪽 油田에서 石油을 채취하는 한편 다른쪽 油田에서 자연적으로 압력을 재조정함으로써 추가적인 채취가 가능하도록 하는 것이다.

英國의 에너지相 Alick Buchanan-Smith氏는 이 시스템을 가히 「혁명적」이라고 찬양하고 있다. 『나는 將來의 北海開發에 있어서 SWOPS 시스템의 역할이 증대되리라 확신하며 소규모 저유층에서 이 시스템의 使用效率을 예의 주시하겠다』고 Buchanan-Smith氏는 말하고 있다.