

2. 아시아

가. 일본

1) 기술수준 및 R&D 동향

일본은 1920년과 1930년 사이에 South Manchurian Railway 주식회사가 Bergius Process를 이용한 석탄 액화에 대하여 기본적인 연구를 시작한 것이 석탄액화에 대한 연구의 시작이었으며, 1935년 bench-scale의 PDU (process development unit) plant의 운영을 시작 하였다. 이 연구를 바탕으로 중국의 Wushun 탄광지대에 매년 석유 2만 톤을 생산하는 플랜트가 건설되었고 이 플랜트는 1943년 까지 운전되었다. 그러나 2차 세계대전 이후 군사목적으로 사용되었다는 이유로 미국에 의해 일본의 석탄액화 연구는 중지되었고, 1955년에 국가연구소와 대학 등에 의해 석탄액화연구가 다시 시작되었으나, 석탄의 고압수소화 분해법에 의한 석유 생산 연구가 아니라 화학물질 생산에 관한 연구이었고 이러한 연구는 약 1975년까지 계속된다.

이후 일본은 1974년 제1차 오일쇼크의 막바지에 석유 대체에너지 개발 프로그램의 부분으로 일본의 독자적인 석탄액화기술개발 프로젝트인 Sunshine 프로젝트를 발족하게 된다. Sunshine 프로젝트에 의하여 NEDO (New Energy Development Organization, 현재는 New Energy and Industrial Technology Development Organization)의 주관 하에 크게 역청탄과 갈탄의 액화 효율 상승을 위한 2가지 연구과제가 국가적인 지원 하에 수행되었다. 그 연구과제에 의해 NEDOL 공정과 BCL 공정이 만들어 졌으며 그 내용은 다음과 같다.

(1) NEDOL 공정

1978년부터 1983년까지 일본에서는 3개의 회사가 서로 다른 석탄직접 액화공정 (직접 수소화 공정(direct hydrogenation), 용매추출(solvent extraction) 공정, 가용매 (solvolysis liquefaction) 분해 공정)을 개발하였으며, NEDO의 주도하에 3개 공정을 조합하여 아역청탄과 저급 역청탄

의 전환을 목표로 NEDOL 공정을 개발하였다(그림 6). 이 공정의 핵심은 석탄의 액화반응을 위한 단위공정과 용매의 수소화 처리반응을 위한 단위 공정으로 이루어진 two stage process로서 수송연료 제조가 목적이라 할 수 있다. 이 공정의 연구는 0.1톤/일 규모의 bench unit와 1톤/일 규모의 PDU와 PSU가 한 공정씩 있으며, 1988년 1톤/일 규모의 PSU급 석탄액화장치를 건설하여 운전하였고, 150톤/일 규모의 파일럿 장치를 1996년 Kashima에 건설하고 6,200시간 동안 시운전하였다. 이때 액화유의 수율은 58%였다.

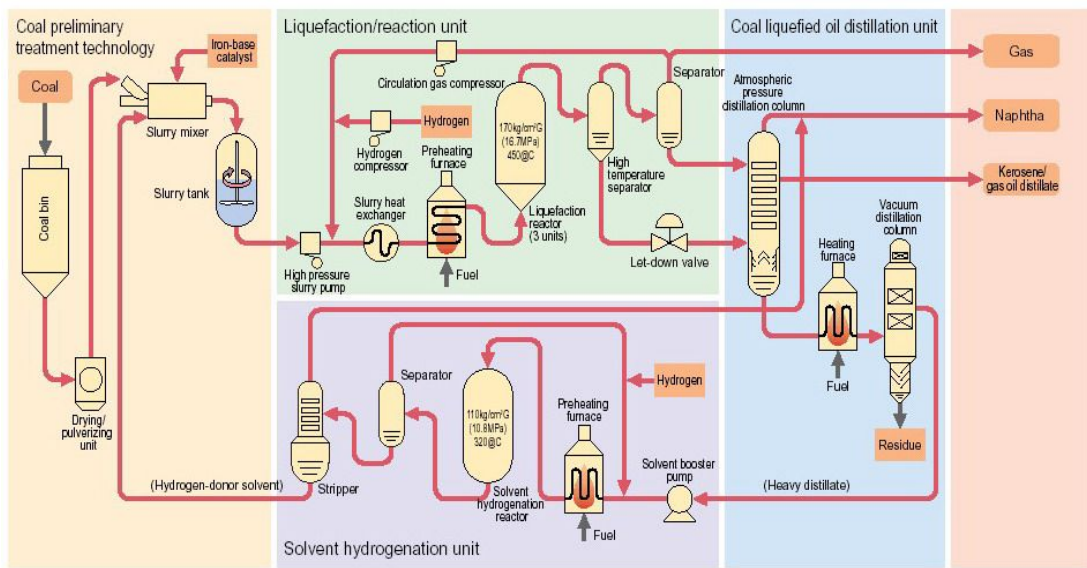


그림 1. NEDOL 액화 공정도

NEDOL 공정에서는 석탄가루가 2-4%의 합성 철촉매와 함께 재순환된 액화유에 슬러리화 되어 150-200기압, 435-465°C로 유지된 반응기에 수소와 함께 주입된다. 슬러리의 반응기 체류시간은 1시간이다. 용매 수소화 처리 반응 단위공정은 반응온도가 320-400°C이며, 반응압력은 100-150기압, gas/solvent 비율이 28(scflb), 반응시간은 60분이며 Ni-Mo 촉매가 사용된다. 반응기 출구물질은 식혀서 상압 증류탑에서 경질유를 분리하고 탑저제품은 감압 증류탑으로 보내진다. 감압 증류탑에서 분리된 중질유의 일부는 수소화 반응기에서 수소가 첨가되어 석탄액화용매로 재순환되며 감압증류 탑저제품은 수소제조 용도로 사용된다. NEDOL공정의 액화유는 다른 공정 액화유에 비해 저급이어서 강도 높은 upgrading을 필요로 한다.

(2) BCL 공정

BCL (Brown Coal Liquefaction) 공정은 호주에 있는 수분함량이 높은 Victoria 석탄을 액화시키기 위하여 일본-호주 상호 연구개발 계획의 일환으로 호주의 Victoria, Mornsell에 50톤/일 규모의 공정을 건설하여 1987년부터 1990년 10월 까지 가동 완료하였으며 실제 연속 안정 가동 시간은 1726시간 이었다. 이 공정은 2단 수소화 공정으로서 각단 사이에 탈회장치 (deasher)가 설치되어 있다(그림 7). 우선 첫 번째 반응기는 철 성분의 함유량이 높은 슬러리 촉매를 사용하며, 두 번째 반응기에서는 Ca-Ni-Mo 촉매가 충전된 고정층 반응기가 이용된다.

첫째단의 반응압력은 150-200 기압이고 반응온도는 427-448°C 이고 대상 석탄의 수분함량 (60%이상) 이 높기 때문에 특수한 탈수 건조 시스템이 필요하다. 두 번째단 의 반응압력은 첫 번째단과 같으며 반응온도는 첫단보다 낮은 360-400°C 이다. 생성액화유 수율은 약 50% (daf 석탄기준)의 경·중(中)간 증류유가 된다. 또한 파일럿 테스트가 종료 후에도 0.1톤/일 규모의 벤치급 장치를 이용한 연구가 계속 수행되어 파일럿에 비해 24%이상의 효율 증가 가능성을 확인하였다.

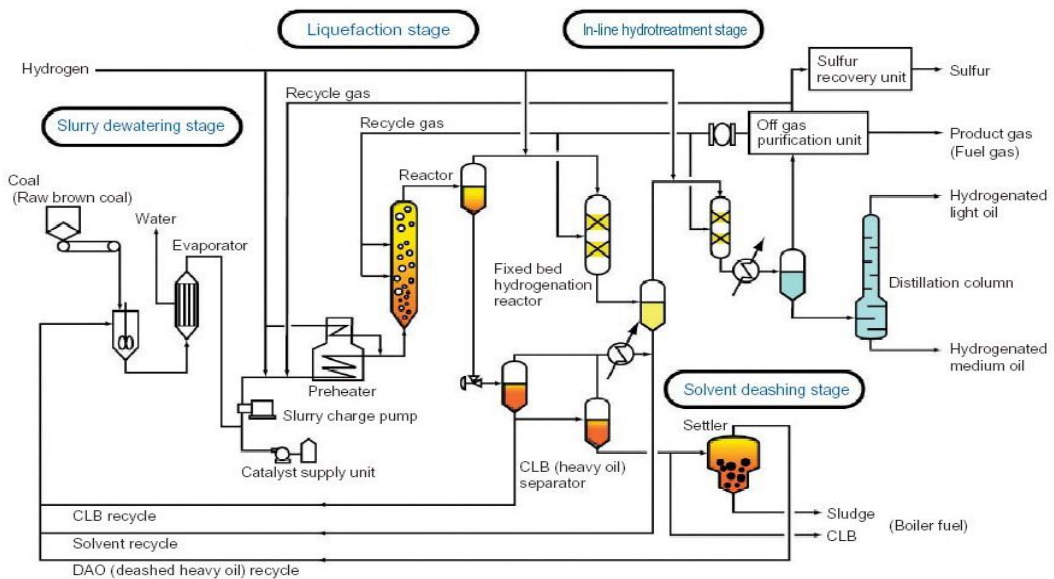


그림 2. BCL 액화 공정도

2) 주요 기술개발 Project

중국이 석유의 대체에너지원으로 석탄액화를 선택함에 따라 일본의 NEDO도 국제적 협력 프로그램의 한 부분으로 중국 석탄의 액화테스트, 액화촉매 개발 및 인적자본 육성을 위해 1982년에 0.1톤/일 규모의 석탄 액화설비를 중국에 설치하였다. 1997년 이후에는 Heilongjiang 지역의 Yila 석탄을 사용하는 액화플랜트의 실행가능성 조사를 중국으로부터 요청받아 수행하였으며, 내몽고지역의 매장된 2000억톤 가량의 석탄에 대한 액화사업 가능성평가 조사를 위탁받았다.

또한 1992년에 인도네시아 정부로부터 인도네시아 갈탄의 액화 협동 연구를 부탁받았다. 이에 NEDO는 인도네시아 기술평가 응용국 (Assessment and Application of Technology of Indonesia, BPPT)과 인도네시아 갈탄을 이용한 상용석탄액화플랜트 설립을 목적으로 새로운 석탄액화연구를 시작하였다.

일본은 1974년 Sunshine project 발족 이후 석탄액화분야의 기술개발을 계속 진행해 왔으며, 그 결과 현재 중국 및 인도네시아 등의 국가들과 함께 상용화 석탄액화플랜트 개발에 박차를 가하고 있다.

나. 중국

1) 주요 기술개발 Project

중국은 2007년까지 석탄 직접액화에 의한 생산규모를 연간 1백만톤으로 계획하고 있고, 2013년까지 중국 전체 원유수입량의 10%를 석탄액화유로 대체코자 하고 있다.

2002년 중국 최대 석탄회사인 Shenhua Group Corp.이 내몽골 자치구 Baotou 130 km 남부에 위치한 Majiata에 석탄 직접액화 공장을 짓기로 발표한 이후 현재 건설이 완료 되었으며 2007년 하반기에 운전을 시작할 예정이다. 1단계 석탄직접액화 프로젝트에는 총 20억불이 소요되고, 정부는 은행인 Bank of China에서 자금을 지원하고 독일의 ABB Lummus Global이 전체 프로젝트 관리를 수주하여 진행하고 있다. 이 건설사업은

2005년도 중국 개혁개발위원회에서 2005년도 중국 10대 핵심 건설사업의 하나로 고려되고 있다. 2단계 프로젝트는 정부 승인단계에 있다고 알려져 있고 3개의 석탄직접 액화공장을 더 건설할 계획이다.

직접액화 프로젝트의 기술은 미국과 일본의 기술들이 결합하여 미국 DOE에서 개발된 직접액화 방식이고 미국 유타주 소재 Hydrocarbon Technologies, Inc. (HTI)에서 기술 라이선스와 공정설계, 3개의 액화반응기 (2단 슬러리 phase)로 구성될 반응기 기술이 제공된다.

Shenhua사는 HTI 기술의 15% 지분도 매입하여, 기술의 안정적인 지원과 향후 개발될 기술의 소유에 대한 대비도 한 상태이다. 반응조건은 2,500

psig (170기압), 427°C이고 HTI사의 GelCat 촉매 (분산 나노크기인 철 기반 촉매)를 사용한다. 하루에 13,000톤의 석탄을 사용하여 최종적으로는 하루 5만 배럴의 저유황 디젤과 휘발유를 생산할 예정이다. 이 프로젝트에서 중요한 한 부분은, 1단계에서는 설비의 60%를 중국산으로 하고 2단계에서는 중국 국산화율을 80%로 예상하고 있다는 점이다.

또 다른 석탄액화 프로젝트는 중국 남서부 지역인 Yunnan 지구에 1995년부터 시작되었는데, 총 12.5억불을 투입하여 연간 510만톤 (일일 14,000톤)의 석탄을 사용하여 88.3만톤의 디젤 및 휘발유와 67,500톤의 LPG를 생산 할 계획이다. 이 프로젝트에서 9.5년의 자금 회수기간을 예상하고 있다.

석탄액화에 대한 중국의 기술개발 내용을 살펴보면, Helongjiang 지구의 Yilan에 파일럿급 직접액화 플랜트를 1995년부터 운영중이다. 또한, Shenhua그룹은 상하이 Huayuan그룹, 상하이 전기그룹과 공동으로 석탄액화 센터를 2004년 상하이에 1,200만불을 투자 설립하여 중국에서 건설 중인 석탄액화 공장의 기술지원과 운전원 훈련을 목적으로 운영을 시작하고 있다. 중국은 석탄액화를 통한 합성연료유 생산만이 아니라 최근 LPG나 디젤유 대체가 가능한 청정연료인 DME (di-methyl ether) 생산에도 투자를 하여 이미 석탄과 천연가스로부터 DME를 생산하고 있다. 적용한 기술은 일본 기술이었다.