가스플랜트

주로 천연가스를 액체원료나 연료로 전환하는 장치를 기본으로 구성되는 LNG, GTL 플랜트를 소개하고자 한다.

황 인 주
한국건설기술연구원 화재및설비연구센터(ijhwang@kict.re.kr)

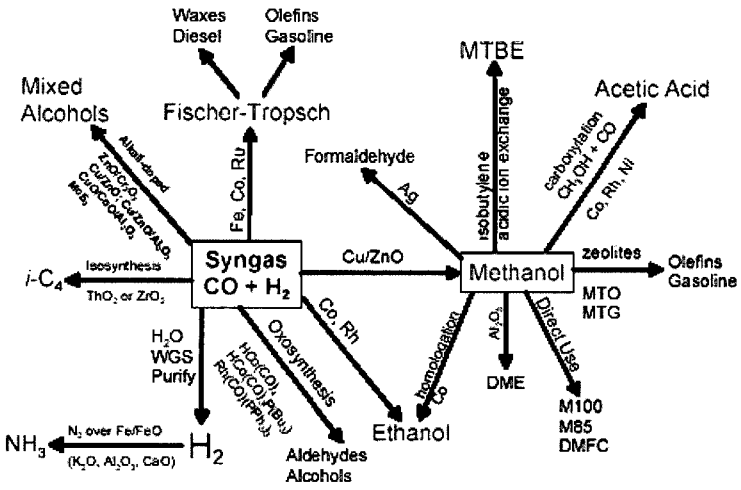
가스플랜트 건설사업

가스 플랜트는 주로 천연가스를 액체원료나 연료로 전환하는 장치를 기본으로 구성되는 거대 복합시설(complex)로서 액화공정(초저온 액화, 합성액화) 및 FEED 패키지, 기자재 구매 · 조달, 건설, 제어 · 운영기술 등 EPC 건설사업 분야이다.

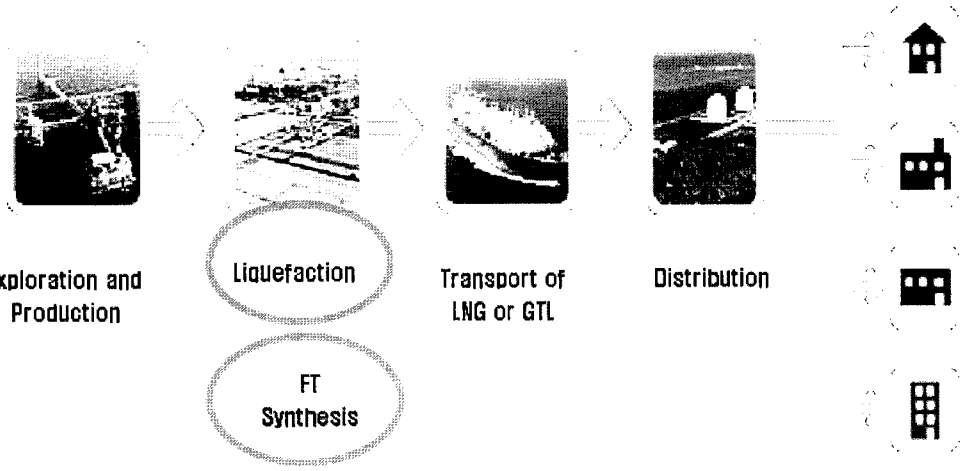
이러한 가스플랜트(LNG[주 1], GTL[주 2])는 중장기적인 천연가스 수요의 증가에 따라 해외 건설시장에서 고부가가치 성장사업모델로 주목받고 있으며, 선진국 중심의 국제환경 규제에 따른 에너지 이용기술의 패러다임 변화와 국가적인 에너지 안보(가스전의 개발 · 생산 · 공급) 등 국가 차원에서 중요성이 커지고 있다.

이러한 가스 이용분야는 **그림 1**에 나타낸 바와 같이 이용목적이나 방법에 따라 다양하며, 그 이용과정은 **그림 2**와 같이 가스전의 탐사 및 개발, 저온 또는 합성액화공정, 수송, 분배 및 보급 등으로 구성된다.

LNG(liquefied natural gas)기술은 물리적 액화공정, 초저온 저장기술 (-165℃)이 핵심이며, 가스 생산에서 액화가스 수송, 가스이용에 이르기까지 가스



[그림1] 가스의 이용계통



[그림2] 가스전 개발 및 생산 · 액화 · 이용 등 가치사슬

의 특성을 유지한다. 사업적인 측면에서 가치사슬(value chain)은 생산/가스액화, 액화가스 수송, 가스 기화 및 보급 등으로 구성되며 가스 상태로 난방, 발전, 수송용 연료로 주로 이용된다.

이러한 LNG는 석유 대비 비교적 청정연료로서 각국의 에너지 확보 및 다변화 정책에 따라 수요 증가(특히 최근에 유럽, 미국, 중국 등)하고 있으며, 최근들어 경제성을 고려하여 기본적으로 대형 유전에서 대형 트레인화 건설을 지향하고 있다. 사업성에 큰 영향을 미치는 인자로는 가스량과 수송거리에 사업성이 좌우되며, 중거리/중형 가스전, 장거리/대형 가스전에 유리한 것으로 보고되고 있다. 특히 수한 LNG 선박, 초저온 저장탱크 등으로 인하여 수송거리의 영향이 크다.

한편 GTL(gas to liquids)기술은 화학적 개질/액화 공정기술(상온, 350℃ 내외)이 핵심이며, 천연가스에서 속성이 다른 원료로 변화 (가스생산→액체원료 수송→액체원료/연료)시켜 원유처럼 다용도 변환이 가능하여 활용도(가치)가 크다. 사업측면에서 가치사슬은 생산/용도별 원료로 액화, 액체원료/연료 수송, 석유화학공업의 원료나 디젤/가솔린 등 수송연료로 보급 등으로 구성된다.

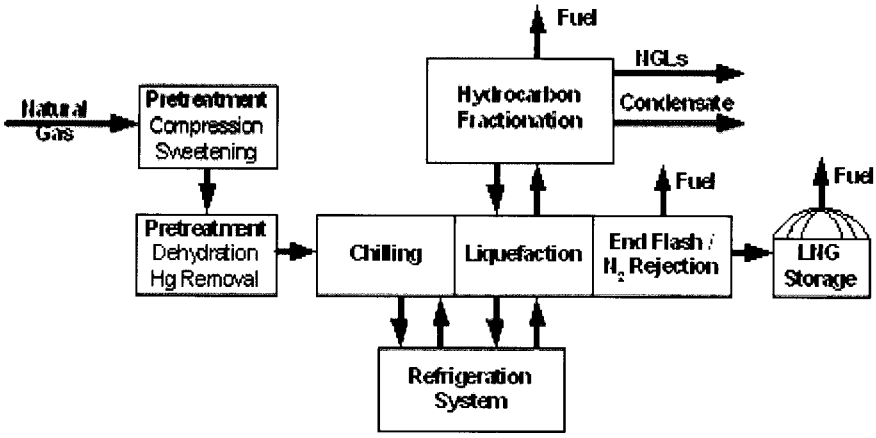
이러한 GTL은 국제적인 청정경제체제로 전환에 따라 초청정 원료/연료인 GTL에 관심이 증가하고 있으며, 유럽을 중심으로 본격적인 보급이 예상된다. 사업성에 큰 영향을 미치는 인자로는 기본적으로 가스량과 수송거리에 사업성이 좌우되며, 원거리의 중/대형 가스전에 유리 (특히 원거리 중소형에도 유리)하며, 이는 일반적인 오일 선박, 원유저장탱크 등을 이용하여 수송거리의 영향이 작기 때문이다.

LNG(liquefied natural gas) 공정기술

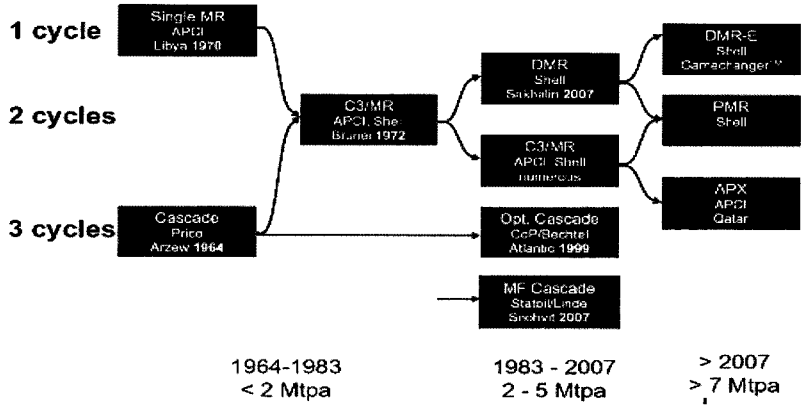
LNG(liquefied natural gas) 공정기술은 주성분이 메탄인 천연가스를 초저온(약 -162℃) 액화공정을 통하여 액체연료로 전환하는 기술로서, 액화되면 부피가 가스 상태의 약 1/600로 감소하여 보관 및 운송이 용이해지게 된다. 이렇게 생산된 LNG는 수요처에서 다시 기체로 전환하여 사용되며, 일반적인 LNG 생산 프로세스는 **그림 3**과 같다.

가스전 개발과 가스생산분야는 가스전으로부터 천연가스를 추출하는 공정으로 공개된 기술이 많아 특허나 라이센스(license)에 대한 구속이 비교적 낮은 편이며, 가스 생산을 위한 기자재나 장비의 제작기술이 보다 중요하게 평가된다. 그리고 가스 전처리 분야는 생산된 가스의 수분을 dehydration 공정으로 없애고 CO_2, H_2S 등의 불순물을 제거하는 기술로서 역시 공개된 기술이 많은 편이다.

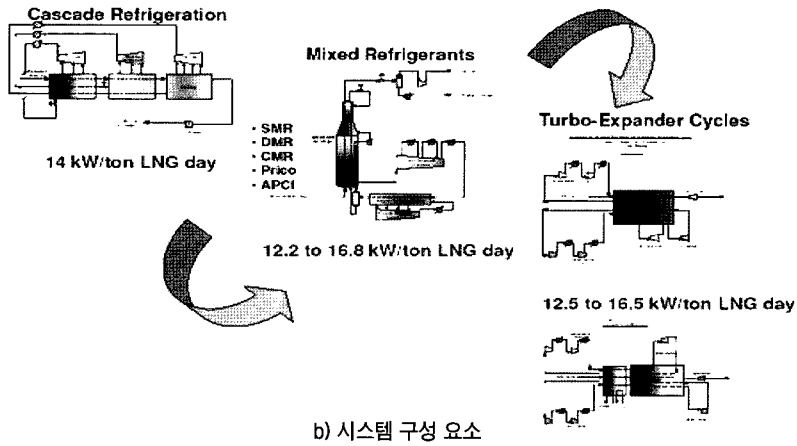
천연가스를 액화하기 위한 사이클에는 Joule-Thomson 팽창, 팽창기관, Cascade 방식 등이 있으



[그림3] LNG 플랜트 공정 흐름도



a) 사이클 및 용량 변화



b) 시스템 구성 요소

[그림4] 천연가스 초저온 액화사이클 기술변화

며, Cascade 방식이 천연가스의 액화에 경제적인 것으로 평가되고 있다. 이러한 방식의 선택은 플랜트 사업성에 큰 영향을 미치는 인자로서 플랜트의 규모, 가스의 조성, 목적, 입지 등을 고려하여 열역학적 유용성, 건설비, 운전비 등을 감안하여 종합적으로 평가하여 결정한다.

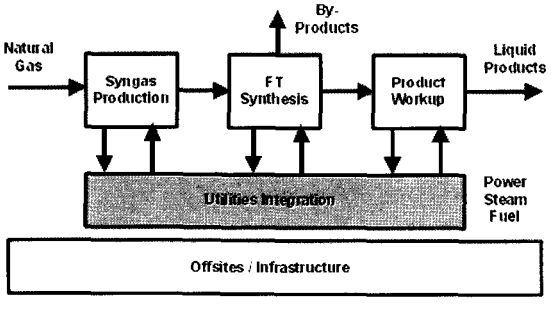
LNG 플랜트의 액화공정기술은 1970년대 전반기까지 확립되었으며, 세계적인 엔지니어링사에서 C3MR(APCI사), POCLP(ConocoPhillips) 등 다수의 공정이 개발되었으며, APCI사의 C3MR 공정이 주로 적용되고 있다.

최근에는 대용량 및 Compact 액화사이클의 개발 요구에 5 Mton/year 전후의 대용량에 적합한 사이클 및 트레인이 개발되고 있으며, 이에 적합한 열교환기, 압축기, 전기모터 구동장치 등을 설계하여 적용하고 있다. 또한 전체시스템이 대형화, 복잡해짐에 따라 공정 및 계통간 에너지 흐름 통합/최적화에 관한 기술개발도중요하게 다루어지고 있다.

한편 가스전이 육지에서 먼 경우 해상 LNG 플랜트에 유리하며, 1970년대 페르시아만의 Kangan 가스전에서 이용한 바 있으며, 전통적인 육상 플랜트에서 근해의 FPSO 생산설비로의 전환되고 있는 추세이다. 이에 따른 기술적 요구사항으로는 compactness, 고효율의 C3MR 공정 대체, 탄화수소계의 냉매 최소화, 전기모터 구동 등이 있다.

GTL(gas to liquids) 공정기술

GTL(gas to liquids) 기술은 천연가스의 주성분인



[그림5] GTL 플랜트 공정 흐름도

메탄 (CH_4)을 고온, 고압에서 반응시켜 합성가스를 생산하고, 이를 F-T 반응기에서 다시 액체상태의 합성 석유류 제품(디젤, 납사 등)을 생산하는 기술로서 다음과 같은 과정을 거친다.

① 천연가스를 대부분 수소와 일산화탄소의 합성가스로 전환하는 개질반응
② Fishcer-Tropsch 전환법으로 합성가스를 대부분 지방족 탄화수소와 물의 혼합물로 처리
③ 얻어진 탄화수소를 연료 수준의 스펙을 갖도록 일반적인 수소화분해장치(hydrocracker)로 다듬는 단계

먼저 천연가스를 비롯한 탄화수소화합물로부터 일산화탄소와 수소의 혼합물인 합성가스제조기술로 스팀개질(SR, steam reforming)법과 부분산화(POX, partial oxidation)법이 가장 보편적으로 사용되어왔으나 최근에는 두 공정의 조합이라고 볼 수 있는 Auto-thermal Reforming(ATR) 방법이 개발되어 대규모 공장에서 적용되고 있다. 이러한 개질기술은 GTL, CTL과 XTL 등의 합성연료 제조 기술에 필수불가결한 세부 기술로서 메이저 기업(Sasol, Shell, BP 등)에 의해 독점되어 있는 상태이며, 초기 투자비의 60% 이상을 차지하는 합성가스 제조 공정 투자비의 절감을 위한 연구 개발이 집중되고 있다.

그리고 F-T 합성기술은 합성가스로부터 액체연료를 제조($CO + 2H_2 \rightarrow -CH_2- + H_2O$)하는 기술로서 $-CH_2-$ 결합고리의 길이는 촉매의 선택성과 반응조건에 따라 결정되며, 기술의 핵심은 반응기, 촉매, 열공급과 개량, H_2O와 CO_2 등의 제거 또는 이용에 있다.

GTL 기술의 핵심 공정인 F-T합성법은 1923년 독일의 화학자 Fischer와 Tropsch가 석탄가스화에 의한 합성가스로부터 합성연료를 제조하는 기술을 개발한 데서 처음 시작되었으며, 2차 세계대전 이전의 독일과 전후 남아프리카공화국에서 상업화되었다. 이때는 석탄을 원료로 하였고 경제적인 이유보다는 정치적인 필요성으로 개발 · 생산되었으며, 이후 공정기술은 현재에 이르기까지 많은 개량을 통하여 경제성을 확보하는 수준에 이르렀다.

마지막으로 수소화분해과정(hydrocracking)은 촉매상에서 수소첨가분해반응으로 GTL 정유공정에서 동일하며, GTL 플랜트에서 생산된 탄화수소화합물

<표 1> 각 기업의 GTL 프로세스 비교

기술보유사	수준	Reforming	F-T synthesis
Sasol	34,000 b/d 건설중	Haldor-Topsoe ATR	Slurry, Co촉매
Shell	12,000 b/d 상용화	POX[무촉매]	FBR, Co촉매
ExxonMobil	300 b/d 실증화	Fluidized ATR	Slurry, Co촉매
Syntroleum	100 b/d 실증화	Air-ATR	Slurry, Co촉매
Rentech	235 b/d 실증화	ATR	Slurry, Fe촉매
ConocoPhillips	400 b/d 실증화	CoPOX [촉매부분산화]	FBR, Co촉매
BP	300 b/d 실증화	Compact Steam Reformer	FBR, Co촉매
JOGMEC	7 b/d 파일롯트	Steam-CO_2 Reformer	Slurry, Co촉매

을 촉매상에서 수소와 반응시켜 목적하는 원료나 연료로 전환하는 과정이다.

이러한 GTL 기술을 보유하고 있는 석유회사로는 Shell, Sasol, ExxonMobil 벤처기업으로는 Syntroleum, Rentech가 있으며, BP, Conoco 등도 연구개발을 통해 GTL 기술을 보유하고 있다.

최근의 기술개발동향을 살펴보면, 미국, 일본, 유럽 등을 중심으로 추진되고 있으며, 주로 개질 및 F-T 반응촉매, 반응기, 효율 제고 등에 집중되고 있으며, 이러한 성과를 기반으로 실증연구에 박차를 가하고 있다.

미국은 GTL 청정연료프로그램(DOE's Ultra Clean Fuels Program)에 '03년부터 3년간 36백만 달러를 Demonstration Facility 건설에 투자하고 있으며, 또한 제조공정의 비용 절감을 목표로 세라믹 반응막 실증 플랜트 연구를 지원하고 있다.

- 시기: 2003년~2005년
- 건설비: 38백만달러
- 규모: 70 barrel/day
- 참여기관: DOE, Syntroleum, Marathon Oil Co. 등

일본은 석유공단에서 1998년부터 GTL 연구를 시작하여 2001년에 10 b/d 파일럿 플랜트를 건설하였으며, JOGMEC-GTL pilot plant ('02년부터 40억엔 투자), '06년부터 대규모(360억엔, 데모 플랜트) 실증연구 등을 수행 중이다.

- 시기: 2006년~2010년
- 예산: 360억엔
- 규모: 500 barrel/day (Demonstration Plant)
- 참여기관: JOGMEC(독립행정법인) + 민간기업 등

또한 요소기술 연구로 미국은 GTL 청정연료프로그램에 '03년부터 3년간 36백만 달러를 투자하고 있으며, 또한 제조공정의 비용 절감을 목표로 세라믹 반응막 실증 플랜트 연구를 지원하고 있다. Syntroleum 사는 산소를 분리하지 않고 공기를 직접 사용하는 ATR 방식으로 합성가스를 생산하고 두 단계의 Slurry FT 반응기를 거치고(코발트 촉매 사용) tail gas는 재순환하지 않는 공정 개발을 통하여 중소형 플랜트의 가격 경쟁력을 확보한 것으로 평가되고 있다. 캐나다는 저온 플라즈마에 의한 천연가스 reforming 기술(Synenery Technologies 사)을 개발하고 알바타 주에 0.1 MMCFD 실증플랜트 건설 및 연구 (2001년부터)를 수행중이다.

시장현황과 우리의 대응전략

세계 LNG플랜트 시장은 JGC/KBR, Chiyoda, Bechtel 및 Technip 등 선두그룹과 이를 추격하는 Snamprogetti, Linde 등 후발그룹으로 구분할 수 있다. 이러한 LNG 플랜트시장은 프로젝트의 규모가 평균 10억불이 넘는 대형 프로젝트이기 때문에 기술선진국들의 각축장이며, 선두기업들은 후발 참여기업의 진입을 제한하기 위하여 시장 카르텔을 형성하고 기술이전을 회피하고 있다.

최근 LNG 플랜트의 대규모화를 통한 생산 및 액화

비용을 절약하려는 노력이 추진되고 있으며, 이러한 노력의 결과로 LNG 도입 초기의 플랜트 규모는 1계열(train) 당 연간 100만 톤 정도였으나 현재는 1계열 당 연간 450만 톤 이상의 규모로 건설되고 있다.

이에 따라 LNG 단위 생산가격은 감소 추세에 있으며, 또한 유틸리티 등의 신규 설비가 정비되고 주요 기기인 압축기 성능 향상 및 액화공정의 효율적인 설계 등 기술적 고도화에 따른 생산량 증가로 LNG 단위 생산비용은 1990년대 톤당 300 달러에서 현재 톤당 150 달러 수준으로 감소하고 있다.

한편 GTL 시장은 그동안 Sasol, Shell, ExxonMobil 등 선진기업이 GTL plant 원천기술(공정, 촉매 등)을 기반으로 시장 카르텔을 형성하고 있으며, 프랑스나 일본 등 후발업체는 기술제휴 및 J/V를 통하여 시장진입을 시도하고 있다.

최근에는 세계의 주요 메이저를 주체로 하는 구미 기업이 적극적으로 기술개발에 참여하고 있다. 또한 원유로부터 제조되는 석유제품의 품질향상 기술개발이 한계에 도달하였으며 원유 이외의 원료를 사용하기 위하여 액체연료에 시야를 돌릴 것으로 판단된다.

국제에너지기구(IEA) 등에 의하면, 세계적으로 천연가스의 수요는 2030년까지 2002년 대비 거의 2배 수준으로 증가하고 가스부문의 투자금액은 2003년 이후 2030년까지 총 2조 7천억달러에 달할 것으로 전망하고 있다.

이러한 세계시장 진출을 위해서는 EPC 실증기술이 필수적이며, 과거 석유화학이나 발전플랜트 등과는 달리 선진기업의 기술이전 회피 및 시장 카르텔이 심화되고 있는 여건에서 우리의 전략은 제한적이며, 보다 실현 가능성이 큰 해외유전 사업권 확보와 독자기술 적용, 이를 토대로 선진기업과 전략적 제휴 및 기획 · 개발형 사업 주도 등의 시나리오를 전망해 볼 수 있다.

이와 같은 기획 · 개발형 사업에서는 조사 · 분석능력 선진화(해외정보 수집/가공/데이터베이스, case study 등), 프로젝트 기획능력(수요처에 적합한 플랜트 기획, 시나리오 기반의 사업 타당성 평가기법 및 절차, 개념설계(grand design) 등), 사업수행능력(금융, 사업위험회피, 사업관리 등)의 확보가 필수적이다. 또한 기획 · 개발형 사업을 추진하기 위한 기반기술로 초저온기술, 반응공정, 촉매, 시스템 진단 · 조치 등 원천/기초기술 확보를 위한 지속적, 장기적 투자가 요구된다.