

상용 LNG 플랜트 시장 동향 및 기술

- 문 일 / 연세대학교 화공생명공학과, ilmoon@yonsei.ac.kr
- 임 원 섭 / 연세대학교 화공생명공학과, wonsub@yonsei.ac.kr
- 최 광 호 / GS건설, kwangchoi@gsconst.co.kr

상용 LNG 플랜트 시장 현황, 전망 그리고 공정에 대해 소개하고자 한다.

최근 고유가, 기후변화협약, 에너지 확보 경쟁 등으로 세계 에너지 시장에서 천연가스의 역할은 점점 커지고 있다. 세계적인 석유컨설팅사인 우드 맥켄지는 2005년까지 과거 5년간 연평균 6.4%씩 증가했던 세계 LNG 수요가 유럽 및 북미 지역의 LNG 수요 급증으로 인해 향후 5년간 12.6%, 그 이후 5년간은 8.5% 증가할 것이라고 전망하였다. 특히 유럽의 경우 영국, 프랑스, 이탈리아, 스페인을 중심으로 LNG 수요가 2010년까지 약 2배 이상 증가할 것이라고 전망하였다. 이외에도 세계 각국의 수요 증가로 인하여 LNG 시장은 계속적으로 확대될 것으로 예상되며, 이를 확보하기 위한 경쟁 역시 더욱 심화될 것으로 전망하고 있다. 이러한 수요 증가를 대비하여 대규모 LNG 플랜트 프로젝트가 현재 진행되고 있으며 향후에도 계속해서 많은

프로젝트가 진행될 것으로 예상된다.

LNG 플랜트 시장 현황 및 전망

지금까지의 LNG 플랜트는 기존 플랜트에 라인을 증설하는 확장 프로젝트가 주를 이루었다. 여기에서는 기술 발전에 따른 유틸리티 등 신규 설비의 정비로 톤 당 단가가 90년대 초반 300달러 선에서 100 ~ 150달러 수준으로 감소하게 되었다. 현재 LNG 플랜트 건설 실적이 있는 엔지니어링 기업은 일본의 JGC, 치요다 화공건설, 미국의 KBR 및 BECHTEL 등의 일부 기업에 국한되어 있어 경쟁이 적은 시장임에도 불구하고 플랜트 가격 인하 경쟁이 치열하다. 최근 들어 LNG 플랜트의 주요 기기인 압축기의 성능이 향상되어 LNG 플랜트의 계열 당 생산량이 증가하고 있다. 트레인 계열 당 연산 200만톤 규모였던 생산 능력이 연산 500만톤까지 증대되어 건설 중이고, 최근에는 연산 800만톤

<표 1> 기존 대형 LNG 플랜트

Licensor	Process Technology	Total number of trains	Total Production (MTPA)	% of market production	Start up date	Largest train(MTPA)
APCI	PMR	53	107.5	88.1	1972-present	3.3
	SMR	4	2.6		1970	0.65
Technip-L'AirLiquid	Teal(Dual pressure SMR)	3	2.85	2.4	1972	0.95
	Classical cascade	3	1.2	1.0	1964	0.4
Pritchard	Prico(SMR)	3	3.6	3.0	1981	1.2
ConocoPhillips	Con LNGSM (Cascade)	2	4.3	3.6	1969-1999	3.0
Total		67	119.05	100	-	-



규모의 플랜트가 계획 중에 있다. 기존의 대용량 플랜트를 나타낸 표 1과 2003 ~ 2005년 사이에 플랜트 건설을 나타낸 표 2에서도 이러한 사실을 알 수 있다.

대형화로 인해 톤 당 단가를 상당 수준 내려 채산성을 확보할 수 있게 되었고, 기술력 고도화가 LNG 플랜트의 사업 효율성을 향상시키고 있다. 그러나 규모를 크게 하는 데는 여러 가지 장애가 존재하며 이를 극복하기 위해 여러 가지 새로운 기술의 도입을 도모하고 있는 실정이다.

최근 LNG 산업은 물론 석유 산업의 붐으로 인한 관련 설비 및 건설비용의 상승, 엔지니어 및 프로젝트 전문 인력 등의 부족으로 대형 프로젝트의 지연 가능성이 높아지고 있다. LNG 플랜트 공급사의 가동률이 2010년경에 거의 100%에 달할 것으로 예상되는데, 이는 플랜트 건설 수요는 존재하나 건설에 필요한 고급 엔지니어와 건설사의 부족으로 프로젝트 진행이 어려울 것임을 암시한다.

또한 LNG 플랜트 기술 변화를 보면 규모의 확대를 통한 가격경쟁력을 확보하고 열효율 향상을 위하여 대규모의 유전에 대용량의 공정과 장치로 집적된 플랜트를 설계, 건설하는 추세이며, 한편으로는 세계 각지의 해양 중소 가스전을 효율적으로 개발하기 위하여 기존의 부유식 원유생산시스템(FPSO, Floating Production Storage Offloading)에

LNG 플랜트를 적용한 LNG FPSO를 추진하고 있다.

이와 같은 시장상황과 기술 변화는 LNG 플랜트 시장에 틈새시장이 형성될 것임을 예견하며, 우리나라가 선진기업과 경쟁이 가능한 설계 및 시공기술을 보유할 경우 해외 시장 진출을 통하여 막대한 이익을 창출할 수 있을 것임을 시사한다.

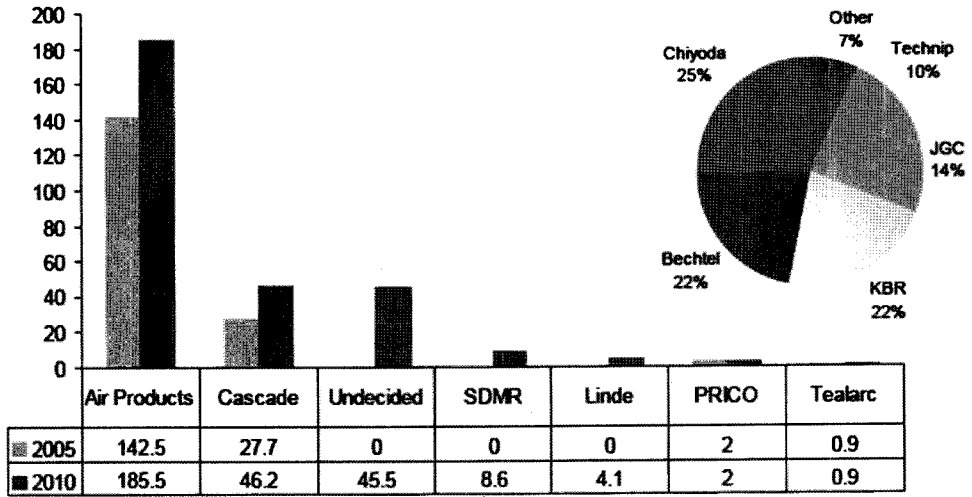
시장 진출 문제점

플랜트 분야 전반에 걸쳐 기본공정설계(FEED, Front-end Engineering Design)를 수행한 기업이 플랜트 건설을 일괄 수행하는 EPC(Engineering, Procurement & Construction) 양상을 보이고 있다. 우리 기업의 경우 LNG 플랜트 건설에서 주로 전처리 및 시공 분야를 담당하고 있으며, 기본공정설계 기술의 한계로 전체 사업관리를 주도하고 실무적으로 프로젝트를 종합 관리하는 PMC(Project Management Consultancy) 역무의 수주에는 많은 제약조건을 안고 있다.

LNG 플랜트 건설사업의 경우 핵심기술 선두그룹이 시장 카르텔을 형성하고 있어 후발그룹의 신규 진입 장벽이 높다. 과거 정유·화학, 발전 등과 달리 LNG, GTL 등과 같은 플랜트 건설사업의 경우에는 선두 기업이 이익 확보를 위하여 기술 및 사업체후를 극히 제한적으로 하고 있는 실정이다. 특

<표 2> 2004 ~ 2006년 사이의 LNG 플랜트 건설

LNG plant Project	Country	Selected Process Technology	Largest Train(MTPA)	Planned Start Up
Atlantic LNG Train 4	Trinidad and Tobago	ConocoPhillips CoN LNGSM	5.2	2006
Egyptian LNG trains 1/2	IDKU, Egypt		3.6/3/6	2005/2006
Darwin LNG	Australia		3.7	2005
Northwest Shelf Expansion, Train 4	Australia	APCI PMR	4.2	2004
RASGAS Expansion, train 3 and 4	Qatar		4.7	2004-2005
Damietta LNG	Egypt		5.0	2004
Nigeria Plus, train 4 and 5	Nigeria		3.1	2005
Snohvit, Hammerfest	Norway	Statoil-Linde MFCP process	4.3	2006
Sakhalin	Russia	Shell DMR	4.8	



[그림 1] LNG 플랜트 라이선서 및 EPC 기업 시장 점유율

히 그림 1에 나타난 바와 같이 핵심기술인 천연가스 액화공정 기술 및 핵심 EPC 기술은 일부 선진업체가 독점적으로 보유하고 있고, 국내 자체에는 기술개발사태가 없다. 이로 인하여 해외 사업 참여도 주변장치 설계 및 단순건설 영역으로 제한되고 있다.

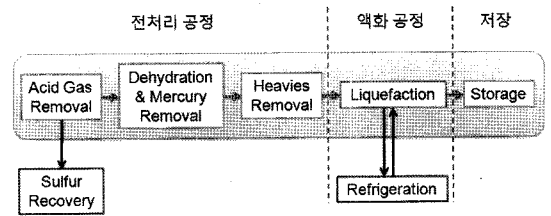
따라서 국내에서 효율적인 LNG 플랜트 설계 및 시공기술을 병행하여 확보할 필요가 있으며, 특히 기본공정설계 능력과 해외시장에서 요구되는 EPC 능력을 확보하는 것이 관건이다.

천연가스 액화 플랜트

LNG 플랜트는 일반적으로 전처리, 액화, 저장의 단계를 거치게 된다. 그림 2는 전형적인 LNG 플랜트의 공정을 나타낸다.

전처리 공정

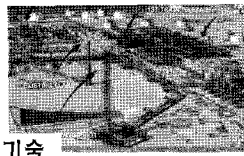
천연가스 중 지표에 나와 감압할 때 응축하는 특경질원유 가스전의 가스는 비교적 무거운 성분을 함유하지만 건조가스전 또는 수용성 가스로서 지하에 존재하는 것은 메탄가스가 대부분으로 메탄 이상의 무거운 성분을 거의 함유하지 않는다. 또 수반가스는 석유와 함께 존재하기 때문에 가스의



[그림 2] LNG 플랜트 공정

조성은 메탄에서 고분자 탄화수소까지의 폭넓은 성분을 함유하고 있다. 이러한 천연가스는 다량의 탄산가스, 황화수소, 물 등의 불순물을 함유하고 있다. 이들 중 탄산가스, 황화수소는 장치에 부식을 일으키고 물은 공정 중에 가스수화물을 생기게 하여 운전 중의 장애원인도 되므로 이들 불순물들은 천연가스를 정제할 때 미리 제거한다. 천연가스는 산지에 따라 조성이 다른 것이 보통이다. 일반적으로 메탄(CH₄)이 대부분이며 에탄(C₂H₆), 프로판(C₃H₈), 부탄(C₄H₁₀) 등의 중질분을 많이 포함하고 있으나 질소, 탄산가스, 유황화합물을 다량 포함한 것도 있다. 그러나 쉽게 액체화하는 중질분과 연료로서의 질을 떨어뜨리는 원인이 되는 불순물은 액화되기 전에 제거하여야 한다.

LNG는 다성분의 탄화수소로서 구성되기 때문에 성분이나 다른 LNG를 동일한 저장탱크에 저장하는 경



우 혼합이 나쁘면 증상화할 가능성이 있고, 그대로 장시간 저장하여 두면 증발에 의한 조성변화로 급격히 혼합하는 반전(roll over) 현상을 일으키든지, 탄산가스가 농축되어 고화가 석출되는 일이 있다.

이러한 이유로 천연가스의 불순물을 처리하는 과정을 전처리 공정이라 한다. 일반적으로 전처리 공정은 산성가스(탄산가스, 황화수소) 제거, 탈수공정을 통한 가스의 수분 제거, 수은 제거 등의 공정으로 구성되어 있다. 전처리 공정은 국내기업이 다수의 프로젝트 경험을 보유하고 있으며 일반화된 기술로 평가된다.

액화공정

액화공정은 전처리 과정을 지난 천연가스를 액화시키는 공정인데 이 과정에서 천연가스의 부피가 1/600로 감소하기 때문에 대량 수송과 저장이 용이하게 된다. 천연가스는 혼합물로서 광범위한 온도 범위에서 액화되는데 액화를 위해서는 대기압에서 -162℃까지 온도를 낮추어야 한다. 이 과정에서 열손실을 최소화하기 위해서는 냉각되는 가스 와 냉매 흐름간의 온도차를 최소화해야 한다. 이를 위해서 주어진 온도 범위 내에서 하나 이상의 냉매를 사용하거나 온도차를 좀 더 근접시키기 위하여 온도 범위를 분할시켜 서로 다른 압력에 있는 냉매를 사용한다.

이러한 냉매 사용에 따라 액화 공정을 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 캐스케이드 (Cascade): 프로판, 에틸렌, 프로판을 냉매로 하여 단계적으로 온도를 내리는 방법
- 혼합냉매 (Mixed Refrigerant, MR): 메탄, 에탄, 프로판, 질소 등으로 된 혼합물을 냉매로 하여 냉각하는 방법

이들 방법은 각각 특징이 있으며, 어느 공정을 선택하느냐는 액화 플랜트의 규모, 가스 조성, 목적, 입지조건에 따라 달라진다.

캐스케이드 공정은 1960년대에 세계 최초로 두 곳의 LNG 플랜트에서 채용되었다. 그 후 단일 혼합냉매를 사용한 공정이 캐스케이드 공정인 삼중 독립 냉매 사이클로 된 장치 구성을 단순화하기 위해 LNG 플랜트에 채용되었다. 그러나 열효율이 낮아서 APCI사에 의해 개발된 프로판 예비냉각 혼합

냉매공정(propane pre cooled mixed refrigerant process, C3MR)으로 대체되었다. 그 후 프로판 예비냉각 혼합냉매 공정이 시장의 80%를 차지하고 있다. 그러나 최근 다시 캐스케이드 공정이 트리니다드, 이집트, 오스트레일리아의 LNG 플랜트에서 채용되었다.

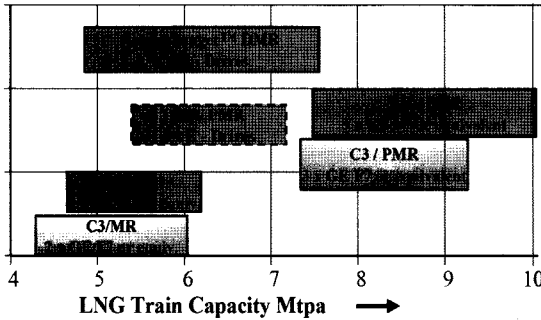
액화 공정은 LNG 플랜트의 핵심으로 적용 대상 및 경험이 다른 다수의 라이선스 공정이 있다. 냉매를 사용한 천연가스의 냉각과 액화의 기본은 LNG 단위 생산량 대비 적은 양의 에너지가 요구되어지는 보다 열역학적으로 효과적인 공정을 얻는 것이다. 액화공정(liquefaction)은 일반적으로 LNG 전체 플랜트 설비금액의 30 ~ 40% 정도를 차지하며, 전체 공정의 효율(efficiency) 운전용이성(operability), 신뢰성(reliability)을 결정하는 주된 요소이다. 여기서 주된 설비 항목은 다음과 같다.

- 열교환기(Heat-Exchanger)
- 압축기(Compressor)
- 압축기동력(Compressor Driver)

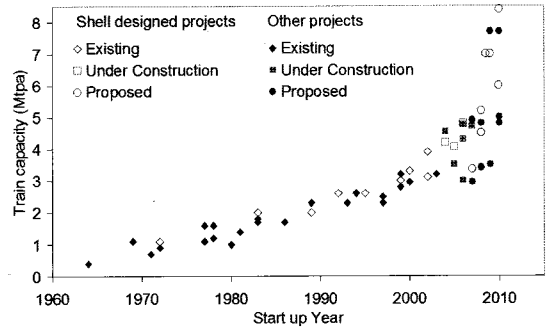
공정상 가스는 일상적으로 높은 압력(40 ~ 55 bar)으로 운전되는데, 이는 설비의 사이즈를 줄이고 보다 효율적인 냉각을 위한 것이다. 냉매로는 순수한 성분만을 쓸 수도 있고 다양한 성분의 혼합물을 쓸 수 있으므로, 냉매의 조성도 하나의 중요한 조절변수로 고려되어진다. 혼합 냉매(mixed refrigerant, MR)의 조성은 공정 조건에 맞게 조절될 수 있다.

LNG 생산에는 플랜트의 생산규모가 경제성에 많은 영향을 미치며 일반적으로 액화능력의 크기가 커질수록 설비투자비용이 줄어든다. 이 때 한계 사항으로 작용하는 것은 압축기를 운전하기 위한 가스터빈의 크기이다.

1980년대 초까지 압축기동력으로 증기터빈이 주류였다. 그 후에는 기존 플랜트 설비확장을 제외하고는 가스터빈이 널리 사용되었다. 특히 1990년대 중반부터 GE사 제품의 프레임 6, 7 등의 발전용 대형 1축, 정속회전 가스터빈이 그 당시의 공업용 소형 2축, 가변속회전의 가스터빈을 대체하게 되었다. 최근 가동을 개시하거나 건설 중인 많은 LNG 플랜트는 2대의 GE사 프레임 7을 사용하고 있는데



[그림 3] 라이선스 및 압축기 동력에 따른 생산량



[그림 4] 트레인당 연간 LNG 생산량 추이

이 경우 대개 연간 5백만 톤 LNG 생산이 한계이며, 그 이상의 경우는 프레임 7을 3대 사용하거나 프레임 9의 사용을 고려해야 한다. 실제 GE사의 프레임 9를 사용한 LNG 플랜트도 현재 카타르에서 계획되고 있다. 그림 3은 라이선스와 압축기 동력에 따른 생산량을 나타낸다. 한편으로는 가스터빈 대신 모터 사용도 주목받고 있는데, 이는 초기 투자는 크나 고효율화가 가능하고 탄산가스 배출 감축에도 연결되며 플랜트 가동률의 증대로 라이프사이클비용을 고려할 때 유리하기 때문이다.

프로판 예비냉각 혼합냉매공정의 경우에는 나선형(spiral wound) 열교환기의 크기가 플랜트의 사이즈를 결정하는 한계 사항으로 작용한다.

대형화를 목적으로 새로운 액화공정이 1990년대 중반부터 개발되어 왔다. Shell사에 의해 개발된 2중 혼합 냉매공정(DMR)은 현재 건설 중인 Sakhalin LNG 플랜트에서 채용되고 있다. 또 같은 2중 혼합냉매공정으로 IFP사에 의해 Liquefin공정이 개발되고 있다. 또한 최근에 개발된 혼합유체 캐스케이드공정도 현재 건설 중인 LNG 플랜트에서 채용되고 있다. 최근 APCI사에 의해 개발된 AP-X 공정은 종래의 프로판 예비냉각과 혼합냉동의 이중 냉동 사이클에, 천연가스의 과냉각에 질소에 의한 가스 익스팬더를 도입한 냉매 사이클을 추가한 것이다. 그림 4는 이러한 대형화 추세를 나타내고 있다.

국내 업체는 천연가스 액화공정에 대한 원천기술과 응용설계 기술에 관한 연구 실적이 없으며, EPC 프로젝트 수행 경험이 전무한 실정이다.

저장탱크

LNG 저장 탱크에는 지상 탱크, 토양 동결식 지하 탱크, PS 콘크리트 지하 탱크가 있으며 지상 탱크로는 금속제 2중각 탱크가 일반적으로 사용되고 있다. 이 탱크는 안과 바깥이 이중으로 되어 있는데 내각은 액화 천연 가스에 접하여 액증량에 견디고 외각은 내각과의 사이에 열 차폐층을 만들어 비활성 기체나 단열재를 유지하거나 2차적 방호벽의 구실을 하고 있다. 내각은 -162℃의 저온에 견딜 수 있는 재료, 예를 들면, 알루미늄이나 9% 니켈강 등을 사용하며 외각은 보통 탄소강을 사용한다. 탱크 저부에도 단열재를 사용하고 나아가서는 동상(토양 중의 수분이 동결 팽창하여 탱크를 움직이시키는 현상)을 방지하는 조치를 강구하고 있다. 토양 동결식 탱크는 지면을 동결시키면서 큰 원통형 구멍을 파고 그 속에 액화 천연 가스를 저장한 다음 그 위에 지붕을 덮은 탱크이다. 이 밖에 PS 콘크리트로 탱크 측벽을 구축한 지하 탱크도 개발되어 있다.

국내 업체의 경우, 시공 및 일부 상세 설계에 참여한 경험 및 이를 바탕으로 자체적인 기본설계 능력을 갖춘 업체도 있으나 대외적으로 이에 대한 객관적인 검증이 이루어지지 못하였거나 독립적인 설계 수행능력 부족으로 인하여 해외 시장 진출에 어려움을 겪고 있는 상황이다.

저장탱크의 경우 특허를 가진 액화공정과 달리 국제적 규격 및 코드에 따라 설계, 시공 및 안전성이 확보될 경우 원가 경쟁력을 갖추기만 한다면 약 50여기에 이르는 국내 LNG 저장탱크 시공경험을



갖춘 국내 업체들이 충분히 국제 EPC 턴키 시장에 진출할 수 있는 기회를 창출할 수 있다. 최근 들어 LNG 저장탱크 관련 핵심기술의 발전으로 인하여 저장탱크의 용량은 대형화 되어가는 추세이며, 이는 LNG 저장탱크의 용량을 증가시키는 것이 저장용량대비 상대적인 시공비용을 절감할 수 있는 방안으로 평가되고 있다.

결 언

지난해 사상 최대 실적을 기록한 해외플랜트산업에서 기술력은 선진국에 뒤쳐지고, 원가 경쟁력은

중국·인도 등에 비해 뒤떨어져 경쟁력을 상실하는 샌드위치적 상황이 예측되고 있다. 이러한 가운데 고부가가치 분야인 LNG 플랜트 분야로 진출하기 위해서는 핵심기술인 액화공정을 개발하고 이를 바탕으로 FEED 수행 경험을 쌓아 선진 EPC 기업과 경쟁이 가능한 기술을 확보하는데 주력해야 할 것이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 가스플랜트사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. ④