

LNG 액화 사이클 개발현황

- 윤 정 인 / 편집이사, 부경대학교 기계공학부, yoonji@pknu.ac.kr
- 오 승 택 / 부경대학교 대학원 냉동공조공학과, tmdxorl@pknu.ac.kr
- 이 호 생 / 부경대학교 기계공학부, purger77@pknu.ac.kr
- 이 상 규 / 한국가스공사 연구개발원, lsg@kogas.or.kr

LNG 수요가 급증하고 있는 현실에서 고부가 가치 산업으로 부각 되고 있는 LNG 플랜트 산업의 핵심기술인 액화 공정 사이클에 대해 설명하고자 한다.

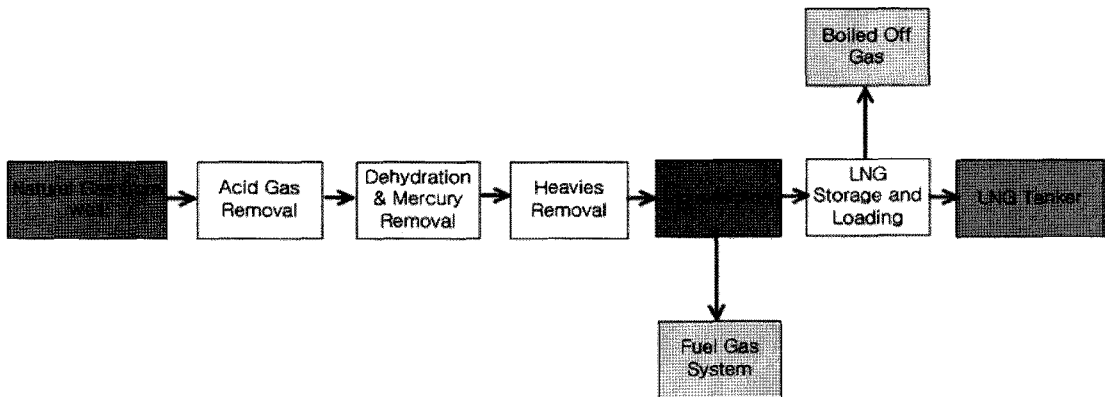
액화 공정이란 부피가 큰 기체 상태의 천연가스를 수송에 용이하게 하기 위해 액화 시키는 과정을 말한다. 천연가스는 메탄, 에탄, 프로판, 부탄 등 여러 가지 성분으로 혼합 되어있다. 이중 메탄이 80% 이상으로 대부분을 차지하고 있으며, 약 -160℃ 정도의 비등점을 가지고 있는 화합물이다. 그림 1에 나타낸 것과 같이 액화 공정은 크게 가스전에서 가스를 추출해 내는 추출 공정, 산성 가스 제거, 수은과 수분 제거, 중질의 가스를 제거하는 전처리 공정, 액화 공정, 저장 공정 등 4가지 공정으로 구성된다. 여기서 가장 핵심 기술인 액화 공정은 냉동장치를 이용하여 정제된 천연가스를 -160℃ 이하로 냉각시켜 액화시키는 기술을 말한다. 액화 시키면서 생

성된 플레쉬 가스는 압축기를 구동하기 위한 가스 터빈의 연료 또는 재 액화에 이용되며, 저장과정에서 생성되는 BOG 또한 배의 연료로 사용하거나 재 액화에 이용된다.

액화 공정의 필요성

현재 거의 모든 가정에서 난방과 취사 등을 위해 천연가스를 사용하고 있으며, 가정에서 뿐만 아니라 발전소와 같은 산업용 전력 생산원으로 사용되고 있고, 천연가스는 무색, 무취, 무독성으로 오염 물질이 없기에 청정연료에 대한 요구와 맞물려 친환경 에너지로써 각광받고 있다. 또한, 국제 유가 상승으로 인해 세계적으로 천연가스의 수요가 급증하고 있다. 이로 인해 천연가스 액화 플랜트 사업이 고부가 가치 사업으로 각광받고 있다.^{1),2)}

천연가스 액화 방식은 기존의 가스전 개발방식에



[그림 1] 천연가스 액화 공정

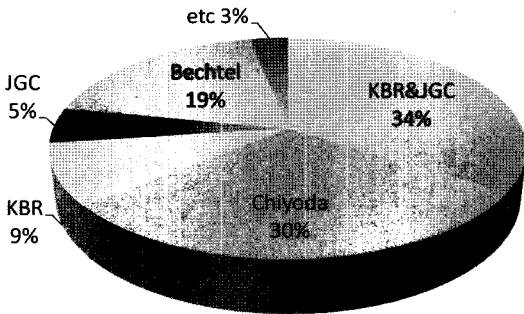
비해 다음과 같은 이점이 있다.³⁾

- (1) 취급이 용이한 액체를 다룸으로써 가스운반에 따른 원거리 수송문제를 해결할 수 있다.
- (2) 수요지로부터 멀리 떨어져 있는 한계 가스전의 활용이 가능하여 별도의 운반설비 구축이 없이도 경제성 있게 활용이 가능한 것으로 보고되고 있다.

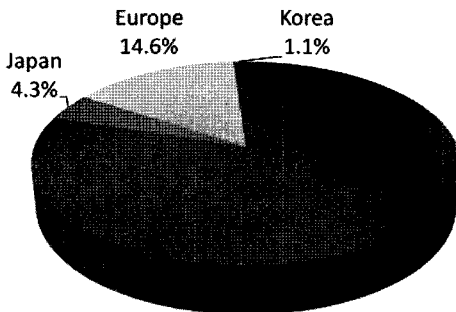
이러한 이점들이 있지만, LNG 플랜트 사업에서 가장 핵심적인 기술인 천연가스 액화 기술은 일부 선진국들이 독점하고 있으며, LNG 수입 1위 국가인 우리나라는 이 분야 기술경쟁력이 전무한 실정이다.

액화 플랜트 점유 현황

현재 세계 LNG플랜트 시장은 그림 2에 나타난 것과 같이 일본과 미국이 대부분을 차지하고 있다. 이렇게 두 나라의 기업이 플랜트 시장을 점유하고



[그림 2] 전 세계 LNG 플랜트 시장 점유율⁴⁾



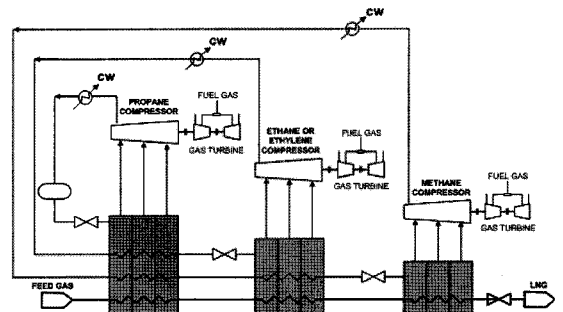
[그림 3] 전 세계 특허 출원 점유율⁵⁾

있다는 것은 이들이 보유하고 있는 기술을 개방을 하지 않고 있다고도 말할 수 있다.

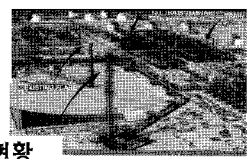
이러한 현상은 그림 3에서도 알 수 있듯이 특히에서 미국이 대부분인 80%를 차지하고 있으며, 우리나라는 1.1%를 차지하고 있다. 미국은 액화공정 기술에 주력하고 있으며, 일본과 프랑스는 전처리 공정에, 한국과 독일은 저장기술에 주력하고 있다. 또한, 미국은 미국 내 특허의 65%, 유럽 내 특허의 40%, 한국 내 특허의 20%를 차지하고 있으며, 이중 APCI사의 특허 점유율이 가장 높기 나타난다.

대표적인 액화사이클

현재 실제 플랜트에서 사용되는 액화공정에는 여러 가지가 있지만 가장 대표적으로 사용되는 액화공정을 나타내 보았다. 먼저 액화 공정 플랜트에서 시초라고 할 수 있는 Phillips optimized cascade process에 대해 알아보자. 그림 4는 이 캐스케이드 공정의 계략도를 나타낸 것이다. 이 공정은 1960년대 알래스카 플랜트에 이용했던 공정을 수정하여 Atlantic LNG Plant에 이용했던 공정이며, 세 가지 순수 냉매(메탄, 에탄 혹은 에틸렌, 프로판)를 이용하며, 각 사이클의 냉각기는 해수 냉각기를 사용하고, 각각의 LNG 열교환기에서 단계적으로 프로판 사이클에서 약 -40℃까지, 에탄 혹은 에틸렌 사이클에서 약 -80℃까지, 최종 메탄 사이클에서 천연가스를 약 -160℃까지 냉각시켜 액화시키는 공정이다. LNG 생산량은 2 ~ 3.5 MTPA (Million Ton Per Annum)이며, 열역학적 효율이



[그림 4] Phillips optimized cascade process⁶⁾

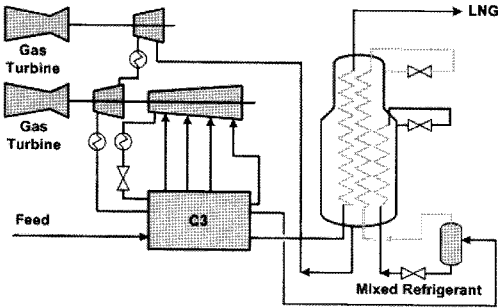


높지 않아 시공된 플랜트만 이용하고 있었지만, 최근 다시 트리니다드, 이집트, 오스트레일리아의 LNG플랜트 등에 채용되고 있다.

그림 5는 C3MR 공정에 대하여 나타내었다. Propane precooled Mixed Refrigerant 공정으로써, 천연가스를 다단의 압력 레벨을 이용한 프로판 냉매로 약 -40℃까지 예냉각을 시킨 후 다시 천연가스의 주성분인 질소, 메탄, 에탄, 프로판 4성분으로 이루어진 혼합냉매를 이용하여 -160℃ 이하로 냉각시켜 액화시키는 공정이다. LNG 생산량은 4.7 ~ 5 MTPA이며, 축동력은 180 MW에 달한다. 그림에서 나타낸 것과 같이 압축기 동력원으로 frame 7 gas turbine을 사용하는데, 이를 frame 9 gas turbine으로 대체한다면 생산량을 6 MTPA까지 확장 할 수 있다고 한다.⁷⁾ APCI사에서 개발하여

높은 액화 효율로 현재 LNG플랜트 설비의 80% 이상을 차지하고 있다.

AP-X™ 공정에 관한 것은 그림 6에 나타내었다. 이 공정은 C3MR 공정을 개발한 APCI사에서 기존의 C3MR 공정의 효율성을 증가시키고, 플랜트 설비비용을 감소시키기 위해 C3MR 공정에 단순 질소 팽창 루프를 추가하여 개발한 공정이다. 이 공정과 C3MR공정에서 메인 열교환기는 spiral wound type을 사용하며, 본 공정에서는 프로판과 혼합냉매 루프가 예냉각에 이용되고 질소팽창 루프가 과냉각에 이용되는 개념이며, LNG 생산량은 7.8 MTPA로 나타나 있으며, 단일 트레인에서 가장 높은 용량을 달성 하였다. 이 또한, 압축기 동력원으로 frame 9 gas turbine을 사용한다면 10 MTPA까지 확장 할 수 있다고 한다.⁷⁾

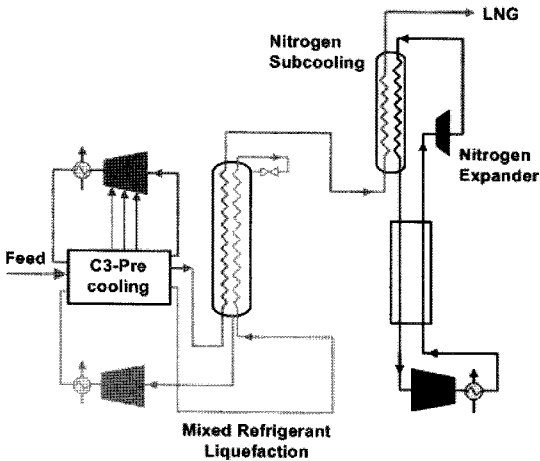


[그림 5] C3MR process

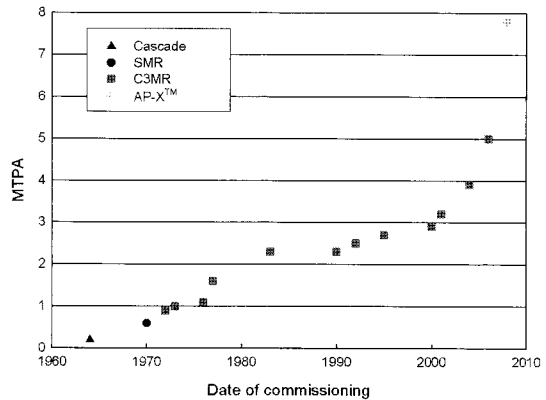
액화 플랜트 설비 현황

앞에서 언급 했듯이 전 세계 플랜트 시장은 일본계 기업인 Chiyoda화학, JGC, 미국계 기업인 Betchtel, KBR과 같은 선진 업체들이 독점하고 있다. 현재 플랜트 설비 현황을 표 1에 나타내었다.

이와 같이 액화 공정은 Cascade에서 SMR(Single MR), C3MR, DMR(Dual MR)로 변화 하였으며, 현재 까지는 C3MR 공정이 전체 플랜트에서 80% 이상을 차지하고 있으나 앞으로는 C3MR을 변형시킨 DMR, PMR, AP-X™으로 대체되어 나갈 가능성이



[그림 6] AP-X™ process



[그림 7] 액화공정별 용량 변화⁷⁾

<표 1> 세계 주요 LNG 플랜트 설비⁹⁾

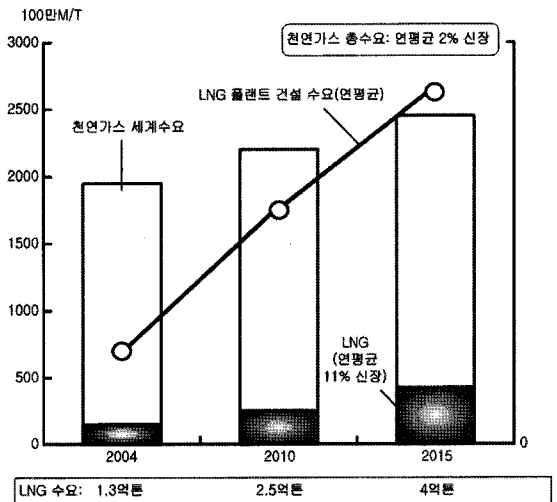
Location	Client	Start year	Train	Process	Contractor	Productivity per train
Kenai	Kenai LNG	1969	1	Phillips-Cascade	Betchtel	1.1
Marsa al Burayqah	-	1970	4	APCI-SMR	Betchtel	0.6 (0.75)
Lumut Brunei	Brunei LNG	1972	5	APCI-C3MR	JGC	1.3 (1.1)
Badak Indonesia	Pertamina	1983	4	APCI-C3MR	Betchtel	1.6(2.0)
		1997	3		Chiyoda	2.6(2.7)
Point Fortin Trinidad	Atlantic LNG	2003	3	Phillips-Cascade	Betchtel	3.3
Bonny Island Nigeria	Bonny LNG	2005	5	APCI-C3MR	Technip-Snam, JGC-KBR	4
Australia	Darwin LNG Project	2006	1	Phillips-Cascade	Phillips	3.24
Sakhalin Russia	Sakhalin Energy	2007	1	Shell-DMR	Chiyoda	4.8
Ras Laffan, Quatar	Q.L.G.C.L	2007	4	APCI-AP-X TM	Qatar Petroleum, Exxon Mobil	7.8

있다.

시대의 흐름에 따른 각 사이클의 용량 변화를 그림 7에 간략하게 나타내보았다. 그림에서 나타난 것과 같이 1970년대 이후로는 대부분의 액화공정에 C3MR을 사용한 것을 알 수 있으며, 이 공정 또한 시대 변화에 따라 용량이 상당히 증가 했다는 것을 알 수 있지만, 2007년 시공된 AP-XTM와의 용량이 현저히 차이가 난다는 것을 나타낸다.

액화 플랜트 설비 예측

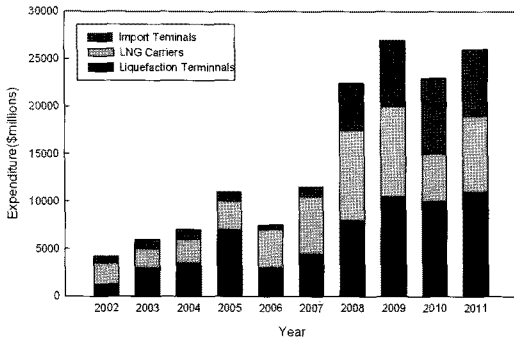
전 세계적으로 천연가스 수요량 추세에 따라 예측해 보면 그림 8과 같이 연평균 2% 증가 할 것으로 예상되며, 이러한 천연가스 수요량 증가로 인해 수송이 편리한 LNG 공급량이 연평균 11% 신장할 것으로 예상됨에 따라 전체 천연가스 수요량에 대해 LNG의 비중도 2004년도 7%에서 2010년도에는 11%까지 증가 할 것으로 전망되고 있다. 또한, LNG 수요도 2004년도에는 1억 3000만 톤에서 2010년도에는 2억 5000만 톤, 2015년에는 4억 톤 가량으로 예상되며, LNG 플랜트 설비 또한 2004 ~ 2010년 까지는 연간 33%, 2010 ~ 2015년 까지



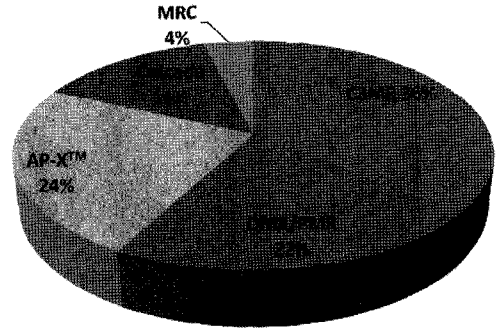
[그림 8] 세계 LNG 수요와 플랜트 건설 수요⁹⁾

는 연간 8%가량 증가 할 것으로 예상되고 있다.

또한, 2007년도에 예측된 자료¹⁰⁾에서 보면, 전체적인 LNG 시장의 투자 규모가 2007년 이후부터 1000억불 이상으로 넘어서고, 2011년도에는 2500억불 이상 나타나는 것으로 예측되고 있다. 또한, LNG 플랜트 시장의 45% 가량을 액화 터미널이 차



[그림 9] 세계 LNG 설비 형태별 투자 예측¹⁰⁾



[그림 10] 2012년 플랜트 설비 변화 추세⁴⁾

지하고 있는 것을 알 수 있는데, 이는 액화 공정의 중요성도 따라서 증가 할 것이라는 것을 짐작할 수 있다(그림 9).

그림 10은 2012년까지의 액화 공정 변화 추세를 나타낸 것이다. 현재 LNG 플랜트 산업뿐만 아니라 모든 산업에서 고효율화를 요구하고 있기 때문에 LNG 플랜트 산업에서도 기존의 액화 공정에서 설비비용을 감소시키면서 효율을 증가시키는 공정이 각광받고 있는 추세이다. 이에 APCI사의 AP-X™ 공정이 강세를 보일 것이라고 전망 할 수 있다.

맺음말

현재 우리나라는 LNG 플랜트 산업의 핵심 기술인 액화 공정 사이클에 대한 기술 및 연구가 전무한 상황이며, 일부 선진 기업들의 독점으로 이루어져 있는 고부가 가치 산업인 LNG 플랜트 산업에 진입하기 위해서는 경쟁력 확보가 시급한 실정이다. 이러한 경쟁력을 확보하기 위해서는 새로운 공정 사이클을 개발하기 보다는 C3MR에서 예냉각 냉각 유체인 프로판을 다른 냉각 유체로 대체하여 액화 능력을 증가 시키는 방법과 같이 기존의 공정들을 보완 및 변형하여 고효율화로 접근하는 것이 현실적 방법이라고 판단된다.

후기

본 연구는 국토해양부 가스플랜트사업단의 연구

비지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김용웅, 천연가스 이야기, 설비저널, 2002, Vol. 31, No.9, pp. 28 30
2. 장현승, 이복남, 구본상, 해외플랜트시장에서 국내 업체의 경쟁력 제고방안, 건설사업 동향, 2007, Vol. 19, pp. 2 30.
3. Trend of GTL, Journal of Energy Engineering, 2007, Vol. 16, No. 2, pp. 58 63.
4. 황인주, 가스플랜트 사업/기술동향과 R&D 전략 모색, 플랜트 IT 컨퍼런스, 2007
5. 가스플랜트 사업단 상세 기획보고서, 2008, 04
6. D. L. Andress, The Phillips optimized cascade LNG process a quarter century of improvement, The Institute of Gas Technology. 1996
7. Chris Spilsbury et al., Evaluation of liquefaction technology for today's LNG business, Journees Scientifiques et Techniques, Oran, Algeria, 2006
8. 가스플랜트 사업단 사전기획연구 최종보고서, 2007, 07
9. 가스프로젝트-LNG에 GTL 플랜트가 뜬다, 화학저널. 2007년 08호, pp. 29 ~ 32
10. 윤용승, 천연가스 플랜트 산업의 발전 전망, 한국가스연맹, 2008, 여름호, pp. 22 ~ 29.