



LNG 저장탱크 국산화 개발성과

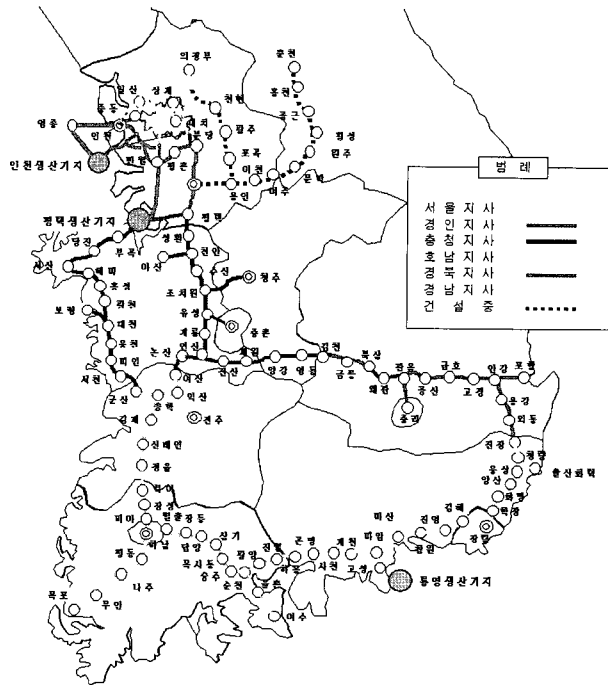
양영명

한국가스공사 연구개발원 LNG탱크국산화연구팀 (ymyang@kogas.re.kr)

우리나라는 1970년대 두 차례의 석유위기를 겪으면서 에너지원의 다변화를 통하여 석유의존도를 줄이고자 하는 정부정책의 일환으로 1983년 인도네시아와 액화천연가스(LNG) 도입계약을 체결하였고, 동시에 평택에 LNG생산기지를 건설하였다. 1986년 10월 31일 최초로 LNG선 'Golar Spirit' 호가 126,500 m³의 LNG를 싣고 평택생산기지에 입항하였고, 그 해 11월 21일 평택화력발전소에 천연가스를 공급하기 시작하였으며, 1987년 2월에는 드디어 도시가스를 공급하기 시작하여 천연가스가 국민연료로 사용될 수 있는 계기를 마련하였다. 그 후 우리나라의 천연가스 산업은 비약적으로 성장하여 1990년 230만톤에 불과하던 천연가스 수요는 1995년 700만톤, 2000년 1,420만톤을 공급하여 10년 사이에 6배에 달하는 놀라운 성장을 이룩하였고, 2002년에는 1,670만톤을 공급할 계획이고, 2004년에는 연간 수요가 2,000만톤을 상회하여 우리나라 1차 에너지 소비량의 약 12%를 차지할 것으로 전망된다. 이러한 놀라운 성장에 힘입어 2001년 말 현재 전체 대상 가구수 13,180천 가구중 8,237천 가구에 도시가스가 공급되어 보급율 62.5%에 도달하였고, 2010년경에는 76.5%, 2015년경에는 82% 수준에 도달할 것으로 전망하고 있다.

미국이나 유럽에서는 주로 배관을 통하여 천연가스를 공급받는데 비해 우리나라와 일본처럼 배관으로

가스를 공급받기 어려운 나라에서는LNG를 도입하여 소비자에게 공급하고 있다. 따라서, 천연가스 소비의 증가추세에 따라 LNG를 저장하기 위한 LNG저장탱크의 건설이 뒤따라야 하고 LNG저장탱크 관련 핵심



[그림 1] LNG생산기지 위치 및 전국 천연가스 배관망



집중기획 환경친화적 플랜트

기술의 발전으로 인하여 대형화되어가는 추세에 있다. 현재 우리나라는 평택생산기지에 10만 kl급 멤브레인형 저장탱크 10기와 인천생산기지에 10만 kl급 9% 니켈형 저장탱크 10기 및 14만 kl급 멤브레인형 지중식 저장탱크 2기가 프랑스와 일본 기술에 의해 건설되어 운영 중에 있다. 또한, 인천생산기지에 20만 kl급 지중식 멤브레인 저장탱크 6기와 통영생산기지에 14만 kl급 9% 니켈강 저장탱크 7기가 건설 중에 있다.

정부의 장기 천연가스 수급계획에 의하면 10만 kl급 기준으로 2005년까지 44기, 2010년까지 61기, 그리고 2015년까지 74기의 저장탱크가 필요한 것으로 전망하고 있다.

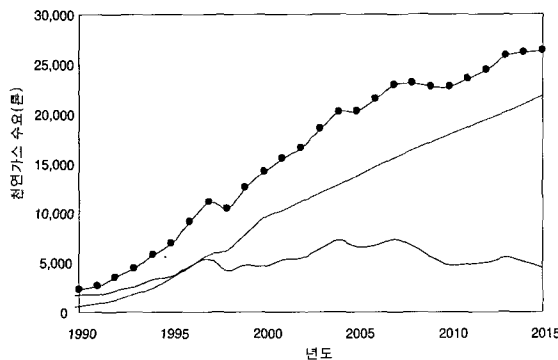
표 1에서 보듯이 국내에서 LNG저장탱크 시공관련

기술은 지금까지의 많은 건설경험을 토대로 세계적인 수준에 도달한 반면, LNG저장탱크 설계기술은 여전히 외국기술에 의존하고 있는 것이 현실이다. 이러한 현실을 극복하기 위하여 1996년 한국가스공사 연구개발원에서 "LNG저장탱크 국산화 개발" 프로젝트를 추진한 결과 2001년 3월에 14만 kl급 9% 니켈강 LNG저장탱크 표준설계를 완성하여 통영기지 6~10호 탱크의 설계에 적용하였고 또 2001년 12월 처음으로 국내기술로 파일릿 저장탱크의 건설을 완료하여 그동안 획득된 기술을 토대로 2002년 6월에 14만 kl급 멤브레인형 LNG저장탱크 표준설계를 완성하여 프랑스와 일본에 이어 세계에서 3번째로 멤브레인형 LNG탱크 기술보유국으로 부상하게 되었다.

국내·외 기술동향

1964년 세계 최초로 알제리에서 영국 캔베이로 LNG 무역이 시작된 이후 LNG 등 초저온 액화가스의 저장을 위한 지상식 강재 저장탱크가 제작되면서 기술이 발달하기 시작하였다. 초기인 1960년대에는 10,000 kl 내외, 70년대 중반까지는 50,000 kl 이내의 "단일방호식 저장탱크"(single containment, 액체를 저장하는 탱크가 상당한 이격거리를 두고 있는 수미터 높이의 방류독에 의해서만 둘러 쌓인 형태)가 주류를 이루었고, 70년 후반부터 80년대 중반까지는 주로 100,000 kl 용량의 "이중방호식 저장탱크"

(double containment, 1차 액체저장용기 손상시 외부로의 누출방지를 위한 2차 저장용기를 갖는 형태)가 주류를 이루었다. 그러나 80년대 후반부터 건설되기 시작한 "완전방호식 저장탱크"(full containment, 이중방호식 탱크를 더 보완한 중간차단성 및 증발가스 기밀성까지 모두 갖춘 형태)가 주류를 이루고 있다. 이 형태의 저장탱크



[그림 2] 연도별 도시가스 및 발전용 천연가스 수요

〈표 1〉 국내 LNG저장탱크 건설현황 ('02.7월 현재)

기지	탱크수	내부탱크/외부탱크	방류독	형식	용량(kl)	설계사		현황
						기계	토목	
평택(10기)	10기(#1-10)	Mem./PC	있음	지상식	10만	Technigaz	Technigaz	운전중
인천(18기)	10기(#1-10)	9% Ni/PC	있음	지상식	10만	TKK	Dividag	운전중
	2기(#11-12)	Mem./RC	없음	지중식	14만	MHI	Kajima	운영중
	2기(#13-14)	Mem./RC	없음	지중식	20만	IHI	Taisei	건설중
	4기(#15-18)	Mem./RC	없음	지중식	20만	KHI	Obayashi	건설중
통영(10기)	3기(#1-3)	9% Ni/PC	없음	지상식	14만	TKK	Dividag	건설중
	2기(#4-5)	9% Ni/PC	없음	지상식	14만	TKK	Dividag	건설중
	2기(#6-7)	9% Ni/PC	없음	지상식	14만	KOGAS 가스기공	KOGAS 가스기공	건설중
	2기(#8-10)	9% Ni/PC	없음	지상식	14만	KOGAS 가스기공	KOGAS 가스기공	건설중
계	38기 (22기 운영중, 16기 건설중)							

* Mem.: Membrane, PC: Pre-stressed Concrete, RC: Reinforced Concrete, TGZ: Technigaz

는 9 % 니켈강 제작기술과 고강도 콘크리트 기술의 발전으로 점차 대형화되어가고 있다.

멤브레인형 LNG저장탱크는 1.2~2 mm 두께의 STS 304 또는 STS 304L 계열 재질의 멤브레인으로 조립된 내부탱크가 정상운전조건에서 LNG와 BOG(boil-off gas)를 모두를 담을 수 있어야 하고, 내부탱크를 지지하는 외부 콘크리트 탱크는 내부탱크에 저장된 LNG 모두를 저장할 수 있고 내부탱크의 LNG 누출로 인한 증기를 제어해 방출시킬 수 있는 저장탱크를 말한다. 내부탱크의 증기는 완전한 기밀 방호가 가능한 강제 지붕에 의해서 담아진다. 금속 멤브레인의 내부탱크와 접하는 LNG의 거동에 의한 작용은 하중을 견디는 단열재를 통해 직접적으로 PC 외부탱크에 전달된다.

멤브레인형 LNG저장탱크는 멤브레인, 단열재 등 매우 기술집약적인 형식의 저장탱크로 멤브레인 소재 사용에 제한이 없어 저장용량을 대형화하는데 기술적인 문제가 없고 지상식 또는 지하식으로 설계할 수 있는 장점이 있다. 우리나라에서는 프랑스 Technigaz의 기술로 건설된 평택기지 지상식 탱크(10만 kl) 10기와 일본 기술로 건설되었거나 건설되고 있는 인천기지 지중식 탱크(14~20만 kl)가 대표적이며, 한국가스공사에서 국산화 개발된 멤브레인과 단열재의 성능과 안전성에 대한 시험, 평가를 위하여 개발품을 Pilot LNG저장탱크에 적용하여 건설하였다.

세계적으로 LNG저장탱크 설계기술을 보유하고 있는 나라는 표 2와 같이 미국(CB&I, PDM), 일본(TKK, NKK, MHI, KHI, IHI), 영국(WISL), 프랑스

(GTT) 등 4개국으로 시공부분에서는 대부분의 설계사들이 국내 건설업체와 기술제휴를 맺고 있으나 주요 설계기술에 대해서는 기술이전을 기피하고 있다.

한국가스공사 연구개발원에서 추진해온 LNG저장탱크 국산화 개발 프로젝트는 9 % 니켈형 저장탱크의 경우 영국의 웨소로부터 기술을 도입하여 소화 개발하는 형태로 2001년 3월 14만 kl급 탱크의 설계를 완료하였고, 반면에 기술도입이 불가능한 멤브레인형 저장탱크의 경우 자체적으로 핵심 소재 및 요소기술을 개발하여 이 기술을 통합하여 14만 kl급 멤브레인형 LNG저장탱크의 독자적인 설계를 추진하여 2002년 6월 표준설계를 완료하였다.

LNG저장탱크 국산화 성과

한국가스공사에서는 1996년 12월부터 LNG저장탱크 국산화 개발을 위한 대규모 프로젝트에 착수하여 제1단계 사업으로 14만 kl급 LNG저장탱크의 국산화 개발을 목표로 설정하고 KOGAS 표준형 멤브레인식 LNG저장탱크에 대한 엔지니어링 설계기술 확보와 함께 핵심소재의 국산화를 추진하고 있으며, 9 % 니켈강 LNG저장탱크의 경우 기술개발 요소가 많지 않으나 실용성이 높아 외국기술을 도입하여 단기간에 엔지니어링 설계기술을 확보하는 방향으로 사업을 추진하였다.

LNG저장탱크 국산화 개발을 위하여 프랑스와 일본에 이어 세계에서 3번째로 핵심요소의 하나인 멤브레인을 개발하여 프랑스 특허를 취득하였고 현재 중국 및 인도에도 특허를 출원 중에 있다. 멤브레인은 우선 유한요소해석을 통하여 형상을 개발하고 이를 실험용 초저온 mock-up 탱크에서 검증한 후 연구시험용으로 인천기지 내에 건설되는 1,000 kl급 멤브레인형 Pilot 저장탱크의 내조설계에 적용하였고 14만 kl급 멤브레인형 저장탱크 설계에도 적용할 예정이다. 이와 아울러 그 동안 수입에만 의존하던 LNG저장탱크용 PUF(polyurethane foam) 단열재를 국산화 개발하여 인천기지 지하식 LNG저장탱크 13~18호 탱크에 적용하였고 14만 kl급을 기준으로 탱크 1기당 약

<표 2> 국외 LNG저장탱크 기술보유사 현황

국명	회사명	저장탱크 형식		국내기술 제휴업체
		9 % 니켈gud	멤브레인gud	
미국	CB&I	○		현대건설
	PDM	○		LG건설
일본	TKK	○		대림산업
	MHI	○	○	현대건설
	IHI	○	○	삼성물산
	KHI	○	○	대우건설
	NKK	○	○	대림산업
영국	WISL	○		KOGAS
프랑스	GTT	○	○	



38억원의 비용절감효과와 약 74억원의 외화대체효과를 얻을 수 있게 되었다.

연구시험용으로 건설된 pilot 저장탱크는 1999년 7월에 본격적으로 설계에 착수하여 2000년 5월에 설계를 완료하고 같은 해 9월에 건설에 착수하여 2001년 12월 시운전을 완료하였다. 이 설계에는 KOGAS형 멤브레인과 국산 단열재를 채용하였으며, 특히 초저온상태에서의 멤브레인의 거동을 연구하기 위한 응력측정장치를 설치하였다.

pilot 저장탱크의 주요 제원은 다음과 같다.

- 탱크형식 : 고상식 (elevated type), 멤브레인형
- 저장용량 : 순용량 1,020 m³, 총용량 1,300 m³
- 탱크내조 : 내경 13.76 m, 높이 10.92 m
- 탱크외조 : 외경 15.38 m, 높이 14.21 m, 두께 600 mm
- 설계압력 : -5 ~ 450 mbarg
- 운전압력 : 50 ~ 350 mbarg
- 설계중발율 : 0.55 vol%/d
- LNG충전 및 토출유량 : 150 m³/h 및 100 m³/h

9% 니켈형 LNG저장탱크의 경우 1999년 10월에 설계 프로젝트를 착수하여 2001년 3월에 기본설계와 상세설계를 완료하였고 그 성과를 통영기지 6~7호 탱크 설계에 적용하기 위한 실시설계 중에 있다. 그리고 소재부문에서 수입에 의존하던 9% 니켈강 소재의 국산대체를 추진하여 두께 10 mm 이상의 소재에 대해서는 포항제철에서 조달 가능하게 되어 14

만 kl급 탱크 1기당 약 10억원의 비용절감효과와 아울러 60억원의 수입대체효과를 얻을 수 있었고, 또한, 그 동안 Pittsburgh Corning에서 독점하던 9% 니켈형 저장탱크 바닥 단열재(Foamglas™)의 경우 신규업체인 Cell-U-Foam을 발굴하여 경쟁을 유도함으로써 탱크 1기당 10억원 정도의 비용절감효과를 얻을 수 있게 되었다.

LNG저장탱크 국산화 개발사업을 통하여 얻어진 가장 큰 성과는 천연가스가 공급되기 시작한 이래 지난 15년간 급증하는 천연가스 수급에 쫓겨 기술개발에 관심을 크게 기울이지 못했던 우리 스스로의 기술수준을 높여 볼 수 있는 계기가 되었고, 아울러 LNG저장탱크에 대한 기술확보가 반드시 필요하다는 공감대가 형성되어 이 프로젝트를 꾸준히 수행할 수 있었고 마침내 가시적인 성과를 얻을 수 있게 되었다. 이 사업의 성과를 통영기지 6~10호 탱크에 적용하여 설계 감리부분에서만 약 120억원 정도의 예산을 절감할 수 있고, 위에서 언급된 소재부문에서의 성과 등을 감안하면 향후 2015년까지 약 3,200억원의 비용절감효과와 아울러 약 5,800억원 이상의 외화절감효과를 기대할 수 있게 되었다.

향후 기술개발 방향

LNG저장탱크 국산화 개발사업을 통하여 2002년 6월까지 KOGAS 표준형 LNG저장탱크(멤브레인형 및 9% 니켈형) 설계기술 및 관련요소기술을 확보하였고, 제2단계로는 LNG저장탱크 국산화 개발성과를 국내 외에서 적용할 수 있도록 준비해 나감과 아울러 LNG저장탱크 건설비용을 절감하기 위하여 LNG저장탱크를 16~22만 kl급으로 대형화하는 설계기술을 개발하여야 한다. 이미 LNG탱크 설계에 대한 기반기술이 확보되어 있는 현재로서는 대형화 설계에는 문제가 없으나 내조의 소재부문에서는 기술개발이 필요하다. 즉, 멤브레인형의 경우 LNG탱크의 용량에 관계없이 내조의 소재가 두께 2 mm 정도의 Stainless steel 박판이므로 대형화에 제약사항이 없으나, 9% 니켈형의 경우 대형화에 따른 9% 니켈강이 두꺼워

〈표 3〉 LNG 저장탱크 주요 제원

항목		멤브레인형 탱크	9% 니켈형 탱크	비고
저장용량	Net	140,000 kl	140,000 kl	NPSH 2 m
	Gross	158,000 kl	158,000 kl	
내부탱크	내경	80.00 m	80.00 m	
	높이	31.51 m	31.95 m	
	재료	STS 304	9% Ni Plate	
외부탱크	내경	80.42 m	82.40 m	
	외경	82.82 m	84.80 m	
	높이	45.41 m	45.44 m	
	재료	Prestressed Concrete	Prestressed Concrete	
단열구조	Wall	PUF	Perlite & Glass wool blanket	
	Bottom	PUF	Cellular Foam Glass	

짐으로 규격을 충족하는 두께 30 mm 이상의 9% 니켈강관의 개발이 선행되어야 하고 아울러 후판에 대한 용접기술과 비파괴기술 개발이 병행되어야 한다.

연구개발원에서는 pilot 저장탱크를 이용하여 국산화 개발된 단열재와 멤브레인을 이용한 내조시스템의 성능을 향상시키기 위한 연구를 지속적으로 수행하고, LNG저장거동 연구를 통하여 LNG저장탱크 최적 운영기술 및 BOG(boil-off gas) 발생을 저감할 수 있는 기술을 개발하고, 또 장기적 관점에서 pilot 저장탱크에서 획득되는 데이터를 기초로 LNG저장탱크의 잔류수명을 예측할 수 있는 기술을 개발하여 궁극적으로는 LNG저장탱크의 수명을 획기적으로 연장할

수 있는 기술을 개발할 예정이다. 또한, 국내 조선사와 협력하여 육상용 멤브레인 기술을 LNG 선박으로 확대하여 현재 프랑스의 GTT에서 독점하고 있는 멤브레인형 LNG 수송선(LNG carrier)과 차기 고부가선박으로 부상될 가능성이 있는 LNG-RV, LNG-FPSO, LNG-FSRU 등에 적용할 수 있는 기술개발을 추진해 나갈 예정이다.

위에서 살펴본 바와 같이 LNG저장탱크 관련 기술은 비용절감 및 수입대체 측면에서 그 파급효과가 매우 크기 때문에 항시 해외 기술동향을 파악하고 장기적인 관점에서 체계적으로 기술개발을 지속해 나가야 할 것이다. (15)