



## LNG저장탱크 기술동향 및 국산화 개발현황

양영명\*, 홍성호

한국가스공사 연구개발원 \*LNG탱크국산화연구팀장, 책임연구원

### 1. 머리말

전 세계적으로 지속적인 경제성장과 환경의 중요성에 대한 인식전환으로 천연가스 산업은 지속적인 성장세를 유지해 왔다. 우리나라는 1970년대 두 차례의 석유위기를 겪으면서 에너지원의 다변화를 통하여 석유의존도를 줄이고자 하는 정부정책의 일환으로 1983년 인도네시아와 액화천연가스(LNG) 도입계약을 체결하였고, 동시에 LNG생산기지를 평택에 건설하였다. 1986년 10월 31일 최초로 LNG선이 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 1,420만톤으로 10년 사이에 6배에 달하는 놀라운 성장을 이룩하였고, 2007년까지 2,000만톤을 상회하여 우리나라 1차 에너지 소비량의 약 12%를 차지할 것으로 전망된다.

미국이나 유럽에서는 주로 배관을 통하여 천연가스를 공급받는데 비해 우리나라와 일본처럼 배

관으로 가스를 공급받기 어려운 나라에서는 LNG를 도입하여 소비자에게 공급하고 있다. 따라서, 천연가스 소비의 증가추세에 따라 LNG를 저장하기 위한 LNG저장탱크의 건설이 뒤따라야 하고 LNG저장탱크 관련 핵심기술의 발전으로 인하여 대형화되어 가는 추세에 있다. 현재 우리나라는 평택생산기지에 10만kl급 멤브레인 저장탱크 10기와 인천생산기지에 10만kl급 9%니켈강 저장탱크 10기가 프랑스와 일본 기술에 의해 건설되어 운영 중에 있다. 또한, 인천생산기지에 지중식 멤브레인 저장탱크 8기(14만kl급 2기 및 20만kl급 6기)와 통영생산기지에 14만kl급 9%니켈강 저장탱크 5기가 일본기술에 의해 건설 중에 있다 (표1 참조)

2000년 3월에 발표된 정부의 제5차 장기천연가스수급계획에 의하면 2002년까지 10만kl급 기준으로 총 31기의 LNG저장탱크를 확보할 예정이며, 2010년까지는 총 56기의 저장탱크가 필요한 것으로 전망하고 있다. <표1>에서 보듯이 LNG저장탱크 시공관련 기술은 지금까지의 많은 건설경험을 토대로 세계적인 수준에 도달한 반면, LNG저장탱크 설계기술은 여전히 외국기술에 의존하고 있는 것이 현실이다. 이러한 현실을 극복하기 위하여 1997년 한국가스공사 연구

〈표1〉 국내 LNG저장탱크 건설현황

기지	탱크수	내부탱크/ 외부탱크	방류독	형식	용량 (kl)	설계사		현황
						기계	토목	
평택 (10기)	10기 (#1-10)	Mem./ PC	있음	지상식	10만	TGZ	TGZ	운전중
인천 (18기)	10기 (#1-10)	9%Ni/ PC	있음	지상식	10만	TKK	Diwidag	운전중
	2기 (#11-12)	Mem./ RC	없음	지중식	14만	MHI	Kajima	건설중
	6기 (#13-18)	Mem./ RC	없음	지중식	20만	IHI KHI	Taisei Obayashi	건설중
통영 (5기)	5기 (#1-5)	9%Ni/ PC	없음	지상식	14만	KHI TKK	Obayashi Diwidag	건설중
계	33기 (13기 건설중)							

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

〈표 2〉 LNG 수출기지 현황

운영중	건설중	확장예정	개발예정 가스전
알래스카	예멘	호주 NWS	사할린
브루나이	말레이시아 (티가)	브루나이	이집트
인도네시아 (아룬,바닥)	나이지리아(3rd)	인도네시아 (바닥)	인도네시아 (탕구)
말레이시아 (사투,두아)		나이지리아(4th/5th)	베네쥬엘라
호주 NWS		트리니다드(2nd/3rd)	호주(Bayu Undan, Gorden, Sunrise)
카타르 (라스라판,카타르가스)		카타르 (라스라판)	노르웨이
오만			이란
리비아			예멘
알제리 (스키크다, 카멜, 아르쥬)			
나이지리아			
트리니다드			

개발원에서 “LNG저장탱크 국산화 개발” 프로젝트를 추진하여 2001년 말까지 14만kl급 멤브레인식 및 9%니켈강 LNG저장탱크 표준설계를 완성하고 관련 핵심기술 및 소재를 개발하여 실제 LNG저장탱크 건설에 적용할 계획이다.

LNG저장탱크는 LNG 수출기지와 수입기지를 양측으로 발전되어 왔다. 현재 운전중인 LNG수출기지는 알래스카, 브루나이, 인도네시아, 말레이시아, 호주, 카타르, 오만, 리비아, 알제리, 나이지리아, 트리니다드 토바고 등에서 운영중에 있고, 말레이시아, 나이지리아, 예멘에서 LNG수출기지를 건설 중에 있다. 또한, 브루나이, 인도네시아, 호주, 카타르, 나이지리아, 트리니다드 등에서 확장중이거나 확장예정에 있다.

LNG수입기지는 현재 일본, 한국 등 8개국에서 운영중에 있고, 인도의 다브홀과 다헤즈, 도미니카, 푸에르토리코, 스페인 빌바오 등에서 새로운 LNG수입기지를 건설중이며, 중국의 광둥성, 인도의 코친과 피파비브, 포르투갈 등에서 신규 LNG수입기지의 건설을 계획하고 있고, 향후 태국, 카리브해 연안국, 중앙아메리카, 브라질 등이 새로운 LNG수입자로 등장할 가능성이 높다.

## 2. 국내외 기술동향

1964년 세계 최초로 알제리에서 영국 캔베이로의 LNG 무역이 시작된 이후 LNG 등 초저온 액화가스의 저장을 위한 지상식 강재 저장탱크가 제작되면서 기술이 발달하기 시작하였다. 초기인 1960년대에는 10,000kl 내외, 70년대 중반까지는 50,000kl 이내의 “단일방호식 저장탱크”(Single Containment, 액체를 저장하는 탱크가 상당한 이격거리를 두고 있는 수 미터 높이의 방류독에 의해서만 둘러 쌓인 형태)가 주류를 이루었고, 70년 후반부터 80년대 중반까지는 주로 100,000kl 용량의 “이중방호식 저장탱크”(Double Containment, 1차 액체저장용기 손상시 외부로의 누출방지를 위한 2차 저장용기를 갖는 형태)가 주류를 이루었다. 80년대 후반부터 건설되기 시작한 “완전방호식 저장탱크”(Full Containment, 이중방호식 탱크를 더 보완한 중간차단성 및 증발가스 기밀성까지 모두 갖춘 형태)가 세계적으로 30기 이상 건설되었거나 건설중에 있으며 이 형태의 저장탱크는 멤브레인 설계기술, 9%니켈강 제작기술 및 고강도

<표 3> LNG 수입기지 현황

운영중	건설중	확장예정	계획중
미국	푸에르토리코	미국	중국(광둥성)
일본	도미니카	일본	인도(코친,피파비브)
영국	인도(다브홀,다헤즈)	터키	포르투갈
프랑스	스페인(빌바오)	스페인	대만
스페인		한국(통영)	
터키			
한국			
대만			

콘크리트 기술의 발전으로 점차 대형화되어 가고 있다.

저장탱크의 발달을 1세대 탱크와 2세대 탱크로 구분하기도 하는데 이는 1970년대 중반까지의 단일방호식을 1세대 탱크로, 1970년대 중반이후의 이중, 완전방호식 탱크를 2세대 탱크로 분류한다. 다음 <표 4>는 저장탱크의 세대별 구분과 관련 기술기준을 나타내고 있다.

LNG저장탱크의 설계, 시공 및 운전 등과 관련하여 일반적으로 적용되는 기술기준은 BS 7777, API 620, BS EN 1473, NFPA 59A, JGA RPIS 및 RPAS 이다. 유럽에서는 초저온의 액화천연가스를 저장하기 위하여 1976년에 강제 수직원통형 저장탱크 기술규격을 제정하였다. 1970년도 초에는 전통적으로 단일벽(single shell)에 액화가스를 저장하고, 탱크로부터 상당

이격지점에 방류독을 설치하는 단일방호 구조형태로 설계되었다. 이중벽(double shell)으로 설계되는 탱크는 단열재를 충전하기 위한 목적으로 외부벽을 설치하였다.

1970년대까지는 모든 저온액화가스를 단일방호식 저장탱크에 저장하는 것이 일반적이었으나, 그 후 LNG를 포함한 탄화수소나 암모니아용 내부탱크를 외부탱크(outer tank)나 외부벽(outer wall)이 둘러싸는 방식이 점차적으로 일반화되어 갔다. 그러나 아직도 액화수소, 액화질소 또는 액화아르곤은 단일방호식 탱크에 저장하는 것이 일반적이다. 외부탱크나 외부벽을 설치하는 목적은 내부탱크에서 액화된 제품이 누출될 경우 주변지역으로의 누출확산을 차단하고 내부탱크에 가해지는 손상을 방지하는 것으로 안전도를 향상시켜 준다. 이런 구조물은 이중방호식 또

<표 4> 저장탱크 구분 및 관련 기술기준

구 분	기술기준
1세대 저장탱크 (1960~1977) 단일방호식 탱크	BS 4741(1971): 단일벽 탱크(~~-50℃) BS 5387(1976): 이중벽 탱크(~~-196℃)
2세대 저장탱크 (1977~현재) 이중방호식 및 완전방호식 탱크	EEMUA 147(1986): 강제탱크 설계 및 시공지침 -암모니아, LPG, 에틸렌, 에탄, LNG 및 유사탄화수소  BS 7777(1993): 지상식 강제탱크, 외부탱크 설계 및 시공지침(~~-165℃) -LPG, 에틸렌, 에탄, LNG 및 유사탄화수소, 암모니아, 산소, 질소, 알곤  BS EN 1473(1996): LNG Terminal 기준 -단일, 이중, 완전방호식 탱크, 멤브레인 탱크, 구형탱크

는 완전방호식 저장탱크로 정의하고 있다.

내부탱크는 최저운전온도에 따라 탄소-망간계강, 저 니켈강, 9%니켈강, 알루미늄 또는 스테인레스강 가운데 적절한 재질을 선정하여 만든다.

이중방호식이나 완전방호식 저장탱크는 일반적으로 강제의 외부탱크나 콘크리트 외부벽체를 갖는데, 이것은 프리스트레스트 콘크리트(Pre-stressed Concrete, PC), 벽 측면에 성토(Earth Embankment)한 철근콘크리트(Reinforced Concrete, RC), 또는 내부탱크용으로 규정된 강제 외부탱크 가운데 한가지로 만들어진다.

단일방호식 저장탱크를 위한 기준인 BS 4741과 BS 5387에는 이중방호식 저장탱크와 완전방호식 저장탱크에 있어 필수조항인 재료의 선택, 설계, 시공, 하중 조건 등이 빠져있어 이런 점을 보완하기 위해 EEMUA(The Engineering Equipment and Materials Users' Association) 산하의 저장탱크 위원회는 "Recommendations for the Design and Construction of Refrigerated Liquefied Gas Storage Tanks"를 1986년에 출간하였고, 이 권고기준을 제정될 영국기준(British Standards)의 토대로 삼고자 하였다. 이후 BS 7777의 제정을 계기로 지금은 폐기된 BS 4741과 BS 5387을 대체하였다.

BS 기준에 따라 설계하고 시공한 단일방호식 저장탱크의 사고위험은 경험적으로 매우 낮은 것으로 입증되었고, 이 사고위험은 재료의 선택, 설계, 시공, 검사 등에 대한 더욱 엄격한 요구사항들을 준수함으로써 훨씬 감소될 수 있다. 그러나 저장된 액화가스의 경우 사고의 결과가 매우 클 수도 있음을 고려하여 안전도 향상을 위하여 외부탱크나 외부벽의 필요성을 인식하게 되었고,

이에 따라 이중방호식 또는 완전방호식 저장개념을 사용함으로써 사고의 위험을 훨씬 더 줄일 수 있게 되었다. BS 7777의 특징은 LNG저장탱크에 있어 평저 원통형 자립식 저장탱크, 즉 지상식 9%니켈강 탱크만을 규정하고 있다. 따라서 지중식 탱크, 멤브레인식 탱크, 구형 탱크 및 콘크리트 내부탱크 등에 대한 규정이 부족한 실정이다. 유럽의 단일 시장화와 효과적인 세계시장 공략, 일본의 기술개발 등에 자극받아 유럽 공통의 기준인 BS EN 1473을 1996년 제정하였다. 이 기준은 LNG 플랜트의 전반적인 시스템, 즉 LNG 탱크, 처리시설, 배관, HAZOP 및 기타 감시시스템 등에 대해 규정하고 있다. 설계보다는 LNG의 운영체계에 관련된 안전성 위주의 기준이라 할 수 있다. 또, BS EN 1473의 특징은 저장탱크의 형식으로 단일, 이중 및 완전방호식 탱크와 멤브레인 탱크, 구형 탱크를 규정하고 있는데 멤브레인 탱크를 안전성 측면에서 완전방호식 탱크와 거의 대등하게 정의하고 있고, 방류독이 필요 없는 저장탱크로 기술하고 있다.

최근 지상식 자립 원통형 강제 저장탱크만을 규정한 BS 7777의 단점을 보완하기 위해 유럽연합 회원국 대표들이 참여한 가운데 CEN/TC 265에서 새로운 기준인 EN 265002의 제정을 준비하고 있으며, 빠르면 2001년에는 제정이 가능할 것으로 예상된다. 이 기준의 적용범위는 수직원통형 지상식 탱크에 대해 규정하고 있고, 내부탱크는 강제로 한정하고 있으며, 외부탱크는 강제, 콘크리트 또는 이들의 복합 형태로 한정하고 있다. 이 기준의 특징을 간단히 정리하면 다음과 같다.

일본의 경우, 1970년대 후반 자국의 LNG저장탱크 설계기술 개발을 유도하기 위하여 통산성 주도로 지침서 개발에 착수하였고 1979년 LNG

지하식 저조 지침(RPIS)과 1981년에 LNG 지상식 저조 지침(RPAS)을 일본가스협회(JGA)에 위탁하여 제정하였다. RPIS와 RPAS는 다른 국가의 기준과는 달리 정부주도로 개발되었고, 통달(通達)의 형태로 법적인 구속력을 가지고 있다.

RPIS는 1976년 JGA 산하에 액화천연가스용 저장탱크 보안조사위원회와 동결토, 구조내진, 안전과 관련한 각 전문위원회를 두고, 약 3년간에 걸쳐 모형탱크에 의한 동결토 및 내진시험, 철근콘크리트, 토양, 금속재료의 저온 특성시험, 국내외 지중식 저장탱크 안전관련 조사연구 등을 통해 지침을 개발하였다. RPIS는 LNG저장탱크의 본체, 지붕, 멤브레인, 단열재 등으로 구성된 지하식 탱크에 대한 계획, 설계, 건설 및 보수에 대해서 규정하고 있다.

RPAS는 1979년 통산성에서 JGA에 조사사업을 위탁하여 협회산하에 가스공작물 설치 기준조사 위원회와 LNG 지상식 저장탱크 전문위원회를 설치하고, 지상탱크의 특성상 지진에 취약하기 때문에 내진성을 중심으로 한 폭넓은 조사

연구활동을 통해 지상식 강재 이중벽 탱크의 계획, 설계, 건설 및 보수관리 등에 대한 지침을 개발하게 되었다.

일본은 이 기술기준을 바탕으로 가스선진국에 진입하는데 성공하였고, 현재까지 20여년 동안 한차례의 개정도 없이 사용해 오고 있다. 그러나 최근 일본은 생산기지의 환경변화(시가지 접근, 부지한정 등)에 따라 안전성, 신뢰성, 토지 유효이용률, 경제성 등을 고려하여 PC 탱크에 대한 필요성이 대두되면서 PC 탱크 기준제정을 위해 '천연가스도입촉진센터'내에 조사위원회와 전문위원회를 두고 1988년부터 1990년에 걸쳐 기술조사 및 각종 실험을 실시하였다. 그 결과 1990년에 'PC LNG 지상식 저장탱크 지침 초안'이 완성되었고, 아직 외부에는 공개하지 않고 있다. 최근에는 발전된 기술사항과 PC LNG 지상식 저장탱크 지침 초안을 참고해 JGA지침을 개정 중에 있고, 2001년에는 완료할 예정이다.

세계적으로 LNG저장탱크 설계기술을 보유하고 있는 나라는 미국(CB&I, PDM), 일본

<표 5> LNG저장탱크 기술보유사 현황

국 명	회사명	저장탱크 형식		국내기술 제휴업체
		9%니켈강	멤브레인식	
미 국	CB&I	○		현대건설
	PDM	○		LG건설
일 본	TKK	○		대림산업
	MHI	○	○	현대건설
	IHI	○	○	삼성물산
	KHI	○	○	대우건설
	NKK	○	○	대림산업
영 국	Whesoe	○		대아건설, KGE
프랑스	Technigaz	○	○	한양

(TKK, NKK, MHI, KHI, IHI), 영국 (Whessoe), 프랑스(Technigaz) 등 4개국으로 시공부분에서는 대부분의 회사들이 국내 건설업체와 기술제휴를 맺고 있으나 설계기술에 대해서는 기술의 이전을 기피하고 있다.

한국가스공사 연구개발원에서 추진해온 LNG 저장탱크 국산화 개발 프로젝트는 9%니켈강 저장탱크의 경우 영국의 Whessoe로부터 기술을 도입하여 소화·개량하는 형태로 14만kl급 탱크 설계를 완료하였고, 반면에 기술도입이 불가능한 멤브레인식 저장탱크의 경우 자체적으로 핵심 소재 및 요소기술을 개발하여 이 기술을 통합하여 14만kl급 멤브레인식 LNG저장탱크의 독자적인 설계를 추진하고, 2001년 말까지 제1단계 사업을 완료할 계획이다.

### 3. LNG저장탱크의 분류 및 특징

EEMUA 147, BS 7777, BS EN 1473 등 유럽의 기준에서는 LNG저장탱크를 방호형식에 따라 단일방호식 탱크(single containment tank), 이중방호식 탱크(double containment tank), 완전방호식 탱크(full containment tank)로 분류하고 있다. 특히, BS EN 1473에서는 멤브레인식 탱크를 완전방호식 탱크와 유사하게 정의하고 있고, 기본설계에서도 방류독이 필요 없는 형태로 나타내고 있다. 또한, LNG저장탱크는 설치위치, 기초형식, 내부탱크와 외부탱크의 형식, 지붕의 재질 및 형식, 방류독의 형식 등 저장탱크 요소에 따라 분류하기도 한다.

#### ○ 설치 위치에 따른 분류

- a) 지상식 저장탱크(Above-ground Storage Tank)

- b) 지중식 저장탱크(In-ground Storage Tank)
- c) 지하식 저장탱크(Under-ground Storage Tank)
- d) 인피트식 저장탱크(In-pit type Storage Tank)
- e) 흙제방식 저장탱크(Earthern Berm type Storage Tank)

#### ○ 기초 형식에 따른 분류

- a) 저부가열식(Base Heating) 저장탱크
- b) 고상식(Elevated Concrete Base) 저장탱크

#### ○ 내부탱크 형식에 따른 분류

- a) 자립식(Stand-alone) 내부탱크
- b) 멤브레인식(Membrane) 내부탱크
- c) 콘크리트 내부탱크

#### ○ 외부탱크 형식에 따른 분류

- a) 철제 외부탱크
- b) 철제 외부탱크 + 콘크리트 벽체
- c) 콘크리트 외부탱크

#### ○ 지붕 형식에 따른 분류

- a) 현수천정형 (Suspended Ceiling Deck)
- b) 이중돔형 (Double Dome)
- c) 내부단열형

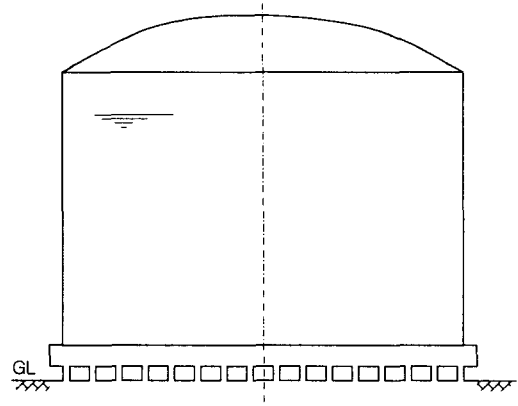
이러한 분류에 따른 LNG저장탱크의 주요형식에 대한 특징을 살펴보면 다음과 같다.

#### (1) 지상식 저장탱크(Above-ground Storage Tank)

저장탱크를 지면 위에 설치하는 형태로 탱크내의 액압이나 기계적 하중에 의한 변형거동 문제

를 안전하게 다루어야 한다. 지상식 저장탱크는 지반조건에 관계없이 건설할 수 있고 또한 지하식에 비해 시공성이 용이하여 LNG인수기지에 가장 보편적으로 적용되는 탱크 형식이다. 이 탱크의 장점은 지상에 설치되기 때문에 운전 및 유지보수가 비교적 용이하고 지열에 의한 영향을 받지 않으므로 BOG(Boil-Off Gas) 발생량이 지하식에 비해 적다. 또한, 지반을 굴착하여 설치하는 지하식에 비하여 투자비와 건설공기 면에서도 유리하며 시공이 뛰어난 장점이 있다. 반면에 저장탱크가 지상에 노출되므로 외부충격에 견딜 수 있도록 설계되어야 한다.

<그림 2>는 지상식 저장탱크의 형태를 나타내고 있는 것으로, 내부탱크에는 9%니켈강, 알루미늄 재질의 자립형이나 스테인리스강으로 제작된 멤브레인 패널을 용접하여 제작하는 멤브레인식이 있다. 대기와 직접 접촉되는 외부탱크는 탄소강이나 PC(Pre-stressed Concrete) 구조물로 제작되는데 국내에는 모두 PC 콘크리트 형식으로 건설되었다. 이들 내부탱크와 외부탱크사이에는 외부로부터 열유입을 차단할 수 있도록 단열재 벽을 설치하여 내부에 저장되어 있는 LNG의 기화를 최대한 억제하고, 탱크 바닥면이 지면과 직접 접촉되어 지열이 탱크내부로 유입되지 않도록 지면에서 1.5m 정도 간격(air gap)을 두고 탱크 바닥을 설치하거나 탱크 바닥면을 지면과 간격을 두지않고 설치할 경우 탱크내부에 저장되어 있는 LNG의 냉열에 의한 지반의 동결을 방지하기 위하여 가열코일을 설치하기도 한다. 또한, BS 7777 및 EN 1473 등의 기준에 따라 저장탱크 파괴시 안전성을 고려하여 단일방호식 저장탱크의 경우 방류독을 설치해야 하는 반면 이중방호식 및 완전방호식 저장탱크의 경우 방류독을 필요로 하지 않는다.

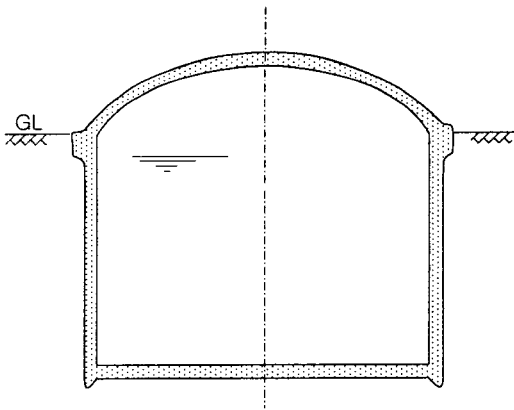


<그림 2> 지상식 저장탱크 (고상식)

## (2) 지중식 저장탱크(In-ground Storage Tank)

LNG의 최고 액면 높이를 지표면과 동등 또는 그 이하가 되게 설치하는 형태로 <그림 3>과 같다. 이것은 일본, 한국, 대만에 집중되어 있는 형식으로, 저장탱크의 높이가 지표면과 유사하기 때문에 시각적으로 미관이 양호하고 인근 주민으로 하여금 심리적 불안감을 줄여 주며, 만일의 사고시에도 LNG가 지상에 누출되지 않으므로 안전성이 뛰어나다. 또, 방류독이 필요없어 탱크부지 전용면적이 작아져 부지의 효율성을 높일 수 있다. 반면에 지중식은 지하에 설치하는 관계로 지중공사의 난점이 있으며 투자비와 건설공기에서 지상식에 비해 불리하다. 또한, 지하수 및 동결의 영향 측정이 필요하고, 지중가열 시스템이 필요하며 지열의 영향으로 지상식에 비해 BOG 발생량이 많다. 지중식 탱크의 내부탱크에는 9%니켈강재 또는 알루미늄 재질의 자립식이나 스테인리스강으로 제작한 멤브레인 패널을 용접하여 제작한 멤브레인식 내부탱크가 있다.





<그림 3> 지중식 저장탱크

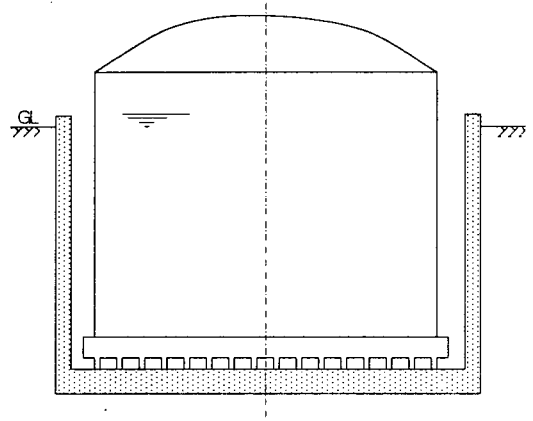
(3) 지하식 저장탱크(Under-ground Storage Tank)

지하식 저장탱크는 콘크리트 지붕을 흙으로 완전히 덮어버린 형태의 저장탱크를 말한다. 지하식 저장탱크를 액위가 지표면보다 낮게 유지되므로 지중식 탱크와 마찬가지로 탱크 파손시에도 안전하고 이웃하는 저장탱크에 문제가 발생하거나 환경적 요인에 의하여 발생하는 위험성으로부터 항상 안전하다는 장점이 있다. 그러나 건설단가와 공사기간에 있어서는 가장 불리하고, 저장탱크를 모두 지하에 건설함으로써 발생하는 기술적 문제점은 기존의 어떤 방식보다도 어렵다.

(4) In-pit식 저장탱크

In-pit 저장탱크는 <그림 4>에 나타난 것과 같이 지하에 대형 콘크리트 피트를 건설하고 피트 속에 탱크를 설치하는 형식으로 지중식 탱크의 장점을 살리면서도 지중가열 시스템이 필요없고 지열의 영향을 받지 않으므로 BOG 발생량이 적다.

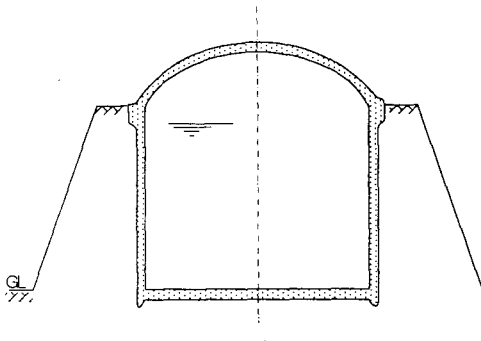
그러나 콘크리트 피트를 설치해야 하므로 지중공사의 난점이 있고 투자비와 건설공기 면에서 불리하고 피트 내부의 접근설비, 배수설비 및 환기설비가 필요하다. 이 형식의 탱크는 지진에 대하여 지중식 탱크보다 안전하다. 지중식 탱크는 주로 멤브레인식으로 건설되었으나 In-pit식 탱크는 주로 9%니켈강 자립식 내부탱크형 탱크로 건설되었다. 최근에 프랑스나 그리스 등 유럽지역에서 건설되고 있다.



<그림 4> In-pit 식 저장탱크

(5) 흙 제방식 저장탱크(Earthen Berm Type Tank)

지상식 탱크 벽체 주위에 토사를 성토시켜 놓은 형식으로 벽체가 외부 충격하중 및 화재에 영향을 받지않아 탱크 벽체의 누출위험을 줄일 수 있고 별도의 방류독이 필요없다. 그러나 성토면적으로 인하여 탱크전용 면적이 커지고 토사채취, 운반 성토작업 관계로 투자비와 건설공기에서 불리하다.(그림 5 참조)



〈그림 5〉 흠 제방식 저장탱크

#### (6) 단일방호식 저장탱크(Single Containment Tank)

단일 탱크(Single Tank) 또는 내부탱크와 외부 저장용기(Outer Container)로 이루어진 형태의 저장탱크를 말한다. 이 경우 오직 내부탱크만이 LNG의 저장을 위한 저온 연성(low temperature ductility)을 만족시키도록 설계되고 시공된다. 외부 저장용기가 있는 경우, 이것은 주로 단열재를 보유 및 보호하고 가스층 치환 가스 압력을 지탱하기 위한 용도이나, 내부탱크에서 누출이 일어날 때 저온 액체를 저장하도록 설계되지는 않는다. 단일방호식 저장탱크는 누출이 발생할 때 이를 저장하는 낮은 방류벽(low bund wall)으로 보통 둘러싸여 있다.

#### (7) 이중방호식 저장탱크(Double Containment Tank)

이중방호식 저장탱크는 이중탱크(Double Tank)로서 내부탱크와 외부 탱크가 각각 별도로 저온 액체를 저장할 수 있도록 설계되고 시공되는 저장탱크를 말한다. 이것은 유출되는 액체가 형성하는 풀(pool)을 최소한으로 줄이기 위해 외부 탱크는 내부탱크에서 6m 이내의 거리에 설치하고, 내부탱크는 정상적인 운전조건하에서

저온 액체를 저장하며 외부탱크는 내부탱크에서 누출된 LNG를 저장하도록 되어있다. 그러나 외부탱크는 내부탱크에서 누출된 LNG의 증발가스를 저장하도록 되어있지는 않다.

#### (8) 완전방호식 탱크(Full Containment Tank)

완전방호식 탱크는 이중 탱크로서 내부탱크와 외부탱크 모두 독립적으로 저온 액체를 저장할 수 있도록 설계되고 시공된 탱크를 말한다. 외부탱크는 내부탱크에서 1~2m 사이에 위치하고, 내부탱크는 정상적인 운전 조건하에서는 저온 액체를 저장하며 외부지붕은 외부탱크에 의해 지지된다. 외부탱크는 내부탱크 파손시 저온 액체를 저장할 수 있을 뿐 만 아니고 LNG의 증발가스를 제어하여 배출시킬 수 있도록 설계되어 있다.

#### (9) 9%니켈강식 저장탱크

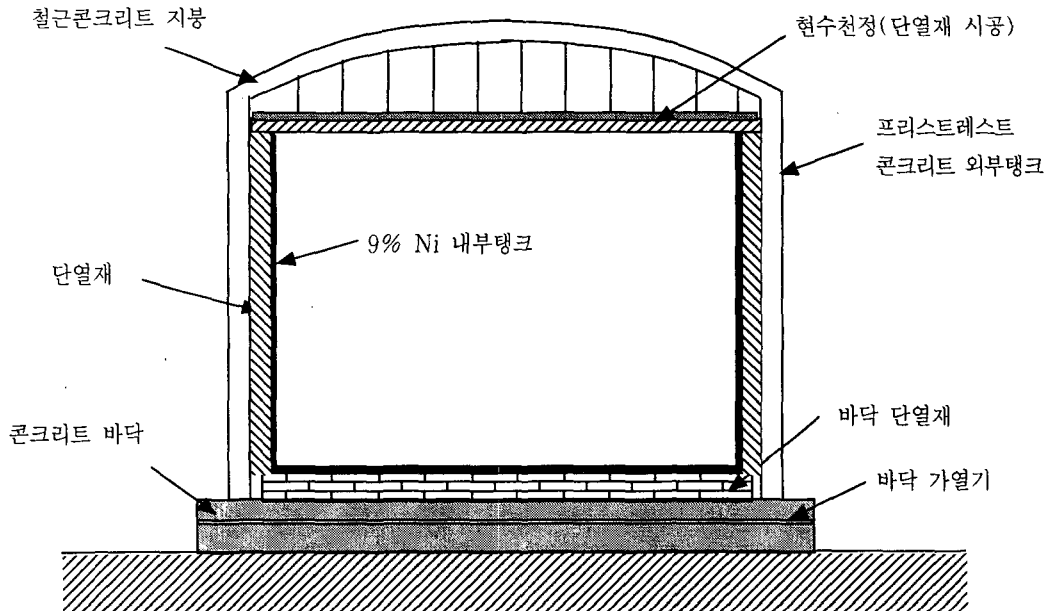
9%니켈강식 저장탱크는 9%니켈강판으로 이루어진 내부탱크와 PC(Pre-stressed Concrete) 구조물 등의 외부탱크로 구성된 이중탱크를 말한다. 9%니켈강은 초저온에서도 인성이 우수하고, 열팽창 계수가 작으며, 고강도 재료임에도 불구하고 가공성과 용접성 등이 우수한 재질이다. 또한, 열팽창 계수가 작기 때문에 열하중 변동에 따른 거동문제를 해결할 수 있고, 동시에 하중을 지지하는 구조물 역할도 수행할 수 있도록 고안된 저장탱크이다. 9%니켈강식 탱크는 시공이 용이하고 내부탱크 자체가 구조물로서 안전성을 확보하고 있다는 장점이 있다. 현재 가동 중인 전세계 생산기지 및 인수기지내의 자기 지형 내부탱크 설치 실적을 고려할 때 대다수의 내부탱크가 9%니켈강으로 이루어져 있으며, 특히, 10만kl급 이상의 대용량에서 전량 사용되고 있다. 이 밖에 내부탱크의 재료로는 알루미늄과 스테인리스강을 사용하는데 이 경우는 주로 중·

소형 저장탱크에 사용되고 있다.

1948년 미국 Ohio Cleveland에서 2.5% 니켈강 탱크가 건설된 이래 초기에는 5% 니켈강 탱크가 건설되었는데 내조가 파손되는 대형 누출사고가 일어난 후 1970년대부터는 9% 니켈강을 내조로 사용한 저장탱크가 주류를 이루었고 9% 니켈강 소재에 대한 제한 때문에 점진적인 대형화가 이루어지고 있다. 현재 일본의 센보꾸기지(Senboku-II)에 18만kl의 대형 저장탱크 1기가 건설되고 있으나 아직은 10만kl와 14만kl 용량의 저장탱크가 주류를 이루고 있다. 9% 니켈강 저장탱크는 멤브레인형에 비해 외국기술선이 다양하며 자조식 내조로 완전방호식 저장탱크의 경우 방류독을 설치하지 않아도 된다는 장점이 있기 때문에 액화기지 및 생산기지의 저장탱크로 각광을 받고 있다.

(10) 멤브레인식 저장탱크(Membrane Type Storage Tank)

멤브레인식 저장탱크라 함은 1.2~2mm 두께의 STS 304 또는 STS 304L 계열 재질의 멤브레인으로 조립된 내부탱크가 정상운전조건에서 LNG와 그 증기 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 기밀방호가 가능한 강제 지붕에 의해서 담겨진다. 금속 멤브레인의 내부탱크와 접하는 LNG의 거동에 의한 작용은 하중을 견디는 단열재를 통해 직접적으로 PC 외부탱크에 전달된다.



<그림 6> 9%니켈강식 저장탱크

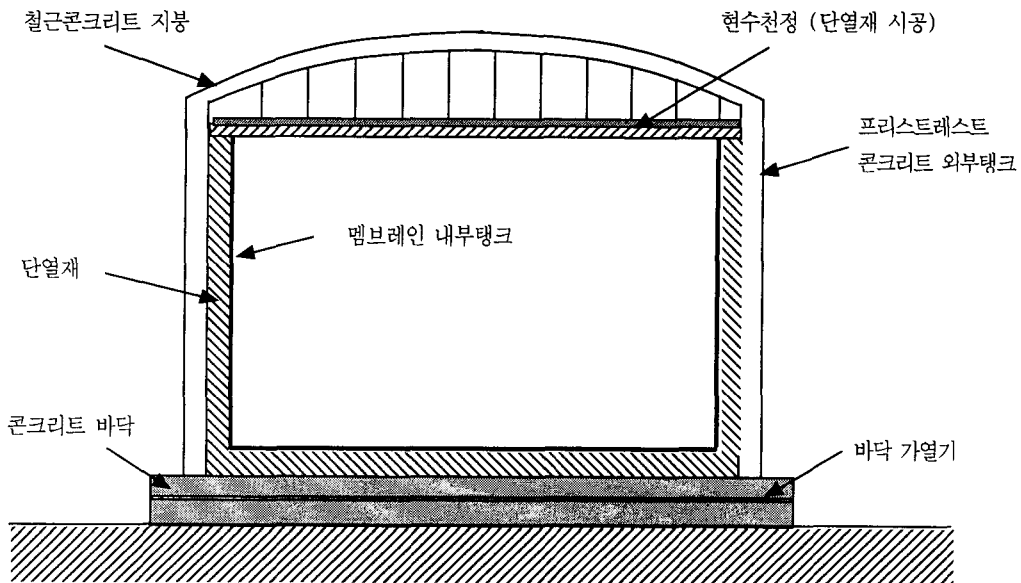
멤브레인형 LNG저장탱크는 멤브레인, 단열재 등 매우 기술집약적인 형식의 저장탱크로 멤브레인 소재 사용에 제한이 없어 저장용량을 대형화하는데 기술적인 문제가 없고 지상식 또는 지하식으로 설계할 수 있는 장점이 있다. 우리나라에서는 프랑스 Technigaz의 기술로 건설된 평택기지 지상식 탱크(10만kl)와 일본 기술선에 의해 건설중인 인천기지 지하식 탱크(14~20만kl)가 대표적이며, 9%니켈강 저장탱크와는 달리 내조가 자조식이 아니기 때문에 지상식의 경우 방류독이 필요하다.

#### 4. LNG저장탱크 국산화 개발현황 및 성과

한국가스공사에서는 1997년부터 LNG저장탱크 국산화 개발을 위한 대규모 프로젝트에 착수

하여 제1단계 사업으로 14만kl급 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 1,000kl급 멤브레인형 Pilot 저장탱크의 내조설계에 적용하였고 14만kl급 멤브레인형



<그림 7> 멤브레인식 저장탱크

저장탱크 설계에도 적용할 예정이다. 이와 아울러 그 동안 수입에만 의존하던 LNG저장탱크용 폴리우레탄 단열재를 국산화 개발하여 인천기지 지하식 LNG저장탱크 13-14호기부터 적용하였고 이어 15~18호 탱크에도 적용할 예정으로 20만kl급을 기준으로 탱크 1기당 약 34억원의 비용절감효과와 약 77억원의 수입대체효과를 기대할 수 있게 되었다.

연구시험용으로 건설되는 Pilot 저장탱크는 1999년 7월에 본격적으로 설계에 착수하여 2000년 6월에 설계를 완료하였다. 이 설계에는 KOGAS형 멤브레인과 국산 단열재를 채용하였으며, 2000년 9월 공사에 착수하여 2001년 12월까지 건설과 시운전을 완료할 예정이다. 또한, 14만kl급 멤브레인형 LNG저장탱크의 설계를 금년 말까지 완료하여 내년부터는 실제 적용하기 위한 준비에 착수할 예정이다.

9%니켈강 LNG저장탱크의 경우 1999년 10월에 설계 프로젝트를 착수하여 금년 2월까지 기본설계와 상세설계를 완료하고 그 결과를 2월 15일 발표하였고, 이 성과를 통영기지 6-7호 탱크 설계에 적용할 예정이다. 그리고 소재부문에서 수입에 의존하던 9%니켈강 소재의 국산대체를 추진하여 두께 10mm 이상의 소재에 대해서는 포항제철에서 조달 가능하게 되어 14만kl급 탱크 1기당 약 10억원의 비용절감효과와 아울러 34억원의 수입대체효과를 얻을 수 있었고, 또한 국산화 개발하여 현재 기술이전 중에 있는 9%니켈강 용접봉의 경우 탱크 1기당 약 1억원의 비용절감효과와 약 7억원 정도의 수입대체효과를 기대할 수 있다. 그 동안 Pittsburgh Corning에서 독점하던 9%니켈강 저장탱크 바닥 단열재 (Foamglas<sup>TM</sup>)의 경우 신규업체를 발굴하여 경쟁을 유도함으로써 탱크 1기당 5억원 정도의 비

용절감효과를 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 돌이켜 볼 수 있는 계기가 되었고 아울러 LNG저장탱크에 대한 기술확보가 반드시 필요하다는 공감대도 형성되어 1997년 이 프로젝트를 착수할 수 있게 되었고 수많은 어려움을 겪어오면서 이제 분명한 결실을 거둘 수 있으리라는 확신을 갖게 되었다. 이 사업의 성과를 통영기지 6-7호 탱크에 적용할 경우 설계 및 감리부분에서만 약 40억원 정도의 예산을 절감할 수 있고, 위에서 언급된 소재부문의 성과 등을 감안하면 향후 10년간 약 500억원의 예산절감효과와 아울러 약 1000억원 이상의 외화절감효과를 기대할 수 있다.

## 5. 향후 기술개발 방향

LNG저장탱크 국산화 개발 제1단계 사업으로 2001년 말까지 KOGAS 표준형 14만kl급 LNG저장탱크(멤브레인식 및 9%니켈식) 설계 기술 및 관련요소기술을 확보하고, 제2단계로는 LNG저장탱크 국산화 개발성과를 국내·외에서 적용할 수 있도록 준비해 나감과 아울러 LNG저장탱크 건설비용을 절감하기 위하여 LNG저장탱크를 18~20만kl급으로 대형화하는 설계기술을 개발하여야 한다.

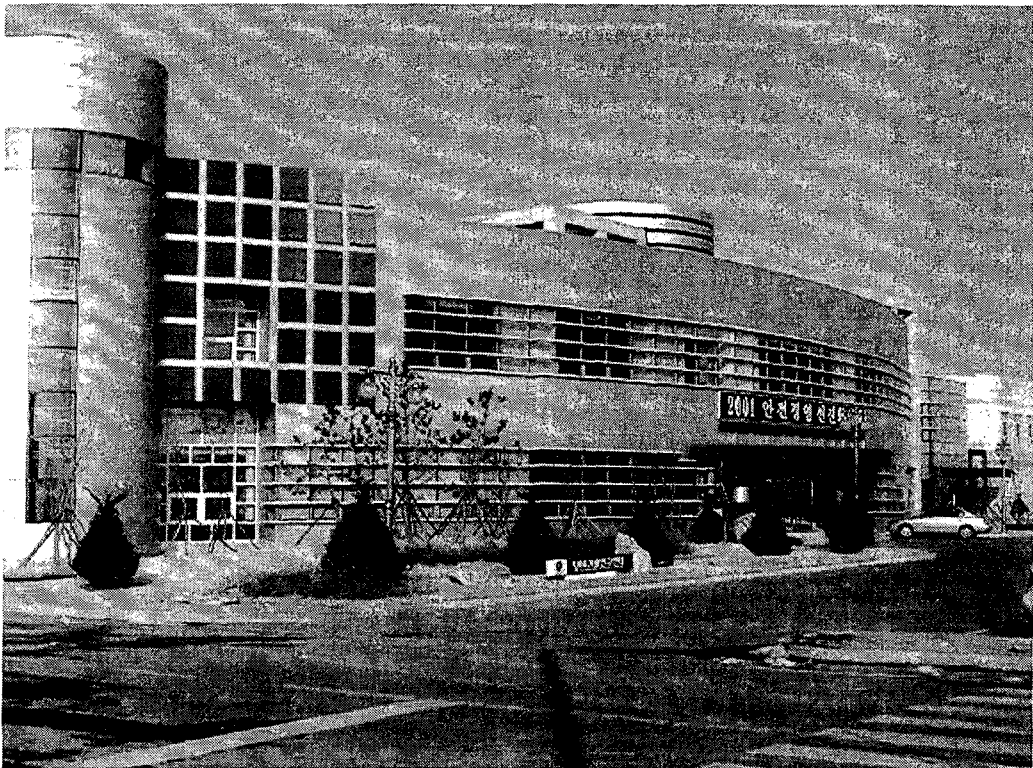
그리고, 연구시험용 Pilot 저장탱크를 활용하여 멤브레인, 단열재 등 주요 요소의 성능검증 및 개선을 추진하고, LNG저장탱크 보유용량의 증가와 더불어 우리공사에 반드시 필요한 기술인

BOG 발생 억제기술을 개발하여 가스수요가 적어 LNG를 비교적 장기간 저장해야하는 하절기에 BOG 발생을 최소화할 수 있는 기술로 500만톤 저장시 10년간 250~350억원 정도의 비용절감효과를 기대할 수 있다. 장기적으로는 LNG저장탱크의 잔존수명을 평가하고 예측할 수 있는 기술을 확보하여 이를 토대로 LNG저장탱크의 수명을 획기적으로 연장하기 위한 기술개발을 추진하여야 한다. LNG저장탱크의 수명을 1.5배로 연장할 경우 2010년까지 건설되는 탱크에 대하여 수명연장에 대해서만 감안하더라도 약 1조8천억원의 건설비용 절감효과를 기대할 수 있다.

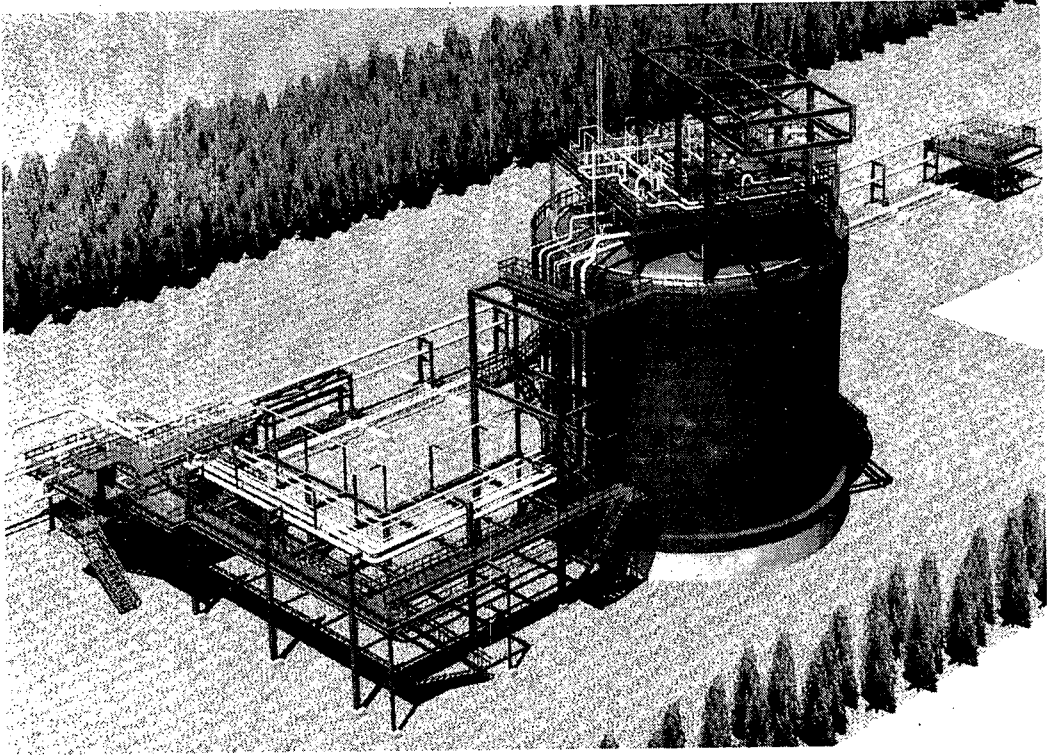
위에서 살펴본 바와 같이 LNG저장탱크 관련 기술은 비용절감 및 수입대체 측면에서 그 파급효과가 매우 크기 때문에 항시 해외 기술동향을 파악하고 장기적인 관점에서 체계적으로 기술개발을 지속해 나가야 한다.

#### [첨부 그림]

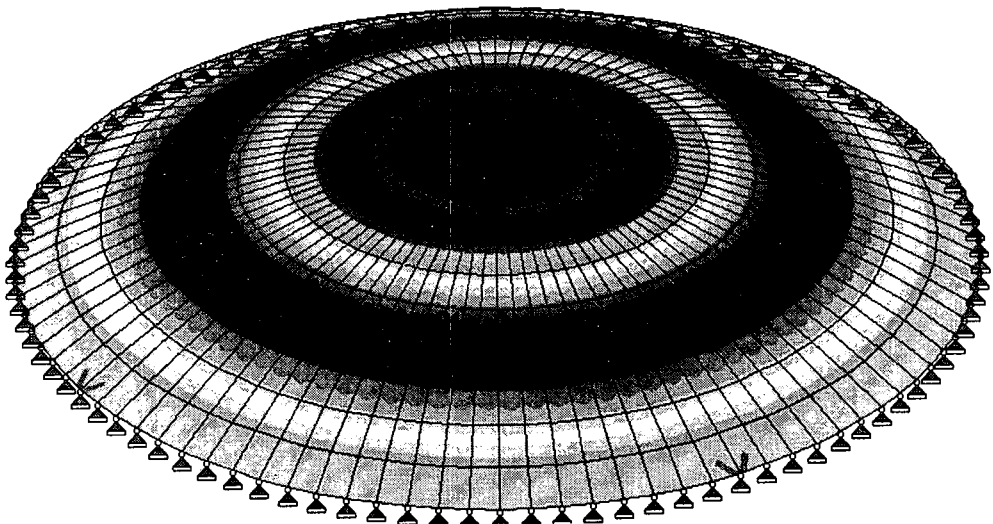
1. 인천생산지내에 있는 LNG기술연구센터 전경
2. 인천생산지내에 건설중인 연구시험용 Pilot LNG저장탱크 전경
3. 설계완료된 140,000m<sup>3</sup> 9%니켈강 LNG저장탱크 개략도
4. LNG저장탱크 지붕구조물에 대한 응력해석 결과



인천생산지내에 있는 LNG기술연구센터 전경



인천생산기지에 건설중인 연구시험용 Pilot LNG저장탱크 전경



LNG저장탱크 지붕구조물에 대한 응력해석 결과