特輯 : 지상식 LNG탱크의 용접기술

액화천연가스 저장탱크의 현황 및 전망

홍 성 호*

Present Status and Prospect of LNG Storage Tank

Hong, Seong-Ho*

1. 머 리 말

환경문제가 세계적으로 초미의 관심사로 대두됨에 따라 청정연료이며, 고효율 에너지원으로서의 천연가스역할은 다른 어떤 에너지원보다 중시되고 있다. 산업용, 가정용 연료 및 자동차 연료의 대체 에너지로서 가채 매장량이 풍부하고 매장지역도 전 세계에 고르게 분포되어 석유처럼 분쟁의 원인이 없기 때문에 전 세계적으로 천연가스의 사용량은 급격한 증가 추세에 있다. 특히 우리나라 천연가스의 수입량 및 공급량은 경제의 급속한 성장과 더불어 전반적인 소득 수준의 향상으로 에너지의 선호 체계가 선진국형 에너지인 천연가스로 바뀌어감에 따라 한국가스공사는 가스의 장기 안정적 공급으로 국민생활의 편익증진 및 공공복리 향상에 기여하고자 1983년 8월 설립되어 1986년 10월에 국내 최초로 액화천연가스(LNG)를 도입하였고 동년 11월 발전용 천연가스의 공급을 개시로 1987년 2월부터 수도권 도시가스 공급을 시작하였으며 동년 4월에는 평택인수기지 및 공급설비를 준공하였다. 주요설비로는 경기도 평택에 위치하고 있는 인수기지(부지 : 18만5천평)에 10만 m^3급 지상식－MEMBRANE PC(Prestessed Concrete)형식의 액화천연가스 저장탱크 6기, 하역, 기화 및 송출설비를 갖추고 있으며 평택인수기지에 10만 m^3급 지상식－MEMBRANE PC형식의 액화천연가스 저장탱크 1기와 인천 인수기지(30만평)에 10만 m^3급 지상식－자립식 내부탱크(9% Ni강)/PC 외부탱크형식의 액화천연가스 저장탱크 3기를 건설중 이다.

또한 인수기지로부터 발전 및 도시가스용 천연가스 수송을 위한 441km(수도권 및 중부권)의 간선 배관망과 24개소의 공급기지, 도시가스사에 천연가스 공급을 위한 157km(수도권 및 중부권)의 공급지관(주배관에서 분리된 배관)과 11개소의 공급기지, 인수기지 및 배관망 원격감시, 생산 및 공급과정 제어 통제를 위한 중앙통제소를 보유하고 있다.

1992년 9월 현재 전 세계적으로 운전 중(건설포함)인 액화 및 인수기지의 LNG 저장탱크는 지상식－이중벽 금속 탱크, 지상식－멤브레인 PC 탱크, 지상식－자립식 내부탱크/PC 외부탱크, 피트식－RC (Reinforced Concrete) 보강둑 탱크, 피트식－이중벽 금속탱크, 피트식－자립식 내부탱크/PC 외부탱크 및 지하식 탱크의 7가지 유형으로 나타낼 수 있다.

또한 액화천연가스를 저장하는 내부탱크 소재에 따라 9%Ni강 및 MEMBRANE(SUS304) 형식으로 대별할 수 있다. MEMBRANE 저장탱크 형식의 핵심기술인 MEMBRANE은 －162℃의 LNG에 의한 열수축팽창에 견딜 수 있도록 스테인레스강판(SUS 304)을 사용하여 기하학적으로 특이한 주름진 형상을 갖도록 설계되었으며 주름형상에 따라 프랑스의 테크니가즈(Technigaz), 일본의 가와사끼(Kawasaki), 미쓰비시 (Mitsubishi), 이시가와지마하리마 (Ishikawajima-Harima)사의 멤브레인과 세계에서 3번째로 한국가스공사 연구개발원이 개발한 링마디식 멤브레인으로 구별할 수 있다.

* 비회원, 한국가스공사 연구개발원

본 해설에서는 국내의 전국 천연가스 공급사업계획 및 건설현황을 검토하고 최근 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 액화천연가스 저장탱크의종류를 용량별, 년도별로 분석하여 전 세계의 액화천연가스 저장탱크에 관해 소개 하겠다.

2. 전국 천연가스 공급사업 개요

전국 천연가스 사업계획 수립을 위하여 우선적으로 전국 주요 도시에 천연가스 공급목표를 세우고, 제반 여건을 감안한 수요전망을 예측하고, 이에 따라 수요에 맞춘 도입계획을 세워, 전국 공급설비 건설계획을 수립하였다.

이 계획은 2006년까지의 장기계획이므로 여건의 변화에 따른 신축성있는 수정을 필요로 하게 된다. 또한 천연가스 장·단기 수요예측은 경제성장률등 내·외적 변수가 많아 정확한 예측이 어려우며 우리나라와 같이 경험이 일천하고, 사업초기의 빠른 성장기에 있는 경우는 더욱 어렵게 된다. 따라서 한국가스공사에서는 2~3년에 한 번씩 여건변화를 감안하여 수요를 예측하기로 하였으며, 그에 따라 도입 및 건설계획을 탄력적으로 수정해 나가고 있다.

다음에서는 90년 4월 수립된 기본계획을 기초로 하여, 그 이후 일부 수정된 부분을 포함한 94년말 수립된 계획을 간략히 살펴본다.

2.1 장기천연가스수급계획

2.1.1 공급목표

도시가스용 천연가스는 표 1에서와 같이 2006년까지 보급률을 공급대상지역 전체가구의 72%까지 제고키로 하였으며, 발전용은 전체 발전설비 중 LNG 설비비중을 20%까지 제고하되 전력수급계획에 따라 탄력적으로 조정하고, 계절별 수요 평준화를 위하여 가능한 한 비수기에 많이 사용토록 하였다.

표 1. 도시가스(천연가스)보급률 (단위 : 천 가구)

구 분	'94	'96	2000	2006
총 가구수	6,759	9,054	10,535	11,305
보급 가구수	2,589	4,359	6,341	8,193
보 급 율(%)	38.3	48.1	60.2	72.4

2.1.2 수요 전망

표 2의 천연가스 수요전망자료에 의하면 2006년의 수요는 1,548만 톤으로 90년 대비 5.7배 수준에 이를 전망이며, 전체 에너지중 천연가스가 차지하는 비중은 90년의 3.2% 수준에서 2006년에는 18.3%로 높아지게 될것으로 예상된다.

표 2. 천연가스 수요 전망 (단위 : 천 톤, %)

구 분	'95	'96	2000	2006	구성비	연평균 증가율
도시가스용	3,340	4,135	6,635	9,205	59.4	10
발 전 용	3,113	4,774	4,961	6,279	40.6	6
계	6,453	8,909	11,596	15,484	100	8

2.1.3 도입계획

'92년말 현재 장기 LNG 계약에 의해 인도네시아로부터 연 430만 톤, 말레이지아로부터 연 200만 톤이 확보되어 있으나, '94년 이후 추가 소요물량에 대해서는 신규확보가 필요한 실정이며 표 3은 1995년 부터 2006년까지의 LNG 물량 확보계획을 설명한 것이다.

한국가스공사는 LNG도입물량 확보시에 도입 안정성과 경제성을 조화시키고, 천연가스 도입계약조건의 지속적인 개선을 추진하며, 천연가스 수입국과의 긴밀한 협력 관계 유지로 수입자 입지를 강화해 나간다는 기본방침 아래 장기적으로 도입선을 3개국 이상으로 다변화하여 특정국가에 대한 도입량을 40% 수준으로 유지토록 하고 있다. 또한 안정성과 경제성을 조화시키기 위해 도입형태를 다원화하여 장기계약, 단기계약, 개발도입의 적정성을 도모하고 있으며, 보다 장기적으로는 사하에서의 배관에 의한 가스 도입도 검토해 나가기로 하였다.

표 3. LNG 물량 확보 계획 (단위 : 천 톤)

구 분	'95	'96	'97	2000	2006
수 요	6,552	8,177	9,966	10,631	14,183
확 보	6,552	8,177	9,966	6,300	6,300
추가도입수요	–	–	–	4,331	7,883

3. 전국 천연가스 공급사업 건설 현황

'90년 4월 수립된 전국 천연가스 공급사업의 일환으로 추진되고 있는 설비건설사업은 계획 당시

표 4. '94년말 까지 공급설비건설 추진 현황

구 분	사 업 내 역	'94 추 진 실 적
평 택 인수기지 (1차확장)	◦ 시설규모 : 탱크3기 및 부대설비 ◦ 사업기간 : '89.11~'95.12 ※ #1,2,3탱크 기준공('83.2~'86.5) ※ #4탱크 기준공('87.7)	◦ 누계공정 : 93% - #6탱크 준공 및 상업운전 개시('94.11) - #7탱크 : 본체 및 내부공사시공(공정 56%) ※ #5탱크 기준공('93.11)
인 천 인수기지 건 설	◦ 시설규모 : 탱크3기 및 부대설비 ◦ 사업기간 : '90.10.~'96.12	◦ 누계공정 : 61% - 호안 및 진입도로 축조 완료 - 진입도로 및 부지조성 완료 - #1,2,3탱크 본체 시공중 - 접안설비 시공중(70%)
신 도 시 공 급 설비건설	◦ 시설규모 : 배관 159km 및 공급기지 13개소(분당, 평촌, 일산) ◦ 사업기간 : '89.12~'94.12	◦ 배관 및 공급기지 12개소 완료 ◦ 공급기지 1개소 공사 진행중
중 부 주 배 관 건 설	◦ 시설규모 : 배관 152km 및 공급기지 10개소(평택~대전) ◦ 사업기간 : '89.12~'94.12	◦ 배관건설 완료 ('94.7월 청주지역 천연가스 공급 개시) ◦ 대전관로사무소 신축공사 완료 ※ 대전, 천안 천연가스 공급('93)
영·호남 주 배 관 건 설	◦ 시설규모 : 배관 676km 및 공급기지 47개소 - 영남권 : 462km - 호남권 : 214km ◦ 사업기간 : '90.9~'96.3	◦ 배관건설 - 영남권 : 150km(누계 : 353km) - 호남권 : 83km(누계 : 207km)
남 부 주 배 관 건 설	◦ 시설규모 : 배관 260km 및 공급기지 17개소 ◦ 사업기간 : '90.9~'98.9	◦ 세부설계 진행중
경 인 주 배 관 보 강	◦ 시설규모 : 배관 67km 및 공급기지 7개소(반월~율도) ◦ 사업기간 : '92.5~'95.12	◦ 배관건설 : 9.4km(누계 : 64.5km) ◦ 가좌~율도 배관공사 완료 ◦ 공급기지 6개소 완료

예측하지 못했던 상황이 발생하여 많은 어려움을 겪었다. 특히 국내외 금융시장의 경색으로 '92년 기준 2조 3000억원에 달하는 막대한 투자비 조달이 가장 큰 문제가 되었는데, 이에 대하여 한국가스공사는 석유사업기금, 산은시설자금 등 정책자금을 적극 확보하고, 자체자금 조달능력을 제고시키며, 외부자금 조달원을 다원화하는 등 여러가지 방안을 연구 추진하여 '92년에는 신도시 배관건설이 완료되어 분당·평촌·일산·중동·산본 등 수도권에 천연가스를 공급 개시하였으며, 중부권 배관도 계획대로 건설되어 '93년 7월 16일 중부권 천연가스 공급망 준공식을 가졌다.

표 4에서와 같이 '94년말 현재 평택인수기지에 LNG저장탱크 6기를 완공하였고 제7호기를 공사중에 있다. 인천 인수기지에는 탱크3기 및 부대설비를 건설중이며 신도시 공급설비, 중부 주배관, 영·호남 주배관, 남부 주배관 건설에 박차를 가하고 있으며 경인 주배관 보강에 주력하여 안전하고 안정된 가스 공급을 위해 심혈을 기울이고 있다.

4. 전세계 액화 천연가스 저장탱크 현황

4.1 개 요

LNG 저장탱크의 기본적 역할은 정기적으로 LNG를 산지로부터 받아 LNG를 재기화하여 수요자에게 보낼때까지 안전하게 저장하는것이다. 이러한 역할을 LNG 저장탱크가 안전하게 수행하기 위하여 아래와 같은 주요 4가지 관점에 중점을 두어 설계되어야 한다.

○ LNG의 누출 방지 기능
○ 외부로 부터의 열유입 최소화
○ 탱크내 Gas가 외부로 누출방지, 공기와 물등이

내부로 유입방지 및 밀봉 기능
○ 탱크 파손시 가능한 손실이 적어야 한다.

4.2 LNG 저장탱크의 종류

1992년 9월 현재 운전중(건설 포함)인 액화 및 인수기지의 LNG 저장탱크의 유형을 살펴보면 그림 1에서 그림 7과 같이 7가지 형태로 구별할 수 있다.

○ Type 1 : 지상식－이중벽 금속 탱크
○ Type 2 : 지상식－멤브레인 PC(Prestressed Concrete) 탱크
○ Type 3 : 지상식－자립식 내부탱크/PC 외부탱크

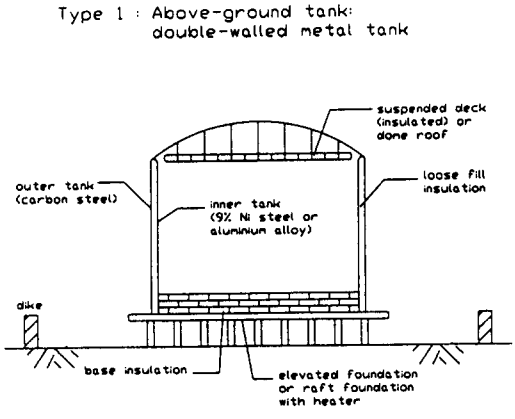

그림 1. 지상식－이중벽 금속탱크

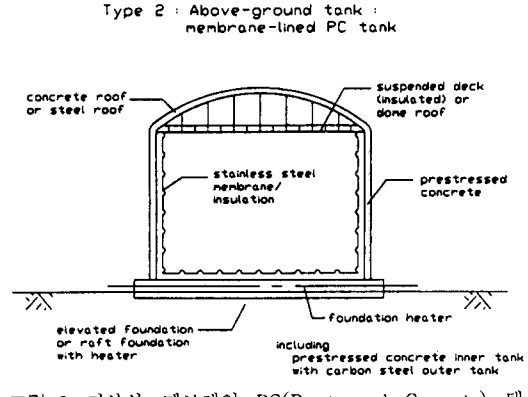

그림 2. 지상식－멤브레인 PC(Prestressed Concrete) 탱크

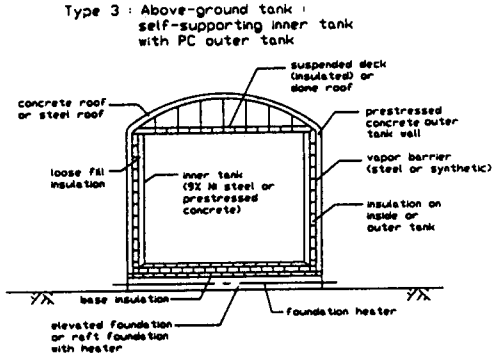

그림 3. 지상식－자립식 내부탱크/PC 외부탱크

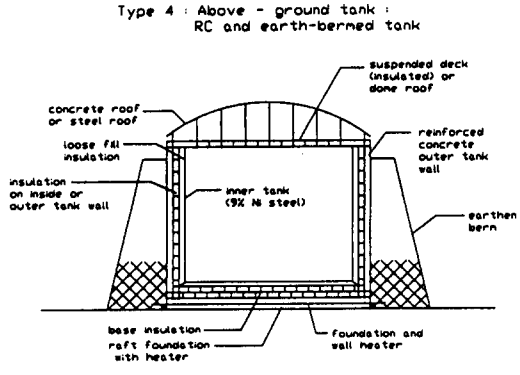

그림 4. 피트식－RC(Reinforce Concrete) 보강둑 탱크

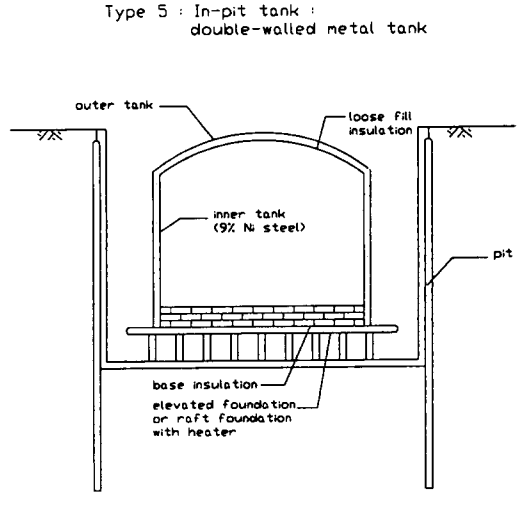

그림 5. 피트식－이중벽 금속탱크

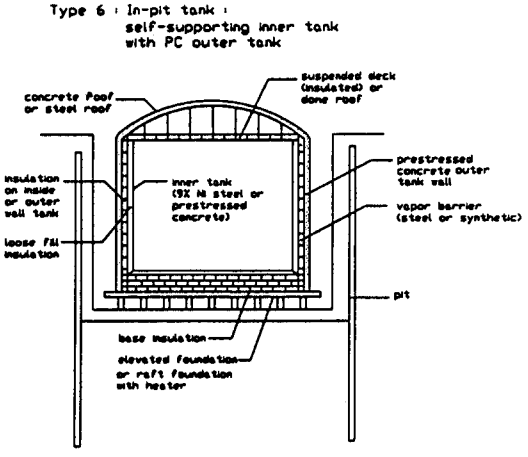

그림 6. 피트식-자립식 내부탱크/PC 외부탱크

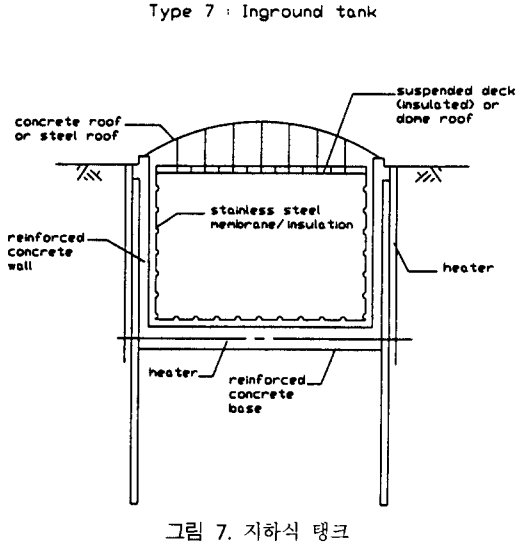

그림 7. 지하식 탱크

- Type 4 : 피트식-RC (Reinforced Concrete) 보강둑 탱크
- Type 5 : 피트식-이중벽 금속탱크
- Type 6 : 피트식-자립식 내부탱크/PC 외부탱크
- Type 7 : 지하식 탱크

4.3 LNG 저장 탱크용량

저장용량별 설치비율 현황은 표 5의 저장용량별 년도별 저장탱크 기수현황에서 보여주듯이 저장용량 60,000m³ 미만이 20%, 저장용량 60,000이상-100,000 m³ 미만 규모가 63%, 저장용량 100,000m³ 이상이 17 %이다.

표 5. 저장용량별 년도별 저장탱크 기수현황 (단위 : 기)

용 량 (×10³m³)	건 설 년 도				합 계
	1963-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1996	
40미만	15(71.4%)	4(4.7%)		1(2.7%)	20(8.3%)
40이상	6(28.6%)	19(22.4%)	2(2.1%)		27(11.3%)
60미만		43(50.6%)	30(30.9%)	5(13.5%)	78(32.5%)
60〃 80〃		12(14.1%)	46(47.4%)	16(43.2%)	74(30.8%)
80〃 100〃		3(3.5%)	9(9.3%)	6(16.2%)	18(7.5%)
100〃 120〃		4(4.7%)	9(9.3%)	5(13.5%)	18(7.5%)
120〃 140〃			1(1.0%)	4(10.8%)	5(2.1%)
140이상					
계	21(100%)	85(100%)	97(100%)	37(100%)	240(100%)

LNG 저장탱크 용량별 최근 추세 및 현황을 알아보면 1990년 이후 대용량(100,000m³이상) 탱크 설치추세이며 전체의 40%에 상당하다. 현재까지 최대용량인 140,000m³ 지상식 탱크가 건설중이며 140,000m³ 용량의 지하식탱크 2기가 운전중이며 또한 지하식 200,000m³ 용량탱크가 현재 건설중이다.

'95년 현재 미국 Preload사에 의해 9% Ni강을 이용한 지상식 250,000m³ 용량탱크에 관한 연구가 소개되었다.

4.4 LNG 저장탱크 형식현황

탱크형식에 따른 최근 추세현황은 표 6에서와 같이 Type 1은 감소추세, Type 3과 Type 7은 증가추세이며 1980년대 이후 여러가지 탱크형식이 설계진행중이다. 표 7은 국가별 탱크형식별 현황을 나타내고 있는데

표 6. 탱크형식별 점유율 현황 (단위 : 기)

형 식	건 설 년 도				합 계
	1963-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1996	
Type 1	18(85.7%)	66(4.7%)	46(47.4%)	13(35.1%)	143(59.6%)
Type 2	2(9.5%)		6(6.2%)	2(5.4%)	10(4.2%)
Type 3		1(1.2%)	7(7.2%)	4(10.8%)	12(5.0%)
Type 4			8(8.2%)	1(2.7%)	9(3.8%)
Type 5				1(2.7%)	1(0.4%)
Type 6			3(3.1%)	2(5.4%)	5(2.1%)
Type 7			27(27.8%)	14(37.8%)	60(25.0%)
계	21(100%)	85(100%)	97(100%)	37(100%)	240(100%)

일본이 전세계 Type 1탱크의 59.4%, Type 7 탱크의 88%를 차지하고 있는 실정이다.

표 7. 탱크형식별 점유율 현황 (단위 : 기)

지 역	국 가	LNG 저장탱크 형식							계
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	
아프리카	알 제 리	14						1	15
	리 비 아	2							2
아메리카	미 국	15							15
아 시 아	브루나이	3		2					5
	인도네시아	10						53	10
	일 본	85		1		1		6	140
	한 국		6						6
	말레이시아				5				5
	대 만	30							6
	터 어 키								3
	U. A. E			3					3
유 럽	벨 기 에						3		3
	프 랑 스	2	2	2			3		6
	그 리 스						2		2
	이탈리아	2							2
	스 페 인	1	2	4					7
	영 국	6							6
대양주	호 주				4				4
계		143	10	12	9	1	5	60	240

4.5 건설기간 현황

표 8 은 LNG 저장탱크 형식별 건설기간을 나타내는 것으로서 건설기간이 탱크형식 선정에 중요한 요인이 된다. 탱크형식별, 용량별 건설기간 현황은 표 8에서와 같이 탱크용량이 클수록 건설기간이 증가하는 추세이나 상관관계는 불명확하며 지역여건, 지반조건, 노동력여건, 탱크사양등이 상이함으로 건설기간이 분산됨을 보여주고 있다.

표 8. LNG저장탱크 형식별 건설기간 (단위 : 개월(평균))

용량 ($\times 10^3 m^3$)	LNG 저장탱크형식						
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
40미만	12-29 (20.3)					(17.7)	13-24
40이상 60미만	15-37 (28.9)	24 (20.0)	32 (32)			(40.5)	36-45
60이상 80미만	18-49 (30.4)		26-28 (27)	24.5-30 (27.6)			19-46 (36.4)
80이상 100미만	15-42 (3.12)		35-48 (45.4)		52 (52)	44-46 (44.7)	34-49 (43.4)
100이상 120미만	17.5-48 (26.1)	24-46 (39.3)	32 (32)			(44)	42-46
120이상 140미만	23-28 (26.5)	40-45 (42.5)	32 (32)			(47.9)	44-52
140이상			42 (42)			(45.5)	42-50

5. 결 론

한국가스공사는 가스의 장기 안정적 공급으로 국민생활의 편익 증진 및 공공복리 향상에 기여하고자 2006년까지 도시가스용 천연가스 보급률을 공급대상 지역 전체가구의 72%까지 제고할 계획이다.

2006년의 천연가스 수요는 1,548만톤으로 전망하며 이러한 물량을 안정되게 공급하기 위해 제3인수기지 건설을 포함하여 총 35기의 LNG 저장탱크를 확보할 계획을 갖고 있다. 9% Ni강을 이용한 저장탱크의 최대 제한 용량이 150,000m^3으로 학계에 보고가 되었으나 미국의 Preload사가 95.7월 LNG11학회에 발표한 논문에 의하면 250,000m^3 까지도 가능하다고 소개되었으며 표 5 에서와 같이 향후 전세계 LNG 저장탱크의 용량은 대용량 추세이다.

표 6에 의하면 LNG저장탱크의 형식은 전세계 탱크의 59.6%를 차지하고 있는 지상식 이중벽 금속탱크가 최근 감소 추세이며 지상식-자립식 내부탱크/PC외부탱크와 지하식탱크가 증가 추세이다. 한국가스공사는 평택인수기지에 10만 m^3 급 지상식-MEMBRANE PC형식의 액화천연가스 저장탱크를 평택인수기지에 6기를 가동하고 있고 동일기종의 탱크 1기를 건설중에 있으며 향후 3기를 같은 형식으로 평택인수기지에 건설할 예정이며 인천 인수기지의 경우 10만 m^3 급 지상식-자립식 내부탱크(9% Ni강)/PC 외부탱크형식의 액화천연가스 저장탱크 3기를 현재 건설중이다. 향후 우리나라의 탱크용량 및 형식은 한국가스공사 연구개발원의 연구결과와 인수기지 제반여건에 의해 결정될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1) 한국가스공사 홍보실, 1993, 한국가스공사 십년사
2) S. Goto, Y. Saba, A. Kamiya and M. Shibuya : 1989, "Present Status of LNG Inground Tank Technology in Jan", LNG-9

3) International Gas Union : "The State of the art of LNG Storage"
4) Nicholas A. Legatos, Tadeusz J. marchaj, John J. Closner, Stanley E.Handman : "Very Large Prestresses Concrete LNG Tanks", LNG－11, Paper 3.9