

LNG 탱크 국산화 개발성과

2002년 가스학회 추계 학술발표회

2002. 10. 11

한국가스공사 연구개발원

R&D division, KOGAS

목 차

- LNG 탱크 국산화개발 사업
- 핵심요소 기술개발
- PILOT LNG 저장탱크
- 9%니켈형 LNG 저장탱크
- 멤브레인형 LNG 저장탱크
 - PC 콘크리트 외조
 - 멤브레인 내조시스템
- 사업성과 및 향후추진계획

LNG탱크 국산화 개발사업

□ 사업목표

- ✓ LNG탱크 관련 핵심요소기술의 내재화를 통한 저장탱크의 설계, 시공, 감리 및 운영기술 자립

□ 사업기간 : 1997.1 ~ 2002.6 (5.5년간)

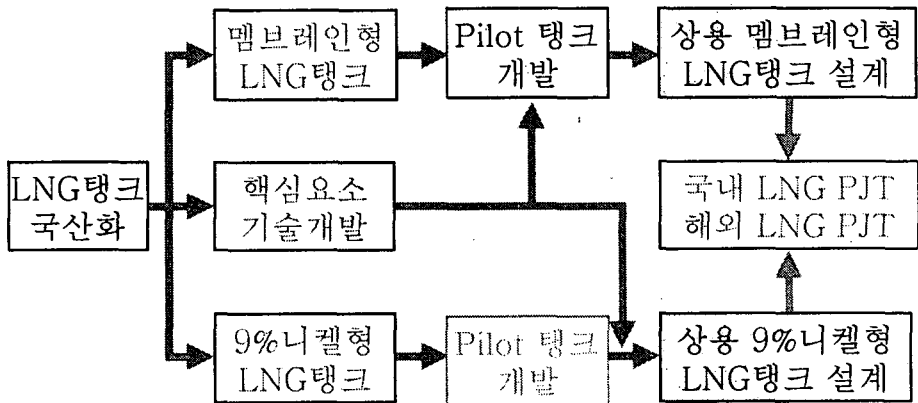
□ 총사업비 : 374억원 (실집행액 303억원)

□ 주요사업내용

- ✓ LNG탱크 관련 핵심요소기술 개발
- ✓ Pilot LNG저장탱크 개발·건설을 통한 성능과 안전성 검증

✓ 상용 LNG저장탱크 국산화 개발 (멤브레인형, 9%니켈형)
 한국가스학회 2002-10월
 한국가스공사 연구개발원 LNG Tank Technology

국산화 추진방향



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

핵심요소기술개발

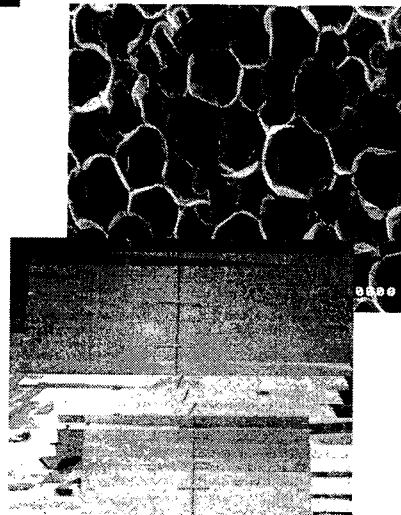
- LNG저장탱크용 단열재 개발
- LNG저장탱크용 멤브레인 개발
- 멤브레인 내조시스템 설계기술 개발
- 9%니켈강 용접봉 개발
- BOG 발생을 예측 프로그램 개발
- 동특성 해석에 의한 내진설계 프로그램 개발
- LNG저장탱크 ROOF 구조해석 및 설계기술 개발
- LNG저장탱크 Internal Pipe 설계프로그램 개발
- LNG저장탱크 열유동 해석

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

PUF 단열재

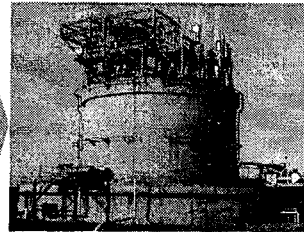
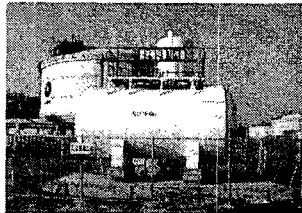
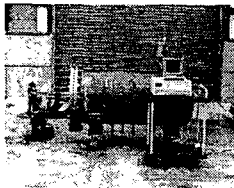
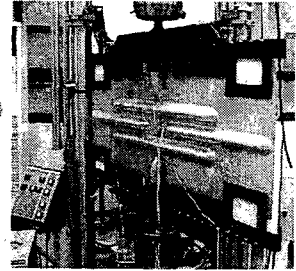
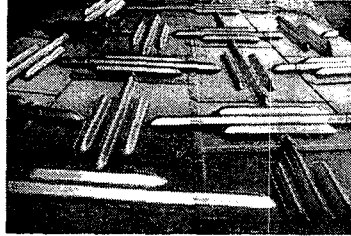
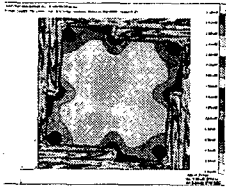
- 10등급 PUF단열재 국산화
(46~128 kg/m³)
- 국제특허취득 : 일본('00.6),
프랑스('01.11)
- 기술이전 : (주)화인텍('00.7)
- 인천 #13~18탱크에 적용
- Cyclopentane, HFC 발포
친환경 PUF단열재 개발



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

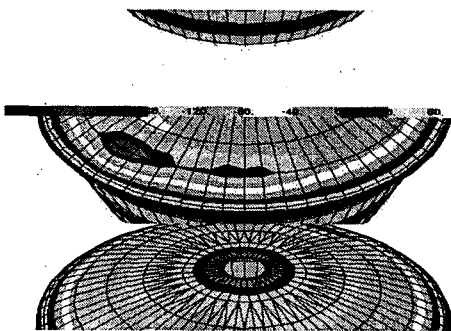
멤브레인 개발



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

유한요소해석기술



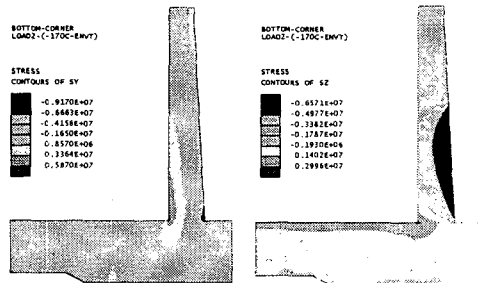
*Stress Analysis
for Tank Roof*

한국가스학회
2002-10-11

BOTTOM-CORNER
LOADS (-1.370C+EMV1)

STRESS
CONTOURS OF SY

1	-0.9170E+07
2	-0.8683E+07
3	-0.8198E+07
4	-0.7712E+07
5	-0.7226E+06
6	0.3364E+07
7	0.5870E+07



BOTTOM-CORNER
LOADS (-1.370C+EMV1)

STRESS
CONTOURS OF SZ

1	-0.8571E+07
2	-0.4877E+07
3	-0.3382E+07
4	-0.1787E+07
5	-0.1970E+06
6	0.1402E+07
7	0.2894E+07

*Stress Contours Sy and Sz
for Outer Tank Bottom Corner*

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

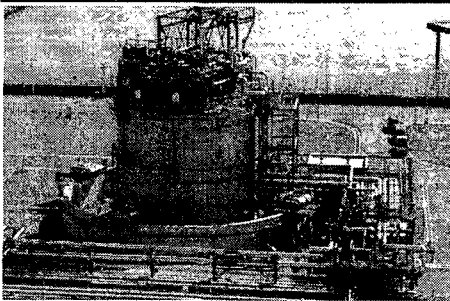
PILOT 저장탱크 건설목적

- PILOT 저장탱크 건설을 통한 상용 LNG 탱크 설계, 시공 및 운영기술 개발
 - LNG저장탱크 대형화 및 경제적 설계능력 확보
- KOGAS 멤브레인, 단열재의 성능시험·평가
 - LNG저장탱크 설계개선 및 성능향상
- LNG 저장거동 연구를 통한 LNG저장탱크 최적운영기술 및 BOG 발생억제기술 개발
- PILOT 저장탱크에서 획득되는 데이터를 기초로 LNG 탱크의 잔류수명예측기술 확립
 - LNG저장탱크 수명연장기술 개발

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

PILOT 저장탱크 특징 및 제원교



- ◆ PILOT 저장탱크 특징
 - 국내기술로 완성된 최초의 LNG탱크
 - KOGAS 개발 멤브레인, 단열재 적용
 - 멤브레인 거동연구 응력측정장치 장착
 - 연구시험용 LNG충전장치 8종 장착가능
 - 세계 유일의 연구시험용 LNG저장탱크

한국가스학회
2002-10-11

- ◆ PILOT 저장탱크 제원
 - 형식 : 고상식, 멤브레인형, 현수천정
 - 내조 : STS 304 membrane, 2mmt
 - ✓ 내경 13.76m, 높이 10.92m
 - ✓ KOGAS 개발 멤브레인, 단열재 적용
 - 외조 : PC 콘크리트 (두께 600mm)
 - ✓ 외경 15.38m, 높이 14.21m
 - 저장용량 : 1,020m³ (총 1,300m³)
 - 운전액위 : 1.5~8.81 m
 - 설계압력 : -5~450 mbarg
 - 운전압력 : 50~350 mbarg
 - LNG증발율 : 0.53vol%/일
 - LNG Pump : 50m³/h x 2대, 15bar

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

9%니켈형-멤브레인형 탱크 비교

항 목	9%니켈형	멤브레인형	비 고
저장용량	Net 140,000m ³	Net 140,000m ³	150,000m ³
내조재료	9%니켈강	STS 304 멤브레인	
외조재료	PC 콘크리트	PC 콘크리트	Liner
지붕구조	강제돔+ RC콘크리트	강제돔+ RC콘크리트	
바닥형식	Brine Heating	Brine Heating	
천정형식	Suspended Deck	Suspended Deck	
벽체단열	Perlite+ FiberGlass	PUF	
바닥단열	Cellular Glass	PUF	
천정단열	Fiber Glass	Fiber Glass	

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

상용 9%니켈형 LNG저장탱크

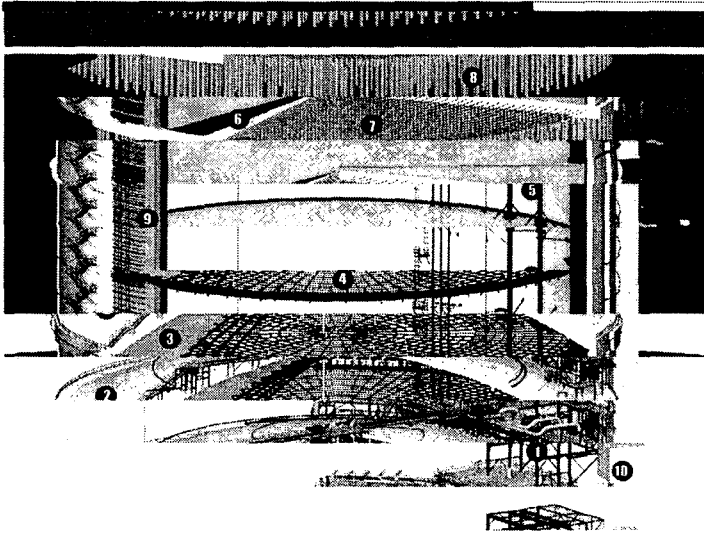
- ✓ 탱크형식 : 지상식, 완전방호식, 저부가열식, 현수천정형
- ✓ 저장용량 : Net 140000m³, Gross 150000m³
- ✓ 탱크내조 : 9%니켈강, 내경 80m, 높이 31.62m
- ✓ 탱크외조 : PC콘크리트, 외경 84.8m, 높이 45.44m
- ✓ 설계압력 : 290mbar (운전압력 210mbar)
- ✓ 최대운전액위 : 29.95m (설계액위 30.25m)
- ✓ 증발율: 0.075vol%/day

-
- ✓ 통영기지 #6~10 탱크 설계에 적용
 - ✓ 예산 120억원, 외화 210억원 절감

한국가스학회
2002-10-11

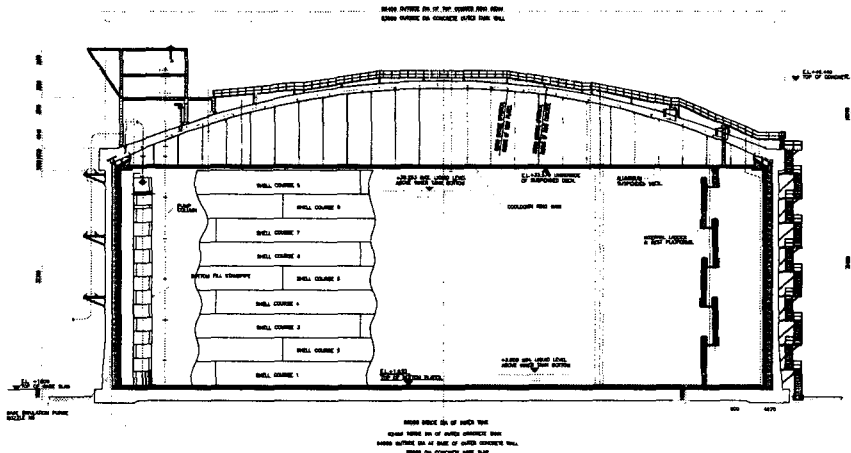
한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

상용 9%니켈형 LNG저장탱크



- ◆ Hoist
- ◆ Concrete Roof
- 3. Steel Dome
- 4. Suspended Deck
- 5. LNG Pump
- 6. Bottom Insulation
- 7. Brine Heating Sys
- 8. Tank Piles
- 9. Prestress Tendon
- 10. Elevator

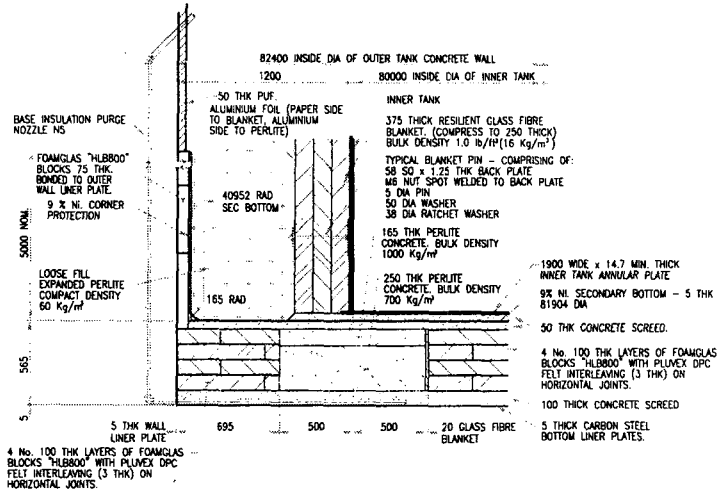
9%니켈형 LNG저장탱크 단면



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

9%니켈형 저장탱크 단면구조



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

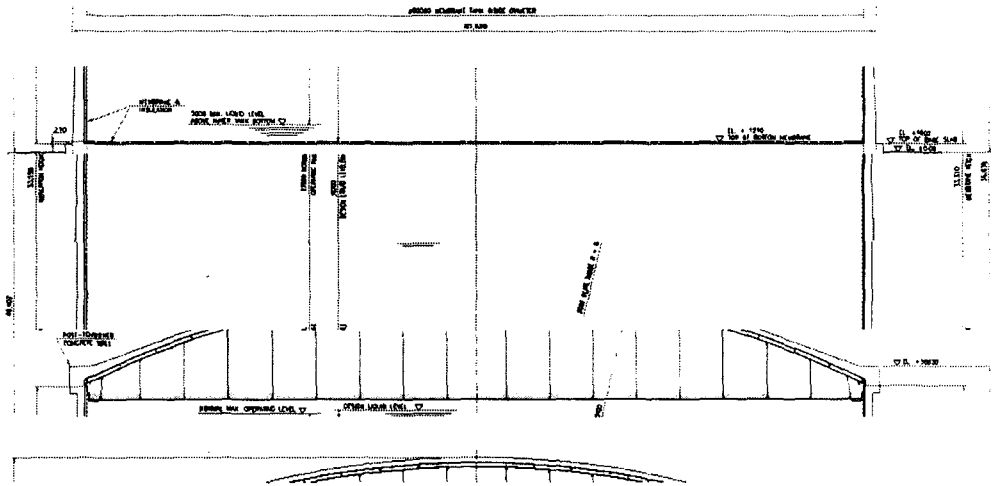
상용 멤브레인형 LNG저장탱크-설계개요

- ✓ 탱크형식 : 지상식, 멤브레인형, 저부가열식, 현수천정형
- ✓ 저장용량 : Net 140000m³, Gross 150000m³
- ✓ 탱크내조 : STS 304 멤브레인, 내경 80m, 높이 31.46m
 - ✓ KOGAS 멤브레인, PUF단열재 적용
- ✓ 탱크외조 : PC콘크리트, 외경 82.82m, 높이 45.44m
- ✓ 설계압력 : 290mbar (운전압력 210mbar)
- ✓ 최대운전액위 : 29.9m (설계액위 30.2m)
- ✓ 설계증발율 : 0.099vol%/day

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

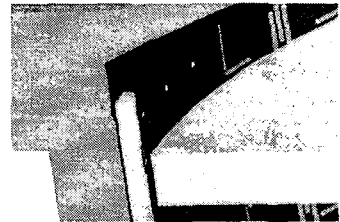
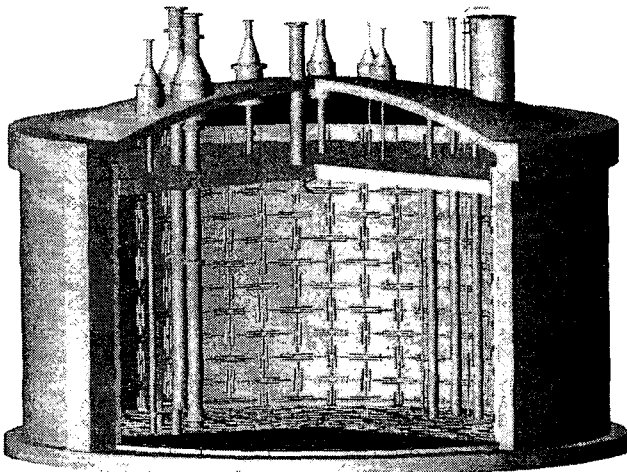
상용 멤브레인형 LNG탱크-140000m³



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

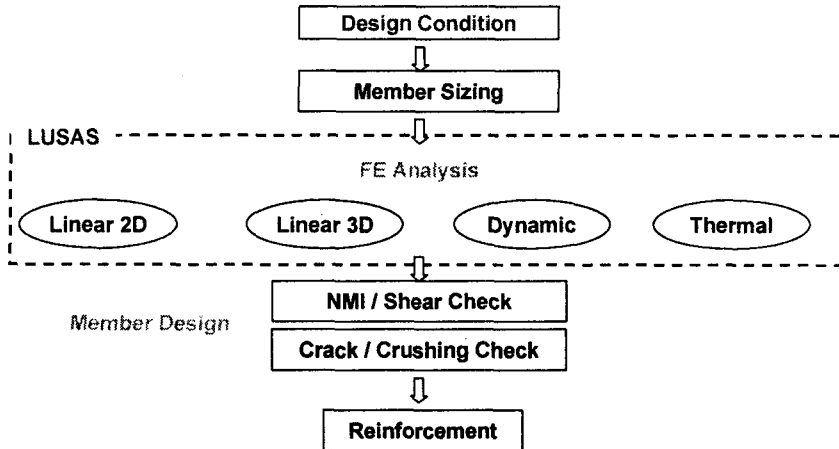
상용 멤브레인형 LNG저장탱크



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

외조설계 절차



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

탱크외조-유한요소해석

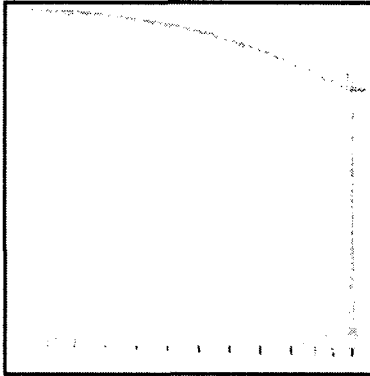
- 해석프로그램 : LUSAS
- 해석모델 및 적용하중

해석	해석모델	적용하중
Linear 2D	Axi-symmetric 2D	Dead, Prestress, Water LNG, Live
Linear 3D	Non Axi-symmetric 3D	Wind, OBE, SSE
Thermal	Axi-symmetric 2D	Temperature
Dynamic	Stick	OBE, SSE

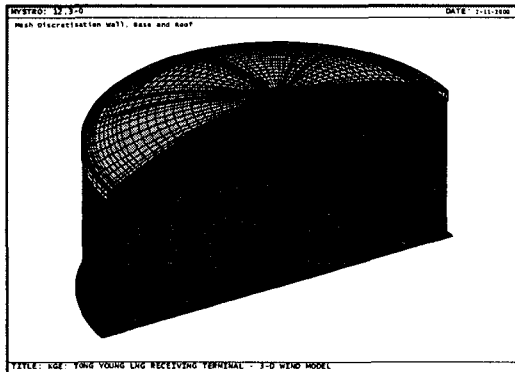
한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

선형 유한요소해석 (Linear FE Analysis)



2D axi-symmetric



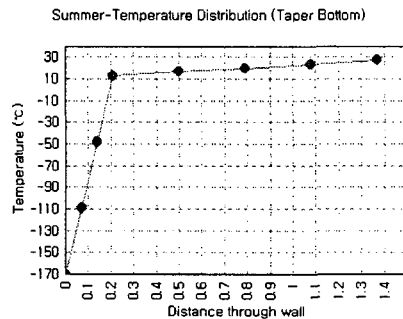
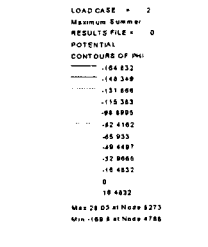
3D non axi-symmetric

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

THERMAL ANALYSIS-온도하중

Load Cases	Load-1	Load-2	Load-3	Load-4
Internal (LNG)	-170	-170	-170	-170
External (atm)	+29.3	-0.9	+29.3	-0.9
Base	+15.0	+15.0	+5.0	+5.0



한국가스학회
2002-10-11

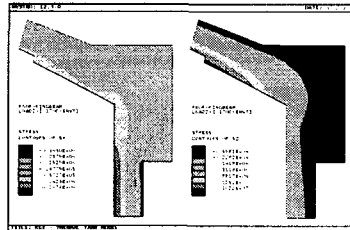
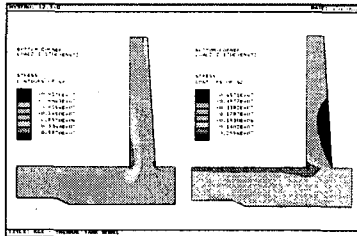
한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

해석결과 - 응력분포 S_x & S_y

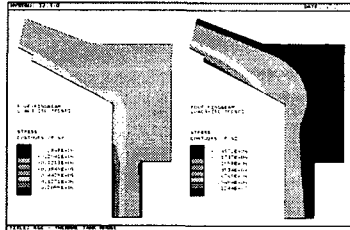
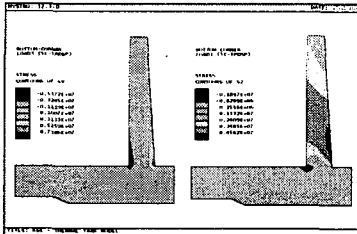
Bottom Corner

Top Corner

내부:-170
외부:+29.3



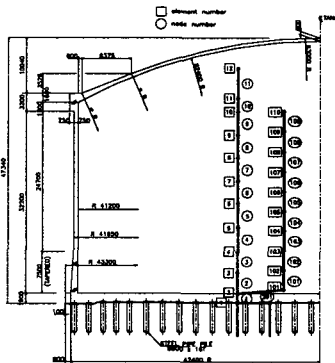
내부:-170
외부:-0.9



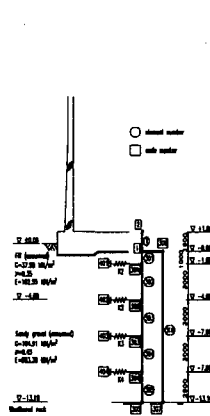
한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

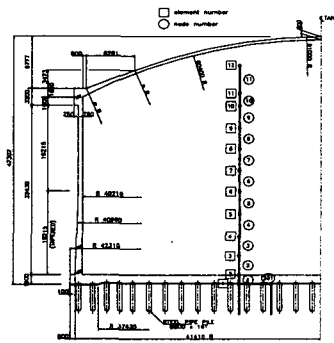
동적해석 - 수평방향 모델링



9%니켈형 탱크



지반 및 과일

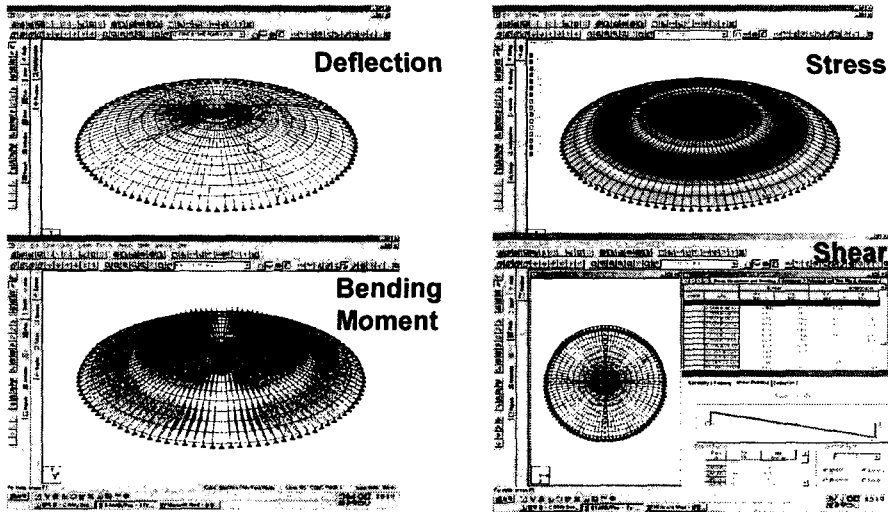


멤브레인형 탱크

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

ROOF 구조물 해석결과



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

내조설계기준

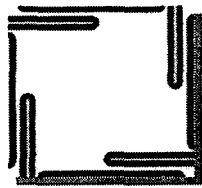
- 설계일반
 - 설계 용량 : 140,000m³
 - 내부 높이 : 33,310mm
 - 내부 지름 : 80,420mm
 - LNG 높이 : 29,900/2,000
- 환경조건
 - 설계압력 : 290 mbarg
 - 설계온도 : -162°C, 28°C
 - 설계밀도 : 480kg/m³
 - 대기온도 : 38 °C
- 멤브레인
 - 소재 : STS 304, 2mmt
 - 허용응력 : 14kg/mm²
 - 용접이음효율 : 0.45
 - 반복수명 : 25 회(190 ΔT)
 - 반복수명 : 2,600회(90 ΔT)
- 단열재
 - 두께 : 204mm
 - 소재 : PUF

한국가스학회
2002-10-11

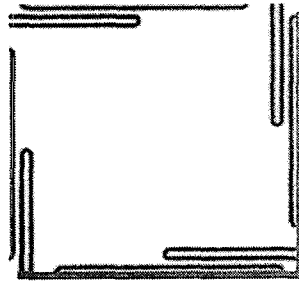
한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

멤브레인 기본형상 설계

- 유닛 : 900mm → 1,400mm (55.5%)
- 주름길이 : 1,528mm → 2,370mm (55.1%)
- 주름크기 : 42 x 84mm → 45 x 90mm (7%)



Pilot 멤브레인 유닛



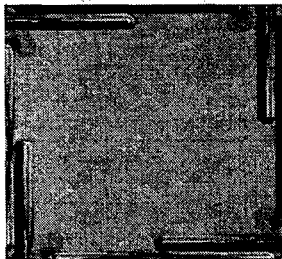
상용 멤브레인 유닛

한국가스학회
2002-10-11

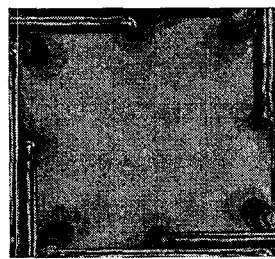
한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

KOGAS 멤브레인 응력해석

- ✓ ASME Best Fit Curve의 피로수명 만족
(누적계수 : 0.003 << 1.0)



변형률 분포



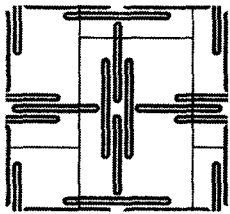
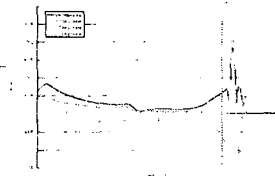
응력 분포

한국가스학회
2002-10-11

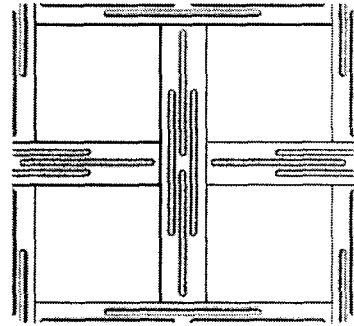
한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

멤브레인 용접선 설정

- ✓ 자동 용접성 향상
- ✓ 용접부위 응력 최소화
714MPa → 524MPa
- ✓ 멤브레인 제작 및 시공 용이



Pilot 탱크의 용접라인



상용 탱크의 용접라인

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

멤브레인별 용접선 응력 비교

	KOGAS	IHI	KHI	MHI	TGZ
해석 결과					
최대변형 (μs)	514	853	942	907	1,480
최대응력 (MPa)	97 298	161 300	178 301	171 300	280 305
특징	주름부 없음	단일 주름 이중 용접	이중 주름 큰 주름	변곡 주름 작은 곡률	단일 주름 작은 곡률

멤브레인 UNIT & ASSEMBLY

Unit 01 :

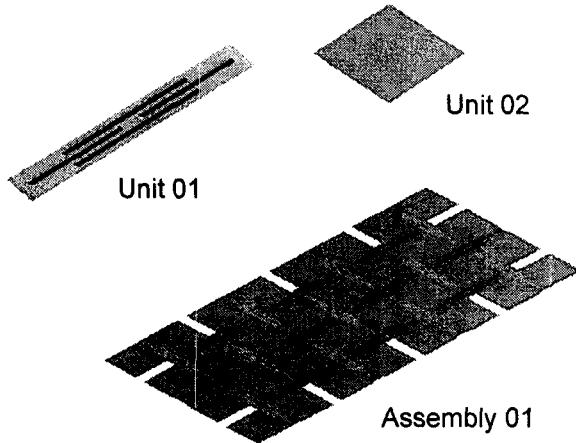
400 x 2,450

Unit 02 :

1,100 x 1,100

Assembly :

5,180 x 10,760



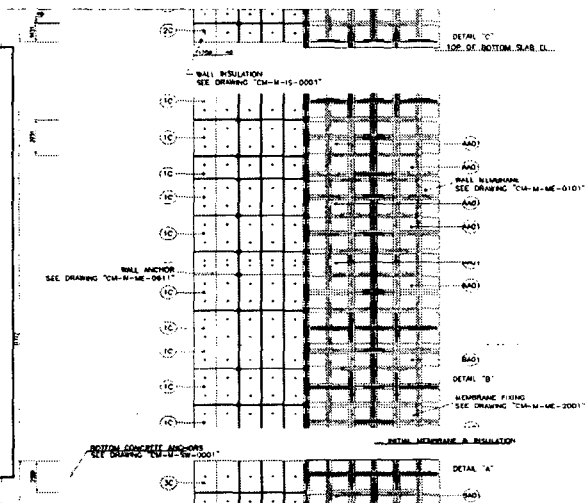
한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

벽체의 내조 배열설계

특징

- ✓ 60각형 180격자
- ✓ 멤브레인은 4단 조립
- ✓ 단열재 시공용이
- ✓ 멤브레인 앵커
-> 벽체 콘크리트에
별도 고정



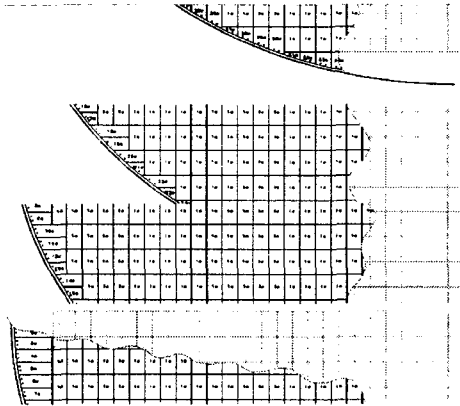
한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

바닥 단열재 배열설계

특징

- ✓ 격자형 -> 제작용이
- ✓ 2단 시공(코너부 1단시공 및 현장발포 시공)
 - > Secondary barrier역할, 평탄도 유지 용이
- ✓ Plywood를 사용하지 않음
 - > 제작비 감소, 시공용이
- ✓ 코너부만 고정

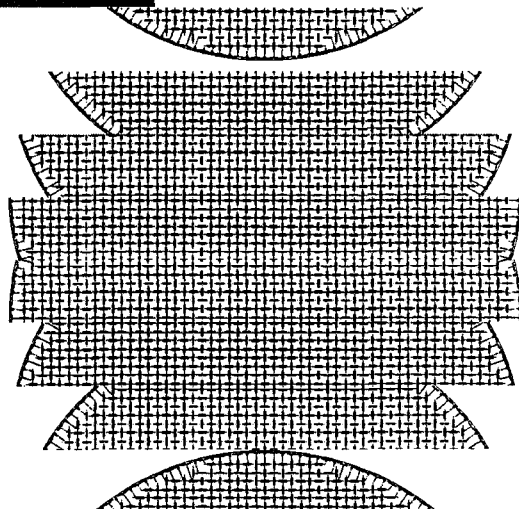


한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

바닥 멤브레인 배열설계



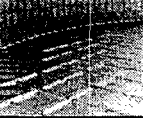


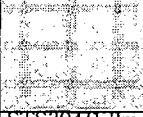
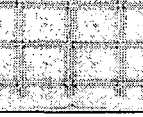
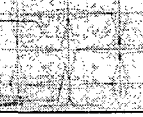
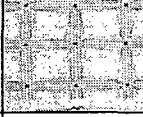

- ✓ 격자배열구조
 - > 멤브레인 제작, 시공 용이.
 - 시공기간 단축.
- ✓ 설계 핵심 :
 - > 격자와 원주의 연결부의 설계.



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

멤브레인 형상 비교

제작사 항목	TGZ	IHI	MHI	KHI	KOGAS
내조 형상					
변형 거동					
재질 / 두께	STS304/1.2mm	STS304/2mm	STS304/2mm	STS304/2mm	STS304/2mm
주름 형식	Knot형	Knot형	비Knot형	비Knot형	비Knot형
건설 사례	평택	인천(13,14)	인천(11,12)	인천(15~18)	-
유니트 크기	가로 : 560mm 세로 : 650mm	2,097mm	2,512mm	1,442mm	1,395mm

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

KOGAS 멤브레인형 내조시스템 요약

- 멤브레인 원천기술 확보 및 소재 국산화
 - ✓ 설계기술, 멤브레인, 단열재 국산화
- 저장탱크 확장성
 - ✓ LNG탱크 용량변화에 따른 설계변경 용이 (대형화)
- 우수한 제작성 및 시공성
 - ✓ 단열재 및 멤브레인의 제작 용이
 - ✓ 멤브레인 내조시스템 시공 용이 및 공기 단축
- 멤브레인의 낮은 응력
 - ✓ 긴 피로수명 및 용접 작업성 향상

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

주요사업성과

- 멤브레인형 LNG저장탱크 설계기술 확보
 - ✓ 프랑스, 일본에 이어 세계 3번째 멤브레인 기술 확보
 - ✓ Pilot 탱크를 통한 멤브레인형 설계기술 및 안전성 검증
 - ✓ 멤브레인형 저장탱크 건설비 저감 : 800억원 → 540억원
- 9%니켈형 LNG저장탱크 설계기술 확보
 - ✓ 세계 5번째 9%니켈형 탱크 설계기술 확보(미, 영, 불, 일)
 - ✓ 9%니켈형 저장탱크 건설비 저감 : 750억원 → 630억원
- 핵심소재 국산화
 - ✓ PUF 단열재 : 기존가격 대비 50% 절감
 - ✓ 멤브레인 : 기존가격 대비 75% 절감
 - ✓ FG단열재, 9%니켈강, 용접봉, CD센서, NH3장비 등

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

LNG탱크 국산화 기대효과

(단위:억원)

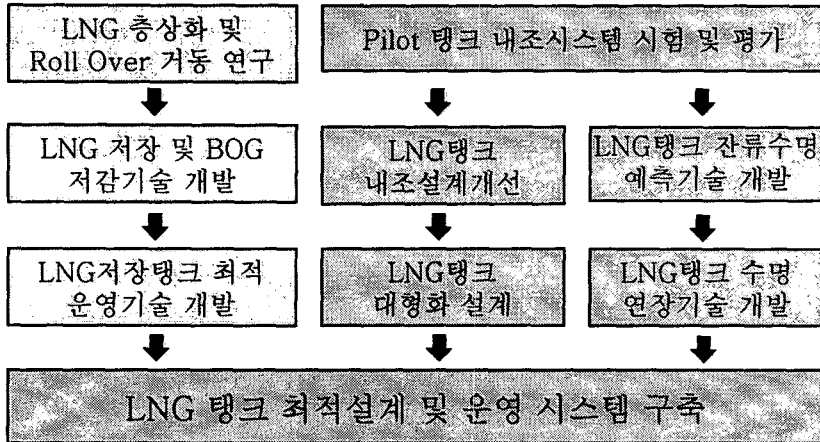
부 문	비용절감	수입대체	비 고
설 계	1,060	1,630	탱크 27기 설계, 감리비
소 재	2,180	4,170	멤브레인, 단열재 등
계	3,240	5,800	

- 2002년 8월 현재
 - ✓ 비용절감 520억원 (설계 120억원, 소재 400억원)
 - ✓ 수입대체 1,200억원 (설계 210억원, 소재 990억원)

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

LNG저장탱크 관련 증장기 기술개발계획



한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology

향후추진계획

- 국산화 개발된 LNG저장탱크의 상용화 추진
 - ✓ KOGAS에서 건설하는 LNG저장탱크 설계에 적용
- LNG저장탱크 대형화 및 소형 위성기지 설계
 - ✓ 대용량 저장탱크 개발 : 160,000 ~ 200,000m³
 - ✓ 소형 LNG위성기지 설계 : 수백 ~ 수만m³
- 해외시장 참여를 위한 기반구축
 - ✓ 해외 LNG 프로젝트 설계참여 추진 (멕시코, 東鼎, 廣東 등)
- KOGAS 멤브레인의 사업화 추진
 - ✓ KOGAS 멤브레인의 사업성 검토 (기존가격의 25%)
- LNG 수송선의 Cargo Containment 개발

한국가스학회
2002-10-11

한국가스공사 연구개발원
LNG Tank Technology