

LPG 지하저장공동의 건설과 운영



김 태 문
〈油公가스 전무〉

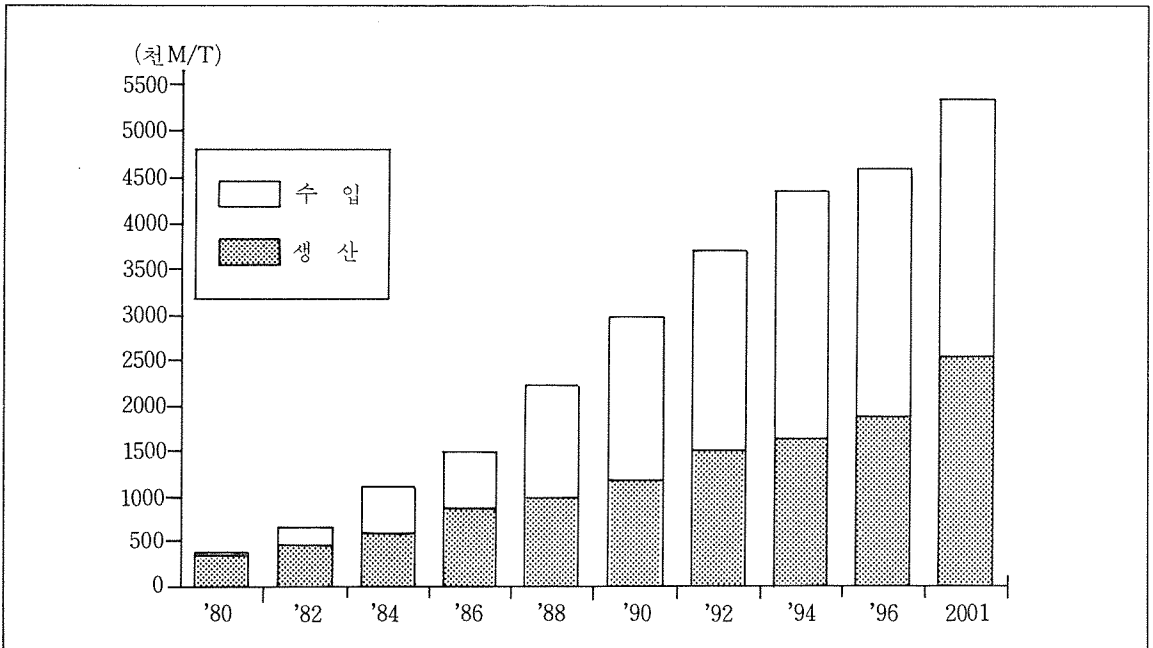
이 자료는 지난 10월 12일 모나코의 몬테 카를로에서 열린 제 2 차 세계 LPG포럼에서 발표한 주제 논문을 옮긴 것이다. 〈편집자註〉

I. 머리말

80년대에 이룩한 한국경제의 고도성장은 에너지소비 증가를 수반했고, 그중에서도 LPG 수요는 국민생활수준 향상과 환경문제 대두로 급격히 신장되고 있다. 石油 부존자원이 없는 韓國의 LPG 수요는 원유정제과정 및 석유화학공장 생산분과 산유국으로부터의 수입 LPG 분에 의해 충당된다.〈그림-1〉

한편, 국내에서 생산되는 LPG는 소폭증가에 그치고 있는 반면, 수요소는 날로 증가추세에 있어 수입 LPG를 취급할 대규모의 LPG 인수기지 건설이 필요하게 되었다.

〈그림-1〉 LPG 수요추이



이러한 인수기지 건설의 필요성과 국내 LPG의 안정 공급을 목표로 油公가스는 1985년말부터 2년간 100백만달리의 공사비를 들여 지하압반 LPG저장 공동으로 는 세계최대인 27만톤 규모의 수입기지를 완공하여 1988년초부터 정상운영하고 있다.

이에 당사 蔚山 LPG 기지를 중심으로 그 간의 기지건설 및 운영경험을 소개하고자 한다.

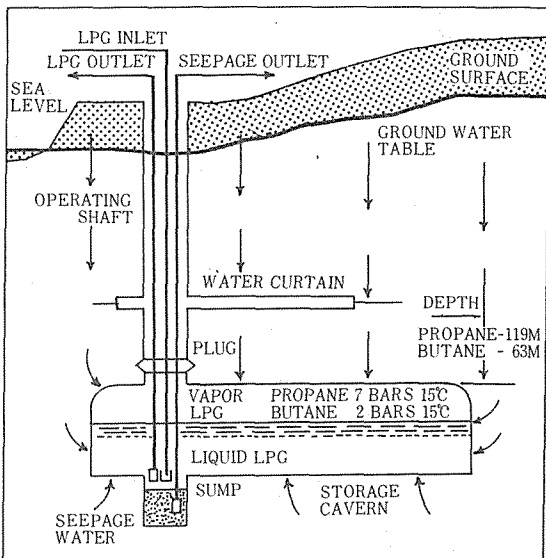
II. 지하저장 공동의 건설

1. 지하저장의 원리 및 장점

LPG의 지하저장은 Cavern을 지하 일정 깊이에 굴착하여 그 주변에 작용하는 지하수의 정수압을 공동내 LPG의 증기압보다 항상 높게 유지되게 함으로 지하수가 공동내로 스며들어 저장된 LPG가 밖으로 누설되는 것이 방지되는 원리(그림-2)를 이용한 것으로 지상저온 탱크저장 방식에 비해 아래와 같은 장점이 있다.

- 화재, 전쟁, 지진등의 재해에 대한 안전성이 높다.
- 토지 소요면적이 적어 국토이용 효율이 높다.
- 환경보전상 유리하다.
- 건설공사비 및 시설의 운영·보수비가 절감된다.

〈그림-2〉 지하저장의 원리



2. 건설공사

LPG 지하저장 기지는 시설이 지하에 위치하게 되는 특성상 건설을 위해서는 건설후보지에 대한 예비조사, 타당성 조사 및 Detailed Site Reconnaissance 등의 사전조사가 치밀하게 이루어진 후 설계를 하게 된다.

건설공사는 지하시설 굴착공사외에 각종기기, 배관, 전기등의 지상시설 공사도 있으나 여기서는 공사기간과 공사비 면에서 핵심을 이루는 저장공동의 굴착을 중심으로 설명한다.

(1) 공사용 진입터널(Access Tunnel)

지상에서 저장공동에 이르는 경사도 13%의 공사용 통로로 대형트럭이 교행하며 굴착된 암석을 밖으로 실어 나를 수 있는 크기(높이 7m, 폭 8m, 천정은 반원형)로 굴착하여 위나 옆으로는 통풍관, 전선, 급수관, 배수관, 조명시설등을 설치한다.

공사 완료후에는 저장공동과의 연결부를 콘크리트 플러그로 밀폐하고 물을 가득 채워 공동주변암반(워터 커튼)에 물을 인공적으로 공급하는 주입구로 사용된다.

(2) 수막터널(Water Curtain Gallery)

저장공동 천정으로부터 상부로 약 20m 위치에 전 공동 위를 덮을 수 있도록 구경 75%, 최대길이 100m의 많은 홀을 일정간격으로 뚫어 이른바 수막을 만들기 위해 굴착하는 수평터널(높이 4.5m, 폭 5m, 천정은 반원형)이다.

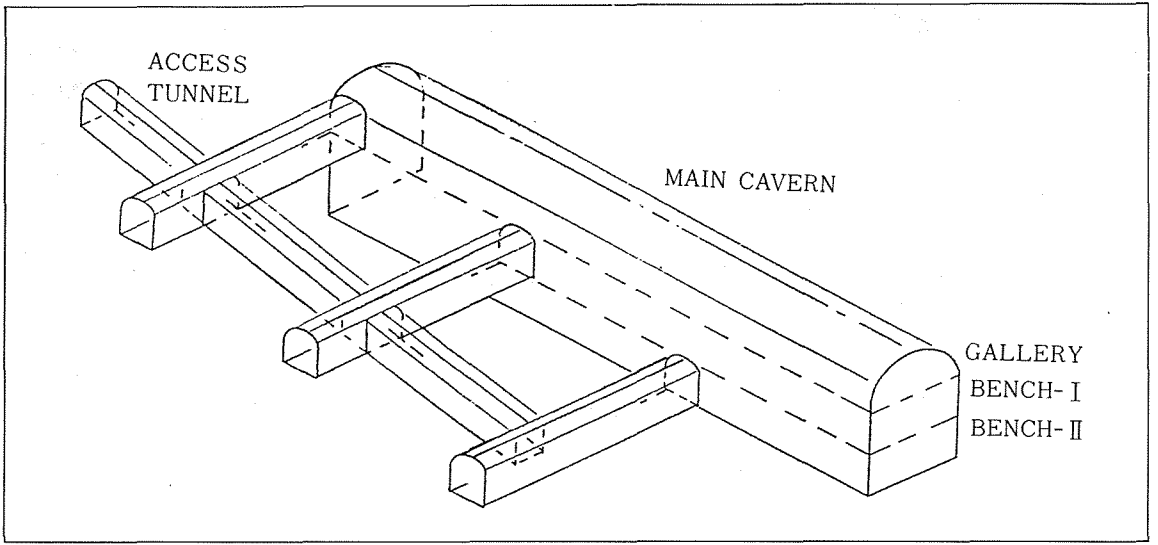
이는 저장공동에 충분한 정수압을 유지시켜 주기 위한 것으로 공사기간중에는 부근 암반내 지하수의 불포화상태 발생을 방지하고 공사완료 후에는 공사용 터널과 함께 물을 채워 저장공동의 기밀성(Tightness)을 보장하기 위함이다.

(3) 저장공동(Storage Cavern)

LPG를 직접 저장하는 수평터널(높이 21m, 폭 17-19m, 천정은 반타원형)로 당사의 경우 프로판 4개, 부탄 3개의 나란한 터널로 이루어져 있으며 각 터널간은 연결터널을 굴착하여 일체식의 저장공동이 되도록 한다.

굴착공사는 굴착기계의 작업범위를 감안하여 3단계

〈그림-3〉 Cavern의 굴착개념도



로 나누어 상단(Gallery), 중단(Bench I), 하단(Bench II)의 순서로 진행하는데 Gallery 공사가 가장 어렵고 특별한 주의를 요하는 작업단계이다. <그림-3>

한편, 각 터널의 굴착사이클은 Marking→Drilling→Charging→Blasting→Ventilation→Scaling→Mucking Out→Cleaning 등의 순으로 이루어지며 1회 굴착진도는 3~4m이다.

굴착후에는 터널구조의 Stability와 작업자의 안전을 위해 보강공사(Rock Bolting, Shotcreting)를 실시하며 지나친 지하수의 누출방지를 위해 Grouting을 실시한다.

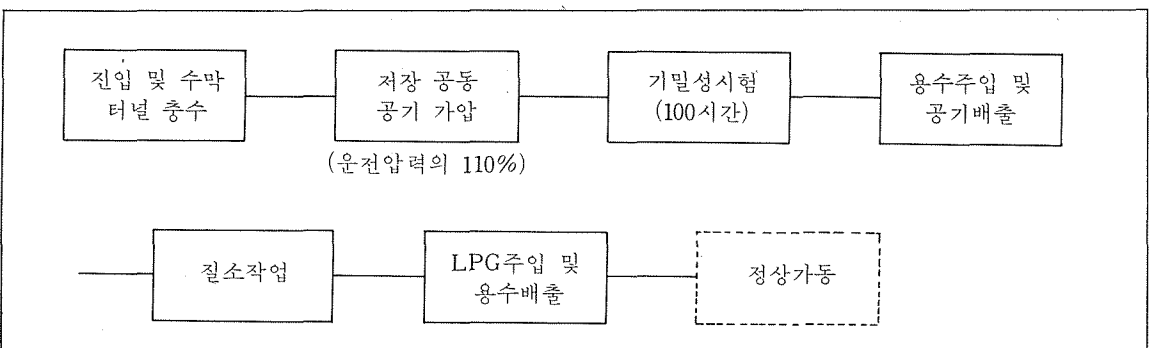
(4) 운전용 수직갱(Operating Shaft)

저장공동과 지상시설을 연결하는 각종 파이프및 지하설치기기의 통로로 직경3m의 원통모양 갱을 지상에서 공동 천정까지 수직으로 굴착하며 공동굴착 완료후에는 배관용 케이싱과 함께 공동과의 연결부를 콘크리트 플러그로 밀폐하고 물을 채운다.

저장 공동내의 기지 보수시에는 본 수직갱에 설치된 케이싱을 통하여 기기를 지상으로 꺼내 작업한다.

3. 시운전

굴착공사 완료후에는 LPG를 누설없이 안전하게 저장 가능한지를 확인하는 '기밀성 시험(Tightness Test)'을 시행한다. 기밀성 시험을 포함한 공동의 시운전 절차를 간략하면 다음과 같다.



4. 건설 사업 일정

	1985				1986												1987												1988			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
1. SITE RECONNAISSANCE																																
2. DESIGN																																
3. PROCUREMENT																																
4. UNDERGROUND																																
-ACCESS TUNNEL																																
-WATER CURTAIN																																
-BUTANE CAVERN																																
-PROPANE CAVERN																																
-SHAFT																																
-PLUGGING, CLEANING																																
5. ABOVEGROUND																																
-CIVIL																																
-ERRECTION, PIPING																																
-ELECTRICITY, INSTRUMENTATION																																
-BUILDING																																
6. COASTAL BERTH RECLAMATION																																
7. COMMISSIONING																																
-PROPANE																																
-BUTANE																																

5. 투자비 구성(%)

• 설계용역비	10
• 공사비	60
- 지하시설	(41)
- 지상시설	(10)
- 매립 및 연안선부두 축조	(9)
• 자재비	14
• 기타	16

LPG 수출국으로부터 80,000 m³급 원양선으로 운반된 냉동 LPG(프로판 -42℃, 부탄 -5℃)는 입하부두에서 선박의 펌프에 의해 육상 공정지역까지 저온으로 이송되어 가압펌프와 LPG 가열기를 거쳐 2℃로 데워진 뒤 공동에 주입된다. 이때 냉동 LPG를 가열하지 않고 그대로 공동에 주입할 경우, 암반 간극중의 지하수가 동결되어 공동이 파손될 우려가 있다. 당사는 LPG 가열기를 간접가열방식을 채택하여 사용하고 있으며, 이는 직접 가열기 방식보다 안전하고 열효율도 좋은 것으로 나타났다.

(2) 저장

LPG의 저장에는 상압에서 온도를 낮추어(프로판 : -42℃, 부탄 : -5℃)액화·저장하는 상압냉동방식과 상온에서 압력을 가하여 (15℃에서 프로판 : 7 bars/ 부탄 : 2 bars) 액화·저장하는 상온가압방식이 있는데 지하저장은 상온가압 방식이다.

2℃로 입하된 LPG는 공동주변 암반의 지온에 의해

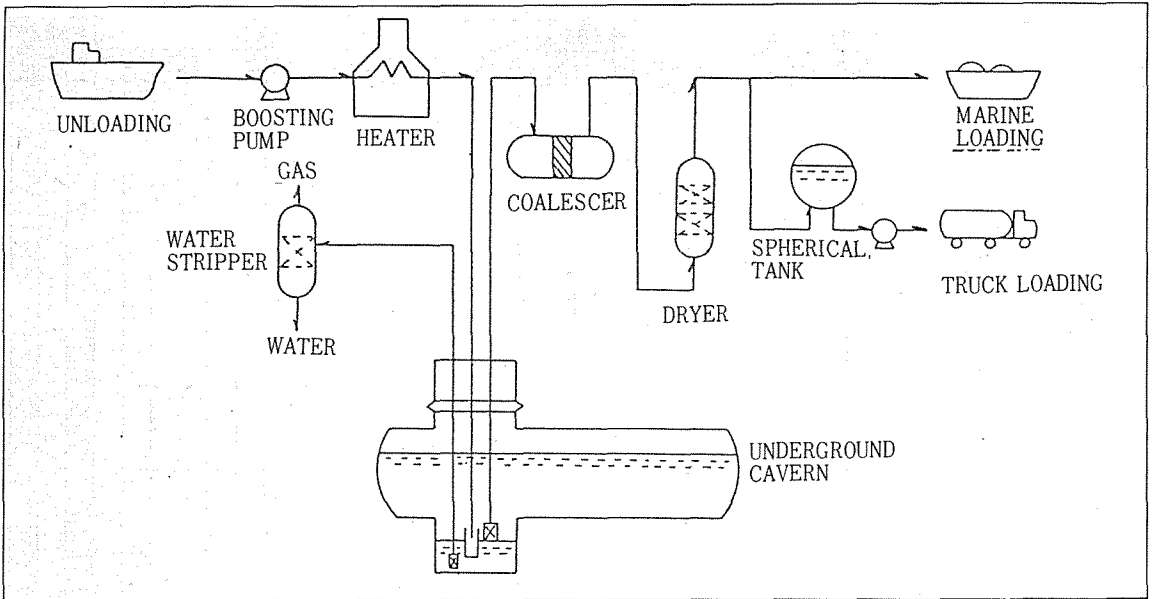
Ⅲ. 지하저장공동의 운영

1. 기지공정

울산 LPG 기지의 공정은 그림4와 같으며 입하, 저장, 출하의 세 공정으로 대별된다.

(1) 입 하

〈그림-4〉 LPG기지 공정



10~15℃까지 서서히 가온된다.

저장중에는 공동내의 운전상태(액위, 온도, 압력등)를 점검하고, 공동내로 스며들어 집수조에 모인 누입수는 배수펌프를 이용하여 밖으로 배출시킨다.

(3) 출 하

저장된 LPG를 공동내의 액중펌프로 지상으로 퍼올려 LPG 중에 함유된 소량의 수분을 수분분리기 및 건조기(프로판의 경우)로 제거한후 직접 연안선으로 출하하거나 지상탱크에 일단 저장한후 착취제를 첨가(일반용인 경우)하여 탱크트럭으로 출하한다.

프로판의 경우 동결기에는 잔존수분에 의한 수화물 생성의 방지를 위해 동결방지제(메탄올)를 소량 첨가한다.

(4) Cavern Operation

저장공동의 안전운전을 위해 공동주변의 수리지질 상태 변화를 점검하는 Hydrogeological Monitoring과 공동자체 구조의 안전성을 점검하는 Seismic Monitoring 업무를 지속적으로 시행하는데 그 내용은 아래와 같다.

〈Hydrogeological Monitoring〉

- Data Collection

- Water exchanges between rockmass and cavern-

ns (Seepage rate, Water balance on the access tunnel, Rainfalls)

- Piezometric data(Wate table levels, Pore pressure)
- Caverns status(Well head pressure, Product level, Cavern temperature)
- Hydrostatic head of water

- Physical-chemical and Bacteriological analyses

- 해석, 평가, 조치

- 기밀성 기준 만족여부 검증
- 이상 상태 발견시 개선대책 수립 · 조치
- 운전조건 최적화

〈Seismic Monitoring〉

- Data Collection

- Cavern 상부지하에 Geophone을 설치하여 Seismic events를 기록

- 해석, 조치

- Cavern 자체의 안정성 점검
- 외부영향 검토 및 통제(지진, Cavern 주변작업)
- 지질역학적 조건개선(운전조건 변경, 부식활동 억제)

2. 기지 운전상의 문제점

(1) 입하작업시 공동압력 문제

공동에 LPG를 입하하는 방식에는 LPG가 공동바닥에서부터 채워지는 Source Type 방식과 LPG를 공동상부로부터 Spray되도록 하는 Roof Filling 방식의 두가지가 있다.

Source Type 방식은 액체 LPG가 입하됨에 따라 Vapor 부분을 압축하여 공동의 압력을 상승시키는 문제가 있고 Roof Filling 방식은 Vapor를 응축시켜 압력을 하강시키는 문제가 있으므로 입하작업을 확실하고 Cavern을 안전하게 유지하기 위해서는 사전에 이에 대한 충분한 검토를 한후 입하방식을 선정하여야 한다.

(2) 공동내 기기

지하저장공동은 시설이 완공되어 일단 운영에 들어가면 Cavern 내를 직접감시하기가 불가능하여 Cavern 구조 자체의 Stability는 전적으로 설계 및 시공상태를 신뢰할 수 밖에 없고 Cavern 구조에 이상이 발생해도 Remedial Action을 취할 수 없는 문제점이 있는 것도 사실이다.

또한 출하펌프, Seepage Pump, Level Measuring System 등 Shaft내 기기의 보수를 위해서는 이를 지상으로 꺼내야하는데 이에선 상당한 시간이 소요된다.

따라서 Shaft내 기기는 Down Time을 최소화하기 위하여 성능이 우수한 제품을 선택하여야 할 것이다.

(3) 공동의 재고측정

공동에 있는 LPG의 재고를 측정하기 위해서는 정확한 Tank Table을 작성하고 Level을 정확하게 측정하여야 한다. 그러나 공동의 경우 내부 굴착면의 Irregularity 로 인하여 Table의 정확도가 매우 낮다.

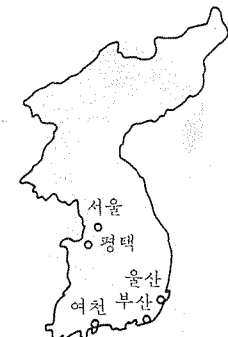
한편 Level의 측정방법에는 Nitrogen Bubbling 방식과 Ultrasonic 방식의 두가지가 있으나 두가지 모두 성능상 문제가 있어 정확한 재고관리가 어렵다.

(4) 지상부지의 확보

지하저장 기지는 주시설이 지하에 설치되는 관계로 지상의 직접 시설소요부지 면적은 작으나 공사중에는 최소한 지하터널의 지상투영면적이 필요하고(지상권의 지하소유 한계가 불명확한 경우)공동 운영시에는 Hydrogeological Surroundings에 영향을 미칠 수 있는 Adverse External Disturbance를 방지하기 위해 'Hydrogeological Protection Area (Zone 1: Cavern으로부터 100m, Zone 2: Zone 1으로부터 400m)'를 정해 Wells Drilling, Civil Works 등을 통제해야 하기 때문에 실제 상당 면적의 토지소유가 필요하다.

이로인해 정부로부터 토지과다 보유의 세금을 부과하는 문제가 있고 그만큼 유희토지가 발생하고 공동 시설에 영향을 주지않은 시설을 지상에 설치하는 토지 활용방안이 검토되어야 할 것이다.

3. 국내 지하저장공동 현황

소유자	유공가스	여수에너지	석유개발공사	위치도
위치	울산	여천	평택	
저장시설				
-형식	지하암반공동	지하암반공동	지하암반공동	
-규모				
프로판	140,000톤	83,000톤	90,000톤	
부탄	130,000톤	69,000톤	70,000톤	
계	270,000톤	152,000톤	160,000톤	
운영개시	1988. 1	1983. 6	(1990. 1 예정)	
용도	운영기지	운영기지	비축기지	