

國內 中部圈 LPG 地下貯藏空洞의 建設事例

김영래¹⁾, 강성국¹⁾, 김치환¹⁾

1. 序 論

에너지 多變化 政策에 依據 安定的인 LPG 需給을 爲하여 政府事業으로 推進된 本 LPG 地下 비축기지는 우리나라 中部圈 西海岸 地域에 建設되었으며 1991년 現在까지 建設된 國內 地下 貯藏施設中 가장 最近인 1989년말에 完工되어 정상운영중에 있는 施設이다.

本 事例研究에서는 本LPG 地下 貯藏基地의 建設을 爲한 立地 選定과 地質調査 그리고 施設規模 등 工事 內容에 대하여 地下部門을 중심으로 서술하였다.

2. 立地의 選定

本 LPG기지의 立地選定은 圖上에서 全國海岸을 따라 21개의 입지 가능한 豫備 候補地를 선정하였고 각 후보지에 대한 현지답사와 함께 개략적인 妥當性 調査를 거쳐 아산, 부산, 서산, 온산 및 충무의 5개 지역을 抽出하였고 抽出된 입지별로 廣域 地質調査와 항만조건 등의 입지 環境調査를 實施하였으며 이를 토대로 技術 및 經濟性에 대한 評價를 종합 比較하여 5개 입지에 대한 우선 순위를 決定하였다. 그 결과 아산지역의 입지가 대수요처인 경인지역

에 가까워 2차 수송비의 절감 효과가 크고, LPG입출하를 위한 항만조건 등 基盤施設條件이 타 후보지에 비해 상대적으로 유리함에 따라 1次 建設基地로 選定되었다.

3. 地質調査

입지조사시 施行한 지표 지질조사 및 항공사진 판독 결과를 기초로하여 詳細調査 計劃을 樹立하였다.

■ 詳細 지표 地質調査

■ 彈性波 및 전기비저항 探查 : 10km

■ 試錘 및 孔內檢層 : NX-Size 16Hole

■ 水壓試驗 및 揚水試驗

■ 室內 岩石 試驗

3.1 地 質

本 地域의 基盤岩은 선캠브리아기에 속하는 변성암류로 혼성편마암(Migmatitic Gneiss)과 화강암질 편마암으로 大別되며 저장공동 地域 大部分은 혼성편마암이 分布한다. 이 혼성편마암은 粗粒質로 방향성을 갖는 흑운모가 特徵의으로 나타나며 시추암편에 의한 단축압축강도는 1,300~2,550kg/cm²로 比較的 높은 강도를 보여준다. 특히 부탄 貯藏 공동 地域은 폭 30~50cm의

*1991年 11月 接受

1) 正會員. (株)삼립건설턴트 地下施設事業部.

鹽基性 脈岩이 절리면에 평행하거나 교차되어 發達해 있으며 母岩과의 접촉부는 部分的으로 破쇄대를 形成하고 있어 지하수의 流動通路로 作用한다.

3.2 構造地質

調査地域의 廣域 地體構造는 3차 이상의 습곡 작용, 단층운동 및 혼성화 작용이 重複되어 매우 복잡한 樣相을 갖고 있으나 저장동굴 地域의 편마암체는 괴상(Massive)의 產出狀을 보이며 습곡 등 변성암으로서의 特徵的 構造는 나타나지 않는다.

암반의 주절리 方向은 인장절리계가 N10°W~N40°W와 N70°E~N80°E가 優勢하며 경사는 70°내지 거의 수직에 가깝게 발달하고 있다. 한편 共扼狀으로 나타나는 절단절리는 주향이 N40°W~N70°W와 N20°E~N40°E고 경사는 50°~80°로 發達하고 있으며 이들 절리계로부터 岩盤의 應力 分布를 추정하였다. (Fig. 1)

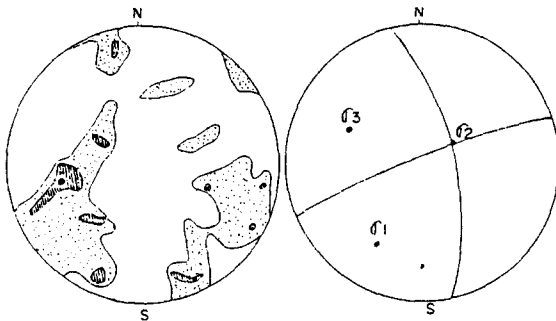


Fig. 1 Diagram of shear joint and principal stress

3.3 水理地質

地上 觀測孔에서 측정된 지하수위는 대체로 지형 등고선과 같은 形態로 分布하며 降水量에 따라 변화하는 계절적 變動(Fluctuation Trend)을 나타낸다.

現場 수압시험에 의한 透水性은 지표로부터 深

도가 깊어짐에 따라 낮아지고 있다. (Table. 1)

Table. 1 深度別 平均 透水計數

深 度	透 水 係 數(m/sec)
0- 20m	$1.2 \times 10^{-7} \sim 1.1 \times 10^{-6}$
20- 30m	$1.0 \times 10^{-7} \sim 7.5 \times 10^{-7}$
30- 40m	$8.3 \times 10^{-8} \sim 6.1 \times 10^{-7}$
40- 60m	$6.0 \times 10^{-8} \sim 5.2 \times 10^{-7}$
60- 80m	$5.8 \times 10^{-8} \sim 3.8 \times 10^{-7}$
80-100m	$5.6 \times 10^{-8} \sim 3.7 \times 10^{-7}$
100-150m	$5.2 \times 10^{-8} \sim 3.6 \times 10^{-7}$
150-200m	$4.8 \times 10^{-8} \sim 3.3 \times 10^{-7}$

굴착工事中 Water Curtain 供給 注入水量으로 逆算出한 공동 상부의 透水係數는 프로판지역이 $3 \sim 4 \times 10^{-9} \text{m/sec}$, 부탄지역이 $1 \times 10^{-8} \text{m/sec}$ 로 調査되었으며, 이는 시추공에서의 수압시험이 Packer와 주변 岩盤에서의 Cross Flow影響으로 因하여 실제 岩盤이 갖는 透水係數 보다 더 큰 값을 가짐을 보여준다.

4. 地下空洞

地下空洞은 기능별로 볼 때 貯藏空洞(Storage Cavern), 水封施設(Water Curtain), 入出荷 垂直坑(Vertical Shaft) 및 상거 空洞을 굴착하기 爲한 進入터널(Access Tunnel)로 區分된다.

4.1 貯藏空洞

地質調査 結果와 周圍 立地條件을 고려해서 3개의 지하공동 배치안을 樹立하였고, 經濟性 安定性 및 시공 편이에 대한 종합 檢討를 거쳐 가장 유리한 배치안을 選定하였다.

貯藏空洞은 地質 構造에 유리하도록 長軸方向을 N35°W로 하였고 부탄과 프로판 空洞의 간격을 상호 450m 이격시켜 配置되었다.

그리고 安定的인 地下水壓이 作用될 수 있도록 최대 운전 압력과 안전률을 감안해서 空洞 천단고를 부탄EL-60m, 프로판EL-115m에 位置시켰다.

特記事項으로 貯藏空洞의 入口부를 병목形態로 만들어 단계별 굴착을 爲한 진입터널을 省略하였고, 貯藏공동간격을 最少化하여 Water Curtain設置面積을 縮小할 수 있었다. (Fig. 2)

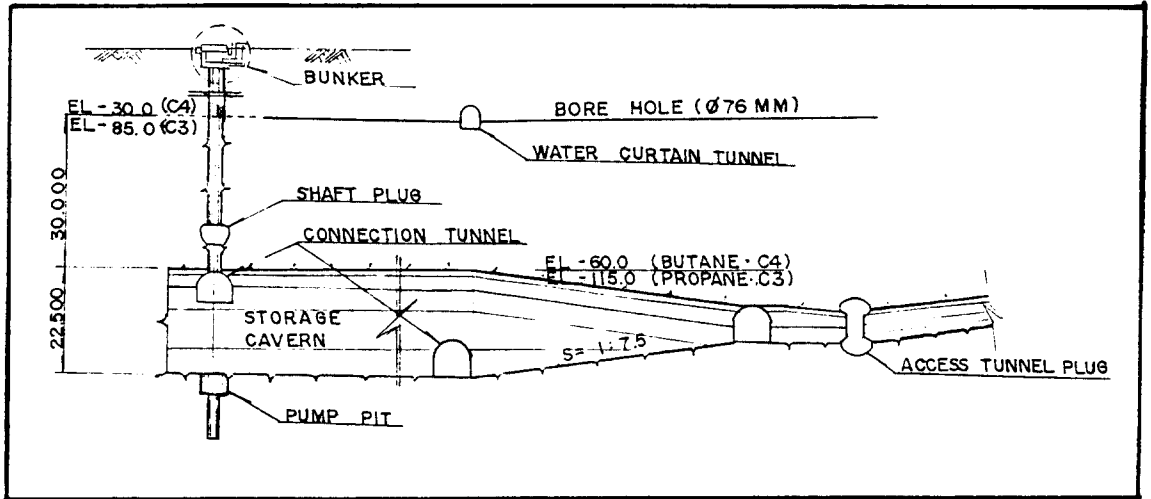


Fig. 2 貯藏空洞의 終端面圖

空洞의 단면은 力學的 安定성과 굴착 장비의 制限을 감안 높이 22.5m, 폭18m로 決定하였고 굴착방법은 7.5m씩 3회에 나누어서 수평方向으로 굴착토록 하였다. (Fig. 3)

단면 형상은 천정부를 9m의 半圓으로 하고 벽체와 만나는 바닥 모서리에 Hunch를 두어 應力集中을 避할 수 있도록 하였으며 유한요소법에 依한 應力解析을 통해서 安定性を 確認하였다.



Fig. 3 貯藏空洞의 Bench-I Part 굴착 작업 전경

4.2 進入터널

지표 EL+8m에서 深部 貯藏空洞까지 連結되는 진입터널은 굴착용 중장비 통행과 환기 덕트 등 설비 空間을 勘案해서 높이 6.3~7.3m, 폭 8m 단면으로 굴착하였으며 終端勾配는 통행량이 가장 많은 덤프트럭의 등판能力을 고려하여 1:7.5로 하였다.

진입터널의 入口의 풍화구간에서는 도갱 굴착 후 2차 확장 굴착하는 분할굴착을 시행하고 스틸 리브와 라이닝 콘크리트를 타설하여 入口부의 불량암질 구간에 대한 安定性を 높였다. (Fig. 4)

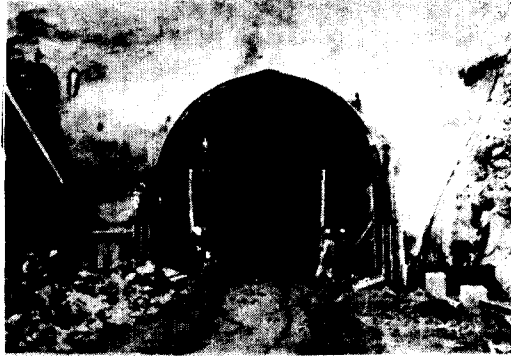


Fig. 4 진입터널 입구부 전경

4.3 水封施設(Water Curtain)

LPG貯藏壓力보다 더 높은 지하수압을 유지시켜 공동의 기밀성을 보장하게 하고 貯藏된 부탄과 프로판이 서로 混合되지 않도록 設置되는 水封施設은 水平과 垂直 Water Curtain으로 區分된다.

水平 Water Curtain

Water Curtain의 效率性は 공동과의 이격거리, 주입용Bore Hole간격 및 Bore Hole구경에 따라 상호 보완적인 關係가 있다.

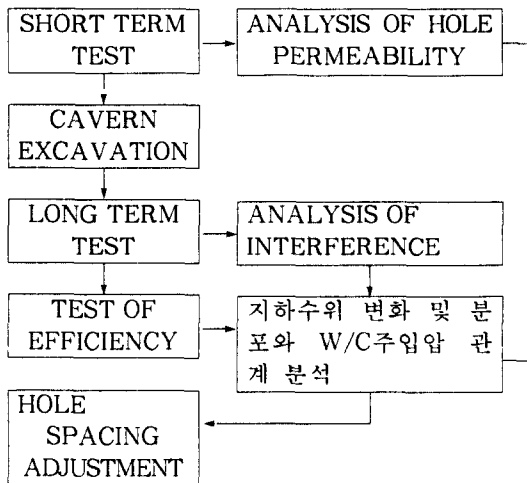


Fig. 5 Water Curtain Hole 간격조정을 爲한 現場 試驗 節次

本 貯藏空洞에서는 周邊의 水理地質 分析에 의거 수평 Water Curtain Hole을 공동 상부 30m에 位置시켰으며 주철리군에 貫通되도록 공동 長軸方向으로 配置하였다.

Bore Hole간격은 평균 절리 간격을 考慮, 3m 간격으로 計劃하였으나 공사시행은 6m간격으로 직경 75mm주입공을 먼저 設置한 後 간격 調整을 爲한 現場 수리시험 절차를 거쳐 필요한 경우에 BX Size Hole을 中間에 設置하였다.

垂直 Water Curtain

垂直 Water Curtain은 부탄공동과 프로판공동의 中間 位置인 진입터널에서 수평거리 20m ~ 40m간격으로 設置하였다. Bore Hole은 프로판 공동 바닥 수준인 EL-137.5m까지 천공하였으며 效率性を 높이기 爲하여 地下水 主移動 方向에 直交되도록 S60 °E, 70 °의 경사로 設置하였다.

Water Curtain 터널

Bore Hole천공작업을 爲한 공간과 굴착장비의 規模를 基準해서 높이 4.5m, 폭 4.5m의 단면으로 決定하였다.

진입터널에서 분기되는 Water Curtain 터널 입구부에 두께 2m의 콘크리트 플러그를 設置하여 空洞 運營時 Water Curtain 供給水와 진입터널에 채워진 물이 서로 混合되지 않도록 하였다. 이같은 遮斷施設은 供給水의 水質管理를 容易하게 하고 工事 完了後도 供給 水壓의 人爲的인 調整이 可能하므로 空洞의 水密性を 보다 安定的으로 維持시킬 수 있다.

4.4 LPG入出荷 Shaft 및 Pump Pit

入出荷 배관 등 저장공동의 運轉設備를 위한 Shaft는 직경 3m의 원형으로 지표에서 저장공동까지 垂直으로 連結된다.

空洞 굴착시 Shaft에 依한 換氣效果를 높일 수 있도록 중앙의 저장공동에 位置시켰으며 조

기굴착을 爲하여 비계를 利用한 下向式 굴착방법을 택하였다.

공동내 LPG와 漏水를 集水시키는 Pit는 空洞바닥에서 4.5m하단까지 $\phi 6.0m$ 로, 그 이하 10.5m 하부 Pit 바닥까지 $\phi 4.0m$ 規模로 굴착하였다.

5. 굴착 및 岩盤補強

5.1 굴 착

대단면 터널의 굴착공법은 1980년초 油壓式 Jumbo Drill이 導入됨으로써 유사 貯藏施設, 地下鐵 및 도로터널에서 꾸준히 발전해 오고 있다. 本 굴착공사 역시 導入 初期段階에 비하여 굴착 성과가 높아졌으며 굴착면의 凹凸이 감소하는 등 Smooth Blasting效果도 매우 向上된 結果를 보였다.

심발공의 발과는 공사 초기에 V-Cut를 適用하였으나, 기계식 장공천공에 適合한 Large Hole Burn Cut로 바꾸어 施行하면서 천공장에 대한 발과 效率이 向上되었다.

천공은 $\phi 45mm$ Cross Bit를 使用하여 3.7m를 基準하였으며 Cut Hole를 除外한 공배치는 천

정과 벽체를 0.6m간격으로 하고 Stopping Hole 은 抵抗線이 1.0m~1.4m 間隔이 되도록 配置하였다. (Fig. 6)

火藥은 $\phi 32mm(L=40cm)$ 의 Gelatine Dynamite를 주화약으로 使用하였고, 주변암의 손상을 줄일 수 있도록 精密 爆藥인 Finex-1호를 천정과 벽체공에 겸용하였다 (Table. 2)

Table. 2 1회 발파당 천공수, 장약량 및 굴진장

區 分	단면적 (m ²)	천공수 (공)	장약량 (kg)	굴진장 (m)
貯藏空洞				
Gallery	100	135	414	2.5
Bench I	135	99	327	3.0
Bench II	117	87	306	3.1
連結空洞	53	92	255	2.8
진입터널				
Main	50	91	256	3.0
Branch	44	83	234	2.9
수봉터널	18	53	130	3.1

5.2 岩盤補強

岩分類는 現場에서 活用이 容易하도록 NGI의 Q-System을 기준해서 8개의 등급으로 單純化시켰으며 國內에서의 경험과 本 地域의 岩盤特性을 고려하여 암질별 보강 기준을 설정하였다. (Table. 3)

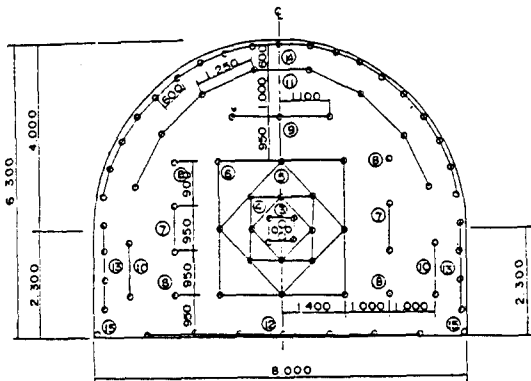


Fig. 6 進入터널의 천공 配置圖

Table. 3 암질등급별 보강기준

암질 등급		보 강 기 준	
		저장공동	진입터널/ 수봉터널
I	Very Good Q > 40	Crown : SHT 27.5m/m	None Support
II	Good 20(Q<40	BT 2.5mX2.5m SHT 50m/m	Spot BT
III	Good-Fair 8(Q<20	BT 2mX2m SHT 50m/m	BT 2.5mX2.5m SHT 27.5m/m
IV	Fair 5(Q<8	BT 2mX2m SHT 70m/m	BT 2mX2m SHT 27.5m/m
V	Fair-Poor 2(Q<5	BT 1.5mX1.5m SHT 70m/m	BT 1.5mX1.5m SHT 50m/m
VI	Poor 1(Q<2	BT 1.5mX1.5m SHT 90m/m (w/mesh)	BT 1.5mX1.5m SHT 90m/m (w/mesh)
VII	Poor-Very Poor 0.4(Q<1	BT 1.2mX1.2m SHT 125m/m (w/mesh)	BT 1.2mX1.2m SHT 125m/m (w/mesh)
VIII	Very Poor Q<0.4	Special Support	Special Support

- * BT : Rock Bolt (Spacing)
- * SHT : Shotcrete(Thickness)

실제 굴착된 貯藏空洞은 암질 분류상 Good 이상(Q>20)구간이 32%, Fair(5<Q<20)59%로 동굴지역 대부분을 차지하였으며 相對的으로 不良한 Poor(1<Q<5) 및 Very Poor(Q<1)구간은 각각 7%와 2%로 나타났다.

補強數量은 Rock Bolt의 境遇 바닥이 除外된 굴착 面積當 시공 갯수가 저장공동 0.22개/m², 진입터널 0.11개/m²이며 이를 굴진 연장으로 환산하면 저장공동14개/m, 진입터널 2개/m이었으며 천정부와 벽체가 약 6:4로 시공되었다.

Shotcrete의 平均 시공두께는 貯藏空洞이 49

mm, 진입터널 19mm이었으며 貯藏空洞 천정부全體는 낙석防止를 爲하여 Shotcrete를 타설하였다. (Table. 4)

Table. 4 터널별 補強수량

區 分		貯藏空洞	進入터널	수봉터널
Rock	3m	6,391	2,363	272
Bolt (개)	4.5m	5,055	63	-
	5.5m	665	23	-
	7m	97	-	-
Shot - 27.5mm crete 50mm		24,992	8,749	280
(타설 면적 :m ²)	90mm	15,843	3,763	70
	125mm	4,664	-	-
	250mm	6,474	689	-
		165	-	-

6. 地下水/Grouting

6.1 地下水 管理 및 關聯施設

地下水位 測定

基本調査時의 시추공과 工事時 設置한 관측공을 합하여 總 23개소에서 地下水位를 측정하였으며 貯藏空洞과 連結될 우려가 있는 貯藏空洞 直上部에 위치한 관측공은 공저 Grouting을 施行하였다. 관측공중 저장공동에 인접한 9공은 Double Completion을 設置하여 Pore Pressure도 함께 測定하였다.

地下水壓 測定

貯藏空洞 建設 기간 및 運營시에 지하공동주위의 지하수압과 溫度의 變化를 측정하기 爲하여 공동에 인접한 진입터널과 수봉터널하부에 Electric Piezometer Cell을 16개소에 분산 設置하여 管理하였으며 저장 공동내에도 Manometer를 設置하여 콘크리트 플러그 타설전까지 地下水壓을 측정하였다.

Monitoring Well

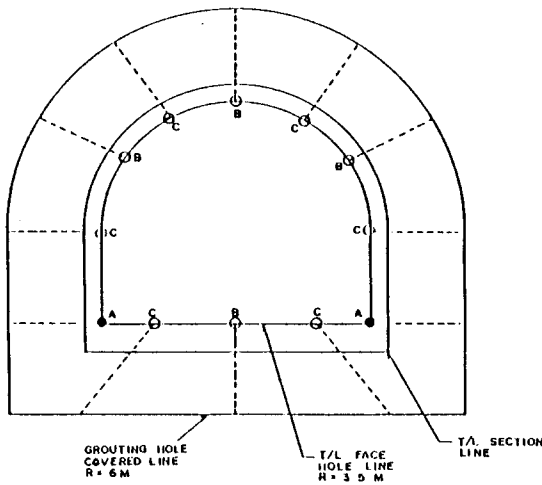
상부 지표에서 수봉터널까지 φ6"착정공을

뚫어 工事 完了後 충수시 공기 배출구로 利用 하고 運營時에는 수질분석을 爲한 시료 채취와 살균제 등의 약품 투입구로 利用하는 관측공을 부탄과 프로판 각1개소에 設置하였다.

6.2 Grouting 및 Water Balance

Grouting

地下水가 유출되는 位置를 사전에 알아내기 爲하여 굴진전에 進行方向으로 感知孔(Feeler Hole)을 천공하였고, 측정된 漏水量에 따라 0.5 1/min미만은 Grouting미실시, 0.5-2.5 1/min 는 Feeler Hole Grouting, 2.5 1/min 이상인 경우 Pre-grouting을 施行하였다. (Fig. 7)



- ▨ T/L과 HOLE方向이 이루는 각 R=15.
- ▨ HOLE LENGTH 10M
- ▨ A : FEELER HOLE GROUTING
- A + B : 6HOLE GROUTING
- A+B+C : 12 "

Fig. 7 진입터널에서의 Pre-grouting Pattern圖

貯藏空洞아치부에서의 Pre-grouting은 터널에서와 같은 方法을 適用하였으나 벤치에서는 벽체와 바닥부분에 하향식 Pre-grouting을 實施하였다. 굴착후에 나타나는 누수 부위는 After-

-grouting으로 止水하였다.

Water Balance

空洞의 누수량 측정을 위하여 굴착용수 및 Water Curtain 공급수와 터널에서의 排水量을 測定하였다.

굴착 完了後의 Water Curtain 공급수는 부탄 30-40m³/일, 프로판 40-50m³/일 이었으며, 測定된 누수량을 기준할 때 降水에 의한 보충수량은 平均 20-30m³/일로 分析되었다.

7. 結 言

本 LPG貯藏施設은 工事 結果를 評價해 볼 때 地質調査가 비교적 정확히 施行되었고 設計 段階에서 豫測한 저장공동의 安定性和 水密性도 각기 現場計測과 水理試驗을 통하여 확인되었으며, 예측하지 못한 地質條件으로 인하여 공동의 배치나 단면 축소 등의 設計變更없이 당초 계획대로 公사를 完了할 수 있었다. (Fig. 8)



Fig. 8 設備 工事完了後의 貯藏空洞 内部 全景

이전까지 建設된 지하 저장시설들이 調査 및 設計 단계에서 外國技術에 의존한 반면 본 시설은 立地選定부터 건설 완료시까지 그동안의 지하시설에 대한 經驗과 技術이 바탕이 되어 국내 기술진 主導하에 수행되었다는 점에서 그 意義가 매우 크다고 할 수 있다.