

평택LPG지하저장기지



이형원
정회원, SK건설 토목T/K팀 부장



차성수
SK건설 토목T/K팀 대리

1. 서언

무복공의 지하동굴에 LPG를 저장하기 위해서는 저장 동굴의 수밀성(water tightness)을 확보하는 것이 가장 중요한 기술적 과제이다. 저장동굴의 수밀성을 확보하기 위해서는 대상부지의 수리지질적 특성과 지질조건을 정확히 파악하는 것이 매우 중요하다. 저장동굴지역에 대한 지질 및 수리지질적 조건을 정밀하게 파악하기 위하여 입지조사 및 기본설계단계에서 뿐만 아니라 시공단계에서도 지속적인 조사를 실시하여 설계 및 시공에 반영하였다.

본 고에서는 남양호 하부에 건설된 평택LPG저장기지에 대한 수상에서의 지질조사 과정과 지하LPG저장의 핵심적인 부분인 수리지질설계 및 시공에 대해 중점적으로 소개하고자한다.

표 1. 평택LPG저장기지 공사개요

구분	내 용					
공사 내용	프로판 지하 저장 시설	공중	길이	폭	높이	단면적
		지하연속벽	228m	-	-	-
		진입터널	788m	8m	7.5m	53.13m ²
		수벽터널	668.73m	4.3m	4.8m	18.66m ²
		운영수직갱	119.0m	-	-	8.8m ²
		동굴A	80.0m	4.3m	4.8m	18.66m ²
	부탄 지상 탱크	동굴B	232.0m	17.5m	22.0m	320.34m ²
		동굴C	278.0m	17.5m	22.0m	320.34m ²
		동굴D	150.0m	17.5m	22.0m	320.34m ²
		공사용터널	183.5m	8.0m	7.5m	53.13m ²
연결터널	연결터널	36m	8.0m	7.5m	53.13m ²	
	Dome Roof Type 냉동탱크	21,000톤(33,500m ³) 2기				
Flare Stack	1기					

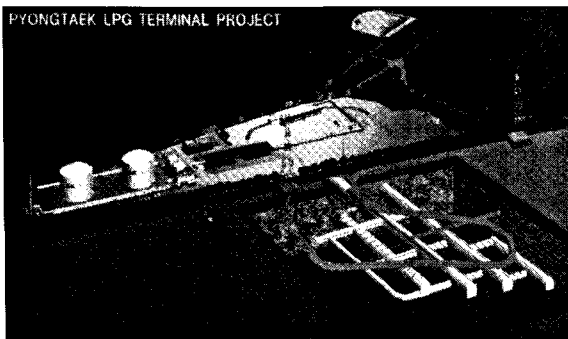


그림 1. 평택LPG저장기지 조감도

2. 지질조사

2.1 지질개요

본 지역의 지질은 선캠브리아기 경기 편마암 복합체로 구성되어있다. 저장동굴 설치심도의 구성암반은 편마암 및 편암류로, 두 암석의 경계부가 동굴설치심도에 걸쳐있어 저장동굴이 두 암석의 경계부를 관통하게 된다. 저장동굴지역 편마암과 편암류의 경계는 EL. -113~+159m

범위에 분포하며, 두 암층의 경계부는 횡압에 의하여 휘어져 있다. 경계부의 주향은 N60~70°W이고, 경사는 서쪽이 완만하여 10°NE이며, 동쪽이 30°NE의 급경사를 이룬다. 편암류의 일부구간에서는 저장동굴의 역학적 안정성에 영향을 줄 수 있는 탄맥과 흑연층이 발견된다. 본 지역의 단층은 N25~55°W 및 N20~30°E가 우세하고, 인근의 L-1추가기지 공사시에 N60~70°W방향의 단층이 확인된 바 있으며, 남양호 하부에는 대규모의 단층이 존재하는 것으로 추정되었다.

2.2 수상 지구물리탐사

2.2.1 수상 탄성파 반사법탐사

파악된 지질구조는 대략 15m내외의 퇴적층과 하부 기반암으로 이루어진다. 측량된 남양호의 수심은 최대 15m이고, 평균 7m정도의 분포를 보이며, 저장동굴부지 북쪽에 인접하여 깊은 골짜기를 이룬다. 이러한 호저 지형은 본 지역에 지질구조대가 존재할 가능성을 의미한다.



그림 2. 남양호 수심분포도

2.2.2 수상 소노부이(Sonobuoy) 굴절법 탐사

탐사결과, 퇴적층과 기반암을 구분하는 부정합면이 존재하는 것을 보여주며, 퇴적층에서 속도 2,000m/sec의 고결 퇴적층이 부정합면의 일부를 피복하고 있다.

기반암층은 최상부층(2,000~2,500m/sec), 중간층

(2,500~3,500m/sec) 그리고 최하부층(3,500m/sec 이상)으로 나뉜다. 조사지역의 북부는 풍화대가 발달하지 않으며, 신선암층 역시 조사지역 남부(평택 호안)는 속도가 3,500~4,500m/sec에서 주류를 이루지만 북쪽(화성군 호안)은 5,000m/sec에서 주류를 이룬다.

2.2.3 수륙혼합 탄성파 굴절법탐사

기반암의 탄성파 속도는 3,500~6,000m/sec의 분포를 보여주고, 4,500m/sec이상의 고속도층은 조사지역 남동단으로 부터 북동-남서의 방향성을 나타내며, 단층으로 해석된 구조대의 주된 방향은 북서-남동이다. 육상부지 서북측에 인접하여 나타나는 두 개의 불연속면 사이에 존재하는 4,000m/sec이하의 영역은 매우 심하게 파쇄된 편마암층으로 이는 대규모 단층으로 추정된다.

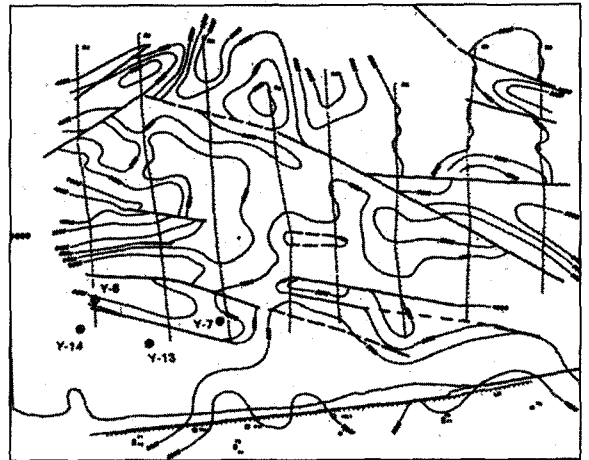


그림 3. 남양호 기반암의 탄성파 속도 분포도

2.2.4 육상 탄성파 굴절법 탐사

450m/sec내외의 표토층이 6m가량존재하며, 그 하부에 해석 퇴적층으로 판단되는 평균속도 1,600m/sec, 두께10m내외의 속도층이 분포한다. 그 하부는 속도 2,200~3,000m/sec가량의 풍화대가 10~18m의 범위로 분포하며, 신선한 기반암의 속도는 4,100m/sec이상으로 나타났다.

2.3 시추조사

입지선정조사를 위하여 실시한 경사시추 2공에 추가하여 기본조사시 수직시추 7공, 경사시추 4공을 실시하였다. 시추는 수상에서 수직시추 3공을 실시하고, 또한 운영수직갱의 예상지점에 1공과 구조선 확인을 위하여 2공이 수행되었다.

수리지질자료를 얻기위한 관측공 3공을 시추하여 수리시험을 실시하였으며, 향후에 방조제 안정성 검토와 남양호 하부 단층대를 확인하기위하여 방조제 제체 2공, 수상 1공을 추가로 조사하였다.

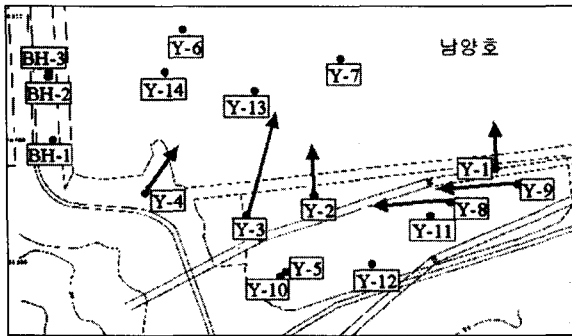


그림 4. 시추조사위치도

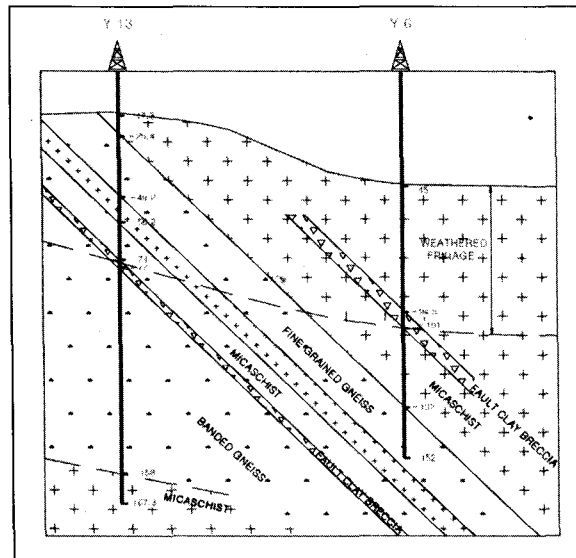


그림 5. 남양호 하부 단층대 주변 지질분포도

시추조사를 통하여 기반암인 편마암과 편암류의 경계를 확인하였고, 단층대의 위치를 파악하였으며, 저장동굴 심도에서의 암질을 분석하였다. 시추조사에 의해 파악된 지질구조는 육상에서 북부 남양호 방향으로 향사-배사구조가 반복되는 습곡과 N70~80°W, N60°W, N40°E의 3개 방향으로 발달하는 단층으로 대별된다. 절리는 EL. -35m에서 -90m까지 간격이 점차 증가하며, 편마암 하부에서는 RQD가 높은 값을 보이고, 편암부분에서 저하되는 경향을 보이는데, 이는 주로 흑연편암의 영향에 의한 것이다.

2.4 시공중 지질조사

정확한 지질조건을 파악하기위하여 시공중에도 지속적인 지질조사가 수행되었다. 기본조사에서 인지된 남양호 하부 단층의 정확한 위치를 파악하기위한 TSP탐사 및 시추조사를 실시하여 남양호 하부의 단층위치를 정확히 파악할 수 있었다.

2.4.1 TSP(Tunnel Seismic Prediction)탐사

남양호 하부의 단층대의 정확한 위치를 파악하기 위하여 진입터널, 수직수벽터널, 지하동굴 공사용 터널에서 TSP탐사를 수행하였다. 탐사 결과에서 단층의 위치는 기본조사시 판단된 것보다 지하동굴에 더 가까운 것으로 파악되었고, 3개의 단층군에 대한 윤곽을 파악하였다.

2.4.2 갱내 시추조사

TSP탐사에 의해 3개조의 단층대가 파악됨에 따라 단층대의 정확한 거리와 폭을 확인하기위하여 진입터널에서 4공의 갱내 시추조사를 시행하였다. 조사 결과 단층대가 TSP탐사결과와 같은 위치에 있고, 단층대 주변은 함수파쇄대로 확인됨에 따라 진입터널의 선형과 저장동굴의 북단 한계선의 조정이 불가피하였다. 그리하여 당초 설계된 진입터널경로를 변경하였고 이에따른 저장동굴의 위치변경을 수행하였다.

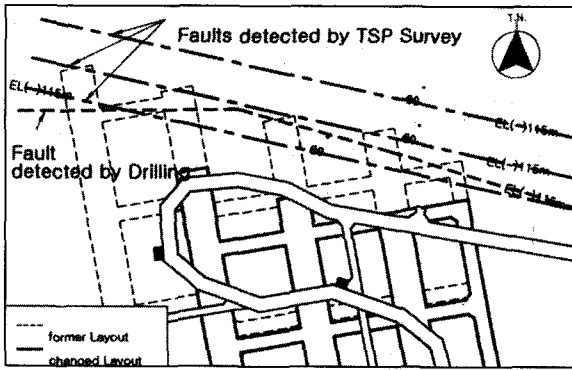


그림 6. TSP탐사 및 갱내시추조사에 의한 단층위치확인 및 저장동굴 설계변경

3. 수리지질조사 및 시험

3.1 수문조사

평택LPG기지 지역의 1961~1990년의 연평균 강우량은 1,307mm이고, 갈수기(10월~3월)의 월 평균 강우량은 39.50mm, 우기(4월~9월)의 월 평균 강우량은 178.30mm이다. 지하수위는 최소 EL.+0.3m에서 최대 EL.+4.0m을 이룬다.

3.2 수리경계

관측공과 기존 L-1기지의 지하수위자료에 따르면, 지형적인 영향으로 지하수는 기존 L-1기지지역 구릉지에서 경계면을 형성하며, 본 지역의 유일한 대수층인 상부 풍화대를 통하여 남양호 및 바다로 유입되어 남쪽과 북서 방향으로 지하수 유동경계조건을 이룬다. 이 지역의 수리경사는 1.81/100을 나타내는데 반해 기존 L-1기지의 수리경사는 27/100으로 이는 투수성이 매우 불량한 경계조건인 기반암(준대수층)이 남쪽지역에 동서방향으로 발달되어 있기 때문이다. 본 지역의 주된 지하수 함양구간은 서쪽지역이며, 함양지역 일대에 분포된 편마암 대수층이 부지내에 분포하고있는 편마암과 수리적으로 연결되어

있다. 남양호는 상부 대수층에 고정경계조건으로 수평 수리경계를 형성하고, 육상부에서는 40~50m 심도의 상부 대수층이 수직 수리경계 조건을 형성하며, 동굴설치 지역에서는 남양호수가 상부 수리경계 조건을 형성한다.

3.3 수리시험

85회의 수압시험, 18회의 수위강하시험, 2개의 양수정에서 1일씩의 양수시험, 3개의 주입공에서 2~3일씩의 주입시험, 5개월간의 지하수위 측정등으로부터 얻은 모든 자료들을 이용하여 조사지역일대의 각종 수리상수를 산출하였고, 수리지질적인 간섭현상 및 경계조건을 분석하였다.

구간별 수리시험과 장기 간섭시험 결과, 조사지역은 상부 대수층 및 하부 난대수층으로 구분되며 수평적으로는 비균질적인 수리지질적 특성을 보이고 있다.

모래 퇴적층의 투수계수는 평균 $2.0 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$ 로 나타내고, 이를 포함한 상부 대수층(M.S.L. 0~-40m)의 투수계수는 평균 $1.0 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$ 정도의 값을 나타낸다. 상부 대수층은 양수시험이나 단기수리시험 결과 횡적인 연속성이 확인되었으며, 이 층의 저류계수는 $4 \times 10^{-5} \sim 4.5 \times 10^{-4}$, 공극률은 10%이고 확산계수는 $400 \sim 2,800 \text{ m}^2/\text{sec}$ 이다.

기반암은 상부에서 $1.0 \times 10^{-7} \sim 2.0 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$ 의 투수계수 분포를 보이고, 동굴설치구간에서 $1.0 \times 10^{-12} \text{ m/sec}$ 이하의 매우 낮은 투수계수를 나타내는데, 이 구간은 수직절리로 인해 현저한 투수 이방성을 가진다. 기반암에서의 주입시험에 의하면 수직 투수계수는 $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-9} \text{ m/sec}$ 로 수평 투수계수 $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/sec}$ 보다 크며, 투수계수의 이방성이 현저하다. 간섭시험 결과 매우 낮은 저류계수 ($1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-7}$)를 보이므로 절리의 수평방향 연속성이 미약함을 알 수 있다.

3.4 수질분석

해수의 침입여부, 시공시 골재와의 화학반응, 저장품과

의 화학반응등 향후 발생가능 여부를 확인하기 위하여 지표와 시추공내에서 시료를 채취하여 분석하였다.

공사중이나 운영중에 수벽공을 통해 주입하는 물의 수질은 지하수와 유사하며, 물리화학적 부적합성을 일으키는 염분 침전물이 없음을 확인하였다.

4. 수리시설 설계

4.1 개요

LPG지하저장의 기본조건은 저장동굴의 수밀성에 있다. 주변 암반으로부터 저장동굴 방향으로 지하수의 유동이 지속적으로 이루어짐으로써 저장물이 동굴로부터 누출되는 것을 억제한다. 저장물은 물보다 가볍고 물에 용해되지 않으므로 동굴로 향한 지하수의 유동에 의해 동굴 속에 구속되어 보존된다.

저장동굴의 설치 심도는 이러한 조건이 만족되는 기준에 의거하여 결정된다. 저장동굴로 유입되는 지하수는 동굴 바닥에서 sump로 모이게 되고 외부로 배수된다. 동굴

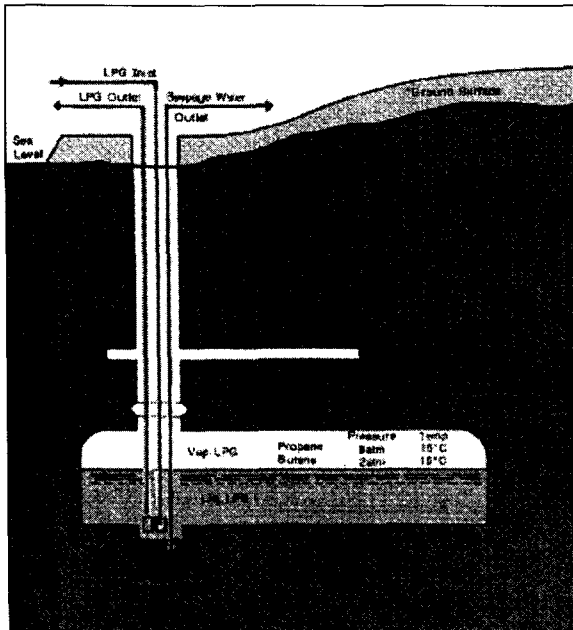


그림 7. 지하 LPG저장 개념도

누수량은 적정하게 유지되어야 하고 이를 위해 공사 중에는 누수량을 조절하기 위한 그라우팅 작업이 필요하며 지하수계의 안정성을 위한 제 시설을 설치한다.

4.2 설계조건

평택 LPG저장기지는 지상에 부탄을 저장하고 지하에 프로판을 저장하도록 설계되었다. 지상에서의 프로판 인수조건은 압력이 3~7kgf/cm²이고 온도가 -40°~-46° C 상태인데, 지하저장을 위해서 +2° C까지 가열한다. 프로판 저장기지의 운영압력은 다음과 같다.

표 2. 프로판 저장기지의 운영압력

항목	압력(kgf/cm ²)	
	공동심도	지상
최대운영압력	8.46	8.26
안전밸브압력	8.87	8.67
시험압력	8.87	8.67

4.3 수벽시설

4.3.1 수직수벽공

굴착 공사중과 기지운영시에 상호 수리간섭 영향으로 인한 수위 변동이나 기지 운영에 필요한 수밀성 유지 등에 부정적인 영향이 발생하지 않도록 수직수벽시설을 설치한다.

지상 수직수벽공은 지표에서 불투수층까지 저장동굴을 굴착하기 이전에 상부 대수층에 설치하는데, 이는 진입터널 굴착 중의 비정상적인 지하수위 하강을 방지하고 기존 L-1기지에 대한 수리지질적인 영향을 피할 목적으로 진입터널 개착부와 기존 L-1기지사이에 굴착 공사 이전에 설치하며, 지하수두를 0m이상 유지할 수 있도록 물을 공급한다.

지하 수직수벽공은 저장동굴 굴착으로 인한 기존 L-1기지와의 수리간섭을 방지하기 위하여 진입터널 연결구간에 소규모의 수벽터널을 굴착하여 설치한다. 설치 심도는 EL. -55m로 하고, 동굴 하부 20m까지 설치함을 원

칙으로 모든 수벽공은 EL. -155m까지 설치한다.

4.3.2 수평수벽공

수평수벽공의 기능은 공사중 저장동굴으로의 지하수 누출로 인한 암반내 탈수대 형성 방지 및 지하수위 유지를 비롯하여 운영중에는 각각의 수벽공간에 원활한 수리 간섭에 의한 수밀성 유지로 제품의 누출을 방지하는데 있다.

수평수벽시설은 터널과 수벽공으로 구성되며, 수벽공과 저장동굴간의 거리, 수벽공 간격, 수벽공 직경, 수벽공 효율성과 같은 요소들을 고려하여 설계한다. 수벽공과 저장동굴과의 거리는 25m로 설계하였고, 수벽공은 EL. -89m에서 EL. -95m까지 하향식으로 직경 100mm로 천공한다. 수벽공간 마찰수두손실을 고려하여 수평수벽공간의 적정 거리는 10m이고 수벽공의 길이는 저장동굴의 폭으로 10m 연장한다. 수벽공 간격 및 설치위치(신규동굴로부터 80m, 기존 L-1으로부터 300m)는 수벽시설의 효율성을 검토하여 결정하였으며 효율성은 두 동굴간의 수리 간섭 방지를 위해 수벽공에 적용되는 최대 허용 주입압을 입력하여 산출하였다. 수평수벽시설은 굴착 중에 물을 주입하여 수두가 0m에서 +10m 사이가 되도록 한다. 수벽공 설치 지점은 투수성이 아주 낮은 기반암으로 구성되며 수치해석 결과 산출된 총 주입량은 50m³/day이다.

4.4 예상침출수량 및 양수량

AQUA, SEEP/W, MODFLOW에 의한 전산해석을 수행한 결과와 계산식에 의한 저장공동에서의 예상침출수량은 다음과 같다.

표 3. 저장공동 예상침출수량산출

구분	침출수량(ton/day)			
	계산식	GK 모델링	SK건입 모델링	적용
공사중	30	40	26	40
운영중	10~30	10~40	7~26	10~40

진입터널에서의 예상침출수량은 전산해석에 의해 120ton/day로 계산되어 적용하였고, 수벽터널은 수직수벽터널에서 25ton/day, 수평수벽터널에서 20ton/day로 총 45ton/day로 계산되었다. 운영중의 양수를 위하여 12ton/hr 용량의 펌프 2대를 설계하였다.

5. 수리시설 공사

5.1 수직수벽시설

수직수벽공은 저장동굴 굴착중이나 운영중에 인근 한국석유공사 L-1기지와 인근 마을심정의 양수에 의한 수리간섭영향에 대처하기하기 위하여 지상과 지하에 설치하였다.

5.1.1 지상 수직수벽공

지상 수직수벽공은 총 15공을 천공하고 효율성 시험을 수행하였다. 수벽공 간격은 12~60m, 심도는 58m, 공경은 100mm이고, 주수량은 103.54m³/day정도이며, 주수압은 0~0.26kgf/cm²이다.

상부 풍화대 구간으로 주입수가 다량 누출되어 주수효과가 미미하거나 케이싱 시멘트의 균열등으로 주입수가 지표로 유출되는 현상을 방지하기 위하여 일부 공을 선정하여 Completion 작업을 수행하였다.

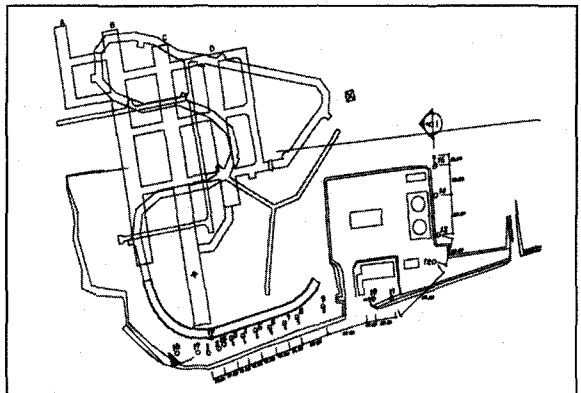


그림 8. 지상 수직수벽공 위치도

5.1.2 지하 수직수벽공

지하 수직수벽터널은 당초 하향 굴착으로 설계되었으나 터널내 발생용수를 자연배수하기 위하여 경사를 0.3% 상향으로 256.4m를 굴착하였다. 수벽공은 기본설계시 16공을 계획하였으나 효율성 시험결과에 따라 추가로 4개공을 설치하였다. 수벽공은 각 길이가 103~126m로 총길이는 2,193m이고, 공경은 100mm이며, 수평수벽공과 같이 주수라인을 설치하여 주수하였다.

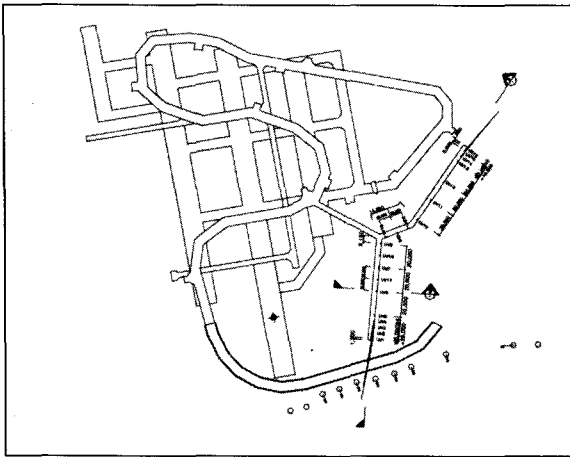


그림 9. 지하 수직수벽공 위치도

5.1.3 마을심정 대책 추가 수직수벽공

평택기지 인근의 원정 8리 마을심정은 공사 시작전에 마을 주민들의 생활 용수로 사용하기 위하여 개발되어 양수를 지속하여왔다. 주민들의 완강한 반대로 본 우물을 폐쇄하기 곤란하여 이를 그대로 두고 기지 운영 조건을 충족시킬 수 있는 방안으로 마을 우물과 동굴C의 남측부 사이에 추가 수직수벽공을 설치하여 수벽시설을 보완하였다.

5.2 수평수벽시설

저장동굴 상부(EL. -115m)로 부터 25m 위에 설치되는 수평수벽공은 수벽터널 벽체부(약 EL. -90m)에 시공되었다.

수평수벽공은 저장동굴 굴착전에 설치가 완료되었고, 주수가 이루어진 상태에서 동굴 굴착을 하였다. 시공 완료된 물량은 효율성시험을 통하여 추가 6공을 포함하여 총 75개공(coring 9공)으로 총연장은 4,730m (coring 598m)이다.

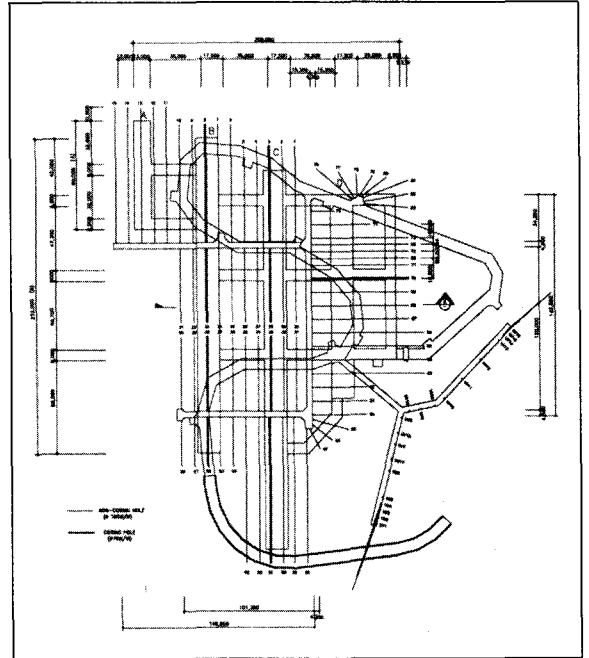


그림 10. 지하 수평수벽공 위치도

5.2.1 수리시험

천공 완료된 각 수벽공에 대하여는 초기압 측정 후 단기 수리시험을 수행하였다. 시험방법은 주로 주입/강화 시험방법으로 수행하였으며, 일부공에 대하여는 배출/회복시험으로 수행하였다.

시험결과 본 지역의 수평수벽공에 대한 투수계수 분포는 전반적으로는 낮은 $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-11}$ m/sec의 값을 나타내는 것으로 파악되었다. 반면, 기지 북단의 단층대에 인접한 공들과 운영수직갱에 인접한 공 그리고 국부적으로 일부공에서 다소 높은 $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-7}$ m/sec의 투수계수를 보인다.

천공완료된 수평수벽공은 $9.5 \sim 10$ kgf/cm²의 주입압

으로 주수하였으며, 시험결과에서 높은 투수계수를 보이는 공들이 비교적 많은 주수량을 나타내었다. 운영수직갱 주변의 수벽공들은 주수량의 대부분이 수직갱으로 누수 되는 것으로 판단되며, 복단 단층대와 연결된 공들은 자체 수압이 8~10kgf/cm² 정도를 나타내고 있어 주수를 하지않고 수압변화를 관찰하였다. 특히, 이들은 다량의 염분을 함유 하고 있다.

5.2.2 주수압 및 주입량

주수량 및 주수압을 측정한 결과 전공의 수두가 E.L 0m 이상을 유지하고 있었으며, 일부 수벽공의 수두는 E.L. -5~-10m으로 나타났으나 수벽공의 역할로는 충분하다.

주수는 동굴C 상부에 위치하고 있는 투수계수가 큰 값의 공들에서 다량으로 유입된다. 주수 초기에는 일일 평균 60ton/day정도 주입되었으나 전반적으로 80~90ton/day정도로 주입되었다.

5.3 기밀성 시험

지하저장기지 건설이 종료된 후, 저장공동에 대한 기밀성 시험을 수행하였다. 기밀성 시험의 압력은 동굴천단부에서 측정된 수리적 포텐셜, 형상계수, 수리적 안전한계 등의 수리지질학적 변수와 저장물의 특성을 고려한 저장동굴내 최대운영압력, 기밀성을 판단하기 위한 안전밸브 설치등의 운영조건에 관련되어있다. 기밀성 시험은 압축공기를 이용하였고, 공기압은 저장동굴에서 최대 100kPa/day의 증가율로 주입되며, 시험압력은 공동 깊이에서 9.28kgf/cm²이다.

5.4 지하수 모니터링

5.4.1 관측공 설치

관측공은 기존의 조사공을 활용하였고, 관측공이 필요한 지역과 저장동굴의 설계변경에 따른 저장동굴 연장 가능 지역에 대한 조사/관측공을 6공 추가시추하였다. 또한

저장동굴 북쪽 한계선이 결정됨에 따라 남양호상의 수상 관측공도 3공이 추가로 설치되었다. 지하저장동굴과 인접한 조사공에 대해서는 재천공하여 하부구간을 밀폐시켰다.

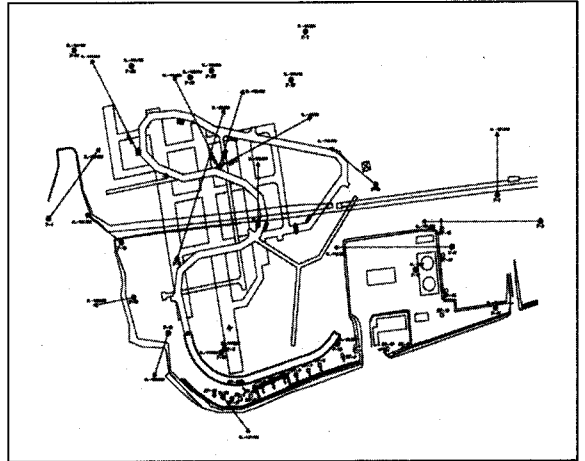


그림 11. 관측공 위치도

5.4.2 간극수압계 설치

저장공동의 외곽 지역에 대한 지하수위 분포는 지상에 설치된 관측공을 이용하며, 공동에 인접한 지역의 간극수압을 측정하기 위해서는 Piezometer cell을 이용한다. 간극수압계는 굴착공사중에 수위변동이 있거나 수두강하가 일어나는 등의 관심 지역에 설치하는 것을 기본으로 한다. 이를 위해서 측정할 후보지역에 Manometer공을 천공하고, 수두변화를 관측하다가 간극수압계 위치를 선정하여 설치하였다.

5.4.3 저장동굴내 침출수

터널 전체의 침출수량은 개착부 100톤을 포함하여 170ton/day으로 순수한 터널내 침출수량은 주입수량의 70%정도인 70톤 가량으로 판단되며, 이중 저장동굴로의 침출수는 약 20ton/day 정도이다.

진입터널 북단부의 침출수에 염분이 함유되어 있는 것으로 보아 해수와 담수의 경계선은 저장공동내에 존재하는 것으로 판단되며, 저장동굴 복단에 있는 단층대의 영

향권에 속하는 지역에서 발생하는 다량의 침출수는 염분을 함유하고 있다.

6. 결론

지하 LPG저장기지는 저장물의 안정적인 저장을 위하여 수밀성이 가장 중요하므로 수리지질적으로 가장 적합한 위치를 선정하기 위하여 입지조사로부터 설계단계, 시공단계까지 지속적이고 정밀한 조사를 실시하였다. 남양호 하부의 지질조사를 위하여 수상 지구물리탐사 및 수상 시추를 수행하였으며, 설계단계에서 충분히 파악하지 못

한 지질구조는 진입터널 굴착시의 막장관찰과 TSP탐사 및 시추조사등을 통해 정확하게 파악하였다.

저장동굴주변에 있는 기존 L-1기지, 마을심정과의 수리지질적인 간섭을 고려하여 저장동굴과 적절한 이격거리를 두었고, 지상 및 지하에 수직수벽시설을 설치하여 수리지질적 안정성을 확보하였으며, 굴착시의 상부 지반 탈수현상 및 운영중의 수리적 안정성을 확보하기 위하여 수평수벽시설을 저장동굴 상부에 설치하였다. 저장동굴의 수리적 안정성을 확보하기 위하여 관측공과 간극수압계를 이용하여 지속적인 수리지질적 관측 및 해석을 실시하였다.