

## 인천 LPG 수입기지 현장

### LPG Cavern in Incheon, Korea

김 동 규 (Dong Kyu Kim)

LG건설 현장소장

오 두 환 (Doo Hwan Oh)

LG건설 공사부장

정 찬 균 (Chan Gyoon Joeng)

LG건설 지질담당

#### 서 언

#### 주요 공사 내용

인천 남동공단에서 약 9Km 떨어진 해상에 준설, 매립하여 조성된 3만평의 인공섬에 위치한 인천 LPG 수입기지 현장은 인천광역시와 수도권 지역에 민수용 LPG의 안정적인 공급을 하기 위하여 건설되는 LPG저장용 지하동굴 공사 현장이다. 저장 용량은 Propane가스 17만톤(34만5천m<sup>3</sup>), Butane가스 7만톤(12만5천m<sup>3</sup>) 이다. 지하저장시설은 대용량의 액화가스를 주변환경을 해치지 않으면서 화재나 전쟁, 지진등 재해로부터 안전하게 보호 하는데 가장 경제적이고 효율적이며, 운전 및 유지 보수 비용이 적게 드는데다 국토의 효율적인 활용과 공사비가 저렴하다는 장점을 갖고 있다.

본 공사의 주요 내용은 저장용 동굴(cavern) 2개소와 공사용 수직구(shaft) 1개소, 운영용 수직구 2개소, 55,000DWT 규모의 LPG 수송선의 접안을 위한 항만 시설 등으로 Table 1과 같다.

#### 지 질 개 요

본 부지의 지질상태를 확인하기 위하여 Table 2와 같은 조사가 실시되었다. 본 지역의 지질은 선캠브리아기의 편마암류가 기저암으로 위치하고 있으며, 이를 관입한 화강암 및 백악기의 백암류를 제 4기 해성 퇴적층이 부정합으로 피복하고 있다.

본 공사는 바다를 준설·매립하여 부지를 조성한 후, 해저에서 시행되는 대규모 지하공간 개발 사업으로서 국내는 물론 국제적으로도 처음 시도되는 공사이며, 추후 해저 지하공간 개발 사업의 모델링이 될 것으로 예상되고 있다. LG건설이 시공을 담당하고 있는 이 현장은 LG-Caltex가스 주식회사가 발주했으며, 기본설계는 프랑스의 Geostock사가 담당했고, 상세설계는 LG엔지니어링이 맡았다. 인천 LPG 수입기지 건설공사 현장은 인천시 연수구 동춘동 해상 매립 부지에 위치하고 있으며, 해안도로로부터 약 9km 떨어진 해상에 위치하고 있다 (Figure 1).

선캠브리아기의 편마암류는 흑운모 호상 편마암, 화강암질 편마암 및 편암류로 구성되어 있다. 화성암류는 화강암, 각섬암으로 구성되어 있고, 화강암은 세립 내지 중립질로서 괴상 구조를 띠며 국부적으로 세립질인 반상화강암이 협재되기도 한다. 백악기의 백암류는 염기성 및 산성 암맥으로 조사지역 전역에 광범위하게 분포하며, 안산암, 규장암, 화강반암, 석영반암 및 석영맥으로 구성되어 있다.

제 4기 해성 퇴적층은 평균 두께가 45~68m 내외로 EL.-35~-59m까지 매우 두텁게 퇴적되어 있

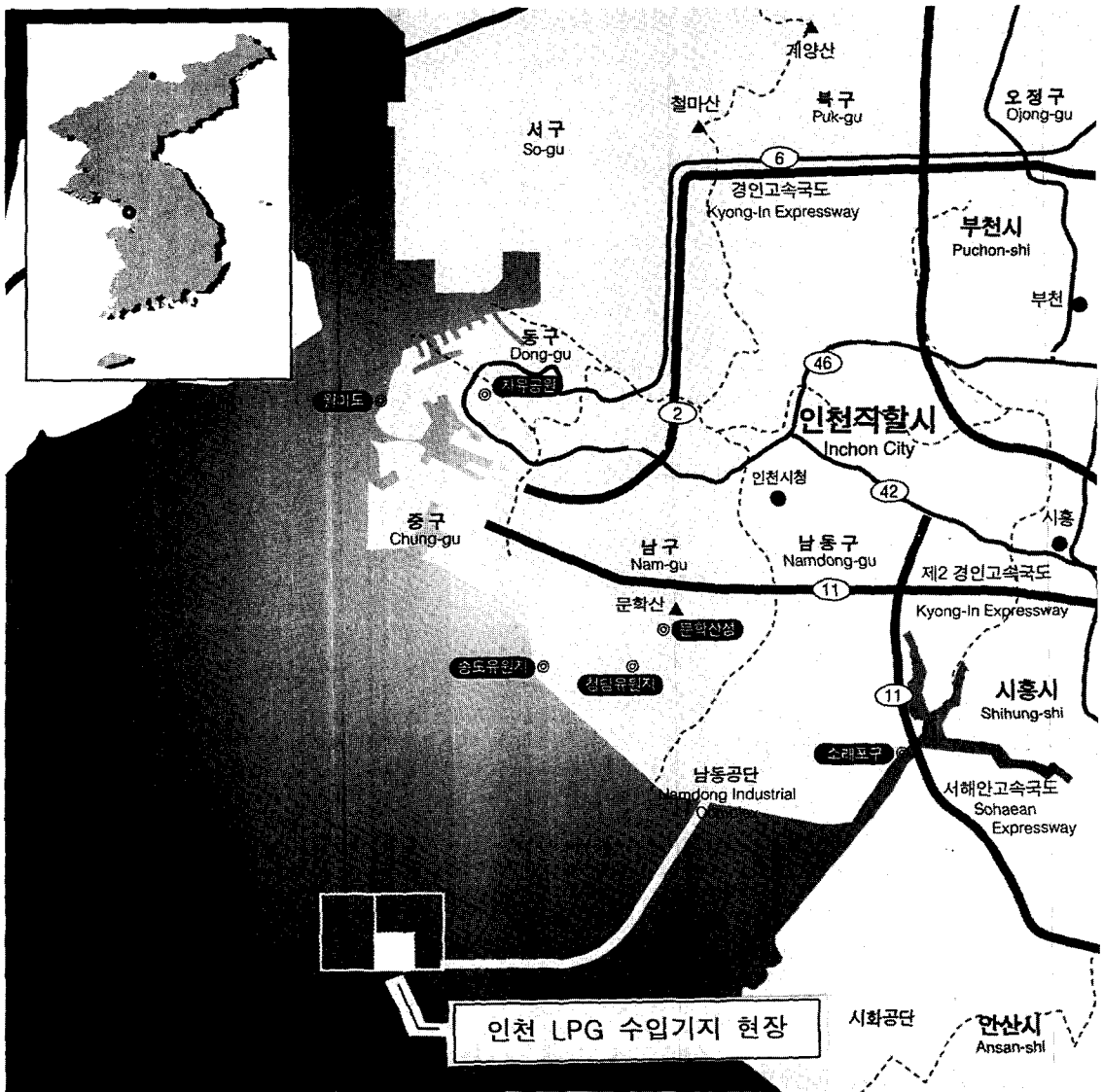


Fig.1. 인천 LPG 수입 기지 위치도.

으며, 구성물질은 주로 세립질 모래이고 실트 및 점토가 소량 혼합되거나 농집되어 수m의 층후를 이루어 모래층과 교호하고 있다.

암종에 따른 지질공학적 특성은 다음과 같다.

- 흑운모 호상 편마암

심한 변성 작용의 결과로 복잡하고 다양한 지질 구조가 발달되어 있으며 특히 엽리가 발달되어 있

다. 엽리 방향이 터널 굴진 방향과 동일한 방향으로 분포할 경우 발파 효율이 저하되며 지질 구조선을 따라 다량의 누수가 발생이 되기도 하며 굴착후 즉시 보강이 요구되고 있다.

- 화강암질 편마암

괴상으로 현장에서 가장 양호한 암질 상태를 보여주고 있으며 누수 질리의 발달이 미약하고 굴진

인천 LPG 수입기지 현장

Table 1. 주요 공사 내용.

구분	공 종	규 격	수 량	비 고
동 굴 공 사	A. 수직구 공사	상부:slurry wall,하부 : NATM 굴착		
	slurry wall	∅15.5m x H62.5m x W1.2m	1개소	공사용
		∅9.9m x H62.5m x W1.0m	1개소	운영용
		∅9.9m x H71.0m x W1.0m	1개소	운영용
	B. 굴착공사(NATM공법)	굴착량 540,000m <sup>3</sup>		
	cavern	16m x 26m(3단계 굴착)	1,193m	저장동굴
	construction T/L	8m x 7.2m	970m	공사용
	connection T/L	8m x 7.2m, 10m x 8.0m	1,425m	저장동굴
	water curtain T/L	4.9m x 4.6m	891m	수벽공 설치
	계		4,479m	
	C. 보강공사			
	rock bolt	L = 1.8~6.0m	37,000공	
	shotcrete	T=50~210m/m	152,000m <sup>3</sup>	
	grouting	L=1.8~20m	82,000m	
w/c bore hole	수평수직	151개소		
돌 편 공 사	· 준설		213만m <sup>3</sup>	
	· working platform	30mx22m, 21mx10m	2기	
	· breasting dolphin	26mx15m	2기	
	· mooring dolphin	12mx12m	4기	
	· trestle	B=9.0m	1,050m	

효율이 가장 양호한 암종이다.

○ 화성암류 및 맥암류

수차례에 걸쳐 관입된 것으로 화성암류는 풍화가 많이 진행이 되어 강도가 약하게 나타나고 있으며 다량의 누수가 발생되고 있다. 자립 시간이 가장 짧으며 굴착 후 즉시 보강을 한후 다음 공정을

진행을 하고 있으며, 굴진 효율은 양호하나 grouting 효과가 가장 떨어지고 있다.

Table 2. 지질 조사 내용.

조 사 항 목	입지 타당성 조사	1차 추가 지질조사 (기본조사 및 상세조사)	2차 추가 지질조사 (기본조사 및 상세조사)	비 고
1. 기존자료분석	1 식	1 식	1 식	
2. 해상 탄성파 탐사	30SP (7.2km)	-	-	
3. 시추조사	NX, 4공 (860m)	NX, 16공 (3,218m)	NX, 5공 (1,450m)	
4. 수리간섭시험	-	Butane 지역 4 Set Propane 지역 10 Set	Short Term 4 Set Long Term 3 Set	
5. 공내검층	공 3 공 극 3 공 자연방사능 3 공 전기비저항 3 공 온 도 3 공 -	공 14 공 극 14 공 자연방사능 14 공 전기비저항 14 공 온 도 14 공 flowmeter 17 공	공 5 공 극 5 공 자연방사능 5 공 전기비저항 5 공 온 도 5 공 -	
6. 코어방향성 측정	3 공	14 공	5 공	
7. 실내시험	16 조	30 조	-	
8. 조사공	NX, 10공 865m : 시공중 부지 및 전방 지질 상태를 확인하기 위하여 실시			

### 굴착 및 보강작업

#### 수직구

수직구는 공사용 1개소, 운영용 2개소가 있으며 제원은 Table 3 및 Figure 2와 같다. 본공사가 해상의 인공 조성된 부지에서 시공되는 관계로 저장공

동 계획고까지 진입 ramp tunnel의 시공이 불가능하므로, 대신에 폭 10m의 수직구를 설치하여 공사용 장비, 자재, 인원의 진·출입은 물론 버럭처리 통로로 이용하였다. 수직구 시공시 상부 연약지반은 국내 최대 시공 심도인 62.5m, 71m의 slurry wall로 시공되었으며, 공사용 수직구는 127m, 운영

Table 3. 수직구 제원표

수직구 명칭	구 경 (m)	심 도 (m)	최종굴착심도	비 고
공사용 수직구	slurry wall 구간:11.5 NATM 굴착구간:10.0	slurry wall 구간 : 62.5 NATM 굴착구간 : 64.5 127	EL(-) 120	
프로판 운영용 수직구	slurry wall 구간:6.3 NATM 굴착구간:4.0	slurry wall 구간 : 62.5 NATM 굴착구간 : 115.5 178	EL(-) 171	
부탄 운영용 수직구	slurry wall 구간:6.3 NATM 굴착구간:4.0	slurry wall 구간 : 71 NATM 굴착구간 : 87 158	EL(-) 151	

## 인천 LPG 수입기지 현장

용 수직구는 158m와 178m 심도로 시공되었다. 공사용 수직구에는 장비가 탑재된 상태로 운행이 가능한 car-lift를 설치하여 운행하였다. Slurry wall

의 외부는 S.C.W 공법으로 차수 및 보강을 실시하고 내부는 inner lining을 시공하였다.

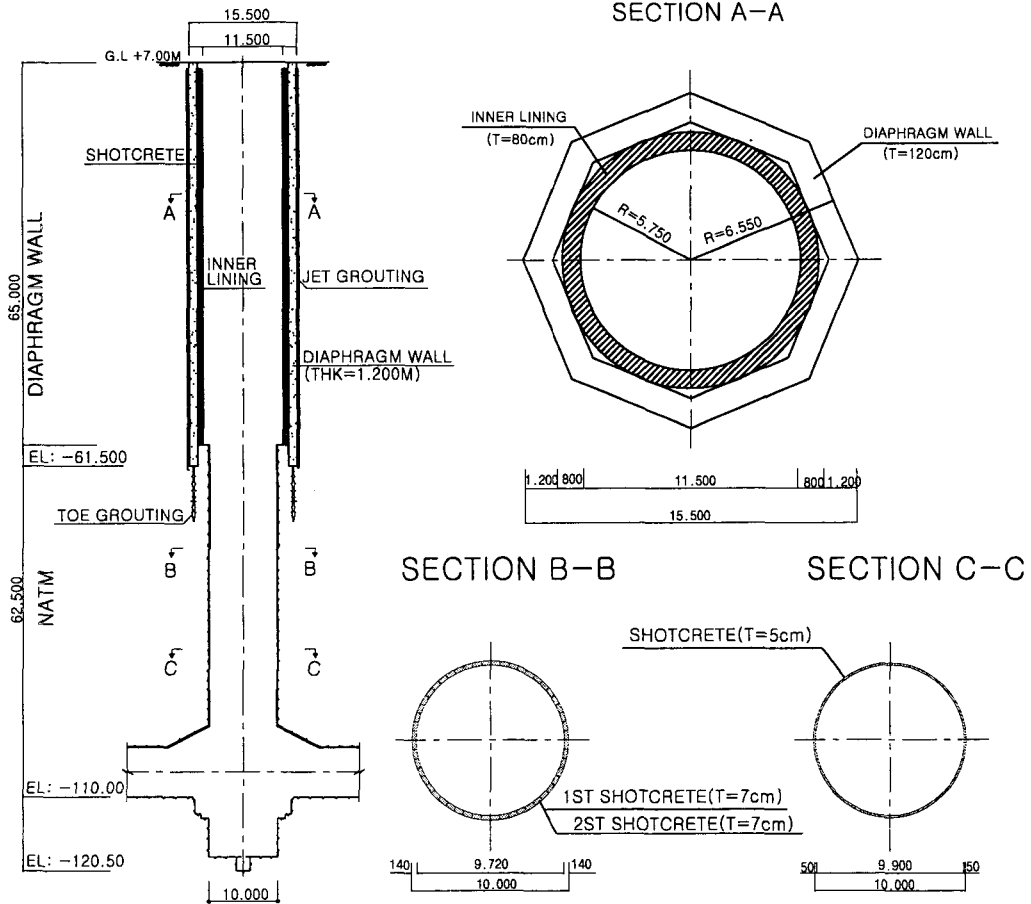


Fig. 2. 공사용 수직구 단면도.

### 굴착

Slurry wall 구간의 굴착은 지상에서 0.5m<sup>3</sup>급 cram shell을 이용하였으며, 하부 암반 구간은 0.2 m<sup>3</sup> back-hoe를 이용하여 1m<sup>3</sup>급 kibble에 적재 후 hoist에 의하여 지상으로 반출하였다. 암반 구간은 NATM공법으로 굴착을 하였으며, leg drill을 이용하여 인력 천공을 하고 화약을 장약하여 발파를 하였으며, 1회 굴진장은 0.75m로 시공이 되었다.

### 보강

수직구 굴착 구간의 보강은 굴착면에 대한 조사를 실시하고 그 결과에 의거 A, B type으로 구분하여 보강을 실시하였다(Table 4).

Slurry wall 시공후 굴착전에 slurry wall 하부와 암반과의 경계부에 대한 차수 및 지반 보강을 위하여 지상에서 toe grouting을 실시하였다. 용수개소에 대하여 굴착전 pre-grouting을 실시하고 굴착후

누수 개소에 대하여는 after-grouting을 실시하였다.

Rock bolt 시공시 천공은  $\varnothing 38\text{mm}$  leg drill을 이용하였으며, 전면 부착형인 slack bolt type으로 시공을 하였다. Shotcrete 타설은 습식장비는 협소하

여 투입할 수 없었으며, 분진이나 rebound는 다소 발생되나 이동 및 운반이 용이하고 장거리 압송이 가능한 건식 공법으로 타설을 하였으며, 보강재는 설계에서 제시된 wire mesh 대신 SFRS(steel fiber reinforced shotcrete)를 사용하였다.

Tabel 4. 터널 구분에 따른 보강 패턴.

터널구분	A type	B type	비 고
construction shaft	rock bolt $\ell=3.0$ shotcrete 5cm	rock bolt $\ell=3.0$ shotcrete 5cm	
propane, butane operation shaft	rock bolt $\ell=1.8$ shotcrete 5cm	rock bolt $\ell=1.8$ shotcrete 14cm	

프로판 저장동굴

프로판 저장동굴은 3열의 저장 동굴과 1개의 공사용 터널, 운영용 수직구와 연결되는 2개의 수직

구 연결 터널, 시추공 시공을 위한 water curtain tunnel 및 각 터널을 상호 연결하는 연결 터널로 되어 있다(Table 5).

Table 5. 프로판 저장동굴 터널 연장 및 단면.

터널명	연장 (m)	단면 (H x W)	용도	터널바닥 (표고)
CT- I	352	7.2x8.0	공사용 터널	EL(-) 110~137.2
shaft connection T/L	902	5.5x5.0	cavern과 operation shaft 연결	EL(-) 135.5, EL(-) 156.0
cavern connection T/L	192	8.0x10.0	cavern 연결 터널	EL(-) 147, 156
ramp T/L	141	8.0x10.0		EL(-)137.2~156.0
cavern 1.2.3	800	26.0x16.0	저장 시설	EL(-) 156.0
WT	881	4.9x4.6	bore hole 설치용	EL(-) 106~110

터널 layout은 Figure 3과 같으며, 각 터널별 단면은 Figure 4와 같다.

굴착

- 터널 굴착은 jumbo drill을 이용하였으며, 굴착 장비는 다음과 같다.

천공장비 : jumbo drill 3boom 2대, jumbo drill 2boom 3대  
 갱내버럭 상차 : wheel loader 3대  
 버럭운반 : dump truck(15m3급) 15대  
 1회 천공시 굴진장  
 천공장 : 3.7m

인천 LPG 수입기지 현장

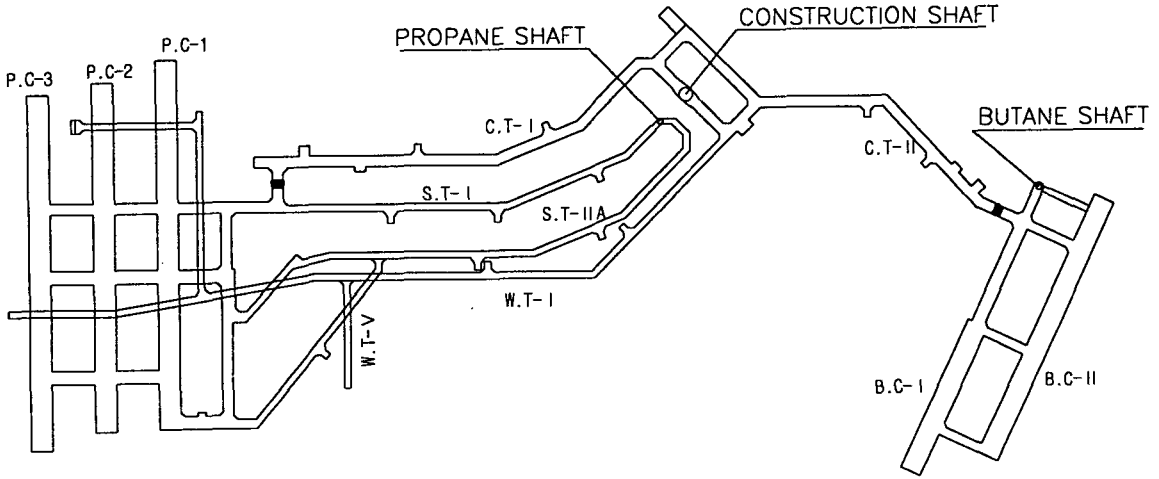


Fig.3. 지하저장동굴 배치도.

- 굴진장 : 평균 3.1m
- 사용 폭약 : 다이ना마이트  $\phi 32\text{mm} \times 380\text{mm}$  (250g/ea)
- 정밀폭약(finex-I)  $\phi 17\text{mm} \times 425\text{mm}$ (100g/ea) 사용
- 발파 방식 : V cut : CT-I, ramp, cavern등 단면이 큰 터널에 사용
- burn cut : WT, ST-I, II 등 소단면 터널에 사용
- 굴착작업 순서도 (Figure 5)
- 측량 → marking → 천공 → 장약 → 발파 → 환기 및 살수 → 버력처리 → 부석제거 → 보강

저장동굴은 당초 설계에서는 4분할 굴착을 하는 것으로 되어 있었으나(top heading: 7.2m, bench-I: 6.3m, bench-II: 6.25m, bench-III: 6.25m), 현장에서 공기 단축 및 원가절감을 위한 방법으로 굴착 장비 제원과 시공 여건을 검토한 결과 3분할 굴착이 가능한 것으로 판단되어 3분할 굴착으로 변경 시공하였다(top heading: 8.0m, bench-I: 9.0m, bench-II: 9.0m).

3분할 굴착에 따른 천공, 장약, 보강 작업시 장비 및 굴착고에 대한 특별한 문제는 없었으며, 버력 처리시 버력을 1/2 처리후 상단부 부석 제거 작업을 실시하고 잔여 버력 제거후 하단부 부석 제거 작업을 실시하였으며, 4분할 굴착에 비하여 cycle

time 단축으로 인한 공기 단축 및 원가절감이 이루어진 것으로 확인되었다.

보 강

터널 굴착시 보강작업은 grouting과 rock bolt, shotcrete 작업이 시행되었다. Grouting은 굴착 전면에 20m 깊이의 감지공(probe hole)을 천공하여 전방 암질 상태 및 누수량을 확인후 허용기준치(0.05 liter/min/m) 이상의 누수량이 발생될 경우에는 pre-grouting을 실시하였다. 천공 심도는 10m를 원칙으로 하고 유량, 암질상태, 지질조건 등에 따라 심도는 조정을 하며 실시하였다. 저장동굴에서의 pre-grouting 패턴은 Figure 6과 같다.

Grouting시 주입 장비는 스웨덴에서 개발된 multi-rig를 사용하였으며, 최종 주입 압력은  $45\text{kg/cm}^2$ 으로 조정하여 실시하였다. 주입 재료는 다량 누수 및 불연속면이 발달된 곳에서는 portland cement, 소량 누수 및 미세 절리가 발달되어 주입이 용이하지 않은 곳에서는 microcement를 사용 하였으며, 배합비는 W:C=5:1~1:1까지 조정하여 사용하였다.

굴착공사 진행중 fault zone 또는 연약 파쇄대 구간의 통과시에는 다량의 지하수가 유출이 되어 양수 작업 및 grouting 작업으로 굴착이 중단되기도 하였으며, 유출수에 대한 염분 함유량 측정 결

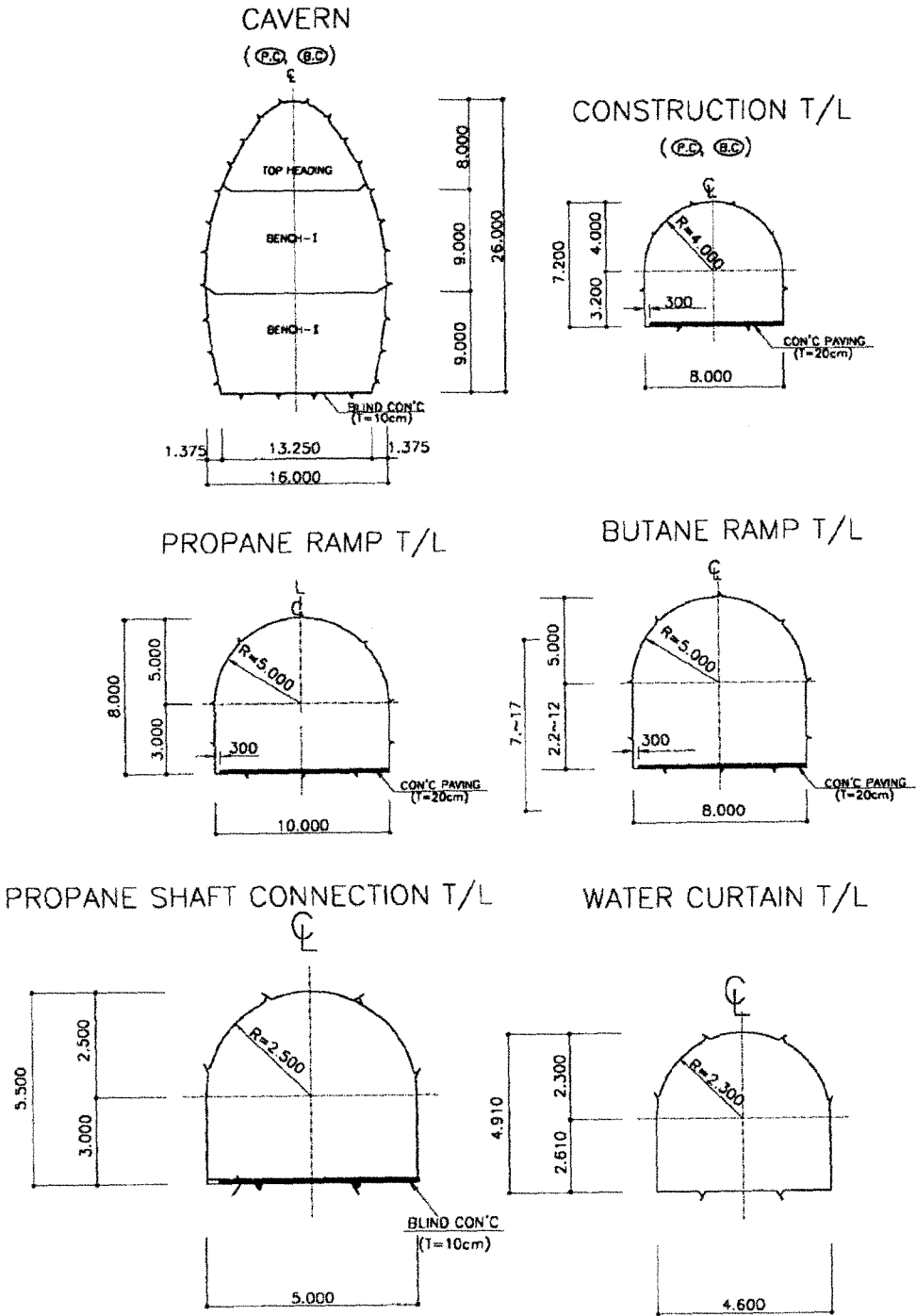


Fig.4. 프로판 저장동굴 단면도.



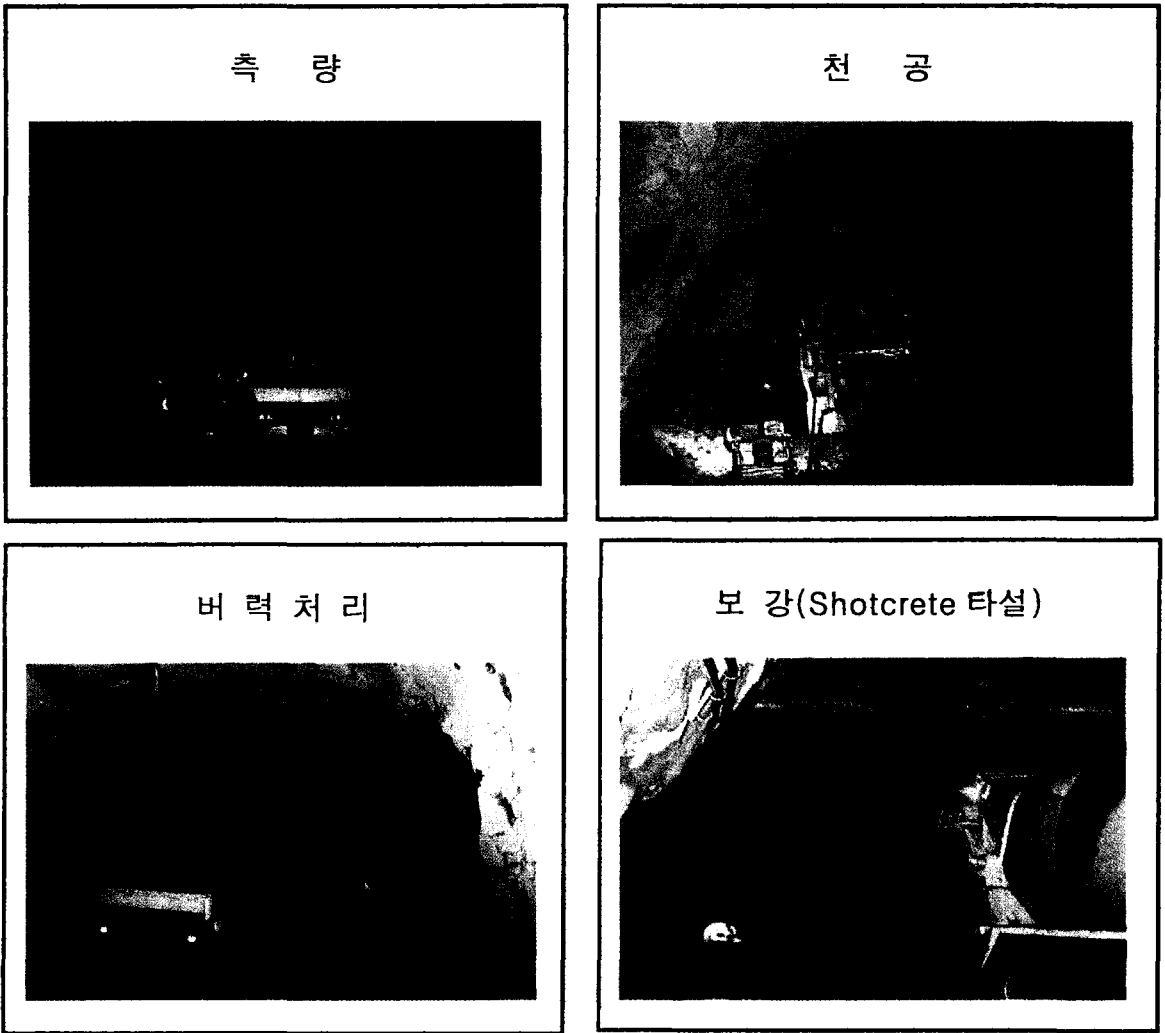


Fig.5. 굴착 작업 전경.

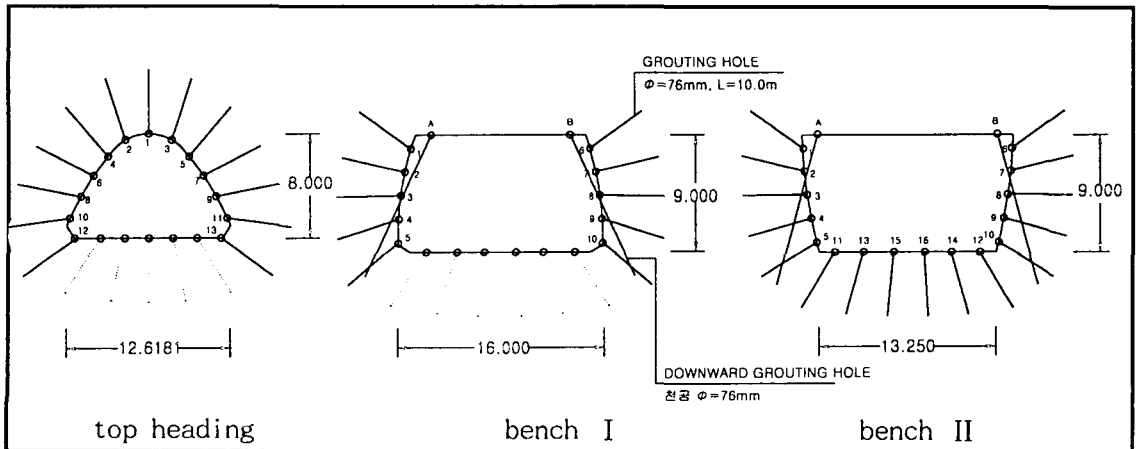


Fig.6. 저장동굴 그라우팅 유형도.

과 해수의 염분 함유량과 비슷한 것으로 나타나고 있다. 다량 누수 구간에서는 pre-grouting 천공시 1,500m<sup>3</sup>/day 이상의 지하수가 유출이 되었으며, 이 경우에는 수차례에 걸쳐 grouting을 반복 시행하여 누수량을 감소시킨 후에 굴착작업을 진행하였다.

Grouting은 암종별로 뚜렷한 특징을 보여주고 있다. 호상 편마암은 불연속면이 많이 발달되어 누수 절리가 특징적으로 발달되어 있으며 화강암질 편마암은 불연속면의 발달 및 누수 절리가 미세하게 나타나며 주입 효과도 가장 양호하게 나타나고 있다. 반면 관입암인 화강암은 풍화가 많이 진행되어 강도가 현저하게 낮으며 다량의 누수 절리가 발달되고 주입시 주입 효과가 가장 떨어지고 있다. Cavern benchⅡ에서의 초기 지하수 압력은 12kg/cm<sup>2</sup> 전후로 나타나고 있으며 조수간만의 영향을 직접 받는 것으로 확인이 되었다.

터널의 안전성을 확보하기 위한 보강 작업을 rock bolt 시공 및 shotcrete를 타설하였다. 터널별 적용 보강 패턴은 다음 Table 6과 같으며, 보강 패턴은 현장에서 mapping을 실시하고 Q-system에

의한 암질 평가를 실시하여 적용하였다.

Rock bolt는 jumbo drill로 천공을 한후 전면 접착형인 cement paste를 충전하고 고강도 철근을 설치하는 slack bolt type으로 시공을 하였다. Rock bolt hole 천공시 누수가 발생이 되는 개소에 대하여는 국내에서 개발되어 시공중에 있는 chemical anchor 또는 resin형에 대하여 현장에서 수차례 시험 시공을 실시하였으며, 담수를 이용한 시험실 조건에서는 결과가 양호하나 현장 여건인 해수에서는 반응을 하지 않는 것으로 확인이 되었다. 염분이 함유된 지역에서 긴급 보강 및 누수 구간 보강시공을 위한 적절한 주입 재료의 개발이 요구되고 있다. 누수 개소에 대하여는 철근을 삽입한 후 hole 입구에 packer를 설치하여 cement paste를 주입, 충전하는 방법으로 시공을 하였다.

Shotcrete는 습식으로 시공을 하였으며, 당초 설계에는 보강재로 wire mesh를 설치하는 것으로 되어 있었으나, 시공성 및 효과 측면에서 우수한 SFRS(steel fiber reinforced shotcrete)를 첨가하여 시공하는 것으로 변경하여 시공하였다.

Table 6. 터널별 지보 패턴.

터널명 type(Q-value)		CT- I, II			cavern		
		rock bolt		shotcrete	rock bolt		shotcrete
		grid(m)	length(m)	thickness(mm)	grid(m)	length(m)	thickness(mm)
A(Q>40)	A	sb	3	50	sb	3.0	50
	W	sb	3	50	sb	3.0	-
B1(40>Q>10)	A	2.5x2.5	3	50	2.5x2.5	3.0	50
	W	sb	3	50	sb	3.0	-
B2(10>Q>4)	A	2.0x2.0	3	70	2.0x2.0	5.0 3.0	50
	W	sb	3	50	2.5x2.5	5.0 3.0	50
C1(4>Q>1)	A	1.7x1.7	3	70	1.7x1.7	5.0	100
	W	2.0x2.0	3	50	2.0x2.0	5.0	50
C2(1>Q>0.4)	A	1.5x1.5	3	140	1.5x1.5	5.0	100
	W	1.7x1.7	3	70	2.0x1.5	5.0	70
D(0.4>Q)		rock bolt+steel rib		210	special action		

\* sb : spot bolt, A : arch, W : wall

## 인천 LPG 수입기지 현장

### 부탄 저장동굴

부탄 저장동굴은 2개의 저장용 동굴과 1개의 공사용 터널, 2개의 수직구 연결 터널, 2개의 connection 터널 등으로 되어 있다(Table 7). 부탄 저장동굴 지역의 암종은 화강암질 편마암이 우세하

게 분포하고 있으며, 암질은 프로판 지역에 비하여 양호한 상태이며 누수 절리의 발달도 미세한 상태로 굴착시 다량의 누수로 인한 어려움이 없었다. 굴착 및 보강작업은 propane cavern에서와 동일한 과정으로 시공이 되었다.

Table 7. 부탄 저장동굴 터널별 연장 및 단면.

터널명	연장	단면(HxW)	용도	터널바닥 EL
CT - II	268	7.2 x 8.0	공사용 터널	EL 110~-117.2
ST - I	27.1	7.2 x 7.0	shaft연결터널	EL 117.2
ST - II	32.0	5.5 x 5.0	"	EL 136.0
Cavern	333	16.0 x 26.0	저장용 터널	EL 136.0
Cavern connection T/L	96	7.2 x 7.0	연결 터널	-
ramp 터널	85.4	7.2~17 x 10.0	ramp 터널	-

### 대심도 slurry wall 시공

지금까지의 지하저장 시설공사는 육상에서 경사 tunnel(ramp)을 통하여 기반 암반에 도달하여 계획심도로 굴착하는 방법으로 시공되었다. 그러나, 당현장은 바다 한가운데 인공섬을 만들어 해상매립지에서 굴착공사를 하므로써 깊은 연약층의 분포 등으로 진입 ramp 터널의 시공이 불가능하고 부지면적도 제한되어 있었다. 따라서, 지하127m까지 수직구를 설치하여 이를 공사용 수직구로 사용하는 굴착공법을 적용하였다.

해성 퇴적층은 지하 약 60m까지 분포하여 지층 구성은 표토 매립층 및 그 하부는 연약 점토층으로 되어 있으며 이 연약층을 관통하는 대심도의 수직구를 어떻게 성공적으로 수행하느냐가 관건이었다.

### Slurry wall 적용

Slurry wall은 지중에 수직으로 트렌치를 굴착하

여 철근망을 건입한 후, 콘크리트를 타설함으로써 철근콘크리트 벽체를 만들며, 이 벽체를 연결하면서 연속적인 지중벽을 건설하는 공법이다. 각 수직구별 시공제원은 Table 8과 같다.

국내 최대심도의 원형수직구 지중연속벽 공사에 적용된 공법은 선단 고결 쇄석 투입공법이다. 이 공법은 선행 element와 후행 element 사이에 단면력을 원활히 전달함과 동시에 차수기능을 확보하고자 선행 element의 양측에 12mm의 강판을 접합하여, 강판접합 joint로 시공되었으며 이는 강판을 철근망과 같이 전장에서 조립대 위에서 제작후, 분할, 운반, 건입하였다. 특히, 선행 element의 깊이 방향 연직도가 나쁘면 시공이 불가능 할 수가 있다.

그리고 선행 element에 철근망을 건입한 후 선단부에 콘크리트를 우선 타설하므로써 철근망을 고정시켰으며, 이에 따라 선행 element 콘크리트 타설시 철근망의 이동을 사전에 방지하고, 후행

Table 8. 시공제원.

구분	const.shaft	propane shaft	butane shaft	비고
지중깊이(h)	62	62	71	단위 : m
내경/벽두께/외경	13.1/1.2/15.5	7.9/1.0/9.9	7.9/1.0/9.9	단위 : m
Element 수 선행 / 후행	5/5	3/3	3/3	단위/EA

element 공사의 위치 기준이 되도록 하였고, 선형 element의 콘크리트 타설시에 강판이 외측으로 변형되는 것을 방지하기 위해 강판외측에 쇄석을 투입함으로써 강판을 사이에 두고 콘크리트와 쇄석의 하중이 평형을 이루도록 하였다.

국내 시공실적이 심도 30m정도인 것을 감안할 때, 대심도 slurry wall의 시공을 위한 기술력의 차이를 단시간내에 극복한다는 것은 간단하지는 않았다. 즉, 지중연속벽의 강성 및 수밀성 확보를 위한 굴착연직도 확보 및 joint부위 처리, 고강도 수중 콘크리트 타설 등의 공종에서 고품질 정밀시공이 요구되었다. 그러나, 현장 직원들의 고난도 기술 시공에 도전하는 열정과 기술연구소 및 일본 OBAYASHI GUMI사와의 유기적인 협조 체제로 시방기준 연직도 1/300을 훨씬 상회하는 1/1000수준의 정밀시공 결과와 joint의 수밀성 및 강성확보를 위한 400kg/cm<sup>2</sup> 이상의 수중 콘크리트 시공의 완벽한 시공으로 성공리에 완성할 수 있었다.

## 대심도 수직구 운반 system

지하 동굴내에서의 터널 굴진으로 발생하는 버력 처리량은 모암 기준 540,000m<sup>3</sup>이며, 발파된 암의 버력 처리 물량은 약 100만m<sup>3</sup>에 달하여 이 많은 물량을 어떻게 안전하고 효율적으로 육상으로 반출하느냐는 것이 공사의 성패를 좌우하는 중요한 과제이었다.

당초 설계에서는 광산에서 적용되고 있는 skip-cage system 방식으로 되어 있었으나, 검토 결과 설치기간의 장기화와 대심도에서 버력처리 방법으로는 비효율적인 것으로 판단되어 새로운 system을 개발 적용하게 되었다.

### 대심도 운반 system 개발

국내의 도심지 수직구 토목 현장에서 활용하고 있는 천심도용 car-lift system은 일반적으로 운행 심도가 50m이하이기 때문에 이 system을 당 현장에 적용하기에는 운반속도, 안전장치 및 운행장비 등 비효율적이며 잠재적 위험성이 내포되어 있어서 대심도 수직구 현장에 적용할 수 있는 최적의 운반 system을 적극 검토 개발하게 되었다.

당 현장에서 채택, 적용한 공법은 기존의 car-lift system과 skip-cage system을 조합하여 개량한 운반 system으로서, car-lift 운행 보조장치와 수직구 구조체 고정장치를 개발하여 한시적으로 운영되는 대심도 수직구 운반 system으로 활용토록 하였으며 cage에 각종 공사용 장비가 직접 탑재는 물론이고 버력 운반용 truck이 직접 탑재하여 운행을 할 수 있도록 버력처리 운반 절차를 개선하였다.

### 1) Car-lift 조합형 운영 system 개발

이 공법은 50~300m 범위내에서 운영이 가능하도록 스웨덴의 Siemag사와 함께 개발하여 현장에 설치를 하였다. 굴착시 심도가 깊어질수록 구조체의 연직도 유지에 많은 어려움이 발생하게 되는데, 이 공법에서는 이러한 어려움을 해결하기 위해서 bunton guide를 생략하고 rail guide를 anchor bolt로 벽체에 고정시켜 연직도를 유지시켰다. Car-lift의 운행속도는 2.9m/sec 이상으로 하여 기존의 시스템보다 약 20배 이상 속도를 증가시켜서 대심도 수직구에서 버력운반의 생산성 및 효율성을 높였다.

운반구는 적재용량이 15톤 기준 덤프트럭을 활용하도록 하였고, car-lift의 구조체는 최대하중이 35톤의 수송능력과 대형 싱글데크 케이지 형태로 제작하였으며, guide rail과 car-lift 사이에 마찰력을 증대시키고 원활히 운행할 수 있도록 가이드 슈를 설치하였다. cage 규격은 9m(길이)x3.5m(폭)x5m(높이)의 크기로 제작되었다.

### 2) Car-lift 운행 보조장치 응용개발

Car-lift 운행 보조장치는 대심도 수직구에서 lift가 요동하지 않고 평형상태를 유지하면서 안전하게 빠른 속도로 움직일 수 있도록 보조역할을 하며, 권양마력을 최소화 시킬 수 있는 주변 보조장치이다. 이러한 보조장치로 응용 개발된 기술은 counter weight와 guide system이다.

#### ① Counter weight

이 보조장치는 car-lift 총하중(적재하중+자중)을 반감시키기 위한 기능과 권양마력(winding motor capacity)을 감소시켜 car-lift의 작용력을 중화시키

는 수단으로 활용된다. 주요 구성품으로는 상부 및 하부의 프레임, 발란스 웨이트, 로프 유도식 가이드 슈로 구성되어 있다.

② Guide system

이 보조장치는 car-lift가 수직구 공동내부에서 요동치지 않고 안정적으로 운행하는데 가이드 역할을 해주는 시스템이다. 기존방식은 deck의 사각지점에 rope 또는 rail을 설치하여 deck를 유도하게 되어 있는데, 이번에 개발된 시스템은 deck의 한면에서 잡아주는 형태로 개발되었다. Guide 형태는 2가닥의 rail을 이용하였으며, 수직구 암반 벽체에 anchor bolt를 설치하고 guide를 지탱시켰다.

③ Deck locking device

Car-lift가 상하부로 이동하면서 정지하게 되면 대심도 수직구에서는 로프의 길이 때문에 상하, 좌우로 요동치게 된다. 또한 덤프트럭이 상차와 하차시 진동이 발생하여 car-lift가 심하게 움직이게 된다. 이러한 현상이 계속적으로 반복될 경우 수직구 구조체에 손상을 줄 수 있으며, 로프에 파단 하중이 증가될 수 있기 때문에 안전상에 문제가 발생할 수 있다. 그래서 수직구의 지표면 입구와 수직구 최하부 입구에 locking device를 설치하여 수직구 입구 레벨에서 로딩 또는 언로딩을 수행할 때 deck의 바닥면과 덤프트럭 진입 레벨과 동일한 높이로 유지될 수 있도록 하고 덤프트럭 탑재시 deck 요동을 방지하도록 하였다.

3) 버럭처리 운반절차 개선

굴착 막장에서 지상까지의 버럭운반 절차는 기존의 천심도용 car-lift 시스템과 거의 비슷하다. 그러나 기존의 방법은 운반거리가 50m 이내에서 이루어지기 때문에 안전장치 및 자동 감지장치가 설치되어 있지 않아 거의 수동장치에 의해 작동된다. 당 현장에 적용된 시스템은 모든 동작을 전산화 하여 조정실에서 컴퓨터에 의해 작동되도록 하였으며 안전장치 및 작동 상태가 자동적으로 감지되고 제어되기 때문에 안전하게 상차와 하차작업을 수행할 수 있게 되어 있다. Figure 7은 현장에 적용한 car-lift 시스템의 기본적 운반 방식이며, 버럭처리

운반절차는 다음과 같다.

막장에서 발생한 버럭은 덤프트럭에 상차되어 수직구 입구까지 이동하게 된다. 이때 수직구 하부 레벨까지 이동한 deck는 잠금장치에 의해 자동적으로 고정된다. 이어서 수직구 입구에 설치된 자동 감지기에 의해 통제문이 열리면 덤프트럭은 deck에 탑재하게 된다. 그러면 지상의 winder house 운전실에서는 C.C.T.V.를 통해 권양기를 작동시켜 car-lift를 지상으로 이동시킨다. 이때 locking device가 자동적으로 deck에서 해체된다.

Truck이 상부에서 탑재하여 하부로 이동하고 하부에서 버럭을 적재한 truck이 탑재하여 지상까지 운행하는 1 cycle 소모 시간은 200초이며 1일 22시간 작업기준 396회 운행이 가능하며 현장에서 운행 실적은 평균 350회 이상으로 유지되고 있다.

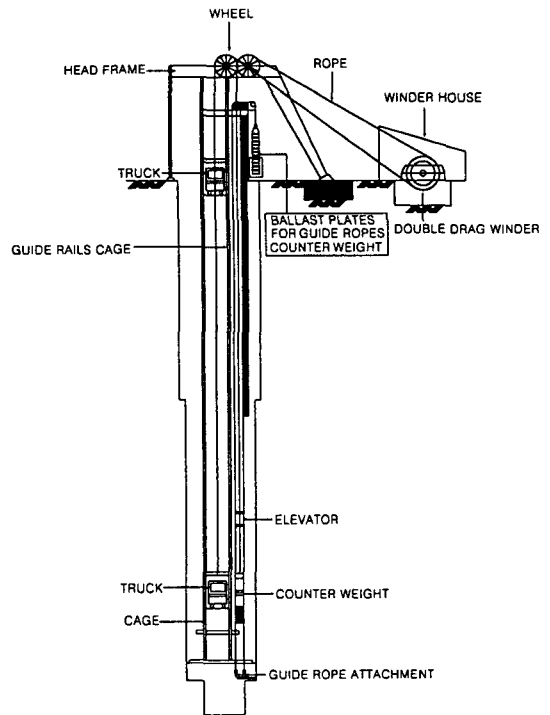


Fig. 7. 시스템 운반 절차 개념도.

## 결 론

해저에서의 대규모 터널 굴착, 70m 심도의 slurry wall의 시공, 대심도 car-lift를 이용한 굴착 버력의 반출 등이 과연 가능할까 하는 의문을 가지면서도 공사는 착공이 되었다. 본 공사는 당사 기술연구소와 일본 OBAYASHI사의 기술 검토 및 유기적인 협조체제하에 slurry wall이 완료되고 shaft 굴착이 완료되었다.

지하에서 공사용 터널의 굴착 중 지질 구조대에서 예상을 초과하는 다량의 지하수 유출로 인한 양수 및 grouting 작업으로 굴착작업이 난관에 부딪히기도 하였으며, 막장 전방에 대한 일종의 불안감도 없지는 않았었다. 그러나, 전 직원이 지질조사 결과와 현장 지질을 철저히 분석하고 전방 지질 상태를 예측하며 필요시는 선진 조사공(NX coring) 및 probe hole을 실시하여 전방의 지질 및 누수 조건을 확인하면서 주·야로 굴착 작업이 진행 되었으며, 염려가 되었던 car-lift도 기대 이상의 효율을 발휘하며 버력 처리에 대한 염려도 해소가 되었다.

그 결과 12월말 현재 굴착량 540,000m<sup>3</sup> 중 530,000m<sup>3</sup>을 굴착하여 98%의 공정을 올렸으며, 2000년 1월경 굴착 완료 예정이고 굴착 완료후 구조물 시공, 충수시험, 기밀시험 등은 5월말 준공을 목표로 계획대로 진행중에 있다. 공사는 해저에서 최초로 성공리에 공사가 진행되어 국토의 효율적 이용은 물론 추후 해저 공간 개발의 가능성을 확인 하였으며, 앞으로 유사한 공사의 모델이 될 것으로 기대한다.

---

김동규

1946년 4월 17일생

학부 : 육군사관학교

석사 : 동국대 경영대학원

토목시공, 화약류관리 기술사

현직 : LG건설(주) Y-2 PROJECT담당 상무보

오두환

1956년 10월 2일생

학부 : 부산대학교 토목공학과

현직 : LG건설(주) 토목부장

정찬균

1963년 4월 25일생

학부 : 서울대 지질학과

현직 : LG건설(주) 과장