

## 地下原油貯藏基地 터널掘鑿工事

金 隆 泰\*

Tunneling project of Oil Storage in Underground Base

Kim, Yoong Tae  
Byuksan Engineering co, Director

It was described Several Tunneling method for applying petroleum oil storage. The most Important factor of Tunneling is not only reinforcing works such as pre-grouting and after grouting but also rock bolting and shotcrete. The efficient works should be done by professional skillman, and also the classification of rock should be decided by professional engineers.

### 1. 서 론

현재 세계는 심각한 에너지난과 산유국의 유가 조작에 직면하고 있는바 이미 선진국들은 120 일분의 원유비축을 일부 산유국조차도 지상 및 지하 비축 시설을 확충내지 신설하고 있는 실정으로 비 산유국이면서도 남북이 대치하고 있는 우리로서는 방호개념에 입각하면서도 목적량에 따라 설치비가 저렴한 유류 비축의 필요성이 절실하게 되었다.

이에 정부에서는 지하유류 비축시설을 1979년 7월에 현장조사 및 설계를 시작 81년 8월에 착공하여 85년 12월에 준공 현재 정상가동 중이다.

본 U-2 공사의 위치는 경상남도 00군 해안에 위치해 있고 동굴의 크기는 유류 2700만 배럴을 저장할 수 있는 용량으로 이에 따른 항만, 기계, 전기, 등을 종합한 대규모 PROJECT로 단일 지하동굴저장 tank로는 세계 최대규모로서 한국석유개발공사의 발주하에 정우 엔지니어링(주) 회사가 설계 및 감리를 맡고, 시공은 정우개발 및 대림산업

이 수행하였다.

### 2. 원유 지하비축의 장점 및 원리

지상비축보다 지하비축의 장점은 시설이 영구적이며 공사비 및 유지비가 저렴하고 비상사태시 피해를 최소화 할 수 있고 환경보존 및 토지이용의 극대화를 꾀할 수 있어 한국 실정에 가장 적합한 공법을 판단된다.

지하비축 원리를 간략하게 소개하면 다음과 같다.

- 유류는 물과 섞이지 않고 비중이 작아 물위에 뜬다.
- 지하 암반내의 온도는 연중 거의 일정하다.
- 지하 암반에는 크고 작은 열극이 있으며, 일정한 높이로 지하수가 존재한다.

지하 일정한 깊이에 공동을 굴착하고 주변암반 중 지하수의 정수압을 저장유류의 증기압보다 높게 유지함으로써 유류가 공동밖으로 새어나가는 것을 방지하는 대신 지하수가 공동속으로 스며들게 하는 원리이다.

\* 벽산엔지니어링(주)이사

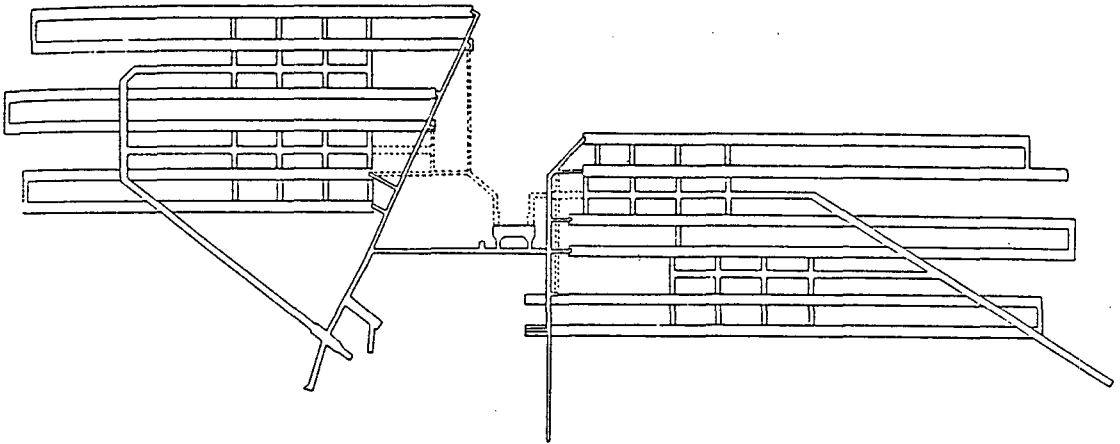
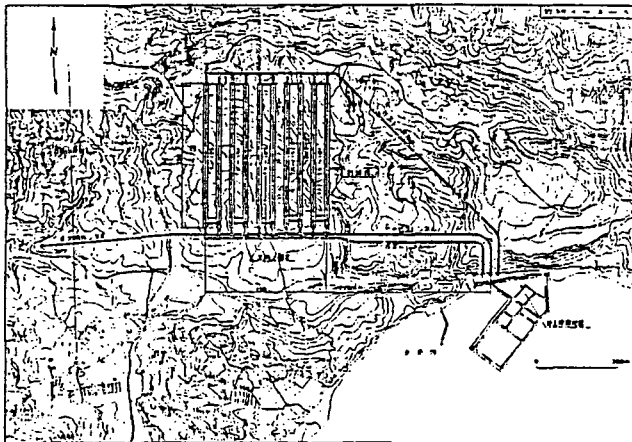


그림 1. 지하동굴 굴착도 (일반적 형태)



H-PROJECT

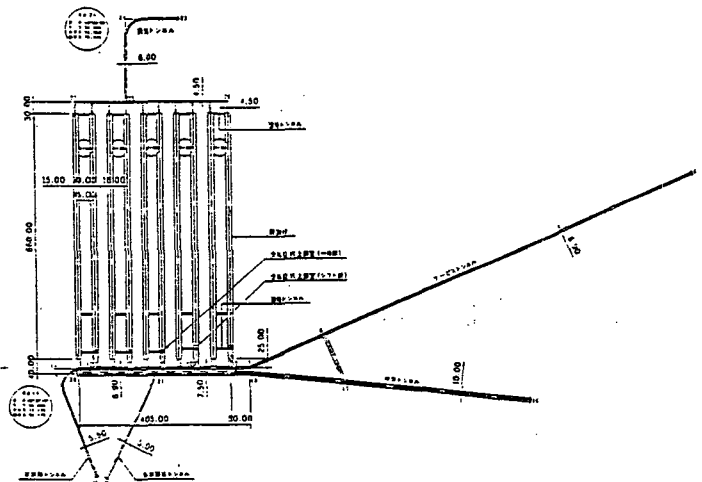


그림 1-1. 외곡 사례 예

K - PROJECT

표 1. 공정표

I T E M		WGT.	'80	'81	'82	'83	'84	'85
DESIGN, SUPERVISION		2.37						
MOBILIZATION		1.30						
T/L EXCAVATION WORK	CONSTRUCTION TUNNEL	292,714 M <sup>3</sup>	4.72					
	CAVERN GALLERY	979,899	13.58					
	CAVERN BENCH-I	1,240,110	12.54					
	CAVERN BENCH-II	1,240,110	13.78					
	CAVERN BENCH-III	1,240,110	15.17					
	UPPER PIPE TUNNEL	69,895	1.08					
	LOWER PIPE TUNNEL	13,271	0.34					
	PUMP ROOM & SHAFT	17,213	0.42					
	INP. & INS. SHAFT	1,870	0.09					
	INTERFACE ROOM	1,518	0.05					
CONTROL ROOM	18,832	0.25						
MECH. ELEC.	PLUMBING & DUCT		5.63					
	INSTALLATION MANHOLE INSTRUMENT		4.21					
UTILITY	CONSTRUCTION ACCESS ROAD & INCOMING ELECTRICAL POWER		0.37					
	LIGHTING WHALF 2EA		1.29					
	MISC. WORK		1.67					
CON-C WORK	INSTALLATION OF PLUG & WALL 75EA		0.85					
	CONTROL ROOM WALL & SLAB		0.13					
	VENTILATION ROOM SLAB		0.22					
	PUMP ROOM SHAFT LINING ETC.		0.24					
HAR-HOUR	BUOY INSTALLATION		6.40					
	MOOR & WHARF WORK		7.80					
BUILDING WORK			0.48					
LANDSCAPING			0.25					
SETTLEMENT OF SPEC. MATERIAL SUPPLY			4.81					
PFT-L PUNCH	PLUSHING & LEAK TEST							
	M/C TESTING							
	CRUDE OIL STORAGE							
PROGRESS			0.4	3.8 %	22.8 %	31.3 %	31.0 %	10.7 %
ACCUMULATIVE PROGRESS				4.2 %	27.0 %	58.3 %	89.3 %	100 %

3. 연역 및 공정

- 1979. 7 타당성 조사
- 1980. 6 원유비축 계획확정
- 1980. 11 현지조사 및 기본설계
- 1981. 8 동굴공사 일차분을 착공
- 1981. 8 설계 및 감리 : 정우 엔지니어링  
시공 1공구 : 정우 개발  
시공 2공구 : 대림 산업
- 1985. 12 준공

총 공사 공정현황은 표 1과 같다.

4. 굴진

TUNEL 굴착방법을 공법별로 분류, 기술하면

- CONVENTIONAL BLASTING METHOD
- T.B.M (TUNNEL BORING METHOD)
- SPECIAL METHOD (WATER JET. THERMO-BLAST(FLAME JET) CHE-

MICAL METHOD)

등 여러가지 방법이 있다.

SPECIAL METHOD는 아직 TUNNEL 굴착에 이용하는 실용화 단계이거나 특수목적 즉 무진동 발파용으로 시가지 또는 주변건물이나 인원에 발파 피해를 방지하기 위한 방법으로 그 굴착진도가 미미하며 경비가 막대하므로 본 공사와 같은 대단위 동굴공사에는 적합하지 않다.

T.B.M은 현재 널리 보급 실용화되고 있는데 주로 수로터널과 같이 터널 단면적이 일정하고 일직선을 1km이상 장대터널에는 유리하나 본 공사와 같이 커브가 많고 CONSTRUCTION TUNNEL CAVERN 등 각각의 단면이 다를때에는 적합하지 않다.

따라서 U-2에서는 일반적으로 널리 이용되는 BLASTING METHOD를 적용 시공하였다.

4.1 굴착작업

굴착은 시공의 방법에 따라 전단면 터널과 반단면 굴착으로 분류하며 터널의 규격은 공사용 터널

을 포함하여 그림 2와 같다.

공사용 터널인 경우 터널의 전단면을 일시 굴착하는 공사이지만 MAIN CAVERN인 경우 단면이 너무 크기 때문에 전단면을 일시에 굴착치 못하여 터널을 상하부분으로 나누어 굴착하는 방식으로 우선 상부 즉, GALLERY를 굴착후 나머지 하부 즉, BENTH - I, II, III 순으로 굴착하였다.

#### 4.2 천공작업

CAVERN의 GALLERY 천공작업은 HYDRAULIC JUMBO DRILL 신형 착암장비를 사용하여 시공하였으며 일부 소규모 공사용 터널은 Leg drill을 사용하여 천공하였다.

발파작업시에 이용되는 저항선은 하부공 1.0M, 주변공 0.8M, JUMBO DRILL 사용시 사용된 BIT는 CROSS BIT로써 무장약공  $\phi 102\text{mm}$ , 장약공 48mm를 사용하였다. 공간간격은 저항선과 동일하게 적용하여 배공하였으며 천공장도 3.7M를 기준으로 하고 발파장은 천공장의 92% 효율로 보아 3.4M를 기준으로하고 그 작업을 시행하였다.

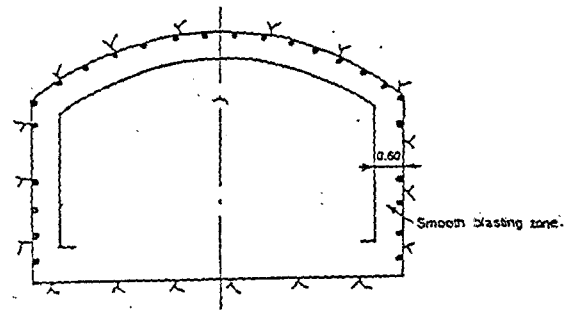


그림 3. SMOOTH BLASTING의 발파공 배치형태

또한, 주변 및 천반은 균열이 최대한 적게 생기고, 고르게 발파 되도록 SMOOTH BLASTING 법을 적용하였다.(그림 3)

#### 4. 3발파작업

터널발파시 발파법은 아래와 같은 방법들에 의해서 수행되어진다.

- PARALLEL HOLE CUT
- PLOUGH CUT(V-CUT)

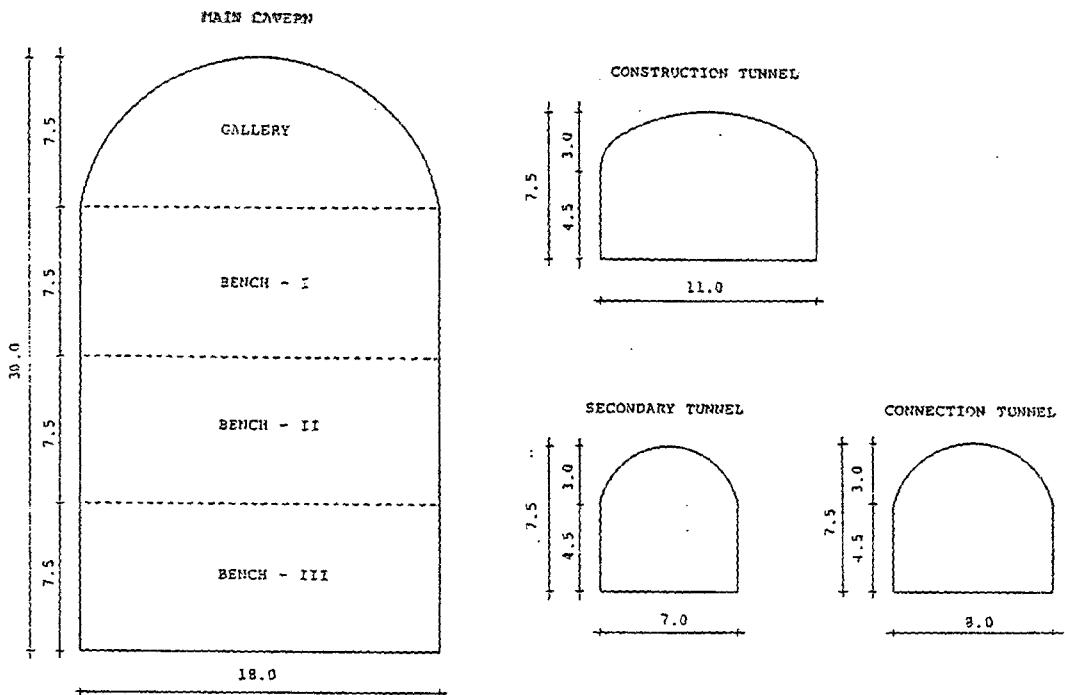


그림 2. 저장동굴 단면과 터널규격

- PYRAMID CUT
- BURN CUT
- COROMANT CUT
- FAN CUT

이들 방법중 본 공사에서는 PARALLEL HOLE CUT를 이용하였는데 심빼기 발파형태는 근래 SWEDEN에서 많이 사용하고 있는 대구경 무장약 공을 발파 작업시에 사용하고 장약은 사용부위별로 심발공에서 G.D와 FINEX-I로 사용하고 측벽공 및 천반공은 주변모암의 균열층을 적게 만들고 여굴을 예방하며 발파면의 정밀 내지, 미려함을 만족시키는 FINEX를 사용했으며 내부공과 하부공은 G.D를 사용하였다.

장약은 내부공, 하부공, 측벽공, 천반공, 심발공으로 구분하여 장약했으며 장약량은 각부위별 공의 조건에 따라 적정량을 장약했다.

무장약량은 저항선의 1/2로 계산되어졌으며 전기뇌관은 심발공에만 1/1000초 간격의 미리세컨트 전기뇌관을 사용했고, 그 외공은 1/2초 간격의 지발 전기뇌관을 사용하였다.

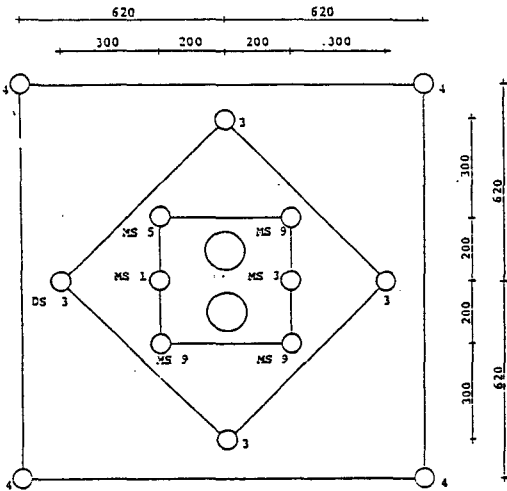


그림 4. PARALLEL HOLE CUT

### 5. 결 과

본 지하원유 저장동굴 공사완료후 굴착, 천공, 발파를 포함한 굴진작업이 추가되어 얻어진 결과

이에 이용된 장비현황은 표 2와 같으며 굴진작업시 얻어진 보강량과 굴착량은 각각 표 3과 표 4와 같다.

표 2. 굴착 및 보강 장비 현황

EQUIPMENT	SIZE	Q'TY	MAKER	OPER.
JUNBO DRILL	3 BOOM	4	TAMROCK	15
	3 BOOM	1	ATLAS COPCO	3
	2 BOOM	3	ATLAS COPCO	9
ROCK BOLTER	1 BOOM	1	TAMROCK	1
	1 BOOM	1	ALIMAK	1
WHEEL ROADER	5 M <sup>3</sup>	3	CLARK	8
	5 M <sup>3</sup>	4	KHIC	10
	2.3 M <sup>3</sup>	3	KHIC	7
SIDE SHOVEL	2.1 M <sup>3</sup>	1	CAT	2
DUMP TRUCK	20 TON	31	VOLVO	72
SCALE TRUCK	PT 60	3	NITRO NOBEL	7
SERVICE TRUCK	PT 60S	3	NITRO NOBEL	6
CHARGING TRUCK	PT 60L	2	NITRO NOBEL	5
TRIMMER	12 M <sup>3</sup> /H	2	STABILATOR	2
ROBOT	10.3 M <sup>3</sup> /H	2	STABILATOR	2
MULTI GROUTING RIG	6 HOLE	2	STABILATOR	4
CHEMICAL GROUTING RIG	1 HOLE	2	STABILATOR	2
CRAWLER DRILL	1 BOOM	1	TAMROCK	2
SKY LIFTER	21 M	2	BEDFORD	3
DOZER	21C	1		2
AGITATOR	7 M <sup>3</sup>	2		2
EXCAVATOR	DH 07	2	DAEWOO	5
PAISE CLIMBER	200M	1	STABILATOR	1
VENTILATION FAN	1760 RPM	15	INGERSOLAND	3
LIFT CAR	0.5 TON	2		4
DUMP SCALE		4		8
COMPRESSOR(STATIONARY)	880 CFM	2	ATLAS COPCO	1
COMPRESSOR(STATIONARY)	2500 CFM	2	INGERSOLAND	1
CONCRETE PUMP CAR	75 M <sup>3</sup> /H	1		2
BATCHING PLANT	40 M <sup>3</sup> /H	1		2
VEHICLE		12		17
MECHANIC				44
ALIVA	ALIVA 260	7		5

표 3. 총 보강량

TUNNEL	RESIN	1.5M	3.0M	4.5M	9.0M	TOTAL	REMARKS
GALLERY	11,291		43,334	6,753	291	61,669	0.25EA/M <sup>2</sup>
BENCH-I	95		485	35,805	1,728	38,113	0.19EA/M <sup>2</sup>
BENCH-II	20		13,123	9,944	1,258	24,345	0.19EA/M <sup>2</sup>
BENCH-III			10,329	6,606	339	17,274	0.14EA/M <sup>2</sup>
OTHERS	5,200	1,233	18,308	1,166	53	25,960	
TOTAL	16,606	1,233	85,579	60,274	1,569	167,161	

### SHOTCRETE

TUNNEL	1 LAYER	2 LAYER	3 LAYER	TOTAL
GALLERY	133,285	55,584	48,660	237,529 (456,618)
BENCH-I	113,115	16,548	15,118	144,781 (212,329)
BENCH-II	78,011	13,946	21,538	113,495 (201,983)
BENCH-III	74,297	7,542	21,295	103,134 (185,550)
OTHERS	58,237	19,347	25,540	103,124 (210,057)
TOTAL	456,945	112,967	132,151	702,063 (1,266,537)

GROUTING

TUNNEL	10 M	5 M	PRE G.	BOTTOM	TOTAL
GALLERY	4,516	256	742		5,514 HOLE 53,860 M
BENCH-I	2,136	314	2,227		4,737 HOLE 45,800 M
BENCH-II	1,604	391	1,304		3,299 HOLE 30,945 M
BENCH-III	907	124	134	3,053	4,218 HOLE 34,268 M
OTHERS	3,061	16	165		3,242 HOLE 34,450 M
TOTAL	12,284	1,101	4,572	3,053	21,010 HOLE 199,323 M

표 4. 총 굴착량

NAME OF TUNNEL	SIZE (B x H)	AREA (M <sup>2</sup> )	LENGTH (M)	VOLUME (M <sup>3</sup> )
CONSTRUCTION T/L	11.0x 7.5	73	4,410	302,200
CAVERN	18.0x30.0	510	9,170	4,685,870
UPPER PIPE T/L	7.0x 7.5	32	1,640	52,480
LOWER PIPE T/L	7.0x 5.0	32	620	15,815
PUMP ROOM	19.0x13.5	100	230	24,600
CONTROL ROOM	16.0x 7.5	128	134	4,352
VENTILATION ROOM	16.0x11.0	120	125	3,000
SHAFT	1.5x 1.5 - Ø 11.0		560	14,713
TOTAL				5,103,050

6. 결 론

지하원유 저장동굴 굴착에 대하여 논술하려면 시공의 효율이전에 저장원리에 입각한 안정된 굴착작업이 우선 논의 전개 된후 효율등을 논술하는 것이 타당하나 여기에서는 여러가지 사정으로 지하 원유저장 굴착에 대하여 간략히 소개하는 것으로 끝낸다.

지하원유 저장 굴착 작업의 핵심은 REIN-FORCING 작업으로 특히 PRE-GROUTING 및 AFTER GROUTING 작업의 정밀성에 기초하여 ROCK BOLTING 및 SHOTCRETING 작업이 병행된후에 이에 상응한 시공을하기 위하여는 다년간 현장 생활을 통하여 채득한 암반 상태에 대한 판별능력이 있는 전문지식인이 투입되어야 하는데 일반적으로 건설 회사의 토목 기술 직원이 투입되어 암상태 식별능력이 부족한 것이 현실인 반면 굴착효율에 집착한 나머지 정밀성을 요구하는 보강작업에 미흡한 시공을 하는 경우가 발생하는 것을 종종 경험하였다.

고른 암반지식 및 경험을 갖춘 전문가가 대형 터널공사에는 필수적으로 투입되어야 할 것으로 사료된다.

本學會發刊書籍

- ANFO 爆劑新發破學. 東亞出版社 1964. 12.
- 新火藥發破學. 機電研究社 1981. 9.
- 新火藥發破學解說. 寶晉齋 1982. 5.
- 서울地下鐵工事 3, 4號線發破工法.(非賣品) 1984. 4.
- 岩石 力學. 機電研究社 1985. 2.
- 岩石 力學解說. 同上 1986. 7.
- 智山許墳博士回甲記念集. 1987. 2.