

油類 地下 備蓄^(中)

Underground Oil Storage



工學博士 許 墳[※]

Dr, Ginn Huh

(大韓火藥技術學會長)

The Explosives Society of Korea

<目 次>

- 4. 地下貯油槽의 設計 및 計劃의 問題點
- 5. 遊休鑛山의 地下貯油
- 6. 低溫液化가스의 地下備蓄과 岩石低溫物性

4. 地下貯油槽의 設計 및 計劃의 問題點

4-1 地質條件調查

4-1-3 地盤應力測定

이는 地下터널 掘鑿의 安全性解析에 重要한 것으로 특히 地質條件이 複雜한 곳일수록 더하다. 地盤應力은 地形과 構造應力의 影響을 받고 있으므로 地盤應力을 實例하여 正確한 把握을 해를 必要가 있다. 地盤應力의 測定法으로서는 Over Coring(應力解放)法, 水壓破碎法, X線應力 測定法과 地震波速度, 透水率 및 電氣抵抗等을 利用한 間接法이 있다.

地下發電所, 터널, 坑內等에서 地盤應力測定에 많이 適用되고 있는 것은 Over Coring法인데 이 方法은 計器를 設置한 岩盤의 周圍를 Over Coring하여 周圍岩盤으로부터의 影響을 斷絶시키고 應力解放前後의 strain 變化를 測定하여 이에 strain과 岩盤의 彈性定數를 가지고 絕對應力을 求하는 方法이다.

이 應力은 Borehole의 應力集中되는 影響을 받고 있는 故로 應力集中에 의한 strain 變化와

※ 鑛業技術士 (採鑛)

岩盤應力과의 關係를 岩盤이 彈性理論에 따르는 것으로 解析하여 岩盤應力을 求하지 않으면 안 된다.

4-1-4 其他調查

上記調査外 Boring Core의 機械的性質의 測定, 原位置에서의 強度試驗等 現場 或은 室內調査試驗을 通해서 地下空洞設計에 必要한 資料를 收集한다.

4-2 地下空洞設計(主로 터널式)

첫째 空洞의 安全性을 勘案하여 空洞의 長軸方向을 決定하고 둘째 岩盤의 應力과 機械的性質, 節理를 勘案하여 空洞의 形狀을 決定하고 셋째, 最適의 經濟性을 갖춘 各部別 크기를 決定한다.

4-2-1 空洞長軸의 決定

空洞의 原位置가 깊지 않는 境遇, 節理가 큰 角度의 2等分線에 空洞의 長軸을 一致시킨다. 그리고 傾斜가 큰 平滑面과 粘土로 된 節理가 있을 때는 空洞의 長壁과 적어도 25° 以上の 角度를 가져야 한다. 空洞의 原位置가 깊은 境遇 主應力方向보다 異方性의 높은 應力이 作用하는데 空洞外周部中 最大應力方向位置에서 岩盤의 斷離現象이 일어나므로 空洞長軸의 最大主應力의 水平投影에 對해서 15~30°의 角度를 잡는다. 片岩, 粘板岩等과 같이 異方性이 큰 岩盤에서는 葉理面의 弱한 走向에 對해서 最大의 角度에 長軸을 잡도록 한다.

4-2-2 地下空洞形狀

空洞形狀設計에 있어서 岩盤이 不連續體이며

引張強度가 아주 적은 點을 考慮해야 한다. 特히 岩盤의 安全性은 不連續部의 線 斷力에 의하므로 이와같은 面에 加해지는 法線應力이 重要하게 된다. 그리고 應力集中을 적게하기 爲해서 空洞은 Arch形의 單純한 天盤이 좋다.

應力 Level (設計原理)	主應力 方向		
	垂直	水平	傾斜
普通 部分的으로 不安定予防 을 爲해서 均衡的應力 分布로한다			
高 安定性を 높이기爲하여 主應力の減 少와 支保가 必要			

Fig-14 主應力方向을 勘案한 空洞斷面

4-2-3 地下空洞의 크기

地下空洞의 크기는 貯油容量에 局限된 것이 아니고 岩盤의 安全性에 따라서 決定되어야 한다. 從來에는 岩盤의 機械的 性質을 正確한 把握이 어려워 三次元問題를 二次元的으로 解析하게 되어 各部分의 크기를 經驗에 依存했으나 近

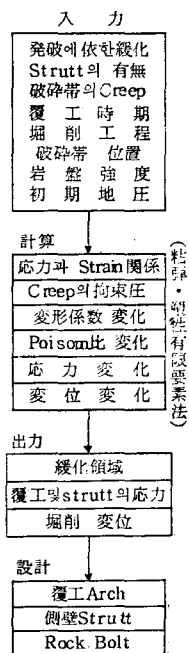


Fig-15 解析構成

來에 와서는 電子計算機를 應用한 有限要素法(FEM)에 따라 詳細한 解析이 이루어지고 있다.

이는 地下空洞掘鑿은 勿論 地震時 地下空洞岩盤의 舉動을 正確히 把握할 수 있다.

F-14는 FEM에 依해서 粘 彈性解析의 構成圖를 作成한 例로서 이와 같은 安全解析에의거 掘鑿順序, 支保, 內張等設計를 하게 되며 必要에 따라 計劃의 變更을 한다.

4-3 地下貯油槽施工

地下貯油槽의 施工은 地質條件, 周圍構造物의 社會的環境等에 따라 備蓄方式이 決定되나 大別하면 地表에서 처음부터 掘鑿하는 豎坑式과 터널式貯油槽로 兩分된다.

4-3-1 豎坑式

豎坑式은 全地下式 半地下式이 있으나 Open-Cut工法에 의거 Bulldozer 或은 Crawler Drill 掘鑿岩機가 動員된다. 發破時는 周圍岩盤의 振動을 防止하기 爲해서 制御發破를 必히하지 않으면 안된다. 重機動員이 어려울 때는 貯油槽下部에서 터널을 掘鑿하여 下部에서 上部로 向하는 掘鑿方式을 擇하는 것이 效果的이다.

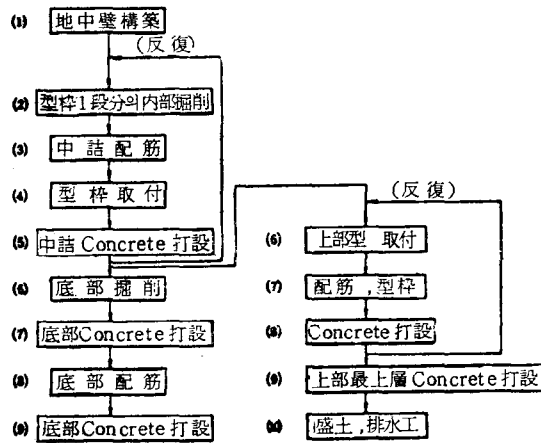


Fig-16 豎坑地下貯油槽施工順序

4-3-2 터널式

터널式은 水壓式과 內張式으로 兩分되나 內張(lining)의 施工如否로 區分된다.

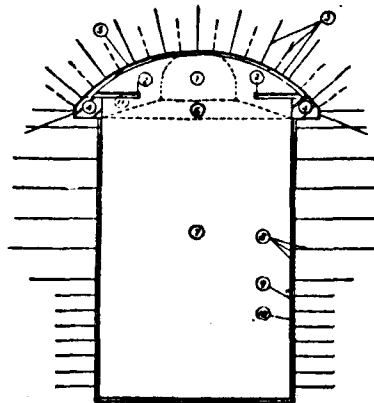
掘鑿方法은 作業坑道에 따라 斜坑과 豎坑으로 나누어지나 斜坑方式은 運搬手段으로서 Truck, Belt Conveyor, Incline 등이 動員된다. 大體的

으로 地下貯油槽는 鑛山과 같이 深度가 얼마 얹 되므로 斜坑方式이 採擇되고 있으며 運搬手段으로서는 Truck이 많이 利用되고 있다.

水壓式의 境遇 吹付 Concrete 또는 Rock Bolt 等의 補强作業이 必要할 때가 많다.

掘鑿時의 Bench段數는 水壓式때 2-4段內張時 10段前後가 普通이다.

瑞典의 Gethenburg 水壓式 貯油槽掘鑿의 例를 보면 30萬m³ 容量에서 10個月間 거리 190m, 巾 19m 높이 31m의 터널 空洞 3個所 合計 33萬m³의 掘鑿을 했다. F-17과 같이 이때 터널을 7m 15m 7m의 3段으로 區分하여 6個月의 莫場을 만들어 作業을 하였다. Arch部(Gallery) 및 中段 Bench는 一般 터널工事와 같이 Jambo, Front endloader 및 Dump Truck을 組合稼動 下段 Bench의 掘鑿에는 Crawler Drill로 下向穿孔을 하여 Dump Truck을 使用한다. 이 作業에서 가장 애로點이라면 積載(mucking)와 運搬인데 筆者는 Haggloader를 추천하고 싶다.



- ①先導 掘착 B = 7 m H = 5 m
 - ②Arch 部 Ring 掘착
 - ③Arch 部 Rock Bolt 및 吹付 Concrete
 - ④Apart Concrete
 - ⑤Arch 部 Concrete lining
 - ⑥掘착
 - ⑦貯油部 Bench Cut 工法掘착
 - ⑧側壁吹付 Concrete, 라스鋼, Rock Bolt 및 P.S Anchor
 - ⑨steel plate
 - ⑩Grout
 - ⑩監査台
- } Arch 施工
- } 貯油 施工

Fig-17 터널式貯油槽施工順序

스무스부라스팅工法(Smooth Blasting)實驗

1979年 9月 11日 서울市郊에서 國産 Gurite를 가지고 터널掘進坑道の 天盤과 側壁에 爆藥裝置하여 實驗을 하였다. 여기 實例를 紹介코자 한다.

Calculating example: Tunnel with plough (V) cut and 45 mm diameter drill holes

Conditions: Drilling depth 3.6 m

Explosive: Dynamex as bottom charge

Dynamex or Nabit as column charge

Gurit for smooth blasting

Cross-section area approx. 74m²

Width=10m

"Look-out":20cm

Space needed for drilling equipment=5.5m

1. Since the location of the cut and the "spreader" holes depends on the location of the floor holes, these must be calculated first (see section 9.1 entitled Charge calculations).

According to the table for 45mm drill holes, the hole spacing will be:

$$V_1 = 1.15m \quad E_1 = 1.25m$$

If respect is taken to "look-out", the cut and "spreader" holes can be planned as 1.15—"look-out"=1.15-0.20=0.95m above the floor.

The hole spacing is adapted to the width of the tunnel:

Number of hole spacings = $\frac{10.0}{1.25} = 8$, this meaning 9 drill holes at the floor

Length of bottom charge = $\frac{1}{3} \times \text{hole depth}$

Length of bottom charge = $\frac{1}{3} \times 3.6 = 1.2m$

$$\text{Bottom charge concentration} = \frac{d \times d}{1000}$$

$$\text{Bottom charge concentration} = \frac{45 \times 45}{1000} = 2.02 = \text{approx. } 2.0 \text{ kg/m}$$

Weight of bottom charge = $1.2 \times 2.0 = 2.4 \text{ kg}$

Length of column charge = Hole depth - (length of bottom charge + uncharged section)

$$\text{Uncharged section} = 0.2 \times V$$

$$\text{Uncharged section} = 0.2 \times 1.15 = 0.23$$

$$= \text{approx. } 0.2m$$

$$\text{Length of column charge} = 3.6 - (1.2 + 0.2)$$

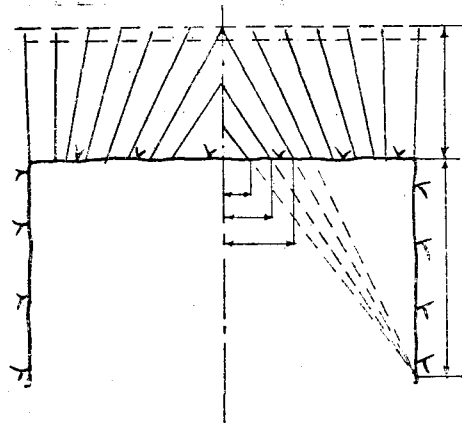
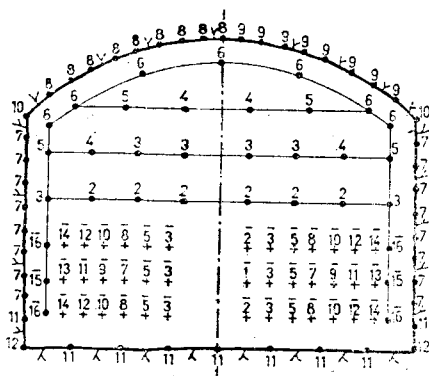


Fig-18 스무스 부라스팅工法(Smooth Blasting) 實驗

=2.2m

Column charge concentration = $0.70 \times$ concentration of bottom charge

Column charge concentration = 0.70×2.0
= 1.4kg/m

Weight of column charge = $2.2 \times 1.4 = 3.08$
= approx. 3.1kg

Floor hole charge = $2.4 + 3.1 = 5.5$ kg/hole

2. The wall hole burden is fixed in this case by smooth blasting. (See section 9.5 Smooth blasting). Since special demands on the result in this case require smooth blasting with Gurit, the burden in the table will be 0.80m. If the "look-out" is deducted, the burden inside the contour is $0.80 - 0.20 = 0.60$ m.

Hole spacing 0.60m adapted to wall height
Number of hole spacings = $\frac{6.0}{0.60} = 10$, this meaning 11 drill holes.

According to the table, the bottom charge for smooth blasting is approx. 0.35kg/hole.

The column charge is 17mm Gurit, 0.46m/pipe

Uncharged section = $0.5 \times$ burden

Uncharged section = $0.5 \times 0.80 = 0.40$ (when Gurit is used, the uncharged section can be reduced to 0.2m)

Length of column charge = $3.6 - \left(\frac{0.35}{2.0} + 0.2 \right)$

= approx. 3.2 m

Number of Gurit units = $\frac{3.2}{0.47} = 6.96$, giving 7 units with a charge weight of 0.11 kg/pipe

Wall hole charge = $0.35 + 0.77 = 1.12$ kg/hole

3. The roof holes are drilled with the same hole spacing. The only difference is that the bottom charge is reduced to 0.175kg/hole.

Roof hole charge = $0.175 + 0.77 = 0.945$
= approx. 0.95kg/hole.

A total of 17 holes is needed in the roof.

4. The cut and the "cut spreader" holes can now be calculated and located.

(See section 9.3 entitled Plough or V cut.)

According to the table for "ploughs", the largest burden for a plough drilled with 45mm diameter holes is 1.5m. This implies $\frac{3.6}{1.5} = 2.3$ ploughs

Two ploughs with one auxiliary hole are chosen.

The height of the plough is to be max. 1.8 m with three ploughs vertically. If possible, the ploughs are to be arranged so that the innermost plough angle is 60° or more. Respect must also be taken to the space required by the drilling equipment, in this case 5.5m.

The plough angle in this particular case is close to 60° .

The drill holes are charged to 1/3 of the hole depth.

$$\text{Uncharged section} = 0.5 \times V.$$

Column charge concentration is taken to be 0.5 × that of the bottom charge which is fully packed in the drill hole.

1st. plough

$$\begin{aligned} \text{Length of bottom charge} &= 1/3 \times 4.2 = 1.39 \\ &= 1.4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Bottom charge concentration} = 2.0 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Weight of bottom charge} &= 1.4 \times 2.0 \\ &= \text{kg/hole} \end{aligned}$$

$$\text{Uncharged section} = 0.3 \times V$$

$$\begin{aligned} \text{Uncharged section} &= 0.3 \times 1.5 = 0.45 \\ &= \text{approx. } 0.50 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Length of column charge} &= 3.6 - (1.4 + 0.50) \\ &= 1.7 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Column charge concentration} &= 0.5 \times 2.0 \\ &= 1.0 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Weight of column charge} &= 1.7 \times 1.0 \\ &= 1.7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Charge per hole} = 2.8 + 1.7 = 4.5 \text{ kg}$$

2nd plough

$$\begin{aligned} \text{Length of bottom charge} &= 1/3 \times 2.6 = 0.86 \\ &= \text{approx. } 0.90 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Weight of bottom charge} &= 0.90 \times 2.00 \\ &= 1.80 \text{ kg/hole} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Length of column charge} &= 2.6 \\ &- (0.90 + 0.50) = 1.2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Weight of column charge} &= 1.2 \times 1.00 \\ &= 1.2 \text{ kg} \end{aligned}$$

(This provides a certain excess charge in the column section but if it is desirable to avoid throw for various reasons, the column charge can be reduced in both ploughs.)

$$\text{Weight of charge} = 1.8 + 1.2 = 3.0 \text{ kg/hole}$$

Auxiliary hole

$$\begin{aligned} \text{Length of bottom charge} &= 1/3 \times 1.7 = 0.56 \\ &= \text{approx. } 0.60 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Weight of bottom charge} &= 0.60 \times 2.00 \\ &= 1.20 \text{ kg} \end{aligned}$$

No column charge is needed.

5. The "Cut spreader" holes can, according to the table for plough cuts in section 9.3, be given a burden of 100m. The burden must be adapted to the geometrical conditions.

$$\text{In this case half the tunnel width—the wall hole zone} = 5.0 - 0.6 = 4.4.$$

$$\text{Number of rows of burden} = \frac{4.4}{1.00} = 4.4$$

and is chosen since the "cut spreader" shots should be rather over-charged than under-charged.

$$V_1 = \frac{4.4}{5} = 0.88 \text{ m}$$

The depths of the "cut spreader" holes vary between 4.1 and 3.6m. Where closely spaced drilling has been carried out, the bottom charge can be calculated on a hole depth of 3.6m.

$$\begin{aligned} \text{Bottom charge} &= 1/3 \times 3.6 \times 2.00 \\ &= 2.40 \text{ kg/hole} \end{aligned}$$

$$\text{Uncharged section} = \text{approx. } 0.50 \text{ m}$$

The first "cut spreader" holes can be permitted to have larger uncharged sections.

$$\begin{aligned} \text{Length of column charge} &= 3.6 - (1.2 + 0.50) \\ &= 1.9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Column charge concentration} & \\ &= 0.40 \times \text{bottom charge} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Column charge concentration} & \\ &= 0.40 \times 2.00 = 0.80 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Weight of column charge} &= 1.9 \times 0.80 \\ &= 1.52 = \text{approx. } 1.50 \text{ kg/hole} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Charge in "cut spreader" holes} & \\ &= 2.40 + 1.50 = 3.90 \text{ kg/hole} \end{aligned}$$

The stopping holes in this case are only directed downwards.

According to section 9.1 entitled charge calculations, the following hole spacing can be chosen:

$$V_1 = 1.15 \text{ m}$$

$$E_1 = 1.35 \text{ m}$$

The hole spacing can be adapted to width

$$4.4 \times 2 = 8.8 \text{ m}$$

$$\text{Number of hole spacing} = \frac{8.8}{1.35} = 6.5$$

=approx 7 and 8 drill holes per row
 $E_1 = \frac{8.8}{7} = 1.26\text{m}$
 Weight of bottom charge = $1/3 \times 3.6 \times 2.00$
 = 2.4kg/hole
 Uncharged section = 0.55m
 Length of column charge = $3.6 - (1.2 + 0.55)$
 = 1.85m

Column charge concentration = $0.50 \times$ bottom charge
 Weight of column charge = 1.85×1.00
 = 1.85kg
 Stopping hole charge = $2.40 + 1.85$
 = 4.25kg/hole
 The column charge is adapted to suitable units according to the prevailing conditions.

Summary of important data:

Hole no.	Hole type	Hole depth m	No. of holes	Metres drilled m	Bottom charge kg	Column charge kg	kg/m	Charging Dyn kg	Gurit
MS 1-2	cut	1.70	3	5.10	1.20			3.60	
MS 3	cut	2.60	6	15.60	1.80	1.20	1.00	18.00	
MS 5	cut	4.20	6	25.20	2.80	1.70	1.00	27.00	
MS 7-16	"cut spreader"	3.6-4.1	30	114.00	2.40	1.50	0.80	117.00	
HS 2-6	stopping	3.60	26	93.60	2.40	1.85	1.00	110.50	
HS 7-11	Walls	3.60	20	72.00	0.32	0.77	0.24	7.00	15.40
HS 8-9	roof	3.60	17	61.20	0.175	0.77	0.24	3.00	13.10
HS 11-12	floor	3.60	9	32.40	2.40	3.10	1.40	42.50	
			117	419.10				335.60	28.50 (18.50 Dyn)

$$\text{Volume} = 74 \times 3.24 = 240^3$$

$$\text{Specific charge} = \frac{354.10}{240} = 1.47\text{kg/m}^3$$

$$\text{Specific drilling} = \frac{419.10}{240} = 1.75 \text{ drill. m/m}^3$$

If other column charges than Dynamex are used, they are chosen to suit the column charge concentration.

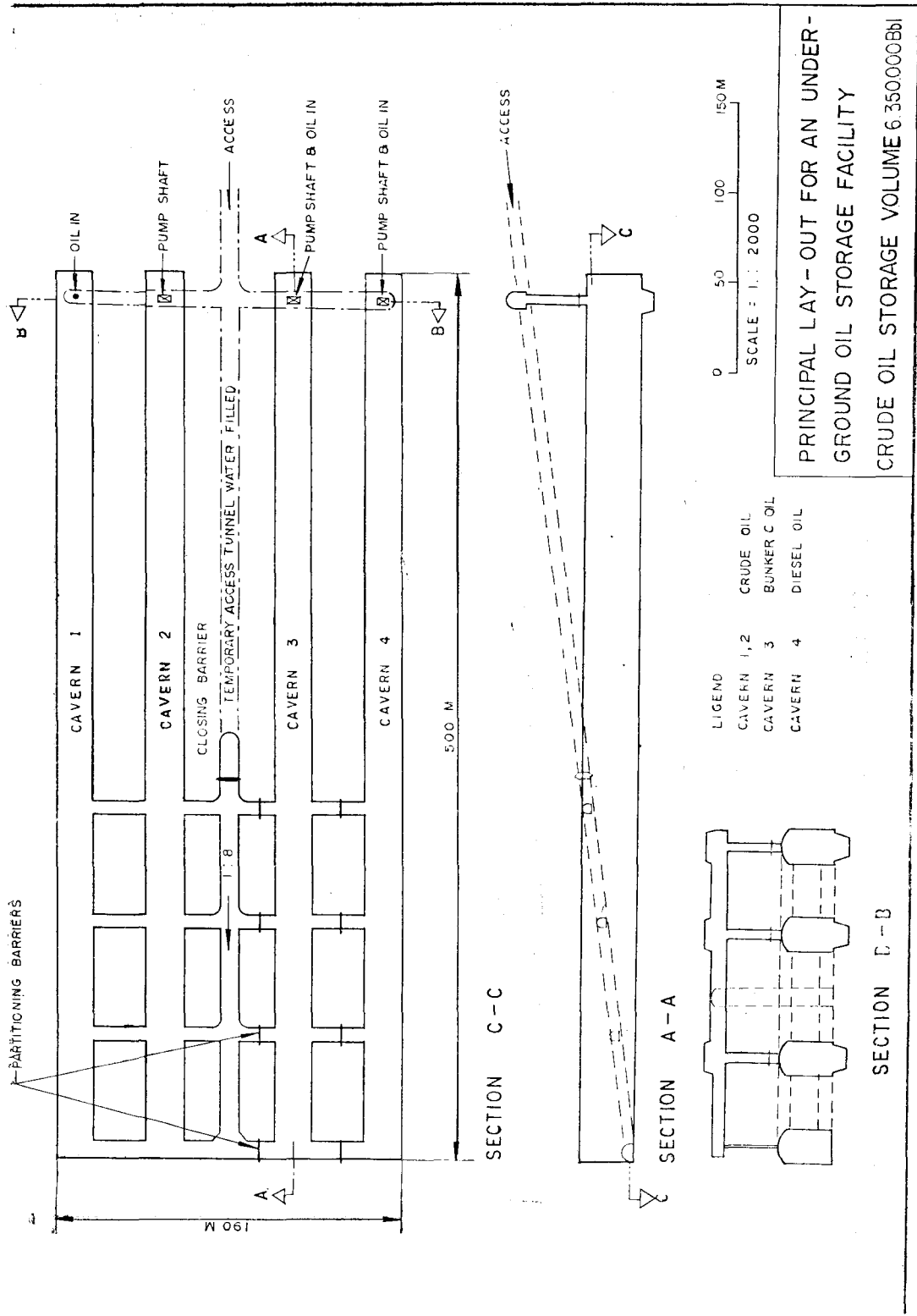
The result of the calculation can be commented on as follows:

Specific drilling is high due to smooth blasting and an unfavourable tunnel width for the "cut spreader" holes.

The specific charge is high due to the decreased burden of the loosening holes because of the width of the tunnel. In most cases the burden can be increased, according to point 5, by decreasing to four rows of burden $V_1 = \frac{4.4}{4}$

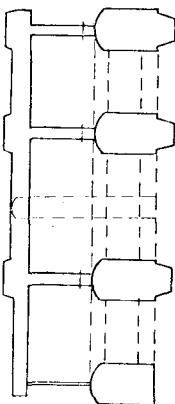
= 1.10m. Some of the stopping holes above the cut can also be eliminated and this reduces the number of holes significantly.

It can be advisable to start tunnel blasting with a drilling pattern which contains certain margins. Later on the number of holes and the charges can be reduced depending on the blasting characteristics of the rock concerned. However, it usually pays not to remain at the threshold limit for acceptable breakage.



PRINCIPAL LAY-OUT FOR AN UNDER-
GROUND OIL STORAGE FACILITY
CRUDE OIL STORAGE VOLUME 6 350000Bbl

LEGEND
CAVERN 1, 2 CRUDE OIL
CAVERN 3 BUNKER C OIL
CAVERN 4 DIESEL OIL



SECTION D-B

SECTION C-C

4-4 地下備蓄의 問題點

現在 우리나라 貯油狀況은 隣接 日本과 같이 그 大部分이 地上貯油槽로서 地下貯油에 對한 經驗이 없으므로 地下貯油의 長期化에 따르는 問題點, 地下操業에 對한 技術問題 그리고 安全上 環境保全上의 問題點을 밝혀두고자 한다.

本節에서는 從來의 地上貯油槽와 方法을 水壓式과 比較해서 地下貯油의 問題點을 檢討하기로 한다.

4-4-1 長期貯油 上의 問題

石油備蓄上 問題로서 長期化에 따르는 Sludge 推積과 油質變化가 主가 된다. 石油貯藏의 Sludge推積은 從來의 地上貯油槽에서도 볼 수 있으며 容量 11萬kl의 中東系原油專用貯油槽에서 6~7年間에 2,000~3,000T의 Sludge가 推積하여 높이 2m에 達했다는 記錄이 있다. Sludge는 原油產地에 따라 若干의 差異는 있으나 油分과 Wax 그리고 一部分의 水泥分이 含有되어 있다. 이것이 推積하면 除去하기가 困難하고 또한 貯油槽內의 容積을 減少시킨다.

地上貯油槽에서는 Sludge의 防止策으로서 油類加熱, 各種 mixer에 依한 覺拌을 한다. 그러나 地下貯油槽에서는 管理上 覺拌은 困難하므로 前述한 바와 같이 直接, 間接 加熱法에 依한 加熱乃至流動에 依한 Sludge推積을 防止하지 않으면 안된다. 그러나 어느 方法이던 多少의 Sludge推積은 避할 수 없으며 時間과 더불어 增加하기 마련이다. 따라서 底面에 傾斜를 두고 Sludge를 pit에 集合시켜 Pump로 排除한다. Sludge推積을 勘案하여 Pump 位置를 높이 들 必要가 있다.

長期備蓄에 依한 油質變化에 對해서는 蒸發損失에 對한 措置가 있어야 할 것이다.

4-4-2 安全上 環境保存上의 問題

安全上 가장 重要한 것은 火災 및 爆發事故의 危險性이다. 地下備蓄이 高度의 安全性은 갖추고 있으나, 100% 完全하다고는 볼 수 없다. 石油貯油槽가 爆發事故를 發生할 可能性은 貯油槽內의 清掃作業이나 貯油槽의 使用開始時 非運轉時가 높다고 했다.

主原因은 油類로부터 發生하는 揮發分이 爆發限界內의 濃度에 達했을 때 着火하게 되므로 油

類의 空氣中에 蒸發을 防止하던지, 空氣를 遮斷하던 事故는 豫防이 된다. 그런 故로 操業開始 때 油類納入을 水置換으로 한다던가, 油面に Floating Grew를 놓는다던가, 油面上의 空間에 不活性 가스를 充滿시켜 揮發分의 氣化를 防止乃至 空氣遮斷을 한다. 이 油面の 大氣와의 遮斷은 大氣汚染防止觀點에서도 바람직한 일이다. 漏油나 가스가 새어 나오는 것은 周邊岩質 및 水質汚染을 招來할 뿐만이 아니라 爆發, 火災發生의 原因이 되는 故로 가스檢知器 및 漏油檢知器를 備置해야 한다. 特히 水壓式 貯油槽에서는 岩盤의 破壞 및 崩落이 漏油와 直結되므로 天盤 및 壁面의 破壞·崩落監視 System 檢討도 必要하다.

그 外 地震에 對해서 터널 또는 鑛山의 崩落이 過去例로 因한 輕質分의 減少, Sludge 推積에 依한 Wax分의 減少, 空氣와의 接觸에 依한 變質等을 생각할 수 있다. 그러나 水置換에 依한 密封貯藏과 原油의 大部分이 精製後 製品化하는 것을 勘案한다면 備蓄原油의 交換을 適期에 한다던 別問題가 없을 것으로 본다.

4-4-3 地下操業에 따르는 技術問題

原油의 納入 貯藏 및 出庫에 對해서는 計量法과 設備의 補修管理이다. 出庫는 關稅法에 依해서 流量計에 依한 數量確定方式이 適用되나 納入量은 地上貯油槽에서 檢尺에 依한 數量確定法이 適用된다. 그러나 地下貯油槽에서는 構造上 水壓式 터널과 같이 浸透水 때문에 在槽量의 確定이 어려우므로 高精密度의 流量計가 開發實用化되고 있다.

設備의 補修 管理問題에 있어서는 稼動後貯油槽內 設備點檢이 困難하므로 出庫用 pump, 排水 pump는 共히 補修管理가 必要없을 程度로 品質이 保障되어야 한다. 其他 計測, 制御機器等은 故障으로 因한 交換이 困難하므로 豫備를 두어야 한다. 特히 內張式 貯油槽의 境遇 地下水下面에 貯油槽가 設置되어 地下水의 steel lining 및 pipe類의 腐蝕이 問題되므로 腐蝕防止策에 比해서 安全性이 높은 것으로 되어 있으나 最近耐震設計技術의 發展에 따라 岩盤內構造物의 耐震性解析의 例가 報告되어 있다. 이것은 橫波를 地震波로 한 것과 가로軸으로부터 들어

오는 Rayleigh波의 2種으로 하고 있다.

F-19에서 Lay Leigh波를 入力으로 할 때 深度方向의 應力最大値變化를 나타내고 있으나 岩石強度에 比해서 極히 적은 것을 알 수 있다. 이 解析으로부터 地震에 對한 安全性이 確認되고 있다.

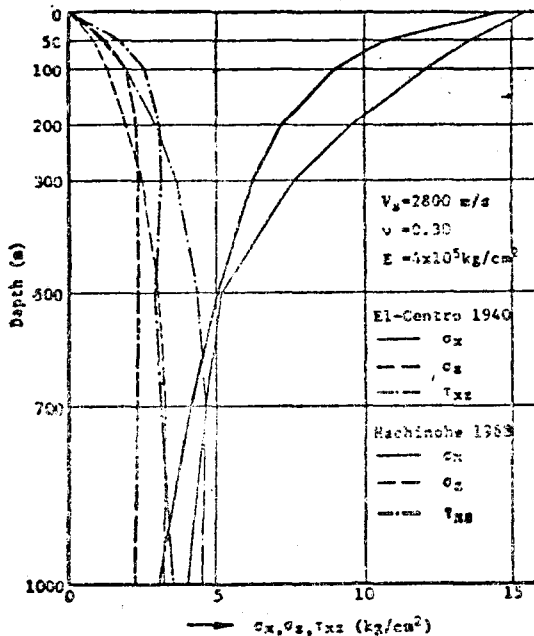


Fig-19 Rayleigh波傳達로 生起는 最大應力의 深度方向變化

5. 遊休鑛山の 地下貯油

지금까지는 新設하는 地下空洞 掘鑿에 對해서 記述하였으나 施工投資費가 많이 所要되는 故로 既히 掘鑿되어 있는 遊休廢鑛山の 空洞에 石油 備蓄으로 轉用하는 例가 歐美 또는 日本에서 事例를 볼 수 있다. 그러나 大部分의 遊休廢鑛山은 採鑛採炭 및 採石을 目的으로 했기 때문에 貯油의 形態 또는 空洞의 安全性을 具備한 適地物色이란 容易한 것은 아니다. 貯油施設의 轉換條件으로서는

첫째, 規模의 空洞이 安全하게 保存하고 있어야 하며

둘째, 地下水面이 空洞의 上部에 位置해야 하며

셋째, 湧水가 比較的 적어야 하며

네째, 地下空洞의 調査가 可能한 것.

다섯째, 地表上에 貯油出納用施設을 갖출 수 있는 平擔한 地形等이다.

그 좋은 例가 Flaxenvike 鑛山과 같이 硬固한 岩盤에다 柱房式採鑛에 依한 採掘場所가 安定된 適地로서 採擇되고 있다.

F-20에서 佛國의 May-Sur-Orne 鐵鑛山の 廢坑을 利用한 貯油所斷面을 보는 바와같이 이 鑛山은 向斜構造를 이룬 古生層의 砂岩과 頁岩間의 鐵鑛層採掘跡을 잘 利用하여 500萬m³의 輕油를 貯藏하고 있다. 貯藏方式은 隣近의 Orne 河川의 流水를 利用한 水位變動法이다.

T-10은 美聯邦에너지機構(FEA)에서는 非常事態를 爲해서 石油備蓄計劃(S.P.R)을 進行中이며 이 計劃에 따르면 岩鹽 石灰石의 稼行鑛山或은 遊休鑛山에 貯油로 包含되고 있다.

T-10 美國 SPR計劃의 選定된 Site

鑛山名	位置	地質/所有者	百萬 A = bbL 鑛山	
Kleer	Dulas東方 60哩	岩鹽/Morton Salt co	30	0
Weeks Island	Luisiana 南 15哩	岩鹽/Morton Salt co	89	0
Cote Blanche	同上	岩鹽/Domtar Chemical co	27	0
Central Rock	Kenturkey	石灰岩/Central Rockw	14	0
Ironton	Ohio	石灰石/Alpha portland and, Ind, Inc.	21	A
貯藏可能量			181	

F-21의 Central Rock 鑛山에서는 柱房式採掘跡地를 利用하여 約 170kl의 貯油空洞을 活用하고 있다. 우리나라는 鑛物의 博物館으로 일컬어질 정도로 豊富은 비록 많지 않으나 多種類의 金屬, 非金屬鑛物이 產出하여 옛날부터 많은 鑛山이 分布하고 있다. 그러나 金屬을 비롯한 많은 一般鑛山이 遊休廢鑛狀態에 있으나 鑛床採掘法, 岩盤, 地形, 其他 制約 등으로 安全된 大容量의 空洞으로서 貯油體의 漏油防止를 爲한 完全한 水壓等 性能을 갖추고 있는 廢坑이 드물 것으로 본다. 따라서 將次鑛山の 廢坑을 貯油施設로 活用키 爲해서는 鑛山開發當初부터 轉換活用을 勸案한 開發이 必要할 것이나, 特히 大規模의 資源이 賦存되어 있고 活發히 開發되고 있는 石灰石鑛山은 貯油適地로서 對象이 될 것이다.

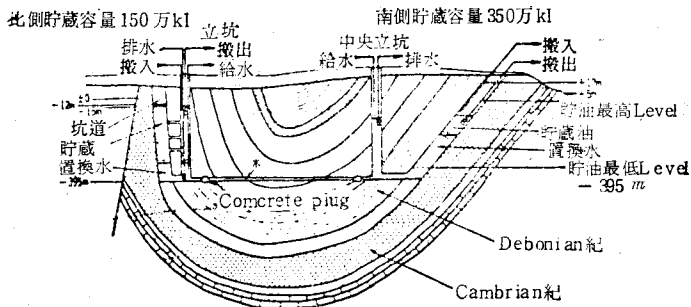


Fig-20 May-sur-orne鐵礦山廢坑利用石油儲蓄

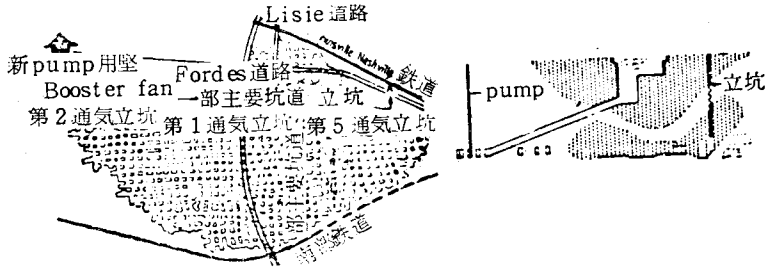


Fig-21 Central Rock鑛山の 平面(a) 斷面圖(b)

6. 低溫液化가스의 地下儲蓄과 岩石의 低溫物性

最近 液化石油가스(LPG), 液化天然가스(LNG) 等과 같이 低溫液化가스 石油 못지않게 에너지 資源으로서 重要性이 高潮되고 있다. 따라서 先進諸國에서도 石油地下貯藏과 함께 低溫液化가스의 地下貯藏도 서로 서둘고 있으며 몇가지 開發研究가 進行되고 있는 實情이다 低溫液化가스 貯藏에 關해서 容器가 될 수 있는 周圍岩盤의 低溫性에 對해서도 相當한 研究가 進捗되고 있다.

여기서는 最近石油代替 에너지로서 注目되고 있는 天然가스 實情을 살펴보고 LNG와 LPG 같은 低溫液化가스의 儲蓄, 貯藏에 對해서 記述

하고 마지막 岩石의 低溫物性에 對해서 몇가지 研究結果를 紹介하기로 한다.

6-1 天然가스 實情

油類波動以後 石炭, 原子力 太陽熱, 地熱等 代替에너지의 開發研究가 進行되고 있거니와 그중의 하나가 天然가스이다.

T-11 世界天然가스 確認埋藏量 및 生産量

(單位 $10^9 m^3$)

地 域 · 國	埋藏量	生産量	燃棄量
中 東	16,386	148.26	95.69
Iran	10,623	50.00	45.40
Saudi Arabia	2,280	47.20	36.30
亞細亞·太平洋	3,484	46.27	11.30
Australia	915	6.40	—
Indonesia	680	7.50	5.20
歐 洲	4,303	188.85	0.80
Netherland	1,754	96.63	—
英 國	796	39.50	0.80
아프리카	5,952	65.51	39.29
西 半 球	10,665	775.02	18.57
美 國	6,119	583.80	3.10
共 産 圏	26,940	406.39	16.00
世 界 合 計	67,731	1,630.32	180.35

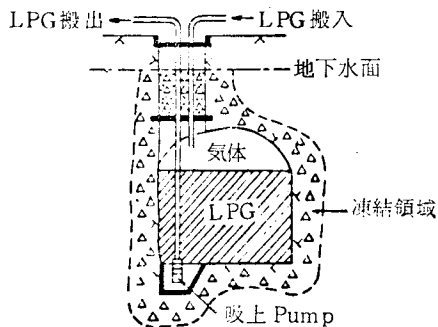


Fig-22 凍結貯藏方式

出所) 64) (注) 隨伴가스包含. 埋藏量은 1977 1/1 現在, 生産量 및 燃棄量은 1976.

上記表에서 보는 바와 같이 그 分布가 石油처럼 偏在되어 있지 않고 世界의 炭化水素의 確認埋藏量의 約 40%를 占有하고 있어 量的으로 重要的인 에너지 資源이라 할 수 있다. 그러나 問題는 天然가스 產地로부터 消費地까지의 供給에는 液化運搬 및 貯藏 等の 高度의 廣範圍한 技術이 要하는 故로 그 開發은 歐美 先進國을 除하고는 아직 뒤지고 있다.

T-11에서 보는 바와 같이 中東 및 阿州에서는 石油隨伴가스의 半以上이 燃棄量으로서 그대로 태워서 버리고 있는 實情이다.

이와같이 石油에 比해서 開發이 遲延되고 있다. 다시 말하자면 生産이 남아 돌아가는 에너지 資源이면서 硫黃化合物을 包含치 않고 完全燃燒에서 汚穢이 나오지 않는 Clean Energy로서 都市가스의 需要增大에 對處할 수 있는 高카로리化에 適合性, 또한 生産地가 世界各國에 分散되어 있는 長點을 勘案할 때 將次 天然가스의 需要增大와 重要性이 增大된 것으로 確信한다. 天然가스의 輸送은 管送(pipe line) 或은 液化輸送等 두가지가 있으나 우리나라와 같이 三面이 바다로 쌓여있는 나라에서는 當然 後者를 擇해야 될 것이다.

天然가스는 T-12에서 보는 바와 같이 其主要成分이 메탄(methane)으로서 그 溫度는 大氣壓下 -162°C 의 相當한 低溫이다. 그런 故로 輸送 및 貯藏施設에는 斷熱材나 或은 特殊한 材料로서 費用이 많이 든다. 따라서 今後 LNG의 生産·使用이 增加함에 따라서 輸送, 貯藏等을 經濟的이고도 安全한 方法이 確立될 것을 期待하는 바이다. 從來의 LNG貯藏 탱크는 油類와 같이 工場地帶에 地上貯藏하므로써 安全性 및 土地利用의 制約等 많은 問題點이 있으므로 瑞典을 비

T-12 輸入天然가스(LNG)의 組成例 (mol%)

產 地	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀ *	C ₄ H ₁₂ **	N ₂
Alaska Kenai	99.80	0.09	0.01	0.	0.	0.10
Borwnei	89.83	5.89	2.92	1.30	0.04	0.02
Ab Dabi Das Island	75.90	23.09	1.72		0.07	0.03
Indonesia Arun	87.38	7.81	3.61	1.08	0.06	0.06

* i C₄H₁₀ + n C₄H₈

** i C₄H₁₂ + n C₄H₁₀

롯한 歐美諸國에서는 地下에 LNG 및 에치렌等 低溫液化燃料을 貯藏하는 施設이 漸次 普及되고 있다.

6-2 低溫液化燃料의 地下備蓄

北美 및 西歐에서는 天然가스는 파이프라인을 통해서 消費地에 輸送되고 있으며 都市燃料로서 使用하기 始作했다. 天然가스를 都市燃料로서 使用時 冬 夏節의 需要量의 큰 差로 여기서 貯藏 問題가 提起된다. 이때 體積이 가스狀態의 1/600 以上으로 減少되는 液體狀態로 해야만 效率이 좋은 탓으로 液化貯藏技術이 發達하게 되었다.

T-13 地下貯藏關係炭化水素性質

	meth- ane	etha- ne	propa- ne	Buta- ne	Ethy- lene
分 子 式	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₂ H ₄
沸 點 (°C)	-161.4	-88.6	-42.2	-0.6	-103.7
Gas 比重 (空氣=1)	0.555	1.049	1.522	2.010	0.974
液 比 重 (水=1)	0.300	0.378	0.512	0.581	—
膨 張 率 (Gas/液體)	629.8	330	267.2	230.0	—
總發熱量 (10°kcal/Nm ³)	9.52	16.82	24.32	32.01	12.02
眞發熱量 (10°kcal/Nm ³)	8.55	15.37	22.35	29.51	11.27
蒸發潛熱 (kcal/kg)	121.9	116.9	101.8	92.09	115.4
蒸氣壓 (kg/cm ² 37.7°C)	—	54.8	13.4	5.1	—

T-13에서 보는 바와같이 天然가스(methane), Ethylene 또는 propane은 當壓液狀態에서는 低溫狀態에 있다. LPG는 加壓狀態에서는 常溫貯藏이 可能하다. LNG貯藏은 低溫狀態만이 貯藏이 可能하므로 斷熱保冷等の 建設에 莫大한 費用이 所要된다. 따라서 現在 貯藏하고 있는 것은 LPG까지이며 이보다 더 얇은 低溫의 ethylene(常壓에서 -104°C), LNG(-162°C)의 地下貯藏은 研究開發中에 있다. 먼저 LPG의 地下貯藏例를 紹介하고 다음 研究開發中에 있는 LNG貯藏方法을 檢討기로 한다.

6-2-1 LPG地下貯藏

LPG는 propane과 n Butane을 主成分으로한 가스로서 그 中 propane은 常壓에서는 -42°C 이며 Butane은 -0.6°C 에서 液化한다. 이 溫度는 다른 Ethylene, LNG에 比해서 높은 것으로 그

만큼 取扱하기 容易한 탓으로 瑞典, 佛美 등에서 地下空洞에서 貯藏하고 있다. LPG의 貯藏方式으로서 常壓低溫狀態에서 貯藏하는 방식과 高壓常溫狀態에서 貯藏하는 방식의 두가지가 있다.

常溫低溫의 貯藏은 空洞周邊의 岩盤을 低溫의 LPG로 冷却하여 岩盤中の 地下水를 凍結시킴으로써 LPG의 漏出을 防止한다.

이 방식은 F-22와 같이 LPG를 常壓으로 貯藏하는 故로 空洞을 깊이할 必要없이 地下水面下에 있으면 足하다. 高壓常溫狀態에서의 LPG貯藏方式은 常溫狀態의 LPG蒸氣壓보다 더 高壓狀態에서 LPG를 貯藏하여 漏氣를 防止하는 것이다.

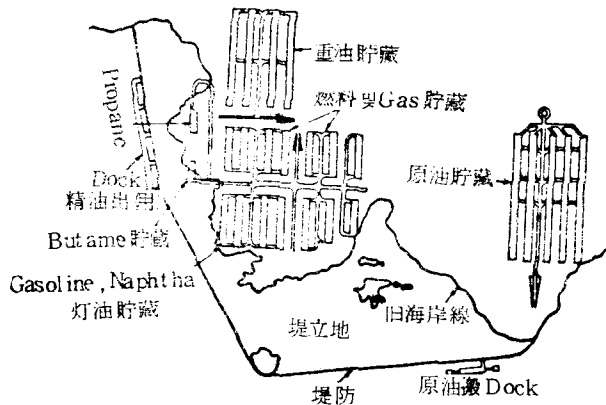


Fig-23 LPG 地下貯藏設備精油所

LPG의 主成分인 propane의 蒸氣壓은 26.9°C에서 10氣壓이고 다음 主成分인 Butane 蒸氣壓은 그보다 낮은 故로 이에 對應하는 壓力을 얻으려면 地下水面으로부터 100m 以上 深度位置에 空洞을 建設해야 한다. 따라서 常壓低溫狀態에서의 貯藏例은 比較的 적으며 瑞典의 Stenung Sund와 佛國의 Lavera에서 利用되고 있다. 그러나 高壓常溫狀態에서의 貯藏은 많이 利用되고 있는 實情이다. 高壓常溫狀態의 LPG(propane, Butane)의 貯藏例로서는 Gothenburg의 Shell 石油精油工場 Lay Out을 F-23과 같이 原油, 重油, 揮發油 등 各種 石油類를 大部分 地下貯藏하고 있다. 各種 石油類 貯藏用 空洞中에서도 Butane, propane 貯藏用 空洞은 導坑의 가장 깊은 奧地에 設置한다. 이와같이 高壓常溫의 LPG貯藏時 氣化가스의 漏出防止를 爲해서 F-24와 같이 空洞上에 터널을 掘鑿하여 水方向으로 穿孔한

Bore hole에 注水하여 岩盤中の 地下水壓을 定하게 한다.

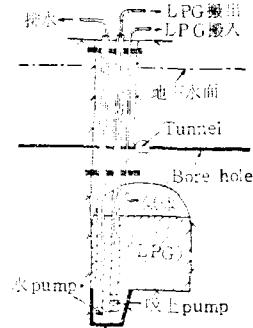


Fig-24 加壓貯藏方式

6-2-2 LNG 地下貯藏

LPG低溫狀態貯藏이 可能함에 따라 沸點의 낮은 液化 Ethylene(-104°C)과 LNG(-162°C)의 貯藏이 이제 實用化 段階에 이르렀다. 그間 失敗한 例을 參考로 먼저 紹介코져 한다. 瑞典의 Stenung Sund Plant에서 液化 ethylene을 岩盤 空洞中에 貯藏時 貯藏開始後 Grouting施工과 地下水壓處置로서는 漏出을 防止할 수가 없어서 結局 ethylene 貯藏을 斷念하고 LPG貯藏으로 代替했던 例이 있다. 이와같이 ethylene 또는 LNG와 같은 低溫液體貯藏時 液體에 接觸하는 岩盤壁面이 急冷하여 既히 存在했던 龜裂이 커 지던가 또는 새로히 發生한다.

이 龜裂中에 浸液이 생기면 더운 岩盤과의 接觸으로 氣化形像이 일어나며 한편 接觸部の 岩盤을 다시 冷却시킨다. 따라서 氣化된 가스壓과 冷却의 效果로서 또다시 龜裂은 커진다. 이와같은 過程이 反復하므로써 龜裂은 점점 커지며 드디어는 漏出現象을 紹介하게 된다. 一般의 低溫液化가스를 地下空洞의 直接貯藏하기 爲한 岩盤의 耐溫限度는 -50°C 程度로서 그보다 低溫에서는 岩石의 熱收縮에 의해 龜裂現像이 일어난다. 上記한 바와 같은 漏出問題 때문에 그間 많은 研究開發이 進行되어 오다가 最近 다음 두가지 方法이 實用化되고 있다.

i) 斷熱材使用方法

이 方法은 斷熱材로서 岩盤表面의 冷却을 防止하고 그 속에 貯藏되고 있는 液體의 氣化가 發生하지 않도록 加熱을 豫防하는 것이다. 그리고 發生하는 氣化가스의 漏出을 防止할 수 있는

氣密성을 가진 耐熱材를 選擇해야 한다. 이때 斷熱材의 두께(厚)는 氣化防止의 運轉코스트와 設備費를 勘案하여 設定하지 않으면 안된다. Calminder는 斷熱保冷材의 開發과 이것을 岩盤表面에다 適合하게 接着하는 方法에 對한 Cryo-Cavern式을 發明했다. 이것은 液化窒素의 沸點 -190°C 에서 彈性을 잃지 않고 急冷却에도 견딜 수 있는 材料를 選定 試驗했다. 그 材料는 斷熱用的 發泡狀 Polyuretane과 가스漏出防止用非發泡性 Polyuretane의 2種을 重合構造로 하여 다시 材料의 熱收縮에 依한 引張應力發生을 抑制하는 Collugation을 附着시켰다.

F-25에서 보는 바와 같이 岩盤과 斷熱材의 接着을 좋게하고 地下水의 浸水를 防止코져 空洞內의 岩盤面에는 Epoxi 樹脂를 塗裝했다.

Stockholme 郊外에다 8m^3 의 Pilot Plant를 만들어 上記 Cryo Cavern式의 實驗을 했다. 岩盤과 斷熱材의 溫度變化를 測定하면서 이와 함께

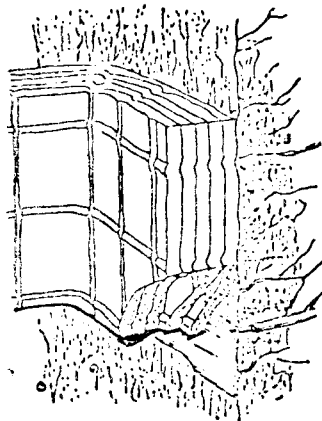


Fig-25 Cryo Cavern 斷熱材

理論計算도 行하였다. 이때 斷熱材의 熱傳導率 $1.72 \times 10^{-2} \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$ 岩石은 花崗岩或은 片淋岩으로 比熱 $0.19 \text{ Cal/g}^{\circ}\text{C}$, 熱傳導度를 約 $3 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$ 로 하였다. 그 結果測定値와 理論値는 거의 一致하였다. 理論計算에 의하면 空洞附近의 岩盤이 -40°C 에 達하기까지는 大略 30年이 所要되며 影響範圍는 50m 이다. 이와같은 實驗으로서 斷熱材를 使用한 LNG貯藏法은 可能하다는 것이 F-26과 같이 立證되었다.

非眞空斷熱의 境遇 靜止空氣의 熱傳導率이 적은 것과 粉體의 點接觸에 의한 熱傳達의 減少를 利用한 것이다. 上村은 各種非眞空斷熱材의 熱傳

導率을 測定하여 0°C 에서 熱傳導率이 $0.02 \sim 0.04 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$ 範圍이며 熱傳導率이 溫度低下에 따라 거의 直線의으로 減少된다는 것을 分明이었다. 熱傳導率을 아주 低下하는데는 眞空으로 하여 空氣對流를 防止하는 것이다. 그리고 多層 斷熱材를 使用하여 輻射影響을 防止하면 10^{-4} 오-다 까지 熱傳導率을 低下시킬 수 있다. 그러나 前述한 바와 같이 斷熱構造는 低溫液化가스의 蒸發損失量 탱크容量 熱 및 荷重의 크기, 施工法, 品質管理 및 經濟性等 諸要素를 勘案하여 決定할 것이다.

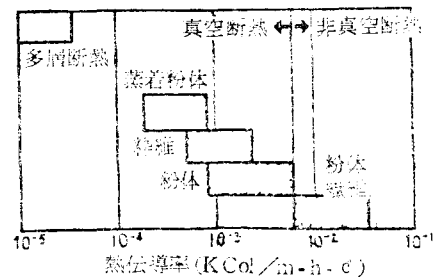


Fig-26 低溫斷熱方式과 熱傳導率

ii) Grouting 方法

이 方法은 岩盤內에다 斷熱材의 lining을 하지 않고 空洞周邊의 龜裂에다 穿孔한 Bore hole을 通해서 Grout劑를 注入하여 LNG를 貯藏하는 方法이다. 이는 地下空洞周邊의 地下水壓을 空洞內의 壓力보다 높게 維持하므로써 空洞壁面에서 發生한 龜裂이 Bore hole에 達하여 龜裂中에 Grout劑가 浸入凍結하므로써 LNG의 漏出을 防止하게 되는 것이다.

Lindblom, Witherspoon은 Pilot Test를 F-46과 같이 立證하고 있다. 即 室內에서 徑이 다른 5本の 管을 冷却하여 여기에 3種의 Grout劑를 注入時 到着距離를 測定한 바, ϕ 이 0.1mm 以下の 작은 龜裂에서는 Grout劑의 浸入距離는 아주 적으나 龜裂의 ϕ 이 커질에 따라 低溫에서는 Grout劑의 浸入距離는 增加된다는 것을 알게 되었다. Witherspoon은 Grouting時 注入場所의 岩盤溫度가 너무 낮아서 凍結溫度까지 漸次粘性이 늘어나는 Grout劑를 選定하는 것이 必要하다는 것이다. Pilot Test에서 3孔의 Bore hole을 正三角形으로 穿孔한다음 그속에 液體窒素를 充填하고 그 三角形의 中心或은 外側에 別

途의 3本の Bore hole을 穿孔하여 溫度와 漏出가스를 測定하여 龜裂狀態를 調査하였다. 龜裂發生後 三角形 中心孔의 Bore hole에다 Grout劑를 注入하여 各 Bore hole의 漏出量 變化를 求했던 바 가장 効果的인 方法임을 알게 되었다. 그러나 上記 Grouting法은 Grout劑注入 Bore hole 孔數配置設計, Bore hole 孔內의 Grout劑變質 및 Grouting個所의 龜裂 再發生에 대한 對策等 몇가지 問題點은 앞으로 補完研究가 必要하다.

6-3 岩石低溫物性과 岩盤熱的解析

低溫의 液體를 地下空洞貯藏時 岩盤의 安定性과 貯藏液의 보이루음等 安定性을 알기 爲해서 岩盤의 低溫下의 움직임 및 熱的解析이 必要하다.

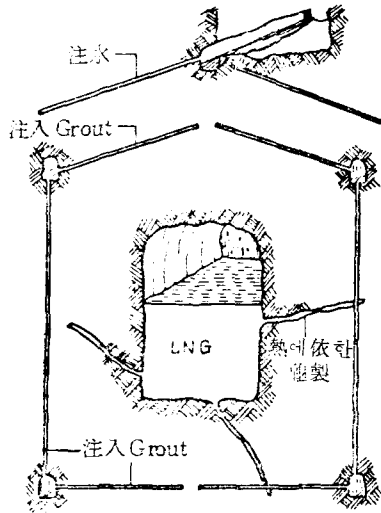


Fig-27 Grouting法 LNG의貯藏概念圖

6-3-1 岩石低溫物性

岩盤의 低溫狀態變化 또는 熱的解析에는 岩石의 低溫物性에 대한 資料가 重要하며 熱的解析에는 液體와 岩盤의 熱傳達率 岩盤의 熱傳導率과 比熱이 必要하다.

그리고 冷却으로 因하여 生起는 熱應力에 對해서 岩盤의 安定如否를 檢討하기 爲해서 岩石의 線膨張率 Young率 壓縮強度, 引張強度等을 測定해야 한다. 其外에 地下水凍結에 따르는 影響을 判斷하기 爲해서 水自體의 機械的性質도 必要하다. 現在까지 알려져 있는 岩石 低溫性研究에 對해서는 그리 많지 않다.

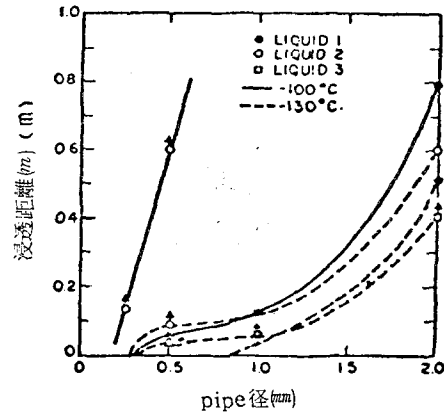


Fig-28 毛細管에 Grout劑 浸透距離

따라서 여기서 Mellor의 實驗結果를 紹介키로 한다.

F-29 및 F-30은 含水飽和와 乾燥의 두가지 條件으로 3種岩石의 一軸壓縮強度와 壓裂引張強度의 溫度變化를 表示하고 있다. 3種의 岩石 供히 같은 傾向을 나타내며 乾燥狀態時 溫度低下에 따라 強度가 若干增加하는데 比하여 含水飽和狀態時는 氷點附近에서 急激히 強度가 增加하여 그

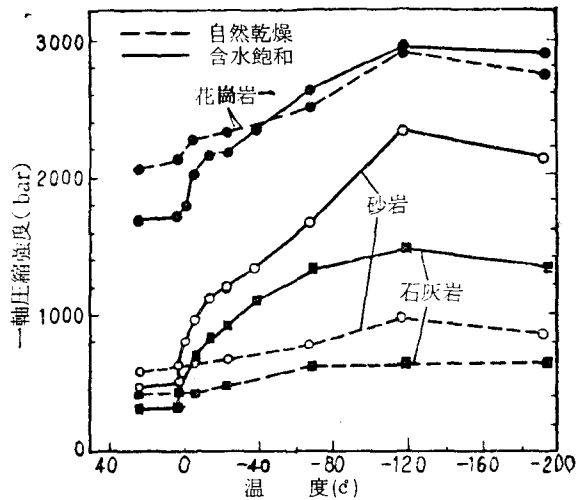


Fig-29 岩石 壓縮強度의 冷却溫度에 의한 變化

後에도 強度는 徐徐히 增加한다. Lindblom의 實驗에 의하면 低溫에서 強度가 增加하는 結果를 가져왔다.

그러나 松居의 黑雲母花崗岩을 使用한 靜壓縮粉碎實驗(-160°C~+80°C)에서는 溫度에 따른 影響은 별로 없었다는 바, 이것은 乾燥狀態의 試料였을 것으로 보인다. 이와같이 含水程度에 따라 強度變化가 큰것은 岩石의 孔隙속에 들어

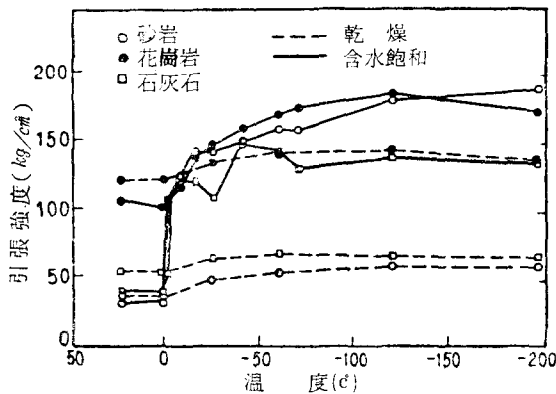


Fig-30 岩石壓縮強度의 冷却溫度에 의한變化
간 물의 凍結影響과 그 凍結溫度가 孔隙徑에 달
라지는 것으로 보인다.

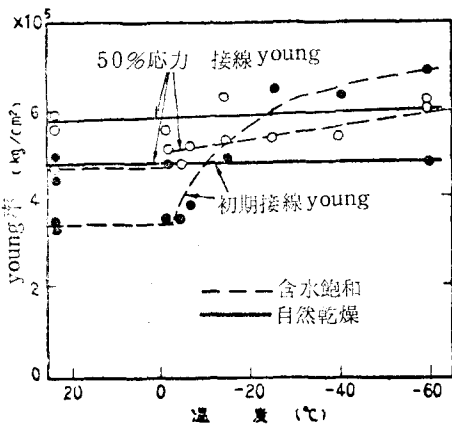


Fig-31 岩石의 young率의 冷却溫度에 의한變化
F-31에서와 같이 含水飽된 試料의 young率이
0°C 以下에서 크게 增加되고 있으나 이것은 間
隙水의 凍結影響으로 본다. 熱膨張率의 測定例
도 몇가지 報告되고 있으나, 含水狀態, 冷却速
度 等の 複雜한 要因을 包含한 系統的인 結果는
아직 얻어지지 않고 있다. 大體的으로 低溫에서
의 熱岩石膨張率은 10-6/°C의 order이며 常溫附
近에서의 熱膨張率은 크게는 變하지 않았다. 따
라서 設計時는 實際岩盤에서 採取한 試料(Core)를
가지고 測定하여 正確을 求하는 것이 좋을 것이
다. 熱傳導率의 整理된 測定例는 別로 없으나
前述한 ethylene 貯藏에서 얻어진 實際值 T-14
에 의하면 溫度低下에 따라 熱傳導率이 若干增
加하는 傾向이 있다.

T-14 黑雲母片岩의 熱傳導率

測定方向	熱傳導率(Kcal/m.hr.°C)			
	-100°C	-50°C	0°C	+30°C
Core軸方向	1.99	1.93	1.87	1.81
岩石潛在破壞面 에 沿한 方向	2.86	2.76	2.67	2.56
潛在破壞面과 垂 直方向	3.68	3.49	3.27	3.10

6-3-2 岩盤內熱의 解析.

低溫液化燃料을 空洞內 貯藏하면 周圍岩盤은
熱傳導率에 의거 熱을 뺏기고 徐徐히 冷却한다.
witherspoon은 熱傳導率 3.6Kcal/m.h.°C 比熱
0.14Cal/g.°C 密度 2.6g/cm²의 花崗岩中에 F-
32(a)와 같이 巾 10m 高 15m의 空洞을 15m 間
隔으로 掘鑿하며 그속에서 低溫液化燃料을 貯藏
時 溫度分布를 求했다. F-32(b)는 -160°C 液體

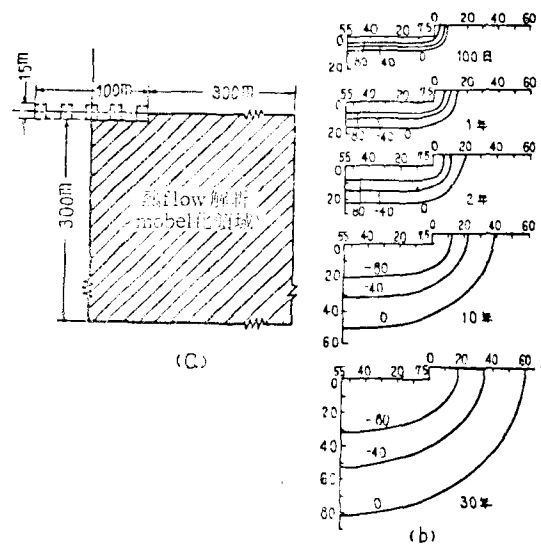


Fig-32 岩盤內 溫度分布解析을 위한 model과(a)
-160°C 液體貯藏時 溫度分布의 經時變化(b).
貯藏時等 溫線의 經時變化를 나타낸 것이다.

上記解析은 主로 地下터널空洞에 適用되는 것
으로 opentype掘鑿空洞에는 含水土壤中의 熱傳
導를 考慮하게 되니 地下水의 影響이 커진다.
柳澤은 10萬 KI의 LNG地下탱크 周圍의 土壤凍
結問題에 대한 數值計算結果 凍結領域에의 吸排
水速度의 影響이 큰 것과 Heat Fence가 凍結膨
張을 防止하는 效果가 크다는 確證을 가져왔다.

※ 引用參考資料는 (下)에서 提示함.