油類 地下 備蓄(上)

Underground Oil Storage

工學博士 許 填※
Dr, Ginn Huh
(大韓火藥技術學會長)
The Explosives Society of Korea

要 約

石油備蓄이 國際的으로는 當面課題로 클로즈업되고 있으며 國內的으로는 石油開發公社가 發足되여 油類備蓄을 推進하고 있는 이時點에서 우리나라 石油政策에 參考資料로 삼기위해 平素關與하고있는 地下備蓄에 對해서 記述하였다.

<目 次>

1. 油類地下備蓄의 必要性
2. 地下備蓄現況
3. 우리나라에 適用對象이되는 地下貯油方式
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
7. 地下 空洞 利用
8. 結論

1. 油類地下備蓄의 必要性

人間生活에 있어 必要不可缺의 要件으로 되어있는 衣食住에 比해 그 重要性이 떨어지지않는 것이있다면 그것은 바로 熱에너지 供給源인 燃料인 것이다. 우리들이 家庭에서 暖房과 厨房用燃料로서 使用하고있는 國產無煙炭도 年間 2千萬톤인데 그所要量과 所要熱量이 不足해서 外國에서 高熱量의 無煙炭을 2~3百萬톤式 輸入하고 있다.

電力資源에 있어서도 우리나라의 發電所는 水力發電所가 얼마안되고 大部分이 燃料를 使用하는 火力發電所로 되어있고 火力發電所에 必要한 燃料는 外國에서 輸入하여오는 石油原油에서 얻어지는 重油를 使用하고 있으며 그量은 輸入原油量의 1/4을 占有하고 있다. 이렇게 해서 우리生活에서 必要不可缺한 熱에너지 資源은 每年外國에 依存度를 높여가고 있다.

家庭燃料와 國家經濟의 原動力이되는 電力需要를 確保하기 爲해서는 基本的으로 安定供給이 이룩될수 있고 比較的安全價格을 維持해주는 길은 中東爲主의 石油供給體制로부터 多邊化하여 每年 10%程度上昇勢를 보이고 있는 原油價에 對策으로 石油資源의 開發 乃自石油備蓄의 增强이 必要로하고 있다. 그런데 우리나라 石油在庫量은 原油와 製品을 合하여 約 30日程度로 外國의 稼動在庫(Running Stock)로 보고 있는 最少 45日分에도 미치지 못하고 있다.

視野를 넓혀 世界를 살펴볼때 隣接 日本에서는 1975年에 石油備蓄法을 公布 民間主導型으로 3個月分을 維持하고 있으며 한편 國家備蓄으로는 石油公團으로 하여금 메이져(國際石油資本)을 經由하지 않는 直接去來原油(D-D原油)와 日本企業이 海外에서 開發한 自主開發原油等은 政策原油로서 1982年末까지 2,000萬kl(20日分)를 目標로 備蓄中에 있다.

西獨에서도 民間主導型政府關與方式의 備蓄政策으로서 企業의 自家消費는 4個月分을 强制備

※ 鑛業技術士(採鑛)

蓄으로하고 政府의 8個月分計劃에 參加하는것은 奬勵備蓄으로 하여 政府支援을 하고있는 實情이다. 그外美國에서도 莫大한 輸入赤字를 무릅쓰고 10億 bbL의 備蓄을 目標로 政府가 直接敢行하고 있다.

上記備蓄方法에 있어서 多量의 備蓄에는 土地林野의 確保難 地價上昇으로 因한 經濟的制約, 環境公害로 因한 社會的인 制約, 火災問題等을 勘案할때 地上탱크, 海洋備蓄에 比해서 施設費가 廉價한 地下備蓄이 많이 普及되고 있다. 地下岩盤中에 貯油施設을 利用하게 된것은 1940年代第二次大戰中瑞典에서 처음 始作된것으로 그後各國에 技術이 普及傳播된 것이며 우리나라에서는 처음으로 1979年初瑞典의 WP社와 東亞그룹이 地下貯油施設에 關한 技術제휴가 맺어지므로서 斯界에 새로운 紀元을마련 한것이다.

以上에서 살펴본바와 같이 石油備蓄이 國際的인 當面課題로 Close-up되고 있는 이때에 38線을 두고 對峙하고 있는 狀況下에서 安保的次元에서 볼때 地下備蓄이 가장 바람직하며 主管部處인 動資部에서는 油類備蓄審議會를 設置하여 民間主導型政府關與方式의 備蓄政策을 本格化함이 슬기로운 對策으로 思料되는 바이다.

2. 地下備蓄現況

2-1 地下備蓄方式

油類貯藏方式으로서는 우리나라에서 一般的으로 各地의 臨海工團에서 흔히 볼수있는 地上 鐵鋼製탱크方式이나 最近土地利用 및 經濟的인 面에서 半地下式 地下式 및 海洋式等의 各種備蓄方式이 普及되고있다. 特히 地下備蓄方式은 歐美諸國에서 活潑이 進行되고있으며 여러가지 方法이 考察實施되고 있다. 이를分類하면 T-1와 같아

T-2 **地下備蓄方式分類**

- 地層中의自然空隙利用 — 枯渴油田 / Gas田滯水槽
- 地層岩盤中의人工空洞利用
  - 既存空洞利用—舊, 廢坑利用
  - 新規地下空洞掘鑿利用
    - 竪坑式
    - 터널式
    - 溶解掘鑿空洞式
- 人工地下空洞利用
  - 峽谷浦口空間利用
    - 峽谷댐型
    - 海岸浦口댐
  - 淺海域空間利用—埋立地型

크게나누어서 自然의 地層中에 存在하는 空隙을 利用하는 것과 地下의 地層中에 人工的인 空洞을 만드는것 그리고 海岸이나 峽谷과같은 自然空間을 人工的으로 막던지 或은 덮어서 地下空洞化하는것 等이있다.

自然의 地層中의 空隙을 利用하는 境遇對象이 되는것은 枯渴된 貯油層 까스層 또는 滯水層을 생각할수 있으며 이方式은 오래前부터 美國 蘇聯에서 利用되고있다.

그러나 原油와 같이 粘性이 높은 油類를 貯藏하는데는 技術上의 問題고 現在는 天然까스 貯藏에만 主가 되고있다. 地下岸盤中에 人工的 空洞을 掘鑿하여 만드는 方式이 最近活潑히 開發利用되고 있으며 一部休 廢鑛山等의 既存地下空洞을 利用하는 것도 있다.

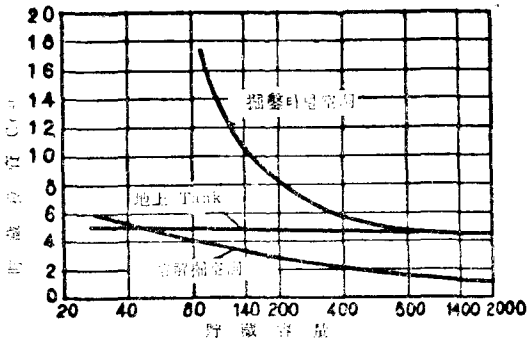
鹽類岩層을 溶解하여 空洞을 造成하는 方法은 西獨佛, 美等에서 多數利用用되고 있으나 우리나라에서는 適合한 地層이 없으므로 適用은 不可能하다 岩鹽以外의 岩盤中의 地下空洞作成方法을 地質學的, 水理學的, 施工上, 形態上으로 區分하면 다음 T-2와 같다.

T-2. **地下備蓄方式의 型分類**

型	岩質	水理	施工	貯油槽形式
1	岩盤層	地下水面下	無라이닝工法	横形
2	〃	〃 上	라이닝工法	〃
3	〃	〃	〃	竪形
4	軟弱地盤層	〃	〃	〃

2-2 外國의 地下備蓄現狀

美, 佛, 西獨等에서는 溶解法에 依한 岩鹽空洞備蓄方式이 油類貯藏에 많이 利用되고 있다.



F-1 貯油コスト

이는 岩鹽層이 油類 또는 까스에 對해서 不透水性이며 空洞의 安定性에있다. 따라서 天然까스 LPG, 揮發油, 原油 및 輕油等各種油類가 貯藏되고있는 實情이나 그外에 F-1에서 보는 바와같이 他貯油方法에 比해서 費用이 廉價이다.

2-2-1 **岩盤貯油**

岩鹽外의 岩盤을 利用하는 地下貯藏은 瑞典, 노루웨이 핀랜드 等의 3國을 비롯하여 佛, 美, 英 및 西獨等으로서 空洞의 大部分은 터널式으로서 鐵道터널, 鑛山의 坑道및 地下設備空洞 및 地下發電所用空洞과 類似한 것이다. 터널式貯藏에는 貯油空洞에 無라이닝法(unlined) 即水壓法과라이닝(內張)法이 있으며 水壓式은 다시 固定水位式과 變動水位式으로 나눈다.

T-3 岩盤內空洞貯油設備

國名	所有者	場所및 Project	貯藏物	地質	建設年	備考
瑞典	Esso Chemical AB	Stenungsund	L P G	片麻岩	64～65	冷凍貯藏法
	Esso Chemical AB	Stenungsung	L P G	〃	66～67	〃
	Esso Chemical AB	Stenungsund	L P G	〃	71～73	高壓貯藏法
	Koppartrans Olje AB	Gothenburg	L P G	〃	67～68	〃
	Scanraff	Lysekil	LPG, 原油	〃	71～74	〃
		—	輕油, 重油			
	National SW Boadr of detence	—	輕油 Naphtha	花崗岩	26～64	變動水位法
	National SW Boadr of detence	—	Naphtha	Cambria Nappe層	71～73	〃
	Stockholm Energy Dept.	—	Naphtha	片麻岩	69～71	〃
	Svenska Shell	—	Gasoline	〃	60～61	〃
	Esso Chemical AB	Stenungsund	Gasoline	〃	61～63	固定水位法
	瑞典共同備蓄會社(SPL)	—	Gasoline	花崗岩	65～67	變動水位法
	Svenska Esso	Sundsvall	Gasoline 輕油	片麻岩	68～69	固定水位法
	OK Union Co.	Sundsvall	Gasoline	〃	70～71	〃
	OK Union Co.	Stockholm	Gasoline	〃	69～71	〃
	Svenska BP, Gulf, Mobil, Texaco	Stockholm	Gasoline	〃	72～74	變動水位法
	SPL	—	Gasoline	流紋岩質火山岩	76～	〃
	Sevenska BP, Svensa Gulf	Loudden	輕油	片麻岩	64～67	固定水位法
	Nynas Petroleum Svensa BP, Gulf	Sundsvall	〃	〃	69～70	〃
	Svenska BP	Gothenburg	〃	〃	70～72	〃
	Svenska Shell	Stockholm	〃	〃	71～72	〃
	SPL	—	輕油	花崗岩	71～74	固定水位法
	SPL	—	〃	砂岩, 頁岩片麻岩化	75～76	〃
	SPL	—	輕油 Gasoline	花崗岩 片麻岩	61～64 65～67	變動水位法 〃
	OK Union Co.	Stockholm	Gasoline 輕油	片麻岩	67～69	固定水位法
	OK Union Co.	Umea	〃	砂岩, 頁岩片麻岩化	70～71	〃
	OK Union Co.	Stockholm	重油	花崗岩片麻岩化	58～60	變動水位法 直接加熱

國名	所有者	場所및Project名	貯藏物	地質	建設年	備考
瑞典	OK Union Co.	Stockholm	重油	花崗岩 片麻岩化	69～71	固定水位法 直＋間加熱
	Svenska BP	Stockholm	輕油・重油	〃	65～67	〃
	Paktank AB	Sodertalje	〃	〃	67～68	固定水位法 間接加熱
	kema Nord AB	Stenungsund	重油	片麻岩	67～68	固定水位法 間接加熱
	Pripp-Bryggerierna	Stockholm	〃	〃	67～69	〃
	City of Vasteras	Vasteras	〃	砂岩	69～71	固定水位法 直＋間加熱
	Sannes	Gothenburg	〃	片麻岩	69～71	固定水位法 間接加熱
	Nynas Petroleum	Gothenburg	重油Asphalt (原油)	〃	70～72	〃
	Handelo Oljel AG	Norrkoping	重油	〃	70～76	固定水位法 間＋直加熱
	Södertörns Fjarrvarmeverk	Stockholm	〃	〃	70～72	〃
	Medical Services Administr hospital	Stockholm	〃	〃	71～72	固定水位法 間接加熱
	Svenska Cellulosa AB	Sunolsvall	〃	〃	71～72	固定水位法 直接加熱
	Tekniska Verken	Linkoping	〃	花崗岩	72～73	固定水位法 間＋直加熱
	National Swedish Power Aduinistration	Marviken	〃	〃	72～73	〃
	Port of Karlshamm	Karishamm	〃	片麻岩	72～74	〃
	Granges Steel	Oxelösund	〃	〃	73～75	固定水位法 直接加熱

國名	所有者	場所및 Project名	貯藏物	容量(kl)	地質	建設年	備考
瑞典	Svarthalsforsen AB	Stokholm	重油	—	片麻岩	73～76	固定水位法 直接加熱
	Krangede AB	Stokholm	〃	—	〃	74～75	〃
	Swedish Cellulosa AB	Husum	〃	—	花崗岩	75～76	〃
	Sundsvall Energy Board	Korsta	〃	—	片麻岩	76～	〃
	National Swedish Board of Defence	—	〃	—	〃	77～	〃
	Koppartrans	Gothenburg	原油	180,000	〃	—	—
	AB Svensk Petroleu-mlagring	—	Gasoline	—	—	65～67	—
	Texaco Oil AB	Sundsvall	輕油	—	—	71～72	—
	Scanraff	Lysekil	輕油・重油	—	—	71～74	—
	Händelö Oljelagrings *forvaltning*	Norrköping	重油	—	—	73～76	—
	KTM	Kemi	Diesel油	130,000m³	—	～63	—
	Tre:N Sähköl	Tampere	重油	250,000m³	—	～69	—
	KTM	Nokia	輕油	330,000m³	—	～72	—

國名	所有者	場所및Project名	貯藏物	容量(kl)	地質	建設年	備考
핀	Rauma-Repola OY	Rauma-1	重油	280,000m³	片麻岩	~73	固定水位法 間接加熱
	Teboil OY	Rauma-2	〃	200,000m³	—	~74	—
	KTM	Jyvaskylä	Diesel油	150,000m³	—	~74	—
	Esso OY	Kuopio-1	Gasoline	130,000m³	花崗岩	~67	—
	KTM Sähkol	Kuopio-2	重油	230,000m³	—	~74	—
	KTM	Varkaus	Diesel油	300,000m³	—	~72	—
랜	Shell OY	Kotka-1	〃	80,000m³	片麻岩	~70	固定水位法
	Kotkan Höyry Voima OY	Kotka-2	重油	250,000m³	—	? 72	—
	Vaskil Voima OY	Vaasa-1	〃	150,000m³	—	~71	—
드	Vaskil Voima OY	Vaasa-2	輕油	60,000m³	—	~71	—
	Neste OY	Naantali	原油	250,000m³	—	~67	—
	Neste OY	Porvoo-1	〃	210,000m³	—	~67	—
	Neste OY	Porvoo-2	〃	38,000m³	—	~68	—
	Neste OY	Porvoo-3	〃	720,000m³	—	~70	—
	Neste OY	Porvoo-4	輕油	500,000m³	—	~72	—
	Neste OY	Porvoo-5	原油	500,000m³	—	~74	—
	Neste OY	Porvoo-6	原油·重油	2,000,000m³	—	~75	—
	KTM Shell OY	Helsinki	輕油	280,000m³	—	~74	—
	Imatran Voima OY	Lahti	重油	150,000m³	花崗岩	73~75	固定水位法 間接加熱
	Pohjolan Voima OY	Kristiina	〃	360,000m³	—	~74	—
	Outokumpu OY	Kokkola	〃	200,000m³	—	~76	—
	Oulun Kaupunki	Oulu	〃	270,000m³	—	~76	—
	Lansirannikon Voima OY	Pori	〃	300,000m³	—	~76	—
	Neste OY	Porvoo	Butane	120,000m³	—	~76	—
노르웨이	Raffinor A/B & CO	Mongstod	原油·燃料油 Gasoline	1,100,000m³	斜長岩	72~74	固定·變動水位
	Shell	Ekeberg	原油	200,000	花崗岩	—	
	Shell	Sola	〃	220,000	雲母片岩	—	
佛	Geostock	Lavera	L P G	120,000m³	石灰岩	69~71	固定水位法 高壓貯藏
	Geostock	Vexin	重油	200,000	Chert	73~78	固定水位法
	Shell	Petite Couronne	L P G	64,000m³	石灰岩	—	〃
	—	Donges	LPG Propan	60,000	片麻岩	—	—
美	—	Ponca	L P G	36,000m³	石灰岩	—	—

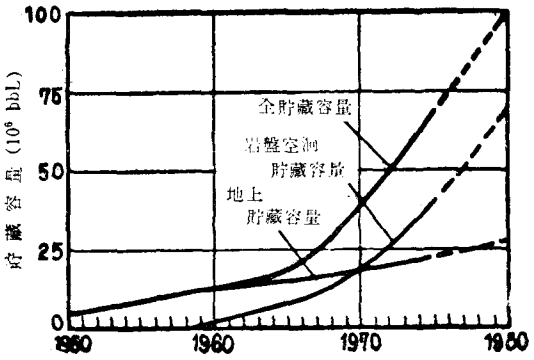
出所) 資源 Energy 廳及 19), 20)

T-4. 廢鑛山利用貯油施設

國名	所有者	場所및Project名	貯藏物	容量(kl)	地質	建設年	備考
西獨	Wiag	Wilhel Mine	原油	500,000	加里鑛山	1968~	
佛	Geomines Caen	May Sur Orne	輕油	5,000,000	鐵鑛山	1969~73	
南阿	—	Johannesburg	原油	數百萬	石灰層	~69	
加	—	Wabana	〃	15,000,000	鐵鑛山	計劃中	
美	—	Leyden	天然 Gas	4,250,000	石炭鑛山	—	
瑞典	—	Flaxenvike	重質燃量油	—	長石	—	

出所) 資源 Energy 廳 10)

T-3에서 各國의 油類地下備蓄實例를 整理하였다. 上記表에서 보는 바와같이 北歐3個는 國土의 大部分을 차지하고 있는 Precambrian或은 古生代의 花崗岩 및 變成岩等良質의 岩盤中에 原油, 重油, 輕油, 揮發油等多種의 油類를 貯藏하고 있으며 그量은 다음 圖 15와 같이 地上貯油量을 上向하고 있는 實情이다.



F-2 北歐3國의 貯油容量推移

T-3에는 美國의例가 하나 밖에 記錄되어 있지 않으나 LPG의 Terminal Tank(容量 2~79萬 bbL)가 多數있으며 地層對象도 花崗岩, 頁岩, 石灰岩 Chert 等各種있다 佛國에서도 石灰岩및 Chert層에 LPG, propane Butane等을 貯藏하고 있다. Vexin은 軟岩인 Chert層中에 掘鑿된 空洞으로서 斷面은 47m²에 적은편이다. 터널延長이 2620m 達한다.

3. 우리나라에 適用對象이되는 地下貯油方式

스칸디나비아 3國을 비롯한 歐美에서 地下貯油가 積極化되고 있는것은 地上탱크의 貯藏에 比해서 地下貯藏이 經濟的인 面이 主된 理由이다 그 背景에는 良好한 地質로서 岩盤이 견고하고 地震이 적은 自然條件下에 있으므로 施工費가 적게든 다는것이다.

우리나라는 北緯度以南의 適地選定의 制限으로 變動帶에 3位置하며 地震은 적은 代身 地質條件이 複雜하며 더우기 人口가 沿海岸의 平地에 密集되여 있는 地政學的條件을 勘案할때 우리나라에 適合한 地下貯藏方式이 導入, 改善, 및 開發이 必要하다고 본다. 따라서 여기 適用對象이 되는 地下貯藏方式을 檢討하기로 한다.

3-1 條件提示

여러가지 方式에 對한 槪略設計를 爲해서 다음과 같은 條件提示를 前提로 한다.

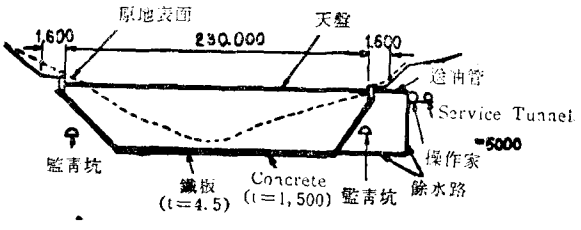
T-5. 貯油槽設計의條件

貯油量	500萬k*l*
油 種	原油(아라비안나이트)
回轉率	1回1年
入荷(一次船)	20~30萬DWT탱카 15,000k*l*/日
出荷(二次船)	5~15萬DWT탱카 4,000k*l*/H
貸油펌프	壓力 流量
탱 카	一次船 15kg/cm² 15,000k*l*/H 二次船 8kg/cm² 4,000k*l*/H
바라스트水等의 排出油分濃度	1 ppm以下
槪略設計範圍	埋立護岸線으로부터 陸地部로하고 바스는除外

3-2 땜式貯油槽

이는 海岸을 따라 峽谷을 이루고 있는 山地를 利用하는 것으로 河口附近의 2個所에 땜을 만들려 그空間을 貯油槽로 利用하는것이다. 이것은 좋은 條件下의 港灣附近의 山地로서 높이 50~60m 幅 100~400m, 길이 300~1,000m의 貯油槽를 經濟的으로 造成할수 있는 空間이 存在하여야하며 그外에 높이 50~60m의 重力式 콩크리트 땜을 建設할수있는 岩盤이 있어야한다.

造成된空間에 貯油時 周圍岩盤에 浸油하지 않는 側面과 底面에라이닝을 施工함과 同時에 貯油의 氣化를 防止하기 爲하여 密着天盤에 의한 油表面을 密閉해야 한다. 이에 貯油容量은 300萬~1,000萬k*l*이다.



F-3 땜式貯油槽

3-3 地下空洞(Underground Cavern)備蓄方式

이方式은 坑內에 터널을 掘鑿하여 油類를 備蓄하는 것으로 無라이닝型과 라이닝型이 있다. 前表의無라이닝型에는 變動水位式과 固定水位

式으로 兩分한다.

3-3-1 **水壓式貯油槽**

이方式은 自然의 地下水壓을 利用하여 空洞周邊의 地下水를 浸潤 시켜 空洞속의 油類가 岩盤壁으로 부터 流出을 防止하는 것이다. 이方法은 다음과 같은 單純한 物理的性質을 利用하는 것이다.

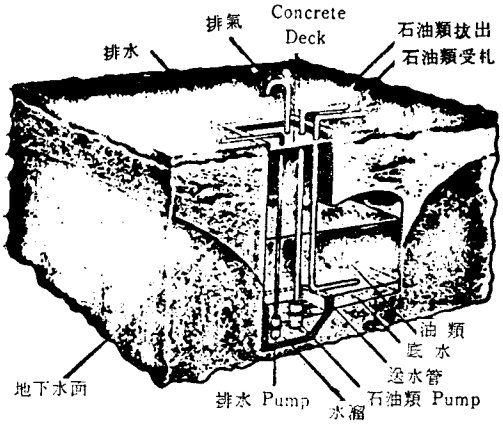
○油類는 물보다더 가볍다.

○油類는 물과 混合하지 않는다.

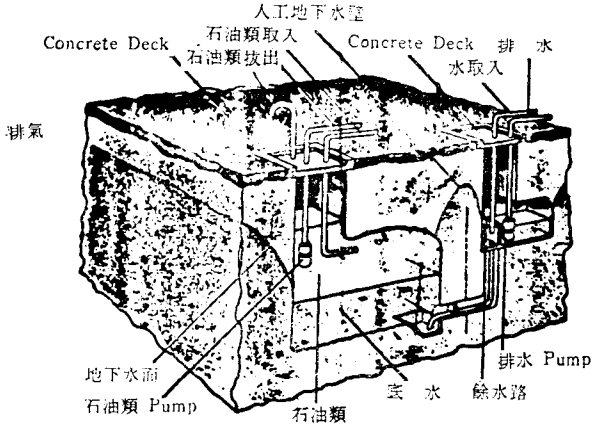
그리고 地下水壓을 利用하여 貯油時다음 條件을 갖추어야 한다.

○地下水位가 安定되어야 한다.

○貯油面이 地下水面보다더 훨씬 밑에 있어야 한다.



F-4 固定水位式地下貯油槽

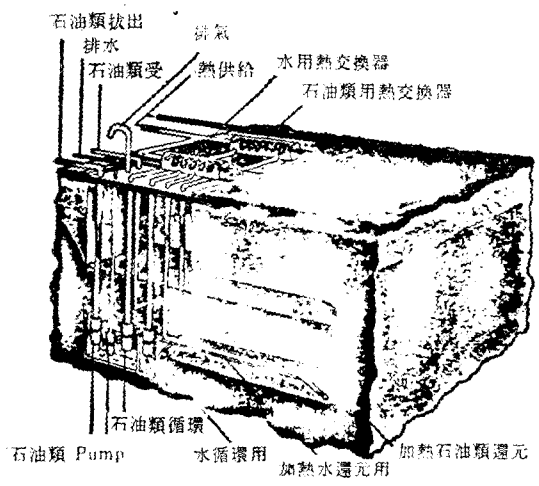


F-5 變動水位式地下貯油槽

○經濟的面에서 볼때 岩盤의 補强은 적을 수록 좋은 것으로 미루어 岩盤의 强度는 높고 龜裂은 적어야 한다.

水壓式貯油槽는 空洞內의 水面을 一定하게 하는 固定水位法과 水面을 變動하는 變動水位法으로 兩分한다. 圖17에서 보는 空洞底部의 물을 一定(約 0.3～0.5m)하게하여 空洞壁으로부터 流入되는 地下水는 底部에 設置된 펌푸에 依해서 自動的으로 排水하여 地上의 水處理施設에 送水한다. 圖18은 물과 油類의 總量이 一定하게 維持하게 되여 있음으로 油量의 變化에 따라 水量이 變動하여 油類表面은 變動하지 않는다. 이方式은 油類表面上의 空間을 적게하여 爆發危險이 있는 油類의 까스發生을 抑制하는 利點이 있으며 揮發油 및 납푸사等의 揮發性이 强한 油類貯藏에 適合하다. 反對로 缺點이라 할수 있는것은 많은물을 取扱함으로서 排水其他處理에 大容量의 펌푸를 必要로하는 點이다.

그런까닭에 前記한 固定水位法에 比해 經濟性이 낮으며 特殊用途에 限해서 適用되고 있는 實情이다. 이 水壓式貯藏方式에 依해서 여러가지 油類가 貯藏되고 있으나 그中 납푸사, 灯油, 重油等과 같이 蒸氣壓이 얕은 油類는 大氣壓下에서 貯藏하는데 反하여 原油, 푸로판等은 常壓下에서 貯藏하면 까스가 空洞上部을 通해 地表로 새여나올 可能性이 있다. 이를 防止하기 爲해서 適合한 地質條件을 選定하여 地下水壓이 貯油槽內壓보다 크게 되는 深却에 位置한 空洞을 施工하는지 空洞上部에 터널를파서 물의벽(Cartan)을 만들어 주는 加壓式貯藏을 해야한다. 이境遇의 地下水面으로부터의 空洞의 깊이는 原油가 22m以上, 푸로팡이 100m以上 必要로한다. 原油 및 重油備蓄時 固化防止 또는 찌거기(Sledge의 沈澱防止을 爲해서 油을 加熱하는 方法을 擇한다. 이 加熱方法에는 直接加熱法과 間接加熱法의 두가지가 있다. 前者는 循環펌푸에 依해서 돌린 原油等을 熱交換器를 通해서 加熱하는 方法이다. 油類를 地下에다 다시 注油시킬때 貯油空洞內의 溫度가 均一하게 하기爲해서 多數孔으로 分解해서 放出한다. 後者는 空洞底로부터 끌어올린 물을 加熱하여 底床에다 다시 注水하여 原油等을 間接的으로 加熱하는 方法이다.

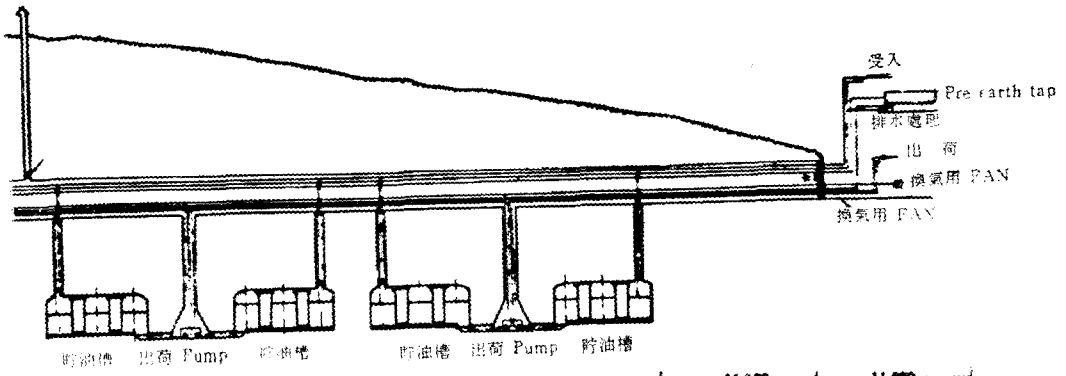


F-6 直接·間接加熱法利用
固定水位式地下貯油槽

不可欠한 要件이나 岩盤條件이 不良하다든가 安定된 地下水를 얻기 어려울때 岩盤의 補强으로서 콩크리트라이닝 및 스틸라이닝等으로 構造面에서 防災面으로 安全한 方式을 採擇하고 있다. 여기콩크리트라이닝 式貯油槽의 한 例를 檢討해 보기로 한다. 基當容量 25萬k*l*의 原油槽를 20基 施工하여 計 500萬k*l*의 原油貯藏을 假定한다.

岩盤條件으로서 良質의 硬岩을 假定한다면 圖 21에서 보는 바와같은 斷面을 가지고 길이 470m의 터널을 掘鑿한다면 上記의 備蓄量을 充足시킨다.

여기서 터널의 中心의 間隔을 터널幅의 3倍로 보면된다. 그리고 콩크리트라이닝式및 스틸라이닝式 다 같이 貯油槽는 充分한 油密性을 維持할



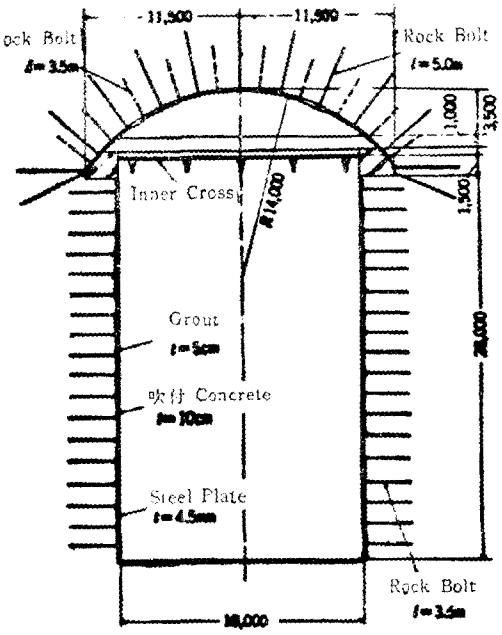
F-7 水壓式貯油槽配置圖

T-6 水壓式貯油槽設計案

項目	A案	B案
貯油槽	幅12m×高12m (129m²)	幅18m×高25m (426m²)
貯藏內壓	−0.5~2.5kg/cm²(Gage)	
底水시스템	固定水位法	
펌프室	2個所	
作業터널	幅11.0m×高6.5m(61.6m²)最大傾斜 1:7	
配管터널	幅8.0m×6.0m高(40.9m²)	
貯油槽深度	頂部水準이 海水面보다 30m	

3-3-2 라이닝式貯油槽

歐美諸國에서는 콩크리트等의 라이닝式貯油槽는 採擇하고 있지 않으며 大部分 Unlined 水壓式構造이다. 따라서 安定된 岩盤과 地下水理가



F-8 內張式貯油槽斷面

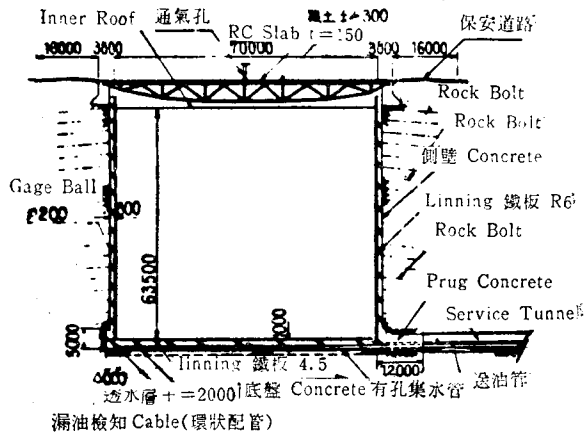
것이다. 이 方式은 適用되는 岩盤이 廣範圍하여 地質條件이 複雜한 우리나라에서는 立地選定이 容易하다는 利點이 있다. 그러나 油面上에 후로트가바(Float Cover)의 裝置 페—파의 處理等難點이 뒤 따른다. 그外 빼놓을 수없는 短點이 岩盤條件이 좋은 곳에 水壓式貯油槽, 岩盤條件이 不良時 半地下式 또는 地上탱크等과 比較할때 施設費가 高價하다는 것이다.

3-3-3 竪形式貯油槽

이方式은 圓筒形을 埋入하는 貯油槽로서 岩盤과 軟弱地盤을 對象으로 兩分한다.

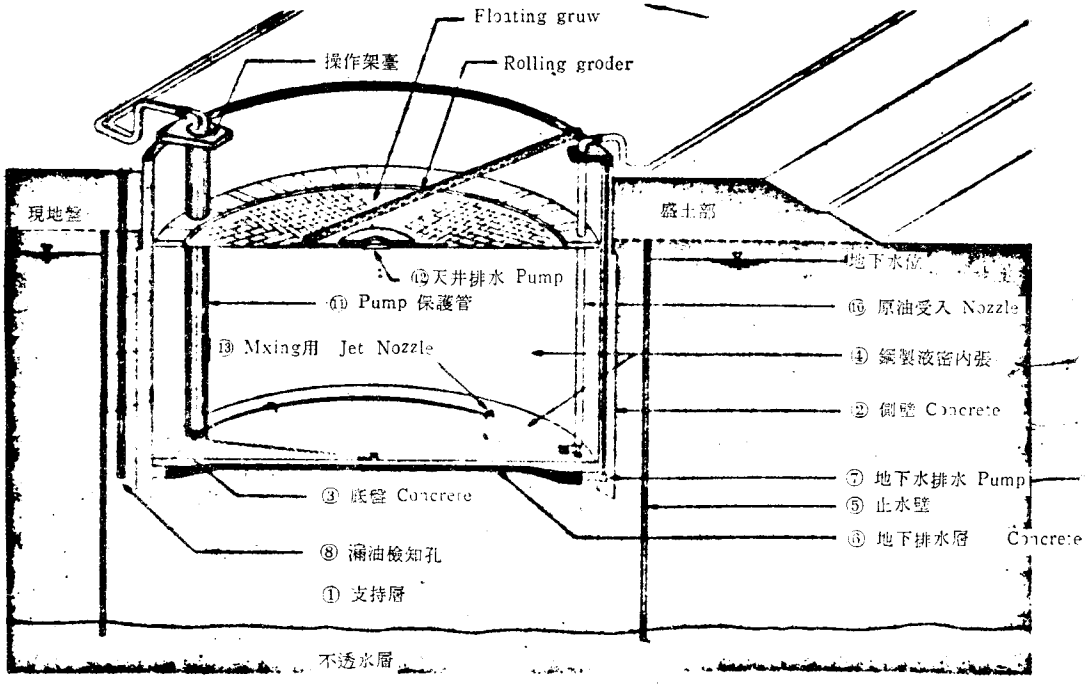
岩盤을 對象으로 하는것은 地下水面上의 岩盤에 直徑 100m 深度 50～100m의 大型圓筒狀의 竪坑을 掘鑿한 라이닝式貯油槽이다 라이닝은 콩크리트라이닝을 施工하여 다시 漏油를 完全히 防止하기 爲해서 鐵板內張을 한다. 上部는 鐵筋콩크리트로스라브를 치고 그위에 覆土하여 造景을 하는 所謂覆土式이다.

軟弱地盤을 對象으로 하는 것은 地下水面下에 있는 沖洪積層中에 施設하게 되므로 土壓및水壓

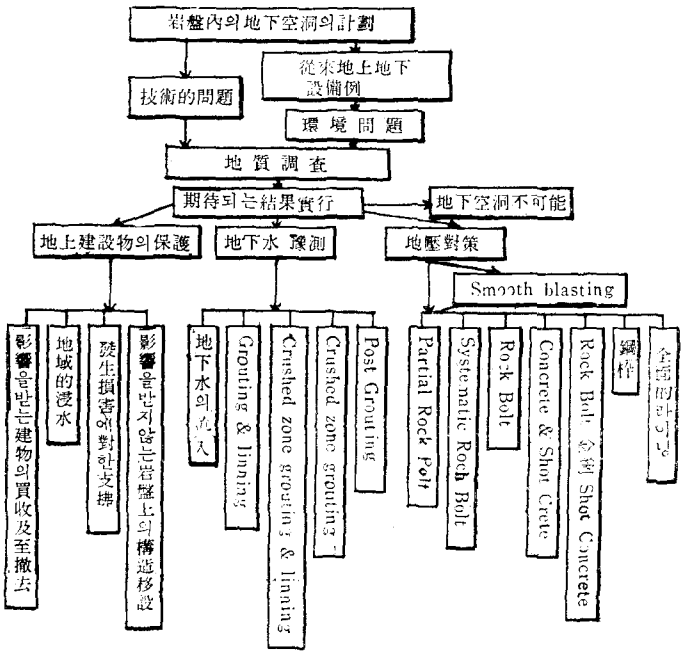


F-9 竪形式貯油槽斷面圖

을 考慮하여 側壁을 크게 하고 底盤이 揚水壓으로 因하여 올라오지 않게 排水設備를 해야한다. 또한 地下水의 影響을 底減하기 爲해서 圖23과 같이 周圍에 止水壁을 設備해야 한다. 이方式은 臨海土擧團地의 旣存精油工場의 大容量貯油槽建設에 適合할 것이다.



F-10 軟弱地盤用竪形地下貯油槽



F-11 地下空洞設計計劃

4. 地下貯油槽의 設計및 計劃의 問題點

4-1 地質條件調査

地下空洞의 設計및 施工에 있어서 設計豫定地의 地層과 斷層, 節理의 地質構造, 地水水理 및 地壓을 包含한 廣意의 地質條件 調査가 重要하다. 地上構造物과 달리 地下構造物의 境遇 그骨格이되는 것이 岩盤인 故로 그 複雜한 岩盤性質을 充分히 把握하여 適正한 備蓄方式을 選擇 設計하지 않으면 안된다. 그러므로 建設費의 節減뿐만아니라 竣工後의 操業및 管理費를 덜수 있다. Bergman은 地下空洞貯油藏建設에 있어서 調査順序를 다음과 같이 規定하고 있다. 먼저 地圖, 航空寫眞, 地質調査資料를 蒐集하여 地下備蓄에 適合한 廣域를 選擇한다. 條件이 좋다고 생각되며는 다시 地質條件, 地下水理, 隣近의 既設配管位置, 環境問題을 勘案한 詳細한 調査를 通하여 地域을 좁혀가면서 最終的인 備蓄適地를 決定하는 精密調査를 進行한다.

여기서 精密調査라 함은 大體的으로 精密地質圖作成 彈性波探査 試錐및 착井, 注水試驗 보아홀테레비(Bore hole T.V)에 依한 龜裂觀察, 地下水位測定의 現場試驗과 試料에 依한 室內試驗等으로 區分된다. 그러므로 岩盤構造岩種分布 岩盤의 透水性, 不連續特性, 地下水의 流動및 岩石의 特性等을 確認한다. 上記調査順序에 따라 豫定地가 地下備蓄의 適合하다면 地壓, 地下水및 地上構造物의 對策을 講究함과 아울러 空洞位置 深度, 形狀 및 크기 等을 算出한다.

4-1-1 地 質

現在 까지 알려져 있는 各國의 地下備蓄地의 地質과 岩層은 T-7과 같다. 이와같은 岩種의 選定은 空洞의 安定性 漏油에 對한 安全性 掘鑿費의 經濟性을 勘案하여 堅固하고 緻密한 岩盤을 選定했으나 最近의 地下備蓄構想의 進展과 地下利用의 擴大로 各國마다 石灰岩, 石膏, 頁岩等 各種岩盤에도 空洞施工의 研究檢討가 進行되고 있다.

空洞의 安全性, 漏油에 對한 安全性은 地下水理에 直接影響을 미치는 故로 破碎帶, 節理, 層理等岩層中의 龜裂調査가 重要하다 Barton은 龜裂을 결합한 岩盤의 質을 表示한 指標로서 1式

F—7 **世界貯油備蓄地의 地質과 岩層**

岩層區分		地質系統(適用國)	適用狀況	貯油法	貯槽方式	備考
深成岩類	花崗岩 花崗內綠岩	古生代(美) Pre Cambrian (瑞典, 노르웨이 핀인렌드)	美21個所以上 瑞典 6個所 노루웨이및 핀인렌드 各各 3個所	原油, 重油, LPG揮發油, 輕油 LNG	터널空洞이主 一部 柱方式 一部竪坑 (LNG)	美는 max, 80萬bbL 規模 瑞典은 104萬 bbL 良質地盤 一空洞斷面 600m² 以上 노루웨이는 126萬 bbL以上없음深岩 2個所 핀인렌드 180萬bbL規模 美LNG 竪坑式放棄
	內長岩	Pre Cambrian (노루웨이)	노루웨이 1個所以上	原油, 燃料油揮發油	터널空洞	
變成岩類	花崗片麻岩	Pre Cambrian (瑞典및北歐)	瑞典 40個所以上 핀인렌드1個所以上 노루웨이2個 〃 佛 1個 〃	原油, 重油, 납푸사 輕油, 重油, 揮發油 LPG	터널空洞이主 一部竪坑 (Stelebell)	端典 Nynas 95萬 m³ 斷面 469m² 佛 Donges 50萬 bbL 斷面 336m²
	結晶片麻類	古生代(노루웨이)	노루웨이 1個所 美 2個所以上	原油 LNG	터널空洞(노루웨이) 圓筒 竪坑(美)	노루웨이 Sola 139萬 bbL 美 Minnesota州雲母片岩 30萬bbL, Carlstadt의 LNG는放棄
	輝綠岩	Pre Cambrian (핀인렌드)	핀인렌드 1個所	石油(不明)	터널空洞	Pori 30方m³-斷面 480m²-長 220m-3貯槽
	珪岩	國籍不明		石油(不明)		建設中
火山岩	流紋岩및 流紋岩質 Tuff	瑞典 헤루토리코 共히 地質系統不明	瑞典 1個所 헤루토리코 1個所	揮發油(瑞典)	터널空洞	〃
堆積岩層	岩鹽等 (硬石石層包含)	古生代(美, 加, 西獨 英) 第三紀(佛)	美 100個所多數 SPR用 3地點 加-9個 佛-4個 西獨-90個 英—伊 共히 1個	LPG, LNG原油 重油, 揮發油콘덴세이트	溶掘空洞 柱房式	佛-4個-400萬bbL 以上 西獨-4,000萬kl 以上 美-SPR 3個 -14,600 bbL 英-Bilingham-LNG 伊-Sicili島建設中
	頁岩(泥灰岩)	古生代(美)	41個所以上	LPG(?)	터널空洞 柱房式	max, 40萬bbL 程度
	砂岩 砂岩, 頁岩互層	古生代? 古生界(南阿, 加佛 美) 新生代, 日本	瑞典-1個所 南阿, 加, 佛-1個所 美個 所以上 日本數國	重油, 重油, 原油 jet燃料	터널空洞 舊坑利用, 竪坑	南阿—舊 Jechanes Bulg炭礦, 佛, 加舊鐵鑛山 美—舊炭礦 日本舊海軍의 竪坑施設이主

	石灰岩(白雲岩)	古生代(美) 中生代(佛)	美 13個所以上 佛 2個所	LPG	터널空洞 柱房式	美30萬bbL 佛-Lavera-12萬m³ 斷面 260m²×長 170-220m, Petit-Couronne-8～32萬 bbL柱房式
	Chert (Chert石灰岩)	中生代 第三紀(이스라엘)	佛-1個 美-4個 이스라엘-1個	重油, LPG 原油	터널空洞	佛 Vexin 13萬m³-47m²×2620m LPG 美 23萬 bbL-LPG 이스라엘 테스트坑道 原油用
	砂, 礫, 粘土地 未固結層	第四紀(日本, 英 알제리아)	英-1個所 알제리아-1個 日本-4個	LNG 重油	竪坑(凍結式 Composite Selsigment, Concrete 內張	英 Canvey, 알제리아-C, A, M, C, A, M E, L, L 日本 根岸, 袖浦, 泉北 LNG 横須賀一重油

과 같은 値를 地下空洞의 支得 判定으로 使用하고 있다.

$Q=(RQD/Jn)\cdot(Jr/Ja)\cdot(Jw/SRF)$

RQD=Deeve, Rock quality designation

Jw : 節理(龜裂)의 配置를 나타내는 數

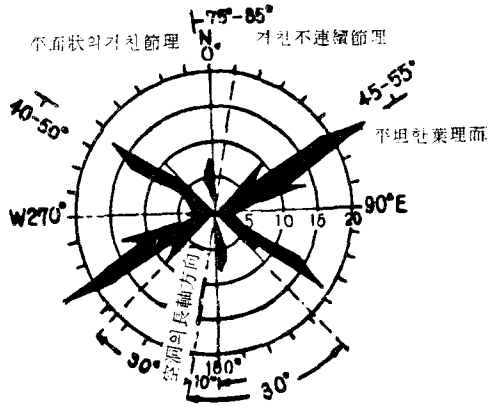
Jr : 節理의 거칠것(roughness)을 나타내는數

Ja : 節理의 變質度을 나타내는數

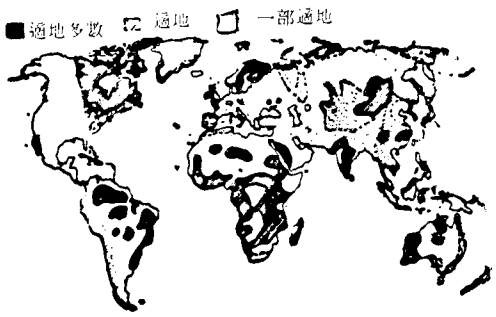
Jw : 節理의 含水量을 나타내는數

SRF : 應力의 緩和度를 나타내는數

空洞의 設計에서 上記岩盤質의 判定外에 節理의 配列方向을 찾는것도 重要하다. 이를찾는 方法으로서 從來 댐 및 地下發電所等에서 널리 使用되고 있는 節理와 斷層의 스테레오投影(Stereo) 및 로젯트다이아그램(Roget diagram) 表現法이있다. 이方法은 節理面, 層理面및 斷層等不連續面의 走向과 傾斜를 월프넷트(Wolfnet), 슈밋트넷트(Schumitnet) 或은 로젯트다 이야그램等으로 表現하여 節理의 뚜렷한 走向과 傾斜를 알게된다. 圖 25 例에서 보는바와같이 N60°E方向과 N55°W方向에 傾斜 40～50°의 節理가 集中되어 있음을 알수 있다. 空洞의 位置가 너무깊지 않고 地壓의 主應力方向에 對한 影響이 적을 때 그리고 큰 節理의 中間方向에다 空洞의 軸을 一致하도록 設計를 해야된다. 地下空洞의 施工이 地質條件에 크게 左右된 다는 것은 再論을 要치 않으나 瑞典에서 評價한 地質學的 世界備蓄適地圖(F-12)와 우리나라의 地殼의 物理構造를 參考하는것도 地質概査에 도움이되리라 믿는다.



F-12 節理로젯트



F-13 世界的地下貯油適地

4-1-2 地下水理

一般的인 地下構造物에 對해서도 마찬가지지만 水壓式과 舊坑利用의 貯油槽施工에 있어서 地下水理의 調査가 特히 重要하다. 水壓式貯油槽의 對象이되는 硬岩中의 水理는 鑛山및 터널掘鑿等의 資料를 除하면 일찌기 開發한 北歐諸國의 水壓式貯油槽施工에 對한 資料가 大部分이고 節理를 勘案한 地下水의 流動 또는 空洞에 對한 湧水測定에 關한 解析은 充分치 못하다. 地下空洞 施工前에 現地 地下水理의 情報로서 地表의 河川, 湖水, 集水面積 및 降水量調査를 先行하고 試錐孔 및 旣存井層等의 地下水位觀測과 注水試驗을 해야한다. 例컨데 Carlsson은 瑞典의 5個地域에서 55試錐孔의 注水試驗을 通하여 岩盤의 透水係數를 求한바 同時에 深度에 따른 減少獨을 求했다.

透水係數(Hydraulic Conductivity Permeability: Darcy式 V=Kgrad(H)의 K(m/s)이다.

但 $K=\frac{\mu}{\gamma w}$關係가 되는 透水性을 表示한 物理的係數 K(m^2)을 Permeability라고도한다.

但 μ=水의 粘性 γw=水의 單位體積重量

上記 4地域에서 平均 10^{-6}m/s의 透水係數가나왔다. 한편 Bergman은 瑞典의 73個의 地下空洞과 터널에서 2550試錐孔에 對한 湧水量을 測定하여 透水係數를 求했다. 이것에 의하면 一般的으로 湧水量은 地下 100m에서 約 30~80*l*/min 有效透水係數 10^{-7}~10^{-8}m/s程度이다. Reinius는 地下空洞에서 地下水의 流動에 Darcy法則을 適用하여 理論的으로 求하고 있으나 앞으로 땜現場의 水浸透解析에 適用되고 있는 有限要素法에 依한 解析이 많이 나올 것으로 본다. 그러나 이 境遇에 適用되는 透水係數의 條件에는 注意가 必要하다.

例컨데 表13에서 보는 바와 같이 透水係數의 巾이 너무크고 거기다 室內實驗値에 比해 現場의 測定値가 너무크다. 이것은 岩盤의 透水性이 節理에 依해서 크게 左右되고 있음을 말한다. 이런 解析에 있어서 重要한 것은 實施로 測定한 値를 適用하는 것이 合理的이고 地下水理의 調査를 愼重히 해야 된다고 본다.

한편 Aberg는 가는 홈통으로된 프라스틱 板을 岩層으로 하여 油와 그리세링을 地下水로 假定한 模型實驗을 하였다. 空洞과 岩層사이의 水의 流動은 單獨油槽의 境遇 油面이 地下水面 보다 低位置에서는 漏油가 生起지 않으며 數國의 油槽의 境遇에는 油槽間의 岩柱속에 注水하여 漏油를 防止하면 된다는 確證을 얻었다.

T-8 岩石材料및岩盤透水係數

岩石材料	k(cm/s)(實驗室서의 測定値)
砂岩(白亞紀)	10^{-10}~ 10^{-8}
泥岩	10^{-9}~ 10^{-8}
花崗岩	5×10^{-11}~ 2×10^{-10}
粘板岩	7×10^{-11}~ 1.6×10^{-10}
角礫岩	4.6×10^{-10}
石灰岩	7×10^{-10}~ 1.2×10^{-7}
方解岩	7×10^{-10}~ 0.3×10^{-6}
苦灰岩	4.6×10^{-9} ~ 1.2×10^{-8}
砂岩	1.6×10^{-7} ~ 1.2×10^{-5}
硬質泥岩	6×10^{-7} ~ 2×10^{-6}
石黑片岩(龜裂豊富)	1×10^{-4} ~ 3×10^{-4}
細粒度砂岩	2×10^{-7}
Sherman花崗岩	< 10^{-8}**
花崗岩	10^{-12}~ 10^{-8}**
岩盤	
片麻岩	1.2×10^{-5} ~ 1.9×10^{-3}
Pagmatite	0.6×10^{-8}
亞炭層	1.7×10^{-2} ~23.9×10^{-2}
砂岩	10^{-2}
泥岩	10^{-4}
石灰岩	10^{-4} ~ 10^{-2}
Hardhat花崗岩	10^{-7} ~ 10^{-4}**
Sherman花崗岩	10^{-6}**
石英岩	~ 10^{-6}**
石英綠岩	3×10^{-6} ~ 10^{-2}**
凝灰岩	10^{-7} ~ 10^{-6}**

川本腓萬(1979) 表10.3及 Novton (1977) 表1引用
Norton 値 (cm^2單位)水의 粘性을 cpois로하여 cm/s 換算.

T-9 **地下턴널貯油施設基礎調査例 (1979. 8)**

調査方法	調査內容	調査規模	使用裝備	用役費
航空地質探査 photo-geology	斷層, 節理, 破碎帶, 溶解空洞等과 같은 地質構造帶및 地質境界線의 豫備踏査	1 : 5000 scale 航空寫眞촬영 (3km²) 測量 (1.4km²)	스위스 윌스Rc10 Camera	7,000,000 3,000,000 計 10,000,000
地質調査 geologic Survey	豫備踏査過程에서 選定된 site에 대한 정밀조사를 실시하여 地質圖作成	1 : 1000scale(3km²)	Brunton Compass	計 5,000,000
試錐 ① Core Drill ② Percussion Drill	1. 基盤岩의RQD에 依한 성격파악 2. 基盤岩의 新鮮度 把握 3. 基盤岩의 地質構造帶把握 Percussion Drill 1. Piezometer설치 지하수면 파악 2. 양수시험 수압시험에 의한 Balance파악	深度100m×施工25孔 Nx Bit. 傾斜 Boring 20% 深度100m×施工4孔 4.5″φ	회전식 Boring기 충격식 Boring기	100,000,000 28,000,000 計 128,000,000
物理探査 ① 彈性波探査 ② Up hole Detection ③ Cross hole Detection ④ 電氣探査	彈性波屈折法을 利用한 調査 表土의厚 基盤岩의 연경도 연약지반 및 地質構造帶把握 眞彈性波速度및 Apparent Velocity 測定 3極法 Schlumberger法의 利用調査基盤岩의 전기비저항 연경도 및 구조대확인 基盤岩의 전기전도정 Check	5~10m interval, 12 Channel 彈性波調査圖面作成 15km-Line Core Drill hole利用 各四個處Check 5~20m간격調査 전기비저항도 작성 1000點	ABEM TRIO SX. ABEM TERAMETER	33,000,000 2,000,000 2,000,000 10,000,000 計 47,000,000
現場試驗 ① 水壓試驗 ② 帶水性試驗 ③ 孔內檢層	Core Drill지점의 누수및투수조사 基盤岩의 地水理性 把握 (저유계수 투수계수 투수량계수) 揚水量에 따른 영향반경측정및 수온변화측정 Electric Logging (Resistivity micro and normal) Gammar Ray Logging.	Lugcon Map 作成 5Minlerval/6단 Pressure調査 1個양수경 8개관측정설치조사 Percussion hole을 양수경으로 Core Drill hole을 관측경으로한다	○水中 Motor1臺 ○Pump 1臺 ○水位測定機10臺 (Orifice전기) Logge	3,000,000 7,000,000 2,000,000 2,000,000 計 14,000,000
室內試驗	1. Youngs modulas. 2. Poisson Ratio 3. P-Wave Velocity 4. Uniaxial Compressive Strength 5. Specific gravity 6. Point load Strength Index 7. Brittleness Value flakiness No. of aggregate 8. Siviers Value 9. Abrasion Value 10. X-Ray Test 11. Microscopic Test 12. Differential Thermal analysis	Sample 30 分析 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃		計 5,000,000 總計 214,000,000