

油類 地下 備蓄(下)

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>
- 7. 地下 空洞 利用
 - 8. 結 論

7. 地下空洞利用

前章까지는 石油 및 天然가스 등의 地下貯藏에 對해서 記述하였으나 地下空洞은 그 以外用途에도 많이 利用되고 있다. 歷史的으로 보아서 舊石器時代의 洞窟遺跡인 中國華北의 周口店, 佛의 Rasco, 西班牙의 Alutamira를 비롯하여 우리나라 新羅時代의 石水庫等 人類가 洞窟을 居住空間으로 利用하는 예는 오래前부터이다 그러나 現在의 地下空洞은 居住空間의 役割보다는 오히려 攻利的機能을 가진 建築物의 一種으로서 貯藏空間의 役割을 하고 있다. 地下空洞은 漸次 生産活動, 日常生活, 軍事的 目的으로 多樣化되고 있다.

例컨대, 서울을 비롯한 大都市의 地下商街는 그 한例라 할 수 있다. 本章에서는 이와같은 廣範圍한 地下空洞利用에 對해서 몇가지 實例를 列舉코자한다.

7-1 貯藏空間으로서 地下空洞利用

安全上, 土地利用上의 利點으로서 地下空洞貯藏用으로서 壓縮空氣, 發電用水, 熱水等 各種의 Energy를 貯藏하고 있다. 그外 小麥, 塗料, 鑛

※ 鑛業技術士(採鑛)

石, 肥料 冷凍食品, 酒類等 原料 및 主産物의 貯藏例가 있다.

7-1-1 發電用水貯藏

夜間의 剩餘電力을 貯藏하여 需要가 많은 晝間에 使用토록하는 揚水式水力發電이다. 우리나라에서는 現在 竣工된 淸平 및 三浪津과 設計中인 茂朱揚水發電施設이다. F-33은 1,000MW 地下水力發電所의 計劃圖이다. (瑞典의 O Dalim 報文引用) 巾 16m의 發電室에 250MW Turbine Pump 4臺가 設置되어 있으며 下部에 地下터널 貯水槽가 있다. 이터널空洞은 480m²의 斷面으로 1,100m길이의 16個터널이 830萬m³의 貯水槽이며 이것으로 最大出力은 10時間 連續發電可能하다. 美國의 Walia는 2,000MW의 地下揚水發電을 하는데 地下 915~1,220m深部に 約 920萬m³ 貯水空洞掘鑿費로써 4.2億\$이 所要된다는 것이다. 어디까지나 深部掘鑿으로 인한 岩盤條件에 따른 技術的인 問題로 費用에 影響을 주는 것으로 본다. 英國의 Farguhar는 地下發電所建設時 適合한 岩盤條件에 對한 調查結果 6地區 1,180個所의 岩石中 90個所의 岩石이 良好한 것으로 나타냈으며 이는 大部分이 花崗岩이었다는 事實이다. 美國의 Martines는 Mexico灣沿岸의 岩鹽 Dome 利用法이라는 發表報文에서 Carbonneau의 興味있는 Energy貯藏法에 對해서 言及하고 있다. Carbonneau의 考察方法은 岩鹽 Dome 中에 만든 空洞과 地表貯水池間에 鹽水를 循環시켜 發電하는 것이다. (F-34) 이 着想은

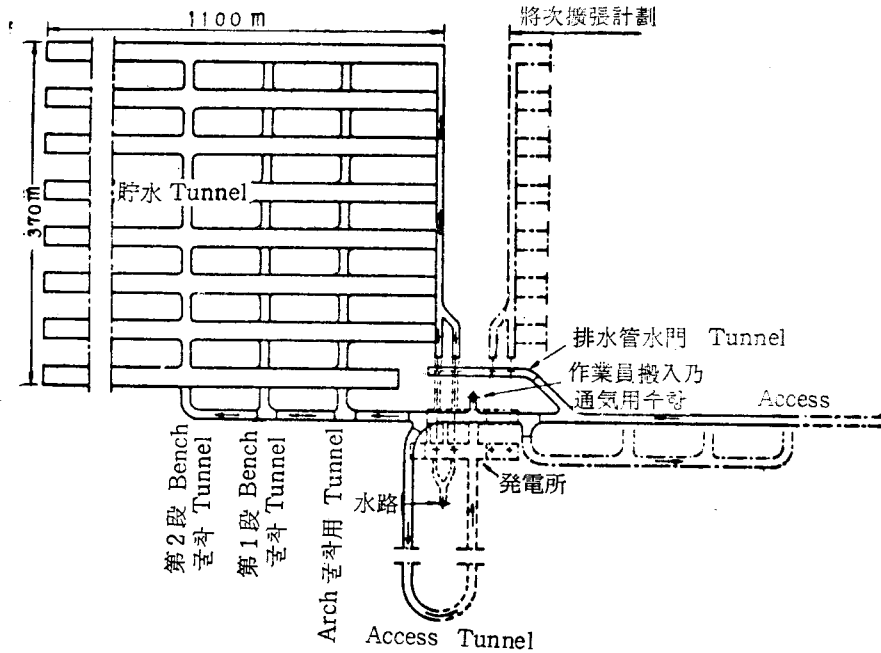


Fig-33 地下貯水槽를 가진 揚水式 發電所

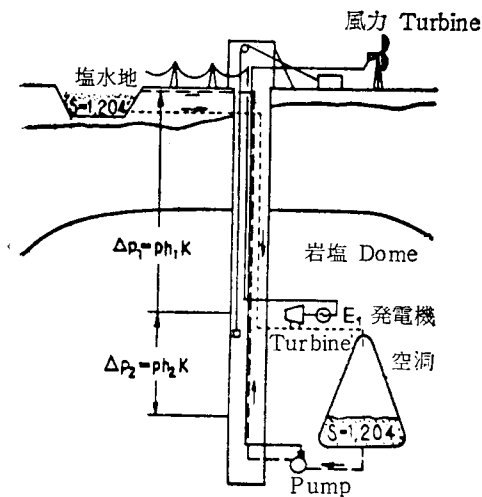


Fig-34 風力發電과 岩鹽 Dome 中空洞을 組 合한 Energy貯藏

Canada의 Saint Lorence灣 Magdalen 島冬期凍 結로 因한 發電用 燃料輸送途 絶對策에 對한 方案 이였다. 이때 風力發電을 鹽水의 pump up에 使 用하고 있다. 이와같은 方法은 北美에서 많이 利用하고 있으나 多量의 鹽水循環으로 因한 發 電施設에 高濃度鹽水의 影響과 岩鹽 Dome內의 空洞維持가 問題視되고 있다.

7-1-2 壓縮空氣貯藏

炭鑛이나 一般鑛山에서는 鑿岩用壓縮空氣를

爲해서 空氣壓縮機의 運轉에 많은 電力을 消費 하고 있다. 더우기 採鑛作業이 時間的으로 集中 되어있는 故로 電力負荷率이 커져 結果的으로 受電單價上昇의 原因이되고 있다. 이 問題를 解決하기 爲해서 壓氣需要의 적은 時間에 壓氣를 Air Receiver에 貯溜하여 需要增加時放出하므로 서 壓縮機運轉의 平準化를 期하는데 있다.

日本의 三井金屬鑛學(株)의 神岡鑛山, 住友金 屬鑛山의 佐佐連鑛山等에서는 坑道 Air Receiver 를 利用하고 있다. 佐佐連鑛山에서는 採鑛莫場 의 深部化로 因하여 壓氣需要量의 增加로 6kg/cm²의 規格壓供給이 不可能함에 따라 坑道 Receiver를 設置하여 壓氣供給을 하고 있다. F-35

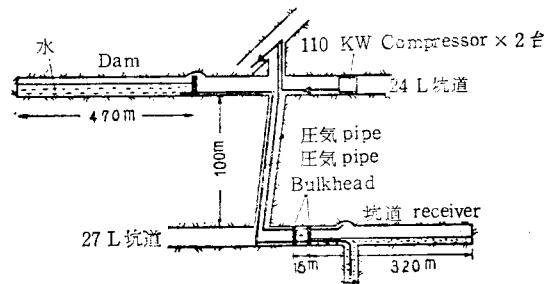


Fig-35 佐佐連鑛山坑道 Receiver概圖

T-15 Finland와 Norway의 坑道 Receiver

	場 所	容 積 m ³	貯 藏 壓 MPa	完 成 年	所 有 者
핀 랜 드	Outokumpu	6,200	—	1955	Outokumpu Oy
	Vihanti	2,400	—	1958	"
	Kotalahti	3,000	—	1963	"
	Pyhasalmi	2,000	0.72~0.84	1973	"
	Otanmaki	5,000	—	1958	Rautaruukki Oy
늘 웨 이	Forsdalen Gruer Nord-Trø nde lag	4,000	1.3	1939	Forsdalen Bergverk A/S
	Raus and Gruver Romsdal	2,500	0.8	1948	Elkem Spig-erverket A/S

와 같이 24水平坑道에 設置된 Booster Compressor에서 6kg/cm²의 壓氣를 約 10kg/cm²까지 昇壓하여 27水平坑道 Receiver에 貯氣한다. 24水平坑道에다 貯水甕을 設置하여 排氣量의 同量의 水로 置換한다. 坑道 Receiver容量은 5,000 m³로서 佐佐連鑛山坑內 壓氣使用量의 半日分程度는 供給한다는 것이다.

北歐 Finland와 Norway의 坑道 Receiver例를 T-15에 表示한다.

壓縮空氣의 貯藏利用의 또한 例로서 發電利用이다. 이것은 揚水發電과 같이 休日 或은 夜間等의 剩餘電力을 壓縮空氣로서 貯藏하여 需要增大時 發電에 使用하는 것이다. 例컨데 電力需要 Peak時에만 Gas Turbine發電을 할때 Gas의 燃燒速度가 더 되고 燃料가 가지고 있는 Energy를 充分히 使用할 수가 없다. 따라서 壓縮空氣를 使用하여 充分한 空氣를 보내게 되면 燃燒速度가 增加하여 出力은 約 3倍에 達한다고 한다. 이미 歐州 및 北美에서는 이와같은 目的으로 壓縮空氣의 貯藏을 實用化하고 있다. F-36은 佛Brutanieu半島南部에 設置된 Plant의 概圖이다. 그外 太陽 Energy, 潮力, 風力等을 壓縮空氣의 狀態

로서 貯藏코자하는 研究가 進行되고 있다. 壓縮空氣貯藏은 아니지만 地下空洞에 貯氣시킨 壓縮空氣를 地下發電所 Surge Tank의 Air Cushion에 使用한 例로서 다음 T-16과 같다.

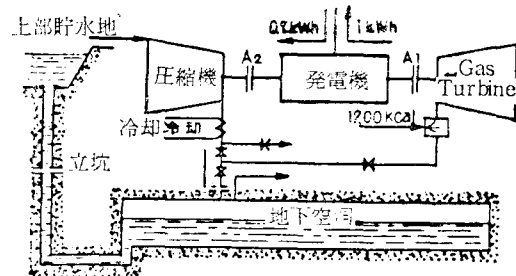


Fig-36 壓縮空氣의 地下貯藏利用 發電

前述한 坑道 Receiver 에 比해서 高壓의 空氣를 使用하고 있는 대로 現在稼動中에 漏氣가 없다는 것이다. 이는 坑道 Receiver의 漏氣는 主로 Bulk Head에서 發生하며 岩盤漏氣는 적다는 것을 말하고 있다.

T-16 Norway地下空洞의 Surge Tank利用例

場 所	所 有 者	容量m ³	空氣壓MPa	完 成 年
Driva Sør-Trøndelag	Sør-Trøndelag Elektrisitetsverk	5,000	4.3	1973
Jukla Hordaland	NVE Statskraftverkene	6,200	2.5	1974
Sima Hordaland	"	6,500	5.1	1975
Kvilldal Rogaland	"	100,000	4.3	"
Oksla Hordaland	"	18,000	4.5	"

7-1-3 熱 Energy貯藏

火力發電所, 原子力發電所 및 工場의 溫排水等 現在未利用의 熱 또는 太陽熱의 貯藏에 地下空洞을 利用코자 하는 몇가지 計劃을 紹介한다. 이 境遇 熱을 空洞속에 들어있는 水를 덩혀서 貯藏하는 方法과 岩石에다 貯蓄하는 두가지 方法을 생각할 수 있다.

Bjurstrom은 100~150°C의 熱水를 10,000~500,000m³貯藏目的으로 地洞에서 Pilot Test結果 熱水貯藏을 爲한 溫度, 熱應力等 基礎的 Data를 整理하였다. F-37은 그의 實驗用貯藏 Lay out이다. Bjurstrom方法은 水를 熱의 媒體로 하고 Hardy方法은 空氣를 媒體로하여 岩石 或은 土壤에다 熱을 貯蓄하는 것이다. 이實驗은 250°C 以上의 高溫으로 大量의 熱 Energy를 貯藏하기 爲하여 여러가지 方法에 의해서 技術的, 經濟的인 可能性을 檢討하였다. 이方法은 다시 말해서 熱風을 Manifold를 통해서 注入하여 岩石 或은 土壤을 通過한다음 上下의 Manifold에서 拔出하는 사이에 熱을 貯蓄하게 되는 것이다 F-39는 發破岩石을 먼저 地表에서 破碎하여 粒度調整을 한다음 다시 地下空洞에 充填하는 方法이다. 이方法은 岩石中에 熱風을 통해서 熱交換을 하게 되는 故로 岩石의 透氣性, 比熱, 熱傳導等, 空氣와 岩石의 熱傳達率等이 效率에 影響을 준다. Hardy는 300MW의 熱 Energy를 4×10⁶m³岩石에 4個月貯蓄하기 爲해, 熱風의 流動을 維持하고 熱損失을 最少로 하기 爲해서 必要한 透氣係數를 約 5×10⁻⁹m³岩石層의 두께(厚) 40m條件으로 한바 上記透氣係數를 얻기 爲해서는 岩石粒度는 3mm가 되어야 하며 蓄熱部의 破碎岩石處理가 重要한 問題로 擡頭되었다. 또한 地下水가 存在하여 熱을 有效하게 하기 爲해서 地下水面上에 空洞을 掘鑿하고 排水處理도 萬全을 期했다. 그는 Cost計算까지 했으나 空洞周圍의 岩盤에 熱의 逃散과 Energy效率을 100%로 한 것 등 몇가지 問題點이 있다.

最近脚光을 받고 있는 Solar-system을 地下空洞과 關聯시켜 一般家庭用熱源貯藏을 試圖하고 있다. Cederberg는 冬期家庭用 暖房熱을 地下空洞의 容積 2,000m³表面積 900m²에 들어있는 水를 Heat pump로 끌어올리는데 所要되는 費用을 計

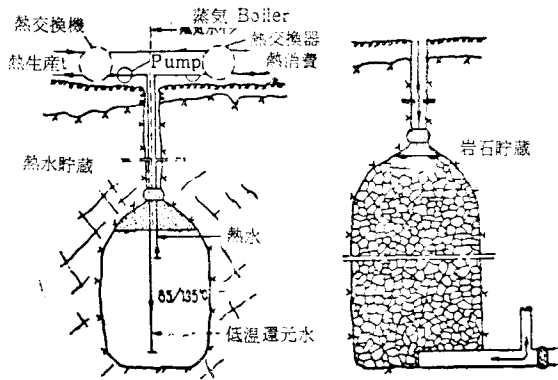


Fig-37 熱水貯藏 地下空洞 Layout

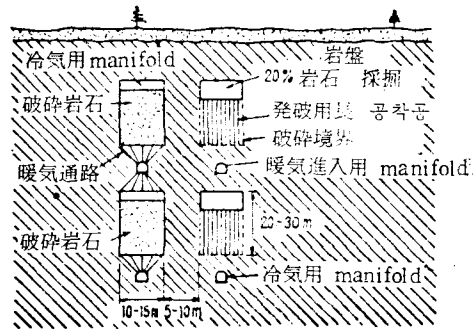


Fig-38 地下空洞과 破碎岩石을 利用한 熱 Energy貯藏法(1)

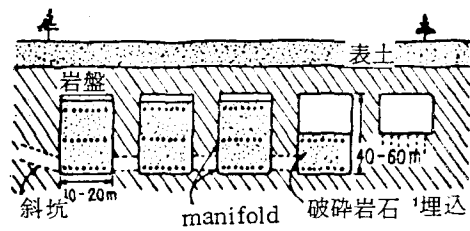


Fig-39 地下空洞과 破碎岩石을 利用한 熱 Energy의 貯藏法(2)

算하였다. 이는 地殼으로부터 얻어지는 熱을 利用할 時와 夏節期 太陽熱로 空洞中の 水를 덩혀 冬節에 使用토록하는 두가지 方法을 計算하였다. Stockholm의 一般家庭의 年間消費熱量 4.3萬 KWH를 供給하는데 後者의 境遇 石油에 比해서 約 3倍의 費用이 드는 것으로 나왔다. 그러나 將次集熱器, Heat pump等의 量産이 되는 날에는 實現이 멀지 않을 것으로 본다.

T-17 Norway의 地下冷凍貯藏施設

場 所	所 有 者	斷 面	溫 度	完 成 年
Jordalen Bergen	G.C Rieber & Co. A/S	20×11m	-30°C	1 9 7 4
Ekeberg Kjølelager Oslo	Oslo Fryseri A/S	14×8m	-25	1 9 5 6
Gjellerasen	Diplomis	10×5m (10,000m ²)	-27	1 9 6 7
Hamar	〃	—	-22	1 9 6 7

7-1-4 其他貯藏例

地上에 比해서 地中은 溫度, 濕度가 安定되어 있음은 土地利用上의 制約等으로 食料品을 비롯하여 鐵鑛石, 小麥粉, 肥料, 飲料水等 여러가지가 地下空洞에 貯藏되고 있다. 特히 食料品에 對해서는 各國에서 冷凍貯藏이 普及되고 있다. 美國의 Kansas City周邊은 地下 15~60m두께 6~7m의 Bethany Fall 石灰石層이 廣範圍하게 分布하고 있다. 이 石灰石을 對象으로 하여 30 個所에서 採掘을 하고 있으며 採掘空洞은 13.9km²에 達한다. 中 1,77km²의 地下空洞이 利用되고 있으나 內譯으로 보면 倉庫用 85% 製造工業 7% 事務所 5% 서비스關係 3%이다. 倉庫用이라함은 重要文書保管 및 冷凍食品貯藏이며 後者에서는 -22°C低溫으로 食品貯藏이 主가되어 Energy의 50~70%節減하고 있다.

Norway에서는 T-17과 같이 食糧品の 冷凍貯藏으로 좋은 成果을 가져오고 있다.

中 中 Bergen郊外 G.C. Rieber & Co. A/S의 低溫貯藏 Plant는 巾 20m 長57m 高10.8m 容積 11,000m³의 地下空洞을 -22°C로서 稼動하고 있다. Barbo에 依하면 이와같은 低溫貯藏施設의 建設費는 土地林野代를 除하고도 地上冷凍貯藏施設에 比해 25%가 低廉하고 運轉 Energy로 約 50% 安價하다는 것이다. 그리고 冷却裝置의 故障이나 停電時 溫度上昇도 顯著하게 나타나지 않으며 貯藏物이 變質에 對해서도 安全하다는 것이다.

瑞典의 冷凍貯藏의 또한 例로서 Stockholm Kylhus A.B社를 紹介한다. 上記社는 6個所의 地上低溫貯藏 Plant와 Stockholm市內 Arstadal에 32,000m³의 地下貯藏 Plant를 管理하고 있는데 地上과 地下 Plant의 費用對比에 있어서 土地林野代 建設費, 運轉費等 모든面에서 地下貯

藏이 若干 廉價한 것으로 나타났다. 그러나 上記社가 取扱하고 있는 物品에 對한 實績이고 物品의 出納이 頻繁한 境遇의 運轉 Cost의 節減等 地下貯藏의 適正한 設計가 重要한 것으로 指摘하고 있다. Norway에서는 地上으로부터 Open cut式으로 構築한 堅坑直徑 22m 高 30m의 Silo 2個空間에다 糖密貯藏을 하고 있다. Silo는 船場 地下에 位置하고 있으며 그 構造는 F-40과 같아 Silo를 地下에다 設置한 것은 土地利用制約理用以外에도 粘性이 높은 糖密取扱上 30~35°C 保溫에 有效하다. Silo設置費는 地上 Concrete에 比해서 30%廉價이다 끝으로 瑞典의 V&S (Swedish Government Monopoly for Wine and Liquor)은 stockholm市街 Arstadal에 있는 酒類와 알콜貯藏 및 處理用 地下空洞으로서 190,000m³와 20,000m³ 2個所가 있다. 主로 外國으로 부터 輸入되는 酒類로서 地下貯藏으로 因하여 配送時알콜의 氣化를 抑制하며 冷暖房없이 15°C前後溫度에 保管할 수 있으며 盜難, 火災에도 安全을 期할 수 있다.

7-2 其他 地下空洞利用

地下空洞利用에는 上述한바와같이 貯藏을 主目的으로 하는 以外 地下體育館과 娛樂場, 地下

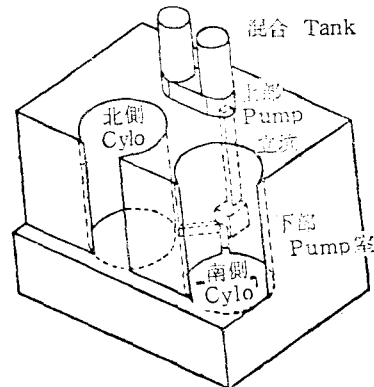


Fig-40 노르웨이의 糖密用地下 사이로

工場 및 軍事用基地等 活動空間으로 利用되기도 한다.

이와같은 日常生活面이던가 軍事用特殊目的等은 一般에 別로 알려져 있지 않다. 따라서 여기서는 國際 Symposium Rock store '77 論文集과 1978 Tunnel Symposium 論文集의 收錄되어 있는 몇가지 例를 紹介코자 한다.

7-2-1 Norway

Norway國에서는 全國土의 良好한 岩盤을 利用해서 Sports Center, 大衆浴場, 水泳 pool場, Leisure Center, 電信, 電話 Center, 駐車場, 工場等 各種施設이 있다.

그中 全國에 數個所施設되어 있는 地下電信 電話 Center는 地上에 比해서 建設用地的 制約이 없고 溫度, 濕度防塵等 室內環境의 調整이 容易하며 戰禍를 避할 수 있는 利點이 있다. F-41은 1977年竣工된 Skien電信電話 Center의 配置圖이다. 通信機器가 設置된 本館은 巾15m 長66m 高14m이며 換氣室과 發電室은 入口近傍에 있다. 頁岩이 挾在한 石灰岩의 全掘鑿量은 17,500m³로서 戰災時防護 Cost를 包含한 工事費는 1976年竣工時 354萬\$이었다. Norway에서는 많은 地下施設이 戰時의 防護施設도 兼하고 있다.

7-2-2 生産活動利用

美國의 Kansas City周邊의 Bruson Instrument社는 光學機器製造業體로서 모든 生産施設을 地下空洞을 利用하고 있으며 地上의 境遇 設置해야 할 除電床의 必要가 없게 되었다. Lawnmower社는 地下空洞의 岩盤이 石灰岩으로서 重機械設置에 對해서 安全한 基礎를 이루고 있다. 또한 Advance Sail Boot社는 Epoxi 接着劑 或은 光澤塗料乾燥에 便利한 空調施設이 必要없다는

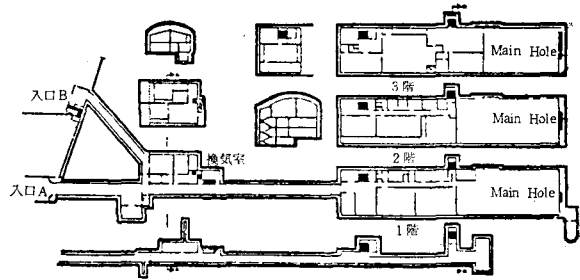


Fig-41 Skien 電信電話 센터의 Layout

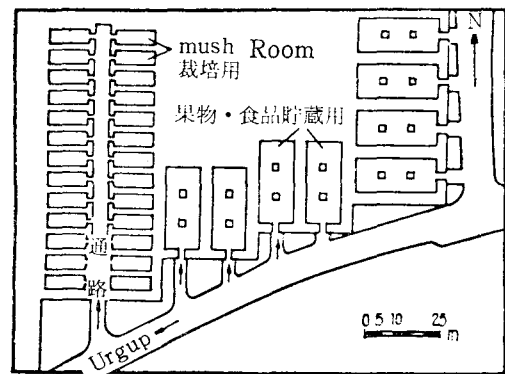


Fig-42 Urgup의 凝灰岩中 地下貯藏空洞 Layout

利點이 있다.

Erguvanli는 Turkey의 Urgup와 Asma Karadam兩側에 32個의 栽培場을 가진 길이 280m, 直徑 5m인 5個의 地下空洞을 Tunnel Boring Machine으로 掘鑿한데서 버섯(Mush Room)栽

T-18 1,000MW一年發電時 輕水爐發生 核燃料固體廢棄物

廢棄物의 種類	體積	放射能	放射性元素의量	熱量
高 Level 固體廢棄物	3.0	100	0.19c	500
燃料枝覆管	3.0	1	0.017	4
α 放射性廢棄物	10-60	0.015	0.0004	0.06
低中 Level 廢棄物	100-600	0.002	—	0.006
尾 鏟	60,000	0.006	9.2c	0.014
	(40,000 if Pu recycle)	(0.004)	(6.1)	(0.01)

a. 處理調整後 b. 反應爐引出 180日後 c. Uranium包含

培를 하고 있다. 이空洞은 溫度와 換氣의 調節 程度이며 坑內는 7—12°C의 常溫을 維持하고 있다. F-42는 Urgup의 空洞 Lay out이다.

7-3 廢棄物隔離空洞

最近美國의 Three Mile island原子力發電所의 放射能汚染으로 많은 物議를 일으키고 있으나 原子力發電이 우리나라 發電의 一翼을 받고 있는 것은 事實이다. 이 原子力發電의 原子爐에서 有用한 電力生産과 함께 放射性廢棄物이 恒常排出된다. 따라서 이와같은 廢棄物處理는 各國마다 重要한 問題로 登場하고 있다. 그外放射能廢棄物뿐만이 아니라 例컨데 PCB와 같은 有害産業廢棄物이 우리周圍에 많이 일어나고 있는 實情이다. 이와같은 廢棄物隔離에 地下空洞利用이 實用化를 가져오고 있다. 今後많은 調查研究가 거듭될 것으로 보인다.

7-3-1 放射能廢棄物隔離의 地下空洞利用

現在의 原子力發電의 發電能力은 587, MW에서 1986년까지는 古里 1, 2 5.6號 月城 3號 및 靈光 7. 8. 9號 都合 6, 415. 7MW에 達할 것으로 豫測되며 이에 隨伴하여 發生되는 放射性廢棄物處理는 重要한 問題로 되고 있다. T-18에서 보는 바와 같다

이와 같은 放射性廢棄物은 有害할뿐만이 아니라 半減期도 길며 核分裂로 因하여 發熱하므로 우리 日常生活로 부터 完全隔離할 必要가 있다. 따라서 放射性廢棄物의 隔離에 地下空洞을 利用코자하는 研究가 比較的 最近에 始作되어 各國에서 앞을 다투어 開發着手하고 있다.

F-43은 加國의 放射性廢棄物의 隔離施設의 配置圖로서 이 地下空洞은 Canadian Shield(楕狀地)의 深成岩中에 竊착한 空洞이다. 加國의 2, 0 25년까지의 原子力發電能力으로 부터 豫想되는 70萬T의 使用畢 核燃料를 隔離한다.

核廢棄物은 直徑 0.3m 長 3m의 金屬圓筒 10 8. 2萬個속에 채워가지고 F-44와 같이 空洞盤床에 竊孔된 孔中에 插入한다. F-44 圖中의 室하나에는 500個의 容器를 貯藏하며 한個의 Panel은 50室로 되어 있으며 計劃上으로는 44의 Panel로서 掘鑿量은 150萬m³穿孔量은 50m³에 達한다.

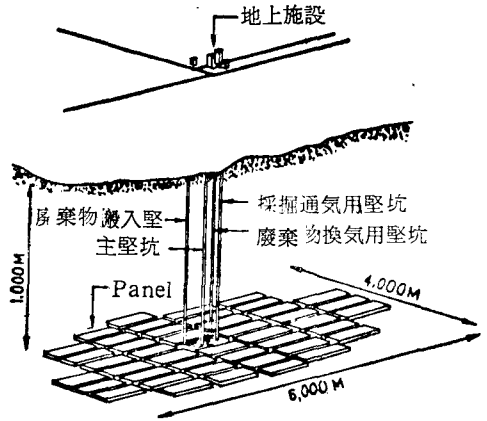


Fig-43 地下廢棄物 隔離空洞概圖

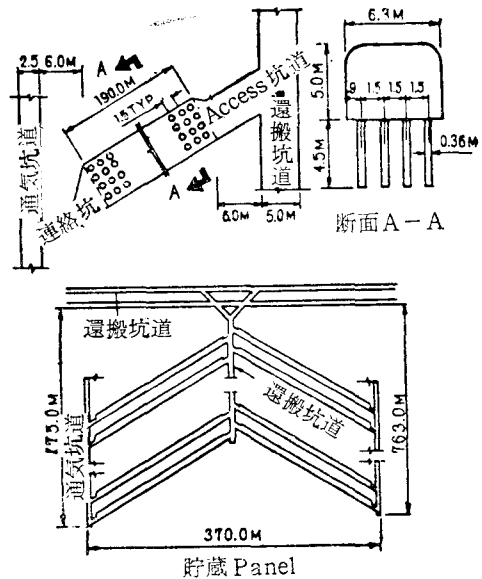


Fig-44 隔離室과 Panel의 Layout

7-3-2 其他廢棄物隔離

産業廢棄物處理의 한方法으로서 地中埋沒法이 있다. 이는 地下空洞에 隔離하는 方法보다 簡便을 더 安全하게 隔離하는 方法으로서 西獨 Wer ra-Fula盆地의 Wintershall鑛山地下 700m에서 每年 600T의 加里鹽을 採鑛하고 있는데 200萬 m³의 空洞中 10萬m³에다 廢棄物을 隔離使用하고 있다. 그外歐州에서 廢棄物隔離對象이 되고있는 것은 含毒硬化劑 砒素, 鉛, Cadomium Crome, 重金屬, 製藥會社의 廢棄物, 水銀 및 水銀을 包含한 有機化合物, Harogen含有誘導體多量의 鹽素, 沃素, 硫黃, 硼素을 含有한 化合物等이다.

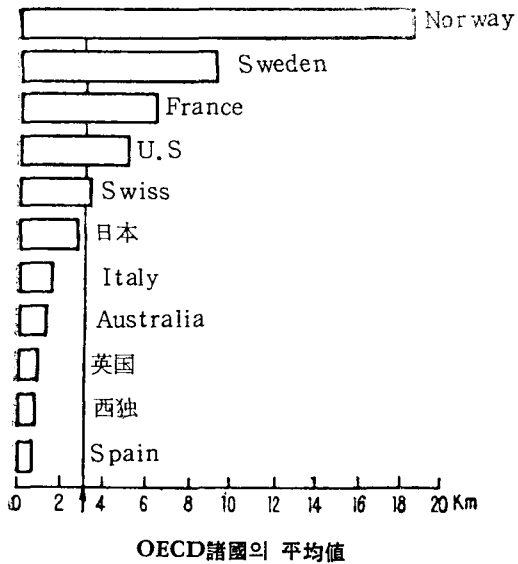


Fig-45 OECD諸國의 地下施設의 人口 100萬人當 總延長(1970~1979 豫想)

8 結論

우리나라에서도 今後를 基點으로 北歐 및 歐州로 부터 技術導入하여 地下貯油施設에 拍車

를 加하고 있다. 國土가 좁고 人口密度가 높은 우리나라로서는 今後 地下空洞의 價値가 貯油施設뿐만이 아니라 其他 貯藏用途에도 많이 增加될 것으로 期待된다. 將次 地下貯藏計劃에 있어서 本稿가 多少의 도움이 되었으면 한다. 끝으로 OECD諸國의 人口百萬人當地下施設의 延長距離를 F-45에 例를들었다. 本 解說에 있어서 參考資料에 記載된 發表文의 統計 및 圖表를 引用하게 되었음을 感謝하게 생각하는 바이다.

參 考 資 料

1. Storage in Excavated Rock Caverns "Rock-store 77" at The First Ineter, Symposium, Sweden by Tor L, Brekke & Carl-Olof Morfeldt
2. Mining & Safety Vol,25, No,1, Vol 24 No12 -No, 11 No, 10-No, 9
3. Storage of Oil & Gas in Unlined Caverns by Carl-Olof-Morfeldt
4. Underground Storage by John G, Trotter & M, Packet

생활 속 에 심은 과학
번영으로 피어난다