

## 地下空洞 開發에 對한 所見

許 塤\*

### 1. 地下空洞 開發의 當爲性

宇宙空間과 함께 地下空間이나 無限히 퍼지는 海底터널로의 憧憬은 누구나 한번쯤은 가져보는 幼年時節의 空想世界이다.

그렇다고 次元높은 空想小說(science fiction)과 같이 興味盡盡한 發想을 그려보려는 것이 아니고 오직 오랜 時節 從事하여 온 터널工學徒의 한사람으로서 日常 생각하고 있는 地下空間의 開發에 대하여 몇字 적어보고자 한다.

우리나라 國土의 75%가 山岳이며 그중 75%는 比較的 硬固한 岩盤構造로 된 花崗岩과 片麻岩으로 되어 있다는 것이 地質學의 定石이라 할 수 있다.

現在 交通, 運輸, 灌溉 및 發電等を 위하여 많은 터널이 必要하다. 더우기 近年에 들어서서 눈부신 經濟成長과 人口의 都市 集中化로 都市地下利用의 重要性이 增加되고 있다.

그런 까닭으로 地下鐵, 道路, 駐車場과 같은 交通施設이외에 上下水道, 가스, 通信施設等 서비스 施設에 대한 터널의 必要性도 增大路에 있다.

歷史적으로 보면 유럽에서의 地下空間의 利用은 매우 옛날부터 行하였었다. 例를들면 Alps Europe에서는 舊石器時代부터 겨울의 추위를 洞窟에서 지낸 生活痕跡이 있고 例로서 라고스나 알타미라 洞窟壁畫 등이 남아 있다. 歷史가 내려

오면 居室로서의 生活空間을 地下에 만들거나, 各種 食料品 등의 貯藏室로서의 利用이 매우 盛行되고 近代에 이르러서는 Norway에서 岩盤內 潛水艦基地, Sweden이나 Swiss, 美國 等에서의 核 Shelter, 다시 軍事施設格納庫等 主로 軍事的인 觀點에서의 地下開發이 進行되는 한편 原油나 食料品貯藏等 平和的인 目的을 위한 地下利用도 急 Pitch로 進展되고 있는 것은 周知의 事實이다.

또한 砂漠이나 다른 乾燥地帶에서도 매우 오랜 時代부터 山中이나 砂漠의 더위를 避하기 위한 Shelter로서 洞窟을 파서 人間이 生活한 形跡이 남아있다.

이에 반하여 韓國은 어떠한가 實인즉 地下로의 指向은 적었던 것으로 Open air의 利用이 主體이다. 韓國人은 地下로보다 윗쪽으로 뻗어가는 例를 들면 超高層빌딩 같은 것을 좋아하는지도 모른다.

그러나 人口의 增加, 有限한 地上空間과 地價 昂騰, 다시 力學的 見地에서의 耐震性의 必要性等 여러 가지의 見地로 보아 地下空間의 開發은 必然的인 것이되어 있고 또한 開發에 困難이 많으나 오히려 한층더 未經驗으로서의 期待와 Romanticism이 祕藏되어 있다고 할 수 있을 것이다.

### 2. 地下空洞의 分類

여러가지 側面에서의 分類가 可能하다고 생각

\*韓國터널技術協會 會長

되나 주로 空間의 利用이라는 見地에서 分類해 보면 그 하나는 通路로서의 利用이다. 이것은 道路, 鐵道, 上下水道, 戰力이나 電話 Cable 等 所謂 Tunnel로서의 利用이다. 이 경우에는 相當히 깊은 地下로 構築이 可能하다는 點에 有利함과 特徵이 있다. 그러나 金후에는 더욱더 共同溝的인 觀點이 必要하고 現在의 各組織과 같은 構的인 連結 概念이라야 效率도 좋을 것이다.

다른 더 한개의 期待할 수 있는 利用法으로서 는 크고 넓은 空間으로서의 利用이다. 생각나는 대로 들어보아도 地下商街 및 地下驛, 駐車場으로의 利用, 食料品이나 Oil의 貯藏, 原子力發電을 包含한 地下發電所, 다시 室內의 運動施設이나 娛樂施設, 또한 人間의 住居空間까지 들어갈 지도 모른다. 韓國에서는 未經驗이나 核 Shelter나, 軍事基地 또는 Chicago에서의 TARP (Tunnel and Reservoir Plan), 雨期에 處理할 수 없는 汚水를 一時的으로 Tunnel內에 貯留하고 乾期를 기다려서 서서히 排水하는 計劃과 같은 利用法도 생각할 수 있을 것이다. 그러나 이런 種類의 넓은 地下空洞에 대하여는 將來에는 어쨌든 現時點에서는 技術的인 問題, 즉 掘鑿技術의 經濟性 測量精度上의 難點 等의 問題도 있어서 現實的으로 解決해야 할 問題가 있다.

그러나 어떻던지 간에 넓은 空間으로서의 地下의 利用에는 커다란 꿈이 부풀어 온다.

其他 特殊한 利用法으로 地下 Dam의 問題도 빼놓을 수 없을 것이다. 韓國의 雨量은 年間 平均 1250mm로서 이것은 自然이 주는 큰 資源이다. 地下 Dam에 關한 研究나 計劃도 漸次로 具體性을 띠고 있는 것 같으나 現在와 같이 降雨量의 一部分을 Open 方式으로서의, Dam으로 利用하는 것 이外를 쓸데 없이 바다로 돌려보내는 것은 매우 아깝다. 地下를 掘鑿한다는 問題는 아니라도 地下 Dam의 問題는 地下利用의 매우 큰 目標의 하나라고 말할 수 있을 것이다.

### 3. Energy로서 무엇을 利用할 수 있을까

地上에 놓아둘 必要가 없는 것을 될 수 있는 대로 地下로 가져가 地上은 넓고 넓은 綠地가 많은 空間으로 한다. 이것은 하나의 理想像이다. 그러나 地下를 開發할 때에도 地下施設 完成後의 機能維持에 있어서도 多大한 Energy가 必要하게 될 點에 注意해야 할 것이다. 野球場이나 Tennis Court 기타의 Recreation施設을 例로 들더라도 이들을 地下에 建設한다고 하면 Air Condition이나 排水施設 하나라도 多大한 Energy가 必要하다는 것은 想像하기 어렵지 않다.

우선 地熱의 利用을 생각할 수 있을 것이다. 특히 溫泉地帶에 있어서는 有望하다고 생각된다. 地下熱流量은 平野部에서는 작으나 溫泉地帶에서는 상당히 크고 보통의 丘陵地域에도 높은 곳이 있다고 말하여지고 있다. 地表의 平均氣溫을 基準으로 하여 생각하면 보통 100m 깊어짐에 따라 3℃씩 溫度가 높아진다고 한다. 따라서 깊은 장소에서 이 높아진 溫度 자체를 使用하는 것도 可能하고 地表面 가까이와의 溫度差를 利用할 수 있음에 틀림없다.

큰 土壓이나 水壓은 一般土木工事に 있어서는 恒常宿敵인 要因으로 우리 技術者를 골치아프게 하고 있다. 그러나 이것도 생각에 따라서는 強力한 利益이 되게할 지도 모른다. 즉 壓力差를 Energy源으로서 利用하는 것이다. 水壓差의 利用으로서의 地下發電所나 海水의 潮位差의 利用 등을 생각하여도 곧 알 수 있으나 土壓差의 利用은 意外로 어려울지도 모른다. 그러나 研究해 볼 價値는 있는 것 같이 생각된다.

여하튼 “Energy의 自給 Cycle”을 생각하지 않으면 結局 地下開發은 空念佛인 領域을 벗어날 수 없다.

이 問題는 地下開發의 Key Point의 하나일 것이다

### 4. 掘鑿技術과 支保工에 대하여

漸次 이야기가 現實的으로 되어 재미와 꿈이 없어지게 되나 技術者로서는 掘鑿技術과 完成한

空洞의 支持에 대하여 言及해 두지 않으면 안될 것이다. 通路型 즉 Tunnel의 경우와 넓은 空洞인 경우로 나누어 簡單히 생각해 보자.

#### 4-1. Tunnel

우선 무엇보다 TBM(Tunnel Boring Machine)에 대하여 敘述할 必要가 있다. 종래 使用되고 있는 것으로는 直徑이 4.5~5.0m 정도까지로서 기껏해야 月進 300m 정도라고 듣고 있으나, 이제 美國의 Robbins社에서 開發된 TBM은 直徑 10.8m로 月進 400~800m로 우리나라 南山터널에서 使用되고 있다고 한다. 참으로 대단한 機械인 것 같다. 現行 Tunnel은 3車線 直徑 15m 정도가 限度인 것 같으나 上記한 바와 같은 TBM이 普及되게 되면 훨씬 大斷面인 Tunnel을 놀란만한 速度로 掘鑿해가는 것도 可能해질 것이다. 但, 이것은 相對가 軟岩일때의 이야기로서 TBM에 있어서의 最大의 敵은 硬岩이다. Cost面으로 보아 硬岩에 대하여는 현재 역시 發破方式인 便이 훨씬 싸다고 보는 것이고 掘鑿機도 Jumbo 實用化로 發破當터널 掘進이 8m를 上廻하고 있는 눈부신 發展을 가져오고 있다.

그러나 한便으로 지금 開發中에 있는 Laser 光線이나 高壓 Water Jet 등의 組合으로 優秀한 硬岩에 대한 對策도 將來可能하게 될지도 모른다.

美國의 文獻을 調査해 보면 鑛山局이나 기타에서 Water Jet나 熱의 利用, 다시 核爆發에 의한 方法 等도 現在開發中이라고 한다. Water Jet라고 하는 것은 3,400kg/cm의 高壓水를 岩盤에 쏘아 파쇄하는 方式이다. 매우 高能率로 掘鑿할 수 있어도 安全性이나 內面을 매끈하게 마무리 할 수 있는가 어떤가 등의 解決에는 지금부터 상당한 時間을 要하게 될 것이다.

熱의 利用으로서는 酸素를 燃燒시키는 火焰 et나 水素 Plasma에 의한 Plasma Arc, 다시 Laser光線 등이 있다. 그러나 熱에 弱한 岩石이면 有效할지도 모르지만 周邊이 매우 體溫으로 되며 Tunnel같이 좁은 空洞에서 安全하게 利用할 수 있을지, 어떤지는 現在 아직 무엇이라고

말할 수 없다. 이러한 研究가 어쨌든간에 착착 進行되고 있는 것은 注目할 價値가 있다고 할 것이다.

核爆發의 利用도 現在 研究中이라고 듣고 있다. 殘留放射能의 問題도 떠나면서, 넓은 個所의 Open Cut이면 모르지만, 어쨌든 Tunnel掘鑿과 같이 精度를 가지고 地下空間을 掘鑿한다고 할 경우에 이것의 利用은 조금 어려울 것 같이 생각된다.

其他 衝擊波 Drill(소련), Explosion Drill(美國, 소련), 化學處理에 의한 岩石의 破壞方法 等 여러가지의 것이 研究中인 것 같으나 成果報告는 아직 알려져 있지 않다.

그러나 悲觀할 것은 없다. 지금 당장이라도 TBM과 發破만으로도 하려고만 한다면 얼마든지 할 수 있는 것이다.

掘鑿이 完了된 Tunnel의 支保方式으로서는 現行의 H型鋼과 Lining의 組合, 最近 急激히 研究와 實績이 쌓아져온 Rock Bolt와 Shotcrete 工法 NATM等을 利用하게 될 것이다.

#### 4-2 넓은 空間

問題는 넓은 大空洞을 地下에 어떻게 만드느냐 하는 것이다. 現在 우리나라에서 實現하고 있는 地下揚水發電所 等으로서 좋은 岩盤中에 기껏해야 폭 20~30m, 높이 50m정도의 것이 만들어지고 있는 것에 지나지 않는다.(안쪽으로의 깊이는 技術적으로 그다지 問題가 아니다.) 「大都市에는 어느 곳이나 大規模의 地下街가 있지 않는가」라고 말할 수 있을지도 모른다. 그러나 이것들은 모두 地上으로 부터의 Open Cut, 鐵骨構造에 의한 建設方式으로서 두더쥐와 같이 地下을 뚫어 掘鑿한다고 하는 소위 Tunnel의 思想은 들어가 있지 않다.

Open Cut方式에서는 地上의 機能이 長期間에 걸쳐 混亂을 일으키는 외에 規模가 커지면 커질수록 實行이 不可能에 가까워진다.

그 외에 더구나 地表面下 얇은 곳에서 더구나 天井이 낮은 것 밖에 可能性이 없어진다. 깊고 또 넓은 地下空間을 掘鑿하여 이것을 長期間 安

全하게 維持하는 즉, 大規模의 地下利用의 問題는 地盤工學分野에서의 今後的 最大의 問題의 하나이다.

地上의 機能을 損傷하지 않고 地下에 들어가 두더지와 같이 大空洞을 만드는 技術을 開發하지 않으면 한걸음도 進展되지 않는다.

이 點이 되면 筆者는 SF 作家와 같이 樂觀의 으로는 되지 않으나 그래도 더구나 이제 劃期的인 技術이 나올것이 틀림없다고 믿고 있는 것이다.

現在는 倉庫나 地下駐車場으로서 使用되고 있는 것 같으나 Sweden의 核 Shelter等은 相當히 큰 空洞이며 40~50年前의 SF에 조금은 接近하고 있다고 하여도 過言은 아니다.

우리나라와 같이 좋은 岩盤으로 되어있는 條件下에서 北歐에 못지않게 “韓國固有의 터널工學”을 開發할 마음의 준비와 努力만이 要望되는 것이다.

## 5. 地下利用의 利點

처음에 敘述한 바와같이 地下에 놓아둘 必要가 없는 施設을 地下로 옮기면 地上은 보다 有效하게 利用되어 즐거운 것이 된다.

一般的으로 말하면 이것이 最大의 利點이다. 그러나 力學的인 觀點으로 조여보면 뭐라고 하여도 “耐震性”이라고 하는 것이 될 것이다. 構造物의 耐震性은 土木技術者の 最大의 關心事의 하나이다. 그리고 우리들은 最近의 여러가지 解析으로 부터 또한 經驗의으로도 地下의 構造物이 地震에 대하여 極히 강한 것을 잘 알고 있다. 地震時에 破壞(崩壞)되었다는 Tunnel의 얘기는 들은 일이 없으며(Tunnel이 조금 구부러진 例는 있으나, 線路가 구부러진 것으로 Tunnel 斷面은 거의 影響을 받지 않고 있다.) 最近의 Italy의 地震에서 地下에 있던 老人이 살아남은 얘기 등이 新聞에 전해 퍼진 것은 周知하는 바와 같다.

橋梁에서도 原子力發電所에서도 耐震設計는 最大의 問題點이며 安全性을 保持하기 위하여

莫大한 費用을 必要로 하는 것이다.

地震에 강한 地下構造로 하는 것은 自然的인 理致이며 이 點에서도 地下開發의 推進은 매우 높은 價値가 있다고 말할 수 있을 것이다.

## 6. 問題點

훌륭한 利點이 있다고 하더라도 그 反面 同時에 解決해 가지 않으면 안되는 問題點도 많다. 생각나는대로 몇가지 들어보자. 이러한 問題點이 現實的인 立場에서 研究되어 解決되지 않으면 決心한 地下利用이라고 하여도 結局 이야기로 끝나고 말 것이다.

### 6-1. 災害의 問題

무엇이라고 하여도 最大의 問題는 地下에 생기는 災害 特히 火災와 出水일 것이다. Tunnel內에서의 列車火災, 車輛火災, 炭礦에서의 Gas 爆發 다시 出水事故로서는 過去에 셀 수 없을만큼 많이 發生한 Tunnel이나 地下炭礦에서의 落盤과 이것에 隨伴하는 出水 등이 생각될 뿐만 아니라 地下의 空間이 이들 災害에 대하여 最大의 弱點을 갖고 있음을 알 수 있을 것이다. 將來의 地下 大都市가 아니라 가령 現在의 地下街에 있어서도 特히 Rush hour에 火災라도 發生했을 時의 Panic(恐慌) 狀態를 想像하면 몸부림쳐질 정도이다.

以上の 點에서 防災 特히 火災防止와 불이 났을 경우에 迅速한 消火, 止水와 排水 等の 問題 解決에는 現在의 모든 分野의 知慧를 傾注하지 않으면 안된다.

### 6-2. 換氣와 污水處理

깊고도 폐쇄된 空洞에서 上述한 것 以外에 큰 問題로 되는 것은 換氣와 排水 特히 污水處理이다. 兩者 모두 地上과의 環流를 생각하면 多分히 地下大空洞의 實現性은 없는 것은 아닌가. 역시 “地下에서의 自淨 Cycle”의 System을 考察必要가 생기나 이것은 多量의 Energy를 必要로 함에 틀림없다.

6-3. 天井이 낮은 것과 障害物이 많은 것

力學的 및 經濟的인 見地에서 보아 그렇게 天井이 높은 構造를 期待하기는 어려울 것이며 空洞을 支持할 기둥 等도 必然的으로 많아질 것이 틀림없다. 그러면 空洞의 利用法에 어떤 種類의 制限이나와도 어쩔 수 없다.

또한 地下室이나 움같은 곳에 있으면 반대로 침착하여지는 心理形成을 가지고 있는 사람도 있기는 있지만 一般的으로 말하면 地下에 있으면 地上과 다른 心理的인 Stress를 느끼는 것이 普通이다. 즉 地上에 있으면 例를 들면 그것이 Office에 있다고 하여도 때로는 變化가 있는 建物を 보거나 하늘을 보거나 날고 있는 飛行機나 새를 보거나 나무나 庭園을 보거나 하여 氣分の 轉換을 圖謀할 수가 있고 恒常 災害의 念慮를 하는 것도 적다. 이와 같은 心理狀況을 낳게 한다는 것은 어려운 問題일 것이다. 이것에 附加하여 設사 地下의 地圖나 標識가 完備되었다고 하여도 높은 곳의 標的이 보이지 않는 地下에서

는 方向性을 알아내기 어렵다는 根本的인 缺陷은 避할 수 없다.

6-4. 其他 여러가지의 問題

우선 上記한 6-3과도 關聯되나 豫想할 수 없는 病이 發生할 危險性은 避할 수 없다. Neurosis(노이로제)나 高血壓이 增加할지도 모르며 地下에서의 여러가지의 影響을 받아 地上의 生態조차 바뀔 可能性이 있다.

力學的으로는 高土壓, 高水壓에 對抗할 수 있는 構造物의 築造, 高壓戰力이나 Oil等的 Leak, 岩盤의 風化, 높은 建設費 등이 큰 問題가 될 것은 틀림없다.

다시 工學上의 最大의 問題의 하나로서 掘鑿한 흙과 排土를 어떻게 할 것인가를 除外할 수는 없다. 大空洞이 되면 될수록 또한 掘鑿個所가 깊어지면 깊어질수록 排土의 運搬 및 處理에 는 대단한 Energy 및 費用과 함께 높은 技術이 必要하게 될 것이다.

軟弱地盤處理 및 補強技術 特講

日	時	講 義 內 容	講 師
4/26 (月)	10:00	日本의 軟弱地盤 處理技術 ○ 軟弱地盤의 概念 一 軟弱地盤의 生成 一 分布의 特徵 ○ 軟弱地盤技術의 基本的 問題 一 沈下 (壓密沈下) 一 支持力 一 미끄러짐 (斜面의 安定) 一 變形 ○ 軟弱地盤 對策工의 要點 一 軟弱地盤對策의 問題 ○ 設計 및 施工上의 對策 一 橋梁            一 地下鐵 一 道路            一 空港 一 宅地造成 ○ 軟弱地盤 崩壞事例 一 原因 및 對策 ○ VTR 上映 (日本에서의 軟弱地盤處理實例) ○ 綜合 質疑應答	藤井 三千勇 技術士 土質 및 基礎 技術士 (株) 藤井 基礎設計 事務所 (株) 藤井 Research (有) Think 藤井 / 代表取締役 專 / Land sliding 軟弱地盤 對策 特殊構造物 設計 施工 測量, 地質調查 • 同時通譯進行 (日本語版 및 翻譯教材)
	13:00 14:00		
4/27 (火)	10:00	軟弱地盤에서의 計測管理 ○ 計測 計劃 ○ 計測器 埋設 ○ 測 定 ○ 測定資料 整理 및 分析 ○ 沈下 및 施工管理 岩盤掘鑿時 土留壁 事故原因 및 對策方法 ○ 地盤 調査 ○ 設計上의 留意點 ○ 施工上의 留意點 ○ 計 測 ○ 事故事例 및 對策方法 ○ 綜合 質疑應答	南淳星 技術士 土質 및 基礎 技術士 東成엔지니어링 (株) / 土質部 技術理事 建設技術教育院 計測管理 擔當講師 前) 大林産業(株) / 技術研究所
	12:00 13:00		
	15:00		