

地下空間斗 人間

(株) 三林컨설팅
代表理事 宣 勇

地下空間과 人間

차 례

I. 序 言

II. 地下空間의 歴史的 背景

III. 地下空間의 概念

IV. 地下空間의 다양한 活用

V. 地下空間의 所有權과
국가政策의 외국 사례

VI. 한국의 地下空間 開發
可能性

VII. 結 言

I . 序 言

지하공간은 인간에게 있어 매우 중요한 부분으로 인식되어 왔다. 선사시대부터 인간은 주거 공간을 형성함에 있어 혹심한 더위나 추위, 비바람 등의 자연적 災殃과 猛獸로부터 방어를 위하여 동굴과 같은 자연구조물의 형태를 선택하였다. 즉, 역사를 통하여 인류는 위험과 혹한에 대한 적합한 목적의 방비를 위해 지하공간을 이용하여 지하공간이 주는 利點과 惠澤을 누리 왔던 것이다.

오늘날 평면적 확산을 거듭하던 현대도시는 都市化 그 자체가 인간에게 주는 대기오염이나 소음, 人口 過密化에 의한 환경파괴의 막대한 피해, 경제성 등으로 인하여 개발제한 구역을 설정케 되었으며 그결과 개발의 방향을 도시내부로 전환하게 되어 도시의 立體的 개발이 대두되기 시작했다.

즉, 인간 거주에 적합한 情緒性을 포함한 쾌적한 환경을 위하여 지하공간은 새로운 의미를 부여 받게 된 것이다.

따라서 본 小稿에서는 지하공간의 역사적 배경 및 활용사례 그리고 그 개발 방향 등을 論述, 考察하기로 한다.

II. 地下空間의 歷史的 背景

2.1 古代의 지하공간

紀元前 부터 우리인간의 조상은 지하동굴을 생활공간으로 삼았던 痕迹을 지금도 볼수 있다. 혹심한 자연의 변화나 무서운 맹수로 부터 보호받기 위한 최적의 주거공간이었기 때문이었다. 그러나 그 보다도 더 중요한 것은 당시의 건축재료나 기술등을 머루어보아 지하洞窟은 어쩌면 唯一한 방법이었는 지도 모른다.

2.1.1 터어키의 地下都市

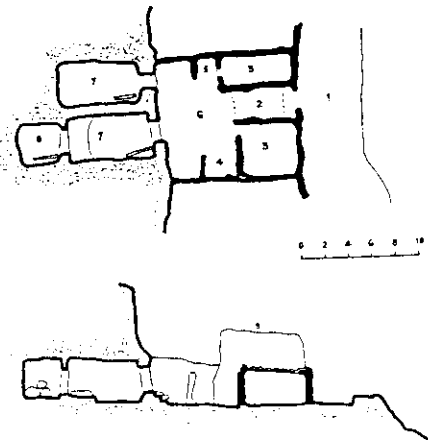
A.D 800 년경, 터어키의 카파도시아(CAPPADOCIA)는 초기 기독교도의 피난처로서 외부의 침입에 방어하기 위해 새워졌다. 겨울의 추위와 여름의 사막기후, 황량한 지형 등의 악조건을 극복하고 부족한 건축재를 만회하기 위하여 화산 凝灰岩 지질로 되어 있는 지하암반을 굴착하게 되었으며 약 6km 정도의 지하도로를 비롯하여, 가축사육장, 지하우물 등을 설치하므로써 완벽한 지하 都市空間을 형성하고 있다.

2.1.2 튜니시아의 마트마타 (MATMATA)

수세기 동안 북아프리카의 남부, 튜니시아(TUNISIA)의 乾燥한 低地帶에서 사막기후의 혹한과 혹서를 대비하여 ATRIUM 형태를 가진 주거환경을 마련케 되었다. 그들은 약 4.5km 정도의 높이를 가진 둥근형태의 안뜰(COURT YARD)을 중심으로 沙岩土質을 굴착하여 몇개의 동굴을 굴착하였다.



▲그림 - 1. 터어키의 카파도시아 동굴



▲그림 - 2. 튜니시아의 마트마타 동굴단면;

-58- 중국의 안뜰형 주택과 유사한 형태이다

2.1.3 중국의 안뜰형 (COURT YARD) 주택

중국 중, 서북부 대륙의 불규칙적인 강우량과 건조기후를 극복하기 위하여 황토(LOESS) 라는 多空質 토양이 습도조절과 굴착에 용이한 것을 이용, 지하 열거 생활이 이루어 졌다. 특이한 점은 튀니시아의 마트마타의 안뜰과 동일한 형태를 이루고 있으며 이안뜰형 지하주택의 지붕이라 할수 있는 지표면에서 農作物의 재배가 이루어지기도 하는데 현재까지도 중국에서는 약 3천 5백만명의 인구가 이 지하주택에서 생활을 하고 있다.

2.1.4 貯藏시설

저장시설은 온도와 습도가 일정하므로 穀物이나 野菜, 食料品 등을 저장하는데 유리하여 많이 이용되어 왔으며 고대 이집트인 들은 물을 저장하기도 했다. 우리나라에도 겨울의 얼음을 보관 여름에 사용하게 했던 石水庫 같은 시설을 例로 들수 있다.

2.1.5 기타의 시설

세계 각국의 민족들은 그들의 最高權力者가 죽으면 그 시체의 보관장소를 지하공간으로 택하였는데 그 이유로는 盜掘을 방지할 수도 있고 腐敗방지가 비교적 용이하기 때문이다.

그 외에도 宗教的 儀式에 사용되는 시설로서 종교적 분위기를 자아내기 위하여 천연동굴이나 인공의 석굴을 이용했다. 인디안 의식을 위한 미국 남서부의 키바 (KIVA) 나 우리나라 석굴암 같은 것도 대표적인 예이다.



▲그림 - 3. 중국의 안뜰형 주택



▲그림 - 4. 프랑스 LOIRE 지방의
石窟 주거공간

2.2 중세의 지하공간

중세 프랑스의 LOIRE 와 CHER 계곡에서 노출된 절벽의 암반을 이용石窟을 형성시킴으로써 토굴에 비하여 내부 구조의 이용을 능동적으로 극대화시킬수 있었다. 현재 까지 사용되고 있는 이 지방의 동굴거주는 地質과 水脈 (HYDROLOGY) 등의 적절한 활용으로 매우 안락하고 개인적 프라이버시가 보장되는 지하공간 생활을 영위 할수 있었던 것이다.

2.3 현대의 지하공간

19세기 이후 많은 기술과 장비가 발달되면서 암반굴착은 쉽고 빠르고 안전해져 지하공간의 이용은 그만큼 증가일로에 놓이게 되었다. 2 차 세계대전을 겪으면서 고도의 현대무기의 위력을 절감한 국가들은 군사 시설의 지하화를 추진해 왔으며 戰後에도 미국, 스위스, 노르웨이, 스웨덴, 필란드 등의 국가에서는 軍事施設 및 民防衛 施設로서 지하시설을 계속 발전시켜 왔다. 이 당시에는 지하공간이 갖는 경제성 보다는 국가적인 안보 차원에서 이러한 지하시설이 정책적으로 건설되어 왔던 것이다.

1970년대 이후 현대에 이르러서는 각종산업 및 문화시설, 위락시설 등의 지하시설이 갖는 經濟性이 사회적으로 부각된 것 이외에도 에너지 절약및 토지이용 효율의 극대화, 그리고 視覺環境 및 自然保存의 측면에서 지하공간은 제 2 의 生存空間으로 부각되기에 이르렀다.

Ⅲ. 地下空間의 概念

3.1 지하공간의 정의

지하공간은 미국 地下空間協會 (AMERICAN UNDERGROUND SPACE ASSOCIATION) 의 정의에 의하면 經濟的 이용이 가능한 범위 내에서 지표면 하부에 자연적으로 형성되었거나 또는 人爲적으로 조성한 일정규모의 空間資源으로 규정하고 있으며 이 공간자원 내에 일정목적의 시설이 첨가된 경우가 지하시설 또는 지하시설 공간이라 정의한다.

3.2 지하공간의 필요성

지하공간에 대한 일반적인 先入觀은 어둡고, 답답하며 습기찬 곳 등으로 매우 협소한 느낌을 갖게 할수 있지만 현대의 進歩된 지하시설과 관련된 施工工法과 개선된 설계 안은 종래의 지하공간 개념을 완전히 바꾸어 놓았다. 실재 선진 외국의 지하공간 활용사례를 살펴보면 우리에게 무한한 가능성을 제시해 주고 있는 것이다. 즉, 지상시설이 갖지 못하는 다음의 몇가지 장점은 지하공간 개발의 필요성을 증대시키고 있다.

첫째는 지상공간의 供給 부족이다.

인간의 諸般活動이 지상에서 이루어지고 있으며 이 활동은 역사적 변천과 문화의 발달, 정치·경제·사회 및 환경여건의 발전적 변화에 따라 다양하게 나타나고 있다. 그러나 활동기반이 되는 토지에 대한 需要가 양적으로 증가되고 질적으로 다양화 되고 있어 수용증가에 병행되어야 할 지상의 토지공급의 限界性 때문에 인간의 다양한 요구증대에 부응하지 못하는 실정이다.

둘째는 대응할수 있는 戰略시설로서의 장점 때문이다.

즉, 보호받고자 하는 인간의 기본욕구 충족과 자국보호를 위한 목적으로 戰略武器 개발이 極大化 하여 입체전, 전체전화 되어가는 趨勢이며 장차 핵무기의 사용도 예상되므로 지상을 이용한 防護 및 隱·掩蔽는 점차 불가능한 것으로 판명되어 지상개발에 한계성이 表出되고 있다.

셋째는 産業化에 의한 인간 주거환경의 破壞로 부터 보호받을수 있기 때문이다.

현대는 고도의 산업사회 이므로 각종 環境汚染 現象 (대기, 소음, 폐수, 산업 폐기물) 이 팽배하고 있어 이의 각종 폐기물 처리시설을 지하에 설치함으로써 자연보호가 용이하며 시설가동에서 발생하는 소음, 진동, 악취 등의 피해를 주거시설로 부터 隔離 遮斷함으로써 환경오염 방지의 적극적 대비가 가능하다.

넷째는 에너지節約의 장점 때문이다.

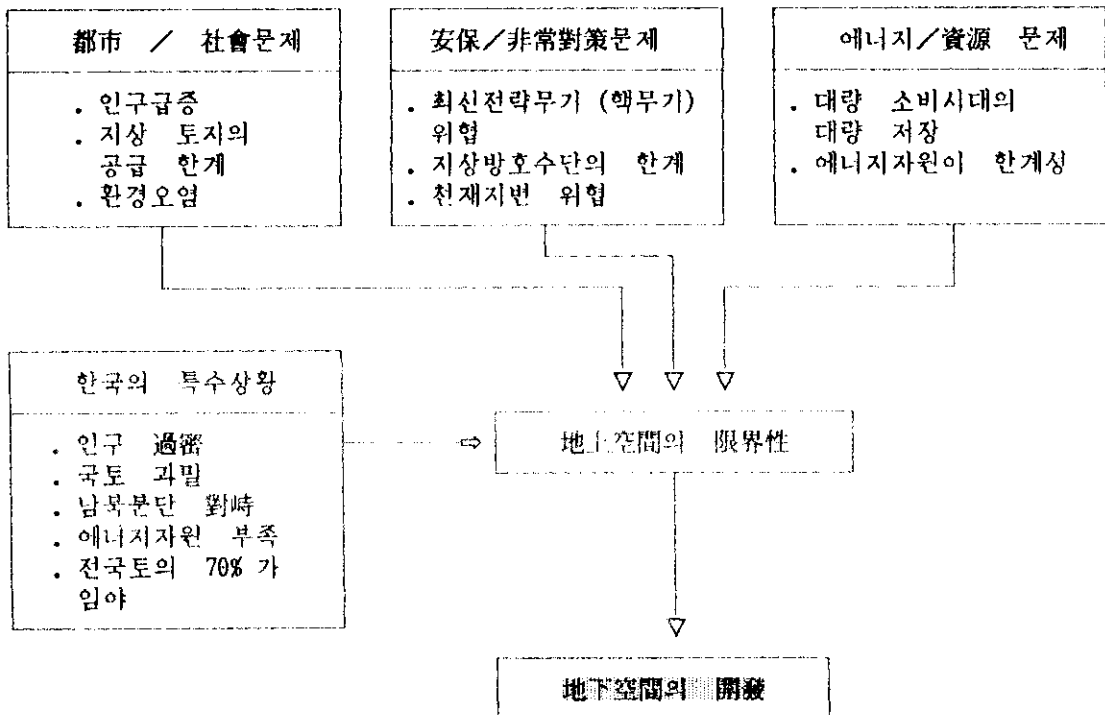
세계는 限定된 資源속에서 살아가고 있으므로 모든 시설에 있어 에너지절약이라는 대명제가 요구되고 있다. 이러한 목적에 대해 지하공간은 흙이나 암석 그자체를 보온이나 보냉제로 활용하므로 외부온도및 계절 기온차에 큰 영향을 받지 않고 -우리나라의 경우 연중 15° C로 상온상태 유지- 내부 온도 조절 및 시설의 유지관리에 소모되는 에너지가 절감된다.

다섯째 지하시설이 갖는 經濟性 때문이다.

최근 사회의 여건 및 터널기술의 발달은 지하공간을 경제성 있는 새로운 분야로 부각 시키고 있다. 즉, 지하시설의 施工費는 기술진보에 의해 점차 감소하는 추세에 있는 반면 도심부 등의 地價는 급격히 상승하면서 지하공간이 갖는 경제적 타당성이 好轉되기 시작한 것이다.

또한 지하구조물은 건물 외부의 보수관리가 필요없을 뿐 아니라 경비요원의 수가 현저히 감소되어 유지관리비가 低廉하다는 사실도 간과할수 없는 장점이다.

이외에 일정규모 이상의 지하구조물일때 경제성을 가지며 초기투자가 증대되고 시공이 長期間에 걸쳐 수행되며 시공기술상 몇가지 불리한 점이 없는 것은 아니나 상기 사항의 종합적 평가를 圖示하면 지하공간의 개발은 시대적 요청의 당연한 歸結로서 평가되고 있다.



3.3 지하시설의 종류

지하공간 내 설치되는 지하시설의 종류는 구분 기준에 따라 다음과 같이 분류된다.

3.3.1 생성별 구분

분 류 기 준		보 기	활 용 예
천 연 동 굴		종유굴, 용암동굴	관광시설
인공동굴	채광을 목적으로 생성된 지하공동	폐광, 유류광산	유류저장시설, 식료품 저장시설
	지하시설을 목적으로 생성된 지하공동	터널, 암반공동 (ROCK-CAVERN)	목적별 다양한 활용

3.3.2 지하심도별 구분

지하 심도	시 설 구 분	종 류
3 - 30m	表層 지하시설	<ul style="list-style-type: none"> - 掩蓋建物 / 건물지하층 - 지하도 / 지하철등 교통시설 - 民防衛시설 / 慰樂시설 / 스포츠시설 - 식료품등 지하저장시설 - 지중선로시설 (전력, 통신) - 폐수및 급배수 시설
30 - 300m	地表接近 지하시설	<ul style="list-style-type: none"> - 터널용 地下鐵 - 지하유류 (원유, 제품, LPG, LNG) 저장시설 - 지하 수력발전소 - 지역 난방시설 - 특수 공장등 산업시설 - 주요 군사시설
300 - 3000m	深層 지하시설	<ul style="list-style-type: none"> - 지하 揚水발전소 - 압축공기에 의한 에너지 저장소 - 핵 폐기물 저장시설

3.3.3 시설별 구분

시 설 종 류		사 용 용 도
貯藏시설	油類 저장	원유, 연료유, 액화가스
	에너지 저장	압축공기, 열수
	食料品 저장	곡물 상온저장, 냉동저장, 냉장저장, 저온저장
防禦시설	軍事 시설	지휘소, 미사일기지, 탄약고, 통신시설, 格納庫, 해안방어기지, 지하해군기지
	지하 대피소	핵 공격시 대피시설
지하수송터널	多用途 공급터널	식수, 폐수, 하수, 열수, 가스, 전기, 전회선
	교통용 터널	지하철, 지하도로, 지하도
	운송 터미널	버스정류장, 지하역, 화물보관소
産業시설	발전소	화력, 수력, 핵
	處理시설	廢·下水처리장, 産業폐기물處理, 核 폐기물 처리, 식수 淨水처리
	商業시설	지하상가, 지하사무실, 지하창고
	기타시설	工場, 農場 (농작물재배), 채석장, 지역난방
慰樂시설	공공시설	집회실, 극장, 음악당, 클럽, 교회
	娯樂시설	보물링장, 사격장, 체력단련장, 기타
掩蓋시설	주거시설	掩蓋주택
	기타시설	사무실, 강의실, 도서관, 휴게실

3.3.4 구조에 의한 구분

시설 종류		원 리	사 용 용 도
岩鹽 공동 (SALT REACHED CAVITIES)		岩鹽동 또는 岩鹽층의 염을 물로 용해.	석유류제품, LPG, 산업및 핵 폐기물 저장.
저 류 층 (AQUIFER)		석유를 探掘하고 난 뒤의 다공질의 암석층을 이용.	가스 저장
廢 鑛 (DISUSED MINES)		폐광된 광산을 이용 (광산의 안전성과 密閉特性을 점검 해야 함)	석유류, 가압액화 炭化水素, 고압가스, 고체 또는 액체 상태의 산업폐기물 및 핵 폐기물.
粘土 공동 (CLAY CAVERN)		점토층은 공극율이 크지만 透水率이 대단히 작다는 점을 이용.	유류, LNG 저장
암반공동 (ROCK CAVERN)	수평식 기둥식	지하상부에 위치한 암반의 특성에 따라 수평터널 또는 직육면체의 공동굴착	각종 지하시설로 이용.

IV. 地下空間의 다양한 活用

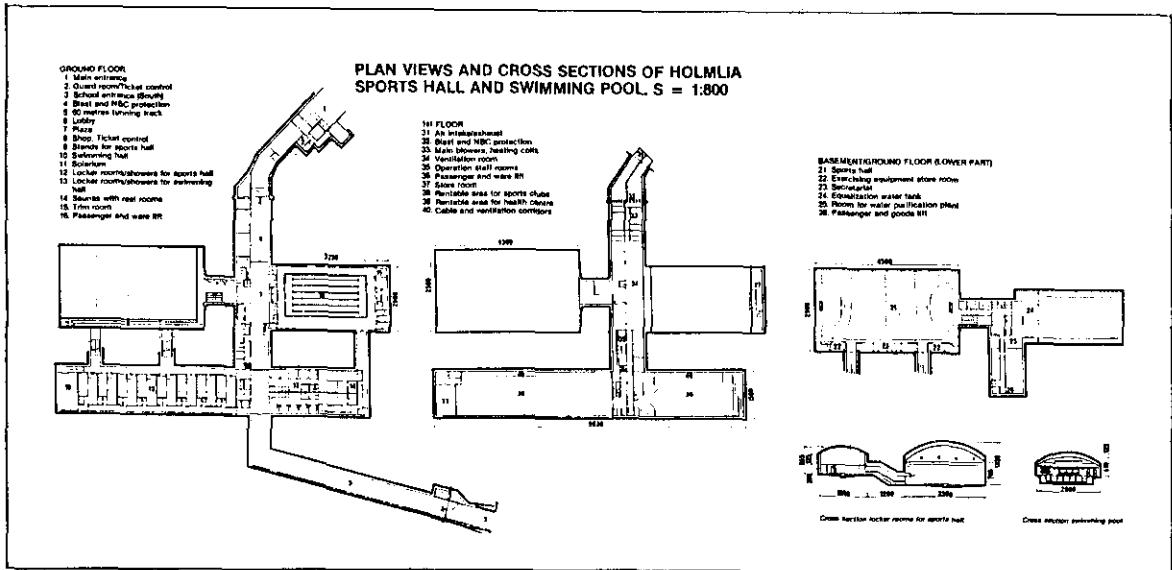
4.1 스칸디나비아 국가에서의 지하공간 활용

스칸디나비아 국가 즉 노르웨이, 핀란드, 스웨덴 등의 국가는 氷河作用에 의한 피요르드 (FJORD)와 같은 특수지형과 지하에 잘 발달된 花岡岩이나 片麻岩의 조건으로 일찌기 많은 지하시설이 권장되고 세워졌다.

특히 노르웨이는 2 차 세계대전중 독일군에 의해 점령당한 쓰라린 역사를 가지고 있어서 현재 NATO 의 회원국으로서 소련의 북해 함대를 감시하는 중요한 임무를 수행하고 있다. 따라서 군사시설 및 민방위시설을 주축으로 지하시설이 잘 발달해 있으며 스웨덴및 핀란드는 中立國으로서 주로 産業시설 즉 원유저장시설 및 熱水등의 저장시설이 설치되어 활용되고 있다.

4.1.1 홀리아 스포츠 센터 (HOLMLIA SPORTS CENTER)

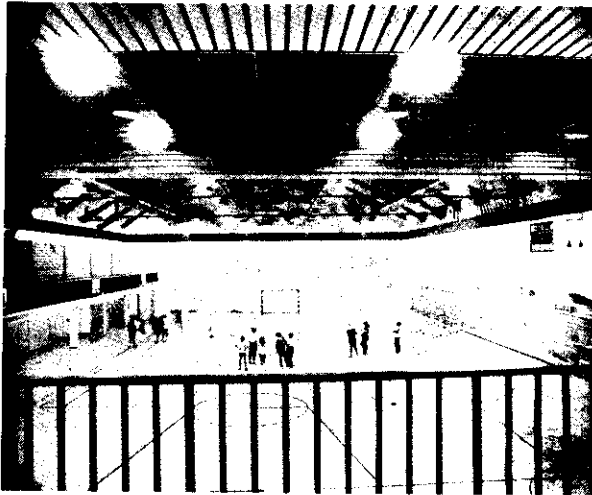
노르웨이는 인구 400 만명에 비하여 국토는 남한의 약 3 배에 달한다. 현재에는 전국민의 약 50% 이상이 有事時에 동시에 대피할수 있는 지하시설을 보유하고 있고 또 이러한 시설을 확장해 나가고 있다. 그러나 막대한 공사비를 투입해서 만든 이러한 민방위시설을 평화시에도 유용 하게 사용하기 위해서 考案해낸 것이 지하 스포츠센터이다.



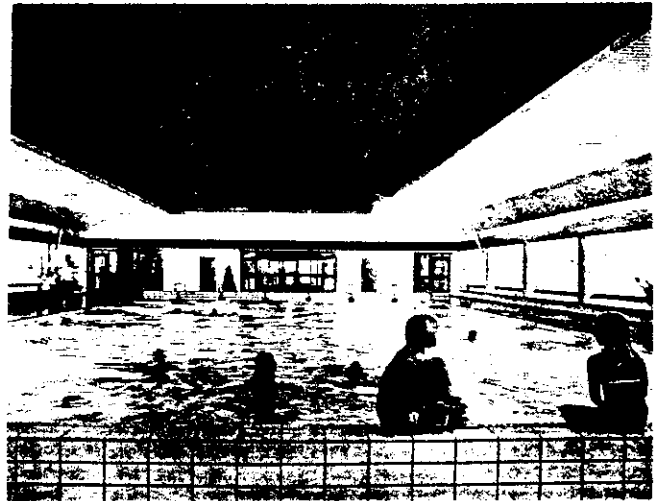
▲그림 - 5. 홀리아 스포츠센터 内部 構造圖

각 도시마다 이러한 시설이 분포되어 있는데 그중에서도 대표적인 것은 노르웨이의 수도인 오슬로 시에 세워진 옴리아 스포츠센터로 총 延面積은 7,550㎡ 에 이르며 53,000㎡의 압석을 굴착하여 만들었다. 여기에는 6 개의 트랙을 갖는 25m 길이의 수영장, 폭 25m 길이 45m 의 다용도 스포츠 홀, 헬스크림, 락카룸 그리고 샤워룸 등 완벽한 부대시설을 갖추고 있다.

이 스포츠센터는 인근 주민들과 옴리아 중학생들이 주로 사용하고 있으나 이 시설을 만든 주목적은 비상시 이들 주민과 학생등 7,000 명의 인원이 대피할수 있도록 防護門 (BLAST DOOR), 化生防 필터장치 (NBC FILTER SYSTEM), 非常發電시설 등이 구비되어 있다.



▲그림 - 6. 지하 體育館 모습



▲그림 - 7. 지하 水泳場 모습

4.1.2 오셋 (OSET) 上水處理場

노르웨이의 수도 오슬로시 주민 50만명이 필요로 하는 상수의 75% 를 공급하고 있는 오셋 상수처리 시설은 排水池를 포함하는 모든시설이 산속 암반속에 설치되어 있다. 4 년여에 걸친 공사 끝에 1970년에 준공되었으며 급수능력은 $6m^3 / sec$ 이다.

지상에는 관리사무실의 일부뿐 만이 노출되어 있으며 암석 $400,000m^3$ 를 굴착하여 펌프실, 수처리시설, 배수시설 일체가 암반내에 설치되어 있어서 유지 관리및 경비가 용이하여 완벽에 가까운 평가를 받고 있다.

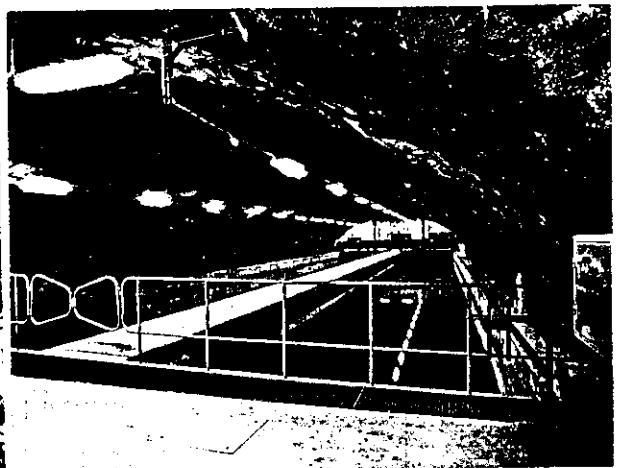
4.1.3 下水 處理場

노르웨이와 스웨덴 정부는 주위환경을 보존한다는 뜻에서 하수처리장의 위치 선정과 계획에 주도 면밀한 연구를 거듭하였다. 지상처리시설의 시공은 그 構想단계에서 위치선정에 따른 해당 주민의 강력한 반발 뿐만 아니라 처리장 稼動에 따른 제반피해가 인체에 매우 유해할수 있다는 검토결과에 따라 地下처리장이 최종적으로 확정된 것이다.

노르웨이는 수도 오슬로에서 서남쪽으로 30km 떨어진 브레카스(BJERKAS) 에 40km에 달하는 하수 運送터널을 굴착하고 $350,000m^3$ 의 암반을 굴착하여 처리장을 건설하였다. 이 처리장의 처리능력은 $3m^3 / sec$ 이며 60만명의 隣近住民의 하수 및 工場廢水를 처리하고 있다.



▲그림 - 8. 下水처리장 入口 ;
주위환경이 잘 보존되어 하수처리장
의 이미지를 갖고 있지 않다.



▲그림 - 9. KAPPALA 하수처리장 内部 ;
처리터널 사이로 걸어가며 검사할수
있게 되어있다.

스웨덴은 수도 스톡홀름의 하수처리장 위치를 발틱(BALTIC)해 연안의 리딩고(LIDINGO)에 정하고 60km에 달하는 하수운송터널을 굴착 54만 주민의 하수와 인근공장 폐수를 처리하는 카팔라(KAPPALA) 하수처리장을 건설하였다.

이상의 하수처리장에서 입구에 세워진 관리건물棟은 일반사무실과 같이 조용할 뿐 아니라 周圍景觀과 어울려 조화를 이루고 있으며 냄새까지 淨化하여 처리된 하수는 바다로 배수되어 하수처리장이 갖는 단점을 완전히 극복하였다.

4.1.4 熱水 저장

스웨덴의 에너지 소비량중 30 - 40%는 난방에 사용되며 이들 난방에 사용되는 에너지의 60% 이상은 유류에 의한다. 따라서 막대한 유류에너지의 의존도를 줄이기 위해서 발전소나 산업공장에서 발생하는 廢熱이나 太陽熱을 이용 물을 가열하여 지하동굴에 그 열을 저장하였다가 필요시 사용하는 것이다.

이러한 열수의 동굴저장은 가열된 원유의 지하저장과 동일한 개념으로서 스톡홀름 북서쪽의 아베스타(AVESTA)에 그시설이 설치되어 여러가지 실험을 성공적으로 마치고 實用化 단계에 들어서고 있다.

지하동굴은 無覆工 (UNLINING) 상태이며 지하수면 아래에 설치되었고 열수 저장 공간은 지상의 熱交換機와 연결되어 있다. 수일 또는 수주간 저장에서는 85 - 125° C 의 온도유지가 가능하며 계절적인 장기저장에서는 10 - 95° C 의 온도 유지가 가능하다.

4.1.5 물저장

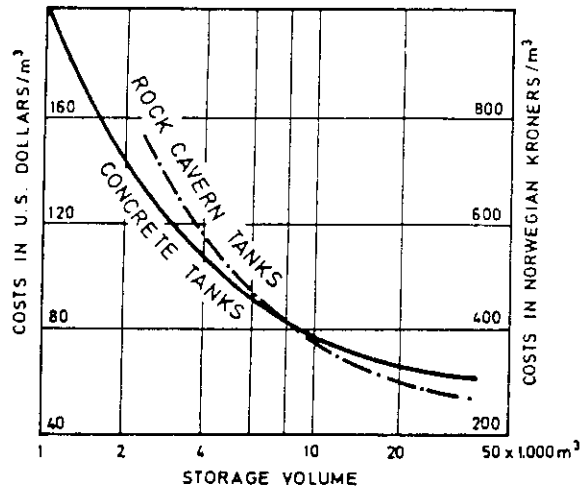
노르웨이에서는 지난 10 - 15 년간 식수를 저장하기 위하여 無蓋저수지, 콘크리트 탱크, 강철탱크 등을 사용하는 대신 견고한 지하암반을 굴착하여 만든 지하동굴을 이용해 왔다.

노르웨이 북서쪽 해안에 인접한 크리스티안선드 (KRISTIANSUND) 의 16,000^m 용량의 지하 물저장 동굴, 1979년에 준공되어 현재 가동중인 20,000^m 트론헤임 (TRONDHEIM) 지하 물저장 동굴, 약 3,400m 떨어진 호수로 부터 물을 채수하기 위하여 지하터널을 굴착하여 준공한 48,000^m 규모의 그로헤이아 (GROHEIA) 물저장동굴등 매우 많은 지하 물저장 동굴이 설치되어 이용되고 있다.

이는 폐쇄된 물탱크처럼 오염을 방지할수 있을 뿐 아니라 시설비 및 유지비가 적게 들고 항상 常溫으로 유지할수 있다는 장점 때문이다. 또한 지상저장고와는 달리 저장용량의 擴張施工이 容易하게 이루어 질수 있는 장점이 있다.



▲그림 - 10. 지하 물저장 동굴의 입구; 외부와 차단되어 安保적인 의미가 매우 높다.

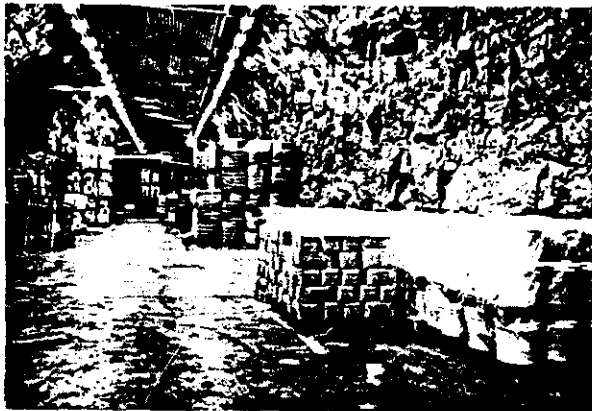


▲그림 - 11. 물저장을 위한 콘크리트 저장 탱크와 무복공 지하공동의 單位體積당 건설비용 비교

4.1.6 지하저온 냉동창고

노르웨이 및 스웨덴에서는 아이스크림 공장, 맥주 및 주류제조공장 또는 생선 및 육류의 냉동창고가 지하동굴에 설치되어 매우 우수한 저장효과가 입증되고 있다. 특히 주류의 지하저장인 경우 동굴내의 일정한 低温때문에 냉난방에는 전혀 에너지 소비가 요구치 않으며 2° C의 저온저장 (COLD STORAGE)인 경우 지상시설 대비 약 20% 정도의 에너지 만이 소요되는 것으로 밝혀졌다.

스톡홀름에 있는 냉동회사 "COLD STORES"의 경우 지하 냉동창고 운영시 저장온도 - 25C를 유지할 경우 지상시설과 비교, 소요 에너지의 25% 정도가 절감되었다. 또한 지상창고는 가장 뜨거운 여름온도를 基準해서 시설해야 하므로 初期設備 부자가 많으며 에너지의 소비도 여름과 겨울의 대기온도에 따라 소요량의 변화가 크다. 지하 냉동창고는 일정한 지중온도를 기준하므로 초기 설비부자가 20 - 25 % 가 감소된 것으로 나타났으며 에너지 소비도 일정하다는 장점이 입증되었다.



▲그림 - 12. 지하 低温貯藏 되고있는 아이스크림 제품



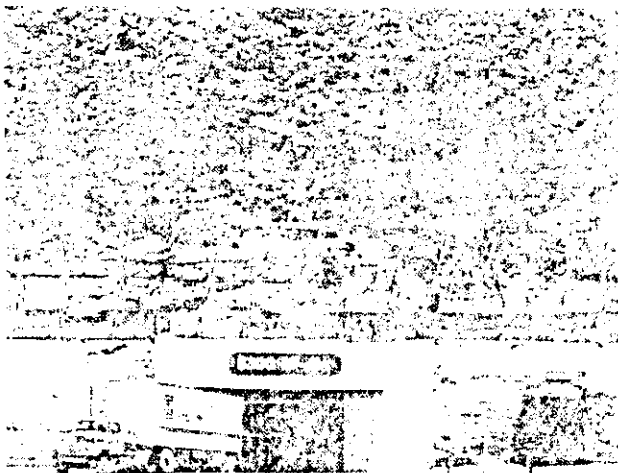
▲그림 - 13. 酒類의 지하저장 모습

4.2 미국지역에서의 지하공간 활용

4.2.1 캔사스市 (KANSAS CITY)의 穀物 貯藏

캔사스 시는 미국 중서부에 위치한 농산물 및 교통의 要衝地이다. 더욱이 이 지역은 양질의 石灰岩층이 다량으로 분포되어 있어 일찍부터 석회암 鑛山의 개발이 활발하였다. 또한 노출된 석회석은 산이 아니고 丘陵地를 형성하고 있어서 동굴과 같은 굴착방식을 통해 석회석을 채취하고 그로 인해 생겨난 지하공간을 지하곡물 저장시설로 활용케 된 것이다. 실제 이 지역은 전미국식품(加工 또는 냉동식품)의 50% 정도를 공급하는 식품 集產地로서 많은 저장창고가 필수적이었으며 지상의 제한된 대지면적 및 값비싼 地價는 그 경제성을 더욱 높여 주었다. 따라서 석회석 採鑛시 공간들이 저장창고로 활용할 것을 고려해서 천정 및 돌기둥 등의 크기와 配置를 치밀하게 계획, 설계한후 굴착하였다.

석회석 지하공간은 85%의 貯藏倉庫, 7%의 製造工業, 5%의 事務室로 사용되고 있으며 캔사스 시의 총 저장물량의 약 7분의 1 정도를 이 석회석 공간의 지하저장 창고가 처리해 내고 있다. 또 그 규모면에서는 대형 화물트럭 80대가 동시에 積荷할수 있는 시설, 화물열차 積荷施設 등이 갖추어져 있다. 이러한 규모의 식품저장 창고는 캔사스 시의 가장 중요한 산업시설로 평가되며 市財政의 가장 큰 收入源이기도 하다.



▲그림 - 14. 캔사스시의 석회석 지하곡물 저장소 입구 모습

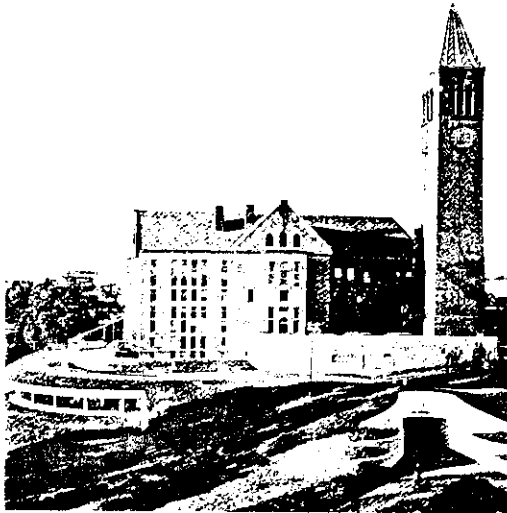


▲그림 - 15. 저장소의 내부모습

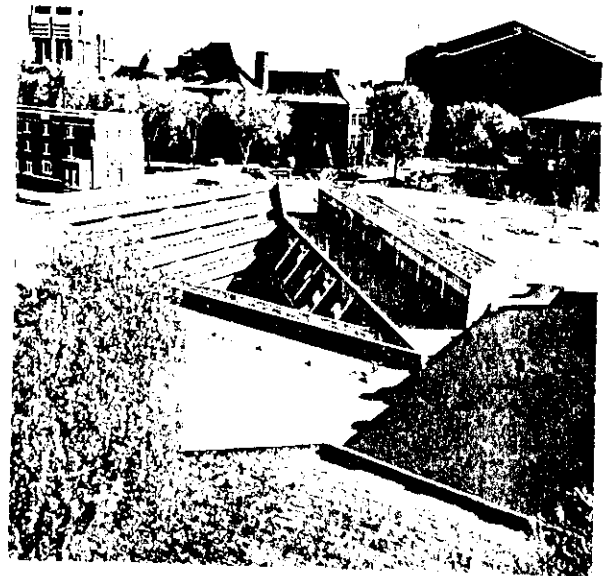
이 지역 최초의 냉동창고는 1953년에 만들어 졌고 세계에서 가장 큰 냉동 창고이기도 하며 1일 취급물량은 약 4,000 톤에 달한다. 식회석 지하 공간에 입주되어 있는 각종 공장시설 및 사무실로 사용되는 貨賃面積은 약 510,000m² 로서 세계적으로 유명한 측량및 광학기계 제조회사인 AMBER BRUNSON 회사, 農機械 회사인 ALLIS CHALMERS, 食品會社인 GENERAL FOOD사, 貿易會社인 ADMIRAL OVERSEA 사 등이 사무실을 갖고 있으며 미정부에서는 국방장비를 대량으로 비축하고 있다.

4.2.2 지하학교 및 도서관

1964년 건설된 지하 2 층의 미국 일리노이 (ILLINOIS) 대학의 지하도서관은 에너지 절약이 주목적이었지만 이 도서관이 地下化 됨에 따라 캠퍼스내의 綠地空間이 보존되어 에너지 절약과 함께 매우 만족할 만한 효과를 얻게 되었다. 복잡한 도시중심가에 캠퍼스를 가지고 있는 휴스턴 (HOUSTON)대학교의 경우 가능한한 넓은 屋外空間을 확보하고자 하여 새 학생회관을 지하에 설치하였는데 일반적인 우려와는 달리 개관후 이곳은 학생들의 활동과 휴식의 중심지가 되었다.



▲그림 - 16. 미국 코넬대학교 도서관 증축건물; 대학캠퍼스 내의 由緒 깊은 건물을 視角적으로 보호하기위해 지하로 增築 하였다.

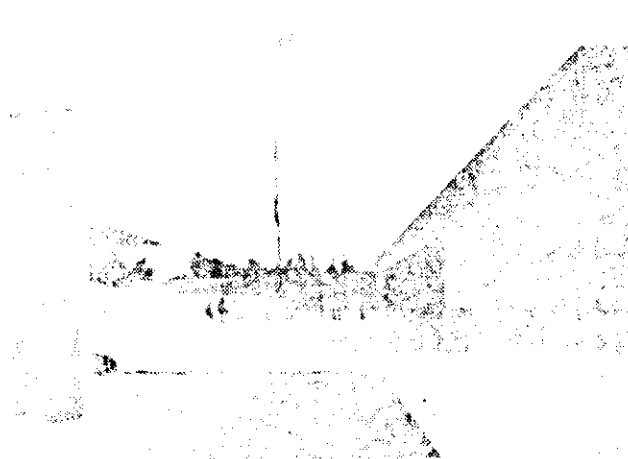


▲그림 - 17. 미네소타 대학의 도서관건물; 지하구조물로 시공되어 상부는 眺望에 매우 좋은 구조를 보이고 있다.

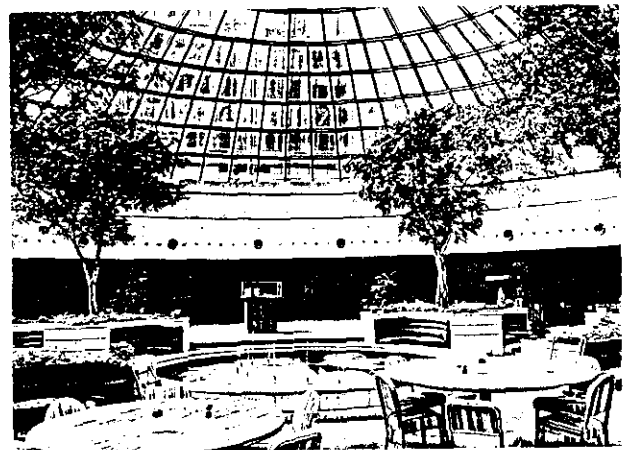
코넬 (CONNELL) 대학의 경우 유서깊은 도서관 건물을 훼손하지 않고 지하로 건물을 증축한 결과 視覺적으로 대단히 양호한 결과를 얻었으며 1980년에 개관된 연면적 9,000m²의 퍼듀 (PURDUE) 대학교의 도서관도 기존의 아름다운 스튜어트 센터 (STUART CENTER) 건물의 주변환경을 손상시키지 않을 목적으로 지하에 건설되었다. 특별히 퍼듀대학교는 전캠퍼스 면적의 10%에 달하는 지하 구조물을 20km에 달하는 연결터널로서 연결하여 독특한 지하건물 문화를 형성하고 있다.

미국에서 학교는 지하건축에서 초기부터 다루어진 주요 대상이었는데 캘리포니아주 산타안나 (SANTA ANA)에 있는 프리몬드 (FREMONT)국민학교는 그 좋은 예이다. 이 학교는 지표면에서 1.5m 깊이로 흙을 파내어 건축하였는데 건물지붕은 흙을 덮어 운동장을 만들었고 이부분의 表高를 인접공원과 같게 함으로써 주위 환경과 조화를 이루게 하였다.

학교건물의 지하화는 單層建物を 가능케 하였고 지하에 학교건물이 건립됨으로써 지나가는 행인은 학교가 있는지 없는지도 모를 정도이며 일반인의 생각과는 달리 이학교의 교사나 학생들은 지하교실을 매우 좋아해서 점심시간 또는 휴식시간에 밖에 나가려 하지 않는다고 한다.



▲그림 - 18. 미국 캘리포니아주 프리몬드 국민학교



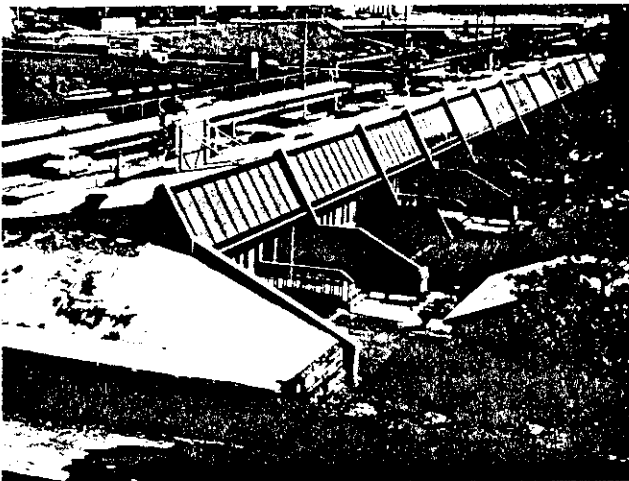
▲그림 - 19. 오마하 상호보험 건물내부 ; 내방객을 위한 휴식공간으로 매우 쾌적한 분위기를 보여준다.

4.2.3 오마하 相互保險 건물

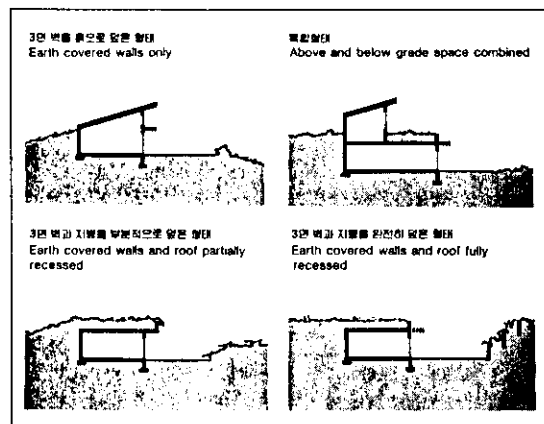
미국 오마하 보험회사는 기존 고층건물 앞 광장에 새로운 3층 지하 건물을 신설하여 필요한 공간을 확보하였다. 즉, 기존의 아름다운 본관 건물의 景觀을 해치지 않고 새건물의 지붕을 주차장으로 활용할수 있으며 건물 냉, 난방에 소요되는 에너지를 최대한 절약할 목적으로 착수되었다. 이들 모두는 새로 필요한 건물을 증설함에 있어 좁은 공간을 최대한 활용한 예이며 건설후 기존의 녹지와 지표공간을 그대로 보존할수 있었고 이들 지하시설은 학생들이나 고객들이 가장 많이 모이고 생활하는 중심지가 되었다.

4.2.4 掩蓋주택 (EARTH SHELTERED HOUSE)

바위나 흙속에 또는 흙을 덮는 건축형식의 암개주택은 옛날부터 사용되어 온 건축양식의 일종이지만 1970년대 중반이후 본격적인 연구가 시행되어 왔다. 이러한 암개주택은 에너지節減, 자연및 기타 災害로 부터 방호, 경비 대책, 소음방지, 垆地의 效率的인 利用등에 장점이 있을뿐 아니라 자연경관을 최대한이용, 주위경관과 잘 조화되도록 계획되므로 오히려 造形美的 관점에서도 우수한 건축 형식으로 평가되고 있다.



▲그림 - 20. 미네소타주 시워드하우스 前景

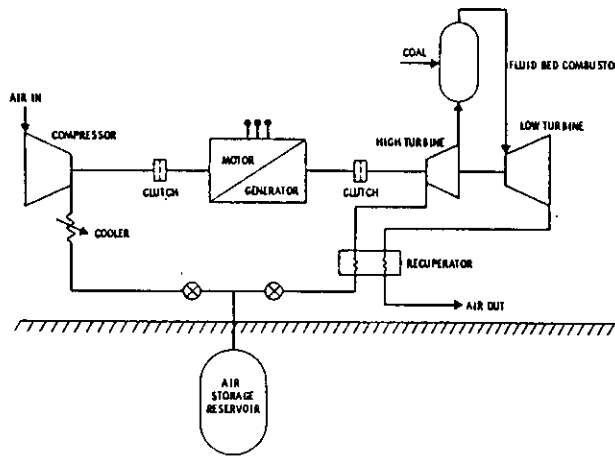


▲그림 - 21. 암개주택의 여러가지 형태

현재 미국에서는 수천 세대의 일개주택이 단독 또는 연립주택 식으로 건축되었다. 미네소타의 시워드 타운 하우스 (SEWARD TOWN HOUSE)는 1979년에 준공된 것으로서 道路邊의 경사진 대지를 이용, 7 가구의 태양열 일개주택을 시공, 저렴한 시공비와 함께 에너지 절약의 대표적인 일개주택으로 사용되고 있다.

4.3 서독의 헌돌프 (HUNTORF) 壓縮空氣 저장

발전소에서 주간에 남아도는 에너지를 압축공기로 저장했다가 필요시 전력수요가 높아질때 발전기를 加速 시킴으로써 전력의 생산을 증대시키는 원리이다. 이와 같이 대규모의 압축공기를 저장하기 위해서는 가스를 보존할수 있도록 압력이 높은 지하봉굴을 이용하던지 암염층을 녹인 염동을 이용한다. 서독 헌돌프 지역에 설치된 150,000m³ 용량의 압축공기 지하저장 시설로는 1977년에 세계최초로 가동되었으며 암염층을 녹인 두개의 염동을 이용한 것이다.



▲그림 - 22. 압축공기의 지하 공동저장의 원리도.

4.4 日本에서의 지하공간 활용사례

일본에서도 인구가 밀집되어 있는 도시에서는 필연적으로 야기되는 주차장, 공동구, 시장이나 상가, 이러한 공공시설 등이 점차 지하화 하고 있는 추세이나 地震多發의 특수지형으로 지하공간 개발의 제한요소를 가지고 있다.

4.4.1 지하 주차장

일본의 지하 주차장은 1979년말을 기준해서 총 214 (44,208 대 주차) 개소에 이미 설치되어 있고, 28개소 (3,930 대 주차) 가 공사중이거나 계획되어 있다. 주차장 규모는 1,700 - 89,900㎡ (평균 11,000㎡) 이다. 이 주차장들은 지 1 - 2층으로 되어 있고 모두 개착식 공법으로 시공되었다.

4.4.2 지하상가

일본의 지하상가는 1942년 오사카 (OSAKA)에서 처음 시작되었고 현존의 상가들은 대부분 1953 - 1970 년 사이에 시공되었다. 면적 36,000㎡의 일본 최대의 지하상가는 동경의 광장에 있으며 이들 81개소의 지하상가중 72개소는 철도의 광장이나 지하철역과 연결되어 있으며 9개소는 지하공용주차장 내에 설치되어 있다.

4.4.3 共同溝

일본의 공동구는 1963년 공동구 개발에 대한 특별법이 만들어진 이후 부터 시작되어 1979년 말 현재 공동구의 총길이는 102.5km 에 달하며 매년 11.5km씩 시공되고 있는 실정이다. 대부분 개착식으로 시공되어 있으며 철도나 도로를 횡단시 실드터널 공법이 사용되고 있다.

4.4.4 기 타

이외에도 유류, LPG , LNG 및 압축공기 등을 저장하는 목적으로 지하공간의 활용에 대하여 상당한 연구와 개발이 진행되고 있다.

4.5 한국에서의 지하공간 활용사례

우리나라는 부산지하철 개통과 아울러 서울지하철이 총연장 123km의 지하철을 가짐으로써 세계 7위의 지하철 보유도시가 됨에 따라 본격적인 地下文化圈의 시대가 초래되었다. 이에 따른 한국에서의 지하공간의 활용 측면에서 언급하고자 한다.

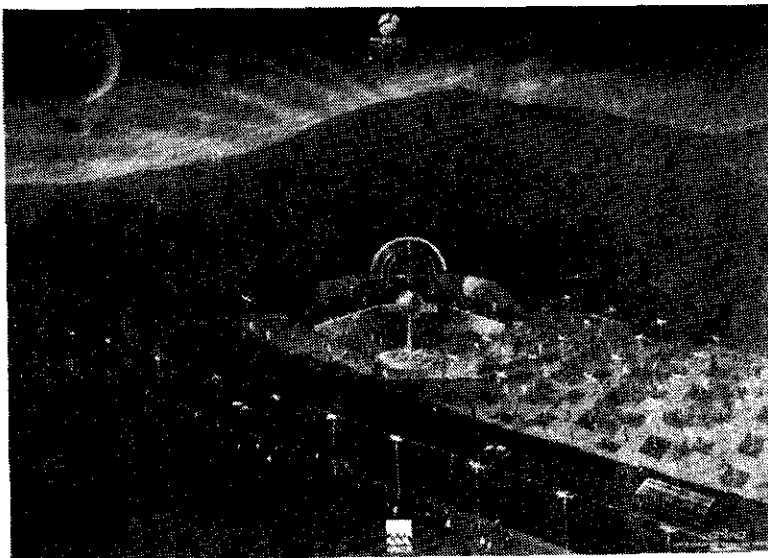
4.5.1 일반 지하시설

1970년대 이후 地下商街, 原油備蓄시설, LPG貯藏施設, 地下揚水發電所, 등이 주로 政府의 지하공간 개발사업으로 추진되어 왔으며 지하철 개통과 아울러 27개소의 지하상가가 생겨나 주로 都心과 副都心에 입지하고 있으며 지하도로로서의 인계성을 발휘하고 있기도 하다.

4.5.2 여수 자산동굴 유원지

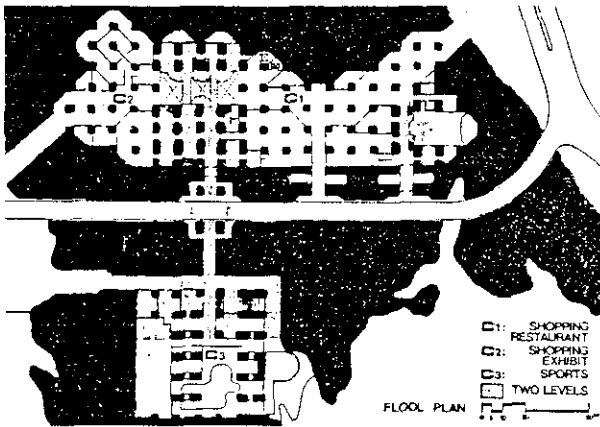
한려수도의 기종점에 위치한 여수시는 인근 여천빛 광양천암 공탄의 입주로 인한 관광 잠재인구의 증대와 증가인로에 있는 외래 관광객의 관광욕구를 충족시키기 위한 관광지의 개발이 절실히 요구되었다.

여수의 主探訪 대상지인 오동도는 國立公園으로서 자연경관 보존을 위하여 시설설치 추가는 억제되고 있는 실정이어서 이에 대한 대응조치로서 오동도 입구에 위치한 자산공원의 지하부를 굴착하여 한국 初有의 지하 동굴유원지를 조성코자 하는 야심적인 계획이 사업주인 (주)삼립관광에 의해 주도되고 있다.



▲그림 - 23. 여수자산 동굴유원지의 입구모습 스케치

1987년 하반기에 착공, 3 개년에 걸쳐 단계 시공하게 될 자산동굴 유원지의 시설은 3 개의 기능별 구역으로 나누어지는데 해산물 전문식당 및 오락장, 관광기념품 상가가 시설될 관광慰樂施設 (1,500 평), 공연장, 토산물 전시장 등이 입주케 될 文化展示空間 (1,400 평), 지하수영장, 볼링장, 헬스사우나 등 체육 및 休養施設 (1,600 평) 등으로 연 5,000 평 규모의 지하공간으로 구성되게 된다. 특히 문화전시공간에는 지상부 彫刻公園과 수직으로 연결통로 (엘리베이터) 를 갖게 되며 수직동굴 좌우에 幻想的인 동굴 휴게소가 들어서게 되어있어 호남관광의 명소로 각광을 받을 것으로 기대되고 있다.



▲그림 - 24. 내부구조 平面圖



▲그림 - 25. 觀光慰樂시설 스케치; 실내오락장

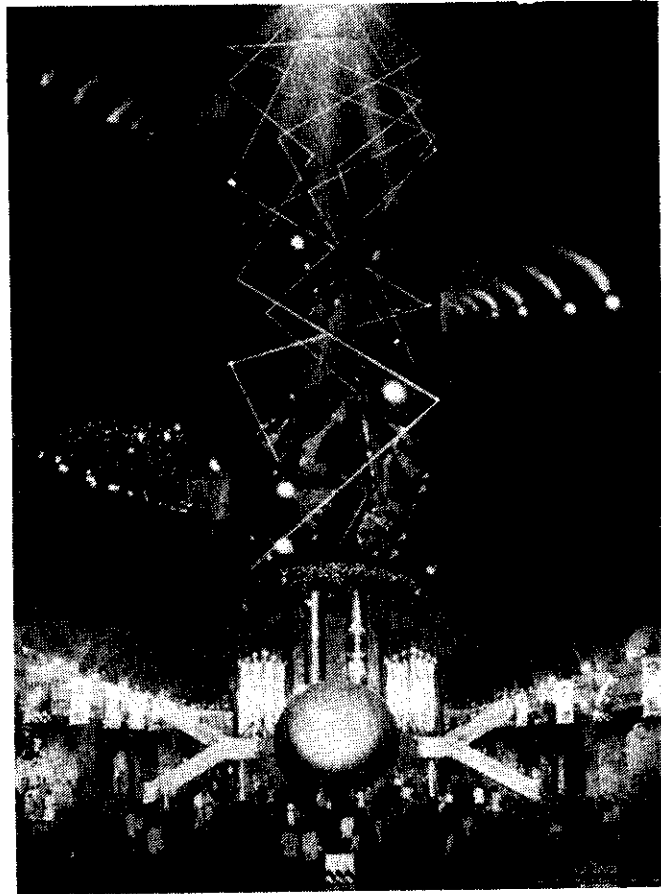


▲그림 - 26. 觀光 慰樂施設스케치;
海産物 전문음식점



▲그림 - 27. 休養시설 스케치;
동굴 지하 水泳場

어수자산 동굴유원지의 사업효과로서 기대하는 것은 새로운 관광자원 및 시설을 創出해 낸다는 면에서 또한 오동도의 觀光機能을 補完시켜 餘閑아니라 有事時 民防衛 施設로도 活用될수 있는 점을 감안할때 한국 관광사업의 新紀元의 장을 열게될 것으로 기대 모으고 있다.



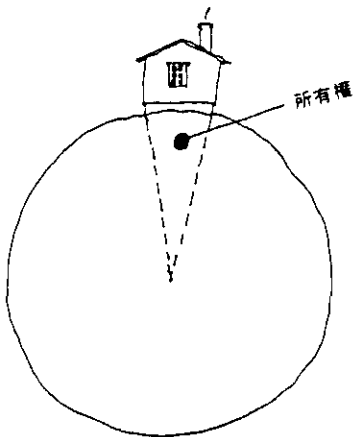
▲그림 - 28. 중앙수직 동굴 프라자 스케치 ; 地上부 彫刻공원과 안길통로를 가지며 수직동굴 좌우에 幻想적인 동굴 휴게소가 배치된다.

V. 地下空間의 所有權과 國家政策의 외국 사례

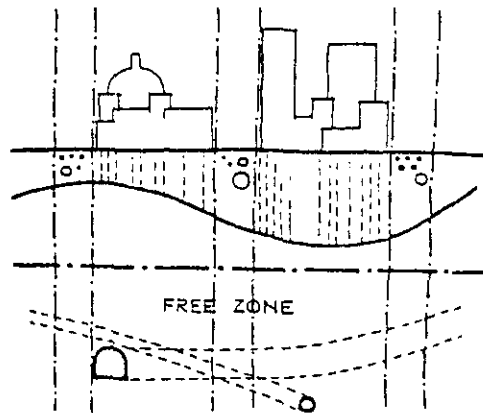
인류가 지하공간을 이용한 것은 오래전의 일이지만 대규모의 지하암반 空洞을 만들어 實用化 시킨 것은 최근 수십년에 이르러 급속도로 전개된 것이다. 개발이 보편화 하게 되자 개발과 관련되어 많은 利權을 둘러싼 이해 충돌이 생겨나기 시작했다. 이와 같은 분쟁들을 해결하기 위하여 법규가 필요했으나 특수개발 분야인 만큼 이에 대한 명백한 법규는 아직 마련되지 않은 실정이며 몇몇의 분쟁에 의한 判例가 있을 뿐이다. 일찍부터 지하공간을 개발하여 온 스칸디나비아 국가 및 미국 같은 나라에서는 이에 대하여 연구하고 있으며 몇몇 기술규정을 제정 적용하기도 하고 있다.

5.1 노르웨이의 경우

노르웨이 스타란제 (STARANGER) 지역에서는 지역행정부에 의하여 지하공공 집회시설 및 지하주차장 시설을 도시의 밀집지역에 시설함에 있어 소유주가 다른 5 구역의 토지지하를 관통하게 되어 소유자로 부터 보상을 요구받게 되었다. 이에 대한 사법부의 판정은 지하 12 - 16m에 걸쳐 시공된 4 구역 부분에 대해서는 토지 소유권을 인정하지 않았으며 단지 3.5 - 7m에 걸친 1 개구역에 대해서만 美貨 2,500 달러의 보상금을 지불하게 한 判示가 1974년에 있었다.



▲그림 - 29. 지하소유권의 개념을 나타낸 그림; 지하 심층부는 특정의 사람이 독점 할수 없다.



▲그림 - 30. 일정한 깊이는 자유지대 (FREE ZONE) 로 설정, 개발을 촉진시킬수 있을것 이다.

노르웨이의 建築法 (BUILDING LAW)에 의하면 지하 6m까지 토지소유주가 소유권리를 행사하게 되어있어 지하시설의 설치시 시설의 開口部 (ENTERANCE)의 토지매입 빈이 요구되어 지하공간의 개발을 촉진시키는 정책이 추진되고 있다. 한편 민방위법으로 유사시 이용할수 있는 지하대피시설의 의무화를 구체적으로 명문화 시켜 놓은 상태일 뿐만 아니라 공공시설의 경우 지하공간 개발비 3분의 1을 國庫로 보조해 주는 장려정책도 아울러 시행되고 있다.

5.2 스웨덴의 경우

스웨덴에서는 최근 30년간 공사규모 10,000,000m³ 이상의 지하시설이 건립되어 사용되고 있으며 이에 따라 도시계획 규정으로 지하부 개발범위및 기준을 명문화 하고 있는데 일반용도 구획의 경우 7m, 도심부 구획의 경우는 10m로 소유자의 개발을 제한하고 있다. 즉, 토지 소유자의 소유권을 제한하여 지하공간 활용의 적극적인 활용의 기회를 開放해 놓고 있다.

5.3 필란드의 경우

필란드는 1,500명 이상 수용능력의 지하시설을 인구밀집 지역에 설치하는 것을 민방위법으로 의무화시키고 있으며 건설비 및 유지비는 평상시 활용 受益金으로 충당할수 있도록 하며 전시에도 24시간이내 용도별 민방위시설로 轉換 활용이 가능하도록 하는 정책을 추진하고 있다.

5.4 미국의 경우

미국의 지하공간 활용은 지하공간협회 (AMERICAN UNDERGROUND SPACE ASSOCIATION)의 열성적이고 주도 면밀한 계획에 의해 주도되고 있다. 즉, 지하공간 이용에 대한 계획, 법규, 사회학적 문제, 관할권문제, 경제성, 상업성 또는 기술적인 관심사 등을 연구하고 이 결과에 따라 경제성이 입증되는 지하공간 활용의 가능성을 정기적으로 발표하고 있다.

VI. 한국의 地下空間 開發 可能性

산이 많고 지질및 암반이 잘 발달되어 지하공간 활용에 유리한 자연 조건임에도 불구하고 개발이 부진한 것은 인식부족과 土地所有權의 限界에 대한 규정등 지하공간 개발을 촉진할수 있는 제도적 장치가 미비하기 때문이다.

6.1 토지소유권과 관련된 규정

현재 지하공간과 관련되는 사항으로서는 일단의 도시계획 시설에 관한 사업과 지하철, 지하도, 지하상가, 지하터널 등의 활용사례가 있으나 사업시행에 대해서는 지하철도 건설촉진법을 제외하고는 구체적 제시가 없는 실정이다.

다만 都市計画法 제 16조 1 항에서 " 도시계획 구역 안에서 도시계획 시설및 도시계획 사업에 관한 시설을 지상공간 또는 지하에 설치하고자 할 때는 도시계획 결정을 거쳐서 도시계획사업 으로서만 시행하여야 한다. " 라는 규정으로 지하공간 활용 가능성을 언급하고 있을 뿐이다.

따라서 현재 사용 또 시공중인 지하유류저장 시설등을 비롯한 우리나라 지하공간 활용 시설은 상부가 시설 가능한 용도의 지역이며 공유지의 경우가 대부분이므로 큰 문제가 없었으나 앞으로 지하시설의 활성화라는 대명제를 달성하기 위해서는 적절한 토지소유권의 限界및 範圍에 따른 연구와 立法이 절실히 요청되고 있다.

6.2 바람직한 개발 방향

우리나라는 제한된 국토면적 및 자원, 南北韓 分斷이 안고 있는 심각한 대립, 인구증가 및 산업화에 의한 환경오염 등이 매우 심각하게 대두되고 있는 현 상황에서 지하공간이 가지는 여러가지 잇점은 적절한 對應策으로 여겨진다.

6.2.1 安保的인 관점

한반도는 공산진영과의 심각한 紛爭으로 세계적인 주목을 받고 있는 상태이다. 따라서 유사시 국민의 안전을 도모할수 있는 민방위시설은 그 의의가 높다고 할수 있을 것이다. 선진국의 예를 볼때 민방위시설은 정상시 자유로운 이용을 통해 개방되므로써 친숙하게된 사용자가 유사시 혼란됨이 없이 사용할수 있다는 사실이 증명되고 있는데 우리나라의 경우, 매월 실시되고 있는 민방위훈련은 종합적이고 체계적인 待避체계가 없이 훈련에 임하게 되어 그 성과가 매우 미흡한 상태이다.

따라서 인구密集지역에 있어서 지하공간 공공시설을 겸한 민방위시설의 입체적인 개발은 우리에게 매우 절실한 상태이다. 이는 지하개발 관련법규의 제정, 인허가 요건의 緩和 같은 국가의 적극적인 장려정책과 자금지원은 물론 지하시설에 대한 민간기업의 새로운 인식과 果敢한 投資 등의 관. 민의 건밀한 협력이 요청되는 상태이다.

6.2.2 技術開發의 관점

우리나라가 현재 시공중이거나 계획중인 지하시설의 대부분이 외국의 지하 수백미터 이상에 이르는 대형규모의 그것과는 비교도 할수 없을 뿐 아니라 기술분야에 있어서도 매우 落後된 실정이다.

따라서 전국토의 반 이상이 年代가 오래되고 구조적으로 안정된 片麻岩과 花岡岩이 잘 발달되어 있고 그 분포면적이나 암반의 규모가 커서 암반공동의 건설에 매우 적합하므로 이에 대한 체계적인 종합개발 계획이 따라야 할 것이다. 그 이유로는 일단 굴착 형성된 지하공간은 原狀回復이나 변형이 곤란하기 때문이다.

실제로 기존의 개발된 서울시의 지하상가 등의 지하시설은 충분한 연구와 계획없이 건축되어 상가의 용도및 내부구조, 냉난방 장치, 환풍, 조명, 정화 장치 등이 무질서하게 배치되어 통행의 혼잡, 실내공기의 오염 등의 문제점이 심각하게 제기되고 있는 실정이다.

즉, 지금부터라도 우리는 환경, 건축, 토목, 법률등 전문야를 망라한 국가 차원의 專門的인 機關이나 지하공간 개발의 타당성및 기술개발 등을 위한 민간 차원의 단체인 지하공간협회 (가칭) 등의 조직을 통해 이 귀중한 공간자원을 적극적으로 활용하는 방안을 연구해 나가야 할 것이다.

VII. 結 言

오늘날 많은 지상공간들이 사용상에 있어 환경적으로 받아 들일수 없거나 또는 낭비되고 있다고 하는 사실을 인간은 感知하기 시작했다.

아울러 가공할만한 현대전의 전략무기가 가하는 有, 無形의 압박에서 우리 인간이 회복될수 있는 유일한 대처방안은 지하공간 이라는 사실도 점차로 피할수 없는 현실로 부각되고 있다.

이제 지하공간의 가능성에 대한 생각을 유도하기 위하여 그 근본이유를 더이상 찾아볼 이유도 필요없을 만큼 그 이용의 當爲性이 인간 활동의 전체 영역에서 인정되고 있는 것이다.

지하, 그리고 지하공간은 우리 인간에게 무엇인가 ? 그 대답은 可能性과 무한한 潛在性, 그리고 未來의 空間이라는 사실이다.