

研究資料

地下空間을 이용한 食品貯藏 가능성에 관한 檢討*

許吉行 **

I. 序論

- II. 地下空間의 개념과 특성
- III. 地下空間의 이용실태
- IV. 地下空間과 食品貯藏
- V. 食品地下貯藏의 經濟性
- VI. 政策的 提案

I. 序論

인류의 生活空間인 土地는 한정되어 있으며, 과학기술의 발달은 人口를 급격히 증가시킴으로써 인류의 生活空間은 크게 制約받고 있다. 현대사회는 人口급증과 고도의 文明발전에 따른 資源難, 環境污染 등의 심각성으로 地上開發만으로는 개발에 한계가 있다. 都市人口의 급증으로 인해 都市는 生活空間의 제한, 심각한 교통난 및 환경오염으로 일부 都心의 기능마비 등 제반 都市問題

를 야기시키고 있으며, 세계는 고도의 文明과 技術의 發展과 大量消費時代를 맞아 可用資源의 고갈과 에너지난에 봉착하고 있다. 또한 최신 戰略武器의 개발과 戰爭概念의 立體戰·全面戰 양상으로의 변화에 따라 非常防護 수단 및 安保 대책으로서 地下空間의 軍事的 활용이 세계적으로 절실해지고 있는 추세이다.

최근 都市地域을 비롯한 이용가능한 土地의 價格은 급속히 상승하는 추세에 있다. 따라서 제한된 資源인 土地의 효율적 이용은 매우 중요한 과제이다. 土地의 利用度를 높이기 위해서는 都市지역에서 보듯 건물의 高層化 등을 통해 토지이용률을 높이는 수직적 확대와 山地·砂漠 등 未利用地를 개발·이용하는 수평적 이용 확대방법이 있으며, 이러한 地上土地의 이용도 제고와 함께 地下의 土地를 이용하는 方法이 있다.¹ 최근 地價의 상승과 지하 굴착기술의 발달에 따라 많은 分野에서 地下空間의 활용이 실현되고 있으며, 많은 국가에서 관심을 가지게

* 본 研究를 위해 많은 資料를 제공해준 三林콘설판트(주) 宣浩감사와 金治煥박사께 특히 감사드린다.

** 副研究委員

¹ 地下空間 이용도 土地이용의 수직적 확대의 범주에 속한다고 볼 수 있음.

되었다.

우리나라는 國土가 협소하고 人口가 과밀하며 賦存資源이 빈약하고 南北이 대치하고 있는 특수한 保安狀況을 고려할 때 地下空間의 개발·활용이 절실히 필요하다고 하겠다. 특히, 우리나라는 전국 대부분의 地域이 地下洞窟 굴착에 적합한 地質구조와 岩種으로 구성되어 있으며, 國土의 65.3%가 山地로서 地下空間의 활용이 용이한 것으로 평가되고 있다(삼립콘설턴트 1989;5).

地下空間의 용도는 매우 다양하며, 食品의 貯藏은 그 다양한 용도중의 하나이다. 이 연구자료는 지난 6월 10일 농수산물유통구조개선대책 보고서 大統領의 지시에 따라 수집·검토했던 資料를 정리한 것으로서 地下空間을 이용한 食品貯藏의 경제적 가능성 분석에 중점을 두었다.

II. 地下空間의 개념과 특성

1. 개념

地下空間이란 地表面 하부에 자연적으로 형성되었거나 人爲의으로 조성한 일정규모의 空間이며, 형성된 地下空間내에 일정한 목적의 시설을 설치한 경우 地下施設이라고 한다. 또한 地下空間은 地表面으로 부터의 深度에 따라 〈表 1〉과 같이 區分된다(삼립 콘설턴트 1985 ; 2).

表1 地表深度에 의한 地下空間의 區分 및 活用

地表depth	地下空間區分	主要活用對象
3 ~30m	表層 地下空間	업계 건물 건물 지하층 地下鐵 설치
30~ 300m	地表接近 地下空間	터널형 地下鐵 지하油類저장시설 지하水力기發電所 商業목적 등의 지하시설
300~ 3,000m	深層 地下空間	지하揚水發電所 압축공기에 의한 에너지貯藏 核廢棄物貯藏施設

자료: 미국 地下空間協會(A.U.A)의 정의임

2. 地下空間 活用의 利點 및 제한 요소

가. 利點

地下空間을 개발·활용할 때에는 地上開發과 다른 다음과 같은 특성과 利點이 있다.

첫째, 入口부분을 제외하고는 土地(地表)가 거의 필요없기 때문에 土地節約효과를 기대할 수 있으며, 새로운 공간의 창출로 土地利用度를 제고할 수 있다.

둘째, 地下空間은 掩蔽性, 热蓄積 등으로 외부의 습도나 氣溫 변화에 영향을 받지 않고, 地表 7m 이하에서는 年中 14°C의 常溫 유지가 가능하다. 따라서, 내부의 温度 조절 및 유지관리에 이용되는 에너지 및 費用을 시설종류에 따라 20~50%까지 절감할 수 있다.

셋째, 地下岩盤의 掩蔽효과와 충격 차단 효과를 이용하여 천재지변이나 武器 등의 공격에 의한 피해를 최소화 할 수 있다.

넷째, 地下岩盤의 굴착은 施設費를 절감

할 수 있으며, 施設을 영구히 사용할 수 있다. 노르웨이의 경우 地上洞窟을 이용할 때 地下施設에 비해 30%의 시설비를 절감할 수 있으며(全正玉 1984, 76), 美國 Kansas 市의 경우 40~50%의 건설비를 절약할 수 있는 것으로 나타났다(Woodard 1980 ; 66).

다섯째, 시설의 地下化로 소음, 진동, 악취 등의 피해로 부터 보호할 수 있으며, 자연경관의 보호효과도 기대할 수 있다.

나. 제한적 要素

아직까지 地下空間의 활용은 일반화 되지 못하고 있으며, 이에 따른 認識부족이 地下空間 개발의 가장 큰 제약 요소이다. 그러나 최신 기술개발로 地上空間에서도 쾌적하고 편안한 環境제공이 가능하며, 建設費用도 地上建設 수준 또는 그 이하로 접근하고 있음에도, 대부분의 사람들은 地下空間이 갖는 閉鎖性에 대한 心理的 기피성이 높으며 높은 建設費用에 대한 부담감을 갖고 있다. 다만, 地下空間은 閉鎖性으로 인해 火災 발생시 대량 人命피해의 우려가 있으며, 환풍 등 空氣오염의 우려가 있으므로 構造物 및 環境의 安全性 문제에 특별한 관심을 가질 필요가 있다. 따라서 地下施設物에 대해서는 法規에 의해 施設의 安全基準을 강화하고, 構造物 및 空氣에 대한 새로운 安全性 감시프로그램이 필요할 것이다.

또한, 地下開發을 위해서는 立地選定, 동굴 굴착 및 보강, 냉·난방 및 換氣, 消防, 下水處理 등에 特殊技術이 요구되고 선진기술의 도입 또는 개발이 필요하므로 개발 초기에는 다소 기술적 制約이 예상된다. 그리

고 일단 굴착하여 형성된 地下空間은 原狀回復이나 變形이 곤란하며, 다양한 自然植生을 地下에 도입하는 데에는 다소 제한이 있다는 제약이 있다.

III. 地下空間의 이용 실태

1. 活用범위

地下空間은 일부 國家에서 地上都市의 건설을 계획하고 있을 정도로 地下土地의 활용과 같이 거의 모든 분야에서 광범위하게 활용되고 있으며, 科學技術의 급격한 발달은 그 活用範圍를 더욱 확대시킬 것으로 기대된다. 현재 地下空間이 활용되고 있는 주요 分野는 다음과 같다.

〈地下空間 活用범위〉

- 交通施設 : 지하철, 터널, 地下道, 주차장
- 通信施設 : 電信·電話中繼所, 전화국, 電信케이블, 기타 주요 通信施設
- 貯藏施設 : 油類·가스 저장, 석탄 저장, 食品저장, 상품저장
- 處理施設 : 廢水 처리, 核廢棄物 처리, 給配水 시설, 지역난방
- 工場施設 : 일반공장, 특수공장
- 發電施設 : 지하 揚水發電所
- 商業施設 : 일반商街, 백화점, 시장등
- 事務室 및 住居施設 : 學校 부대시설, 사무실, 주택, 宗教시설, 스포츠 시설(수영장, 스케이트장, 체육관 등), 부대휴게공간,廣場

• 軍事施設：指揮所， 탄약고， 격납고， 정박시설， 포 진지， 民防衛 시설， 기타

• 기타：都市 다목적터널， 納骨堂 등 특히， 地下空間 활용에 있어서 주목되는 것은 農業的 이용의 가능성이다. 벼섯이 재배되고 있으며, 송어가 지하부화장에서 사육되고 있다. 북부지방에서의 農業은 기후 때문에 작물 生育期間이 상대적으로 짧고 害虫 방제와 環境 통제가 어렵기 때문에 채소와 畜產物을 年中供給하기 위해 地下空間이 이용될 수 있다. 또한, 환경이 통제된 地下에서 苗木을 재배하면 季節변화에 따른 장해없이 빠르게 成長하기 때문에 초기 山林綠化에 필요한 期間을 크게 단축시킬 수 있다는 연구결과도 있다(Woodard 1980 ; 66-7).

2. 주요 外國의 이용실태

地下空間은 古代로부터 住居空間, 食品貯藏 장소 등으로 활용되어 왔으나 본격적으로 生活施設로 이용되기 시작한 것은 1960년대 이후이다. 앞에서 살펴보았듯이 地下空間은 다방면에서 활용되고 있으며, 科學技術의 발전은 人類로 하여금 地下空間을 地上空間과 다름없이 활용할 수 있도록 할 날도 멀지 않다고 하겠다. 그러나 資料와 시간의 제약으로 몇개 國家의 地下空間 이용 事例만을 제시코자 한다. 따라서 여기에 제시되는 것은 극히 시사적인 사례 제시에 불과하며, 일반적 자료로서 활용되기는 어렵다.

가. 노르웨이

노르웨이는 地理的 立地와 地形的 특수성

을 인식하고 地下空間 이용에 선구적 역할을 해 왔으며, 약 300년의 地下굴착 역사와 경험을 갖고 있다. 현재 세계 최대의 업적이라고 할 수 있는 150여개소의 地下水力發電所와 750개의 道路터널을 보유하고 있다(지하공간 1988.6 ; 5).

노르웨이는 금세기로 들어오면서 처음 50년은 주로 道路터널을 개발해 왔고, 2차 대전이후 10년간은 주로 軍事목적으로 활용되었으며, 최근에는 다양한 형태로 광범위하게 활용되고 있다. 軍事 및 通信시설 뿐만 아니라 맥주공장, 냉동창고, 原油저장 등 產業施設, 上水道 및 下水處理場, 스포츠 및 레저시설 등 地下空間의 利用대상은 매우 광범위하다(지하공간 1988.6 ; 5 및 8).

정부는 民防衛法으로 “地域社會는 해당 인구를 수용할 수 있는 待避施設을 건설하며, 州政府는 이때 事業費의 50% 이상 2/3 까지 補助하도록 규정”하고 있기 때문에 전 국민의 50% 이상을 동시에受用할 수 있는 地下施設을 보유하고 있으며, 계속 확대할 추세이다. 이러한 대피시설은 평상시 청소년 크럽, 스포츠 홀, 수영장, 볼링장, 주차장 등으로 활용되고 있다. 이러한 室內스포츠 시설은 年中 온도가 일정하며($12\sim15^{\circ}\text{C}$) 기상조건에도 영향을 거의 받지 않아 運營費를 절감하면서 국민의 실내체육관 및 위락시설에 대한 수요증가에 대응할 수 있도록 해주고 있다(지하공간 1988.6 ; 14). 產業施設로서 노르웨이 國營石油公社는 기존 貯油施設의 현대화와 貯油能力의 향상을 위해 地下 原油貯藏施設을 최근 건설했다. 이 시설은 6개의 초대형 空洞(폭 17m × 높이 33m)을 개발하여 130만 m^3 를 저장할 수 있

는 규모로서 세계최대의 지하 原油貯藏施設이다(지하공간 1988.6.54).

民防衛法에 의해 대피시설의 설치를 의무화한 또 다른 나라는 스위스가 있으며, 스위스는 전국민의 75%가 동시에 대피할 수 있는 地下施設을 갖고 있는 것으로 알려져 있다.

나. 美國

록키山脈에 北美 宇宙航空司令部와 대규모 文書保管庫가 있는 것으로 알려져 있으며, 都市 交通수단 및 편의시설로 광범위하게 활용되고 있다.

특히, Kansas시 지하洞窟은 세계적으로 유명하다. Kansas시 大都市圈 전역에 걸쳐 사방 50마일에 이르는 양질의 石炭岩層을 이루고 있으며, 1940년대 부터 石炭岩을 채석해 온 이래 전체 개발가능면적 약 2천만 평 가운데 5~6백만평이 개발되어 이중 60만평정도가 단순한 채광목적 이외의 타용으로 사용되고 있으며, 매년 17~20만평 규모가 개발되고 있다.

이 地下空間에는 12개 業體가 입주하고 있으며 창고, 냉동저장, 제조공장, 사무실, 기타 서비스 등 16개시설에 3천여명의 종업원이 고용되어 있다.² 종래 地下空間의 활용은 저장창고의 범위에 국한되었으나 1973년 결성된 地下開發家協會(Underground Developer's Association : UDA)가 중심이 되어 業界, 學界, 官界의 공동협력체제 아래에서 지하공간활용에 관한 각종 制度의

보완 및 기술 조사·연구작업이 이루어져 현재에는 보다 다양한 地下空間의 활용이 가능해졌다(지하공간 1987.12 ; 6-9).

다. 日本

최근 大都市의 토지부족, 地價 상승을 배경으로 地下空間 활용에 대한 관심이 높아지고 있으며, 中央政府 주도하에 官民合同研究會가 조직되어 지하공간 활용의 구체적인 事業이 본격화 되고 있는 것으로 알려져 있다. 중요한 研究會로는 都市地下空間活用研究會(건설성 도시국), 地下空間 道路利用研究會(건설성, 도로국), 大都心 地下鐵道建設 調查研究會(운수성), 地下空間活用 技術評價委員會(통산성)등이 있다. 이 중에서 1987년 12월에 바족한 都市地下空間活用研究會는 사회각계의 75社를 회원으로 한 최대 규모의 조직으로서 도시시설계획, 토지 이용, 복제도, 거주환경, 지하도시 구상, 실현방안 등 6개 分科를 두어 都市地下의 질서있는 개발을 위한 종합전략을 구상하고 있다.

지하굴착기술의 진전과 法體系 및 開發指針의 정비를 바탕으로 하여 현재 부상된 Geo-Front開發計劃은 도시기능중에서 주차장, 정보센터, 각종 통신시스템과 같이 空間을 크게 차지하는 시설, 도시미화 내지 환경보존상 혐오의 대상이 되는 각종 貯藏·處理施設, 지하의 특성을 이용할 수 있는 데 이타 베이스 및 연구실험실 등을 地下에 설치하고, 地上은 주거 문화시설로 활용하도록 추진되고 있다. 한편 東京都는 1986년 「技術會」조직하여 5개 副道心을 대상으로 지하 매설물 현황 및 매설계획을 조사하여

² Kansas시의 地下貯藏施設에 대해서는 食品貯藏과 관련하여 뒤에 보다 상세히 언급코자 함.

그 활용방안을 검토중에 있다.

清水建設은 東京의 地下 40m에 「제2의 首都建設」을 추진중인 것으로 알려져 있다. 이 「Urban Geo-Grid計劃」은 총공사비 10조 엔을 투입하여 日皇城을 중심으로 반경 20km지역에 10여개의 大型地下空間(일명, Grid Station)과 3백여개의 小型地下空間(일명, Grid Point)을 건설하고, 이를 地下都市의 거점을 地下鐵 등 터널로 연결한다는 것이다(지하공간 1988.6 ; 55-56).

3. 우리나라의 이용실태

우리 나라에서는 安保的 여건상 軍事目的으로 地下空間이 상당히 활용되고 있을 것으로 추측되나 구체적 내용은 공개되지 않고 있다. 산업적으로는 지하철, 지하도, 지하상가 등 交通 및 부대시설로 활용되며, 본격적 산업목적으로 이용되는 것은 油類貯藏施設이 있다.

U-2原油貯藏施設은 海水面 아래 60m 깊이에 높이 30m, 폭 18m, 터널길이 18km의人工洞窟로서 27만배럴의 원유를 저장할 수 있다(조선일보, 1991.2.10).

또한, 전남 麗川에 위치한 湖南精油의 LPG 貯藏施設은 지하굴착량 361천m³의 인공동굴에 프로판가스 17만m³, 부탄 12만m³을 저장할 수 있는 地下施設이다(삼립콘설판트 1985 ; 19)

우리 나라에도 국제암반역학학회와 같은 전문가 모임과 專門用役業體가 있다.

IV. 地下空間과 食品貯藏

1. 食品 貯藏方法의 發展

식품의 지하저장은 新石器時代 이전인 BC.9000~7000년에 중동지방과 BC.4500년에 유럽 등지에서 시행된 것으로 알려져 있으며, 19세기초 까지도 地下貯藏은 다량의 穀物을 장기간 貯藏하는데 있어서 중요한 方法으로 이용되어 왔다.

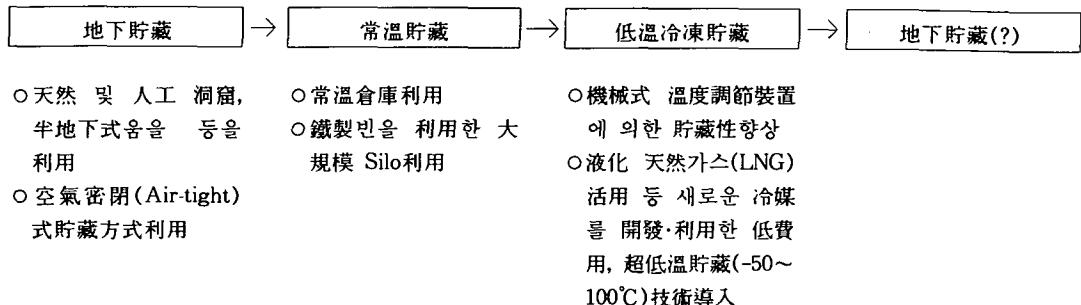
오늘날 식품의 지하저장 기술은 전세계적으로 다양하게 이용되고 있으며, 현재 이용되고 있는 食品 地下貯藏 形態는 (1)瓮, 동굴을 이용한 密閉式 穀物貯藏, (2)콩, 과일, 서류, 根類 등 非加工食品의 저정, (3)加工食品의 건조저장, (4)냉장저장 등이 있다(Sterling et al.1983 ; 257).

이러한 歷史的 사실에 비추어 볼때, 人類가 최초로 食品을 저장 하는 方法은 천연 또는 人工의 동굴을 이용하는 것이 있으며, 여기에서 약간 발전한 형태가 羊地下式 움이나 구덩이를 이용해 空氣密閉式(Air-tight) 저장방법이다.

空氣密閉式 저장법은 비용은 적게 소요되나 저장중인 물품의 검사나 관리가 어렵고 부패율이 높기 때문에 地上의 일반倉庫로 대체되게 되었다. 穀物이 대량으로 生產되는 선진국에서는 이러한 常溫倉庫 대신 鐵製 빙(Bin)을 이용한 대규모 사이로가 이용된다.

常溫倉庫는 저장고의 온도를 임의로 조절할 수 없기 때문에 貯藏食品의品質을 손상시킨다. 따라서 常溫倉庫로서는 소득증대에 따라 증대되는 消費者의 高品質 食品에 대

그림 1 食品 貯藏方法의 발전 추세



한 수요를 총족시킬 수 없으며, 機械式 온도조절장치에 의한 低溫·冷凍貯藏시설이 등장하게 되었다.

低溫·冷凍倉庫는 상품의 종류에 따라 임의로 적정한 溫度를 유지할 수 있기 때문에 식품의 貯藏性을 크게 향상시켰다.

低溫·冷凍貯藏에 있어서도 계속 새로운 技術의 개발에 의해 저장효율이 개선되고 있다. 새로운 斷熱材의 개발로 倉庫의 건설 비가 절감되고 保溫效果가 높아지고 있으며, 冷媒에 있어서도 과거에 사용하던 암모니아 또는 프레온 가스 대신 液化天然가스(LNG)등 새로운 冷媒를 개발·이용함으로써 費用을 절감하고, 超低溫貯藏(-50~100°C) 기술의 도입이 가능하게 되었다.³

그리면, 장래의 食品貯藏形태는 어떻게 변할 것인가? 일부 국가에서 보듯이 地上貯藏에 대체하여 地上貯藏이 본격화될 것인가?

地下貯藏의 확대는 지하굴착기술의 개발 등으로 地下施設의 비용이 地上施設에 비해 저렴하게 될 때 가능하며, 현재의 여건으로서는 그 가능성이 충분하다고 생각된다.

2. 食品 地下貯藏의 장점

地下空間을 이용하여 食品을 저장할 때 地上貯藏에 비해 다음과 같은 長點이 있다.

첫째, 貯藏食品이 외부 기상변화에 영향을 받지 않고, 낮고 일정한 溫度와 높은 相對溫度를 유지할 수 있기 때문에 食品의 品質을 손상시키지 않으면서 長期間 보관이 가능하다. 농산물은 낮고 일정한 溫度에서 呼吸 등 신진대사를 억제하며, 乾燥 發芽가 억제되므로 品質의 저하가 방지된다. 특히 저온저장을 통해 채소·과일 등은 장기간 신선도의 유지가 가능하게 된다.

둘째, 地下貯藏으로 食品貯藏의 安全性이 증가된다. 地下空間은 外氣와 차단되어 있고, 평상시 암반벽면에 冷熱을 비축하고 있기 때문에 停電시에도 庫內 온도가 급격히 상승하지 않으므로 예비전력 없이도 食品의 장기간 저장이 가능하다. 또한 天災地變이나 敵의 공격시에도 피해를 최소화 할 수 있

³ 日本超低温(株)는 세계 최초로 LNG冷熱을 이용하여 냉장 2만톤 규모의 시설을 설치·운영하고 있다. 1989년 韓國가스公社는 食品開發研究院에 平澤지구에서 냉에너지 농·식품저장 및 가공사업에 이용하기 위한 타당성 검토를 의뢰한 바 있다 (金正玉外 1989).

으며, 火災 및 도난의 위험이 적기 때문에 食品을 보다 安全하게 보관할 수 있다.

셋째, 投資費와 운영비의 절감이 가능하며, 地下施設은 시설을 영구히 사용할 수 있는 장점이 있다. 地下貯藏庫는 진입로를 제외한 建物敷地가 필요없기 때문에 土地利用을 절약하게 해주며, 굴착기술의 발달 建物의 간소화로 地上建設 보다 낮은 또는 비슷한 水準으로 건설이 가능하다.

또한, 낮은 热損失로 인해 冷却設備의 용량을 감소할 수 있으며, 電力 및 에너지 비용을 절감할 수 있다. 그리고 시설의 永久性으로 減價償却費도 낮은 편이다.

노르웨이에서의 食品冷凍施設 운영실적에 의하면 초기 冷却期間 이후의 암반동굴저장에 대한 最大冷凍부하는 在來式 저장에 비해 35~40%의 電力費를 절감할 수 있으며, 電力費는 冷藏庫運營經費의 80~85%를 차지하므로 貯藏費用 절감효과가 매우 큰 것으로 지적되고 있다(金正玉 1984.3, 76)

한편, Kansas市의 경우 地上建築物과 비교할 때 地下施設의 비용은 80~90% 수준인 年間 \$0.6~1.2/ft²정도로 2,800평 규모의 倉庫에서 年間 6~12만 \$을 절감할 수 있는 것으로 지적되고 있다. 또한 常溫維持로 불필요한 인력과 에너지 소모를 최소화시켜

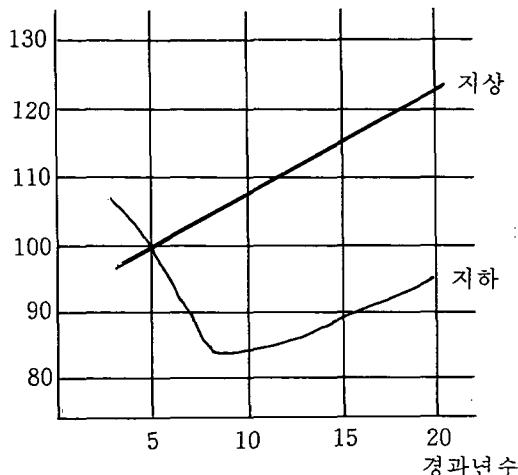
表2 地上 및 地下施設의 年間에너지 소요비교

단위: \$ / ft²

구분	지상(A)	지하(B)	B/A
냉동시설	1.10	0.51	46.4
건식저장시설	0.35	0.18	51.4
사무실	1.00	0.53	53.0

자료: 삼우콘설판트, 「지하공간」 2권, 1987, 12, p.13.

그림2 完工後 地上·地下 冷凍貯藏施設物 運營費 比較



주며, 事務室의 경우 기계설비실을 1/2로 규모를 줄일 수 있어 에너지 소비를 50~80% 절감할 수 있다(지하공간 1987.12 ; 12-13).

3. 食品 地下貯藏의 실태

가. 美國 Kansas市 地下洞窟 貯藏庫

Kansas市는 地下洞窟의 수 및 면적에서 세계적 선두이다.

대부분 石炭岩으로 이루어진 Missouri주, 특히 Kansas市 근교인 Independence지역은 양질의 石炭石이 많이 매장되어 있어 1920년대부터 여러 광산회사들이 채광에 참여해 왔다. 그후 石炭石 채굴로 생긴 많은 洞窟들을 활용하려는 시도가 계속되었으나 많은 시행착오를 겪었다. 일례로서 Harry Truman은 廢礦내부에 호수를 만들어 연어를 양식하기도 했으나 눈 먼 고기가 생기는 문제로 중단하기도 했다.

석회석 채광으로 생긴 地下洞窟은 1930년대까지 건설 및 채광장비를 보관하는데

사용되었을 뿐, 제2차 세계대전이후 처음으로 貸貸되기 시작했다(Woodward 1980 ; 69). 지하동굴이 농산물貯藏庫로 이용되기 시작한 것은 1948년부터이며, 1953년 처음으로 冷凍貯藏庫가 개발되었다(Stauffer 1980, 409). 따라서 Kansas市 地下空間은 2차대전중 무기저장 및 작전실로 사용된 것을 시초로 1950년대 후반부터 산업용으로 본격 이용되게 되었다(지하공간 1987. 12, 9).

오일 쇼코이후 地下貯藏의 비용이 상대적으로 낮은 점 때문에 그 이용이 급격히 확대되었으며, 1970년대초 부터 專門流通業體들이 지하동굴을 매입하여 상업적으로 이용하게 되었다.

立地面에서 Kansas市는 美國 중앙에 위치한 交通의 要地로서 곡물의 저장·분배의 中心地 역할을 해 왔기 때문에 貯藏需要가 많다. 또한 都心을 중심으로 약 22피트 뚜께의 양질의 石炭礦이 각 방향 50마일 까지 광범위하게 분포되어 있어, 채광후 활용성이 높은 地下空間을 저렴한 비용으로 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있다.

또한 地下施設은 地上施設보다 貸貸料와 管理費가 저렴하며⁴, 짧은 工期에 入住가 가능하기⁵ 때문에 貸貸業者에게 매력적이며, 地上業者와 競爭性을 갖게 되었다.

貯藏庫의 구조는 높이 17.5~19피트, 최대 폭 약 1,000m이며, 좌우 50피트간격으

⁴ 地下貯藏庫의 使用料는 100파운드당 冷凍室 \$2.51, 冷藏室 \$1.0, 일반倉庫 ₩8.0이며, 工場이나 사무실은 평당피트당 月 70~150₩에 장기 임대되고 있음.

⁵ 지하구조물의 경우 복잡한 生產施設일지라도 引渡時期는 90일이면 되고 貯藏室은 계획, 건설, 인도에 30일이 소요됨(Woodard 1980 ; 66).

로 직경 25피트가량의 石炭石 기둥에 의해 천정을 받치게 하고 있다. 貯藏庫의 시설은 당초 바닥에 남아 있던 土石을 제거하고, 바닥을 포장한 후, 전기 전화 상하수도를 설치하고, 벽은 흰색 防水페인트를 칠했다.

地下洞窟의 공간은 貯藏施設, 工場用地, 저장시설은 直營하며, 그 밖에는 加工 및 流通業體에 장기 임대하여 운영하고 있다. 貯藏庫는 冷凍室(-15~0°F), 冷凍室(28~40°F), 乾燥室(일반 倉庫, 58~65°F)로 구분되며, 각 室은 브력으로 차단되어 있고, 出入門은 폭 10cm의 두꺼운 비닐을 겹치게 늘려 热損失을 방지하면서 차량통행을 자유롭게 하고 있다.

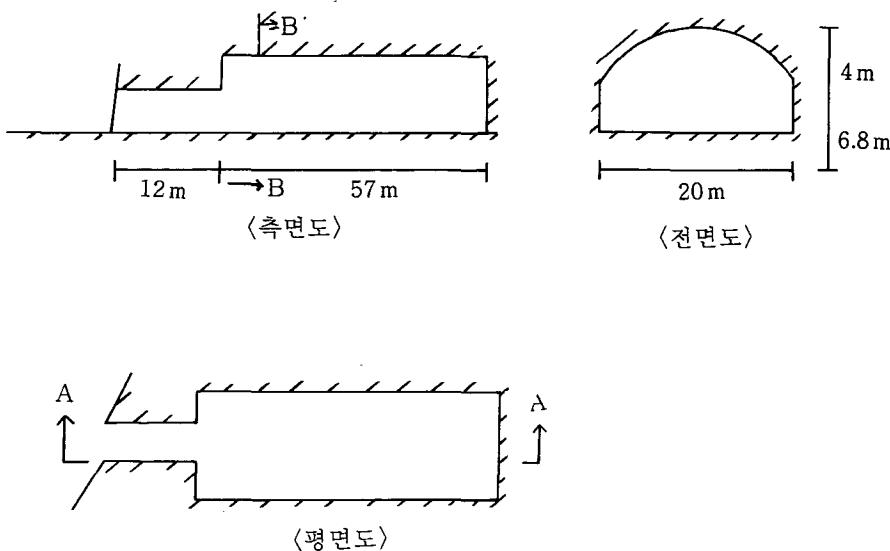
冷凍室에는 냉동 과실, 채소, 토마토, 肉類, 水產物이 주로 저장되며, 冷藏室에는 치즈 등 酪農製品과 견과류, 습도를 조정하는 乾燥室에는 통조림, 설탕, 분유, 차 등과 종이제품, 선박, 가전제품 등 非食料品이 저장되고 있다. 이들 貯藏施設의 주요 고객은 州政府(USDA 및 Food Stamp Program)와 食品加工·流通業體이다.

나. 노르웨이의 地下洞窟

노르웨이는 地下空間이용의 선구적 국가로 地下洞窟을 이용한 食品의 저장도 광범위하게 이루어지고 있다.

Bergen근교에 입지한 G.C.Rieber Co. A/S는 11천m³에 地下洞窟 저장시설을 갖고 있는 會社이다. 이 지하저장고는 폭 27m, 천정높이 6.8~10.8m, 길이 57m, 통로길이 12m로서, 저장고 건설을 위해 대략 23m 높이로 20천m³의 암석을 굴착했다(그림 3).

그림3 地下貯藏施設 構造圖(G.C.Rieber Co.A/S, Bergen, Norway)



施設面에 있어서 천정과 벽면은 암반이 노출되어 있으며, 機械室은 저장실 안쪽에 배치하고, 事務室 서비스室 및 환기시설은 동굴 外部에 배치했다. 입구는 문이 달린 콘크리트 벽으로 되어 있으며, 貯藏室의 바닥은 콘크리트로 되어 있다. 바닥에는 電動 트럭에 의해 상품 운반할 수 있도록 鐵路 (rack)을 설치했다. 冷凍設施은 72Hp의 電氣콤프레샤 2대가 있으며, 이를 이용하여 항상 -22°C 의 溫度를 유지하고 있다(Barbo et.al 1977 ; 163-164).

다. 日本

日本은 1970년 대말부터 地下岩盤 저장시설에 대해 6년간의 調査研究와 실증사업을 실시했다. 宇都宮市 大谷町에 5천톤 규모의 지하암반 저장시설을 건설하여 果實 등을 저

장하고 있다.⁶

그러나, 日本은 1973년 横濱(요코하마)에 연건평 1,500평(저장능력 12천톤) 규모의 液化天然ガス(LNG)를 이용한 초저온 저장시설을 건설하였으며, 지하동굴 대신 LNG 및 LN₂ 冷熱을 이용한 地上低溫貯藏庫를 대규모로 건설하여 운영하는 경향이 있다.

라. 우리 나라의 事例

우리 나라에서 民間에 의해 穀物을 地下에 저장한 事例나 試驗結果는 알려지지 않고 있다. 다만, 軍事目的으로 軍糧米의 일부를 地下洞窟에 저장하고 있으며, 國防科學研究所에서는 1986년 및 1987년에 白米와 壓麥의 특수저장(동굴저장) 방안에 대한 시

⁶ 한국식품개발연구원 미발간자료(1991.7).

힘이 있었다. 그러나 이 研究는 地下洞窟의 구조나 시설에 관한 연구가 아닌 長期保管을 위한 포장자재에 대한 시험이 있다(이상 규외 1987).

國內에서 食品 地下貯藏을 위한 시험으로는 農漁村開發會社 綜合食研究院에서 1977~79년 기간중 地下 움을 이용한 밤의 장기저장 시험을 한바 있으며, 1983년 地下岩盤 저장시설 실용화를 위하여 노르웨이 등을 현지조사한바 있다. 또한 1983년 農產物 岩盤貯藏의 실용화를 위해 부여에서 타당성 검토를 하였으나 현지 岩質의 불량으로 건설을 보류한바 있다.⁷

과거 감자·무 등 움貯藏法이 일반화 되었으나 대관령지역의 경우 1986년 이후에는 半地下式 또는 家屋式 貯藏庫가 출현하면서 움貯藏法은 일부 영세농가에서만 존속하고 있다.

가나안農軍學校에서도 洞窟을 이용하여 고구마를 저장한바 있으나 현재에는 고구마 재배를 중지하고 김치貯藏庫로 이용중이다. 濟州島 大靜單協에서는 제2차 세계대전 당시 日本軍이 彈藥庫로 사용하던 洞窟을 이용하여 1975~85년 기간중 種子用 고구마를 저장한바 있으나 그 후에는 施設의 노후화에 의한 부패량의 증가, 管內 種甘의 이병을 증가에 따른 需要農家の 구입 기피로 현재에는 이용이 중지된 상태이다.(表3)

또한, 地下洞窟이 國내에서 食品貯藏에 일반적으로 사용되는 것은 새우젓을 熟成·貯藏하는 것이다(表 4). 土窟(地下洞窟)은

表3 고구마 地下貯藏實績(濟州, 大靜單協)

○ 貯藏庫面積: 60평
○ 保管能力: 85M/T
○ 貯藏實績(1975~1985年): 729M/T(年間35~85M/T)
○ 保管巾 腐敗率(1975~1985年): 平均 23%(15~29%)
○ 事業效果 - 一種甘購入에 따른 經費節減 및 고구마 生產意慾 고취 - 一種甘價格의 안정화
○ 問題點 - 施設 낙후 및 原始的인 貯藏으로 管理상 어려움이 많음

表4 새우젓 貯藏 土窟 現況

구분	新安郡 임자도	보령郡 廣川邑
個 所 數	4개	20개
所 有 者	新安郡 水協	大川水協(2) 民間(18)
總 空 邊 길 이	400m(각100m)	4,700m 最長350m 最小100m
貯 藏 規 模	480M/T (각120M/T)	2,180M/T 最高 400M/T 最低 40M/T
現 貯 藏	236M/T	580M/T

資料:水協中央會, 1991.6.

15~16°C의 적정 測度 및 熟度의 유지가 용이하기 때문에 새우젓의 熟成이 용이하며 보관시 변질의 우려가 없어서 새우젓 저장에 편리한 것으로 알려져 있다.

V. 食品 地下貯藏의 經濟性

본 研究資料의 기본적 目的是 현재의 地上食品貯藏方法에 대신하여 地下貯藏方法의

⁷ 한국식품개발연구원 미발간자료(1991.7).

도입이 가능한가를 분석하는데 있다. 이를 위해서는 地下貯藏方法의 技術的 經濟的 安當性을 분석하여, 地上貯藏方法과 비교·검토할 필요가 있다. 다만, 技術的인 것은 현재 지하굴착기술과 設備기술이 크게 진전되고 있다. 地理的으로도 우리나라는 지하굴착에 적합한 岩盤構造를 갖고 있는 것으로 알려져 있으며 좀 더 구체적인 검토가 필요할 것이나 본 연구에서는 제외했다.

經濟的 평가를 위해서는 建設·運營費를 포함한 전체費用에 의한 收益率이나 純現存價值 등을 평가해야 하나 이는 立地 및 施設形態에 따라 큰 차이가 있으며, 본 연구에서는 시간과 資料의 제약으로 기본적建築費만을 比較кова 한다.

관념적으로 地下貯藏施設 건설은 高價가 소요될 것으로 생각되었으나 개략적 建設費用을 추정한 결과 地下貯藏施設은 地上貯藏施設에 비해 충분히 經濟性이 있는 것으로 판단되며, 노르웨이의 事例나 과거 農水產物流通公社에서 분석한 자료에서도 정도의

차이는 있으나 地下貯藏施設이 유리하게 나타났다(表 5)。

특히, 費用計算에서 土地購入費는 제외했으며, 計算의 單純化를 위해 機械 및 電氣시설비는 제외했다. 따라서, 地下施設은 土地購入費의 대부분을 절약할 수 있으며, 溫度변화가 적기 때문에 地上施設에 비해 훨씬 적은 容量의 시설로도 地上施設과 동일한 溫·濕度의 유지가 가능한 것으로 나타났다. 또한 굴착비중 보강콘크리트費用이 큰데, 이는 노르웨이 事例에서 보듯 硬質岩盤에서는 생략할 수 있다. 따라서, 土地購入費, 부대시설 등을 고려하면 地下施設이 地上施設에 비해 보다 유리할 수도 있다. 다만, 이 추정은 개략추산에 불과하며, 地下貯藏施設 건설을 위해서는 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

VI. 政策的 提案

1. 食品貯藏方法의 선택

우리 나라는 70%가 山地이며, 대부분의 山地가 地下洞窟 굴착에 적합한 地質構造을 갖고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 都市 지역의 높은 地價, 南北의 대치상황 등을 고려할 때, 地理的 經濟的 安保的 측면에서 地下空間을 이용한 食品貯藏方法에 대해 긍정적으로 면밀히 검토할 필요가 있다. 특히, 政府가 米穀 收買을 散物收買로 전환할 때 그 필요성은 보다 클 것이다.

地下貯藏方法은 (1)中國·南美등 開途國에서 일반적으로 이용되는 表層地下에 구덩이

表5 貯藏施設 形態別 建築費 比較

區分	地下貯藏 施 設	地上貯藏施設	
		低溫	冷凍
調査値 ¹⁾	1,754천원	2,800천원	3,360천원
流通公社推定 ²⁾	532,276천원	—	584,809천원
노르웨이 ³⁾	\$ 92	—	\$ 124

註1) · 純可用面積 1坪當 기준(附表1)

- 計算의 單純화를 위해 機械 및 電氣施設費는 제외했으나 地下貯藏施設의 경우, 温度變化가 적어 보다 작은 容量의 施設로도 地上施設과 동일한 温度 및 濕度維持가 가능할 것임
- 土地購入費는 제외했며, 이를 고려하면 地下貯藏施設의 費用効果는 더욱 클 것임

2) · 貯藏庫面積 1,430m² 기준(附表2)

3) · 純可用面積 1坪當 기준(附表3)

를 파고 空氣密閉式으로 저장하는 方式, (2) 노르웨이 方式의 小規模 人工地下洞窟型, (3)美國 Kansas市方式의 폐광이나 기존 洞窟을 이용하는 대규모 地下洞窟型 등 3가지로 크게 분류할 수 있다.

(1)의 方法은 施設費는 낮으나 人力消耗型으로 上·下役作業 등에 어려움이 예상된다. 또한 保管性, 技術수준에서 현재 國內에서 利用되는 地上貯藏方法보다 後進的이라 하겠다. (3)의 方法은 地理的 特殊 상황에서만 가능하며, 우리나라와 같이 鎌山이 山間奥地에만 위치한 경우 輸送문제로 그 活用이 어렵다. 따라서 우리 나라는 (2)의 方式인 순수 貯藏庫를 목적으로 山地에 人工的 地下洞窟을 굴착·이용하는 노르웨이方式을 종점검토하는 것이 좋을 것이다.

특히, Kansas市와 같이 廢礦을 이용할 때에는 별도의 굴착비용이 소요되지 않는 장점이 있으나 地下空間이 불규칙하며 計劃的 開發이 제약된다. 반대로 노르웨이와 같이 食品貯藏을 본래의 目的으로 地下굴착했을 때에는 별도의 굴착비용은 소요되나 使用者가 편리하도록 設計할 수 있고, 構造의 확실한 安全性을 가질 수 있어서 오히려 경제적 일 수도 있다(Woodard 1980;68).

한편, 日本에서는 LNG冷熱을 이용한 超低溫 食品貯藏庫가 이용되고 있으며, 1989년 食品開發研究院에서는 韓國가스會社의 위탁으로 그 타당성을 검토한 바 있다.

결론적으로 食品의 地下洞窟저장 방법은 충분히 經濟的·技術的 가능성이 있는 것으로 판단되나 LNG 冷熱이용 등 새로운 貯藏技術의 진전을 충분히 고려한 후 장차 발전시킬 효과적인 貯藏方法을 선택해야 할

것이다.

2. 추진을 위한 先決 檢討과제

地下空間의 開發·活用은 이미 그 가능성과 현실적 利點이 증명된 미래지향적 開拓分野이다. 그러나 地下空間개발에는 地上開發과 다른 여러가지 문제점이 따른다. 이들 문제점을 요약하면 다음과 같다.

(1) 法律·制度的 問題

- 地下所有權과 地下所有權의 分離·登記·租稅 등과 관련된 法規整備
- 建築法·都市計劃法 등의 정비
- 地下施設에 대한 安全基準 및 環境基準의 設定

○ 地下施設에 대한 保險問題(美國의 경우, 초기에는 保險會社가 보험가입을 회피하거나 매우 높은 高率의 保險料를 부과함)

(2) 기술적 제약

- 最新 特殊工法의 導入 및 開發
- 地下空間의 生活環境 改善(신선한 空氣, 通風, 光線 등)

(3) 安全性

- 火災, 毒ガス, 먼지, 폭발물 저장으로 부터의 危險

○ 構造物의 長期的 安全性 問題

(4) 地下施設에 대한 心理的 忌避現狀 해소

- 業界의 參여유도와 一般의 認識 改善
- Kansas市의 경험에서 보듯 이러한 문제는 쉽게 해결되는 것이 아니다. Kansas市地下空間내 8개 業體는 地下空間의 물리적 安全性, 地下空間이 사용자에 미치는 심리적, 육체적 영향에 관한 조사연구, 地下空間利用 및 開發에 대한 活用 制度의 문제들을

해결하기 위해 地下空間開發家協會(Underground Developer's Association, UDA)를 결성했다. 1973~74년 Misouri大는 Kansas市地下空間計劃을 수행하면서 市가 地下空間產業의 계획 및 조성분야를 적극 지원해 줄 것을 市當局에 요구했으며, 市當局은 이를 긍정적으로 받아 들였다. 그래서 Kansas市의 地下空間開發은 業界(UDA), 學界(Missouri大), 政府가 공동으로 참여하여 종합적이고 체계적인 개발계획 수립 및 현안문제에 대한 해결을 가능하게 하였다 (Vitt Kjelshus 1980, 290-291). 따라서, 우리나라도 地下空間을 적극적으로 개발하기 위해서는 先進國의 경험을 바탕으로 法的·制度的 문제를 해결하고 地下空間 사용에 대한 홍보를 통해 이의 개발이 촉진되도록 행정조치가 취해져야 할 것이다.

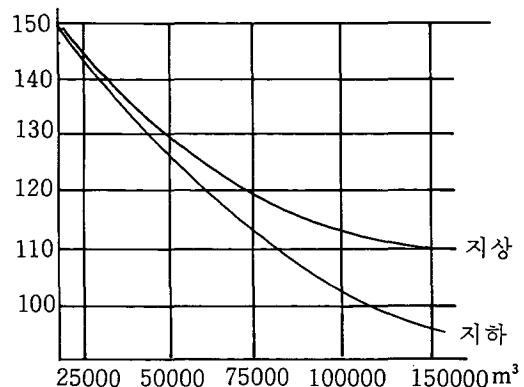
3. 食品 地下貯藏庫 開發

食品의 地下貯藏 施設을 개발하기 위해서는 政府가 적절한 事業施行主體를 선정하여, 그 추진을 전적으로 맡기는 것이 좋을 것이다. 이의 추진주체로서는 價格安定을 위해 농수산물을 收買·備蓄하며, 농수산물 유통개선 시범사업을 수행하고 있는 農水產物流通公社가 적합할 것으로 생각된다.

地下貯藏施設은 地上施設에 비해 規模의 경제성이 크기 때문에(그림 4)民間에 의한 小規模 시설보다는 公共機關에 의한 大規模 시설이 유리하다.

또한, 地下貯藏庫 건설에 따른 시행착오를 줄이기 위해서는 사전에 면밀한 經濟的·技術的 타당성이 검토되어야 하며, 業界, 學界

그림 4 施設規模別 地上·地下 冷凍貯藏施設 工事費 比較



및 專門家, 政府로 구성된 委員會를 구성하여 기술적, 경제적, 타당성 검토와 법적·제적도 문제를 연구·검토해야 할 것이다.

地下貯藏庫 건설의 成敗에는 적절한 암반 구조를 가진 適地選定이 가장 중요하며, 規模의 經濟性이 크며, 輸送이 편리해야 하므로 우리나라의 경우 產地보다도 대량 소비처에 인접한 都市近郊가 유리할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 金正玉, “先進國 冷凍冷藏 어디로 가고 있나?”, 「農光」, 農水產物流通公社, 1984.3.
- _____, 「LNG冷熱利用 低溫食品事業 安當性 檢討」韓國食品開發研究院, 1989.10.
- 삼립컨설팅, 「지하공간」제2호, 1987.12
- _____, 「지하공간」제3호, 1988.6.
- _____, 「지하공간 활용방안」, 1985.5.
- 이상규외, 「군량미 특수 저장방안(제2보)」 국

방과학연구소, 1987.12.

Barbo, Tor F., Per Bollingmo, "Experience From Cold Storage Plant in Rock Cavern," *Rock Store 77, Storage in Excavated Rock Caverns, Proceedings of International Symposium, Stockholm, 1977.*

Dunkel, Florence V., "A New Era for Underground Food Storage," *Tunneling Underground Space Technology, 2(4), 1987.*

Stauffer, Tuman P., "Grain, Seed, Food Storage and Farm Machinery Manufacturing The Kansas City's Use of Underground Space to the U.S Agricultural Midwest," *Rock Storage Subsurface Space Proceedings of International Symposium, Sweden, 1980.*

_____, "Kansas City's Use of Limestone Mines for Business, Industry, and Storage," *Rock store 77, 1977.*

Sterlin, Raymond L. et. al., "Underground storage of Food," *Underground Space, Vol.7, Feb./Apr. 1983.*

Vitt, Joseph E., Ben Kjelshus, "Developing Kansas City's Underground Space," *Underground Space 4(5), Pergamon Press Ltd, 1980.*

Woodard, D.R. "The Kansas City Underground Experience," *Rock Storage, 1980.*

附表1. 純可用面積 1坪當 貯藏施設 建設費 推定 資料

가. 地上 貯藏施設 건설單位

단위: 천원(평당)

	建築	機械	電氣	間接費	計	純可用面積當 ¹⁾
低溫	1,400	600	200	300	2,500	2,800
冷凍	1,680	780	200	300	2,960	3,360

註 1) : 純可用面積比率 50% 를 적용했으며, 建築費만 고려함.

資料 : 流通公社

나. 地下 洞窟 굴착費用

〈제원〉

- ①굴착량: $5.3m \times 5.3m \times 120m = 3,371m^3$
(내면面積: $5m \times 5m \times 120m = 3,000m^3$)
- ②벽면 콘크리트보장: 0.15m 두께의 콘크리트의 4면 콘크리트
- ③조명 시설 설치

〈소요비용〉

- | |
|--|
| ①굴착비: $3,371m^3 \times 10,000 = 33,710$ 천원 |
| ②보강콘크리트: $370.8m^3 \times 132,000 = 48,946$ 천원 |
| ③Lining: $121.2 \times 56,000 = 6,787$ 천원 |
| ④조명: 1식 $4,000$ 천원 |
| 계: $93,443$ 천원 |

○ m^3 당 동굴축조비용: $93,443$ 천 원 $\div 3,000m^3$

$\approx 31,000$ 원/ m^3

○ 바닥면적 1평당 비용: $31,000$ 원 $\times 19.8m^2 =$

613.8 천 원

(1坪 = $3.3m^2 \times 6m = 19.8m^2$, 높이 6m 가정)

○純可用面積 1坪當:1,754천 원

(純可用面積 比率 35% 적용)

기초자료:극동建設

附表 2 : 地上·地下 貯藏施設 建設費 및 運營費 比較 分析(農水產物 流通公社 1984.)

○ 施設費

구분	기준(지상)방식	암반동굴저장	비 고
貯藏庫面積	1,430m ² (433평)	1,430m ² (433평)	
規 格 (m)	24W×60L×5.5H	10W×143L×7H	
建 物	362,582,000	309,949,000	52,633
機 械	163,746,000	163,746,000	0
電 氣	58,481,000	58,481,000	0
계	584,809,000	532,176,000	52,633

○ 運營(可動)費

단위 : 천 원

구분	기준방식	암반동굴저장	증	감
電 力 費	80,640	43,546	37,094	46%
用 水 費	7,000	1,750	5,250	75%
減價償却費	10,000	2,000	8,000	80%
補 修 費	2,000	400	1,600	80%
계	99,640	47,696	51,944	(52%)

註 1) 年間 可動率:70%

2) 減價償却:定額法, 건물, 건물부속기기설치:25년

기타, 기계설비, 하역기계:6년

附表3:洞窟貯藏과 地上貯藏 施設費 比較(G.C.Rieber Co. A/S, Bergen Norway)

A. 洞窟貯藏

—總費用:\$ 350,500

總面積:11,000m³

貯藏室 純面積 3,850m³

m³당 建設費(순면적) \$ 91

B. 地上貯藏庫

—m³總費用:\$ 62

m³당 建設費(純面積): \$ 124

(총面積의 50%)

*建築費와 施設費 모두를 포함함. 단, A는 事務室
및 서비스室은 제외했으며, B는 土地 및 基礎費
를 제외함.

자료:Barbo, Tor F. and Per Bollingmo, "Experience
From Cold Storage Plant in Rock Cavern,"
Rock Store, 1977