

농수산물 및 식품의 지하 저장

신희순¹⁾ · 박연준¹⁾ · 권광수²⁾

Underground Storage of Food

Hee-Soon Shin, Yeon-Jun Park and Kwang-Soo Kwon

ABSTRACT

Underground offers many advantages for storing agricultural and marine products. Since it is confined by thick walls of rock it is easy to control temperature and humidity and to achieve air and water tightness. Also, damages by rodents and insects could be avoided. Flexibility in choosing the location is another advantage that underground could offer. Consequently the goods could be stored near the big city to meet the demand change. Because of these advantages, many underground food storage facilities were built and operated successfully in U.S. and many European countries. On the other hand, there is no underground food storage facilities in Korea despite the need is growing rapidly. This paper describes the case studies of foreign food storage and technologies related to food storage were analyzed and evaluated. Also performed is analysis of domestic technologies for construction and operation of underground food storage facilities to deduce the fields of studies that have to be conducted.

1. 서 론

UR협상 타결로 농수산물에 대한 무역정책이 수입제한 위주에서 수출입 물량과 국내 농산물의 연계관리로 방향 전환이 불가피함에 따라 국내 농산물 가격 안정을 위해 장기저장이 가능한 경쟁력있는 대규모 농수산물 저장 비축 시설의 필요성이 대두되고 있으나 현재의 저장시설로는 국내 총생산량의 10% 만을 저장할 수 있어 저장시설이 현저히 부족한 실정이다.

저장시설에는 지상, 지하의 두가지 저장 방법이 있다. 지상저장시설은 높은 지가, 위치제한 등 어려움이 있으며 저장고의 벽면과 내부온도와의 차이로 인해 열복사 및 대류가 발생하여 내부공간의 온·습도 분포가 균질하지 못해 저장식품의 품질저하와 에너지 손실이 발생한다. 지하저장 시설에서 암반은 열전도

율이 낮고 벽면을 이루는 주변암반이 큰 열용량을 지니고 있어 냉각, 냉장 및 보온 시설물로 사용할 경우, 일정한 온도를 유지하는 데 유리하며 또한 공기의 출입이 한정되어 있어 내부공기의 온도 및 습도 조절이 지상저장시설에 비하여 용이하다. 농수산물 및 식품의 지하저장은 지하공간이 주는 일반적인 잇점 이외에도 크게 두가지 측면에서 잇점이 있다.

첫째는 생산지에서 직접 소비지와 매우 근접한 곳으로 운송하여 대량의 물품을 비축하여 농음으로써 성숙기 및 비수기에 의한 수요 변화에 쉽게 대처할 수 있다. 둘째는 지하에 저장시설을 만든다면 우선 각 저장물에 요구되는 온도 및 습도조절이 용이하고 밀폐가 쉬우며 도난 및 설치류, 해충등에 의한 피해를 줄일 수 있다. 전 세계적으로 15~20%의 곡식이 저장중에 손실된다는 사실을 인식할 때 지상보다 저장

* 1994년 8월 22일 접수

1) 정회원, 한국자원연구소 자원개발연구부 선임연구원

2) 정회원, 한국자원연구소 자원개발연구부장

조건이 좋은 지하공간의 이용은 필연적이라고 할 수 있다.

미국과 유럽의 여러나라에서는 지하암반 내부에 저장시설을 갖추어 곡물저장, 수산물의 냉동저장, 농산물 및 빙과류, 음료수, 주류 등의 저장에 이용하고 있다. 예를 들어 미국의 캔사스 시에서는 지하공동을 이용하여 식품을 비롯한 가공제품과 원료를 대규모적으로 저장하고 있으며 노르웨이, 스웨덴에서는 지하암반저장고에 아이스크림, 냉동육, 청어 등을 냉동 및 냉장상태로 저장하고 있다.

이에 반하여 국내에서는 지하 움을 이용한 농산물 저장, 폐갱도 및 토굴을 이용한 젓갈류의 숙성 및 저장, 폐광산을 이용한 버섯재배 등 소규모적인 지하저장사례는 있으나 외국의 경우처럼 상업적인 목적으로 건설된 전문적인 저장시설은 없다. 국토의 2/3가 산지이고 어느 도시이나 산이 존재하는 국내의 지질, 지형학적인 여건에 비추어 에너지 절약과 토지이용의 극대화를 꾀할 수 있는 지하저장기술에 관한 연구, 검토가 요구된다.

2. 지하 식품저장시설의 장점 및 이용형태

지상 저장고에 저장된 곡물의 품질 저하 및 저장량의 손실원인은 주로 곤충, 진드기, 쥐, 새, 곰팡이 등의 진균류의 활동에 의한 것이다. 산소공급이 충분할 경우 썩이 트기 때문에 곡물을 장기 저장하기 위해서는 산소의 차단 등 저장곡물이 휴면상태에 있도록 하여야 한다. 곡물의 지상저장에 비하여 곡물 지하저장의 장점은 다음과 같다.

- 외부 기후의 영향을 거의 받지 않아 일정한 온도와 높은 상대습도 유지가 가능
- 단열벽시공의 생략 및 건물기초, 외장마감 등이 불필요하여 지상의 곡물저장 시설에 비하여 건설비 감소
- 지하저장시설은 인간이나 짐승의 접근이 곤란함
- 지하저장시설은 화재, 방사능 낙진, 강수, 지하수, 낙뢰의 우려가 없음
- 암반 자체가 곤충과 미생물 등 생물학적 요소에 대한 방벽 역할을 함
- 약 13°C 정도의 저온에서는 곤충류의 번식이 억제됨

- 지하저장시 곡물간 간극내 산소량이 2~3%에 불과하므로 곤충, 진드기의 서식이 불가능함(대기중 산소량은 20%)

- 과다한 살충제 사용이 불필요하므로 운영 경비 절감 및 곡물의 품질 향상

- 저장시 균일한 온도에 의하여 국부적인 수분 농축을 방지

- 온도변화가 적어 기계설비 고장시 저장고 내의 공기온도의 급격한 상승이 없어 저장품의 품질 악화가 없음.

식품의 지하저장 형태를 유형 별로 보면 움, 동굴 등을 이용하여 밀폐식 곡물저장을 하거나 콩, 과일, 서류, 건류 등의 비가공 식품을 대상으로 한 저온저장하는 방법, 가공식품의 건조저장하는 방법과 가공, 비가공 식품의 냉장, 냉동 저장하는 방법으로 크게 나누어진다.

이중에서 냉동저장(Cold Store)은 부패하기 쉬운 식품을 오랫동안 고품질 상태로 유지, 보관하는 방법으로 -18~-25°C 사이의 온도를 유지한다.

한편 냉장저장(Chilled Store)은 과일이나 채소, 생선, 육제품의 단기저장하는 방법으로 저장제품에 따라 -2~+10°C 사이의 온도를 유지하는 데 이러한 온도에서는 박테리아의 활동이나 미생물의 성장을 저하시킬 수 있을 뿐으로 저장기간은 제한적이다. 노르웨이, 미국의 예는 지하암반저장이 지상저장에 비해 최대 냉각 용량이 70~80%까지 감소하고 에너지 소비는 65~80%까지 절약한다고 보고된 바 있다.

3. 외국의 식품 지하저장 사례

3.1 중국

지하 식량저장고는 수천년의 역사를 가지고 있다. 수나라 때(AD 602~603) 지하곡물 저장고를 건설 사용하였으며 화남지방의 Lou yang에 있는 Hanjia 곡물저장소는 낮은 지하수면과 Loess 토양의 특성으로 당나라 때까지 사용되었다. 지하곡물 비축은 고대로부터 전쟁과 흉년에 대비하여 마련되었지만 현재는 종자 보관이나 상품으로서의 식량보관에 이용되고 있다. 저장고의 규모도 수백톤~수만톤으로 확대되고 있다.

최근에는 같은 화남지방에 벽돌로 지은 지하곡물 저장고를 건설 사용하고 있는데 Bitumen으로 방수

및 밀폐 처리하여 500~4,000 ton 규모의 지하곡물 저장고를 건설하였다. 최근의 동향으로는 도시지역에 소비자와 가까운 지역을 선정, Soil층에 용량이 작은 Silo를 건설 중이다. 이러한 형태의 곡물저장고는 상업적인 곡물의 일시적 저장에 적합하다. 중부 및 북서부 지방에서는 지하원형 곡물저장고를 Loess층에 건설하고 있는데 원형의 Bungle 모양의 단면구조가 가장 좋은 것으로 판단되었다. 이 원형 지하곡물저장고는 지상 곡물 저장고 건설비의 25~60%이다.

동부 연해지방에 건설된 지하암반 내의 평면배치형과 수직원주형 지하저장 저장고와 화북지방의 토양층 천부에 건설된 원통형 지하저장고를 소개하면 다음과 같다.

3.1.1 평면배치형 지하저장고

중국에서 사용되는 평면배치형 지하저장고의 형태는 산모양에 따라 선정하는데 저장고의 평면 배치는 입구의 산세가 가파롭고 사면이 안정되어 있고 배수가 잘 되며 저장고 바닥의 표고가 역사상 최고 홍수수위보다 0.5 m 이상 높은 곳에 선정하며 저장고의 주향은 암반주향과 직교하는 것이 좋다.

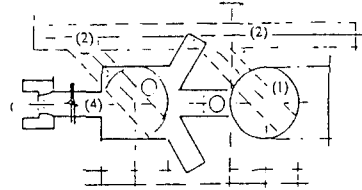
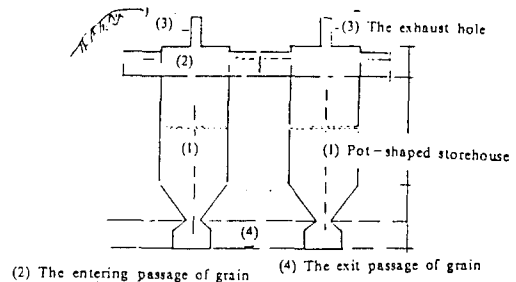
암반내 지하저장고의 안정성은 설계의 주요 과제가 되는데 산세가 크고 경사가 급하며 열극수대와 단층 파쇄층을 피하고 암질이 양호한 곳을 선택한다. 저장고 입구 상부의 암반층 두께는 6 m 이상이고, 주 저장고 상부 암반 두께는 15 m 이상이 되어야 한다.

주변암반이 비교적 파쇄되어 안정하지 않는 경우에는 NATM 공법을 사용하여 공동을 굴착하고 슛크리트, 록볼트로 1차 지보를 하고 공동 주변 암반의 거동을 계측하면서 주변암반이 안정되면 얇은 라이닝으로 2차 시공한다.

중국에서 이미 건설된 지하저장고는 입구와 통로 부분의 갱도는 폭이 2.0~3.6 m, 측벽 높이가 2.5~4.0 m이며 주 저장고의 폭은 4.0~10 m, 측벽의 높이는 3.5~6.0 m이다. 암반내 저장고의 방수, 방습조치는 또 하나의 주요한 과제이다.

방수작업은 지표에서의 배수처리를 우선으로 하여 지표상의 웅덩이와 단층 파쇄대에 방수시공을 하고 굴착과정에서 단층파쇄대와 물이 새는 균열대를 Grouting으로 방수처리하고 라이닝과 주변암반 사이에는 방수천으로 방수층을 만들고 스며든 물은 저장고 바닥으로부터 저장고 밖으로 배출케 한다.

평면배치형 지하저장고는 여러 곳에 분산이 어렵고



- (1) The rock stratum
- (2) Filter built by laying dry rubble
- (3) Water proof mortar layer
- (4) Waterproof layer built by 2 felt and 3 grease
- (5) Lining
- (6) Waterproof mortar layer

Fig. 1. Cross-section of underground vertical pot-shape store.

저장고공간의 이용율이 낮으며 유동과정의 기계화가 불가능하고 토지 점유 면적이 큰 것이 단점이다.

3.1.2 수직원통형 지하저장고

평면배치형 지하저장고와 비교하면 수직갱도 공법으로 시공할 수 있어 같은 체적을 굴착할 때 수평갱도보다 건설비용이 적다. 수직원통형 저장고가 지반에 주는 압력이 매우 크기 때문에 수직원통형 저장고를 지상에 건설할 때는 막대한 지반 보강이 필요하지만 지하에서는 암반층이 지탱하기 때문에 지반보강 공사량이 매우 작아서 비용을 절약할 수 있다.

구조적인 특징으로서 Fig. 1의 지하 수직원통형 저장고는 높이 31 m, 상하 자동차 통로 높이가 9.8 m 이어서 총 높이는 40.8 m이며 직경은 11.0 m이다. 하부의 곡물 반출 입구의 각도는 45도 이상이며 두개의 통 체벽 사이의 거리는 직경의 1.5배이다.

방수·방습조치는 Fig. 1에 표시한 바와 같이 라이닝과 암벽사이에 석재층, 모탈방수층, 2층 Felt, 3층 구리이스 방수층을 만들어 놓고 라이닝 내벽에도 물

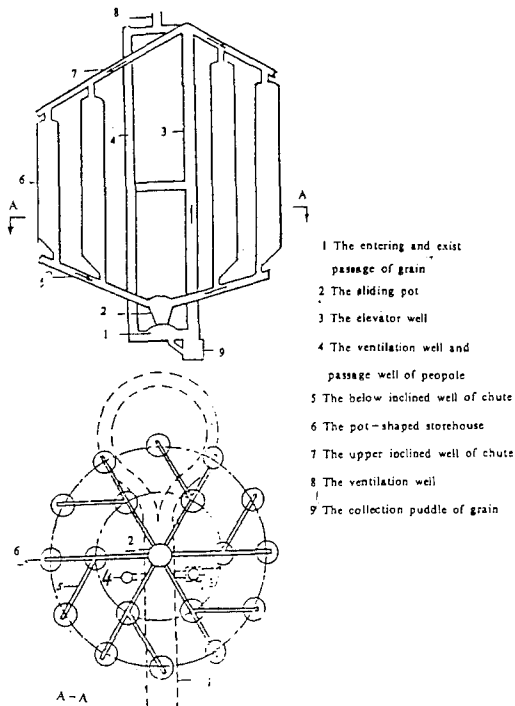


Fig. 2. Design of underground vertical pot-shape store.

탈층을 철했다. 지하 수직원통형 저장고의 시공은 먼저 진입경도를 파고 아래로부터 상부로 향하여 발파로 확대한다.

Fig. 2는 중국에서 새로 설계한 수직원통형 암반층속의 저장고의 예이다. 이같은 한 개의 저장고에는 1.5만톤의 양식을 저장할 수 있다. 이 저장고는 한쌍의^{3,4)} 경도를 중심으로 4개의 수직원통,⁶⁾ 짧은 경사경도,^{5,7)} 중심 통로경도²⁾와 하나의 통풍경도로 구성된 방사형태의 공간이다.

곡물은 중심통로로 운반되며 수집갱⁹⁾에 부리면 승강갱³⁾에 설치된 엘리베이터로 상부 경사갱⁷⁾에 올라다 슈트로 각 수직원통형 저장고⁶⁾에 분배하여 저장한다. 출고시에는 원통저장고의 바닥 문을 열어 곡물을 하부경사갱⁵⁾에 흐르게 하여 슈트로 운반차량에 싣는다.

3.1.3 토양속의 천층 곡물저장고

토질층에서는 암반층과 같이 대규모 지하공간 건설이 어렵기 때문에 중국에서는 작은 규모의 천층 지하곡물 저장고를 대량으로 건설하고 있다. Fig. 3은 이미 건설된 토양층 속의 저장고이다. 구조는 덮개,

저장고바닥, 저장고 벽 및 곡물 출입구로 구성되어 있다.

3.2 이스라엘

유대인들은 서기전 1,000년부터 Pit storage를 이용 곡물을 저장하였는데 이 저장소에는 Lining이 없었으나 최근 두겹의 Polyethylene liner를 사용하여 시험한 결과 습윤 상태가 변하지 않았고 세균, 곰팡이류 및 해충의 번식을 막을 수 있었다.

3.3 Cyprus

AD 300년경부터 1950년도까지 Flask 모양의 Storage pit에 곡물을 저장하였다.

3.4 Malta

Storage pit가 1600년경부터 1960년대까지 사용되었다. 적갈색의 Clay를 방수제로 사용하였고 바닥에 구멍을 뚫어 물이 배수용 Pit로 흘러가게 설계되었다.

3.5 Turkey

4~12개월 보관용으로 밀 저장고를 지하에 건설하여 사용하였다.

3.6 Yemen, Iran, Africa 국가

Africa 국가, Yemen 및 Iran 등지에서도 지하곡물 저장소를 이용하였다. Africa의 Morocco, Nigeria, Somalia, Ethiopia, Tanzania, Kenya, South Africa 등의 국가에서도 300~400년 동안 지하저장소를 이용하고 있다.

3.7 Brazil

Polyethylene으로 Lining 한 소규모의 지하 Pit를 사용한 결과 옥수수 및 콩 보관시 해충으로 인한 피해를 많이 줄일 수 있었다. 지하장기저장으로 인한 발아율 저하도 발생하지 않았다. 측정 결과에 의하면 CO₂ level이 15.8%까지 상승하였다가 7~10%로 떨어져 그대로 유지되었고 O₂ level은 4%에 온도 6°C가 유지되었다. 다만 곡물의 지방산도가 2배로 증가하였다.

3.8 Argentina

45년 전부터 대규모로 밀을 Bulk 상태로 지하에

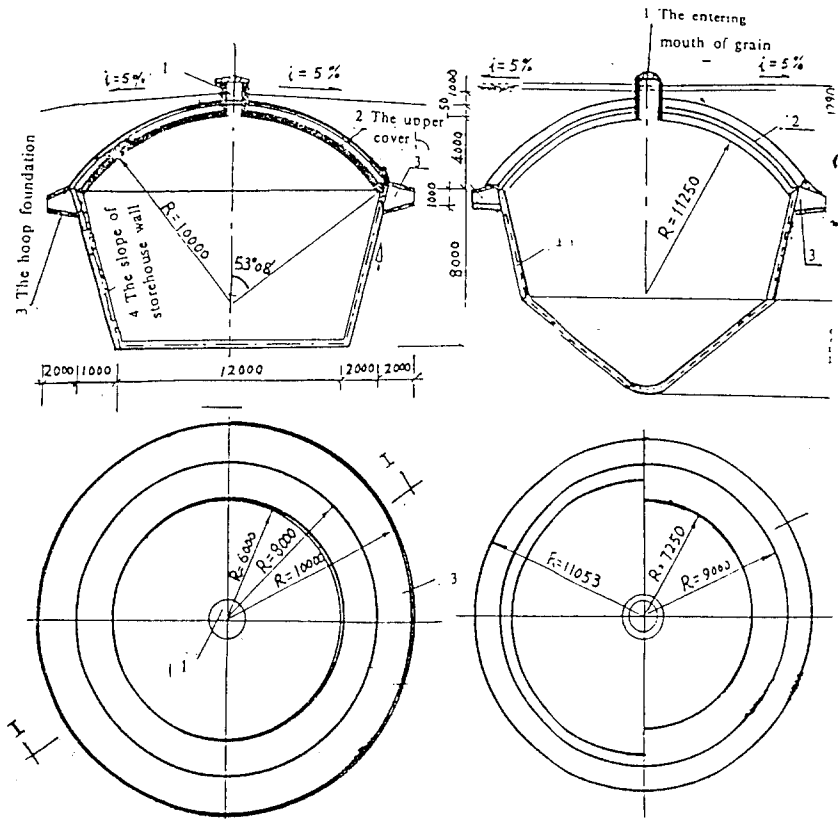


Fig. 3. Underground grain storage facility in soil.

저장하여 오고 있는데 50만 ton의 밀을 최대 3년까지 저장할 수 있다고 한다. 덩고 습기가 많은 지방에 1,474개의 Silo를 건설하고 바닥은 Cement로 하여 매 Silo마다 600 Ton의 밀을 저장한다.

3.9 호주

Queensland에서도 맥류저장에 10 m×5 m×2 m 크기의 지하 Pit를 사용하고 있다. Pit의 내부는 방습 및 밀폐를 위하여 Polyethylene으로 Lining 하였는데 측정 결과에 의하면, 3년반 후에도 맥류의 수분 함량은 10.2~10.8%, 발아율 97%의 좋은 성과를 올렸다. Pit는 겉쪽은 Laterite 토양에 건설하였는데 지상의 강철 Silo 건설비의 1/10, 지상 Concrete silo의 절반 가격이다. 이외에도 Victoria와 New South Wales에서는 흙으로 덮은 Bunker type의 지하곡물 저장시설을 사용하고 있다.

3.10 프랑스

1820년부터 중국의 지하 곡물 저장소와 비슷한 Flask 모양의 지하 Silo를 사용하고 있는데, 150 ton까지 저장이 가능하다. 포도주를 익히기 위해 지하에 저장하고 있다.

3.11 헝가리

Takajhegyalja 지방에서는 산중턱에 조성한 지하저장고를 포도주 숙성 및 저장에 이용하고 있다. 포도주의 저장 및 숙성에 사용되는 지하 저장고의 총 면적은 183,000 m²에 달하는데 저장고의 내부온도는 8~12℃, 습도는 78~90%로 거의 변화가 없다.

3.12 미국

미조리주의 캔사스시는 미국 중서부에 위치하여 철도, 도로 등 교통시설이 집중되어 수송거점으로서 지리적 요건을 갖추고 있으며 반경 800 km 이내에 세계 최대의 시장을 지닌 교통 및 교육의 요충지이다. 이 지역은 전 미국 농산물의 50% 정도를 공급하는

식품집산지로서 많은 저장고가 필요했으나 제한된 대지면적과 비싼 지가로 지상의 저장저장고 부지 마련에 어려움이 컸었다. 1950년대 이후 도시성장에 따른 도시공간 수요증대와 '70년대 초의 석유파동을 계기로 그 동안 건설 석재용으로 채석한 뒤 생긴 5백만 여평의 지하공간 중 60여만평 이상의 저장고(85%), 7%의 제조공장, 5%의 사무실로 사용되고 있다. 버섯, 송어, 가재의 양식에까지 지하공간을 활용하고 있다. 1989년 현재 임대지로 이용되는 지하공간은 총 굴착면적 2.59 km²의 10% 정도로 이의 80% 이상이 저장고 및 식품 저장고로 이용되며 나머지는 사무실 및 제조공장 등으로 이용되고 있다.

캔사스시의 총 저장물량의 약 7분의 1 정도를 이 석회석 공동의 지하저장고에 저장하고 있다. 이곳에는 대형 화물트럭 80대가 동시에 선적할 수 있는 시설과 화물열차 전용 적하시설이 갖추어져 있다. 흙, 세일, 석회암 천정이 지상의 기후 변화에 대한 단열재로 작용하고 있으며 이곳은 여름에는 38℃에서 -18℃까지의 온도 변화가 있는데 지하공간은 연중 14℃로 일정하다. 습도는 필요에 따라 저렴하고 손쉽게 조절될 수 있다.

지하공간내 시설의 동결, 홍수나 바람의 피해 가능성이 없다. 저장된 생산품은 계절의 변화에 따른 극심한 온도 변화를 겪지 않고 특별 제품에 온도와 습도 조절이 필요할 경우에도 유리한데 암반의 온도가 일정하기 때문에 에너지 수요 변화를 완화시킬 수 있다.

대부분의 지하저장고는 냉동실(-25~-19℃), 냉장실(-2~4℃), 건조실(14~18℃)로 구분된다. 냉동 및 냉장실의 상대습도는 35~65%이고 건조실은 55% 이하이다.

이외에도 자연상태의 지하조건인 온도 14~16℃, 습도 85% 이상인 저장고가 있는데 저장대상 물품에 따라 선별적으로 저장되고 있다. 저장고의 대부분의 높이가 5.3~6 m, 최대폭이 1,000 m이며 좌우 15 m 간격으로 직경 7.6 m의 석회암 Pillar가 있다. 벽은 Pillar 사이에 설치되는데 냉동실의 경우 8 inch 두께의 Polyurethane으로 된 판넬 또는 8 inch Concrete block인 Haydite로 설치되며 냉장 및 건조실의 경우에는 4 inch Polyurethane pannel 또는 Concrete block으로 벽을 차단하여 열손실을 방지한다. 냉동저장고의 출입구는 2중의 두터운 비닐로 겹치게 늘어

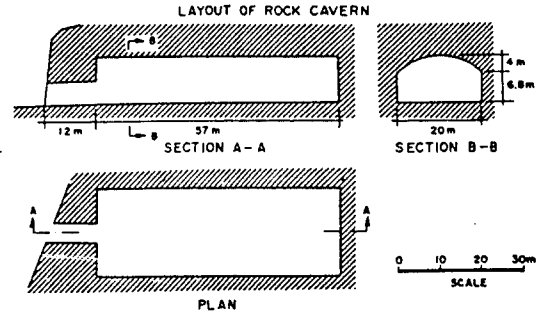


Fig. 4. Cross-section of underground cold storage of food at Bergen.

놓아 출입시 열손실을 최대한 방지하고 있다.

Kansas City의 Inner-space 사는 35 m 지하의 4,000 m³의 공간에 밀, 옥수수알, Milo 및 콩을 저장하고 있다. 반입은 지표로부터 Pipe를 통하여 하고 밑에서 Auger를 이용, 평평하게 퍼트려 고른다. 곡물이 통과하는 Covered tunnel을 Air duct로 이용하여 환기시키고 있다.

Inland Storage Distribution Center는 세계에서 가장 큰 냉장 저장고를 운영하고 있다. 매일 3,600 ton 규모의 식품을 취급하고 있는데 냉동 저장소는 -22℃로 유지하며 총 부피는 566,000 m³에 달한다. 최근 California 지방에서도 포도주 저장을 위한 지하설비가 TBM을 사용하여 건설되고 있다. 미네소타 지방에서는 푸른 치즈를 발효시키는 데 수십년 동안 연약한 사암층에 만들어진 공동을 이용하여 왔고 최근의 수요증가에 따라 공동을 확장하였다.

3.13 노르웨이

충분한 열역학적 연구에 기초를 두고 육류, 소채류 및 Ice cream 등의 냉장, 냉동저장이 지하공동에 행하여지고 있다. 한 당밀 저장고는 점성이 강한 당밀 취급시 30~35℃의 온도 유지가 필요하여 직경 22 m의 지하 사일로 2개를 설치 하였다. 당초에는 토지의 이용이 주된 목적이었으나 온도 유지가 용이하고 지상 콘크리트 저장고 건설에 비해 30%의 건설비가 절감되었다.

Bergen시 근교의 Rieber, G.C. & Co. A/S사는 양질의 화강 편마암으로 된 해발 47 m의 급경사의 산 하부에 공간을 굴착하여 저장능력이 11,000 m³인 냉동저장고를 건설하였다. 저장고의 형태는 12 m의 진

입터널과 폭 20 m×높이 6.8~10.8 m×길이 57 m의 저장고로 구성되어 있다. 냉동저장고의 내부 온도는 -22°C 로 유지되고 있다(Fig. 4 참조).

3.14 스웨덴

노르웨이와 같이 스웨덴에서도 Ice cream 공장, 맥주 및 주류 제조공장 또는 생선 및 육류의 냉동 저장고를 지하공동에 설치하여 매우 우수한 저장효과를 보고 있다. 특히 주류의 지하저장의 경우는 공동내의 일정한 저온 특성 때문에 별도의 에너지 소비가 거의 필요치 않으며 2°C 의 저온저장(Cold Storage)의 경우에는 지상 저장할 때보다 약 20%의 에너지 만이 소요되는 것으로 알려져 있다.

Stockholm에는 Ice cream의 비축 및 분배 Center가 지하에 건설되었다. Ice cream은 여름에 수요가 급증하므로 비수기인 겨울, 봄, 가을에도 계속 같은 양을 생산하여 지하 냉동저장고에 보관하였다가 성수기인 여름에 많은 수요에 대처한다. 따라서 Ice cream 생산자는 여름 한철의 수요에 대처하기 위하여 공장 생산규모 및 생산직 고용자 수를 늘릴 필요가 없게 된다. 이 저장고의 위치 또한 소비지와 가까우므로 Ice cream의 운송비용을 줄일 수 있다.

Stockholm에 있는 냉동회사인 Cold Stores의 경우 지하냉동저장고 운영시 저장온도를 -25°C 로 유지할 경우 지상저장시설과 비교하여 소요에너지의 25% 정도가 절감되었다. 이 저장고는 1970년에 완성하였는데 육류, 어류, 소스 등 4000 ton을 저장하고 있다. 저장고의 온도는 공동 1이 -40°C , 공동 2가 -28°C 이고 건물암반을 상온에서 -48°C 까지 9일간에 낮춘다. 식품이 도착하면 우선 공동 1에 넣어 충분히 온도를 낮춘 후 공동 2로 이동시킨다. 1일 입하량과 출하량은 각각 150 ton이다

지상저장고는 가장 더운 여름온도를 기준으로 시설해야 하므로 초기 설비투자가 많으며 여름과 겨울의 대기온도에 따라 에너지 소비량의 변화가 크다. 한편 지하냉동저장고는 일정한 지중온도를 기준하므로 초기설비 투자가 20~25% 감소되며 에너지 소비량도 일정하다는 장점이 확인되었다.

암반중에 건설된 지하냉동 저장고는 폭 16 m×높이 8 m×길이 75 m의 3개의 지하공동으로 되어 있는데 이중 2개가 약 $16,000\text{ m}^3$ 의 저장용 공동이며 나머지 1개가 주차장, 반출입용 공동으로 이용되고 있다. 동일

저장 목적으로 건설된 지상 저장시설에 비해 냉동기의 운전에 필요한 에너지 량이 18% 이상 절감되고 노르웨이에서는 냉동설비 능력이 50%인 시설에서 소비 에너지가 25% 절감된 사례가 있다. 지하냉동저장고는 소비 에너지의 절감이라는 잇점 이외에 정전 등의 사고가 발생하여도 복구공사기간중 저장고의 온도상승이 작다. 2주간의 냉동기 고장이 발생하여 2~3% 정도의 온도 상승이 된 사례가 있다. 냉동 식품의 품질저하 방지가 가능한데 이는 단순히 품질의 보장 뿐 아니라 저장품의 보험료가 작게 되는 2중의 경제적 효과가 있다.

3.15 일본

방목현 大谷町 지구 폐광산의 石材採掘跡을 이용한 일본 최초의 암반저온저장고가 개발되었다(Fig. 5 참조). 오회암 암반내 60~90 m 심도에 저장저장고가 있는데 1970년부터 다목적으로 이용되고 있다. 大谷石의 채굴적은 지하공간의 일반적인 특징 이외에 大谷石(녹색응회암)에 함유되어 있는 성분에 의한 탈취효과, 무균효과가 있는 것이 특징이다.

(주)골풍암석채부, 농림수산성 과수 시험장, 청수건설(주)에 의한 6년간의 연구결과에 따라 현재 과실의 저장량은 5,000 ton에 달하고 있다.

이곳의 특징은 자연환기형 저온 저장고이다. 大谷에서는 空洞 내외의 온도차를 이용한 환기에 의해 주로 冬期에 外部 冷氣를 저장저장고내에 도입하고 이 冷熱 에너지를 空洞 주변의 암반에 蓄熱시킨다. 또한 봄~여름의 저장기간 중의 온·습도 관리는 저장고내의 고습도 상태를 유지하기 위해 외부 공기의 도입량의 조절이 주이다. 대곡석 저온저장고는 년중 온도가 $2\sim 9^{\circ}\text{C}$, 습도는 80~90% 유지되었다.

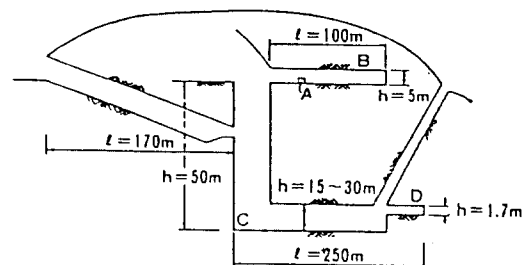


Fig. 5. Cross-section of underground cilled store at Taegok.

습도는 流入外氣量의 조절, 간단한 除濕設備, 유입된 浸透水의 처리 등에 의해 용이하게 조절 가능하다. 大谷 低溫 저장고에서는 연간 소비 전력이 거의 없고 저장고내의 조명용 정도이다. 冷凍機를 이용한 地上의 저장저장고에 비해 소비 에너지는 1/10 이하에 불과하다.

저온저장고로 뿐 아니라 지하유통센터의 개발을 발판으로 암반냉동저장고의 실증 실험을 진행되고 있으며 현재 후바다식품(주)와 아이스크림 등의 저장 시험을 하고 있다. 심도 20 m에 폭 4 m, 높이 3 m의 공동을 굴착하여 방열벽과 냉동 설비를 설치하였으며 냉각은 -25℃ 까지 냉각하였다.

4. 관련기술 분석 및 평가

4.1 관련기술 분야

곡물 및 식품의 지하저장에 관련된 기술은 크게 두가지로 구분된다. 그 첫째는 지하공간 자체를 만들고 유지하기 위한 굴착 및 공동 유지 기술이고 둘째는 저장될 품목에 따른 저장소내의 환경제어 기술이다. 물론 저장될 물건의 수급 계통 분석 및 입지 선정, 그리고 선정된 입지에 대한 지형적, 암석역학적 분석에 따른 경제성 분석이 선행되어야 할 것이다. 환경제어기술이라 함은 방수, 단열, 환기, 온습도 조절 등 지하의 기후를 제어하는 기술을 뜻한다.

곡물 및 식품저장시설의 건설을 위한 기술 내용은 에너지 저장을 위한 기술과 같으므로 중복되는 부분은 생략하고 본 절에서는 식품 및 곡물 저장에 관한 사항만을 기술코져 한다.

4.1.1 지하수 차폐 및 밀폐(Air tight) 기술

냉동저장일 경우에는 지하수의 결빙으로 지하수는 자동차단이 되나, 그 외의 경우에는 Floor와 공동 바닥에 사이를 띄우고, 배수로 및 집수 Pit를 만들어 Pumping 하고, 천정부에서 떨어지는 물 및 암반 내부로부터의 습기 방지를 위하여 공동내부에 방수천을 이용 가벼운 Inner structure를 만드는 경우도 있다 (Fig. 6 참조).

4.1.2 단열기술

지상과는 달리 지하에 저장소를 마련한 경우, 암반 자체의 열전도율이 낮기 때문에 특별히 단열재의 도입이 필요없게 된다. 다만 방수 등의 문제로 지하공동 내부에 Inner structure를 만들 경우에는 지상구조물

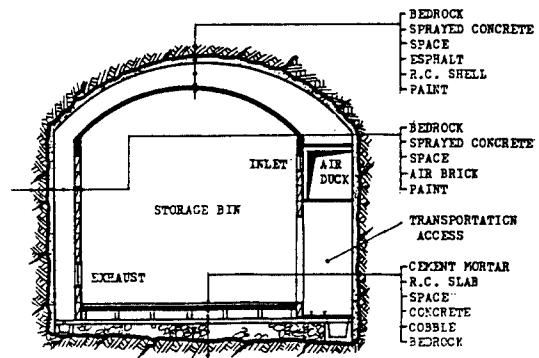


Fig. 6. Typical cross-section of the granary in rock.

에 쓰던 단열기술을 응용하기도 한다.

4.1.3 온·습도 조절 기술

온·습도 조절은 냉장 및 냉동저장의 경우 Air conditioner를 이용 공기의 온·습도 조절을 하고 있는데 열 손실이 적고, 환기가 많지 않으므로 지상보다 소용량만 가지고도 운영이 가능하다.

4.2 국내 기술 수준 및 기술 환경 평가

우리나라에서는 이미 유통저장 시설 등 지하공동을 건설한 기업체가 많이 있으므로 대공동이 아닌 식품및 곡물저장용 Cavern을 건설하는 일 자체는 문제될 것이 없다. 그러나 유통저장시설이 일단 시공되면 사람의 출입이 없는 것과는 달리, 저장용 Cavern은 인원과 자재의 출입이 빈번하기 때문에 그 안정성에 더 많은 신경을 써야 한다. 먼저 용도에 따른 정확한 입지가 선정되어야 하며 입지가 선정되면 보다 자세한 지질조사가 행해져야 하며 자료분석에 기준한 Cavern design이 이루어져야 할 것이다. 현재 기술수준은 이일을 수행이 가능할 것으로 판단되나 가장 큰 관건은 관련 산, 학, 연 간의 격의 없는 협조이다. 일단 공동이 만들어진 후에는 그 안정성을 감시하기 위한 Monitoring 시설이 갖추어져야 하며 방수, 방습 및 지하수 처리 방법 등 세부적인 사항이 검토되어야 할 것이다. 특히 지하곡물 저장시에는 지하수가 침입할 경우는 치명적이므로 신뢰성 있는 방수 방법이 선정되어야 한다.

현재 국내기술의 개발이 필요한 연구 분야는 암반의 불균질성과 불연속을 고려한 열유동 측정 및 해석기술, 절리내 간극수의 결빙과 해빙에 따른 공동 안정성

확보기술, 농수산물·식품의 장기보존을 위한 저장고의 설계기준 등이다.

5. 결 론

1) 부지 조사를 통한 예비 후보지 선정 및 타당성 연구, 환경영향 평가 등에 관련된 설계, 시공 및 기초운영 기술 연구를 통한 한국형 농산물 지하암반 저장시설 기본 모델의 개발이 필요함.

2) 첫번째로 요구되는 기술은 사용목적에 따른 Site evaluation criteria의 선정인데, 여기에는 지질, 지형학적 그리고 암석역학적인 검토가 수반되어야 한다. 저장품목의 수급계통 분석에 따른 경제성 분석도 여기 포함되어야 한다.

3) 공동 굴착 및 유지를 위한 기술로는 여굴 방지 및 굴착으로 인한 공동주위의 소성영역을 최소화하기 위한 신굴착기술의 개발이 되겠다. 이를 위해서는 특수발파법이 개발되어야 하며 굴착과 동시에 천반유지를 위한 Rock bolt 등의 공동유지 설비가 Systematic 하게 따라 갈 수 있는 공정의 개발이 함께 수행되어야 할 것이다. 일단 공동의 굴착이 끝나면 그 후에도 계속 공동의 안정성을 Monitoring 할 수 있도록 취약지구에 Extensometer 등을 설치, 규칙적으로 측정하여야 한다.

4) 저렴하고 신뢰성있는 방수법의 개발이 필요하다. 사용목적에 따라 방수 및 집수방법이 선택되어야 하며 공동자세를 방수할 것인가 아니면 공동내부로의 물의

유입을 허용하면서 물을 집수하여 배수할 것인가를 결정하여야 할 것이다. 이 결정은 저장품목에 따라 달라지며 경우에 따라서는 공동내부에 습기 및 방수를 위한 Inner structure를 건설해야 할 경우가 있다.

5) 각 저장품과 지하환경 즉 온도, 빛, 습도와 상호작용에 대한 규명이 필요하다. 곡식 등을 장기간 저장할 경우 장기저장을 거치지 않은 것과 비교하여 품질이 떨어지는 경우, 각 분야별로 품질 저하의 원인을 규명 개선해 나가면 장기저장으로 인한 품질 저하를 막을 수 있고 품질 저하로 인한 가격저하를 막을 수 있다.

6) 국내는 지하의 암반 조건이 좋고, 여름과 겨울의 기온 차이가 심한 편이며 도시인구가 차지하는 비율이 매우 커서 대도시 외곽에 대규모 지하냉동시설을 갖추면 에너지 절약, 및 유통관리의 효율을 이룩할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) 한국식품개발연구원 (1992) 농수산물의 지하암반저장 기술의 실용화에 관한 연구, 연구보고서, 281 p.
- 2) 한국자원연구소 (1992) 지하공간 활용기술 개발계획 수립 연구, 과학기술처 특정연구과제 연구보고서 KR-92(T)-24, 236 p.
- 3) 한국자원연구소 (1994) 에너지 절약형 지하냉장 및 냉동저장 설계기술 개발사업계획서, 9 p.
- 4) 허동준 (1993) 지하양식 저장고 건설에서의 암토공학 적 과제, 중국과학원 무한암토역학 연구소, 23 p.