

농수축산물저장을 위한 지하암반냉동창고의 경제성분석 - An Economy Analysis on the Underground Food Storage -

김 준 홍*
Kim, Jun Hong

Abstract

It is in general reported that construction cost in an underground storage facility is less than that of the same capacity and features in an aboveground facility. Since these costs have a derivative with respect to facility size and fridging unit, the cost of construction and fridging unit are sensitive to location of storage, items to store, and rock quality of storage site.

In this paper, to analyse an economic investment point for the underground food storage relative to aboveground storage, we compared these two models which have equivalent annual cost with the total cost that consists of initial facility investment cost and annual operation cost. Based on comparison of the economic investment in the underground with aboveground storage, an economic initial investment cost has been suggested for storing the agricultural and fish products.

1. 서론

농수축산물에 대한 소비자의 소비패턴이 점차 고급화됨에 따라 저온, 냉동냉장식품에 대한 수요는 날로 증가되는 추세이다. UR 협상 타결로 농수축산물에 대한 국내농산물 가격안정을 위한 수입농산물의 저장비축시설에 대한 필요성 뿐 만아니라, 국내에서 생산되는 농수축산물에 대한 국내농산물의 가격안정을 위해서도 물류차원에서 저장비축시설은 절실히 필요하다. 저장시설 필요량 분석 결과[2]에 따르면, 이러한 시설은 앞으로도 점차 증가될 추세이고, 인구 1만명당 냉장저장 시설능력은 구미선진국의 약 30% 수준이므로, 국내의 냉동저장시설은 앞으로도 계속해서 증가될 것이라 예측된다.

지하암반이 갖고 항온항습성, 단열성, 축열성, 등의 이점을 활용하여 에너지를 절약하고, 농산물의 효율적인 물류시스템의 확보를 위해, 대도시 부근에 대규모 지하암반저장시설의 건설과 농산물생산지에 소규모 지하저장시설을 건설하여, 대도시 주변의 미관환경을 손상시키지 않고, 자연의 훼손을 최소화하여, 부족한 지상저장시설을 보충한다면, 그에 따른 많은 이점을 얻을 수 있다. 국토면적이 협소한 우리의 실정에서 수급조절용 농수축산물을 보관하기 위한 미래의 저장 시설은 산지가 많고, 기반암이 견고한 한국형 지하암반저장시설을 건설하기에 유리한 지질적 조건을 갖고 있다[1].

노르웨이, 스웨덴, 미국, 일본 등지에서 지하암반저장창고에 대한 사례[7][9]에 의하면, 시설투자비, 운영비등에서 각각 40~50%, 80~90%의 비용절감효과를 보여 주고 있다. 그러나, 지하

*수원대학교 산업공학과

암반저장시설에는 암반의 굴착기술적인 문제 뿐아니라, 초기건설투자비가 많이 소요되므로, 자기자본이 부족한 영세사업자에게는 이 모델의 적용에 경제적인 어려움이 따른다. 그러나, 정부 투자 정책적인 차원에서는 지하냉동창고에 대한 경제적, 기술적인 타당성에 대한 실증이 없으므로 아직 실용화되지 못하고 있는 이유라고 사료된다.

이 논문에서는 지상냉동저장고의 대체안으로서 지하암반냉동창고의 건설에 대한 타당성에 대해 초기설비투자비와 연간운영비를 합한 총비용으로 분석하였다. 이를 위해 초기설비투자비는 건물건축비, 기전설비비, 굴착비, 등을 평당단가에 대한 시장조사를 통하여 자료를 수집하였으며, 운영비에 관련된 수많은 비용항목들은 분석의 단순화를 위해 대체안 비교에 중요한 비용부분인 인건비, 전력비에 대해 주로 하였고 기타는 비교에 크게 민감하지 않으므로 생략하였다. 제2장에서는 지상저장창고에 대한 총비용분석, 제3장에서는 지하암반저장창고에 대한 총비용분석, 그리고, 제4장에서는 두 모델에 대해 연간등가비용분석을 통해 그 결과를 제시하였다.

2 농수축산물 저장형태에 따른 초기설비투자비분석

2.1 저장시설분류와 분석을 위한 원단위 설정

일반적으로 식품의 저장은 동결점을 기준으로 저온저장, 냉동저장, 초저온저장으로 분류된다. 저온저장(chilled store, 냉장저장)은 주로 과일이나, 채소, 생선, 육류 등을 저장제품에 따라 저장온도는 $-4^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$, 실내습도는 85%~95% 를 유지하고, 주로 단기간 저장하는 방법이다. 냉동저장(cold store)는 수산물, 육류, 냉동식품, 아이스크림 등 부패하기 쉬운 식품을 $-10^{\circ}\text{C}\sim -25^{\circ}\text{C}$ 를 유지하면서, 3개월 내지 12개월의 비교적 장기간 고품질 상태로 유지, 보관하는 방법을 말한다. 그리고, 초저온저장은 참치, 돔 등의 고급수산물을 저장하기 위해 -40°C 이하로 저장하는 특수한 냉동법이 사용된다. 용어의 사용의 혼동을 피하기 위해 일반적으로 통용되고 있는 용어를 이용해서, 냉장저장 대신 저온저장을 사용한다.

냉동창고는 물류시스템적인 차원에서 합리적인 보관, 저장, 운반시설을 위한 자동화창고설비를 갖추는 것도 생각될 수 있으나, 이에대한 막대한 투자설비에 대한 경제성분석은 무엇보다도 조심스럽게 이루어져야한다. 분석에서 사용하는 저장의 모델은 일반적으로 많이 이용하고 있는 pallet load 식을 적용한다.

우리는 지상저장창고와 지하암반저장창고에 대한 비용분석을 실행하기 앞서, 양 모델간의 통일된 원단위 기준을 산정하고, 이를 토대로 단위저장용량에 따른 비용을 산출하여 이를 근거로 그에 따른 비용을 비교분석하고자 한다.

보편적으로, 지상저장고를 건설할 때 평당건설비로 견적하지만, 저장능력에 대한 실적을 언급할때는 무게단위 M/T 를 사용하여 그 냉동창고의 저장능력을 표현한다. 1평에 저장할 수 있는 높이는 pallet 3단으로 약 4.5~5m 가 되고, 이에대한 여유공간을 감안한다면, 1층을 약 6~7m 의 높이로 계산한다. 저장물건은 비중이 서로 다르므로, 대략 1평에 약 5M/T 로 추정되고, 이것은 부피 약 70m^3 에 해당한다.

지상저장창고의 초기투자비에는 건축비, 기계, 전기설비비, 운반기기설비비 등을 고려하였다. 그리고, 토지구입비는 초기투자비에 많은 부분을 차지하고 있지만, 이 비용은 지역의 특성상 많은 편차를 갖고 있을 뿐 아니라, 우리가 대상으로 하는 지역은 농수축산물의 대도시의 물류를 원활히 하기 위해 대도시 주변에 저장창고를 설치하는 문제로 한정할 경우, 지상냉장창고나 지하암반저장고를 건축할 경우를 대부분 농림지나 임야를 이용하므로, 이들에 대한 토지구입비는 산출할 수 있지만, 그에 건축에 따른 법적인 분쟁이나 도로구입비 등 별도의 비용들이 산입될 개연성도 있어 이 비용은 고려에서 제외하였다.

2.2 지상냉동저장창고

2.2.1 초기설비구매비

대상으로 하는 지상냉동저장창고의 표준시설은 다음같다:

- (1) 실내온도는 $-10^{\circ}\text{C} \sim -25^{\circ}\text{C}$,
- (2) 물품의 비열, 지장온도, 냉장고수용량, 1인 입고량 및 회수, 저장품의 초기온도, 방열구조 건물상황과 저장기간에 따른 외기조건의 조사 후, 입고품의 냉각부하, 침입열량, 환기열, 조명 등 전동기 등에 의한 발생열량을 계산하여, 냉동기의 용량을 결정한다. 그중 전도 및 복사에 의한 침입열은 총 열부하의 약 40~50% 를 차지하므로, 냉동창고에서는 단열처리가 중요하다. 따라서, 분석대상 모델은 콘크리트외벽 시공과, 폴리우레탄 발포에 의한 외부 및 층별 단열처리를 실시하는 것으로 가정하였다.
- (3) 운송통로, 사무실 및 기계실 등의 부대시설은 저장면적의 30% 로 산정하였다.
- (4) 지상건평을 줄이기 위하여 고층화하여 화물엘리베이터를 이용한다.
- (5) 정전이나, 기기고장에 대비한 예비기전설비는 가설하지 않는다.

상기 모델을 기초로 한 초기설비투자비는 표1 과 같다.

<표1> 초기설비투자비 (단위: 만원)

구분	저장면적					비고	
	500평	1,000평	2,000평	3,000평	4,000평		
건축비/평	140	135	130	125	120		
기계설비비/평	40	35	30	30	25	냉방, 공조	
전기설비비/평	10	10	10	10	10		
방열 설비비/평	25	25	25	25	25		
소계/평	215	205	195	190	180		
부대설비	시설면적	150 평	300 평	600평	900평	1,200평	
	건축비용	21,000	40,500	78,000	112,500	144,000	
총계/평	215	205	195	190	180		
운반,저장설비비	8500	17,000	28,000	35,000	46,000	지게차,파레트,랙,승강기	
총 설비 투자비	137,000	262,500	496,000	717,500	910,000		
설비 투자비/평	274	262.5	248	239.2	227.5		

2.3 운영비

분석을 위한 운영비부분은 운영을 위한 각종 지출항목을 모두 언급하는 것은 의미가 없어 주로 인건비, 전기비, 수선 유지비, 제비용 등으로 분류하여 조사하였다.

(1) 인건비

운영비에서 인건비가 차지하는 부분은 약 45~50% 에 이른다. 저온 및 냉동저장창고에서 집 중식 및 개별식 냉각방식의 차이에 따라 냉동기사, 고압처리기사를 채용해야하는 의무규정인원 이 정해지지만, 인원의 분류를 관리직, 기술직, 노무직, 운반직, 보조직으로 세분하여, 저장면적 에 따른 인원은 다음표 2 와 같이 인있다. 각 직종에 따른 월평균임금은 본봉, 수당, 보너스, 월차, 년차, 식대, 당직비 등 직위임금과 산재보험, 의료보험 등 간접임금을 포함하여 년평균 각각 120만원, 160만원, 85만원, 120만원, 85만원으로 산정하였으며, 이들에 대한 년간인건비는 표 2 와 같다.

<표2> 지상냉동창고인건비 (단위: 만원)

구분		500평	1000평	2000평	3000평	4000평	월인건비/인
직종	노무직	6	6	8	10	10	85만원
	관리직	2	3	4	5	6	160만원
	기술직	3	4	4	5	5	160만원
	운반직	2	4	5	6	7	120만원
	보조직	2	2	4	4	5	85만원
인건비 합계		22,200	29,280	38,280	46,320	51,480	

(2) 전기비

냉동저장을 위한 에너지는 전기에너지이고, 냉동창고는 그 에너지의 소비가 큰 시설이다. 그러나, 이러한 동력의 사용비용은 운영비 중 인건비의 약 25% 수준이고, 총 운영비의 약 10% 정도를 차지하고 있다. 냉장창고에서 에너지절감을 위한 획기적인 냉동기기의 개발, 심야전기의 사용 등으로 에너지절감을 추진한다하여도 인건비의 절감의 수준에 못 미친다고 볼 수 있다. 지상냉동저장창고의 전력소모량은 국내 Z 수산의 1995년 실적치에 의하면, 다음표 3 과 같다.

<표 3> 월별전력사용현황 (국내 Z 수산, 1995년, 680평 규모)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전력 사용량(Kw)	41,120	51,045	53,910	58,158	79,560	82,080	82,000	78,120	76,536	92,880	77,400	78,012
평균외기온도(°C)	-5	0	5	10	15	25	27	30	27	20	15	5
평균실내온도(°C)	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21

상기 자료를 이용하면, 월별전력사용량에 대한 회귀방정식은

$$y = -673x^2 + 12258x + 27682$$

여기서 x 는 월별, y 는 월별 전력 사용량.

이다. 그리고, 외기 온도에 따른 전력사용량에 대한 상관계수는 0.78이다. 이결과는 전력사용량 은 외기온도에 전적으로 영향을 미친다고 볼 수 없다.

(3) 수선 유지비

수선유지비는 기계의 사용년수에 대해 평균적으로 점차 증가하는 경향이 있지만, 수리로 인한 기전설비의 가용화률의 향상도 기대할 수 있어 조사된 자료에 따르면, 이 비용은 총운영비의 0.5% 정도로 추정된다.

(4) 제비용

상기에 언급된 비용부분 즉, 수도광열비, 사무용품비, 소모품비, 지급 수수료, 교육비, 통신비, 도서인쇄비 등의 제비용에 대해서는 인원의 규모와 저장의 크기에 따른 함수가 된다. 이 비용 은 인건비의 약 30% 에 해당한다.

상기의 비용들을 종합한 지상저장창고에 대한 운영비는 다음표 4 와 같다.

<표4> 지상냉동저장창고 연간운영비 (단위: 만원)

구분	500평	1,000평	2,000평	3,000평	4,000평
인건비	22,200	29,280	38,280	46,320	51,840
전기비	5,550	7,320	9,570	11,580	12,870
수선 유지비	250	450	880	1,200	1,400
제정비	6,660	8,784	11,484	13,896	15,444
합계	34,660	45,834	60,134	72,996	81,194

3 지하냉동저장창고

지하암반은 단열성, 향온 향습성, 방사능 차단성, 기밀성, 불연, 방화, 방폭성, 화학적 안정성 등 지상에 비해 유리한 점이 많기 때문에 유류비축, 압축공기 및 열저장, 지하발전소, 핵폐기물 처리등 에너지관련 저장 시설을 비롯하여 각종 농수축산물 저장 시설등 다방면에 이용되고 있다[9]. 지하저장시설에는 목적에 따라 여러가지로 분류할 수 있다[11]. 그리고, 농수축산물 저장을 위한 지하냉동고의 건설방식은 굴착식과 개착식이 주로 사용되고 있다. 각각에 대한 장단점에 대해서는 [2]에서 찾아볼 수 있다. 개착식에 대해서는 국내에서도 경인냉장 등이 부분적으로 사용하고 있고 이를 이용한 에너지 전감효과는 자료에 따르면 지상시설의 약 70%에 해당된다. 우리가 대상으로 하는 지하저장모델은 암반이 갖고 있는 장점을 충분히 이용할 수 있는 암반굴착방식이다. 이 방법은 rock bolt 에 의해 암반의 보강을 이루어 낼 수 있으므로, 내장공사를 생략할 수 있다. 국내에는 농수축산물을 저장하기 위한 지하암반저장창고의 사례를 찾아볼 수 없어, 암반굴착에 대해서는 국내의 유류비축기지, 터널공사에 따른 건설비용과 개별적인 자료를 참고로 하였고, 운영비용에 대해서는 외국의 자료[2][9] 등을 이용한 추정치를 사용하여 분석하였다.

3.1 지하저장고의 시설투자비

(1) 굴착비

지하암반굴착은 반파를 이용한 방법이나 TBM 등을 이용한 기계화굴착 중 현실적으로는 터널의 길이가 소규모인 경우 비용면에서 경제적인 반파법을 이용한다. 지하암반냉동저장창고의 초기설비투자비용에서 굴착비는 약 45%를 차지한다. 이 비율은 m³ 당 굴착비에 큰 영향을 미치므로 이 비용에 대한 영향을 분석하고 지상냉동창고에 대비한 경제적비용을 산출하였다.

지하암반공동의 규모는 암반의 특성을 충분히 살리기 위해서는 높이가 10m 이상으로 대규모의 저장 창고가 유리하다[1]. 우리의 분석을 위해 문헌[3][4]에 의거 다음과 같은 표본모델을 설정하였다:

- (1) 지하암반냉동창고의 높이는 대략 15m 로 하여 지상저장고 높이의 두배에 해당하는 규모로 하였다.
- (2) 외부로 부터는 진입터널, 연결터널을 통하여 저장동에 이른다.
- (3) 저장동이 2개동 이상일 경우 동간의 이격거리는 20m 로 한다.
- (4) 각 저장동의 폭은 15m 로 한다.

이 기준에 대해 지하 저장고의 용적은 계산한 결과는 다음표 5 와 같다.

<표 5> 지하저장고의 면적 대 용적과의 관계 단위(m³)

500평	1,000평	2,000평	3,000평	4,000평
16,065	29,150	61,020	92,610	122,040

이 계산치에 따른 최소 제곱법에 의한 회귀 방정식은 다음과 같다:

$$y = -49.637 + 30.613 x, \text{ 여기서, } x \text{ 는 평수, } y \text{ 는 평수에 따른 공동의 부피 } m^3$$

이 추정식은 신뢰를 99%로 유의하다.

따라서, 우리는 이 식을 이용하여 지상저장면적에 해당하는 지하암반저장고의 굴착부피를 추정할 수 있다.

(2) 입구 및 부지정지비

입구 및 부지정지비는 주변의 지역의 조건에 따라 다르다. 진입로건설 등을 위한 비용은 경우에 따라 추가 부담이 될 수 있다. 자료[2][7]에 따르면 이 비용은 굴착비의 약 30~40% 로 계산된다.

(3) 부석 및 버럭 처리비

부석 및 버럭의 판매를 통하여 수익을 기대할 수 있지만, 일반적인 경우, 이 비용은 별도의 비용으로 처리한다.

(4) 보강비

암반의 보강은 rock bolt 를 이용한다. 암반의 상태가 항상 양호한 것은 아니므로, 연약한 암반의 부분에 대한 보강을 위해 슛크리트를 부가적으로 사용하는 것으로 하였다. 이러한 부분은 가변적인것이므로, 일반적으로 굴착비와 부석 및 버럭 처리비의 약 30% 를 차지한다.

(5) 냉동, 공조 및 전기설비비

저장면적 1,000평에 대해 지하저장시설은 냉동부하가 총 178kw 이고, 지상저장시설은 냉동부하가 총 230kw 로 계산되어 지상 대 지하의 비는 1:0.77 로 지하가 지상에 비해 약 25%정도의 전력의 절감효과가 있다[1]. 이것은 냉동설비의 초기투자비의 약 25% 정도의 절감효과를 제시할 수 있다.

지하냉동창고에 대한 기전설비는 자료[2][9]에 의거 지상의 약 75% 정도의 규모이므로, 이에대한 설비비로 지상의 기전설비비의 약 75% 로 산정하였다.

(6) 운송기기설비비

pallet rack 을 사용하는 저장에서의 pallet 운반으로서, 비용은 지상저장고의 그에 해당하는 비용과 같이 산정하였다. 지상에서 다층일 경우에는 엘리베이터의 설치가 추가되어야 한다.

(7) 기타 부대시설비

부대시설의 면적은 저장고 면적의 30% 이고, 그 비용은 지상저장고의 건축비에 해당하는 비용으로 산정하였다.

상기 각 항목에 대한 비용을 정리하면, 다음 표6 과 같다.

<표6> 지하압반냉동창고의 초기건설비 (단위: 만원)

구분	면적 구분				
	500평	1,000평	2,000평	3,000평	4,000평
굴착용적	16,065 m ³	29,450m ³	61,020 m ³	92,610 m ³	122,040m ³
굴착비용	80,325	147,250	305,100	463,050	610,200
입구 및 부 지정지비	24,100	44,180	91,530	138,920	183,060
바닥처리비	16,065	29,450	61,020	92,610	122,040
보강비	28,917	53,010	109,836	166,698	219,672
기계설비비	15,000	26,250	45,000	67,500	75,000
전기설비비	3,750	7,500	15,000	22,500	30,000
운송기기비	6,500	9,000	16,000	23,000	30,000
부대설비비	14,000	27,000	52,000	75,000	96,000
계	188,655	343,635	695,586	1,049,273	1,365,972

3.2 지하냉동저장고의 운영비

지상저장고의 운영비와 같은 항목을 대상으로, 지하냉동창고의 운영비 산출내역은 다음과 같다.

(1) 인건비

지하저장고에서 pallet 운반용 지게차운전원은 한 개의 동에 한명, 외부에 한명을 배치한다면, 지상에서의 인원과 거의 비슷하다. 그리고, 지하구조물의 보안성의 이점으로 경비원은 감축은 가능하다. 그 이외의 인원은 지상과 거의 같은 인원구성을 갖는다.

(2) 전기비

자료[2][9]에 따르면, 지하냉동창고의 전기비는 지상전기비의 약 75% 정도에 해당된다. 국내에는 지하압반창고와 유사한 형태, 즉 전체 냉동창고의 약 70%는 개폐식 지하냉동구조이고 나머지는 지상냉동창고의 구조를 갖고 있는 경기냉장의 모델을 찾아 볼 수 있다. 이 모델에 의하면, 같은 저장용량의 타 냉동회사에 비해 약 67%의 전기비절감을 이루고 있다.

(4) 수선유지비

지하는 지상창고에 대한 기건설비용량의 약 75%에 해당하므로 이를 기준으로 수선유지비는 지상의 75%로 설정하였다.

(5) 제비용

제비용은 인위의 규모와 저장의 크기에 따른 함수가 되고, 인건비의 약 30% 로 산정하였다.

이들을 종합한 지하 암반 저장고에 있어서의 운영비는 다음표 7 과 같다.

<표7> 지하암반냉동창고 년간운영비 (단위:만원)

구분	500평	1000평	2000평	3000평	4000평
인건비	20,880	24,720	35,640	1,760	46,920
전기비	4,163	5,400	7,178	8,685	9,653
수선 유지비	200	360	640	960	1,120
제정비	6,264	7,416	10,962	12,528	14,076
합계	31,507	37,986	54,150	63,933	71,769

4. 두 저장모델의 비교 및 결론

현유설비는 지상냉동지장고, 도전설비는 지하암반냉동저장고라 하자. 여기서, 현유설비의 건축물 초기비는 P_{11} , 내용년수 25년, 기전설비 및 운반기기의 초기비는 P_{12} , 내용년수는 15년, 현유설비의 년간운영비는 P_{13} , 도전설비의 건축물초기비는 P_{21} , 내용년수 100년, 기전설비 및 운반기기의 초기비는 P_{22} , 내용년수는 15년, 도전설비의 년간운영비는 P_{23} , 년이율 7%, 단, 내용년수 말 설비에 대한 잔존가치는 0 원 으로 폐기처분된다고 가정하였다. 그리고, 두 설비에 대한 수익금은 평당 보관비 4~6만원으로 동일하다. 따라서, 수익금에 대한 경제성 분석은 제외하였다. 이 모델에 대한 대체분석은 기계나 건물에 대한 투자비용에 대해 연간등가지불 자본회수계수를 사용하여 투자된 자본, 즉 대어금에 대한 연간상환액의 개념으로 처리할 수 있으므로, 두 모델의 년간등가비용은 다음표 8 과 같다.

<표8> 두 모델의 년간등가총비용 (단위: 만원)

구분	현유설비					도전설비				
	500평	1000평	2,000평	3,000평	4,000평	500평	1,000평	2,000평	3,000평	4,000평
초기비 등가 비용	11,028	21,068	40,160	58,567	74,141	14,224	25,780	51,758	78,022	10,1090
운영비	34,660	45,834	60,134	72,996	81,194	31,507	37,986	54,150	63,933	71,769
총비용	45,688	66,902	100,294	131,563	155,335	45,731	63,766	105,908	14,1955	172,859
지상-지하= 차	-	-	-	-	-	-43	+3,136	-5,614	-10,392	-17,524

상기에서 조사한 비용에 대해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 년간등가총비용에 대해, 저장면적이 1000평일 경우 도전설비는 현유설비에 비해 경제적이고, 그 이외에는 저장면적이 증가할수록 현유설비가 더 경제성이 있다.
- (2) 년간운영비에 대해서는 도전설비가 현유설비의 약 88% 에 해당한다.
- (3) 도전설비의 건설시 m^3 당 굴착비가 4만원일 경우 년간등가총비용에 대한 두 설비의 차이는 다음표 9 와 같다.

<표9> 굴착비 4만원/ m^3 경우의 비교 (단위: 만원)

500평	1,000평	2,000평	3,000평	4,000평
2051	6975	2340	1680	-1616