

곤지암 지하저장 운영 사례

김영웅¹⁾ · 이규상²⁾

- 1) 농업기반공사 지하수사업처
- 2) 정회원, 농업기반공사 지하수사업처

1. 서 론

지금까지 국내에서는 지하공간을 활용하여 주로 지하철, 지하 주차장, 지하도, 지하상가 도로 터널 등의 운송 시설을 건설하였으며, 도시화가 진행됨에 따라 1970년대 이후 상하수도, 가스, 전기, 전화 등의 도시 기반시설이 지하에 건설되고 대규모 유통 비축기지 및 지하양수발전소와 같은 시설들이 국가 안보와 경제적이 차원에서 정책적으로 건설되고 있다. 외국의 경우에는 체육시설, 저장시설, 폐수처리시설 등 기능 면에서 매우 다양하게 이용되고 있으나 우리나라는 아직까지 지하공간 개발의 역사가 짧아 지하공간의 이용이 제한적이었다. 지하공간은 지상에 비해 온·습도의 변화가 거의 없고 토지이용상의 제약이 적으므로 곡물이나 야채, 과일 등의 저장에 적합하다. 그러므로 이러한 특성을 이용하여 이미 오래 전부터 스웨덴, 노르웨이, 미국 등의 선진국에서는 농수축산물물을 저장하기 위하여 암반 내에 동굴을 굴착하여 지하 저장시설 및 부대시설을 건설·운영 중에 있으며, 미국의 캔사스 시에 있는 석회암 채굴 공간은 지하물류센터의 대표적인 사례이다.

농업기반공사에서는 경기도 광주군에 농수축산물 지하 암반저장고를 건설하여 현재 안정적으로 운영 중에 있다. 건설당시 지반조사 및 구조안정해석을 수행하여 천심도에 건설되는 터널의 안정해석을 수행하였으며, 열유동 분석을 통한 에너지 소비량 및 온도분포를 예측하였다. 여기서는 건설 당시 수행되었던 지반조사에 대해 간략히 설명하고, 현재 운영중인 곤지암 지하저장고의 계측 자료 및 암반내 축열상태를 분석하여 국내 최초인 지하 암반 냉동 저장고에 대한 운영 사례를 설명하고자 한다.

2. 곤지암 지하저장고 조사 및 설계

2.1 지질 상태

조사지역은 행정구역상 경기도 광주군 실촌면 곤지암리 일대로 광역적인 지질은 선캄브리아기 경기 편마암 복합체로서, 주로 흑운모 호상 편마암, 석영장석질 편마암, 반상변정질 편마암, 운모 편암 등으로 구성되며, 이들간의 경계는 점이적인 접촉관계를 갖는다. 전체적인 열리의 방향성은 습곡구조에 의해 일정하지 않으나 조사 부지에 분포하는 편마암의 편리구조는 N10~20°E/55~65°NE의 방향성을 나타낸다. 조사지역에 발달하는 절리는 인장절리, 전단절리로 구분되며, 전단절리가 현저하며 일부구간에서는 절리면이 단층활면(Silickenside)화 되어 있다. 주 절리군은 대체로 NS~N25°E/30~55°SE, N50~60°E/50~60°SE, N40~60°W/70~80°NE 등 3개 방향성이 우세하게 나타난다.

2.2 지반조사 및 암석 물성시험

2.2.1 지반조사

지하냉동 저장고의 크기 및 형상, 저장규모, 시설물 배치, 발파공법, 보강 및 그라우팅 설계 등 주요 설계사항의 결정을 위해 대상 지역의 지질구조, 기반암의 형상, 암반의 공학적 특성 등을 파악하고 이를 적절한 방법으로 해석하여 경제적이고 합리적인 시설물 설계가 이루어져야 한다.

특히 저장공동은 산지 하부로 수평적으로 굴착이 진행되므로 공동의 심도는 30~70m 정도의 천심도이지만 시설물의 특성상 공동의 폭과 높이는 10~25m의 범위를 가지는 "천심도 대단면 터널"에 해당된다. 따라서 상대적으로 좁은 영역에서 지표의 굴곡이 심한 지역을 대상으로 지표로부터 해당 심도에 이르기까지 기반암의 특성에 대한 면밀한 조사가 요망된다.

따라서 곤지암 지하암반 저장고에서는 조사부지 암반의 균질성 여부를 판단하고 공동 예정구간의 파쇄대를 파악하기 위하여 여러 가지의 지반조사를 실시하였으며, 조사량은 Table 1과 같다.

Table 1. 지반 조사량

항 목	내 용
지표 지질조사	
전기 비저항 탐사	1.7 km
지표 탄성과 탐사	2.2 km
시추조사	285 m
수압시험	50 회
공내검층	2 공
Borehole Televiewer	3 공
탄성과 토모그래피	1단면
수압파쇄	1 공
접하중시험	140회

2.2.2 암석 물성 시험

조사지역의 암석에 대한 기본적인 특성을 파악하기 위하여 시추공에서 얻은 암석코어를 채취하여 실험실 시험을 실시하였다. 실험실 시험으로부터 얻은 물리적 특성은 여러 가지 지질조사 자료와 함께 지하저장공동의 단면 및 보강설계에 유용한 자료로 활용된다. 실험실 암석물성 시험법은 미국 물성시험협회(ASTM)의 시험법과 국제 암반역학회(ISRM)의 시험규정을 준수하였다. 특히 암석의 열물성은 그동안 국내에서 측정된 바가 없으므로 한국표준연구원이 보유하고 있는 세라믹 열물성 측정장비를 사용하였다(Table 2).

2.3 암반의 공학적 특성

Table 2. 암석 물성시험 결과

항 목	목 적	주 요 결 과		비 고
물리적특성	암석의 기초적특성	밀도(g/cm ³)	2.81	총 27개 시료 평균치
		흡수율(%)	0.23	
		P파속도(m/sec)	4,900	
		S파속도(m/sec)	2,496	
탄성계수	암석의 변형특성	영율(GPa)	38.98	총 27개 시료 평균치
		포아송비	0.212	
단축 및 삼축 압축시험	암석의 파괴특성	단축압축강도(MPa)	103.0	
		인장강도(MPa)	12.2	
		전단강도(MPa)	18.9	
		내부마찰각(°)	40.4	
절리전단시험	전단강도 특성	절리내부마찰각 상온(°)	41.6	상온 및 해동 각 6회
		동결후 해동(°)	36.0	
수압파쇄시험	초기지압측정	축압계수(K)	3.5	G5 공 -48m 지점
열물성시험	암석의 열전도도 및 변 형특성	비열(J/Kg °C)	720	한국표준과학 연구원 시험 결과
		열전도도(W/mk)	4.99±0.16	
		열팽창계수(1/°C)	17.3×10 ⁻⁶	

2.3.1 RMR 분포

조사 지역에 대한 RMR 값의 구간별 분포 상황을 검토하기 위하여 총 5개 시추 조사공에 대한 입력자료를 결정한 후 이를 근거로 CLASSEX(ISRM educational software collection) 프로그램을 이용하여 암질 평가를 실시하였다. 조사지역의 암질은 RMR 값이 20 ~ 80 까지 광범위하게 분포하나 저장공동 설치 예정 심도인 EL 110m 하부부터는 RMR 50 이상으로 증가되는 양상을 보여준다. 저장공동 설치 예정구간에서의 암질상태는 G3, G4공을 제외하고 RMR 값이 50 이상이므로 사업부지 중심부 즉 G1에서 G5를 잇는 지역은 Fair ~ Good 의 양호한 암반이 분포한다.

2.3.2 공학적 특성

예정 공동구간에 분포하는 편마암은 RQD 33~96%, RMR 40~60으로 비교적 양호한 암반조건을 가지지만 일부구간은 파쇄대가 발달되어 있고, 편리구조에 의한 Sheeting 현상이 예상된다. 편마암의 강도는 대개 134 ~157 MPa로 양호하나 식회질이 다량 함유된 암반은 50 MPa 이하로 약한 암반조건을 갖는다.

Lime silicated rock은 RQD 50~80%까지 광범위하게 분포하나 EL 110m 하부부터는 RMR 50 이상으로 증가되는 양상을 보여주며 저장공동 설치 예정구간에서의 암반상태는 G-3, G-4 공을 제외하고는 RMR 50이상을 나타내므로 저장공동설치 예정구간에서의 암질상태는 Fair~Good 의 양호한 암반이 분포한다.

2.4 설계

곤지암 지하암반 저장고는 당초 15m×15m×100m의 저장고 3개가 나란히 건설되는 것으로 설계되었다. 지반조사 결과 공동 예정 부지 좌, 우측에 소규모 단층대가 지나가고, RMR 암반분류에 의한 결과 공동 예정 부지 좌, 우측의 RMR 값이 Very Poor~Poor의 불량한 암반이 분포하는 것으로 조사되어 15m 폭의 공동으로는 안정성에 문제가 있는 것으로 판단되었다. 지반조사 결과를 이용하여 경험 및 이론식에 의한 안정성 검토 결과 12m×10m×60m의 저장고 4개와 연결터널을 건설하는 것으로 설계가 변경되었다.

3. 열유동 분석

Table 3. 시설규모 및 냉동설비

구 분		규 모
저장실(냉동)	12m×10m×60m	2 조
저장실(냉장)	12m× 8m×50m	2 조
시험실	7.2m×5m×7.5m	1 조
냉동설비	132 kw	1 기
	100 kw	1 기
	55 kw	2 기

3.1 개요

냉동창고의 냉동공조설비 설계를 위해서는 먼저 냉동창고의 열부하를 분석하여야 한다. 열부하의 주된 요소는 침입열, 환기열, 냉각열, 발생열의 4가지이며, 여기에 작업원의 출입, 조명, 제상작업 등에 의한 기타열이 더해진다. 이중에서 가장 큰 부분을 차지하는 것은 전도 및 복사에 의한 침입열로서 통상적으로 총열부하의 40~50%를 차지한다.

3.2 해석을 위한 기본 조건

실험실 열물성시험으로부터 암반의 열전도도와 비열을 측정하였으며, 암반 표면의 열전달율은 일반적으로 상용되는 값을 이용하였다. 이를 정리하면 Table 4와 같다.

냉장실의 운영온도는 0°C, 냉동실의 운영온도는 -25°C로 설정하였다. 따라서 해석에 이러한 설정조건을 반영하기 위하여 저장공동의 벽면을 저장온도로 일정하게 유지하는 것으로 경계조건을 설정하였으며, 지하냉동창고의

Table 4. 해석에 사용된 암반의 열물성

열전도도 (W/m°C)	비 열 (J/Kg°C)	표면 열전달율(W/m ² °C)	
		지 표 면	공동내부
5.0	750	9.75	6.80

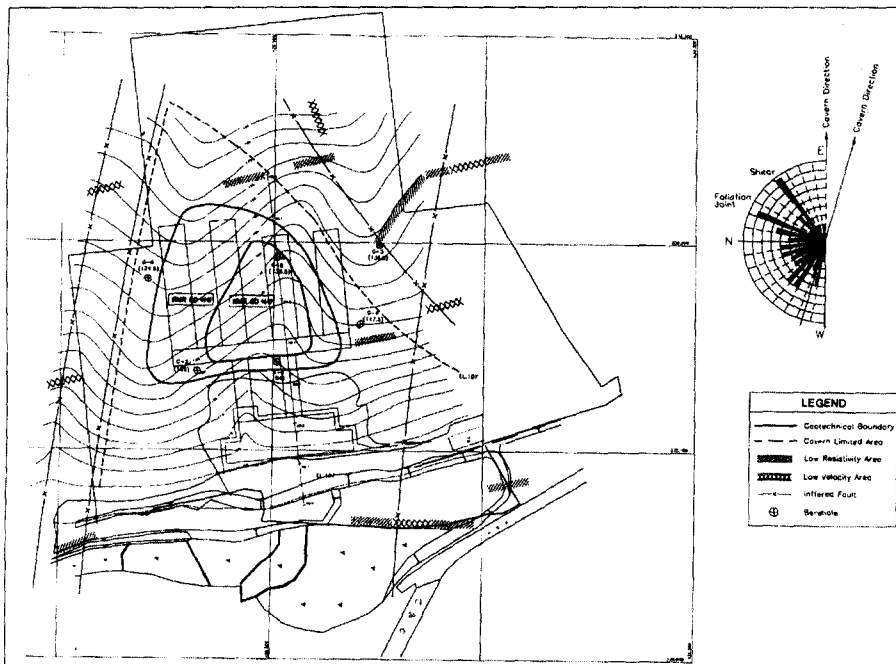


Fig. 1 곤지암 지하암반 저장고 Layout 및 지반조사 결과

진입로는 외기의 침입이 용이하므로 외부기온과 동일하게 변하는 것으로 하고, 복도 및 진입터널의 온도는 암반벽면의 온도와 동일하게 변하는 것으로 설정하였다.

3.3 온도 분포도

냉동기 가동 후 1년, 10년후의 저장공동 주변 암반의 온도분포는 Fig. 2, 3과 같다. 1년후의 암반온도는 냉동실 좌측 측벽부는 0°C 선이 12m 까지 도달하고 냉동실 사이는 상호 간섭에 의하여 -20°C까지 내려간다. 냉동실과 접한 냉장실은 좌측부 이외에 후방부 일부도 0°C 이하의 온도를 보이고 있다. 10년이 경과한 후에는 약 32m 까지 0°C 선이 미치고 있으며, 냉동실과 접한 냉장실은 후방부 전체가 0°C 이하의 온도를 보이고 있다. 온도분포해석을 통하여, 저장실간의 온도간섭으로 인하여 냉동실 사이의 암반 온도는 단일 공동일 경우보다 빨리 설정온도(-25°C)에 도달하고, 냉동실에 접한 냉장실의 좌측부 및 후방부는 설정온도(0°C) 보다 더 떨어지고 있음을 알 수 있다.

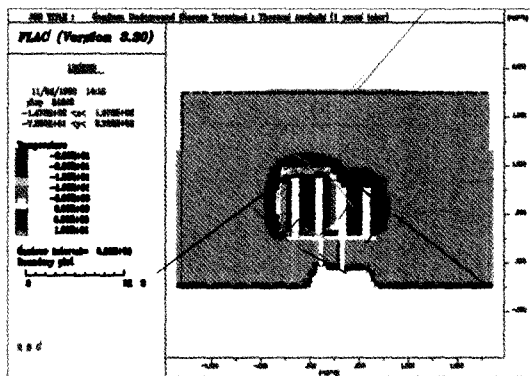


Fig. 2. 냉동기 가동후 1년후의 암반 온도 분포

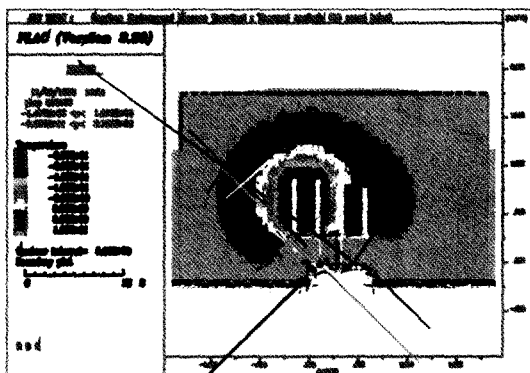


Fig. 3 냉동기 가동후 10년 후의 암반 온도 분포

3.4 열부하 계산

3.4.1 경계조건

지하 냉동저장고로부터 암반으로 유출되는 열유동량을 계산하기 위해서 단일 공동에 대한 해석이 실시되었으며, 이때 저장공동의 벽면은 일정한 열량이 암반중으로 누출되는 경계조건(Constant Heat Flux Boundary Condition)을 적용하였다. 이 경우에 저장실의 온도가 설정온도 이하로 저하되는 것을 방지하기 위하여 열계산 과정에서 자동으로 저장실의 온도를 끊임없이 검색하도록 하였다. 만일 검색된 저장실의 온도가 설정온도보다 낮아지면 즉시 냉동기 가동을 멈추고 설정온도보다 높아지면 즉각적으로 냉동기를 가동하여 암반으로부터 열을 빼앗게 하는 일종의 servo-control routine을 개발하여 사용하였다. 따라서 냉동기 가동 초기에는 실내온도가 설정온도에 미치지 못하여 냉동설비가 24시간 가동하지만 일단 설정온도에 도달하면 자동으로 가동과 중지를 반복하여 실내 온도를 설정온도로 유지한다.

3.4.2 경험식에 의한 부하열 산출

저장공동 벽면에 일정한 열부하 조건을 부과하는 경우의 소요되는 냉각열부하의 범위를 추정하기 위하여 먼저 경험적인 방식에 따라 개략적인 열부하를 산출하였다. 이 값은 저장실 주변 암반에서 열유동이 정상상태로 안정된 경우에 대한 것이다. 따라서 실제 해석에서는 이러한 개략적인 계산치를 근거로 초기 예냉과정의 열부하를 고려하여 해석이 실시되었다.

경험적인 방법에 의해 폭 12m, 높이 10m, 길이 60m 인 냉동저장고(저장온도 -25°C)와 폭 12m, 높이 8m, 길이 50m의 냉장저장고(저장온도 0°C)에 대한 침입열 계산 결과는 Table 5와 같다.

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$Q = K \cdot A \cdot (T_i - T_0)$$

K : 합성 열전도율 (W/m²C)

h₁ : 표면 열전달율(W/m³C)

k : 열전도도 (W/m°C)

Δx : 두 매질 사이의 두께

Q : 침입열(W)

A : 면적

3.4.3 수치해석에 의한 부하열 산출

경험적 계산치를 근거로 하여 예냉을 위한 추가 부하

Table 5. 경험적 계산방법에 의한 냉장 및 냉동저장고의 침입열 부하

항목	냉동실	냉장실	비고
천정	$K = \frac{1}{\frac{1}{9.75} + \frac{20}{5} + \frac{1}{6.8}} = 0.2353$ $q_1 = 0.2353 \times 12 \times 60 \times (35-25) = 10,165W$	$q_1 = 0.2353 \times 12 \times 50 \times (35-0) = 4,941W$	암반두께 20m 가정
측벽	$K = \frac{1}{\frac{1}{9.75} + \frac{30}{5} + \frac{1}{6.8}} = 0.1600$ $q_2 = 0.1600 \times 10 \times 60 \times 2 \times (12-25) = 7,104W$	$q_2 = 0.1600 \times 8 \times 50 \times 2 \times (12-0) = 1,536W$	암반두께 30m
바닥	$K = \frac{1}{\frac{1}{9.75} + \frac{50}{5} + \frac{1}{6.8}} = 0.0796$ $q_2 = 0.0796 \times 12 \times 60 \times (12-25) = 2,600W$	$q_3 = 0.0976 \times 12 \times 50 \times (12-0) = 703W$	암반두께 50m
출입구	$K = \frac{1}{\frac{1}{9.75} + \frac{10}{5} + \frac{1}{6.8}} = 0.4445$ $q_4 = 0.4445 \times 12 \times 10 \times (12-25) = 1,974W$	$q_3 = 0.4445 \times 12 \times 8 \times (12-0) = 512 W$	암반두께 10m
후방벽	$K = \frac{1}{\frac{1}{9.75} + \frac{30}{5} + \frac{1}{6.8}} = 0.1600$ $q_5 = 0.1600 \times 12 \times 10 \times (12-25) = 710W$	$q_5 = 0.1600 \times 12 \times 8 \times (12-0) = 184W$	암반두께 30m
모서리	$q_6 = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \times 0.1 = 2,255W$	$q_6 = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \times 0.1 = 788W$	
합계	24.8 KW	8.7 KW	

량을 고려하여 냉동실 및 냉장실에 대해 시간에 따른 열 부하 계산을 실시하였다.

냉동실에 대해 75 KW 및 150 KW의 초기 열부하를 적용한 경우, 해석 결과는 Fig. 4와 같다. 75 KW의 냉동기를 사용한 경우 냉각시작 후 약 11개월이 경과하면서 침입열에 대한 열부하가 감소하기 시작하며, 10년간 경과한 후 최종적으로 안정되는 값은 36.2 KW이다. 150 KW의 냉동기를 사용한 경우 초기 예냉 기간이 약 2개월로 감소하며, 요구되는 열부하량이 감소하는 속도도

훨씬 빨라진다. 최종적인 값은 75 KW와 동일하다. 따라서 냉장실 1개 공동에 대해 150 KW로 냉동기 용량이 설계된다면 냉각을 시작하고 약 3개월이 경과하면 본격적인 상업운전이 가능하며, 침입열 부하는 1년 경과 후 약 60 KW, 3년 경과후 약 48 KW, 최종적으로 36.2 KW가 된다.

냉장실에 대한 해석 결과는 Fig. 5와 같다. 냉동기 용량이 25 KW인 경우, 열부하가 감소하기 시작하는 시점은 약 3개월이며, 50 KW인 경우에는 약 0.8개월이다.

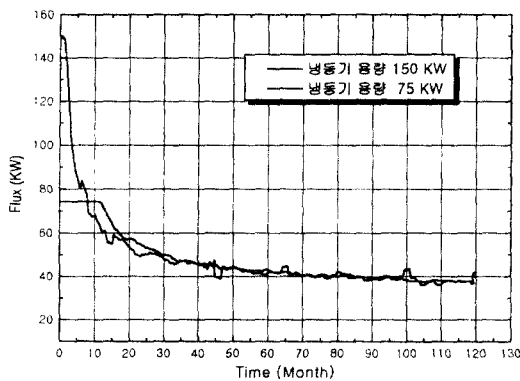


Fig. 4. 냉동기 용량에 따른 시간별 소요열부하 변화 양상(냉동실)

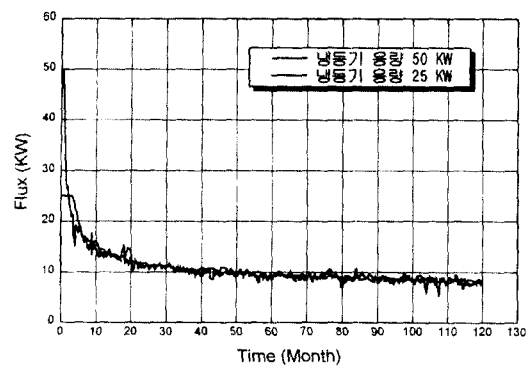


Fig. 5. 냉동기 용량에 따른 시간별 소요열부하 변화 양상(냉장실)

두 경우 모두 약 5년이 경과하면 열부하는 8.4 KW로 안정된다.

4. 운영현황 및 계측자료 분석

4.1 예냉 현황

곤지암 지하 암반 저장고는 98년 1월부터 예냉을 시작하여 현재 5개 저장고 모두 -21°C~-23°C로 운영중에 있다. 당초 냉동저장고 온도를 -25°C로 운영하기로 계획하였으나, 다른 지상 저장고의 운영현황을 조사한 결과 모두 -20°C~-22°C로 운영중에 있으며, 이 온도로 냉동 식품을 저장해도 품질에는 영향이 없는 것으로 분석되어 운영온도를 -22°C로 설정 하였다. 암반 저장고의 예냉은 4개의 저장고를 동시에 시작한 것이 아니라 #4-2 부터 시작하여 점차 #4-1, #3, #2, #1의 순서로 진행되었다. 당초 계획에는 2개의 저장고를 냉동으로, 2개의 저장고는 냉장으로 운영하기로 계획하였으나, 운영적 측면에서 각 저장고를 다른 용도로 사용하기보다는 동일한 용도로 사용하는 것이 효율적이라는 판단에서 4개의 저장고 모두 냉동실로 운영하기로 결정하였다. 따라서, 설계된 냉동기 용량은 232 KW로 전체 암반저장고를 동시에 예냉 시 1개의 저장고당 58 kw의 열량이 투입되므로 4개 저장고를 한꺼번에 냉각을 시작할 시 과도한 열부하가 걸릴 것으로 판단되어 1개 저장고씩 예냉을 실시하였다. 98년 9월 #3 저장고를 예냉하기 시작하면서 당초에 설계된 냉동기의 용량이 처음 예상한 부하량보다 적기 때문에 냉동기에 과부하가 걸리기 시작하였으며, 본 공사 기술진은 기술검토 회의 후 효율적인 예냉을 위하여 냉동기 1기를 추가로 설치하기로 결정하고, 9월부터 공사에 들어가 12월부터 본격적인 가동에 들어갔다. 시간에 따른 창고별 평균 온도는 Fig. 6과 같다. 98년 1월에 #4-2 저장고의 예냉이 시작되었으며, 98년 6월부터 #4-1, 8월부터 #3의 예냉이 시작되었다. 냉동기 증설이 완료된 98년 12월부터 #1, #2 저장고의 예냉이 시작되어, 전체 저장고의 예냉이 시작되었다.

냉동기 추가 공사가 끝난후 전체 냉동기 용량은 342 kw가 되며, 1개 저장고당 85 kw의 열량이 투입되기 시작하였다. 처음 열유동 분석시 150 kw 냉동기를 투입할 경우 열량이 3개월 후부터, 75 kw 냉동기 일시 11개월 후 열량이 감소할 것으로 분석되었는데, 85 kw 냉동기가 투입된 후 5개월 후부터 투입 열량의 감소가 나타났다. 이와 같은 결과는 #1, #2 예냉시에는 창고 전체에 같은

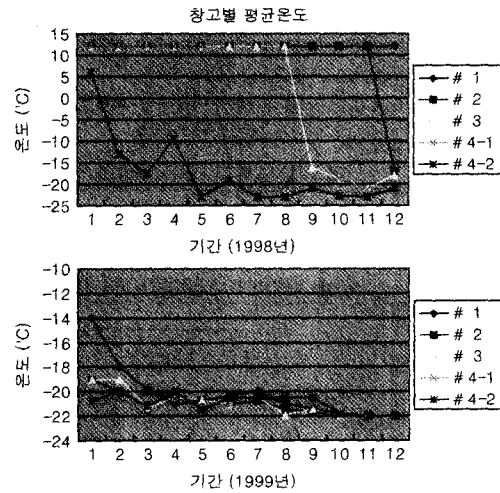


Fig. 6. 시간에 따른 창고별 평균온도

열량을 투입한 것이 아니라, #1, #2 창고에 232 kw의 냉동기를 가동하고, 예냉이 어느 정도 진행된 #3, #4-1, #4-2 창고에는 110 kw의 열량을 투입하여 설정온도만 유지한 결과이다. 99년 12월을 기준으로 전체 투입 열량은 160,429 Kwh로 4개 저장고 평균 53 kw/h 로 당초 예상한 1년 6개월 후 열량보다 약 5 kw 적게 투입되고 있다.

4.2 암반온도 계측 결과

4.2.1 계측 결과

지하 냉동저장고의 암반내 온도 분포상황을 분석하기 위하여 Fig. 7과 같이 암반 온도 계측기를 설치하였다. 냉동, 냉장시 암반 온도 변화를 계측하기 위하여, 대표되는 지점 8곳에 벽면으로부터 각각 0.5m, 1.0m, 2.0m, 4.0m, 6.0m, 10.0m 지점에 설치하여 자동기록장치를 통하여 기록되고 있다. 여기서는 8곳의 온도 계측 결과 중 암반저장고의 온도가 안정화된 후 예냉이 시작된 #1

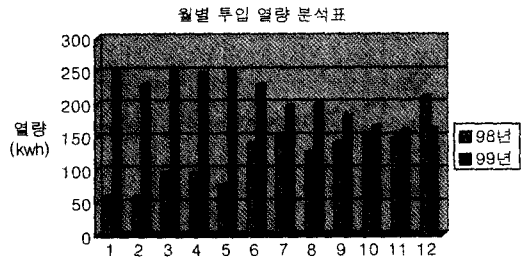


Fig. 7. 시간에 따른 투입 열량 분석

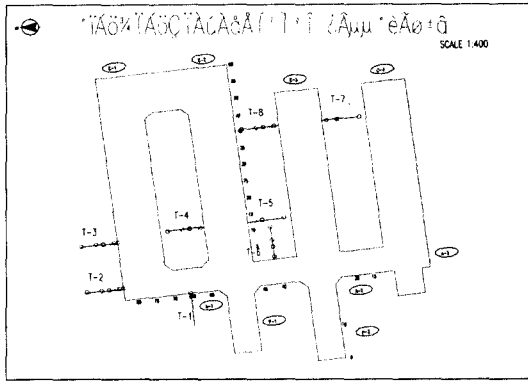


Fig. 8. 암반온도 계측기 설치 위치

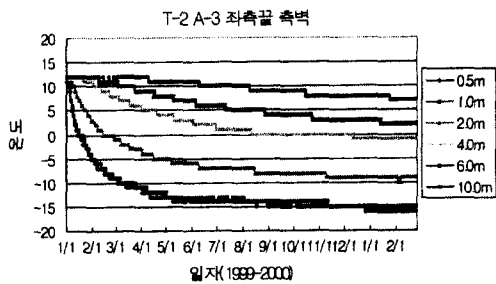


Fig. 9. 암반 온도 계측 결과 (T-2)

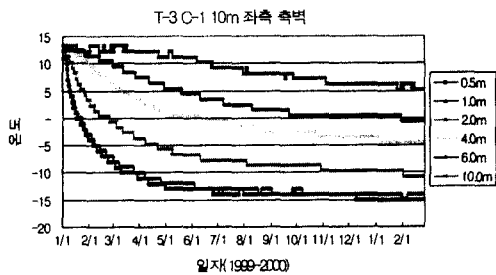


Fig. 10. 암반 온도 계측 결과 (T-3)

저장고의 입구쪽과 안쪽에 설치된 계측결과에 대해 설명한다.

Fig. 9와 Fig.10의 결과는 당초 온도분포 예측치보다 암반 온도가 높게 나타나고 있다. 냉동기 가동 후 1년 후의 0°C 선이 암반내 12m에 이를 것으로 예상되었는데, 계측 결과는 6m 정도이다. 이는 암반내 공극을 차지하고 있는 지하수의 영향으로 판단되며, 물이 어는데 필요한 열량이 생각보다 높게 들어가는 것으로 판단된다. 또한, 지하수 유동에 의한 열의 손실이 많이 발생하는 것으로 판단된다. 터널 입구쪽에 설치된 T-2 계측기의 온도와 이보다 15m 안쪽에 설치된 T-3 계측기의 온도 분포에서 벽면내 0.5m, 1.0m 암반온도는 비슷하게 나타나는데 2.0m~10.0m 암반온도는 약 1~2°C T-3 계측기가 높게 나타나고 있다. 이는 터널입구쪽에 설치된 T-2 계측기가 외기의 영향을 받아 온도가 더 높은 것으로 판단된다.

4.3 암반 축열상태 분석

현재 예냉 시작후 1년이 경과한 시점에서 암반의 축열 상태를 분석하기 위하여 2000년 1월 22일~23일과 1월 26일~28일 2회에 걸쳐 냉동기 가동을 중지시킨 후 암반 저장고내 온도 변화를 관측하였다. Fig. 11, 12의 결과에서 보듯이 가동 중지후 2시간 이내에 암반저장고의 온도는 2~4°C 급상승하며, 이후 완만하게 증가하는 것이 관찰된다.

냉동기 가동 중지후 가장 온도가 안정적으로 나타나는 것은 예냉기간이 길었던 #4 저장고이며, #2, #3 저장고는 양쪽에 다른 저장고가 있는 관계로 #1 저장고에 비해 온도 상승이 낮게 나타나고 있다. 특이한 것은 예냉 시간이 가장 오래된 #5 저장고의 온도 상승이 다른 참고에 비해 높게 나타나는 데, 이는 #5 저장고 주변이 지반조

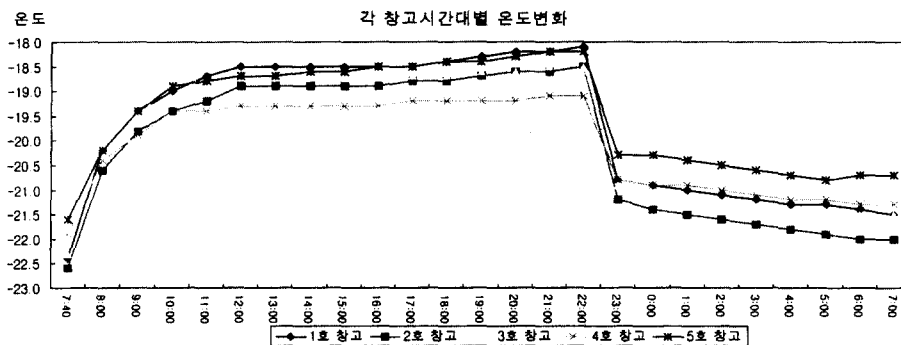


Fig. 11. 냉동기 가동 중지후 참고별 온도변화(1차시험)

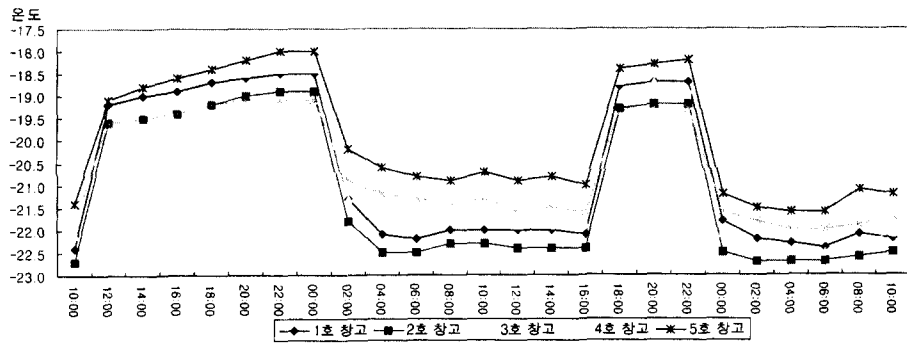


Fig. 12. 냉동기 가동 중지후 창고별 온도변화(2차시험)

Table 5. 국내 시간대별 전력 요금 체계 단위:원/kw

기본요금 (원/kw)	시간대	여름	봄, 가을		겨울
			6월	4,5,9월	
4,920	심야 (22:00-08:00)	28.30	28.30	28.30	28.30
	주간 (08:00-18:00)	82.50	55.60	45.70	51.90
	야간 (18:00-22:00)	55.60	45.70	55.60	63.00

사결과에 따르면 단층 등 연약대가 분포하는 것으로 파악되어 이의 영향으로 열의 유출이 발생하고 있는 것을 판단된다.

4.4 냉동 저장고의 효율적 운영

건설전 경제성 분석 당시에는 전체 사용 전력량만으로 경제성 분석을 실시하였지만, 지하저장고를 운영하면서 전력비 검토를 한 결과 국내 전력요금 체계가 계절별, 시간별로 다르게 설정되어 있어 전력비 상승이 전체 사용 전력량 뿐만 아니라 시간대별 사용량에 따라 발생하는 것을 발견하고 전체적인 전력비 절감방안에 대해 검토하였다.

Table 5에서 보면 계절에 상관없이 심야시간대의 전력비가 가장 싸며, 여름은 주간시간대의 전력비가, 겨울은 야간 시간대의 전력비가 가장 비싸게 책정되어 있다.

따라서, 현재 곤지암 지하암반 저장고는 전력비가 가장 싼 심야 시간대에 전체 냉동기를 가동하고, 주간에는 -18°C를 설정온도로 하여 냉동기 가동과 중지를 반복하고 있으며, 야간시간대에는 가급적 냉동기 가동을 중지시키고 있다. 위와 같이 냉동기 가동을 변화시켰을 때 전력비는 더욱 절감될 것으로 판단된다.

5. 결 론

1. 곤지암 지하 암반 저장고는 12m×10m×60m의 2개의 냉동 저장고와 12m×8m×50m의 2개의 냉장 저장고로 설계 되었다.

2. 지반 조사 결과 대상 부지의 암반 상태가 RMR 암반분류법에 따르면 Poor~Good으로 매우 다양하게 나타나며, 특히 부지 경계부는 매우 불량한 암반으로 조사되었다. 따라서, 당초 15m 폭으로 설계하였지만 구조안정 해석후 12m 폭으로 축소하여 저장공동의 안정성을 확보 하였다.

3. 열 유동 분석 결과 냉동기 가동후 1년 경과후 냉동실은 0°C 선이 암반내 12m 까지 도달하고, 냉동실 사이는 상호 간섭에 의해 -20°C 까지 온도가 내려갈 것으로 예측되었다. 10년이 경과한후 냉동실 주변의 암반은 0°C 선이 32m 까지 미칠 것으로 예측되었다.

4. 열부하 계산 결과 냉동기 용량 75 kw로 가동할 시 냉동기 가동후 11개월이 지나면서 열부하가 감소하기 시작하며, 최종적으로 36.2 kw의 열부하가 발생할 것을 예측되었다. 150 kw로 가동할 시 냉동기 가동 2개월후 열부하가 감소하기 시작하며 최종적인 열부하는 75 kw의 경우와 동일한 것으로 예측되었다.

5. 곤지암 지하 암반 저장고는 현재 -20°C~-22°C로 운영중에 있으며, 99년 12월 기준으로 투입열량은 평균 53 kw/h로 당초 예상한 열량보다 약간 적게 투입되고 있다.

6. 암반온도 계측 결과 암반 온도는 당초 예상한 결과보다 약간 높게 나타나고 있지만, 이는 운영온도를 -25°C에서 -22°C로 설정한 결과이다.

7. 암반의 축열상태를 분석하기 위한 시험에서 냉동기

가동을 중지 시킨후의 창고의 온도는 초기 2시간 내에 2~4°C 급격하게 증가하다가 이후 1°C 이내의 완만한 증가를 보여 준다. 이는 암반내의 축열이 창고별로 -18.5~-19.5°C 까지 진행된 것으로 판단되며, 향후 냉동기 가동을 계속하면 설정온도인 -22°C까지 축열이 진행될 것으로 판단된다.

8. 국내 전기료는 계절별, 시간별로 요금체계가 다르게 책정 되어 있으며, 지하 암반 저장고의 전력비를 낮추기

위해서는 전력 요금이싼 시간대에 냉동기 가동을 최대한으로 하고, 비싼 시간대에 냉동기 가동을 최대한 억제하는 방안이 강구되어야 한다.

9. 곤지암 지하 암반저장고는 전력비 절감을 위해 냉동기 가동 시간을 심야에 전체 가동, 주간에 필요시 가동중에 있으며, 주간의 가동중지가 암반의 축열에 미치는 영향은 향후 분석을 통해 검증할 것이다.

김 영 웅



1967년 서울대학교 물리과학대학 지질학과 졸업, 이학사

Tel : 0343-420-3119
E-mail : ywkim@karico.co.kr
현 재 지하수사업처장

이 규 상



1994년 서울대학교 공과대학 자원공학과, 공학사
1996년 서울대학교 대학원 자원공학과, 공학석사
1999년 서울대학교 대학원 자원공학과, 암반공학 박사과정

Tel : 0343-420-3530
E-mail : leegs@karico.co.kr
현 재 농업기반공사 지하수사업처 근무