

## 공공도서관에 지열시스템 적용시 경제성에 관한 연구

최창호\*

\*광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사

### A Study on the Economic Analysis of Cooling-Heating System Using Ground Source Heat in a public library

CHOI, Chang-Ho\*

\*Dept. of Architectural Engineering, Kwangwoon University

#### Abstract

This study evaluated the economic benefits by comparing Cooling-Heating System with the existing system in the public library. The building's annual energy consumption was measured by adding the figures of the absorber chillers, the air conditioners and heaters in the building. The total amount of annual energy consumption was 143.51RT in air-conditioning and 83.66RT in heating. So, We made the capacity of geothermal heat pumps three 50RTs in order to check up this system. In order to estimate each construction and equipment cost and to evaluate economical efficiency, LCC (Life Cycle Cost) method was used and the service life of the building was sixty years. The result of analysis was that the geothermal cooling-heating system was more efficient than the existing system in public library.

Keywords : 지열(Geothermy Heat), 냉난방시스템(Heating/Cooling System), 초기투자비(Initial Cost)

#### 1. 서론

##### 1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날의 급속한 근대화의 과정 속에서 눈부신 발전을 이룬 반면에 몇 가지 부정적인 측면도 함께 생겨났다. 그중 대표적인 것이 에너지의 과소비와 도심지 환경문제다. 이러한 현실에서 우리는 에너지를 아껴야 할 뿐만 아니라 화석 연료와 같은 대체에너지를 만들

어야 할 것이다. 현대에서는 이것의 해결책 중에 하나를 신재생 에너지로 보고 있으며, 그 중 2000년대 들어 국내에서 많이 사용되고 있는 지열에너지를 해결책 중 하나로 보고 있다. 그러나 아직까지 많은 사람들에게 경제성이 떨어지는 신재생 에너지로 인식되어 있고 이런 잘못된 인식은 쉽사리 지열을 선택하지 못하게 하고 있다. 하지만 지열은 경제성 측면에서 큰 장점을 나타내고 있고 이미 많은

투고일자 : 2011년 12월 14일, 심사일자 : 2011년 12월 17일, 게재확정일자 : 2012년 2월 22일  
교신저자 : 최창호(choi1967@kw.ac.kr)

업체에서 실제 적용되고 있는 좋은 대체에너지이다. 또한, 지열을 이용한 냉난방 시스템은 효율성이 높아 다른 신재생 에너지에 비해 매우 우수함에도 불구하고 지열에 관한 국내연구가 많이 이뤄지지 않은 상태에 있다. 특히 지열냉난방 시스템의 연간 운전비용 및 유지비용에 대한 정확한 데이터를 거의 찾아 볼 수 없는 실정이다.<sup>5)</sup> 따라서 냉난방 부하량이 크고 파급효과가 크며 건물의 사용시간도 긴 공공구립도서관을 대상으로 기존의 냉난방(에어컨, 흡수식 냉동기)과 지열 냉난방 시스템의 공사비, 장비비, 유지관리비 등의 경제성을 분석하여 본 시스템의 적용성을 분석하였다.

### 1.2 연구의 연구의 범위 및 방법

지열에너지는 2000년대 이후에 발전한 신재생에너지로써 아직까지 많은 연구가 진행되지 못한 상태이며, 국내같은 경우 지열 냉난방 시스템 기술수준은 고유가 시대에 따른 관심과 보급활성화가 높아지고 있는 반면 미국과 유럽에 비해 아직 초기단계 수준에 있으며 시스템을 구성하고 있는 히트펌프는 외국에서 수입하고 있는 실정이다.<sup>5)</sup> 경제성 분석 또한 아직까지 많은 연구가 진행되었다고 할 수 없으나, 현재 많은 기업과 정부에서 투자를 하고 있는 실정에 있으며, 에너지를 많이 사용하고 있는 복합용도 건물의 입주 전 성능평가<sup>6)</sup>와 넓은 대지를 확보하고 있는 군 복지시설에 관한 경제성 평가<sup>8)</sup> 그리고 대한주택공사 주민복지관 및 공공복지 시설 적용시 분석사례<sup>10)</sup> 등이 있으며, 지열냉난방의 특징을 잘 살릴 수 있는 공공구립도서관의 분석사례는 없는 실정이다. 따라서 지열시스템 적용에 있어서 유리한 요소들을 가지고 있는 서울소재 모 구립도서관을 대상으로 그 경제성을 평가하고자 한다.

열원설비로 사용되고 있는 흡수식 냉온수기, 에어컨, 온풍기의 관한 장비를 파악한 후 각각의 초기 투자비, 운전비, 유지관리비, 폐기처분비를 산출하고 이 열원설비의 맞는 용량의 지열 히트펌프를 선정하고 장비와 공사

비를 산출하여 각각의 비용들을 기존의 설비들과 비교 합산하여 그 비용에 대한 은행이자율과, 대출금리에 관한 연간 평균치와 할인율을 적용하여 비용분석을 통한 경제성을 평가한다.

그리고 대상립도서관을 대상으로 기존 시스템을 지열냉난방 시스템으로 교체했을 경우 얼마 만큼의 경제성을 나타낼 수 있는지 알아볼 것이며, 그 방법으로는 LCC(Life Cycle Cost)분석기법을 적용한다.

## 2. 연구대상 도서관의 지열 냉난방 시스템

### 2.1 지열 에너지원

지열은 지중(토양, 지표수, 지하수 등)에 저장된 태양복사 에너지(그림1)이며, 지구에 도달한 전체 태양 복사에너지 중 약 47%를 차지하고 있고 이중에서 지반속에 저장되는 에너지는 지표면으로부터의 깊이에 따라 천부지열과 심부지열로 구분된다. 천부지열은 지표로부터 약 150~200m까지에 저장된 지열로 지중온도는 지형 및 지역에 따라 다르지만 10~20℃ 정도의 냉난방 설비로서 기대되고, 심부지열은 지하 200m 이하의 에너지이며 40~150℃ 이상의 온도를 유지한다. 일반적인 지중온도는 지표에서 깊이 5m이상에서 외기의 큰 영향을 받지 않고 있으며, 그 이하부터는 계속 하강하는 값을 가지다가 15m정도 에서는 더운 여름이던 추운겨울이던 상관없이 일정한 온도를 유지하고 있다. 연중 대기온도의 변화에 영향을 받지 않는 지중 온도가 15℃라고 가정할 때, 한여름의 기온에서 15℃는 추울 정도로 서늘한 온도이며, 한겨울의 15℃는 별다른 난방장치가 필요없을 정도로 따뜻한 온도이다(그림2).

한국지질자원 연구원의 Mapping 자료에 의하면 서울과 광주의 심도 1, 5, 10m에서 지중온도는 월별로 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 우리나라 지중온도는 15m 이상부터 13~15℃의 온도를 유지하고 있으며 이 온도를 이용 실내의 냉난방을 유지하는 것이다.

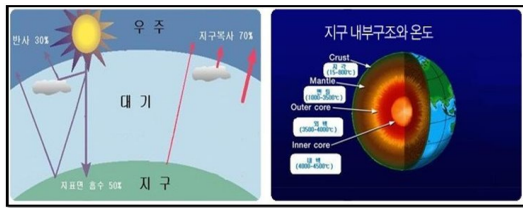


그림 1. 지구 내부구조에 따른 지중 온도변화

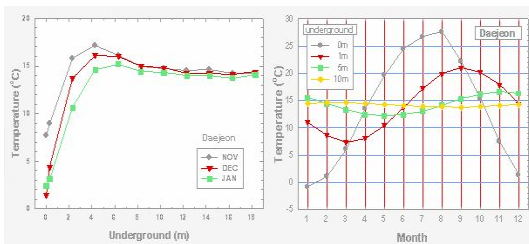


그림 2. 지중깊이에 따른 온도변화

## 2.2 지열 냉난방 시스템의 원리

지열 냉난방 시스템의 주요설비로는 지열을 회수하기 위한 열교환기와 회수한 저온의 지열을 유효에너지로 변환시키기 위한 히트펌프(heat pump)가 있다.

지열 히트펌프는 일반 가정에서 쓰는 에어컨과 같은 원리로 운전되며 그림3과 같이 냉방·난방의 사이클 운전을 하고 있다. 지열 냉난방 시스템의 전체 가동원리는 지표 아래의 일정한 온도를 유지하는 열을 이용하여 여름에는 실내의 더운열을 지반아래로 보내고 지반의 차가운 열은 실내로 보내 냉방을 하며 겨울은 반대로 실내의 차가운 열을 지반으로 보내고 지반아래의 따뜻한 열을 실내로 보낸다.

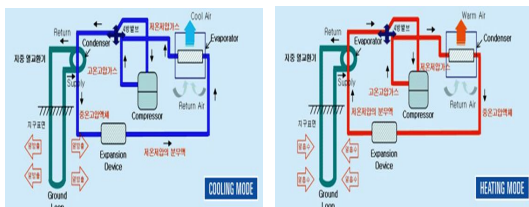


그림 3. 냉·난방 사이클

## 2.3 지열 냉난방 시스템의 특징점

1) 경제성  
냉난방 시스템 적용시 최대 50%이상 에너지 절감이

가능하며, 초기투자비가 비싸다는 단점이 있지만

다른 시스템에 비해 수명이 길며, 특히 지열 열교환기는 설치시 반영구적이다. 또한 별도의 장비 없이 온수사용이 가능하고 관리비용 및 관리인이 필요하지 않는다.

2) 편리성

냉방, 난방, 급탕이 1대의 장비로 가능하고, 별도의 기계실이 없어도 설치가 가능하여 도서관 공간 구획의 있어 유리하다.

3) 안전성

지열 냉난방 시스템은 화석연료를 사용하지 않고 고압가스 배관이 없어 화재나 폭발로부터 안전하다. 또한, 냉각탑이 없으므로 냉각탑에서 생길 수 있는 병균이 발생하지 않기 때문에 많은 인원이 활동하는 공공도서관에 적용시 유리하다.

4) 친환경성

이산화탄소 및 각종 오염 발생이 없어 친환경 적이며, 냉각탑에 의한 소음 및 방출이 없으므로 조용한 실내분위기를 조성하기에 유리하다.

## 3. 지열 냉난방 시스템의 경제성 분석방법

### 3.1 공공구립도서관의 부하특성

공공도서관의 가장 큰 특징은 실의 특성마다 사용시간이 크게 차이난다. 각각의 도서관마다 시간은 약간씩 다를 수 있으나, 일반적으로 열람실의 경우 아침 7~8시부터 저녁 10~11시까지 운영되며, 일반자료실은 아침9시

부터 저녁6까지 운영되는 반면 종합자료실은 아침 9시부터 저녁 10시까지 운영된다. 그리고 공공구립도서관의 경우, 도서관 내부에 대부분 식당을 두고 있으며, 건물전체에 걸쳐 많은 사람들이 다니기 때문에 초기에 정확한 실의 특성을 파악한 냉난방 부하를 고려해야 한다. 공공도서관에 있어 가장 중요하다고 할 수 있는 일반열람실 같은 경우 인체발열에 대한 정확한 냉난방 부하계산이 요구되며 도서관 직원들이 있는 사무실 같은 곳은 컴퓨터 등의 기기부하를 잘 고려해야 한다. 또한 대부분 식당이 있어 이곳에서 발생하는 열부하를 고려해 적용하여야 한다. 따라서 공공도서관의 각 실의 정확한 사용시간과 냉난방 부하에 영향을 미치는 요소들을 파악하여야 한다.

본 연구에서는 기존 건물이 사용하고 있는 냉·난방 설비를 지열 냉난방 시스템으로 교체했을 때 얼마만큼의 경제성이 있는지 알아보는 연구로서 각 실의 특성마다 냉·난방 부하에 영향을 미칠 수 있는 인체발열이나 기기발열 등은 고려된 것으로 보고 본 연구에 적용되는 건물의 실제 가동시간을 적용하여 경제성 분석을 한다.

### 3.2 가동률

더운 여름이나 추운 겨울에는 난방 및 냉방에 대한 열원설비의 가동률이 높으며 비교적 날씨가 덥거나 춥지 않는 봄과 여름에는 가동률이 낮다. 따라서 각 달에 맞는 열원설비의 사용량을 선정하여야 한다. 표1은 지열전문업체에서 경제성 분석에 사용되고 있는 가동률로써 표1과 같은 가동률을 선정하였다.

표 1. 열원설비 가동률

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
가동률	90%	80%	50%	40%	50%	60%
구 분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
가동률	90%	90%	75%	50%	70%	90%

### 3.3 에너지 가격

지열냉난방 시스템, 냉온풍기, 에어컨은 전기로 운전되며, 흡수식 냉온수기는 작동에 필요한 약간의 전기와 도시가스를 연료로 사용하고 있다. 한국전력에서 책정된 요금표에 따르면 교육용 전기는 여름인 7, 8월이 가장 비쌌으며, 겨울인 11, 12, 1, 2월이 중간, 나머지 봄과 가을의 전기료가 가장 싸다. 또한 도시가스 공사에 따르면 크게 냉방용과 난방용으로 나뉘었으며 난방용 가스비가 약340원/NM<sup>3</sup> 비쌌다.

### 3.4 초기투자비용 산출

본 연구에 적용되는 건물의 냉난방 설비에 대한 장비를 파악하고 각각의 장비의 비용은 지열전문업체에서 견적을 냈다. 에너지관리공단에 따르면 지열 냉난방 시스템 적용시 1RT당 약440만원의 표준공사비가 소요되나 실제 업체에서 공사를 하게 되면 440만원보다 싼 가격에 지열 냉난방 시스템을 적용할 수 있다. 따라서 각각의 설비에 대한 표준적인 공사비를 적용해야 하나 흡수식 냉온수기에 대한 표준공사비가 없기 때문에 각각의 시스템 적용에 대한 일반적인 표준공사비를 적용하기 어렵다. 따라서 냉난방 능력이 같은 지열 냉난방 시스템과 흡수식 냉동기에 대한 비용의 객관적 평가를 위해 업체에서 직접 작성해준 견적서를 본 연구의 초기투자 비용으로 산정한다.

### 3.5 운전비용 산출

각각의 열원장비들이 가지고 있는 냉방능력과 난방능력을 산출한 후 총 용량을 구하고 장비에 맞는 연료(도시가스 및 전기비)를 계절에 맞는 사용금액과 가동률을 곱하고 1개월당 건물사용 시간을 산출한 후 최종 운전비를 산출하며, 계산식으로는 아래와 같이하여 본 연구에 산출 적용한다.

\* 운전비용= 운전일수\*하루 건물사용 시간\*냉난방 용량\*가동률\*연료단가

### 3.6 기타비용

#### 1) 유지관리비용

흡수식 냉온수기를 사용할 경우 기계실을 따로 두고 항시 인원이 배치되어 있어야 한다. 반면 지열 냉·난방 시스템은 간단한 조작만으로도 가능하기 때문에 인건비 면에서 큰 유지관리비가 차이 난다. 또한 흡수식 냉온수기 같은 경우 연간 필터교체나 부분수리 비용이 필요한 반면 지열 냉난방 시스템은 히트펌프의 간단한 관리만으로 충분하다. 따라서 비용면에서 연간 큰 차이를 보이고 있지만, 장비의 특성과 관리인의 유지관리 능숙도 등의 상황에 따라 달라지므로 정량적인 데이터를 수집할 수 없어 업체에서 개략적으로 LCC산정시 사용되는 비용으로 흡수식냉온수기 20,000,000원과 지열 냉·난방 시스템 2,000,000만원으로 선정하였다.

#### 2) 폐기처분비용

일반적으로 흡수식 냉온수기에 비해 지열 냉·난방은 장비도 간단해 폐기처분 비용이 작을 것으로 예상되지만 지열 열교환기 처리 때문에 비용이 상승할 것이다. 또한, 지열 냉난방 시스템은 2000년 이후에 발전하였고, 아직까지 국내 지열처리비용에 관한 데이터를 찾기 힘든 실정이다. 따라서 이것 역시 업체에서 개략적으로 나타내고 있는 비용으로 각각 15,000,000만원으로 선정했다.

### 3.7 LCC분석

현재가치를 미래의 가치로 환산하는 기법으로써 분석하고자 하는 건물의 건물생애주기 동안 발생하는 모든 비용을 고려하여 경제성을 평가하는 방법으로 대상의 초기투자비, 수선비, 유지관리비 등을 구하고 양쪽 시스템을 적극적 할인율 및 소극적 할인율을 적용하여 연간 발생하는 비용을 미래의 값으로 비교 분석한 후 시스템의 타당성을 비교분석한다.

1. 실질할인율 (적극적) =  $(1+\text{은행이자율}) \times (1+\text{물가상승률}) - 1$
2. 실질할인율 (소극적) =  $(1+\text{은행이자율}) / (1+\text{물가상승률}) - 1$
3. 계산식

$$\text{현재가치} \rightarrow \text{미래가치}$$

$$\text{불변가} \times (1+\text{할인율})^n \quad \Sigma(\text{불변가} + \text{값}) \quad n\text{년후 가치}$$

※ 불변가 : 연간 에너지 사용비용

### 4. 지열 적용시의 경제성 분석

본 연구에 적용되는 설비로는 지열 히트펌프와 흡수식 냉동기다. 이 설비들은 열원 설비 측면 다를뿐, 공기조화기나 팬코일 유닛 등 기타 부속기기들은 양쪽 시스템 모두 같다. 따라서 본 연구는 이러한 시스템들은 고려하지 않으며 아래 그림4와 같이 지열 냉·난방 시스템의 열원측인 지열 히트펌프, 지중열교환기, 지열순환펌프, 냉온수 순환펌프와 흡수식 냉온수기 시스템의 열원측인 냉온수 3유닛, 냉온수 펌프, 냉각수 펌프, 냉각탑에 대한 초기 투자비 및 운전비 등을 산출하여 본 연구에서 적용되는 LCC(Life Cycle Cost)분석방법을 통해 경제성에 대한 분석을 비교 분석한다.

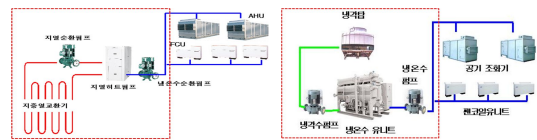


그림 4. 지열 히트펌프 및 흡수식 냉온수기

#### 4.1 건물개요



그림 5. 대상 구립도서관

서울특별시에 위치한 E구립도서관으로서 2001년 10월 개관하였다. 부지면적 8,149㎡, 총

면적 5,060m<sup>2</sup>의 지하 1층·지상 3층 건물이다. 종합자료실, 어린이자료실, 시각장애인자료실, 정기간행물실, 디지털자료실, 열람실, 문화교실, 정보화교육실, 시청각실 등으로 구성되며 각 층에 대한 바닥면적은 표2와 같다.

표 2. E구립도서관의 구조 및 바닥면적(m<sup>2</sup>)

명칭 동층	건물용도 및 명칭	구 조	내장물	바닥면적
지층	교육연구시설	철근콘크리트	내화	1614.42
1층	교육연구시설	철근콘크리트	내화	1397.96
2층	교육연구시설	철근콘크리트	내화	949.45
3층	교육연구시설	철근콘크리트	내화	958.57
옥탑	교육연구시설	철근콘크리트	내화	139.59
합 계				5059.99

#### 4.2 기존시설 현황 (냉난방 열원)

흡수식 냉수기 2대를 냉난방용으로 사용하고 있으며, 보일러는 노통연관식으로서 난방용으로 사용하지 않고 급탕가열용으로만 사용하고 있다. 따라서 열원설비측에 속하나 냉난방용이 아니기 때문에 본 연구에서 고려하지 않았다. 또한 어린이 열람실 및 전산실 등에 냉온풍기와 에어컨을 사용하고 있다. 따라서 본 연구에 보일러를 제외한 모든 냉난방기기의 능력을 합한 결과 냉방능력으로 143.51RT, 난방능력으로는 83.55RT가 나왔으며 각각의 기기에 대한 상세한 내용은 표3와 같이 정리하였다.

표 3. 총 냉난방용 설비

기계 번호	설 비 명	규 격	수량	비 고
1	보일러	노통연관식 0.5t/hr 난방능력 : 321,850Kcal/h	1대	급탕 가열용
2	흡수식 냉수기	냉방능력 : 100USRT(2대) 난방능력 : 253000Kcal/h(2대)	2대	냉난방용
3	냉온풍기	10RT	2대	실별추가
4	냉온풍기	5RT	1대	실별추가
5	냉온풍기	2RT	1대	실별추가
6	Air con	LS-146CS : 1.56RT	3대	실별추가
7	Air con	LP-336CS : 2.84RT	4대	실별추가
8	Air con	AS-K42N : 0.47RT	1대	실별추가
총계	총 냉방능력 : 143.51RT 총 난방능력 : 83.66RT ※ 보일러는 습기제거 및 급탕가열용으로 난방산정 제외			

#### 4.3 부하특성 및 건물의 하루 가동시간

표 4. 일일 건물 사용시간

자료실별	평 일		주 말
	3월~10월 (하절기)	11월~2월 (동절기)	
종합자료실 (B1, 1F)	09:00 ~22:00	09:00 ~22:00	09:00~17:00
정기간행물실 (1F)	09:00 ~18:00	09:00 ~18:00	
어린이자료실 (1F)			
디지털자료실 (B1)			
참고 자료실 (1F)			
일반열람실 (2F, 3F)	07:00 ~23:00	08:00 ~23:00	07:00~23:00(하절기) 08:00~23:00(동절기)

지하1, 지상1, 2, 3으로 4개의 층이 구성되어 있다. 지하 1층과 지상1층은 일반열람실을 제외한 종합자료실이나, 식당 자료실 등이 배치되어 있으며, 지상2, 3층은 전체 일반열람실로 구성되어 있다. 각 실의 특징으로는 자료실 같은 경우 사용하는 사람이 많지 않고 (일반열람실에 비해) 개방시간도 짧다. 이에 반해 일반열람실 같은 경우 아침부터 저녁까지 항상 이용자가 있으며 이용자 수에 따른 인체발열(잠열, 현열)이 많기 때문에 난방과 냉방에 대한 부하차이가 크다. 따라서 각층에 대한 각 실의 정확한 냉난방 부하를 적용해야 하나 지열 냉난방 시스템을 도서관에 적용시 경제성을 위한 부하산정은 시간에 따라 변할 수 있는 인자가 너무 많고 이들의 영향을 종합적으로 판단하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 연구는 기존 열원설비를 지열 시스템으로 교체했을 경우 경제성을 평가하기 위한 것으로 하루건물 사용시간을 동절기 13시간, 하절기 14시간의 평균치로 산정한다.

#### 4.4 지열시스템 선정

열원설비 측의 총 부하량은 표3에서 알 수 있듯이 냉방 143.51RT, 난방 83.66RT로써 본

건물의 냉난방을 만족시킬 수 있는 지열 히트펌프는 부하량이 난방보다 더 큰 냉방을 기준으로 150RT를 지열 히트펌프를 사용하면 된다. 하지만, 150RT짜리 1대만을 쓰게되면 고장시 건물전체에 냉난방 사용할 수 없을뿐더러 장비의 많은 부담을 주게되며, 각 실에 대한 적절한 조닝계획을 할 수 없다. 따라서 지열 히트펌프의 부담도 줄이며, 고장시나 수리 및 장비 점검시에 편리할 수 있도록 지열 히트펌프를 50RT\*3대로 선정한다.

#### 4.5 초기투자비

도서관의 기존 열원설비는 앞에서 언급했듯이 흡수식냉온수기, 보일러, 냉온풍기, 에어컨으로 구성되어 있으며, 그 밖에 냉각탑, 냉각수 순환펌프, 급탕탱크 등이 있다. 이 장비들은 모두 10년 이상으로 노후된 것이라 현재 시중에 출시되고 있지 않았고, 각 설비에 대한 공사비 및 장비비의 표준적인 단가표가 있지 않아 흡수식 냉동기 설치시 각각의 장비와 시공비에 대한 정확한 금액을 파악하기 어렵다. 따라서 이런 설비들을 시공하고 있는 지열전문업체사에서 이에 준하는 장비와 공사비에 대한 단가를 산출 받았으며 에어컨 및 온풍기는 1대당 각각 100만원으로 산정한다. 또한 에너지관리공단에서는 지열 냉난방 시스템의 표준공사비에 대한 비용을 1RT당 약440만원에 시공되도록 공시했지만 객관적 평가를 위해 지열 냉난방 시스템 역시 지열전문 업체에서 받은 단가표를 장비 및 시공비로 산정하였다. 따라서 지열 히트펌프의 지열 히트펌프나, 순환펌프와 같은 장비비와 천공시 드는 비용인 공사비를 각각 산출하고, 흡수식 냉온수기의 장비비 및 공사비에 대한 초기투자비를 산출하였으며, 지열 히트펌프의 초기투자비는 7억3천 9백만원, 흡수식 냉온수기는 4억2천7백만원이 나왔으며, 총 공사비에 대한 상세한 내용은 표 5, 6와 같다.

표 5. 지열 히트펌프 초기투자비

구분	지열 히트펌프			
	공 종	용 량	수 량	금 액
장비	지열 히트펌프	50RT	3	120,000,000
	지열 순환펌프	2200LPM	2	6,000,000
	지열냉온수펌프		2	6,000,000
비	소 계			132,000,000
공	지열열교환기	150A*150m	68	476,000,000
	팽창탱크	300lit	1	1,000,000
	브라인	10% 알코올	1	8,000,000
사	기계실 지열배관	식	1	90,000,000
	자동제어	식	1	32,000,000
	공사금액			607,000,000
비	총 공사금액			739,000,000

표 6. 흡수식 냉온수기

구분	흡수식 냉온수기			
	공 종	용 량	수 량	금 액
장비	냉온수기	50RT	2	160,000,000
	냉각탑	140CRT	2	20,000,000
	냉각수 순환펌프	1800LPM	2	5,000,000
비	냉온수펌프	1300LPM	2	6,000,000
	에어컨 및 온풍기	31.87RT	12	12,000,000
	소 계			203,000,000
공	급탕탱크	1t	1	10,000,000
	펌프류		1	5,000,000
	연도설치		1	9,000,000
사	기타공사		1	20,000,000
	배관공사		1	150,000,000
	제어공사		1	30,000,000
비	공사금액			224,000,000
비	총 공사금액			427,000,000

#### 4.6 운전비

##### 1) 에너지 소비량

지열 냉난방 시스템의 에너지 소비는 지열 히트펌프와 지열순환 및 냉온수 펌프에서 사용되고 있다. 지열전문업체에서 시공되고 있는 50RT 용량의 지열 히트펌프는 냉방시 시간당 36kw를 소비하고 난방시 45.6kw를 소비하며 펌프쪽에서는 시간당 냉난방 모두 시간당 5.5kw의 전력을 소비한다. 지열 히트펌프에 대한 수량은 3대로써 전체 합산하게 되면 냉방시 시간당 124.5kw, 난방시 153.3kw를

소비한다. 반면에 흡수식 냉온수기는 작동에 필요한 전력소비와 운전에 필요한 가스를 소비한다. 각각의 에너지 소비량은 냉난방시 시간당 3.44kw 전력이 소비되며 냉방시 시간당 14.3NM<sup>3</sup>, 난방시 16.3NM<sup>3</sup>의 가스를 소비하게 된다. 또한, 흡수식 냉온수기의 부속기이라 할 수 있는 냉각탑과 냉각수 및 냉온수기 순환펌프에서 시간당 6.3kw, 19.8kw를 전력으로 소비한다. 그리고 사용하고 있는 냉온풍기에 대한 전력소비는 냉방시 18.36kw, 난방시 35.69kw로 전력을 소비하고 있으며, 에어컨은 냉방시 시간당 각각 2kw의 전력을 사용한다. 따라서 기존 설비의 전력소비 및 가스소비량을 합산한 결과 전력소비에서 냉방시 130.16kw, 난방시 113.95kw, 가스소비에서 냉방시 28.6NM<sup>3</sup>, 난방시 32.6NM<sup>3</sup>를 소비한다.(표7 참조)

2) 에너지 단가표

도시가스 공사에 따르면 가스요금은 냉방시 NM<sup>3</sup>당 433.81원, 난방시 778.28원이고 기본요금은 없다. 반면 한국전력 공사에 따르면 본 연구의 건물이 적용되는 교육용 전기요금은 봄, 여름, 가을, 겨울용으로 계절마다 다르며 여름인 7, 8월의 전기요금이 가장 비싸다. 요금에 대한 자세한 가격표는 표8에 정리 하였으며, 본 연구에서 전기요금에 대한 기본요금은 고려하지 않았다.

표 7. 시간당 에너지 소비량

구분	장비	용량	수량	전력소비 (kw/h)		가스소비량 (NM <sup>3</sup> /h)		비고
				냉방	난방	냉방	난방	
지열 냉난방 시스템	지열 히트펌프	50RT	3	36	45.6			A사 50RT 제품
	지열순환 및 냉온수 펌프	2200LPM	3	5.5	5.5			
총 사용량				124.5	153.3			
흡수식 냉온수기 / 냉온풍기 / 에어컨	냉온수기	50RT	2	3.44	3.44	14.3	16.3	B사
	냉각탑	140CRT	2	6.3				B사
	냉각수 및 냉온수 순환펌프	1800LPM / 1300LPM	2	19.8				B사
	냉온풍기	2TRT	3	18.36	35.69			D,E사
	에어컨	4.87RT	8	2				E,F사
총 사용량				130.16	113.95	28.6	32.6	

표 8. 도시가스 공사 및 한국전력 공사 요금 단가표

가스요금 (원/NM <sup>3</sup> )	냉방용		난방용		기본요금
		433.81		778.28	
전기요금 (원/KW)	5,6,9월	7,8월	3,4,10월	11,12,1월	기본요금
	482	769	482	545	

3) 운전비 산출

2009년 건물 사용시간은 공휴일과 휴관일 제외한 모든 요일을 적용 표9와 같으며 동절기와 하절기에 대한 각 달의 총 운전시간을 산출하고 각각의 달에 맞는 가동률을 산정한

표 9. 지열 히트펌프와 흡수식 냉온수기 운전비

구분	월	운전일수	총운전시간	가동률	지열히트펌프		흡수식 냉온수기			
					전력사용량(kw)	전기요금(원)	전력사용량(kw)	전기요금	가스사용량(NM <sup>3</sup> )	가스요금(원)
난방	1	25	325	90%	44,840.25	2,443,794	33,330.38	1,816,505	9535.5	7,421,289
	2	26	338	80%	41,452.32	2,259,151	30,812.08	1,679,258	8815.04	6,860,569
	3	28	364	50%	27,900.60	1,344,809	20,738.90	999,615	5933.2	4,617,691
	4	28	364	40%	22,320.48	1,075,847	16,591.12	799,692	4746.56	3,694,153
냉방	5	27	378	50%	23,531	1,134,170	21,536.55	1,038,062	6161.4	2,672,877
	6	27	378	60%	28,237	1,361,004	25,843.86	1,245,674	7393.68	3,207,452
	7	29	406	90%	45,492	3,498,358	41,637.33	3,201,911	11912.04	5,167,562
	8	28	392	90%	43,924	3,377,725	40,201.56	3,091,500	11501.28	4,989,370
	9	28	392	75%	36,603	1,764,265	33,501.30	1,614,763	9584.4	4,157,809
난방	10	26	338	50%	25,907.70	1,248,751	19,257.55	928,214	5509.4	4,287,856
	11	28	364	70%	39,060.84	2,128,816	29,034.46	1,582,378	8306.48	6,464,767
	12	28	364	90%	50,221.08	2,737,049	37,330.02	2,034,486	10679.76	8,311,844
총계					24,373,738		20,032,058		61,853,239	

\* 하절기 하루 건물사용 시간 : 14시간, \* 동절기 하루 건물사용 시간 : 13시간, \* 운전일수 : 2009년 건물 사용기준



결과 전력 사용량은 운전시간\*가동률\*시간당 전력소비량 및 가스소비량을 곱한다.

이 값에 요일과 계절에 맞는 단가를 곱해 각각의 달의 맞는 전기요금 및 가스요금을 산출하였으며, 총 합산한 결과 지열 냉난방 시스템은 연간 24,373,738원 흡수식 냉온수기, 냉온풍기, 에어컨은 81,885,297원으로 연간 약70% 에너지를 절약할 수 있다. (표9참조)

#### 4.7 총 비용

지열 냉·난방 시스템과 흡수식 냉·난방의 운전비를 비교해본 결과 초기투자 비용은 지열 냉난방 시스템이 312,000,000원 비싸지만, 연간 운전비에서 57,511,559원으로 기존 시스템이 더 비싸다. 난방비용과 난방비용의 차이는 난방시 약74%, 냉방시 약63%에너지를 절약할 수 있다. 이는 겨울용 가스비가 여름보다 높은 단가와 가스비에 비해싼 전기료 때문이다. 건물의 생애주기는 60년으로 가정하며, 건물의 LCC(Life Cycle Cost)를 하기위한 조건은 아래 표10과 같다.

표 10. LCC(life cycle cost)

지열 냉난방 시스템 (원)		흡수식 냉난방 (원)	
초기투자비용	739,000,000	초기투자비용	427,000,000
냉방비용	11,135,522	냉방비용	30,386,979
난방비용	13,238,217	난방비용	51,498,317
총 냉난방비용	24,373,738	총 냉난방비용	81,885,297
연간 유지비용	2,000,000	연간 유지비용	20,000,000
생애주기 또는 수명	15년	생애주기 또는 수명	30년 (지열열교환기 50년)
폐기처분비	15,000,000	폐기처분비	15,000,000

#### 4.8 LCC산정조건

##### 1) 물가상승률

할인율을 구하기 위한 물가상승률은 통계청에서 발표한 2004년부터 2010년 현재까지를 산

술평균하여 3.03%로 산출하였다. (표11, 참조)

표 11. 물가상승률 (통계청) 단위 : %

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010 현재까지	평균
3.6	2.8	2.2	2.5	4.7	2.7	2.7	3.03

##### 2) 대출금리

할인율을 구하기 위한 대출금리 또한 통계청에서 발표한 2000년부터 2009년 까지 산술 평균하여 6.634%로 산출한다.(표12, 참조)

표 12. 대출금리 (통계청) 단위 : %

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	평균
8.55	7.7	6.7	6.24	5.9	5.59	5.99	6.85	7.17	5.65	6.634

##### 3) 할인율

(1) 적극적 할인율 : 9.86%

$$\text{계산식 : } (1+0.06634) \cdot (1+0.0303) - 1 = 0.0986$$

(2) 소극적 할인율 : 3.49%

$$\text{계산식 : } (1+0.06634) / (1+0.0303) - 1 = 0.0349$$

#### 4.9 LCC 계산

지열냉난방 시스템은 설치 후 2년차부터 유지관리비가 들어가며, 30년 후 히트펌프 폐기처분 및 설치비용이 들어가고 50년 후 지열 열교환기 폐기처분 및 설치비용이 들어가는 반면 흡수식 냉온수기는 15년 마다 폐기처분비 및 설치비용이 들어가며 유지관리비는 지열과 마찬가지로 2년차부터 들어간다. 이 2가지 설비의 각각의 대한 적극적 할인율과 소극적 할인율을 적용하였으며, 계산식은 아래와 같다.

(1) 적극적 할인율 (지열냉난방 시스템)

$$\{ \sum 24373738 \cdot (1+0.0986)^n \} + \text{전년도 총 사용비용}$$

(2) 소극적 할인율 (지열냉난방 시스템)

{  $\sum 24373738 \cdot (1+0.0349)^n$  } + 전년도 총 사용비용

(3) 적극적 할인율 (흡수식 냉온수기)  
 {  $\sum 81885297 \cdot (1+0.0986)^n$  } + 전년도 총 사용비용

(4) 소극적 할인율 (흡수식 냉온수기)  
 {  $\sum 81885297 \cdot (1+0.0349)^n$  } + 전년도 총 사용비용

※ 생애주기 60년으로 n=1~60까지 가는 것으로 본다.

시스템을 60년 사용했을시 흡수식 냉온수기 보다 18억원 이상의 에너지절약을 보였다.



그림 5. 초기투자비 회수기간 (적극적 할인율)

## 5. 경제성 분석에 따른 결과

### 5.1 초기투자 회수기간

#### 1) 적극적 할인율

적극적 할인율을 적용한 결과 6년차에서 초기투자회수에 거의 근접했으며, 7년차 때 초기투자비를 회수한다. (표13, 참조)

#### 2) 소극적 할인율

소극적 할인율을 적용한 결과 5년차에서 초기투자회수비를 회수한다. (표14참조)

#### 2) 소극적 할인율

건물의 생애주기 기간 동안 지열 냉난방 시스템을 60년 사용했을시 흡수식 냉온수기 보다 26억원 이상의 에너지 절약을 보였다.



그림 6. 초기투자비 회수기간 (소극적 할인율)

### 5.2 생애주기(60년)

#### 1) 적극적 할인율

건물의 생애주기 기간 동안 지열 냉난방 시

표 13. 초기투자 회수기간 (적극적 할인율)

구 분	초기투자비	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차	6년차	7년차
흡수식 냉동기	427,000,000	501,536,043	589,382,432	671,139,568	747,353,964	818,523,085	885,099,747	947,496,126
지열 냉난방 시스템	739,000,000	761,186,181	783,381,138	803,763,587	822,496,199	839,727,050	855,590,923	870,210,505

표 14. 초기투자 회수기간 (소극적 할인율)

구 분	초기투자비	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차	6년차	7년차
흡수식 냉동기	427,000,000	506,123,874	602,579,448	696,456,706	787,842,596	876,821,136	963,473,507	1,047,878,157
지열 냉난방 시스템	739,000,000	762,551,781	787,309,323	811,299,412	834,547,927	857,079,878	878,919,428	900,089,927

## 6. 결 론

본 연구에서는 무공해 무한정 에너지원인 신재생에너지 중 지열에너지 대상으로 기존 도서관에서 사용되고 있는 냉·난방 열원설비를 지열 냉난방 시스템으로 교체했을시의 경제성에 대하여 알아보는 연구로서 공공도서관의 일반적인 정의 및 지열 냉난방 시스템의 원리와 종류는 물론 기존설비와 지열 냉난방 시스템의 초기투자비와 운전비 등을 산출하여 LCC(life cycle cost) 통한 경제성을 분석하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 공공구립도서관의 특징과 실내조건 등을 고려해 볼 때 지열 냉·난방 시스템을 적용하는 것이 환경적 측면이나 실용적 측면에서 유용하며, 가장 큰 장점은 적극적 할인율 적용시 60년후 18억원 이상의 에너지가 절약되며, 소극적 할인율 적용시 26억원 이상의 에너지 절약이 가능해 경제성 측면에서 가장 유리하다.
- (2) 본 연구는 열원설비측만 분석한 것으로써 실제 지열 냉·난방 시스템은 급탕도 가능하다. 따라서 급탕에 대한 부분까지 고려된다면 본 연구에서 5~7년의 경제성보다 더 빠른 초기투자비용 회수가 가능하다.
- (3) 실제 도서관의 수도요금을 제외한 연간 총 에너지 사용요금은 108,154,840원으로 이 요금은 흡수식 냉온수기에서 사용하게 되고 있는 전기 요금과 가스 요금(31,808,630원)이 포함되어 있다. 또한, 모든 전기기기들의 전기요금(56,612,760원)이 포함되어 있으며, 보일러에서는 급탕용과 가습용이 포함된 요금(19,733,450원)이고 식당에서 사용하는 급탕 및 가스비가 포함된 금액(7,128,380원)으로 본 연구에 실제에너지 운전비로 적용할 수 없었다. 이렇듯 높은 에너지를 소비하고 있는 공공도서관 규모의 건축물은 열원설비를 지열 냉난방 시스템으로 설치하는 것이 더욱 더 효과적이라 판단된다.

## 후 기

본 논문은 광운대학교 2010년도 교내연구비의 지원으로 진행되었습니다. 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 윤천석(2009), INFINITY복스, 신재생에너지 pp. 7~12, 209~215
2. Godfrey Boyle 한티미디어, Renewable Energy pp360~397
3. 에너지관리공단 신·재생에너지센터(2008), 복스힐, 지열
4. 이광노외4(2002), 문운당, 건축계획 pp458~490
5. 박용부, 박종배, 임해식, 백성권(2007), 공동주택에서 지열 냉난방 시스템 적용시 경제성 분석
6. 황광일, 신동걸, 김중현, 신승호, 정명관(2008), 복합용도 건물에 적용된 400RT급 수직형 지열시스템의 입주전 성능평가
7. 임효재, 송윤석, 공형진, 박성구(2004), 지열 냉난방 시스템의 성능 및 경제성 평가
8. 이종찬, 박용호, 이강, 이상호, 군 복지시설의 지열시스템과 태양열시스템 경제성 평가 사례 연구
9. 최미영, 고명진, 김용식, 박진철, 이연구(2009) 지열 히트펌프 시스템의 국내 적용현황 조사 및 분석
10. 심장보(2006), 주택공사에서의 지열사례, 신재생에너지 보급활성화를 위한 지열 설비의 공공기관 의무화
11. 전재열(2001), 건축 프로젝트의 LCC 및 VE 적용 사례