



일반원고

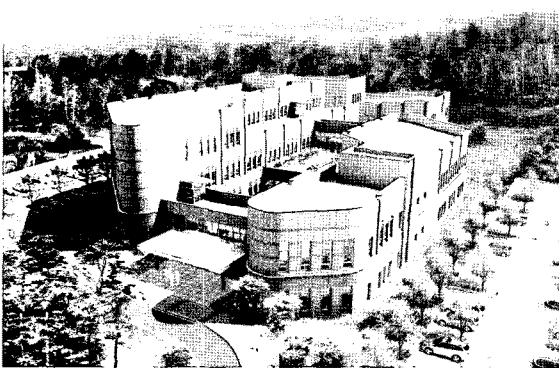
# 지열시스템과 복사냉난방시스템을 이용한 에너지절감기법

민준기

(주)삼우종합건축사사무소 엔지니어링팀 부소장

## 1. 서론

건축계획시 에너지절감을 위하여 패시브디자인과 액티브디자인 요소 기술을 적용하고자 설계자들이 많은 노력을 하고 있다. 본문에서 소개하고자 하는 지열시스템과 복사냉난방시스템은 패시브디자인과 액티브디자인 요소 기술을 접목한 시스템이다. 신재생에너지설치 계획단계에서 경제성 분석을 고려할 때 지열히트펌프, 태양광발전시스템 및 태양열시스템 순으로 비중을 높게 적용한다. 태양광발전시스템은 경제성은 낮으나 홍보 효과 때문에 지열히트펌프시스템 다음으로 많은 비중으로 계획하고 있다. 또한 태양열급탕시스템은 급탕 등의 사용량 제한으로 비중이 낮게 계획한다. 추가적으로 연료전지 열병합시스템 계획시 폐열 사용의 한계, 유지보수의 문제점 그리고 신재생에너지 의무대상 프로젝트의 경우에는 한전 차액보상제 등의 제한으로 건축계획시 설계에 반영하는 경우는 매우 어려운 실정이다.



[그림 1] 생태연구센터 투시도

본문에서는 신재생에너지 중에서 경제성이 뛰어난 냉난방열원인 지열히트펌프시스템과 지열 열교환기를 직접이용한 수열원을 연계하여 해당 업무지원시설 천정에 설치한 복사냉난방판넬을 이용하여 냉난방시 에너지를 절감하는 설계기법을 제시하고 그에 따른 에너지성능을 분석하였다.

## 2. 건축 개요

환경부에서 충청남도 서천군 마서면에 건립을 추진 중인 국립생태원 생태연구센터의 열원은 지열히트펌프시스템을 이용하여 냉난방열원으로 계획하였으며 연구 및 업무지원시설 등에 복사냉난방시스템을 적용하여 경제성과 쾌적성을 동시에 만족시켰으며 그 설계 사례를 다음과 같이 소개하고자 한다.

## 3. 지열시스템의 설계

### 3.1 지열히트펌프시스템

지열히트펌프시스템(155kW × 5ea)과 복사냉

<표 1> 생태연구센터의 건축 개요

구분	내용
대지위치	충청남도 서천군 마서면
건축규모	지하 1층, 지상 3층(철근콘크리트조)
건축면적	3,442.71m <sup>2</sup>
연면적	8,483.69m <sup>2</sup>
외부 마감	고단열 + 2중유리 + 외부전등차양
친환경설비	지열히트펌프, 펌트보일러, 태양열급탕시스템, 중수시스템, 복사냉난방시스템 외

난방판넬시스템이 결합한 시스템으로 지중에 설치된 수직밀폐형 열교환기, 지열히트펌프 및 천정 복사난방시스템으로 구성되어 있다(그림 2 참조).

### 3.2 지열 열교환기 직접순환방식

지열 열교환기와 복사난방판넬시스템은 직접 수열원을 이용하는 방식이다. 이 시스템 구성은 지중에 설치된 수직밀폐형 열교환기, 판형열교환기 및 천정복사난방시스템으로 구성되어 있다. 지열 수직밀폐형의 150m 길이의 열교환기를 기계실의 판형열교환기를 거쳐 공조존에 설치된 복사난방판넬에 일정한 온도의 수열원을 공급하여 난방에 지열을 활용하는 에너지절감형시스템이다(그림 3 참조).

## 4. 복사난방시스템의 설계

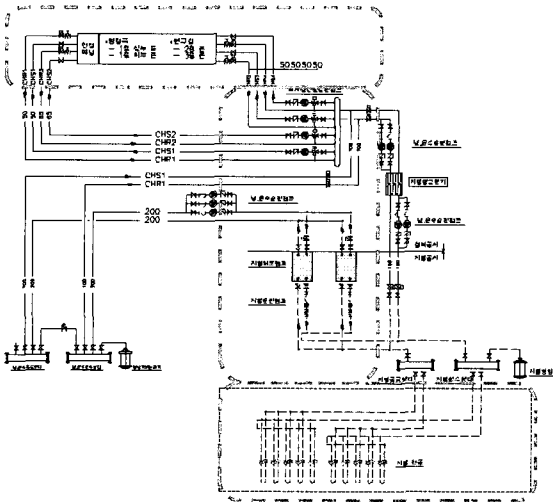
### 4.1 개요

ASHRAE(미국공기조화냉동공학회)에서 정의한 복사난방시스템의 정의는 바닥코일 설치로 건축 구조체를 냉각 또는 가열하거나 천장이나

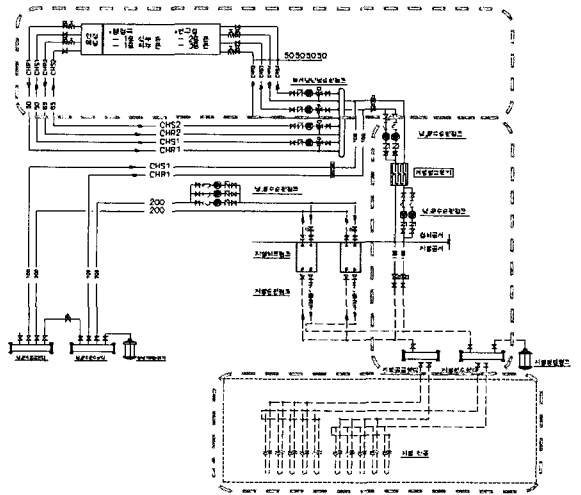
벽체에 복사패널을 설치하고 장파의 형태로 열을 방출하여 온도를 조절하며 재실자가 방출된 복사열을 흡수하여 쾌적함을 느끼게 하는 냉·난방시스템으로 공간과의 열 교환 중 복사의 비율이 50% 이상 차지하는 것을 복사난방시스템이라 한다.

### 4.2 복사난방시스템의 구성

- 복사패널
  - 냉·온수 배관이 설치되어 냉각 또는 가열할 수 있는 건축 마감패널
  - 석고보드형 패널과 금속패널로 구분할 수 있다.
- 제 습 기
  - 실내에서 발생하는 습기를 제거
  - 재실자가 쾌적범위 상태로 느낄 수 있게 상대 습도를 유지해 준다.
- 자동제어
  - 쾌적범위 상태로 실내 온·습도를 안전하고 완벽하게 제어
  - 믹싱밸브 제어를 통해 공급수 온도를 실내 환경에 맞게 조절한다.



[그림 2] 지열히트펌프&복사난방시스템 개념도



[그림 3] 지열열교환기직접순환&복사난방시스템 개념도

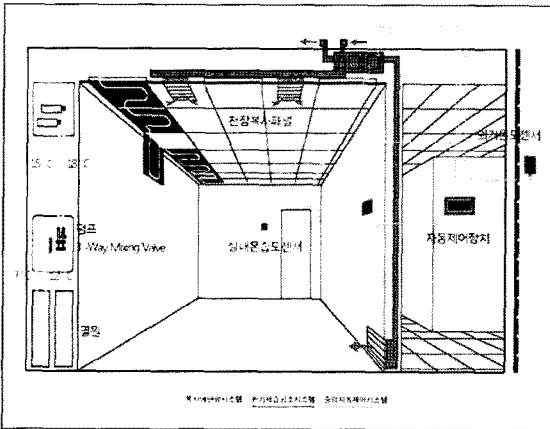
### 4.3 복사냉난방시스템의 특징

- 1) 공급수 온도를 냉방시에 15~17℃, 난방시에 35~40℃로 사용하기 때문에 에너지 효율이 높다.
- 2) 패널 표면의 복사를 이용한 현열 냉·난방으로 전공기 시스템(all-air system)보다 더 높은 실내온도에서 쾌적해 질 수 있다.
- 3) 물배관 방식으로 반송에너지(송풍기동력 > 펌프동력)를 절약할 수 있다.
- 4) 고층 빌딩의 경우 냉·난방 송풍덕트 크기 감소로 층고를 높일 수 있어 전체 빌딩 높이가 줄어 건축비를 절감할 수 있다.
- 5) 바닥복사 냉방은 재실자 활동 범위(약 3.5m 이하)로 냉방을 할 수 있어 상대적으로 천장고가

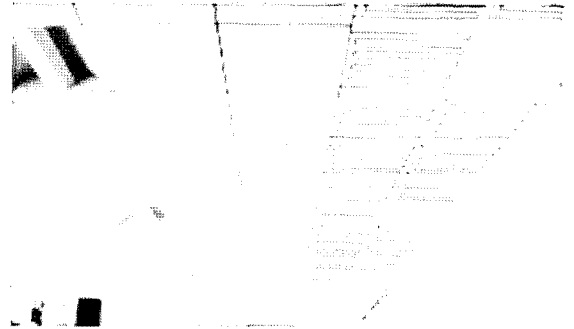
높은 경우 냉방이 불필요한 상부에 열 전달을 하지 않아 적은 에너지 소비로 냉방을 할 수 있다.

### 4.4 복사냉난방시스템의 적용

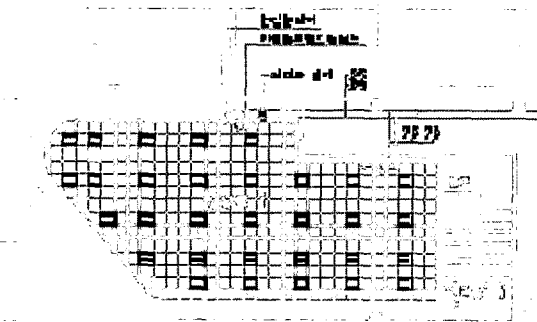
국립생태원 생태연구센터의 적용된 복사냉난방 판넬설계는 해당 공조준에 계획된 복사 냉난방의 계통도, 복사냉난방판넬 평면도, 복사냉난방판넬 개념도, 복사냉난방판넬 천장 마감, 천정복사판넬 열원흐름도, 천정복사판넬 단면상세도 그리고 천정복사판넬 모듈상세도 등으로 구성되었다.



[그림 4] 복사냉난방시스템 계통도



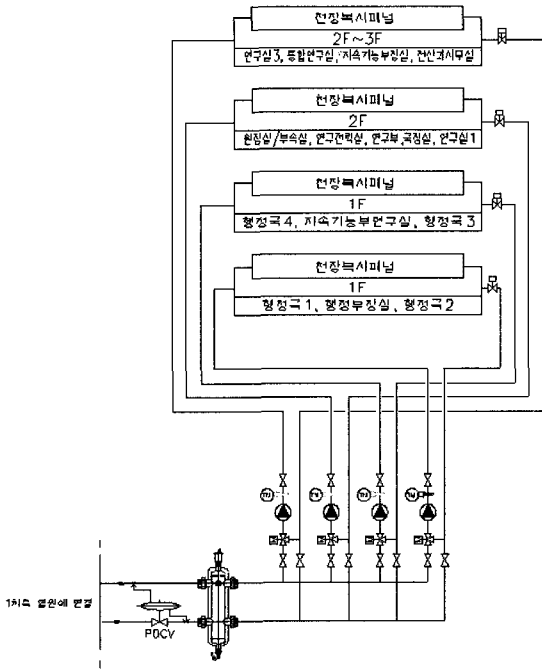
[그림 6] 복사냉난방판넬 개념도



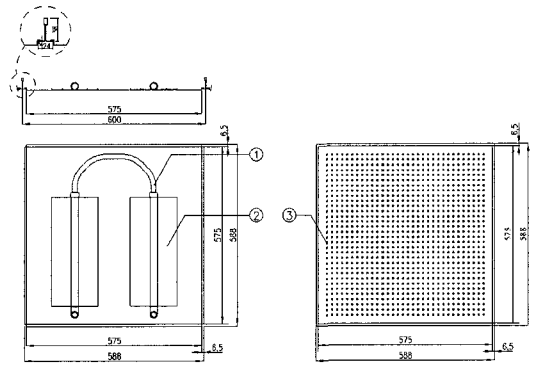
[그림 5] 복사냉난방판넬 평면도



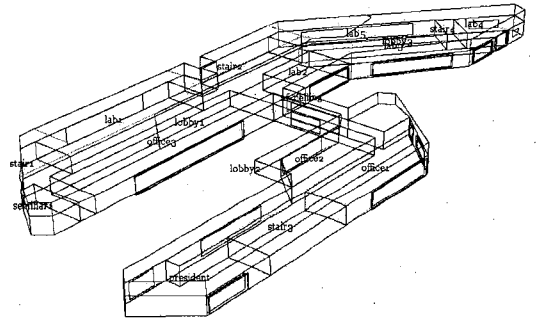
[그림 7] 복사냉난방판넬 마감



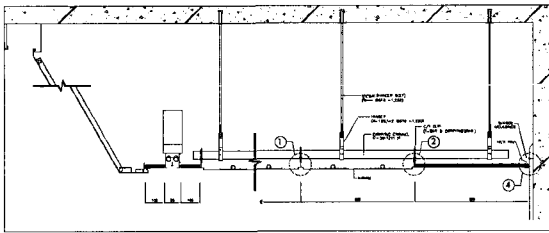
[그림 8] 천정복사패널 열원흐름도



[그림 10] 천정복사패널 모듈상세도



[그림 11] 생태연구센터 지상2층 3D 모델링



[그림 9] 천정복사패널 단면상세도

## 5. 지열 열교환기 직접순환방식의 에너지 절감 분석

### 5.1 분석 방법

지열 수직밀폐형의 150m 길이의 열교환기를 기계실의 판형열교환기를 거쳐 공조존에 설치된 복사냉난방패널에 일정한 온도의 수열원을 공급하여 냉난방에 지열을 활용하는 에너지절감형시스템이다. 이러한 냉난방부하 저감효과를 분석하기 위한 건물의 열·에너지 성능에 대한 시뮬레이션

프로그램은 ASHREA 전달 함수법을 기본으로 사용하는 비정상 해석 프로그램 DOE-2와 TRANSYS 등이 있으며, 최근에는 컴퓨터 기술의 급격한 성장에 따라 고도의 수치해석이 가능한 선형 및 비선형 모델이 사용되는데 대표적인 해석 프로그램으로는 ESP-r 등이 있다. 본 건물은 에너지 성능 평가 시뮬레이션을 위해 DASS ESP-r(Odyssey 2007)을 사용하였다.

### 5.2 동절기 복사냉방부하 절감

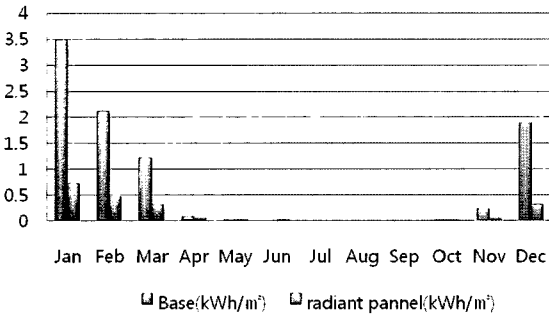
#### 1) 개요

지열을 이용하여 (18 ~ 20℃)의 수온의 물을 펌프를 통해 계속 천정에 설치된 복사 패널에 유입시켜 실내의 천정 온도를 높여줌에 따라 실내의 난방효과를 기대할 수 있다.

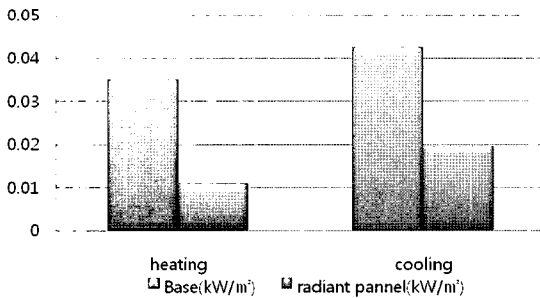
2) 에너지 성능

복사냉난방판넬을 설치함으로써 10%의 에너지를 절감 할 수 있게 된다. 따라서 슈퍼단열, 삼중유리 그리고 쿨튜브와 복사패널을 함께 설치한다면 약 75% 이상의 에너지 절감효과를 기대할 수 있을 것이다.

월별 난방에너지 소비량



[그림 12] 복사시스템의 난방 에너지소비량 비교



[그림 13] 복사시스템의 최대부하 비교

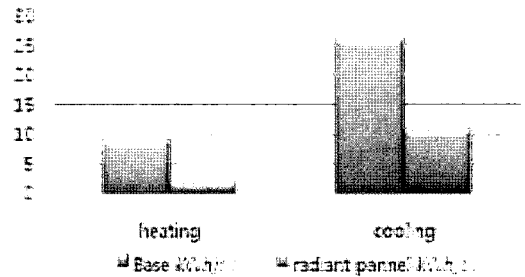
사무실 용도의 건물의 경우 최대난방부하는 보통 출근 전에 나타난다. 밤사이에 떨어진 실내 온도를 높이기 위해 많은 에너지가 투입된다. 때문에 공조가 시작된 이후 30분이나 1시간 정도에 최대 에너지가 사용된다.

복사 패널을 설치하는 경우 최대부하가 20% 이상 줄게 된다. 밤새 지중에서 순환시킨 온수로 인해 복사패널이 실내온도를 높여 난방을 시작하기 전에 많은 에너지를 사용하지 않아도 목표치를 달성할 수 있기 때문이다. 따라서 적은 시스템 용량으로도 최적 운전이 가능하게 된다.

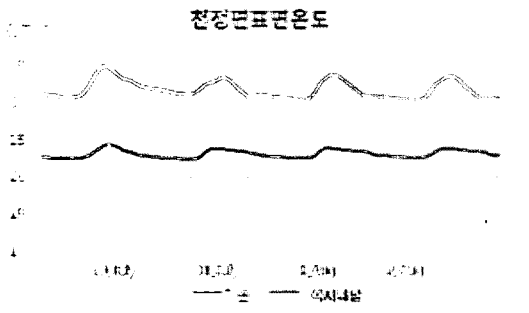
5.3 하절기 복사냉방부하 절감

1) 개요

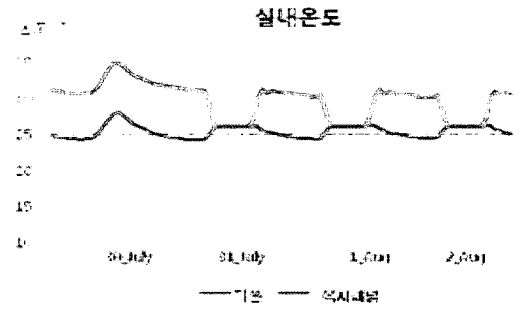
실내 천정에 설치된 복사 패널에 지열에서 열교환 시킨 냉수(18℃)를 순환시켜 냉각시키는 역할을 수행한다. 열원은 지열을 이용하고 펌프



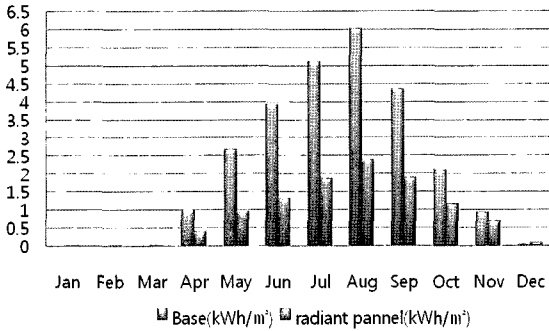
[그림 14] 복사시스템의 총에너지소비량 비교



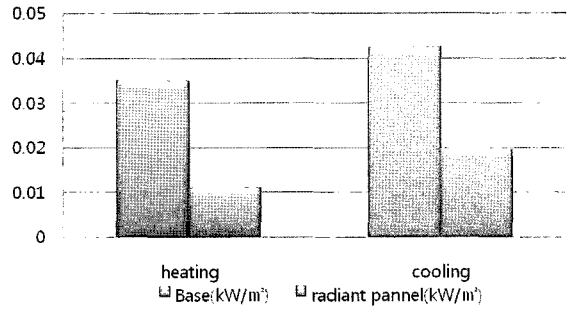
[그림 15] 천정표면온도의 비교



[그림 16] 실내온도의 비교



[그림 17] 복사시스템 월별 냉방에너지소비량 비교



[그림 18] 복사시스템의 냉방 최대부하비교

에 들어가는 전기만 사용되므로 에너지 절감요소가 될 수 있다.

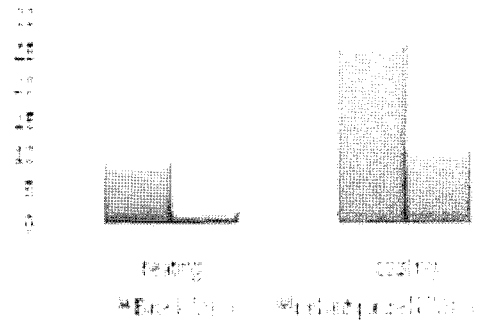
### 2) 실내조건

야간에 펌프를 통해 복사패널에 흘려보내는 시스템으로 구성되어 있다. 따라서 야간에도 냉방하는 효과를 얻어 낼 수 있는데 천정면의 표면온도가 22℃ 이상을 유지하므로 결로의 위험을 줄일 것으로 예상되고, 25 ~27℃ 정도의 실내온도를 유지시켜 평일 냉방공조시스템의 시동부하를 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

### 3) 에너지 성능

중간기 때와 혹서기 때 절감효과가 큰 것으로 나타났다. 혹서기인 8월에는 29%의 절감을 기대할 수 있고, 중간기 때는 10%의 절감을 기대할 수 있다. 따라서 복사 냉방은 여름철에 효과가 좋으므로 중간기 때 우수한 효과를 얻을 수 있는 자연환기 요소와 같이 혼용하면 큰 효과가 있을 것으로 예상된다.

복사 패널의 외기 냉수효과를 통해 냉방에너지의 절감효과를 얻을 수 있다. 복사 패널은 적극적인 자연환기를 하는 경우에는 천정에 결로가 발생하여 시스템의 문제를 야기할 수 있다. 따라서 제습장치와 함께 사용되기 때문에 이전 공조부하를 공기식과 전정형 복사 패널 방식으로 나누는 역할 뿐이라 최대부하는 쿨튜브 적용과



[그림 19] 복사시스템의 냉방 총에너지소비량 비교

큰 차이가 없다. 그러나 냉수의 열원이 지열이고, 야간에 구조체를 식히는 야간 냉방효과에 의해 에너지 소비량은 쿨튜브 적용시 보다 18% 더 절감되는 효과가 기대된다.

그리고 자연환기를 통해 외기 냉방효과를 최대한으로 이용하고, 여기에 복사패널의 절감효과를 반영하므로 기본 모델 보다는 최대부하 74%, 에너지 소비량 57%까지 절감됨을 알 수 있다.

그리고 무엇보다 야간에 냉수의 공급을 통해 공조기의 예열부하를 줄여주므로 공조기의 부분운전과 효율을 증진시킬 수 있도록 운전이 가능하다.

## 6. 맺음말

최근 시공중인 국립생태원에 에너지절감기법을 적용한 지열 열교환기와 복사냉난방판넬시스템

을 설계에 반영하였다. 이 시스템 구성은 지중에 설치된 수직밀폐형의 150m 길이의 열교환기와 기계실의 판형열교환기를 통해 제공된 일정한 온도의수열원을 공조존에 설치된 복사냉난방판넬에 공급하여 냉난방열원으로 지열원을 활용하는 에너지절감형시스템이다.

에너지성능분석 결과는 동절기 난방의 경우 10 ~ 20% 절감되었으며, 야간에 지중 열원을 직접 열교환하여 순환시킨 온수로 인해 복사패널이 실내온도를 난방 운영시간 전에 실내온도를 높여서 난방 운영시간에는 많은 에너지를 사용하지 않아도 목표치를 달성할 수 있기 때문이다. 따라서 적은 시스템 용량으로도 최적 운전이 가능하게 된다. 또한, 하절기 냉방의 경우에는 중간기에는

10%, 혹서기인 8월에는 29%의 절감을 기대할 수 있는 것으로 분석되었다. 복사냉방시스템은 중간기와 혹서기에 절감효과가 큰 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. (주)삼우종합건축사사무소, “국립생태원 건립사업에 따른 에너지성능평가”, 2009. 10.
2. 민준기, “친환경건축물에서 지중열원을 이용한 에너지절감 설계기법”, 지열에너지저널 제 5권 제4호, 한국지열에너지학회, 2009. 12.
3. “ASHRAE Handbook”, ASHRAE(미국공기조화냉동공학회), 2000. 