

지열에너지 이용 및 적용기술

저온 온도차에너지로서 냉난방 열원으로 급격히 보급되고 있는 지열에너지 이용 기술과 적용사례에 대하여 소개하고자 한다.

황 광 일

한국해양대학교 기계정보공학부 (hwangki@bada.hhu.ac.kr)

김 중 헌

삼성물산 건설부문 기술연구소 (kjh5955@samsung.com)

지구상에 문명이 완성되기 전부터 인류는 겨울철에는 따뜻하고, 여름철에는 시원한 땅속에 동굴을 파고 주거했음을 보여주는 유적들이 적지 않다. 이는 인간이 땅의 성질을 이용한 것으로, 이미 땅은 오래전부터 인간에게 에너지원(源)으로서 활용되었다는 것을 의미하며, 오늘을 살고 있는 우리도 우물물, 지하주차장 등에서 이러한 땅의 성질을 경험하고 있다.

우리는 에너지와 환경의 시대에 살고 있다. 알려진 바와 같이, 에너지 공급의 97% 이상을 수입에 의존하고 있는 우리나라의 경우, 요즘과 같이 배럴당 60달러를 넘어선 원유가격은 사회 구성원인 생산자와 소비자 모두의 생산성과 쾌적성을 인위적으로 저해시키는 주요한 위협요소임에 틀림없다. 따라서 지속가능한 개발(sustainable development)을 위해서는 화석연료의 사용량을 줄이고 새로운 환경친화적 대안 에너지 개발이 절실히 필요한 시점이다.

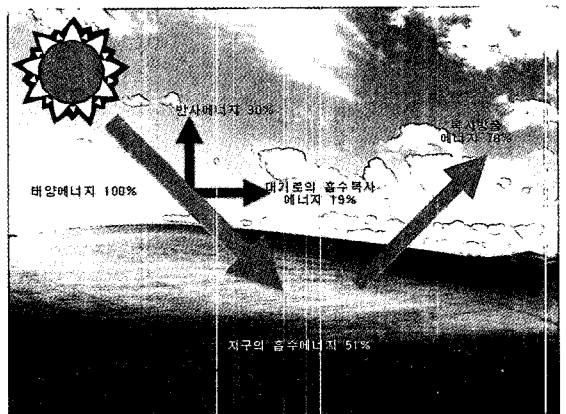
이에 정부는 2004년 4월 「신에너지 및 재생에너지 개발, 이용, 보급촉진법」에서 新에너지(연료전지, 석탄을 액화가스화한 에너지, 수소에너지)와 재생에너지(태양열, 태양광 발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지)를 규정하고 연면적 3,000 m² 이상인 신축 공공기관의 건축물에 대해서는 전체 건축공사비의 5% 이상을 신재생에너지 설비로 설치토록 의무화하고 있다. 11개 신재생에너지는 각기 장단점을 갖고 있으나, 상용화 기술 수준에서 일반적으로 실제 적용 검토되고 있는 것은 지

열, 태양열급탕, 태양광발전, 풍력발전 등이다.

본고에서는 그 중에서도 2004~2005년도 법규 적용 대상 건물의 65%가 채택한 지열에너지시스템의 특성과 구조에 대해 설명하고 간단한 적용사례의 제시를 통해 지열에너지시스템의 이해를 돕고자 한다.

지열에너지의 특성

일반적으로 지열 혹은 지열에너지란, 태양 복사열과 지구내부에서 발생하는 열이 지중(토양, 지하수, 지표수 등)에 열의 형태로 저장된 것으로 정의된다. 그런데 육지와 바다로 이루어진 지구는 그림 1과



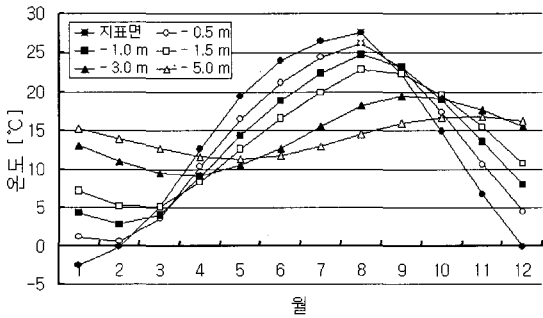
[그림 1] 태양열의 흡수와 방출



같이 태양에너지의 51%를 흡수하고 또한 이중 70%를 방출하게 되는데 이러한 과정에서 지구가 축열하는 에너지량은 지구상의 인류가 필요로 하는 총에너지량의 5배에 달하는 엄청난 에너지이다.

지열은 깊이에 따라, 지표면으로부터 100~200 m 깊이까지의 천부지열과, 지하 200 m이하의 심부지열로 구분할 수 있다. 참고로 국내에서 상업적으로 보급되고 있는 지열시스템은, 국내 지반특성을 고려하여 100~200 m 깊이의 천부지열이 일반적이다.

지중온도는 지구와 태양과의 관계에서 발생하는 일출, 일몰 그리고 봄, 여름, 가을, 겨울의 변화과정 중에 서울지역의 지중온도는 그림 2와 같이 지하



[그림 2] 월별 지중온도 변화

5 m에서의 월별온도변화는 12~17°C로 안정적으로 나타나고 있으며, 천부지열의 지중온도는 10~20°C, 심부지열의 경우에는 40~150°C 정도로 조사되었다. 일부에서는 천부지열의 경우 일반적으로 온도차 에너지원으로, 지하 수 km의 심부지열은 발전열원으로 활용방법을 구분하기도 한다. 천부지열의 영향은 우리 생활속에서도 경험하게 되는데, 외기온도가 30°C를 넘는 무더운 여름에도 지하주차장은 시원하고, 영하의 추운 겨울에도 지하주차장에서는 춥지 않게 느껴지는 것은 외기온도와 지중온도 사이에 그만큼의 온도차가 발생하여 영향을 미치지 때문이다.

이렇듯 지구에 축열되는 에너지의 양은 무한하며 또한 축열된 에너지는 안정적이며 장소와 시간의 제약 없이 받지 않는다는 사실을 알 수 있다. 따라서 이러한 지열에너지를 에너지원으로 하는 다양한 시스템 개발이 진행되고 있다.

지열에너지 이용 시스템 구성

여름철 외기온도가 30°C일 때 지중온도는 15°C 정도이므로 지중열을 효과적으로 취득하여 사용한다면 냉방이 가능할 것이고, 겨울철 외기온도가 -5°C일 때에도 지중온도는 약 15°C 정도이기 때문에 난방열로 활용한다면 난방에너지를 줄일 수 있게 된다. 이

<표 1> 지열교환기의 종류

	수직형	수평형	지하수형	연못형
개념도				
개요	지열교환기를 100~200 m 수직으로 매설하여 지열 이용	지열교환기를 수평으로 매설하여 지열 이용	지열교환기를 지하수와 접촉하도록 설치하여 지열취득 (폐회로방식)	지열교환기를 연못이나 강가에 설치하여 지열 취득 (폐회로방식)
장점	<ul style="list-style-type: none"> ■안정적 열취득 ■유지보수 필요 없음 ■사용수명 80년 이상 	<ul style="list-style-type: none"> ■시공비 저렴 ■유지보수 필요 없음 ■사용수명 80년 이상 	<ul style="list-style-type: none"> ■시공비 저렴 ■소요면적 적음 	<ul style="list-style-type: none"> ■시공비 가장 저렴 ■소요 면적 적음
단점	<ul style="list-style-type: none"> ■시공비 고가 	<ul style="list-style-type: none"> ■과다한 파이프 매설면적 ■외기온도 영향 받음 	<ul style="list-style-type: none"> ■수량변동 문제 ■유지보수 	<ul style="list-style-type: none"> ■외기온도 영향 받음 ■유지보수

렇듯 지열에너지 이용 시스템은 외기온도와 지중온도 사이의 온도차를 활용하는 친환경적인 에너지절약기술이다.

이러한 지열에너지를 보다 효율적으로 활용하기 위해 구성된 지열시스템은 크게 지열에너지를 열교환(흡열, 방열)하는 지중열 교환기(geothermal heat exchanger)와 에너지원으로부터 실내에서 요구하는 냉열, 온열을 생산하는 지열원 히트펌프(geothermal heat pump 혹은 ground source heat pump)로 구성된다.

지열교환기의 종류

지중열교환기의 재질은 주로 HDPE(고밀도 폴리에틸렌)이 사용되고 있으며 배관 속으로 물, 부동액 등이 순환하면서 열을 전달하고 있다. 지열교환기는 매설방법에 따라 표 1에 정리한 바와 같이 수직형, 수평형, 지하수형, 연못형으로 분류하는 것이 일반적이다. 건물의 밀도가 높은 국내에서 적용된 사례는 대부분 가장 안정적으로 열취득이 가능한 수직형을 채택하고 있으며, 또한 건물의 기초공사와 함께 수평형을 적용한 사례도 확인할 수 있다. 지하수형과 연못

형은 지열교환기 단위길이당 열교환량이 높은 것으로 보고되고 있으며 지열에너지시스템의 보급률이 높은 미국과 유럽의 경우에는 연못형을 어렵지 않게 확인할 수 있으나 지하수형의 경우에는 지하수량의 변동 가능성 문제, 연못형의 경우에는 지리적 환경에 의존하는 경향이 강하다는 점이 지적되고 있다.



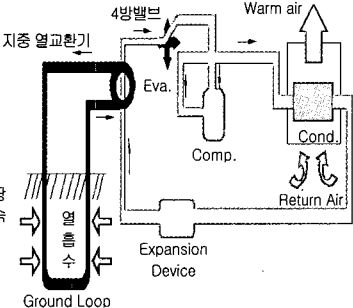
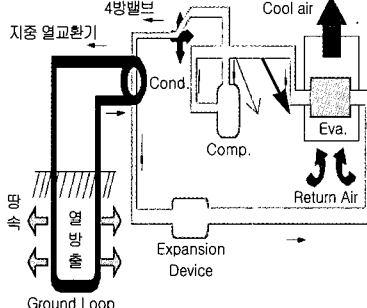
지중열원 히트펌프

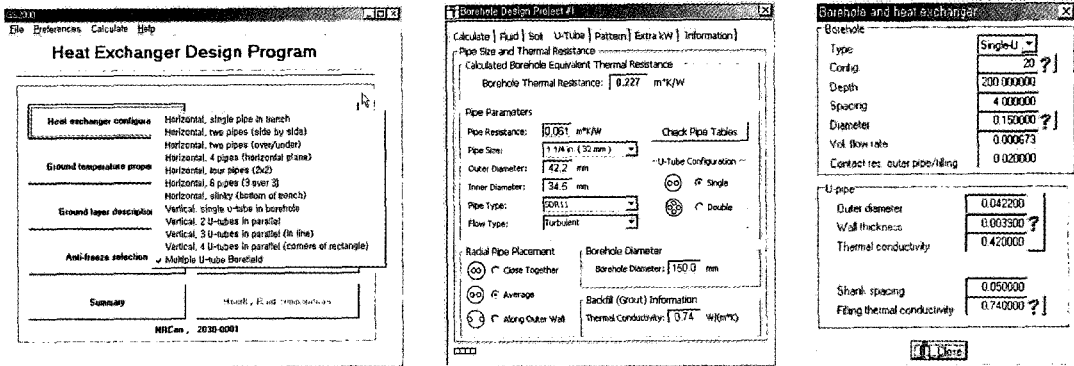
지열시스템의 또 다른 구성요소인 히트펌프는 냉동사이클을 기본으로 한다는 점에서는 일반 에어컨과 동일하나 냉동사이클을 역(逆)으로 운전시킬 때는 난방이 가능한 기기이다.

간단한 예로는 여름철 에어컨 실외기에서 뜨거운 바람이 발생하는데, 간단히 4방밸브의 설치와 전환 운전으로 실내기와 실외기의 기능을 서로 바꾸어 줄 수 있게 되므로 기존에 실외기에서 발생했던 온열을 실내로 공급되는 난방열로 활용할 수 있게 된다.

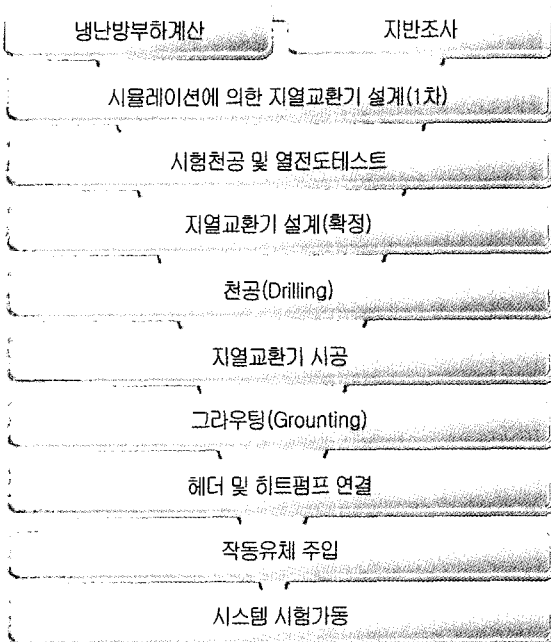
일반 에어컨과 지열원 히트펌프의 외형적 차이는 에어컨 실외기의 방열기를 대신해 지중열교환기가 있다는 것이다. 즉 실외기가 담당하던 흡열과 방열

<표 2> 지열시스템의 냉·난방사이클

	난방사이클	냉방사이클
개념도		
사이클구성도		



[그림 3] GS2000, GLD, EED 프로그램의 입력화면 사례



[그림 4] 지열시스템의 설계 및 시공 프로세스

을 지중열교환기가 수행하게 된다. 따라서 외기의 급격한 온도변화에 민감하게 반응하는 일반 에어컨과 달리 지열원 히트펌프시스템은 외기 변화의 영향을 받지 않고 12~17℃ 정도의 안정적인 온도 범위에서 지열을 활용하기 때문에 효율이 높은 에너지 절약형 시스템이다.

표 2는 지열시스템의 개념도와 사이클구성도를 나

타내고 있다.

지열시스템 설계 및 시공 프로세스

지열시스템의 설계를 지원하는 다양한 프로그램이 있으며, GS2000, GLD, EED 등 대표적인 지열시스템 설계 프로그램의 입력화면을 그림 3에 보여주고 있다. 각 프로그램은 비슷한 구성을 가지고 있는 듯 하지만, 냉난방부하 입력항목, 시뮬레이션 범위, 지열배관의 형상 등에서 차이가 발생하고 있기 때문에, 실제 운영상으로는 동일 현장에 대한 시뮬레이션 결과에 차이가 발생하고 있기 때문에, 이에 대해서는 향후에도 지속적인 관심이 필요하다.

한편, 지열시스템을 설계단계에서 가장 중요한 것은 지열교환기의 용량, 즉 지열교환용 배관의 깊이와 전체길이(혹은 천공 수)를 결정하는 부분이다. 국내 공사현장에서는 기초말뚝 공사를 위해 일반적으로 깊이 30 m 이내의 지반조사를 수행하고 있다. 그러나 국내 지열시스템은 수십 m에서 300 m까지의 깊이를 천공깊이로 하고 있기 때문에 지열교환용 천공깊이 산정을 위한 시뮬레이션 프로그램에서 요구하는 지중깊이별 지반의 물리적 특성 값을 제공해 줄 수 없는 것이 현실이다. 따라서 국내에서는 일반적으로 현장내 대표지점을 시험천공한 후 열전도도시험(thermal conductivity test)를 수행하여 지반조사에서 부족했던 현장 지반의 열전도도를 구하고 이 값을 시뮬레이션 프로그램에 대입하여 정확한 지열 배관의 깊이와 전체 길이를 계산하고 있다. 그림 4에 지

열시스템의 설계 및 시공 프로세스를 정리하였다.

적용 사례

현실적으로 국내에서 다른 신재생에너지 시스템보다 지열시스템의 보급률이 상대적으로 높은 이유는, 지금까지 설명한 것과 같이 지열에너지는 부존량(잠재량)이 무한인 에너지원이며 친환경적인 동시에 에너지절약형 시스템이기 때문에 지열시스템의 장점은 **그림 5**와 같이 정리할 수 있다.

본고에서는 이렇듯 현실적으로 우수한 장점을 갖고 있는 지열시스템의 다양한 국내의 적용사례를 소

경제적 관점

- 에너지절약
- 반영구적 시스템
- 유지관리비 절약
- 기계실 면적 축소

기능적 관점

- 년중 냉난방 및 급탕 공급 가능
- 공간별 개별제어 및 중앙제어 동시 수행
- 친환경적 시스템
- 원격자동제어

[그림 5] 지열시스템의 장점



[그림 6] 적용현장

개하고자 한다.

사무용 건물 적용 지열시스템 I

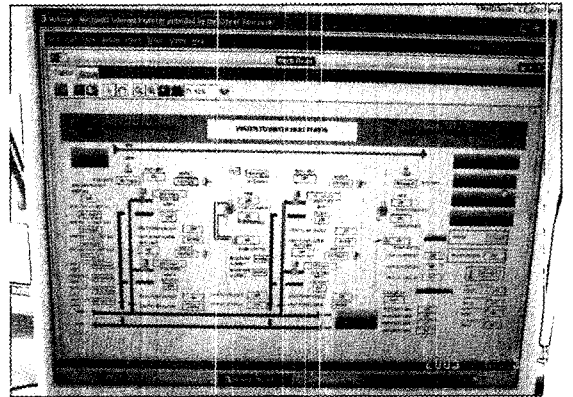
본 현장은 캐나다 밴쿠버의 시설관리기관으로서 시내 공공시설물을 유지관리하는 곳이다. 이 건물은 관리동에 대해서만 냉난방을 지열원 히트펌프로만 수행하고 있으며, 수직형인 지열교환기는 「배관경 92φ× 깊이가 123.5 m 천공수 24홀」, 히트펌프의 용량은 100 RT, 설계지열온도는 18℃/23℃이다. 지열시스템은 난방 7개월, 냉방 5개월로 연간 운전되고 있다(그림 6, 7).

주상복합 적용 지열시스템

본 현장은 서울시 강남구에 소재하며 지하 4층 지상 23층인 3개동(棟)으로 형성되었고, 총 141세대 연면적 80,126 m²인 주상복합건물로, 1996년 국내 지열시스템 태동기에 수평형 지열교환기가 시공된 현장이다(그림 8). 이 현장의 수평형 지열교환기는 **그림 9**와 같이 건물 3개동 바닥의 버림 콘크리트위에 일정한 간격으로 설치 매설되었다. 매설된 지열교환기는 각각의 평균길이가 180 m인 총 177개 배관이 15개의 회로를 구성하고 있으며, 지중 순환유체는 물이었다. 지열시스템에서 생산된 냉·난방열은 지하 1층의 체력단련실(13개 회로)과 1층의 로비(2개 회로) 등 공용공간에 공급되고 있다.

공장 적용 지열시스템

본 현장은 전력계량기 등을 생산하는 공장형 건물



[그림 7] 지열시스템 운전 모니터링



로써 지열시스템에서 생산된 냉난방열은 1층(생산 라인)과 2층(사무실)에 공급되고 있다(그림 10). 지중으로부터의 설계 흡열온도를 -5°C (설계온도차 5°C)로 설계하였으나 난방설계용량 대비 난방부하가 작기 때문에 실제 측정된 흡열지중온도는 4°C (운전 온도차 2°C)의 안정적인 운전이 시행되고 있다. 본 현장에서는 그림 11에서 보이는 운전모니터링 시스템을 갖추고 이상작동에 즉시 대응할 수 있는 체제를 갖추고 있다.

온실 적용 지열시스템

본 현장은 극한지(極寒地) 농업기술 개발과 농업 전문인력 양성을 위해 일본 북해도(北海道)에 설립

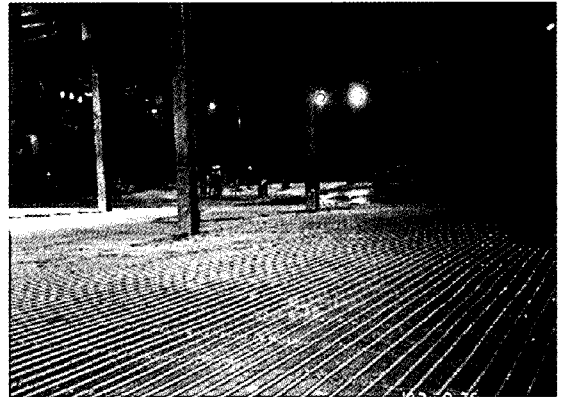
되어 운영중인 시설이다. 본 현장에 적용된 지열시스템은 실험용 온실 내 식물재배용 토양의 온열환경을 제공하고 사무동 2개 층의 냉난방을 담당하고 있다. 현재 동일 온실은 지열원 히트펌프 난방구역과 등유보일러 난방구역으로 구분하여 운전하고 있는데, 최근까지 실제 소비된 에너지 비용을 비교한 결과 지열원 히트펌프 방식이 약 30% 이상 절감되고 있음을 확인 할 수 있었다(그림 11, 12).

자연순환형 지열시스템

본 현장은 독일 프랑크푸르트에 위치한 사례로 지중흡열(방열)배관으로부터 취득한 온도차 에너지를 건물의 벽 내부에 매설된 방열(흡열)배관에 공급하



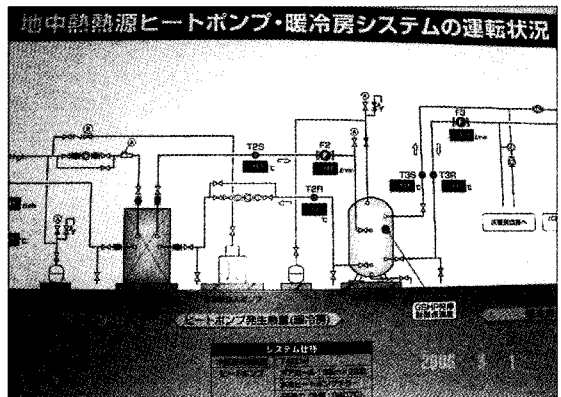
[그림 8] 적용현장



[그림 9] 수평형 지열교환기 시공



[그림 10] 적용현장



[그림 11] 지열시스템 운전 모니터링

고 이 방열(흡열)배관에서는 실내 공간으로 복사에 의해 열을 전달하는 이른바 구조체 냉난방방식을 적용한 것으로 현재 시공 중에 있다(그림 14, 15).

구조체 냉난방은 복사 열전달 방식이기 때문에 재실자의 환경변화(온도 증감 등) 요구에 즉각 대응할 수 없는 문제와 재실자의 환기에 대한 수요를 만족시키기 위하여 실제 시스템 구축 시에는 지열시스템 단독의 형태만으로는 부족함이 발생하기 때문에 기존 시스템과의 보완, 환기시스템 반영 등이 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

단독주택 적용 지열시스템

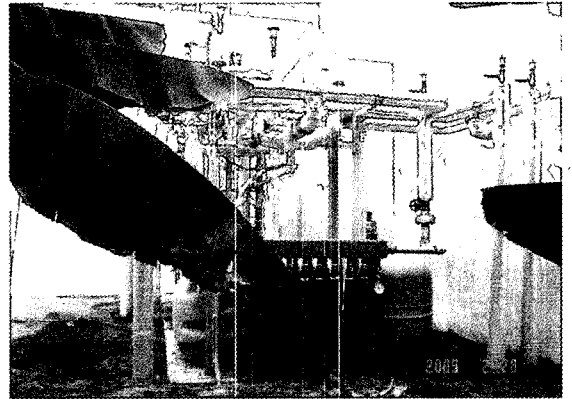
본 현장은 일본 북해도(北海道)에 보급된 지열원

시스템 중 최초의 실제 거주용 일반 주택이다(그림 16). 1990년대 중반 시작된 사업으로, 설계는 일본 엔지니어가 했으나, 현장의 냉난방부하 특성에 부합되는 지열원 히트펌프가 당시 일본 내에는 없었기 때문에 독일산 히트펌프를 수입 설치했다고 한다. 현재 일본 내에서 설치되고 있는 지열원 히트펌프는 대량생산체제 보다는 주문제작에 의하는 비율이 훨씬 높은 것으로 파악되고 있다.

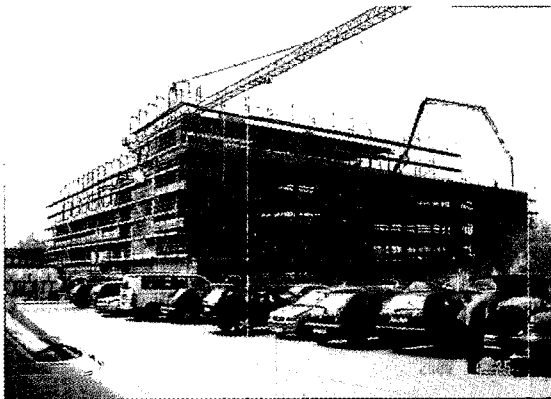
본 현장에서 한 가지 주목할 만한 것은, 그림 17에 나타난 것과 같이 일반전력용 전력량계(좌측)와 지열원 히트펌프용 전력량계(우측)가 분리되어 있다는 것이다. 북해도(北海道)에서는 지열원 보급을 활성화하기 위하여 지열원 히트펌프를 도입한 시설에 대



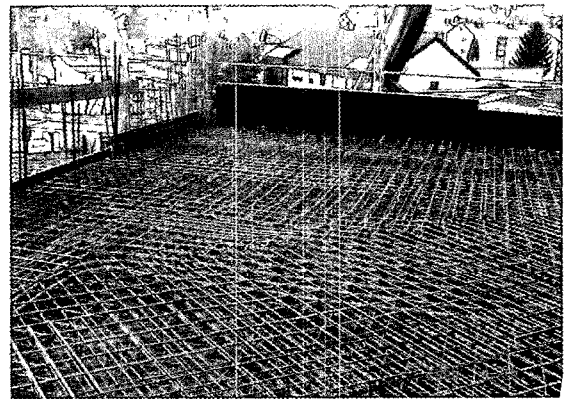
[그림 12] 온실 내부



[그림 13] 온실용 지열시스템



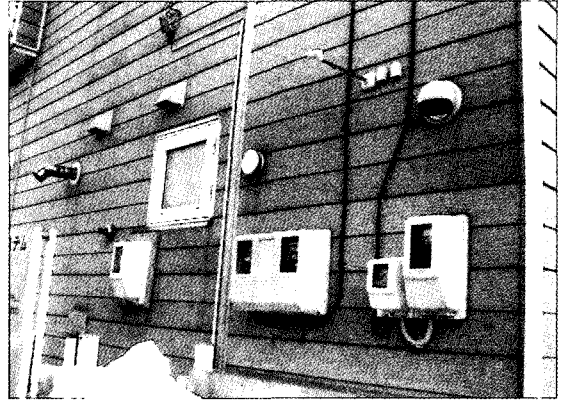
[그림 14] 시공현장



[그림 15] 구조체 냉난방용 배관 시공



[그림 16] 지열시스템 적용 일반 주택



[그림 17] 지열원 히트펌프용 전력량계

하여 일반전력과 분리된 값싼 지열원 히트펌프용 전력요금을 신설하여 수용가에 제공함으로써 가격경쟁력을 확보하고 있다. 이러한 지열시스템용 특별 전력요금 체계는 우리나라에서도 신재생에너지 보급을 위해서 도입을 검토할 필요가 있다고 판단된다.

향후 전망과 과제

지열시스템이 국내에 소개되고 상용화 기술로 보급된 역사는 매우 짧다. 여러 분야의 많은 지열 전문가들이 다양한 과제에 대해 연구, 개발을 수행하고 있으며 또한 성과를 도출하고 있다. 그러나 아직도 국내실정에 알맞은 설계·시공 표준화, 시급한 요소 기술 개발, 중장기 운전에 대한 DB 구축 등의 기술

적 과제와 기업간의 과당경쟁 지양 등의 사업적 과제를 해결해야만 국내에서 지열시스템이 정상적으로 성장할 수 있을 것으로 판단된다.

지열에너지 시스템은, 전술한 바와 같이 2004년 4월 개정된 「신재생에너지 및 재생에너지 개발, 이용, 보급촉진법」 적용대상 중 2004~2005년도 신축건물의 65%가 지열에너지시스템을 채택하고 있다. 여러 가지 이유가 있을 수 있으나 다른 에너지시스템에 비해 건축설계자의 디자인 자유도가 높고 또한 가장 현실적이기 때문에 판단되며, 지난 2~3년 동안 적용된 지열시스템의 성능에 대한 검증 과정을 통해 효율성이 입증된다면 향후 지열에너지를 에너지원으로 하는 시스템은 다양한 모습으로 지속적으로 확대 보급될 것으로 예상된다. ㉔