

지열시스템의 활용 및 건축물 적용 사례

전 재홍*, 차 광석**

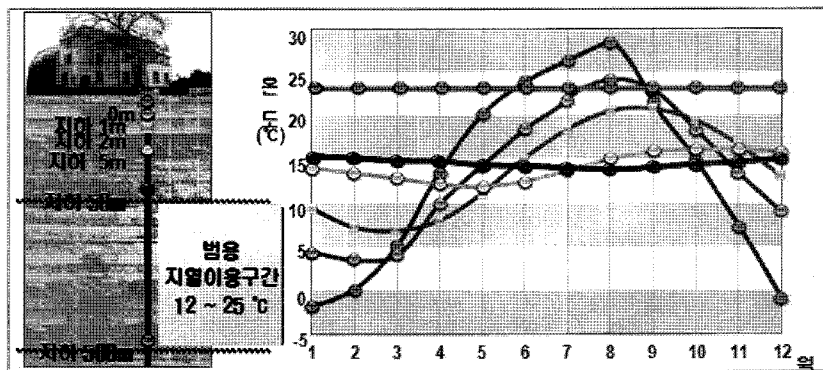
*현대건설 건축사업본부 상무, **건축사업본부 차장

1. 서론

최근 지구 온난화와 에너지총량제, 지구환경보호 등으로 전 세계적으로 저에너지 친환경주택에 대한 관심이 높아지고 지구 온난화의 주범인 온실가스 배출 억제를 위한 국제적 노력이 증가하고 있다. 이와 관련 1992년 리우환경회의에서 체결된 기후변화협약을 시작으로 2012년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 5.2%를 감축하자는 교토의정서가 2005년 2월 공식 발효되었다. 이에 정부에서는 녹색성장에 대한 비전 제시와 구체적인 실행방안으로 CO₂ 저감을 위해 신에너지 및 재생에너지개발 이용 보급 촉진법 제12조를 통하여 공공기관이나 정부 투자기관 건축물에 대

해 건축공사비의 일정 비율을 신재생 에너지설비로 시공하게 하는 의무화제도를 수립하여 2011년까지 신재생에너지 보급목표를 전체에너지의 5%선까지 끌어올린다는 계획을 가지고 있다.

신재생에너지 중에서 지열에너지는 재생에너지(Renewable Energy)로 고갈이 없는 환경친화적인 에너지이다. 미국 EPA(Environmental Protection Agency) 보고서에 의하면 지열원을 이용한 냉난방시스템이 가장 에너지 효율적이고 친환경적이며 비용효율적인 공조 시스템(기존 공조시스템에 비해 25 ~ 50%의 적은 전력소비)이라고 하였다. 또한, 지열 냉난방시스템은 공기 열원 열펌프에 비해 44%까지 그리고 에어컨과 전열기에 비해 72%까지 에너지 소비를 절감할 수



[그림 1] 지하 깊이에 따른 지중 온도 변화

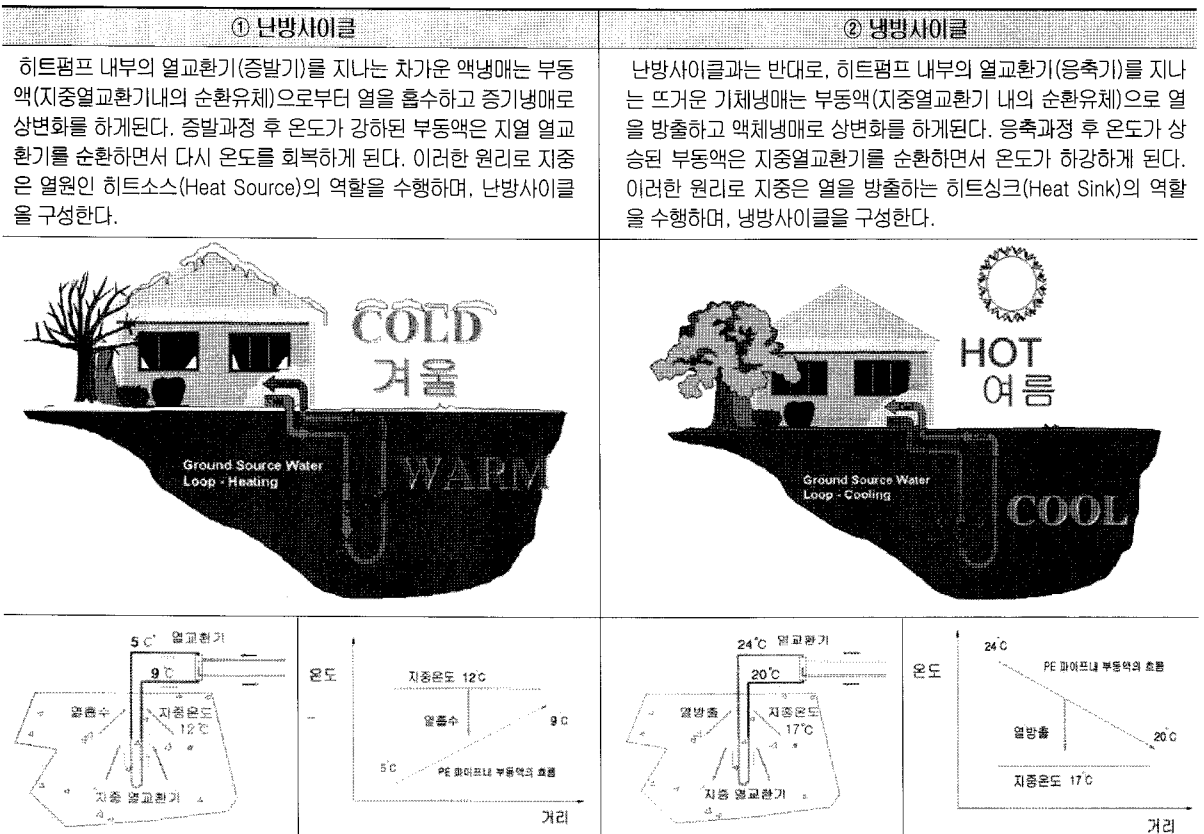
있다고 밝혔다(EPA, 1993). 또한 지열시스템은 공공건축물에 적용되는 신재생에너지에 사용되는 총 공사비 5%에 지금까지 가장 많이 활용된 시스템으로 지열 히트펌프를 이용하여 하절기와 동절기에 지중열을 저장, 건물에너지 부하에 사용할 수 있는 방식이다. 앞으로는 신재생에너지 적용 기준이 건물 총 부하량의 5%로 확대됨에 따라 지열시스템 적용이 더 늘어날 전망이다.

지중열은 연중 12 ~ 25°C의 안정적인 온도를 유지하고 있어 히트펌프를 이용하여 난방과 냉방에 이용할 수 있는 적정온도를 만드는데 가장 적합한 방식이다. 특히 수직밀폐형 히트펌프 시스템의 지하 천공범위는 지하 150 ~ 200m 이내가 적합하며 이 범위의 보편적인 지중온도는 10 ~ 20°C 정도가 유지되고 있다(그림 1 참조).

근래에 신재생에너지 중 특히 지열 냉난방시스템은 공공 건축물에 적용이 확산되어 일반기업 및 개인도 지열히트펌프 냉난방 시스템의 친환경성, 경제성, 편리성 등의 인식확대로 국내 보급률이 급속도로 확산되고 있다. 건축물의 냉난방 부하는 천부지열을 활용한 지열히트펌프 시스템이 많이 적용되고 있으며, 히트펌프 지열시스템은 건물냉난방에 적용시 외기의 변화에 영향을 받지 않고 일정한 온도를 유지할 수 있기 때문에 효율이 높은 에너지절약시스템으로 활용 가능하다.

2. 지열 냉난방시스템

지열냉난방시스템의 구성은 지중열교환기와 히트펌프, 부동액 순환펌프, 연결 배관과 각 소요 공



[그림 2] 지열시스템의 구성 및 원리

간으로 분배하는 분배 장치로 구성되어 있다. 이와 같은 시스템으로 냉방사이클은 작동하는 지열 히트펌프가 실내에서 흡수한 열을 지중열 교환기를 통해 지중으로 방출하는 것이고 난방사이클은 반대로 지중에서 열을 흡수 실내로 공급하는 방식이다(그림 2 참조).

2.1 지열 이용 방식에 따른 분류

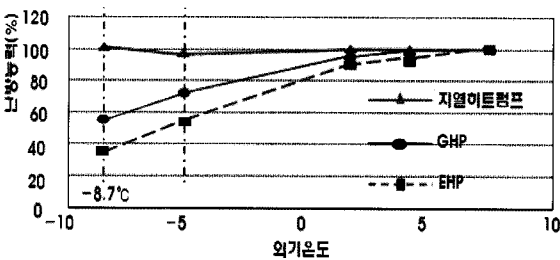
지열 이용 방식은 열원에서 히트펌프로 도달하는 유체 구성 방식에 따라 밀폐형과 개방형으로 나뉘지며 밀폐형은 다시 지중열 방식과 지하수 이용 방식으로 나뉘 볼 수 있다.

밀폐형은 지열 히트펌프로 순환되는 관로가 밀폐되어 있는 방식으로 장점은 히트펌프로 순환되는 관로가 대기 또는 지중과 직접 열교환 하지 않음으로 지열교환기 관로 내부가 부식이나 스케일이 발생할 염려가 적고 부동액 사용 시 동파의 우려가 없는 것이고 단점으로는 초기 투자비용 증가와 관로 파손 시 보수가 어렵다는 것이다. 개방형방식은 양질의 지하수가 풍부한 경우 지하수를 이용하는 시스템으로 토양열원에 비해 상대적으로 설치 공간이 적은 반면 많은 양의 물이 열원으

로 사용된다. 따라서 밀폐형 지열시스템을 설치할 면적이 부족한 건물이나 지하수가 풍부한 경우 적용할 수 있는 방식으로 밀폐형에 비해 시공비는 적게 들지만 물속의 오염물질에 의해 배관 막힘이나 부식을 야기할 수 있고 수위가 낮은 경우는 펌프 동력이 많이 소모되는 단점이 있다.

2.2 지열시스템과 일반 난방설비 효율 비교

지열 냉난방시스템의 장점은 기존 일반 공조시스템 보다 에너지 소비가 25 ~ 50% 적다는 것이다. 즉 지열을 이용할 경우 1kW 전력을 사용하면 4 ~ 5배의 열에너지를 이용할 수 있는 것이다. COP의 경우도 지중열을 이용하는 경우와 일반 공조시스템 냉방성능을 비교할 경우 약 35% 이상의 차이가 발생하는데 난방의 경우는 더 큰 차이를 나타낸다. 그림 3과 표 1을 보더라도 지열 활용이 GHP, EHP 보다 외기 온도차가 낮을 수록 난방능력에 큰 장점이 있는 것을 확인 할 수 있다. 외기 온도가 -8.7°C에서 난방능력 비교시 지열시스템이 100일 경우 GHP가 57%, EHP가 37%로 능력이 저하됨을 알 수 있다. 그러나 상온에서는 난방능력의 차이가 비슷해지다가 7°C 이상에서는 3개 시스템 모두 같은 것을 볼 수 있다 (그림 3, 표 1 참조).



[그림 3] 외기온도에 따른 난방능력 비교

3. 건축에 적용된 지열시스템 사례

지열시스템에 대한 적용은 각 건설업체마다 연구소나 기술개발부서에서 많은 기술개발과 Test Bed 실증 검토를 통한 건물적용을 평가하여 2004년 대체에너지보급사업 시행 이후 공공건축

<표 1> 지열시스템과 일반난방기 난방능력 비교

	지열히트펌프	EHP(전기냉난방기)	GHP(가스냉난방기)
외기 -8.7°C에서 난방능력	100%	37%	57%
특징	<ul style="list-style-type: none"> 지중온도 변화없음 연중 100%효율 	<ul style="list-style-type: none"> 7°C까지 100% 효율 -5°C까지 사용 가능 혹한기보조열원(히터) 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 2°C까지 100% 효율 -7°C까지 사용 가능 혹한기보조열원(히터) 필요

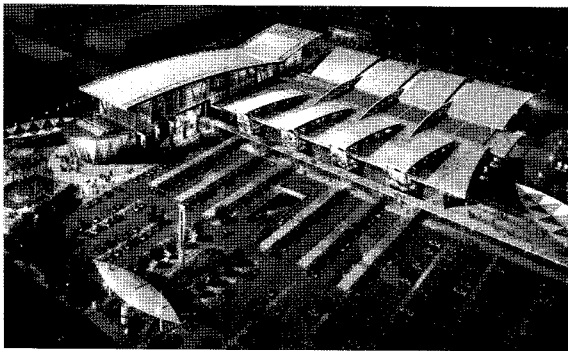
물에 많은 적용이 이루어 졌다. 당사도 공공 건축물의 경우는 성남시청사, 울산농수산물 유통센터, 차세대 융합기술원, 인천 삼산체육관등에 적용하였으며 공동주택의 경우는 인천 논현 2지구, 성남 판교 3지구, 은평뉴타운 2지구 등 턴키공사 공동부인 경로당과 관리사무소 냉난방 부하용으로 적용하여 활용하거나 시공중에 있다. 용량은 전열기준으로 8,000kcal/h에서 30,000kcal/h로 다양하게 반영되었다. 그리고 2008년 말부터는 당사 힐스테이트 민간공사에 지열, 태양광(BIPV), 소

형풍력에 대한 신재생에너지 아이템을 적용하고 있다. 이중 지열시스템은 세대적용에 설치 면적이나 용량 부족으로 적합하지 못하여 현재 공용부만 부하용량을 평가하여 공동에너지절감에 최대 효과를 얻을 수 있게 아래와 같이 시스템을 설계 건축물 시공에 반영하고 있다.

3.1 울산농수산물 종합유통센터 적용 지열시스템

농수산물 유통센터는 대지면적 86,100.70m²에 건축면적 24,262.68m²로 지하 1층, 지상 2층의 용적률 28.02% 규모의 판매 및 영업시설이다(그림 4 참조).

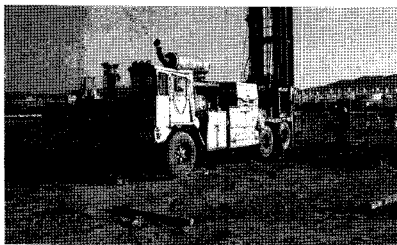
신재생에너지(지열시스템) 적용은 무공해 청정



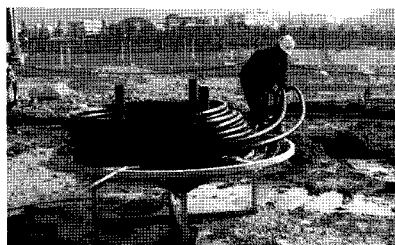
[그림 4] 농수산물 종합유통센터 조감도

<표 2> 적용 지열시스템 구성

용량	225RT
소비동력	난방: 174kW, 냉방: 256kW
형식	water to water
열원종류	지하수
지열루프방식	천공깊이 100m 수직밀폐형
설치 대수	45RT × 5대



a) 천공작업 모습



b) 파일링 작업



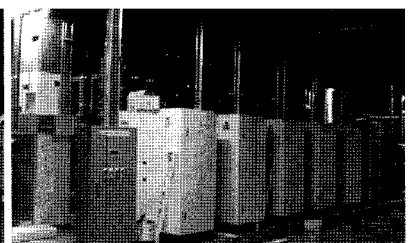
c) 그라우팅 작업



d) 트랜치 작업 모습



e) 기계실 배관 모습



f) 지열시스템 장비

[그림 5] 옥외 및 기계실에 설치된 지열시스템 모습

에너지보급과 화석에너지의 수입 의존성 탈피 및 기후변화협약에 따른 온실가스배출 규정 등 심각한 환경문제해결을 선도하기 위하여 지열에너지를 이용한 냉·난방시스템 방안을 도입하였다. 냉·난방부하, 히트펌프, 순환펌프, 팽창탱크 등 각종 장비 설치상태의 공간 확보, 기존 시설과의 연계 가능성을 검토하여 최적의 설치 안을 검토한 후 구조상 안전하고 경제적이며 유지관리에 용이한 구조로 설계하였다.

농수산물 종합유통센터 건물 냉난방부하에는 1

년에 4,549,858Mcal가 필요한데 이중 지열냉난방설비로 1,529,698Mcal/년을 담당함으로써 1년 동안 152.97toe의 부하를 충당할 수 있도록 시스템을 구축하였다. 아래 사진은 지열시스템 시공 작업 내용 및 순서를 나타낸 것이다(그림 5 참조).

3.2 차세대 융합기술연구원에 적용된 지열시스템

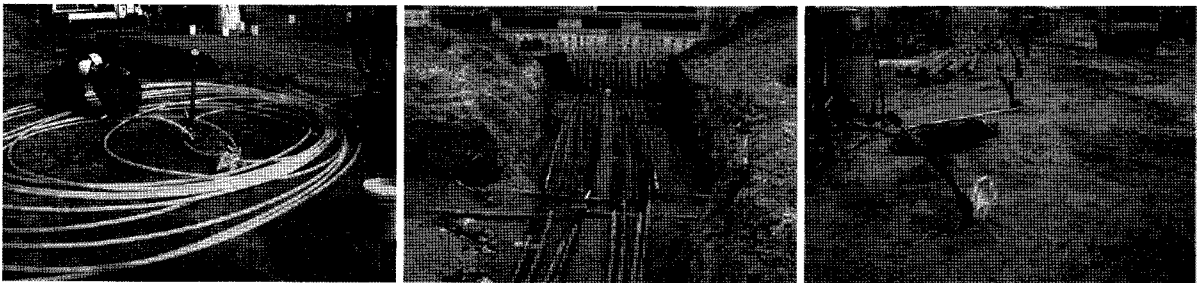
경기도 수원시 광교테크노밸리 단지내에 위치한 차세대융합기술연구원은 대지면적 100,294m² (30,944평)에 건축면적 11,203m², 건폐율



a) 천공작업

b) 그라우팅 모습

c) 케이싱 보양



d) 벤토나이트 주입 모습

e) 트랜치 설치

f) 천공 수압 측정

[그림 6] 옥외 지열시스템 설치 공사



[그림 7] 옥내 기계실 지열시스템 배관 설치 모습

10.95%로 지하 2층, 지상 16층 6개동으로 건축물 주요 용도는 연구시설인 교육동, 행정동, 기숙사로 구성되어 있다. 이 건축물에 적용된 신재생 에너지는 태양광발전 75kW와 지열 25RT 8대를 설치, 냉방부하 100.4kW × 8(800.3kW)와 난방부하 84.9kW × 8(679.2 kW)의 용량을 기숙

사 및 연구동 전기와 냉난방 부하에 활용되고 있다. 지열히트파이프 천공은 150m 깊이로 72홀이 시공되었다. 그림 6과 그림 7은 지열시스템 설치 모습이다.

3.3 대전 월평동 국유부동산 개발 적용 지열 시스템

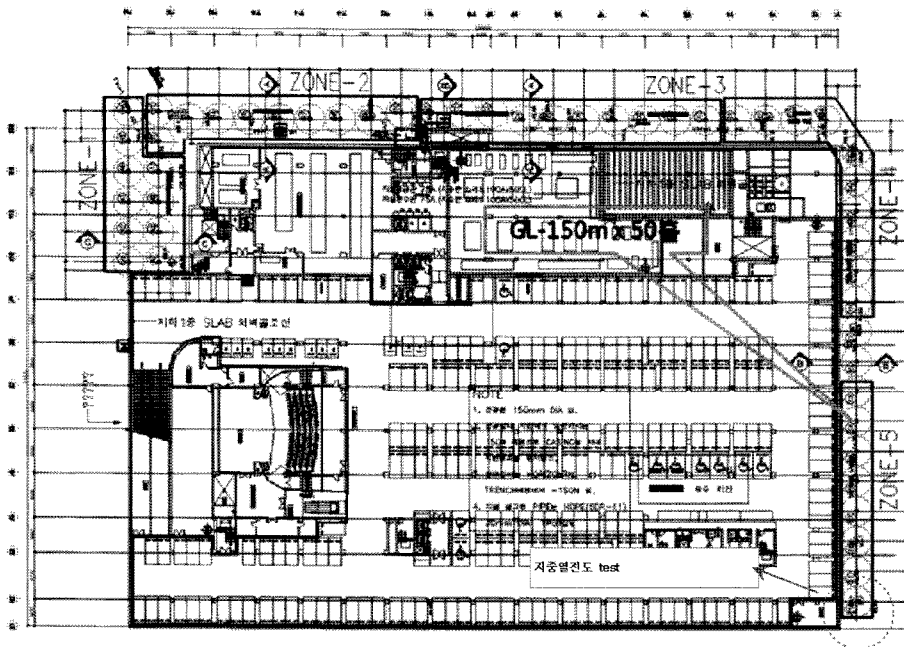
월평동 오피스 대지면적 19,835m²에 건축면적 41,359m²로 지하1층 지상 8층과 15층 2개 건물로 시공되고 있으며 적용된 지열 시스템은 지열원 히트펌프(GSHP)를 이용한 방식으로 Water



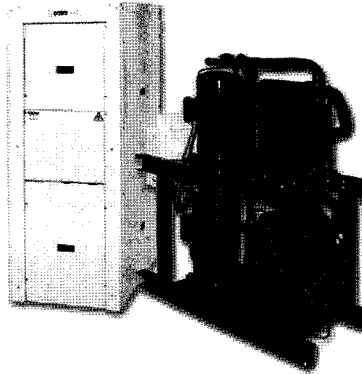
[그림 8] 대전 월평동 오피스 조감도

<표 3> 적용 지열시스템 구성

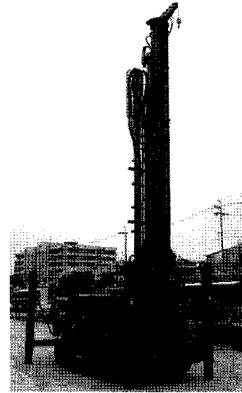
용량	225RT
소비동력	난방: 174kW, 냉방: 256kW
형식	water to water
열원종류	지하수
시열루프방식	천공깊이 100m 수직밀폐형
설치대수	45RT × 5대



[그림 9] 배치도에서 천공 및 지중열 Test 위치



a) 지열히트펌프 모습



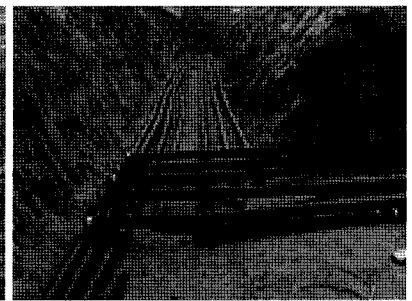
b) 천공장비



c) 천공작업



d) 파이프 삽입



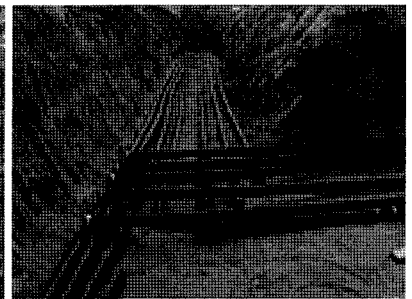
e) 트랜치 작업



f) 그라우트 충전



g) 천공검측



h) 옥내배관 연결

[그림 10] 옥외 설치 공사 모습

to water 열 이용이 가능한 150RT 수직밀폐형 지열시스템이다. 지중열전도 Test 결과는 지반이 석회암반으로 2.2 ~ 3.4W/m°C 확보되는 것으로 평가 되었다.

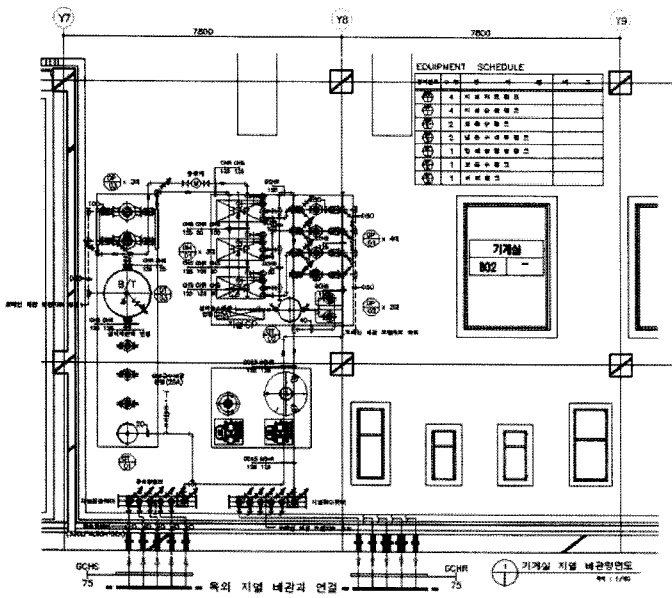
지중열전도는 그림 9에서 보듯 1개 천공을 대상으로 평가 수행하였다.

그림 10과 그림 11은 월평동 업무와 임대 건물

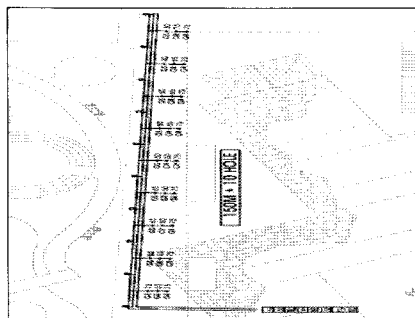
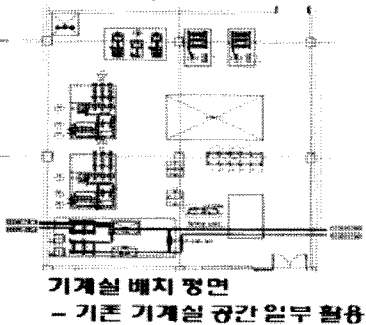
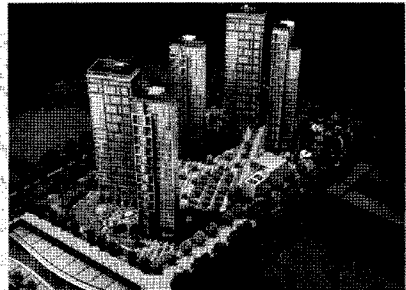
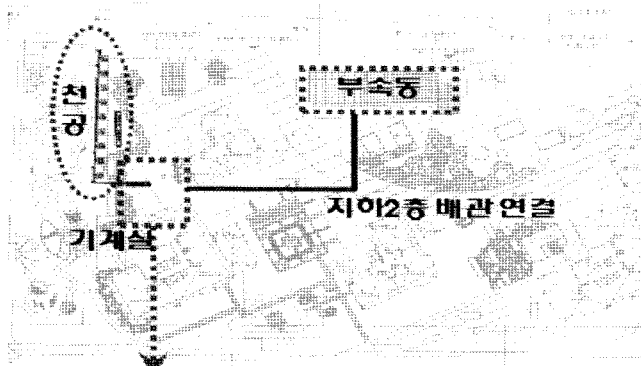
에 적용된 지열시스템 외부 시공 모습과 기계실에 시공될 지열배관 설치 도면이다. 현재 건축물은 골조 공사가 완료되어 기계실 배관 공사가 진행 중에 있다.

3.4 반포미주 힐스테이트 적용 지열시스템

반포미주 지열시스템(그림 12)은 민간공사에



[그림 11] 기계실 옥내 배관 및 시스템 설치도면



[그림 12] 반포미주 힐스테이트 적용 지열시스템 설계도면 및 조감도

최초로 적용된 신재생에너지로서 공용부 부속동의 EHP 시스템을 대체하기 위한 30RT급 수직 밀폐형 히트파이프시스템이 적용되었다. 천공개수는 3RT × 10공을 단지외곽에 시공하여 노인정, 관리사무소와 일부 부속실 냉난방 부하를 담당하도록 설계되었다.

적용된 지열시스템의 경제성 분석은 에너지절감 비용만으로 환산하면 투자비 회수기간이 길어지거나 신재생에너지 적용으로 인한 아파트 가격상승이나 유지관리 비용절감 등 부가적인 요소를 적용하여 계산할 경우 투자비 회수기간은 더 짧아질 것으로 사료된다.

4. 결론

지열시스템은 친환경적이면서도 지리적 제약이나 외관 돌출이 없기 때문에 건축설계에 많이 반영되고 있는 시스템이다. 특히 잠재 에너지량이 풍부하여 일반 건축물 적용에도 용이하여 한번 시공 후 꾸준한 효율을 기대할 수 있는 반영구적 시스템으로 향후 많은 수요가 있을 것으로 예상되고 있다. 그러나 과도한 초기투자비와 시공 후 안정적인 지중온도 수급 방안, 히트파이프 파손시 교체 불가능한 문제 등 아직도 해결해야 할 많은 과제도 가지고 있다. 따라서 향후 Zero 에너지 하

우스 건설에 적용될 수 있는 개선된 지열시스템 개발을 위해서는 건설사나 지열업체 모두 적용이 용이한 시공 방법이나 안정적인 지열확보 기술에 대한 연구개발에 더 많은 노력이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis and G. Hellstrom, 2003, "Ground-source Heat Pumps a World Overview", Renewable Energy World, July-August 2003, pp. 218~227
2. Oliver, J., and H. Braud, 1981. Thermal exchange to earth with concentric well pipes Transactions of ASAE 24(4) : pp. 906~910.
3. C.D. Orio. 1994, "Geothermal Heat Pump and standing Column Wells", Geothermal Resources Council Transactions, vol. 18.
4. DOE, 200, Ground-source heat pumps applied to federal facilities-second edition, Federal Energy Management Program. US Department of Energy, Washington D.C.