

대형 공동구조물 냉난방을 위한 지열 Hybrid System

Geothermal Hybrid System for Huge Size Common Structures with Heating & Cooling System



박 시 삼 (Sisam PARK)
GS건설(주) 기술본부 인프라연구팀 선임연구원
parkss7@gsconst.co.kr

I. 머리말

화석연료의 고갈로 인한 에너지 위기를 극복하고, 화석연료의 연소과정에서 발생하는 대기오염 물질에 의한 지구 온난화 현상을 해결하기 위한 방안으로 신재생에너지 이용에 대한 관심이 날로 증가하고 있으며, ‘공공기관 신축건물에 대한 대체에너지 이용 의무화 제도’가 현재 국내에서 시행되고 있다. 신재생에너지 이용시설의 보급 확대를 위해 시행되고 있는 본 제도의 경우, 공공기관이 발주하는 연면적 3,000㎡이상 건물의 총 건축 공사비 중 5% 이상을 신재생에너지 이용시설 설치에 의무적으로 투자하도록 하는 내용을 담고 있다.

최근 들어 연료전지(fuel cell), 가스화 복합발전(IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle), 수소에너지(Hydrogen Energy) 등의 신에너지와, 태양열(Solar Thermal), 태양광(Photovoltaic), 풍력

(Wind Power), 바이오(Bio Energy), 폐기물(Waste Energy), 소수력(Small Hydropower, 해양(Ocean), 지열(Geothermal) 등의 재생에너지에 대한 관심이 증대되면서, 신재생에너지에 대한 실용화 연구가 진행되고 있으나, 기존의 시설투자비용에 비해 초기투자비용이 상당히 고가이며, 에너지효율이 떨어지기 때문에 민간 대형공동구조물에 적용하는 사례는 극히 드문 실정이다.

앞서 언급한 신재생에너지 중에서 초기투자비용 및 에너지 효율적인 측면에서 가장 실용화에 근접한 시스템은 지열 에너지를 이용한 지열 열펌프 시스템(Ground Source Heat Pump Systems, GSHPs)이라 할 수 있으며, 최근 들어 건축물의 냉난방 설비로 관심을 끌고 있다. 일반적으로 지열시스템은 열원 이용 방법에 따라 밀폐형(Closed Type)과 개방형(Open Type) 시스템으로 분류된다(그림 1). 밀폐형 시스템은 지중에 매설된 열교환기 파이프 내부

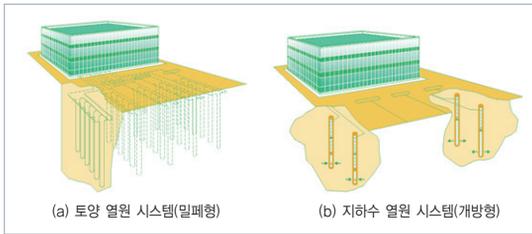


그림 1. 중대형 건물에 적용된 토양 열원 및 지하수 열원 시스템 (by Kavanaugh & Rafferty, 1997)

의 순환한 유체가 토양이나 지표수 등과 열을 교환한 후, 다시 열펌프로 유입되는 방식이다. 반면, 본 연구에서 다루게 되는 지하수를 열원으로 활용하는 개방형 시스템은 지하수를 직접 열펌프로 유입시켜 열을 교환한 후, 다시 지중으로 내보내는 방식이다.

다양한 종류의 지열 열펌프 시스템 중, 현재 국내 외에서 주를 이루고 있는 시스템은 지중 토양의 에너지를 활용하는 토양 열원 열펌프 시스템 (Ground-Coupled Heat Pump Systems)과 지하수 열원 열펌프 시스템이다. 토양 열원 시스템은 그림 1(a)에서 보듯이 지중에 매설된 폴리에틸렌 파이프를 지중 열교환기로 이용하는 시스템으로 건물의 냉난방 부하에 따라 다양한 깊이로 지중 열교환기를 매설할 수 있지만, 지하수 열원 시스템과 비교하였을 때, 열전달 성능이 다소 떨어져 초기 공사비용이 상당히 증가하는 단점이 있으며, 지열을 포집하기 위한 면적을 많이 차지한다는 단점이 있다. 이에 반해 그림 1(b)에 도시한 지하수 열원 열펌프 시스템 경우, 열전달 성능, 설치공사비용 및 설치면적 등 여러 가지 측면에서 민간사업 실용화에 가장 근접한 지하수 열원 시스템이라고 Kavanaugh와 Rafferty(1997)에 의해 보고된 바 있다.

지하수 열원 지열시스템은 복수정(Two Wells)이나 단일 심정(Single Well 또는 Standing Column Well)의 지하수를 활용한다. 복수정과 연계된 시스템은 취수정(Production Well)과 주입정(Injection Well)의 지하수를 열원으로 활용하며, 이때 대상건물과 취수정 사이에 열교환기를 설치하여 지하수를

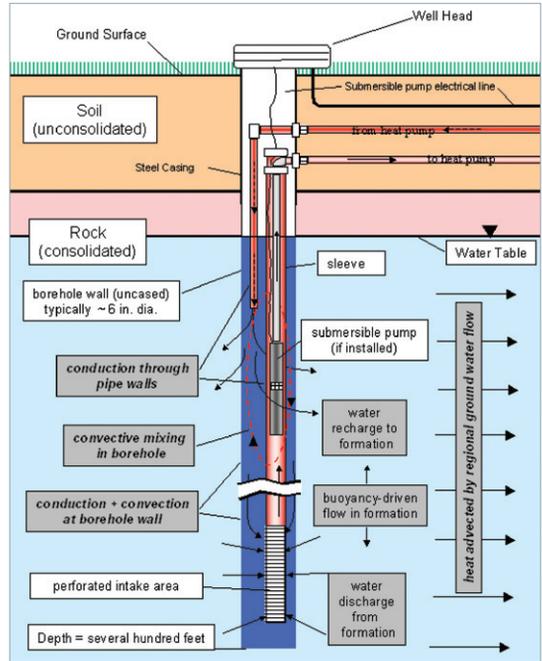


그림 2. 지하수를 열원으로 활용하기 위한 단일심정 (Standing Column Well)

간접 활용하는 방식이다. 단일 심정을 이용하는 시스템은 그림 2에 나타난 것처럼 하나의 우물을 이용하는 방식으로 현재 활용실적이 크게 증가하고 있는 실정이다.

이러한 지하수 열원 건물 냉난방 시스템의 핵심은 열펌프를 비롯한 공조설비와 지중 열교환기인 단일 심정이라 할 수 있으며, 심정 내부에서의 대류 열전달 및 지하수와 주변 암반 간의 열전달 성능은 전체 시스템의 성능을 결정하는 중요한 설계인자라고 할 수 있다. 그러나 국내에서 지열을 포집하는 단일심정이 적용된 지반의 오염도 평가 및 최적설계 기술 등에 대한 연구가 미미하여, 과다 설계되고 있는 실정이며, 500세대 이상의 대규모 민간주거단지 등에 적용하기 위한 공조설비 장치 및 시스템 등에 대한 개발이 전무한 상태이다.

따라서 당사에서는 500세대 이상의 대규모 민간 주거단지에 지열에너지를 활용한 냉난방 시스템을 구축하기 위해 지열 하이브리드 시스템을 개발하였

으며, 아울러 지열포집장치의 효율을 극대화 할 수 있는 자동화 지열 포집 장치와 PLC(Programmable Logic Controller) 모니터 등을 개발하였다. 또한, 지하수 열원 건물 냉난방 시스템을 적용한 인근지역의 토양 및 지하수 오염도 평가기술 등을 소개하고자 한다.

II. 국내, 외 지열 에너지 활용기술 현황

1. 해외 지열에너지 활용기술 현황

미국의 경우, 1990년대까지는 관공서나 군부대, 학교 등 공공기관에 주로 설치되었으며, 1999년 말을 기준으로 약 35만 대가 설치된 것으로 추정된다. 이 중 46%가 수직형, 38%가 수평형, 15%가 개방형 방식인 것으로 조사되었다. 현재 매년 약 12%의 증가율을 보이고 있으며, 이러한 추세라면 2010년에만 1,400,000대의 열펌프가 보급되어 전체적으로 1천 5백만 대에 이를 것으로 추정되고 있다. 특히, 오클라호마주립대학을 중심으로 한 연구진과 Econar, Carrier, ClimateMaster, FHP Manufacturing, Trane, Water-Furnace 등을 필두로 15개 정도의 열펌프 제작회사와 500여 개의 설계, 시공 및 진단업체의 적극적인 실용화 노력으로 지열 열펌프 시스템이 미국 전체 냉·난방 에너지의 약 1%를 점유하고 있는 실정이다.

미국에서의 대표적인 설치 사례로는 세계 최대 규모의 지열 열펌프 시스템인 Galt House East Hotel (1984년 시공)과 Waterfront Office Buildings(1994년 시공)를 들 수 있다. 이 두 건물의 에너지 성능을 높이기 위한 개보수 사업의 일환으로 지하수를 열원으로 하는 시스템을 설치하여 연평균 53%의 에너지 절감효과와 2,300㎡의 기계실 면적 절감효과를 본 것으로 보고되었다. 또한, 지열 시스템이 가장 많이 설치된 지역은 미국 루이지애나주의 Fort Polk시로, 약 4,000대를 설치하여 현재에도 운영하고 있다.

독일, 덴마크, 스위스, 오스트리아 그리고 북 유럽의

스웨덴, 노르웨이 등 일반적으로 난방, 급탕 및 항온, 항습 등이 필요한 지역에서 상업용 건물과 일반 주택의 많은 부분에 지열 시스템을 활용하고 있다. 특히, 독일에서는 상업용 건물에 50~1,000kW급의 지열 열펌프 시스템을 활용할 정도로 활발한 실정이며, 이에 부응하여 성능평가도 활발하게 이루어지고 있다.

대규모 지열 시스템을 적용한 해외 선진사례를 살펴보면, 대부분 대규모 공공구조물에 국한되어 있으나, 특히 중국의 경우 2007년에 지하수 열원을 활용한 지열시스템을 500세대 이상의 민간주거 단지에 FCU(Fan Coil Unit) 방식으로 적용한 사례가 있는 것으로 소개된 바 있다.

2. 국내 지열에너지 활용기술 현황

우리나라에서 지열 열펌프 시스템이 주목을 받기 시작한 것은 최근의 일이다. 이는 공기열원 이외의 대체열원에 대한 관심부족, 지열을 회수하기 위한 열교환 기술의 부족, 초기 투자비 문제 등이 원인이다. 우리나라는 2000년에 본 시스템을 처음으로 도입한 후, 초기 시장 진입단계에서 많은 시행착오를 겪었다. 전문 시공기술과 기준 등의 결여로 인해 소비자들의 만족도가 높지 않았다.

하지만, 2003년도부터 체계적인 시스템의 도입 및 인력이 확보되면서 경쟁력을 바탕으로 한 시장 확보가 가능하게 되었다. 정부 지원에 의한 보급정책에 힘입어 2003년도 말까지 약 30개소에 시스템이 설치되었으며, 2004년도에는 공공기관 의무화제도 등의 정책에 힘입어 약 24개소에 추가로 설치되었다. 2005년도를 기준으로 전체 약 90개소, 총 5,000RT 용량의 지열 열펌프 시스템이 설치되었으며, 2007년에는 26,073RT 용량의 지열 열펌프 시스템이 설치되었다(그림 3).

전 세계적으로 지열 시스템은 매년 10% 이상 설치가 증가되고 있으며, 미국 내에서만 매년 12% 정

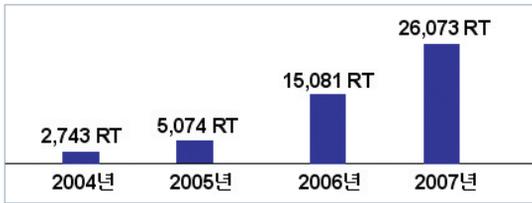


그림 3. 지열 열펌프 시스템 국내 보급실적 현황(2004년~2007년)

도의 증가율을 보이고 있다. 국내의 경우는 2003년 29개소가 설치되었고 2005년 2월까지 설치된 현장은 90여 개소에 900여대의 열펌프가 설치된 것으로 파악되고 있다. 2004년 신·재생에너지 적용 의무화 법규가 시행된 이후, 급격한 보급증가 추세를 보이고 있으며, 이를 바탕으로 추산해 보면 2012년에 1,500억원 이상의 시장이 형성될 것으로 예측하고 있다. 보통 지열 열펌프 시스템에서 열펌프 유닛이 차지하는 금액비율이 15% 내외이기 때문에 향후 국내시장 규모는 약 200억원 정도로 추정되나, 본 연구에서 개발한 지열 Hybrid System을 대규모 아파트 단지에 적용할 경우, 국내시장규모는 대폭적으로 증가할 수 있을 것으로 판단된다.

Ⅲ. 지열 Hybrid System

대규모 아파트 단지의 냉난방 열원 확보를 위한 지열포집 공간 부족 등의 이유로 인해, 500세대 이상의 대규모 아파트 단지에 지열 에너지를 활용한 냉난방 시스템 적용사례는 전무한 상태이다. 아울러 주거용 전기요금의 누진제 등으로 인해 주기적인 전기사용을 해야 하는 지열 히트펌프 냉난방 시스템의 경우, 거주자에서 큰 이익환수가 되지 않는 실정이다. 따라서, 이러한 문제점 등을 해결하기 위해 지열 Hybrid System을 개발하였다.

1. 지열 Hybrid System 개요

지열 Hybrid System의 경우, 1,000세대 이상

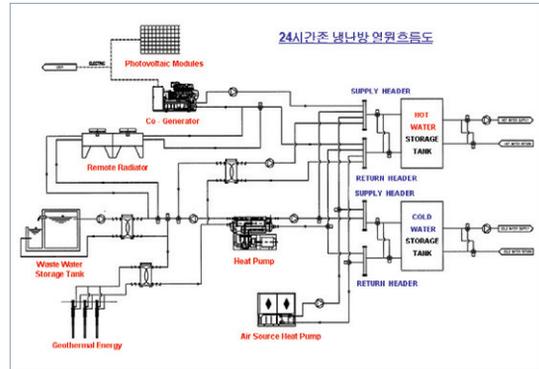


그림 4. 지열 Hybrid System 개요도 (특허등록번호 : 제10-0893828호)

의 대규모 아파트 단지에 신재생 에너지를 적용할 목적으로, 아파트 단지의 냉난방 및 급탕에 대한 열원으로 지열 및 하수열원을 활용하고, 냉각기능으로 공기열원을, 비상용 발전으로 태양광을, 자체 발전을 통해 히트펌프 가동전기를 생산하는 구조로 구성되어진 자가 발전 시스템이라 할 수 있다(그림 4).

2. 자동화 지열 포집장치

개방형 중의 하나인 스탠딩컬럼웰(SCW, Standing Column Well) 공법은 지열정에 열매체로 물을 순환하여 히트펌프에서 발생하는 에너지를 지중열과 열교환 후 이를 다시 동일한 관정에 주입하는 방식으로 수리학적, 지질학적 조건에 적합한 곳에서 효율적으로 이용할 수 있는 공법이다.

다수의 지열공과 다수의 히트펌프로 연결된 지열 히트펌프 시스템은 일반적으로 한 개소의 히트펌프의 운전시간이 증가하면 이와 연결된 지열공의 운전시간 또한 증가하게 되며, 운전하지 않는 히트펌프와 연결된 지열공은 온도조건이 양호함에도 불구하고 계속하여 정지하고 있게 된다. 이러한 시스템은 가동시간이 많은 히트펌프에 연결된 지열공은 온도조건이 점진적으로 불량해짐에도 불구하고 지속적으로 지열을 포집하게 되어, 지열 냉난

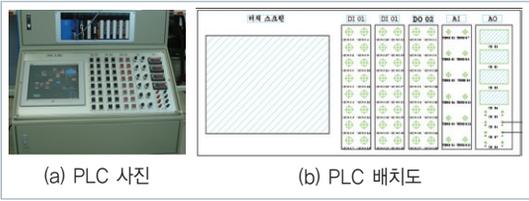


그림 5. 자동화 지열 포집장치용 PLC (특허출원번호: 제2009-0033127호)

방 시스템의 성능을 저하시키며, 잦은 고장의 원인이 되기도 한다.

자동화 지열 포집장치는 각 지열공 공내에 온도계를 설치하여 히트펌프 운전시 가장 좋은 조건의 온도를 가진 지열공을 운전하여 히트펌프 시스템의 성능을 향상시키고, 히트펌프의 수명을 연장시켜 에너지 소비의 감소와 유지비용의 절감시킬 수 있도록 개발되었다. 이러한 자동화 장치는 PLC(Programmable Logic Controller)를 통하여 구현되었으며, 국내에서 축적된 기존의 SCW 운영 데이터를 바탕으로 운전 방식 및 방법이 결정되었다(그림 5).

대형 공동구조물에 지열을 이용한 냉난방시스템이 적용될 경우 다수의 지열공과 지열히트펌프가 이용되게 되는데, 이 경우 히트펌프 및 수증펌프 운영효율은 전체 지열 냉난방 시스템의 운영효율에 상당한 영향을 미치게 된다. 따라서 자동화 지열 포집장치는 최적 운전조건의 지열공의 지열수를 순환시켜, 안정적 냉난방 열원 공급을 통한 시스템의 안정성 및 효율향상 그리고 유지비용 저감

효과를 가져오게 된다.

3. 대규모 민간주거구조물 설비시스템 및 공조장치

기존 지열 냉난방 시스템의 경우, 주로 학교, 관공서, 오피스 등의 비 주거 시설에 국한하여 적용되어지고 있으나, 당사에서 개발한 지열 Hybrid System의 경우 대규모 민간주거 단지 적용을 목적으로 개발하였기 때문에, 보다 효율적이고 안정적인 냉난방 공급 설비장치의 개발이 요구된다.

따라서, 당사에서는 중앙집중식 및 개별식 냉난방 시스템으로 운영할 수 있는 지열 Hybrid System 설비 시스템 흐름도를 개발하여 2건에 대한 특허출원 하였으며(표 1), 민간 아파트의 층고를 고려한 천장카세트형 FCU(Fan Coil Unit)를 개발하였다(그림 6).

기존 천정 매립형 방식의 FCU의 경우 200mm 이상의 두께를 요구하기 때문에, 층고의 영향이 상

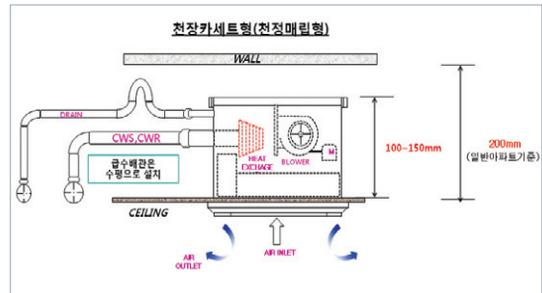
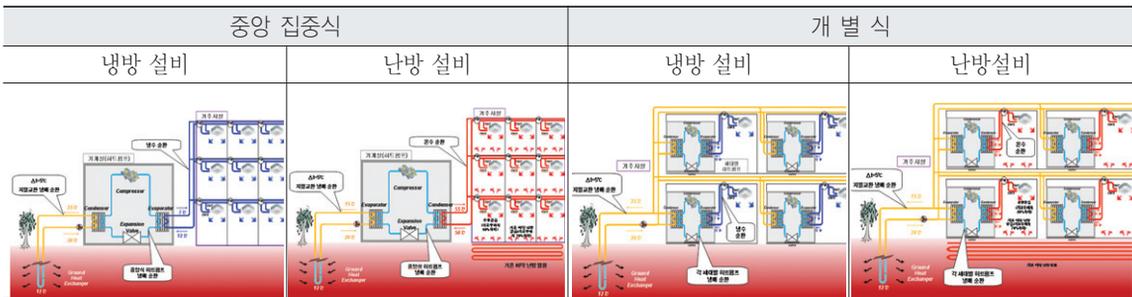


그림 6. 층고가 낮은 아파트 설치 가능한 천장카세트형 FCU(특허출원번호: 제2009-0034667호)

표 1. 지열 Hybrid System 설비시스템 흐름도(특허출원번호: 제2009-0024599호 및 제2009-0024600호)



당히 민감한 기존 아파트 단지 적용이 상당히 어려웠으나, 당사에서 개발한 100~150mm 두께의 FCU의 경우, 기존 아파트 천장에 설치가 가능하다. 아울러, 대규모 아파트 단지 각 세대에 중앙집중식 냉난방 시스템으로 냉난방 열원을 공급할 경우, 주거용 전기를 상업용전기로 전환 가능하기 때문에 거주자의 전기 누진세에 대한 부담도 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 지하수 열원 지열 냉난방 시스템 해석

지하수 열원을 이용한 지열 냉난방시스템의 설계 인자를 파악하기 위해, Flow와 Thermal 모델링을 융합한 Hydro-Thermal Coupled 해석을 수행하였다. Bleed Rate의 변화는 Hydro-Thermal 해석에서 유출수의 온도를 결정하는 데 가장 큰 역할을 한다(Deng, 2004; Rees et al., 2004; A. Al-Sarkhi et al., 2007). 겨울철 난방열원 공급시 개방형 방식(standing column well) 심정의 온도변화를 Bleeding 변화에 따라 온도 Contour로 나타내면 표 2와 같다. 표 2를 살펴보면, Bleed Rate이 클수록 유출수의 온도가 높으며, 또한 지반의 깊이가 깊어질수록 Bleed에 의한 지하수의 영향 때문에 물의 온도가 높아지는 것으로 나타났다.

현재 국내에 적용된 지하수 열원 냉난방 시스템을 조사해보면, 대부분이 Bleeding을 하지 않는 것으로 보고된 바 있으나, 지열 냉난방 시스템

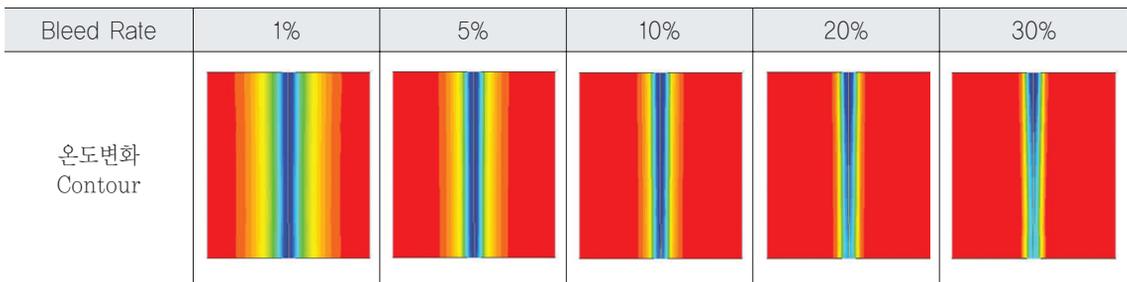
의 지속적인 활용을 위해, Bleeding Rate를 점진적으로 증가시키는 것이 바람직 한 것으로 판단된다.

5. 주변 토양 및 지하수 오염도 평가기술

SCW 공법은 지하수를 펌핑하여 지표에 있는 히트펌프(Heat Pump)까지 이송시켜 열원으로 이용한다. 이런 과정에서 지하수와 지표 토양의 온도차에 의한 지하수 이송관 근처 토양의 온도변화를 일으킨다(Bi et al., 2002). SCW 공법의 또 다른 특징은 일반적으로 히트펌프에서 열교환에 이용된 지하수를 지열공으로 다시 돌려보내게 되는데, 특수한 경우 Bleeding이 이루어진다. Bleeding은 순환되는 지하수의 일부를 순환 시스템에서 제거하는 것으로 Bleeding된 지하수는 하수로 처리되거나 지표 토양에 분사되게 된다. 지하수와 지표수는 주변 지역의 광물특성의 영향을 받아 pH 및 용해 물질에 차이가 있다. pH 및 용해 물질이 다른 지하수가 꾸준히 지표 토양층으로 배출되었을 경우 지표 토양 내에 존재하는 미생물과 지표 토양의 성상을 변화시킬 수 있다. 따라서 지열공 주변의 온도 변화와 지표로 유입되는 지하수의 유량 및 pH, 용해 물질에 따른 물리화학적, 생물학적인 환경 변화에 대한 평가기술이 필요하다.

지열에너지의 이용이 토양 온도에 미치는 영향과 지하수의 특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여

표 2. Bleed Rate 변화에 따른 개방형 심정의 온도변화



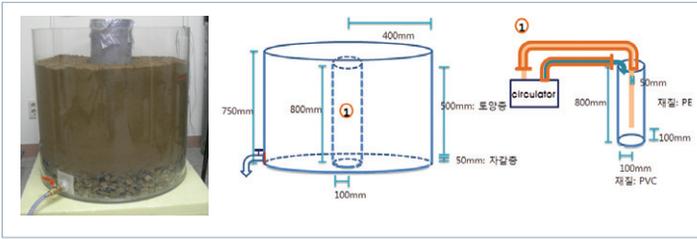


그림 7. 반응조 사진 및 모식도

실험실 실험 및 현장 수질테스트를 통하여 관찰하였다. 실험실 실험의 경우 반응조를 제작하여 지열수 순환에 따른 토양의 온도 변화에 영향에 대하여 분석하였으며(그림 7), 40일간의 운전실험을 통하여 이송관에서 200mm 거리에서 최대온도변화 2℃를 보였다. 현장 수질테스트에서는 히트펌프 이용 후 재주입되는 지하수 성상분석 등을 통하여 지하수 오염도 평가를 수행하였다. 실제 히트펌프에 이용된 후의 지하수 수질의 경우 생활용수로서의 사용 기준에 만족하는 결과를 보였다. 이것은 히트펌프에서 지하수의 이용이 지하수 오염에 영향이 없음을 보여주는 결과라 할 수 있겠다.

이러한 주변 토양 및 지하수 오염도 평가기술은 국내 스텐딩컬럼웰 보급 기반 확충 및 환경영향을 최소화하면서 지열에너지를 효율적으로 이용하게 하는 기반을 구축하는 것이다.

IV. 지열 Hybrid System 적용성과

지열 Hybrid System의 적용성을 살펴보기 위해, 전용면적 26.7m², 1,000세대 아파트 단지에 지열 Hybrid System, 기존 지열 냉난방 시스템 및 LNG 보일러시설을 적용하여 공사기간, 공사비, 운영비 등의 측면을 비교, 검토해 본 결과 상당히 우수한 것으로 평가되었다. 아울러, 열원공급의 안정성, 품질상태 및 주변 지반 또는 지하수 오염도 평가 등을 파악하기 위해, 30차례에 걸친 실내실험 및 현장시험을 수행하였으며, 광양항 업무지원시설에 적용하여 운영 중에 있다. 또한 개발 완료된 지열

Hybrid System을 청라 및 금호 Xian Center 전체 냉난방 시설에 적용할 예정이며(09년 7월), 지열 시스템 적용에 있어서 전세계적으로 최대 규모의 현장이라 할 수 있는 당사 아파트단지에 적용을 위한 실무협의를 진행 중이다.

1. 안정성 확보

기존 지열 냉난방 시스템의 경우, 다수의 지열공과 다수의 히트펌프로 연결되어 하나의 시스템을 이루게 되는데, 한 개소의 히트펌프의 운전시간이 증가하면 이와 연결된 각각 지열공의 운전시간 또한 증가되며, 운전하지 않는 히트펌프와 연결된 지열공은 온도조건이 양호함에도 불구하고 계속하여 정지하고 있게 된다. 이러한 운영방식은 가동시간이 많은 히트펌프에 연결된 지열공은 온도조건이 점진적으로 불량해짐에도 불구하고 지속적으로 지열을 포집하게 되어, 지열 냉난방 시스템의 성능을 저하시키며, 잦은 고장의 원인이 되기도 한다.

따라서 비교적 온도조건이 양호한 지열공에서의 지열 포집을 활성화하고, 온도조건이 불량한 지열공에서의 지열포집을 자제하는 등의 자동 계측, 제어가 가능한 자동화 지열 포집장치 및 제어장치(PLC 모니터)를 개발함으로써, 지속적인 열원공급이 가능하고, 사용수명주기를 획기적으로 증가시킨, 안정성 확보가 가능한 지열 냉난방시스템을 개발하였다.

2. 공사기간 단축

지열 냉난방부하 용량 100RT를 기준으로 공사기간을 분석한 결과, 지열 Hybrid System의 경우 수직밀폐형 지열 냉난방 시스템에 비해 평균 60일에서 20일로 단축되는 효과가 있다. 이는 지열에너지의 효율적인 포집 및 제어가 가능하기 때문에 지열을 포집하기 위한 천공홀이 상당부분 감소되기 때

문에 발생한 효과로서, 67% 정도의 공사기간 단축 효과가 발생하는 것으로 분석되었다.

3. 공사비 절감

지열 Hybrid System의 공사비 절감효과를 살펴보기 위해, 전용면적 26.7㎡, 1,000세대 아파트 단지에 지열 Hybrid System 및 기존 지열 냉난방 시스템을 적용하여 공사비, 노무비 및 장비비 등을 비교, 검토해 본 결과, 기존 지열시스템에 비해 초기투자비용이 평당 39만원에서 29만원으로 26% 정도 절감되는 것으로 나타났다. 또한, 지열 Hybrid System은 아파트 냉난방 열원 공급을 위한 지열 천공 개소를 획기적으로 줄일 수 있어, 노무비 37%, 장비비 28% 정도를 절감할 수 있는 것으로 확인되었으며, 이를 전체 공사비용으로 분석한 결과 29% 정도의 공사비 절감(390,000원/평 277,000원/평)이 가능하다.

4. 운전비용 절감

지열 Hybrid System의 정량적인 운전비용을 살펴보기 위해, 전용면적 26.7㎡, 1,000세대 아파트 단지에 지열 Hybrid System 및 LNG 보일러+에어컨시스템을 적용하여 운전비용 및 초기투자비용 회수기간을 검토해 본 결과, LNG 보일러+에어컨시스템에 비해 연간 운전비용이 103만원에서 53만원으로 47% 정도 감소하는 것으로 파악되었으며, 이를 토대로 초기투자비용 회수기간을 평가해보면, 약 8.9년이 소요되는 것으로 평가되었다.

V. 기대효과 및 파급효과

1. 기술적인 측면

- 지열 Hybrid System은 대형공동구조물의 냉난방 시스템으로서만이 아니라 플렌트, 주택, 레저 시설, 지하철 역사 및 상가 등의 근린시설 등 구

조물의 냉난방 시설에 폭넓게 활용할 수 있음.

- 지열 Hybrid System은 그 경제성과 시공성, 신속성, 친환경성 등을 감안할 때 실용화/기업화의 가능성이 있으므로, 신공법으로 추진하여 활용
- 건축, 주택 설비 및 지반조건에 따라 다양한 형태의 지하수 열원 시스템의 시공방법이 조합될 수 있으므로 현장의 지반조건에 맞추어 더욱 경제적이고 안정적인 냉난방 시스템으로의 활용 가능
- 지중열을 포집할 수 있는 심정에 설치하는 심정펌프의 자동 제어 및 계측이 가능한 자동화 지열 포집장치를 개발함으로써, 보다 효율적인 운영이 가능하게 되는 등의 지하수 열원 시스템의 자동화 제어 및 계측이라는 미래원천기술을 확보하여 기술수출에도 기여함.
- 교량 및 터널 갱구부 도로의 결빙방지를 위한 열선설치 등의 분야에 활용 가능함.
- 지하수 열원 시스템의 초기 설치투자비용의 50% 정도를 차지하고 있는 심정사양(굴착깊이, 간격, 표면적 등)을 최적화하여 초기설치 투자비용을 대폭 감소할 수 있어, 공공사업 구조물 뿐만 아니라 민산사업의 주상복합빌딩 등의 대형화 빌딩에도 적용성 증대에도 크게 기여할 수 있음.

2. 사회, 경제적인 측면

- 전체 에너지 자원의 97%를 수입에 의존하는 국내실정과, 화석연료가 고갈되어가고 있는 국제적인 현시점에 있어서 가장 효율적인 대체에너지 개발
- 예비전력 확보를 위한 발전소 건립비용 및 에너지 자원의 수입의존도를 절감
- 지열 Hybrid System 개발로 지하수 열원을 이용한 냉난방 시스템의 초기 설치투자비용 및 시공비 29% 이상 절감 가능

- 자동화 지열 포집장치 개발로 인한 자동 제어 및 계측이 가능해짐에 따라 효율적인 열에너지 확보가 가능해, 기존의 지하수 열원을 이용한 냉난방 시스템에 비해 효율적인 운용이 가능함.
- 지열을 포집하는 심정의 최적설계기법 개발에 따라 기존공법에 비해 심정의 설치 심도 및 간격의 최적화가 가능하고 따라서 시공물량을 줄일 수 있어 재료비 및 시공비 절감
- 지하수 유출 인해 유발될 수 있는 주변지반의 영향을 최소한으로 억제할 수 있는 설계 및 운용지침(안)을 제시함에 따라 대국민적인 불안감 해소.
- 지하수 유출 및 유입 등의 순환에 따른 지하수 오염도를 측정하여 국민적 불안감 해소

VI. 맺음말

화석연료의 고갈로 인한 에너지 위기를 극복하고, 화석연료의 연소과정에서 발생하는 대기오염 물질에 의한 지구 온난화 현상을 해결하기 위한 방안의 일환으로 자동화 지열 Hybrid System을 개발하였다. 개발이후 적용성과 경제성을 고려하여, 개발초기 현장의 다양한 의견과 작업현상을 분석하여 장치의 기능을 보완하였고, 안정적인 열원공급 및 효율적 운영이 가능하도록 세심한 부분까지 고려하였다.

지열 냉난방 시스템은 현존하는 신재생에너지 분야 중 가장 실용화에 근접한 기술로서, 현재 국내에서도 사용실적이 대폭적으로 증가하고 있는 실정이다. 그러나 현재 국내 지열 냉난방 시스템의 경우, 전문업체를 중심으로 국내에 도입되면서 다양한 시행착오를 거치면서 대부분 지열 냉난방 시스템은 과다설계되고 있는 실정이며, 대규모 주거용 구조물에 적용한 사례는 전무한 상태이다. 따라서 지열 냉난방 시스템을 최적 설계할 수 있는 자동화 지열 포집장치를 개발하여 초기공사비용을 줄이고, 대규모 주거용 구조물에 적용할 수 있는

천장형 FCU를 개발하여 아파트의 비교적 낮은 천장고를 고려할 수 있는 자동화 지열 Hybrid System을 개발하였다.

현장에서 근무하시는 많은 분들의 지도와 격려 속에 본 자동화 지열 Hybrid System이 지속적으로 Upgrade되어 대한민국 녹색성장에 기여하기를 바란다. 

〈참고문헌〉

1. 전정의, 박시삼, 나상민, 이건중, 박재우(2008), 지열에너지를 이용한 Heat pump 이용이 토양과 지하수에 미치는 영향에 관한 연구, 한국지반환경공학회 2008 학술발표회, pp. 297-300.
2. 전정의, 박시삼, 나상민, 이건중, 박재우(2009), 스텐딩 컬럼웰을 적용한 지열 히트펌프의 이용이 주변 토양과 지하수에 미치는 영향, 한국지반환경공학회 2009 학술발표회, pp. 248-252.
3. ASHRAE, 1995, Commercial/institutional ground-source heat pump engineering manual, ASHRAE, Atlanta.
4. Best, D., 1998, Ground-coupled heat pumps in a large residential installation, IEA Heat Pump Center Newsletter, Vol. 16, No. 1, pp. 16-18.
5. Bose, J. E., Parker, J. D. and McQuiston, F. C., 1985, Design/data manual for closed-loop ground-coupled heat pump systems, ASHRAE, Atlanta.
6. Bose, J. E., Smith, M. D. and Spittler, J. D., 2002, Advances in ground source heat pump systems: an international overview, Proceedings of the 7th IEA Heat Pump Conference, Vol. 1, pp. 313-324.
7. DOE, 2001, Ground-source heat pumps applied to federal facilities-second edition, Federal Energy Management Program, DOE/EE-0245(PNNL-13534), US Department of Energy.
8. EPA, 1993, Space Conditioning: The Next Frontier,

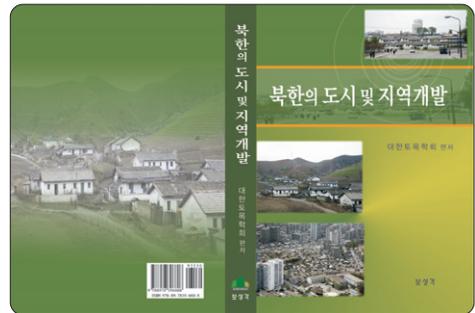
- Office of Air and Radiation, 430- R-93-0044(4/93), Energy Protection Agency, Washington D.C.
9. GHPC, 1997, Earth comfort update, Geothermal Heat Pump Consortium Inc., Washington D.C.
 10. Kavanaugh, S.P. and Rafferty, K., 1997, Ground-Source Heat Pumps : Design of Geo-thermal Systems for Commercial and Institutional Buildings, ASHRAE, Atlanta.
 11. Lund, J. W. and Freeston, D. H., 2001, World-wide direct use of geothermal energy 2000, Geothermics, Vol. 30, pp. 29-68.
 12. ORNL/DOE, 2001, Assessment of hybrid geothermal heat pump systems : geothermal heat pumps offer attractive choice for space conditioning and water heating.
 13. Rafferty, K. A., 1995, Capital cost comparison of commercial ground source heat pump systems, ASHRAE Trans., Vol. 101, pp. 1095-1100.
 14. Yu, I. K., 2000, Engineering Economy, 2nd ed., Hyungseul, Seoul.

기획 : 이상훈 편집간사 leesh07@gsconst.co.kr

▪ 책 소개 ▪

북한의 도시 및 지역개발

- 저 자 : 대한토목학회 편저
- 출판사 : 보성각
- 발행일 : 2009년 6월 25일
- 판매가 : 20,000원
- 면 수 : 382쪽



우리나라 국토가 분단된 지 벌써 60년이 지나면서 남북한의 경제, 사회, 문화 등 다양한 분야에서 큰 차이가 나타나고 있으며 주민들이 거주하는 도시 및 지역에서도 생활방식 뿐만 아니라 각종 기반시설 공급 등에서 큰 차이가 있는 것으로 알려지고 있다. 하지만 우리민족은 지난 5천년간 단일 민족으로 도도히 이어져 내려 왔으며 향후에도 우리의 민족의 정체성을 확립하여 보다 바람직한 방향으로 발전될 것이며 특히 도시 및 지역개발에 대한 상호 교류가 빈번할 것으로 예상된다.

그간 북한의 도시 및 지역개발에 대한 현황 및 자료가 매우 적어 북한을 지원하고 상호 교류할 수 있는 환경 조성에 큰 어려움이 있었으며 특히 북한의 도시 및 지역계획, 북한의 기반시설, 그리고 북한의 자원과 관련 제도에 대한 현황 및 과제에 대한 연구가 절실히 필요하였다.

대한토목학회 지역 및 도시위원회 소속 위원들이 지난 3년간 각고의 노력을 통하여 발간한 이 책은 모두 3편 12장으로 구성되어 있다. 1편에서는 북한의 도시 및 지역계획의 현황과 과제를 위하여 북한의 국토 및 도시공간구조, 국토 및 지역계획, 평양의 어제 · 오늘 · 미래, 그리고 도시 정보화에 대하여 다루었다. 2편에서는 북한의 기반시설의 현황과 과제를 위하여 주택, 산업, 교통, 공항, 항만에 대하여 다루었으며 3편에서는 북한의 자원과 관련제도를 위하여 수자원, 관광자원, 토지, 그리고 건설관련 법률을 다루었다.

본 서적은 시대적인 요구에 의하여 북한의 도시와 지역개발의 실상을 보고자 시도했으나 북한에 대한 각종 자료 확보에 한계가 있었고 부분적으로 단편적인 자료를 바탕으로 집필하지 않을 수 없었다. 하지만 도시 및 지역개발 전문가의 안목과 분석 그리고 감각을 거치면서 정리되고 종합화 된 내용은 나름대로 큰 의미를 가지고 있다.