

## GSHP 시스템의 국내적용성에 관한 연구( I )

### A Study on the GSHP System for Domestic application( I )

백성권<sup>1)</sup>, Sung-Kwon Baek, 안형준<sup>2)</sup>, Hyung-Jun An, 박영진<sup>3)</sup>, Young-Jin Park

<sup>1)</sup>코오롱건설(주) 기술연구소 건설연구팀, Researcher, R&D Centre, Kolon Const. Co., Ltd.

<sup>2)</sup>코오롱건설(주) 기술연구소 건설연구팀, Senior Researcher, R&D Centre, Kolon Const. Co., Ltd.

<sup>3)</sup>코오롱건설(주) 기술연구소 건설연구팀장, Research Manager, R&D Centre, Kolon Const. Co., Ltd

**SYNOPSIS** : Geothermal or ground source heat pumps(GSHPs) are electrically powered systems that take advantage of the earth's relatively constant temperature to provide heating, cooling, and hot water for homes and commercial buildings.

The buried pipe, or ground loop, is the most recent technical advance in heat pump technology. The idea to bury pipe in the ground to gather heat energy began in the 1940s. Only recently, however, have new heat pump designs and improved buried pipe materials been combined to make GHP systems the most efficient heating and cooling systems available.

The aim of the study is application of the GSHP system in Korea. Our environments for economy, politics and society are different from other countries. For a case, the progressive tax rate of home electricity is represented.

**Key words** : geothermal, heat pump, ground loop

## 1. 서론

대부분의 대체 에너지 시스템처럼, GSHP 시스템(Ground-Source Heat Pump System)은 태양에너지를 이용한다. 이는 지구 지각 내 저장된 태양에너지를 끄집어내어 간접적으로 태양에너지를 사용한다. 사실 지구는 태양에너지의 47%를 흡수해 보관하는 거대한 에너지 저장고이다. 이 양은 매년 인간이 필요로 하는 에너지의 500배 이상이다. 지열 히트펌프는 겨울동안 지반에 저장된 에너지로 건물을 난방하고, 여름에는 냉방을 위해 반대로 건물의 열을 지반으로 발산시킨다. 지열 냉난방 시스템은 재래의 냉매 압축 펌프와 같은 원리로 작동한다.

GSHP는 지열 히트펌프(geothermal heat pump), 지구 에너지 시스템, 또는 최근 미국에서는 GeoExchange system으로 불리기도 한다. 이것은 지반 뿐 아니라 지하수 또는 지표수를 에너지 자원과 저장고로 사용하는 시스템의 폭 넓은 다양함 때문이다.

현재 국내에 이 시스템을 시공하는 업체가 소수 있으나, 일부 설계와 시공에 있어서 국외 기업이나 연구기관에 의존하고 있으며, 특히 국내의 특수성을 고려한 설계란 생각할 수도 없는 실정이다. 본 연구에서 국내의 특수한 상황을 고려한 적용성 문제를 검토, 해결 방법을 제시하고자 한다.

## 2. GSHP 시스템의 개요

지열 히트펌프의 개발은 1912년으로 거슬러 올라가, 스위스에서 처음으로 지반 순환계를 사용하여 특

허를 낸 것으로 기록되어 있다. 그러나 1970년대까지 지열 히트펌프는 확실한 시장 수요가 없었다. 처음으로 상용화된 지열 히트펌프는 주거지역에 대해 지하수 타입 시스템으로 설계되었다. 1980년대 중반까지, 히트펌프의 효율과 가동범위는 진보된 지반 순환계 재료와 더불어 발전하였고, 지반복합형 히트펌프로 시장에 도입되었다. 이 시기에 상업적 장비가 인기를 끌기 시작하였다. 현재 북미에서 40,000개 이상의 지열 히트펌프가 팔렸다. 대부분 주거지역에 설치되었지만, 실제 주거지역과 상업지역의 시장 구분은 확실하게 구분할 수는 없는 실정이다. 예를 들어, 가장 큰 상업적 장비설치(GWHP)는 총 15,800 kW에 달하는 냉방 능력을 가지며, 지열 히트펌프 시스템이 소규모 설치에만 한정지어지는 것은 아님을 알 수 있다.

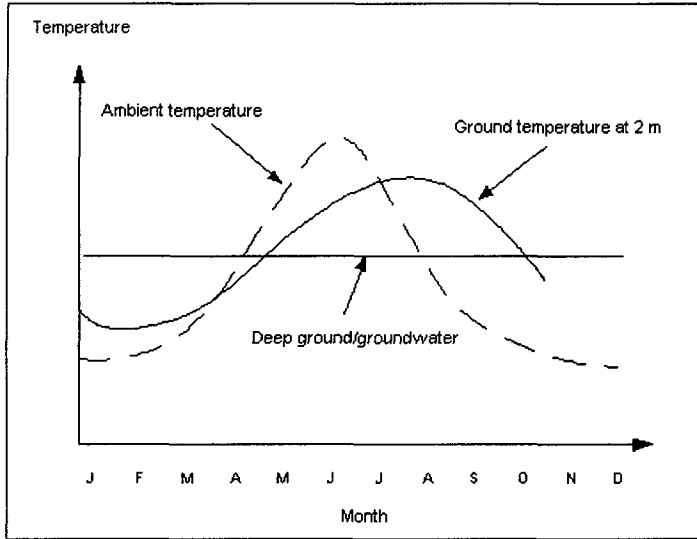


그림 1. 일반적인 연중 흙과 대기 온도의 변화

온도 변화가 크지만, 지표에서 일정 깊이 이하의 지층은 대기의 온도변화에 영향을 받지 않는 일정온도를 계속 유지한다.

따라서, 지열 히트펌프는 겨울에는 열원으로 이용하여 난방하고, 여름에는 열 보관으로 냉방하는 효과를 얻는다. 대부분의 지열 히트펌프 시스템은 따뜻한 물을 제공할 수 있다. 즉, 지열 히트펌프 시스템은 일반적으로 난방과 온수 시스템에 비해 3~5 배 더 효율적이다. 지열 히트펌프를 이용하면 확실한 에너지 절감이 가능하다. 에너지 소비 감소율은 일반 시스템에 비해 난방시 30~70%, 냉방시 20~50% 정도이다. 지열 히트펌프의 적용분야는 냉난방 공유, 온수 급탕, 스케이트장 유지, 하수도관, 인공호수, 동파를 막기 위한 물 순환 파이프, 슬래브 동결 보수, 교량 및 도로의 결빙 방지와 같은 것들이 있다.

의 지열 히트펌프가 팔렸다. 대부분 주거지역에 설치되었지만, 실제 주거지역과 상업지역의 시장 구분은 확실하게 구분할 수는 없는 실정이다. 예를 들어, 가장 큰 상업적 장비설치(GWHP)는 총 15,800 kW에 달하는 냉방 능력을 가지며, 지열 히트펌프 시스템이 소규모 설치에만 한정지어지는 것은 아님을 알 수 있다.

지열 히트펌프는 재래의 냉난방 시스템 또는 보다 일반적인 공기식 히트펌프(에어컨 등)에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 공기 열원식 히트펌프와는 달리 지열 히트펌프는 여름이나 겨울에 대기온도가 최고 값을 기록하더라도 높은 효율과 능력을 유지할 수 있다. 이것은 그림 1에서처럼 지반의 저감효과 때문이다. 즉, 대기는 계절에 따라

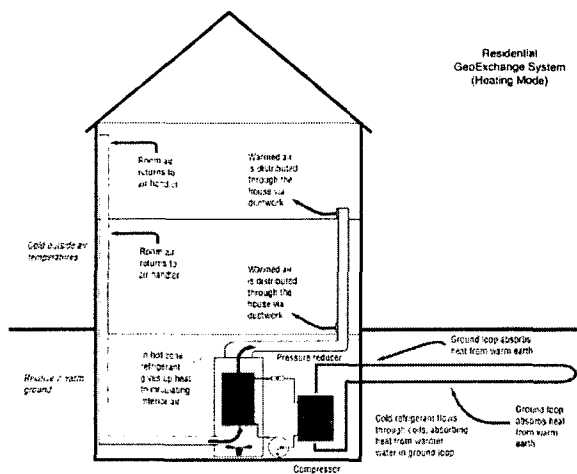


그림 2. 겨울철의 GSHP 시스템 원리

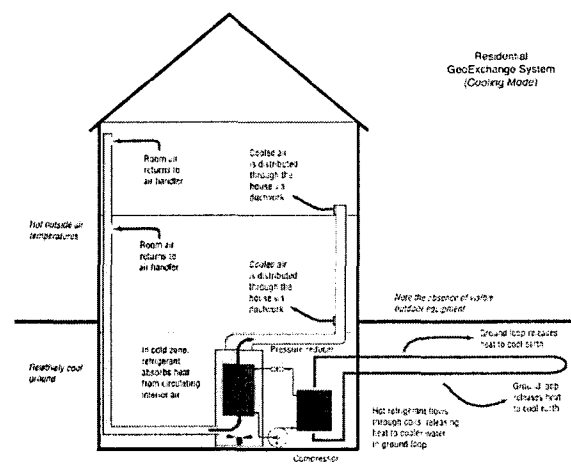
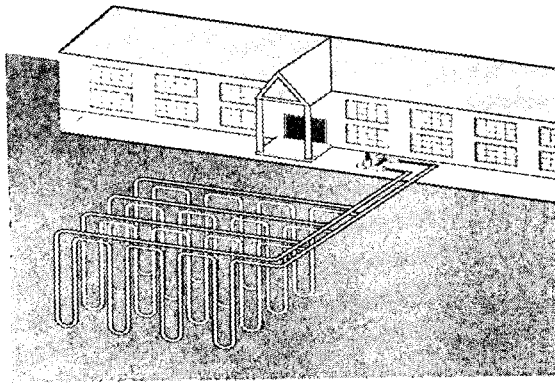
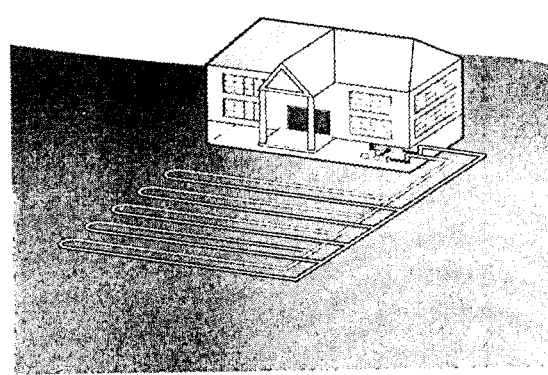


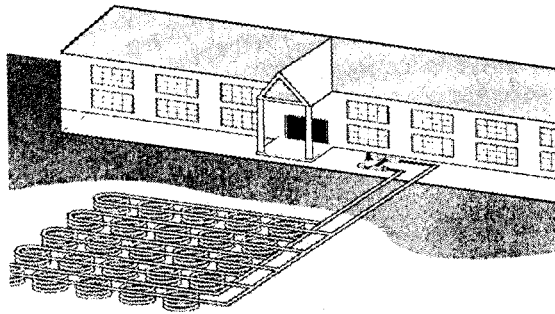
그림 3. 여름철의 GSHP 시스템 원리



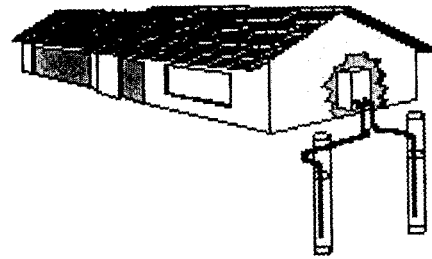
(b) Vertical Ground coupled system



(a) Horizontal ground coupled system



(c) Pond System



(d) Groundwater system

그림 4. GSHP 시스템의 Ground Heat Exchanger 설치 방법에 따른 분류

### 3. 히트펌프의 온돌 적용성 검토

최근 발표된 김명헌 외(2000)의 '열펌프-잠열축열시스템을 이용한 온돌의 난방특성'에 의하면 각 외부 온도와 설치방법에 따른 온돌과의 적용성을 알 수 있다. 하지만, 현재 효율을 높이는 방법으로 water-to-water 방식의 히트펌프를 많이 사용하고 있다. 실제 이 방식을 사용하면 COP도 아래에서 실험한 값보다는 클 것으로 판단된다.

그림 5는 Air-to-Water 히트펌프의 개방계에서의 성능계수를 나타낸 것이다. 열전달 매체인 물의 유량을 300 l/hr으로 하는 경우 외기온 변화에 따라 COP를 분석하였다. 그림에서 보는바와 같이 열펌프의 COP는 대략 2.5~3.8 수준으로 외기온이 4℃ 이하일 때는 AVACTHE를, 4℃ 이상일 때는 Bypass (AVACTHE를 사용하지 않는 경우)를 사용하는 것이 성능계수가 높게 나타났다.

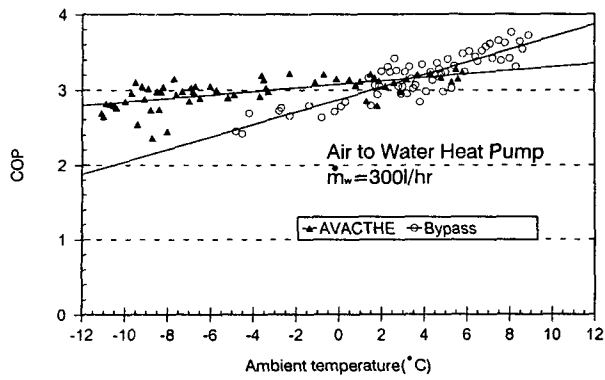


그림 5. 개방형의 경우 주변온도에 따른 COP의 변화(김명헌 외, 2000)

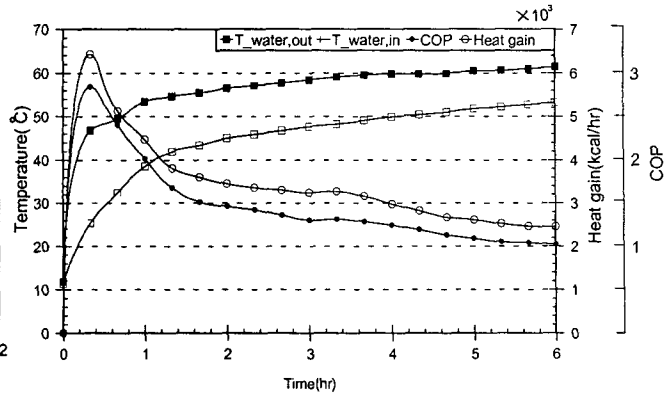


그림 6. 폐쇄 루프에서 히트펌프 작동 시간에 따른 COP의 변화(김명헌 외, 2000)

그림 6은 열펌프 가동시간에 따른 물 입·출구 온도차의 변화와 그에 따른 밀폐회로에서 열펌프의 성능계수 변화 및 응축기의 열량을 나타낸 것이다. 초기에는 COP가 2.85이었고, 방열량은 6500 kcal/hr로 나타났으나, 시간이 경과함에 따라 개방회로와는 달리 입구측 물의 온도가 상승하고 압축기의 압력이 상승하면서 소비전력이 커질 뿐만 아니라 입·출구 물의 온도차가 감소하여 물과 냉매간에 열교환이 점차적으로 적어지기 때문에 COP가 1.2까지 감소하는 현상을 보였다. 이와 같이 폐 회로에서의 COP는 개방 회로에서 보다 적게 나타났다.

#### 4. 주거공간의 효율성 검토

국외의 경우 주거 건물에 GSHP 시스템을 설치하는 경우 상업용 건물과 거의 비슷하거나 오히려 더 큰 효율을 기대할 수 있다. 하지만, 국내의 경우 주거 건물에 설치한다는 것은 그리 현실성 있는 프로젝트는 아니다.

다음은 특정 주거용 빌라를 대상으로 GSHP 시스템의 적용성을 비교하였다. 대상 지역은 서울이며, 총 24세대로 지상 2층, 지하 1층의 규모이다. 국내 및 국외에서 설계, 시공하고 있는 지열 히트펌프 시스템의 일반적인 냉난방 방식은 공기의 대류를 이용한 방식으로 일반적인 국내의 온돌 난방 방식과는 차이가 있다. 난방비 산출은 실제 온돌 시공으로 행하였을 경우를 기준으로 삼았다. 설계 세목은 아래 표와 같다.

표 1. 주거용 건물(고급빌라)의 설계 조건

항목	설계값	비고
설계 냉난방 온도	24/20°C	연간 24시간 전공간 냉난방
건물 면적	540m <sup>2</sup>	냉난방 면적
냉방 부하	85kW	
난방 부하	49kW	
시스템 비교	Package A/C Units + Floor Heating Boiler Tower WSHP+ Floor Heating Geothermal WSHP + Floor heating Geothermal WSHP(FCU) + Floor heating	

표 2 Life Cycle Analysis(단위: 백만원)

냉난방 종류	Package Units+ FH	A/C Boiler Tower	Geothermal WSHP+ FH	Geothermal WSHP(FCU)+ FH
초기설치비	92	129	229	188
Life Cycle 비용	662	675	702	683
연간 에너지 절감	-	2	8	6
연간 투자회수율	-	5.2%	6.1%	7.1%

일반적으로 국외의 지열 히트펌프 시스템의 투자 회수 기간은 3~5년 정도이다. 하지만 국내 여건을 고려한 투자회수는 18년 이상이며, 경제성이 전혀 없어 보인다. 이러한 차이가 발생하는 가장 큰 이유는 가정용 전력의 요금 누진제이다. 실제 상업용 건물과 다르게 주거용 건물은 전기를 쓰면 쓸수록 단가는 상승하게 되어있어, 전기로 작동하는 히트펌프의 경우 가장 불리할 수밖에 없다.

이 문제를 해결할 방법을 각 연구소에서 수행 중이며, 대표적인 방법이 심야전력의 축열 시스템, 일본에서 이미 가정에 널리 보급된 가스식 히트펌프를 사용하는 방법 등이 있다.

### 5. 시공 면적 최소화

지열히트펌프 시스템의 경우 가장 중요한 것은 히트펌프와 ground heat exchanger이다. 국내에 이 시스템을 도입하면서 충분한 시공면적의 확보가 가장 문제가 되었다. 즉, 냉난방이 원활히 이루어지기 위해서는 규모에 차이가 있겠으나, 대략 냉난방 면적의 20~30% 가량이 소요된다. 건물의 층수가 많아질수록 당연히 소요면적이 넓어져야 하며, 보어링 깊이도 깊어져야 한다. 현재 미국에서는 넓은 부지확보가 용이하기 때문에 시공면적 최소화 연구가 거의 수행되고 있지 않은 실정이며, 단지 유럽과 캐나다를 중심으로 시공 및 연구가 추진 중이다.

현 국내 실정에 비추어 볼 때, 도심지 내 주거, 상업용 건물의 건폐율은 상당히 높은 편으로 ground heat exchanger를 시공하기 위해 여유 부지를 확보한다는 것은 불가능하다. 결국 이 시스템을 국내에 적용하기 위해서는 추가적인 연구가 불가피한 것이다.

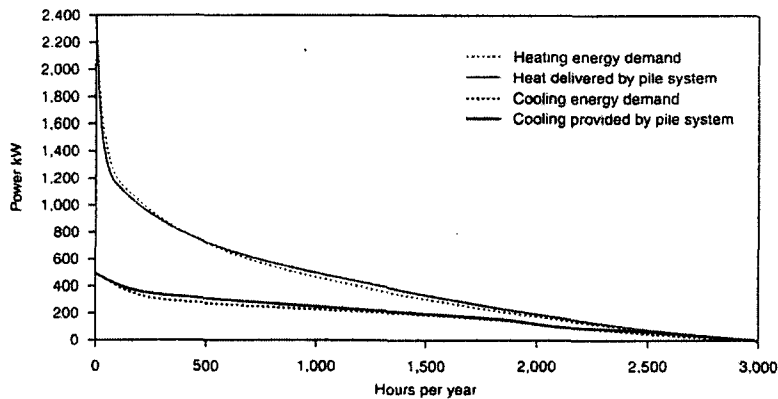


그림 7. 스위스 취리히 공항 말뚝시스템의 냉난방 에너지 요구량의 시간별 시뮬레이션(Pahud, 1999)

국외에서 말뚝에 heat exchanger를 시공하려는 연구는 오래 전부터 수행되어 왔다. 캐나다에서는 말뚝에 대한 프로젝트를 수행중이며, 스위스에서는 시공면적의 이유보다는 시공비 절감의 목적으로 이미

말뚝 열교환 시스템을 97년 시공 완료하여 계속적으로 계측이 이루어지고 있다. 스위스의 LASEN(Laboratory of the Institute for Hydraulics and Energy at the Civil Engineering Department of the Swiss Federal Institute of Technology) 연구소에서 이를 개발, 적용 중이다.

1998년 EPFL 북쪽 일부 건물에 ground heat exchanger 말뚝으로 기초를 시공하였으며, 겨울 난방부하의 절반과 여름 냉방 부하 전부를 이 시스템으로 대체하고 있다. 이 연구로 열 변화에 의해 야기되는 말뚝내의 정적 응력을 측정하였다. 여기서 난방장치는 말뚝의 열 저항성과 지반의 열전도성을 측정할 수 있도록 특별히 디자인하였다.

Zürich 공항의 새 터미널인 the Dock Midfield를 새로 건설하는데, 건물 길이 500m에 직경 1~1.5 m인 대구경 말뚝이 300개 이상이였다. 여기서 지반의 열전도성과 최적의 시공 크기를 연구하여, PILESIM이란 프로그램을 개발하였다.

말뚝에 적용할 경우, 주기적인 열변화로 인한 응력 발생, 말뚝과 주변 지반간의 열전도성 해석에 대한 연구 등이 필수적으로 이루어져야 한다.

말뚝에 의한 방법 이외에, 1997년 미국 FHP에서 전면 기초아래에 바로 시공하여 성공한 예가 있으며, multiple heat exchanger를 사용하는 방법과 shrinky coil 배치 방법도 있다.

일반적으로 bore hole 내에 하향 및 상향의 이어진 Ground heat exchanger 1가닥이 설치된다. 하지만, 시공공간이 협소할 경우 1개의 bore hole에 다중가닥의 Ground heat exchanger를 설치하게 된다. 이미 미국 Oklahoma State Univ. 및 유럽에서는 이를 연구하고 있으며, 1가닥 추가시 15% 이상의 성능향상을 가져왔다고 한다. 이에 보다 최적의 설계 값을 찾아낸다면, 충분히 설치 공간을 절약할 수 있다.

## 6. 결론

지열 히트펌프(GSHP) 시스템을 국내 환경에 맞게 적용하기 위해서는 다음과 같은 주요 문제가 있으며, 이에 대한 충분한 대책이 필요하다고 본다.

1. 히트펌프를 이용한 온돌 난방의 경우, 외기온이 4°C이하일 때는 AVACTHE를, 4°C이상일 때는 Bypass를 사용하는 것이 성능계수가 높게 나타나며, open loop가 closed loop보다 COP 값이 크게 나타났다.
2. 전기요금 누진제가 시행되는 현 국내 사정을 고려할 때, 주거용 건물에 전기식 히트펌프를 설치하는 것은 경제성이 극히 희박하며, 이를 보완하기 위해 가스식 히트펌프 또는 축열 시스템의 도입이 필요하다.
3. Ground heat exchanger의 시공 면적을 최소화하기 위해서는, 기초와의 조합이나 multiple heat exchanger의 시공이 필수적이며, 이에 대한 지반의 열적 특성에 관한 연구가 추가적으로 이루어져야 한다.

## 참고문헌

1. 김명현, 송현갑(2000), "열펌프-잠열축열시스템을 이용한 온돌의 난방특성", 충북대학교 석사논문
2. Daniel Pahud, Antonie Fromentin and Markus Hubbuch(1999), "Heat exchanger pile system for heating and cooling at Zürich airport", IEA Heat Pump Centre Newsletter Vol. 17 - No. 1/1999.
3. IGSHPA and Oklahoma State Univ.(1988), "Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems: Installation Guide", IGSHPA
4. Stephen P. Kavanaugh and Kevin Rafferty(1997), "Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and institutional Buildings", ASHRAE, pp.1~21.