

## 지열원 열펌프 시스템 개발 및 보급 활성화 개선방안

이 의준

### GSHP System Development and Dissemination Issues

Euy Joon Lee

**Key words :** GSHP(지열원열펌프), LCC(전주기 비용), GLHE(지중열교환기), Hybrid(하이브리드), Borehole (시추공), IGSHPA(국제지열히트펌프협회) RETScreen(신재생에너지기술 평가도구), IPMPV(국제성능측정검증규약)

**Abstract :** 최근 지열원 열펌프 시스템 설치가 해마다 평균 10-30%정도 꾸준히 증가하고 있다. 주요 연구동향은 토양열전도 측정, 지열히트펌프 시스템 전주기 성능평가, 하이브리드 시스템의 초기비용 저감과 이러한 지열원 열펌프 시스템 설계방법분야 개발에 대해 초점이 맞춰지고 있다. 특히 국내에서 현재 시공되어진 많은 시스템들이 부실시공의 문제에 노출되고 있으며 이러한 시점에서 현재의 저가 입찰제도 보다는 외국 사례와 같은 성능확인 제도로의 전환 및 많은 연구가 필요하다. 성능확인제도는 사전 성능 예측과 사후 성능 확인 검증으로 구성되며 본 기술현안 보고서는 최근 국내의 연구동향 및 사전 성능 예측과 사후 성능 검증 관하여 정리하여 본다.

#### 1. 서론

지열원열펌프(GSHP, Ground Source Heat Pump) 시스템은 주거 및 비주거 시설의 난방과 냉방을 위해 지하 50m이하 약 15°C 열을 이용하는 시스템이다. 이러한 에너지 이용분야에는 공간시설 냉·난방, 온수 그리고 농작물 건조, 농업용 원예온실, 정부공공건물시설 냉·난방 등에 활용 될 수 있다. 지중열원을 사용하는데 드는 비용이 때때로 높은 초기비용을 요구하지만 효과적인 설계를 통해 운영/유지보수 비용을 줄임으로서 전주기 비용(Life Cycle Cost)이 저감시킬 수 있다. 또한 미활용 되는 물, 공기를 사용할 수 있으므로 개선된 히트펌프의 성능, 낮은 유지보수 비용을 확보할 수 있다는 것이다.

1980년대 초 미국에서 성장한 주거시설 지열원 열펌프 시장은 설계기술의 개선과 기반시설을 통한 성장으로 인해 다른 국가들보다 시장점유에서 견실할 수 있었다. 미국 Oklahoma의 국제지열히트펌프협회(IGSHPA)에서는 이러한 시설 설계방안, 설계기준, 교육, 연례회의를 주도하여 미국 및 전 세계적으로 GSHP기술개발을 주도하고 있다. 이러한 IGSHPA(International Ground Source Heat Pump Association)의 활동은 설계시공자들을 위한 설계교육과 엔지니어들을 위한 공인 지열설계사 인증(CGD, Certified Geothermal Designer) 프로그램들을 보급, 운영하고 있다. 전 세계적으로 지열원 열펌프 시장은 지속적이고 안정적으로 성장하고 있으며(Annex 29) 미국 시장인 경우 미국 DOE의 에너지정보국(EIA)과 제조업자들에 의해 요청된 인증서(ISO 13256-1,2)에 기초한 열펌프 시스템을 사용하고 있으며 미국 냉동협회로부터 정량적 성능평가방안이 정해져

있다.

최근에 미국에 설치되어진 지열원 열펌프시스템이 설치되어진 시설을 보면 비 주거시설용 시장이 우위를 차지하고 있으며 1998년 미국에너지관리국이 허가한 새로운 Super ESPC (one stop ESCO process) 에너지 진단회사들은 GSHP 시스템을 전국의 모든 정부기관에 보급하였다.

현재 지열원 열펌프 시스템은 많은 응용분야로 넓혀가기 시작하고 있으며 시스템의 보급 활성화 방안을 위한 응용분야발전에는 하이브리드 지열히트펌프(HGSHP, Hybrid Ground Source Heat Pump)시스템의 발전과, 개선된 그라우트 재료와 시추공 설치기술 그리고 지중열교환기(GLHE, Ground Loop Heat Exchanger)의 기술(Spitter)과 중점 연구 분야로는 사전 성능 예측과 사후 검증 기술로 요약된다.

#### 2. 지열원 열펌프 시스템 연구 분야

##### 2.1 하이브리드 지열원 열펌프 연구

대부분의 상업용 건물들은 매년 추출하는 지열보다 상당히 많은 열을 토양으로 방출하고 있다. 이러한 열불균형은 해소하기 위한 대규모의 지중열교환(GLHE)나 방출되는 잉여 열을 회수할 수 있는 몇 가지 하이브리드 기술들이 요구된다. 대규모의 GLHE인 경우 설치비용이 매우 높은 방법으로써 대안 책이 요구되고 있으며 이러한 것들에는 냉각탑과 유체냉각기, 인공연못, 주유소에서 차량 세차를 위한 온수, 지표면 열교환기, 주

한국에너지기술연구원 미활용지열연수센터 센터장  
E-mail : elee@kier.re.kr  
Tel : (042)-860-3514 Fax : (042)-860-3739

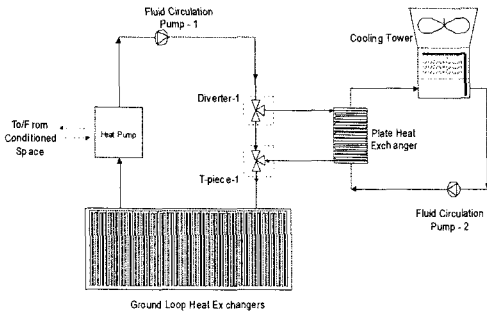


Fig. 1 Hybrid GSHP system with cooling tower

차장과 보도블록 등을 이용하는 방법이 있다.

몇몇 방법에서는 열불균형을 다른 방식으로 접근하고 있다. 이러한 잉여 열을 GLHE로 유도하는 것이다. 이것은 1970년대 시도되었던 유리가 있는 유창태양열집열기 아이디어를 포함하여 여러 가지 다른 방법으로 시도될 수 있다. 최근의 방법은 저비용 그리고 무창태양열집열기와 네덜란드에 있는 지붕이 있는 콘크리트 열흡입기 그리고 겨울에 순환수식으로 가열되는 콘크리트 다리 등이 그것이다. 그러나 이것들은 여름에 흡수되는 열은 사용할 수 없다는 단점이 있다.

지열교환기와 지상방열(Above Ground Heat Rejecter)을 통합하는 시스템은 일반적으로 하이브리드 지열교환기 시스템(HGSHP)의 한 종류라고 할 수 있다. 냉방주도용 건물을 위한 최초의 하이브리드 지열교환기 시스템(HGSHP)은 온도가 설정 온도이상 올라가면 냉각탑을 이용하는 것으로 Fig.1에서 나타내고 있다. 그러나 많은 연구를 통하여 추가적으로 열을 폐기함으로써 그 운영비와 초기비용을 더욱 줄일 수 있다는 것이 밝혀졌다. 또한 겨울에 열을 폐기하는 것이 한 여름 이후에 열을 폐기하는 것보다 비용 면에서 더 경제적이란 밝혀졌다.

또한 유지비용을 대폭 줄일 수 있는 대안방안으로 인공연못 열원 활용 기술이 있다. Chiasson와 다른 학자들은(2000a) 인공연못이 냉각탑보다 더 낮거나 비슷한 비용이 든다고 한다. 만약 추가적으로 부지비용이 들지 않는다면, Ramamoorthy와 몇몇 학자들은(2001) Yavuzturk와 Spittle(2000)에 의해 연구된 냉각탑을 갖는 HGSHP시스템과 비교하였을 때 더 낮은 운영비용과 전기사용료가 나올 것이라 한다. 그럼에도 불구하고, 인공연못 시스템은 몇 가지 특별한 상황에서만 실행 가능하며 뿐만 아니라 두 지역에서 제한된 컨트리볼 전략범위와 사무용 건물에 관점을 둔 연구는 더 넓은 건물범위에만 초점이 맞춰지고 있으며 최적의 제어시스템 구축 전략도 필요할 것이다. 인공연못 열원 활용 시스템은 겨울에 냉기를 보관하고 이것을 여름에 사용한다. 반대로 좀 더 깊게 생각해보면, 시스템의 에너지 저장시스템의 가능성, 에너지 직접 사용, 히트펌프의 이득이 없거나 난방을 위한 히트펌프 사용에 있다. 독일 Stuttgart에서 열린 Terrastock 2000 회의에서 전자통신국과 지역의 냉방을 위하여 이러한 응용들이 소개되었다. 최근 다른 이용은 스위스의 알프스산맥에서 가교위에 부분적 동결을 방지하는

데 사용되었다.

## 2.3 그라우팅과 시추공 설계 개선연구

수년 동안, 북미에서 시추공설계에 이용된 가장 일반적인 설계방안은 벤토나이트 그라우트를 아래부터 채워 넣은 단일고밀도 폴리에틸렌 U자형 튜브였다. 이 설계방안은 오염으로부터 대수층을 보호하는 매우 신뢰성이 높은 설계방안이다. 그러나 그라우트가 열전도가 좋지 않아 열전도의 관점에서는 기대에 못 미치는 효과를 가져왔고 그래서 높은 열전도성을 갖는 그라우트를 찾기 위한 몇 가지 연구가 진행되었다.

유럽에서는 초기에 파이프 구성을 최적화하기 위한 몇 가지 연구가 진행되었으며 미국 OSU(Oklahoma State Univ)에서는 U자형 튜브의 두관을 시추공 벽에 강제로 밀어 넣는 pipe spacing clips에 관한 연구조사가 진행되었다.

매년 열 방출과 추출이 비교적 균형을 이루고 부하가 높게 걸리도록 설계하여 열전도율이 향상된 그라우트와 Spacer clips의 기본적인 설치를 비교함으로써 시추공 총길이에서 30%정도 감소시킬 수 있고 열저장값의 영향이 지중열교환기 설계에 관한 변화가 용이함을 확인하였다.

## 2.4 지열전도 현상 측정 기술 연구

지열히트펌프시스템에서 사용된 지중열교환기의 설계와 시뮬레이션을 위해서 지열전도도는 중요한 입력 매개변수이다. 지중열교환기 설계도와 시뮬레이션 모델은 지열전도와 지중열 루프내의 열매체에 따라 달라진다. 이러한 평가는 설계에서 아주 중요하다. 그러나 이것들을 계산하기란 매우 어렵다. 이러한 이유는 요구된 시추공의 깊이나 길이는 지열속성에 매우 의존적이기 때문이다.

지열을 평가하는 전통적인 접근은 첫째로 시추공 주위의 토양이나 암석의 열전도 특성을 확인하는 것이다. 일단 토양이나 암석의 형식이 결정되면, 그것의 열전도율은 지면과 연관된 히트펌프시스템 형식과 토질의 데이터로 측정할 수 있다. 지면 구성형식을 위한 지면열전도율 값은 많은 논문에서 소개되어 있으며 더 정밀하게 지열전도율을 평가하기 위한 방법이 요구된다.

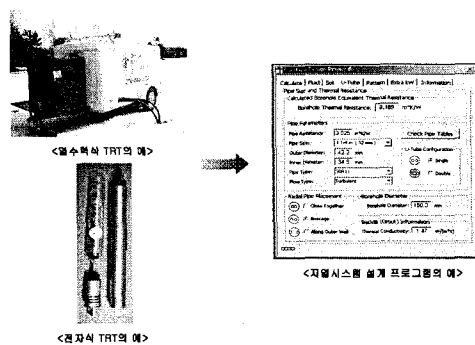


Fig. 2 Geothermal heat conduction measurement equipment and Geothermal system design & analysis program

Table 1 Geothermal system analysis program

Name	Source
RETScreen	Canmet Energy Technology Center
GLHPCalc	Energy Information Services, Tuscaloosa AL, USA
EED	Lund Univ., Lund, Sweden
GLHEPRO	IGSHPA, Stillwater OK, USA
GS 2000	Caneta Research, Canada

Fig. 2는 지열전도 현장 측정기술을 나타낸 것으로 크게 열수력식 TRT와 전자식 TRT로 구분된다. 열수력식 TRT 방법은 시험시추공에서 일정한 열의 용량에 의해 야기된 온도반응으로부터 지열전도율을 추측한다. 시험시추공이 도입된 이래로 시험시추공과 실험적 측정의 비용을 절감할 수 있는 곳에서 보다 큰 상업적 시스템을 위해 일반적으로 이러한 방법이 사용 되었다. 그리고 Mogensen (1983)<sup>14)</sup>는 지열전도율을 측정하기 위하여 이러한 측정법을 사용하는 개념을 서술하였다. 그 후 1995년에 OSU에서 실험장치의 개발이 시작되었으며 Austin (1998)에 의해 설명되었다. 그리고 동시에 독립적으로, 비슷한 실험장치들이 Eklhof와 Gehlin (1996)<sup>16)</sup>에 의해 개발되었다.

또한 온도반응에서 열과동으로, 즉 거꾸로 지열전도율을 측정하는 모든 분석절차의 범위가 개발되었다. 이것들은 line source 모델(Mogensen 1983<sup>14)</sup> Gehlin 1998<sup>17)</sup> Witte, et al. 2002)<sup>18)</sup>과 원통모양의 cylinder source 모델(Kavanaugh and Rafferty 1997)<sup>19)</sup> 혹은 수학적인 알고리즘(Shonder and Beck 1999<sup>20)</sup>; Spitler, et al. 1999<sup>21)</sup>; Austin, et al. 2000)<sup>22)</sup>에 기초를 둔 방법을 포함하고 있다.

토양열전도 측정시험을 하기 위한 일반적인 권고 사항은 Austin(1998)과 Martin, Kavanaugh (2002)에게서 찾을 수 있다. 충분한 정확성을 위한 요구된 테스트의 시간이었으며 상업적인 계약자들은 일반적으로 18시간보다 짧은 테스트를 선호한다.

전자식 TRT는 스위스 Geowatt사의 Rybach 그룹에 의해 제안(2005) 되었고 1-2시간 정도의 단축된 시험기간으로 테스트가 가능하며 실제 사용중이다.

### 2.5 사전 성능 예측 기술 분야

지열교환기 설계를 위한 많은 소프트웨어들은 개발되었고 현재 전 세계에서 사용되고 있다. 이러한 소프트웨어들은 주어진 빌딩의 부하, 지열속성 그리고 시추공구성 즉 히트펌프로 들어가는 유체온도를 충족시키기 위한 지열교환기를 크기 및 사전 성능 예측 할 수 있다. 이러한 소프트웨어들에는 Table 1과 같이 RETScreen (CETC-Varenes 1996), EED (Hellström and Sanner 2000), GchpCalc (Kavanaugh n.d.), GLDesign (Peterson 2000), GLHEPRO (Spitler 2000), 와 GS2000 (Morrison 1997), 등이 있다.

### 2.6 사후 성능 검증 기술 분야

이미 실제 현장 중심의 자료로는 비록 고성능으로 인증된 단위 유니트가 현장 고유의 저효율 시스템 설계, 시공, 운전, 관리, 현안에 대한 문제의 해결이 되지 않는다는 것이다. 이에 대한 해결안으로 국제에너지기구는 IPMVP(International Performance Measurement and Verification Protocol)에서도 option C(monitoring) 및 D (simulation) 방안 시스템 성능에 대한 약속 즉 규약을 정의하고 상호 준수하는 방안을 사용하고 있다. 성능보장제도라고도 하면 사후 지속 성능 보장을 확인하는 의무화 제도이고 이에 따른 에너지 절감량에 대한에서 인센티브도 부과하는 제도인 것이다. 지금처럼 설계, 시공 그리고 운전 별개인 현실에서는 우선적으로 정부가 고려해야 할 제도와 장치로 사료된다. 또한 이와 같이 사업의 신뢰도 향상과 관련 인력의 교육과 기기 유니트 시스템의 효율을 위해서는 무엇보다도 시스템 표준화(모듈화)가 시급하다.

### 3. 향후 연구 분야

지열히트펌프시스템의 보급을 위해 서술된 연구의 분야이외에 학회 밖에서 많은 개발이 이루어졌다. 다음의 것은 이러한 개발을 나열해 보았다.

- 저가 고속의 비용의 파이프 결합방법: 스테브, 소켓피팅, 전기용합.
- 새로운 펌핑 구성: 가변속도, 병형식 다중펌프와 일반적인 지열교환기를 공유하는 구분된 ON/OFF 회전펌프(참고: ASHRAE RFP 2005). 낮아지는 수명주기비용과 다양해지는 지열열펌프시스템의 적용가능성을 지속시키기 위해 다음의 분야에 추가적인 연구가 필요하다.
- 비용 효율적인 지열교환기를 개발.
- 저가로 지열열교환 효과를 평가하는 방안을 개발. (전자식 TRT등)
- 건물 시스템과 추가적인 열 그리고 지중열교환기를 통합 분석하는 건물통합 설계simulation 방법이 개발.
- 초기비용 설치와 운영비용을 줄이기 위한 최적의 유체펌핑 시스템 구성(optimum variable flow hydronic system)과 최적제어 방안을 개발.

비록 위에 서술된 연구개발도 중요하지만, 이러한 기술을 국내에 적용하는 기술이 더 중요하다. 기술이전 활동 주요 사례로:

- 시설시공을 전문으로 하는 토건업자들을 위한 설치 공동연구회, 승인받은 설계자들의 교육(IGSHP)과 에너지기술자 협회에 의해 엔지니어들과 다른 상업적 응용을 하는 설계자들을 위한 교육.
- 새로운 기술과 응용의 소개를 위한 시장분석 자료 DB구축화.
- 연구와 이용방안의 개선을 나타내기 위한 기술회의와 설치기준 DB 구축 및 제공.
- 냉/난방과 공기조화 기술의 미국단체(ASHRAE)에서는 전문적인 기술, 교육 개발 세미나와 지열히트펌프시스템 설계에 관한 세미나를 개최.
- 국내에서도 설비공학회 및 기술협회등에서 위

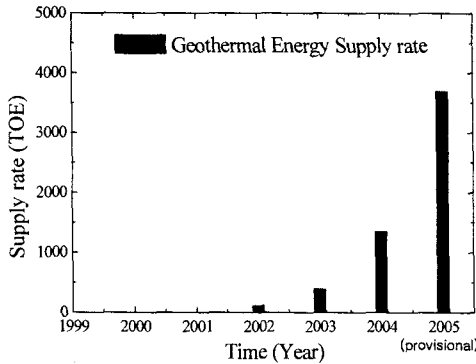


Fig. 3 Geothermal Energy supply rate

와 같은 기술이전 및 인증 프로그램에 정부지원이 필요한 것으로 사료됨.

### 5. 결론

Fig. 3은 국내 지열냉난방시스템의 보급률을 나타낸 그래프로 2001년 88RT 보급을 시작으로 2005년까지 총 5,064RT가 보급되었다. 보급 보조 사업은 2003년부터 올해까지 총 66개소 6,677RT에 금액으로는 약 161억원에 이르며, 공공의무화 사업은 지난 2004년부터 올해까지 13,470RT에 658억에 이르고 있다고 에너지관리공단은 설명하고 있다. 2007년에도 보급 보조 사업에 64억원 지방 보급 사업에 35억 등 총 99억원이 지원될 예정이라고 한다.

문제는 이러한 국가지원 사업의 신뢰성을 확인할 안전장치가 미흡하다는 것이다. 현재 정부지원 사업에 대해 시공확인이 의무화되어 천공 및 설치 확인 기준을 적용하고 있으나 현재와 같은 단위 RT 당 저가 입찰 방안으로는 이전의 태양열 시스템 부실시공 사례와 같이 지열시스템 역시 신뢰성이 없다는 예단을 내리기 쉬운 상황이 예견되고 있다.

이와 같은 부실시공 방지를 위해서는 앞에서 언급되었던 사전 성능 예측 기술과 사후 성능검증 기술이 필요하며 인력과 장비의 인증이 및 대한 교육과 이에 대한 활용 방안이 필요한 것이며 병행하여 GSHP 유니트와 시스템에 대한 인증도 필요하다.

결론적으로, 현재 국가 지열 사업의 성공적 기술 개발과 연구회 그리고 업계 조합의 역할과 기능이 매우 중요하다고 생각된다. 무엇보다도 지금의 지열 사업 공동체에서 중요한 정신은 상호 성장 주의이다. 이를 통해 지열시장 확장 체계 구축을 통해 보급 활성화 할 수 있는 방향으로 나아가야 할 것이다.

### References

[1] Bose, J. E., M.D. Smith, J.D. Spitler. 2002. Advances in Ground Source Heat Pump Systems: An International Overview. 7th

International Energy Agency Heat Pump Conference, Beijing, May 2002.

[2] Rybach, L. 2000. Status and Prospects of Geothermal Heat Pumps (GHP) in Europe and Worldwide: Sustainability Aspects of GHPs, Institute of Geophysics ETH, Zurich, Switzerland: 85-100.

[3] Yavuzturk, C., J.D. Spitler. 2000. Comparative Study to Investigate Operating and Control Strategies for Hybrid Ground Source Heat Pump Systems Using a Short Time-Step Simulation Model. ASHRAE Transactions. 106(2):192-209.

[4] Chiasson, A.D., J.D. Spitler, S.J. Rees, M.D. Smith. 2000a. A Model for Simulating the Performance of a Shallow Pond as a Supplemental Heat Rejecter With Closed-Loop Ground-Source Heat Pump Systems. ASHRAE Transactions. 106(2):107-121.

[5] Smith, M. Real-World Trial of Shallow Heat Exchanger Technology. Proceedings of the World Energy Engineering Congress. October 25-27, 2000. Atlanta. pp. 173-180.

[6] Chiasson, A.D., J.D. Spitler, S.J. Rees, M.D. Smith. 2000b. A Model for Simulating the Performance of a Pavement Heating System as a Supplemental Heat Rejecter With Closed-Loop Ground-Source Heat Pump Systems. ASME Journal of Solar Energy Engineering. November 2000. 122(4):183-191.

[7] Van de Ven, H. 1997. International Energy Agency Newsletter, Volume 15, No. 2/1997, P29.

[8] Chiasson, A. and J.D. Spitler. 2001. Modeling Approach to Design of a Ground-Source Heat Pump Bridge Deck Heating System. Transportation Research Record 1741:207-215.

[9] Polydynamics Engineering. 2000.

[10] [http://www.polydynamics.ch/e/r\\_d/page\\_erserso.htm](http://www.polydynamics.ch/e/r_d/page_erserso.htm).