

지열원 열펌프 시스템 기술 연구 현황 및 현안

이 의 준[†]

한국에너지기술연구원

Status of GSHP System Development

Euy-joon Lee[†]

Korea Institute of Energy Research, 305-343, Korea

ABSTRACT: 최근 열펌프 시스템 설치가 해마다 평균 10-30%정도 꾸준히 증가하고 있다. IEA HP Annex 28, 29(“열펌프 성능평가 기술”, “열펌프 시장 현황 현안”)등 국제공동연구를 통한 꾸준한 지열원 열펌프 시스템 응용분야의 발전은 기존의 지열원 시스템에 비해 비용과 더불어 보다 많은 에너지 절감효과를 가져왔다. 지열기술의 성공적 사용여부는 기술의 견실함, 설계 기술의 개발, 기반시설설치, 히트펌프와 부품제조업자의 반응에 기인한다. 최근 주요 연구동향은 토양열전도 측정, 지열히트펌프 시스템 전주기 성능평가, 하이브리드 시스템의 초기비용 절감과 이러한 열펌프 시스템 설계방법분야 개발에 대해 초점이 맞춰지고 있다. 본 기술현안 보고서는 최근 국내외 연구동향을 정리하여 본다.

Key words: Ground Source Heat Pump(지열원 열펌프)

1. 서론

지열원 열펌프(GSHP, Ground Source Heat Pump) 시스템은 주거 및 비 주거시설의 난방과 냉방을 위해 지하 50m이하 약15℃ 열을 상대적으로 활용하여 사용한다. 이러한 에너지 이용분야에는 공간시설 냉/난방, 온수 농작물 건조, 농업용 원예온실, 정부공공건물시설 냉/난방 등이 있다. 지하열원이 대기열원 시스템과 비교하였을

때 나타나는 장점 중 첫 번째는 지하 환경이 대기와 비교했을 때 대기온도보다 더 안정적인 온도범위를 가질 수 있다는 것이다. 이러한 지하열원을 사용하는데 비교적 높은 초기비용을 요구하지만 효과적인 설계를 통해 운영/유지보수 비용을 줄임으로서 전주기 비용(Life Cycle Cost)이 저감시킬 수 있다. 두 번째 장점으로서는 미활용되는 물, 공기를 사용 할 수 있으므로 개선된 히트펌프의 성능, 낮은 유지보수 비용을 확보할 수 있다는 것이다.

GSHP시스템은 주거건물에 최초로 사용되었다. 건물 소유자들에게 보조금 지원을 통하여 초기 투자비용을 절감 할 수 있었다. 시장점유에서 1980년대 초에 미국에서 성장한 주거시설 시장은

[†]Corresponding author

Tel.:+82-42-860-3514; fax:+82-42-860-3739

E-mail address: ejlee@kier.re.kr

설계 기술의 개선과 기반시설을 통한 성장으로 다른 국가들보다 발전할 수 있었다. 미국 Oklahoma의 국제지열히트펌프협회(IGSHPA)에서는 이러한 시설 설계방안, 설계기준, 교육, 연례회의를 주도하여 미국 및 전 세계적으로 열원 열펌프 기술 개발을 주도하고 있다. 이러한 IGSHPA (International Ground Source Heat Pump Association)에서는 설계시공자들을 위한 설계교육과 엔지니어들을 위한 공인 지열설계자 인증(CGD, Certified Geothermal Designer) 프로그램들을 보급, 운영하고 있다.

2. 시장의 성장

GSHP의 시장은 지속적이며 안정적으로 성장하고 있다.(Annex 29) 미국의 시장은 미국 DOE의 에너지정보국(EIA)과 제조업자들에 의해 요청된 인증서(ISO 13256-1,2)에 기초한 열펌프 시스템 구성품을 따르는 미국 냉동협회의 기록으로부터 정량적 성능평가방안이 정해져 있다. 여기에는 지열원 열펌프 성능을 평가하는 3가지 중요한 ARI 성능평가 기준(ARI 320 case: closed loop cooling tower, 70~90°F(cooling tower > 90°F, boiler < 70°F), ARI 325 case: open loop ground water 지수열원, 40~80°C°F, ARI 330 case: closed loop, 20~110°F) 수자원과 지하수자원 그리고 지열원 폐회로 운용을 위해 평가된 각각의 시스템 이용으로 구분되고 있다. 이러한 기준에서 지열원 이용을 위해 선택된 기계장치의 현황을 보면, 현재 지열원 설치를 위해 사용 중인 기계장치의 수가 일 년에 35000개에서 50000개에 이른다고 한다. 그리고 EIA에서 1998년부터 2000년 사이에 미국에서의 수출량이 28% 증가하였다고 발표하였다. 전 세계적으로 설치된 용량과 생산된 에너지는 각각 6,675.4MW와 23,268.9 TJ/yr이며 이 중 미국은 4,800MW(약 500,000 unit)와 12,000TJ/yr을 차지하였다. (Rybach 2001)

최근 설치되어진 시설을 보면 비 주거시설용 시장이 우위를 차지하고 있다. 1998년 미국 에너지관리국의 허가한 새로운 Super ESPC(one stop ESCO process) 에너지 진단회사들은 GSHP 시스템을 전국의 모든 정부기관에 보급하였다. 이 Super ESPC에 의한 계획은 규모면에서 Ft. Polk, 루이지애나 군사기지에 있는 4003 주거시설과 비교 될 정도로 큰 규모이었다.

3. 최근의 발전 하이브리드 지열히트펌프 시스템

최근의 연구 성과가 많은 응용분야로 넓혀가기 시작하고 있다. 주요 응용분야발전에는 하이브리드 지열히트펌프(HGSHP, Hybrid Ground Source Heat Pump)시스템의 발전과, 개선된 그라우트 재료와 시추공 설치기술 그리고 지중열교환기(GLHE, Ground Loop Heat Exchanger)의 단기간모델링(short-time step modeling)과 연관된 기술(Spitler)들이 있다.

대부분의 상업용 건물들은 매년 추출하는 지열보다 상당히 많은 열을 토양으로 방출하고 있다. 이러한 열불균형은 대규모의 지중열교환기(GLHE)나 방출되는 잉여 열을 회수할 수 있는 몇 가지 하이브리드 기술들이 요구된다. 대규모의 GLHE의 설치비용은 매우 고가이기 때문에 상당수가 방출열의 대안책이 요구되고 있다. 이러한 것들에는 냉각탑과 유체냉각기, 인공연못, 주유소에서 차량세차를 위한 온수, 지표면 열교환기, 주차장과 보도블록 등이 있다.

몇몇 이용분야에서는 열불균형을 다른 방식으로 접근하고 있다. 그것은 잉여 열을 GLHE로 유도하는 것으로 1970년대 시도되었던 Glazed solar collector 아이디어를 포함한 여러 가지 방법과 최근 방법의 저비용 Unglazed solar collector가 있다. 네덜란드 지붕에 설치된 있는 콘크리트 열흡입기, 겨울에 순환수식으로 가열되는 콘크리트 다리 등을 예로 들 수 있다.

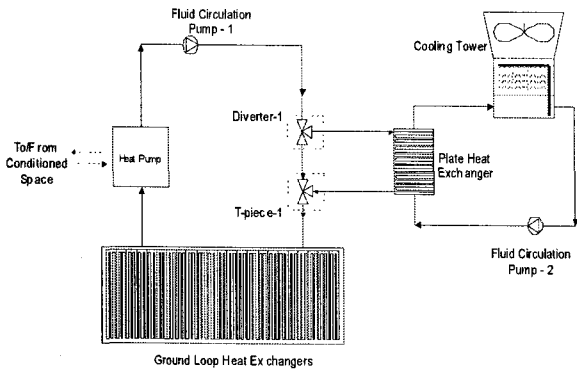


Fig. 1 Hybrid GSHP system with cooling tower

지열교환기와 지상방열기(Above Ground Heat Rejecter)를 통합하는 시스템은 일반적으로 하이브리드 지열교환기 시스템(HGSHP)의 한 종류라고 할 수 있다. 냉방위주의 건물로 최초로 사용된 하이브리드 지열교환기 시스템(HGSHP)은 온도가 설정온도이상 올라가면 냉각탑을 이용하는 것이었다. 그러나 많은 연구에서 추가적으로 열을 폐기함으로써 그 운영비와 초기비용을 줄일 수 있으며 겨울에 열을 폐기하는 것이 여름 오후에 열을 폐기하는 것보다 비용 면에서 더 경제적인 것으로 명시하였다.

이처럼 유지비용을 줄이는 대안으로 인공연못 열원 활용 기술(pond heat reject system)을 들 수 있다. Chiasson와 다른 학자들은 (2000a) 인공연못이 냉각탑보다 더 유사하거나 적은 비용이 든다고 하였다. Ramamoorthy와 몇몇 학자들은 (2001) 추가적으로 부지비용이 들지 않는다면, Yavuzturk와 Spitler (2000)에 의해 연구된 냉각탑을 갖는 HGSHP시스템과 비교하였을 때 운용비용과 전기사용료가 낮아질 것이라 설명하였다. 그러나 인공연못 시스템은 몇 가지 상황에서만 실행 가능하며 게다가, 두 지역에서 제한된 컨트롤 전략범위와 사무용 건물에 관점을 둔 두 가지 연구는 더 넓은 건물범위에만 초점이 맞춰지고 최적의 제어시스템 구축 전략도 필요할 것이다.

이 시스템은 겨울에 냉기를 보관하고 그것을

여름에 사용한다. 이 시스템이 에너지저장시스템의 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. 최근에는 스위스의 알프스산맥에서 가교에 부분적 동결을 방지하는데에도 사용되었다.

3.1 설계 도구

하이브리드 GSHP시스템 기술개발을 통해서, 시스템 시뮬레이션의 이용과 이러한 모델링의 사용이 가능해졌다. 많은 냉난방시스템들이 시스템 시뮬레이션의 도움 없이 알맞게 설계되는 반면 하이브리드 GSHP시스템을 시스템 시뮬레이션의 일정한 형식 없이 설계하는 것은 매우 어렵다. 그러나 건물 난방 부하는 오직 최고 사용시간만을 고려하여 계산되어졌고, 건물 냉방 부하는 일반적으로 최고 사용일 만을 고려하여 계산되었다. 그리고 하이브리드 GSHP시스템은 최소한 한 해 동안을 고려하여 설계되어졌으며 지중열교환기기도 최소 한 해 동안의 시뮬레이션을 요구하며 모든 구성장치는 서로 연관되어 시뮬레이션을 수행하였다.

4. 그라우팅과 시추공 기술 연구

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

유럽에서는 초기에 파이프 구성을 최적화하기

위한 몇 가지 연구가 진행되었다. 미국 OSU (Oklahoma State Univ)에서는 U자형 튜브의 두 관을 시추공 벽에 강제로 밀어 넣는 pipe spacing clips에 관한 연구조사가 진행되었다. 매년 열 방출과 추출이 비교적 균형을 이루고 부하가 높게 걸리는 설계 그리고 열전도율이 향상된 그라우트와 spacer clips의 기본적인 설치를 비교하여 시추공 총길이에서 30%정도 감소시킬 수 있는 설계는 저항 값에서의 영향이 지중열교환기 설계에 관한 변화가 용이함을 확인하였다.

5. 지열전도 현장 측정 기술 (In-situ Thermal Response Tester, TRT)

지열히트펌프시스템에서 사용된 지중열교환기의 설계와 시뮬레이션을 위한 지열전도도는 중요한 입력 매개변수이다. 지중열교환기 설계도와 시뮬레이션 모델은 지열전도도와 지중열 루프내의 열매체에 따라 달라진다. 이러한 평가는 설계에서 아주 중요하나 이것들을 계산하기란 매우 어렵다 왜냐하면 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 논문에 나와 있으며 더 정밀하게 지열전도율을 평가하기 위한 방법이 요구된다.

지열전도 현장 측정기술은 크게 열수력식 TRT와 전자식 TRT로 구분된다. 열수력식 TRT 방법은 시험시추공에서 일정한 열의 적용량에 의해 야기된 온도반응으로부터 지열전도율을 추측하는 것이다. 시험시추공이 도입된 이래로 시험시추공과 실험적 측정비용을 절약할 수 있는 곳에서 보다 큰 상업적 시스템을 위해 일반적으로 이러한 방법이 사용 되었다. 그리고 Mogensen

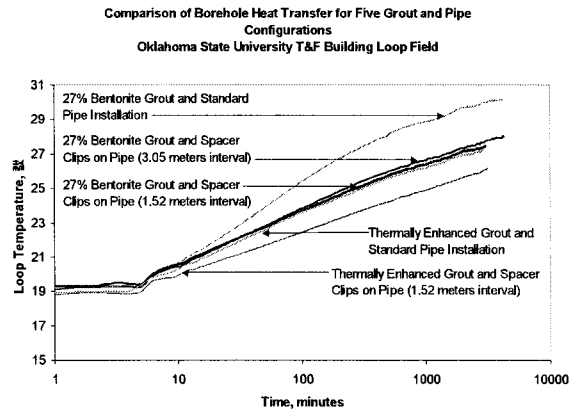


Fig. 3 Example of performance measurement geothermal heat exchanger

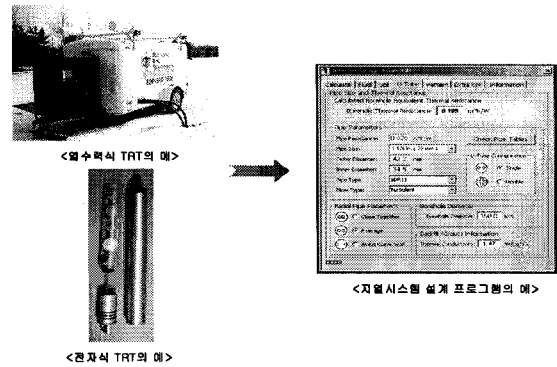


Fig. 4 Geothermal heat conduction measurement equipment and Geothermal system design & analysis program

(1983)⁽¹⁴⁾는 지열전도율을 측정하기 위하여 이러한 측정법을 사용하는 개념을 서술하였다. 그 후 1995년에 OSU에서 실험장치의 개발이 시작 되었으며 Austin(1998)에 의해 설명되었다. 그리고 동시에 독립적으로, 비슷한 실험 장치들이 Eklof와 Gehlin (1996)⁽¹⁶⁾에 의해 개발되었다. 온도반응에서 열과동으로, 즉 거꾸로 지열전도율을 측정하는 모든 분석절차의 범위가 개발되었다. 이것들은 line source 모델(Mogensen 1983

(14) Gehlin 1998⁽¹⁷⁾ Witte, et al. 2002⁽¹⁸⁾과 원통 모양의 cylinder source 모델 (Kavanaugh and Rafferty 1997)⁽¹⁹⁾ 혹은 수학적인 알고리즘 (Shonder and Beck 1999⁽²⁰⁾; Spitler, et al. 1999⁽²⁰⁾; Austin, et al. 2000⁽²²⁾)에 기초를 둔 방법을 포함하고 있다.

토양열전도 측정시험을 하기 위한 일반적인 권고사항은 Austin(1998)과 Martin, Kavanaugh (2002)에게서 찾을 수 있다. 이론이 분분한 논쟁에서는 충분한 정확성을 위해 요구된 테스트 시간이 필요하다. 상업적인 계약자들은 일반적으로 18시간보다 짧은 테스트를 선호한다.

전자식 TRT는 스위스 Geowatt사의 Rybach 그룹에 의해 제안(2005) 되었고 1-2시간 정도의 단축된 시험기간으로 실제 사용 중에 있다.

6. 설계 소프트웨어

지열교환기 설계를 위한 많은 소프트웨어들이 개발되었고 현재 전 세계에서 사용되고 있다. 이러한 소프트웨어들은 주어진 빌딩의 부하, 지열 속성 그리고 시추공구성 즉 히트펌프로 들어가는 유체온도를 충족시키기 위한 지열교환기 크기를 정할 수 있다. 이러한 소프트웨어들에는 EED (Hellström and Sanner 2000), GchpCalc (Kavanaugh n.d.), GLDesign (Peterson 2000), GLHEPRO (Spitler 2000),와 GS 2000 (Morrison 1997), RETScreen (CETC-Varennes 1996)등이 있다.

7. 향후 연구 분야

지열히트펌프시스템의 보급을 위해 서술된 연구 분야 외에 학회 밖에서 많은 개발이 이루어졌다. 다음의 것은 이러한 개발을 나타낸다.

- 저가 고속의 비용의 파이프 결합방법: 스테브, 소켓피팅, 전기융합
- 새로운 펌핑 구성: 가변속도, 병렬식 다중펌프

Table 1 Geothermal system analysis program

Name	Source
GLHPCalc	Energy Information Services, Tuscaloosa AL, USA
EED	Lund Univ., Lund, Sweden
GLHEPRO	IGSHPA, Stillwater OK, USA
RIGHT-L OOP	Wright Associates, Lexington MA, USA
GS 2000	Caneta Research, Canada

The screenshot shows the RETScreen Energy Model interface for a Ground-Source Heat Pump Project. It is divided into several sections:

- Site Conditions:** Project name (Example: Halifax, Canada), Project location, Available land area (2000 m²), Soil type (Light rock), Design heating load (30.3 kW), Design cooling load (97.8 kW).
- System Characteristics:** Base Case HVAC System (Building has air-conditioning? Yes, Heating fuel type Electricity, Heating system seasonal efficiency 90%, Air-conditioner seasonal COP 3.0), Ground Heat Exchanger System (System type Vertical closed-loop, Design criteria Cooling, Typical land area required 233 m², Ground heat exchanger layout Standard, Total borehole length 636.3 m), Heat Pump System (Average heat pump efficiency High, Standard cooling COP 5.50, Standard heating COP 4.00, Total standard heating capacity 38.4 kW, Total standard cooling capacity 16.9 kW), Supplemental Heating and Heat Rejection System (Suggested supplemental heating capacity 0 kW, Suggested supplemental heat rejection 0 kW).
- Annual Energy Production:** Heating (Electricity used 22.0 MWh, Supplemental energy delivered 0.0 MWh, GSHP heating energy delivered 69.7 MWh, Seasonal heating COP 3.2), Cooling (Electricity used 13.2 MWh, GSHP cooling energy delivered 79.7 MWh, Seasonal cooling COP 5.4, Seasonal cooling EER 18.3).

Fig. 5 LCC economic evaluation tool

와 일반적인 지열교환기를 공유하는 구분된 ON/OFF 회전펌프(참고: ASHRAE RFP 2005)

낮아지는 수명주기비용과 분야 지열히트펌프시스템의 적용가능성을 지속시키기 위해 다음의 분야에 추가적인 연구가 필요하다.

- 비용 효율적인 지중열교환기를 개발 해야한다.
- 저가로 지열열교환 효과를 평가하는 방안을 개발 해야한다. (전자식 TRT등)
- 건물 시스템과 추가적인 열 그리고 지중열교환기를 통합 분석하는 건물통합 설계 simulation 방법이 개발 되어야 한다.
- 초기비용 설치와 운영비용을 줄이기 위한 최적의 유체펌핑 시스템 구성(optimum variable flow hydronic system)과 최적제어 방안을 개발해야 한다.

비록 앞에서 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 교육등이 있다.
- 새로운 기술과 응용의 소개를 위한 시장분석 자료 DB구축 모임을 하고 있다.
- 연구와 이용방안의 개선을 나타내기 위한 기술회의와 설치기준 DB 구축하여 제공하고 있다.
- 냉/난방과 공기조화 기술의 미국단체(ASHRAE)에서는 전문적인 기술, 교육 개발 세미나와 지열히트펌프시스템 설계에 관한 세미나를 제공하고 있다.
- 국내에서도 설비공학회 및 기술협회등에서 위와 같은 기술이전 활동이 관련 기관협조로 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

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_e_ser_so.htm.