

06 지열(地熱)

땅 속 숨은 열로 냉·난방 해결한다



울진세계친환경 농업엑스포 행사장에 선보인 유기농 경작지에는 지열냉난방시스템을 활용해 채소를 키우고 있다.

연합포도

글_ 임효재 호서대학교 기계공학과 교수 hjlim@office.hoseo.ac.kr

21세기는 자원과의 전쟁의 세기라고 할 수 있다. 화석연료를 위주로 한 에너지 소비와 공급 정책이 한계에 부딪히는 세기임과 동시에 이에 수반되는 환경문제가 더욱 심각해지기 때문이다. 그러나 그 동안 상대적으로 소홀히 다루어져 왔던 대체에너지에 대한 관심과 비중은 증가하고 있다.

이러한 이유로 정부에서는 2003년에

대체에너지 관련법을 신·재생에너지법으로 대체하는 법개정을 시행하였다. 이번 대체에너지개발 및 보급·이용 촉진법 시행령에 따르면 에너지를 재생에너지, 재활용에너지, 그리고 신에너지로 구분하였으며, 재생에너지로는 태양, 바이오, 풍력, 수력, 지열, 그리고 해양에너지로 분류하여 지열 이용을 활성화하기 위한 제도적 밑바탕을 마련하였다.

에너지 효율 가장 높은 '지열이용히트펌프시스템'

지열에너지는 지표면으로부터의 깊이에 따라 천부지열과 심부지열로 구분된다. 천부지열은 지표로부터 200~300m 깊이에 포함된 지열을 말하며, 일반적으로 사용되는 지열히트펌프는 이 천부지열을 이용하고 있다. 심부지열은 300m 이하의 열을 이용하는 것으로 50℃ 이상의 고온의 온수를 뽑아 올려 난방수로 이용



〈그림 1〉 지중 열교환기의 여러 가지 형태

는 대체에너지 사업이 이러한 면에서 매우 중요하며, 이중 가장 안정된 열원으로 평가받고 있는 지열에 대한 연구와 관심은 다소 늦은 감이 없지 않다.

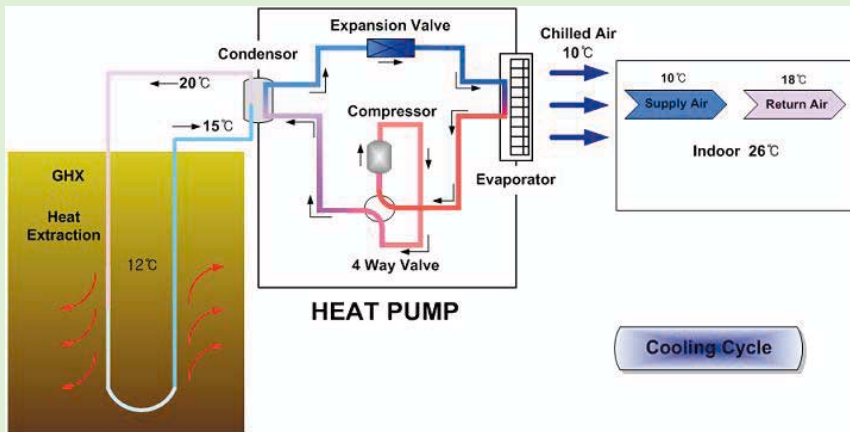
미국의 에너지부(DOE)나 환경보호청(EPA)은 현존하는 냉·난방 기술 중에서 가장 에너지 효율이 높은 에너지 절약 시스템으로 ‘지열이용히트펌프시스템(GSHP)’을 예로 들고 있다. 실제로 공기 열원 히트 펌프에 비해 40% 이상의 에너지 절감이 가능하며, 전열기를 이용한 난방과 에어컨을 이용하는 경우에 비하면 70%의 에너지를 절감할 수 있고, 창문이나 단열재 등을 최선의 에너지 절약 기술과 병행하면 더 많은 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다. 이러한 이유로 미국에서는 과거 10년 동안 지열 이용 히트 펌프의 설치 대수가 매년 12% 정도 증가하고 있다.

현재 12kW 용량 기준으로 약 50만 대가 설치되어 운용되고 있으며, 매년 5만 대가 새로 설치되고 있는 것으로 추산되고 있다. 미국에서 설치되는 지열히트펌프의 약 84%는 폐회로이고, 나머지 16%가 개방회로 히트펌프이다. 그리고 폐회로 히트펌프의 지중 열교환기는 55%가 수직형이고, 나머지 45%는 수평형이다(그림 1 참조).

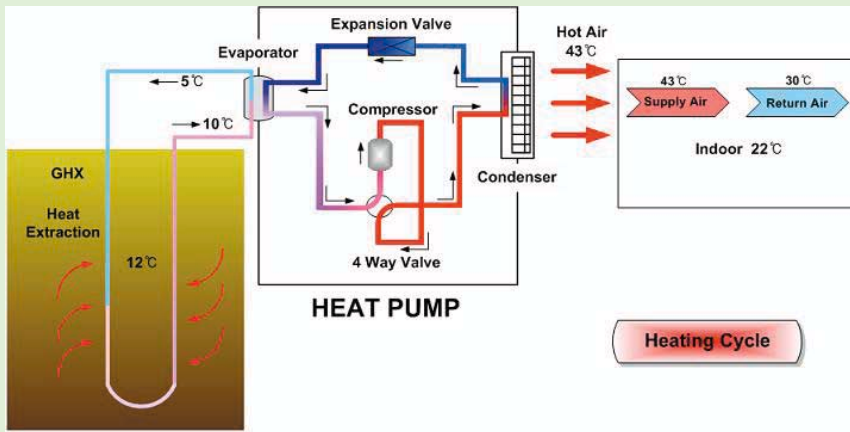
지열히트펌프 시스템과 관련된 기술은 크게 4가지로 나눌 수 있다. 첫번째는 압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브, 사방밸브, 냉매 등으로 구성된 히트펌프 사이클이고, 두 번째는 지중 열교환기 설계기술, 세 번째는 천공으로 인한 지하수 관련 기술이며, 마지막으로는 지중 열교환기 주위의 토양 온도 변화로 인한 생물학적 교란 관련 기술이다.

하거나 150°C 이상의 수증기를 이용하여 지열 발전에 활용하고 있다.

미국과 같은 에너지 강국에서 1940년대부터 꾸준히 개발하여온 지열에 대한 연구는 이렇다할 부존 에너지가 없는 우리에게 시사하는 바가 크다. 전체 소요 에너지의 97% 이상을 수입하는 우리나라로서는 에너지 절약과 함께 미개발된 에너지를 개발하여 유용한 에너지로 전환하



〈그림 2〉 냉방 사이클 구성도



〈그림 3〉 난방 사이클 구성도

지중 열교환기 통해 지열로 사계절 냉·난방

지열히트펌프는 다른 공조 시스템과 다르게 지열을 열원으로 사용하고 있다. 많은 열원 설비의 입력 에너지는 화석연료, 석유, 천연가스, 전기 등 소비자가 부담하여야 하는 유료의 에너지를 이용하지만, 지열히트펌프에서 사용하는 입력 에너지의 많은 부분은 말 그대로 지열이며, 이 지열은 소비자가 결코 부담하지 않아도 되는 무한의 지하자원이다. 지열 히트펌프 시스템의 냉난방 원리를 이해하려면 시스템의 작업유체 온도변화를 살펴보아야 한다.

먼저 냉방 사이클을 살펴보면, 히트 펌

프는 하나의 패키지 유닛으로 되어 있고 내부는 압축기, 열교환기, 4방 밸브, 팽창 밸브 등으로 구성되어 있다. 〈그림 2〉에서 보면, 압축기로부터 나온 뜨거운 증기 냉매는 4방 밸브를 통해서 열교환기(응축기)로 들어가 뜨거운 증기의 열을 부동액 측으로 버리게 된다.

열교환기에서 부동액이 흡수한 열은 지중에 열을 방출하게 된다. 열교환기를 지나면서 뜨거운 증기의 냉매는 응축하여 액 냉매가 되며 이것이 팽창밸브를 지나면서 차가운 액 냉매가 된다. 이 차가운 저압의 냉매는 팬코일유닛(혹은 증발기)로 들어가 공기와 열 교환이 되면서 리턴

되는 미지근한 공기를 시원하게 만들며 다시 액 냉매는 증기로 상변화를 하게 된다. 증기가 된 냉매는 4방 밸브를 지나면서 압축기로 들어가 다시 뜨거운 고압증기 냉매가 되는 것이다. 이 냉방 사이클에서는 팬코일 유닛은 증발기, 열교환기는 응축기의 역할을 하게 된다.

열교환기를 지나는 뜨거운 증기 냉매는 지중 열교환기의 작동 유체에 열을 방출하고 자신은 액 냉매로 상변화를 한다. 이때 전형적인 시스템에서의 EWT (Entering Water Temperature)는 약 20°C 정도이고 냉매로부터 열을 받게 되어 약 5~6°C 정도의 온도가 상승하게 된다. 이렇게 상승된 부동액의 온도는 긴 지열 PE 파이프를 순환하면서 지중의 12°C 정도의 온화한 온도와 열 교환이 되어 다시 적절한 EWT로 되돌아오면서 시스템은 정상 상태를 이루게 된다. 부동액이 방출한 열량은 모두 지하에 버려지게 되며, 이러한 버려지는 열량은 지하의 열용량을 감안하여 정확히 계산되어 지열루프의 크기가 결정된다. 지열 루프는 정확히 하나의 열교환기의 역할을 하는 것이며, 파이프의 성능, 땅의 열용량, 부동액의 유량 등에 따라 열교환기의 성능이 결정된다.

다음은 난방 사이클이다. 〈그림 3〉에서와 같이 압축기로부터 나온 뜨거운 증기 냉매는 4방 밸브를 통해서 팬코일 유닛(혹은 응축기)으로 들어가 뜨거운 증기의 열을 순환 공기측으로 버리게 된다. 리턴되는 공기는 팬코일 유닛을 통해서 실내 내부를 난방하기 위한 열량을 받는다. 팬코일유닛(응축기)을 지난 뜨거운 증기 냉매는 공기측에 열량을 방출하고 자신은 액 냉매가 되며 팽창밸브를 지나면서 차가운 저압의 액 냉매가 되어 열교환기(증

〈표 1〉 세계의 지열원 열펌프 설치 현황

(단위: Unit)

| 외국(2004년 까지) | | 한국 | |
|--------------|-----------|-------|-----|
| 오스트리아 | 23,000 | 2000년 | 1 |
| 캐나다 | 36,000 | 2001년 | 7 |
| 독일 | 46,400 | 2002년 | 4 |
| 스웨덴 | 230,000 | 2003년 | 17 |
| 스위스 | 30,000 | 2004년 | 35 |
| 미국 | 600,000 | 2005년 | 55 |
| 전세계 | 1,100,000 | 합계 | 119 |

발기)로 흘러 들어가게 된다. 열교환기(증발기)의 열로부터 열량을 받은 액 냉매는 증기로 상변화를 하고 4방 밸브를 통해 압축기에 의해서 다시 뜨거운 증기 냉매가 되는 것이다. 이 난방 사이클에서는 난방 사이클과는 다르게 팬코일 유닛은 응축기, 열교환기는 증발기의 역할을 하게 되는 것이다. 두 개의 서로 다른 열교환기는 난방과 난방 모드 시 서로 다른 역할을 하게 된다.

열교환기를 지나는 차가운 액 냉매는 지중 열교환기의 작동유체로부터 열을 흡수하고 자신은 증기 냉매로 상변화를 하게 된다. 이 때 열교환기는 난방사이클 중에서 증발기의 역할을 하게 되며 부동액의 EWT는 전형적으로 약 10℃ 정도가 된다. 경우에 따라서는 EWT가 영하 가까이 내려가는 경우도 있지만 부동액의 어는점은 약 -7~-12℃이므로 충분하다.

약 10℃ 정도의 부동액은 열교환기를 나갈 때 온도가 약 5℃가 되며 보통 온도 강하는 5~6℃ 정도다. 이렇게 강하된 온도의 부동액은 지열 PE파이프를 따라서 순환하면서 지중의 온화한 12℃ 정도의 온도와 열 교환을 하여 다시 적절한 EWT로 되돌아오면서 시스템은 정상상태에 이르게 된다. 부동액이 지중으로부터 흡수

한 열량은 지하의 열용량을 감안하여 정확히 산출되며 또 이를 근거로 지열루프의 크기를 결정하게 되는 것이다.

부품 규격화 · 성능시험 표준화 시급

지중 열교환기를 제외하면 히트펌프 사이클의 구성요소는 공기열원 사이클과 동일하다. 그러나 사용 온도 조건은 기존에 사용하던 물-물 또는 물-공기 히트펌프와는 많은 차이가 있다. 따라서 성능 시험 기준도 기존의 공기 열원 방식과 다르게 설정해야 한다. 기존에 적용되어온 물-공기 히트펌프의 시험규격에는 ARI320, ARI325, ARI330이 있으며 이는 각각 수열원, 지하수열원, 지열원에 대한 시험 규격이 있다. 현재에는 시험조건이 ISO 13256-1(물-공기)과 ISO 13256-2(물-물)로 통합 개정되어 적용되고 있다. ARI 330의 난방시 EWT는 -3.9~37.7℃로 되어 있으나 북미나 유럽의 추운 지역에서도 원활한 사용을 위해서 EWT 온도 범위를 -5℃까지 내리는 방안이 제기되고 있다.

또한 시험조건이 실제 지열 조건이 아닌 일반 수열원 히트 펌프를 지열히트펌프에 적용해 많은 문제점이 발생했다. 따라서 냉매유량과 적용온도가 변화하면서,

열교환기의 적용범위와 성능을 고려하는 것이 필수적이다. 온도조건이 다르게 설계된 히트 펌프를 적용하는 데는 세심한 기술적 검토가 필요하다. 히트 펌프는 적용분야에 따라 온도조건이 크게 달라지는데, 이는 에어컨과는 크게 다르다. 특히 지열히트펌프에 적합한 수열원의 경우는 온도 조건이 크게 달라지는데, 사용조건에서 해당하는 시험 기준을 제정하고 이에 맞는 제품을 사용해야 한다.

지열히트펌프는 지하수를 활용하는 관계로 지하수 관련법을 검토해야 한다. 현재 국내에서 제정되어 있는 지하수 관련법은 지하에서 직접 지하수를 양정하여 사용하는 경우에만 국한되어 있다. 한편 지열히트펌프의 경우 지중 열교환기의 형식이 폐회로, 개방회로 등의 여러 방식이 있으며, 이중 특히 개방회로의 경우 지하수 관련 규정을 따라야 한다. 또한 폐회로의 경우에는 지하 부존 열량의 취득에 대한 규정의 제정이 시급하다. 이러한 지중열 문제는 지하수 영향 조사법의 규정을 따라야 할 것이나 현재 조사 항목에 지중열원에 대한 항목은 빠져있는 상태이다.

지열이용 히트펌프는 기존의 공기열원 히트펌프에 비해 초기 투자비가 많이 소요되는 단점이 있다. 그 동안 지열 관련 분야의 연구에서 가장 중요한 부분의 하나인 초기 투자비의 과다에 대해 많은 분석이 진행되어 왔다. 운전비용 측면, LCC(Life Cycle Cost), 투자 회수 기간 등 다양한 방법으로 지열히트펌프의 경제성을 검토하였으며, 나름대로 경쟁력을 갖는 것으로 보고되고 있다. 그런데 이러한 검토에서 간과되고 있는 가장 중요한 문제는 멀지않은 장래에 필연적으로 지열



화산의 지열 분출

을 이용할 수밖에 없다는 사실이다. 일반 화석연료의 고갈과 함께 그 비용은 폭발적으로 증가할 것이며 이에 맞추어 지열

부분의 원가는 상당 부분 경쟁력을 갖게 될 것으로 보인다.

한편 지열히트펌프 설비 자체의 원가를

줄이기 위한 방법으로 부품 표준화를 위한 기술 기준 구축이 매우 시급한 실정이다.

최근 지열에 대한 관심이 증대되면서 관련 업체가 수십개로 늘어나고, 이들 업체가 각각의 기준과 방식으로 히트 펌프를 설치하다 보니 각 업체간의 부품 호환성은 물론 시스템 성능 시험의 객관적 비교도 어렵게 되어 있다. 또한 지열 히트 펌프 관련 부품의 수입도 제각각 진행되고 있어 가격이나 성능면에서 불리한 경우가 많이 발생하고 있다. 그러므로 지열 히트 펌프에 필요한 부품의 규격화, 성능 시험의 표준화 등이 이루어지면 설비 원가의 절감은 물론 시스템의 성능 신뢰성에 많은 도움이 될 것이다.

지열히트펌프의 에너지 절감 효과가 매우 크다는 사실은 이미 많은 자료에서 밝혔졌다. 예로서 임효재(2004, 한국에너지공학회 제13권 제4호)의 연구 결과에 따르면, 100평 규모의 사무실을 대상으로 하여 기존 시스템(에어컨과 보일러)과 지열원 냉난방 시스템의 경제성을 비교, 평가한 결과 초기투자비는 기존시스템이 지열원 시스템보다 20% 수준으로 적게 들지만, 에너지 비용은 기존 시스템이 20년간 총 3억231만2천 원, 지열원 시스템이 4천41만2천 원을 나타냈다. 총운영비 중 기존시스템은 93%를 에너지 비용으로 소모하는 데 반하여 지열원 시스템은 불과 38% 수준에 불과함을 알 수 있다. 또한 지열원 시스템은 초기투자비와 에너지비용을 합한 총비용에서 기존 시스템 대비 32% 수준으로 나타났다. 이러한 경제성 분석결과를 보면 한국의 경우 투자회수기간이 약 2~4년 정도로 매우 짧으며 향후 국제 유가의 변동에 따라 이 기간은 더욱 단축될 것으로 예상된다.

에너지 절감 효과 뛰어나 폭발적인 수요 기대

공공기관 의무화 법령이 제정된 2004년 이후로 지열 설비 업체가 수십개에 이르는 등 국내의 지열분야는 급속한 발전을 거듭하고 있다. 특히 에너지관리공단 지원하에 공공기관의무화사업(50건), 지역에너지사업(12건), 보급사업(40건), 실증연구사업(4건) 등 다양한 프로그램이 가동되고 있으며, 많은 기업과 연구기관 그리고 학계가 서로 협력하여 지열분야 활성화에 최선을 다하고 있다.

현재 국내에서 수행중이거나 완료된 지열 관련 연구로는, 한국기계연구원이 주관하는 지열 열펌프 시스템 개발로 주로 압축기를 중심으로 한 부품 국산화 관련 연구와 한국에너지연구원과 충북대가 공동으로 수행완료한 지중 열교환기의 열전도도 시험장치 개발과제가 있다. 에너지관리공단이 주관하고 한국 Trane, 코오롱, 한국지열 등 기업이 주축이 된 실증시험이 한국건설기술연구원과 함께 공동으로 수행되었고, 지오테크의 복수정과 TEN의 단수정 등 개방형에 대한 실증연구도 진행중이다. 지열 이용 활성화에 대비하여 열펌프 및 지중열교환기에 대한 성능시험 및 부품의 기술기준 및 표준화 작업이 한국건설기술연구원과 호서대학교에 의해 공동으로 수행중이다. 또한 에너지관리공단 산하에 지열연구회가 구성되어 있어 기업체, 연구소, 학계가 긴밀히 협조하여 정보교류와 기술개발을 위해 활동하고 있다.

한편 미국을 중심으로 연구되어온 지열 이용 히트펌프 시스템은 캐나다, 스위스, 스웨덴, 덴마크, 독일, 프랑스 등 선진국을 중심으로 매우 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 미국의 경우 IGSHPA,

GHPC 등의 단체를 중심으로 한 연구 부분과, ‘플로리다 히트펌프’, ‘워터 퍼니스’, ‘클라이밋 마스터’, ‘트레인’ 등의 기업을 중심으로 한 시공 부분이 상호 보완 속에 많은 발전을 거듭하고 있다. 그리고 정부 기관인 환경보호청에서는 지열 히트펌프의 장려 및 객관적 평가를 위해 에너지 스타 등급제를 시행하고 있다. 이처럼 우리보다 에너지 사정이 월등히 좋은 선진국에서도 지열 이용 히트펌프의 보급이 활발함을 알 수 있다. 따라서 부족한 자원이 전무하고 여름철과 겨울철의 기간이 거의 비슷한 우리나라의 경우 이미 에너지 절감 효과가 가장 좋은 것으로 밝혀진 지열 히트 펌프 시스템에 보다 많은 관심을 기울여야 할 것이다.

지열히트펌프는 공간적 여유가 있으면서 냉난방 부하의 밀도가 작은 곳에서 유용하게 설치될 수 있다. 특히 학교, 군 시설, 공공복지 시설 및 산업 시설 등에 우선적으로 적용될 수 있다. 그리고 향후 생활수준의 향상과 함께 주거시설에도 대부분 냉난방 시설을 설치하게 될 것이며, 이 경우 초기 투자비 문제만 해결되면 그 수요가 폭발적으로 증가할 것이다.

미국을 중심으로 한 지열시장은 약 30년 전부터 활성화되어 왔으며 최근에는 매년 약 10% 이상의 성장률을 보이며 연간 10만대 이상 시공되고 있다. 미국이외 지역으로는 특히 북유럽에서 많은 관심을 보이고 있다. <표 1>은 전세계에서 시공된 지열원 열펌프의 설치자료이다. 국내에서는 2000년도부터 보급이 시작되어 점차적으로 그 수가 늘고 있는 실정이나, 세계적으로 비추어볼 때 아직 미미하다. 아시아에서는 중국과 일본에서 연구 및 시공이 활발하며 그 이외 지역은 아직 시

작 단계이다. 따라서 국내의 지열 기술은 아직 국제적 경쟁력은 미약하나 향후 개발도상국 등으로의 기술 이전은 가능할 것이다.

최근의 에너지 위기 및 환경보호 측면에서 지열을 이용한 냉난방 시스템에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다. 앞서도 살펴본 바와 같이 기존 시스템 대비 에너지 이용 효율이 20~70%나 더 높고 프레온가스나 이산화탄소의 발생이 전혀 없는 환경친화적인 지열에 대한 연구와 실용화는 갈수록 증대될 것으로 예상된다. 정부도 에너지관리공단을 중심으로 관련 기관에 많은 시설비와 연구비를 투입하고 있으며, 시공 기업도 급격히 증가하고 있다. 또한 각급 학교나 공공시설 등에서 지열 설비에 대한 문의 및 투자 상담이 활발하며 최근 에너지전시회에서 보여준 지열에 대한 관심은 향후 이 분야에 대한 활성화를 기대할 수 있을 것이다.

그리고 제도적인 측면에서 지열원 열펌프 시스템 설치자금 및 세제 지원제도의 확립을 위해 일정 자격규정을 통과한 업체에 한해서 용자가 아닌 일정 공사금액을 지원하는 제도의 도입이 필요하다. 이와 동시에 지열원 열펌프 시스템을 설치하는 가정을 위해 가정용 전기 누진제의 재검토가 요구된다. 즉, 지열원 열펌프 시스템의 평균 가동시간 및 용량을 정확하게 산정하여 지열원 시스템을 운전하는데 소요되는 전기세는 누진율에서 제외하는 방안이 반드시 필요하다. ㉓



글쓴이는 미국 IGSHPA 공인지열설계사(CGD), 에너지관리공단 지열분야 감리 및 심의위원을 겸임하고 있다.