

단독주택용 지열 냉난방 시스템의 개발 필요성

지열 냉난방 시스템 적용 분야를 민간부문까지 확대하기 위한 방안으로 단독주택용 지열 시스템의 보급 활성화가 필요하며, 보급에 앞서 선결해야 하는 제반 문제들을 소개하고자 한다.

손 병 후

한국건설기술연구원 화재및설비연구센터(byonghu@kict.re.kr)

외국에서는 이미 오래전부터 지열에너지가 건물 냉난방 에너지원으로서 매우 뛰어난 활용가치가 있다는 점을 인식하고, 일반 주거용 건물과 상업용 건물에 다양한 종류의 지열 냉난방 시스템을 설치하고 있다. 반면 국내에서는 도입 초창기에 대해 열원에 대한 관심 부족, 기존 냉난방 설비에 비해 상대적으로 큰 초기 투자비(시공비용), 지중열교환기 시공 기술 부재, 각종 기준 부재 등 다양한 원인으로 인해 지열 냉난방 시스템이 적극적으로 보급되는 데 어려움을 겪은 것도 사실이다. 하지만 정부에서 설치자금 지원제도 등을 정비하고, ‘공공보급사업’이나 ‘일반보급사업’ 그리고 ‘설치의무화사업’ 등을 지속적으로 추진하여 설치 사례가 해마다 증가하고 있다. 더불어 정부와 산·학·연이 연계하여 보급 활성화와 기술개발에 많은 노력을 기울이면서 관련 업체와 기술 인력도 꾸준히 증가하고 있는 추세다.

현재 국내에서 지열 냉난방 시스템은 공공기관 신축건물이나 상업용 건물, 복지시설, 학교 등 중·대형 건물에 주로 설치되고 있다. 이는 시스템의 저렴한 운영비, 환경친화성, 건물 설계와의 적합성 등 지열에너지의 장점과 시장의 요구가 일치하기 때문이다. 하지만 많은 장점이 있는 지열 냉난방 시스템이 단독주택을 포함한 주거용 건물에 보급되지 못하고 있는 것도 우리 현실이다. 이는 기술에 대한 일반인의 신뢰도 부족·시공 부실·초기 시공비용 과다 등 지열 시스템과 관련된 의구심이나 인식 부족 등과 함께 무엇보다 주택용 전기에 대한 누진세 적용이

가장 큰 걸림돌이 되고 있기 때문이다.

일반적으로 신재생에너지를 이용하는 시스템은 기존 설비에 비해 초기 투자비가 많이 소요되는 단점이 있다. 이러한 특성은 단독주택용 지열 냉난방 시스템에서도 유사하게 나타난다. 이는 초기 가격 경쟁력을 약화시켜 보급 활성화에 걸림돌로 작용한다. 하지만 에너지 이용 효율과 시스템 성능 면에서 기존 설비보다 우수하기 때문에, 전체 생애주기(life cycle) 동안 발생하는 경제적 이익은 보일러나 에어컨과 같은 기존 냉난방 설비보다 본 시스템에서 더욱 크게 나타난다. 물론 이를 위해서는 정확한 설계와 시공이 선행되어야 한다.

우리보다 에너지 사정이 좋은 미국이나 유럽 각국에서 단독주택용 지열 냉난방 시스템과 관련된 요소 기술과 초기 투자비 절감을 위한 기술 개발에 많은 투자를 하고 있다는 점은 시사하는 바가 크다. 굳이 최근의 고유가 정세가 아니더라도, 대표적 화석 에너지인 원유의 수입가격은 앞으로도 지속적으로 상승할 것으로 예상된다. 또한 기후변화협약 시행에 따라 화석 에너지의 사용 양상은 과거와는 크게 다를 것이다. 이러한 상황을 볼 때, 단독주택용 지열 냉난방 시스템의 보급을 적극적으로 추진할 필요성은 충분히 있다고 하겠다.

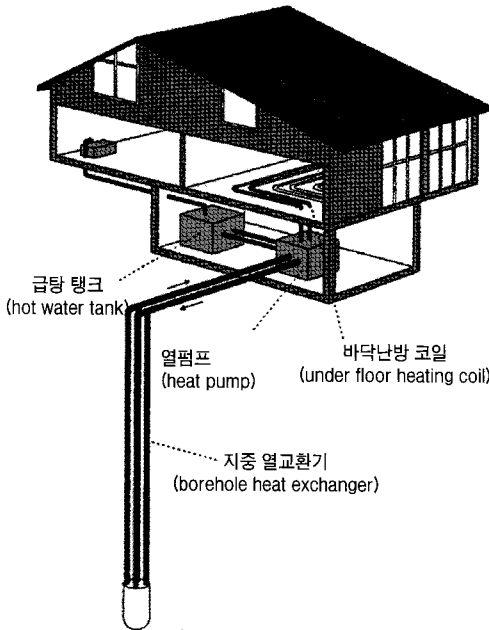
국내 지열 및 수자원, 기상자원, 연간 냉난방 부하 등에 대한 데이터는 단독주택용 시스템의 최적 설계와 성능 예측에 반드시 필요한 정보지만, 현재까지 손쉽게 이용할 수 있는 표준 데이터베이스는 거의



없는 실정이다. 이러한 현실은 최초 설계단계에서 시스템의 용량을 과다하게 설계하여 초기 투자비를 증가시킨다. 단독주택에 적용될 수 있는 소형·소용량 열펌프인 경우, 중·대형 용량의 열펌프보다 상대적으로 단기간에 개발할 수 있는 역량을 갖추었다고 판단된다. 따라서 대부분 수입에 의존하고 있는 소형·소용량 열펌프를 국제(ISO) 기준에 맞도록 개발하는 것도 시급한 문제다. 아울러 현재 열펌프의 냉매로 R-22가 주로 사용되고 있는데, 지구온난화문제 등으로 인해 대체냉매로 점차 교체되고 있는 실정을 감안하면 우리도 이에 대한 대책을 마련해야 한다. 이에 단독주택용 지열 냉난방 시스템의 기술 개발 필요성과 국내의 현황 등을 개괄적으로 서술하였다.

단독주택용 지열 냉난방 시스템의 기술적 위치

그림 1은 단독주택용 지열 냉난방 시스템의 전형적인 구성을 나타낸 것이다. 이 시스템의 핵심은 열펌프와 지중열교환기다. 이 점을 감안하면, 대부분



[그림 1] 전형적인 단독주택용 지열 냉난방 시스템

의 국내 업체가 열펌프를 비롯하여 지중열교환기 시공에 필요한 각종 자재 등을 수입하고 있는 현실은 개선의 여지가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 요소 기기 및 자재 등의 국산화와 함께 이들 기기에 대한 성능평가 기준을 확립해야 한다. 아울러, 우리의 기후나 지중 조건에 부합하는 표준 시공기준을 반드시 구축해야 한다.

단독주택용 지열 냉난방 시스템은 냉난방 겸용 시스템이기 때문에 기존 설비나 다른 신재생에너지 이용 시설에 비해 우수한 경제성을 갖는다. 다양한 종류의 지열 시스템 중, 현재 국내·외에서 주를 이루고 있는 시스템은 지중 토양(ground)의 에너지를 활용하는 토양 열원 열펌프 시스템(ground-coupled heat pump systems)이다. 이 시스템은 보어홀 천공(borehole drilling), 보어홀 그라우팅(grouting), 열펌프 설치, 환 코일 유닛(FCU)이나 바닥난방 코일 등 사용자 측 설비 시공 등 여러 단계를 거쳐 시공된다(표 1). 열펌프 작동유체인 냉매의 증발과 응축에 필요한 에너지를 공급하기 위해, 보어홀에 매설된 지중 열교환기(ground heat exchanger 또는 borehole heat exchanger)를 이용한다는 점이 이 시스템의 가장 큰 특징이다.

그림 2는 국내에 적용 가능한 시스템을 나타낸 것이다. 초기 설치비를 줄여 기존 냉난방 설비에 대한 가격 경쟁력을 향상시키고, 아울러 일반 사용자로부터 신뢰성을 확보하여 단독주택용 지열 냉난방 시스템을 널리 보급하기 위해서는 다음과 같은 사항들이 선결되어야 한다.

- 시스템 구성 요소의 국산화와 관련 기술 표준화
- ‘표준설계기준’에 따른 정확한 설계와 ‘표준시공기준’에 따른 정확한 시공
- 현장 성능측정과 검증을 통한 시스템의 정확한 냉난방 성능 분석
- 장기간의 모니터링을 통한 성능 분석과 경제성 분석
- 단독주택용 지열 냉난방 시스템에 대한 성능인증 제도 구축
- 주택용 전기 누진세 제도 개선 및 정부의 시공비 지원

표 2는 중대형 상업용 시스템과 주택용 시스템이 많이 보급되어 있는 미국과 유럽(스웨덴, 스위스, 프

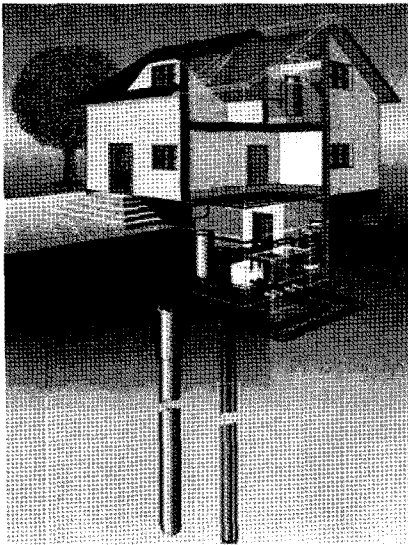
<표 1> 단독주택용 지열 냉난방 시스템의 수직형 지중열교환기 시공 절차

시공 절차	시공 내용	주의 사항
1. 보어홀 천공 	천공 장비 이용, 설계 깊이까지 보어홀 천공	<ul style="list-style-type: none"> - 천공 시, 보어홀 횡 또는 붕괴 방지에 주의를 기울여야 한다. - 천공용 슬러리(니수)가 주변 지중환경에 영향을 미치는 일이 없도록 주의를 기울여야 한다. - 설계 깊이까지 완벽하게 시공되어야 하며, 안전사고 예방에 만전을 기해야 한다.
2. U자 관 삽입 	고밀도 폴리에틸렌 U자 관과 트레미 파이프를 삽입	<ul style="list-style-type: none"> - U자 관을 보어홀에 삽입하기 전에 연결부위 검사 및 압력 테스트 등을 충분히 시행한다. - U자 관과 트레미 파이프를 함께 묶어 보어홀 안으로 삽입해야 한다. - 아울러, U자 관 길이 또는 시공 깊이를 확인하여 보어홀이 설계대로 천공되었는지 확인한다.
3. 보어홀 그라우팅 	전용 이송펌프와 트레미 파이프를 이용하여 그라우팅 재료로 뒤채움	<ul style="list-style-type: none"> - 이송펌프와 트레미 파이프를 이용하여 수직 보어홀 최하단부터 그라우팅 재료가 채우면서 올라오도록 한다. - 그라우팅 재료로 국내외에서 인증된 제품을 사용해야 한다. - 시공자는 재료 자체의 열전도도 값을 확보하고 있어야 하며, 발주자 또는 감리자가 요구 시 제시해야 한다.
4. 파이프 연결 	지중 루프 열교환기 파이프를 기계실 내 열펌프로 연결	<ul style="list-style-type: none"> - 설계에 맞추어 수평 트렌치를 굴토하여야 한다. - 트렌치 내부에 날카로운 돌 또는 이물질이 없도록 깨끗한 상태를 유지하여 수평 트렌치 파이프를 기계실로 인입한다. - 주의를 기울이면서 U자 관 끝단-상부 헤더-기계실 내 열펌프를 연결한다.
5. 트렌치 되메움/다짐 	수평 트렌치 부분 되메움 및 다짐	<ul style="list-style-type: none"> - 트렌치 내부에 날카로운 돌 또는 이물질이 없도록 깨끗한 상태를 유지하여 트렌치를 되메운다. - 시공기준에 의거하여 트렌치를 흙으로 채우고 다진다. - 트렌치 되메움에 앞서, 수평 트렌치 파이프가 매설되어 있다는 표식을 해두어야 한다.

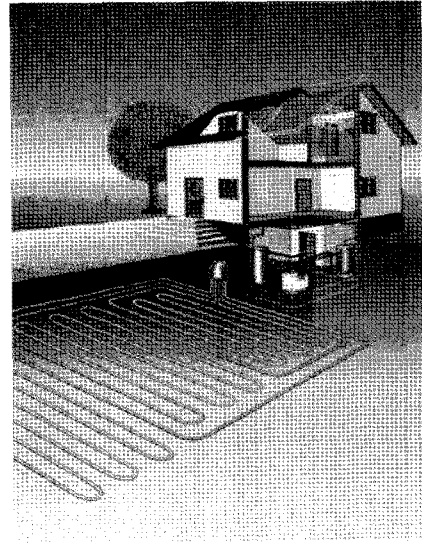


<표 2> 선진국 대비 국내 해당 분야의 기술 수준

분야	기술 항목	선진국 대비 기술 수준				
		부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
소용량·소형 열펌프 제작	<ul style="list-style-type: none"> 패키지 열펌프 설계 및 제작 기술 대체 냉매 활용 기술 		√			
지중열교환기 시공 기술	<ul style="list-style-type: none"> 천공 및 그라우팅 기술 순환 펌프 제어기술 		√			
실내 공조 설비	<ul style="list-style-type: none"> 냉방설비(FCU 등) 시공 및 제어기술 난방설비(바닥난방 등) 시공 및 제어기술 			√		
표준 설계 및 시공 기준	<ul style="list-style-type: none"> 표준 설계기준 표준 시공기준 	√				
시스템 최적 제어 기술	<ul style="list-style-type: none"> 건물 부하에 따른 시스템 제어기술 복합 시스템 설계 및 제어기술 	√				
시스템 성능측정 및 검증 기술	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 성능측정 및 검증 기술 시스템 유지관리 기술 		√			



a) 수직형 시스템



b) 수평형 시스템

[그림 2] 단독주택용 지열 냉난방 시스템의 종류

랑스, 독일 등)의 현 기술수준과 국내 기술수준을 정리한 것이다. 물론 표 2에 명시한 기술 외에도 다양한 기술이 단독주택용 지열원 시스템에 적용되지만, 본 시스템의 국내 보급 활성화를 위해 선결해야 하는 과제들을 선택하여 정리하였다. 표에서 보듯이 단독주택용 지열원 시스템의 핵심 기술로 소용량 열

펌프 설계와 제작기술, 지중열교환기 시공기술, 실내 공조설비 시공 및 제어기술, 표준화된 설계기준과 시공기준, 시스템 최적 제어기술, 시스템 성능측정과 검증 기술을 들 수 있다. 선진국에 비해 관련 기술수준이 동등하거나 다소 부족한 부분도 있지만 전체적으로 미흡한 수준이라고 할 수 있다.

앞서도 언급하였듯이 국내에서는 지열 냉난방 시스템의 핵심 기기인 열펌프를 주로 외국에서 수입하고 있는 실정이다. 수요가 있을 경우 일부 업체에서 자체 제작하고 있지만, 핵심 부품은 거의 외국제품이기 때문에 완전한 기술자립을 달성했다고는 볼 수 없다. 하지만 주거용 건물에 적용될 수 있는 소용량 열펌프인 경우, 중·대형 용량의 열펌프보다 상대적으로 단기간에 개발할 수 있는 역량을 갖추었다고 판단된다. 아울러 국제기준인 ISO 성능기준에 부합하는 소용량 열펌프를 소형의 패키지 유닛(package unit)으로 제작할 수 있는 기술을 확보하는 것도 중요하다. 여기에 대체냉매를 이용한 소용량·소형 지열원 열펌프의 개발도 동시에 진행되어야 할 것이다.

열펌프 유닛과는 달리 국내 지중열교환기 시공기술은 어느 정도 궤도에 올라왔다고 볼 수도 있다. 이는 국내 업체들이 대용량 시스템을 시공하면서 많은 경험을 쌓았으며, 보어홀 천공에 대한 인프라도 상당히 구축되었기 때문이다. 하지만 그라우팅 재료를 주로 외국에서 수입하고 있기 때문에 이에 대한 해결방안을 구축할 필요가 있다.

아울러 실증연구를 통해 주거용 시스템에 적합한 지중열교환기 표준모델을 구축할 필요가 있다. 중대형 지중열교환기인 경우, 지역마다 지반 특성과 기후가 다르고 또 건물마다 에너지 사용 양상이 다르기 때문에 표준모델을 개발한다는 것이 곤란할 수도 있다. 하지만 단독주택용 지열원 시스템에 적용되는 수직형 지중열교환기인 경우 하나의 열교환기(보어홀)가 건물부하를 감당할 수 있기 때문에 전국에 적용 가능한 표준모델을 개발할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 수평형과 우물형(groundwater type) 지중열교환기에 대한 설계와 시공기준도 미리 확립해야 한다.

기타 핵심기술에 대해 기술하면 다음과 같다. 실내 공조설비와 관련하여 각각의 설비인 FCU나 바닥난방 코일에 대한 설계와 시공기술은 비교적 선진국과 동등한 기술수준을 보인다. 하지만 이러한 요소기들이 단독주택용 지열원 시스템과 연계되었을 때 나타나는 성능변화나 제어기법에 대한 연구는 아직도 미흡한 수준이다. 앞서 언급한 열펌프와 같이, 단독주택용 지열 냉난방 시스템은 용량이 작기 때문에 표준 설계기준과 시공기준을 구축할 수 있을 것으로

판단된다. 마지막으로 단독주택용 시스템의 운전비와 유지관리비를 절감하고, 시스템이 최적 상태에서 운전될 수 있도록 제어하는 '시스템 제어기술'과 신뢰성 확보를 위한 '검증기술' 개발도 동시에 추진되어야 할 것이다.

국내외 현황

국내 현황

우리나라는 2000년경에 지열 열펌프 시스템을 처음 도입한 후, 초기 시장 진입단계에서 많은 시행착오를 겪었다. 하지만 2003년부터 체계적인 지원제도가 도입되고 관련 기술이 지속적으로 개발되면서 경쟁력을 바탕으로 한 시장 확보가 가능하게 되었다. 여기에 정부의 보급 정책에 힘입어, 2003년까지 약 30개소에 시스템이 설치되었다. 2004년에는 공공기관 설치의무화제도 등의 정책에 힘입어 약 24개소에 추가 설치되었으며, 2006년을 기준으로 총 15,071 RT 용량의 지열 시스템이 설치된 것으로 조사되었다.

국내에서는 대체 100% 이상 지열 시스템이 보급될 정도로 국내의 지열시장도 괄목할만한 성장을 하고 있다. 여기에는 정부(신·재생에너지센터)의 지원 제도가 큰 기여를 했으며, 이러한 제도에는 공공기관 설치의무화제도, 일반보급보조사업, 지방보급사업, 융자사업 등이 있다. 이 중에서 공공기관 설치의무화제도와 일반보급보조사업의 영향이 가장 컸다고 할 수 있다. 신·재생에너지센터의 지원 외에 교육부의 학교 냉난방기 설치사업 등이 지열 시스템이 보급되는 데 큰 역할을 하였다.

표 3은 지열 열펌프 시스템의 연도별 보급 현황을 정리한 것이다. 이 통계는 신·재생에너지센터의 각종 사업을 통해 보급된 용량을 집계한 것이며, 민간 시장의 보급 용량은 제외된 결과이기 때문에 수치는 다소 증가할 수 있다. 표에서 보듯이 매년 100% 이상 급격한 성장세를 보이고 있다.

표 4는 2006년 보급 용량을 건물 용도별로 구분하여 정리한 것이다. 표에서 보듯이 현재 국내에서 지열 시스템은 교육시설과 사회복지시설에 주로 시공되고 있다. 다음으로 공공시설이나 상업시설 그리고 산업시설에 설치되고 있으며, 가정용으로는 거의 실적이 없음을 볼 수 있다.

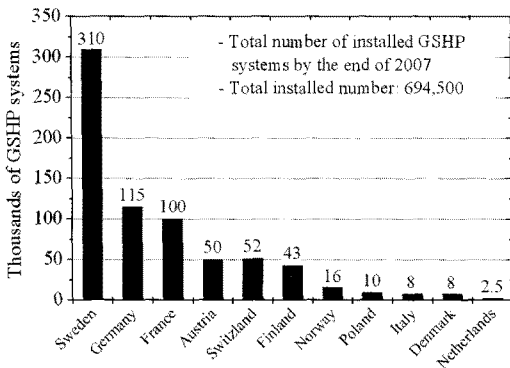


<표 3> 연도별 지열 냉난방 시스템 보급 용량(2001년~2006년) [출처: 신재생에너지센터]

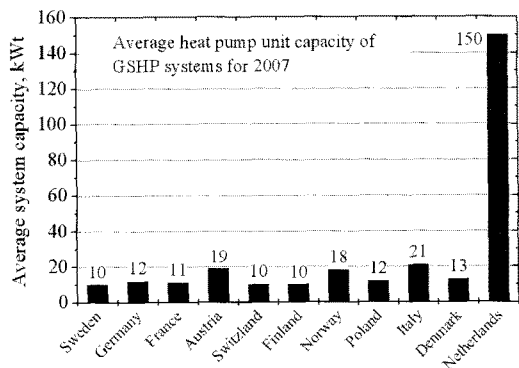
구분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	합계
보급용량(RT)	88	207	670	1,768	2,331	10,007	15,071

<표 4> 건물 용도별 보급 용량(2006년) [출처: 신재생에너지센터]

구분	가정용	공공시설	교육시설	사회복지시설	산업시설	상업시설	기타	합계
보급용량(RT)	0	3,249	2,502	1,150	230	525	2,351	10,007



[그림 3] 유럽 주요 국가별 지열 냉난방 시스템 누적 보급량(2007년 기준)



[그림 4] 유럽 주요 국가별 지열 열펌프의 평균 용량 (2007년 기준)

국외(유럽 주요 국가) 현황

짧은 지면을 통해 국외 현황을 모두 기술하는 것이 어렵기 때문에 본 절에서는 유럽의 주요 국가 현황만을 간략히 정리하였다.

유럽에서 아이슬란드, 스웨덴, 스위스, 노르웨이, 덴마크, 독일 등이 지열 에너지 직접 이용(지열 열펌프, 지역난방, 온실난방 등)을 주도하고 있다. 스웨덴, 스위스, 오스트리아, 독일, 핀란드 등에서는 지열 에너지 직접 이용 방식 중 지열 열펌프 시스템이 독점하고 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 열펌프 시스템을 활용하고 있다. 또한, 주로 서북부 유럽에 많이 보급되어 있어 연간 가동시간이 2000 ~ 6000 시간(가동률 0.23 ~ 0.68) 이른다. 특히, 독일에서는 상업용 건물에 50 ~ 1,000 kW급의 지열 열펌프 시스템을 활용할 정도로 활발하며, 이에 부응하여 성

능 평가도 활발하게 이루어지고 있다.

그림 3은 유럽 주요 8개국에 기타 국가의 통계가 포함된 국가별 누적 보급량을 나타낸 그래프다. 물론 이 통계 역시 유럽의 모든 국가가 포함된 것은 아니기 때문에, 기타 유럽 국가의 누적 보급량까지 포함시킬 경우, 약 72만 ~ 75만 대까지 증가할 것으로 전문가들은 보고 있다.

그림 4는 유럽 주요 8개국을 포함한 유럽의 일부 국가에서 2007년까지 설치된 지열 열펌프의 평균 용량을 나타낸 것이다. 이는 누적 용량을 누적 보급량으로 나눈 값이다. 네덜란드를 제외한 거의 모든 유럽 국가들은 소형·소용량의 지열 열펌프를 주로 보급하고 있음을 확인할 수 있다.

결 언

지열 냉난방 시스템은 외기의 급격한 변화에도 영

향을 받지 않고 일정하게 온도를 유지하는 지열을 활용하기 때문에 효율이 높은 에너지 절약형 시스템이다. 여름과 겨울이 확연한 우리의 기후조건에서 활용 가능성이 매우 우수한 시스템이다. 이미 미국이나 유럽의 일부 선진국에서는 건물 냉난방 시스템으로 지열 냉난방 시스템을 적극적으로 이용하고 있으며, 이와 더불어 공공용·상업용·산업용 등 그 적용 분야를 확대하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 국내 신재생에너지 시장에서 지열이 차지하는 비중은 타 분야에 비해 상대적으로 작지만 근래 들어 지열 시장의 성장세가 뚜렷하게 나타나고 있다. 아울러 건축에 대한 접목과 응용을 다양하게 시도할 수 있는 분야이기 때문에 추후 발전 가능성이 큰 분야라고 할 수 있다.

지금까지 공공부문에 주로 적용되던 지열 냉난방

시스템을 민간부문까지 확대할 필요가 있다. 아울러 정부에서 추진하고자 하는 그린홈 100만호 사업이 성공적으로 수행되기 위해서는 지열 냉난방 시스템의 역할도 매우 크다고 본다. 지열 냉난방 시스템은 저밀도 자연 에너지인 지열에너지를 회수하여 건물 냉난방에 활용하는 기술이다. 단독주택을 포함한 주거용 건물의 연간 에너지 사용량 중 대부분이 냉난방과 급탕에 드는 비용임을 감안하면, 지열 냉난방 시스템의 민간부문으로의 확대 당위성은 충분하다고 하겠다. 이러한 보급 확대는 향후 국가 에너지 수요 변화에 대한 능동적 대처이며, 아울러 정부가 에너지 수급 정책을 효과적으로 달성하는 데 기여할 것이다. 이를 위해 관련 정책과 제도를 개선하고 산·학·연이 연계하여 연구 개발을 지속적으로 추진해야 할 것이다. ●