

지열 냉난방 · 발전 시스템의 개요 및 현황

지열에너지의 대표적 이용 시스템인 지열원 냉난방 시스템과 발전시스템에 관한 기본적인 지식을 제공하고 자 한다.

강 신 형

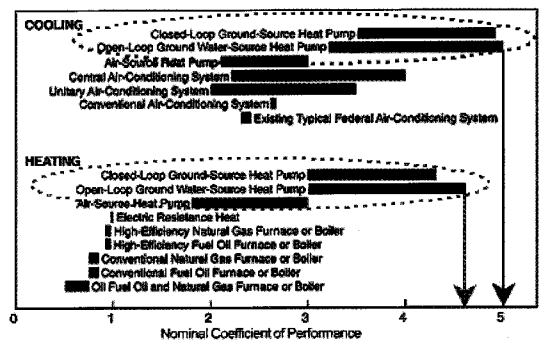
건양대학교 기계공학과(shkang@konyang.ac.kr)

최근 고유가, 화석연료 고갈, 온난화물질 감소, 저탄소 녹색성장, 에너지 패러다임의 변화 등 에너지에 관련된 주제가 우리나라 뿐 만 아니라 세계적으로 화두의 중심에 서 있다. 이러한 국가적 관심분야의 공통점을 찾아보면 신재생에너지라고 하는 공통분모를 찾을 수 있다. 즉, 세계 각국에서는 화석에너지의 고갈과 지구환경보호에 대한 문제를 해결하는 주요한 방안인 신재생에너지에 기술개발과 보급에 혼신의 힘을 기울이고 있다. 우리나라에서도 세계의 에너지 패러다임의 변화와 발맞추어 신재생에너지 센터 및 에너지기술평가원을 통해 신재생에너지에 관련된 정책, 기술개발, 기술지원, 보급, 제도 등 신재생에너지의 활성화에 많은 노력을 경주하고 있다.

신재생에너지는 크게 전력생산, 열생산, 연료생산으로 분야를 나눌 수 있다. 이러한 신재생에너지원 중에서 냉방, 난방, 급탕에 관련된 분야는 지열시스템이 유일하다. 친환경적이고 지속가능한 에너지원으로서의 지열산업의 개발과 보급 뿐 만 아니라 고유가로 인한 서민 에너지에 대한 현실적인 대책으로 정부에서는 지열분야에 관심을 갖고 개발 및 보급에 주력을 하고 있다. 우리나라의 전력은 원자력에너지를 근간으로 하고 있고, 향후 원자력 발전설비에 대한 용량의 확대를 통해 화석연료에 대한 비중을 축소하는 방향으로 국가에너지 기본 계획을 설정하고 있다. 전력 생산에 대한 대책마련도 중요하지만 사 용에너지의 효율성을 증가시키는 것이 보다 큰 의미를 갖고 있다고 할 수 있다.

미국 환경보호청(Environment Protection Agency: EPA)은 현존하는 냉난방 기술 중에서 가장 에너지 효율적이고 환경 친화적이며, 비용 효과가 우수한 공기조화 시스템으로 지열 열펌프 시스템을 예로 들고 있다(그림 1). 이와 같이 높은 효율성과 경제성, 친환경성으로 인해 세계 각국에서는 지열에너지 시스템의 보급에 박차를 가하고 있다.

지열에너지 기술분야는 지중(토양, 지하수, 지표수 등)이 태양 복사 에너지나 지구 내부의 마그마 열에 의해 보유하고 있는 에너지인 지열에너지를 활용하여 에너지를 생산하는 분야이다. 지열에너지에 관련된 기술은 크게 지열 냉난방(冷煖房)과 지열 발전(發電)의 두 분야로 나눌 수 있다. 현재 우리나라에서 지열시스템이라 하면 주로 지열냉난방 분야를 칭하



[그림 1] 냉난방기기의 COP 비교(EPA)



고 있으나, 우리나라와 같이 고온의 열자원이 부족한 나라에서도 적용할 수 있는 유기랭킨사이클(ORC, organic Rankine cycle)을 이용한 지열발전기술이 세계적으로 개발 상용화되어 있으므로 우리나라에서도 지열발전에 대한 기술개발 및 보급이 시급히 요구된다.

지열발전(發電)기술은 시추공을 통하여 지하에 저류되어 있는 지열 유체를 분출시키거나 물을 주입시켜 고온의 물이나 수증기를 뽑아낸 후, 그 열에너지를 전기에너지로 변환하는 발전기술 분야로 지열 에너지의 활용면에서 보면 간접적으로 이용(indirect use)하는 것이다. 즉, 땅이 가지고 있는 에너지(열)를 사용자에게 공급하는 직접이용(direct use)과는 달리, 지열 에너지를 전기(전력)로 변환한 후 이 전기를 사용자에게 공급한다. 또한, 지열발전은 다시 직접방식과 간접방식으로 나뉜다.

직접방식은 터빈 구동에 필요한 중 고온의 열원을 땅 속에서 직접 추출한다. 수 백 m에서 수 km 깊이로 천공된 보어홀을 통해 지열수 또는 증기를 추출하여 전기를 생산하는 방식이다. 건증기(dry-steam) 지열발전 습증기 또는 플래시증기(wet-steam or flash-steam) 지열발전 바이너리(binary) 사이클 지열발전이 여기에 속한다. 건증기와 플래시증기 지열발전은 터빈을 구동하기 위해 고온 고압의 건증기 또는 습증기를 직접 이용한다. 바이너리 사이클 지열발전은 중 저온의 지열수(80 ~ 120℃)와 증발온도가 지열수보다 상대적으로 낮은 2차 유체를 주로 이용한다.

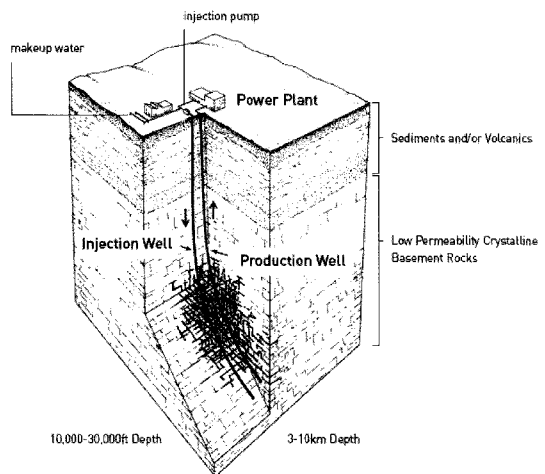
반면, 간접방식은 열원을 인위적으로 만들어 터빈을 구동한다. 지하 심층의 뜨거운 암반층(HDR, hot dry rock)까지 보어홀을 시추하고, 이 안으로 물을 주입하여 고온의 물이나 수증기를 만든 후, 이를 다시 지상의 터빈으로 공급하여 전기를 생산하는 방식이다. 이 기술은 EGS(enhanced geothermal systems) 지열발전으로도 불린다(그림 2). 제3세대 지열 활용기술로서, 현재 미국을 비롯한 유럽의 기술 선진국들이 연구개발에 많은 투자를 하는 분야이다. 지속적인 투자와 기술개발이 선행된다면 고온의 지열자원이 없는 국내에도 적용 가능한 기술이다.

지열 냉난방 기술은 땅 속의 중·저온 에너지(10 ~ 20℃)를 열펌프와 같은 에너지 이동기기의 열원

으로 공급하여 건물 냉난방, 각종 건조 산업, 도로 용설(snow melting), 온천, 양식업 및 시설영농, 지역난방 등에 활용하는 기술을 의미한다.

지열 냉난방설비 기술은 냉난방설비기술, 지하공천공기술, 그라우팅기술, 배관기술 등을 접목한 것이다. 이와 같은 세부기술에 대한 국내 기술력은 세계 어느 나라보다도 우수한 기술을 보유하고 있어 지열에 대한 기술적 신뢰성은 높다고 할 수 있다. 그러나 지열 냉난방설비는 지중열교환기를 설치하는 특수성으로 인해 고도의 설계 기술과 신뢰성 있는 시공을 반드시 필요로 한다. 지중열교환기는 한 번 시공되면 땅속에 묻혀 보수가 어렵다. 그렇다고 해서 지중열교환기부분의 보수가 필요한 것은 아니다. 초기 시공 시에 신뢰성 있게 공사가 이루어지면 더 이상 손을 댈 필요가 없는 것이 지열시스템의 장점 중에 하나이다. 그러나 부실시공이 되었을 경우 하자보수가 어려우므로 초기 성실시공이 지열시스템에서 매우 중요하다. 다시 말해 지열시스템의 기술적 안정성 및 신뢰성이 매우 높아 보급을 하는데 전혀 문제가 없지만, 지열설비에 대한 기술력이 있는 업체의 설계와 시공이 지열 냉난방시스템의 성능을 결정짓는 매우 중요한 요인이라 할 수 있다.

지열 냉난방시스템은 열펌프를 비롯한 각종 기계설비, 지상 시스템과 지중열교환기의 설계 그리고 이들 시스템의 시공 등 기계기술과 건설기술이 종합



[그림 2] 복수 보어홀을 이용한 EGS 기술의 개략도

적으로 복합된 기술 분야이다. 지열 냉난방시스템은 냉난방은 물론 급탕을 겸용할 수 있는 공조시스템이다(그림 3). 즉, 냉방 시에는 건물 내의 열을 지중으로 방출하고, 난방과 급탕 시에는 지중의 열을 실내와 온수에 공급함으로써 하나의 시스템으로 공간 냉난방과 온수·급탕을 동시에 구현할 수 있다. 냉방과 난방 모드에서 각각 냉열원(heat sink)과 온열원(heat source)의 역할을 하는 지중 온도는 연중 안정적이기 때문에 지열 열펌프시스템은 높은 효율과 우수한 성능을 갖는다.

기술상으로 시스템의 구성에서 큰 비중을 차지하고 있는 것은 지열 열펌프와 지중 열교환기로, 지열 열펌프는 설계와 제작 면에서 공기열원 열펌프와 기술적으로 유사한 부분이 많이 있으나, 지중의 열을 이용한다는 열원 자체의 차별성 때문에 지열 열펌프만의 기술 개발이 필요하다. 국내 도입 초창기, 지열 냉난방 시스템 설치에 사용된 열펌프는 주로 외국에서 수입한 제품이었다. 최근 들어 국내 업체에서 생산한 제품들을 적용하는 비율이 50% 이상 차지할 정도로 그 비율이 증가하고 있다. 국내에서 생산된 열펌프가 시장에서 적용되고 있다는 것은 정부가 지원한 연구개발 사업 및 열펌프 인증제도의 성과라고 할 수 있다.

지열 냉난방시스템은 관련 장비 산업의 비중도 크지만 천공 및 그라우팅 기술과 같은 건설기술과 연관성이 매우 크다. 국내에서 가장 많이 설치하는 수직 밀폐형 지중열교환기의 경우 약 150 ~ 200 m 정

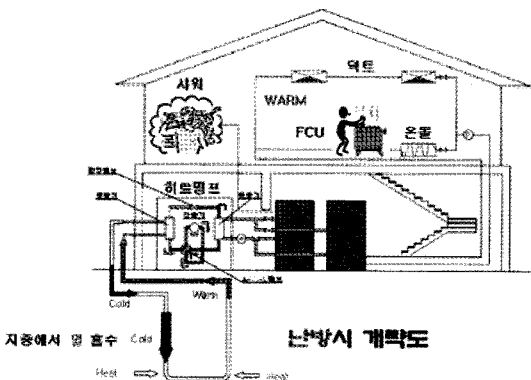
도 천공하고 이에 지중열교환기 파이프를 설치하게 된다. 천공부분이 초기 투자비에 많은 영향을 미치기 때문에 설치비를 줄일 수 있는 기술을 개발하고 개발된 기술을 현장에 적용하는 방향으로 연구개발 투자가 있어야 한다.

지열 냉난방시스템에 대한 국내의 연구개발 투자는 2002년부터 본격적으로 시작되었다. 지열 분야에 대한 국가의 지속적인 관심과 연구개발 투자는 국내 지열 산업이 태동하는 데 큰 기여를 했다. 현재 27개의 정부 주도 연구개발 과제 중, 20개 과제가 완료되었고 7개 과제가 진행 중이다. 연구개발은 국내 지중 자료 축적·관련 장비 국산화·설계 자립화·지상 설비와 지중열교환기 시공 기술력 향상 등으로 이어져 국내 지열분야의 기술 향상과 시장에서 신뢰성을 확보하는 데에 일조하였다.

지열 냉난방 분야에 대한 관심과 투자를 향후 중장기 R&D 계획에서 도출되는 핵심기술과 세부기술 개발에 지속적으로 투입한다면, 신재생에너지 보급 목표 달성과 나아가서는 국가 에너지 정책 실현에 지열 산업이 그 몫을 할 것으로 기대된다(표 1).

외국에서는 1970년대 1차 석유파동 이후, 지열 에너지가 건물 냉난방 에너지원으로서 매우 뛰어난 활용가치가 있다는 점을 인식하고, 일반 주거용 건물과 상업용 건물, 학교, 공공시설, 군부대 등에 다양한 종류의 시스템을 설치하고 있다. 우리보다 에너지 사정이 좋은 미국이나 유럽 각국에서 지열 에너지를 적극적으로 활용하기 위한 요소기술과 초기 투자비 절감을 위한 기술 개발에 많은 투자를 하고 있다는 점은 시사하는 바가 크다.

지열 열펌프시스템은 효율과 성능 면에서의 우수성과 아울러 대기 중에 노출되는 기기가 없고, 냉매를 적게 사용하며, 공간 활용 측면에서 탁월하고, 건축물과의 미적 조화성 등과 같은 지열시스템만이 갖는 장점으로 최근 들어 많은 관심을 받고 있다. 하지만, 시스템의 초기 투자비가 기존 설비보다 다소 큰 것이 단점이기도 하다. 이는 지열 시스템의 초기 가격 경쟁력을 약화시켜 보급 활성화에 걸림돌로 작용하고 있으나, 에너지 이용 효율과 시스템 성능 면에서 기존 설비보다 우수하기 때문에 전체 생애주기(life cycle) 동안 발생하는 경제적 이익은 기존 냉난방 설비보다 지열 시스템에서 더욱 크게 나타난다.



[그림 3] 난방 시 지열 냉난방시스템 개략도



<표 1> 지열 냉난방 시스템의 기술 분류

대분류	핵심 기술	세부 기술
지열 냉난방	열공급 시스템 개발 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 시스템 성능해석 및 설계 프로그램 기술 · 부하대응형 열펌프 시스템 기술 · 가정용 소형 열펌프 시스템 기술 · 하이브리드 시스템 기술 · 친환경 냉매 적용 기술 · 대온도차 이용 기술 · 캐스캐이드 열펌프 시스템 기술 · 고온수 출력 열펌프 시스템 기술 · 지중 온냉열 축열 기술 · 시스템 최적 운전제어 기술 · 시스템 내구성/신뢰성 향상 기술 · 저온구동 흡수식 냉동기 기술 · 스마트 열환경 제어 지열 시스템
	지중 열자원 개발 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 열물성 측정 기술 · 지열자원 분포 DB 구축 기술 · 국내 토양 및 암반에 대한 열물성 DB 구축 · 지중 열거동 시뮬레이션 기술 · 지중 특성별 지중열교환기 설계 기술 · 내식성 열교환기 제작 기술 · 지하수 이용 열교환 기술 · 지표수 이용 열교환 기술 · 천공 및 굴착 기술 · 지열자원 개발 시공장비 기술 · 에너지 말뚝 이용 시공기술 · 그라우팅 및 혼합재 기술 · 지중 계측 및 모니터링 기술 · 심부열원 타당성 분석 및 심부 굴착 기술
	인증 및 표준화 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 시스템 내구성 및 수명평가 도구 기술 개발 · 지열 시스템 성능평가 기술 · 지중열교환기 설치 표준화 및 성능평가 기술 · 우수부품 내구성 및 수명평가 도구 기술 개발 · 고성능 핵심 원천부품 인증 기술
	응용 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 건물 냉난방 연계 기술 · 양어 및 건조, 시설영농 지원 기술 · 지하수/지중 환경영향 평가 기술 · 용설 및 도로 연계화 기술(snow melting) · 터널 열 이용 기술 · 폐광 및 폐정 활용 기술 · 지역난방 및 열병합 연계 기술 · 대용량 열펌프(1000 RT 이상) 기술 · 지열 장거리 수송기술 개발

우리나라에 소개되어 있는 지열냉난방시스템으로 수직밀폐형, 지중수평형, 지하수형(SCW 등), 에너지파일형 등이 있다.

수직밀폐형의 수직형 지중열교환기는 지중(토양)에 수직으로 매설되며, 타 시스템에 비해 시공부지의 제약이 상대적으로 적다. 또한 건물 냉난방부하와 부지조건에 따라 다양한 깊이로 시공할 수 있다. 일반적인 수직형 지중열교환기는 깊이 100 ~ 200 m의 보어홀을 지면에서 천공한 후, 폴리에틸렌 U자관을 삽입하고, 이 U자관과 보어홀 사이의 빈 공간을 그라우팅 재료로 채워 완성된다. 수직밀폐형은 우리나라에서 가장 일반적으로 설치하고 있는 기술적 신뢰성이 높은 방식이다. 향후에도 수직밀폐형을 중심으로 지열냉난방시스템이 보급될 것으로 전망된다.

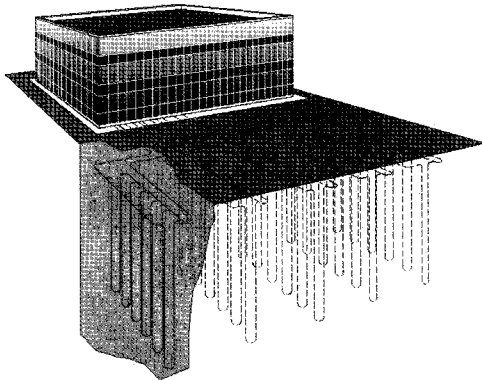
지중수평형은 수평형 지중열교환기를 채택한 지열 열펌프시스템으로 시공비용은 수직형에 비해 상대적으로 저렴하다. 대상 건물 주변에 수평형 지중열교환기 파이프를 매설할 수 있는 부지가 충분할 경우, 고려할 수 있는 시스템이다. 수평형 시스템의 지중열교환기 파이프는 지면에서 1.5 ~ 3 m 깊이로 굴착된 골(trench)에 매설된다. 이때 지중온도와 지중 열물성치 등은 계절이나 연간 강수량 등에 의해 영향을 받기 때문에 시스템 효율은 수직형 시스템보다 다소 낮다. 지중수평형은 넓은 설치면적을 필요로 하기 때문에 미국과 같이 국토가 넓은 나라에서 많이 시공되고 있으나 우리나라는 국토가 협소하여

많은 시공이 이루어지지 못하고 있다.

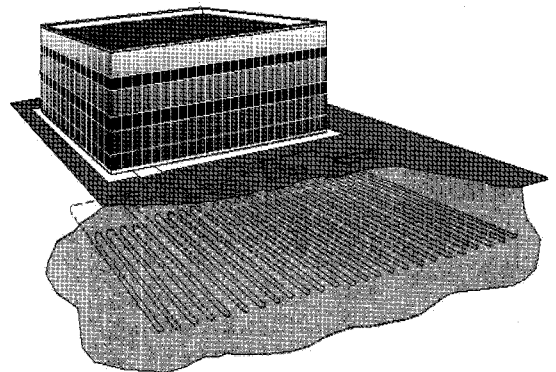
지하수형 중 SCW(standing column well) 방식은 초기 기술적인 검토 없이 무분별하게 보급이 이루어지고 있으나 우물공의 용량설계방법의 부재, 20년 이상 지속적인 지하수량의 확보, 우물공의 청소, 지하수의 오염, 고가의 유지보수비용, 설치 적정사이트 선정 등 많은 문제점이 대두되고 있어 SCW 방식의 보급은 확실한 기술적인 연구개발 및 타당성 검토가 이루어지기 전까지는 보급에 매우 신중해야 하는 방식이다. 뉴욕이나 중국과 같은 경우는 대수층이 크게 발달되어 있으나 우리나라의 경우 대수층이 발달해있는 지역이 많지 않으므로 우리나라에는 SCW 방식이 적합하지 않은 방식으로 학·연전문가뿐만 아니라 대부분의 지열 전문기업에서 인식하고 있다.

에너지파일형은 우리나라와 환경조건이 비슷한 유럽에서 주로 시공되고 있는 방식으로 건물 신축 시에 설치되는 기초파일이나 가시설벽체 등에 열교환기를 설치하는 방식이다. 이는 기 설치된 파일이나 가시설벽체에 설치하므로 초기설치비가 저렴한 방식으로, 유럽에서는 신축 시 기본으로 설치해야 하는 것으로 인식하고 있다. 우리나라도 에너지파일형에 대한 기술개발에 박차를 가하고 이의 보급을 적극적으로 육성해야 한다.

올해 정부에서 추진하는 온실예 지열시스템을 보급하는 사업이 진행되고 있으나 지열시스템에 대해 기술적인 지식이 없는 소비자에게 지열냉난방시스



[그림 4] 수직밀폐형 시스템 개략도



[그림 5] 지중수평형 시스템 개략도

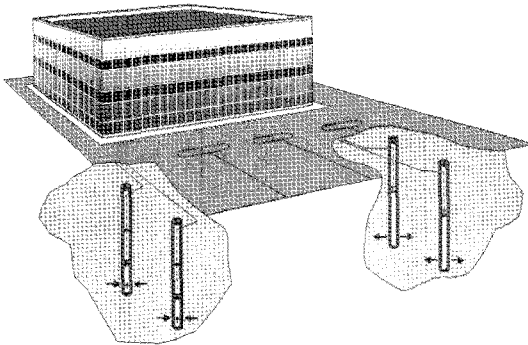


템에 대한 설명이 충분히 이루어지지 않아 SCW방식이 많이 신청되어 있다. 특히 지하수 사용이 많은 농촌에 SCW방식을 설치하는 것은 지열시스템 운영 시 많은 문제점을 일으킬 수 있으며 이로 인해 소비자에게 매우 큰 부담이 올 수 있다. 특히 시스템의 하자로 인해 난방에 문제가 발생하면 농가의 작물에 바로 영향을 미치게 되므로 소비자의 거센 항의 및 보상 문제를 일으킬 수 있다. 정부에서는 예전에 태양열보급사업의 실패를 거울삼아 지방보급사업으로 이루어지는 온실의 지열시스템보급사업에 세심한 기술적인 검토와 설계 및 시공업체의 선발, 철저한 시공감독 등 사업 진행에 신중을 기해야 한다.

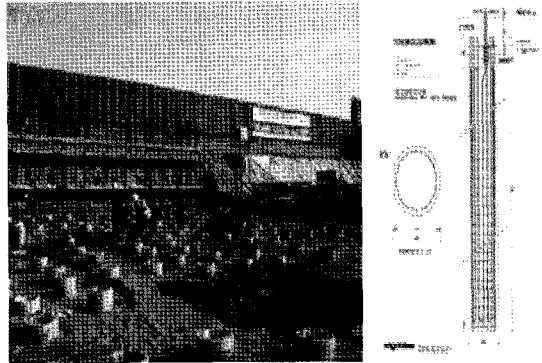
국내에서는 대체 열원에 대한 관심 부족, 기존 냉난방 설비에 비해 상대적으로 큰 초기 투자비 등 다양

한 원인 때문에 지열 시스템이 적극적으로 보급되는데 어려움을 겪었다. 하지만 정부에서 설치자금 지원 제도 등을 정비하고, ‘공공기관 설치의무화제도’, ‘보급보조사업’, ‘지방보급사업’, ‘용자지원사업’ 등을 지속적으로 추진함으로써 시스템 설치 사례가 해마다 증가하여 2007년까지 약 81.9 MW(23,421 RT) 용량의 지열냉난방시스템이 설치되었다. 더불어 정부와 산·학·연이 연계하여 보급 활성화와 기술 개발에 많은 노력을 기울이면서 관련 업체와 기술 인력도 꾸준히 증가하고 있는 추세에 있다.

표 2는 정부의 보급보조사업 지원 현황을 세부적으로 정리한 것이며, 표 3은 설치의무화 사업 지원 현황을 정리한 것이다. 또한 표 4에 지방보급사업 지원 현황을 나타내었으며, 표 5에 용자지원사업 지



[그림 6] 지하수열원 시스템 개략도



[그림 7] 에너지파일형 시스템 개략도

<표 2> 정부 보급보조사업 지원 현황(2003 ~ 2007)

구분	2003	2004	2005	2006	2007	합계
개 소	2	10	17	41	38	108
용량(RT)	71	793	1,659	4,744	4,371	11,638
보조금(백만원)	251	1,883	3,643	9,541	8,103	23,421

<표 3> 설치의무화사업 현황(2004 ~ 2007)

구분	2004	2005	2006	2007	합계
검토건수	29	112	129	141	411
설치완료건수	-	1	14	36	51
설치용량(RT)	-	145	1,315	3,535	4,995

<표 4> 지방보급사업 지원 현황(2003 ~ 2007)

연도	2003	2004	2005	2006	2007	합계
개 소	3	5	3	15	7	33
용 량(RT)	180	438.5	800	1,182	759	3,359.5

<표 5> 융자지원사업 지원 현황(~ 2007)

연도	~2003	2004	2005	2006	2007	합계
개 소	12	4	8	5	3	32
금액(백만원)	2,199	2,900	2,529	2,733	3,112	13,473

원 현황을 나타내었다. 융자사업의 경우 융자금액으로 정리가 되어 있으며, 이를 설치단가로 나누면 대략적인 보급용량을 추정할 수 있다. 전체적으로 모든 사업이 해마다 지속적으로 증가하고 있음을 볼 수 있다. 설치의무화 사업의 경우 검토 건수와 설치 완료 건수로 구분되어 있다. 설치의무화의 경우 3,000 m² 이상의 공공건축물을 신축 및 증개축하는 경우에 지열시스템 등 신재생에너지설비를 의무적으로 설치하는 제도로, 건축설계 완료 후 신재생에너지센터에 설치계획서를 제출하고, 이에 대한 확인서가 있어야 설계허가를 받는 절차를 거치게 된다. 설계허가를 받은 후 완공까지 1 ~ 3년 정도의 시간이 경과하므로 검토 건수와 설치 완료 건수가 차이가 난다. 즉, 2007년까지 지열시스템의 설치량이 4,995 RT 밖에 안되지만, 이는 설치계획서를 제출한 411건 중에서 51건만이 설치 완료된 것으로 향후 360건이 더 설치될 것이 남아 있다.

국가에너지 기본계획에서 신재생에너지 보급의 활성화를 위해 그린 홈 100만호 사업을 기획하고 있다. 이에 지열 냉난방시스템도 많은 기여를 하는 것으로 계획되어 있다. 가정용 지열시스템의 보급에 있어 가장 큰 걸림돌은 가정용 전기요금 누진제도이다. 유럽의 많은 국가에서는 지열시스템을 적용할 경우 오히려 전기요금을 내려주는 지원제도가 실시되고

있으나 우리나라에서는 누진제를 통해 과중한 요금 이 부과될 수 있다. 정부에서는 지열시스템 도입 시 전기요금에 누진제를 붙이지 않는 방향으로 제도를 개선해야한다. 또한 단독주택용 시스템은 소용량으로 많은 가구에 설치하는 것이므로 표준화가 이루어지지 않으면 사후관리에 큰 문제점을 일으킬 수 있다. 사업을 계획할 시에 많은 전문가의 의견과 토의를 통하여 사후에 발생될 문제점을 세심히 검토하여 성공적인 사업이 되도록 노력해야 한다.

기술의 안정성 및 신뢰성, 높은 효율성과 경제성 등과 고유가와 온난화물질 감축 등의 사회적 환경변화에 따라 지열 냉난방시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 위에서 언급하였듯이 일반건축물, 단독주택용, 온실용 뿐만 아니라 아파트, 학교, 군부대, 축사, 양어장, 도로 등 지열을 적용할 수 있는 시장은 무궁무진하며 지열시장은 확대될 가능성이 크다.

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 상황으로 볼 때, 지열 열펌프시스템을 비롯하여 각종 지열 에너지 활용 기술을 적극적으로 보급하고 아울러 보급 활성화에 필요한 기술 개발에 많은 투자가 이루어져야 할 것이다. (●)