

지열 및 온도차 에너지 이용기술의 현황과 과제

박 준 언 | 삼양에코너지(주), 소장 | e-mail : trnsys@empal.com

경제 성장과 더불어 생활과 사무공간의 편의성을 지향하는 기대치가 높아지면서 냉난방 및 급탕 열수요의 증가와 전력수요의 첨두화가 예상된다. 또한 원자력발전소의 건설난과 지구온난화, 오존층 파괴 등의 환경파괴가 심각한 문제로 대두되고 있는 가운데 한계를 넘어선 화석 연료의 소비증가는 국제적으로도 허용되기 어려운 시기를 맞고 있어 에너지 공급면에서도 강한 제약을 받을 것이 분명하다. 국민생활의 쾌적환경 지향과 에너지 제약에의 대응, 지구환경 보전을 위해서는 지열과 온도차에너지의 활용이 절실히 요구된다.

화석연료의 고갈과 지구환경 변화에 대한 관심과 우려가 고조되고 있는 상황에서 온실효과에 따른 지구 환경의 위협에 대처하기 위해 세계적인 노력이 계속되고 있으며, 우리나라도 '신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법' 의거 화석연료 대체와 지구온난화 저감 효과가 큰 신재생에너지에 대한 보급정책과 기술개발에 대한 투자를 집중적으로 하고 있다. 11개 신재생에너지원 가운데 지열에너지는 토양, 지하수, 지표수 등이 태양 복사에너지나 지구 내부의 마그마 열에 의해 보유하고 있는 에너지를 활용하는 것으로, 활용 형태로는 지열 냉난방과 지열발전으로 구분 할 수 있으며, 지열발전에 대한 연구는 시작단계로서 주목받고 있다.⁽¹⁾

신재생에너지와 유사한 개념으로 이해할 수 있는 미활용에너지가 있다. 냉난방, 급탕 열원으로 이용 가능한 미활용에너지는 온도차에너지와 도시폐열로 대별된다. 미활용에너지는 1차 에너지 이외의 에너지원으로 존재하고, 활용가치가 높음에도 불구하고 경제적, 기술적, 제도적 제약으로 실제 이용되지 못하고 자연계로 배출되고 있다. 에너지 및 수자원의 고갈과 에너지 패러다임의 변화에 대한 공감대가 형성되고, 기후변화협약 등 국제 기준의 강화에 따라 온도차에너지에 대한 이용 계획 및 정책 수립을 위한 자료들이 연구 제시되고 있다.^(2~5)

온도차에너지는 수온이 여름철에는 대기 온도보다 낮고 겨울철에는 대기 온도보다 높은 해수, 강물, 호수를 포함

한 하천수, 하수처리수, 지하수 등의 열원을 지칭한다. 온도차에너지는 에너지 수요가 많은 대도시 지역에 대량으로 부존하고 있는 자연에너지이나, 취수, 방수설비 등 건설비용이 소요되며 열원과 열수요지의 거리가 먼 경우 열수송 기술 등 해결해야 할 과제가 있다. 지열에너지 및 온도차에너지 이용기술에 대한 현황과 세부 기술 분야에 대하여 언급하고자 한다.

지열에너지 이용기술

지열 냉난방시스템 기술

지열냉난방시스템 기술은 설비기술과 토목건설기술 및 제어기술이 복합된 분야이다. 냉방 시에는 건물 내의 열을 지중으로 방출하고, 난방과 급탕 시에는 지중의 열을 실내와 온수에 공급함으로써 냉난방과 온수, 급탕 등의 역할을 수행할 수 있으며, 공기열원 히트펌프보다 44%, 에어컨과 전열기와 비교하여 72%까지 에너지 소비를 감소시킬 수 있는 가장 에너지 효율적이며 친환경적인 시스템이라 할 수 있다. 지열 히트펌프시스템은 처음 도입되었을 때 설계와 시공기술의 문제로 많은 시행착오가 있었으나, 전문 시공기술과 기준, 기술인력이 확보되면서 경쟁력을 갖추게 되면서 매년 100% 이상씩 급격한 성장세를 보이고 있는 신재생에너지 분야가 되었다. 지열 냉난방시스템의 주요 기술 분야는 표 1과 같다.⁽¹⁾

지열 냉난방시스템의 주요 기술 분야

주요기술	세부기술
열 공급 시스템 개발 기술	• 부하대응형 히트펌프시스템
	• 하이브리드시스템
	• 친환경 냉매 적용
	• 대온도차 이용
	• 캐스케이드 히트펌프시스템
	• 고온수출력 히트펌프시스템
	• 시스템 최적운전제어
	• 지열자원 분포 DB구축
	• 국내 토양 및 암반에 대한 열물성 DB구축
	• 지중 열거동 시뮬레이션
지중 열 자원 개발 기술	• 지중, 지하수, 지표수 이용 특성별 열교환 공법 설계
	• 지중 천공 및 굴착 기술
	• 그라우팅 및 혼합재
	• 심부열원 타당성 분석 및 심부 굴착
	• 시스템 내구성 및 수명평가 도구 개발
인증 및 표준화 기술	• 지열시스템 성능평가
	• 지중 열교환기 설치 표준화 및 성능평가
	• 요소부품 내구성 및 수명평가 도구 개발
	• 고성능 핵심 원천부품 인증
	• 건물 냉난방 연계
	• 양어 및 건조, 시설영농 지원
	• 용설 및 도로 연계화
	• 터널 열 이용
	• 폐광 및 폐정 활용
	• 지역난방 및 열병합 연계
응용 기술건물 냉난방 연계	• 대용량 히트펌프(1,000RT 이상) 개발
	• 지열 장거리 수송기술

지역발전기술의 주요 기술 분야

주요기술	세부기술
저류층 관리기술	• 발전시작 후 시간대별 저류층 상태 모니터링
	• 수치 시뮬레이션을 통한 저류층 평가(발전시작 전 저류층 수치 모델 구축, 생산예측시뮬레이션)
	• 발전시작 후 히스토리 매칭(생산정 증기 및 열수의 실측값과 계산값 비교)
	• 지구물리학적 관측
스케일부착 방지기술	• 저류층 변동 탐사법
	• 스케일 생성원리(실리카, 탄산칼슘, 황화물, 경석고)
	• 스케일 방지원리(실리카, 탄산칼슘, 황화물, 경석고)
	• 고온 암체 탐사(위치, 깊이, 크기 추정 및 평가)
고온 암체 개발기술	• 인공 저류층 조성 및 위치, 크기 평가
	• 물 순환시 열추출 예측
	• 발전비용 평가 및 환경영향 평가

지열 발전기술

지열발전은 천연 보일러를 이용한 기력발전에 해당하며 따라서 지열발전의 원리는 기존 화력발전 방식과 같다. 보일러에 해당하는 것이 지열 저류층이며, 암석의 갈라진 틈에 고온의 열수와 증기가 간혀 있으며, 지열 저류층을 구성하는 열, 물, 저장구조를 지열발전의 3요소라 한다. 지열발전은 CO₂ 배출량이 적은 청정성과 원유도입과 같은 에너지 수입이 필요 없으며, 반영구적으로 사용이 가능한 지속가능 발전방식이다. 지열에너지의 활용은 수력과 함께 생애주기 CO₂ 배출량이 가장 작은 에너지원으로 보고되고 있다.

2007년 기준, 전 세계 지열발전 설비 용량은 약 6,000만 세대에 공급 가능한 1만 MW이며, 2010년에는 1만 3,500MW에 이를 것으로 전망된다. 지열발전량 상위 국가는 United States(2.69GW), Philippines(1.97GW), Indonesia(992MW), Mexico(952MW), Italy(810MW), Japan(535MW), New Zealand(471MW), Iceland(421MW)이다.

우리나라의 경우, 아직까지 온천으로 이용하는 것 외에는 지열 발전을 위한 실증사업이 진행된 바는 없으나, 최근 지질자원연구원에서 국내 2곳의 지질타당성 조사가 실시되고 있는 것으로 보고된다. 국내 백두산과 한라산 지역은 분화 기록이 존재하는 휴화산

으로 상당한 지열에너지가 존재할 가능성이 있는 곳으로 보고되고 있다. 지열발전기술의 주요 기술 분야는 표 2와 같다. (10~12)

온도차에너지 이용 기술

온도차에너지는 열수요가 많은 도시지역에서 풍부하게 얻을 수 있는 비고갈성 에너지자원이며, 그 활용이 도시환경에 생태학적으로 크게 영향을 미치지 않으며, 열을 얻을 때에 연료를 연소하지 않는 친환경적 청정자원인 동시에, 공공성 에너지 자원이라는 특징을 가지고 있다. 하천수, 해수, 하수처리수 등의 수온은 일반적으로 여름철에는 기온보다 약 5℃ 정도 낮고, 겨울철에는 기온보다 약 10℃ 정도 높다. 뿐만 아니라 대기온도에 비해 연간, 일간을 통해 온도변화가 적다는 점 등이 히트펌프의 열원으로서 아주 좋은 특징을 가지고 있다. 그림 1은 미활용에너지 이용 개념도이며 표 3은 온도차에너지의 종류를 나타내고 있

표 3 온도차에너지 종류

온도차에너지	해수	물	히트펌프 냉난방열원
	하천수	물	히트펌프 냉난방열원
		직접이용	원예 냉난방
	지하수	유출지하수	히트펌프 냉난방열원
하수	온도차에너지	층적대수층	히트펌프 냉난방열원
		생하수	히트펌프 냉난방열원
		처리수	히트펌프 냉난방열원
		소화가스	발전·열공급
		슬러지	RDF 활용 발전·열공급

다. (6~9)

○ 해수

해수는 양적으로 풍부하다는 것과, 동결온도가 -1.9℃로 낮기 때문에 하천수보다 저온까지 열 이용이 가능하며, 온도의 계절변화가 하천수에 비해 적다는 점이 히트펌프의 열원으로서 우수하다고 말할 수 있다. 해수는 열교환기 및 배관설비의 부식 및 생물부착에 의한 관의 막힘이나 열전도율의 저하시킬 우려가 있기 때문에 설계 시 이들에 대한 대책이 필요함.

○ 하천수

하천수는 유량의 계절변화가 크고 강우 등 기후의 영향에 의한 온도변화가 크다는 점에 유의할 필요가 있다. 취수에 관한 수리권의 문제가 있으며, 이용시스템 설계 시 부유물 유입방지 및 생물부착방지 대책 등이 필요하다.

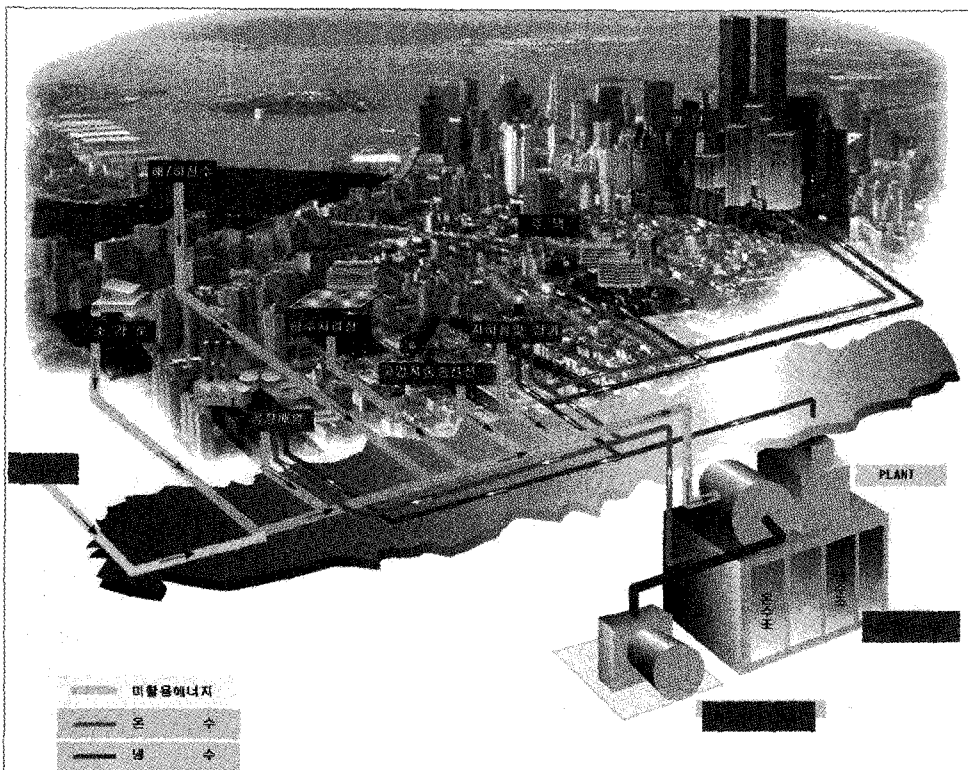


그림 1 미활용 에너지 이용 개념도

○ 하수(하수처리수 포함)

하수처리장에 유입되는 하수는 특히 겨울철에 온도가 높아 히트펌프 열원으로 우수하다. 그러나 하수의 유량은 인간의 활동에 따라 변동하기 때문에 1일간 시간변동은 다소 큰 편이지만 일 변동은 적고 안정적이다. 하천수와는 달리 기상의 영향이 비교적 적다.

온도차에너지 공급 가능량

지하유출수, 충전대수층, 하수처리수, 하천수 및 해수를 포함하는 국내 온도차에너지의 부존량은 236,211[Tcal/년]로 보고되고 있다.⁽¹³⁾

부존량 기준 성능계수 4.0 기준 시 냉난방 이용 가능량은 연간 314,956[Tcal/년]으로 국내 연간 1차에너지 총 소비량 2억 4,000만 TOE(1TOE=10¹⁰cal)의 12.5%를 담당할 수 있는 양이다. 표 4는 온도차에너지원별 공급 가능량을 나타내고 있다.

온도차에너지 사전검토 사항

하천수 이용 시 히트펌프에 의한 온도차 이용의 기준으로서 동절기에는 최대 3℃의 온도차를 이용할 것과 하천수온은 4℃ 이상이 필요하다. 하천관리자로부터 하천수사용허가를 받아야 하며, 또한 하천 수온의 변화를 예측하여 주변 환경에의 영향을 사전검토 할 필요가 있다. 수온변화가 3℃ 이상으로 되는 구역에서는 생물에의 영향을 검토하여야 한다. 취수시설을 설치할 경우에는 공작물의 신축허가, 토지의 점유허가 등을 취득할 필요가 있다. 해수의 이용에 있어서는 항만시설관리자로부터 취수시설 등의 공사허가, 점용허가를 득할 것과, 당해 해역

에 어업권이 있는 해역에 대하여는 온도상승범위가 1℃를 초과하는 범위에 대하여 해양생물이나 어업에의 영향을 조사할 필요가 있다.

온도차에너지 이용 기술

초기투자비의 저감과 효율 향상에 의한 에너지 절약이 가능한 기술이 적용되어야 하며, 열회수기술, 히트펌프기술, 축열기술, 배관부설기술 등의 연구개발이 필요하고 시스템 전체의 종합효율을 높일 수 있는 시스템 제어기술도 필요하다. 온도차 에너지의 특성에 따른 세부 기술은 표 5와 같다.⁽²⁾

또한 상기 세부기술을 온도차에너지원 별로 구분하면 표 6과 같다.

맺음말

신재생에너지원 중 지열에너지와 미활용에너지원의 이용을 위한 기술에 관하여 고찰하였다. 이산화탄소 저감 및

온도차에너지원별 공급 가능량

구 분	부존 지점	에너지 부존량 [Tcal/년]	운전 비용 [Tcal/년]	냉난방 가능량 [Tcal/년]
지하유출수	국내 5개소 지하철	270	90	360
충전대수층	하천, 해안유역 지하수	580	193	782
하수처리수	하수종말처리장 347개소	16,118	5,372	21,490
하천수	직할하천 17개 수계 50개 하천	192,087	64,029	256,116
해수	연안 인구밀집지역	27,156	9,052	36,208
총계		236,211	78,736	314,956

온도차에너지 특성별 세부기술

구 분	특성	세부기술
수	지리적	부존지점과 수요지점의 거리가 먼 경우 수송을 위한 배관 필요 수송기술-배관부설
관	시간적	폐열과 수요가 시간적으로 일치하지 않는 경우, 폐열 저장 기술 필요 저장기술-저장방법
계	온도적	미활용에너지 온도를 그대로 이용할 수 없을 경우, 온도포텐셜 변환기술 필요 변환기술-고효율히트펌프, 고효율 냉동기
속	물리적	오염물 제거기술 필요 제거기술-스트레이너 세정장치
성	화학적	부식성이 강한 경우 내부부식성 재료 필요 내부부식성 재료
	생물적	생물(특히, 해수의 경우) 부착 성장 방지 기술 필요 생물부착방지기술

환경문제와 자원고갈 등에 적극적으로 대처하기 위해 여타 신재생에너지 분야에 비해 성장속도가 매우 빠른 지열 및 온도차 에너지의 활용이 권장되고 있는 시점에서 다양한 기술개발 분야에 많은 전문가들의 적극적인 참여와 노력이 경주되어야 할 시점이다. 청정에너지원의 이용은 단지 경제성만 고려할 수 없으며, 장기적으로 환경 및 사회적 측면이 고려되어야 한다. 지열 및 온도차에너지 활용을 위해 관련 분야 인력의 양성과 기술개발이 시급하다.

참고문헌

(1) 강신형, “지열 냉난방 발전시스템의 개요 및 현황”, 설비저널, 제38권 1호, 2009. 01.
 (2) 산업자원부, “미활용에너지 자원조사 : 최종보고서”, 2007.
 (3) 박효순, “기획연재, 신재생에너지 기술 현황과 전망 1 - 신재생에너지 국내외 최신 기술 현황 및 동향”, 월간 전기, 2008. 06.
 (4) 김진오, “지역균형 발전을 위한 지역에너지사업 발굴 및 협력방안”, 에너지경제연구원, 2005.
 (5) 이영수 외 3인, “미활용에너지기술 중장기 Road Map”, 대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집, pp. 203~208.
 (6) 김형수 외 3인, “강변여과수(충적층 및 하상)의 열원을 이용한 지열에너지 활용에 관한 연구”, 대한설비공

표 6 온도차에너지원에 따른 세부기술

구분	지리적	시간적	온도적	물리적	화학적	생물적
지하유출수	근거리	문제없음		문제없음	문제없음	
충적대수층	근거리	열수요가 적은 야간 활용	히트펌프의 고효율화	오염물 제거 기술(오토 스트레이너, 세정장치)	재부식성 재료	문제없음
하수처리수	상황별 상이					
하천수	상황별 상이					
해수	상황별 상이	문제없음			내부식성 재료	해생 생물부착 방지장치

학회 2006하계학술발표대회 논문집, pp. 209~214.
 (7) 이영대, “하수처리수 재이용 활성화를 위한 미활용에너지 개발”, 설비저널, 제37권 1호, 2008. 01.
 (8) 산업자원부, “유출지하수를 이용한 건물냉난방 기술 개발”, 신재생에너지기술개발사업, 2007.
 (9) 박정환 외 3인, “주거용 건물에 적용된 지하수 이용 지열 히트펌프 시스템의 냉방성능에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 계획계 제4권 통권33호 2008. 03.
 (10) Global Information, Inc., “지열발전 기술 : 2009년, Geothermal Power Technology 2009: Green to the Core”, 2009. 07.
 (11) 이지평, “일본의 온난화 방지 기술 개발 동향”, LG Business Insight, pp.21~35, 2008. 04.
 (12) 기타오코우지, “지열기술의 변천과 금후의 지열개발”, 화력원자력발전, 2005. 08.
 (13) 박준택 외, “온도차에너지를 열원으로 하는 미활용에너지의 부존량과 이용가능성에 관한 조사연구”, 한국에너지공학회지, 제11권 제2호, pp. 106~113, 2002.

기계용어해설

번 아웃(Burn-out)

끓음현상에서 열유속을 증가시킴에 따라 상승하는 전열면의 온도가 전열면 재료의 용점 이상이 되어 생기는 전열면의 파단이나 소손(燒損)현상.