



지열히트펌프 기술현황 및 전망

- IEA/HPP (Annex 29) 및 ETP-2010을 중심으로 -

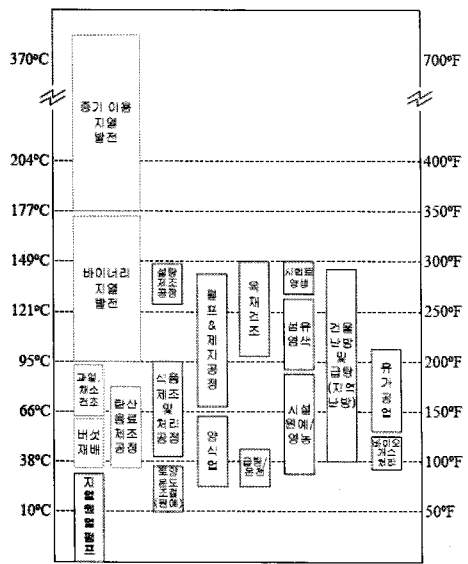
박성룡

한국에너지기술연구원, IEA/HPP 한국대표

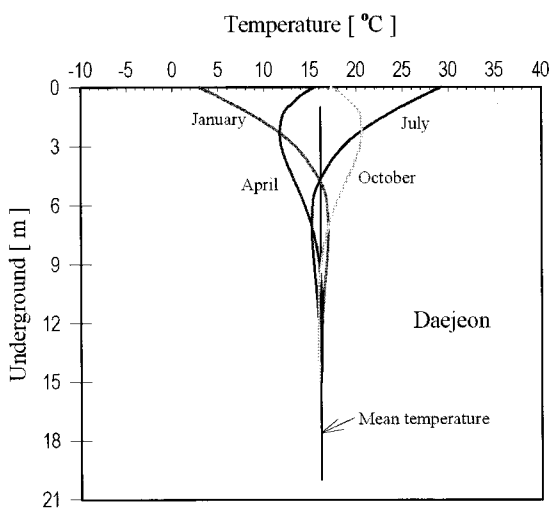
1. 서론

지열에너지란 지구자체가 품고 있는 땅속의 열(지열)을 이용하여(그림 1 참조), 인간생활에 필요한 에너지를 공급하는 것을 말한다. 태양열의 약 47%가 지표를 통해 저장되며, 이 양은 현재 사용 중인 에너지량의 약 500%에 해당되는 규모이며, 지표면 가까운 땅속의 온도는 개략 10 ~ 20°C 정도로 연중 큰 변화가 없으나, 지하 수 km의 지열온도는 40 ~ 150°C 이상을 유지하는 것으로 보고되고 있다. 지구는 중심부로 갈수록 뜨거워지며 3°C/100m 온도가 증가, 3km 이하만 내려가도 바위의 온도는 100°C 이상의 온도를 얻을 수 있다. 지열에너지는 지하 3km(심부)까지

천공하여 100°C 이상의 지열을 직접 이용하는 방법과 50 ~ 200m(천부)까지 천공하여 히트펌프 냉동기를 통한 간접이용방법이 있다. 우리나라의 경우 일본, 이탈리아 등과 같은 화산지대가 거의 존재하지 않아 심층지열 이용은 매우 어려운 것으로 보고되고 있지만, 연구에 대한 개발을 통해 수출산업 기술로의 가능여부를 고려하고 있는 상태이다. 지열에너지는 지속가능한 재생열원으로 연중 온도변화가 거의 없으며(그림 2 참조), 매우 안정적인 열원으로 지운은 공기열원보다 동절기에는 높고, 하절기에는 낮아, 혹서기나 혹한기에도 냉·난방의 성능저하가 없는 특징을 갖는다(그림 3, 4 참조). 지열원을 사용하는데 드는 비용은 때때로 높은 초기비용을 요구하지만 효과적인 설계를 통해 운영/유지보수 비용을 줄임으로



[그림 1] 지열에너지의 이용



[그림 2] 계절별 지중온도

서 전주기 비용(Life Cycle Cost)을 저감시킬 수 있으며, 미활용 되는 물, 공기를 사용할 수 있으므로 개선된 히트펌프의 성능, 낮은 유지보수 비용을 확보할 수 있다.

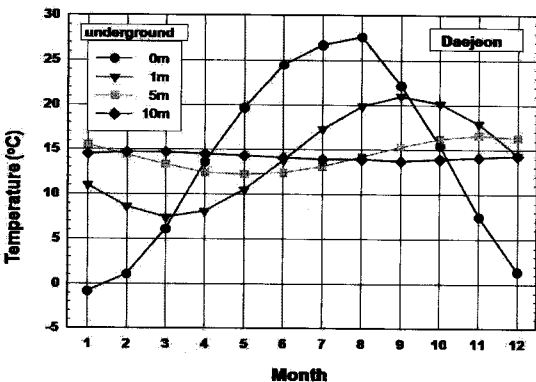
지열에너지를 활용하기 위해서 사용되는 지열원 히트펌프(GSHP, Ground Source Heat Pump) 시스템은 주거 및 비주거 시설의 난방과 냉방을 위해 지하 50m ~ 100 m 정도의 약 15℃ 열을 상대적으로 이용하여 냉/난방에 이용한다. 이러한 에너지 이용분야는 공간시설 냉/난방, 급탕 그리고 농작물 건조, 농업용 원예온실, 공공건물시설의 냉/난방 등이 있다.

초기 GSHP시스템의 사용처는 주거건물이었다. 전기구동 시스템이어서 초기 설치시의 비용을 줄이기 위한 건물소유주에게의 보조금지원을 통해 보급이 되었지만 최근에는 고효율기기로 인정받아 그 보급이 급속하게 확대되었다. 그러나 아직도 GSHP시스템의 시장점유율은 지열에너지가 가지고 있는 잠재력에 비해 미비한 수준이다. 지열히트펌프의 시장점유는 1980년대 초에 미국을 중심으로 하는 주거시설이 우선시 되어온 결과, 설계 및 기반시설 면에서 앞서 있고, 국제지열히트펌프협회(IGSHPA, International Ground Source Heat Pump Association)를 통해서 시스템설계방안, 설계기준, 교육 등에 대한 지속적인 보급과, 설계시

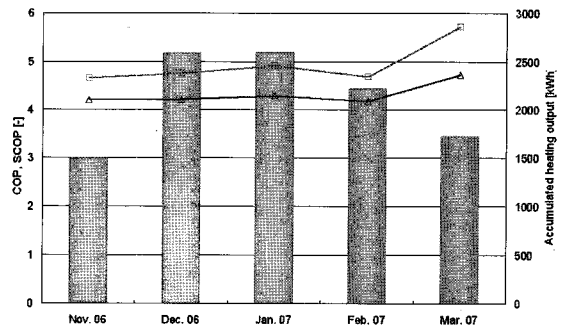
공자들을 위한 설계교육과 엔지니어들을 위한 공인 지열설계자 인증(CGD, Certified Geothermal Designer)프로그램 등의 보급, 운영되어 왔음에도, 친환경기술인 지열히트펌프 기술의 가장 큰 장애 요소는 신뢰성을 들 수 있다. 즉 정확한 에너지 성능의 예측이 가능하며, 사용상 편리함을 갖춘 GSHP시스템 설계도구의 부재와 높은 초기비용으로 인한 투자회수기간의 장기화 그리고 지열보급과 관련제도의 미흡 등이 GSHP의 시장 확대 저해 요소로 꼽을 수 있다. 이러한 문제들을 공동으로 해결하고자, OECD국가를 중심으로 구성된 국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)에서도 지열원이용 히트펌프시스템의 대한 국제공동연구 형태(Annex)를 통하여 기술의 개발과 보급 확산을 위해 노력을 하고 있다. 이에 본고에서는 지열원을 효율적으로 사용하는 히트펌프와 관련하여 IEA/HPP(Heat Pump Programme, 히트펌프 프로그램)의 현황과 HPP에서 수행한 지열관련 공동연구인 Annex 29에 대하여 알아보하고자 한다.

2. IEA / HPP

국제에너지기구(IEA)의 히트펌프 프로그램(HPP)(그림 5 참조)에서는 히트펌프를 이용하



[그림 3] 대전지역 월별 지중온도

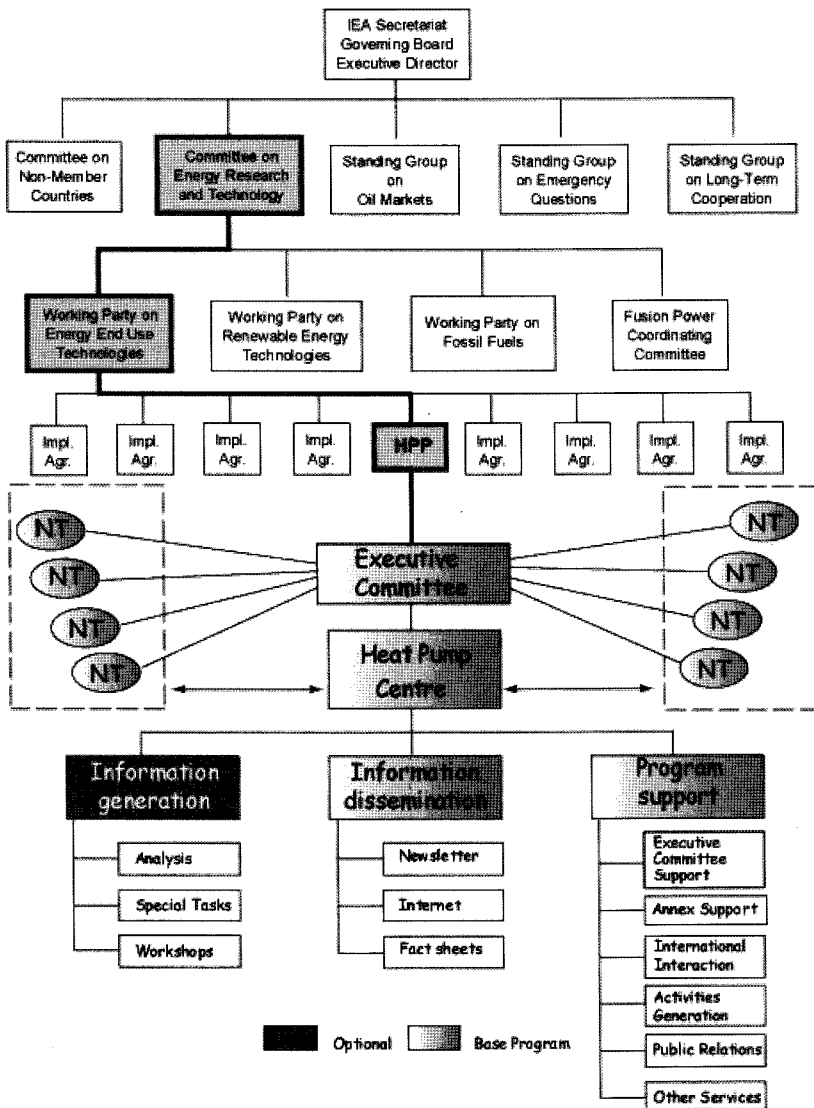


(□ : COP = $Q_{\text{heating}}/E_{\text{GSHP}}$, △ : SCOP = $Q_{\text{heating}}/(E_{\text{GSHP}} + E_{\text{pump}})$)

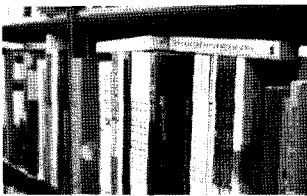
[그림 4] 외기온도의 변화에 따른 COP 와 SCOP의 변화

여 에너지를 효율적으로 사용하는 것에 대한 방안 모색과 관련 연구, 각 회원국간의 히트펌프정책 및 연구개발 및 적용 등에 대한 정보교류 및 국제적인 협력방안(Annex를 통한 방법) 및 다른 국제적인 기구와의 협력관계 등을 논의하고 있다. 이를 위해 매년 두 번씩 집행위원회(Executive Committee)회의를 개최하여, 히트펌프의 개발, 보급확산과 관련하여 심도 있는 논의를 하고 있

다. 우리나라는 2008년도에 IEA의 구성부분에서 에너지효율부분의 수요자부분인 EUWP(End-Use Energy Working Party)의 산하구조인 HPP에 정식 가입국이 되어, 동년 11월에는 서울에서 집행위원회를 개최하는 등 국제적인 활동에 적극적으로 참여하고 있다. HPP 프로그램의 원활한 진행을 위해서 HPC(히트펌프 센터)라는 조직이 행정적으로 집행위원회의 활동은 돕고 있으



[그림 5] IEA / HPP 조직도



일반원고

며, 보급확대를 위해 노력하고 있다. 이 HPC는 회원국들의 회비를 통해서 운영되고, 현재 스웨덴에 본부가 있다.

최근 히트펌프의 획기적인 일은, 유럽의회가 2008년 12월에 히트펌프의 열원으로 주로 사용되는 대기열원(공기, 물, 토양)을 사용하는 히트펌프 시스템이 일정값 이상의 효율을 나타내는 경우, 재생에너지로 간주하는 법안을 통과시킨 것이다. 이에 따라 SET(Strategic Energy Technology)-2020 계획을 세우고, 2020년까지 20%까지 CO₂를 절감과 20%의 재생에너지

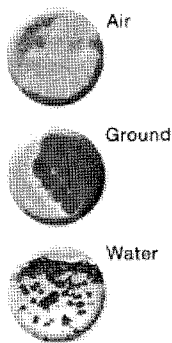
사용을 늘리려는 계획에 히트펌프가 큰 기여를 해 줄 것으로 여기고 있다(현재 우리나라의 신재생에너지 분야는 태양열, 태양광, 바이오에너지, 풍력, 수력, 지열, 해양, 폐기물 등의 8개 분야와 신에너지로 분류되는 연료전지, 석탄액화가스화, 수소에너지 3개 분야로 구성되어 있다). 따라서 공기열, 수열, 토양열을 열원으로 사용하는 히트펌프의 보급은 확대일로에 있다고 할 수 있다(그림 6 참조).

일본의 경우는 자국의 이산화탄소 발생량의 10%를 히트펌프로 절감하겠다는 목표를 세우고

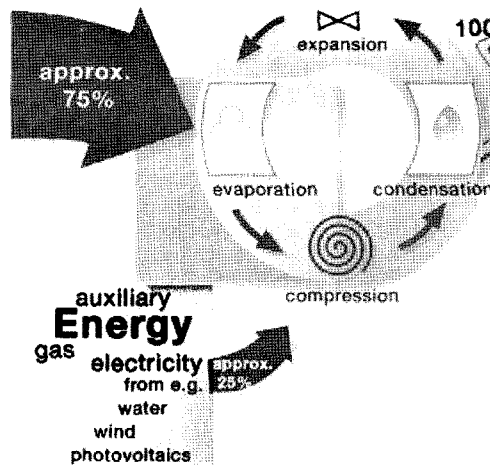
<표 1> SET(Strategic Energy Technology)-2020

2020년 유럽의 에너지 정책 목표	유럽 목표	목표달성을 위한 감축(생산)량	Heat pump의 가능 기여량	유럽전체 목표의 기여도
1차 에너지 소비	20% 감축	4,385TWh(20%)	902 TWh	20.6%
신재생에너지 생산	전체 에너지의 20% 담당	3,508 TWh	774 TWh	22.0%
CO ₂ 배출량	20% 감축	1,073 Mto(20%)	230 Mto	21.5%

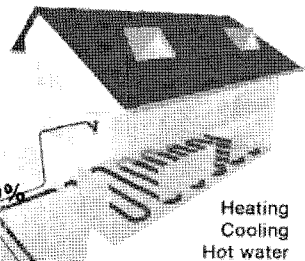
Renewable energy sources



Heat pump (refrigeration cycle)

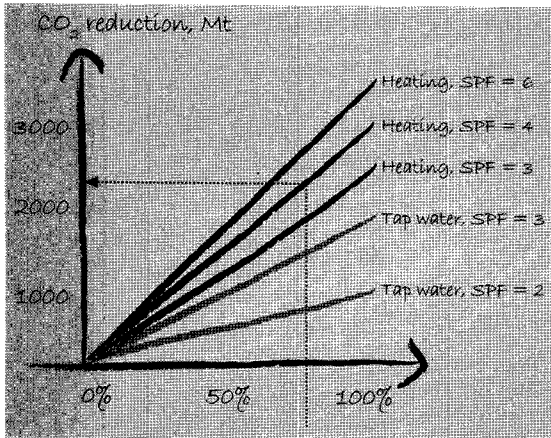


Distribution system



[그림 6] 대기열원(공기, 토양, 수열)을 이용하는 냉난방/급탕용 히트펌프 시스템 개략도

추진 중에 있고, IEA는 히트펌프 시스템의 지속적인 효율향상과, 저 탄소 전력의 생산 및 시장점유율의 향상과 함께 전세계의 이산화탄소 발생량의 8%까지 히트펌프에 의한 절감이 가능하다는 ETP(Energy Technology Perspective) 보고서를 발간하였다. ETP는 IEA에서 매 2년마다 발간하고 있는데 2010년에 출간될 ETP-2010에 따르면 공기열원을 재생열원으로 포함시키는 경우, 10%까지도 온실가스의 절감이 가능하다는 것이다. 또한 그림 7에서 보는 바와 같이 건물의 개보수에 히트펌프가 적용될 경우, 그 비율에 따라서 이산화탄소의 절감효과가 계절성능계수(SPF)의 증가와 함께 커지고 있음을 알 수 있다. 만일 열원을 지열원으로 사용한다면 그 효과는 조금 더 증가할 것이라는 것을 예측할 수 있다.



[그림 7] SPF와 개보수율의 변화에 따른 히트펌프의 이산화탄소 절감량

3. IEA / HPP의 지열에너지 연구동향

IEA/HPP에서 지열에너지활용을 위한 공동연구 과제를 Annex 2, 8, 15에서 이미 시작을 하였다. 공동연구명은 표 2와 같다.

가장 최근에 종료된 Annex 29는 2004년 9월에 시작하여 진행되었고, 오스트리아, 캐나다, 일본, 노르웨이, 미국이 공동으로 참여하여 공동연구를 수행하였다. 이 연구의 주된 목적은 지열원 히트펌프 시스템의 경제적, 환경적 효과에 대한 분석이다. 이 공동연구에는 다음과 같은 내용들이 포함 되어 있다.

- 지열이용 히트펌프의 법적문제의 극복방향
- 설치비의 절감 등 경제적인 문제의 극복방향
- 적용처의 확대 방향 등

구체적으로는 다음의 1), 2)항에 중점을 둔 연구가 진행되었다.

- 1) GSHP의 비용 및 성능을 증가시키는 방법
 - 난방시스템과 냉난방시스템의 비교
 - Open 시스템과 Close 시스템의 비교
 - 직팽식과 2단 루프시스템의 비교
 - 2차 유체로 CO₂를 사용하는 시스템
 - CO₂를 사용하는 수직형 히트파이프
 - 직접식 과 간접식 냉방
 - 토양에서의 수분투입과 재충전
 - 지표면이 매우 큰 주차장 등에서의 열의 추출 등

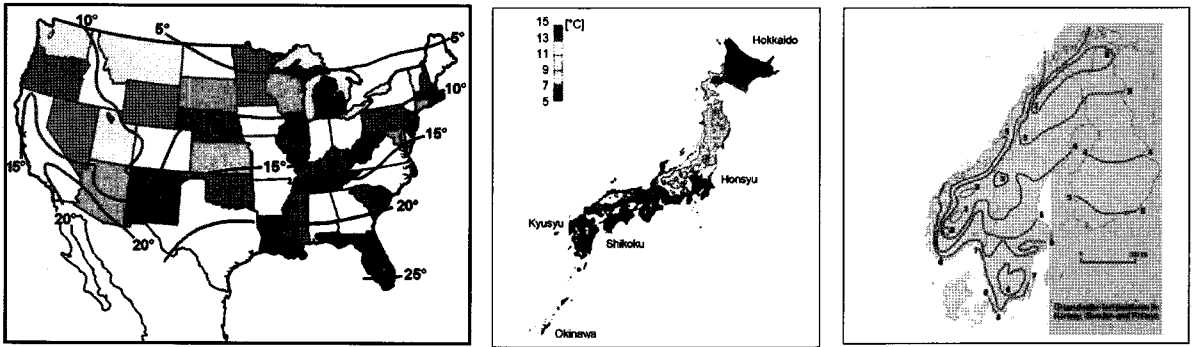
<표 2> IEA/HPP의 지열관련 공동연구 (Annex)

Annex	공동 연구명
2	수직형 히트펌프시스템(Vertical Earth heat Pump Systems)
8	히트펌프를 위한 고성능 지중 열교환기 기술 (Advanced in-ground Heat Exchange Technology for Heat Pump Systems)
15	직팽식 지열코일 히트펌프 시스템(Heat Pump Systems with Direct Expansion Ground Coils)
29	시장장벽과 기술적 문제극복을 위한 지열히트펌프 시스템 GSHP(Ground-Source Heat Pumps Overcoming Market and Technical Barriers)

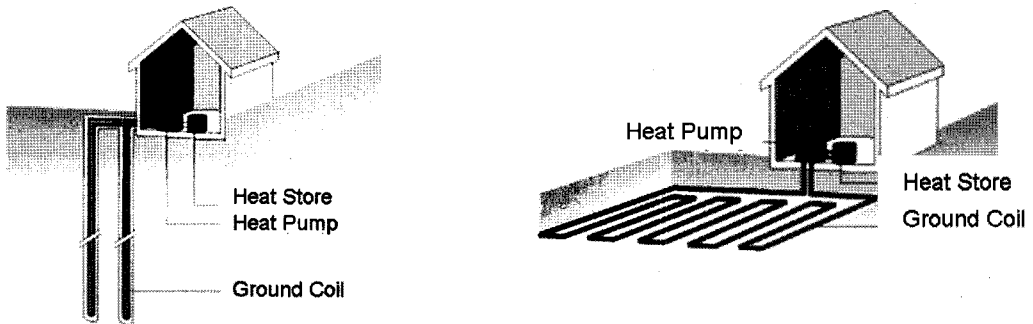
2) 시장진입의 장애요인분석과 획기적인 시스템으로의 접근방안

- 성능확보방안
- 지열 코일 시스템에 성능보증
- 초기 투자지의 절감을 위한 모델
- 규정
- 관세제도 등

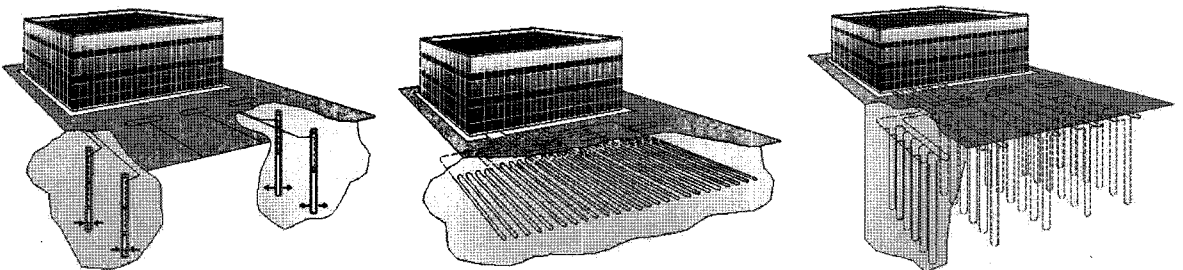
Annex 29의 연구결과를 살펴보면, 먼저 지열원 적용을 위한 상황 및 시장분석이다. 이 연구에는 기후조건(한대, 온대, 열대, 온열대 등 : 그림 8 참조)과 토양조건, 적용처의 조건(단독주택, 연립주택, 상업용건물), 운전방법(온도조건에 따른 단독난방, 냉난방, 단독냉방), 열원, 저장조, 분배시스템(공기, 물), 히트펌프 유닛의 설계조건, 시스템



[그림 8] 미국과 일본의 기후조건 및 스웨덴, 노르웨이, 핀란드의 지중수 온도분포



[그림 9] 소용량 지열히트펌프 시스템



[그림 10] 대용량 지열히트펌프 시스템

의 설계조건 과 제어전략 등이 다루어 졌다.

각각 **그림 9**와 **그림 10**에는 소용량 및 대용량 지열원 히트펌프시스템을 보여주고 있다.

지열원의 설계를 위해 고려할 사항은 기후조건, 토양의 온도 및 특성 및 열원과 heat sink 시스템 이 분배시스템과 더불어 건물의 형태에 따라서 함께 고려 되어야 할 것을 권하고 있다. 또한 시스템 및 주요핵심 기기 각각의 효율향상이 중요하며, 토양과의 열교환시, 비독성 물질, 즉 환경 친화적인 물질의 사용과 냉매의 누설방지 및 온실 가스효과가 없는 냉매를 사용할 것을 요구하고 있다. 더 나아가서는 경쟁력을 갖도록 보조금제도 및 규정의 정비도 요청되고, 얻어진 정보들이 정부, 제작자, 설계자, 연구자 등에 공급되어 활용되게 할 것과, 지열원의 사용을 위한 훈련체계의 정립도 요구하고 있다.

4. 지열히트펌프 국내외 보급 현황

지속가능, 재생가능한(Sustainable & Renewable) 지열에너지를 이용하는 지열히트펌프는 다른 신 재생에너지와 초기투자 비용을 비교하자면, 대략 1,000kcal/h를 생산단위로 하였을 경우 태양열은 400만원, 태양광은 1,200만원, 풍력은 500만원, 지열히트펌프는 150만원 정도로 초기비용이 소요되어 지열히트펌프 시스템이 가장 저렴한 초기 비용이 소유되는 것으로 분석되고 있다. 신재생에너지의 주요 적용분야는 지열히트펌프 경우 난방 및 급탕에너지의 공급이며, 태양열은 난방 및 온수 생산이고, 태양광 및 풍력은 전기 생산이다. 전반적인 국내 여건으로 보았을 때 태양열과 태양광은 지역별 차이는 있지만 태양에너지 밀도가 낮고 계절별 차이가 심하여 이용에 제한이 따르며, 풍력 또한 비바람이 많은 지역에 적합하나 국내 바람에너지 밀도에 따라 적용처가 제한되어 있다. 반면에 지열은 전국 어느 곳에서도 이용이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

미국 환경보호청(EPA)에 따르면 “지열 히트펌

프시스템은 현존하는 건물의 난방 기술 중에서 가장 효율이 높고, 환경 친화적인 방법이다.” 라고 규정하고 있다. 또한 이산화탄소 배출 절감을 위한 방안 중에서 가장 경제적이고 효과적인 방법으로 인식하여, 많은 국가들이 각종 지원을 통해서 보급을 확대하기 위해 노력하고 있다.

지열에너지의 세계적인 보급정책 및 추진 현황을 보면 미국의 경우 2000년 기준 지열이용 히트펌프가 35만여 대가 보급되었고, 관공서, 군부대, 학교 등 공공기관 설치가 이루어져 미국의 전체 난방에너지 중 지열에너지가 1% 정도의 점유율을 보이고 있으며, 2010년 까지 지열이용 열펌프 150만여 대를 보급할 전망이다.

일본의 경우에는 시청, 병원, 도서관 등 시범사업으로 300여대를 보급하였고, 2010년에는 10만여 대를 보급할 것으로 예상하고 있다.(NEDO) 또한 유럽에는 독일, 스웨덴 등을 중심으로 보급이 활발하며, 1998년 기준 약 12만대가 보급된 것으로 추정하고 있다. 세계적으로는 2000년을 기준으로 지열히트펌프의 총 설치용량은 약 7 GW에 달하며, 지난 10년간 세계시장규모는 매년 약 12%씩 성장하여 왔으며, 최근에는 급격한 성장 속도를 보이고 있다. 특히 지열히트펌프 이용 비율 중 농업분야가 차지하는 비중이 10% 이상으로 높아지고 있다.

국내의 지열이용 및 적용은 2005년부터는 “신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법”으로의 시행과 더불어 국가 연구개발, 일반보급사업, 지역에너지사업, 용자사업 등 다양한 형태로 확대보급이 원활하게 이루어지고 있다. 해외 농업분야에서의 지열히트펌프 보급을 10%라고 가정할 때 국내 보급은 매우 적어 이 분야에의 적용이 요구된다.

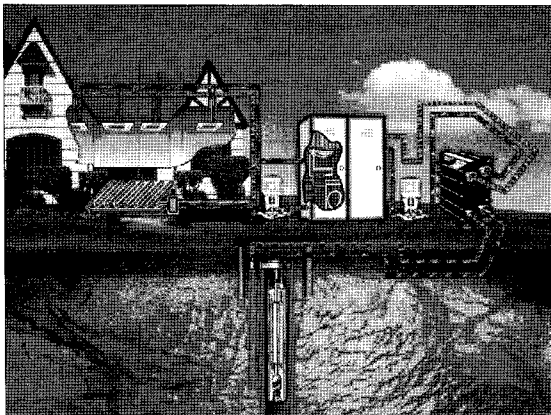
5. 지열원 히트펌프(Geothermal or Ground Source Heat Pump) 시스템

히트펌프란 카르노 및 역카르노 사이클을 통해

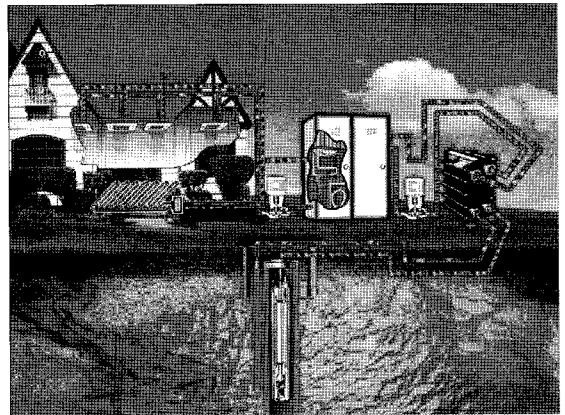
히트펌프 내 압축, 응축, 교축, 증발 과정을 거치면서 열원으로부터 열을 흡수하거나 방출하여 냉열과 난방열을 공급할 수 있도록 구성된 유니트로서 구조는 에어컨 시스템과 유사하나 난방이 가능하도록 장치가 추가 장착 되어 에어컨 기능의 냉방뿐만 아니라 난방이 겸용되게 구성된 장치로써 열원에 따라 명칭이 분류되며 표 3과 같은 특징을 가지고 있다. 대기열원(공기, 물, 토양) 히트펌프는 공기, 물, 토양을 열원으로 사용하며, 배기 히트펌프는 공기조화에 따라 유입 배출되는 공기열원을 열원으로 이용하는 냉난방시스템이다. 또한, 폐수열 히트펌프는 주거에서 버려지는 생활용수나 산업체 공정 후 버려지는 폐열원을 이용하여 냉난방하는 시스템이다. 지열히트펌프

시스템의 열원으로는 태양이 비치는 지표 전체에 에너지가 사용되며 지중, 지하수, 지표수(하천), 해수 등을 총 망라해서 사용할 수 있다.

지열히트펌프 시스템은 크게 지중루프와 기계실루프, 실내루프로 나뉘며 지중루프에는 지중과 열교환 할 수 있는 열 이송 펌프 및 지중 루프열교환기(ground-loop heat exchanger)가 설치되고 기계실루프에는 히트펌프, 열교환기, 열 이송 장치 등이 설치되며 실내에는 히트펌프와 연결되어 실내냉난방을 수행할 수 있는 바닥코일, FCU, AHU등이 설치된다. 그림 11과 그림 12는 지열원 히트펌프의 냉방 및 난방 흐름도를 나타내고 있다. 난방 시 지중열교환기를 이용하여 히트펌프에서 발생된 증발열을 지중을 통해 열교환하고



[그림 11] 지열원 히트펌프 난방운전



[그림 12] 지열원히트펌프 냉방운전

<표 3> 열원에 따른 히트펌프 종류

열원 종류	특징	온도범위(℃)
대기	외기온도의 변화가 심함, 제한없이 사용가능	-10 ~ 15
배기	주거 및 상업용에 사용	15 ~ 25
지하수	안정적인 열원, 연중변화가 거의 없음	4 ~ 10
호수, 하천수	매우 우수한 열원, 중대형 히트펌프에 이용 겨울철에도 하천 하부는 약 4℃ 이상 유지	0 ~ 10
해수	중대형 히트펌프에 이용	3 ~ 8
바위	100 ~ 200m 깊이의 borehole 이용	0 ~ 5
지열(지표열)	주거 및 상업용에 사용, 안정적인 운전	0 ~ 10
폐수	우수한 열원, 주거용 및 상업용에 적용	>10

히트펌프는 역카르노 사이클을 통해 난방에 필요한 에너지를 만들어 실내로 공급하게 된다. 냉방 시 지중열교환기는 히트펌프에서 발생한 응축열을 지중과 열교환하면서 열을 방출하게 되고, 히트펌프에서는 카르노 사이클을 통해 냉방에 필요한 차가운 에너지를 만들어 실내로 공급한다. 지열히트펌프 유닛은 사용하는 방식과 열원과 싱크를 합쳐 물-공기 히트펌프 유닛(water-to-air heat pump unit)와 물-물 히트펌프 유닛(water-water heat pump unit)로 분류한다. 수직형에서는 일반적으로 50m 1공당 약 10평 정도의 냉난방이 가능하다고 보고되고 있다.

6. 맺음말

OECD국가를 회원으로 하는 IEA의 히트펌프분야 중 지열원 히트펌프의 연구동향에 대하여 살펴

보았다. 지열에너지열원 시스템은 초기 투자비의 장애 요인에도 불구하고 에너지의 효율적 이용과 환경 문제에 대한 핵심기술로 인정되어 선진국을 중심으로 하여 전 세계적으로 과감한 연구개발과 보급 정책 등이 추진되고 있다. 냉난방, 급탕에서의 에너지가 증가됨에 따라 지열원을 활용하는 히트펌프시스템은 날로 증가될 것으로 예측된다. 따라서 균일한 열원특성을 지닌 지열원활용 히트펌프의 초기투자비의 절감과 신뢰성의 확보, 고효율을 얻기 위한 지속적인 연구개발 및 보급확대를 위한 국제적인 협력이 요구되는 시점이다.

참고문헌

1. IEA-ETP 2008 보고서
2. IEA/HPP Annex 29 보고서, 2010 