일반원고

# 지열원이용 히트펌프 보급 사례

박 성 룡 박사
/ 한국에너지기술연구원 미활용에너지연구센터

## 1. 서언

### 1.1 신재생에너지의 도입 배경

인류 문명의 발달에 따른 폭발적인 산업 활동으로 인하여 자연의 수용 한계를 벗어나는 현상이 전 세계적으로 일어나고 있다. 화석에너지의 지속적 사용을 기반으로 하는 산업공정, 각종 폐기물, 농축산업에 따른 부산물 및 비료 사용 등으로 인하여 우리의 생태계를 위협하는 급격한 지구 환경 변화가 발생하게 된 것이다.

특히 에너지 다소비 구조로 되어있는 우리나라의 경우 OECD에서 발표한 2003년 통계연감에 따르면 국내 에너지 소비는 OECD평균 14.5% 대비 82.9%로 5배 이상의 증가율을 보이고 있으며, 에너지 소비증가율에 따른 이산화탄소 증가량 또한 OECD평균 13.2% 대비 73.6%로 선진국에 비해 높은 증가량을 보이고 있다.

이산화탄소 배출과 관련한 국내 상황을 살펴보면 1995년 국내 탄소 배출량 1억 2300만 TOE를 100으로 보았을 때 2013년에는 175%, 2020년에는 199% 온실가스 배출 전망치가 나오고 있으며 이는 교토의정서에 조인한 국내 의무 감축량 달성을 위하여 무려 95%를 감축해야만 하는 수치이다. 한국이 2013년부터 온실가스 감축 의무를 진다면 예상되는 경제적 여파는 발전량의 30% 축소, 정유 · 철강 · 시멘트 생산량의 50% 감소와 원자재 품귀로 인한 경제성장 저하와 2020년 실업률 10%이상의 증가라는 암울한 전망들이 나오고 있다.

국제 에너지 상황을 분석한 결과, 에너지 수요의 지속적인 증가는 고비용의 에너지 가격 지불을 초래하여 경제성장의 치명적 위협요소가 되고 있음을 확인할 수 있다. 이에 따라 자연과 에너지에 대한 새로운 패러다임과 실천이 필요하게 되었으며 이는 신재생에너지의 개발과 보급에 대한 역사적 필연성을 재확인하는 계기가 되었다.

2045년이면 석유 등 화석 연료가 고갈이 예상되는 가운데 신재생에너지는 2050년에 이르면 인류가 사용하는 전체 에너지의 절반 이상을 차지할 것으로 보이며, 전 세계적으로 20~30% 씩 성장하여 정보기술, 바이오산업 등과 함께 21C의 최첨단 산업이 될 것이다.

### 1.2 국내외의 신재생에너지 추진 동향

1988년부터 신재생에너지 보급 계획을 추진해 왔던 정부의 에너지 · 환경변화에 대응한 신재생에너지 정책은 크게 두 가지로 첫째는 화석에너지소비를 감축시키고자 하는 것이고 두 번째는 교토의정서에 대비하고자 하는 것이다.

정부가 지정한 신재생에너지의 분야는 태양열, 태양광, 바이오에너지, 풍력, 수력, 지열, 해양, 폐기물 등의 8개 분야와 신에너지로 분류되는 연료전지, 석탄액화가스화, 수소에너지 3개 분야로 구성된다. 정부는 신재생에너지 추진 정책에 따라 2003년 2.06%, 2005년 2.63%, 2012년 5.6%의 비율로 기존의 화석 에너지 사용을 신재생에너지로 대체하려는 계획을 가지고 세우고 있다. 이를 위하여 공공기관의 신재생에너지 사용 의무화와 민간보급사업 활성화를 통해 보급 확대에 노력하고 있다.

정부의 교토의정서 대비전략은 2012년 국내 총 $CO_2$ 배출량에 900만 탄소톤을 저감시키고자 총 1,400억원의 사업비를 산정, 2002년부터 2012년까지 3단계로 이루어진 10년간의 실천 방안을 가지고 대응해 나가고 있다. 이산화탄소 저감 및 처리기술개발 사업이 계획대로 진행된다면 1조 5천억원의 경제적 효과와, 기술수준의 세계 10위권에 진입이라는 목표가 달성될 수 있을 것이다.

선진국에서도 강력한 국가 의지를 가지고 신재생에너지 개발 및 정책들이 시행되고 있다. 미국의 경우에는 2010년까지 1백만호 Solar Roofs Program을 가동, 2010년까지 총 자동차중 25%를 연료전지 자동차로 보급, 에너지부(DOE)주관으로 National Earth Comfort Program을 통해 1994년부터 2000년 까지 지열 히트펌프 시스템 프로그램에 1,200억원을 지원 하였다.

일본은 New Sunshine 계획의 일환으로 2010년까지 160만호 태양광 주택보급, 5만대의 연료전지 자동차, 40만 가구의 가정용 연료전지 보급과 주앙정부 및 지자체에서 설치비용의 2/3을 지원하며, 설치 장소당 1억원 정도를 예상해 지열열펌프 시범사업을 진행하고 있다.

신재생에너지의 보급이 가장 활발한 유럽은 2010년까지 신재생에너지 사용 비중을 12%로 확대시켜 1990년 수준 대비 $CO_2$ 15% 감축 목표를 정하고 있다.

## 2. 지열히트펌프 시스템

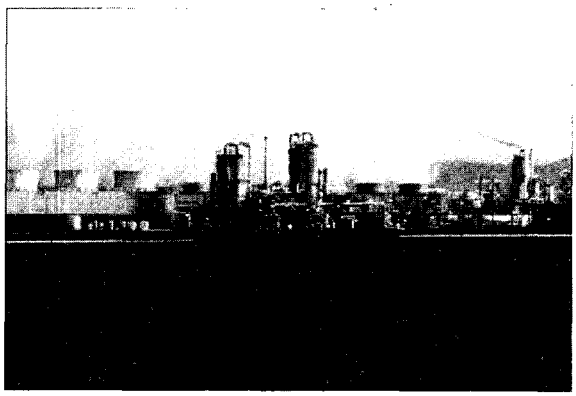
### 2.1 지열 에너지의 이용

지열에너지는 크게 지중열과 지표열로 나눌 수 있으며, 그 중 하나인 지중열은 지구중심에서 방사선 동위원소가 붕괴하면서 끊임없이 생성되는 열에너지로서 마그마가 지표가 얇은 쪽으로 방출하는 열에너지를 이용하는 것이다. 지중열 이용 방식은 두 가지의 형태로 화산 및 노천온천 등에서 발생한 온수를 사용하여 온천 및 난방에 이용하는 자연적인 방식과, 지중에서 발생하는 증기를 이용하여 터빈을 구동시켜 발전에 이용 하는 방식이 있다(**그림 1, 2**).

지열에너지의 또 하나의 형태인 지표열은 태양에너지로서 대기권에 들어오는 전체 태양에너지 중 지표에 흡수되는 47% 정도의 에너지를 이용하는 것이다. 지열히트펌프를 이용한 냉난방에 사용하거나 하절기와 동절기에는 지중에 에너지를 저장(Underground Thermal Energy Storage)하여 이용할 수 있다.

지표열은 연중 12~25℃의 안정적인 온도를 유지하고 있으며 히트펌프를 이용하여 난방에 필요한 40℃ 이상, 냉방에 필요한 7℃ 정도를 만드는데 효율적이고 적합하다. 보통 히트펌프에 이용하는 범용 지열구간은 지하 500 m 이내로 온도 변화가 대기의 온도 변화에 비해 훨씬 적고, 대기 온

[그림 1] 지중열



[그림 2] 지열발전시스템

도변화에 비해 지하의 온도 변화가 지연되어 안정적인 온도를 유지하는 특징을 가지고 있다.

### 2.2 지열의 부존량

EPRI(Electric Power Research Institute)의 1978년 보고에 따르면 지표에서 3 km 이내에서 이용할 수 있는 지열의 부존량은 $12\times10^{12}$ GWht ($43\times10^{6}$ EJ)로 2001년도 전세계 에너지 소비량 420EJ 과 비교해 보았을 때 약 100,000년 동안 사용할 수 있는 엄청난 양이다.

### 2.3 재생에너지별 사용량

2001년도 기준으로 재생에너지의 사용량은 **표 1**에서와 같이 1,384 Mtoe로서 세계 1차 에너지 사용량인 10,038.3 Mtoe중 13%에 달한다. EREC의 2004년 자료에 의하면 표2에서 보듯이 재생에너지별 사용량은 바이오메스가 79.2%, 대수력이 16.3%를 차지하고 있으며, 기타 재생에너지가 4.5%를 차지하고 있음을 알 수 있다. 기타 재생에너지 총사용량을 100%로 보았을 때 지열에너지 사용이 69.9%로 가장 높은 사용량을 나타냈고 소수력 15.4%, 풍력 7.6%, 태양열 6.8% 순으로 재생에너지 사용량이 나타났다.

### 2.4 지열히트펌프 국내외 보급 현황

지속가능, 재생가능한 (Sustainable & Renewable)지열에너지를 이용하는 지열히트펌프는 다른 신재생에너지와 초기투자 비용을 비교하자면, 대략 1,000 kcal/h를 생산단위로 하였을 경우 태양열은 400만원, 태양광은 1,200만원, 풍력은 500만원, 지열히트펌프는 150만원 정도로 초기비용이 소요되어 지열히트펌프 시스템이 가장 저렴한 초기비용이 소유되는 것으로 분석되고 있다. 신재생에너지의 주요 적용분야는 지열히트펌프 경우 냉난방 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.

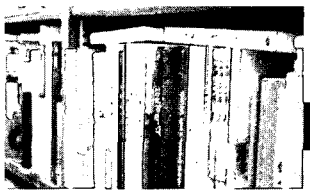
미국환경보호청(EPA)에 따르면 "지열 히트펌프시스템은 현존하는 건물의 냉난방 기술 중에서 가장 효율이 높고, 환경 친화적인 방법이다" 라고 규정하고 있다. 또한 이산화탄소 배출 절감을 위한 방안 중에서 가장 경제적이고 효과적인 방법으로 인식하여, 많은 국가들이 각종 지원을 통해서 보급을 확대하기 위해 노력하고 있다.

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 냉난방에너지 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 보급

<표 1> 재생에너지별 사용량

| | 바이오메스 | 대수력 | 기타 재생에너지 | | | | | | | 계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 소수력 | 풍력 | 태양광 | 태양열 | 지열 | 해양 | 소계 | |
| MTOE | 1,080 | 222.7 | 9.5 | 4.7 | 0.2 | 4.2 | 43.2 | 0.05 | 61.85 | 1,364.54 |
| % | 79.2 | 16.3 | (15.4) | (7.6) | (0.3) | (6.8) | (69.9) | (0.0) | 4.5 | |
| | * 1 TOE = 42 GJ (= 10 Gcal); 43.2 MTOE = 1.8 EJ | | | | | | | | | |





이 활발하며, 1998년 기준 약 12만대가 보급된 것으로 추정하고 있다.

세계적으로는 2000년을 기준으로 지열히트펌프의 총 설치용량은 약 7 GW에 달하며, 지난 10년간 세계 시장규모는 매년 약 12%씩 성장하여 왔으며, 최근에는 급격한 성장 속도를 보이고 있다.

지열히트펌프 이용 비율 중 농업분야가 차지하는 비중이 10% 이상에 달하고 있으며, 농가에 대한 지열히트펌프 보급의 급속한 증가에 따라 농가에 대한 보급률 또한 높아지고 있다.

국내의 지열이용 및 적용은 대체에너지이용 및 보급에 관한 법률이 전면개정되어 2005년부터는 "신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법"으로의 시행과 더불어 국가 연구개발, 일반보급사업, 지역에너지사업, 융자사업 등 다양한 형태로 확대보급이 원활하게 이루어져 2004년 현재 보급현황은 1,768RT(냉동톤) 정도이나 대부분 관공서나 일반 건축물의 적용으로 한정되어 있다.

지열히트펌프의 농업의 적용은 농촌 진흥청의 연구 사업을 제외하고 전체 보급률이 100RT(냉동톤) 미만으로 해외 농업분야에서의 지열히트펌프 보급을 10%라고 가정할 때 국내 보급은 전무하다 할 수 있다.

## 2.5 지열 히트펌프(Geothermal heat pump) 시스템

### 2.5.1 히트펌프

히트펌프란 카르노 및 역카르노 사이클을 통해 히트펌프 내 압축, 응축, 교축, 증발 과정을 거치면서 열원으로부터 열을 흡수하거나 방출하여 냉열과 난방열을 공급할 수 있도록 구성된 유닛으로서 구조는 에어컨 시스템과 유사하나 난방이 가능하도록 장치가 추가 장착되어 에어컨 기능의 냉방뿐만 아니라 난방이 겸용되게 구성된 장치로써 열원에 따라 명칭이 분류되며 **표 2**와 같은 특징을 가지고 있다.

대기(공기)히트펌프는 공기를 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 전체에너지가 사용되며 지중, 지하수, 지표수(하천), 해수 등을 총 망라해서 지칭한다. 지열히트펌프는 지중으로부터 열을 흡수하거나 저장하는 방식으로 냉방 또는 난방을 수행하게 된다. 냉방 운전시 열을 지중에 저장하고 난방 운전시 열을 지중에서 흡수하게 하는 방식이다.

지열히트펌프 시스템은 크게 지중루프와 기계실 루프, 실내루프로 나뉘며 지중루프에는 지중과 열교환할 수 있는 열 이송 펌프 및 지중 루프열교환기(ground-loop heat exchanger)가 설치되고

**<표 2> 열원에 따른 히트펌프 종류**

| 열원 종류 | 특 징 | 온도범위(℃) |
|---|---|---|
| 대기 | • 외기 온도의 변화가 심함 • 제한 없이 사용이 가능함 | -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<br>• 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) | • 주거및 상업용에 사용 • 안정적인 운전 | 0~10 |
| 폐수 | • 우수한 열원 • 주거용 및 산업용에 적용 | >10 |

기계실루프에는 히트펌프, 열교환기, 열 이송 장치 등이 설치되며 실내에는 히트펌프와 연결되어 실내냉난방을 수행할 수 있는 바닥코일, FCU, AHU 등이 설치된다. **그림 3**과 **그림 4**는 SCW공법의 지열원 히트펌프의 냉방 및 난방 흐름도를 나타내고 있다. 난방 시 지중열교환기를 이용하여 히트펌프에서 발생된 증발열을 지중을 통해 열교환하고 히트펌프는 역카르노 사이클을 통해 난방에 필요한 에너지를 만들어 실내로 공급하게 된다. 냉방시 지중열교환기는 히트펌프에서 발생한 응축열을 지중과 열교환하면서 열을 방출하게 되고, 히트펌프에서는 카르노 사이클을 통해 냉방에 필요한 차가운 에너지를 만들어 실내로 공급한다.

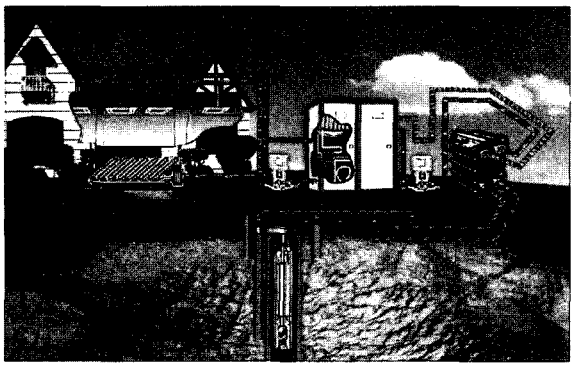
지열히트펌프 유닛은 사용하는 방식에 따라 열원과 싱크를 합쳐 물-공기 히트펌프 유니트(water-to-air heat pump unit)와 물-물 히트펌프 유니트(water-water heat pump unit)로 분류한다.

### 2.5.2 지열원 히트펌프의 열원 이용 방식에 따른 분류

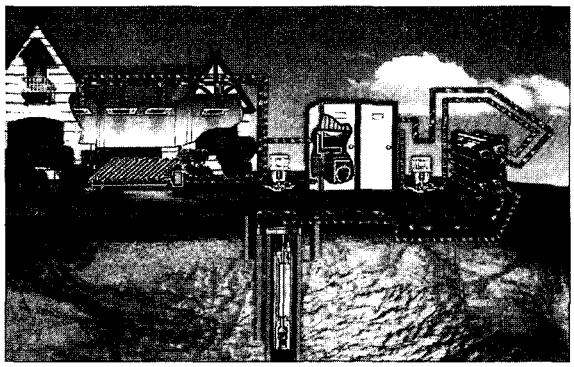
지열 이용 방식에 의한 분류는 지중루프에 따라 열원수가 밀폐되지 않은 회로를 순환하는 개회로 방식과 냉매 또는 순환수가 밀폐된 회로 안을 순환하는 폐회로 방식으로 이루어진다.

지표열과 지중열의 이용 방식은 부동액 폐회로(Ground-Coupled Heat Pump) 방식으로 지중에 PE파이프(3/4~2")를 매설하거나 냉매 회로 동관을 직접 지중에 매설하여 사용하는 직접 팽창 방식 등이 있다.

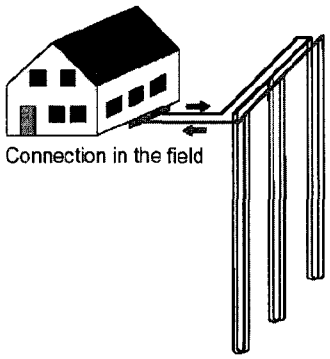
부동액 폐회로 방식은 각각 **그림 5**와 **그림 6**의



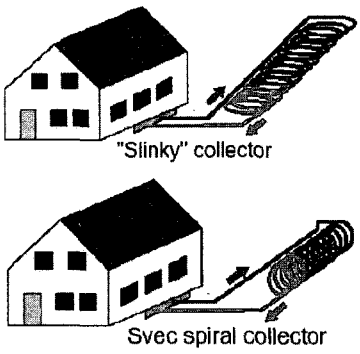
[그림 3] 지열원 히트펌프 난방운전



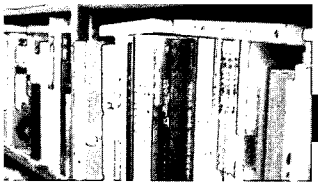
[그림 4] 지열원 히트펌프 냉방운전




[그림 5] 수직 밀폐형 지중열교환기




[그림 6] 수평 밀폐형 지중열교환기





수직밀폐형과 수평형으로 나누는데 수직밀폐형 방식은 직경 6~8"의 관경에 50~200 m 가량 천공 후 U 타입의 PE파이프와 그라우팅 파이프를 지중으로 매설하고 관정 속을 그라우팅 재료로 채운다. 이때 PE파이프 안에는 부동액을 주입하고 열매체를 순환하면서 지중과 열교환을 하게 된다. 일반적으로 50 m 1공당 약 10평 정도의 냉난방이 가능하다. 수평형은 포크레인을 통해 지중 1~3 m 가량을 파낸 후 PE파이프를 매설하게 되는데 그 형태는 직선형, 슬린키(Slinky)형, 스파이럴(Spiral)형으로 나뉜다. PE파이프를 매설 후 다시 되메움을 하게 되며 열매체를 파이프 내에 주입시켜 지중과 열교환을 하게 되는데 10평의 냉난방을 하기 위하여 대략 150~200 m 가량의 파이프를 매설하여야 한다.

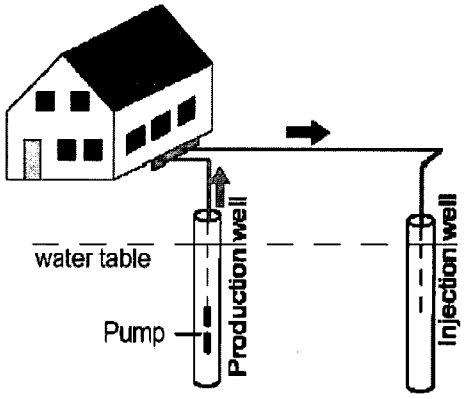
최근에는 동관을 지중에 직접 설치하여 냉매를 직접 순환시키는 직접팽창방식(Direct Expansion Type)도 소규모(10RT 이하)에 적용하기 시작하였다.

지하수 열원 이용 방식은 역사가 가장 긴 지열히트펌프 방식이며 가장 효율이 높은 개방회로 방식으로 2개의 관정을 이용하여 하나의 관정에서 물을 퍼내고(production well), 열교환을 한 후 다른 관정에 주입(injection well)하는 Two Well 방식(**그림 7**)과 최근에 대규모 용량에 급속도로 보급되기 시작한 **그림 8**의 SCW((Standing Column Well)로 나누어진다. 지표수(호수, 해수, 하천수)는 PE파이프를 사용하는 밀폐형과 열원을 직접 이용하는 개방회로형으로 나누어진다.

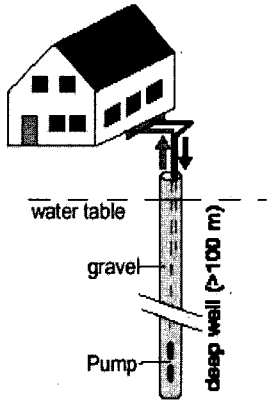
**표 3**은 여러 지열 방식에 따른 특징을 나타내고 있다.

**<표 3> 지열원 방식에 따른 특징**

| 연건평(1,000평) 100RT기준 | 수직 밀폐형 방식 | 수평형 방식 | SCW방식 (Standing Column Well) | 하천수 방식 |
|---|---|---|---|---|
| 설치비용 | 높음 | 가장 낮음 | 중간 | 낮음 |
| 용량<br>천공수/<br>공간면적 | 중소 용량에 적합<br>100m깊이 *50공<br>설치공간 300평 | 소용량에 적합<br>25,000m 매설길이<br>1,200평 공간필요 | 중대용량 적합<br>500m깊이* 3공<br>미사용 공간 활용가능 | 중대용량 접합<br>천공 없음<br>배관라인 매설 |
| 시스템특징 | 긴 시공기간<br>동절기 성능 저하<br>농업적용 어려움 | 짧은 시공기간<br>동절기 성능저하우려<br>농업적용 유리 | 짧은 시공기간<br>동절기성능우수<br>농업적용 유리 | 짧은 시공기간<br>동절기 성능 우수<br>대규모 농업단지 적용 가능 |




[그림 7] Two Well 지중열교환기




[그림 8] SCW 지중열교환기

## 3. 지열히트펌프 시스템 보급 사례 (SCW공법)

### *3.1 SCW(Standing Column Well)공법의 개요*

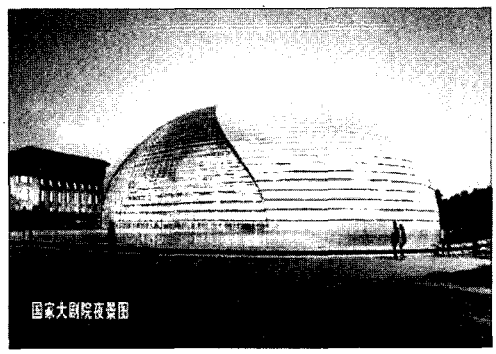
지열원이용 방식 중 하나인 SCW공법은 하나의 관정에서 열매체로 물을 순환하여 열교환한 후 이를 다시 동일한 관정에 주입하는 방식으로서 암반 절리가 발달된 지역에 유리하며 주요 성능 인자로는 암반의 형태, 순환유량과 열전달 깊이 등이 있다.

1994년 미국에 Carl Orio가 동부지역에서 처음 시작하여 최근에는 낮은 설치비용, 저 운전비용, 시스템 고효율 등으로 주목을 받기 시작하였고, 다른 지열히트펌프 시스템보다 설치 면적이 작고 안전한 온도 안정성 유지, 열복원력 등으로 인한 장점으로 미국에는 1,000곳 이상이 설치되어 있고, 캐나다 및 중국 등에서 보급이 급속도로 증가하고 있는 추세이다. 또한 현장에서 높은 성능이 검증됨과 동시에 연구 또한 병행하여 진행되고 있으며 주요 연구로는 1970년 오클라호마 대학의 Dr. Bose가 SCW현장 시험을 수행한바 있고 후에 루지애나대학의 Dr. Braud 교수 등이 연구를 진행하고 있다. SCW공법의 특징 중 하나는 우리나라처럼 난방부하가 큰 지역에서 적용이 많다는 점인데 미국의 북태평양지역이나 캐나다, 중국 등 난방부하가 크거나 난방 기간이 긴 지역에 주로 적용하고 있다.

### *3.2 국내외 SCW공법의 설치 사례*

3.2.1 중국(그림 9)

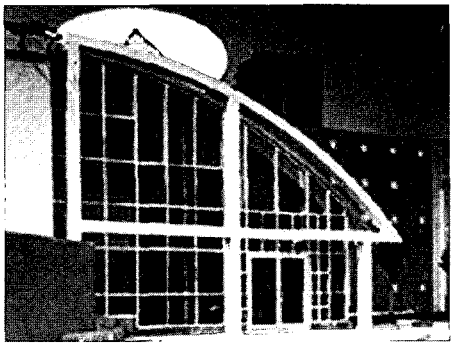
3.2.2 미국(그림 10)



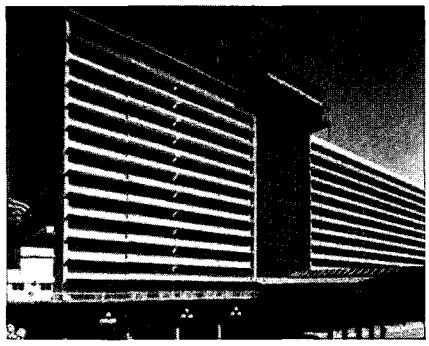

북경 국립극장 건물규모 10,800평

북경 수도철강 농구장 건물규모 7,600평

[그림 9] 중국



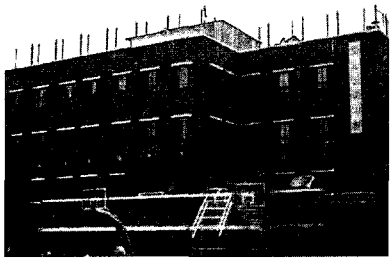
The galt House East Hotel 건물규모 21,200평



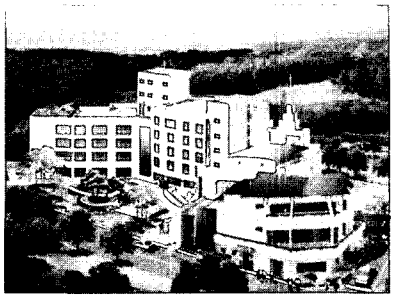
The West Philadelphia Enterprise Center 건물규모 3,000평

[그림 10] 미국

3.2.3 한국(그림 11)

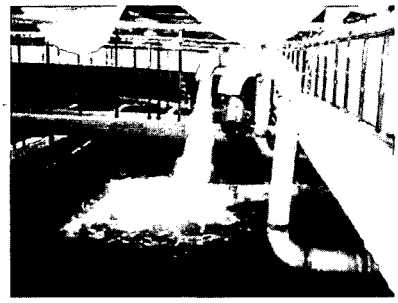


서울다니엘사회 복지원 건물면적 600평, 100RT

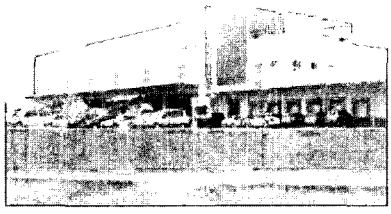


청주 율량 노인복지회관 건물면적 750평, 70RT

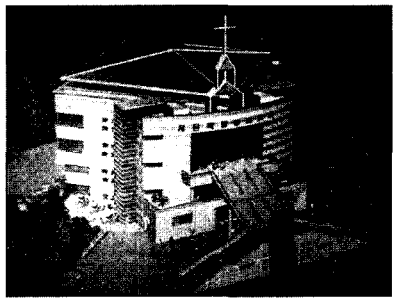
진주 난농원 건물면적 600평, 65RT



예산 봉경 양어장, 100RT 수조 3,000톤

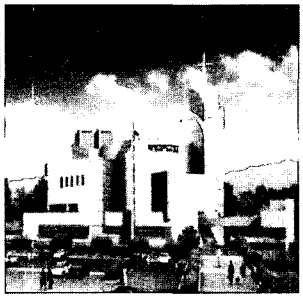


원주 훼밀리마트 건물면적 1,800평, 90RT

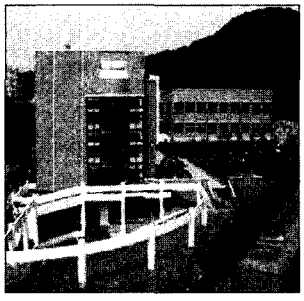


서산 제일장로교회 건물면적 1,460평, 180RT

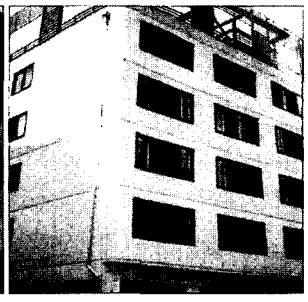
청원 펜션 건물면적 150평, 15RT



원주 학성감리교회 건물면적 2,300평, 300RT



인천사회복지관 건물면적 1,700평, 120RT



진주 오피스텔 건물면적 450평, 30RT

[그림 11] 한국

## 4. 맺음말

신재생에너지는 과다한 초기 투자의 장애 요인에도 불구하고 화석에너지의 고갈 문제와 환경 문제에 대한 핵심 해결 방안이라는 점에서 선진국을 중심으로 하여 전 세계적으로 과감한 연구개발과 보급 정책 등이 추진되고 있다.

최근 유가의 불안, 기후변화협약의 발효 가능성을 두고 볼 때 우리 나라의 신재생에너지 사업 또한 다각도에서 추진되어야 한다.

신재생에너지 중 가격경쟁력이 가장 높고, 적용이 용이한 지열히트펌프 시스템의 확대 보급은 신재생에너지 보급에 주요한 대안으로 판단되며 이를 통하여 인간과 환경을 동시에 고려하여 쾌

적한 환경을 유지하면서 지속가능한 에너지원을 이용하는 선진국으로의 도약에 기여할 수 있을 것이다.

## 참고문헌


1. J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis and G. Hellstrom, 2003, "Ground-source Heat Pumps a World Overview", Renewable Energy World, July-August 2003, pp. 218-227
2. Oliver, J., and H. Braud, 1981. Thermal exchange to earth with concentric well pipes. Transactions of ASAE. 24(4): 906-910.
3. Orio, C.D. 1994. Geothermal heat pumps and standing column wells. Geothermal-sources Council Transactions, 18: 375-379
4. Freeze, R.A. Cherry, 1979. Groundwater. Englewood Cliffs, N J : Prentice-Hall, Inc.
5. 김현진, 동용승. 2004, Issue Paper 에너지 확보를 둘러싼 신국제질서: 전망 및 시사점
6. C. D. Orio. 1994, "Geothermal Heat Pump and Standing Column Wells", Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 18.