



일반원고

대수층을 축열체로 활용한 지열원열펌프(GSHP) 시스템

한 혁 상 / (주)씨엔이
한 규 상 / (주)한서엔지니어링

1. 서언

많은 사람들이 지금부터 반세기내에 지구상의 화석 연료는 대부분이 고갈 될 것이라고 예상하고 있다. 화석 연료가 거의 부존되어 있지 않아 에너지의 해외 수입 의존도가 97%에 이르며 2003년도 국내 에너지 수입액이 총수입액의 21%에 해당하는 383억불 규모의 에너지를 수입한 우리나라는 매년 에너지 소비량이 36%씩 증가하는 세계 10위의 에너지 소비국이다.

현재 국내유가는 국제정세의 불확실성 등으로 인해 1배럴당 50불을 넘어섰으며, 혹자는 수년내 1배럴당 유가는 100불을 상회 할 것이라 예측하고 있다. 이와 같이 고유가상황이 지속되면 자원 빈국인 우리의 경제성장은 지대한 악영향을 받아 유가가 배럴당 1\$ 상승하면 경제 성장률은 0.1%p 하락하는 매우 취약한 에너지 공급구조를 이루고 있다.

따라서 비교갈성, 재생 및 청정에너지이면서 우리발밑에 무진장 부존되어있는 천부 지열을 위시한 대체에너지 자원의 합리적인 기술개발과 이용은 우리나라와 같은 자원빈국이 추구해야할 필연적인 명제이다. 이와 같은 시점에 정부는 2011년까지 총 에너지 소비에 대한 신재생 에너지 비중을 5%까지 확대 시킬 예정이며 이 가운데 천부지열에너지 기술개발 이용률은 8%까지 확대 시킬 예정이라고 한다.

대수층을 축열체로 활용하는 GSHP시스템 기술개발은 천부 지열을 열원으로 이용하는 냉난방급탕 시스템의 국내보급에 장애요인과 당면한 문제점을 해소할 수 있는 기술이다.

- 지중열교환기 [geothermal heat exchanger, (지중열교환기)]설치를 위해 투자해야 하는 고가의 천공비를 경감
- 지중열교환기 부설면적의 과다로 필요한 부지확보 문제를 해결.
- 우리나라와 같이 난방부하가 지배적인 지역에서 장기적으로 지열원열펌프시스템을 운영할 때 지중온도 하강으로 인한 지열펌프의 성능저하를 방지 할 수 있다.

본 기술은 기존의 수문지열계(hydrogeothermal system)인 자연 대수층을 냉온축열체(geothermal storage body)로 활용하여 상술한 3 가지 문제점을 해소하고, 아울러 효율성을 향상시킨 양호한 지중축열체를 이용하는 기술이다.

이를위해 ①지하대수층을 축열체로 활용한 우리나라 현실에 알맞은 한국형 지하수열펌프시스템의 기반 구축과 최적화를 통한 국내 보급 활성화와 ②일반 지열원열펌프시스템의 지중열교환기 설계시 반드시 필요로 하는 기초 자료를 정립하여 방대한 량의 기존의 기상, 토양 온도 및 지중온도 변동 특성을 이 분야 기술자들이 어려움 없이 전산 모델에 적용할 수 있도록 하고 ③지중축열체를 이용하는 지하수열펌프시스템과 같은 개회로 시스템에서 실시하는 현장 열전도도 시험의 최적 시험절차와 방법에 관한 각종 경계조건하에서 분석 기법들이 설정 제시되어야 할 것이다.

지중, 지하수 및 지표수체, 호수, 강 및 바다와 같은 저급원의 열원을 이용하는 지열시스템을 지열원열펌프시스템(ground source heat pump, GSHP 또는 지원열펌프시스템)이라 하고 지중에



부설한 열전달 장치인 지중열교환기 일명 지중순환회로(geothermal heat exchanger) 통해 상술한 지중열을 흡수방열하는 시스템을 지중연결 지열펌프(ground coupled heat pump, GCHP) 시스템이라 한다. 이 가운데 지하수체가 보유하고 있는 열을 이용하는 시스템을 지하수열펌프(ground water heat pump, GWHP)라 하며 지표수체의 열원을 이용하는 시스템을 지표수열펌프(water source heat pump, WSHP)라 한다. 지열원열펌프시스템은 순환수의 회로방식에 따라 지열을 직접 이용한 다음, 그 인근에 소재한 수체(water body)로 방류하는 개회로형(open loop system) 시스템과 지중이나 수체내에 폐회로를 설치한 후 폐회로 내에서 순환하는 작동 유체(물+부동액 혹은 냉매)를 이용하여 필요한 열을 지중에서 추출하거나 방열하는 폐회로형(couple loop system) 시스템이 있다.

폐회로형 시스템은 지중열교환기의 설치형식에 따라 수평폐회로와 수직폐회로로 구분한다. 지열원열펌프시스템과 지중연결 지열펌프시스템에서 열을 전달하는 매체는 지중열교환기 속에서 순환하는 작동유체(물+부동액)이므로 지하수 지표수열펌프시스템을 포함하여 이들 시스템을 간단히 수원열펌프시스템(water source heat pump, WSHP)이라고도 한다.

지열을 이용하는 열펌프 시스템에 관한 기술개발은 1940년 후반과 1950년대에 미국과 유럽을 중심으로 시작되었으며 1973년 에너지 파동 이후 본격화하여 현재는 미국 유럽을 위시한 중국까지 그 이용률이 매년 급증하고 있다.

지난 10년간 지열열펌프의 보급률은 매년 10% 이상 성장하고 있다(미국은 연간 12%씩 증가).

지열원열펌프시스템 가운데 폐회로형 시스템은 열펌프의 응축열을 지중으로 방열하거나 지중열을 회수하기 위해 HDPE 파이프나 금속파이프를 지중에 부설한 일종의 열교환기로서 열교환 파이프의 형식에 따라 U-tube형식과 coaxial형 등이 있다.

U-tube형은 열유체의 유입배출관이 1 개 천공

내에 정적간격을 두고 각각 평행하게 설치된 것으로서 천공바닥에는 U-tube가 부착되어 있다. 이에 비해 coaxial 형식은 열유체의 유입관이 천공 중심부에 정치되어 있고 유입관 주변에는 열유체 배출관이 소재해있어 그 흐름방향이 반대인 일종의 열파이프 시스템(heat pipe)이다.

수직폐회로형 지열원열펌프시스템의 지중열교환기의 성능과 효율은 다음과 같은 제반 특성 인자에 따라 좌우된다.

- 해당 수문지열개의 열적특성과 수리지질학적특성
- 해당지역의 장기적인 대기온도와 지중온도의 변동특성
- 지하수의 유동특성 열펌프의 입출구 온도
- 지중열교환기를 통해 일별, 월별, 연간 지중으로 방열 및 흡수하는 열량

상술한 바와 같이 고려대상지역의 수문지열계의 특성, 지하수 유동특성, 특히 국내지역별 지중온도의 장기적인 변동특성이 제대로 규명되지 않은 상태에서 해당지역의 열적특성이나 열펌프의 구성요소의 성능만으로 지중열교환기를 합리적으로 설계하고 연구하는 데는 한계가 따를 수밖에 없고 특히 효율적이고 경제적인 지중열교환기 설계는 거의 불가능하다.

2. 지중축열체로서 지하 대수층의 역할

지중암석과 대수층은 보온성과 단열성이 매우 양호한 매체로서 국내의 경우 지표면하 5m하부에 부존되어 있는 천부지하수의 연평균은 수온은 14.3℃을 유지하고 있는 일종의 항온대를 이루고 있다.(지열펌프 냉난방 시스템, 한림원, 2004, 한정상외 참조)

인간을 위시한 각종 생태계에게 지하수 자원의 필요성은 재론할 여지가 없지만 보온병과 같은 기능을 가지고 있는 지하대수층으로 이루어진 수문지열계(hydrothermal system)가 무한한 열에너지 축열조(thermal storage)로서 역할을 하고

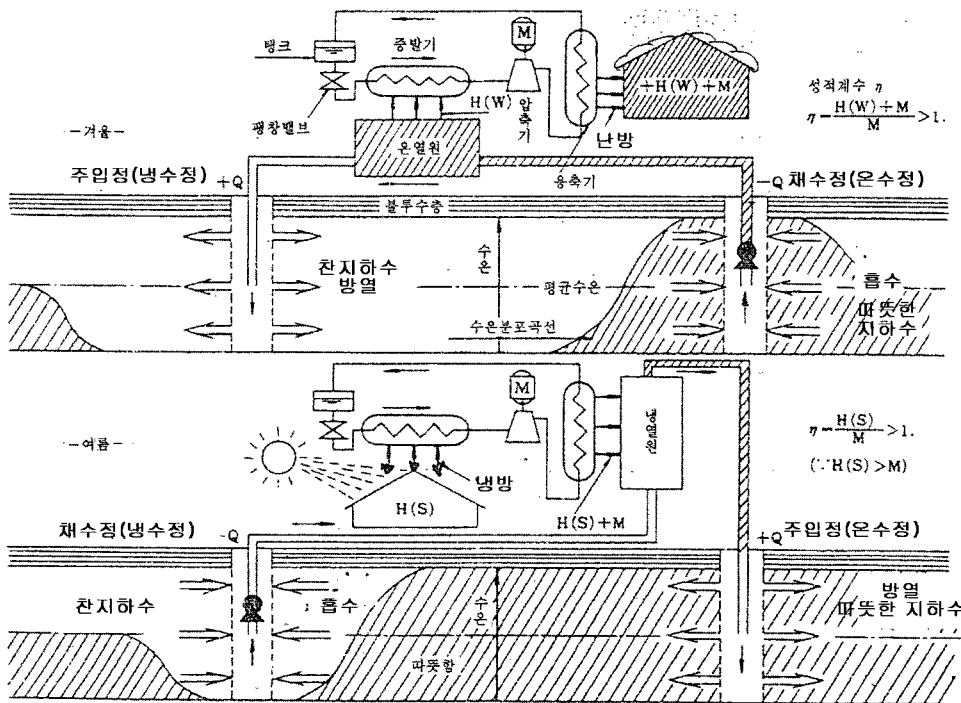
있음을 알고 있는 사람은 별로 없는 것 같다.

수문지열계인 대수층(지하수와 매체)이 일단 항온화되면 대수층의 보온작용으로 인해 대수층내로 주입시킨 냉온배수와 지하수는 대기와 차단되어 항온성을 지속적으로 유지할 수 있으며, 필요한 시기에 저장된 열에너지를 회수 이용하는 방법이 대수층을 지중축열조로서 이용하는 기본 원리이다. 즉 하절기에는 열펌프에서 생성된 온수정을 통해 대수층으로 주입(함양)시켜 지중축열체(대수층)의 온도를 상승시키고, 동절기에는 대수층으로 주입시킨 냉(冷)배수를 통해 축열수체의 온도를 하강시켜 이를 대규모 냉온축열체로 이용할 수 있다. 이 경우 축열대수층에 설치한 냉온수정에서 온수와 냉수는 필요시 순차적으로 주입채수하면 그림 1과 같이 온수정과 냉수정 부근에 냉수체와 온수체가 형성된다. 이와 같이 형성된 냉온수체가 서로 영향을 미치지 않도록 온수정과 냉수정 사이의 거리를 적절히 이격시켜 온도 간

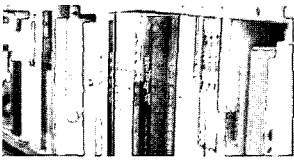
섭현상 (temperature penalty)을 최소화 시킨다.

이와 같이 냉온수정을 전용으로 설치한 후 냉온배수를 같은 우물에서 계절별로 번갈아가며 주입채수하는 천부 지열에너지 축열기법을 냉온수열기법 또는 항온화법이라고도 한다. 온배수 또는 냉배수를 수문지열계로 강제 주입채수할 때 발생하는 열 확산 및 순환기작으로 인해 광역지하수류에 미치는 영향은 주입량과 채수량과의 수리지질학적인 상대적인 관계와 대수층의 투수성, 열적 특성, 두께, 주입정과 채수정과와의 거리에 따라 달라진다. 따라서 장기간의 현장시험을 통하여 다양한 수문지열특성 자료를 규명한 후 도출된 수문지열계의 각종 특성을 토대로 하여 지중 냉온축열조의 규모, 에너지 저장량 등을 산정할 수 있다.

그림 1은 천부 지하수 열원을 이용하는 지하수 열펌프 시스템을 여름철과 겨울철에 운전할 때 지중에서 형성되는 냉온축열수체(水體)를 도시한 모식도이다.



[그림 1] 수문지열체를 축열체로이용시 겨울철 난방시와 여름철 냉방시 주입-채수정 부근에 형성된 냉온수 축열체의 분포도



이 시스템은 열펌프가 필요로 하는 적정온도의 열에너지를 공급하기 위해 채수한 지하수량 만큼 열펌프에서 생성된 냉온배수(지열추출 및 방열)를 대수층으로 번갈아가며 주입, 순환시키기 때문에, 과도한 지하수위 강하로 인한 지하수 고갈 현상이나 지하수 양수비의 상승과 같은 현상은 발생하지 않으며, 우리나라처럼 난방 위주지역에서 장기적으로 지중열을 지속적으로 추출함으로써 발생할 수 있는 지중온도의 하강은 물론, 고가의 지중열교환기 설치용 천공비용을 획기적으로 절감시킬 수 있어 지열원열펌프시스템 가운데 가장 효율적이고 경제적으로 설치 운영할 수 있는 지열냉난방시스템이다.

일반적으로 대수층의 축열체로서의 이용을 극대화하기 위해서는 수리지질학적인 관점에서 광역 지하수류가 미미한 지역 즉 지하수 유속이 빠르지 않은 평지 지역이 가장 유리한 지역이다. 국내에서 대용량의 냉난방 에너지가 필요한 지역은 인구밀집지로서 5대강 유역의 중하류 지역이나 하천 연변에 분포되어 있는 충적층과 봉적층 및 석회기산염 분포지역과 현무암류 분포지역이 지중축열기법의 최적 적용대상지이다.

대수층의 축열기능에 관한 연구는 이제 초기 시작단계이다.

3. 우리나라의 지하수열에너지와 천부 지하수자원

1~3월의 월평균 기온이 평균 0℃ 이하로 내려가는 우리나라의 경우에 여름철에 열펌프의 코일에서 생성된 온배수를 자연대수층으로 주입시킨 후, 다음 겨울철에는 최소 20~30℃ 정도로 축열된 지중축열체의 온배수를 채수하여 증발기의 열원으로 이용하고, 반대로 여름철에는 겨울철에 주입한 저온의 냉배수를 인해 5~10℃의 지중열을 유지하는 지하수를 응축기의 열원으로 재사용할 수 있다는 사실은 대체 에너지 열원으로서 천부 지하수의 중요성을 미루어 알 수 있다. 더구나 우

리나라와 같이 연평균 14.3℃의 열원을 가지고 있는 천부대수층 지하수를 언제 어디서나 개발 이용할 수 있다는 점은 국내 천부 지하수자원이 추후 국내 대체 열에너지 자원으로 크게 각광을 받을 수 있음을 예시 하고 있다.

우리나라는 4계절의 변동이 뚜렷한 위도에 소재해 있다. 여름철에는 아열대지방과 비슷한 더위가 2개월 이상(서울의 냉방도 일수 약303일) 지속되고, 겨울철에는 3~4개월 이상 난방이 필요한 한랭한 기후가 지속되며(서울의 난방도 일수 약 2800일 규모)봄과 가을은 냉난방이 필요하지 않는 평형온도를 유지하고 있다. 특히 여름철에는 우기와 태풍이 자주 내습하여 많은 강수가 내리고 겨울철에는 우기에 비해 다소 건조하긴 하나 상당량의 눈이 내리는 등 최근 30년간의 년 평균 강수량은 1,300 mm/년을 상회하며 지하수의 함양량은 연간 130억 m³을 상회한다. 한랭한 겨울철의 난방과 혹서기인 여름철의 냉방용으로 사용하는 냉난방 열에너지는 전체 에너지 소비량의 19.6%를 상회한다(에너지경제연구원, 2002).

이와 같이 기온이 정반대인 여름철과 겨울철에 필요한 냉난방 열에너지를 강수에 근원을 두고 있는 지하수 즉 수문지열계를 계절별로 축열시켜 이용한다면 국내 에너지 열원으로서 지하수의 이용가치는 증폭될 것이며 순수 열에너지의 97% 이상을 수입에 의존하는 우리의 경우, 에너지 절감효과를 통한 화석연료의 수입대체 효과 또한 지대할 것으로 사료된다.

지하수열펌프의 열원인 국내지하수는 그 온도가 14.3℃ 정도로 높기 때문에 공기원열펌프에 비해 성능계수가 훨씬 높아 경제적으로 운전이 가능한 열원으로서 추후 우리나라 현실에 알맞는 기법을 체계적으로 개발하여 실용화 나가야할 기술이다.

일반적으로 국내 지하수 수문에 대한 깊은 지식이 없는 식자들은 대체적으로 지하수열펌프 시스템을 다음과 같은 막연한 사유로 최적 지열원 펌프시스템의 대안에서 배제시키는 경우가 간혹 있다. 즉

- 적정량의 지하수 확보가 용이하지 않고

- 지하수를 열원으로 이용시 양수위가 낮아져 동력비가 과다하게 들고
- 지하수의 수질문제도 스케일이 발생할 수 있음을 제기하고 있다.

그러나 이와 같은 문제는 수리지질 전문가라면 수리지질학적인 접근법을 이용하여 충분히 해결 가능한 문제 등이다.

국내에는 투수성이 양호하고 수질이 양호하며 다량의 천부지하수를 개발 이용할 수 있는 수리지질조건을 갖춘 암종들이 있다. 그 대표적이 암종이 제4기의 충적층, 조립질 풍화대, 석회규산염과 현무암류이다. 이들 암종의 분포면적은 전국토의 약 61%에 이르며 이들 암종내에 부존된 지하수 부존량은 약 4,600억 m³에 이른다. 표 1참조

이들 암종은 대체적으로 국내 중대도시가 소재하는 5대강 유역의 중하류에 소재해 있으며 주로 지표면하 10~80 m 이내에 부존되어 있는 지하수이기 때문에 지하수 채수에 따른 양수위 강하는 소규모적이다. 일례로 국내에 분포된 충적층의 전국 평균심도는 7 m 정도라는 사실은 양수위가 크게 깊지 않음을 암시한다

또한 천부지하수를 포장하고 있는 충적층과 풍화대는 조립질의 모래로 이루어져 있어 열적 특성이 양호하고, 이들 내에 부존되어 있는 천부지하수의 수질은 과거에 우리조상들이 모두 음용수로 이용했던 양호한 수질 조건을 구비하고 있다. 천부 수문지열계를 냉온축열수체로 이용할시 열펌프의 성능향상과 경제성은 기존의 지열원열펌

프시스템을 훨씬 능가할 것이다.

우리나라의 기후조건, 한정된 부지 이용특성, 초기 투자비의 경감및 장기운영으로 인한 지중온도의 강하 등을 해결하기 위하여 우리나라의 특성에 부합되는 대수층을 축열체로 활용하는 지하수 열펌프시스템의 기술을 개발이 시급하고, 이에 부가해서 본 시스템의 설계시공 기술을 확보와 에너지 소비특성의 경감, 열펌프의 성능향상등 제반 효과를 정량화하여 본 시스템의 보급 활성화와 최적방안을 도출하여 시스템의 보급을 활성화 시켜야 할 것이다.

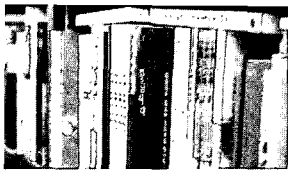
4. 기술 개발의 필요성과 효과

국내에서 천부지열을 열원으로 이용하는 지열원 열펌프시스템의 보급이 부진했던 주원인중의 하나는 전술한바와 같이 우리나라는 주로 수직폐회로형 지열열교환기를 많이 사용했던 관계로 ①지중열교환기의 규격을 결정할 때 적용해야할 국내 지중온도의 계절별 변동특성이나 국내 암석의 열적 특성치와 같은 지중열교환기설계 기초 자료가 정립되어 있지 않아 지중열교환기규격을 외국에서 사용하는 경험치를 이용해서 적당히 결정하기 때문에 천공비가 많이 들고 ② 지중열교환기 설치를 위한 부지 점유면적이 넓고, ③ 장기적인 지열펌프 운영으로 인한 지중온도의 하강으로 지열열펌프시스템의 성능저하와 인근 지중환경에 미치는 막연한 악영향에 대한 부정적인 인식 때문이었다.

〈표 1〉 투수성, 수질이 양호한 천부 지하수를 포장하고 있는 축열대상 암종

대수층 내용	면적(km ²)	지하수부존량(억 m ³)	비 고
충적층	27,380	575	충적층 하부에 풍화대가 분포되어 있어 충적층의 분포 면적은 제외하였음
풍화대	58,790	2,017	
현무암	1,825	650	
석회암(규산염)	4,220	1,393	
계	92,215	4,635	

(지하수 환경과 오염 / 2000, 한정상)



이러한 현상을 해소하기 위한 방안으로서 공기열원, 기존의 보일러, 냉각탑 및 태양열을 보조열 공급원(heat source)이나 열배출원(heat sink)로 활용할 수 있는 복합형(hybrid)지열 펌프시스템과 해당지역의 대수층을 냉온수축열체로 활용하려는 지하수열펌프시스템이 대안으로 제시되고 있다.

지하수열 에너지는 저급에너지로 취급되어 산업 용에 적용하는데 한계가 있었으나 이를 유효하게 이용할 수 있는 기법이 개발된다면 막대한 양의 지하수열 에너지를 무제한 것으로 활용할 수 있을 것이다.

이러한 에너지를 활용할 경우 ①수십~수백 개의 천공을 하여 지중열교환기를 설치하므로써 발생하는 과도한 초기 천공 투자비를 2~4 개의 주입-채수정만 설치해도 해결할 수 있어 초기 천공 투자비를 경감시킬 수 있고, ②천공개수가 적기 때문에 주입채수정의 부지 점유 면적이 소규모이며, ③지열원열펌프가 사용하고 남은 하절기의 온배수와, 동절기의 냉배수를 이용하여 지하 온수체와 냉수체에 주입 저장한 후 그 다음 하절기에는 냉수체에서 냉수를, 동절기에는 온수체에서 온수를 채수 이용하므로 열펌프의 성능향상과 열적평형은 물론 지하수의 고갈을 방지할 수 있는 일석이조의 기술이다.

대수층의 축열체로서의 기능과 관련하여 투수성

과 저유성이 양호한 대수층에 대해 기존의 가용한 조사 연구자료를 최대한 활용하여 수리지질학적인 특성을 규명한 후, 축열체와 그 주변 수문지열계에서 열흐름 해석, 주입 채수정의 적정 채수 주입량, 최적이격거리, 영향반경, 연간 온냉수의 축열가능량, 축열체 내에서 연중지중온도의 변동 특성과 같은 대수층을 지하 축열체로 이용하는 지하수열펌프시스템의 설계 구축이 필수적이다. 특히 우리나라의 기후조건과 수문지열계에 알맞은 지열에너지의 채열방식, 건물 용량의 설계기술 확보, 냉난방 부하에 적합한 열펌프의 용량과 이에 대응하는 지열교환 시스템의 안정성 확보와 신뢰성 구축을 위한 기초자료의 정밀 분석과 이를 통해서 우리나라의 기후와 지질 및 시공 여건에 적합한 한국형 대수층 축열체를 이용한 지열 냉난방 시스템의 설계 자료가 구축되어야 한다.

50 RT급 지열원열펌프시스템 대신에 동급의 대수층을 축열체로 이용하는 지하수열펌프시스템을 이용할 경우의 초기 투자비와 운영비를 서로 비교 검토해 보았다.

현재 국내에 설치되어 있는 1 개 우물당 암중별 평균 지하수산출량과 이를 바탕으로 하여 1개 우물당 공급 가능한 냉난방에너지를 추산하면 표 2 와 같다.

표에서 제시한 내용은 수리지질조사를 결과를 토

<표 2> 국내 1개 우물당 암중별 평균 개발량과 열공급 가능량 및 분포면

암종	내용	개수(공)	심도(m)	개발량(m ³ /日)	면적(km ²)	1개 우물에서 공급가능 열량(RT)	비고
회강암류		458	101	277	31,820	20	1RT당 순환 유량:10 리터/분(13.6 m ³ /日)을 기준으로 산정
회산암류		132	95~119	417		31	
퇴적암류		294	135	683	24,560	50	
퇴적변성암류		87	91	460	36,070	34	
편마암류		448	98	192		14	
현무암류		456	108	1445	1,830	106	
층적층		-	7	1200	27,380	88	부존량
풍화암		-	10	600	58,790	44	
평균				659		48.4=50 RT	

(지하수 환경과 오염, 2000박영사 P961~965)

대로하여 굴착한 우물 1 개 공당 평균 산출량으로서 그 양은 659 m³/일에 이르며 제주도의 현무암 대수층에 설치한 1 개 우물의 평균 산출량은 1,445 m³/일을 상회한다. 따라서 상기 산출량을 근거로하여 대수층을 축열체로 이용한 지하수열펌프 시스템을 국내 대수층에 적용할 경우에 1 개 우물 당 공급 가능한 냉난방 열량은 약 50 RT에 이른다.

지금 50 RT 규모의 일반 지열원 열펌프시스템과 지하수열펌프 시스템의 초기 투자비, 운영비, 필요 부지공간 및 성능향상을 산정하여 제시하면

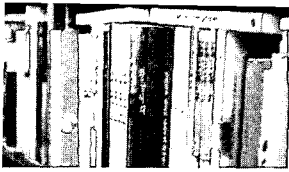
그 결과 표 3와 같다.

표 3에 제시된 바와 같이 대수층을 축열체로 이용하는 지하수열펌프시스템의 초기투자비는 타 지열원 열펌프에 비해 51% 정도이고, 지열원 열펌프의 소요 부지 점유면적은 최소 625~900 m² 정도인데 비해 본 시스템은 6 m² 정도로서 그 비율은 고작 1% 미만이다.

표 3에 제시된 바와 같이 본 시스템을 사용할 경우의 COP_c는 기존 지열원지열펌프시스템에 비해 약 21.7% 성능이 향상되고, COP_h는 25.7% 정도

<표 3> 50RT급 지열원열펌프시스템과 대수층 축열체로 이용한 지하수열펌프시스템의 경제적 및 각종효과 비교표

지열원열펌프시스템	자연대수층을 축열체로 이용한 지하수열펌프시스템	비고
초기투자비 50RT용 GHEX 설치비 100m×25공×50,000=125,000,000W -잡비10% 12,500,000W 소계 137,500,000W header pipe비와 설치비는 계산치 없음	주입, 채수정 및 관측정의 설치비; 1개 우물의 평균 개발 가능량이 659CMD이기 때문에 1RT당 순환수의 요구유량은 13.6CMD를 기준으로 하면 1개 우물은 약50RT 열에너지 공급 가능. 시설설치비; -주입정(φ8"스크린×30 m) 2공×30 m×400,000=24,000,000W -채수정(φ8"스크린×30 m) 2공×30 m×400,000=24,000,000W -관측정(φ3"×2"×30") 2공×30 m×300,000=18,000,000W -잡비 4,200,000W 소계 70,200,000W (51.9%)	건물내에 설치되는 배관은 양자 공히 동일한 것으로 가정 51%
GHEX설치 최소 필요 면적 625~900 m ² (5~6 m이격거리)	주입 채수정 설치에 필요한 면적 1 m×1 m×6공=6 m ²	0.96%±1%
지금 30RT와 20RT의 지열원 지열펌프시스템을 사용하는 경우에 열펌프의 입구온도가 국내 연평균지중온도와 같다고 가정하면 지열원 지열펌프시스템의 COP _c 는 약 4.6, COP _h 는 3.5 정도이다. (EM 240과 EM360 series)	겨울철 난방시 축열체로부터 채수하는 지하수 열펌프의 입구온도는 선행 하절기에 주입시킨 온배수의 영향으로 평균지중온도(14.3℃) 보다 대체적으로 7℃높은 온도를 유지하고, 반대로 난방시 축열체로부터 채수 이용하는 지하수의 열펌프 입구온도는 선행 동절기에 주입시킨 냉배수의 영향으로 평균 지중온도보다 약4℃낮은 온도를 유지하므로 열펌프의 COP _h 는 4.4와 COP _c 는 5.6으로 대폭향상 된다.	30 RT와 20 RT의 대수층 축열체를 이용하는지하수열펌프시스템을 사용하는 경우 EWT _c =10℃ EWT _h =21℃까지 변경이 가능하며 COP _c =5.6 COP _h =4.4 정도 된다.
연간 펌프소요동력비 (난방 10hr×120일, 냉방 10hr×80일)로 가정할 경우; (10hr×120+10hr×80)×3.5 kWh =7000 kWh	(10h×120+10hr×80일)×3.4 kWh =6,800 kWh	$Q=659^{CMD}(120^{day})$, head = 12m (40μ) $\frac{120 \times 40}{3960 \times 0.8 \times 0.7} \times 0.76 = 162 \text{ kWh (주입채수)}$ 1.62×2×105%≒3.4 kWh 주입펌프(5 kg/cm ² , 0.48 m ³ /분)



향상된다.

또한 지열원열펌프시스템에 사용하는 순환펌프를 최소 B등급(grade) 이상으로 선택했을 경우 1 RT 소요 순환펌프의 동력은 50~75 watt/ton이다. 따라서 순환펌프의 효율적인 설계 기준인 70 watt/ton을 기준으로 했을 때 필요한 순환 펌프의 규격은 3.5 kW규모이다. 이에 비해 대수층을 축열체로 이용하는 지하수열펌프시스템의 주입채수용으로 사용하는 순환펌프의 규격은 주입채수량이 659 m³/일이며 양정을 12 m로 가정할 때 주입시의 잉여 수압을 감안하더라도 3.4 kWh 규모이다. 따라서 지열원열펌프시스템과 축열체를 이용한 지하수열펌프시스템에서 사용하는 주입채수용 펌프의 소요동력은 대동소이하다.

5. 결론

본 기술은 에너지 자원의 효과 측면에서 그 효율성이 매우 높을 뿐만 아니라 부수적으로 대기 오염물질 배출량을 획기적으로 절감시킬 수 있는 냉난방 시스템이다. 특히 냉온배수의 폐열을 지중에 비축해 두었다가 그 다음 계절의 필요한 시기에 저장된 냉온수를 재사용할 수 있어 열펌프의 COP성능 향상은 물론, 일반 지열원열펌프시스템의 3가지 단점을 보완할 수 있는 냉난방 시스템이기 때문에 국가 에너지 및 환경 정책면에서 보급이 활성화 되어야 할 시스템이다.

이 기법은 타 지열원열펌프시스템과 마찬가지로 공조부하에 따라 온배수와 냉배수의 지하수 주입량을 과학적 및 정량적으로 산정하고 계산된량은 채수정을 통해 채수하여 필요한 계절에 열펌프의 응축 및 증발용 순환용수로 사용한 다음, 이를 주입정을 통해 다시 자연대수층의 축열체로 재주입해야 하기 때문에 수리지질학적인 전문지식이 필요한 분야이다.

이 기법은 온냉배수의 주입 채수량이 연중 거의 일정하기 때문에 에너지 공급이 안정적이며, 지하수의 고갈을 사전에 방지해 줌은 물론 대수층의

단열효과가 매우 양호하여 대수층내에 비축 저장된 에너지의 대부분을 다시 회수하여 사용할 수 있는 장점이 있다.

특히 정부는 2011년까지 대체에너지 가운데 지열에너지의 보급률을 8% 선까지 끌어올릴 계획이어서 추후 본 시스템을 위시한 지열을 이용하는 대체에너지 기술은 매우 전망이 밝은 냉난방 에너지 분야의 기술로 판단된다.

본 시스템의 대한 경제성 검토에서 제시했듯이 기존 지열원열펌프시스템에 비해 초기 투자비가 저렴하고 소규모 부지면적으로 설치가능하며, 열펌프 성능이 대폭 향상될 수 있어 추후 보급 전망이 매우 밝은 냉난방 시스템이다.

우리나라에 부존된 지하수자원 가운데 연간 개발 가능한 지하수량은 130억 m³이며 2003년말 현재 국내 지하수이용량은 연간 35억 m³에 이른다. 국내 지하수의 연평균온도는 14.3℃로서도 이중에서 5℃의 열만 직접 추출해서 열에너지로 이용하는 경우에 사용가능한 지하수열에너지는 약 23,230 MWh에 해당한다.

국내 기존 원자로 발전소의 1일 발전출력이 600~1000 MW 정도인것에 비하면 국내 지하수가 보유하고 있는 열에너지는 실로 막대한 잠재에너지이다. 따라서 추후 지하수 개발은 그 이용목적에 따라 각종 용수로 이용하되 그 이전에 최소 4~5℃ 정도 만의 지하수의 보유열을 대체에너지원으로 이용하는 경우 우리나라의 에너지 공급 정책에 지대한 공헌을 할 수 있을 것이다.

특히 이 시스템의 보급을 활성화시키기 위해서는 다음과 같은 정책적인 배려가 있어야 할 것이다.

- ① 지중열교환기를 위시하여 냉온수정과 관측정 설치에 필요한 시공비를 정부 보조금으로 지원하고,
- ② 이 시스템의 수요가 클 것으로 예상되는 주택 부분에서는 전기료의 누진제가 시스템의 보급의 걸림돌이 되고 있어 이 시스템을 포함한 지열원 에너지 적용시스템의 경우에는 전기료 누진제를 폐지하든가, 감면할 필요가 있다.