

태양광 및 지열히트펌프를 적용한 건물냉난방 사례

김진상

삼양에코너지(주) 부설연구소

Case Study of Building Heating and Cooling using Photovoltaic Power and Geothermal Heat Pumps

Jinsang Kim

Samyang Ecoenergy Co. R&D Center

Abstract - 최근 공공건물에 신재생에너지 적용이 의무화되었고, 기후변화협약의 발효로 이산화탄소배출 절감에 대한 관심이 매우 높다. 가장 효율이 높은 냉난방 시스템인 지열히트펌프를 대표적인 신재생에너지인 태양광 발전을 이용하여 구동하여 건물을 냉난방할 수 있도록 적용되었다. 야간 또는 태양에너지 밀도가 낮은 날을 위하여 축열과 축냉을 할 수 있는 수축열시스템과 연계하여 적용되었다. 지열히트펌프는 도심지역의 열섬현상 해소에 기여할 수 있으며, 외기 온도의 변화에 관계없이 꽤 적합한 실내환경을 유지할 수 있으며, 향후에 그린 빌딩 인증등을 위해 에너지 절약과 신재생에너지 사용량을 높일 수 있는 방안으로 판단된다. 이를 적용한 설치 사례에 대한 사양과 운전 조건이 제시된다.

1. 서 론

국내의 신재생에너지 보급률은 2004년도 집계에 의하면 전체에너지 사용량의 2.3%에 달하고 있는 것으로 추정되고 있다. 2005년도에는 0.33%가 증가하여 2.63%를 보급하는 것을 목표로 하고 있으며, 2011년에는 5%까지 올릴 계획이다[1,6]. 3000m² 이상의 공공건물에는 전체 건축비용의 5% 이상을 신재생에너지에 투자하도록 적용되고 있다. 국내에서는 법률에서 태양에너지, 바이오에너지, 풍력, 수력, 연료전지, 석탄액화 및 가스화 에너지, 해양에너지, 폐기물에너지, 지열에너지, 수소에너지, 기타 대통령이 정한 에너지를 신재생에너지에 포함시키고 있다. 여기에서 건물에 적합한 신재생에너지원으로 태양에너지, 지열에너지를 꼽을 수 있다.

태양에너지에는 태양의 빛을 이용하는 태양광 발전기술과 태양에서 전달되는 복사열을 이용하는 태양열 기술로 분류할 수 있다. 그리고, 지열에너지에는 지표의 낮은 지열을 히트펌프의 열원으로 이용하는 지열히트펌프와 심부의 고온의 지열을 이용하여 발전에 활용하는 지열발전 기술로 분류 한다. 본고는 태양광을 이용하여 발전한 전기를 이용하여 지열히트펌프를 구동하며, 태양에너지 밀도가 낮은 경우와 야간에 효율적으로 이용할 수 있도록 수축열조를 연계하여 사용하는 시스템을 대상으로 하고 있다.

태양광 시스템은 태양광을 태양전지를 통하여 전기에너지로 변환하는 것으로서 일반적으로 태양전지 모듈과 전력변환장치 그리고 필요한 경우에는 축전지등으로 구성되어 있다. 태양전지의 가장 기본적인 요소인 태양전지 셀(cell)은 태양에너지를 전기에너지로 변환할 목적으로 제작된 것으로 금속과 반도체의 접촉면 또는 반도체의 pn접합에 빛을 비추면 광전효과에 의해 광기전력이 일어나는 것을 이용한 것이다. 금속과 반도체의 접촉을 이용한 것으로는 셀렌전지와 아황산구리 광전지가 있고, 반도체 pn접합을 사용한 것으로는 태양전지로 이용되고 있는 실리콘 광전지가 있다.

지열히트펌프 시스템은 지표에 저장된 저온의 에너지

를 이용하는데, 지구 표면의 에너지는 태양열과 지중열을 균원으로 볼 수 있다. 지구 대기권으로 들어온 태양열 중에서 약 절반은 지표면에 저장되는데 이는 지표열의 균원중의 하나이며, 다른 하나는 지구 중심부의 핵융합 반응으로서 지표에서 지구 중심방향으로 진행함에 따라서 지온이 증가하게 된다. 지표의 온도는 대기의 연평균온도와 비슷한 수준으로 약 15m 이하에서는 연중 온도 변화가 거의 없으며 약 10~15°C정도이며, 이를 직접 냉방이나, 난방으로 이용하기가 어려우므로, 히트펌프를 연결하여 필요한 온도로 올리거나 낮추어서 냉수나 온수를 생산하거나, 찬 공기나 더운공기를 만들어서 이용한다.

수축열 시스템은 냉수나 온수를 만드는 지열히트펌프에 연결되어 사용하는데, 지열히트펌프가 가능하는 시간에 생산되는 냉수 또는 온수를 수축열 탱크에 저장하여 두며, 이를 냉온수를 생산하기 어려운 시간에 이용하여, 히트펌프 시스템의 효과적으로 이용하도록 한다. 수축열 탱크는 새로 생산된 냉온수를 이전에 이용한 냉온수와 섞어 사용하는 경우에는 효과적이지 못하다. 수축열조에는 디퓨저라는 탱크 내부의 물의 흐름을 일정하게 제어하여 냉크내부의 유동을 억제하여 탱크로 새로 유입되는 냉온수와 냉크안에 남아있는 불과 섞이지 않고, 온도차에 의한 밀도에 의하여 냉온수층을 유지하도록 한다.

본 시스템은 태양전지에서 생산된 전기를 이용하여 지열히트펌프를 구동하고, 히트펌프가 구동하면서 생산된 냉온수를 수축열 탱크에 저장하는 시스템으로, 태양에너지가 이용할 수 없는 경우에도 수축열조에 저장된 냉온수를 이용하여 냉방 또는 난방을 수행할 수 있도록 하여 시스템의 이용도를 높이는 것이 특징이다.

2. 주요 구성 요소

2.1 태양광

태양광 발전은 태양 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술로서 지구상 어디에서나 이용가능하며 공해물질을 발생시키지 않은다는 것이 특징이다. 이의 작동 원리는 반도체 pn접합으로 구성된 태양광이용을 위한 기본 단위인 태양전지에 태양광이 비추게 되면 태양광에너지에 의한 전자-양공 쌍이 생겨나고, 전자와 양공이 이동하여 n층과 p층을 가로질러 전류가 흐르게 되는 광기전력효과에 의해 기전력이 발생하여 외부에 접속되어 발생된 전기를 이용하는 부하에 전류가 흐르게 된다. 이러한 태양 전지는 필요한 단위 용량으로 직렬 또는 병렬로 연결하여 기후에 견디고 단단한 재료와 구조의 만들 어진 태양전지 모듈로 상품화 된다.

태양에너지는 계절에 따라서, 일기 변화에 따라서, 기리고 이용시간에 따라서 크게 변화하게 된다. 일사량과 에너지 밀도는 봄, 여름, 가을, 겨울의 계절의 변화에 따라 크게 변화하며, 높, 비, 구름등에 따라서 그리고 밤과 낮에 따라서도 이용 가능한 태양에너지의 강도는 크게 변화한다. 따라서 일반적인 태양광 발전 시스템은 수요

자에게 항상 필요한 전지를 공급하기 위하여 여러 개의 태양전지를 연결한 모듈을 다시 직렬·병렬로 연결한 태양전지 어레이 상태로 설치하게 된다. 이와 더불어 전력 저장장치인 축전지, 전력 조정기 및 직류·교류 변환장치인 인버터등의 주변장치로 구성된다.

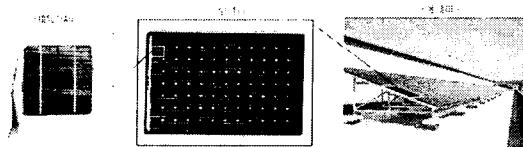


그림 1 태양전지, 모듈 및 어레이

2.2 지열히트펌프

지열을 열원으로 이용하는 히트펌프는 냉난방 방식 중에서 가장 효율이 높고, 환경 친화적인 방법으로 알려져 있다. 지구온난화를 유발하는 이산화탄소 배출 절감을 위한 방안 중에서 가장 경제적이고 효과적인 방법으로 인식되면서, 많은 국가들이 각종 지원을 통해서 보급을 확대하기 위해 노력하고 있다.[2-5] 또한 신재생에너지의 하나로 분류되어 있으며, 최근 국내에서 일정규모 이상의 공공건물에 신재생에너지의 적용이 의무화되면서, 다른 신재생에너지에 비하여 건물에 적용이 유리한 지열히트펌프가 큰 관심을 받고 있다. 유가가 높고 상대적으로 전력비용이 매우 낮은 국내 에너지 가격구조는 지열히트펌프 적용에 매우 유리한 구조로서, 보급이 확대되기 시작하여 초기투자비용이 안정화되면 투자회수기간은 다른 나라에 비하여 짧아질 것으로 예상된다.

적용 장소의 여건에 따라 지하수, 지표수, 지중열등의 열원의 종류를 선정하며, 그리고 개방형, 밀폐형 및 반개방형등의 방식과 수평형, 수직형 등을 결정한다. 지열히트펌프의 지중열교환기에는 여러 가지 방식이 존재하여 그 중에서 가장 적합한 방식을 선정하며, 수직밀폐형으로 설치하는 방식이 가장 많이 사용되며, 암반이 잘 발달된 지역에서 사용되는 스텐딩컬럼웰은 그 효율이 높은 방식이다.

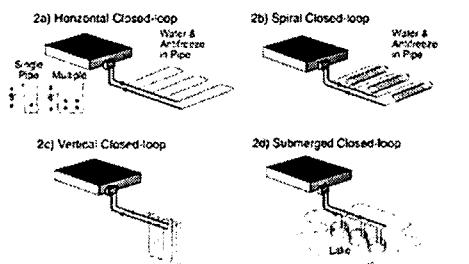


그림 2 밀폐형 지중열교환기

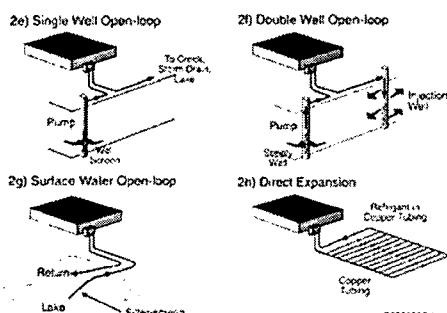


그림 3 개방형 및 직접팽창형 지중열교환기

지열히트펌프는 지중에 설치되어 열을 흡수하거나 저장하는 지중열교환기와 히트펌프 유니트 그리고 물이나 부동액의 열전달 매체가 순환하는 배관과 펌프 시스템으로 구성되어 있다. 건물내부로 물을 순환시키는 Hydronic 시스템의 경우에는 건물 내부에 부동액 회로가 있고, 온수를 사용하는 경우 온수 회로가 있다. 지하수 또는 지표수를 사용하는 경우 직접 냉매와 열교환을 하지 않는 경우가 일반적인데, 이 경우에는 지하수/지표수와 히트펌프사이에 열교환기를 두어 열교환기와 히트펌프 사이에 부동액 회로가 추가로 존재하게 된다.

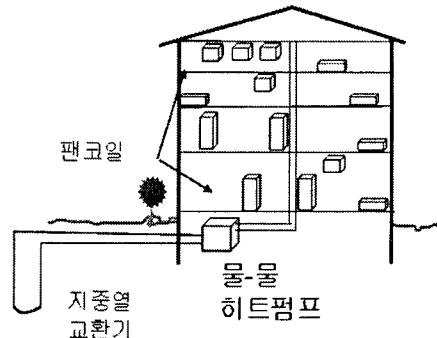


그림 4 지열히트펌프의 기본 구성

2.3 수축열 장치

태양에너지를 이용하여 발전한 지열히트펌프가 생산한 냉온수를 저장하여 태양에너지의 밀도가 떨어지는 시기에도 건물의 냉난방을 원활하게 수행하기 위해서 냉온수를 효율적으로 저장하는 역할을 수축열 탱크와 부속 시설이 담당한다. 수축열 탱크는 원통형이나 직육면체 탱크의 상하면에 디퓨저를 설치하여 이를 통하여 생산된 냉온수가 저장되도록 설계되어 있는데, 수축열 탱크 내부의 유동을 균일하게 그리고 최소화되도록 유지하여 탱크 내부 공간을 최대한 활용하도록 하는 역할을 디퓨저가 담당하는데 디퓨저에는 레이얼 디퓨저와 라인 디퓨저가 있다. 새로 공급되는 냉온수와 탱크 내부의 남아 있는 물과의 밀도 차이가 있으며 물을 섞이지 않도록 제어함으로서 상부에는 더운 물이 존재하고 하부에는 찬 물이 존재하고, 더운 물과 찬물 사이에 Thermocline이라는 온도가 변화하는 얇은 층이 존재한다.

3. 적용 시스템

3.1 시스템의 개요

본 시스템은 신재생에너지 실증센터의 핵심요소로 구성되어 있다. 사옥 외부에 설치된 30kW 용량의 태양전지에서 생산된 전기를 이용하여 30RT 용량의 지열히트펌프를 구동하고, 히트펌프가 구동하면서 생산된 냉온수를 120톤 용량의 수축열 탱크에 저장하는 시스템이다.

종류	용량	특징
태양광	30kW	Single Crystal 경사 고정형
지열히트펌프	30RT	물-물 히트펌프 유니트 스탠딩컬럼웰 지중열교환기
수축열 탱크	100톤	콘크리트 수축열 탱크 이용 유체: 물

표 1 시스템의 개요

태양에너지를 이용할 수 있는 경우에는 생산된 전기를 통하여 지열히트펌프가 냉온수를 생산하여 이를 수축열조에 저장하도록 한다. 야간이나 태양 일조량이 적은 경우를 위하여 전기를 저장하는 대신에 생산된 냉온수를 수축열조에 저장함으로서, 수축열조에 저장된 냉온수를 이용하여 냉방 또는 난방을 태양에너지의 밀도에 관계없이 수행할 수 있도록 하여 쾌적한 실내환경을 유지하도록 한다.

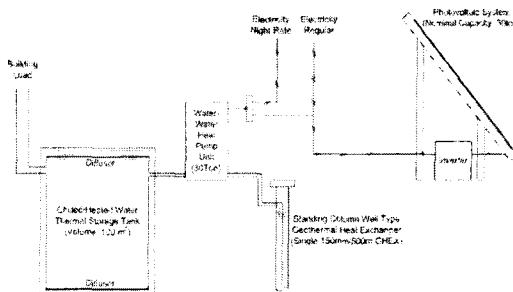


그림 5 태양광 지열히트펌프의 구성도

3.2 시스템의 구성

건물 주변의 주차공간중 일부에 30kW의 태양광 모듈이 하나의 어레이로 아래와 같이 설치 되었다.

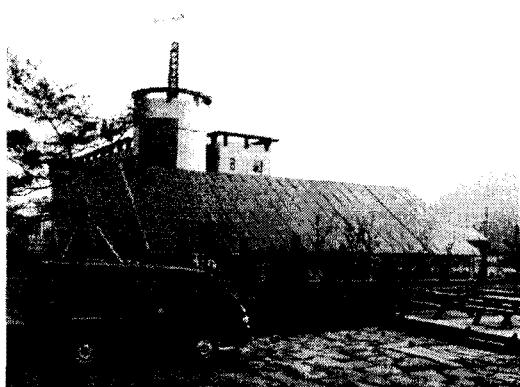


그림 6 태양광 설치 사진

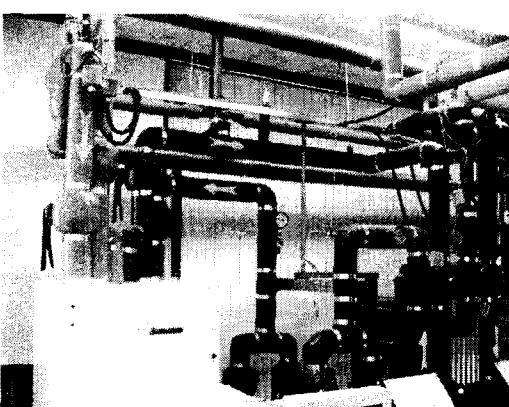


그림 7 전시장의 지열히트펌프 기계 실비 사진

지열히트펌프는 30RT용량의 물-물 지열히트펌프 유니트가 냉온수의 제조를 담당하며, 지중열의 저장과 이용을 담당하는 열교환기는 스텐딩컬럼형이 적용되었다.

히트펌프 유니트와 배관시설이 실증전시장 내부에 설치되어 전시장의 관람객이 실제 가동하는 지열히트펌프 및 작동 온도를 확인할 수 있게 설계되어 있다.

한 개의 스텐딩컬럼형 방식의 지중열교환기가 건물외부의 화단에 설치되었으며, 히트펌프 유니트는 실증전시장의 1층 전시공간에 설치되었다. 수축열 탱크는 전시장 외부에 설치하였다. 일부는 지상에 노출되었으며 나머지 대부분은 지중에 설치되어 있다. 수축열 탱크는 성장화 성능을 높게하기 위하여 높이가 밑면의 첫수에 비하여 크게 설계 및 제작되었다.

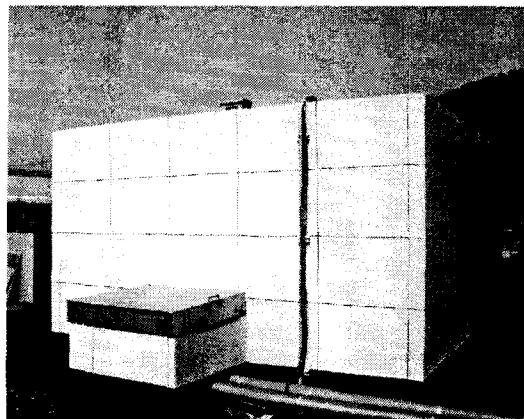


그림 8 수축열조의 외관

4. 결 론

신재생에너지 중에서 초기설치 비용에 비하여 이산화탄소 배출절감효과가 가장 큰 시스템으로서 지열히트펌프의 투자효과는 매우 크다고 할 수 있다. 이와 더불어 태양광을 연계하는 시스템은 이산화탄소 절감효과가 극대화된 시스템이 틀림없다. 이와 마찬가지로, 태양광 지열히트펌프 시스템은 태양에너지와 지열에너지를 사용하므로 대체에너지 이용량 또한 매우 큰 시스템이다. 전기를 저장하는 축전지를 대신하여 냉온수를 저장하는 수축열 시스템은 설치 공간은 크게 차지하지만, 매우 용이하게 설계할 수 있고 냉방과 난방에 용이하게 사용할 수 있는 신뢰도가 매우 높은 시스템이다. 이러한 온실가스 배출절감 효과와 신재생에너지 이용량이 매우 높은 시스템의 보급을 위하여 이에 대한 실증 연구는 매우 절실했다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김진상외 2인, 지열이용 히트펌프 시스템, 설비, 2003년 7월, pp 71~83
- [2] L. Rybach, Status and Prospects of Geothermal Heat Pumps (GHP) in Europe and Worldwide: Sustainability Aspects of GHPs, 2002
- [3] FEMP, Ground-Source Heat Pumps Applied To Federal Facilities Second Edition, DOE/EE 0245, March 2001
- [4] J. Boose, et. al., Advances in Ground Source Heat Pump Systems An International Overview, 7th IEA Heat Pump Conference, May 2002, Beijing
- [5] T.J. Hughes and L. Pratsch, Technical and Market Results of Major U.S. Geothermal Heat Pump Programs, 7th IEA Heat Pump Conference, May 2002, Beijing
- [6] 신재생에너지 기술개발사업 지원안내, 신재생에너지센터, 2003.4.