

우물관정형(SCW공법) 지열히트펌프 시스템의 설치 및 운영사례

*나 상민¹⁾, **박 시삼²⁾, 박 종현³⁾, 이 건중⁴⁾, 김 태원⁵⁾

A Case Study on the Installation and Operation of the Standing Column Well Method

*Sangmin Na, **Sisam Park, Jonghun Park, Keonjoong Rhee, Taewon Kim

Key words : Standing Column Well(우물관정형), Geothermal Heat Pump(지열히트펌프), Economical efficiency(경제성), Groundwater(지하수)

Abstract : In recent years, geothermal heat pump (GHP) systems have become increasingly popular for heating and cooling in buildings. The Standing Column Well (SCW) method is one of the most efficient GHP system. Because it use groundwater for heat transfer material. In SCW systems, water is re-circulated between the well and the building (heat pump). It is only a short time since this method has been applied in domestic. So we have to refer to the developed countries' guides and manuals of SCW. In this paper, several design and construction points of SCW method are filed. We used real operation data of SCW system at Chong-Ju Univ. site for economical efficiency analysis. As a result, the payback period of Chong-Ju Univ. site is calculated at 7.23 years.

1. 서론

지열에너지는 11개의 신재생에너지 중 초기 투자비용이 가장 저렴하고, 높은 경제성 등의 장점으로 경쟁력 있는 재생에너지로 평가 받고 있다. 선진국에서는 70년대 1차 오일파동을 겪으면서 대체에너지로서 지열 냉난방시스템의 연구개발 및 보급 등이 활발히 진행되어 왔으며, 국내에서는 여타 신재생에너지처럼 정부의 활발한 보급 정책과 공공의무화 사업에 힘입어 2004년부터 폭발적으로 증가되었다.

지열 냉난방 시스템의 국내도입 초기단계에서 일부 부실설계와 시공오류 사례들이 나타났으나 근래에는 국내 전문기업들의 설계, 시공 경험 축적과 더불어 많은 기술적 진보가 이루어지고 있는 추세이다. 반면에 공공기관의 사업적용 절차, 사업비, 규제, 지열 공법에 대한 몰이해 등 해결해야 할 문제들 또한 많이 남아있다.

지열 냉난방 시스템에 이용되는 지열에너지는 지표열로서 연중 12~25℃의 안정적인 온도를 유

지하고 있으며 히트펌프를 이용하여 난방에 필요한 40℃ 이상, 냉방에 필요한 7℃ 정도를 만드는 데 효율적이고 적합하다. 보통 히트펌프에 이용하는 범용 지열구간은 지하 500m 이내로 온도 변화가 대기의 온도 변화에 비해 훨씬 적고, 대기 온도변화에 비해 지하의 온도 변화가 지연되어 안정적인 온도를 유지하는 특징을 가지고 있다.

-
- 1) GS건설(주) 인프라연구팀
E-mail : smna@gsconst.co.kr
Tel : (031)329-4616 Fax : (031)329-4660
 - 2) GS건설(주) 인프라연구팀
E-mail : parkss7@gsconst.co.kr
Tel : (031)329-4615 Fax : (031)329-4660
 - 3) GS건설(주) 인프라연구팀
E-mail : parkjh1@gsconst.co.kr
Tel : (031)329-4603 Fax : (031)329-4660
 - 4) (주)티이엔
E-mail : kj@ten-i.com
Tel : (043)279-7054 Fax : (043)279-7050
 - 5) (주)티이엔
E-mail : t1@ten-i.com
Tel : (043)279-7051 Fax : (043)279-7050

2. SCW 공법

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

지하수 열원 이용 방식은 역사가 가장 긴 지열히트펌프 방식이며 가장 효율이 높은 개방회로 방식으로, 2개의 관정을 이용하여 하나의 관정 (production well)에서 물을 퍼내고, 열교환을 한 후 다른 관정(injection well)에 주입하는 two well 방식과 최근에 대규모 용량에 급속도로 보급되기 시작한 SCW 방식으로 나눌 수 있다.

2.1 SCW 공법 개요

지열원이용 방식 중 하나인 SCW공법은 하나의 관정에서 열매체로 물을 순환하여 열교환 한 후 이를 다시 동일한 관정에 주입하는 방식으로서⁽²⁾ 암반 절리가 발달된 지역에 유리하며, 주요 성능인자로는 암반의 종류 및 상태, 지하수조건과 지열 구배 등이 있다. Fig. 1은 SCW 공법의 일반적인 개요도를 보여주고 있다.

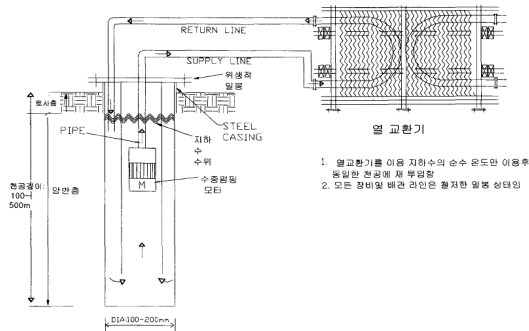


Fig. 1 SCW 공법 개요도(김진한, 2006)

현장에서 높은 성능이 검증됨과 동시에 연구 또한 병행하여 진행되고 있으며 주요 연구로는 1970년 오클라호마 대학의 Dr. Bose가 SCW현장 시험을 수행한바 있고 후에 루이지애나대학의 Dr. Braud 교수 등이 추가연구를 진행하였다. 다른 지열히트펌프 시스템과 비교하여 작은 관정의 개수와 안정적인 지하수 온도가 SCW 공법의 상업적 적용을 확대시키고 있다.⁽⁶⁾

기본적으로 SCW 공법은 관정에 대한 test 없이 설계 및 성능에 대한 기대가 가능한 공법이다. 즉 1500ft 심도의 SCW를 이용하면 35-40 tons 용량을 일반적인 경우에 신뢰할 수 있다는 것이다.⁽⁵⁾ 지하수 흐름이 있는 암반에서는 시스템 성능이 더욱 좋아지게 된다. 이러한 설계특성은 설계단계에서 특별한 조사 없이도 용량설계가 가능하게 만들어주고, 이후 현장에서 관정을 통한 암

반 조사 및 유량 test 등을 통해 설계를 보정하여 총 SCW 길이를 절감하게 된다.

2.2 SCW 공법 유의사항

국내에 SCW 공법이 도입되면서 설계 및 시공 경험 부족으로 인하여 발생한 몇 가지 문제점으로 인해 SCW 공법에 대한 부정적 시각이 대두된 것이 사실이다. 하지만 대부분이 SCW 공법에 대한 충분한 이해 부족에서 기인된 것이다. 본 절에서는 문제점이라고 부각된 부분에 대하여 고찰해 보고자 한다.

2.2.1 Well 자립도 유지

SCW의 가장 큰 문제로 인식되는 것은 공의 붕괴이다. 공의 붕괴는 공내에서 물의 순환(공급/환수의 수직이동)을 가로막아 지중수의 열교환을 방해하고, 지중수 순환량에 영향을 주게 된다. 공의 붕괴를 막기 위해서는 사전에 충분한 지반 조사가 이루어져야 하며, 작업시 구간에 따른 지반의 상태를 파악 등 치밀한 시공관리가 이루어져야 한다.

SCW에 부적합한 암반은 경도가 약한 암으로 퇴적암 등을 들 수 있으며, 석회암은 수용성이 있어 SCW를 적용할 수 없다. 우리나라의 동해안 일부 지역은 암의 경도가 낮아 시공중이나 시공후 공이 붕괴할 가능성이 높으며, 일부 석회암질이 발달해 있는 지역 또한 SCW 공법 적용을 삼가야 한다.

공의 붕괴를 막기 위해서는 철저한 검증이 필요하며 천공시 발생하는 암의 형태를 통해 확인이 가능하며 천공후 수중 카메라를 통해 붕괴 가능성을 차단한다. 일정한 구간에서 띠의 형태로 발생하는 연약층에 대해서는 케이싱으로 차단후 시공하면 문제를 해결할 수 있다. 30년이상 지하수공들이 붕괴되지 않고 사용되고 있는 것처럼 초기에 철저히 검토하고 시공한다면 공의 자립도 유지가 큰 문제가 되지 않을 것이다.

2.2.2 공내 오염

공내의 오염은 불순물이 토양내부에서 공내로 스며드는 것과 공의 상부를 통해 유입되는 것으로 구분할 수 있다. 토양내부에서 스며드는 것은 공 외부를 그라우팅 및 암반층까지의 케이싱을 통하여 방지될 수 있으며, 공의 상부를 통해 유입되는 불순물은 밀폐보호정(현재 지하수 오염을 방지하기 위해 개발된 제품, 3~4종)을 사용할 경우 외부에서의 불순물 유입을 완벽히 차단할 수 있다.

2.2.3 지하수 고갈

열매체로 지하수를 사용하기 때문에 지하수의

고갈은 히트펌프를 작동하지 못하는 치명적인 문제가 발생된다. 하지만 골프장이나 대형 위락시설 등 지하수의 사용이 많은 지역을 제외하곤 지하수는 고갈되지 않으며 갈수기와 홍수기간 지하수위 차이가 7~10m 차이로 차이가 작다.

특히 SCW공법은 지하수를 순환시키는 공법으로 지하수를 개발, 사용하는 것과는 근본적인 차이가 있으며, 양수시험을 통해 안전수위를 평가하고 심정펌프를 여유심도에 위치시키면 지하수위 변화 문제를 해결할 수 있다. 하지만 자연수위가 40m 이하인 곳에서는 펌핑효율 등의 문제로 SCW 공법 적용에 주의가 필요하다.

2.2.4 공 하부 슬러지 적층

지하수의 순환으로 암반층의 슬러지가 관정 하부에 적층되면 유공관의 흡수면적이 줄어들어 시스템의 성능이 저하 될 수 있다. 현재 SCW공법으로 시공후 5년 이상 운전 사이트들 중 하단부 슬러지를 때문에 문제가 발생한 사례는 없지만, 가능성을 완전히 배제할 수 없기 때문에 안전율을 고려한 유공관 설계, 설치가 필요하다.

2.3 해외 설치 사례

SCW 공법은 낮은 설치비용, 저 운전비용, 시스템 고효율 등으로 주목을 받고 있으며, 다른 지열히트펌프 시스템보다 설치 면적이 작고 온도 안정성 유지, 빠른 열복원력 등으로 인한 장점으로⁽²⁾ 미국에는 1,000곳 이상이 설치되어 있고, 캐나다 및 중국 등에서 보급이 급속도로 증가하고 있는 추세이다.

2.3.1 미국

미국에서의 SCW 설치는 주로 북동부 지역에 집중되어 있는데 이는 지질과 지하수 조건에 의한 영향 때문이다. 이들 지역은 다른 지역보다 낮은 지표온도와 높은 난방 요구를 보이고 있다.⁽³⁾

- 1) Nursing Home, Boscawen, NH
용량 : 615tons
SCW 개수 : 1,500ft 16공



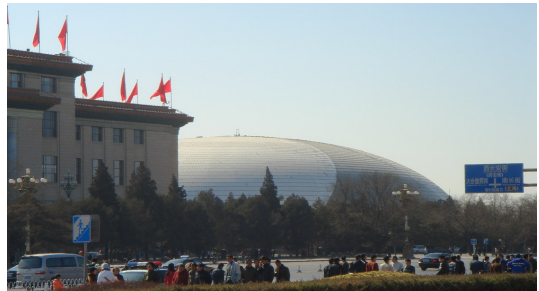
- 2) NYC, New York, NY
용량 : 850 tons
SCW 개수 : 1,500ft 22공



2.3.2 중국

중국에서는 2000년도에 개발된 Groundwater Heat Pump with Pumping and Recharging in the Same Well (GWHPRSW) 공법이 많이 보급되고 있다. 이 공법은 중국의 지질 및 수리조건에 적합하게 변형된 SCW 공법의 현지화 공법이라고 볼 수 있다.⁽⁴⁾

- 1) National Grand Theater, Beijing, China
난방부하 : 11,341Kw, 냉방부하 : 10,325Kw
지열공 개수 : 18공



- 2) Lingkong Crowne Plaza Hotel, Beijing, China
용량 : 14,400Kw
지열공 개수 : 24공



3. 국내 현장 자료 분석

3.1 청주대학교 site 개요

청주대학교에는 대학원, 인문대, 예술대, I-Twon 등의 건물에 총 2,120RT의 지열 냉난방 시스템이 시공되었다(Table 1).

Table 1 SCW installation in Chong-Ju Univ. site

설비	SCW (깊이 ×수량)	비고
사회과학/사범대학	400m ×6	'07. 01.
예술대 실습관/본관	400m ×12	'07. 11.
	400m ×3	'07. 11.
인문대	400m ×5	'07. 12.
대학원/법학대학	400m ×6	'08. 11.
I-Twon	400m ×6	'08. 12.
	400m ×12	'08. 12.

3.2 사회과학대 지열히트펌프 현황

1) 일반현황

면적 : 10,000m²

냉방 부하 : 907,200 kcal/h

난방 부하 : 1,061,400 kcal/h

2) 지열히트펌프 개요

히트펌프 방식 : 물-물 방식

지중열교환기 방식 : SCW방식

히트펌프 모드 : 냉난방

히트펌프 용량 : 300RT (축열포함)

3.3 냉난방 운전비용 비교

청주대학교 사회과학대학에 설치된 지열히트펌프와 동일 용량의 보일러 및 에어컨 냉난방 설비에 대하여 Table 2에 정리하였다.

Table 2 Compare to GHP system and conventional system in Chong-Ju Univ. site

설비	기존시스템	지열 히트펌프
냉방설비	에어컨 24.7 RT ×12대	300RT (수축열)
난방설비	2ton, 난방유 스팀보일러	150 RT)

지열시스템의 한전 영수증을 기본으로 주간 및 야간 사용량을 분류하여 히트펌프의 생성 열량을 산출하였다. 이 산출된 열량을 이용해 보일러의 유류 사용량과 에어컨의 전력사용량을 계상하였다. 보일러의 난방유가격은 liter당 1,500원으로 계산하였다.

난방보일러를 사용할 경우 에너지(난방유)비용은 85,996 천원이었고, 에어컨사용에 따른 전기비용은 31,528천원으로 보일러와 에어컨을 사용할 경우 약 117,524천원의 비용이 소요될 것으로 예상되지만, 수축열식 지열히트펌프 설치 사용으로 냉난방의 에너지(전기)비용은 34,155천원

으로 지열히트펌프 설치로 인한 연간 냉난방비 절감액은 약 83,369천원이다. 또한 운전비 절감액을 이용하여 투자회수기간을 계산한 결과 7.32년으로 계산되었다.

수축열, 지열시스템의 연간 운전에 따른 CO₂ 저감량은 냉방시 에어컨 사용대비 14ton과, 난방시 경유사용대비 169ton이 저감 되어, 연간 총 CO₂ 저감량은 약 183ton이었다.

4. 결론

지열냉난방 시스템은 초기 투자비용이 저렴하고 보급성이 높은 재생에너지이다. 그중 SCW 공법은 지반 및 지하수 조건만 충족된다면 효율성은 가장 우수한 공법이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 SCW 공법을 이용하기 위해 검토해야할 사항을 점검하여 보았으며, 실제 국내에서 확보한 현장자료를 이용하여 그 경제성을 분석하였고, 투자회수기간 7.32년의 양호한 결과를 얻었다.

SCW 공법에 대한 정확한 이해 없이 국내의 단순한 설계 및 시공오류 경험을 SCW 공법 전체의 문제점으로 제기하는 것은 국내 지열산업 발전에 도움이 되지 못할 것이다. 효율성이 우수한 SCW 공법이 가지는 장점을 충분히 활용하면서 그 적용상의 유의점을 보완해 나가는 작업이 필요하다 하겠다.

References

- [1] 김진한, 2006, 스탠딩컬럼웰을 적용한 지열히트펌프 실증연구 최종보고서, 산업자원부, p. 167
- [2] Carl D. Orio, Carl N. Johnson, Simon J. Rees, A. Chiasson, Zheng Deng, Jeffrey D. Spitler, 2005, A Survey of Standing Column Well Installations in North America, ASHRAE Transactions, Vol. 111, Part 2, pp. 109-121.
- [3] Carl Orio, Tim Roos and Dan Nelson, Geothermal Heat Pumps New York City & Other Urban Applications, IGSHPA810
- [4] Long Ni, Yiqiang Jiang, Yang Yao and Zuiliang Ma, 2006, Groundwater Heat Pump with Pumping and Recharging in the Same Well in China, ICEBO2006
- [5] P. Andrew Collins, Carl D. Orio and Sergio Smiriglio, 2002, Geothermal Heat Pump Manual, NYC Department of Design and Construction
- [6] Zheng Deng, 2004, Modeling of Standing Column Wells in Ground Source Heat Pump Systems, Ph. D. Thesis, Oklahoma State Univ., p. 303