

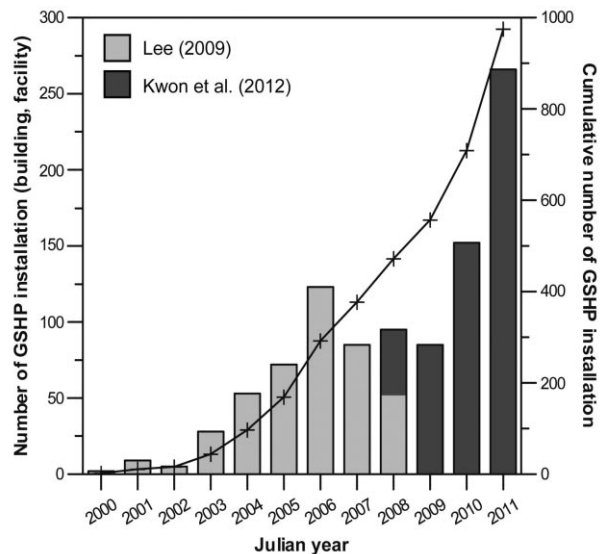
개방형 지중열교환기 설계 및 시공 기준

남 유 진
청주대학교 교수

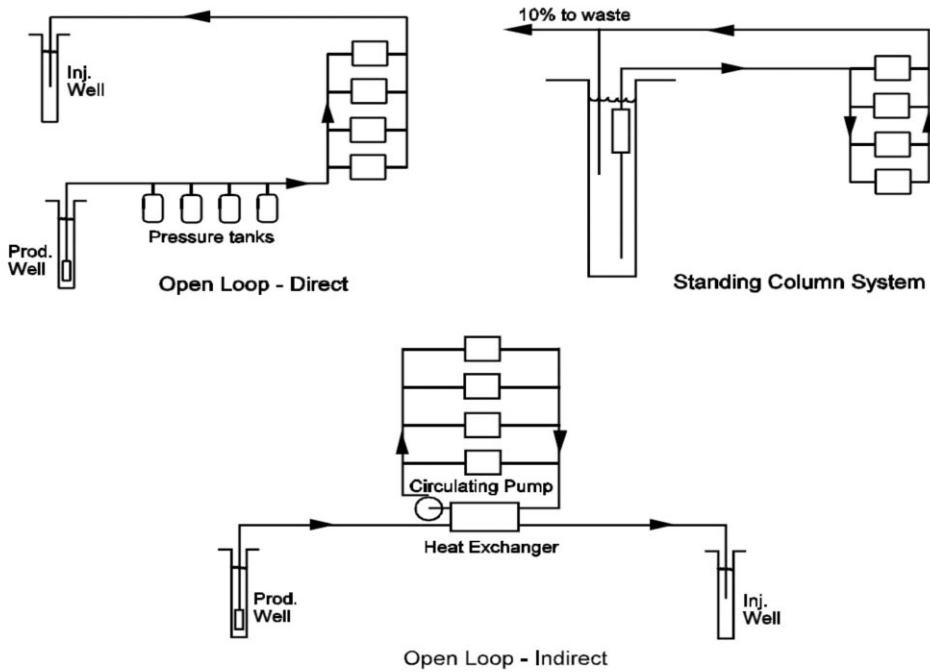
1. 서론

최근, 국제적으로 원전 이용에 대한 불안감 증가와 에너지 수급의 자립화가 큰 이슈로 부각되면서, 에너지의 안정적 공급에 대한 사회적 요구가 증가하고 있다. 그러한 배경 속에 에너지 절약, 에너지 유효이용 등과 더불어 신재생에너지 이용 기술에 대한 수요가 증가하고 있다. 그 중 지열 이용 시스템은 연중 안정된 지중열원을 이용하여 냉난방시스템의 효율을 증가시키는 고효율 기술로서 열에너지의 안정적 수급면에서 인기가 높다. 특히, 2004년 대체에너지법 개정 이후, 공공건물의 신재생에너지 이용 설비 의무화가 시행되면서, 관련 시장 및 보급률이 급격하게 증가하였고 친환경 저에너지 건축물의 대표적 요소 기술로서 각광을 받고 있다. 한편, 지열 이용 시스템은 건물의 냉난방 열원으로 지중 항온층을 활용하는 기술로서 지중과의 효율적인 열교환이 중요하며, 지중열교환 방식이 시스템의 효율 및 용량을 결정하는 중요한 변수가 된다. 지중열교환 방식은 직접 방식과 간접 방식으로 나뉘고, 일반적으로는 밀폐된(Closed) 지중열교환 파이프를 이용하여 단순히 열교환만 실시하는 간접 방식이 주로 이용되고 있다. 이에 비해, 개방형 시스템(Open Loop System)이라 불리는 직접 방식은 지하수

를 직접 순환시켜 열교환하는 기술로서 간접 열교환 방식에 비해 열교환 성능이 우수하고 막대한 포텐셜의 지하수를 활용한다는 점에서 비용대비 효율이 높다. 또한, 건축물의 신재생에너지 이용 의무화 비율이 상승함에 따라 기존 밀폐형 시스템에 비해 공간 및 비용대비 성능이 우수한 개방형 시스템이 주목을 받고 있다. 하지만, 일각에서는 지하수와 직접 열교환을 한다는 점에서 지



[그림 1] 국내 지열히트펌프 설치 현황 (권구상 외, 2012)



[그림 2] 개방형 지열시스템의 개념도 (Rafferty, K., 2000)

하수위, 대수층 조건, 수질 조건 등에 제약이 있고, 지하수 개발 및 이용에 따른 지하수 오염이나 고갈 문제를 우려하는 목소리도 있다. 또한, 개방형 지열 시스템에 대한 현행 지침이나 기준에서는 지중열교환기 설계나 시공 기준이 명확하지 않은 부분이 있으며, 설치 지역 및 설치 조건에 따라 다양한 변수들이 존재하여 올바른 설치 및 운영을 위해서는 세심한 노력이 필요하다. 이러한 상황 속에서 본 원고에서는 개방형 지열 시스템의 설계 및 시공 기준에 대해 조명하고자 한다.

2. 국외 지열시스템의 설계 및 시공 기준

미국내 지열시스템 보급의 큰 흐름은 1993년 4월 미국환경보호국(EPA)의 보고서에서 '지열이용시스템이 연간에너지효율이 가장 높고, 환경부하가 가장 낮은 시스템'이라는 결론을 낸 것에서 비롯되었다고 보는 견해도 있다. 미국에서는 이

보고서를 발단으로 1995년에 DOE의 신재생에너지 시장촉진 Action Plan No.26에 지열 히트펌프 시스템을 채택하고 The Geothermal Heat Pump Consortium, Inc. (GHPC)을 설립하여 본격적인 보급에 나섰다. 또한 오하이오 주립대의 J.Bose 교수가 1987년에 발족한 International Ground Heat Pump Association (IGSHPA)는 다양한 세미나와 전시회를 비롯하여, 도서 및 설계 프로그램의 배포, 교육 등을 실시하고 있다. 1997년에 Kavanaugh S.P.와 Rafferty K.는 ASHRAE를 통해 개방형 지열시스템을 포함한 지열 시스템 전반의 설계 및 시공 기준에 대해 정립하였고, 관정형 지열공의 설계, 필요 유량 선정, 시공 및 시험방법 등에 대한 가이드라인을 제시하였다. 한편, Oklahoma주립대학의 J.D.Spitler 교수는 S.J. Rees, Z. Deng 등과의 다양한 연구를 통해, SCW형 지열시스템의 설계가이드라인을 정립하였고, 최근(2010~2012)에는 미국 DOE

GRCO Type	Depth	Heat Transfer Capacity	Number of Wells or Loops	Unit Cost per Installation*	Approximate Cost**
Closed Loop	Loops, 400–500 ft. each	2 tons	50 loops	\$35,000 per loop	\$1,750,000
Open Loop	6" Dia. Wells, 200–300 ft. each	1 ton @ 2 gpm	1 supply well @ 200 gpm/2 diffusion wells	\$125,000 per well	\$375,000
Standing Column Well	Wells, 1,500 ft. depth each	15 tons	7 wells	\$200,000 per well	\$1,400,000

[그림 3] Estimated Cost of Design guide (Geothermal Heat Pump Manual, New York)

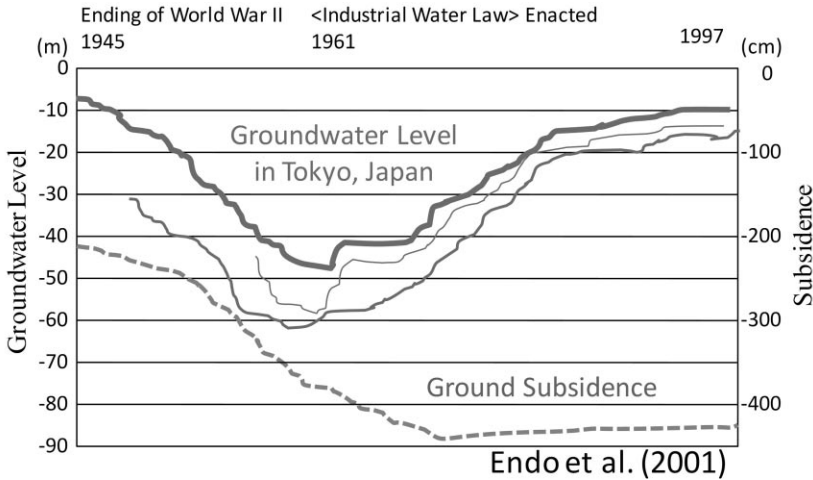
의 지원을 받아 SCW형 및 표면수 이용 히트펌프 시스템의 설계틀 개발 연구를 수행하였다. 향후, 개방형 시스템 특히, SCW형에 대한 개선된 가이

드라인이 도출될 것으로 기대한다.

한편, 미국의 지열 시장은 수직밀폐형이 약 46%, 수평형이 약 38%, 개방형이 약 15%로써

<표 1> 일본 개방형 시스템의 모니터링 항목 및 방법 (일본 환경성)

개방형 방식	기본항목		보조항목	
	항목	시기, 빈도	항목	시기, 빈도
양수에 의한 지하수위에 대한 영향	이력	도입전 확인		
	양수정 수위	정기적 측정	양수정 수위	상시 관측
			주변 지하수위	정기적 측정
		(참고)지반 침하	정기적 측정 또는 상시 관측	
지하수 환원에 의한 수온 및 수질 영향	양수 수온	정기적 측정	양수 수온	상시 관측
	환원 수온	정기적 측정	환원 수온	상시 관측
	환원 수량	정기적 측정	환원 수량	상시 관측
	환원 수질	도입전 확인 간이항목(pH, EC) 정기적 측정	환원 수질	간이항목(pH, EC) 상시 관측
			(참고)환원부근 지하수 수온 및 수질	정기적 측정
방류지 수역의 수온 및 수질 영향	양수 수온	정기적 측정	양수 수온	상시 관측
	방류 수온	정기적 측정	방류 수온	상시 관측
	방류 수량	정기적 측정	방류 수량	상시 관측
	방류 수질	도입전 확인 간이항목(pH, EC) 정기적 측정	방류 수질	간이항목(pH, EC) 상시 관측



[그림 4] 일본 도쿄 지하수위 및 지반침하의 변동

북동부를 중심으로 개방형 지열시스템의 보급이 활발하다. 그에 따라, New York주에서는 Geothermal Heat Pump Manual을 구축하고 가이드라인으로 활용하고 있다. 특히, 개방형 지열시스템은 복수관정형(Open loop systems)과 SCW형을 구분하여 가이드라인을 제시하고 있으며, 설치에 필요한 지반 조건, 필요 유량, 개략적인 설계용량 등을 규정하고 있다. 그림 3은 매뉴얼에서 제시하고 있는 개략적인 설계 용량과 비용을 나타내고 있다.

그 외에, 영국은 개방형 지열시스템 설치를 위한 수리지질 평가 지침서를 개발하여 현장에 적용하고 있으며, 네덜란드, 스웨덴 등에서는 개방형 지열시스템 형태별 열물성 및 열용량 평가 방법을 표준화하여 지열시스템 개발시 열효율성 평가를

실시하고 있다.

한편, 일본은 신에너지 개발기구(New Energy Development Organization, NEDO)를 통해 지열 이용 시스템을 포함한 고효율 히트펌프 시스템에 대해 보조금을 지원하고, 특히 개방형 지열시스템과 기존의 공기열원을 동시에 이용할 수 있는 하이브리드 시스템 개발을 장려하고 있다. 하지만 그러한 지원과 동시에 지중 환경에 대한 영향을 고려하

여 일본 환경성에서는 2012년 3월 ‘지열이용의 가이드라인’을 제시하였다. 여기서는 지열 시스템 도입시 고려해야 할 사항을 규정함과 동시에 밀폐형과 개방형에 대한 모니터링 항목 및 방법에 대해 명시하고 있다. 표 1은 일본 환경성 가이드라인에서 규정하고 있는 개방형 지열시스템의 모니터링 항목 및 빈도를 나타낸다. 일본은 도심지에 있어서 엄격한 지하수 양수 규제가 있어 개방형 지열시스템에 대한 도입이 어려웠으나, 최근, 과도한 지하수 양수 규제에 따른 지하수 상승(그림 4)과 이로 인한 지하 구조물 피해 등이 나타나면서, 적절한 개발과 이용에 대한 요구가 커지고 있다.

한편, 지열 이용 시스템에서 히트펌프 성능에 대

<표 2> Standard test conditions of ISO 13256-1 and ARI870

Type of Heat Pump	Standard	Heating		Cooling		Heating COP	Cooling EER (COP)
		Air temperature [dry (wet)]	Fluid temperature	Air temperature [dry (wet)]	Fluid temperature		
Open loop	ISO-13256-1	20°C (15°C)	10°C	27°C (19°C)	15°C	3.6	16.2 (4.8)
Closed loop	ISO-13256-1	20°C (15°C)	0°C	27°C (19°C)	25°C	3.3	14.1 (4.1)
Direct expansion	ARI870-99	21.1°C (15.6°C)	2.2°C	26.7°C (19.4°C)	25°C	3.5	15.0 (4.4)

한 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않다. 미국은 ISO 13256-1의 기준치를 이용하고 있다. 표2는 개방형 시스템을 포함한 히트펌프 시스템의 온도 조건 및 성능 기준을 나타낸다. 한편, 유럽에서는 히트펌프의 품질보증제도로써 D-A-CH (독일-오스트리아-스위스) 등급체제가 구축되어, 독일에서는 확대되고 있다.

3. 국내의 개방형 지열시스템 설계 및 시공 기준

국내 지열에너지 시장은 공공의무화사업 이후 점진적으로 확대되어 2009년에는 전체 사용에너지(243,311,000 ton)에서 차지하는 비중이 0.9%에 불과하나 전체 신재생에너지 보급률 중 가장 보급이 활발한 기술 중 하나라 할 수 있다. 국내 지열시스템 설치비용은 90% 이상이 수직밀폐형 시스템으로 추정되며, 나머지가 개방형 지열시스템 방식으로 보급되어 있으나(권구상 외, 2012; 박용부 외, 2006), 최근, 수주지열정(Standing Column Well, SWC)형을 중심으로 개방형 시스템에 대한 보급 및 기술 개발이 활발히 진행되고 있다.(지식경제부, 2009; 권익상 외, 2010; 김태원, 2011).

국내 개방형 지열시스템에 관한 연구는 시스템 성능 검증을 위한 실증 실험이나 해석기술에 관한 연구, 시스템 설치를 위한 수리적 특성 및 열물성에 관한 연구 등을 중심으로 진행되고 있으며, 개방형 지열 시스템의 장점이 널리 알려지면서 최근에는 시스템 보급도 활발하게 이루어지고 있다. 특히, 2006년에는 개방형 지열 시스템 중 SCW에 관한 설계지침에 관한 연구가 이루어졌으며(한정상 외, 2006), 환경부(2010)는 『지열설비의 설치·운영 등에 관한 환경관리요령』을 제시하였다. 한편, 지식경제부는 『신·재생에너지설비의 지원 등에 관한 지침』을 통해 개방형 지열시스템 중 스텐딩컬럼웰(SCW)형 지중열교환기의 설계 및 시공기준(제7조 제1항)에 대한 사

항을 규정하고 있다. 이 기준에서는 SCW형 지열시스템의 설계 및 시공시 검토해야 할 사항과 검토 방법을 명시하고 있으며, 설계 프로그램 GLHEPro를 이용해 장기 열원 온도에 대한 안정성을 검토하도록 규정하고 있다. 또한, SCW형 지열시스템의 용량 산정을 위한 지중열전도도 측정을 위한 모니터링 항목과 절차를 명시하고 있다. 하지만, 현재의 개방형 지열시스템의 설계 및 시공 기준에 대해, 국내 실정에 맞는 제도적, 기술적 표준화가 부족하여 개방형 시스템의 보급이 원활하게 이루어지지 않고 있다는 견해도 있다.(Kim et al., 2006; Lee and Choi, 2012). 따라서, 국내 개방형 지열 시스템의 올바른 이용과 보급 촉진을 위해서는 다양한 분야의 전문가들이 의견을 공유하고 토론할 수 있는 환경을 조성하고 명확한 근거에 의한 설계 및 시공 기준의 표준화가 무엇보다 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

개방형 지열 시스템은 막대한 포텐셜을 가지고 연중 안정된 온도를 유지하는 지하수를 냉난방의 열원으로 이용하는 기술로서, 시공비 대비 용량 및 채열 성능이 우수하여 향후 기술 개발 여하에 따라 획기적인 기술 개발과 보급의 잠재적 가능성이 높다. 특히, 지열공 설치면적이 협소한 건축물의 경우, 밀폐형에 비해 효율적으로 가용면적을 활용할 수 있다는 점에서 인기가 높다. 하지만, 개방형 지열 시스템의 경우, 지하수를 직접 양수한다는 점에서 지하수 및 지질 조건에 대한 신중한 고려를 바탕으로 세심한 설계와 시공이 이루어져야 할 것이다. 이를 위해서는 지질/지하수, 기계/설비, 건축/환경 등 다양한 분야의 전문가들이 의견을 공유하고 토론할 수 있는 환경, 특히, 성공 및 실패사례에 대한 정보를 공유하는 - 말 그대로 개방적인 마인드(Open mind)의 - 장(場)이 마련되어야 할 것이다. 현재에도 개방형 시스템에 대한 기술 표준화 및 신뢰성 확보를 위한 관련 연

구가 다양한 분야에서 진행되고 있으나, 이러한 결과를 바탕으로 현행의 개방형 지열 시스템에 대한 설계 및 시공 기준을 개선하고 발전시키는 노력이 지속적으로 필요하다. 그러한 노력이 개방형 지열 시스템, 나아가서는 지열 시스템 전체의 신뢰성 및 고효율성을 확보하는 길이며, 관련시장 활성화 및 획기적인 보급을 앞당기는 길이라 하겠다.

참고 문헌

1. Rafferty, K., 2000, Design aspects of commercial open-loop heat pump systems, Geo-Heat Center, Oregon institute of Technology, Klamath Falls, OR, U.S.A.
2. Lienau, P.J., Lund, J.W., Rafferty, K. and Culver, G., 1994, Reference book on geothermal direct use, Geo-Heat Center, Oregon institute of Technology, Klamath Falls, OR, U.S.A.
3. M. L'Ecuyer, C. Zoi and J. S. Hoffman: Space Conditioning: The Next Frontier, The Potential of Advanced Residential Space Heating Technologies for Reducing Pollution and Saving Consumers Money, U.S. EPA, (1993).
4. Kavanaugh, S.P., and K. Rafferty. 1997. Ground-source heat pumps: Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
5. Orio, C. D., C.N. Johnson, S.J. Rees, A. Chiasson, Z. Deng, J.D. Spitler. 2005. A Survey of Standing Column Well Installations in North America. ASHRAE Transactions 111(2): 109-121.
6. Rees, S.J., J.D. Spitler, Z. Deng, C.D. Orio and C.N. Johnson. 2004. A Study of Geothermal Heat Pump and Standing Column Well Performance. ASHRAE Transactions 110(1): 3-13.
7. Spitler, J.D. 2000. GLHEPRO- A Design Tool for Commercial Building Ground Loop Heat Exchangers, Proceedings of the Fourth International Heat Pumps in Cold Climates Conference, Aylmer, Quebec. August 17-18, 2000.
8. Spitler, J. D., S.J. Rees, Z. Deng, A. Chiasson, C.D. Orio, and C. Johnson, 2002. ASHRAE 1119-RP: R & D Studies Applied to Standing Column Well Design. Final Report. Oklahoma State University, Stillwater, OK.
9. K. Nagano and T. Mochida, 2002, World Circumstances of Ground Source Heat Pump Systems.
10. 일본 환경성, 地中熱利用にあたってのガイドライン. Endo et al., 東京下町低地における"ゼロメートル地帯"展開と沈静化の歴史, 應用地質, Vol.42(2), 2001, pp.74-87. 