

시설원에 히트펌프 냉난방용 강변여과수 개발

Riverbank Filtration Well Development for Water Source Heat Pumps

조용*, 이남영**, 박진훈***, 문종필****

Yong Cho, Nam Young Lee, Jin-Hoon Park, Jong-pil Moon

요 지

국내 시설원에 면적은 2005년 기준 52,022ha에 달하고 있으며 약 23%에 해당하는 12,000ha는 겨울철에 난방기를 가동하여 원예작물을 생산하고 있다. 농업용 난방기의 보급은 가온재배 면적의 증가와 더불어 급신장하고 있어 농업용 면세유 중 경유 공급액 약 9,260억원 중 62%에 해당하는 1,350,000톤이 시설원에 난방에 사용된 것으로 추산되고 있다. 지속적인 유가 상승으로 시설재배 농가의 경영이 악화되고 있어 최근 히트펌프를 이용한 냉난방시스템에 대한 연구가 수행되고 있다. 시설원에 냉난방에 사용되는 히트펌프의 열원은 다양하게 적용할 수 있으나 강변에 위치하고 있는 시설원예단지의 경우 연 중 풍부한 유량과 안정적인 수온을 얻을 수 있는 강변여과수는 매우 매력적인 열원이다. 본 연구에서는 시범지역으로 남강댐 하류에 위치하고 있는 진주지역의 시설원예단지와 낙동강 유역의 구미지역 시설원예단지의 두 곳에 대하여 1일 1,000m³의 강변여과수 개발에 대한 조사를 수행하였다.

육안 및 현장여건에 대한 조사를 수행하고 인근 지하수 사용현황에 대한 조사를 실시하였다. 진주지역의 경우 일부 농가에서 지하수를 사용하고 있었으나 1일 8~10시간 취수에 최대 취수량은 약 120m³ 정도였다. 반면, 구미지역의 경우 1999년 구미첨단원예농단 조성사업의 일환으로 양액재배에 농업용수를 공급할 목적으로 지하수 개발이 실시되었으며 최근 인근 국화축제를 개최하는 지역에서 신규로 지하수를 개발하여 사용 중이었다. 전기비저항 탐사를 실시한 결과 진주지역은 지하 약 6~17m 지점에 대수층이 존재하는 것으로 판단되었고, 구미지역은 지하 약 10~20m 지점에 대수층이 존재할 가능성이 있지만 지하 20m 지점부터는 대수층의 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

두 지역에 각각 두 공을 시추하여 조사한 결과, 구미지역의 경우 수면높이가 지하 약 10m이고 각각 2.5m와 4.6m의 모래자갈층을 형성하고 있어 1,000m³/일의 취수량 개발이 원활하지 않을 것으로 판단되었다. 한편, 진주지역은 수면높이가 지하 약 3m이고 각각 3.5m와 6.5m의 모래자갈층을 형성하고 있어 1,000m³/일의 취수량 개발이 가능할 것으로 판단되었다.

현장 시추조사 및 기존관정 조사결과, 구미지역에 비하여 진주지역이 지하수 물량 확보가 상대적으로 용이하고 신규 굴착 가능지점이 다수 분포하고 있어 연구지점으로 활용하는데 유리할 것으로 판단되었다. 따라서 진주지역에 여과수열원 확보를 위해 2곳의 양수관정을 설치하고 히트펌프를 이용하여 시설원예의 냉난방을 실시할 예정이다.

핵심용어 : 강변여과수, 히트펌프, 시설원예, 냉난방

* 정회원 · K-water연구원 선임연구원 · E-mail : ycho@kwater.or.kr
** 정회원 · K-water연구원 차장 · E-mail : nyoung@kwater.or.kr
*** 정회원 · K-water 수도기술처 차장 · E-mail : jhpark@kwater.or.kr
**** 정회원 · 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사 · E-mail : jpmoon2002@korea.kr

시설원에 히트펌프 냉난방용 강변여과수 개발

Riverbank Filtration Well Development for Water Source Heat Pumps

조용*, 이남영**, 박진훈***, 문종필****

Yong Cho, Nam Young Lee, Jin-Hoon Park, Jong-pil Moon

요 지

시설원의 대용량 냉난방시스템 실용화를 위해 본 연구에서는 강변여과수를 냉난방 열원으로 확보가 가능한 시범지역을 조사하였다. 4곳에 대한 조사를 수행하여 진주지역과 구미지역으로 압축하였고 전기비저항 탐사와 시추조사를 수행하여 최종적으로 진주지역을 시설원에 대상지로 선정하게 되었다. 진주지역의 경우 전기비저항 탐사 결과 지하 약 6~17m 지점에 대수층이 존재하는 것으로 조사되었다. 시추조사 결과 실트층이 지표로부터 약 5m에 위치하였으며, 주 대수층인 모래자갈층이 5~11m에 분포하여 전기비저항 탐사 결과와 거의 비슷하게 주 대수층이 분포함을 알 수 있었다. 또한 현장투수시험결과 주대수층인 모래자갈층의 수리전도도는 약 1×10^{-3} cm/sec로 양호한 편이므로 1,000m³/일의 취수량 개발이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 강변여과수, 히트펌프, 시설원예, 냉난방열원

1. 서 론

우리나라에는 취수를 목적으로 하는 강변여과 시설들이 생겨나고 있으며 추가적으로 설치될 예정이다. 이 시설들의 하루 취수량은 수만 톤에서 수십만 톤에 달할 것으로 예상되고 있다. 하루 수십 톤에서 최대 수백톤을 넘지 않는 기존의 지하수 활용시설과 비교했을 때, 강변여과 시설은 취수할 수 있는 양이 많아 얻어 낼 수 있는 열이 상당히 많다.

지열원 히트펌프 시스템은 많은 장점에도 불구하고 연구와 개발이 가정용이나 산업용에 초점을 맞추고 있는데 시스템의 특징으로 볼 때 농촌에서의 활용도 또한 매우 높을 것으로 판단된다. 국내 환경에 적합한 시스템에 대한 연구와 개발이 많지 않아 국내 보급이 미약한 실정이지만, 최근 관련 연구가 수행되고 있어 주목을 받고 있다. 강연구 등(2007)은 시설원예에 대하여 수평형 지열히트펌프를 사용하여 지중온도 변화에 따른 난방열량과 축열조의 특성에 대한 연구를 수행하였다. 강신형 등(2010)은 수직형 지열히트펌프의 부분부하 운전시 난방 성능에 대한 연구를 수행하여 시스템 COP 향상을 위해 순환펌프의 소비동력을 줄여야 함을 밝혀내었다.

현재까지는 폐쇄형 지열히트펌프를 이용한 연구가 진행되었고, 보다 대용량의 시설원예에 냉난방을 하기 위해 개방형 지열히트펌프에 대한 연구가 수행될 필요가 있다. 본 연구에서는 강변여과수를 이용한 시설원예의 냉난방을 위해 강변여과수를 개발하는 연구를 수행하고자 한다.

* 정회원 · K-water연구원 선임연구원 · E-mail : ycho@kwater.or.kr

** 정회원 · K-water연구원 차장 · E-mail : nyoung@kwater.or.kr

*** 정회원 · K-water 수도기술처 차장 · E-mail : jhpark@kwater.or.kr

**** 정회원 · 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사 · E-mail : jpmoon2002@korea.kr

2. 시설원에 적용대상 대상지 조사

시설원예란 대형 플라스틱 터널(정확하게 플라스틱 필름이지만 일반적으로 비닐이라 부른다) 필름 하우스 및 유리온실 등과 같은 시설 안에서 채소, 화훼, 과수를 집약적으로 재배 생산하는 것을 말한다. 이러한 대규모 시설원예 재배지 중에서 강변여과수 기술을 활용 가능한 입지를 조사하고 층적층 발달여부를 사전에 조사하여 실제 시공시 오류를 감소하고자 현장조사 및 전기비저항 측정을 실시하였다.

현장조사는 2009년 3월 및 4월에 2회에 걸쳐 진행되었으며, 조사장소는 총 4개소를 실시하여 이중 2개소(진주, 구미)로 압축하여 전기비저항측정 조사를 병행하였다. 시설원에 대상지의 재배작물은 2개소 모두 수출용 파프리카를 재배하고 있으며 작물의 생육에 필요한 낮 최고온도는 약 30℃, 심야 최저온도는 약 18℃, 일 평균 온도 22℃를 유지해야 한다. 파프리카는 재배농가에서 고소득 작물로 동절기 난방에 필요한 에너지가 많이 소요되고, 하절기 냉방을 실시할 경우 생육기간을 늘릴 수 있어 지열원을 이용한 히트펌프 냉난방시스템을 적용할 경우 재배농가에 경제적 이익이 많을 것으로 판단되어 선정하게 되었다.

2.1 지하수 사용현황 조사

진주지역은 남강댐 하류방향 제방 좌측면에 위치하고 있고 제방으로부터 약 100m 정도 떨어진 지점으로서 입지조건은 비교적 양호한 것으로 판단된다. 인근 지역에서 사용하는 지하수는 농업용으로 구경 40mm 미만, 양수펌프는 2HP 정도를 대부분 사용하고 있다. 수막재배용으로 사용하는 농가는 약 7개 정도이며 1일 취수시간은 약 8~10hr 정도이고, 기타 시비용으로 사용하는 경우는 1일 취수시간은 약 2~3hr 정도이다. 수막재배시 사용되는 수량은 최대 1일 약 120m³/일 정도이고, 기타 시비용으로 사용하는 경우 1일 약 40m³/일 정도이다. 소규모 관정에서 지하수 양수시 직경 30mm PVC 파이프를 통하여 유출되는 유량을 추정한 결과 일일 약 300m³ 정도의 양수가 이루어지고 있는 것으로 분석되었다. 조사지역에서 지하수를 장기적으로 사용하면서 수량이 감소하는 현상은 대부분 체감하지 못하였으나 3~4개소에서 구정을 전후로 한시적으로 수량이 감소하는 것으로 조사되었다. 신규 대형관정으로 개발시 물량확보가 상대적으로 용이할 것으로 판단되고 관정을 개발할 수 있는 지점이 3~4개소 존재하고 있어 연구지역으로도 유리한 조건을 갖추고 있다.

구미지역은 첨단원예농단 조성사업의 일환으로 개발된 지역으로 양액재배에 적합한 농업용수를 공급할 목적으로 3곳에서 지하수가 개발되었다. 정호의 총 심도는 155m, 지상에서 지하로 35m까지는 그라우팅을 실시하고 연암 및 경암구간 119m는 200mm 케이싱을 부설하고 5HP 수중펌프를 심도 100m 지점에 설치하였으며, 1공에서 적정 취수량은 350~400m³/일을 확보하였다(구미원예농단, 1999). 이러한 지하수는 암반지하수를 취수하기 위해 개발된 것으로 강변여과수와 상관계는 비교적 적다. 그러나 히트펌프 냉난방 열원으로 사용하기 위한 강변여과수는 심도 35m 내외의 지역에서 취수하여야 경제성에서 유리할 실정이고, 기존 관정 사이에 관정을 개발하는 경우 기존 관정의 적정채수량에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

2.2 전기비저항 탐사

대상 사업장 주변에 대수층 확인을 위하여 각 3개 지점을 지정하여 전기비저항 수직탐사를 실시하고 그 결과를 토대로 층적층 발달여부를 분석하였다. 그림 1은 진주지역의 전기비저항 수직탐사 결과를 나타내고 있다. 측선 A지점(20Ω-m, 10m)의 경우 지하 약 1~6m 지점은 전기저항도가 높은 층이 나타나는 것으로 판단되어 지하수 부존 가능성이 낮고, 지하 약 6~17m 지점에 대수층이 존재하는 것으로 판단된다. 측선 B지점(150Ω-m, 25m)과 측선 C지점 (10Ω-m, 35m)은 측선

A지점과 유사한 결과로 지하 약 1~7m 지점은 대수층이라 보기엔 어렵다고 판단되고, 지하 약 7m부터 대수층이 존재할 가능성이 있을 것으로 보인다.

구미지역의 전기비저항 탐사 결과는 그림 2에 나타내었다. 측선 A지점(250Ω-m, 30m)의 경우 지하 약 10~30m 지점의 전기저항도를 분석한 결과 대수층일 가능성이 있지만 지하 30m 지점부터는 앞의 경우보다 대수층의 가능성이 높을 것으로 판단된다. 측선 B지점(160Ω-m, 13m)은 지하 약 5m 지점부터 대수층이 존재할 가능성이 있다고 판단되며, 측선 C지점(160Ω-m, 20m)은 지하 약 10~20m 지점의 전기저항도를 분석한 결과 대수층일 가능성이 있지만 지하 20m 지점부터는 앞의 경우보다 대수층의 가능성이 높을 것으로 판단된다.

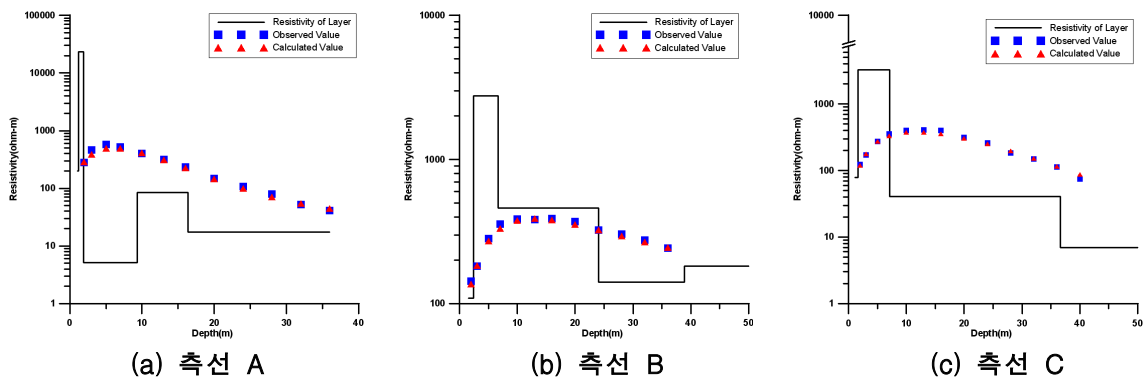


그림 1. 진주지역 전기비저항 수직탐사 결과

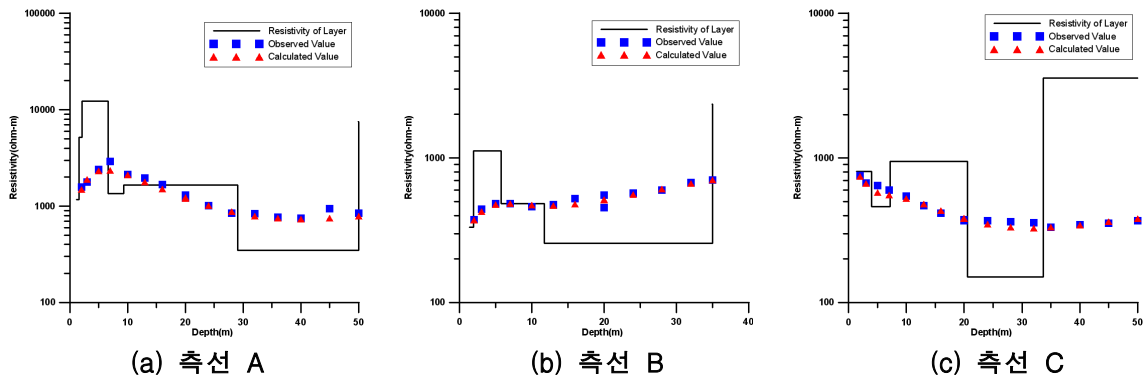


그림 2. 구미지역 전기비저항 수직탐사 결과

3. 시추 조사

대규모 시설원에 사업장 중 강변여과수 취수가능 지역 층적층 지질조사 및 대수층 확인을 위한 시추조사를 전기비저항 탐사결과를 참고하여 후보지별 2개소에서 수행하여 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 진주지역의 경우 시추조사 과정중 수행된 정수위 투수시험결과 주대수층인 ‘모래자갈층’의 수리전도도는 약 1×10^{-3} cm/sec로 양호한 편이며, BH-1공은 3.5m, BH-2공은 6.5m의 모래자갈층을 형성하고 있어 1,000m³/일의 취수량 개발이 가능할 것으로 판단된다. 연구대상지역에 분포하는 지층들 중 주대수층은 실트질 모래층 및 모래·자갈층이다.

구미 지역의 경우 시추조사 과정 중 수행된 정수위 투수시험결과 주대수층인 ‘모래자갈층’의 수리전도도는 약 1×10^{-3} cm/sec로 양호한 편이며, 주대수층인 ‘모래자갈층’이 BH-1공의 경우 2.5m, BH-2공의 경우 4.6m로 두껍지 않은 편이므로, 1,000m³/day의 용량 개발이 원활하지 않을 것으로 예상된다. 구미원에농단(1999)의 지하수영향조사서에 의하면 기존관정(심도 155m)의 경우

일일 400m³으로 60일 양수시 안정수위는 35.94m로 충적층 깊이 약 30m를 넘으므로, 지열냉난방을 위한 취수시 주변 기존관정의 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

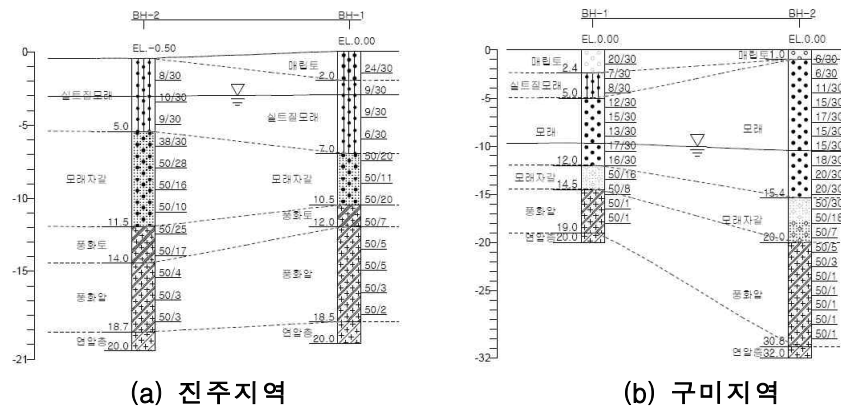


그림 5. 시추조사 결과

4. 결론 및 향후 연구 계획

본 연구에서는 강변여과수를 이용한 시설원에 냉난방시스템 실용화를 위한 시범지역을 조사하였다. 진주지역과 구미지역에 대하여 전기비저항 탐사와 시추조사를 수행하여 최종적으로 진주지역을 시설원에 대상지로 선정하게 되었다.

진주지역의 경우 전기비저항 탐사 결과 지하 약 6~17m 지점에 대수층이 존재하는 것으로 조사되었다. 시추조사 결과 실트층이 지표로부터 약 5m에 위치하였으며, 주 대수층인 모래자갈층이 5~11m에 분포하여 전기비저항 탐사 결과와 거의 비슷하게 주 대수층이 분포함을 알 수 있었다. 또한 현장투수시험결과 주대수층인 모래자갈층의 수리전도도는 약 1×10^{-3} cm/sec 로 양호한 편이므로 1,000m³/일의 취수량 개발이 가능할 것으로 판단된다.

향후 대용량 여과수열원 확보를 위한 양수정 착정, 배관 및 히트펌프 설치 등을 통하여 시설원에의 냉난방에 필요한 적정 열원 확보 연구를 수행할 예정이다. 일반적으로 대수층의 수평 수리전도도(K_h)는 수직 수리전도도(K_z)에 비해 수십~수백배 크기 때문에 본 지역과 같이 대수층의 두께가 얇고 지하수 수위가 높은 지역은 인공함양이 쉽지 않다. 하지만 지하수위 강하를 방지하고 지하수 자원을 보존할 수 있도록 지열냉난방에 활용한 여과수를 일정 부분 다시 지하에 함양하는 연구도 수행해 보고자 한다.

감 사 의 글

본 연구는 농촌진흥청 국책기술개발사업 농업바이오에너지생산기술개발(20100301-030-017-001-03-00)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 강연구, 유영선, 강금춘, 백이, 김영중(2007), 시설원예용 수평형 지열히트펌프의 난방 성능 해석, 바이오시스템공학, 제32권, 제1호, pp. 30-36.
2. 강신형, 최종민, 문제명, 김철우, 권형진, 이평강(2010), 부분부하 조건에서 지열원 멀티 열펌프 시스템의 시설원에 적용 난방 성능 특성 연구, 한국지열에너지학회 2010년도 춘계학술발표대회, pp. 54-59.
3. 구미원예농단(1999), 구미첨단원예농단조성사업 지하수영향조사서