

# SCW형 지중 열교환기 표준화에 관한 연구

김민준

한국냉동공조인증센터 책임연구원

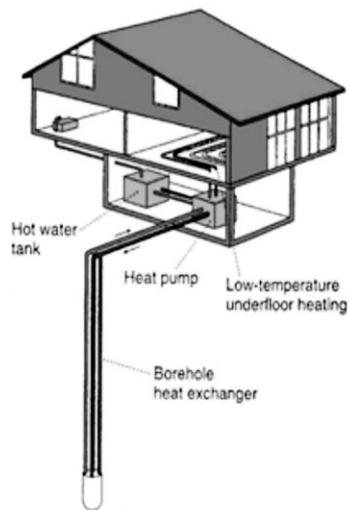
최충현

한국냉동공조인증센터 수석연구원

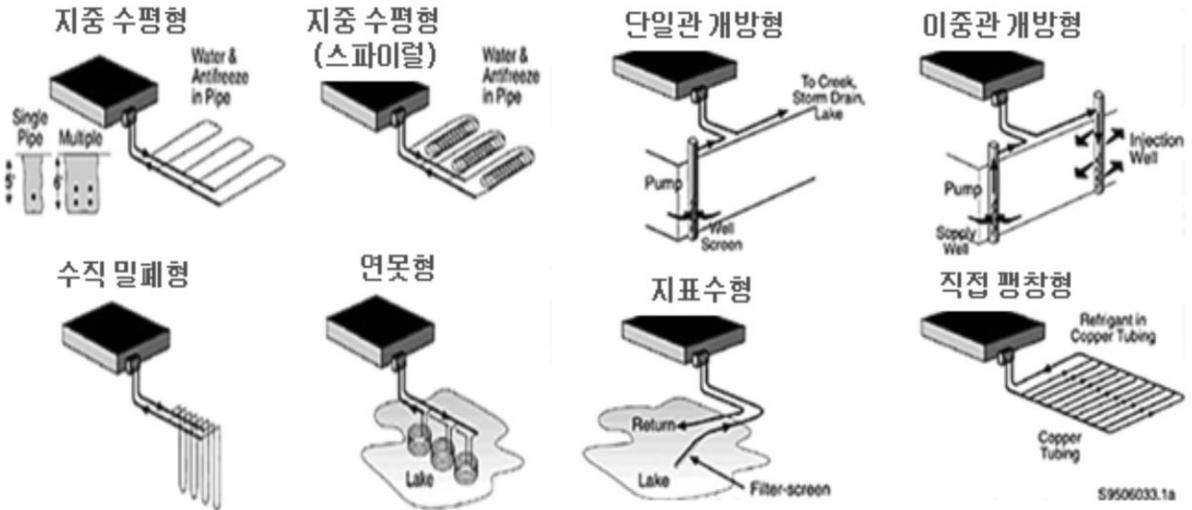
## 1. 서론

지열 열펌프 시스템(Ground Source Heat Pump System)은 신재생에너지의 활용 및 고효율이라는 큰 장점으로 인하여 지난 10년간 전 세계 30개국 이상에서 매년 10% 이상의 빠른 성장세를 나타내고 있으며,<sup>1)</sup> 국내의 경우도 최근 시행된 대체에너지 이용법과 관련하여 공공부문에서의 신재생에너지 설치가 의무화되면서 지열을 이용한 지열 열펌프 시스템에 도입이 급격히 증가하고 있다. 지열 열펌프 시스템은 온도가 연중 일정하게 유지되는 지중 열원(15~16℃)을 이용하다보니 계절에 따라서 온도가 변화되는 외기열원을 이용하는 공기열 열펌프 시스템보다 높은 시스템효율을 나타낸다. 이러한 지열 열펌프 시스템은 냉난방부하를 담당하는 열펌프, 부하측 열교환기 및 지중 열교환기로 이루어져 있다. 열펌프의 경우 시험조건에 따른 높은 효율을 충족시키기 위한 제도(NR GT 101, 102, 103)<sup>2,3,4)</sup> 및 표준(KS B ISO 13256-1, 2)<sup>5,6)</sup>이 마련되어 있으며,

또한 최근에는 시험조건에서 열펌프의 효율을 상향 조절하는 연구도 진행되었다. 그러나 지중 열교환기의 경우 지중의 상황이 현장마다 다르게 형성되어 있기 때문에 표준을 정립하기가 쉽지 않은 상황이다. 그중에서도 SCW(Standing Column Well)형 지중 열교환기는 땅속의 보어홀



[그림1] 지열 열펌프 시스템



[그림 2] 지중 열교환기의 종류

을 굴착한 후 우물공 내부에 존재하는 지하수를 취수하여 직접 및 간접적으로 지열 열펌프와 열교환을 한 후에 같은 우물공으로 환수되다 보니 다른 지중 열교환기 보다 형상 및 시공에 많은 문제점이 발생되고 있다. 또한 SCW형 지중 열교환기는 공당 열교환 능력이 국내 현실을 고려하지 않고 외국자료에 의해서 과대하게 설정하여 설계되어 지고 있어서 지열 열펌프 시스템의 정확한 설계가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 지열 열펌프 시스템에 이용되어지는 지중 열교환기 중 SCW형 지중 열교환기의 형상 및 시공에 관하여 제품 표준을 확립하고자 검토하였으며, 또한 SCW형 지중 열교환기의 지중 열전도도를 측정할 수 있는 시험 방법 표준에 대하여도 검토하였다.

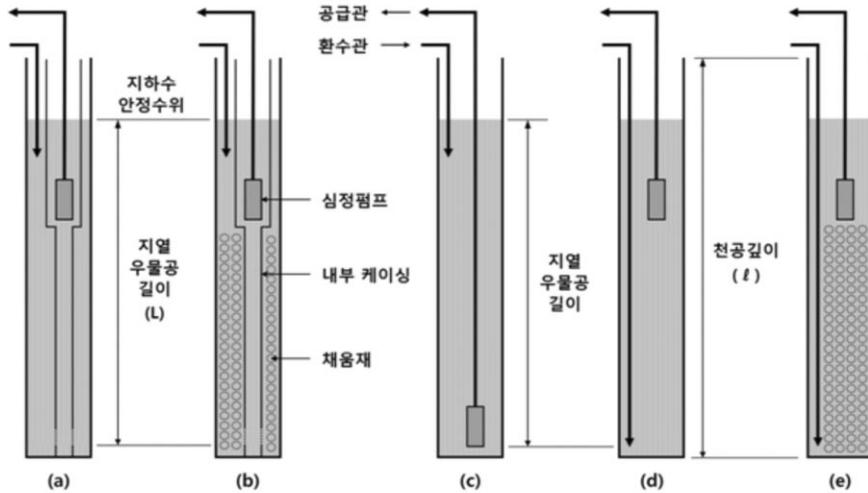
## 2. 본론

### 2.1 연구배경

지열 열펌프 시스템은 2000년대 초반부터 본격적으로 국내에 도입되어 사용되어졌으며, 보급 및

설치 용량 또한 매년 증가하는 추세이다. 그림 1은 지열 열펌프 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 지열 열펌프 시스템은 건물의 냉난부하를 담당하는 열펌프와 지중의 열을 흡수(Source) 및 방열(Sink)하는 지중 열교환기로 구성되어 있다. 지중 열교환기는 연중 일정하게 유지되는 지중의 항온성을 활용하기 때문에 공기 열원 열교환기보다 높은 열교환 효율을 나타낸다.

이러한 지중 열교환기는 지열 열펌프 시스템에 다양하게 이용되어 지고 있으며, 그림 2는 지열 열펌프 시스템에 이용되어지는 지중 열교환기의 종류를 보여주고 있다. 그림에서 보여 지는 것 중 수직밀폐형과 지중수평형, 에너지파일형 및 단일관 개방형의 일종인 스탠딩컬럼웰형(이하 SCW형) 지중 열교환기는 에너지관리공단 신재생에너지센터에서 운영하는 지침 제2013-17호 “신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정 및 지침”에 의해 관련 지침<sup>7)</sup>을 수립하고 보급 및 설치가 이루어지고 있다. 2009년에는 수직 밀폐형 지중 열교환기와 에너지 파일형 지중 열교환기의 표준(KS B 8291-1)이 처음으로 제정<sup>8)</sup>되었다. 또한 수평형 지중 열교환기의 경우도 표준화의



[그림 3] SCW형 지중 열교환기의 종류

노력이 이루어지고 있는 실태이다. 하지만 국내에 도입된 SCW형 지중 열교환기에 대해서는 표준이 정립되지 않았으며, 지열 열펌프 시스템에 SCW형 지중 열교환기를 적용함에 있어서 지역적 특성(지질, 지하수량, 대수층 개수 및 발달정도 등), 설치 방법 및 열교환기 형상 등에 따라 많은 혼선을 빚고 있다. 그러므로 본 연구에서는 SCW형 지중 열교환기의 형태 및 시공 등을 포함한 제품의 표준화를 통하여 열교환기의 형상을 확립함과 동시에 SCW형 지중 열교환기의 지중 열전도도 측정 방법을 정립하여 열교환기의 설계 용량에 대한 표준을 확립하고자 한다.

## 2.2 SCW형 지중 열교환기 제품 표준화에 대한 연구

SCW형(Standing Column Well type) 지중 열교환기란 지중에 수직 우물공의 구조로 지하수를 취수하여 열원으로 사용하고 동일한 우물공으로 재주입하는 지중 열교환기를 말한다. 그림 3은 국내에서 사용되고 있는 SCW형 지중 열교환기의 형태를 보여주고 있다. 현재 에너지관리공단에서

권장하고 있는 SCW형 지중 열교환기는 a type의 형상으로 천공된 보어홀 안에 내부케이싱이 설치된 지중 열교환기를 말한다. 하지만 본 표준에서는 앞서 언급한 SCW형 지중 열교환기의 정의에 따라서 모든 형상의 열교환기를 포함하였으며, 지중 열교환기의 시공 및 형상에 따라 설계되어지는 천공의 깊이도 정의하였다. 또한 그동안 통상적으로 사용되어졌던 열교환기의 길이를 천공 깊이와 지열 우물공 길이로 구분하여 정의하였다. 천공 깊이는 설계도면에 천공될 열교환기 깊이로 지표면에서부터 천공 바닥면까지의 길이를 말하며, 지열 우물공 길이는 실제 순환수와 지중이 열교환 되는 길이 즉, 지하수 안정수위로부터 유공관의 끝단 길이로 정의하였다. 그리고 각각의 형태의 SCW형 지중 열교환기에서 혼선을 가질 수 있는 지열 우물공 길이에 대하여 명확히 정의하였다.

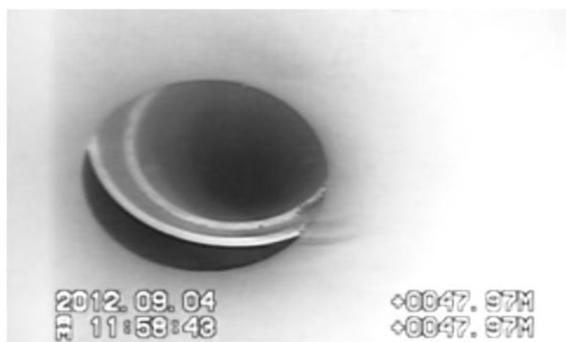
그림 4는 시험용 지열 우물공이 완성된 후에 우물공 내부를 영상촬영 하는 사진을 보여주고 있다. 시험용 우물공이 완성되어지면 그 시험현장 주변의 지반의 형태 및 지하수 대수층의 상황 및 우물공의 공무너짐 유무를 확인할 수 있도록 우

물공 내부에 영상촬영을 진행하도록 하였다. 그림 5와 6은 내부케이싱을 포함한 지중 열교환기의 내부를 영상촬영기를 이용하여 촬영한 사진이다. SCW형 지중 열교환기는 300~500 m의 지중을 굴착 한 후에 우물공 내부에 PVC 파이프를 삽입

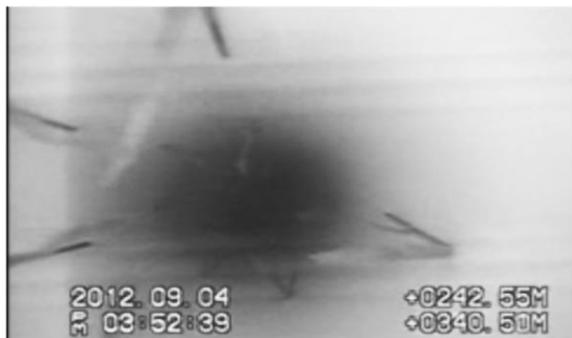
하는데, 여러 개의 파이프 조립으로 이루어진다. 사진에서 보는바와 같이 내부케이싱이 지중에서 이탈하는 현상이 종종 발생하고 있으며, 이러한 상황이 발생하더라도 현 제도 안에서는 확인할 수 있는 방법이 없는 실정이다. 이에 본 연구에는



[그림 4] 지열 우물공 내부 영상촬영기



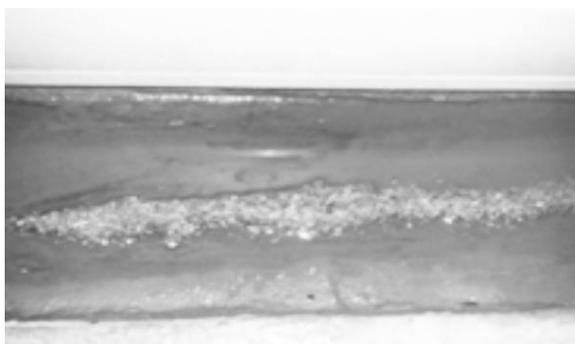
[그림 5] 내부케이싱 이탈



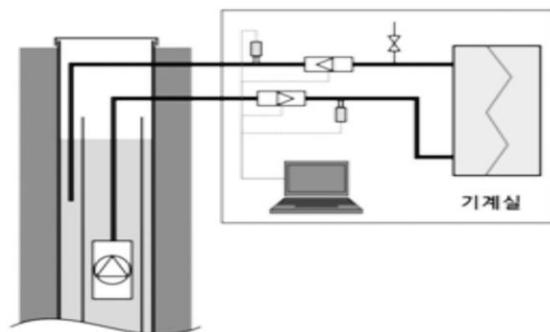
[그림 6] 내부케이싱에 설치된 유공관



[그림 7] 채움재



[그림 8] 이물질



[그림 9] 블리딩 개략도

SCW형 지중 열교환기의 열교환기 길이가 실제 설계와 동일하게 확보되었는지를 확인할 수 있도록 내부케이싱 내부를 영상 촬영하는 것을 제도화 하였으며, 내부케이싱 밖으로 순환수가 환수되어 지하암반과 열교환을 한 후 내부케이싱 안쪽으로 순환수가 잘 유입되도록 설계한 유공관의 길이를 설계도면과 비교 할 수 있도록 하였다.

그림 7은 지중 열교환기 안에 채워지는 채움재의 한 종류를 보여주고 있다. SCW형 지중 열교환기의 다양한 형태 중에서 몇몇 SCW형 지중 열교환기에는 그림에서 보여 지는 것과 같은 내부케이싱과 암반사이에 채움재를 삽입하여 지중 열교환기 내부에 공무너짐을 방지하고 지중 순환수에 좀 더 활발한 열교환을 유도하고 있다. 본 연구서는 지중 열교환기에 채워지는 채움재의 종류와 형상의 크기를 제도화함에 따라 지중 순환수가 지중 열교환기 내부를 순환함에 있어 유량저하가 발생하지 않도록 하였다.

또한 SCW형 지중 열교환기에서 안정적으로 지하수를 취수여 사용할 수 있도록 심정펌프의 설치 위치와 수위변화에 따른 심정펌프의 고장을 최소화 할 수 있도록 안정장치를 설치하도록 하였으며, 우리나라의 계절별 지역별 특성에 따라 지하수의 수위가 변화하는데 특히 갈수기와 풍수기에 지하수의 수위변화를 관측할 수 있도록 지중 열교환기에 관측공을 설치하도록 하였다.

그림 8은 SCW형 지중 열교환기에서 나온 이물질의 사진을 보여주고 있다. SCW형의 경우 지하수를 직접 취수하여 사용하기 때문에 지하수와 함께 지하에 작은 암석 알갱이가 순환수에 섞여 나오기도 하는데 이러한 이물질이 열펌프로 유입되면 얇은 판들로 이루어진 판형열교환기의 유로를 막고 더 나아가 열펌프의 고장에 원인이 된다. 따라서 이러한 이물질을 걸러 낼 수 있는 여과기의 설치를 의무화함으로써 시스템에 안정성을 확보하도록 하였다.

그림 9는 SCW형 지중 열교환기의 블리딩 배관 모식도이다. 블리딩이란 지열 열펌프 시스템에 과

부하로 인해 지중의 열교환 능력이 현저히 감소함에 따라 안정적으로 시스템을 운전할 수 있도록 하는 방식으로 지중에서 취수한 지하수의 일부를 같은 공으로 재주입하지 않고 외부로 방출하여 지열 우물공에 새로운 지하수를 유입시켜 지중 열교환기의 열교환 능력을 증가시킴으로써 시스템이 안정적으로 운전되도록 하는 행위를 말한다. 그러나 방출시킬 수 있는 허용 유량보다 많은 양의 지하수를 외부로 방출시킨다면 지중의 지하수위는 점차 감소되어 고갈될 것이 기정사실이다. 그러므로 시스템의 안정성을 확보하기 위한 블리딩은 할 수 있으나 허용량 이상 블리딩 되지 않도록 제어할 수 있는 모니터링 방법을 마련하였다.

### 2.3 SCW형 지중 열교환기의 지중 열전도도 측정을 위한 시험 방법 표준화 연구

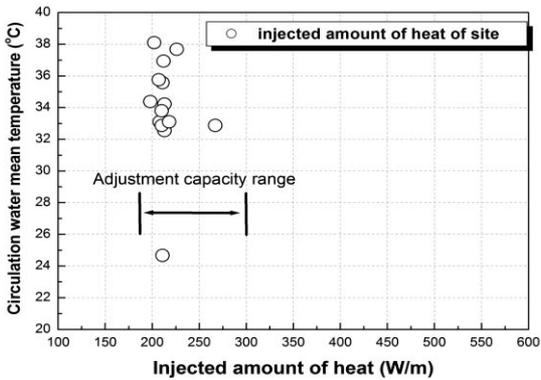
지열 열펌프 시스템을 설계함에 있어 가장 중요한 것 중 하나가 지중 열교환기의 길이를 산출하는 것이다. 설계부하에 알맞은 지중 열교환기의 길이를 산출하여 사용자가 필요로 하는 지열 우물공의 개수를 결정함에 있어 지중에 존재하는 열교환량을 예측해야 한다.

우선 SCW형 지중 열교환기의 지중 열전도도를 예측하기 위한 방법으로는 수직 밀폐형에서 사용되어지는 선형열원법(Line Source Method)을 응용하여 이용하였으며, 식 1과 같이 표현된다.

$$k'' = \frac{Q}{4\pi \cdot L'' \cdot a} \quad (1)$$

여기서  $K''$ 는 SCW형 지중 열교환기의 지중 열전도도,  $Q$ 는 SCW형 지중 열교환기에 투입된 평균열량( $W$ ),  $L''$ 은 지열 우물공 길이(m),  $a$ 는 대수시간에 대한 순환수 평균온도 변화 곡선의 기울기를 말한다.

위 식에서 알 수 있듯이 지중 열교환기의 열교환량을 결정하는 중요 인자로 지중온도, 지중 열교



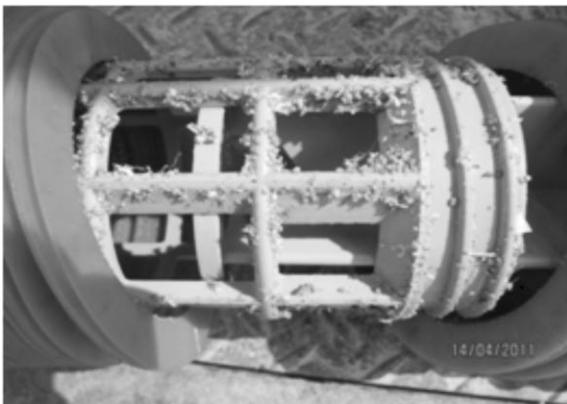
[그림 10] SCW형 지중 열교환기 단위 길이당 투입 열량에 따른 지중 순환수 평균온도 (열량 투입 12시간 경과)

환기 길이, 지중 열전도도 등임을 알 수 있다. SCW형 지중 열교환기에 있어 열교환기의 길이는 매우 중요한 인자중 하나이다. 수직 밀폐형의 경우 트렌치 깊이에서부터 천공이 이루어진 깊이를 열교환기 길이로 보고 있으며 다른 밀폐형 지중 열교환기도 비슷한 경향을 갖는다. 하지만 SCW형 지중 열교환기의 경우 천공된 우물공 안에 생성된 지하수를 이용하여 사용하다보니 지역적 특성에 따라 지하수 수위가 다양하게 나타남으로 수직 밀폐형처럼 천공 깊이가 지중 열교환기 길이로 보기에는 어려운 상황이다. 이에 그동안 관행처럼 사용되어지던 열교환기의 길이

에 대하여 그림 3에 정의 하였으며, 또한 지중 열전도도에 사용되어 지던 지중 열교환기의 길이를 지열 우물공 길이로 정의함에 따라 좀 더 실제적인 지중 열전도도를 유도할 수 있도록 하였다.

선형열원법에 사용되어지는 지중 열교환기의 투입열량은 실제 사용하고자 하는 지중 열교환기의 열량을 투입하는 것이 가장 바람직하다. 왜냐하면 실제 사용하고자 하는 열량을 지중에 투입하였을 때 지중에서 열을 흡수 및 방열하면서 나타나는 열적특성이 실제 부하에서도 동일하게 나타나기 때문에 시험을 통해 지중의 열적 특성을 예측할 수 있다.

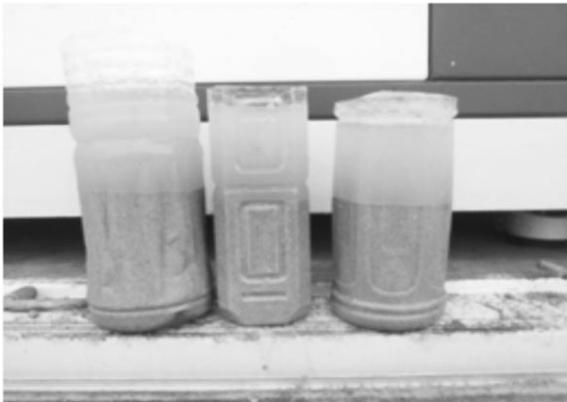
그림 10은 그동안 진행된 SCW형 지중 열교환기의 지중 열전도도 측정 시험에서 열교환기 단위 길이 당 투입열량에 따른 지중 순환수 평균온도들을 보여주고 있다. 그림에서 지중 순환수의 온도는 지중에 열량투입 후 12시간이 경과되었을 때의 값을 보여주고 있다. 에너지관리공단에서 운영되고 있는 지침서상에는 SCW형 지중 열교환기의 단위 길이당 투입열량이 (200~500) W로 표시되어 있으나 그림에서 보여 지는 것과 같이 열교환기 단위 길이당 투입열량이 약 200 W 정도 임에도 불구하고 지중 순환수의 온도가 30 °C를 넘는 것을 볼 수 있다. 이는 SCW형 지중 열교환기의 열교환 능력이 실제 값보다 많이 반영되어 있음을 알 수 있는 부분으로 본 연구에서는 지



[그림 11] 이물질 사진



[그림 12] 이물질 사진



[그림 13] 암반 슬러지 사진

중 열교환기 단위 길이 당 투입열량을 (180~300) W로 열량을 작게 설정하였으며, 또한 용량 범위도 좁게 한정하여 정의하였다. 이는 그동안 과잉되게 현장에서 사용되어지던 SCW형 지중 열교환기의 열교환 능력이 본 연구결과로 인해 현실적으로 상당부분 반영될 것으로 사료되어진다.

그림 11, 12, 13 및 14는 SCW형 지중 열교환기의 지중 열전도도 측정시험에서 여과기에 의해 걸러진 이물질들을 보여주고 있다. SCW형 지중 열교환기의 지중 열전도도 시험은 24시간 동안 진행되어지며, 이때 순환수의 유량 및 취수와 환수의 온도차가 일정하게 유지되어야 한다. 하지만 그림에서 보는 것과 같이 필터 및 여과기에 이물질들이 끼게 되면 순환수의 유량은 줄어들고 취수와 환수의 온도차가 벌어지면서 정확한 지중 열전도도를 유추 할 수가 없게 된다. 이에 본 연구에서는 시험이 이루어지기 전에 필터 및 여과기를 설치하여 지중 열교환기에서 배출되는 이물질의 양이 시험에 영향을 받지 않도록 공 내부에 순환수를 순환시켜 청소할 것을 권장하였다.

### 3. 결론

국내에서 설치되고 있는 다양한 SCW형 지중 열교환기의 설치 및 시험을 통하여 그동안 얻은 노



[그림 14] 지하수 탁도 사진

하우를 바탕으로 SCW형 지중 열교환기의 설계 및 시공에 관한 제품 표준화 및 SCW형 지중 열교환기의 지중 열전도도 측정을 위한 시험방법 표준화를 연구하면서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SCW형 지중 열교환기 시공기술의 표준화로 지열 시스템 설계시공분야에 기술적 안정성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.
- 2) SCW형 지중 열교환기의 내부케이싱 공내 촬영을 실시함으로써 열교환기의 신뢰성이 높아질 것으로 예상된다.
- 3) SCW형 지중 열교환기의 길이를 지하수 안정수위로부터 정의함으로써 정확한 지중 열교환기 길이를 예측할 수 있다.
- 4) SCW형 지중 열교환기의 지중 열전도도 시험 방법의 표준화를 통해서 실질적인 열교환기의 열용량을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Rybach, L., The advance of geothermal heat pumps—worldwide, IEA Heat pump Center News Letter, 23(4), No2/2008.
2. NR GT 101 신재생에너지 설비심사세부기준 물-물 지열원 열펌프 유닛 (2012).

3. NR GT 102 신재생에너지 설비심사세부기준 물-공기 지열원 열펌프 유닛 (2012).
4. NR GT 103 신재생에너지 설비심사세부기준 물-공기 지열원 멀티형 열펌프 유닛 (2012).
5. KS B ISO 13256-1 수열원 열펌프 - 성능 시험 및 평가 1부 : 물-공기와 브라인-공기 열펌프 (2002).
6. KS B ISO 13256-2 물을 열원으로 이용한 열펌프의 성능 시험 평가 - 제2부 : 물 대 물, 염수 대 물 열펌프 (2003).
7. 에너지관리공단 신재생에너지센터 공고 제 2013-17호 “신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정 및 지침”, (2013).
8. KS B 8291-1 : 지열 열펌프 시스템 - 지중 열전도도 시험방법 제 1부 : 수직밀폐형과 에너지 과일형, 2009.
9. Zheng Deng , Modeling of standing column wells in ground source heat pump systems, Ph.D Thesis, Oklahoma State University, USA (2004).