

지중열교환기 자동분리시스템 및 시공방법

전보경 차장

(주)삼미지오테크 기술연구소

1. 서론

산업사회의 발달과 생활환경의 개선으로 쾌적한 환경의 요구가 증가됨에 따라 자원고갈 및 지구 온난화, 온실효과 등과 같은 심각한 환경변화가 발생되고 있다. 이에 응하기 위해 도입된 지열에너지 이용기술이 다양한 측면에서 높은 가치를 나타내고 있다.

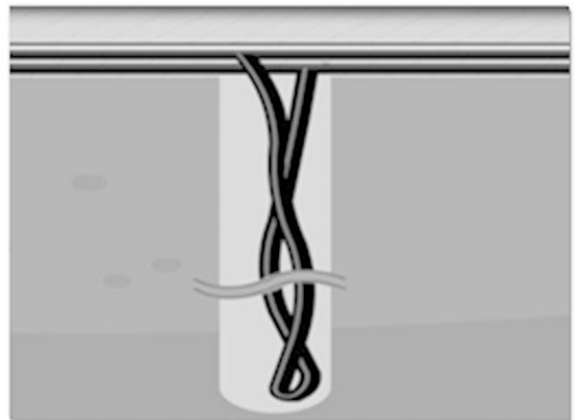
일반적으로 지열에너지를 이용한 냉·난방 기술은 1950년대에 최초로 개발되어 미국, 유럽, 아시아 등 각 국가에서 널리 사용되는 기술이다. 지열에너지 자원은 연중 상태의 변화가 거의 없이 일정하며, 국내 모든 곳에서 큰 차이를 보이지 않는다. 지열은 안정적이며 항구적으로 사용할 수 있으며, 점점 증가되고 있는 에너지수요의 상당 부분을 공급할 수 있는 국내 유일의 부존 가능 에너지원이다.

2. 본론

지열에너지의 사용이 확대됨에 따라 많은 기업, 연구기관 등에서 관련 연구개발이 지속적으로 진

행하고 있으나 대부분의 연구개발은 히트펌프 시스템 또는 실증에 대한 것들이 대부분이며, 시공 기술, 재료의 효율향상 등에 대한 기술개발 실적은 상당히 부족한 실정이다.

당사에서는 지열시스템의 요소기술로써 지중열교환기에 대하여 많은 연구개발을 진행하여 왔다. 상세하게는 공급측과 환수측으로 이루어진 지중열교환기가 천공홀 내부에서 일정 간격으로 유지된 상태로 그라우팅이 이루어짐으로써 지중열교



[그림 1] 기존 지중열교환기 설치 및 그라우팅의 의 문제점

환기를 순환하는 유체(물)의 안정적인 열교환을 도모하기 위한 지중열교환기 자동분리시스템 즉, 지중열교환기 그라우팅용 스페이서와 이를 이용한 시공방법을 개발하였다.

2.1 지중열교환기 스페이서

2.1.1 개발배경

지열에너지를 이용하기 위해서는 지중열교환기를 지중에 설치해야하며, 지중열교환기는 파이프의 매설방법에 따라 지하 150 m 내지 200 m의 깊이로 파이프를 매설하는 고밀도 폴리에틸렌 파이프(HDPE PIPE)를 매설하는 수직형과 지하 1.5 m~2.0 m의 깊이로 수평 방향으로 매설하는 수평형이 있으며 지하수에 직접 파이프를 연결하는 지하수형이 있다.

수직형 지중열교환기는 38~91 w/m, 수평형 지중열교환기는 38~59 w/m 정도의 열을 공급할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 일반적으로 수직형 지중열교환기는 단일 U-Tube 형이 일반적이며 2중 U-Tube형도 사용된다. 지중열교환기를 매설하는 천공의 직경은 100 mm~200 mm(보통 150 mm) 정도이며 토양의 조건, 설치되는 시스템의 용량에 따라 150 m에서 200 m 깊이로 적정

수량을 천공한다. 이때 공급관과 환수관은 열적간섭을 예방하기 위해 서로 간에 밀착되지 않아야 하며, 천공 사이의 간격은 일반적으로 5 m를 유지한다.

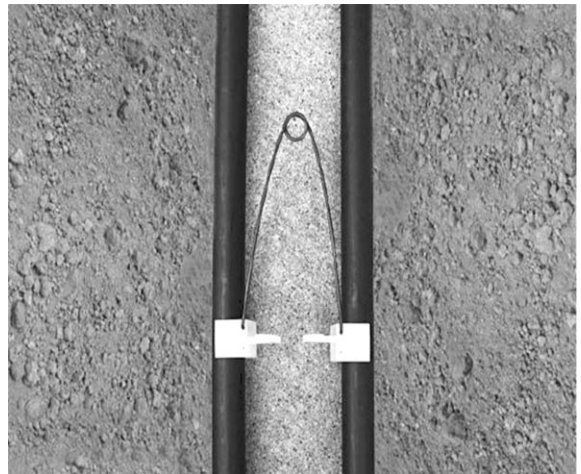
종래에는 천공홀 내부에 지중열교환기를 삽입한 상태에서 그라우팅 파이프를 이용하여 천공홀의 하측에서부터 그라우팅 액을 주입하는 방식으로 그라우팅 시공을 실시하였다. 그러나 그라우팅 파이프가 지중열교환기의 공급관과 환수관 사이에 위치한 상태에서 그라우팅 액이 주입될 때 공급관과 환수관의 간격이 일정하게 유지되는 것이 좋지만, 지중열교환기는 공급관과 환수관이 서로 간에 밀착될 가능성이 큰 불균일한 상태로 설치되고 그 상태로 그라우팅이 실시되면 공급/환수 간의 열적간섭을 완전히 배제하기 어렵다. 이에 따라 지열시스템 천공 공사비가 상승하게 되고 시공품질 저하는 물론 지중열교환기의 효율이 떨어짐으로 인해 지열시스템 전체효율에 영향이 미치는 결과를 초래하였다.

2.1.2 특징

그라우팅 파이프에 간단히 설치하여 천공홀에 배치된 지중열교환기 상호간에 일정 간격으로 유지시킨 상태에서 그라우팅 작업을 안정적으로 실



[그림 2] 지중열교환기 자동분리시스템



[그림 3] 지중열교환기 분리시스템 해외사례

시하도록 하고, 그와 동시에 지중열교환기의 효율이 일정하게 유지되도록 할 수 있는 지중열교환기를 제공하기 위해 지중열교환기 자동분리시스템(스페이서) 및 시공기술을 개발하였다.

지중열교환기 자동분리시스템(스페이서)는 그라우팅 시공에 연계된 자동화 방식으로 지중열교환기의 열 간섭을 최소화 하고 그라우팅의 효율을 향상시킬 수 있는 시스템이다. 또한 천공홀의 열전도도를 향상시키고 이에 따라 기존 지중열교환기 설치 및 그라우팅 시공방식에 비해 지중열교환기 시공길이를 5~10% 이내 감소시킬 수 있는 특징을 가지고 있다

2.1.3 지중열교환기 스페이서

지중열교환기 자동분리시스템(스페이서)은 지중에 천공된 천공홀 내부에 배치된 U자형 지중열교환기 사이로 삽입되는 그라우팅 파이프 및 그라우팅 파이프와 결합되는 연결관이 구비된 몸체와, 연결관의 좌우 양측으로 각각 이격 배치되고 지중열교환기가 삽입되는 사이드 홀이 구비된 스페이서를 포함한 시스템이다.

지중열교환기 스페이서는 좌측과 우측이 각각 외측을 향해 돌출된 라운드부를 포함하고 있으며, 몸체는 상기 연결관과 연통되고 하측으로 개구되

며 그라우팅 파이프를 통해 공급된 그라우팅 액이 천공홀을 향해 배출되도록 구비된 분출공으로 이루어져 있다. 또한 스페이서는 천공홀의 직경보다는 상대적으로 작은 직경으로 이루어져 있다. 이는 스페이서의 몸체가 그라우팅 파이프와 결합된 상태에서 천공홀의 내부 길이 방향을 따라 용이하게 이동시키기 위함이다.

스페이서는 그림 4와 같이 반원형의 단면으로 이루어진 것으로 개발 되었으나 삼각 또는 사각형상의 다각 단면으로 이루어지는 것도 가능하다. 그림 4와 같이 스페이서의 좌측과 우측에 구비된 사이드 홀의 형상으로 인해 지중열교환기의 외주면과 최소한의 면적으로 접촉될 수 있으며, 이를 통해 스페이서가 수백 미터에 이르는 지중열교환기의 길이 방향을 따라 이동되는 경우에도 발생되는 마찰을 최소화 할 수 있게 된다.

스페이서는 다량의 그라우팅 액이 천공홀 내부로 주입되는 경우에도 그라우팅 액이 주입되는 위치에서 천공홀을 폐쇄시키지 않고 안정적으로 주입할 수 있으며, 그라우팅 액이 과도하게 주입되는 경우에도 그라우팅 파이프와 지중열교환기에 파손을 유발시키지 않고 기존과 동일한 방식으로 그라우팅 액의 이동 가능한 공간을 제공한다,

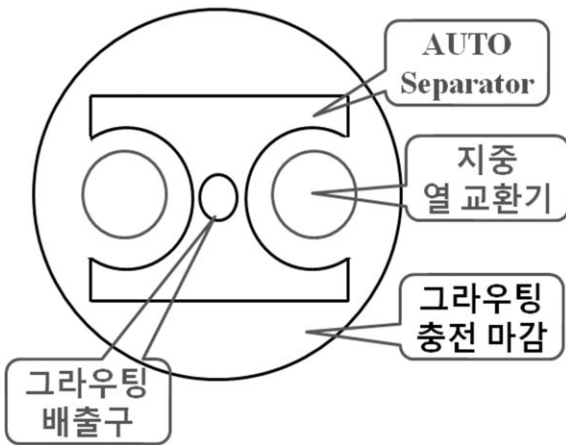
2.2 시공방법

2.2.1 결 합

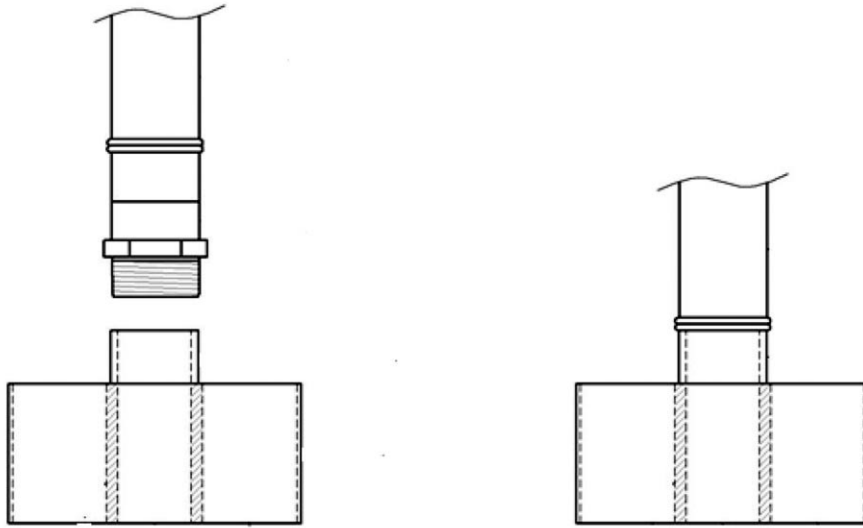
스페이서가 설치되는 지중열교환기와 그라우팅 파이프의 결합 상태는 그림 5와 같다.

그림 5를 참조하면 스페이서는 재질이 스틸 또는 스테인리스로 이루어질 수 있으며, 연결관이 위치한 부분이 그라우팅 파이프의 하부 내측과 결합된 상태에서 융착 고정됨으로써 그라우팅 파이프와 스페이서의 결합이 이루어지고 개구된 사이드 홀의 위치에 지중열교환기의 공급관과 환수관이 각각 결합된다.

연결관은 그라우팅 파이프의 내측으로 삽입되며 스페이서의 상부를 향해 소정의 길이를 가지며

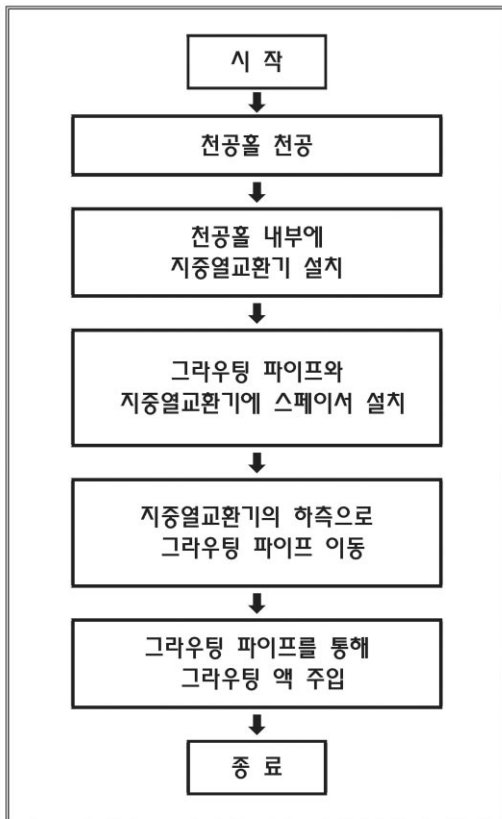


[그림 4] 천공홀 내 자동분리시스템



[그림 5] 그라우팅 파이프와 스페이서의 결합

<표 1> 스페이서를 이용한 지중열교환기 그라우팅 시공 도식



연장되고 그라우팅 파이프를 통해 공급된 그라우팅 액이 배출되는 분출공과 연통되어 형성된다.

사이드 홀은 연결관을 기준으로 좌측과 우측에 각각 이웃하여 배치되고 지중열교환기의 공급관과 환수관에 각각 삽입되며 공급관과 환수관의 직경 보다는 상대적으로 큰 직경으로 이루어진다.

2.2.2 시공

표 1과 같이 지중열교환기의 그라우팅 시공방법은 지중열교환기가 설치될 위치에 천공홀을 천공하는 단계와 천공홀 내부에 지중열교환기를 설치하는 단계가 있으며, 그라우팅 파이프에 장착된 스페이서와 지중열교환기를 서로 간에 결합하는 단계 및 그라우팅 파이프를 지중열교환기의 하측으로 이동하는 단계, 천공홀에 그라우팅 액을 주입하는 단계로 구분된다.

그라우팅 파이프에 장착된 스페이서와 지중열교환기를 서로 간에 결합하는 단계는 그라우팅 파이프와 스페이서의 고정 결합, 지중열교환기와 스페이서의 인서트 결합에 의해 상호 간에 결합된다.

천공홀에 그라우팅 액을 주입하는 단계는 그라

우팅 파이프를 통해 공급되는 그라우팅 액의 공급량과 스페이서와 결합된 그라우팅 파이프가 지중열교환기의 길이 방향을 따라 이동되는 속도가 서로 간에 비례하는 것을 특징으로 한다. 예를 들어 그라우팅 액의 공급량이 증가되면 천공홀에 주입되는 그라우팅 액 또한 비례하여 증가되고 그라우팅 파이프가 지중열교환기의 길이 방향을 따라 이동되는 속도 또한 그에 비례하여 빨라져야만 스페이서 상부로 그라우팅 액이 이동되지 않는 상태로 주입이 이루어지기 때문이다.

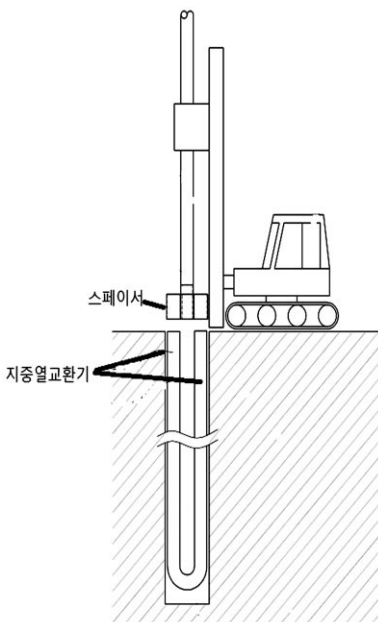
만약 그라우팅 액이 스페이서의 상부로 이동될 경우에는 지중열교환기의 외주면에 그라우팅 액이 잔존하게 되고 스페이서에 개구된 사이드 홀의 내측으로 다량의 그라우팅 액이 유입되어 지중열교환기의 길이 방향을 따라 이동되는 스페이서와 지중열교환기 사이에 불필요한 마찰을 발생시키거나, 지중열교환기의 특정 위치에서 이동이 중지될 수 있는 문제점이 유발될 수 있기 때문이다.

따라서 스페이서에 개구된 사이드 홀에는 스페

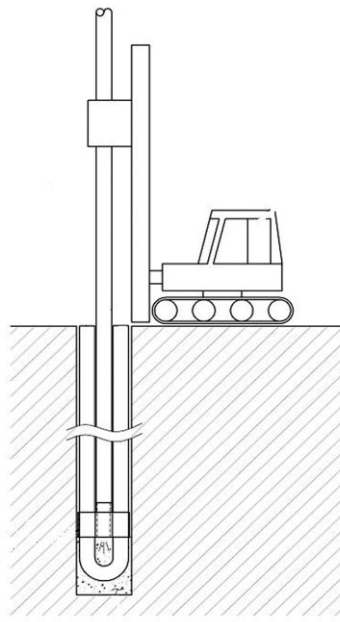
이서의 이동에 따라 소량의 그라우팅 액이 유입될 수 있으나, 앞서 설명한 바와 같이 스페이서의 상측으로 다량의 그라우팅 액이 이동되는 경우는 원활한 스페이서의 이동을 방해할 수 있기 때문에 그라우팅 액의 공급량에 따라 스페이서와 결합된 그라우팅 파이프의 이동 속도 또한 그에 비례하여 이동되는 것이 바람직하다.

그림 6, 그림 7, 그림 8을 참조하면, 작업자는 지중열교환기가 설치된 위치에 일정한 깊이(일반적으로 150 m~200 m)를 천공한 별도로 측정 장비를 이용하여 지표면에서부터 천공된 천공홀의 전체 깊이를 측정한다. 설계깊이와 천공깊이가 일치할 경우에는 지중열교환기를 천공홀 내부로 삽입하고 일치하지 않을 경우에는 천공홀에 대한 천공을 다시 실시한다.

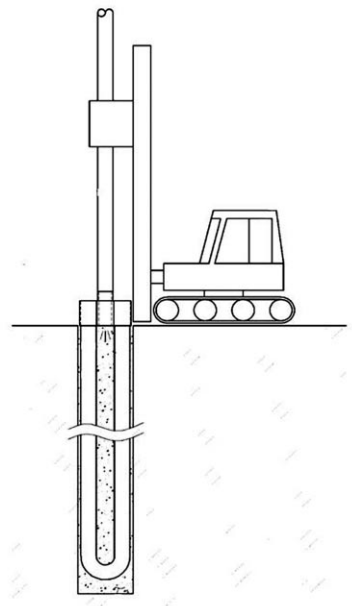
작업자는 개구된 천공홀 내부로 지중열교환기를 삽입하고 그라우팅 파이프가 구비된 그라우팅 장비를 천공홀을 향해 수직 상태가 유지되도록 설치한다. 스페이서에 구비된 연결관과 그라우팅 파이프의 하측 단부를 융착하여 설치한다.



[그림 6] 그라우팅 전



[그림 7] 그라우팅 중



[그림 8] 그라우팅 후



지중열교환기 설치



스페이서 결합



그라우팅 파이프 삽입



그라우팅 파이프 삽입 완료



그라우팅(진행중)



그라우팅(완료)

[그림 9] 스페이서를 이용한 지중열교환기 그라우팅 시공

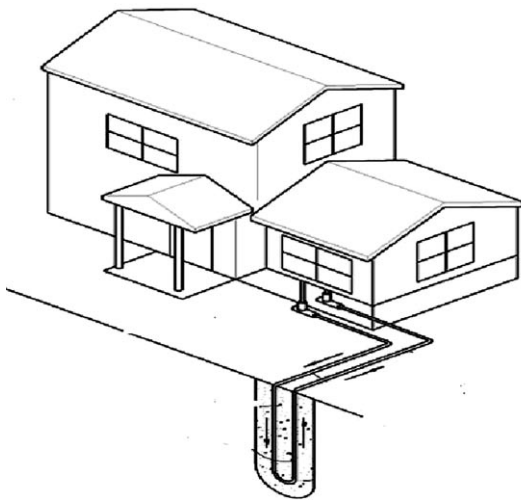
작업자는 그라우팅기와 연결된 그라우팅 파이프를 천공홀을 향해 수직으로 위치한 상태에서 스페이서에 개구된 사이드 홀과 지중열교환기의 공

급관과 환수관의 위치가 서로 간에 일치되도록 그라우팅 파이프의 위치를 조절하여 사이드 홀의 내측으로 공급관과 환수관을 삽입시킨다.

작업자는 그라우팅 파이프가 지중열교환기의 길이 방향을 따라 하측으로 이동되도록 그라우팅기를 제어하고, 목표 위치에 스페이서가 위치한 경우에 펌프를 가동시켜 그라우팅 액을 그라우팅 파이프를 공급한다.

그라우팅 액은 그라우팅 파이프를 따라 이동하여 연결관을 경유하여 스페이서의 분출공을 통해 천공홀의 하측으로 배출되고, 이와 동시에 그라우팅 파이프는 지중 열교환기의 길이 방향 상측으로 소정의 속도가 유지되면서 이동된다.

스페이서는 지중열교환기의 길이 방향을 따라 상측으로 이동되면서 개구된 천공홀의 내측과 부분적으로 간섭될 수 있으나, 라운드부의 라운드진 형상에 의해 천공홀과의 간섭이 최소화되면서 상측으로 이동될 수 있다.



[그림 10] 지중열교환 흐름도

작업자는 이와 같이 지중열교환기의 하측에서부터 상측까지 소정의 속도를 유지하면서 그라우팅 파이프를 이동시켜 천공홀에 대한 그라우팅 작업을 완료한다.

3. 결론

그림 10과 같이 히트펌프는 건축물에 대한 냉방 또는 난방을 실시하기 위해 작동 유체(물)를 배관을 통해 지중에 매설된 지중열교환기의 공급관으로 공급하고, 유체는 공급관을 따라 화살표 방향으로 이동하여 년 중 항상 일정한 온도로 유지되는 지중과의 열교환을 실시한 후에 환수관을 통해 이동되어 다른 히트펌프로 공급되어 건축물의

냉방 또는 난방을 도모한다.

공급관과 환수관은 천공홀에서 길이 방향을 따라 서로 간에 일정한 간격을 두고 일정하게 이격 배치된 상태가 유지되고, 유체(물)는 공급관과 환수관을 따라 이동되면서 지중열교환기의 외측에 주입된 그라우팅 액을 통한 방열 또는 흡열이 안정적으로 이루어진 후에 히트펌프로 계속 순환될 수 있다.

따라서 자동분리시스템(스페이서) 적용 그라우팅이 적용된 지중열교환기는 계절에 상관없이 항상 일정한 효율로 작동될 수 있으며 지중열교환기에서 열전달이 부분적으로 불안정하게 이루어지는 문제점이 발생되지 않고 안정적인 운영을 이루어 낼 수 있다. 