

건물일체형 지중열교환시스템(EnerGeo System)

■ 김 양 섭 / 부회장, 대림산업(주), kys79@daelim.co.kr

공동주택 기초로 사용하는 PHC 파일 중공에 코일형 파이프를 삽입하여 지열시스템의 지중열교환기로 사용함으로써 별도의 천공비용이 발생하지 않아 경제적이고, 시공 및 운영 과정이 친환경적이며, 지중열전도도 등 성능을 크게 개선한 기술이다.

일반적으로 지열 에너지(지열)란 지중(토양, 지하수, 지표수 등)이 태양 복사 에너지나 지구 내부의 마그마 열에 의해 보유하고 있는 에너지를 의미한다. 이는 지구에 도달하는 전체 태양 복사에너지 중 약 47%를 차지하며, 대체로 특정 깊이의 지중 열은 연중 일정한 온도를 유지하고 있다. 이러한 지열 에너지는 지표면으로부터의 깊이에 따라 천부지열(shallow geothermal)과 심부지열(deep geothermal)로 구분된다. 우리가 흔히 건물의 냉난방에 사용하는 지열시스템은 100 m ~ 200 m 범위의 천부지열을 이용하는 것이다.

건물의 냉난방에 적용 가능한 지열시스템의 종류는 크게 토양 이용 열펌프(ground-coupled heat pumps), 지하수 이용 열펌프(ground water heat pumps), 지표수 이용 열펌프(surface water heat pumps), 복합 지열원 열펌프(hybrid ground source heat pumps)로 구분할 수 있다. 일반적으

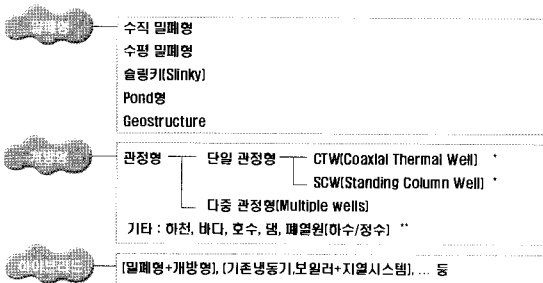
로 건물의 냉난방에는 토양 이용 열펌프를 주로 사용하며, 이는 다시 지중열교환기의 열전달(교환) 유체 순환방식에 따라 밀폐형(closed loop type)과 개방형(open loop type)으로 구분할 수 있다.

지중열교환기를 설계할 경우에 우선 건물에서 요구되는 최대 냉난방 부하를 정확하게 산출하고 이 중에서 히트펌프가 취급하는 냉방능력과 난방능력을 판단하여 적절한 용량으로 지중열교환기를 선정하여 설계하여야 한다. 우리나라의 경우 지중에 설치된 루프를 통해 열교환 유체(물+부동액)를 순환시켜 열을 회수하거나 교환하는 밀폐형 방식의 수직밀폐형을 선호하고 있다.

그러나, 지중열교환기를 설치 시공하기 위해서는 밀폐형의 경우 지중 150 m ~ 200 m, 개방형의 경우 500 m 이상까지 천공을 하여야 한다. 이때 천공에 소요되는 공사비는 지열시스템 공사비의 40% ~ 50%를 차지하는 것으로 알려져 있다.

이러한 지열시스템의 설치 및 운영에 따라 토양 및 지하수에 미치는 환경적 영향이 발생하기도 한다. 우리나라에서 선호하는 수직밀폐형은 많은 수의 천공을 할 경우 상당 기간의 공사 기간이 필요하다. 따라서 적절한 관리가 이루어지지 않을 경우, 강우 시 빗물의 유입 및 지표 오염물질의 지하 침투 등으로 인한 토양 및 지하수 오염이 우려되기도 한다. 이외에도 그라우팅 재료에 의한 토양 및 지하수 영향, 히트펌프 냉매 누출, 지중 열교환 루프의 열교환 유체 누출, 지중열교환기 폐쇄 시 열교환 유체의 부적절한 방치 등이 있으며, 개방형의 경우 재주입 지하수에 의한 수질변화, 지하수 불리딩으로 인한 지반침하, 수량변화 가능성 등이 추가로 발생할 수 있다.

따라서 외국에서는 별도의 천공을 필요로 하지 않는 건물 기초를 이용한 지중열교환기를 시공한 사례를 볼 수 있다. 특히 유럽의 경우 신재생에너지 선진국인 독일을 비롯하여 영국, 오스트리아,

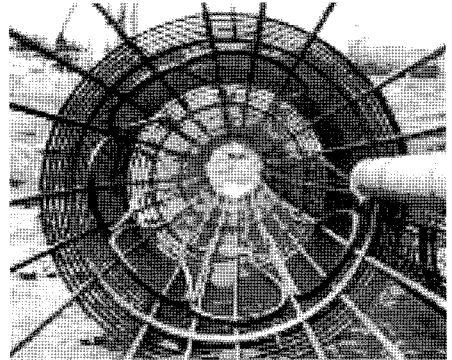
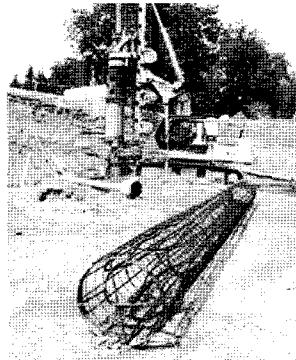
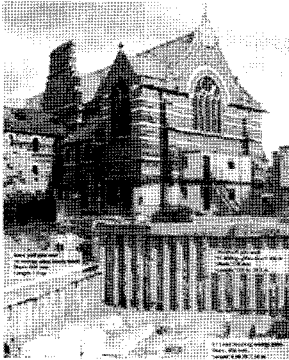


[그림 1] 지중 열교환방식에 따른 지열시스템 종류

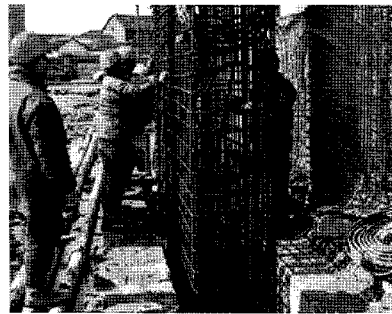
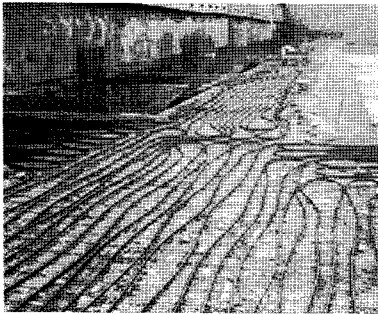


스위스 등 유럽 전역에 다양하게 적용되고 있다. 1990년대 중반부터 건물 기초를 이용한 지중열교환기 개발에 착수하여 주로 대형 상업용건물 위주로 적용하고 있다. 영국의 경우 옥스퍼드 대학 내 Keble College 신축 건물에 전체 말뚝(직경 50 cm,

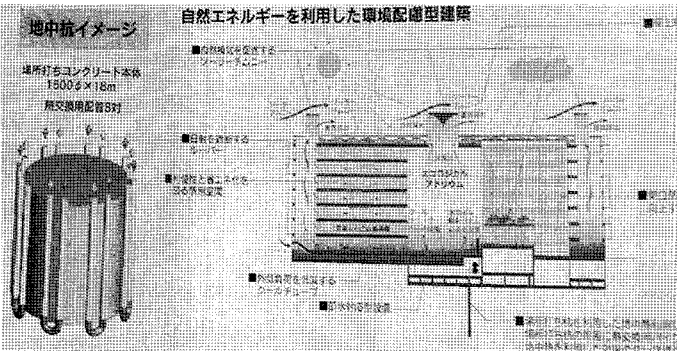
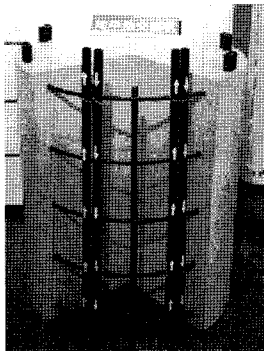
심도 100 m)의 25%에 말뚝형 지중열교환기를 시공하였으며, 스위스는 쥐리히공항 신터미널에 직경 1 m ~ 1.5 m인 말뚝 300본 이상에 적용하였다. 국외 건물 기초를 이용한 지중열교환기를 시공하는 업체 중 대표적인 곳이 Enercrete사 이다. 대구



[그림 2] 옥스퍼드 Keble College



[그림 3] 독일 하노바 (은행)



[그림 4] 일본 다이세이 건설의 현장 말뚝형 지중열교환기

경 현장타설 말뚝에 열교환파이프를 설치하여 건물일체형 지중열교환기로 사용하는 기술 등 다양한 시공방법을 보유하고 있다. 건물일체형 지중열교환기의 핵심은 열교환파이프를 통해 지중과 원활한 열교환이 가능하도록 설계하는 것이다. 현장타설 말뚝의 경우 먼저 말뚝이 설치될 위치에 대구경(600 mm ~ 1500 mm)의 천공을 실시한 후 이 안에 철근망이 삽입되는데 이 철근망에 열교환파이프를 결속하여 안정적인 열교환이 가능하도록 열교환파이프를 배치하게 된다. 이런 다음 콘크리트를 타설하여 현장타설 말뚝이 완성되고 열교환파이프도 기계실까지 연장되어 지열시스템을 구성하게 된다. 그림 2와 그림 3은 실제 유럽지역에 적용된 건물 일체형 지중열교환기 사례들이다. 일본의 다이세이 건설에서도 그림 4와 같이 현장 말뚝형 지중열교환기를 개발하여 건물에 적용하고 있다.

국내에서도 대구경 현장타설 말뚝을 이용한 지중열교환기 설계 및 시공에 대한 소개가 지반공학회를 통해 이루어졌다. 그러나 대구경 현장타설 말뚝을 이용한 지중열교환기는 우리나라의 건축환경이 외국과 달라 사용이 어려운 문제가 있다. 우리나라의 경우 대부분의 건축물에서 기초부에 PHC 파일이나 강관말뚝을 사용하고 있으며 대구경 말뚝을 사용하는 사례는 극히 적다.

국내에서 건물 기초를 이용한 지중열교환기에 관한 연구로는 산업자원부 과제로 2004년 6월 ~ 2006년 5월에 코오롱건설이 수행한 “고성능 저가형 지중열교환기 개발”이 있다. 이 연구에서는 PHC 파일 중공 부위를 이용한 연구를 수행하였다. 파일 내부에 삽입하는 열교환파이프를 수직밀폐형에 적용되는 것과 같이 U 밴드를 장착한 30A HDPE 파이프를 사용하였으며, 열전도율을 높이기 위하여 PHC 파일 한 본에 HDPE 파이프를 두 본씩 설치한 4 파이프 방식을 적용하였다.

표 1은 공동주택의 기초로 사용되는 PHC 파일의 중공을 이용한 지중열교환기 설치과정과 기존 지열시스템에서의 지중열교환기 시공을 비교한 것이다.

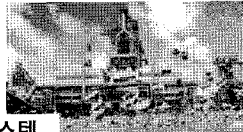
표 1에 정리한 바와 같이 건물 기초를 지중열교환기로 사용할 경우 시공 과정에서 경제적 및 환경

적으로 많은 장점이 있다. 특히 건물 기초 구조를 그대로 사용하기 때문에 천공을 위한 별도 부지를 확보할 필요가 없을 뿐 아니라, 별도 천공을 위한 에너지가 들어가지 않는다. 또한 강우시 지중열교환기 천공으로 인한 지표오염물질이 지하수로 유입될 가능성이 없다. 또한 지중열교환기가 건물과 일체되어 건물까지 트랜치를 통한 연결 부위가 없기 때문에 동파의 염려가 없어 부동액을 사용하지 않아도 된다. 따라서 지중열교환기 폐쇄시에도 환경적 오염이 발생하지 않는다. 또한 그라우팅시 열전도율이 낮은 벤토나이트를 열전도율이 높은 재료로 대체가 가능하기 때문에 지중의 에너지를 보다 효과적으로 사용할 수 있으며, 따라서 수입에 의존하고 있는 벤토나이트를 사용하지 않아 외화절감도 기대할 수 있다.


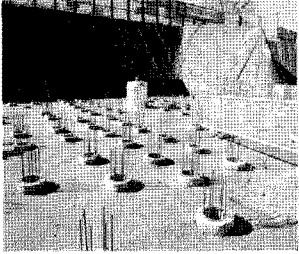


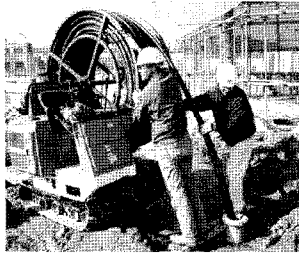

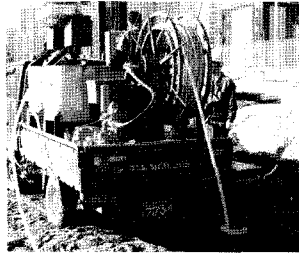


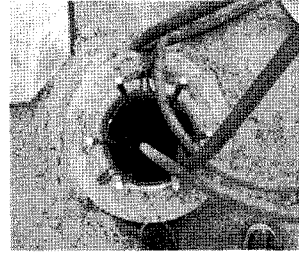
건물일체형 지중열교환기는 성능면에서도 매우 우수하다. 기존 수직밀폐형 지중 열교환기의 지중 열전도도가 일반적으로 3 W/m°C 내외이다. 건물일체형 지중열교환기 관련 국내 연구 문헌에 따르면, 6 m 길이 PHC 파일에 코일 피치를 파이프 직경의 1 ~ 3배 간격에 따라 실험한 결과가 5.3 W/m°C ~ 6.9 W/m°C로 나타났으며, 10 m 길이 PHC 파일에 코일 파이프의 재료 및 공법을 개선하고 그라우팅 재료를 달리하여 실험한 결과 19.6 W/m°C ~ 36.5 W/m°C의 성능을 나타내는 것으로 보고되고 있다.

건물일체형 지중열교환기는 단점도 있다. 가장 큰 단점은 지중열교환기의 설치심도를 마음대로 조절할 수 없다는 점이다. 일반적으로 수직밀폐형 지중열교환기는 100 m ~ 200 m 깊이로 설치되는데, PHC 파일은 10 m ~ 20 m, 깊을 경우 40 m 정도로 비교적 짧다. 따라서 동일한 부지에서 얻어낼 수 있는 지중열원이 대폭 감소하는 결과를 낳게 된다. 또한 파일의 설치하는 건물의 구조에 의해 결정되는 것이므로 지중열교환기로서 최적의 성능을 발휘하도록 파일의 위치를 조절하는 것을 불가능하다. 따라서 건물일체형 지중열교환기는 이러한 장단점을 고려하여 기존 수직밀폐형 지중열교환기나 열병합 발전 등과 같은 기존 열원을 복합적으로 사용하는 Hybrid 형태로 사용되는 것이 적합하다.

마지막으로 건물의 냉난방용으로 지열시스템을



<표 1> 지중열교환기 시공성 비교

	수직말배형 지열시스템 시공	건물일체형 지중열교환기 시공	비교
1. 천공			별도 부지에 천공이 필요없고 PHC 파일 증공을 사용한다.
2. 부지정리			천공, 지하수 처리를 위한 침전조 설치 등 공사를 위한 별도 부지가 필요 없고, 파일 공사 이후 정리된 부지 사용한다.
3. 열교환 파이프삽입			코일형 파이프 사용으로 배관 총 길이가 증가하여 유체가 지중에 머무르는 시간이 길다.
4. 그라우팅			열전도율이 낮은 벤토나이트 대신 열전도율이 높은 콘크리트, 모래 등을 사용할 수 있다.
5. 트렌치배관			건물로 연결하기 위한 트렌치 배관 필요하나, 건물 자체에 공급할 경우 매트 콘크리트 타설 전에 배관을 간편히 마무리할 수 있다.

보다 효과적으로 사용하기 위해서는 현재 지어지고 있는 건물의 에너지 부하를 크게 줄여야 한다. 실제로 현재 공동주택 세대 내에 지열시스템을 공급하기 위해서는 지중열교환기의 설치 수량이 큰 부담으로 작용한다. 예를 들어 1,000세대 규모의 공동주택 단지에 단순히 세대당 3 RT를 공급한다고 하더라도 수직밀폐형의 경우는 1,000개의 지중열교환기 천공이 필요하다. 이러한 부지의 확보는 현재 공동주택 건설 형태상 거의 불가능하다. 그러나 대림산업에서 추진하고 있는 Eco-3L House와 같은 초에너지 절약 주택이 공동주택 시장에 공급될 경우, 기존 건물에 비해 20% ~ 30% 만으로 냉

난방이 가능하므로 천공 수는 산술적으로는 200 ~ 300 개를 천공함으로써 가능하다. 따라서 지열시스템을 적용할 수 있는 가능성이 보다 현실적이 될 수 있다.

친환경 건축기술은 요소기술 자체보다는 건물 전체와 그 기능이 유기적으로 조합 운영될 때 가장 큰 효과가 나타난다. 정부, 민간산업체, 학계 그리고 일반 시민에 이르기까지 저탄소, 녹색성장, 친환경, 저에너지 등에 대한 관심이 무르익고 있는 현재가 우리의 기술을 새로이 점검하고 한층 업그레이드 시킬 수 있는 가장 좋은 기회가 될 수 있을 것으로 생각한다. (주)