

지열을 이용한 냉·난방 시스템 및 대형 열 교환 말뚝 시공방법

(특허 제 10-0407673호/2003.11.18 등록, 박예서)

1. 개요

지열을 활용하기 위한 열 순환 파이프의 이용은 140년 전 오스트리아의 Petter Ritter Von Rittinger에 의해 시작되었다. 이러한 지열 에너지는 Flat Collector, Trench Collector, 심층 Collector 등을 이용하여 포집할 수 있으며, 표준 직경 12cm에서 300m심도까지 구리관을 주로 설치하여 활용하고 있다. 이러한 시스템은 현재 오스트리아 북부지방에서만 약 16,000개소에서 사용되고 있으나 오스트리아 및 스위스 등에서는 18세기 부터 점차 구조물 기

초로 활용되기 시작하여 말뚝기초 및 지중연속벽(Diaphragm Wall) 형태로 발전되어 왔다. 또한 미국의 경우 1978년부터 Cornell University내 농공학과에서 처음으로 본격적인 연구가 시작되어 현재 활발하게 보급되고 있는 추세이나, 국내의 경우 초기 연구단계 수준이다. 본 공법은 연중 평균 10℃이상의 중·저온의 지열을 활용하기 위해 대구경 대심도 회전굴착기를 이용해 열 순환 말뚝과 하중 지지 말뚝으로서의 기능을 동시에 보유한 대형 지중열 말뚝을 시공하는 방법으로서 기존의 건물내 냉·난방 설비와 직접 연결하여 사용 가능한 경제적이고 실용

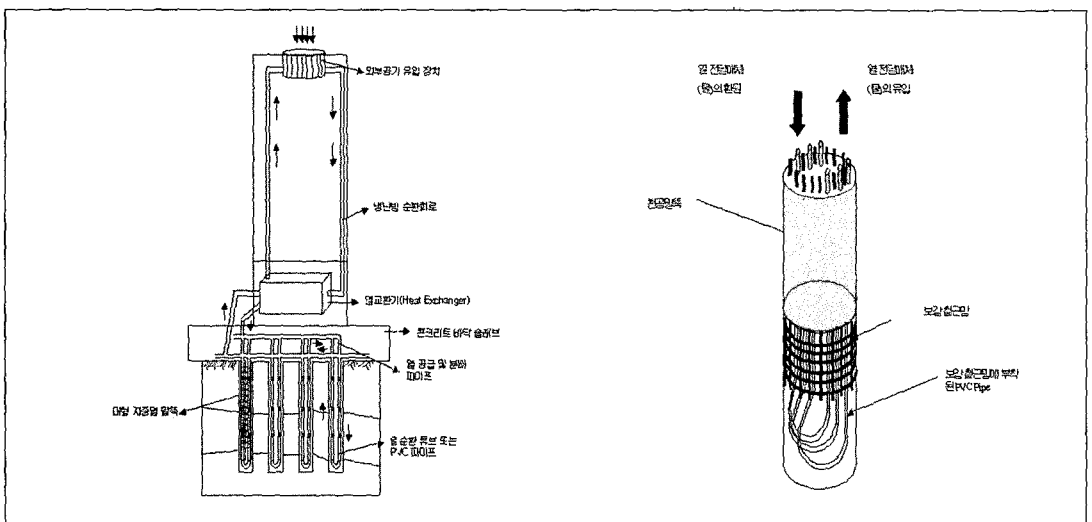


그림 1. 대형 지중열 말뚝의 기본 개념도

적인 방법이다.

2. 대형 지중열 말뚝 공법의 원리

본 공법은 지중열원을 확보하기 위해 대구경 대심도 회전굴삭기(직경 1.0~2.7m)를 이용하여 소정의 깊이(약 20~80m)까지 천공하는 단계와 철근망과 U자형 고효율 열교환 튜브나 PVC Pipe 등을 천공경 외부에서 조립·삽입하는 단계 및 레미콘 트럭 및 트레미(Tremie)관을 통해 콘크리트를 타설하여 지중열 말뚝을 시공하는 단계로 구성된다. 또한 대형 지중열 말뚝은 바닥슬래브(Slab)내의 열 순환 분배 파이프들과 연결되며, 포집된 지열은 열교환기에 의해 증은 또는 감온되어 건물내 냉·난방 순환회로를 통과한다. 냉·난방에 이미 소모된 지열은 옥상위에 설치된 외부공기 유입장치 및 열교환기를 경유해 다시 지중으로 저장된다.

동절기의 경우 지하에 설치된 열교환 튜브나 PVC (Polyvinyl Chloride) 파이프를 통해 열을 흡수하고 건물내부의 기존의 전기식 압축기(Compressor) 및 증기압축 사이클식 열교환기로 지열을 응축시킨 후 보다 높은 온도로 방출시켜 건물내 냉·난방 순환회로로 이동시킨다. 하절기에는 건물의 냉방을 위해 이 과정이 역전된다.

본 공법에 이용되는 순환매체는 동절기의 결빙을 방지하기 위해 염수나 물과 부동액(Glycol)의 혼합

수를 사용하며 이는 동절기에 열 전달 매체로, 하절기에 냉매제로 작용한다.

이러한 지열에너지의 활용은 화석연료의 이용을 근원적으로 감소시키므로 장기적인 측면에서 건물 내부의 실질적인 냉·난방 비용절감 및 환경보호에 기여할 수 있다.

3. 대형 지중열 말뚝의 시공법

본 공법은 직경 1~3m, 심도 80m까지 천공이 가능한 대구경 대심도 회전굴삭기를 사용하며 토사층은 기존의 공내 이수공법 또는 RCD(Reverse Circulation Drill)공법 등으로 암반까지 굴착하고 암반층 굴착시 특수한 비트(Bit)를 회전시켜 암반층을 굴착한다.

소정의 심도까지 천공·굴착된후 보강철근망이 설치되고 열교환 튜브나 PVC 파이프가 보강철근망내에 단단하게 고정된다.

또한, 보강철근망 조립시 열교환 튜브나 PVC 파이프는 지상에서 세워 최대 20~25m의 길이로 보강철근망에 묶어 효과적인 열 전달을 위해서 바깥쪽으로 고정시킨다. 일단 보강철근망과 열교환 튜브나 PVC 파이프가 천공경 내부에 설치되면 레미콘 트럭(Ready Mixed Concrete Truck)과 트레미(Tremie)관을 이용하여 현장 콘크리트를 타설한 후 기 삽입된 케이싱을 인발하면 시공이 종료된다.

표 1.

구분	기존기술	신기술
열교환 파이프의 직경	∅ = 15cm 이하	D=1.0~2.7m(∅ = 15cmx 5EA이상)
굴착심도	50~200m	20~80m
지열 포집관	구리관	PVC 파이프 또는 열교환 튜브
용도	지열포집	지열포집 및 하중지지

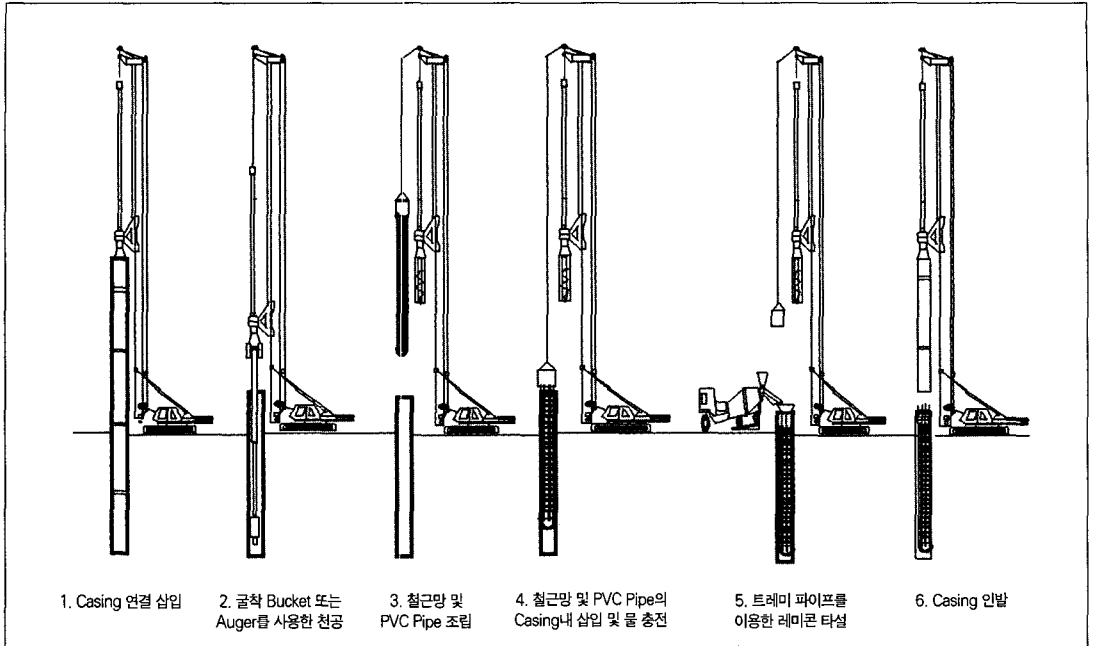


그림 2. 대형 지중열 말뚝 시공순서도



사진 1. 대형 지중열 말뚝을 활용한 세계 최초의 고층빌딩 (Main Tower in Frankfurt)

지중열 말뚝의 본 수 및 배치간격은 건물의 하중 및 지반여건에 따라 결정되며, 열교환 튜브나 PVC 파이프의 이음부의 방수상태는 건설현장에서 직접 수침시켜 검사한다.

4. 해외공사 활용 실적

독일의 경우 Bilfinger & Berger사에 의해 시공된 Main Tower 빌딩은 Frankfurt사에서 4번째로 높은 56층 건물로서 현재 Helaba은행이 소개하고 있으며 이 건물은 대형 지중열 말뚝을 활용한 세계 최초의 고층건물로서 열효율이 매우 높게 설계되었다. 현재 승강기나 건물내 조명용 전기의 약 80%정도를 대형 지중열 말뚝으로 구성된 4개의 지열발전소에서 자체 생성하여 사용하고 있으며, 동절기에 건물

하부 지중에 저장된 차가운 공기는 하절기에 건물내 냉방을 위해 사용되고 있다. 이러한 성공 사례를 바탕으로 대형 지중열 말뚝시스템은 독일 전지역내로 점차 확대 보급되어 가는 추세이다.

5. 국내 건설공사 활용 전망

국내의 지온 실측자료에 의하면, 지중이나 지하수 년중 온도는 지하 약2m심도에서 7-21℃로 안정적인 분포를 보이고 있으며, 전국적으로 혹한기인 1-3월에도 지하 5m심도에서 평균 10℃이상의 지온분포를 보이기 때문에 본 기술에 의한 지열 추출이 가능하므로 본 공법은 향후 국내의 고층 및 대형 건물 외에도 아파트 단지, 개인주택의 냉·난방 및 농산물의 저장고, 스키장의 제설용도 등 다양한 분야에 그 적용 가능성이 높을 것으로 예상된다.

따라서 본 기술은 고온의 지열이 추출 가능한 경북 포항이나 충남의 온천지역이외의 다른 지역에서 상시 추출온도 10℃이상의 중저온의 지열을 이용하는데 목적을 두었고 이를 위해 말뚝 설치 심도를 GL-30-80m로 제한을 두어 경제성을 충분히 고려하였으므로 전국 어느 지역에서도 가능하다고 생각한다.

본 기술은 기존의 대형 현장콘크리트 타설 말뚝공법의 시공법과 거의 동일하나 지상에서 보강철근망과 열순환파이프를 결합한다는 점과 이를 삽입하고 콘크리트를 타설한다는 점에 약간의 차이가 있으나 국내 시공에는 커다란 어려움이 없을 것으로 판단된다. 또한 경제성을 고려해 PVC Pipe를 열교환 파이프로 이용하였고, 순환수를 부동액이 아닌 염수도 사용 가능하도록 만들었다.

일반 대형콘크리트 말뚝과 본 지중열 말뚝과의 경

제성 비교시 공사 초기에는 당연히 1.5배-2.5배 정도 지중열 말뚝이 초기 투자비용이 높지만, 날로 높아가는 국제 유가로 인한 냉/난방 전기료의 상승 및 화석연료 사용으로 인한 환경오염 등을 고려해 볼때 상대적인 이점이 있다고 생각된다.

본 기술의 국내 현장 시공사례는 없지만, 미국 등의 열교환 파이프 시공사례를 분석해 볼때 시공에 따른 손익분기점을 최초 시공후 7년 정도로 보고 있으며 그 이후에는 냉/난방 비용이 1/3 정도 절감된다고 보고하고 있어 초기 투자비는 충분히 보상될 것으로 판단된다.

6. 결론

본 공법은 전력소비가 큰 대형건물에 적용할 수 있는 냉·난방 시스템으로서 열교환기(Heat Exchanger) 가동용 전력만이 소량 요구되므로 특히 저렴한 운전비로 동절기에는 더운 공기와 온수를, 하절기에는 찬 공기를 제공할 수 있고, 천연적인 에너지를 활용함으로써 공기중으로 오염물질의 방출을 감소시켜 환경보전에 크게 기여 할 수 있는 장점이 있다. 또한 설치후 7년 경과시 손익분기점에 도달해 초기 설비 투자비의 회수가 가능해지므로 장기적인 측면에서 경제성 및 실용성이 높으므로 건물 냉·난방이 외에도 다양한 분야에 적용 가능할 것으로 예상된다.

연락처

지엔지 컨설턴트 지반공학부 이사 진성기
C.P 011-304-6526