



일반원고

건물 냉난방에너지 절약을 위한 지중관 이용

김 고 운*, 김 진 상**

*한국지열에너지기술지원센터 연구원, **한국지열에너지기술지원센터 이사

1. 서론

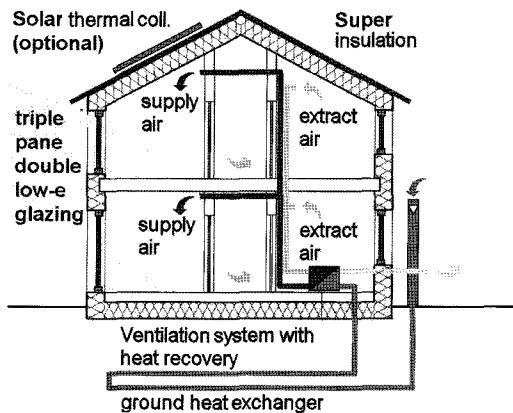
저에너지 건물에서 기계식 환기 시스템에서 유입되는 외기를 지중에 설치된 관을 통하여 유입하도록 함으로서, 외기를 예열하거나 예냉하는 역할을 수행하여 냉난방에 필요한 에너지를 절감하는 경우가 크게 증가하고 있다. 저에너지 건물은 넷 에너지 제로 하우스(Net Zero Energy House)나 제로 카본 하우스(Zero Carbon House)등 여러 가지 명칭이나 개념으로 불리고 있으며, 그 중에서 전 세계에서 가장 널리 알려진 독일의 패시브하우스 연구소(Passivhaus Institut)의 표준인 PHPP(Passivhaus Planning Package)에서 지중관이 단열, 창호 등과 함께 주요한 구성요소로 채택되고 있다.[1,2]

세계 각국은 건물 분야에서 온실가스 배출을 절감하기 위하여 노력하고 있다. 건물 분야의 에너지 효율은 다른 분야에 비하여 가장 낮은 것으로 인식되어 왔으며, 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPPC) 4차 보고서에 따르면 건물부문의 온실가스 저감 잠재량이 29%로 전체 산업 분야에서 가장 높다.[3]

친환경 건물의 인증제도의 하나인 미국의 LEED 인증에서도 'Platinum' 등의 높은 등급을 획득하기 위하여 다양한 저에너지 소비 기술과 더불어 지중관의 채택이 최근 증가하고 있다. 지중관은 건물의 에너지소비를 최적화하는 동시에 친환경건물의 중요한 요소인 실내공기질(IAQ) 분야에서 환기에 관한 요구사항을 동시에 만족시킬 수 있어서 매우 효과적인 선택사항이다. [4]

관내부로 공기가 통과하면서 관 외부의 지중의 열을 이용하거나 또는 지중에 열을 방출하는 지중관은 지중열교환기의 역할을 수행한다. 지중의 온도는 외기 온도에 비하여 연중 변화가 적고 안정적이다. 여름철에는 지중온도가 외기온도 보다 낮으므로 지중관을 통하여 예냉효과를 얻을 수 있으며, 겨울철에는 지중온도가 외기온도 보다 높으므로 예열효과를 얻을 수 있다. 이러한 장치는 국내에서 널리 불리는 '쿨 튜브'라는 명칭 이외에도 '지중관로' 등 여러 가지 명칭으로 불리우고 있지만 여기서는 '지중관'으로 칭한다. 건물이 소비하는 에너지중에서 냉방과 난방이 차지하는 비중이 상당히 크므로 냉난방 분야의 에너지를 절감하는 지중관의 효과는 그림 1에 표시된 저에너지 주택의 다른 구성요소에 비해서도 높다.

국내외에서 지열을 이용한 건물의 냉난방에서 널리 사용되는 지열히트펌프의 지중열교환기는 관의 내부를 부동액 혼합 유체가 순환하면서 물



[그림 1] 저에너지 주택의 주요 특징

과 지중 사이의 열교환을 이용하는 ‘물-지중 열교환기’이다. 반면에, 지중관은 공기가 관의 내부를 통과하면서 공기와 지중사이에서 열교환을 수행하는 ‘공기-지중 열교환기’ 또는 지중-공기 열교환기이다.

2. 공기-지중 열교환기의 원리

흡입구를 통하여 들어온 외기가 지중관을 거쳐서 건물 실내로 공급하는데, 이때 급기팬이 사용된다. 지열히트펌프는 히트펌프 유닛을 사용하는데, 물-지중 방식의 지중열교환기 내부에 부동액을 포함하는 유체를 펌프를 이용하여 순환시킨다. 이에 비하여 지중관은 압축기를 장착한 히트펌프 유닛을 사용하지 않는다. 에너지를 많이 소비하는 히트펌프 유닛 대신 급기팬을 사용하므로 지중관의 에너지 소비량은 히트펌프에 비하여 훨씬 적은 에너지를 소비한다.

반면에 히트펌프 유닛은 실내온도를 설정한 온도로 올리거나 내림으로서 능동적으로 실내환경을 제어할 수 있지만, 지중관은 설계에 따라 급기 외기를 대략 4 ~ 10°C범위에서 예열하거나, 예냉의 역할을 수행하는 수동적인 냉난방 방법이다. 그러므로 실내조건이 쾌적한 실내 환경에 근접한 조건에서 유지하기 위해서는 건물에서 외부로 배출하는 배기와 지중관을 통과하여 건물로

공급되는 급기사이 열교환기(전열교환기)를 부착하는 것이 효과적이다.

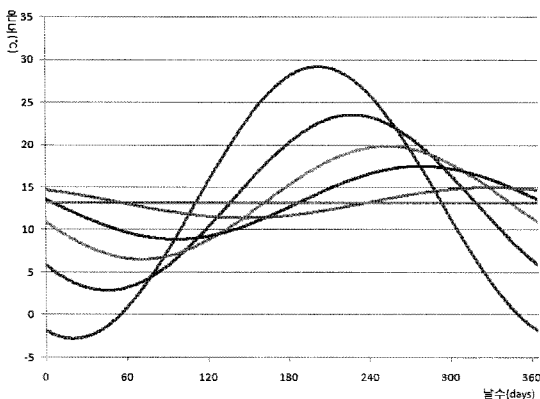
2.1 지중 온도

지중의 온도는 외기 온도에 비하여 변화가 적다. 지중의 온도는 깊이에 따라서 그리고 시간에 따라서 변화하게 되는데, 깊이가 깊을수록 온도 변화가 작아진다. 지열히트펌프의 수평형 열교환기에서 평균온도를 구하는 방법과 동일하게, 지중관에서도 평균깊이에서의 지중온도를 구하기 위하여 Kasuda 방정식이라는 이름을 가지고 있는 수식 (1)을 이용한다.[5]

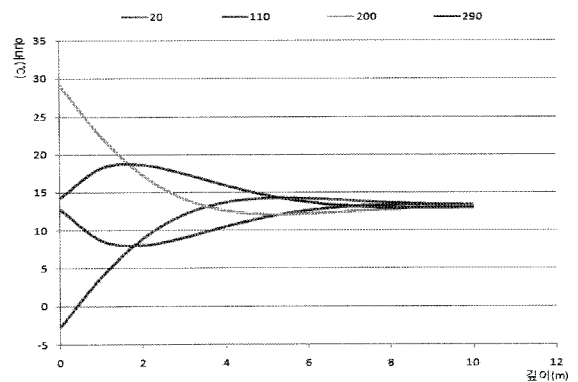
$$T(z,t) = T_m - A_s e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \left[t - t_0 - \frac{z}{2} \sqrt{\frac{365}{\alpha\pi}} \right] \right\} \quad (1)$$

여기서, z는 깊이, t는 일수, T는 온도, T_m은 평균온도, A_s는 연간 지표 온도차, t₀는 최저온도 지연 일수, 그리고 α는 토양의 열확산계수이다.

시간의 변화에 따른 온도의 변화를 깊이별로 관계를 표시하면 그림 2과 같다. 지표(z)가 0, 1, 2, 3, 5, 15m까지 6가지 깊이에 따른 변화를 표시하였다. 지표에서 깊이가 증가할수록 연간 온도변화가 작아지는 것을 알 수 있다. 또한 깊이가 증가하면 그 깊이에서 최저값이 이동되는 것을 알 수 있다. 깊이 5m에서는 180일째에서 가장 낮은 온도가 되는 것을 알 수 있다. 지중관이나 수평형 열교



[그림 2] 지중 깊이별 시간변화에 따른 지중온도 변화



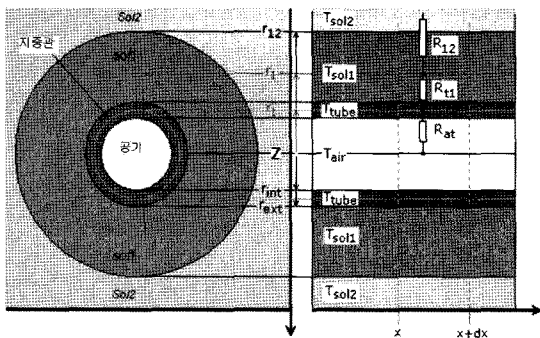
[그림 3] 계절별 지중깊이에 변화에 따른 온도 변화

환기가 자주 설치되는 깊이인 1.5m 깊이에서 온도의 변화는 약 4.9℃에서 21.5℃사이에서 변화함을 추정할 수 있다.

지중 깊이에 따른 계절별 온도의 변화는 그림 3에 표시되어 있다. 날수(t)가 20, 110, 200, 290 일인 4가지 날짜는 계절을 대표하는 시점으로 정하여, 각 계절에서 깊이의 증가에 따른 온도의 변화를 표시하고 있다. 이 그림에서 깊이 1.5m에서는 겨울(20일)에서 봄(110일)에 낮은 온도를 보이고 여름(200일)과 가을(290일)에 높은 온도를 보여주고 있음을 추정할 수 있다. 계산을 통하여 검토하면 1.5m 깊이에서 지중온도는 58일에 가장 낮은 온도를 보이고 241일에 가장 높은 온도를 보인다.

2.2 지중관의 열전달 모델

지중관을 통하여 유입되는 공기는 관벽의 통하여 지중과 열전달을 수행하며, 그림 4에 표시된 열전달 과정에서 공기 중의 수분이 지중관의 열전달에 영향을 미치게 된다. 동절기에는 지중관에서 공기의 온도가 상승하므로 수분의 응축이 없지만, 하절기에는 관벽의 온도가 유입되는 공기에 비하여 낮으므로 공기가 함유한 수분이 응축될 수 있다. 유입된 공기가 노점온도 이하로 냉각되면 수분이 응축하는데, 유입된 공기가 지중관을 통과하면서 노점온도보다 낮은 온도의 벽면에서 응축이 발생할 수 있다. 지중관의 형상과 지중의



[그림 4] 지중관의 열전달 구성도

온도 그리고 지중관으로 유입되는 공기의 온도와 습도에 의하여 지중관에서 나가는 공기의 온도와 습도가 결정된다.

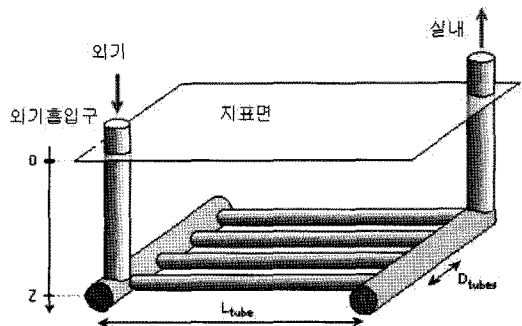
3. 지중관의 구성

외기는 흡입구를 통하여 지중관으로 유입된 공기는 전열교환기를 거쳐서 실내로 들어간다. 지중관은 소형주택을 제외하면 하나로 구성되는 경우 보다는 그림 5와 같이 여러 개의 지중관을 병렬로 연결하는 것이 일반적이다. 급기팬은 지중관 벽의 마찰 손실과 열교환기의 압력손실, 그리고 실내 배관의 마찰 손실을 극복하고 필요한 양의 공기를 실내로 공급하는 역할을 수행한다. 배기팬은 실내 배관의 마찰손실과 열교환기의 압력손실을 이기고 필요한 양의 공기를 외부로 보낸다.

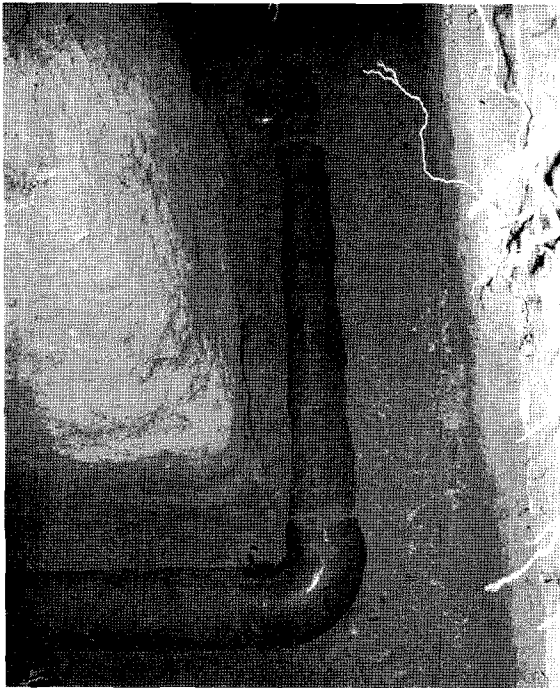
지중관의 재료는 지중관의 용도와 직경에 따라서 달라진다. 가정용에 널리 사용되는 경우는 직경이 작은 경우로서 PVC관이나 PE관이 널리 사용된다. 상업용 건물에서는 시멘트관이나 터널등의 지하 구조물이 사용된다.

3.1 고분자 재료관

주택용등 소규모 지중관에는 PVC(그림 6)나 PP 또는 PE관등이 사용된다. 주택용 지중관에는 주택의 크기 및 토양의 조건 등에 따라 다르지만 200 ~ 300mm 직경의 PVC관이 30 ~ 40m내외



[그림 5] 병렬로 연결된 지중관의 구조도



[그림 6] PVC를 이용한 지중관 사진

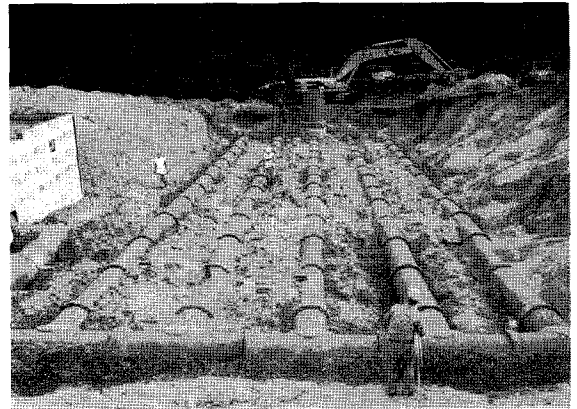
의 사양이 많이 사용된다. PVC는 가장 낮은 열전도율을 보이고, PP가 그 다음이며, PE가 가장 높은 열전도율을 보인다.

3.2 시멘트관

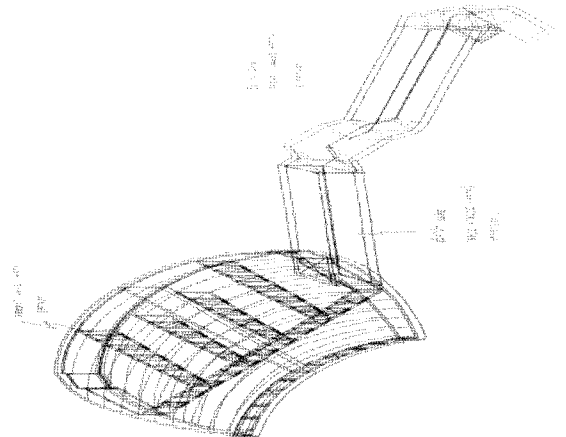
사무용이나 상업용 건물에 적용되는 지중관에서는 주로 시멘트관이 그림 7과 같이 사용된다. 시멘트관은 고분자재료관에 비하여 큰 직경에서도 강도를 유지할 수 있으며, 열전도율 또한 PVC나 PE관등의 고분자재료관보다 높다. 시멘트관을 이용하는 경우에는 600m 이상에서 널리 사용되며, 1m가 넘는 직경에서도 사용된다.

3.3 지하 구조물

공연장이나 전시장등에서 대규모로 이용하는 경우에는 터널과 같은 지하구조물을 공기-지중 열교환기로 사용하기도 한다. 지하 구조물을 원래 목적 이외에 지중관으로 사용하거나, 지중관의 목



[그림 7] 시멘트관을 이용한 지중관 구조



[그림 8] 지하 구조물을 이용한 지중관의 스케치

적으로 새로운 지하 구조물을 설치한다. 2.4m × 2.0m의 단면적을 가진 지하 터널을 구축하여 지중관의 역할을 수행하기도 한다(그림 8).

4. 결론

온실가스 배출절감과 쾌적한 환경을 위하여 건물에서 에너지의 절약과 더불어 환기 요구사항이 증가하고 있으며, 환기 부하의 증가는 냉난방 에너지 소비의 증가와 직결된다. 지중관기술은 친환경과 저에너지의 두 가지 목표를 효과적으로 달성할 수 있는 효과적인 방안으로 이미 널리 적용

되고 있다. PVC 그리고 PP등의 고분자 재료를 이용한 지중관은 주택등 소형 건물에서 사용되고 있으며, 콘크리트 관이나 지하구조물은 중대형 건물에서 사용된다. 북미나 유럽을 중심으로 세계적으로 널리 확산되고 있다. 지중관을 통해 나온 공기는 외기를 예열/예냉하는 효과를 가지며 난방 운전을 하는 경우에는 공기-공기 열교환기에서 배기와 열교환하여 공급하여 건물이 사용하는 에너지 중에서 큰 부분을 차지하는 냉방과 난방에 필요한 에너지 소비를 크게 줄인다. 지중관내에서 수분이 혼합된 공기의 열전달에 대한 연구와 더불어 관내의 위생 문제 등에 추가 연구와 기술개발을 필요하다. 국내의 그린홈 보급사업이나 공공 건물 의무화 사업에 지중관을 적용하는 경우 온실가스 배출절감 효과가 매우 높을 것으로 예상된다.

참고 문헌

1. Passivhaus Institut, www.passiv.de
2. Passivhaus Institut and Passivhaus Dienstleistung GmbH, 2007, Certification as "Quality Approved Passive House" Criteria for Residential-Use Passive Houses
3. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland
4. USGBC, Green Building Design & Construction, 2009, United States Green Building Council, Washington DC, USA
5. NREC, Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems, Installation Guide, NRECA Research Project 86-1, IGSHPA, 1988