

지하공간구조체의 열적특성과 단열기준안

토양의 물성치, 단열재의 두께 및 형상, 외기노출 길이 등이 지하공간구조체의 단열특성에 미치는 영향을 살펴보고 단열기준(안)의 필요성과 방안에 대하여 설명을 하고자 한다.

김 강 수

고려대학교 건축공학과 (kskim@korea.ac.kr)

이 상 혁

우송공업대학 건축설비과 (hvaclee@wst.ac.kr)

건물에 있어서 에너지소비 및 쾌적성에 대한 연구는 지난 50년간 중요한 연구 과제로 대두되어 왔으며 과거의 일반적인 주택의 전체 열손실량 중에서 지하실이 차지하는 양은 상대적으로 적은양에 불과하였다. 따라서 연구과제는 지상부분의 단열, 결로 등 건물외피에서의 열성능의 향상이 중요한 관심사로 지표면 위 부분의 에너지 효율을 증가시키는 연구가 주로 진행되어 왔으며 지면과 접한 구조체의 열손실은 거의 무시하거나 약간의 가중치를 두는 정도로 처리하여 왔다.

1970년대 이후의 에너지 위기에 따라 신축건물의 에너지절약 성능을 향상시키기 위한 조치가 이루어졌고 지면과 접한 부분에 있어서의 열전달은 중요한 난방부하의 요소가 되었다. 연구결과에 따르면 지면과 접한 구조체에 대하여 1950년대에는 약 10%의 난방부하를 차지하였으나 현재에는 건물의 총 열손실량중 약 50%정도를 차지하는 경우도 있다. 즉, 건물에서 지상부분의 건물외피에 적용한 열적 단열로 인하여 전체 외피부하중에서 지면과 접한 부분으로의 열손실량이 차지하는 비율이 증가하게 되었고 이에 따라 그 상대적인 중요성이 증가하고 있다. 따라서 건물 전체의 열적 성능을 개선하기 위해서는 지면과 접한 부분의 상세한 고찰이 필요하고 실제로 건물의 기초 및 지하공간에 단열시공을 함으로서 에너지 비용 뿐만 아니라 재실자의 쾌적성을 높일 수 있다.

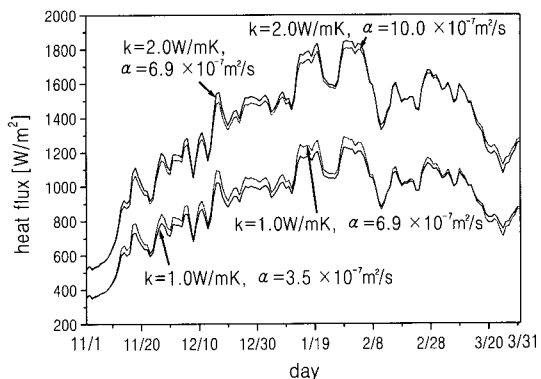
토양의 열물성치에 따른 영향

흙의 열전도율은 밀도, 수분함습량, 입자의 크기, 광물성분, 동결여부, 지역 및 깊이에 따라 그 값이 달

라지고 같은 종류의 토양에 대해서도 그 물성치의 차이가 커서 지면에 접한 구조체의 해석의 정확성을 감소시키는 중요한 원인중의 하나가 되고 있다. 그림 1은 서울지역의 11월1일부터 3월31일까지의 토양의 열전도도와 열확산계수에 따른 열손량의 변화를 나타낸 것으로 열전도율에 따라 큰 차이를 보이고 있으며 열확산계수의 영향은 열전도율에 비해 적게 나타나고 있다. 또한 지하벽체의 경우 외기의 온도변화의 영향을 받아 일별로 변화하는 진폭을 보이고 있다.

단열재 두께에 따른 영향

그림 2는 지하벽 전체를 내단열 및 외단열한 경우와 지하벽에 일정비율로 부분적으로 내단열 및 외단열한 경우에 대하여 단열재의 두께변화에 대하여 열손실량의 변화를 나타낸 것으로 단열을 전혀 하지 않

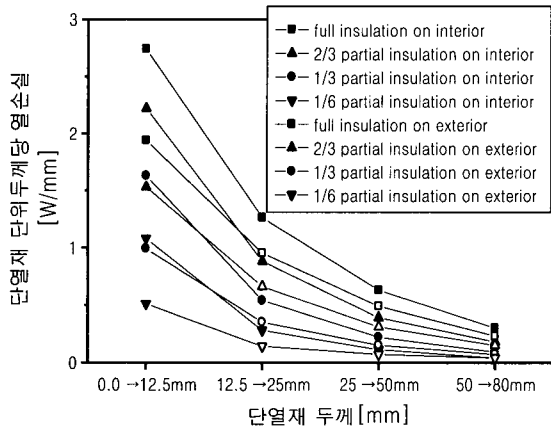


[그림 1] 토양의 열전도율 및 열확산계수에 따른 지하벽체를 통한 열손실량

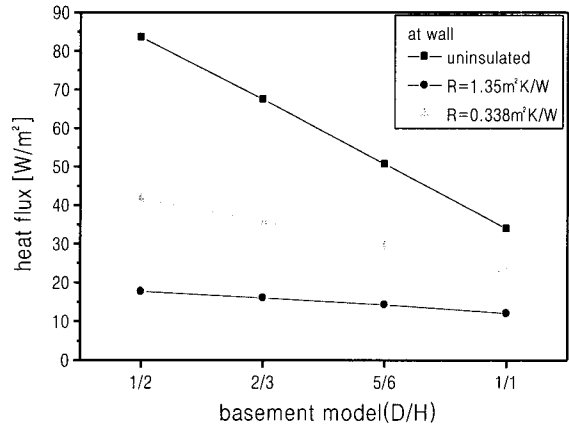
은 경우에서 12.5 mm로 단열을 한 경우에 열손량의 감소량이 커 큰 단열효과를 기대할 수 있으나 단열재의 두께를 증가시킬 수록 감소량이 줄어 단열재의 두께와 경제적인 측면을 고려하는 단열연구가 필요하다.

이 값을 비교하여 보면 부분단열의 경우 외측에 전체를 단열하는 경우와 내측에 지하 전체 층고에 대해 지표면에서부터 2/3지점까지 단열하는 경우, 열손실량 값에서 유사한 효과를 나타내고 있다. 또한 벽체

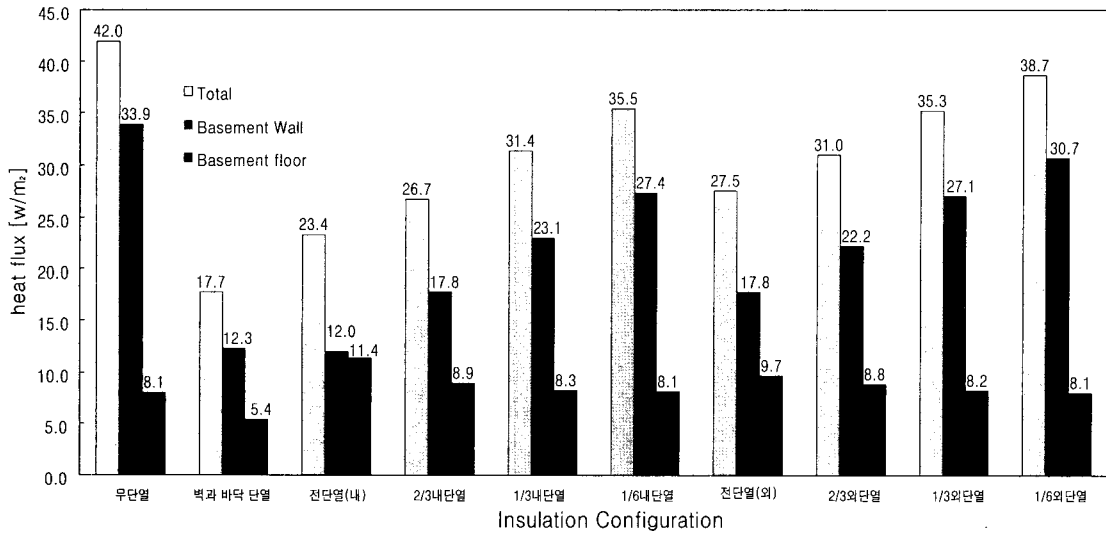
전체를 단열 시공하는 것이 단열재를 더 두껍게 하여 전체벽중에 일부만 부분단열을 하는 방식보다 열손실량을 줄이는 측면에서는 더 유리한 방식이라는 것을 알 수 있다. 즉, 부분단열을 하는 경우 단열이 끊기는 지점에서의 열교로 인하여 열손실이 집중되고 또한 급격한 온도의 감소로 결로가 발생할 가능성이 있어 열손실량의 크기가 비슷하다면 단열재를 두껍게 하여 부분단열을 하는 경우보다 두께를 얇게하여 전체를 단열하는 방식이 더 좋은 방식이라 할 수 있다.



[그림 2] 단열재의 두께 변화에 따른 열손실량의 감소율의 변화



[그림 3] 지하가 외기에 노출된 정도에 따른 지하벽체를 통한 열손실량



[그림 4] 단열형상에 따른 지하벽체와 바닥면에서의 열손실량

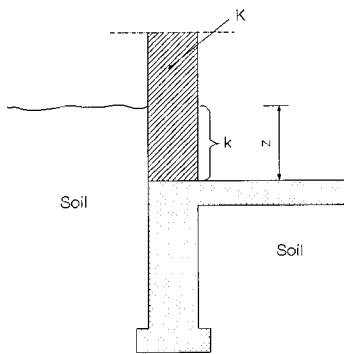


외기에 노출된 부분의 길이에 따른 영향

지하벽체의 전체가 지표면이하인 경우(지표면 위부분의 길이/지하실의 총고, D/H=1)에 대하여 전체벽중에 일부분만 외기에 노출된 지하형태에서 지하벽에 두께 12.5 mm와 50 mm로 내단열 한 경우와 단열시공을 하지 않은 경우와 비교하면 그림 3과 같은 경향을 보이고 외기에 노출된 정도가 클 수록 손실열량이 크게 나타나고 있으며 단열이 강화될수록 외기에 노출된 정도에 따른 영향이 감소하는 형태를 보인다. 또한 지하가 지중에 많이 묻혀있을수록 단열에 따른 차이가 줄어들고 있는데 이는 단열의 영향과 지반의 단열효과가 추가되고 있는 것으로 볼 수 있다.

단열형상에 따른 영향

단열재를 설치하였을 때 지하벽과 바닥을 통한 손실열량의 감소효과는 그림 4와 같은 경향을 보이는데 여기서 단열형상은 단열을 하지 않은 경우와 지하벽을 따라 내단열 및 외단열을 한 경우, 부분단열을 한 경우와 벽과 바닥에 모두 단열을 한 경우로 본 계산조건에서는 단열을 하지 않은 경우와 벽과 바닥에 모두 단열을 한 경우 약 60 %까지 열손실량의 차이를 보이고 있다.



[그림 5] 반지하인 경우 열손실계수

<표 1> 반지하 구조의 열전달계수, k (W/m°C)

z(m)	벽의 열관류율 (W/m°C)		
	0.40 ~ 0.49	0.50 ~ 0.64	0.65 ~ 0.79
6.0이상	1.40	1.65	1.85
5.05 ~ 6.0	1.30	1.50	1.70
4.05 ~ 5.0	1.15	1.30	1.45

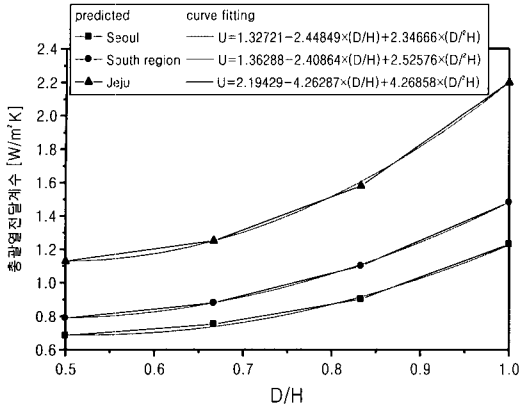
관련기준

프랑스의 경우 벽체를 통한 열손실은 Th-K 계산규정에 의하여 산출하고 있다. 이 계산규정에는 아주 특수한 형상을 제외하고는 여러 가지 열교형태에 따라 건물상세와 함께 이 규정에 의하여 산출된 열손실계수, k값을 제안하고 있다.

바닥슬라브의 경우 단열이 없는 구조에서 열손실계수는 바닥면을 기준으로 수직벽체 및 기초부분이 지면에서 묻혀있는 정도에 따라 영향을 받으므로 지중깊이(z)에 따른 열손실계수를 도표화하고 있다. 또한 단열이 된 구조에 대해서는 지중깊이와 단열두께 및 단열재의 열저항에 대한 함수로 하고 수평과 수직에 일부만 단열을 한 경우에 대하여 구하고 있다. 여기서 전체 바닥에 단열을 하는 경우는 단열두께의 영향은 없다고 보고 단지 지중깊이와 단열재의 열저항을 이용하여 열손실계수를 구한다. 지하실의 경우는 반지하와 완전지하 및 지하실천정부분도 지중에 묻혀 있는 경우를 고려하였고 반지하의 경우는 그림 5는 지중깊이와 벽체의 열전도도의 함수로 열손실계수를 구하고 있으며 완전지하와 상부와 하부의 단열정도가 다른 경우는 경우는 지하벽을 외기에

<표 2> 단열형상에 따른 계수

Insulation Systems	Sn, Vn 및 Cn 계수	Wall Segments	
		Top stripe below grade	Bottom stripe
		n = 2	n = 3
	S= (0.53+1.42R) ⁻¹ V= (0.53+1.42R) ⁻¹ C= 0	(1.06-0.013R) ⁻¹	(1.06-0.013R) ⁻¹
	S= (0.58+1.10R) ⁻¹ V= (0.58+1.12R) ⁻¹ C= 0	(1.23+1.45R) ⁻¹	(1.34+1.55R) ⁻¹
	S= (1.24+0.60R) ⁻¹ V= (1.22+0.65R) ⁻¹ C= 0	(1.78+0.084R) ⁻¹	(2.07+0.12R) ⁻¹



[그림 6] 외벽기준에 의한 지하벽체의 지역별, 지하형상별 단열기준치

근접한 상부와 지하벽과 지하바닥의 접합부 부근을 하부로 나누어 깊이에 따라 반지하에서 구한 값으로 열손실계수를 결정하고 있다. 표 1은 그림 5와 같은 구조에 대한 열손실계수값이다.

캐나다의 Mitalas는 다음의 표와 같이 기본적인 모델에서 흙의 물성치는 지하벽 옆과 지하바닥 아래 부분을 분리하여 상부와 하부에 각기 다른 값을 적용하고 단열위치 및 단열재의 열저항(R) 값에 따라 열손실 특성을 계산에 필요한 계수를 표 2와 같이 유도하여 지하실의 최대열손실량과 난방기간동안의 전체열손실량을 구하고 있다. 여기서 n은 지하를 벽체와 바닥에서 열적특성이 상이한 부분을 구분하는 변수로 n=4는 지하바닥에서 열교의 영향으로 열손실이 커지는 외주부 1 m까지의 거리에 해당하는 부분이다.

<표 3> 지하벽체의 단열기준안 [W/m²K]

지역	서울		남부지방		제주		
	외벽기준	단열두께	외벽기준	단열두께	외벽기준	단열두께	
지하 형상	D/H=1	1.233	1.8cm	1.48	1.3cm	2.2	0.47cm
	D/H=2/3	0.750	3.73cm	0.87	3.0cm	1.25	1.75cm
	D/H=1/2	0.685	4.2cm	0.79	3.5cm	1.13	2.07cm

※ 콘크리트 두께: 0.23m, $\lambda = 1.396W/mK$, 단열재 $\lambda = 0.037W/mK$

※ 실내외 표면열전달계수는 각각 $9.09W/m^2K$, $20.0W/m^2K$

단열기안(안)

지하공간구조체의 단열기준을 정하는 경우 열적특성뿐만 아니라 경제적인 측면 등을 고려한 다각적인 연구가 필요하지만 여기서는 지역별로 규정되어 있는 지상벽체의 값을 이용하여 지상의 벽체와 등가의 열손실량을 나타내도록 하는 값을 구하는 방식을 적용하면 그림 6과 표 3과 같이 구할 수 있다. 그림 6에서 D/H는 지상부분에 노출된 길이(D)와 지하벽의 층고(H)로 무차원화한 값이고 서울, 남부지방 및 제주를 기준으로 도시한 것이다. 표 3은 지상의 기준에 따라 열관류율과 그에 따른 단열두께를 나타낸다. 건물에서의 에너지절약은 단열성능뿐만 아니라 건물사용 용도별 특성에 따른 에너지절약을 위한 종합적인 외피설계가 중요한 요건으로 지하공간구조체를 포함한 외피 설계기준이 새롭게 요구되고 있다. 또한 외국의 경우와 비교하여 국내의 단열기준은 성능강화의 필요성과 부위별 기준의 적용범위의 확대에 대한 연구검토가 필요할 것으로 생각된다. 🌐