

복토 주택의 외벽면 복토 두께 변화에 따른 열부하 패턴에 관한 연구

이 재 혁[†], 최 원 기^{*}, 서 승 직^{**}, 조 동 우^{***}

인하대학교 대학원 건축공학과, ^{*}한화건설 기술연구소,
^{**}인하대학교 건축학부, ^{***}한국건설기술연구원 건축도시환경연구실

A Study on the Thermal Load Patterns for a Exterior Wall in a House According to a Variation of Earth Sheltering Thickness

Jae Hyuk Lee[†], Won Ki Choi^{*}, Seung Jik Suh^{**}, Dong Woo Cho^{***}

Department of Architectural Engineering, Graduate School of Inha University, Incheon 402-751, Korea

^{*}Technology Research Institute, Hanwha E&C, Daejeon 302-345, Korea

^{**}School of Architecture, Inha University, Incheon 402-751, Korea

^{***}Building & Urban Environment Research Division, KICT, Goyang, 411-712, Korea

ABSTRACT: The various attempts is made to solve the energy and environment problems. In addition, people interested in their life quality want the more eco-friendly living space. So we suggested that the earth-sheltered house could be one of the eco-friendly and low energy consuming houses to meet the social interest. And we also made data for design of the earth-sheltered house to be applicable to climate of Korea. In this study, a simulation was performed to estimate a boundary temperature according to earth sheltering thickness at the earth-sheltered part(exterior wall) in the case of earth sheltering on the plane ground not using a sloped site. And we analyzed the reduction of a thermal load by using this boundary temperature. We also compared a case of earth sheltering at the vertical wall with a case of earth sheltering at the roof to know the thermal reduction effect of a case of earth sheltering at the vertical wall.

Key words: Thermal Load(열부하), Earth Sheltering Thickness(수평 방향으로의 복토 두께)

기 호 설 명

T : 깊이에 따른 지중온도 (°C)
T_{mean} : 평균 표면온도 (°C)

T_{amp} : 표면 온도의 진폭 (°C)
Depth : 지표면 아래로의 깊이 (m)
 α : 지표면(토양)의 열확산률[m²/h]
t_{now} : 해당 연도의 현재 일수(1~365)
t_{shift} : 최소 지표면 온도에 대응하는 함수 (1~365)
 λ_x, λ_y : x,y 방향에 대한 열전도율 [W/m·K]
C : 용적비열(밀도 ρ [kg/m³]와 비열 c_p)

[†] Corresponding author
Tel.: +82-32-873-5277; fax: +82-32-876-3544
E-mail address: yjhlee37@hotmail.com

[kJ/kg·K]의 곱) [J/m³·K]

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

21세기 으뜸가는 화두는 환경이다. 더 이상 에너지 문제는 우리의 삶과 분리해 생각할 수 없는 단계에 이르렀다. 2007년 12월 인도네시아 발리에서 열린 '제 13차 유엔기후변화협약 당사국 총회'에 의해 우리나라는 2013년부터 이산화탄소 등 온실가스 배출량을 큰 폭으로 줄여야 하는 온실가스 감축 대상국에 편입될 것으로 보인다.

또한, 과거 어느 시기보다 삶의 질에 대한 관심이 높아지면서 보다 다양한 친환경적인 주거 공간을 필요로 하게 되었다.

이에 본 연구에서는 사회적인 관심을 충족시켜 줄 수 있는 환경 친화적이며 에너지 저소비형 건물로 복토주택을 제시하고, 우리나라 기후에 적용할 수 있는 친환경적인 복토주택 설계를 위한 기본 자료의 구축을 목적으로 하고 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

기존의 경사면 지대가 아닌 평지에서 인공적으로 복토를 실시할 경우, 복토 부위의 내부 온도는 수직 깊이보다 수평 방향으로의 복토 두께에 영향을 받게 된다. 따라서 냉·난방 부하 절감율을 분석하기 위한 복토 부위(외벽면)에서의 경계면 온도 설정 방법에 대한 연구를 수행하였다. 그리고 이 경계면 온도를 이용한 시뮬레이션을 통해 냉·난방 부하의 절감 효과를 분석하였다.

한편, 외벽에서 인공적인 복토 방법의 냉·난방 부하 절감 효과를 지붕에서 복토를 할 경우에 대한 절감효과와 비교하여 어느 정도의 성능을 나타내는지 확인하였다. 이 경우 지붕 복토 부위에서 경계면 온도는 수직 깊이에 따른 지중온도를 이용하였다.

2. 이론적 배경

2.1 선행연구와 본 연구의 차이점

복토 건축이란 건축물을 축조한 후 건물의 표면을 흙으로 덮어서 만들 건축물을 의미한다. 건축물의 외피를 감싸고 있는 흙의 단열 성능과 축열 성능으로 인하여 실내온도의 변동 폭을 작게 유지시켜주며, 건축구조물의 수축 팽창을 줄여주는 효과가 있다.⁽¹⁾

이러한 장점을 지닌 복토건축의 열적 성능(에너지 절감 효과) 검증에 관한 많은 선행 연구가 진행되었다.

먼저 외국의 사례를 살펴보면, 미국, 유럽 뿐만 아니라 인도를 비롯한 제3세계 국가에서도 에너지 저소비형 친환경 건물을 위해 복토 건축에 대한 연구가 진행되었다. 쿠웨이트에서 진행된 연구는 TRNSYS 16의 지중온도 계산 컴포넌트인 Type 501에서 이용되는 T. Kusuda가 제안한 계산 방법을 이용하여 지중온도를 계산하였다. 이 지중온도를 경계 조건으로 수직 벽체에서의 복토 깊이에 따른 열류(Heat flow)의 변화를 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 통해 계산하여 복토의 효과를 증명하였다.⁽²⁾ 또한, 인도에서 진행된 연구는 푸리에 급수를 이용하여 지중온도를 계산하였다. 몇 가지 복토 형태에서의 열유속(Heat flux)과 온도 분포를 통하여 그 효과를 입증하였다.⁽³⁾

그러나 국내에서 진행된 선행 연구의 대부분은 실제 건물을 대상으로 한 실측실험에 관한 것으로, 한정된 모델 건물에 대한 실내 공기 온도 변화 및 에너지 사용량 등을 측정하여 난방 또는 냉방 부하 절감 효과를 분석하였다.⁽⁴⁾ 한편 복토주택의 냉·난방 부하에 중요한 요소로서 작용하는 지중 온도와 습도 등의 지역별 변화 등을 분석하여 복토주택 설계 시 참고 자료로 활용할 수 있는 연구도 진행되었다.⁽⁵⁾ 이와 같은 실제 주택을 대상으로 제한된 조건에 따른 실측실험은 국내 기후 조건에 따른 복토면적이나 두께 등의 다양한 변수들에 대한 연구를 진행하는데 많은 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 다양한 변수들 중 복토 두께와 부위에 대한 열부하 패턴을 분석하였다.

2.2 시뮬레이션 프로그램

2.2.1 열부하 해석 프로그램 (TRNSYS 16)

미국 Wisconsin 대학과 기타 연구기관에서 개발한 동적 열부하 해석프로그램인 TRNSYS

16(TRaNsient SYstem Simulation v. 16)을 사용하였으며, 가장 중요한 변수들인 지중 온도 계산과 멀티 존 건물 모델링을 위해 Type 501과 Type 56이 활용되었다.

1)Type 501 Ground Temperature Profile: 주어진 연평균 지표면 온도, 지표면 온도의 변동폭, 1월 1일과 최저 표면온도 발생일과의 시간차, 그리고 열확산율을 통해 지중 깊이에 따른 온도 분포를 모델링하며, 다음의 식 (1)을 이용하여 계산된다.⁽⁶⁾

$$T = T_{mean} - T_{amp} \times \exp\left[-depth \times \left(\frac{\pi\alpha}{365}\right)^{0.5}\right] \times \cos\left\{\frac{2\pi}{365} \times \left[t_{now} - t_{shift} - \frac{depth}{2} \times \left(\frac{365\alpha}{\pi}\right)^{0.5}\right]\right\} \quad (1)$$

2.1.1 열전도 해석 프로그램 (Heat 2)

Heat 2는 사각형 격자로 표현될 수 있는 물체의 열전도를 2차원 비정상 또는 정상 상태로 해석할 수 있는 컴퓨터 프로그램이다. 이 프로그램은 스웨덴 Lund University의 Lund Group for Computational Building Physics에서 개발한 가장 최신 프로그램이며, 일반적인 열전도 문제, 열교(thermal bridges) 해석, 건물의 시공 부위에서의 U-value의 계산, 주택에서 지중으로의 열손실 계산 등과 같은 문제 해석에 적합하다.⁽⁷⁾

이러한 문제를 해석하기 위하여 Heat 2에서는 수치해석적인 방법 중 유한 차분법의 양해법을 이용하여 식 (2)와 같은 열전도 방정식을 계산하게 된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

그리고 사용자가 격자 간격을 결정할 수 있으며, 안정적인 시간 간격(time step)은 자동적으로 설정된다.

3. 시뮬레이션을 위한 경계면 온도 및 단위 모델 설정

3.1 경계면 온도

기존의 경사면 대지에서 복토를 실시할 경우 복토 부위의 수평 방향에 대한 두께는 무한하다고 가정할 수 있다. 이 경우에서 지중 온도를 계산할 경우 지중으로의 수직 깊이만 고려하면 될

것이다. 그러나 평지에서 인공적으로 복토를 할 경우 수평 방향으로의 복토 두께는 한정되므로 지중온도 계산 시 수평 방향에 대한 복토 두께도 고려해야만 한다. 이 계산 방법의 타당성을 확인하기 위해 토양의 1.5m 두께에 대한 수직 깊이와 수평 깊이에서의 지중 온도를 시뮬레이션을 통해 비교하였다.

수평면 깊이의 계산을 위해 가로×세로×높이가 각각 1m×1m×1m인 흙으로 구성된 정육면체 형태의 모델을 이용하여 정남향을 제외한 3방위에서의 토양의 표면 온도를 계산하였다. 이 때 표면 온도 계산을 위해 TRNSYS 16을 이용하였으며, 기상데이터는 서울 지역의 TMY-2 표준 기상데이터를 이용하였다.

TRNSYS 16을 통해 계산된 표면온도를 경계면 온도로 이용하여 흙벽 내부의 열전달을 비정상 열전도 해석프로그램인 HEAT 2를 이용하여 계산하였다.

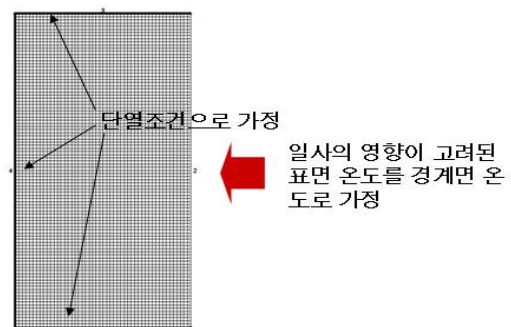


Fig. 1 Modeling for calculation of inner surface temperature (Heat 2)

Fig.1은 수직 외벽에서 수평방향으로 1.5m 두께의 복토를 실시한 부위에서 지중 온도를 계산하기 위한 모델링을 나타낸 그림이다. 외기와 직접 면하는 수직면을 제외한 나머지 3면은 단열조건으로 가정하여 열의 이동이 없는 것으로 설정하였다.

이 과정에서 이용된 토양의 물성값은 TRNSYS 16에서 기본적으로 제공되는 토양의 물성값인 열전도율 8.72 [kJ/m·h·K], 밀도 3200 [kg/m³], 비열 0.84 [kJ/kg·m³]을 이용하였다.

그리고 이 물성값을 동일하게 이용하여 1.5m 수직 깊이에 대한 지중 온도를 계산하였다. 수직 깊이에 대한 지중온도 계산은 TRNSYS 16의 지

중온도 계산 컴포넌트인 Type 501을 이용하였다.

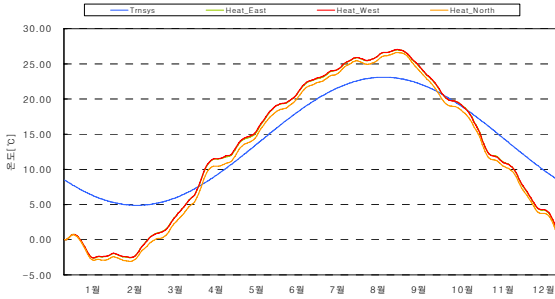


Fig. 2 Inter surface temperature in parallel direction and vertical direction(1.5m)

Fig.2는 두 가지 계산 방법을 통해 나타난 1.5m 두께의 수직과 수평 방향에 대한 지중온도를 비교한 그래프이다. 1.5m 두께의 수평방향으로의 내부 온도가 수직 방향에서의 내부 온도보다 온도 변화 폭이 컸으며, 수평 방향에서의 온도와 수직 방향에서의 온도의 차이는 최대 8.5°C 정도로 나타났다. 이 결과를 통해 수평 방향에 대해 일정한 두께로 복토를 실시할 경우 열 부하 계산을 위한 경계면 온도로 두 방법 중 후자가 더 타당하다는 점을 확인하였다.

3.2 시뮬레이션을 위한 단위 모델

본 연구를 위해 Fig.3와 같은 단순화된 모델을 이용하였다. 가로, 세로, 높이가 각각 4m×5m×3m인 장방형 형태이며, 남측면에 창면적비 50%인 창을 설치하였다. 복토에 따른 벽체의 경계 조건은 Fig.2에 설명된 것과 같이 지정하였다.

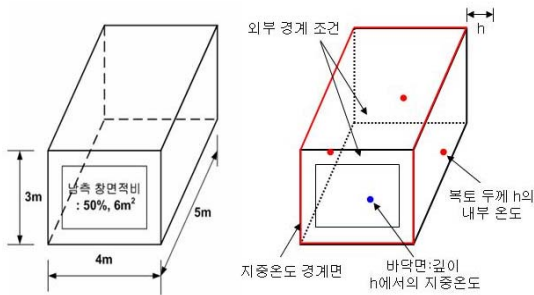


Fig. 3 Unit Model & Boundary condition for Simulation

단위 모델의 벽체와 창호 구성 및 물성값은

Table 1, Table 2와 같다. 벽체의 경우 대한주택공사의 중부지역 열관류율 표에 제시된 벽체 구성을 이용하여 벽체를 구성하였으며, 각 재료의 물성치는 건물에너지 절약기준에서 제시하는 값을 이용하였다. 창호는 미국 LBNL의 Window 5 프로그램을 이용하여 구성하였다.

위 단위 모델을 이용하여 남측을 제외한 방위에서 외벽 전체를 복토한 경우로 가정하였으며, 복토 두께는 30cm, 60cm, 90cm, 120cm, 150cm로 변화시키면서 정남향인 조건에서 시뮬레이션을 진행하였다.

시뮬레이션의 냉·난방 설정온도는 각각 26°C, 20°C로 설정하였다. 기간은 난방의 경우 11월부터 3월까지 총 5개월로 하였으며, 냉방의 경우에는 6월부터 8월까지 총 3개월로 가정하였다. 그리고 실내의 환기 횟수는 건물 에너지 절약기준에서 주거용 건물에 대해 제시하고 있는 시간당 0.7회로 하였다. 또한 벽체 내부와 외부의 열전달 계수도 건물에너지 절약기준에서 제시하는 값으로 설정하였다. 외벽의 경우 실내측 8.94 W/m²·K, 실외측 23.28W/m²·K로 설정하였으며, 지붕의 경우 실내측 11.64W/m²·K, 실외측 23.28W/m²·K로 설정하였다. 바닥 슬래브의 경우는 실내 11.64W/m²·K, 실외 6.67W/m²·K로 하였으며 복토된 외벽의 경우에 바닥 슬래브와 동일한 표면 열전달 계수를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

시뮬레이션을 위한 기상데이터는 TRNSYS 16에서 제공되는 서울 지역의 TMY-2 표준 기상 데이터 파일을 이용하였다.

Table 2. Properties of wall materials

	구성 재료	열전도율 [W/m·K]	비열 [kJ/kg·K]	밀도 [kg/m³]	열관류율 [W/m²·K]
외벽	석고보드	0.18	1	700	0.335
	단열재	0.036	1.47	35	
	콘크리트	1.63	1	2000	
지붕	석고보드	0.18	1	700	0.271
	단열재	0.036	1.47	35	
	콘크리트	1.63	1	2000	
	아스팔트	0.11	0.92	1000	
	루핑	0.044	1.47	20	
	모르타르	1.40	1	2000	
바닥 슬래브	모르타르	1.40	1	2000	0.322
	기포 콘크리트	0.12	1	500	
	단열재	0.044	1.47	20	
	콘크리트	1.63	1	2000	
	단열재	0.036	1.47	35	

Table 3. Properties of Window

	U-value [W/m ² K]	g-value [%/100]	두께 [mm]
16mm 복층유리	2.89	0.62	5/6/5

4. Case Study에 의한 분석

위의 조건으로 난방 기간과 냉방 기간에서의 난방과 냉방 부하를 건물에너지 해석 프로그램인 TRNSYS 16을 이용하여 분석하였다.

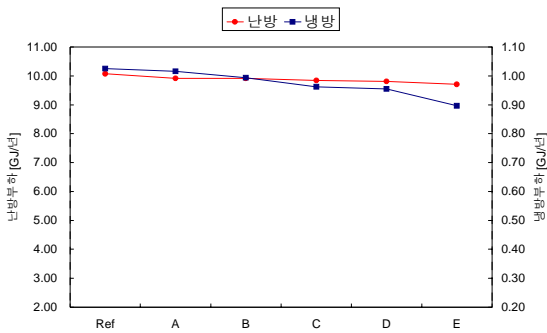


Fig. 4 Heating & Cooling Load at a vertical wall

Fig. 4는 수평 방향으로의 복토 두께를 증가시켰을 경우 단위 모델에서의 냉·난방 부하를 분석한 그래프이다. X축에 나타난 Ref.는 전체 외벽에서 복토를 실시하지 않은 모델이며, 이것을 냉·난방 부하의 절감율을 확인하기 위한 비교 대상으로 하였다. 그리고 A에서 E는 남측을 제외한 나머지 3방위에서 수평 방향으로의 복토 두께를 의미한다. A에서 E의 각각의 복토 두께는 30cm, 60cm, 90cm, 120cm, 150cm이다.

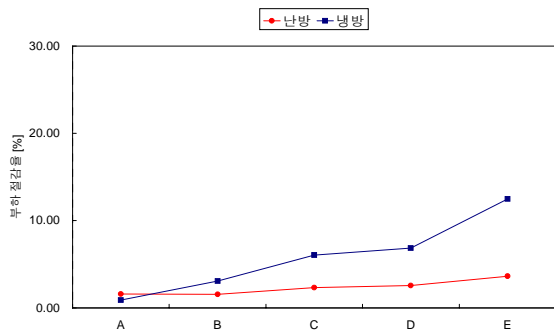


Fig. 5 Reduction Rate of Heating & Cooling Load at a vertical wall

Fig. 5는 수평 방향으로의 복토 두께를 증가시켰을 경우의 냉·난방 부하의 절감율을 나타낸 그래프이다. 난방 부하의 감소폭은 수평 방향으로 복토 두께가 증가할수록 난방과 냉방 모두에서 부하가 감소하는 경향을 보였다. 난방의 경우 복토 두께가 150cm인 경우에서 최대 3.63%의 절감율이 나타났으며, 냉방의 경우 복토 두께가 150cm인 경우에서 최대 12.48%의 부하 절감율을 보이는 것으로 확인되었다. 그러나 수치적으로 냉방 부하의 절감율이 더 컸으나, 냉방부하가 난방부하의 약 1/10 수준인 것을 감안하면 전체적인 부하의 감소량은 난방이 더 클것으로 판단된다.

또한, 외벽에서 수평 방향으로 복토 두께를 증가시켰을 경우의 부하 절감효과의 수준을 조망 등이 유리한 지붕에서의 복토 효과와 비교해 보았다. 앞에서 수행한 시뮬레이션과 같은 단위 모델을 이용하여 지붕면에서 10cm 간격으로 최대 50cm까지 복토 두께를 증가시키면서 냉·난방 부하 분석을 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 이 경우 지붕면 복토 부위에 대한 경계면 온도는 수직 깊이에 따른 지중온도를 이용하였고, TRNSYS 16의 수직 깊이에 대한 지중온도 계산 컴포넌트인 Type 501을 이용하여 계산하였다. 이 외의 나머지 시뮬레이션 조건은 외벽면 복토의 경우와 동일하게 설정하였다.

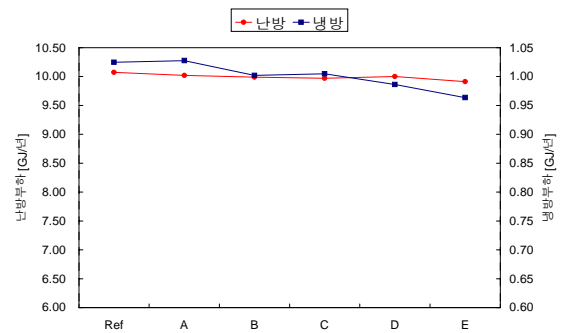


Fig. 6 Heating & Cooling Load at the roof

Fig. 6은 지붕 복토의 경우에 대한 냉·난방 부하 분석 결과로 X축의 A~E는 각각 지붕의 복토 두께인 10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm를 의미한다. 이 경우에서도 앞의 경우와 동일하게 복토 두께가 증가할수록 난방과 냉방 부하 모두 감소하는 것을 보였다.

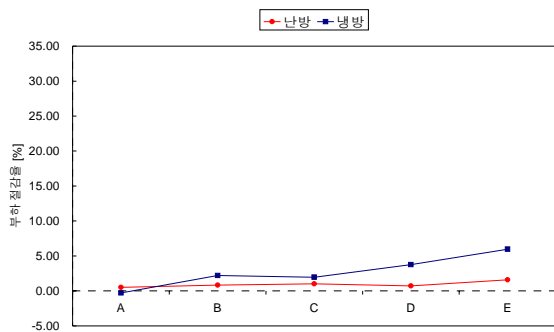


Fig. 7 Reduction Rate of Heating & Cooling Load at a roof

Fig. 7은 냉·난방 부하의 절감율을 보여주는 그래프이다. 지붕에서의 복토 두께 50cm에서 난방의 경우 최대 1.59%, 냉방의 경우 최대 5.96%의 절감율을 보였다.

외벽에서 수평 방향으로의 복토 두께가 난방과 냉방의 경우 각각 60cm와 90cm일 경우 지붕면에서 50cm 두께로 복토를 했을 경우의 열부하 절감율과 비슷한 효과를 나타내었다. 기존의 경사면 대지가 아닌 평지에서 인공적인 복토를 실시할 경우 외벽면 복토에 비해 지붕 복토(옥상 녹화)가 조망, 비용 등의 측면을 고려할 때 더 효과적으로 냉·난방 부하를 절감시킬 수 있는 방법이라 판단된다.

4. 결론

외벽에서 수평 방향으로 복토 두께의 증가에 대한 냉·난방 부하의 절감과 지붕 복토의 경우와 절감 효과를 비교한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 외벽에서 수평 방향으로 복토 두께를 증가시켰을 경우 부하의 절감율은 냉방과 난방의 모두 감소하였다.

(2) 열부하의 절감율은 복토 두께 150cm에서 난방의 최대 3.63%, 냉방의 경우 12.48%의 절감율을 확인할 수 있었다.

(3) 냉방 기간의 부하 절감율이 난방 기간보다 더 높게 나타났으나 냉방 부하가 난방 부하의 1/10 수준인 것을 감안하면 부하 절감량에 있어서 난방 부하가 더 크다는 것을 알 수 있었다.

(4) 지붕 복토의 경우 50cm 복토 두께에서 최대

의 냉·난방 부하의 절감율을 보였으며 난방 1.59%, 냉방 5.96%로 나타났다.

(5) 지붕에서 50cm 두께로 복토를 실시할 경우 외벽에서 수평 방향으로의 복토 두께가 난방과 냉방의 경우 60cm(1.56%)와 90cm(6.06%)일 경우의 열부하 절감율과 비슷한 효과를 보였다.

결과적으로 외벽에서 복토를 실시할 경우 열부하 절감효과는 확인되었으나 조망과 비용 등의 측면을 고려할 경우 외벽에 비해 지붕 복토가 더 효과적으로 열부하를 절감시킬 수 있는 방법이라 판단된다.

참고 문헌

1. 김자경, 자연과 함께하는 건축, 시공문화사, 2004
2. A.A. Al-Temeemi et al. The effect of earth-contact on heat transfer through a wall in Kuwait, Energy and Environment, Vol. 35, No. 4, 2003.5
3. Rakesh Kumar et al. Dynamic earth-contact building: A sustainable low-energy technology, Building and Environment, Vol. 42. No. 6, 2007. 6
4. Lee. S. W., The properties of energy in the earth bermed house -In case of an model earth bermed house-, Journal of AIK, Vol. 36, No. 3, 1992. 5
5. Moon. S. H., A study on the regional climatic condition for the earth-sheltered house design, Journal of AIK, Vol. 29, No. 124, 1985. 6
6. TRNSYS User Manual v.16., Solar Energy Lab. Univ. of Wisconsin-Medison
7. Heat 2: A PC-program for heat transfer in two dimensions Manual with brief theory and examples v. 5.0, Dr. Thomas Blomberg, Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics.