

# 복토 주택의 복토 방법에 따른 열부하의 변화에 관한 연구

이재혁\*, 최원기\*\*, 서승직\*\*\*, 조동우\*\*\*\*

\*인하대학교 대학원 건축공학과(yjhlee37@hotmail.com), \*\*한화건설 기술연구소(cwk08@hanwha.co.kr),  
\*\*\*인하대학교 건축학부(energeti@inha.ac.kr), \*\*\*\*한국건설기술연구원 건축도시환경연구실(dwcho@kict.re.kr)

## A Study on the Variation of the Thermal Load for a House According to the Earth Sheltering Method

Lee, Jae-Hyuk\*, Choi, Won-Ki\*\*, Suh, Seung-Jik\*\*\*, Cho, Dong-Woo\*\*\*\*

\*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Inha University(yjhlee37@inha.ac.kr),  
\*\*Hanwha E&C(cwk08@hanwha.co.kr), \*\*\*Dept. of Architecture, Inha University(energeti@inha.ac.kr)  
\*\*\*\*Building & Urban Environment Research Division, KICT(dwcho@kict.re.kr)

### Abstract

We cannot imagine any more the environment and energy problems are separated from our lives. The various attempts to solve these problems are made all over the world. In this study it was performed to analyze a different heating and cooling load depending on the earth-sheltering method and kind of soils by using TRNSYS 16 as the first step to establish the design guidelines for earth-sheltered architecture, one of the eco-friendly and low energy consuming building types.

After performing this simulation, we found the result like this. It is the most lowest load in case of all of walls and roof being earth-sheltered. But considering of the load reduction rate, the effect of earth-sheltering the exterior vertical wall is more efficient for load reduction than the one of earth-sheltering a roof. And we got a lower thermal load in case of a lower heat conductivity of soil.

Afterwards we will conduct a further study for boundary condition at earth-sheltered surface and the simulation analysis about the sensitivity variables. The final goal of this study is preparing the design guidelines for earth-sheltered architecture, so we will contribute to building energy saving.

Keywords : 복토주택(Earth-Sheltered Architecture), TRNSYS 16(TRNSYS 16), 열부하저감율(Thermal Load Reduction Ratio), 건물 에너지절약(Building Energy Saving)

### 기 호 설 명

		$T_{amp}$	: 표면 온도의 진폭 (°C)
		Depth	: 지표면 아래로의 깊이 (m)
$T$	: 깊이에 따른 지중온도 (°C)	$\alpha$	: 지표면(토양)의 열확산률 (kJ/mh °C)
$T_{mean}$	: 평균 표면온도 (°C)	$t_{row}$	: 해당 연도의 현재 일수(1~365)

$t_{shift}$  : 최소 지표면 온도에 대응하는 함수 (1~365)

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

2007년 12월 인도네시아 발리에서 열린 '제 13차 유엔기후변화협약 당사국 총회'에서 우리나라는 2013년부터 온실가스 감축 대상국에 편입되었다. 이러한 에너지와 관련된 관심과 더불어서 웰빙(well-being) 열풍으로 인해 자연과 함께하는 삶을 위한 관심 또한 증대되고 있다. 이러한 사회적인 관심을 충족시켜주기 위하여 환경 친화적이면서 에너지 절약형 건물에 대한 관심 또한 증대되고 있는 실정이다. 이러한 현재의 관심을 충족시키기 위해 건물의 지붕과 벽체의 일부 또는 전체를 흙으로 복개한 복토 주택은 상당한 잠재력을 갖고 있다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 우리나라 기후에 적용할 수 있는 친환경적인 복토주택 설계를 위한 기본 자료의 구축함을 목적으로 하고 있으며 특히 복토주택의 냉·난방 부하에 영향을 주고 있는 주요 변수의 분석과 고찰을 통하여 건축적 기법의 대안을 제시하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

건물을 복토할 경우, 복토 토양의 열물성치와 복토 위치가 냉·난방 부하에 영향을 미칠 것이라 판단하여 이에 따른 복토 토양의 열물성치, 복토를 실시하는 부위 등의 변화에 따른 냉·난방 부하의 변화를 분석하였다.

이를 위해 동적 건물에너지 해석 프로그램인 TRNSYS 16을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 앞서 비교 기준이 되는 기준모델을 선정하였으며, 중요한 열부하 요소 가운데 하나인 지중온도의 검증을 위해 실측 데이터와 TRNSYS TYPE 501을 이용한 분석 값을 비교·평가하였다. 끝으로 복토 면적에 따른 부위별 경계조건을 복토된

높이의 1/2 지점의 지중온도 계산값으로 가정하여 몇 가지 사례로 구분하여 분석을 수행하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 선행연구와 본 연구의 차이점

복토건축이란 건축물을 축조한 후 건물의 표면을 흙으로 덮어서 만든 건축물을 의미한다. 건축물의 외피를 감싸고 있는 흙의 단열 성능과 축열 성능으로 인하여 실내온도의 변동폭을 작게 유지시켜주며, 건축구조물의 수축 팽창을 줄여주는 효과가 있다[1].

앞서 이러한 장점을 지닌 복토건축의 열적 성능(에너지 절감 효과) 검증에 관한 많은 선행연구가 수행되었다. 그러나 선행연구의 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[2]. 한편 복토주택의 냉·난방 부하에 중요한 요소로서 작용하는 지중 온도와 습도 등의 지역별 변화 등을 분석하여 복토주택 설계시 참고자료로 활용할 수 있는 연구도 진행되었다[3].

그러나 이러한 대부분의 선행연구들은 실제 주택을 대상으로 제한된 조건에 따른 실측실험을 통하여 진행되었기 때문에 복토면적이나 부위 등 다양한 민감도 변수들에 대한 연구를 진행하는데 많은 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 시뮬레이션 프로그램을 이용한 복토주택의 몇 가지 민감도 변수들에 따른 열부하 패턴에 관한 분석을 수행하였다.

### 2.2 열부하해석프로그램

미국 Wisconsin 대학과 기타 연구기관에서 개발한 동적 열부하 해석프로그램인 TRNSYS 16(TRaNsient SYstem Simulation v. 16)을 사용하였으며, 가장 중요한 변수들인 지중 온도 계산과 멀티존 건물 모델링을 위해

TYPE 501과 TYPE 56이 활용되었다.

1) Type 501 Ground Temperature Profile : 주어진 연평균 지표면 온도, 지표면 온도의 변동 폭, 1월 1일과 최저 표면온도 발생일과의 시간차 그리고 열확산율을 통해 지중 깊이에 따른 온도 분포를 모델링하며, 다음의 식 (1)을 이용해 계산된다[4].

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

(1)

### 3. 지중온도 및 시뮬레이션을 위한 단위 모델

#### 3.1 지중온도의 신뢰성 분석

시뮬레이션 분석에 앞서 Type 501을 통해 입력되는 깊이에 따른 지중 온도값의 신뢰성 검증에 대한 분석을 수행하였다. 이를 위해 ETIS 분석지에서 자료로 제공되어진 서울 지역의 지중 1m 깊이에서의 월평균 온도값과 Type 501을 통해 계산된 1m 깊이에서의 월평균 지중 온도값을 비교하여 그 오차를 평가하였다[5].

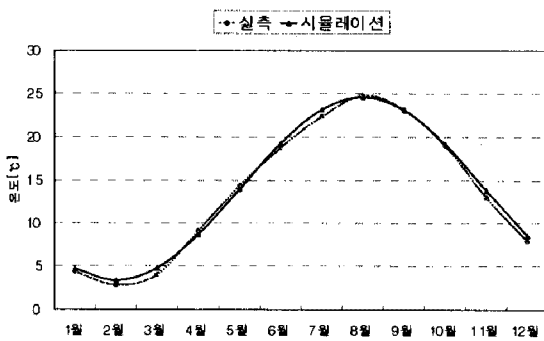


그림 1. 서울의 지중 1m의 지중온도 분포 비교

먼저 예상되는 연 평균 지표면 온도와 지표면 온도의 변동 폭을 입력하여 실측값과의 변화 패턴을 비교한 후 1월 1일과 최저 표면온도 발생일과의 시간차 조절에 따른 분석 결과를 실측값과 동일한 분포 패턴으로 만들어 주었다. 이 때 시뮬레이션에서 이용된 토양의

물성치는 TRNSYS 16의 Type 501에서 기본적으로 제공되는 값인 열전도율 8.72 kJ/m·h·°C, 밀도 3200 kg/m³, 비열 0.84 kJ/kg·°C이다.

서울지역의 지중 1m 깊이에서의 월평균 지중온도의 실제 측정값과 TRNSYS 16의 TYPE 501을 통해 분석한 계산값은 그림 1과 같으며 매우 유사한 분포 패턴을 나타내고 있다.

표 1. 토양의 물성값

재료명	물성치	열전도율 [kJ/mhK]	밀도 [kg/m³]	비열 [kcal/kg°C]	비고
Tmsys 제공		8.72	3200	0.84	-
로움 1(S1)		0.503	600	1.80	건조
로움 2(S2)		2.514	1300	3.10	함수율 50%
점토(S3)		2.556	1200	2.10	함수율 30%
흑토(S4)		1.048	950	2.30	함수율 20%

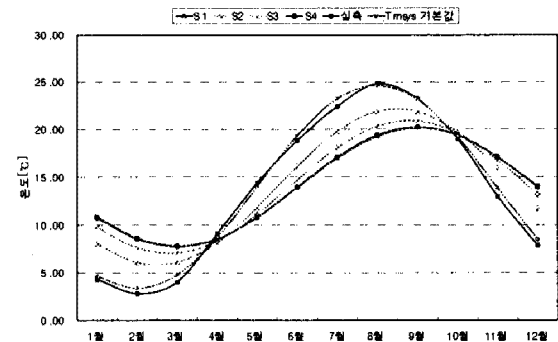


그림 2. 토양별 지중 1m에서의 지중온도 분포 비교

TRNSYS에서 제공되는 토양의 열물성치를 이용해 실제 측정치와 지중 1m 깊이에서의 월평균 온도 분포를 동일한 분포 패턴으로 만들어 준 다음 몇 가지 종류의 토양의 열물성치에 따라 지중온도의 분포가 어떻게 변하는지 확인하기 위해 시뮬레이션을 진행하였다. 이때 실측값과 TRNSYS에서 제공되는 토양을 이용한 시뮬레이션 결과의 온도 분포 패턴을 동일하게 만들기 위해 이용했던 조건에서 열물성과 관련된 조건을 제외한 연평균 지표면 온도와 지표면 온도의 변동 폭 등은 동일하게 적용하고 열물성치만 변화시켜 진행하였다. 그림 2는 표 1에 나타난 4가

지 종류의 토양으로 1m 깊이에서 지중온도 분포를 확인하기 위해 시뮬레이션을 진행하였을 때의 결과이다.[6] 열전도율이 낮고 비열이 높을수록 연간 온도 변화폭은 낮았고 연평균 최고 온도와 최저온도에서 시간 지연 효과가 나타났다.

### 3.2 단위 모델 및 시뮬레이션 기본 가정

본 연구를 위해 제안된 단위 모델은 그림 2와 같이 가로, 세로, 높이가 각각 4m x 5m x 3m인 장방형 형태이며, 남측면에 창면적비 50%인 창을 설치하였으며, 복토에 따른 벽체 경계조건은 그림 3에서 설명된 것과 같이 지정하였다.

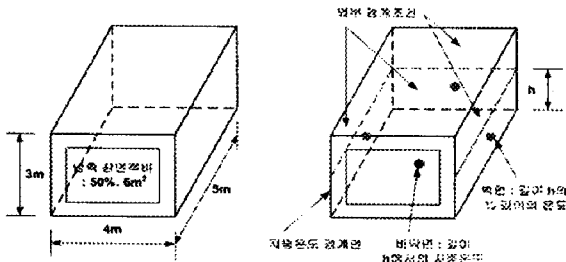


그림 3. 단위 모델 및 복토 비율에 따른 경계조건

그리고 단위 모델의 벽체와 창호 구성 및 물성값은 표 1, 표 2와 같다. 벽체의 경우 대한주택공사의 중부지역의 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 방위에서의 외벽 전체의 복토, 지붕에서의 50cm 두께로 복토, 세 면의 외벽과 50cm 두께로 지붕에서의 복토로 3가지 경우에 대하여 정남향인 조건으로 시뮬레이션을 진행하였다.

각 Case의 A에서 E는 토양의 종류를 나타내는 것으로 A는 TRNSYS에서 제공되는 토양, B는 표 1의 S1, C는 S2, D는 S3, E는 S4를 의미한다.

시뮬레이션에서의 냉·난방 설정온도는 각

각 26°C, 20°C이며, 기간은 난방의 경우 11월부터 3월까지로 총 5개월로 하였으며, 냉방의 경우에는 6월부터 8월까지 총 3개월로 가정하였다. 그리고 실내의 환기 횟수는 건물에너지 절약기준에서 주거용 건물에 대해 제시하고 있는 시간당 0.7회로 하였다. 또한 벽체 내부와 외부의 열전달 계수도 건물에너지 절약기준에서 제시하는 값으로 설정하였다. 외벽의 경우 실내측 32.2 kJ/h·m²·°C, 실외측 83.8 kJ/h·m²·°C로 설정하였으며, 지붕의 경우 실내측 41.9 kJ/h·m²·°C, 실외측 83.8 kJ/h·m²·°C로 설정하였다. 바닥 슬래브의 경우는 실내 41.9 kJ/h·m²·°C, 실외 24 kJ/h·m²·°C로 하였으며, 복토된 외벽의 경우에 바닥 슬래브와 동일한 표면 열전달 계수를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다[7].

표 2. 벽체의 구성 및 물성값

	구성 재료	열전도율 [kJ/mh·°C]	비열 [kJ/kg·°C]	밀도 [kg/m³]	열관류율 [W/m²·°C]
외벽	석고보드	0.75	1	700	0.335
	단열재	0.13	1.47	35	
	콘크리트	5.87	1	2000	
지붕	석고보드	0.75	1	700	0.271
	단열재	0.13	1.47	35	
	콘크리트	5.87	1	2000	
	아스팔트 루핑	0.38	0.92	1000	
	단열재	0.16	1.47	20	
	모르타르	5.03	1	2000	
바닥 슬래브	모르타르	5.03	1	2000	0.322
	기포 콘크리트	0.42	1	500	
	단열재	0.16	1.47	20	
	콘크리트	5.87	1	2000	
	단열재	0.13	1.47	35	

표 3. 창문의 구성 및 물성값

	U-value [W/m²K]	g-value [%/100]	두께 [mm]
16mm 복층유리	2.891	0.62	5/6/5

시뮬레이션을 위한 기상데이터는 TRNSYS 16에서 제공되는 서울 지역의 TMY-2 표준

기상데이터 파일을 이용하였다.

#### 4. 분석 및 고찰

각 Case와 비교 대상이 되는 기준 모델은 바닥면을 제외한 모든 벽체가 외부 환경에 노출된 경우로 설정하였다.

##### 4.1 Case 1 ; 외벽의 복토

각 경우에서 복토된 부분의 경계면 온도는 앞서 설명한 것과 같이 복토 면적의 가운데 지점에서의 지중온도로 가정하였다. 이 경우에서 복토 면적별 냉·난방부하를 시뮬레이션을 통하여서 계산하였다.

##### 4.1.1 냉·난방부하 분석

그림 4는 Case 1의 냉난방 부하를 나타낸 그래프이다. 열전도율이 낮은 토양으로 복토를 실시한 B와 E의 경우에 각각 냉방과 난방 부하가 제일 낮게 나타났다.

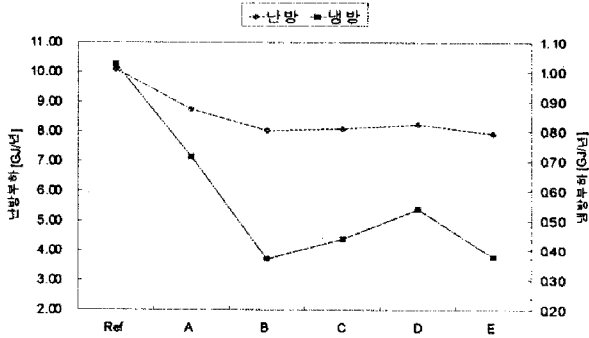


그림 4. Case 1의 냉난방 부하 비교

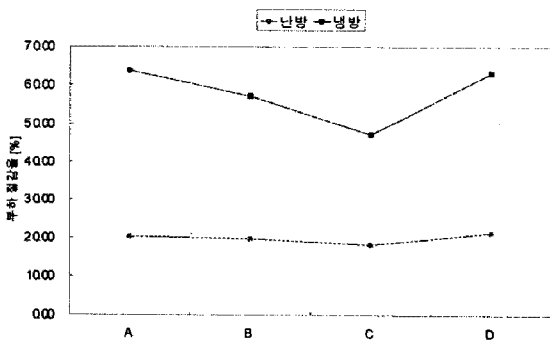


그림 5. Case 1의 냉난방 부하 절감율

그림 5에서 보여지는 것처럼 난방부하는 E의 경우 기준모델에 비해 21.39% 냉방 부하는 B의 경우 기준모델에 비해 63.81%의 절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

#### 4.2 Case 2 ; 지붕의 복토

##### 4.2.1 냉·난방부하 분석

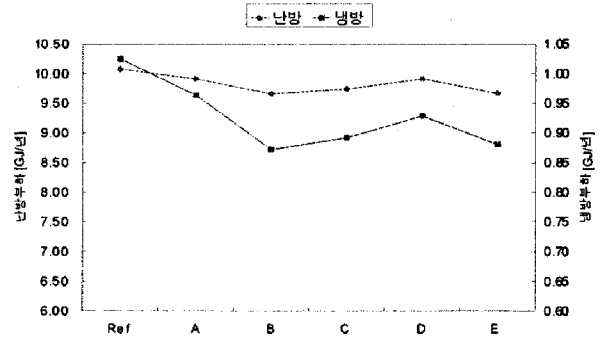


그림 6. Case 2의 냉난방 부하 비교

지붕면에서 복토를 실시한 Case 2의 경우 그림 6에서 알 수 있듯 토양 S1을 이용한 B의 경우 부하가 가장 낮게 나타났다. 부하 절감율은 그림 7에서 보이는 바와 같이 난방과 냉방 각각 4.08%, 14.91%로 나타났다.

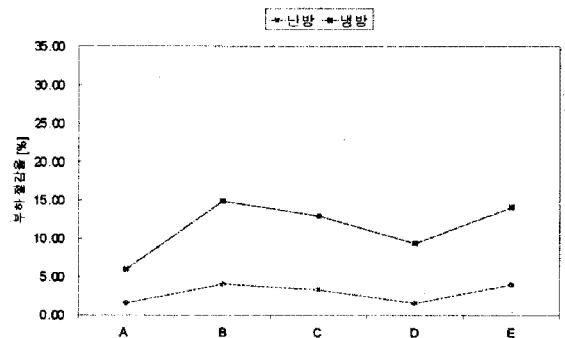


그림 7. Case 2의 냉난방 부하 절감율

#### 4.3 Case 3 ; 외벽 및 지붕의 복토

##### 4.3.1 냉·난방부하 분석

Case 3의 경우에서도 Case 2의 경우와 같이 토양 S1을 이용한 B의 경우 그림 8에서 알 수 있듯이 가장 낮은 냉·난방 부하를 나

타냈다. 그림 9는 Case 3의 부하 절감율을 나타낸 그래프로 B의 경우 난방과 냉방 각각 24.51%, 74.11%의 절감 효과가 있는 것으로 확인되었다.

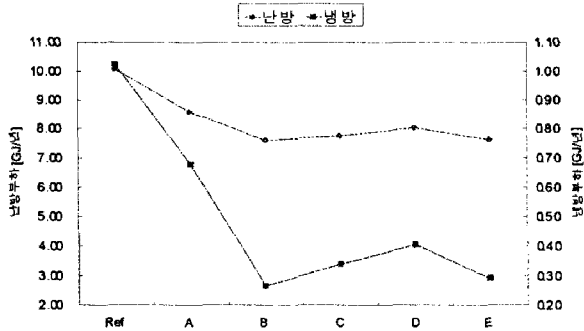


그림 8. Case 3의 냉난방 부하 비교

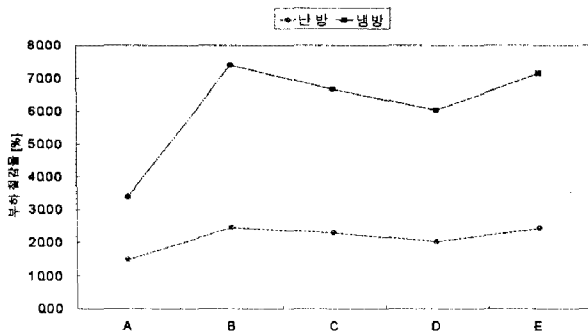


그림 9. Case 3의 냉난방 부하 절감율

이상의 분석 결과를 종합해볼 때, 토양의 열전도율이 낮을수록 열적 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 복토 방법의 경우 외벽과 지붕을 동시에 복토하는 경우 가장 낮은 열부하 분포를 나타내고 있으나, 어느 한 부위만을 복토할 경우에는 외벽면을 복토하는 경우가 훨씬 더 열부하 절감효과를 나타냄을 알 수 있다.

## 5. 결 론

이상 3가지 조건에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1)Case 1의 경우 기준 모델에 비해 냉·난방부하의 절감율은 난방의 경우 최대 21.39%, 냉방의 경우 63.81%로 나타났다.

(2)Case 2의 경우 난방 부하는 최대 4.08%, 냉방 부하는 최대 14.91%의 감소가 발생하였다.

(3)Case 3의 경우 냉·난방 부하의 최대 절감율은 각각 24.51%, 74.11%로 나타났다.

(4)3가지 경우에 대해 시뮬레이션을 진행했을 때 열전도율이 낮은 토양으로 복토를 했을 경우 가장 큰 절감효과가 나타났으며, 지붕면의 복토 효과보다 외벽면의 복토 효과가 크게 나타남을 알 수 있었다.

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

결과적으로 열전도율이 낮은 토양으로 복토를 실시한 모델일수록 냉·난방 부하가 낮게 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 김자경, 자연과 함께하는 건축, 시공문화사, 2004
2. 이시용, 복토주택의 에너지 특성-모델 복토주택을 통하여, 대한건축학회지, 36권 3호, 1992.5
3. 문성호, 복토주택설계용 지역기후요건에 관한 연구, 대한건축학회지, 29권 124호, 1985.6
4. TRNSYS User Manual v. 16., Solar energy lab., Univ. of Wisconsin-Madison
5. 우정선, 지열·지열원 열펌프, ETIS 분석지, 23권, 2003. 9
6. 신현준 외 2명, Green Town 개발사업, I :기전설비분야(연구) / A Study on the Energy-Resources Self-Sufficient Community for their Environmentally Friendly Town, I, 한국건설기술연구원, 1997. 12
7. 건축물 에너지절약 설계기준 설명회 교재, 한국건설기술연구원, 2001.7