

# 인공지반이 건물 열환경에 미치는 효과에 관한 연구

황효근\*, 임종연\*, 류민경\*, 송두삼\*\*

\*성균관대학교 대학원 건축공학과([goldroot@skku.edu](mailto:goldroot@skku.edu)),

\*성균관대학교 대학원 건축공학과([reonheart@skku.edu](mailto:reonheart@skku.edu)),

\*성균관대학교 대학원 건축공학과([ruminism@skku.edu](mailto:ruminism@skku.edu)),

\*\*성균관대학교 건축공학과([dssong@skku.edu](mailto:dssong@skku.edu))

## The Effect of the Artificial Ground on Building Thermal Environment

Hwang, Hyo-Keun\*, Lim, Jong-Yeon\*, Ryu, Min-Kyung\*, Song, Doo-Sam\*\*\*

\*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sungkyunkwan Univ.([goldroot@skku.edu](mailto:goldroot@skku.edu)),

\*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sungkyunkwan Univ.([reonheart@skku.edu](mailto:reonheart@skku.edu)),

\*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sungkyunkwan Univ.([ruminism@skku.edu](mailto:ruminism@skku.edu)),

\*\*\*Dept. of Architectural Eng., Sungkyunkwan Univ.([dssong@skku.edu](mailto:dssong@skku.edu))

### Abstract

---

Apartment housing block has been spreaded according to rapid economic development and urbanization in Korea. A parking lot is located at underground, artificial ground is inevitably created in apartment housing block. Artificial ground creates different thermal environment compared to natural ground, because the composition and coverage of artificial ground are diverse.

In this study, the effect of the artificial ground on building thermal environment will be discussed by simulation. Considering the result of simulation, surface albedo is more important for building energy performance.

A purpose of this study is to examine how the characteristic of surface effect to thermal environment, and to develop design method for sustainable outdoor space.

Keywords : 인공지반(Artificial ground), 옥상녹화(Green roof), 열환경(Thermal environment),  
건물부하(Building load)

---

## 1. 서론

국내의 경우 급속한 경제개발과 이로 인한 도시화가 진행되어 왔으며 이에 따른 도시 지역의 급격한 인구증가로 인해 현재 고밀화된 공동주택 단지는 빠르게 증가하고 있다. 이와 더불어 도시 내 과밀화로 인해 열섬현상(Heat island)이나 거주환경 악화와 같은 열환경 문제가 새로운 사회적 문제로 대두되고 있는 추세이다.

이와 같은 사회적 요구에 따라 최근 국내의 공동주택 단지 역시 실내/외 공간에 대해 다양한 친환경 기법들이 적용되고 있다. 특히, 과거 상대적으로 관심이 적었던 외부공간에 대한 친환경적 요구가 최근 증가하고 있으며 이에 대해 수공간 조성 및 녹지율의 향상과 같은 외부환경 개선 수법의 적용이 점차 확대되고 있다. 그러나 국내의 경우 외부환경 개선에 대한 효과를 정량적으로 평가한 예는 아직 부족한 상황이다.

본 연구에서는 다양한 외부환경 개선수법 중 인공지반의 열적 성능에 관해 선행된 연구에 기초하여 TRNSYS 시뮬레이션을 이용한 열성능 분석 결과에 대해 알아보하고자 한다.

## 2. 시뮬레이션 개요

### 2.1 시뮬레이션 기본 조건

본 연구에서는 인공지반의 조성 방법(표면 마감, 토양재료, 토심)에 따른 열성능 분석을 위해 그림 1에서 보이는 것이 실험적인 모델에 대해 시뮬레이션을 진행하였다.

선정 모델은 3m×10m×10m 크기의 단실 공간으로, 인공지반이 적용될 천정면의 면적을 넓게 하여 인공지반 조성에 따른 영향이 잘 표현될 수 있도록 하였으며, 인공지반이 적용되는 천정면 이외의 벽체 및 바닥면의 경우 외부로부터의 영향을 최소화하기 위해 700mm의 두꺼운 단열재로 구성되어 있는 벽체로 구성하였다.

계산 시 외기조건은 TRNSYS에서 제공하는 서울시 기상 데이터(TMY2 data)를 활용하였으며, 실내의 온도 및 습도는 초기 설정치를 온도의 경우 26℃, 습도의 경우 50%를 각각 설정하여 실내의 상태 변화에 큰 변화를 주지 않도록 하였다. 또한, 실내의 공기가 정체되어 과도하게 높은 온도분포가 형성되는 것을 피하기 위해 침기량을 설정하였다. 침기량 선정에 있어서는 국내의 환기기준에 따라 0.7회/h의 환기가 이루어지는 것으로 하였다. 그 외에 하절기와 동절기 냉/난방 설정온도는 난방 시 20℃, 냉방 시 : 26℃로, 24시간 연속해서 냉난방이 이루어지는 것으로 설정하였다. 그 밖에, 실내 부하는 인공지반의 영향만을 알아보기 조명부하 10W/m<sup>2</sup>(형광등) 이외의 인체 및 기기부하는 고려하지 않았다.

상기에 설명한 각종 초기 입력 조건은 표 1과 같다.

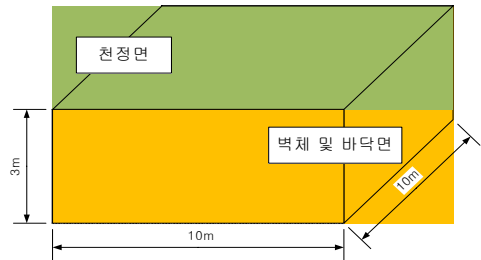


그림 1. Simulation Model

표 1. 초기 입력조건

항 목	내 용
기상 Data	서울시 기상 데이터 (TMY2 Data)
실 크기	10m X 10m X 3m
초기 실내 온/습도	온도 : 26℃, 습도 : 50%
침 기 량	0.7회/h
냉/난방 설정온도	난방 시 : 20℃, 냉방 시 : 26℃ (24시간 연속 냉난방)
실내 부하	조명부하 : 10W/m <sup>2</sup> (형광등)

## 2.2 시뮬레이션 Case 선정

먼저, 인공지반의 구성변화에 따라 지반하부 구조물에 미치는 영향을 알아보기 위해 구성에 따른 다양한 Simulation Case를 선정할 필요가 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 각 Case를 선정함에 있어 인공지반의 재료와 토심, 그리고 표면 변화에 따른 열적 특성 및 성능 변화를 명확히 파악하기 위해 다음과 같이 Case를 선정하였다.

선정 Case는 앞서 설명한 것과 같이 전체 Case의 벽체 및 바닥면에 대해 단열재 700mm를 적용하였으며, 천정면에 대해 인공지반의 유/무 및 토양재료에 따라 크게 3가지 Case를 선정하였다. 또한, 각 Case에 대해 토심별(10, 20, 30, 60cm) 변화를 주어 Case2와 3의 경우 각 4개의 세부 Case를 선정하였다.

토심 선정에 있어서는 표 2와 같이 식재 수중에 따라 인공지반의 토심을 결정하는 관련 자료를 참고로 하여 4가지 토심을 적용하였다. 그 외에 표면 마감에 따른 일사의 영향을

표 2. 인공토양의 식재 토심<sup>1)</sup>

종 류	인공토양 식재 토심(cm)
잔디, 초본류	10 이상
소관목	20 이상
대관목	30 이상
교 목	60 이상

표 3. 표면 마감별 일사 흡수율<sup>2)</sup>

	콘크리트면	녹지면
일사 흡수율	0.63	0.35

1) 조경공사표준시방서, 한국조경학회, 2003

2) Reduction of solar heat gain by roof greening-Field experiment and numerical simulation-TASATO Kaori, NISHIOKA Masatoshi and NABESHIMA Minako, 日本建築學會大會學術講演梗概集 2004

고려하기 위해 표 3에 나타난 것과 같이 콘크리트면과 녹지면의 일사흡수율을 차등 적용하였으며, Case 1의 경우 인공지반이 적용되지 않았으므로 콘크리트 면으로 가정하였으며, Case 2와 3의 경우 인공지반의 조성으로 인해 표면에 녹지가 형성된 것으로 가정하여 일사 흡수율을 적용하였다.

각 Case별 구성 방법에 관해서는 그림 2를 통해 상세히 확인할 수 있으며, 시뮬레이션 계산에 필요한 각 Case별 물성치는 관련 문헌 및 자료를 참고로 하여 표 3과 같은 두께 및 열전도율을 적용하였다.

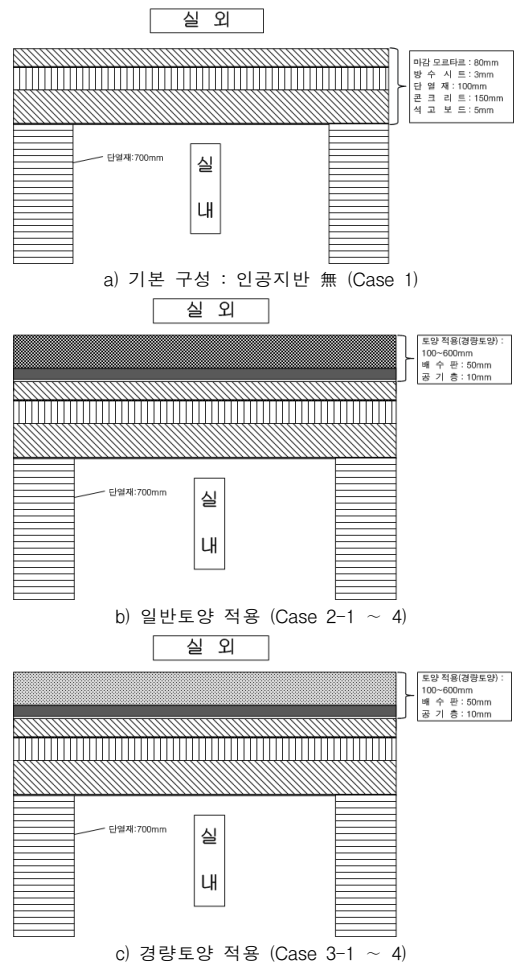


그림 6. 각 Case별 벽체 구성

표 3. Case 별 천정면, 벽체 및 바닥면의 물성치<sup>3)4)</sup>

기본 Case			자연토양 이용 Case			인공토양(퍼라이트) 이용 Case		
	두께 (mm)	열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K)		두께 (mm)	열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K)		두께 (mm)	열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K)
Case 1	0.338	0.274	Case 2-1	0.498	0.244	Case 3-1	0.498	0.238
			Case 2-2	0.598	0.240	Case 3-2	0.598	0.229
			Case 2-3	0.698	0.236	Case 3-3	0.698	0.220
			Case 2-4	0.998	0.226	Case 3-4	0.998	0.198
벽체 및 바닥면	0.7	0.043	동일			동일		

## 2.2 시뮬레이션 결과

선정된 각 Case(총 9개)에 관한 Simulation을 이용하여 인공지반 조성 방법에 따른 영향에 관해서 알아보았다. 인공지반의 영향은 Simulation 해석 결과 중 표면 변화에 따른 일사 흡수량 및 벽체를 통한 열손실량의 변화에 대해 분석을 실시하였으며, 최종적으로 각 Case별 냉/난방 부하의 변화에 대해 정량적인 분석을 실시하였다.

### 1) 표면 마감별 일사 흡수량

앞서 본 Simulation에 대한 기본 조건 및 Case 선정에 관해 표면 마감에 따라 일사 흡수율의 변화를 주어 콘크리트면 및 녹지면에 대해 일사의 영향을 고려한다는 것을 언급했다. 따라서, 일사에 대한 영향을 먼저 살펴보았다.

일사에 의해 직접적으로 영향을 받는 부분은 인공지반이 적용되는 천정면의 외표면으로서 그림 7에서는 기본 조건으로 제시된 기상 Data에서의 일사량 크기와 콘크리트면(Case 1)과 녹지면(Case 2 & 3)에 흡수되는 일사량의 크기를 비교하여 나타내고 있다.

먼저 일사 흡수량의 변화에 있어 동절기의 경우, 전체 일사량에 대해 콘크리트면에서는 평균 66%정도, 녹지면에서는 약 37%정도의 일사 흡수가 이루어지고 있으며, 하절기

의 경우 콘크리트면은 평균 60%, 녹지면은 33%정도의 일사 흡수가 이루어지는 것을 알 수 있었다.

결과적으로 계절의 변화에 따라 약 4~6%정도의 차이가 있으나 표면 마감별 일사 흡수율(콘크리트면 - 0.63, 녹지면 - 0.35)에 의해 일사의 영향이 결정되는 사실을 알 수 있었다.

또한, 동/하절기의 경우 주간에 흡수되는 일사량이 콘크리트면 뿐만 아니라 녹지면에 서도 매우 큰 차이를 보이게 되는데, 이와 같은 결과는 표면 마감의 변화에 의해 열적 성능 역시 변화할 것으로 보이며 특히 하절기의 경우 성능 변화의 폭이 더 넓을 것으로 판단된다.

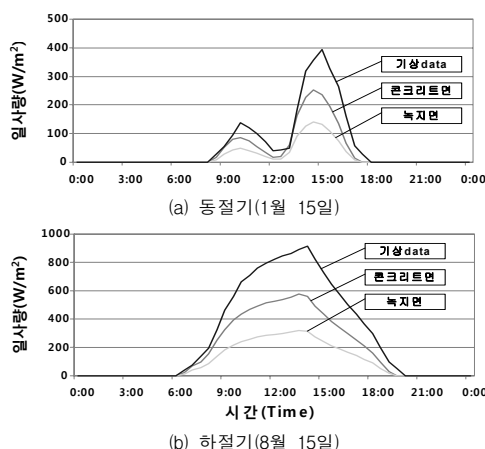


그림 7. 기상 데이터의 일사량 및 천정 외표면에서의 일사 흡수량

3) The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore, N.H.Wong et al., Energy and Buildings 2003

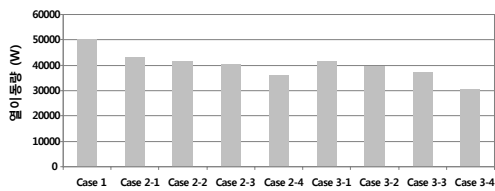
4) S사 인공토양(퍼라이트) 시험성적서

## 2) 벽체를 통한 열손실량

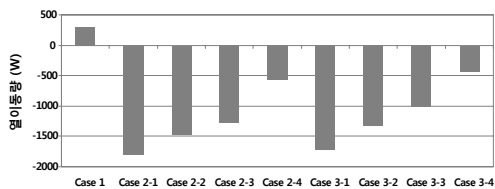
각 Case별 주요 차이점은 천정면에 적용된 인공지반의 재료 및 토심의 변화를 들 수 있다. 이처럼 인공지반의 구성 방법이 변화함에 재료가 실내에 미치는 열적 효과를 알아보기 위해 벽체를 통한 열이동량(손실 및 취득)에 관한 결과를 살펴보았다.

벽체(천정 및 측벽)를 통해 손실 또는 취득된 열량은 그림 8에서 보이는 것과 같다. 여기에서 나타난 계산 결과는 인공지반이 적용된 천정면 뿐만 아니라 단열재(700mm)로 구성된 벽체를 포함한 전체 벽면에 대한 열이동량 값을 보여주고 있다. 그러나 인공지반 적용된 천정면 이외의 벽체의 경우, 그 영향을 최소화하기 위해 두꺼운 단열재로 가정하였기 때문에 Case에 따른 하절기 및 동절기의 열이동량의 차이는 인공지반 구성에 의한 영향이 지배적이라고 판단된다.

계산 결과를 살펴보면, 동절기의 경우 토심 및 재료에 따른 열관류율의 증가로 인해 토심이 증가함에 따라서 일정한 비율로 증가하며 경량토양을 적용했을 경우가 일반토양을 적용했을 때보다 열손실이 적은 것을 알 수 있다.



(a) 동절기(1월 15일) 열손실(+) 및 취득(-)량



(a) 하절기(8월 15일) 열손실(+) 및 취득(-)량

그림 8. 천정 및 벽체를 통한 열이동량

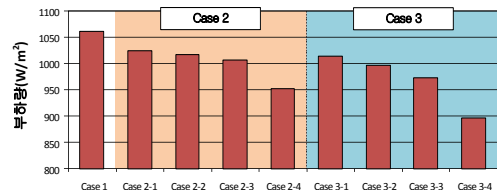
하절기의 경우, 인공지반이 적용된 경우 (Case 2 & 3)는 동절기와 유사하게 토심이 증

가함에 따라, 토양의 재료가 변화(일반 → 경량토양)함에 따라 벽체로부터 열취득량이 감소하지만, 인공지반이 적용되지 않은 Case 1의 경우 오히려 약 300W의 열손실을 보이고 있는데, 인공지반이 적용되지 않은 경우 주/야간의 온도변화에 의해 크게 영향을 받게 됨으로서 야간 시간동안 열손실이 발생하기 때문에 이와 같은 결과를 보이는 것으로 판단된다.

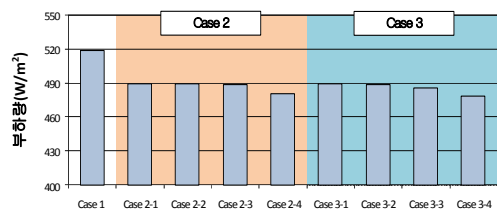
## 3) 인공지반 구성에 따른 열성능 변화

인공지반의 표면변화에 따른 일사의 영향, 토양의 재료 및 토심에 따른 열이동 변화 등의 영향으로 인해 인공지반의 구성에 따라 열성능이 변화할 것으로 예상되며, 이를 알아보기 위해 각 Case에 대해 냉/난방에 요구되는 부하를 알아보았다.

각 Case별 냉/난방 부하 및 부하저감율에 관한 결과는 그림 9와 표 4에 나타난 것과 같은 결과를 나타냈다. 동절기 난방 부하의 경우 인공지반의 토심에 따라 10cm의 토심에 따라 약 0.6%(일반토양 적용), 1.9%(경량토양 적용)의 비율로 감소하며, 콘크리트와 녹지의 표면 변화로 인한 효과는 약 3.0%의 성능향상을 보였다. 또한, 토심이 깊어질수록 부하저감율이 상승하는데 이는 축열 능력 향상으로 인한 결과로 판단된다.



(a) 일적산 난방부하(1월 15일)



(b) 일적산 냉방부하(8월 15일)

그림 9. Case별 일적산 냉/난방 부하

표 4. Case별 일적산 냉/난방 부하 및 부하저감율

	Case1	Case2-1	Case2-2	Case2-3	Case2-4	Case3-1	Case3-2	Case3-3	Case3-4
난방부하 (W/m2)	1062	1025	1017	1007	953	1015	997	974	897
난방부하 저감율(%)	0.0	3.5	4.3	5.2	10.3	4.5	6.2	8.3	15.6
냉방부하 (W/m2)	519	490	490	489	481	490	489	486	479
냉방부하 저감율(%)	0.0	5.6	5.5	5.7	7.4	5.5	5.7	6.3	7.6

하절기 냉방 부하의 경우, 동절기와 비교했을 때 부하 저감율이 매우 작게 나타난다. 반면에 표면 마감에 따른 부하 저감은 큰 감소 폭을 보여, 녹지면이 콘크리트면에 비해 약 5.5%의 부하 저감을 보여 일사에 의한 영향이 크다는 사실을 알 수 있다.

### 3. 결론

인공지반의 구성에 따른 열성능을 정량적으로 분석하기 위해 Simulation을 이용하여 일사에 의한 영향, 토양 재료 및 토심에 의한 영향 그리고 각 구성별 냉/난방 부하의 변화를 살펴본 결과는 다음과 같다.

- (1) 동절기의 경우, 상대적으로 일사의 영향이 적고 인공지반을 구성하는 벽체의 단열성능에 의해 가장 큰 영향을 받아 토양 구성의 변화에 따라 일정한 비율로 열성능이 증가하는 것을 알 수 있다.
- (2) 하절기의 경우, 일사에 의한 영향이 증가해 인공지반(녹지면)의 열성능의 큰 폭으로 증가하지만 인공지반 적용으로 인한 단열효과에 의한 효과는 상대적으로 낮게 작용한다.
- (3) 그 밖에, 인공지반 토심이 증가함에 따라 부하저감율의 향상 결과를 보여 토양의 축열효과로 인한 열성능 향상도 있는 것으로 판단된다.

추후에는, 실제 측정결과와 비교 분석을 통해 본 연구에서 진행한 Simulation의 신뢰도를 높이기 위한 연구를 진행할 예정이다.

### 후 기

본 연구는 국토해양부 건설핵심연구개발사업의 지원으로 수행되었음 (과제번호: 06 건설핵심 B02)

### 참 고 문 헌

- 1) 조경공사표준시방서, 한국조경학회, 2003
- 2) Reduction of solar heat gain by roof greening – Field experiment and numerical simulation – TASATO Kaori, NISHIOKA Masatoshi and NABESHIMA Minako, 日本建築學會大會學術講演梗概集 2004
- 3) The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore, N.H.Wong et al., Energy and Buildings 2003
- 4) S사 인공토양(퍼라이트) 시험성적서