

옥상녹화시스템의 식재방식에 따른 단열효과의 정량적 분석

장 희 경, 조 홍 제, 여 인 애, 윤 성 환*†

부산대학교 건축공학과, *부산대학교 건축학부

Quantitative Analysis on the Insulating Effect by the Green Roof Planting System

Hee-Kyong Jang, Hong-Je Cho, In-Ae Yeo, Seong-Hwan Yoon*†

Department of Architectural Eng., Pusan National Univ., Busan 609-735, Korea

*School of Architecture, Pusan National Univ., Busan 609-735, Korea

ABSTRACT: The purpose of this study was to investigate Green Roof System's thermal performance using dynamic heat load simulation programs related to architectural environment. In results, it is found out that the thermal performance of Green Roof System is stabler than that of roof slab system which means that it is possible to create pleasant indoor environment and save the heating and cooling load.

Key words: Green roof system(옥상녹화시스템), Thermal performance(열성능), Roof planting (옥상식재), Dynamic heat load calculation(동적열부하 계산)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

근래 들어 도시, 건축, 사회 전 분야에 걸쳐 환경적으로 건전하면서도 지속 가능한 개발과 발전을 위한 다양한 방법들이 모색되고 있다. 최근 우리나라는 기후환경 변화의 중요성을 인식하여 도심지 녹화 공간 조성에 신경을 쓰고 있으며 서울시의 경우, 녹지율 확보를 시정의 7대 과제로 추진하고 있다.

옥상녹화 시스템은 생태적 측면에서는 도시환경 및 생태계의 복원과 향상을 목적으로 생물의 다양성 증진, 녹지 공간의 확충 가능성을 의미하

며 에너지 측면에서는 도시의 환경부하를 저감시키고 건물의 냉·난방 에너지를 상당량 감소시킬 수 있는 것으로 연구 발표되고 있다⁽¹⁾.

특히 옥상녹화 시스템에 대한 국내의 관심이 단열 효과 측면에 국한되어 있음에도 불구하고 시뮬레이션을 활용하여 옥상녹화 시스템의 열성능 평가, 냉난방 에너지 절감 효과 등에 대해 정량적으로 분석한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 옥상녹화시스템의 열성능을 평가하기 위한 기초적인 검토로서 환기, 복사난방, 지하구조물 등을 계산할 수 있는 열·환기 수치해석 프로그램(Simulation Program for Heat Load, 이하 SimHeat)⁽²⁾을 활용하여 옥상녹화 시스템이 건물 실내의 열적 특성에 미치는 효과를 정량화하고자 한다.

† Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2355; fax: +82-51-514-2230

E-mail address: yoon@pusan.ac.kr

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 기존의 연구문헌 및 옥상녹화 관련지침서 등을 참고하여 기존 옥상녹화 시스템의 구성을 파악하고 대한설비공학회에서 제작한 동적 열부하 시뮬레이션 표준 기상데이터가 존재하는 서울을 대상지역으로 설정한다.

대상지역의 대표일은 하계의 경우, 옥상녹화의 열 성능을 검토하기 위한 조건으로써 월중 최고 기온이 가장 높고 직달일사량이 가장 많은 날로 선정하고, 동계는 옥상 슬래브에 일사가 미치는 영향을 고려하기 위해 맑고 월중 최저 기온을 기록하는 날로 선정한다(하계는 8월 18일, 동계는 1월 31일).

2. 옥상녹화시스템의 개요

2.1 기본 이론

녹화 수법은 수목을 사용한 방법, 지피식물을 사용한 방법, 파고라 설치에 의한 방법 등이 있으나 본 연구에서는 지피식물의 식재만을 대상으로 하여 梅干野⁽³⁾ 등이 전열모델에서 지피식물 식재의 열수수 특성에 관해서 식생층(식생의 잎 선단에서 줄기 아래 부분 까지)과 그 이하의 성토층의 두 부분으로 나누어 생각한다(Fig. 1).

이에 본 연구는 식생층, 성토층에 관한 열수지식 및 각 물성치를 설정하여 시뮬레이션에 활용한다.

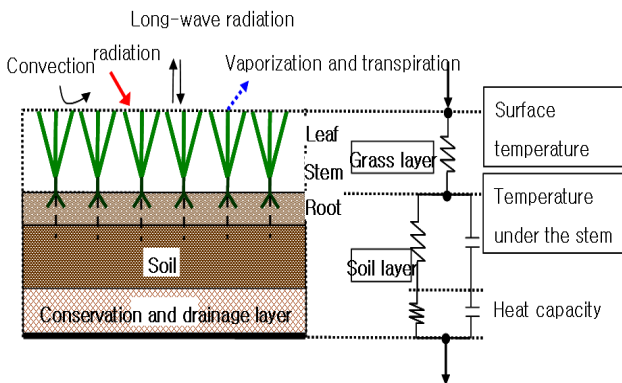


Fig. 1 The section of green roof system and the model of heat transfer.

2.2 시뮬레이션 케이스 설정

건축물의 식재방식에 따른 옥상녹화의 단열 성능을 파악하기 위해 최상층 슬래브의 구조가 ①슬래브, ②슬래브+토양, ③슬래브+토양+식재로 구성되어 있을 때 토심을 10mm, 35mm, 50mm, 100mm, 150mm, 200mm, 450mm으로 변화시키면서 실내의 열적 특성에 미치는 효과를 분석한다.

Table 1. Model naming.

Insulation method	Soil thickness (mm)	Summer Model	Winter Model
Slab	0	SO-0	wSO-0
Slab + Soil	10, 35, 50,	SO-10 ~SO-450	wSO-10 ~wSO-450
	100, 150, 200, 450		
Slab + Soil + Grass	10, 35, 50,	SG-10 ~SG-450	wSG-10 ~wSG-450
	100, 150, 200, 450		

2.3 시뮬레이션 대상 오피스 모델 선정

여기서는 토양의 두께에 따른 옥상녹화 시스템의 단열 성능을 검증하기 위한 대상으로 건교부에서 제시한 표준 오피스 건물(전용면적 400m², 업무시설) 설계지침을 따른다.

가. 평면 구성

전용면적은 400m²(공조 공간 320m², 비공조 공간 80m²), 층고 3.25m, 창면적비 30%로 한다.

나. 벽체의 단면구성

벽체의 단열조건은 가장 일반적인 표준 오피스 건물 벽체의 단열 조건을 적용한다.

다. 거주자의 생활패턴

표준 오피스 모델을 이용하여 동적열부하 계산을 하기 위해서는 냉·난방 조건과 거주자의 생활패턴을 적절히 고려해야 한다. 냉·난방 운전 스케줄은 거주자가 재실하는 업무시간 동안에는 On으로 설정하고 퇴근한 후에는 Off되는 것으로 설정한다.

Table 2. Condition of indoor heating.

Occupant	0.2 man/m ²	Sensible heat	Latent heat
		57W/man	62W/man
Lighting	15 W/m ²		
Office equipment	20 W/m ²		
Occupancy schedule	9:00 - 18:00 (Weekday)		
	9:00 - 13:00 (Holiday)		

2.4 동적열부하 계산(SimHeat)

동적열부하 계산 열·환기 연성 열부하 계산프로그램(SimHeat)을 이용한다. 이는 건물을 열·환기 회로망으로 구축하여 각 절점의 온도, 습도, 현열부하, 잠열부하, 열류, 환기량을 해석하는 프로그램이다⁽²⁾. 오피스 모델은 CAD입력방식으로 평면구성 및 계산조건을 그대로 재현하였고, 비공조실과 하층은 계산 절점과 동일하게 변동한다고 가정한다(等溫變動設定).

3. 실험 결과 및 분석

3.1 하계 시뮬레이션 결과

3.1.1 천정 표면온도 비교

Fig. 2는 여름철 (a)슬래브 상부에 누름 콘크리트를 구성한 제어모델, (b)슬래브+토양, (c)옥상을 녹화한 모델들의 실내 열환경에 직접적인 영향을 미치는 천정면(슬래브 하부표면)의 온도변화를 나타낸 것이다.

(a)제어모델의 경우 외기온 변동에 직접적인 영향을 받아 29-38℃(변동폭 9℃)의 범위에서 외기온과 거의 유사한 변동 특성을 보인다. 그러나 (b)슬래브에 토양만 식재한 모델은 제어모델 보다는 상대적으로 낮은 28.6-30.7℃(변동폭 2.1℃)로써 제어모델 보다 약 7℃ 적은 변동을 보이며 상대적으로 안정적인 변동 특성을 보인다.

특히 (c)옥상을 녹화한 모델의 경우, 29.1-30.1℃(변동폭 1℃)로써 (b)슬래브에 토양만 식재한 모델보다 적은 변동(약 1.1℃)을 보여 가장 안정적인 실내환경을 조성한다.

시간대별로 살펴보면, 일일 중 냉방부하가 최

대로 발생하는 14-16시를 전후로 (a)제어모델은 외기온보다 최대 6.54℃정도 높게 나타났으나 (b)슬래브에 토양만 식재한 모델은 -0.7℃, (c)옥상을 녹화한 모델은 -1.4℃로 외기온 보다 낮은 온도를 유지함으로써 무더운 여름철에 좀 더 쾌적하고 시원한 실내환경을 조성한다.

따라서 옥상녹화는 재실자의 쾌적성 관점에서 유리하게 작용하는 열적 성능을 분명히 지니고 있다. 이것은 식생층에서 일사열을 반사하는 성능과 외기온 변동에 적절하게 대응하는 토양층의 축열 성능이 주된 변수라고 판단된다.

3.1.2. 토양 두께별 비교

Fig. 2에서 토심변화에 따른 실내 천정면의 온도변화 양상을 보면 (b)슬래브에 토양만 식재한 모델[30.7-29.4℃(변동폭 1.3℃)]과 (c)옥상을 녹화한 모델[30-29.4℃(변동폭 0.6℃)]의 경우, 변동범위와 패턴은 거의 유사하게 나타나나 식생 여부에 따라 식생층이 있는 (c)옥상을 녹화한 모델이 좀 더 안정된 변동 특성을 보인다.

한편 토심변화에 따른 천정면의 온도 변화 양상을 보면 토심이 증가함(10mm-450mm)에 따라 천정면의 온도와 변화폭이 비례적으로 감소하면서 거의 일직선에 가까운 양상을 보인다. 특히 토심 100mm를 기점으로 하여 천정면 온도 변화폭이 급격히 감소하며 토심 450mm에서 가장 안정적인 온도분포특성을 보인다.

따라서 동일 외기온 변동조건에서 토심에 따른 실내 천정면 온도 변화 양상의 분명한 차이는 1) 토양과 식생의 물리적인 단열 및 축열 성능, 2) 토양과 식생의 함수율, 3) 토양과 식생의 일사 반사율 등이 주요 변수로써 영향을 미친 것으로 판단된다.

3.2 동계 시뮬레이션 결과

3.2.1 단열효과 검토 및 난방부하

Fig. 3는 1월 한달간 난방기간 동안 실온을 일정하게 유지하면서 제어모델(SO-0)과 (a)슬래브에 토양만 식재한 모델, (b)옥상을 녹화한 모델의 월 적산 난방부하 및 최대 난방부하를 비교하여 나타낸 것이다.

월 적산 난방부하는 (a),(b) 두 모델 모두 토심이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이며 일반

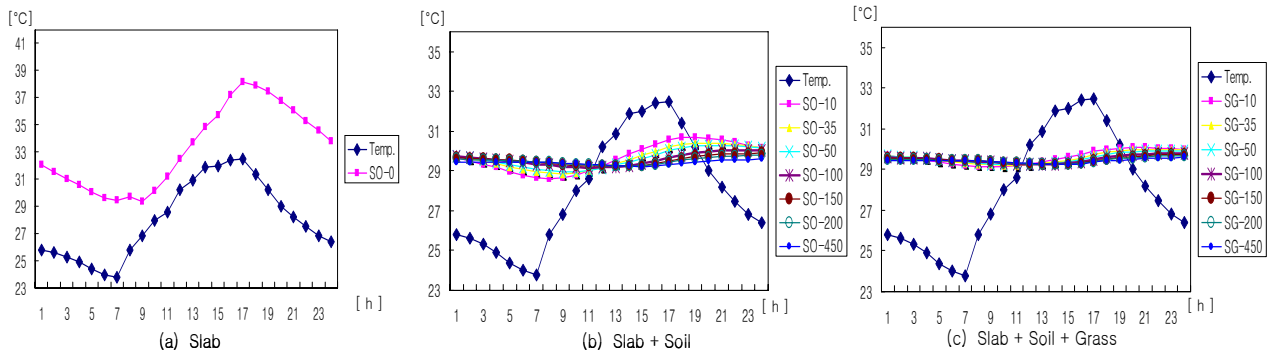


Fig. 2 Ceiling surface temperature (Summer).

적인 옥상녹화 식재 기준인 토심 200mm일 때 월 적산 난방 부하를 비교해 보면 (a)모델은 4230 kw, (b)모델은 3633 kw로 나타난다. 제어모델의 월 적산 난방 부하가 6145 kw임을 감안할 때 (a)모델, (b)모델은 각각 1915 kw, 2512 kw만큼 월 적산 난방부하가 절감된다.

또한 월 적산 난방 부하는 제어모델을 기준 (100%)으로 (a)모델은 최저 56%, (b)모델은 53%까지 나타나 각각 최대 44%, 47%의 절감효과가 있는 것으로 나타난다.

결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

(1) 천정 표면온도 비교 분석 결과, (c)옥상을 녹화한 모델은 외기온 보다 -1.4°C 으로 낮고 가장 적은 온도 변화폭(약 1.1°C)을 보여 여름철 좀더 쾌적하고 시원한 실내 환경을 조성할 수 있을 것이다.

(2) 옥상녹화 시 최적의 토심을 고려하면 보다 높은 단열 효과 및 옥상녹화 시공비용에 대한 적절한 대응이 가능할 것으로 예상된다.

(3) 겨울철 월 적산 난방 부하는 제어모델 (100%)을 기준으로 옥상녹화를 행할 경우 최대 47%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타난다.

추후 옥상녹화 시스템의 총체적인 단열성능을 검토하기 위해서는 옥상녹화의 단열방식과 식재방식의 결합에 따른 단열성능의 정량적인 평가가 추가적으로 진행되어야 할 것이다.

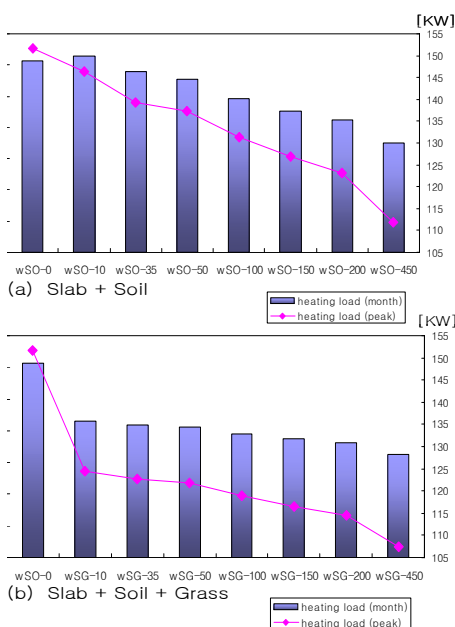


Fig. 3 Heating load (Winter).

4. 결론 및 향후 연구 과제

기존 콘크리트 옥상과 옥상녹화 시스템의 열적 특성 및 에너지부문에 대한 성능을 시뮬레이션을 활용하여 비교·분석하였다. 본 연구의 시뮬레이션

참고문헌

1. Suh, S. J., Lee, C. K., and Choi, W. K., 2003, A Study on the Roof Planting System of Geometrical Shape, AIK, Vol. 19, No. 10, pp. 177-186.
2. Kim, Y. T., Miyajima K., and SaKamoto Y., 2003, The Development of CAD System for Supporting Simulation Programs Related to Architectural Environment, AIK, Vol. 21, No. 10, pp. 283-290.
3. 梅干野 晃ら, 2001, 薄い盛土を持った屋上芝生植栽の木造建における物室内熱環境調整効果, 日本建築學會計劃計論文集, 527, pp. 15-20.