

옥상녹화시스템 유형별 에너지절감 및 경제성 분석

Economic Analysis and Energy Reduction by the Types of the Green Roof

김정호¹ · 이용준¹ · 오은주¹ · 김신덕¹ · 김학기²

¹(주)BEL Technology 기술연구소 · ²(주)LSD코퍼레이션

서 론

외부 열환경에 영향을 주는 기후 인자들로서는 기온, 습도, 일조 및 일사, 강우량, 풍향 및 풍속 등이 있으며 이러한 기후요소는 위도, 지형, 해류와 같은 천문지리학적 요인과 대기환류, 기압, 기단과 같은 기상학적 요인, 그리고 식재, 인공구조물, 지표면의 상태 등 물리적 환경요인에 의해 영향을 받는다.

그러므로 미기후의 완화와 더불어 지표면의 상태를 변화가 도시환경 개선에 큰 영향을 미친다. 특히 도심내 콘크리트 등의 불투수포장면을 축소하고 녹지공간을 증가시키는 작업이 반드시 선행되어야 한다. 이를 위해서는 우선 작은 면적의 녹지라도 조금씩 확보해 나아가야 하는데, 녹지의 확보 차원에서 옥상녹화는 지상에서 확보 불가능한 녹지면적 및 녹지량을 충분히 보상할 수 있는 유일한 대안으로 여겨지고 있다(김수봉, 2007).

옥상녹화가 도시환경 개선에 미치는 영향은 첫째, 도심내에서 자연생태와 같이 동식물이 서기할 수 있는 공간의 제공, 둘째 도시미기후의 개선 셋째, 우수저류 효과 넷째, 건물 냉난방비 절약 및 에너지 손실 저감, 알베도 개선 등으로 요약할 수 있다.

이중 옥상녹화에 의한 에너지 저감차원에서 구체적으로 살펴보면 옥상녹화는 최상부 식물의 증산작용에 의한 대기 온도완화와 시스템에 의한 건물에 미치는 단열성능으로 크게 구분할 수 있다. Robinette는 식물은 토양에서 수분을 흡수하고 광합성을 통해 잎으로 수분을 증발시키는데 여름철 하루에 약 2,400갤런으로 약 9,084리터라는 엄청난 물을 증발한다고 보고하였다. 수목이 하루에 100갤런의 물을 증발시키는 것을 기계적으로 환산하면 약 2,500kcal/h의 에너

지를 소비하며 하루 19시간 작동하는 에어컨 5대의 양과 같다(박재철, 2004).

녹지가 가지는 증산작용을 종합해 보면, 수목 한그루가 하루에 100갤런의 증산작용을 하며 1에이커의 초지는 하루에 2,400갤런의 증산작용을 하므로 1에이커의 초지는 수목 24그루의 효과와 같다.

지금까지 옥상녹화는 주로 생태적 측면의 연구와 기온저감에 대한 연구가 주로 진행되었는데, 최근 저에너지 건축물 및 도시조성 차원에서 건물에 미치는 에너지 절감효과에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 장희경 등(2008)에 의해 옥상녹화가 건물에 미치는 에너지절감효과를 분석하는 했으나, 이는 토양과 식재만을 고려하여 제시한 것이다. 특히 시뮬레이션을 통한 에너지절감효과 및 경제성 분석은 국내에서 연구가 거의 진행되고 있지 않은 상황이다.

본 연구에서는 국내에서 많이 시공되고 있는 옥상녹화시스템별 연중 건물에 미치는 에너지절감효과 분석을 비교분석하고 이를 경제성(LCC) 차원에서 절감효과를 분석하고자 한다.

재료 및 방법

1. 범위 및 모델링 설정

본 연구는 국내 건물 옥상에 시공되고 있는 대표적 시스템 5유형을 선정하여 유형별 에너지 절감효과를 분석하고자 하였다. 기상데이터는 대한설비공학회에서 제작한 열부하 시뮬레이션 표준 데이터가 존재하는 서울을 대상으로 하였다.

옥상녹화모델링은 최상부 지표식물이 위치하는 식생층, 토양층, 단열층으로 구분하였다. 유형은 옥상녹화 미적용

유형(type A), 식생블럭 및 단열배수판이 적용된 유형(type B), 인공토양유형(type C, D), 마사토유형(type E, F) 등 5개 유형으로 구분하여 모델링 및 시뮬레이션을 실시하였다.

표 1. 옥상녹화유형별 모델링 구조 (단위: mm)

유형	유형별 주요 구조
미적용 type A	콘크리트(210)+단열재(110)
식생블럭 type B	초본+그린블럭(100)+방근시트+단열배수판+콘크리트(210) +단열재(110)
인공토양 type C	초본+펠라이트(70)+부직포+화산석+세덤블럭+콘크리트(210) +단열재(110)
	type D 초본+펠라이트(85)+배수용펠라이트(30)+부직포+조경배수판+콘크리트(210) +단열재(110)
마사토 type E	초본+마사토(80)+펠라이트(30)+부직포+조경배수판+콘크리트(210) +단열재(110)
	type F 초본+마사토(300)+펠라이트(30)+부직포+조경배수판+콘크리트(210) +단열재(110)

2. 분석방법

본 연구의 시뮬레이션을 위해 전열해석 프로그램은 PHYSIBEL을 사용하였으며 모델은 3차원 정상상태로 전열해석을 실시하였다. 분석일은 계절별 30일씩을 설정하였고 이중 3일치에 대해 결과값을 분석하였다. 시뮬레이션에 적용된 물성치는 梅干野 등(2001)이 제시한 값을 활용하였다.

표 2. 전열해석 개요

구분	분석 항목	
경계 조건	온도	실내 24℃
		실외 TRNSYS Weather Data에 의한 연중시간별 온도 기준
	표면 열전달율	실내 7.7W/m²k
		실외 25.0W/m²k

대상부위 분석대상 구조체 가로세로 1m × 1m로 설정

결과 및 고찰

1. 유형별 연간 월별 표면 평균온도

옥상녹화가 미적용된 type A는 콘크리트 표면으로서 외기온도에 따라 그 평균온도분포가 다른 옥상녹화시스템보

다 겨울철인 1월에는 평균 1.03℃(0.86℃~1.15℃) 낮았고 여름철인 8월에는 type A가 옥상녹화가 적용된 다른 type들에 비해 평균 0.89℃(0.86℃~0.91℃) 높았다.

옥상녹화시스템 유형별로 살펴보면, 겨울철인 1월에는 type F가 평균온도 1.01℃로 가장 낮았고 type B 1.11℃, type E 1.20℃, type D 1.23℃, type C 1.30℃ 등의 순이었다. 여름철인 8월에는 type F가 29.91℃로 가장 높았고 type B 29.90℃, type D와 E가 29.87℃, type C가 29.85℃ 등의 순이었다. 외표면온도는 표면상태에 따라 내부로 전달되는 온도값을 결정짓는 요인이기는 하지만, 구조체 내부구조에 의해 많이 좌우되므로 에너지절감 및 전열량과는 반드시 비례하지는 않는다. 그러나 외표면 온도가 겨울철에는 높게, 여름철에는 낮게 형성되는 표면가감재가 건물에너지 소비에 미치는 영향은 긍정적인 것으로 추정된다. 이는 최동호와 이부용(2008)이 건물 외피가감재에 의한 열특성에서 검증된 바 있다.

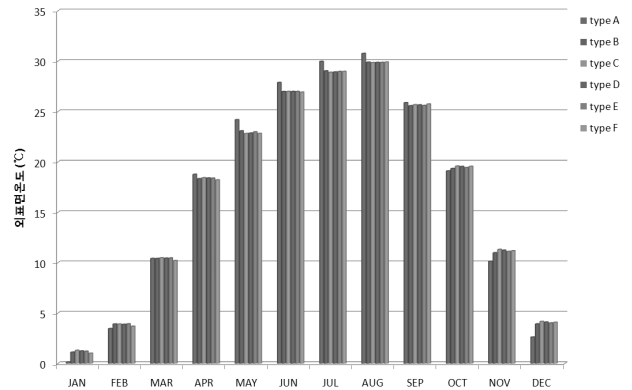


그림 1. 유형별 월별 외표면 온도분포

2. 계절별 옥상녹화시스템의 일간 전열량 해석

겨울철에는 미옥상녹화유형인 type A유형이 평균 전열량 8.75W/m²로 가장 높았고 type C가 7.58W/m², type D가 7.21W/m², type E(6.92W/m²), type B(6.33W/m²), type F(5.96W/m²)의 순이었다. 즉 미옥상녹화유형인 type A 대비 type F는 31.97%, type B는 27.67%의 에너지절감을 보이고 있었다. 봄철인 5월의 경우에도 type A가 1.54W/m²로 가장 높았고 type F(0.92W/m²), type B(1.01W/m²), type E(1.13W/m²), type D(1.19W/m²), type C(1.28W/m²) 등으로 type F의 에너지 절감율이 40.25%로 가장 양호하였다.

여름철인 8월을 대상으로 시뮬레이션 한 결과, 옥상녹화 미 적용유형인 type A가 1.74W/m²이었고 type F 0.77W/m², type B 0.78W/m², type E 0.80W/m², type D 0.88W/m², type C 0.90W/m²이었고 유형별 에너지저감율은 type F가 55.53%로 가장 높았고 type B(55.31%), type E(54.04%), type D(52.40%), type C(48.40%) 이었다.

가을철(10월) 분석결과 type A가 4.12W/m²이었고 옥상 녹화시스템 유형에서는 type F가 2.64W/m² type A 대비 에너지절감율 35.86%로 가장 단열성능이 높았고 type B 2.79W/m²(절감율 32.28%), type E 2.98W/m²(절감율 27.69%), type D 3.08W/m²(절감율 25.14%), type C 3.27W/m²(절감율 20.63%) 순이었다.

계절별 3일간 전열량 시뮬레이션을 통한 성능을 검토한 결과 type F > type B > type E > type D > type C > type A 순으로 에너지 절감율이 높았다. 즉 type F의 옥상녹화시스템이 건물에 미치는 에너지 절감율이 가장 크다고 예측할 수 있다.

3. 연간 전열량 해석 및 에너지 절감율

연간 전열량을 해석하여 이를 통해 연간 에너지 절감율 산정하였다. 냉방기의 경우 평균 전열량은 type A 0.57W/m²이었고 type F 0.32W/m², type B 0.34W/m², type E 0.36W/m², type D 0.38W/m², type C 0.39W/m²의 순이었다. 미옥상녹화유형인 type A 대비 연간 평균 냉방에너지 절감율은 type F가 42.8%로 가장 양호하였고 type B가 40.7%, type E가 35.9%, type D가 33.4%, type C가 30.4% 등의 순이었다. 단위면적당 옥상녹화가 건물에 미치는 영향은 미 적용했을때 보다 평균 37%의 냉방에너지 절감율을 보이고 있었고 식재토심이 300mm 이상에서는 40%의 절감율을 나타내고 있다.

난방기의 경우 평균 전열량은 type A 2.64W/m²이었고 type F 2.04W/m², type B 2.10W/m², type E 2.24W/m², type D 2.31W/m², type C 2.41W/m²의 순이었다. 즉 미옥상녹화 유형인 type A 대비 연간 평균 난방에너지 절감율은 type F가 22.7%로 가장 양호하였고 type B가 20.6%, type E가 15.2%, type D가 12.3%, type C가 8.7%의 순으로 에너지 절감량을 보이고 있었다.

그림 2는 단위면적당 연간 전열량 합을 도식화한 것이다. 식재기반이 마사토이면서 토심을 300mm로 확보한 type F

가 20,600.80W/m²로 전열량이 가장 낮았고 식재블럭과 고 단열 배수판을 적용한 type B가 21,197.38W/m²이었다. 마사토식재기반이면서 토심을 85mm로 확보한 type B는 22,682.37W/m², 인공토양인 펠라이트를 식재기반으로 사용한 type D는 23,461.58W/m², 세덤블럭을 식재기반으로 적용한 type C가 24,440.20W/m²로 가장 높았다. 옥상녹화 미적용 유형인 type A 대비 절감율을 살펴보면, type F가 26%로 가장 높은 절감율을 보였고 type B 24%, type E 19%, type D 16%, type C 13%의 순이었다. 즉 옥상녹화적용시 에너지 측면을 고려시 일반토양의 토심을 300mm 이상으로 하거나, type B처럼 고단열 배수판 및 단열판을 사용하여 한다. 저토심 경량토양으로 적용된 옥상녹화는 단위면적당 약 10%정도의 에너지 절감율을 보이고 있으므로 향후 건물에너지 단열성 및 생태적 증진을 위해서는 토심을 300mm 이상 혹은 고단열 배수판 및 방수층을 사용하는 것이 타당할 것이다.

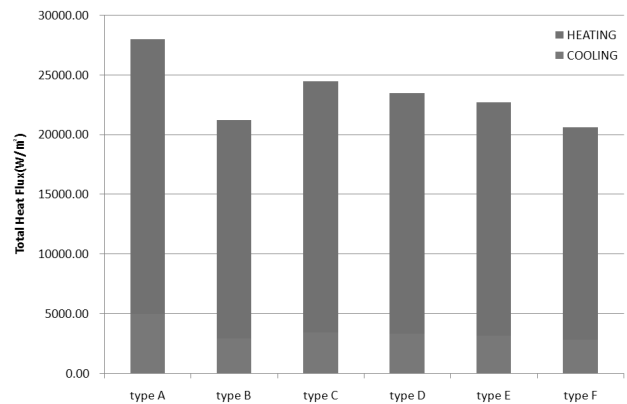


그림 2. 옥상녹화시스템유형별 연간 전열량

4. 경제성 평가

국내에서 흔히 적용되고 있는 4가지 유형의 옥상녹화시스템의 LCC분석결과, 초기투자비는 type E가 123,000원으로 가장적었고 type B, type C, type D의 순이었으나, 보수 교체비는 type B가 17,556원으로 다른 3가지 유형에 비해 약 4배 정도로 적었다. 이외 3개 유형은 73,150원으로 동일한 수준이었다.

이는 type B 유형이 함수율이 높아 관수량이 다른 시스템에 비해 적게 들고 기반내 시비가 포함되어 있기 때문에 추가로 시비 비용이 산정되어 있지 않기 때문으로 판단되었

다. 해체 및 폐기비는 type D가 가장 적었고 type B, type C, type D 등의 순이었다. 초기투자비, 보수교체비, 해체 및 폐기비를 합한 LCC(생애주기비용)는 type B, type E, type C, type D의 순으로 분석되었다.

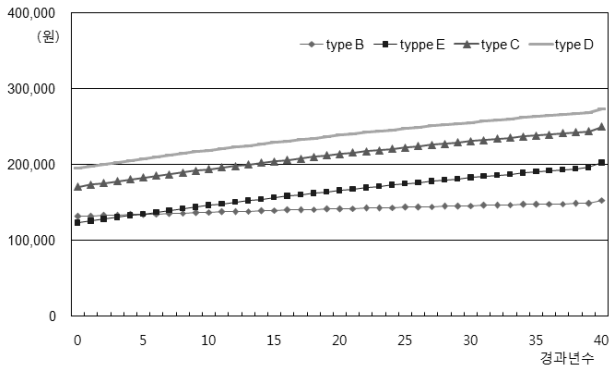


그림 3. 단위면적당 유형별 LCC 산출결과

결론

본 연구는 시뮬레이션을 통해 옥상녹화시스템별 건물에너지 저감효과 및 경제성을 정량적으로 분석하였다. 분석대상 유형은 옥상녹화 미적용 유형을 포함하여 총 6개 유형으로 설정하였다. 시뮬레이션은 TRNSYS을 활용하였고 경제성 분석은 LCC평가를 실시하였다. 해석조건은 경제조건으로 온도와 표면열전달율을 제시하였으며 분석대상 구조체는 1㎡를 대상으로 하였다.

외기온도와 지표면상태에 따라 영향을 받는 외표면 온도값을 산정한 결과 옥상녹화 미적용유형이 옥상녹화 적용유형보다 겨울철 평균 1.03℃ 낮았고 여름철에는 0.89℃ 높았다. 내표면 온도값은 겨울철은 0.13℃ 낮았고 여름철은 0.06℃ 높았다.

전열량 해석을 통해 옥상녹화시스템이 건물에 미치는 에너지 저감율을 분석하기 위해 계절별 일간 전열량 및 연간

전열량 분석을 실시하였다. 계절별 전열량 분석결과 type F > type B > type E > type D > type C > type A 순이었다.

연간 냉난방 부하를 종합한 에너지 절감율은 옥상녹화 미적용 유형인 type A 대비 절감율을 살펴보면, type F 26% > type B 24% > type E 19% > type D 16% > type C 13%의 순으로 옥상녹화적용시 에너지 측면을 고려시 일반 토양의 토심을 300mm 이상으로 하거나, type B처럼 고단열 배수판 및 단열판을 사용하여야 한다. 저토심 경량토양으로 적용된 옥상녹화는 단위면적당 약 10%정도의 에너지 절감율을 보이고 있으므로 향후 건물에너지 단열성 및 생태적 증진을 위해서는 토심을 300mm 이상 혹은 고단열 배수판 및 방수층을 사용하여야 에너지 저감 효율 증진을 시킬 수 있을 것이다. 초기투자비, 보수교체비, 해체 및 폐기비를 합한 LCC(생애주기비용)는 type B, type E, type C, type D의 순으로 분석되었다.

인용문헌

- 이병현(2007) 우수를 이용한 옥상층 열부하저감에 관한 실험 연구. 부경대학교 산업대학원 석사학위논문.
- 이한명, 오민석, 김희서(2009) 투광형 비정질 BIPV 시스템의 LCC 평가에 관한 연구. 한국태양에너지학회지 29(1):1598-6411.
- 장희경, 조홍제, 여인애, 윤성환(2008) 옥상녹화시스템의 식재방식에 따른 단열효과의 정량적 분석. 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집 873-876쪽.
- 최동호, 이부용(2007) 하절기 복사환경 관측을 통한 수목과 일사차폐 막 구조물의 자연냉각효과. 한국태양에너지학회지 27(4): 137-146.
- Young-Su, Kim(1994) The Development and Application of a Probabilistic Model for Risk Analysis of Life Cycle Predictions: For Apartment Buildings Constructed by the Korea National Housing Corporation in Seoul, Ph.D. Dissertation, The University of New South Wales at Sydney, New South Wales, Australia, p.14.