

공동주택 입면녹화에 의한 이산화탄소 저감효과 연구[†]

윤은주* · 이진희** · 김성식***

*한국토지주택공사 토지주택연구원 · **상명대학교 환경조경학과 · ***(주)아이포디엄

I. 서론

2005년 교토의정서 발효에 따라 이산화탄소 저감은 필수 사항이 되었으며, 건설부문에서도 에너지 사용량 또는 이산화탄소 배출량 감소에 기여할 수 있는 기술요소 개발에 관심을 기울이고 있다. 이러한 분위기에 힘입어 최근 옥상녹화나 입면녹화 등 건축물녹화의 냉난방부하 저감효과에 주목하여 건축물녹화를 도입한 사례가 늘고 있다(한국토지주택공사 토지주택연구원, 2010). 그러나 건축물녹화가 갖는 생태적 이점이나 이산화탄소 저감효과 등이 정량화되지 않아 적용에 따른 효과가 제대로 분석되지 못하고 있어, 적용효과를 계량화하는 연구가 필요한 실정이다.

특히 건축물녹화에 의한 냉난방부하에 관한 연구들(김주환, 2009; 여인애, 2010; 유대중, 2007)이 최근 늘고 있지만, 대부분 단위건물 위주의 실험으로서, 실제 건축물의 상당비율을 차지하고 있는 공동주택을 대상으로한 분석이 없어 이에 대한 연구가 필요하며, 타 건축소재와 달리 건축물녹화는 냉난방부하 저감효과뿐만 아니라 식물 소재에 의한 이산화탄소 흡수기능까지 갖추고 있어, 이러한 효과까지 포함한 정량화 연구를 수행할 필요가 있다.

이에 본 연구는 공동주택에 입면녹화를 적용했을 경우를 중심으로 입면녹화 도입에 따른 냉난방부하 저감과 이산화탄소 흡수량을 중심으로 이산화탄소 저감효과를 정량적으로 분석해보고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

입면녹화의 이산화탄소 흡수효과를 크게 이산화탄소 직접 흡수, 냉난방 부하 절감을 통한 간접적 이산화탄소 배출 저감으로 구분하여 각각의 효과를 분석하였다.

1. 입면녹화 식물소재에 의한 이산화탄소 흡수

입면녹화에 사용빈도가 높은 초화류를 대상으로 24시간 동



그림 1. 실험식물 6종

안의 이산화탄소 흡수량을 측정하였다. 실험식물은 아주가(*Ajuga reptans*), 패랭이(*Dianthus 'night star'*), 헤데라(*Hedera helix*), 세덤(*Sedum rupestre*), 수호초(*Pachysandra terminalis*), 사초(*Carex morrowii 'variegata'*) 등 6종이다.

강화유리로 제작된 총체적 20ℓ 규모의 밀폐된 챔버에 1,000ppm 농도의 이산화탄소를 주입하여 24시간 동안의 이산화탄소 흡수량을 측정하였다. 챔버 내 광조건은 40,000lux 이하의 인공광을 12시간 유지하였고, 18시 이후에는 인공광을 점멸하였다. 광조건을 제외한 챔버 내 온도, 습도, 상하기류속도 등의 환경조건은 24시간 일정하게 유지하였다. 챔버가 놓여진 실험실은 온도 26℃, 습도 60%로 유지하였다. 실험에 앞서, 선정된 공시식물은 30,000lux 광도에서 광합성능을 일정하게 유지할 수 있도록 1주간 순화처리하였다.

†: 본 연구는 한국토지주택공사 토지주택연구원(2011) 공동주택 입면녹화 적용방안 연구 중 일부임.

실험방법은 주간 12시에 이산화탄소를 주입하여 18시까지 6시간 동안의 명기와 오후 18시 이후 광이 없는 다음날 6시까지 12시간동안의 암기 그리고 오전 6시부터 12시까지의 인공광을 투사하여 6시간동안의 명기를 3회 반복하여 실험하였다. 식물의 이산화탄소를 측정하는 밀폐 챔버의 외기 조건을 일정하게 유지하기 위하여 growth chamber(온도 26℃, 습도 65%, 광조건 32,000~38,000lux 조건) 내에 이산화탄소 측정용 밀폐 챔버를 넣어 24시간 동안 챔버 내의 이산화탄소의 변화량을 측정하였다.

2. 입면녹화의 냉난방부하 시뮬레이션

공동주택(85m²형)을 대상으로 입면 녹화 도입시 하절기 및 동절기의 냉난방부하 저감량을 분석하기 위해 eQUEST 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 입력자료는 실시설계 도면과 기존 연구(유대중, 2007; 김주환, 2009)의 재료 물성치(전도율, 열저항, 열관류율 등)를 활용하였다.

85m²형 기준층을 그림 2와 같이 모델링하였으며, 코어, 발코니, 실내 부분으로 Zoning 하였다. 외부 창호는 도면의 치수를 참조하여 모델링하였으며, 발코니와 실내를 구분하는 내벽체는 실제로는 창호가 설치되었으나 사용 프로그램에서 내부 창호는 모델링이 불가하여, Internal Wall을 Air로 설정하여 발코니 외부 창을 통해 유입되는 Heat Gain이 실내에 영향을 주도록 모델링하였다.

입면녹화 적용 범위를 시뮬레이션 변수로 설정하여 입면녹화를 하지 않은 경우를 기본으로 하고, 입면녹화 적용 범위를

표 1. 시뮬레이션 기본 개요

구분	내용	구분	내용
프로그램	eQUEST 3-64	건물의 향	남향
위치	서울 (37.6N, 126.7E)	기준층 면적	597m ²
기상 데이터	서울지역 기상데이터	실내설정온도	26℃(하절기)
재실 밀도	226 ft ² /Person (1가구 4인)		20℃(동절기)
최소 환기량	0.7 ACH	냉방기기가동	24시간 상시운전

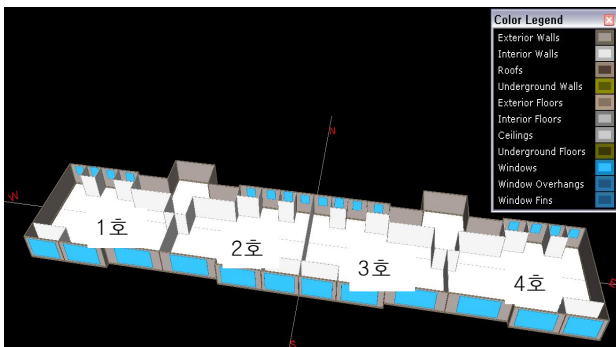


그림 2. 기준층 시뮬레이션 모델링 3D View

표 2. 구성재료의 물성치

재료	두께 (mm)	전도율 (Btu/h·ft·°F)	R-Value (h·ft ² ·°F/Btu)	U-Value (Btu/h·ft ² ·°F)
콘크리트	200	0.93	0.21	-
콘크리트	150	0.93	0.16	-
압출법 발포폴리스틸렌	50	-	8.345	-
석고보드	9.5	-	0.454	-
유리면 24K	45	-	6.369	-
유리면 24K	95	-	13.479	-
복층(투명)유리	16	-	-	2.816
복층(투명)유리 이중창	16*2	-	-	1.408
잔디	50	0.09	0.56	-
토양	90	0.22	0.41	-
부직포	3	0.07	0.04	-

50%, 75%, 100%로 하였을 때의 냉방기 및 난방기 에너지 절감 효과를 분석하였다. 시뮬레이션 시 건물 외피 및 입면녹화 구성재료의 입력 조건은 표 2와 같다.

3. 적용대상 건물 구성

공동주택은 일반주택과 달리 외벽 인접 여부와 층위에 따라 기본적으로 냉난방부하에 차이가 있고, 동별 세대수와 층수에 따라 편차가 크다. 따라서 분석대상 공동주택의 구성을 어떻게 하느냐에 따라 이산화탄소 저감률이 다르게 나타날 수 있는데, 본 연구에서는 국토해양부에서 운영하고 있는 공동주택관리정보시스템(<http://www.k-apt.net>)에 등록된 서울시 강남구 소재 공동주택(주상복합 포함) 현황자료 분석을 통해 실험대상 공동주택의 규모를 설정하였다.

조사결과, 약 140여개 단지, 약 1,250개동, 약 105,000세대가 있는 것으로 나타났고, 조사된 세대수를 동수로 나눈 결과, 동별세대수가 84세대로 나타나 강남구 내 공동주택의 평균층수를

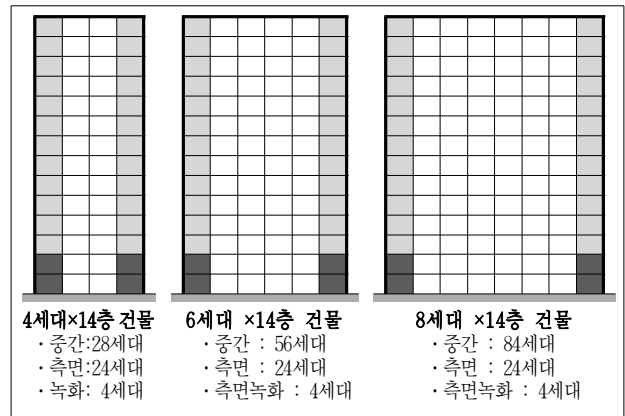


그림 3. 실험건물 현황

고려하여 동 구성은 6개 세대, 14층의 층수를 갖는 것으로 설정하였다. 또한 단위층별 세대구성에 따른 차이를 분석해 보고자 층수는 14층으로 고정하고, 4개 세대인 경우와 8개 세대인 경우를 추가로 분석하였다. 냉난방 부하는 층고에 따른 영향(윤성환 등, 2009)도 크지만 본 연구가 입면녹화에 의한 영향을 분석하는 것이기 때문에 층고에 따른 부하 차이는 반영하지 않았다.

III. 연구결과

1. 입면녹화 식물소재에 의한 이산화탄소 흡수량

하루 24시간의 호흡과 광합성에 의한 이산화탄소 변화량을 측정하고 투입된 식물 개체(3치포트 기준)의 엽면적으로 나누면 각 식물의 단위면적당(cm^2) 이산화탄소 흡수량을 계산한 결과, 식물별 이산화탄소의 제거량은 *Dianthus 'Night star'* $190.4 \times 10^{-6} \text{g/cm}^2$, *Pachysandra terminalis* $313.6 \times 10^{-6} \text{g/cm}^2$, *Sedum rupestre* $268.8 \times 10^{-6} \text{g/cm}^2$, *Ajuga reptans* $386.4 \times 10^{-6} \text{g/cm}^2$, *Hedera helix 'Ivalace'* $481.6 \times 10^{-6} \text{g/cm}^2$, *Carex morrowii 'Variegata'* $302.4 \times 10^{-6} \text{g/cm}^2$ 의 순으로 나타났다.

2. 입면녹화의 냉난방부하 시뮬레이션 분석 결과

입면녹화에 따른 연간 냉난방부하량을 분석한 결과, 입면녹화 설치가 냉난방부하 저감에 효과가 있는 것을 나타냈다. 단 4호 세대를 대상으로 한 실험에서 입면녹화 면적을 100%로 했을 때 층의 안쪽에 있는 2호, 3호의 경우는 부하 변동이 없으나 측벽이 위치한 서쪽의 1호는 최대 4.18%, 동쪽의 4호는 최대 3.81%의 부하가 감소되어, 녹화 인접면의 경우, 평균 4.00%의 부하가 감소되는 것으로 분석되었다.

또한, 입면녹화 미설치 4호 세대간의 냉난방부하 차이를 분석한 결과, 중간세대에 비해 측벽세대가 11.3% 냉난방부하가 더 큰 것으로 나타났다.

3. 공동주택 냉난방 에너지 사용 현황

입면녹화로 인한 냉난방 부하 저감량을 계산하기 전에 공공

표 3. 단위면적(cm^2)당 각 식물별 이산화탄소 제거량

식물	CO ₂ 제거량	
	ppm/ cm^2	g/ cm^2
<i>Dianthus 'Night star'</i>	0.34	190.4×10^{-6}
<i>Pachysandra terminalis</i>	0.56	313.6×10^{-6}
<i>Sedum rupestre</i>	0.48	268.8×10^{-6}
<i>Ajuga reptans</i>	0.69	386.4×10^{-6}
<i>Hedera helix 'Ivalace'</i>	0.86	481.6×10^{-6}
<i>Carex Morrowii 'Variegata'</i>	0.54	302.4×10^{-6}

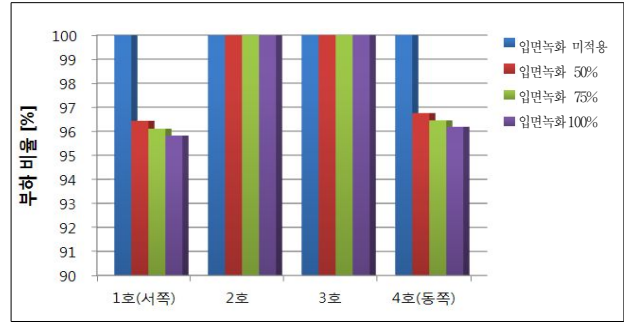


그림 4. 기준층 가구별 연간 총 냉난방 부하 비율 (%)

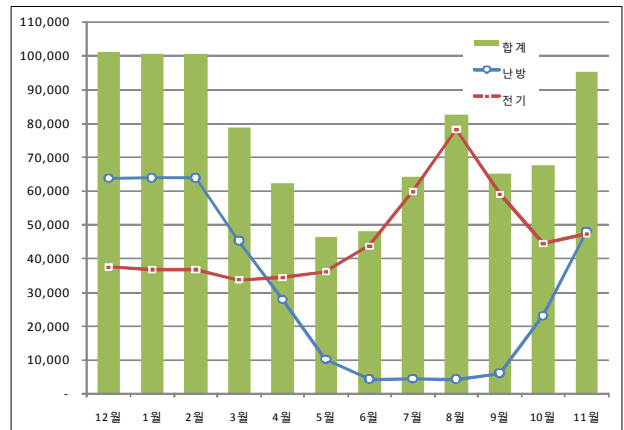


그림 5. 공동주택 평균 난방 및 전기요금 추정(85m² 계산시, 강남구)

주택의 냉난방에너지 사용량과 그에 따른 이산화탄소 발생량을 조사하였다. 냉난방에너지 사용량은 이용자 특성과 대상지 위치 등에 따라 차이가 크기 때문에 국토해양부 공동주택관리 정보시스템에 등록된 서울시 강남구 140여개 단지의 평균 전기요금과 난방용 가스요금을 기준으로 세대면적 85m²를 기준으로 환산하였다. 2009년 12월부터 2010년 11월까지 1년치 계산한 결과, 85m² 단위세대의 총냉난방비는 약 913,920원이었고, 이를 이산화탄소 발생량으로 환산하면 세대당 연간 1,118.6kg의 이산화탄소를 발생시키는 것으로 나타났다.

4. 입면녹화의 이산화탄소저감효과

입면녹화 식물소재 6종의 이산화탄소 흡수량과 입면녹화의 냉난방 부하 저감시뮬레이션 결과를 종합하여 입면녹화의 이산화탄소 저감량을 산정하였다.

입면녹화 식물 6종을 대상으로한 24시간 동안의 이산화탄소 흡수량의 평균값을 기준으로 이들 식물이 6개월 동안 이산화탄소 흡수작용을 한다고 가정하였고, 설치면적은 85m² 세대의 측면길이 10m, 층고 2.7m로 가정하여, 단위세대당 27m²으로 가정하고, 연간 30.4kg의 이산화탄소를 흡수하는 것으로 계산하였다.

냉난방 저감 효과는 중간세대에 비해 11.3%의 높은 냉난방

표 4. 공동주택 건물구성별 입면녹화에 의한 연간 이산화탄소 저감량

구 분	이산화탄소발생량 (kg/yr)			비 고
	4세대14층	6세대14층	8세대14층	
일반	63,781.0	93,966.0	124,150.0	· 측면세대: 11.3% 증액 · 입면녹화 측면세대: 4% 감액 적용
입면녹화	63,582.0	93,767.0	123,951.0	
구 분	이산화탄소저감효과 (kg/yr)			비 고
	4세대14층	6세대14층	8세대14층	
냉난방부하 저감량	199.0 (0.31%)	199.0 (0.21%)	199.0 (0.16%)	· 냉난방부하저감량: 일반-입면 녹화간 CO ₂ 발생량 차이 · 식물의 CO ₂ 흡수량 : 85m ² 세대측면, 2개 측면*2개층 적용시의 연간 흡수량 · CO ₂ 저감총량: 냉난방부하량 + 식물의 CO ₂ 흡수량
식물의 CO ₂ 흡수량	121.4	121.4	121.4	
CO ₂ 저감 총량	320.4 (0.50%)	320.4 (0.34%)	320.4 (0.26%)	

부하를 갖는 측면세대의 특성과 입면녹화로 인해 4%의 냉난방 부하를 저감할 수 있다는 시뮬레이션 결과를 적용하여 입면녹화를 통한 공동주택 한 개동의 이산화탄소 저감량을 추정하였다.

그 결과, 공동주택 평균구성으로 선정된 6세대 14층 건물의 경우, 냉난방부하와 식물의 이산화탄소 직접흡수로 인한 총 이산화탄소 저감량은 320.4kg이고 저감율은 0.34%인 것으로 나타났으며, 4세대 14층 건물을 기준으로 환산할 경우, 0.5%, 8세대 14층 건물의 경우, 0.26%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

이산화탄소 저감량과 별도로 이용지측면의 가치를 분석하기 위해 냉난방부하 저감에 따른 경제적 가치를 분석하였다. 앞에서 정리한 것과 마찬가지로 입면녹화를 하지 않았을 경우, 중간세대에 비해 양쪽 측면세대의 경우, 냉난방 부하가 11.3% 이상 크고, 입면녹화 100% 적용시 녹화를 하지 않은 경우에 비해 4.0% 냉난방 부하가 줄어든다는 앞절의 시뮬레이션 결과를 반영하였다.

입면녹화를 하지 않은 경우, 연간 지불해야 하는 전기 및 난방비용이 1,017,193원으로 중간세대에 비해 연간 103,273원의 전기 및 난방비용을 추가 지불해야 하지만 녹화를 한 경우, 976,505원으로 줄어, 비녹화시에 비해 연간 냉난방비 40,688원을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

또한, 입면녹화에 의한 냉난방비 절감효과는 인접세대만 녹화의 효과를 얻을 수 있기 때문에 입면녹화 적용시의 수혜대상 세대수를 추정하였다. 강남구 140여개 단지를 대상으로 평균 동수를 계산한 결과, 약 145개 단지, 105,000세대, 1,250개동으로서 1,250개 동의 양측면 2층 높이까지 입면녹화를 적용하는 것으로 가정할 경우, 전체 거주세대의 약 4.8%가 입면녹화로 인한 냉난방비 절감 혜택을 누릴 수 있는 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구는 공동주택에 입면녹화를 도입했을 경우의 이산화탄소 저감효과가 어느 정도인지를 분석한 연구로서, 단일건물을 대상으로 시뮬레이션한 기존의 연구들과 차별성이 있으며, 또한 냉난방 부하뿐만 아니라 식물소재에 의한 이산화탄소 저감량까지 함께 고려했다는 점이 특징이다.

입면녹화의 이산화탄소 흡수효과를 크게 이산화탄소 직접 흡수, 냉난방 부하 절감을 통한 간접적 이산화탄소 배출 저감로 구분하여 각각의 효과를 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다. 단, 본 연구의 결과는 특정 환경조건에서 실시한 실험 및 시뮬레이션 결과로서 실험조건에 따라 상이한 결과가 도출될 수 있다.

1) 입면녹화용 식물소재 6종(아주가, 패랭이, 헤데라, 세덤, 수호초, 사초)을 대상으로 24시간 동안의 이산화탄소흡수량을 실험한 결과, 0.00019(상록패랭이)~0.00048g/cm²(아이비) 범위인 것으로 나타났으며, 이를 평균하여 1개세대 벽면녹화시 연간 이산화탄소 흡수량을 추정하면 조성면적 27m²에 흡수량은 30.4kg이다.

2) 에너지 시뮬레이션 프로그램을 이용해 입면녹화의 냉난방 부하 저감효과를 분석한 결과, 측면세대는 중간세대에 비해 11.3% 정도 냉난방부하가 크며, 입면녹화시 냉난방 부하를 4% 정도 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

3) 입면녹화의 직·간접적 이산화탄소 저감효과를 분석한 결과, 공동주택 1개동(85m² 평형기준, 6세대 14층, 84세대) 기준으로 입면녹화의 연간 이산화탄소 흡수량 121.4kg, 입면녹화로 인한 냉난방부하 저감으로 인한 이산화탄소 저감량 199kg 등 총 320.4kg을 줄일 수 있으며, 비율로는 0.34%에 달하는 것으로 분석되었다.

4) 냉난방부하 저감에 따른 경제적 가치를 분석한 결과, 입면녹화시 연간 냉난방비 40,688원을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

인용문헌

- 김주환(2009) 학교건물에서의 환경녹화기법 적용에 따른 에너지성능 평가에 관한 연구. 영남대학교 석사학위논문
- 여인에(2010) 친환경도시계획에 따른 도시기온 및 공조에너지 특성변화. 대한건축학회 논문집. 26(2): 225~256
- 유대중(2007) 경량형 옥상녹화시스템의 냉방부하절감 효과에 관한 연구. 중앙대학교 석사학위논문
- 윤성환, 장희경, 김영탁(2009) 공동주택의 세대위치별 열부하 특성 분석. 대한건축학회논문집 계획계 25(10):289-296
- 한국토지주택공사 토지주택연구원(2010) 그린홈 적용을 위한 옥상녹화 방안 연구
- http://www.k-apt.net