

친환경 주택에서 옥상녹화 시스템의 가치에 관한 연구

A Study On The Value of Green Roof System in Passive House

최재영* 이종국**
Choi, Jae-Young Lee, Jong-Kuk

Abstract

country for green growth under minimizing boils to do change in climate under confronting boil the use of petrification resources energy and in change. Reduces the greenhouse gas and a environmental contamination, continuity for the growth which is possible demobilizes the greens and ecosystem, with alternative the roof which is an idle space from the construction water and the greens and uses creates in compliance with the effect which is various an energy economy and applies. Roof telerecording the synergy effect which follows with the effect which is various is not the energy saving which leads one effect which is simple in harmony and this lives together the environment which leads and possibility means that becomes the environmental element which hits.

키워드 : 옥상녹화, 단열효과, 탄소
keyword : Green Roof System, Adiabatic effect, CO₂

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

세계 각 국가의 급속한 경제성장은 석화자원의 소비와 함께 성장하였으며, 석화자원의 소비량은 도시화의 진행 속도도 가속시키게 되었다. 즉 석화자원의 소비 증가는 탄소배출량의 증가와 함께 환경오염의 속도를 가속시키게 되었고 세계 각국의 도시화가 진행되면서 도심속에 존재해 왔던 자연 및 생태계는 조금씩 감소되었으며, 이는 녹지공간의 단절로 생태계의 연결고리 단절과 기후, 수자원, 공해 문제 등 다양한 환경문제를 야기시키게 되었다. 이에 세계 각국은 환경문제의 중요성을 인식하며, 자연과 인간이 함께 공존하는 지속가능한 발전을 통하여 지구의 환경문제를 해결하고자 하는 능동적 의지를 나타나게 된다. 탄소농도의 증가를 줄이고자 하는 방안으로 신·재생 에너지의 활용, 유한의 석화자원 에너지 사용의 최소화, 녹지 및 생태계의 복원을 통하여 온실가스 와 환경오염을 줄이며, 환경과 성장 두 가지의 공생을 통한 지속가능한 성장을 이루고자 하게 되었다.

생태계의 복원을 위한 방안으로 인공적이며 유희면적의 콘크리트에 녹지공간을 조성하여 이를 보완하고자 하는 옥상녹화는 단순한 동·식물의 서식공간 및 자연공간 조성만을 위한 것이 아니며, 옥상녹화가 지니고 있는 다양한 효과의 융화에 따른 시너지효과를 통한 에너지 절약 및 활용, 환경과의 공생을 가능케 하는 친환경적 요소가 되는 것이다.

2. 연구의 방법

본 연구는 옥상녹화가 가지는 효과에 관한 연구로써 다음과 같은 방법으로 진행되었다.

첫째, 선행연구를 통한 녹지구성의 특성 및 식생의 특성에 따른 효과 등을 연구하여 이를 기초자료로 활용하였다.

둘째, 연구대상지는 인구밀도가 높고 석유, 전기, 가스 등의 석화자원 소비량이 높은 서울시로 선정하였으며, 타지역에 비해 주거밀도가 높기 때문에 건축물의 옥상면적 또한 비례하고 옥상녹화 개발의 효과는 탄소저감효과 및 에너지소비 저감효과 등에 미치는 영향이 크다고 할 수 있기 때문에 연구대상지로 선정하였다.

셋째, 서울시청 및 통계청의 통계자료를 근거자료로 활용하였다.

II. 이론적 고찰

1. 옥상녹화의 정의 및 유형

1) 옥상녹화의 정의

옥상녹화란 건축물의 최상부인 옥상층에 인공적으로 지반을 조성하고 다양한 식생을 조성하여 생태계가 서식할 수 있는 기능을 가지는 공간을 말하고 있다. 특히 옥상녹화에서 가장 큰 의미는 건물이 생김으로서 기존에 존재하던 토양생태계가 파괴된 것을 다시 인공적으로 복원하는 것인데, 조성된 후에는 하나의 자연생태계가 되는 것이다.

2) 옥상녹화의 유형

옥상녹화의 유형은 저관리·경량형, 중량형, 혼합형으로 구분할 수 있다. 저관리·경량형의 경우 관리가 어렵거나

* 정희원(주저자), 계명대학교 대학원 석사과정

** 정희원(교신저자), 계명대학교 건축학부 조교수, 공학박사

옥상면적이 협소한 경우 사용하게 되며, 중량형, 혼합형의 경우 중·대규모 건축물에 적합하다.1)

표1. 서울시 탄소배출량

| 구분 | 특징 | 비고 |
|----------|---|---|
| 저관리 경량형 | <ul style="list-style-type: none"> · 토심 20cm 이하 · 지피식물을 주로 식재 · 기존건물의 옥상이나 구조적 제약이 있는 곳에 활용 · 인공경량토양을 사용하며, 관리 요구도를 최소화 |  |
| 중량형 | <ul style="list-style-type: none"> · 토심 20cm 이상(주로 60~90cm) · 지피식물, 관목, 교목 등 식재 · 이용요구에 따른 관리필요 · 구조적문제가 없는곳에 사용 |  |
| 혼합형 | <ul style="list-style-type: none"> · 토심 10~30cm 내외 · 지피식물과 관목 식재 · 저관리 지향 · 중량형을 단순화 |  |
| 옥상녹화 단면도 | <ul style="list-style-type: none"> · 토심에 의해 변경 · 시스템에 따라 구분됨 |  |

2. 옥상녹화의 기능 및 효과

옥상녹화는 자연생태계로 구성되는 공간적 요소를 지니게 된다. 따라서 이 자연공간은 식생과 토양이 가지는 기능과 효과를 나타내게 되는데 그 효과에 대해서는 첫째, 토양층에 의한 단열효과, 둘째, 단열효과에 의한 냉난방에너지 절감 효과, 셋째, 식생 및 토양에 의한 우수저장기능, 넷째, 우수저장기능에 의한 우수의 증발산으로 인한 열섬현상 완화, 다섯째, 식생에 의한 CO₂ 저감효과, 여섯째, 소음차단 및 도시경관 형성 등의 효과를 지니게 된다. 즉 옥상녹화는 기존의 옥상에 토양과 식생을 조성하게 되어 일정 이상의 두께를 지니게 된다. 기존의 옥상표면은 내단열을 통하여 단열효과를 지니게 되는 반면에 옥상녹화를 통한 옥상표면은 토양두께의 의해 2중 단열 구조를 지니게 된다. 따라서 이러한 단열효과는 여름과 겨울철 외부기온과의 뚜렷한 차이를 보이게 되며 냉·난방에 대한 에너지 절감효과를 나타내게 된다. 또 도시는 인공적으로 조성된 건물과 도로에 의해 불투수성 재료로 포장되어 침투수량이 감소하고 하수도로 직접 유입되는 우수량이 증가하고 있는데 토양두께 10cm의 옥상녹화시스템은 연강수량의 50%이상의 우수유출저감효과를 지니고 있는 것으로 나타났으며²⁾, 여름철 저장된 우수는 증발에 의하여 온도를 낮추어 주고 옥상녹화시스템은 8°C 정도 낮은 온도를 보이며³⁾, 식생과 토양에 의해 조성된 옥상표면은

1) 도시계획국 시설계획과(2007), 생태면적율 도시계획활용 개선방안

2) 김자경(2004), 자연과 함께 하는 건축, 시공문화사

일사차단효과와 식생부분의 증발산 작용에 의한 잠열효과를 통해 열섬현상을 완화시키는 작용을 하게 된다. 식생에 의해 조성된 녹지공간은 대기환경오염에 대한 공기정화 작용을 지니게 되며 도시경관을 향상시키게 된다.

3. 옥상녹화 관련 법규

건축법 시행령 제27조에서는 단독주택에 대한 조경면적을 대지면적의 10%이상으로 제시하고 있으며, 생태면적율에 있어 옥상녹화에 대한 가중치는 환경부와 일치하도록 상향 조정되었다.⁴⁾

표2. 옥상녹화 관련 법규

| 구분 | 내용 | |
|-------------|--|---|
| 건축법시행령 제27조 | <ul style="list-style-type: none"> · 연면적의 합계 - 2,000㎡ 이상 : 대지면적의 10% 이상 - 1,500~2,000㎡ 이상 : 대지면적의 5% 이상 · 면적 200~300㎡ : 대지면적의 10% 이상 | |
| 생태면적율 | 옥상녹화 ≥ 20cm | <ul style="list-style-type: none"> · 가중치 0.6 · 중량형, 혼합형 |
| | 옥상녹화 < 20cm | <ul style="list-style-type: none"> · 가중치 0.5 · 저관리·경량형 |

III. 옥상녹화의 필요성

1. 환경문제를 해결하기 위한 대안

20세기는 '탄소 경쟁시대'였다고 한다면 21세기는 '탄소제로시대'라고 할 수 있다. 세계는 18세기 산업혁명 이후 경제는 빠르게 성장하기 시작하였으며, 이에 비례하여 환경오염 또한 빠르게 악화되기 시작하였다. 특히 탄소배출량의 증가는 각종 환경파괴와 기후변화를 일으키는 요소로 세계 각국은 기후변화에 의해 피해를 받기 시작하였다. 이에 전 세계 각국은 도쿄의정서인 지구기후변화방지를 위해 기후변화협약을 함으로써 온실가스를 의무적으로 감축해야 하며, 우리나라는 2008~2012년 온실가스를 1990년 배출량 대비 평균 5.2%를 감축하여야 하는 의무를 지니게 되었다. 따라서 탄소배출량의 감소는 환경문제의 해결과 국가의 이미지 제고를 위해서라도 반드시 필요하다고 할 수 있다.

2. 탄소배출량의 증가에 따른 기온변화

탄소배출량의 증가는 기온 및 기후변화로 나타나게 되는데, 서울시가 배출하는 탄소량을 산정하기 위해 서울시가 연간 소비하는 석유, 연탄, 전기, 가스 등 화석에너지의 총량을 조사하였다. 각 에너지 소비량은 통계청을 통한 통계자료를 이용하였으며, 선행연구 문헌을 참조하였고 탄소배출계수를 통하여 CO₂배출량으로 전환하였다.

3) 유대중(2007), 경량형 옥상녹화시스템의 냉방부하절감 효과에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문

4) 도시계획국 시설계획과(2007), 생태면적율 도시계획활용 개선방안

표3. 서울시 탄소배출량

| 구분 | CO ₂ 배출량 |
|----|---------------------|
| 총계 | 662,852톤 |
| 석유 | 395,418톤 |
| 연탄 | 58,369톤 |
| 전기 | 206,460톤 |
| 가스 | 2,574톤 |

석유소비에 의한 배출량은 가솔린의 경우 1ℓ당 탄소 0.6kg, 기타 석유류의 경우 1ℓ당 탄소 0.73kg의 배출계수를 사용하였다. 또 전기의 경우 1kWh의 소비전력당 0.45kg, 가스의 경우에 있어서는 천연가스에 준하여, 1,000m³의 단위 소비량에 36.55를 곱하여 mBtu(Million Btu)로 전환하고, mBtu당 탄소 14.2m³의 배출계수를 이용하여 배출량을 산정하였다. 연탄의 경우 탄소 25.5kg/GJ(Gigajoule)의 배출계수를 활용하여 산정하였다.⁵⁾

이에 서울시는 석유의 경우 4,603백만bbl, 연탄의 경우 2,289천톤, 전기의 경우, 458,800MWh, 가스의 경우 4,846,572m³을 소비하는 것으로 나타났다.⁶⁾

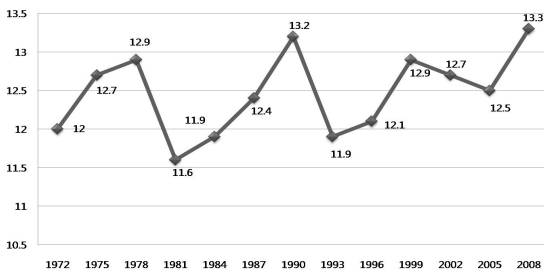


그림1. 서울시 연평균 기온변화

이러한 석화자원의 소비에 따른 탄소배출로 인하여 서울시는 지난 100년간 평균온도가 0.7°C 상승하였으며, 열대야 현상과 연평균온도는 조금씩 상승하고 있는 것으로 나타났다.

IV. 옥상녹화에 따른 경제적 효과

1. 서울시 토지이용현황 및 건축물의 옥상면적

1) 서울시 토지이용현황

서울시는 토지이용현황에 있어서 도시화 지역이 57.96%, 기타 지역은 2.21%를 차지하고 있으며 녹지 및 오픈스페이스는 39.83%로 나타났다. 도시화지역에 있어서는 혼합지역이 가장 많은 비율을 나타내고 있으며, 그 다음으로 주택지역 및 교통시설 지역 순으로 나타났다. 녹지 및

5) 조현길, 운영환, 이기의(2000), 도시녹지의 에너지절약 및 대기 CO₂ 농도저감과 계획지침, 한국조경학회

6) 통계청(2007. 12월 31일 기준), e-나라지표 : <http://www.index.go.kr>, 청소년 수련시설 현황, 2009. 3. 29

7) 서울시청(2000), 서울시 도시생태현황도

오픈스페이스에서는 산림 및 기타녹지가 가장 많은 35.42%로 나타났으며, 조성된 도시공원은 2.26%로 나타났다.



그림2. 서울시 토지이용현황

이러한 비율을 토지이용에 있어 녹지보다는 불투수포장 지역이 더 많은 비율을 차지하고 있는데, 이는 서울시의 물순환 및 생태적 기능에 대한 활용가능성이 현저히 낮다고 할 수 있다.

표4. 서울시 토지이용현황

| 대분류 | 중분류 | 소분류 | 비율(%) | |
|-------------|-----------------------------------|-----------|--------|-------|
| | | | 소계비율 | 전체비율 |
| 도시화 지역 | 주택지역(A) | 공동주택지 | 16.39 | 9.50 |
| | | 기타 2개 유형 | 14.61 | 8.47 |
| | 혼합지역(AB) | | 23.61 | 13.68 |
| | 상업 및 업무시설지역(B) | | 9.75 | 5.65 |
| | 공업지역(C) | | 2.33 | 1.35 |
| | 공공용도지역(D) | 교육시설 | 6.88 | 3.99 |
| | | 기타 4개 유형 | 2.12 | 1.23 |
| | 교통시설지역(E) | 도로 및 관련시설 | 14.65 | 8.49 |
| | | 기타 2개 유형 | 3.36 | 1.95 |
| | 도시부양시설지역(F): 9개 유형 | | 2.28 | 1.32 |
| | 나지 (G) | | 4.02 | 2.33 |
| | 도시화지역 합계 | | 100.00 | 57.96 |
| 기타 지역 | 특수지역 (H) | 군사시설 | 74.21 | 1.64 |
| | | 기타 4개 유형 | 12.67 | 0.28 |
| | 문화유적지(I12) | | 13.12 | 0.29 |
| 기타 지역 합계 | | 100.00 | 2.21 | |
| 녹지 및 오픈스페이스 | 조성된 도시공원(I8) | | 5.68 | 2.26 |
| | 하천 및 습지(J) | | 5.40 | 2.15 |
| 오픈스페이스 | 산림 및 기타녹지(I1~I7, I9~I11, I13~I14) | | 88.92 | 35.42 |
| | 녹지 및 오픈스페이스 합계 | | 100.00 | 39.83 |
| 총 계 | | - | 100.00 | |

2) 서울시 건축물 옥상면적

도시화지역에 있어 생태계의 기능을 가질수 있도록 하기 위해서는 불투수포장지역을 식생이 가능한 지역으로 조성하여야 한다. 따라서 건축물이 입지한 지역의 경우 건축물의 옥상층을 이용하여 녹지를 조성함으로써 생태계의

연결로와 함께 녹지율을 보다 확보할 수 있게 된다.

서울시의 건축물에 있어 옥상녹화 가능한 지붕유형은 평평한 지붕건물의 경우 39.46%, 경사진 지붕건물 5.38%의 비율로, 총 44.84%로 나타났다.⁸⁾ 이러한 옥상녹화 가능면적 비율은 서울시의 도시화지역에 있어 15.67%를 녹지공간으로 조성할 수 있는 비율이며, 옥상을 녹지공간으로 조성시 서울시의 녹지 및 오픈스페이스 비율은 55.5%가 된다.

표5. 서울시 건축물 지붕유형 및 비율

| 지붕유형 | | 면적(ha) | 소계비율 | 전체비율 |
|------------------|----------|-----------|--------|--------|
| 건 폐 지 역 | 옥상녹화건물 | 12.91 | 0.04 | 0.02 |
| | 평평한 지붕건물 | 23,998.74 | 69.75 | 39.46 |
| | 경사진 지붕건물 | 3,269.17 | 9.50 | 5.38 |
| | 기타 포장지역 | 7,127.36 | 20.71 | 11.72 |
| | 소 계 | 34,408.17 | 100.00 | 56.58 |
| 비건폐지역 | | 26,406.15 | - | 43.42 |
| 총 계 | | 60,814.32 | - | 100.00 |

2. 식생에 의한 탄소저감량

식생에 의한 탄소저감량은 식생의 종류에 따라 달라지며, 식생의 종류는 토양의 두께에 따라 달라진다. 저관리·경량형의 경우 토심은 20cm이하로 식생은 세덤류와 잔디 등으로 한정되며, 중량형의 경우는 토심이 60cm~90cm정도 이므로 지피식물, 관목, 교목 등 다양하게 식재가 가능하게 된다. 중량형의 경우 4m 교목이 1년간의 탄소흡수량은 약 11.5kg⁹⁾이며, 저관리·경량형에서 잔디의 경우는 단위잔디면적당(m²) 47.1g이다. 또 “도심지의 수목 한그루는 자연지의 경우보다 대기탄소농도의 감소효과가 더욱 클 수 있지만 자연지는 도심지보다 수목밀도가 높기 때문에 단위면적당 탄소흡수량은 자연지의 경우 1.6~3.9t/ha/yr, 도심지의 경우 0.5~0.8t/ha/yr 정도이다.”¹⁰⁾

따라서 기존의 옥상층의 20%를 저관리·경량형으로 녹화를 할 경우 5,590t, 중량형의 경우 10,907t이며, 평균 8,248t의 탄소저감량을 가지게 된다. 이는 서울시의 총 탄소배출량의 0.84~1.64%를 저감 할 수 있는 비율이다.

3. 토양의 깊이에 따른 에너지 절약효과

옥상녹화는 기존의 옥상층이 가지는 내단열구조에서 토양층에 의한 단열층을 이중단열 구조를 가지게 되는데, 여름철의 경우 일반 옥상층과 옥상녹화면의 온도는 최고 8℃정도 차이가 난다.

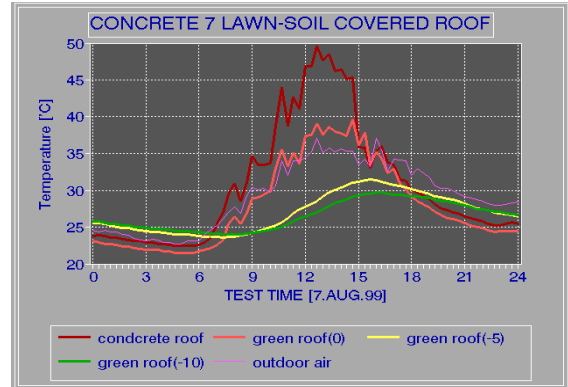


그림3. 콘크리트 옥상과 녹화옥상의 온도변화 비교

특히 토심의 두께가 50mm 증가될수록 열관류율은 약 4.4~12.8%씩 증가되는데, 토심이 300mm인 경우 열관류율은 0.124W/m·K로 나타난다. 이러한 단열효과는 건물 내부에서 온도차를 통하여 냉·난방 절감효과를 가질 수 있게 되는데, 이는 에너지 절감 효과와 함께 탄소배출량의 저감효과를 가져다주게 된다.¹¹⁾

표6. 냉난방에너지 절약에 따른 경제적 효과

| 구 분 | 1995년 | 2000년 | 2010년 |
|------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 냉·난방 에너지 소비 절약효과 (TOE) | 950,100 | 1,075,500 | 1,455,000 |
| 절감액 | 138,714,600\$ (1,664.8억원) | 157,023,000\$ (1,884억원) | 211,116,000\$ (2,533.2억원) |

V. 결 론

본 연구를 통하여 옥상녹화는 단순한 녹지 및 도시경관 형성을 위한 조성공간만이 아니라, 환경문제를 해결하기 위한 중요한 요소로써 작용하고 있는데 결론은 다음과 같다.

첫째, 일반 콘크리트 지붕과 옥상녹화 지붕과의 단열효과에 있어 옥상녹화의 경우 토심에 의한 단열층을 더 가지게 되므로, 단열효과에 있어 뚜렷한 차이를 나타냈지만 토심의 증가에 따른 단열효과의 증가는 크게 나타나지 않았다.

둘째, 일반 콘크리트 옥상과 옥상녹화의 경우 8℃의 온도 차이를 보이며, 열관류율은 0.124W/m·K로 나타나는데 녹지를 통한 열전도율의 저하는 실내의 쾌적한 공간을 조성하게 되며, 이는 냉난방온도의 절감효과를 나타나게 된다.

셋째, 옥상녹화에 있어 잔디의 경우 0.41g으로 탄소저감 효과가 미비하며, 교목의 경우 11.5kg으로 큰 효과를 나타

8) 서울시청, 서울시 도시생태현황도(2000)

9) 조현길, 안태원(1999), 도시생태계 수목의 대기정화 역할, 한국조경학회지

10) 조현길, 이기의(2000), 도시녹지의 에너지절약 및 대기 CO₂ 농도저감과 계획지침, 한국조경학회지

11) 유대중(2007), 경량형 옥상녹화시스템의 냉방부하절감 효과에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문

낸다. 하지만 지피식물의 경우 지속성장을 통하여 탄소저감효과에 뚜렷한 효과를 지닌다.

넷째, 서울시는 전체 면적의 40%에 속하는 녹지공간을 가지고 있으나 높은 인구밀도와 주거밀집으로 생태계의 기능을 상실하고 있다. 따라서 인공적인 옥상층의 녹지조성을 통하여 전체 건축물의 25%가 옥상녹화를 할 경우 서울시 전체 탄소배출량의 1~2%를 저감할 수 있다. 또 이러한 저감효과는 환경오염의 개선 및 도쿄의정서의 온실가스 저감 의무국으로써 큰 경제적 가치를 가진다.

참고문헌

1. 김자경(2004), 자연과 함께 하는 건축, 시공문화사
2. 김지현, 고재경, 김미숙(2007), 경기도 산업부문의 온실가스 배출특성과 저감방안, 한국지역개발학회지
3. 김수봉, 장중근(2007), 대구시 중구의 옥상녹화를 통한 환경 및 경제적 편익 분석, 한국환경과학회지
4. 도시계획국 시설계획과(2007), 생태면적율 도시계획활용 개선 방안
5. 서울시청(2009.3.29), 2005년 서울시 도시생태현황도
6. 안태경(2003), 공동주택 최상층부의 옥상녹화에 따른 에너지절약 평가, 한국생활환경학회지
7. 여인애, 조홍제, 윤성환(2008), 옥상슬래브 단열조건에 따른 옥상녹화의 열환경 조정효과, 대한설비공학회
8. 유대중(2007), 경량형 옥상녹화시스템의 냉방부하절감효과에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위 논문
9. 장중근(2005), 도심의 공원녹지 확충을 위한 옥상녹화의 환경 및 경제적 효과 분석, 계명대학교 석사학위논문
10. 조현길(2000), 이기의, 도시녹지의 에너지절약 및 대기 CO₂ 농도저감과 계획지침, 한국조경학회지
11. 조현길, 운영환, 이기의(2000), 도시녹지의 에너지절약 및 대기 CO₂ 농도저감과 계획지침, 한국조경학회
12. 조현길, 안태원(1999), 도시생태계 수목의 대기정화 역할, 한국조경학회지
13. 최재영, 이종국(2008), 청소년 시설의 친환경 기술요소에 관한 연구, 한국청소년시설환경학회
14. 환경부(1999), 보급형 옥상녹화 가이드 북, 한국건설기술연구원
15. 통계청(2009.3.29), e-나라지표 : <http://www.index.go.kr>.