

국내 저관리 경량형 옥상녹화용 식생기반재의 이화학적 특성 및 탄소고정량 비교 분석*

이상진¹⁾ · 박관수¹⁾ · 이동근²⁾ · 장성완³⁾ · 이항구¹⁾ · 박환우¹⁾

¹⁾ 충남대학교 산림자원학과 · ²⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부 · ³⁾ 에코앤바이오(주)

A Comparative Study on Carbon Storage and Physicochemical Properties of Vegetation Soil for Extensive Green Rooftop Used in Korea*

Lee, Sang-Jin¹⁾ · Park, Gwan-Soo¹⁾ · Lee, Dong-Kun²⁾ · Jang, Seong-Wan³⁾
Lee, Hang-Goo¹⁾ and Park, Hwan-Woo¹⁾

¹⁾ Department of Environment Forestry Resources, Chungnam National University,

²⁾ Department of Landscape Architecture, Seoul National University,

³⁾ Eco & Bio Corporation.

ABSTRACT

This study was carried out to analyze comparison of carbon storage and physicochemical properties of vegetation soil for extensive green rooftop established at Seoul National University in september 2013. For this study, 42 plots were made by 2 kinds of vegetation soil including A-type and B-type. A-type vegetation soil plots were made of 90% perlite and 10% humus and B-type vegetation soil plots were made of 60% perlite, 20% vermiculite, 10% coco peat and 10% humus. This study used 6 kinds of plants which are *Aster koraiensis*, *Sedum takesimense*, *Zoysia japonica* Steud, *Euonymus japonica*, *Rhododendron indicum* SWEET and *Ligustrum obtusifolium*. Field research was carried out in 11 months after planting. Physicochemical properties of B-type vegetation soil plots were better than

* 본 연구는 환경부의 차세대에코이노베이션기술개발사업 ‘인공지반부 도시생태계 적응, 관리 기술개발(과제번호 : 416-111-016)’의 지원으로 수행되었음.

First author : Lee, Sang-Jin, Department of Environment Forestry Resources, Chungnam National University,
Tel : +82-42-821-7836, E-mail : sangjin78@gmail.com

Corresponding author : Park, Gwan-Soo, Department of Environment Forestry Resources, Chungnam National University,
Tel : +82-42-821-5743, E-mail : gspark@cnu.ac.kr

Received : 30 January, 2015. **Revised** : 24 February, 2015. **Accepted** : 27 February, 2015.

A-type vegetation soil plots in every way and soil carbon content was also higher at B-type vegetation soil plots as well. B-type vegetation soil plots were maintained 10 to 20% higher soil water content than A-type vegetation soil plots of the study period. The species of herb which showed the best carbon storage was *Zoysia japonica* Steud at B-type vegetation soil plots. The species of shrub which showed the best carbon storage was *Ligustrum obtusifolium* at B-type vegetation soil plots. Plants generally showed better growth at B-type vegetation soil plots and B-type vegetation soil plots were higher than A-type vegetation soil plots in soil carbon stock.

Key Words : Roof garden, Soil media, Carbon storage of plants, Soil water contents.

I. 서 론

최근 지구온난화로 인한 이상기온 그리고 대도시에서 발생하는 열섬현상 등의 환경 문제를 해결하기 위한 하나의 대안으로 도시녹화가 대두되고 있으며, 앞으로 그 중요성은 더욱 커질 것으로 판단된다. 하지만 도심 과밀화 현상과 지가 상승 등의 이유로 도심 내 녹지 공간 확보는 매우 어려운 실정이며, 특히 지가 상승 등으로 인하여 지상 녹지면적 확보를 위한 토지 매입에 천문학적인 예산이 필요하다고 알려져 있다. 실제 서울시의 보고에 따르면 도시 내 생활권 공원면적을 1인당 1m²를 늘리기 위해서는 10,321,496m² (약 10km², 서울시 면적의 약 1.7%)의 녹지가 필요하며, 지상 녹지면적 확보를 위한 토지 매입에 필요한 금액은 100조가 넘는 예산이 필요하기 때문에 현실적으로 불가능하다고 밝히고 있다 (Seoul Metropolitan Government, 2007).

이와 같은 문제를 해결하기 위한 대안으로 부각되고 있는 것이 도심 내 건물의 옥상을 활용하는 방법이다. 비록 개별 건물의 옥상은 그 면적이 협소하지만, 수많은 건물이 도시의 대부분을 차지하고 있기 때문에 도시 전체적인 옥상녹화를 실시할 경우 도시의 온도를 낮춰 열섬현상을 해결하고(Park, 2014), 도시의 미관 또한 증대할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 옥상녹화는 지상 녹지면적의 확보 이외에 지

구온난화의 주요 원인인 이산화탄소를 흡수하고 고정함으로써 대기 탄소농도를 저감할 수 있다. 따라서 옥상녹화는 기존 산림생태계와는 달리 새로운 탄소흡수원이라는 특수한 기능을 갖고 있기 때문에 탄소고정을 위한 새로운 방안으로써의 역할이 기대된다. 하지만 아직까지 국내에서는 대기 중 이산화탄소 농도를 저감하기 위한 도시녹지 내 수목의 탄소고정량을 조사하고 그 효과를 규명하기 위한 연구가 대부분이며(Jo *et al.*, 1995; Jo and Cho, 1998), 옥상녹화용 초본식물의 순간 CO₂ 흡수에 대한 연구(Ahn *et al.*, 2011)가 일부 진행되었을 뿐 옥상녹화지에서 식물체에 의한 탄소고정량 산정 및 그 효과를 정량화한 연구는 전무하다고 볼 수 있다.

이러한 현실에서 옥상녹화 현장에서는 시공적·관리적인 측면의 다양한 문제점이 발생하고 있으며, 그 중 하나가 바로 식생기반재이다. 식물의 생육에 있어 자연토양이 가장 이상적이기는 하지만 옥상녹화에서는 자연토양의 무게로 인한 건물 구조에 무리를 줄 수 있어 사용에 제한이 따르기 때문에 건축물에 미치는 하중을 고려하여 경량의 인공 식생기반재를 사용하게 된다. 하지만 이러한 식생기반재는 비중이 너무 낮아 구조적으로 불안정하여 식물의 활착이 어렵다는 단점이 존재하고(Choi *et al.*, 2009b), 강우나 바람에 의한 유실을 초

래할 수 있다. 또한 자연 상태의 생육 환경 조건과 많은 차이가 있어 식물의 정상적인 생육에 한계적 상황이 발생하기 마련이며(Lee and Moon, 1999), 특히 옥상녹화에 사용되는 식생기반재는 경량화와 동시에 일정 수준 이상의 수분·양분 보유 능력을 확보하여 식재되는 식물의 생육환경 조건을 만족시켜야 한다는 어려움이 있다(Yang *et al.*, 2014). 이러한 결과를 종합하였을 때, Yang *et al.* (2014)이 보고한 것처럼 성공적인 옥상녹화를 위해서는 건축물의 하중부담을 최대한 줄이면서 토양 내 수분을 장기간 유지할 수 있는 식생기반재의 개발이 필요하다고 판단된다.

이에 본 연구는 현재 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 두 종류의 경량형 식생기반재를 활용하여 초본과 목본을 식재한 후 실험에 사용된 경량형 식생기반재에 따른 수분·양분 함량 등의 이화학적 특성의 차이를 조사하고 식생기반재에 따른 양분과 수분 함량의 차이를 비교하여 식물의 생육에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 식재된 식물과 식생기반재의 탄소함량을 분석하여 옥상녹화에 의한 지

상부와 지하부의 탄소고정량에 대한 정보를 제공함으로써 향후 식물 성장 및 탄소고정을 고려한 적절한 식생기반재 개발에 기여하고자 한다.

II. 연구의 내용 및 방법

1. 실험구 조성

현재 국내의 옥상녹화에 가장 많이 사용되고 있는 경량의 식생기반재는 펄라이트로 알려져 있다(HICT, 1997; Huh and Sim, 2000; Kim *et al.*, 2010b). 이외에도 건축물에 미치는 하중을 최소화하고 배수성 및 보수력의 향상을 위해 자연토양 또는 기타 물질들과 혼용하여 사용되기도 한다. 본 연구를 진행하기 위해 우리나라에서 일반적으로 사용되고 있는 펄라이트와 부엽토를 9:1로 배합한 A형 식생기반재와 펄라이트, 버미큘라이트, 코코피트, 부엽토를 6:2:1:1로 배합한 B형 식생기반재를 사용하여 실험을 실시하였다.

본 연구의 실험구는 2013년 9월, 서울특별시 관악구 서울대학교 교내에 위치한 9층 높이의 상록관 옥상에 조성하였다(Figure 1). 식생기반

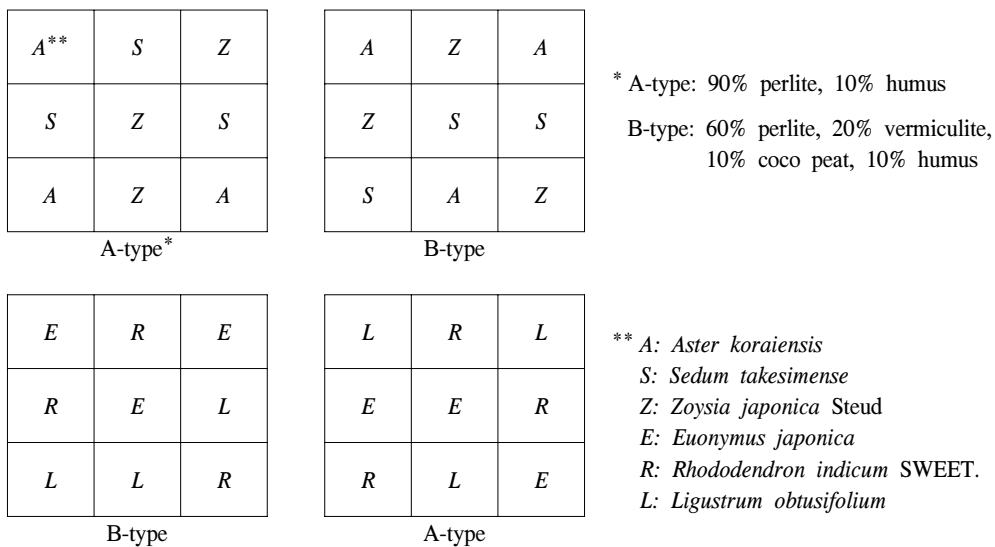


Figure 1. Experimental design for the extensive green rooftop study sites.

재의 깊이는 환경부의 생태면적 적용 지침 (2011)을 만족하는 저관리 경량형 옥상녹화시스템을 적용하였으며, 28cm × 28cm × 24cm 규격의 플라스틱 포트에 20cm의 깊이로 A형과 B형의 식생기반재를 채웠다.

실험에 사용된 초본류와 목본류는 현재 옥상녹화에서 가장 많이 사용되고 있는 식물 중에서 섬기린초, 벌개미취, 그리고 잔디의 초본류와 사철나무, 영산홍, 그리고 쥐똥나무의 관목류를 식재하였다. 조성된 실험구는 모두 3반복으로 처리되었으며, 전체 36개의 실험구를 조성하였다.

2. 조사 및 분석방법

실험에 사용된 식생기반재의 기초 특성 조사를 위하여 실험구가 조성된 2013년 9월에 A형과 B형의 식생기반재에서 각각 3개씩 시료를 채취하여 식생기반재의 이화학적 특성을 분석하였고, 향후 이화학적 특성의 변화와 식생기반재의 탄소량을 비교하기 위하여 2014년 8월에 전체 36개 실험구에서 분석용 시료를 각각 채취하였다. 또한 식물체의 탄소고정량을 비교하기 위하여 각 처리의 수종별로 3반복을 두어 총 36점의 식물 시료를 지상부와 지하부로 나누어 채취하였다. 채취한 식물체 시료는 지퍼백에 밀봉한 후 아이스박스에 담아 실험실로 운반하였으며, 종이봉투에 옮겨 담아 건조기로 85°C로 향량에 도달할 때까지 건조하여 무게를 측정하였다. 건조된 식물체 시료는 분말 형태로 분쇄한 후 회화법을 이용하여 탄소함량(%)을 분석하였다.

식생기반재의 이화학적 특성의 분석 방법은 다음과 같다. 수분함량은 토양수분측정기(WT-1000H)를 이용하여 2014년 5월에서 9월까지 매월 첫째 주에 처리구당 3반복으로 측정하였다. 식생기반재의 pH는 1:5법을 활용하였으며, 유기물함량은 회화법, 전질소함량은 Kjeldahl법, 유효인산함량은 Lancaster법, 치환성 양이온은 EDTA 적정법, C.E.C는 Brown법을 활용하였다(National

Institute of Agricultural Science and Technology, 2000).

식생기반재 내에 저장되어있는 탄소량을 측정하기 위해 토양 샘플러를 활용하여 채취한 시료는 생중량을 측정하고 48시간 이상 풍건한 후 시료를 분말형태로 곱게 분쇄하여 65°C로 향량에 달할 때 까지 건조하였다. 탄소함량(%)은 회화법을 이용하여 부식의 함량을 구한 후 탄소 환산계수 1.724를 적용하였으며(National Institute of Agricultural Science and Technology, 2000), 단위 깊이 당 탄소량(kg/m²)은 탄소함량(%)과 용적밀도를 이용하여 단위면적으로 환산하여 계산하였다(Korea Forest Research Institute, 2011). 식생기반재의 이화학적 특성 및 탄소량 그리고 식물체의 탄소고정량을 비교하기 위해서 Duncan's multiple range test(SAS Ver. 9.4)를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식생기반재의 이화학적 특성 비교

본 연구에 사용된 식생기반재의 화학적 특성과 시간의 경과에 따른 변화에 대한 분석결과는 Table 1과 같다. 실험에 사용된 식생기반재의 pH는 A형 식생기반재에서 7.64, B형 식생기반재에서는 5.04로 나타나 통계적으로 유의한 차이를 보였다. A형 식생기반재의 경우 펠라이트의 함량이 90%로 매우 높았기 때문에 상대적으로 높은 pH를 보이는 것으로 판단되며, 실제 Kim *et al.*(2010b)도 펠라이트의 pH는 8.2로 높다고 보고하여 본 연구결과와 일치하는 것으로 나타났다. 반면, B형 식생기반재의 경우 Allaire *et al.*(1996)이 보고한 상토의 pH 기준인 5.0~6.5의 범위에 있는 것으로 나타났다. 식재 11개월 후 식생기반재의 pH를 비교한 결과, A형 식생기반재에서는 7.61, B형 식생기반재에서는 5.01로 시간의 경과에 따른 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. Lee *et al.*(2013b)의 선행연구

Table 1. Change of chemical properties in vegetation soils at the extensive green rooftop.

Treatments*	pH (1:5,w/w)	O.M. (%)	Total N (%)	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation			
					K	Ca	Mg	
					(cmol ⁺ /kg)			
Original vegetation soils	A-type	7.64 ±0.09a**	16.30 ±3.23b	0.42 ±0.12a	1321.34 ±485.50a	10.40 ±1.93b	8.61 ±2.37b	6.48 ±0.50a
	B-type	5.04 ±0.08b	27.62 ±0.54a	0.37 ±0.11a	277.45 ±14.23c	13.53 ±0.25a	13.33 ±0.18a	5.42 ±0.07b
After 11 months	A-type	7.61 ±0.20a	12.75 ±4.23b	0.31 ±0.02a	691.23 ±192.61b	0.17 ±0.07c	7.47 ±1.05b	2.08 ±0.69d
	B-type	5.01 ±0.38b	23.96 ±2.62a	0.32 ±0.08a	259.56 ±29.96c	11.11 ±1.90b	11.19 ±2.23a	4.45c ±0.63

* A-type: 90% perlite, 10% humus

B-type: 60% perlite, 20% vermiculite, 10% coco peat, 10% humus

** Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test

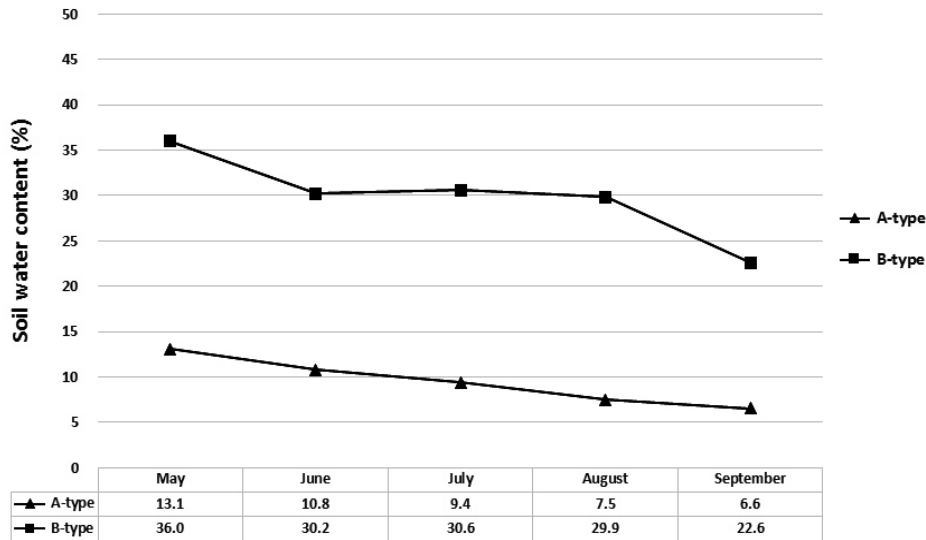
에서는 옥상녹화지의 경우 자연적인 강우에 의한 약산의 지속적인 유입과 직접적인 햇빛 노출에 의한 유기물의 분해로 발생한 유기산의 영향으로 다년간의 시간이 경과함에 따라 pH가 낮아진다고 보고하고 있다. 하지만 본 실험에서는 단기간의 변화를 관찰하였기 때문에 A와 B형 식생기반재 모두 큰 변화는 없었던 것으로 사료된다.

실험에 사용된 식생기반재의 유기물함량은 A형 식생기반재에서 16.30%, B형 식생기반재에서 27.62%로 나타났고, 식재 후 11개월이 경과했을 때 각각 12.75%와 23.96%로 평균값은 다소 감소하는 경향을 보였으나, 통계적으로 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 식생기반재의 유형에 따라서는 통계적으로 유의적인 차이가 나타났으며, 이는 Kim *et al.*(2010a)의 선행연구에서처럼 코코피트가 B형 식생기반재의 유기물함량을 높인 것으로 판단된다.

식생기반재의 전질소함량은 A형 식생기반재에서는 0.42%, B형 식생기반재에서는 0.37%로

나타났다. 식재 11개월이 경과 후, A형 식생기반재에서는 0.31%, B형 식생기반재에서는 0.32%로 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 선행 연구인 대전광역시 옥상녹화지역의 토양 내 평균 전질소 함량(0.12~0.28%)과 동국대학교 옥상녹화지역의 토양 내 평균 전질소 함량(0.14~0.50%) 그리고 서울여대 옥상녹화지역의 토양 내 평균 전질소 함량(0.20~0.30%)과 유사한 결과를 보였다(Lee *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2013a; Lee *et al.*, 2013b).

유효인산함량의 경우 A형 식생기반재에서는 1321.34mg/kg에서 식재 11개월 후 691.23mg/kg으로 감소하였으며, 통계적으로도 유의적인 차이가 나타났다. 이러한 결과는 Kim and Kim(2011)의 보고와 같이 펄라이트의 함량이 높은 A형 식생기반재에서 양분의 용탈이 많았기 때문으로 판단된다. 치환성 K, Ca, 그리고 Mg의 함량 역시 식재 후 11개월이 경과했을 때, A형 식생기반재에서의 감소폭이 컸다. 특히 치환성 K와 Mg의 경우 통계적으로 유의한 차이를 보이며



(A-type: 90% perlite, 10% humus; B-type: 60% perlite, 20% vermiculite, 10% coco peat, 10% humus)

Figure 2. Change of soil water contents(%) in vegetation soils at the extensive green rooftop.

상당히 많은 양이 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 전술한 바와 같이 펄라이트의 함량이 높은 A형 식생기반재에서 치환성 양이온의 용탈이 높았기 때문으로 사료된다.

식생기반재의 유형별 함수율의 변화는 Figure 2와 같다. 본 실험의 측정기간 동안 B형 식생기반재가 A형 식생기반재에 비하여 평균적으로 약 20% 이상 높은 수분 함량을 보였다. 이는 A형 식생기반재의 경우 펄라이트의 함량이 높아 수분 보유 능력이 낮은 반면, B형 식생기반재의 경우 코코피트와 부엽토 등을 함유하고 있어 수분 보유 능력이 높았기 때문으로 판단된다. Kim and Kim(2011)은 상토를 제조를 함에 있어 펄라이트는 경량화와 공극률을 높이는 효과가 있으나 수분함량 및 유기물 함량에서 낮은 수치를 기록하였다고 보고하였으며, 펄라이트는 제조과정에서 고온의 열이 가해지면서 다공질이 파괴되게 되어 입자내부의 수분보유능이 떨어진다는 선행연구와도 일치하는 것으로 나타났다(Bunt, 1988). 또한 Yoon *et al.* (1999)은 버미큘라이트, 펄라이트, 코코피트 혼합매질의 수분특성 실험

에서 코코피트의 함량이 증가할수록 포장용수량의 증가가 월등히 컸다고 보고하였으며, Choi *et al.*(2009a)은 버미큘라이트 입자의 경우 적층 구조를 이루고 있어 높은 흡수력을 가진다고 보고하여 본 연구의 결과를 뒷받침하였다.

2. 식물체 탄소고정량 비교

식생기반재에 따른 초본류와 관목류의 탄소 고정량은 다음과 같다(Table 2). 초본류의 식재 전 평균 탄소량은 벌개미취 54.3g/m^2 , 섬기린초 31.2g/m^2 , 그리고 잔디 254.7g/m^2 로 조사되었다. 식재 11개월 후 초본류의 탄소고정량은 A형 식생기반재의 경우 섬기린초(381.0g/m^2) > 잔디(369.9g/m^2), > 벌개미취(337.2g/m^2)의 순으로 나타났다. 그리고 B형 식생기반재의 경우 잔디(810.6g/m^2) > 섬기린초(665.6g/m^2), > 벌개미취(571.9g/m^2)의 순으로 나타나 A형 식생기반재에서 보다 B형 식생기반재에 식재된 초본류에서 높은 탄소고정량을 보였다. 관목류의 식재 전 식물체의 탄소량은 사철나무 520.8g/m^2 , 영산홍 297.0g/m^2 그리고 쥐똥나무 407.5g/m^2 로 조사되

Table 2. Carbon contents(g/m²) by plants at the extensive green rooftop.

Treatments*		Carbon contents(g/m ²)						
		Original			After 11 months			
		Aboveground	Root	Total	Aboveground	Root	Total	
Herbs	<i>Aster koraiensis</i>	A-type	11.8	42.5	54.3	78.5	258.7	337.2±48.3b**
		B-type				84.0	487.9	571.9±79.2a
	<i>Sedum takesimense</i>	A-type	14.6	16.6	31.2	222.1	158.9	381.0±41.3b
		B-type				372.5	253.1	665.6±133.3a
	<i>Zoysia japonica</i> Steud	A-type	179.5	75.3	254.7	156.0	214.0	369.9±92.4b
		B-type				171.1	639.4	810.6±63.2a
Shrubs	<i>Euonymus japonica</i>	A-type	349.3	171.4	520.8	487.5	344.3	831.8±217.7a
		B-type				564.0	400.7	964.6±131.2a
	<i>Rhododendron indicum</i> SWEET.	A-type	209.4	87.5	297.0	232.3	158.1	390.4±64.5a
		B-type				285.2	166.1	451.3±82.7a
	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	A-type	303.6	103.9	407.5	411.6	295.3	706.9±137.9b
		B-type				517.4	725.0	1,242.4±90.4a

* A-type: 90% perlite, 10% humus

B-type: 60% perlite, 20% vermiculite, 10% coco peat, 10% humus

** Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test

었다. 식재 11개월 후 관목류의 탄소고정량은 A형 식생기반재의 경우 사철나무(831.8g/m²) > 쥐똥나무(706.9g/m²) > 영산홍(390.4g/m²)의 순으로 나타났다. 그리고 B형 식생기반재의 경우에는 쥐똥나무(1,242.4g/m²) > 사철나무(964.6g/m²) > 영산홍(451.3g/m²)의 순으로 나타나 A형 식생기반재에서 보다 B형 식생기반재에 식재된 관목류에서 높은 탄소고정량을 보였다. 이러한 결과는 전술한 바와 같이 B형 식생기반재가 A형 식생기반재에서 보다 양분 및 수분 보유능력이 높아서 초본 및 관목이 생육하기에 더 적합한 환경이었기 때문으로 판단된다. 또한 선행연구에서도 저관수형 옥상녹화에서 토양 유기물 함량이 많을수록 식물의 생체량이 증가하는 경향을 보였으며, 토양 내 유기물 함량이 적을 경우 양분공급이 원활하지 못하여 식물의 생육이 좋지

않았다고 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 보였다(Kim, 2007).

3. 식생기반재의 탄소량 비교

본 연구의 옥상녹화 식생기반재에 따른 탄소함량(%) 및 탄소량(kg/m²)은 다음과 같다(Table 3). 식재 11개월 후의 탄소함량은 A형 식생기반재의 초본류와 목본류 시험구에서 각각 5.10%, 그리고 4.59%로 나타났다. 이는 Kristins *et al.* (2009)이 보고한 미시간 주와 메릴랜드 주의 옥상 녹화지의 평균 탄소함량인 4.6%와 유사한 것으로 조사되었다. 하지만 B형 식생기반재의 초본류, 그리고 목본류 시험구에서는 각각 14.90%, 그리고 15.29%로 A형 식생기반재의 탄소함량보다 높았으며, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다. 이는 B형 식생기반재에 코코

Table 3. Change of average carbon stock in vegetation soils at the extensive green rooftop.

Treatments*		Bulk density (g/cm ³)	Carbon concentrations (%)	Soil carbon stock (kg/m ²)
A-type (Depth 20cm)	Original vegetation soils	0.17±0.01b**	10.12±0.72b	3.45±0.43c
	After 11 months			
	Herbs	0.16±0.02b	5.10±1.06c	1.65±0.40d
	Shrubs	0.16±0.03b	4.59±1.06c	1.45±0.33d
B-type (Depth 20cm)	Original vegetation soils	0.26±0.01a	16.02±0.31a	8.01±0.47a
	After 11 months			
	Herbs	0.26±0.02a	14.90±1.60a	7.60±1.26ab
	Shrubs	0.23±0.02a	15.29±2.16a	6.98±0.52b

* A-type: 90% perlite, 10% humus

B-type: 60% perlite, 20% vermiculite, 10% coco peat, 10% humus

** Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test

피트를 배합하면서 유기물함량이 높아졌기 때문으로 판단된다.

식생기반재의 용적밀도와 탄소함량을 통하여 산출한 식생기반재의 탄소량 역시 A형 식생기반재에서 보다 B형 식생기반재에서 높은 것으로 나타났다. A형 식생기반재의 경우에는 시공 시 토심 20cm 깊이에서 3.45kg/m²이었으며, 식재 11개월이 경과한 후에는 초본 시험구에서 1.65kg/m², 그리고 목본 시험구에서 1.45kg/m²로 약 52~58% 감소하였으며 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다. B형 식생기반재는 시공 시 토심 20cm 깊이에서 8.01kg/m²이었으며, 식재 11개월이 경과한 후에는 초본 시험구에서 7.60kg/m², 그리고 목본 시험구에서 6.98kg/m²로 약 5~13%가 감소하였다. 일반적으로 산림생태계의 경우 식생의 생육량이 증가하여 순일차생산량이 양의 값을 가질 경우, 바이오매스량 또한 증가하기 때문에 낙엽 및 낙지와 같은 고사유기물의 양 또한 증가하여 토양탄소의 증가라는 결과를 가져오게 된다(Park *et al.*, 2013). 하지만 본 실험의 경우 소규모의 플라스틱 포트를 사용하여 식생을 조성하고 생육기간이 짧아 낙엽 및 낙지와 같

은 유기물이 식생기반재로 유입되기 힘든 환경이었으며, 옥상이라는 개방된 환경적 특성상 강우와 바람에 의한 유기물의 유실과 유기물의 식물체 흡수로 탄소량이 감소한 것으로 판단된다. 이러한 현상은 초본에 비하여 상대적으로 수고가 큰 관목류에서 더욱 명확하게 나타났다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 옥상녹화를 통한 탄소격리 효과에 있어 A형 식생기반재에서 보다 B형 식생기반재가 더 효율적인 것으로 판단된다. 또한 Lee *et al.*(2010)은 우리나라 전체 산림토양(0~20cm 깊이)에서의 평균 탄소고정량은 3.79kg/m²로 보고하여 본 연구의 B형 식생기반재에서의 탄소량이 약 2배 정도 높은 것으로 나타났다. 식물체에 의한 고사유기물이 장기간 지속적으로 공급되어 저장될 경우 옥상녹화는 새로운 탄소고정원(carbon pool)으로써의 역할을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

국내에서 사용되고 있는 경량형 식생기반재에 따른 식생기반재의 수분·양분함량 등의 이

화학적 특성과 식재된 식물과 식생기반재의 탄소함량을 분석하여 지상부와 지하부, 그리고 식생기반재의 탄소량을 분석한 결과는 다음과 같다. 식재 후 11개월이 경과한 A형 식생기반재와 B형 식생기반재의 pH는 A형 식생기반재에서는 7.64에서 7.61로, B형 식생기반재에서는 5.04에서 5.01로 유사한 것으로 나타났다. 하지만 전질소, 유효인산, 유기물 등의 양분함량은 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 펄라이트의 배합율이 높았던 A형 식생기반재에서 양분함량의 감소폭이 컸다. 이는 펄라이트에 의하여 공극이 증가하면서 유실되는 양분이 많았기 때문으로 판단된다. 수분함량의 경우 B형 식생기반재가 A형 식생기반재에서 보다 약 20%정도 높은 수치를 보여 옥상녹화에는 B형 식생기반재가 식물의 생육에 있어 유리한 것으로 나타났다.

식물체의 지상부와 지하부의 탄소고정량을 비교한 결과, 초본류와 관목류 시험구 모두에서 B형 식생기반재의 식물이 A형 식생기반재의 식물에서 보다 탄소고정량이 높은 것으로 나타났다. 식생기반재의 탄소량은 A형 식생기반재에서 50%이상 감소하였고, B형 식생기반재의 경우에는 약 13% 이내로 감소하여 A형 식생기반재에서 보다 탄소격리 효과가 높은 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 녹지 공간의 확보가 어려운 도시에서 옥상녹화가 지구온난화의 주요 원인인 이산화탄소의 새로운 흡수원 및 탄소고정원(carbon pool)으로써의 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Ahn GY · Han SW and Lee EH. 2011. The Analysis of Instantaneous CO₂ Uptake and Evapotranspiration of Herbaceous Plants for Artificial Roof Greening. Kor. J. Env. Eco. 25(1): 91-101. (in Korean with English summary)
- Allaire S. E. · J. Caron · I. Duchesne · L. E. Parent and J. A. Rioux. 1996. Air filled porosity, gas relative diffusivity and tortuosity: Indices of *Prunus xcistena* sp. growth in peat substrate. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121: 236-242.
- Brady N. C. 1990. The nature and properties of soils. Macmillan Pub. Com., N. Y., 621p.
- Bunt A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Haymen LTD, London. pp. 309.
- Choi JM · Kim LY and Lee BG. 2009a. Bed soil. Hakyesa. pp. 564. (in Korean)
- Choi WY · Ryu ER · Kim WR · Park BJ · Bae UH · Park JH · Joo JH and Yoon YH. 2009b. Changes of plant species growing by difference of soil mixture ratio for green rooftop. Symposium of conference on Journal of Environmental Science International. 18(1): 539-541. (in Korean)
- Huh KY and Shim KK. 2000. Characteristics of artificial soils used alone or in a blending with field soil for the greening of artificial ground. J. Kor. Inst. Landscape Architecture. 28(2): 28-38. (in Korean with English summary)
- Hyundai Institute of Construction Technology (HICT). 1997. A study on the greenery on artificial ground. Hyundai Institute of Construction Technology. Seoul.
- Jo HK and Cho DH. 1998. Annual CO₂ Uptake by Urban Popular Landscape Tree Species. Korean Journal of Landscape Architecture 25(2): 38-53. (in Korean with English abstract)
- Jo HK · Yun YH and Lee KE. 1995. Atmospheric CO₂ Sequestration by Urban Greenspace - In the Case of Chuncheon -. Korean Journal of Landscape Architecture 23(3): 80-93. (in Korean with English abstract)

- Kim HL · Kim HD · Kim JG · Kwack YB and Choi YH. 2010a. Effect of Organic Substrates Mixture Ratio on 2-year-old Highbush Blueberry Growth and Soil Chemical Properties. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 43(6): 858-863. (in Korean with English summary)
- Kim HS and Kim KH. 2011. Physical Properties of the Horticultural Substrate According to Mixing Ratio of Peatmoss, Perlite and Vermiculite. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 44(3): 321-330. (in Korean with English summary)
- Kim IH · Huh KY · Shin HC and Park NC. 2010b. Assessment of Plant Growth and Soil Properties of Extensive Green Roof System for *Rhododendron indicum* Sweet. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*. 28(6): 1057-1065. (in Korean with English summary)
- Kim SK. 2007. Plant-growth response to the amount of soil organic matter and the soil depth in a green rooftop with low irrigation maintenance. Master's thesis of Sungkyunkwan University's Graduate School. pp. 49. (in Korean with English summary)
- Korea Forest Research Institute. 2011. Research and Analysis of Biomass and Soil Carbon in Urban Forest. pp. 49. (in Korean)
- Kristin L. · D. Getter · R. G. Bradley · R. Philip · M. C. Bert and A. A. Jeffrey. 2009. Carbon Sequestration Potential Extensive Green Roofs. *Environ. Sci. Technol.* 43: 7564-7570.
- Lee EY and Moon SK. 1999. Effects of Soil mixtures and Soil Depths on the Growth of *Zoysia japonica* for the Artificial Planting Ground. *J. Korean Env. Res. Tech.* Vol 2(3) : 1-9. (in Korean with English summary)
- Lee SJ · Park GS · Lee DK · Jang SW · Park BH · Lee HG · Yun JY · Jang KW · Lee SW · Lee HY · Kwon OJ · Lee SM and Kil SH. 2011. A Study on Vegetation and Soil Environmental Characteristics of Green Roof in Daejeon Metropolitan City. *CNU Journal of Agricultural Science*. 38(4): 641-649. (in Korean with English summary)
- Lee SJ · Park GS · Kim DI · Lee DK · Kil SH · Jang SW · Park BH · Yun JY · Jang KW · Lee HY and Kwon OJ. 2013a. Change of Vegetation and Soil Characteristics of Green Roofs in Dongguk University. *J. Korean Env. Res. Tech.* 16(1): 193-206. (in Korean with English summary)
- Lee SJ · Park GS · Lee DK · Lee EH · Jang SW · Kim MH · Kil SH · Lee HG · Jang KW · Park BH · Yun JY and Kwon OJ. 2013b. A Study on the Changes of Plant Species and Soil Environmental Characteristics on Green Roofs at Seoul Women's University. *The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology*. 16(6): 109-117. (in Korean with English summary)
- Lee SW · Byun JK and Kim SH. 2010. Carbon storage in Forest Floors and Mineral Soils, Korea. *The Annual meeting of Korean For. Soc.* pp. 230-232. (in Korean)
- Ministry of environment. 2011. Guidelines for Ecological Area Ratio. (in Korean)
- National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Analysis Method of Soil and Vegetation. pp. 202. (in Korean)
- Park EJ. 2014. Selection of Green Roof Initiative Zone for Improving Adaptation Capability against Urban Heat Island. *The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology*. 17(1): 135-146. (in Korean)

- with English summary)
- Seoul Metropolitan Government. 2007. Manual of Management and construction Green roof system. pp. 1-24. (in Korean)
- Yang J · Yoon YH and Ju JH. 2014. Evaluation of Hydrophilic Polymer on the Growth of Plants in the Extensive Green Roofs. Korean Journal of Environment and Ecology. 28(3): 357-364. (in Korean with English summary)
- Yoon YM · Chang SH · Kim JG and Pak CH. 1999. The Effect of Moisture Characteristics in Medium Mixed with Vermiculite, Perlite, and Cocopeat on Growth of *Bletilla striata*. Korean Journal of Horticultural Science & Technology. 17(5): 674-674. (in Korean)