

대전광역시 옥상녹화 지역의 식생현황 및 토양환경 특성에 관한 연구

이상진¹ · 박관수^{1*} · 이동근² · 장성완³ · 박범환¹ · 이항구¹ · 윤준영¹ · 장관우¹ · 이승우⁴ · 이호영⁵ · 권오정⁵ · 이숙미⁵ · 김승호²

¹충남대학교 산림자원학과, ²서울대학교 조경·지역시스템공학부, ³에코앤바이오(주), ⁴국립산림과학원, ⁵동국대학교 바이오환경과학과

A study on vegetation and soil environmental characteristics of green roof in Daejeon Metropolitan City

Sang-Jin Lee¹, Gwan-Soo Park^{1*}, Dong-Kun Lee², Seong-Wan Jang³, Beom-Hwan Park¹, Hang-Goo Lee¹, Joon-Young Yun¹, Kwan-woo Jang¹, Seung-Woo Lee⁴, Ho-Young Lee⁵, Oh-Jung Kwon⁵, Sook-Mee Lee⁵, Sung-Ho Kil²

¹Department of Environment Forestry Resources, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Department of Landscape Architecture, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Korea

³Eco & Bio Corporation, 397-25, Songcheon-ri, Sudong-myeon, Namyangju-si, Gyeonggi-do, Korea

⁴Korea Forest Research Institute, 57 Hoegiro, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

⁵Department of Biological and Environmental Science, College of Life Science and Biotechnology, 26, Pil-dong 3-ga, Chung-gu, Seoul, 100-715, Korea

Received on 29 November 2011, revised on 8 December 2011, accepted on 18 December 2011

Abstract : This study was to analyze the soil environmental characteristics and vegetation status of green roof in Daejeon Metropolitan City. The investigated floras of vascular plants are 17 families, 26 genera, 28 species in Seo-Gu Daejeon District Office Building (SG), 25 families, 49 genera, 56 species in Galma Public Library (GP), and 34 families, 57 genera, 60 species in Daejeon City Hall (DC) respectively. Although the larger area shows the more numbers of species in introduced plants and naturalized plant, the naturalized plant ratios were similar with each other. They were 10.71%, 10.71%, and 11.67% at SG, GP, and DC respectively. As a result of analysis on soil physical property, soil depths including vegetation soil and drainage soil of 3 green roofs were 30cm. The depths of vegetation soil at SG, GP, and DC were 0~8cm, 0~10cm, 0~10cm respectively. As a results of soil chemical properties of our study, soil pH of vegetation soil and drainage soil were a range of 6.42 and 7.43, and a range of 6.55 and 7.43 on the average respectively. Available-P contents of vegetation soil and drainage soil were a range of 153.33 and 366.33mg/kg, and a range of 136.67 and 242.67 mg/kg which is very high, respectively. Carbon contents in soil at vegetation soil and drainage soil were a range of 3.16 and 6.38%, and a range of 1.63 and 2.47% respectively. Carbon storage per square meter within 30 cm were 2.76 kg, 2.99 kg, and 3.66 kg at SG, GP, and DC respectively.

Key words : Green roof, Vegetation, Soil properties

I. 서론

도시화와 산업화가 심화되면서 인공구조물이 증가됨에 따라 도시 생태계에는 녹지감소와 도시열섬현상 등 다양한 문제가 발생되고 있으며 이를 완화하려는 대안으로 옥상녹화에 대한 많은 관심이 집중되고 있다. 옥상녹화가 도시환경 개선에 미치는 영향을 살펴보면 동·식물이 서식할 수 있는 공간의 제공, 도시미기후의 개선, 우수 저류 효과, 건

물 냉난방비 절약 및 에너지손실저감, 그리고 알베도 개선 등으로 요약할 수 있다(Kim 등, 2010).

이러한 도시환경 개선 및 도시의 부족한 녹지를 확보하기 위한 공간으로써 도시 내 건축물의 옥상은 중요한 공간으로 인식되고 있다. 특히 우리나라 서울시의 경우 도시화 지역의 면적은 약 363.31 km²이고, 녹지화가 가능한 평탄한 옥상 및 지붕 면적은 도시화 지역의 70%에 해당하는 약 253.59 km²로 보고되었다. 이중 현실적으로 녹화가 가능한 건축물의 옥상 및 지붕 면적은 200 km² 이상으로 상당한 옥상녹화의 도입이 예측되고 있다(서울특별시, 2000;

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-7836

E-mail address: gspark@cnu.ac.kr

충북개발연구원, 2009). 최근에는 서울시를 비롯한 전국 각 지자체에서 옥상녹화 지원 사업을 진행해오고 있으며, 친환경인증제도 도입 등으로 옥상녹화에 대한 수요가 급증하자 점차적으로 지원 사업비 및 지원 대상을 확대하고 있다(Seoul Metropolis, 2007; Ahn 등, 2011).

특히 최근에 각광받고 있는 저토심·저관리형 옥상녹화 시스템(shallow-extensive green roof system)은 유지관리가 용이하고 적은 비용으로 넓은 면적에 걸친 조성이 가능하며, 건축물에 미치는 하중의 부담이 낮은 유형의 옥상녹화 시스템으로 도시 내 옥상녹화의 도입을 촉진시키게 될 것으로 예측되고 있다(Emilsson과 Rolf, 2005; Park 등, 2010). 그러나 조성 후 최소한의 유지관리만으로도 건전하게 생육할 수 있는 식물재료의 선정 등에 관한 심층적인 연구가 요구되고 있으며, 특히 식재기반은 식물의 생육에 가장 직접적으로 관여하고 실질적으로 가장 중요한 영향을 주는 요인으로 작용하기 때문에 이에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다(Park 등, 2010).

Lee와 Moon(1999)은 인공지반의 토양조성과 토양심도가 중엽형들잔디의 생육에 미치는 영향을 조사하였는데, 토심에 따른 들잔디의 생육은 대체적으로 토심 10 cm 보다는 토심 15 cm, 20 cm에서 양호한 것으로 나타났다. Lee 등(2007)은 초화류를 중심으로 한 관리 조방적 옥상녹화용 식물 소재 선정에 관한 연구에서 저토심(10 cm) 저관리형 옥상녹화에 식재 가능한 식물종을 선정하기 위해 100종의 다양한 식물을 공시한 후 관수와 무관수에 따른 식물의 생육상태를 파악한 결과 난쟁이조릿대, 꼬리풀 등을 포함한 총 60종이 생육상태가 양호한 식물로 제안 하였다. Park 등(2010)은 저관리 옥상녹화의 식재기반 시스템 차이에 따른 순비기나무의 활용성을 평가하였는데 낮은 토심(7 cm) 일 경우 대부분 고사하는 경향을 나타내어 인위적인 물관리가 필요한 것으로 나타났으며, 토심 25 cm 처리구에서는

안정된 생육을 보인 것으로 나타났다. 이와 같은 토심 및 식물 생육과 소재에 대한 다양한 연구가 진행되었음에도 불구하고 옥상녹화가 조성된 후 토양환경과 식생현황에 대한 양적인 자료는 아직도 많이 부족한 실정이다.

본 연구는 대전광역시에 위치한 옥상녹화지역을 대상으로 옥상녹화지의 입지별 귀화율, 출현 종 조사와 토양의 물리·화학적 분석 및 탄소량 분석을 통하여 옥상녹화지역의 식생현황과 토양환경에 대한 기초자료를 제공하기 위해 실시되었다.

II. 연구의 내용 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구는 옥상녹화 지역의 식생현황 및 토양환경 특성을 비교하기 위하여 대전광역시에 위치한 대전서구청, 갈마도서관, 대전광역시청(동편옥상) 건물 내 옥상녹화지역을 조사지로 선정하였다. 대전서구청 내 옥상녹화 지역은 2003년~2004년에 조성되었으며 면적은 550 m², 갈마도서관 내 옥상녹화 지역은 2005년에 조성되었으며 면적은 650 m², 대전광역시청 내 동편 옥상녹화 지역은 2009년에 조성되었으며 면적은 1,400 m²이었다(Table 1).

2. 조사 및 분석방법

1) 식생 조사 및 분석

대상지내 출현식물 조사는 2011년 10월에 실시하였다. 동정 및 분류는 현지에서 실시하였으며, 현지에서 동정이 불가능한 경우 날짜, 위치 등의 현장기록과 함께 채집하여 Lee(2003), Lee(2006) 도감을 기준으로 하였다. 귀화식물은 Park(2009)의 도감을 참고하였다. 관속식물 목록은

Table 1. Environmental factors of the green roof sites in Daejeon Metropolitan City.

Site	Location	Area (m ²)	Coordinate
Green roof	SG ¹⁾	550	E 127° 23' 01" N 36° 21' 19"
	GM ²⁾	650	E 127° 21' 56" N 36° 20' 27"
	DC ³⁾	1,400	E 127° 23' 07" N 36° 21' 01"

¹⁾SG : Seo-Gu Daejeon District Office Building, ²⁾GM : Galma Public Library, ³⁾DC : Daejeon City Hall.

Engler의 관속식물분류체계(Melchior, 1964)에 따라 작성하였고, 속 이하의 계급은 알파벳(alphabet)순으로 나열하고 학명과 국명은 국가표준식물목록에 준하여 작성하였다. 대상지별 출현하는 귀화식물은 대상지에서 출현하는 총 식물 종수에 대한 귀화식물 총 종수의 비율을 산정하여(Numata, 1975) 입지별 귀화율을 도출하였다.

2) 토양환경 특성 조사 및 분석

토양은 각 조사구에서 유기물층을 제거한 후+ 지표로부터 토양 단면을 내어 모래와 부엽토가 혼합되어 만들어진 상부 식생토양(Vegetation Soil)과 펄라이트가 다량 포함되어 있는 하부 배수토양(Drainage Soil)으로 구분하였다. 토양의 물리적 특성을 파악하기 위해서 토심, 견밀도, 토색, 뿌리분포, 토양 동물 분포 등을 확인하였으며, 토성 그리고 토양의 화학적 특성 및 탄소고정량 추정을 위해 각 조사지별 3개 지점에서 식생토양과 배수토양으로 나누어 총 18개의 토양 시료를 채취하였다. 실험실로 운반된 샘플은 자연 건조한 후 토양의 이화학적 특성을 분석하였다

(National Institute of Agricultural Science and Technology, 2000).

토양 중 유기물 함량은 Tyurin법으로 분석하였고, pH 분석은 1:5법을 활용하였다. 토양 전질소 함량 분석은 Kjeldahl법으로, 유효인산 분석은 Lancaster법을 활용하였고, 치환성 양이온은 EDTA 적정법을 활용하였으며, 토양 내 탄소함량은 건조된 토양을 막자사발을 사용하여 미세분말 형태로 만든 후 탄소분석기(C-N corder)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식생 현황 분석

대상지내 전체 출현종은 대전서구청의 경우 17과 26속 28종, 갈마도서관은 25과 49속 56종, 대전광역시청은 34과 57속 60종(Table 2)으로 나타났으며, 그 중 식재종은 대전서구청 15종(목본 9종, 초본 6종), 갈마도서관의 경우 25종(목본 13종, 초본 12종), 대전광역시청 33종(목본 18

Table 2. The list of vascular plants investigated in Seo-Gu Daejeon District Office Building, Galma Public Library, and Daejeon City Hall.

Family	Scientific Name	Korean Name	Invasive Plant	Naturalized plant	Site		
					SG ⁽¹⁾	GM ⁽²⁾	DC ⁽³⁾
Equisetaceae(속새과)	<i>Equisetum arvense</i> L.	쇠뜨기	O			O	
Taxaceae(주목과)	<i>Taxus caespitosa</i> Nakai	눈주목			O		
Pinaceae(소나무과)	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	소나무				O	
Cupressaceae(측백나무과)	<i>Thuja occidentalis</i> L.	소나무				O	
Ulmaceae(느릅나무과)	<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino	느티나무	O			O	
Moraceae(뽕나무과)	<i>Morus alba</i> L.	뽕나무				O	
Polygonaceae(마디풀과)	<i>Persicaria longiseta</i> (Brujin) Kitag.	개여뀌	O			O	
	<i>Persicaria perfoliata</i> (L.) H.Gross	머느리배꼽	O			O	
Caryophyllaceae(석죽과)	<i>Dianthus</i> sp.	상록매랭이			O		
	<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop.	쇠별꽃	O			O	
Berberidaceae(메자나무과)	<i>Nandina domestica</i> Thunb.	남천				O	
Brassicaceae(겨자과)	<i>Cardamine flexuosa</i> With.	황새냉이	O			O	
Crassulaceae(돌나물과)	<i>Sedum kamschaticum</i> Fisch. & Mey.	기린초			O	O	
	<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge	돌나물				O	
	<i>Sedum sarmentosum</i> var. <i>albomarginatum</i>	무늬돌나물			O		
Saxifragaceae(범의귀과)	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	수국				O	
	<i>Mukdenia rossii</i> (Oliv.) Koidz.	돌단풍				O	
	<i>Saxifraga stolonifera</i> Meerb.	바위취			O		
Rosaceae(장미과)	<i>Malus</i> sp.	예산분화사과				O	
	<i>Prunus tomentosa</i> Thunb.	앵두나무				O	
	<i>Spiraea prunifolia</i> f. <i>simpliciflora</i> Nakai	조팝나무			O		
Leguminosae(콩과)	<i>Amphicarpea bracteata</i> subsp. <i>edgeworthii</i> (Benth.) H.Ohashi	새콩	O			O	
	<i>Cercis chinensis</i> Bunge	박태기나무				O	
	<i>Dunbaria villosa</i> (Thunb.) Makino	여우팻	O			O	
	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	돌콩	O			O	
	<i>Indigofera kirilowii</i> Maxim. ex Palib.	땅비싸리				O	
	<i>Kummerowia striata</i> (Thunb.) Schindl.	매듭풀	O			O	
	<i>Trifolium repens</i> L.	토끼풀	O	O		O	
	<i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb.	얼치기완두	O			O	
Oxalidaceae(괘이발과)	<i>Oxalis corniculata</i> L.	괘이발	O		O	O	
Euphorbiaceae(대극과)	<i>Acalypha australis</i> L.	깨풀	O		O	O	
	<i>Euphorbia maculata</i> L.	큰땅빈대	O	O		O	
Buxaceae(회양목과)	<i>Buxus koreana</i> Nakai ex Chung & al.	회양목				O	
	<i>Pachysandra terminalis</i> Siebold & Zucc.	수호초				O	

Table 2. Continued.

Family	Scientific Name	Korean Name	Invasive Plant	Naturalized plant	Site		
					SG ¹⁾	GM ²⁾	DC ³⁾
Celastraceae(노박덩굴과)	<i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Siebold	화살나무					0
	<i>Euonymus japonicus</i> Thunb.	사철나무					0
Aceraceae(단풍나무과)	<i>Acer palmatum</i> Thunb.	단풍나무			0	0	
	<i>Acer palmatum</i> var. <i>dessoutum</i> (Thunb.) Miq.	공작단풍					0
Vitaceae(포도과)	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.	담쟁이덩굴	0		0		
	<i>Vitis coignetiae</i> Pulliat ex Planch.	머루			0		
	<i>Vitis vinifera</i> L.	포도					0
Malvaceae(아욱과)	<i>Hibiscus syriacus</i> L.	무궁화					0
Actinidiaceae(다래나무과)	<i>Actinidia arguta</i> (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq. var. <i>arguta</i>	다래			0		
Violaceae(제비꽃과)	<i>Viola mandshurica</i> W.Becker	제비꽃	0			0	
	<i>Viola papilionacea</i> Pursh	종지나물	0	0			0
Lythraceae(부처꽃과)	<i>Lagerstroemia indica</i> L.	배롱나무			0	0	
Onagraceae(바늘꽃과)	<i>Ludwigia prostrata</i> Roxb.	여뀌바늘	0				0
Cornaceae(층층나무과)	<i>Cornus alba</i> L.	흰말채나무				0	
	<i>Cornus kousa</i> F.Buenger ex Miquel	산딸나무			0	0	
Ericaceae(진달래과)	<i>Rhododendron indicum</i> (L.) Sweet	영산홍				0	0
	<i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i> (H.Lev.) M.Sugim. ex T.Yamaz.	산철쭉				0	0
	<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	블루베리					0
Oleaceae(물푸레나무과)	<i>Syringa patula</i> 'Miss Kim'	미스김라일락					0
	<i>Syringa vulgaris</i> L.	수수꽃다리				0	
Asclepiadaceae(박주가리과)	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	박주가리	0			0	0
Convolvulaceae(매꽃과)	<i>Cuscuta australis</i> R.Br.	실새삼	0				0
Polemoniaceae(꽃고비과)	<i>Phlox subulata</i> L.	지면매랭이					0
Borraginaceae(지치과)	<i>Trigonotis peduncularis</i> (Trevir.) Benth. ex Hemsl.	꽃마리	0		0		0
Verbenaceae(마편초과)	<i>Caryopteris incana</i> (Thunb.) Miq.	홍꽃나무					0
Labiatae(꿀풀과)	<i>Acalypha australis</i> L.	들깨	0			0	
	<i>Agastache rugosa</i> (Fisch. & Mey.) Kuntze	배초향					0
	<i>Mentha piperascens</i> (Malinv.) Holmes	박하				0	0
	<i>Mentha spicata</i> L. (M. <i>viridis</i> L.)	스피아민트				0	
Solanaceae(가지과)	<i>Solanum nigrum</i> L. var. <i>nigrum</i>	까마중	0				0
Acanthaceae(취꼬리망초과)	<i>Justicia procumbens</i> L.	취꼬리망초	0			0	
Plantaginaceae(질경이과)	<i>Plantago asiatica</i> L.	질경이	0			0	
Compositae(국화과)	<i>Achillea alpina</i> L.	뽕풀					0
	<i>Artemisia princeps</i> Pamp.	쑥	0		0	0	
	<i>Aster koriensis</i> Nakai	벌개미취			0	0	
	<i>Aster pilosus</i> Willd.	미국쑥부쟁이	0	0		0	
	<i>Aster subulatus</i> Michx.	비짜루국화	0	0	0	0	0
	<i>Bidens frondosa</i> L.	미국가막사리	0	0			0
	<i>Centipeda minima</i> (L.) A.Br. & Asch.	중대가리풀	0		0		
	<i>Chrysanthemum morifolium</i> Ramat.	국화				0	0
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	망초	0	0		0	0
	<i>Crepidastrum denticulatum</i> (Houtt.) Pak & Kawano	이고들빼기	0			0	
	<i>Dendranthema indicum</i> (L.) DesMoul.	감국					0
	<i>Dendranthema zawadskii</i> var. <i>latilobum</i> (Maxim.) Kitam.	구절초				0	0
	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	한련초	0				0
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물	0	0	0	0	0
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초	0	0	0	0	
	<i>Ixeris chinensis</i> (Thunb.) Nakai	노랑선씀바귀	0		0		
	<i>Ixeris stolonifera</i> A.Gray	좁씀바귀	0				0
	<i>Lactuca indica</i> L.	양고들빼기	0			0	0
	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	큰방가지뚥	0	0			0
	<i>Youngia japonica</i> (L.) DC.	뽕리랭이	0		0		0
<i>Zimnia violacea</i> Cav.	백일홍					0	
Gramineae(벼과)	<i>Beckmannia syzigachne</i> (Steud.) Fernald	개피	0			0	0
	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koel.	바랭이	0			0	0
	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	왕바랭이	0			0	
	<i>Pennisetum alopecuroides</i> (L.) Spreng. var. <i>alopecuroides</i>	수크령				0	
	<i>Phyllostachys bambusoides</i> Siebold & Zucc.	왕대			0		
	<i>Plioblastus pygmaed</i> Mitford A.	사사조릿대			0	0	
	<i>Pseudosasa japonica</i> (Siebold & Zucc. ex Steud.) Makino	이대				0	
	<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv. var. <i>viridis</i>	강아지풀	0		0	0	0
	<i>Zoysia japonica</i> Steud.	잔디				0	0
	Cyperaceae(사초과)	<i>Cyperus amuricus</i> Maxim.	방동사니	0		0	0
<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.		파대가리	0			0	
Commelinaceae(닭의장풀과)	<i>Commelina communis</i> L.	닭의장풀	0			0	
Liliaceae(백합과)	<i>Allium senescens</i> L.	두메부추					0
	<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L.	원주리			0	0	
	<i>Hosta longipes</i> (Franch. & Sav.) Matsum.	비비추					0
	<i>Liriope platyphylla</i> F.T.Wang & T.Tang	맥문동				0	
Amaryllidaceae(수선화과)	<i>Lycoris squamigera</i> Maxim.	상사화				0	
Agavaceae(용설란과)	<i>Yucca gloriosa</i> L.	유카				0	

¹⁾SG : Seo-Gu Daejeon District Office Building, ²⁾GM : Galma Public Library, ³⁾DC : Daejeon City Hall

Table 3. The number of plants in the investigated areas.

	SG ¹⁾	GM ²⁾	DC ³⁾
Family	17	25	34
Genus	26	49	57
Species	28	56	60
Trees	3	4	4
Shrubs	7	9	14
Herbs	18	43	42

¹⁾SG : Seo-Gu Daejeon District Office Building, ²⁾GM : Galma Public Library, ³⁾DC : Daejeon City Hall.

Table 4. The number of invasive plants.

	SG ¹⁾	GM ²⁾	DC ³⁾
Trees	N/A	N/A	N/A
Shrubs	1	N/A	1
Herbs	(3) 13	(6) 31	(7) 27
Invasive plant ratio	46.4%	60.7%	43.3%
Naturalized plant ratio	10.71%	10.71%	11.67%

¹⁾SG : Seo-Gu Daejeon District Office Building, ²⁾GM : Galma Public Library, ³⁾DC : Daejeon City Hall.

() : The number of naturalized plants

종, 초본 15종)으로 확인되었다(Table 3). 식재면적이 넓을 수록(대전서구청, 갈마도서관, 대전광역시청 순으로) 식재 종과 전체 출현종의 수가 증가하는 경향을 나타냈다.

식재 이후 새롭게 이입된 이입종에 의한 출현종수는 식재 초기에 비해 약 1.8~2.2배(갈마도서관 124%, 대전광역시청 82%, 대전서구청 87%) 증가한 것으로 나타났다. 대전서구청, 갈마도서관, 그리고 대전광역시청의 이입종은 각 대상지별 총 출현종의 46.4%, 60.7%, 43.3%를 차지하고 있으며, 대부분 초본에 해당하였다. 목본형 이입종은 대전광역시청에서 느티나무, 대전서구청에서 담쟁이덩굴이 출현하였다. 이입종의 수는 면적이 넓은 갈마도서관(31종)과 대전광역시청(27종)이 대전서구청(13종)에 비해 많이 출현하였으나, 이입종의 비율은 관리강도가 상대적으로 큰 대전서구청과 대전광역시청이 갈마도서관에 비해 낮게 나타났다(Table 4).

귀화식물은 대전서구청 3종, 갈마도서관 6종, 대전광역시청 7종(Table 4)이 발견되었다. 귀화식물은 녹화면적이 넓을수록(대전서구청, 갈마도서관, 대전광역시청 순으로) 출현종이 많아지는 경향을 보였으나, 입지별 귀화율은 각각 10.71%, 10.71%, 11.67%로 나타나 대상지별로 큰 차이를 보이지 않았다. 귀화식물 중 환경부 지정 생태계교란 야생 동·식물은 갈마도서관에서 미국쑥부쟁이 1종이 확인

되었다.

2. 토양환경 특성 분석

1) 토양의 물리적 특성 분석

대전서구청, 갈마도서관, 대전광역시청 옥상녹화지역 토양의 물리적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 5). 본 연구의 3개 옥상녹화지의 식생토양과 배수토양을 포함한 전토심은 모두 30 cm로 조사되었으며, 식생토양 토심의 경우 대전서구청에서는 8 cm로 갈마도서관과 시청의 10cm보다 낮게 조사되었다. 토양의 견밀도는 토양에 압력을 가했을 때 토양의 저항하는 정도를 말하는데(Korea forest service, 2000) 조사지 대부분이 1.6이하로 나타났으며, 특히 대전서구청의 경우 토심 전체가 0.5이하로 나타나 식생의 생장에 큰 문제는 없는 것으로 판단된다.

토성은 여러 가지 광물질 입자의 비례적인 크기의 비율을 나타내는데 식생토양에서 모두 양질사토로 조사되었으며, 배수토양은 펄라이트가 상당 비율 혼합되어 있었다. 뿌리의 분포는 갈마도서관의 경우 토심 20 cm이상의 깊이에서도 고르게 분포하였지만, 대전서구청과 대전광역시청의 경우에는 10 cm이내의 토심에서 주로 발달하였다.

Table 5. Physical properties of soil at green roof in Daejeon Metropolitan City.

Site	Soil depth (cm)	Soil consistence	soil color	sand	silt	clay	Soil texture
				(%)			
SG ¹⁾ (Vegetation Soil)	0~8	<0.5	10YR 5/2	85	10	5	loamy sand
SG (Drainage Soil)	8~30	<0.5	-	-	-	-	-
GM ²⁾ (Vegetation Soil)	0~10	0.5~1.5	10YR 6/2	85	10	5	loamy sand
GM (Drainage Soil)	10~30	1.0~3.0	-	-	-	-	-
DC ³⁾ (Vegetation Soil)	0~10	0.5~1.6	10YR 7/2	82.5	12.5	5	loamy sand
DC (Drainage Soil)	10~30	0.8~1.2	-	-	-	-	-

¹⁾SG : Seo-Gu Daejeon District Office Building, ²⁾GM : Galma Public Library, ³⁾DC : Daejeon City Hall.

Table 6. Chemical properties of soil at green roof in Daejeon Metropolitan City.

Site	pH (1:5, w/w)	Avail.P (mg/kg)	Exchangeable cation (cmol+/kg)		Total N (mg/kg)	O.M. (%)	C.E.C. (cmol+/kg)
			K ⁺	Ca ²⁺			
SG ¹⁾ (Vegetation Soil)	6.70	153.33	0.47	8.85	2835.00	8.11	14.63
SG (Drainage Soil)	6.56	234.33	0.25	2.46	980.00	3.32	14.54
GM ²⁾ (Vegetation Soil)	6.42	155.33	0.14	4.92	1201.67	3.47	7.38
GM (Drainage Soil)	6.55	242.67	0.11	0.98	688.33	2.10	8.78
DC ³⁾ (Vegetation Soil)	7.15	363.33	0.42	5.97	1365.00	2.70	7.89
DC (Drainage Soil)	7.43	136.67	0.25	3.15	478.33	1.01	13.79

¹⁾SG : Seo-Gu Daejeon District Office Building, ²⁾GM : Galma Public Library, ³⁾DC : Daejeon City Hall.

2) 토양의 화학적 특성 분석

대전서구청, 갈마도서관, 대전광역시청 옥상녹화지역 토양의 화학적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 6). 본 연구지의 경우 식생토양에서 평균 pH는 6.42~7.43의 범위로 나타났으며 배수토양에서는 평균 6.55~7.43의 범위로 나타났다. 조사된 대전광역시 옥상녹화지역의 모든 토양에서 Jeong 등(2002)이 보고한 우리나라 산림토양의 평균 pH 값(A층 : 5.48, B층 : 5.52)과 Lee(1981)가 보고한 우리나라 산림토양의 지형별 모재에 따른 토양의 평균 pH 5.5 보다 다소 높은 값을 나타내는 것으로 나타났다. 보통 묘포토양의 경우 침엽수 묘포는 pH 5.2~5.6, 활엽수묘포

는 pH 5.6 정도가 이상적이며 대부분의 임목들은 pH 4.5~6.5에서 잘 자라는 것으로 알려져 있는데(Korea forest service, 2000) 대전광역시청의 경우 pH 7.0 이상으로 이보다 다소 높은 결과를 보여주고 있다.

옥상녹화지역 토양의 유효인산 함량의 경우 식생토양에서 평균 153.33~363.33 mg/kg의 범위로 나타났으며 배수토양에서는 136.67~242.67 mg/kg의 범위로 나타났다. 조사지역 모든 토양깊이에서 Jeong 등(2002)이 보고한 우리나라 산림토양의 평균 유효인산 함량(A층 : 25.6 mg/kg, B층 : 11.9 mg/kg)보다 매우 높게 나타났다. 본 연구에서의 토양 중 유효인산 함량이 우리나라 산림토양에서의 평

Table 7. Carbon storages in soil at green roof in Daejeon Metropolitan City.

Site	Soil depth (cm)	Bulk density (g/cm ³)	Moisture content (%)	Carbon content (%)	Carbon content (kg/1m×1m×depth)
SG ¹⁾ (Vegetation Soil)	0~8	0.34	18.2	6.38	1.74
SG (Drainage Soil)	8~30	0.17	43.0	2.74	1.02
GM ²⁾ (Vegetation Soil)	0~10	0.63	32.7	4.02	2.53
GM (Drainage Soil)	10~30	0.14	70.4	1.63	0.46
DC ³⁾ (Vegetation Soil)	0~10	0.81	28.8	3.16	2.56
DC (Drainage Soil)	10~30	0.26	51.3	2.12	1.10

¹⁾SG : Seo-Gu Daejeon District Office Building, ²⁾GM : Galma Public Library, ³⁾DC : Daejeon City Hall.

균값 보다 매우 높게 나타난 이유는 옥상녹화 조성 당시 인산이 포함된 비료를 사용하였기 때문으로 판단된다.

토양의 치환성 K의 함량은 식생토양에서 평균 0.14~0.47 cmol⁺/kg, 그리고 배수토양에서 0.11~0.25 cmol⁺/kg의 범위로 나타났다. 두 개의 토양깊이 모두에서 Jeong 등(2002)이 보고한 우리나라 산림토양의 평균 치환성 K(A층 : 0.23 cmol⁺/kg, B층 : 0.15 cmol⁺/kg)의 함량과 유사한 수치를 보이고 있어 치환성 양이온 K에 의한 양분 부족 현상에 대한 염려는 없는 수준으로 판단된다. 토양의 치환성 Ca의 함량은 식생토양에서 평균 4.92~8.85 cmol⁺/kg, 그리고 배수토양에서 0.98~3.15 cmol⁺/kg의 범위에 분포하여, Jeong 등(2002)이 보고한 우리나라 산림토양의 평균 치환성 Ca함량(A층 : 2.44 cmol⁺/kg, B층 : 1.64 cmol⁺/kg)과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

토양의 전질소 함량은 식생토양에서 평균 1201.67~2835.00 mg/kg, 그리고 배수토양에서 478.33~980.00 mg/kg의 범위에 분포하였으며, 모든 지역의 식생토양에서 배수토양 보다 높게 나타났다. 토양의 유기물 함량(%)은 식생토양에서 평균 2.70~8.11%, 그리고 배수토양에서 1.01~3.32%의 범위에 분포하였으며, 모든 지역의 식생토양에서 배수토양 보다 높게 나타났다. 유기물함량은 조사 지 내 모든 옥상녹화 지역에서 Jeong 등(2002)이 보고한 우리나라 산림토양의 평균 유기물함량(A층 : 4.5%, B층 : 2.0%)과 유사한 수치를 보이는 것으로 나타났다.

3) 토양내 탄소량 분석

대전서구청, 갈마도서관, 대전광역시청 옥상녹화지역 토양의 탄소함량 및 탄소량을 분석한 결과는 다음과 같다 (Table 7). 토양 내 탄소함량은 식생토양에서 평균 3.16~6.38%, 그리고 배수토양에서 1.63~2.74%의 범위에 분포하였다. 모든 지역의 식생토양에서 배수토양 보다 높은 탄소 함량을 보였는데 그 이유는 배수 토양에는 유기물이 적고 펄라이트가 다량으로 포함되어 있었기 때문으로 판단된다. 조성 시 사용된 시공방법과 시공재료가 다르기 때문에 정확한 비교는 어렵지만 조성 연도와 단순 비교해보면 조성시기(2003년~2004년)가 가장 오래된 대전서구청 옥상녹화지역의 탄소함량이 식생토양에서 평균 6.38%, 배수토양에서 평균 2.74%로 가장 높았으며, 그 이후 조성(2005년)된 갈마도서관 옥상녹화지역의 탄소함량이 식생토양에서 평균 4.02%, 배수토양에서 평균 1.63%로 두 번째로 높았다. 가장 최근에 조성(2009년)된 대전광역시청 옥상녹화지역의 탄소함량이 식생토양에서 평균 3.16%, 배수토양에서 평균 2.12%로 가장 낮은 수치를 보이고 있었다.

대전광역시에 위치한 3개의 옥상녹화지역 토양의 탄소량을 파악하기 위해서 토양 가비중에 탄소함량을 곱한 후 환산하여 단위면적(1 m²)당 깊이별 탄소량을 구하였다. 대전서구청의 경우 식생토양 0~8 cm 깊이에서 탄소량은 1.74 kg이었으며, 배수토양 8~22 cm 깊이에서 탄소량은 1.02 kg으로, 전체 탄소량은 0~30 cm 깊이에서 2.76 kg으로 조사되었다. 갈마도서관의 경우 식생토양 0~10 cm 깊이에서 탄소량은 2.53 kg이었으며, 배수토양 10~20 cm

깊이에서 탄소량은 0.46 kg으로, 전체 탄소량은 0~30 cm 깊이에서 2.99 kg으로 조사되었다. 대전광역시청의 경우 식생토양 0~10 cm 깊이에서 탄소량은 2.56 kg이었으며, 배수토양 10~20 cm 깊이에서 탄소량은 1.10 kg으로, 전체 탄소량은 0~30 cm 깊이에서 3.66 kg으로 조사되었다. 토양 내 탄소함량과 단위면적 깊이 당 탄소량의 수치가 역으로 나온 이유는 탄소량 추정 시 가비중(g/cm^3) 값에 탄소함량을 곱하여 환산하게 되는데 이 과정에서 대전광역시청의 가비중 값이 가장 높게 나타났기 때문이며 이는 시공방법과 시공재료(경량토양)의 차이에 의한 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 대전광역시에 위치한 옥상녹화지역을 대상으로 옥상녹화지의 입지별 귀화율, 출현 종 조사와 토양의 물리·화학적 분석 및 탄소량 분석을 통하여 옥상녹화지역의 식생현황과 토양환경에 대한 자료를 제공하여 향후 옥상녹화를 통한 토양 내 탄소 저감 효과를 분석하기 위한 기초자료로 이용되고자 실시하였다.

대전광역시 옥상녹화지역(대전서구청, 갈마도서관, 대전광역시청)의 식생현황을 분석한 결과 대상지내 전체 출현종은 대전서구청 17과 26속 28종, 갈마도서관 25과 49속 56종, 그리고 대전광역시청 34과 57속 60종으로 나타났으며, 식재면적이 넓을수록(대전서구청 < 갈마도서관 < 대전광역시청) 식재종과 전체 출현종의 수가 증가하는 경향을 나타냈다. 입지별 귀화율은 각각 10.71%, 10.71%, 11.67%로 나타나 대상지별로 큰 차이를 보이지 않았다.

토양의 물리적 특성을 분석한 결과 본 연구의 3개 옥상녹화지의 식생토양과 배수토양을 포함한 전토심은 모두 30 cm로 조사되었으며, 식생토양 토심의 경우 대전서구청에서는 0~8 cm, 갈마도서관과 대전광역시청은 각각 0~10 cm로 조사되었다. 토양의 견밀도는 대부분의 조사지에서 1.6이하로 나타났으며, 특히 대전서구청의 경우 토심 전체의 견밀도가 0.5이하로 나타나서 식생의 생장에 큰 문제는 없는 것으로 판단된다.

토양의 화학적 특성을 분석한 결과 토양의 평균 pH는 식생토양에서 6.42~7.43의 범위로 나타났으며, 배수토양에서는 6.55~7.43의 범위로 나타났다. 유효인산 함량의 경우 식생토양에서 평균 153.33~363.33 mg/kg, 배수토양에서는 136.67~242.67 mg/kg의 범위로 매우 높게 나

타났다. 토양 내 탄소함량은 식생토양에서 평균 3.16~6.38%, 그리고 배수토양에서 1.63~2.74%의 범위에 분포하였다. 토양의 탄소량은 단위면적($1 m^2$) 내 0~30 cm 깊이에서 대전서구청 2.76 kg, 갈마도서관 2.99 kg, 대전광역시청 3.66 kg으로 조사되었다.

이와 같은 결과를 통하여 녹지 공간 확보가 어려운 도시에서 옥상 녹화가 토양 내 탄소저감의 기능을 도울 수 있을 것으로 기대되며, 앞으로 건축물로 포화된 도시지역에서 토양뿐만 아니라 잔디 및 수목에 의한 탄소저감과 관련한 잠재적 효과가 있다고 판단 할 수 있다. 그러나 앞에서 언급했듯이 본 연구 결과 중 조성연도에 따른 탄소함량 비교는 시공방법과 시공재료에 의한 영향이 전혀 반영되지 않은 단순 비교라는 연구의 제한점이 있으며, 앞으로 동일 지역 내에서 동일한 시공방법과 시공재료, 동일한 식생을 조성한 후 시간의 변화에 따른 비교 연구가 진행된다면 조성연도가 경과함에 따라 토양 내 탄소함량 증가를 밝힐 수 있을 것으로 생각되어 추후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 2011년도 차세대에코이노베이션기술 개발사업 '인공지반부 도시생태계 적응, 관리 기술개발'의 지원으로 수행하게 되었습니다. 이에 감사의 말씀을 드립니다.

참고 문헌

- Ahn GY, Han SW, Lee EH. 2011. The analysis of instantaneous CO₂ uptake and evapotranspiration of Herbaceous plants for artificial roof greening. *Kor. J. Env. Eco.* 25(1): 091-101. [in Korean]
- Chungbuk Research Institute. 2009. Development of green roof system for climate change counteraction. pp. 2-3. [in Korean]
- Emilsson T, Rolf K. 2005 Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden. *Urban Forestry & Urban Greening* 3: 103-111.
- Jeong JH, Koo KS, Lee CH, Kim CS. 2002. Physio-chemical properties of Korean forest soils by regions. *Jour. Korean For. Soc.* Vol. 91(6): 694-700. [in Korean]
- Kim JH, Lee YJ, Oh EJ, Kim HG. 2010. Economic analysis and energy deduction by the types of the green roof. *Pro. Kor. Soc. Env. Eco. Con.* 20(2): 197-200. [in Korean]
- Korean Forest Service. 2000. *Forest and Forestry Technology*

- (1). *General Forest*. pp. 113-124. [In Korean]
- Lee CB. 2003. *Korean Illustrated Plant Book*. Hyang Moon Sa. [in Korean]
- Lee EH, Cho EJ, Park MY, Kim DW, Jang SW. 2007. Selecting plants for the extensive rooftop greening based on herbal plants. *J. Korean Env. Res. Tech.* Vol. 10(2): 84-96. [in Korean]
- Lee EY, 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(2): 24-32. [in Korean]
- Lee SW. 1981. Studies on forest soils in Korea. *Jour. Korean For. Soc.* Vol. 54: 25-35. [in Korean]
- Lee YN. 2006. *A New Korean Illustrated Plant Book*. Gyo Hak Sa. [in Korean]
- Melchior, H. 1964. *A Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien*. Gebruder Borntraeger, Berlin. Band II. National Institute of Agricultural Science and Technology.
2000. *Analysis Method of Soil and Vegetation*. [in Korean]
- Numata. 1975. *Naturalized Plants*. Japanese books. Tokyo, Japan. 160 pp. [In Japanese]
- Park JS, Ju JH, Kim WT, Yoon YH. 2010. Application analysis of *Vitex rotundifolia* by difference of the shallow-extensive green roof system. *J. Korean Env. Res. Tech.* Vol 13(4) : 10-17. [in Korean]
- Park SH. 2009. *Naturalized Plant in Korea*. [in Korean]
- Seoul Metropolis. 2000. *Building Green Roof Academic Service*. Report of the Seoul Metropolis. [in Korean]