

서울여자대학교 옥상녹화 지역의 식물 종 증감 및 토양환경 특성 변화*

이상진¹⁾ · 박관수¹⁾ · 이동근²⁾ · 이은희³⁾ · 장성원⁴⁾ · 김명희⁵⁾
길승호²⁾ · 이항구¹⁾ · 장관우¹⁾ · 박범환¹⁾ · 윤준영¹⁾ · 권오정⁶⁾

¹⁾ 충남대학교 산림자원학과 · ²⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부 · ³⁾ 서울여자대학교 환경생명과학부
⁴⁾ 에코앤바이오(주) · ⁵⁾ 중부대학교 환경조경학과 · ⁶⁾ 동국대학교 바이오환경과학과

A Study on the Changes of Plant Species and Soil Environmental Characteristics on Green Roofs at Seoul Women's University*

Lee, Sang-Jin¹⁾ · Park, Gwan-Soo¹⁾ · Lee, Dong-Kun²⁾ · Lee, Eun-Heui³⁾
Jang, Seong-Wan⁴⁾ · Kim Myeoung-Hee⁵⁾ · Kil, Sung-Ho²⁾ · Lee, Hang-Goo¹⁾
Jang, Kwan-Woo¹⁾ · Park, Beom-Hwan¹⁾ · Yoon, Jun-Young¹⁾ and Kwon, Oh-Jung⁶⁾

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

²⁾ Department of Landscape Architecture, Seoul National University,

³⁾ Division of Environmental and Life Science, Seoul Women's University, ⁴⁾ Eco & Bio Corporation,

⁵⁾ Department of Landscape Architecture, Joongbu University,

⁶⁾ Department of Biological and Environmental Science, Dongguk University.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the changes of plant species and soil physicochemical properties on green roofs established at Seoul Women's University in 2005, 2006 and 2007. The plant species and soil properties were investigated in 2013. The areas of green roof sites ranged 90 ~ 100m². There were floras of vascular plants of 12 families, 20 genera and 22 species in the 2005 site, 24 families, 37 genera and 38 species in the 2006 site, 14 families, 27 genera and 31 species

* 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 : 6 December, 2013. **Revised** : 27 December, 2013. **Accepted** : 25 December, 2013.

in the 2007 site. The total number of plant species decreased in the 2005 and 2006 sites and increased in the 2007 site since established. High proportion of dispersal type was barochory in the 2005 and 2006 site, and autochory in the 2007 site. And the proportion of the compositae family was high in the introduced plants over the sites for the all study sites. Average pH and organic matter concentration of green roof soil were ranged from 5.25 to 5.96 and 7.17 to 8.96% in study sites. The organic matter concentration and pH of green roof soil were lower in 2013 than in the three establishment years. Carbon concentration of green roof soil in the three study sites were ranged from 4.16 to 5.30% and total soil carbon in 10cm depth were ranged form 1.57 to 1.98kg/m².

Key Words : *Green roofs, Carbon content, Total soil carbon, Green roof soil.*

I. 서 론

최근 지구온난화와 도시 환경문제 등으로 인해 대도시를 중심으로 도시녹화에 대한 관심이 커지고 있는 실정이다. 하지만 도심 과밀화 현상과 지가 상승 등의 이유로 도심 내 녹지 공간 확보가 어려우며, 특히 고층 건물이 밀집되어 있는 도시 중심부의 경우 녹지 공간 확보의 어려움은 매우 심각한 실정이다. 서울시의 경우 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, 2007).

도심 내 자연적인 녹지공간인 도시숲은 개발과 전용 등으로 그 면적이 점점 감소하고 있는 상황에서 옥상녹화는 인공구조물로 인하여 감소된 녹지를 옥상에 보상한다는 개념으로 도시녹화의 새로운 대안으로 부각되어져 왔다(Lee *et al.*, 2005). 하지만 자연 상태의 생육 환경 조건과 많은 차이가 있어 식물의 정상적인 생육에 한계적 상황이 발생하기 마련이다(Lee and Moon, 1999). 즉, 옥상은 강한 바람,

강한 햇빛, 그리고 이로 인해 발생하는 토양의 건조 등 식물생육에 매우 열악한 조건을 가지고 있다. 자연지반에서 생육이 양호한 식물종 일지라도 옥상녹화의 경우 장기적으로는 계획 당시의 기대치만큼 생육이 유지되기 어렵거나 생육이 불가능할 수도 있다. 또한 식재된 식물이 월동 후 생육이 급격히 저하되거나 건조피해를 받는 등 인공지반이라는 특수한 환경 조건 때문에 식재식물이 고사하는 등의 문제점이 종종 발생한다(Jang and Lee, 2011). 그 밖에도 초기 식재 수종 이외의 외부 이입종에 의한 출현종의 변화가 발생하기 때문에 이에 대한 적절한 관리와 지속적인 모니터링이 요구된다.

도시 내 수목, 초본 및 토양으로 이루어지는 도시녹지는 지구온난화의 주요 원인인 이산화탄소를 흡수하고 고정함으로써 대기 탄소농도를 저감할 수 있는 여건을 갖추고 있다(Korea Environment Institute, 2007). 특히 옥상녹화의 경우 기존 산림생태계와는 달리 새로운 탄소흡수원이라는 특수한 기능을 가지고 있지만 이에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

본 연구는 2005년, 2006년, 그리고 2007년에 서울여자대학교 행정관에 조성된 옥상녹지역을 대상으로 현존 식물 종과 식재 당시의 식

물 중을 비교하고, 옥상녹화토양의 이화학적 특성의 변화, 그리고 녹화 조성에 의한 토양 내 탄소고정량을 분석하여 향후 옥상녹화지역에 대한 효율적인 조성 및 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 실시되었다.

II. 연구의 내용 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구는 서울특별시 노원구 화랑로 621번지에 위치한 서울여자대학교 행정관 건물 옥상녹화지역을 대상으로 실시되었다. 본 조사는 조성연도(2005년, 2006년 그리고 2007년도)가 각기 다른 3곳의 대상지에서 실시되었으며, 그 면적은 각각 100m², 100m² 그리고 90m²이었다. 토심은 3개의 조사구 모두에서 10cm의 저토심·관리조방형으로 조성되었다.

시공 방법은 50cm×50cm 모듈을 사용하여, E사에서 개발한 인공지반녹화용 경량토를 식재기반재로 사용하였다. 식재기반재의 주성분은 펄라이트와 버미큘라이트, 코코피트 그리고 부엽토(6 : 2 : 1 : 1)로 구성되었다(Cho, 2008; Jang, 2010).

2. 조사 및 분석방법

현장조사는 2013년도 9월에 이루어졌으며, 출현 식물과 옥상녹화토양의 이화학적 특성 분석을 위한 시료를 채취하였다.

1) 식생 조사 및 분석

출현 식물의 동정 및 분류는 조사 현장에서 실시하였으며, Lee(2003), Lee(2006) 도감을 기준으로 동정 및 분류를 실시하였다. 귀화식물의 경우 Park(2009)의 도감을 참고하였다. 관속식물 목록은 Engler의 관속식물분류체계(Melchior, 1964)에 따라 작성하였으며, 속 이하의 계급은 알파벳(alphabet)순으로 나열하고 학명과 국명은 국가표준식물목록에 준하여 작성하였다. 귀

화식물은 대상지에서 출현하는 총 식물 종수에 대한 귀화식물의 총 종수의 비율을 산정하여(Numata, 1975) 귀화율을 산출하였다. 조사지의 경우 조경공간이라는 특성상 대상지마다 식재된 식물의 종수가 다르기 때문에 귀화율 산출에 필요한 총 종수 산정 시 옥상녹화 이후의 변화 상황만을 고려하기 위하여 식재종은 제외하고 이입종만을 대상으로 실시하였다.

2) 토양 특성 조사 및 분석

각 조사구에서 토양 단면 조사 방법을 활용하여 옥상녹화토양의 토심을 확인한 후 이화학적 특성 및 탄소량 추정을 위해 총 27개 지점에서 시료를 채취하였다. 이화학적 특성 중 유기물 함량은 Tyurin법으로 분석하였고, pH 분석은 1 : 5법을 활용하였다. 전질소 함량 분석은 Kjeldahl법, 유효인산 분석은 Lancaster법을 활용하였고, 치환성 양이온은 EDTA 적정법을 활용하였다(National Institute of Agricultural Science and Technology, 2000).

옥상녹화토양 내 탄소함량(%)은 건식연소법으로 측정된 후 용적밀도(가비중)를 곱하여 단위면적(1m²)당 10cm 깊이에서의 탄소량(kg/m²)을 산출(Korea Forest Research Institute, 2011)하였으며, 이때 2mm 이상의 석력은 존재하지 않아 반영하지 않았다. 또한 옥상녹화토양의 변화 양상을 분석하기 위하여 조성될 당시 옥상녹화토양의 이화학적 특성은 선행 연구의 자료를 일부 인용하여 비교하였다(Cho, 2008; Jang, 2010).

III. 결과 및 고찰

1. 식생 현황 분석

조사대상지에서 전체 출현종은 2005년에 조성된 지역에서는 12과 20속 22종, 2006년에 조성된 지역에서는 24과 37속 38종 그리고 2007년에 조성된 지역에서는 14과 27속 31종으로

Table 1. The number of species in the study sites.

Classifi- cation	Established in 2005				Established in 2006				Established in 2007			
	Planted species in 2005	Result of investigation in 2013			Planted species in 2006	Result of investigation in 2013			Planted species in 2007	Result of investigation in 2013		
		Remained planted species	Introduce d species	Total		Remained planted species	Introduce d species	Total		Remained planted species	Introduce d species	Total
Family	25	4	9	12	24	8	17	24	9	3	12	14
Genus	62	5	15	20	49	9	28	37	16	4	23	27
Species	96	7	15	22	59	9	29	38	20	7	24	31
Trees	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	1	1
Shrubs	7	-	-	-	11	4	1	5	2	-	-	-
Vines	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-
Herbs	89	7	15	22	48	5	25	30	18	7	23	30

나타났다(Table 1; Appendix 1). 그 중 옥상녹화 조성 당시 식재되었던 식물종은 2005년에 조성된 지역에서 7종, 2006년에 조성된 지역에서 9종, 그리고 2007년에 조성된 지역에서 7종이 확인되었다. 옥상녹화 후 시간이 경과함에 따라 식물종수의 증감이 관찰되었으며, 상대적으로 많은 종이 식재된 2005년, 2006년 대상지는 감소하였고, 적은 종이 식재된 2007년 대상지에서는 증가하였다. 식재 식물종의 감소는 모든 대상지에서 관찰되었으며, 감소폭은 조성년도가 오래될수록 점차 커져 현재 2005년, 2006년, 그리고 2007년 대상지에서의 초기 식재종은 7.3%, 15.3%, 그리고 35.0%가 남아있는 것으로 나타났다.

이입종수의 경우 일정한 경향을 보이지는 않았으나, 현재의 모든 출현종에 대한 비중이 각 대상지별로 68.2%, 76.3%, 77.4%로 나타나 조성년도가 오래될수록 이입종의 비중은 낮게 나타났다. 식물종수의 이러한 변화는 시간이 경과함에 따라 옥상환경에 적응하지 못한 종은 도태되고 상대적으로 유리한 종(두메부추, 돌나물, 망초 등)이 우점하여 발생한 현상으로 판단된다.

산포형은 2005년과 2006년에 조성된 대상지에서 중력산포형이 각각 33.3%, 34.5%로 가장

많이 출현하였으며, 2007년에 조성된 대상지에서는 자동산포형(33.3%)이 가장 많이 출현하였다. 이입종은 국화과에서 가장 많은 종이 출현(2005년 대상지 26.7%, 2006년 대상지 20.7%, 2007년 대상지 25.0%)하였으며, 국화과, 콩과, 대극과, 벼과에서의 전체 출현종이 과반을 차지하였다(2005년 대상지 66.7%, 2006년 대상지 51.7%, 2007년 대상지 62.5%). 이입종의 대부분은 초본이었으며 목본형 이입종은 2006년에 조성된 대상지에서는 아까시나무, 사시나무, 붉나무, 담쟁이덩굴이 나타났고, 2007년에 조성된 대상지에서는 사시나무가 확인되었다.

귀화식물은 2005년에 조성된 대상지에서 5종, 2006년에 조성된 대상지에서 8종, 그리고 2007년에 조성된 대상지에서는 7종이 출현하여 특별한 경향을 보이지는 않았다(Table 2). 귀화율은 2005년에 조성된 대상지에서 33.3%, 2006년에 조성된 대상지에서 27.6%, 그리고 2007년에 조성된 대상지에서 29.2%였으며, 공통적으로 출현한 귀화식물은 개망초, 달맞이꽃, 망초, 미국쑥부쟁이, 애기땅빈대로 총 5종이 나타났다. 환경부 지정 생태계교란 종은 모든 대상지에서 공통적으로 미국쑥부쟁이 1종이 확인되었다.

Table 2. The number of introduced and naturalized species.

Species	Established in 2005	Established in 2006	Established in 2007
Trees	-	2 (1)	1
Shrubs	-	1	-
Vines	-	1	-
Herbs	15 (5)	25 (7)	23 (7)
Naturalized plant ratio(%)	33.3	27.6	29.2

() : The number of naturalized plants.

2. 옥상녹화토양의 화학적 특성 분석

본 연구 대상지 옥상녹화토양의 평균 pH값은 5.25~5.96의 범위로 조사되었다(Table 3). 이는 Cho(2008)와 Jang(2010)이 보고한 시공 당시 옥상녹화토양의 pH 6.6에 비하여 다소 낮은 값을 보이고 있다. 이와 같은 결과는 옥상녹화지의 경우 자연적인 강우에 의한 약산의 지속적인 유입과 직접적인 햇빛 노출에 의한 유기물의 분해로 발생한 유기산 때문으로 판단된다.

본 조사지의 유기물 함량은 7.17~8.96%의 범위로 시공 당시 옥상녹화토양의 유기물함량 12.4%와 비교할 때 감소한 것으로 나타났으며, 이 같은 결과 또한 자연 강우에 의한 유기물의 유실과 유기물 분해 등에 의한 것으로 판단된다.

토양 내 유기물은 전질소의 대부분을 공급하고 유효인산의 50~60%를 공급한다고 알려져 있다(Miller and Donahue, 1990). 본 조사지 전질소 함량의 경우 0.2~0.3%의 범위를 보여

조경설계기준(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)에서 제시하고 있는 전질소함량 중 상급(0.12% 이상)에 해당하는 것으로 나타났다. 이는 시공 당시 옥상녹화토양 자체의 높은 전질소 함량에 기인한 것으로 판단되며 대부분의 식재기반재가 갖는 보편적인 특징으로 사료된다. 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%)도 조경설계기준의 상급에 해당하는 범위를 보이는 것으로 나타났다(Lee *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2013).

유효인산 함량은 평균 33.33~371.18mg/kg의 범위를 보이는 것으로 나타났다. 이는 2005년에 조성된 지역의 경우 조경설계 기준(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)에서 제시하고 있는 유효인산 함량 평가등급 중 상급(200mg/kg 이상)에 해당하는 것이며, 다른

Table 3. Chemical characteristics of soil in the study sites.

Site	pH (1 : 5, w/w)	Total N (%)	K ⁺ (cmol ⁺ /kg)	Ca ²⁺ (cmol ⁺ /kg)	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	O.M. (%)	C.E.C. (cmol ⁺ /kg)
Original soil*	6.6	0.58	5.8	13.2	-	12.4	31.9
Established in 2005	5.96	0.30	0.33	9.45	371.18	8.41	17.37
Established in 2006	5.63	0.20	0.36	5.63	80.43	7.17	15.80
Established in 2007	5.25	0.28	0.35	4.92	33.33	8.96	18.16

* Source : Cho(2008), Jang(2010).

Table 4. Average carbon storages of soil in the study sites.

Site	Soil depth (cm)	Bulk density (g/cm ³)	Water content (%)	Carbon concentration (%)	Total soil carbon (kg/1m×1m×depth)
Established in 2005	0~10	0.39	40.3	5.08	1.98
Established in 2006	0~10	0.38	35.4	4.16	1.57
Established in 2007	0~10	0.37	40.3	5.20	1.92

두 지역의 경우에는 하급(100mg/kg 이하) 기준에 해당하는 수치를 보이고 있다. 유효인산의 경우 선행연구의 데이터가 존재하지 않아 비교가 불가능하였다.

본 연구 옥상녹화토양의 양이온치환용량은 15.80~18.16cmol⁺/kg으로 시공 당시의 양이온치환용량 보다 다소 감소한 것으로 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 양이온치환용량에 영향을 주는 유기물의 감소로 인한 것으로 판단된다.

본 연구 옥상녹화토양의 치환성 Ca²⁺의 평균 함량은 4.92~9.45cmol⁺/kg으로 Cho(2008)와 Jang(2010)이 보고한 시공 당시의 Ca²⁺ 함량 13.2cmol⁺/kg 보다 낮은 함량을 보였으나 조경설계기준(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)에서 제시하고 있는 Ca²⁺ 함량의 상급(5.0cmol⁺/kg 이상) 기준과 유사한 수준인 것으로 나타났다.

옥상녹화토양 내 K⁺의 평균 함량은 0.33~0.36cmol⁺/kg으로 시공 당시 옥상녹화토양의 K⁺ 함량 5.8cmol⁺/kg 비해서 매우 낮은 함량을 보이고 있다. 이는 조경설계기준(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)에서 제시하고 있는 K⁺ 함량의 하급(0.6cmol⁺/kg 미만) 기준에 해당하며 적절한 시비 관리가 필요할 것으로 판단된다.

3. 옥상녹화토양 내 탄소량 분석

본 연구의 옥상녹화토양 내 탄소함량(%) 및 탄소량(kg/m²)을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 옥상녹화토양의 평균 탄소함량은 4.16~

5.20%의 범위로 조사되었다. 본 연구에서의 탄소함량은 Lee *et al.*(2011)와 Lee *et al.*(2013)이 보고한 대전광역시와 동국대학교 옥상녹화지역에서의 토양 중 평균 탄소함량과 유사한 값을 보이는 것으로 나타났다. 또한, Lee 등(2010)이 보고한 우리나라 전체 산림토양(0~10cm 깊이)의 평균 탄소함량 4.10%와 유사한 값을 보였다.

본 조사 대상지의 토심 10cm 깊이에서 옥상녹화토양의 탄소량은 1.57kg/m²~1.98kg/m²로 나타났다. Lee 등(2010)은 우리나라 전체 산림토양(0~10cm 깊이)에서의 평균 탄소량은 2.26kg/m²로 본 연구의 탄소량과 유사하다고 보고하고 있다. 결과적으로 적합한 탄소저장원이 없는 우리나라에서 옥상녹화는 새로운 탄소고정원(carbon pool)으로서의 큰 역할을 담당할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

대상지별 식물종수는 조성이후 천이가 이루어지면서 식물종수의 증감이 발생하여 현재에는 2005년 식재지에서 22종, 2006년 식재지에서 38종, 그리고 2007년 식재지에서 31종의 식물이 관찰되었다. 조성년도가 오래될수록 초기 식재종과 이입종의 비율은 낮게 나타났으며 이입종은 대부분 초본으로 국화과에서 가장 많은 종이 출현하였다.

본 조사 옥상녹화토양의 평균 pH는 5.25~5.96로 나타나 시공 당시의 옥상녹화토양 pH 6.6보다 낮은 값을 보였다. 이는 지속적인 강

우와 유기물 분해로 인한 유기산의 발생 때문으로 판단된다. 그리고 옥상녹화토양의 유기물 함량, 전질소, 유효인산, 그리고 치환성양이온 등 대부분의 양분의 경우도 시공 당시 옥상녹화토양의 함량보다 낮아졌으며, 이 또한 강우에 의한 용탈과 유기물 분해 등으로 인한 결과로 판단된다.

옥상녹화토양 내 탄소함량(%)은 평균 4.16~5.20의 범위에 분포하였으며, 탄소량은 10cm 토심에서 1.57kg/m²~1.98kg/m²로 나타났다. 이는 우리나라의 산림토양에서 수십년에 걸쳐 이루어지는 탄소고정량과 비슷한 수준인 것으로 나타났다. 전술한 바와 같이 녹지 공간 확보가 어려운 도심에서 옥상녹화를 통한 탄소저감 효과는 매우 클 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

- Cho, E. J. 2008. A Study on Selection of Plants for Extensive Rooftop Greening. Master dissertation, Seoul Women's University, Department of Horticultural Science. (in Korean with English summary)
- Jang, H. K. 2010. A study of planting models for extensive green roof system with plant growth characteristics. Ph.D dissertation, Seoul Women's University, Department of Horticultural Science. (in Korean with English summary)
- Jang, H. K. and Lee, E. H. 2011. Covering Types and Covering Ratio Changes of Planted Species on an Extensive Green Roof. *Kor. J. Env. Eco.* 25(3) : 404-411. (in Korean)
- Korea Environment Institute. 2007. Impacts of Green spaces on air Quality. pp. 24-36. (in Korean)
- Korea Forest Research Institute. 2011. Research and Analysis of Biomass and Soil Carbon in Urban Forest. pp. 49. (in Korean)
- Lee, C. B. 2003. Korean illustrated plant book. Seoul : Hyangmoonsa. (in Korean)
- Lee, E. H. · Kang, K. Y. · Shin, S. H. · Nam, M. A. and Lee, K. W. 2005. Soil Mixture and Depths Selection for Mat-Type Rooftop Greening. *J. Korean Env. Res. Tech.* 8(4) : 12-22. (in Korean with English summary)
- Lee, E. Y. and Moon, S. K. 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, S. J. · Park, G. S. · Lee, D. K. · Jang, S. W. · Park, B. H. · Lee, H. G. · Yun, J. Y. · Jang, K. W. · Lee, S. W. · Lee, H. Y. · Kwon, O. J. · Lee, S. M. and Kil, S. H. 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, S. J. · Park, G. S. · Kim, D. I. · Lee, D. K. · Kil, S. H. · Jang, S. W. · Park, B. H. · Yun, J. Y. · Jang, K. W. · Lee, H. Y. and Kwon, O. J. 2013. 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, S. W. · Byun, J. K. and Kim, S. H. 2010. Carbon storage in Forest Floors and Mineral Soils, Korea. The Annual meeting of Korean For. Soc. pp. 230-232. (in Korean)
- Lee, Y. N. 2006. A new Korean illustrated plant book. Seoul : Gyohaksa. (in Korean)
- Melchior, H. 1964. A Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. Gebruder Bertraeger, Berlin. Band II.

- Miller, H. G. and Donahue, R. L. 1990. Soils. An introduction to soils and plant growth. Prentice-Hall. N. J. pp. 768.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2013. Criteria for Landscape Design. (in Korean)
- National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Analysis method of Soil and Vegetation (in Korean)
- Numata. 1975. Naturalized Plants. Japanese books. Tokyo, Japan, pp.160
- Park, S. H. 2009. Naturalized plant in Korea. Seoul : Iljogak. (in Korean)
- Seoul Metropolitan Government. 2007. Manual of Management and construction Green roof system. pp. 1-24. (in Korean)

Appendix 1. The list of vascular plants investigated in the study areas.

Family name	Scientific Name	Korean Name	Established in 2005	Established in 2006	Established in 2007	
Salicaceae	<i>Populus davidiana</i> Dode	사시나무		◎	◎	
Polygonaceae	<i>Persicaria longiseta</i> (Bruijn) Kitag.	개여뀌		◎		
Crassulaceae	<i>Sedum takesimense</i> Nakai	섬기린초	○		○	
	<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge	돌나물	○		○	
	<i>Sedum middendorffianum</i> Maxim.	에기기린초			○	
	<i>Sedum kamtschaticum</i> Fisch. & Mey.	기린초	○	○	○	
	<i>Hylotelephium erythrostictum</i> (Miq.) H.Ohba	괘의비름	○			
Saxifragaceae	<i>Hydrangea paniculata</i> Siebold	나무수국		○		
Rosaceae	<i>Spiraea microgyna</i> Nakai	쭈조팝나무		○		
Leguminosae	<i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb.	얼치기완두	◎			
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무		●		
	<i>Kummerowia striata</i> (Thunb.) Schindl.	매듭풀	◎	◎	◎	
	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	돌콩		◎		
	<i>Dunbaria villosa</i> (Thunb.) Makino	여우팔			◎	
	<i>Chamaecrista nomame</i> (Siebold) H.Ohashi	차풀			◎	
	<i>Amphicarpaea bracteata</i> subsp. <i>edgeworthii</i> (Benth.) H.Ohashi	새콩			◎	
	<i>Oxalis stricta</i> L.	선괘이밥	◎	◎	◎	
Euphorbiaceae	<i>Oxalis corniculata</i> L.	괘이밥		◎	◎	
	<i>Phyllanthus ussuriensis</i> Rupr. & Maxim.	여우주머니		◎	◎	
	<i>Euphorbia supina</i> Raf.	에기땅빈대	●	●	●	
Anacardiaceae	<i>Acalypha australis</i> L.	깨풀	◎	◎	◎	
	<i>Rhus javanica</i> L.	붉나무		◎		
Vitaceae	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.	담쟁이덩굴		◎		
Tiliaceae	<i>Triumfetta japonica</i> Makino	고슴도치풀		◎		
Violaceae	<i>Viola mandshurica</i> W.Becker	제비꽃		◎		
Thymelaeaceae	<i>Daphne genkwa</i> Siebold & Zucc.	팔꽃나무		○		
Lythraceae	<i>Lythrum salicaria</i> L.	털부처꽃		○		
Onagraceae	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃	●	●	●	
Oleaceae	<i>Syringa pubescens</i> subsp. <i>patula</i> 'Miss Kim'	미스김라일락		○		
Asclepiadaceae	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	박주가리	◎	◎	◎	
Solanaceae	<i>Solanum nigrum</i> L.	까마중			◎	
Scrophulariaceae	<i>Veronica linariifolia</i> Pall. ex Link	꼬리풀		○		
Acanthaceae	<i>Justicia procumbens</i> L.	쥐꼬리망초		◎	◎	
Compositae	<i>Lactuca indica</i> L.	왕고들빼기		◎		
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초	●	●	●	
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물		●	●	
	<i>Dendranthema boreale</i> (Makino) Ling ex Kitam.	산국	○			
	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.	큰금계국			◎	
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	망초	●	●	●	
	<i>Chrysanthemum zawadskii</i> subsp. <i>latilobum</i> (Maxim.) Kitag.	구절초			○	
	<i>Bidens frondosa</i> L.	미국가막사리	◎			
	<i>Aster pilosus</i> Willd.	미국쭈부쟁이	●	●	●	
	<i>Artemisia princeps</i> Pamp.	쭈		◎	◎	
	Gramineae	<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv.	강아지풀	◎	◎	◎
		<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx.	미국개기장		●	
		<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koel.	바랭이	◎	◎	◎
	Cyperaceae	<i>Cyperus amuricus</i> Maxim.	방동사니	◎	◎	◎
	Commelinaceae	<i>Commelina communis</i> L.	닭의장풀	◎	◎	◎
Liliaceae	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i> f. <i>variegatum</i> Y.N.Lee	무늬동굴레		○	○	
	<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L.	원추리		○		
	<i>Allium senescens</i> L.	두메부추	○	◎	○	
Iridaceae	<i>Belamcanda chinensis</i> (L.) DC.	범부채	○			

○, planted species; ◎, introduced species; ●, naturalized species.