

# 옥상녹화 후 인공토양의 이화학적 특성 변화

안원용\* · 김동엽\*\*

\*성균관대학교 대학원 조경학과 · \*\*성균관대학교 조경학과

## Changes in the Physiochemical Characteristics of Artificial Soil after Rooftop Planting

An, Won-Yong\* · Kim, Dong-Yeob\*\*

\*Graduate School, Sunhgkyunkwan University

\*\*Dept. of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

The purpose of this study is to provide the fundamental material and information for the plant maintenance after rooftop planting through physiochemical characteristics. The characteristics of artificial soils after rooftop planting from 1993 to 1999 were investigated. Fourteen investigation areas were selected from 4 cities(2 areas selected by each year).

The analysis of the circumstances of the areas, the physical characteristics, and the chemical characteristics of the soil were conducted. The artificial soil pH ranged 5.26~7.40 showing that after construction the soil pH tended to decrease. The soil bulk density of the site was lowest in 1999.  $0.15\text{g}/\text{cm}^3$ , and used to increase toward 1993.

We found the fact that the soil bulk density increased gradually after rooftop application. The coefficients of permeability of the soils ranged from 0.016 to  $0.052\text{cm}/\text{sec}$ , which seemed to be in good permeability level. The artificial soils had relatively high water moisture capacity of 62.69~71.36%. The soil organic matter content of the artificial soils ranged from 0.43 to 1.34%. The exchangeable cation concentration in the artificial soil ranged, Na  $2.36\sim 4.71\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , Mg  $0.88\sim 2.84\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , K  $2.97\sim 9.61\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , and Ca  $9.39\sim 28.23\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

The amount of total N ranged from 0.003 to 0.286% in study sites. Soil chemical properties varied year to year and showed little trend

The research results showed that some characteristics of the artificial soil were changed after rooftop planting, i.e., soil pH and soil bulk density. Soil bulk density had a negative relationship with the coefficient of permeability, showing that the drainage condition might be limited after some period. This study suggests that a diversity of the research in the changes of the plant growth basis on the areas after

construction.

*Key Words* : artificial soil, soil bulk density, soil pH, soil organic matter, coefficient of permeability

## I. 서론

도시 녹지의 감소억제와 새로운 녹지의 확보는 도시 생태계의 건강성과 도시기후의 조절이라는 측면에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 그러나 현대의 도시는 이미 토지이용이 그 한계를 넘어서고 있으며 더 이상의 녹지를 확보하는 것은 매우 어려운 상황이다. 서울시의 경우 녹지면적이 서울시 전체 면적인 605.52km<sup>2</sup> 중 26.7%에 불과하고 또한 이들 대부분이 도시 외곽에 분포되어 있어 도시 내 녹지는 매우 적은 편이다. 따라서 새로운 녹지의 확충방안에 관한 연구가 필요하며, 그 대안으로 제시된 것이 도시의 불용 공간으로 방치되고 있는 인공지반 위에 녹화를 하는 인공지반 녹화이다. 이미 많은 건축물의 옥상과 지하주차장 상부가 녹화되었고, 지속적으로 인공지반녹화가 이루어지고 있다. 인공지반 녹화는 녹지면적의 확대, 경관의 개선, 간이운동공간, 휴식과 산책공간 등의 조성으로 인한 옥외공간의 다양화, 옥상단열에 의한 에너지절약 등 많은 이점이 있다. 인공지반녹화에 있어서 가장 중요한 것은 건물에 미치는 하중과 식물의 생육에 관한 것이라고 할 수 있다. 특히 건물의 하중은 매우 중요한 인자로 인공지반녹화 후 건물의 안정성에 절대적인 영향을 준다. 또한 식물은 인공지반 위에 조성되어 있기 때문에 지하로부터 수분을 공급받을 수 없고, 구조물의 높은 열전도율로 토양온도 변동폭이 크며, 그 외 식물의 생육을 위한 환경조건이 일반 자연지역보다 매우 불량하다. 따라서 충분한 토심의 확보와 불량한 환경에서도 식물생육이 유지되어야 할 과제를 안고 있다. 최근 인공지반 녹화에 대한 관심이 높아지면서 인공토양의 개발, 시공 방법 및 적정 식물의 선정 등에 대한 연구가 이루어지고 있다(옥상녹화연구회, 2000). 그러나 인공지반녹화 후 인공토양의 식물생육 기반의 변화에 대한 보고는 거의 알려져 있지 않으며 이에 대한 연구는 옥상녹화의 활성화를 위하여 반드시 필요하다.

본 연구는 옥상녹화 조성 후 시간의 경과에 따른 인공토양의 특성변화에 대한 연구를 통해 앞으로 옥상녹화 조성 후 식물 관리를 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재료

본 연구는 옥상녹화 조성 후 인공토양의 이화학적 특성 변화의 정도를 파악하기 위해 1993년 1999년까지 시공된 지역을 대상으로 서울, 인천, 수원, 대전에서 각 연도별 2개소씩 총 14개의 조사지역을 선정하였다. 조사지역의 선택은 시공된 인공토양 종류를 통일시키기 위해 (주)삼손에서 공급하는 파라소 토양으로 시공된 옥상녹화 지역을 위주로 조사하였다. 파라소 토양의 특성은 공극율이 15% 이상, 유효수분율 40% 이상, 포화흡수시중량 600kg/m<sup>3</sup> 이하, 단위용적중량 105 ± 15 kg/m<sup>3</sup>이다(주)삼손, 2000)

### 2. 실험방법

#### 1) 조사기간

조사지역 주변환경과 인공토양의 특성파악을 위해 2000년 8월에 조사를 실시하였다.

#### 2) 주변환경 조사

광도는 오전 10시에서 오후 3시 사이에 광도계(INS Inc., Dx-100, 1994)를 이용하여 지상 50cm 높이에서 1분간 10회 반복 측정하여 평균값을 사용하였다. 풍속은 일반지역보다 옥상지역이 높기 때문에 식물생육에 영향을 주는 요소로 풍속계(AZ Instrument, DCFM8901, 1985)를 이용하여 5분간 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였다. 옥상녹화 지역의 토양 온도

는 토양온도계를 사용하여 깊이 25cm에서 측정하였다.

### 3) 토양의 물리적 특성 조사 및 분석

인공토양의 답압 정도를 파악하기 위해 표토를 제거하고 5cm 깊이에서 토양경도계(TAKEMURA Inc., SHM-1, 1990)를 사용하여 10회 반복 측정하여 그 평균값을 사용하였다. 그리고 식재 된 모든 종을 기록하였다. 토양시료는 표토를 제거하고 육성층만을 채취하였으며 채취한 시료는 실험실에 운반하여 풍건한 후 분석에 사용하였다. 또한 포화투수계수의 측정을 위해 토양시료채취기를 이용하여 토양시료를 채취하였다. 포화투수계수는 정수위투수시험으로 측정하였다. 토양의 용적밀도는 건조중량을 측정하고 그 중량을 공극을 포함한 토양의 전체 용적으로 나누어 계산하였다.

### 4) 토양의 화학적 특성 분석

유기물함량 분석은 Walkely-Black methods(농업 기술연구원, 1988)로 측정하였다. 포장용수량 측정을 위해 채취된 토양시료를 물에 침적시켜 완전 포화시키고 증력수를 제외한 무게를 측정한 후 건조기에서 105℃로 48시간 건조시켜 무게를 측정하였다. 토양 pH는 육성층(20~40)cm에서 채취한 시료를 풍건하여 건조된 토양시료 5g에 증류수 25ml를 가하고 30분 후 pH meter(Orion Inc., ORION 720A, 1990)로 측정하였다.

치환성양이온은 건조한 인공토양 5g을 1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 수용액 100ml와 함께 250ml 삼각플라스크에 넣고 30분간 진탕한 다음 여과지로 여과하여 유도결합발광광도계(Shimatzu, ICP-1000IV, 1996)로 측정하였다.

전질소함량은 채취된 시료를 토양시료 1g을 진한황산 12ml와 함께 켈달플라스크에 넣고 황산염 혼합분말(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:CuSO<sub>4</sub> = 9:1)과 아연분말을 넣은 다음 시료가 무색이 될 때까지 가열분해하고, Auto Kjeldahl(Tecator AB, Kjeltac Auto 1035, 1996)로 분석하였다.

### 5) 토양특성의 경시적 변화 분석

옥상녹화 조성 후 인공토양 특성의 경시적 변화를 파악하기 위해 Pearson의 상관분석을 시행하고 상관

관계를 보이는 변수들에 대해 회귀분석을 수행하였다. 통계분석은 SAS Ver. 6.12(SAS Institute., 1999) 프로그램을 이용하였다

## III. 결과 및 고찰

### 1. 일반현황

기온, 강수량, 풍속, 일조량 등의 지역간 차이는 거의 나타나지 않았으며 4 개 지역 모두 동일한 기상조건을 보였다(기상청, 2000).

Table 1에는 조사지역의 건물층 수, 광도, 토심, 표토 깊이, 풍속 및 토양온도를 나타내었다. 광도는 조사지역에서 큰 차이를 보이지 않았다. 토심은 30~60cm의 분포를 보였으며 표토의 경우 대개 2~9cm의 범위를 보였다. 표토의 종류로는 일반 자연토양을 사용한 지역이 대부분이었으며 표토를 사용하지 않은 지역과 창동 농산물유통센터의 경우 지표면을 목편으로 덮어준 것이 특징이었다. 목편이 덮여있는 창동 농산물유통센터의 경우 다른 지역에 비하여 주변에서 유입되는 초분류가 비교적 적은 것으로 나타났다. 풍속은 0.44~1.75 m/sec의 범위를 보였다. 이 값은 일본 내 풍속의 평균값인 0.3m/sec보다 높은 편이었으며(지동환, 1998), 건물의 높이에 따라 편차를 보인 것으로 보인다. 자연토양에서 깊이 20cm의 토양온도는 8월 평균값(기상청, 2000)이 서울은 27.1℃, 인천 27.5℃, 수원 26.6℃, 대전 27.1℃이었고, 이 값은 대기 온도에 비하여 낮은 값이었다. 조사지역의 토양온도는 26.0~31.0℃의 범위를 보였고, 이 값은 대기온도에 비하여 약 1℃ 낮은 값이었다. 조사대상지의 주요 식재 수종은 단풍나무, 주목, 철쭉, 회양목 등이었다. 초분류의 경우 맥문동과 잔디를 위주로 식재 하였으나 의부로 부터 종의 유입으로 개망초, 엉겅퀴, 명이주, 달뿌리풀, 닭의장풀 등의 초분류도 출현하였다.

### 2. 옥상녹화지 인공토양의 이화학적 특성

#### 1) 인공토양의 물리적 특성

용적밀도는 0.15~0.28 g/cm<sup>3</sup>의 범위를 보였다(Figure 1 참조). 1999년도에 조성된 지역의 용적밀

Table 1. General descriptions of the study sites.

year	study sites	number of stairs	light intensity (Lux)	soil depth (cm)	top soil depth (cm)	wind speed (m/sec)	soil temperature (°C)
1993	Dugsung Women's Univ.	6	801	50	2	0.60	26.5
	Korea Investment Trust	12	687	60	2	0.98	27.0
1994	Daejun Sungmo Hospital	6	434	58	0	1.02	31.0
	Seoul Jungang Hospital	11	564	60	5	1.70	26.0
1995	Kuri City Hall	5	438	55	8	1.49	27.0
	Kwachon Citizen Hall	3	412	50	5	1.00	28.0
1996	Buchon LG Dep't Store	10	704	40	3	0.44	28.0
	Buchon Sosa-gu Hall	5	517	30	9	1.34	26.0
1997	Bundang Jesang Hospital	8	352	60	4	1.75	27.0
	Buchon City Hall	5	858	40	6	0.13	26.5
1998	Suwon St. Vincent Hospital	12	886	43	9	1.42	28.0
	Changdong Ag. & Marine Product Center	3	815	50	0	1.42	29.0
1999	Ilsan Lotte Dep'l. Store	8	780	60	8	0.77	27.0
	Bundang Culture Center	5	530	60	0	0.58	27.0

도가 0.15 g/cm<sup>3</sup>로 가장 낮은 것으로 조사되었으며, 1993년 조성된 지역은 비교적 높은 값을 보였다. 조사 대상지의 용적밀도는 전반적으로 기준값((주)삼손, 2000)인 0.105 g/cm<sup>3</sup>보다 높게 나타났다. 또한 시공 후 시간의 경과에 따라 용적밀도는 약간씩 높아지는 경향을 보이고 있어 인공토양의 배수력에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

토양 경도는 가장 높은 지역이 25 kg/cm<sup>2</sup>이었다. 가장 낮은 지역은 일산 롯데백화점으로 5 kg/cm<sup>2</sup>이었으며, 토양경도는 수분상태에 따라 많은 편차를 보였다.

포화투수계수는 집중 강우 시 배수에 영향을 주는 중요한 인자로서 일반 자연토양의 경우 포화투수계수는 1 10<sup>-4</sup> cm/sec 정도이며, 인공토양의 적정 포화투수계수는 10<sup>-3</sup> cm/sec 이상이 되면 최적이라고 할 수 있다(한국조경학회, 1999). 조사대상지의 포화투수계수는 0.016~0.052 cm/sec의 범위를 보이고있어 기준 값보다 높은 값으로 좋은 배수성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 또한 시공 시 파라소 토양의 포화투수계수는 0.127 cm/sec로 ((주)삼손, 2000) 시간이 경과하면서 배수성이 낮아지는 경향을 보였는데 이것은 자연침투에 따른 공극률의 감소 때문인 것으로 판단된다.

포장용수량은 1998년에 조성된 지역이 71.36%로 가장 높았는데, 목편으로 지표면이 피복 된 곳으로서 시공 후 거의 변화가 없던 것으로 판단된다. 가장 낮은

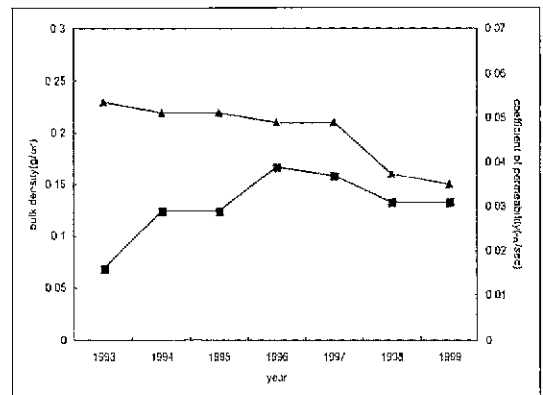


Figure 1 Changes of the coefficient of permeability and bulk density at the study sites

Legend. ▲, bulk density ■, coefficient of permeability

곳은 1993년에 조성된 지역에서 62.69%였다. 그러나 시공 후 시간의 경과에 따른 차이는 크지 않았다. 일반 자연토양에서 양질사토의 경우 포장용수량은 21.09%, 사질양토는 20.2%인 것에 비해(조백현 등, 1994) 조사대상지의 인공토양은 높은 수분보유능력을 가지고 있어 식물생육에 양호한 조건을 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 인공토양의 물리적 특성간의 상관분석에서 연도와 pH, 용적밀도와 투수계수 사이에 상관관계가 있는 것으로 분석되었다(Table 2 참조).

인공토양의 용적밀도는 포화투수계수와 관련이 있는

Table 2. The results of correlation analysis between physical characteristics in the study sites

	year	bulk density	field moisture capacity	coefficient of permeability
year	1.000			
bulk density	-.755 <sup>1)</sup>	1.000		
field moisture capacity	.338	-.185	1.000	
coefficient of permeability	.450	.381 <sup>1)</sup>	-.029	1.000

<sup>1)</sup>: 5% of significance level at 2 tailed tests

<sup>2)</sup>: 1% of significance level at 2 tailed tests

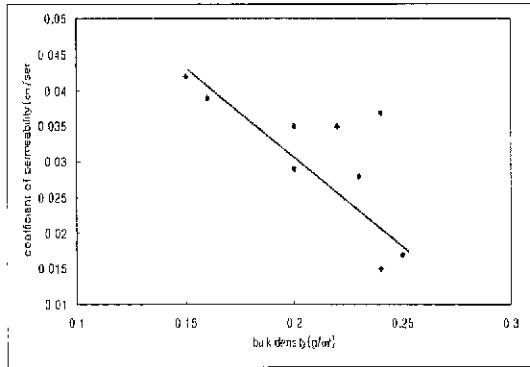


Figure 2. The relationship between soil permeability and soil bulk density at the study sites

것으로 보이며 용적밀도가 높을수록 포화투수계수가 낮아지는 경향을 보였다(Figure 2 참조).

$$Y = -0.192 X + 0.071 \quad (R^2=0.525) \quad (\text{식 1})$$

여기서, Y = 포화투수계수

X = 용적밀도

### 2) 인공토양의 화학적 특성

인공토양의 pH는 5.26~7.40의 분포를 보였으며, 1998년과 1999년에 시공된 지역이 전반적으로 높은 값을 보였고 1993년도 시공 지역은 낮은 값을 나타냈다 (Figure 3 참조). 일반적으로 식물생장에 적합한 pH 농도는 6.0~6.5이다 (한국조경학회, 1999). 조사대상지 중 1993년에 조성된 지역보다 1999년에 조성된 지역이 비교적 이 값에 근접하였으며, 시공 후 시간이 경과되면서 토양 pH가 낮아지는 경향을 보였다.

그리고 복토된 자연토양과 인공토양의 pH는 대부분 큰 차이를 보이지 않았다.

$$Y_1 = 0.360 X_1 - 719.050 \quad (R^2=0.866) \quad (\text{식 2})$$

여기서, Y<sub>1</sub> = 인공토양 pH

X<sub>1</sub> = 연도

$$Y_2 = 0.338 X_2 - 667.540 \quad (R^2=0.886) \quad (\text{식 3})$$

여기서, Y<sub>2</sub> = 자연토양 pH

X<sub>2</sub> = 연도

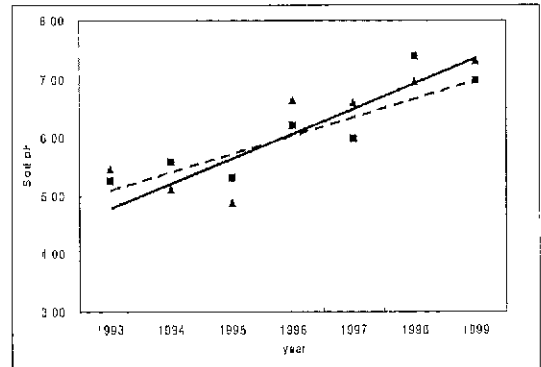


Figure 3. Changes in the soil pH through time at the study sites

Legend. ▲ artificial soil, ■ top soil

인공토양은 시공 시 유기물이 전혀 포함되지 않은 상태에서 시공된다. 그러나 조사대상지 인공토양의 유기물함량은 0.43~1.34%의 범위를 보였다(Table 3 참조). Table에서 괄호 안의 숫자는 표준편차이다. 이것은 식재중에 의한 낙엽의 분해산물과 여기에 주변에서 유입된 유기물이 더해진 것으로 판단된다. 또한 서울지역의 자연 토양의 유기물함량인 3.6~20.3%보다 (황인찬, 1997) 매우 적은 양으로 육상녹화 토양이 자연 토양에 비해 유기물함량이 매우 낮은 것을 알 수 있다.

유기물함량, 치환성양이온 (Na, Mg, K, Ca), 전 질소 함량을 Table 3에 나타냈다. 조사지역의 인공토양의 화학적 특성은 시간의 경과에 따른 차이가 뚜렷하지 않았다.

토양의 화학적 특성간에는 연도와 토양 pH, 연도와 Na 및 K, 유기물과 total-N 간에 상관관계가 있는

Table 3 Chemical characteristics of the artificial soil at the study sites

Year	Organic matter(%)	Total-N(%)	Na( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Mg( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	K( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Ca( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
1993	0.46 (0.26)	0.02 (0.09)	3.10 (0.83)	1.75 (1.19)	9.61 (5.52)	20.17 (13.15)
1994	0.36 (0.04)	0.05 (0.04)	2.36 (0.42)	1.79 (1.36)	6.59 (1.86)	26.48 (23.31)
1995	0.43 (0.12)	0.02 (0.01)	2.10 (0.42)	0.89 (0.22)	4.60 (1.70)	9.39 (3.30)
1996	0.61 (0.21)	0.03 (0.01)	3.42 (0.92)	2.48 (1.11)	5.21 (2.03)	28.23 (6.17)
1997	0.62 (0.22)	0.03 (0.01)	2.78 (0.59)	2.85 (1.65)	4.91 (2.04)	24.47 (9.63)
1998	0.17 (0.02)	0.01 (0.00)	3.45 (1.48)	1.46 (1.01)	2.97 (0.76)	17.70 (13.24)
1999	0.55 (0.26)	0.03 (0.01)	4.71 (1.93)	1.54 (0.63)	4.86 (2.15)	27.47 (13.08)

Table 4 The result of correlation analysis between soil chemical characteristics at the study sites

	year	organic matter	pH	Na	Mg	K	Ca	total-N
year	1.000							
organic matter	-.194	1.000						
pH	.735 <sup>1*</sup>	-.123	1.000					
Na	.421 <sup>*</sup>	.037	.444 <sup>*</sup>	1.000				
Mg	.042	.442 <sup>1</sup>	.267	.302	1.000			
K	-.503 <sup>1*</sup>	.107 <sup>1</sup>	-.206	.132	.444 <sup>1</sup>	1.000		
Ca	.107	.526 <sup>1*</sup>	.373	.478 <sup>1</sup>	.755 <sup>1*</sup>	.382 <sup>1</sup>	1.000	
total-N	-.147	.840 <sup>1*</sup>	-.122	.062	.442 <sup>1</sup>	.354	.636 <sup>*</sup>	1.000

<sup>1</sup>: 5% of significance level at 2 tailed tests

<sup>\*</sup>: 1% of significance level at 2 tailed tests

것으로 나타났다(Table 4 참조).

#### IV. 결론

육상녹화 지역은 고도가 높아짐에 따라 풍속이 증가했고, 토양온도는 자연토양보다 높았으며 광도의 차이는 크지 않았다. 또한 토심은 30~60 cm의 범위를 보였는데 수목생육에 필요한 적정 토심보다 약간 낮은 편이었다. 그러나 대부분이 시공된 지 10년 미만이고, 낮은 토심은 초본류의 생장에는 지장을 주지 않는 것으로 나타났다. 앞으로 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다. 인공토양의 pH는 식물생육에 적합한 6.0~7.0 사이에 대부분의 지역이 분포하였으며 시간의 경과에 따라 낮아지는 경향을 보였다. 용적밀도는 시공 후 시간의 경과에 따라 점차 높아지는 경향을 보였다. 포화투수계수는 적정 포화투수계수인 0.0052  $\text{cm}^2/\text{sec}$ 보다 높은 수치를 보여 강우 시 배수에 관한 문제는 없는 것으로 판단되었으며, 시공 후 시간의 경과에 따라 포화투수계

수가 낮아지는 경향을 보였다. 인공토양의 포장용수량은 자연토양에 비하여 매우 높은 것으로 나타났다. 인공토양의 유기물함량은 전반적으로 낮았으며, 관리의 정도에 따른 차이를 보였다. 시간의 경과에 따라 토양 pH는 감소하고 토양용적밀도는 증가하였으며 토양의 포화투수계수와 토양용적밀도 사이에 상관관계가 있었다.

육상녹화 지역에서 토양은 시공 후 시간이 경과하면서 특성이 변화하였고, 이 중 토양 pH와 토양용적밀도는 뚜렷한 변화를 보여 육상녹화 조성 후 관리가 필요한 것으로 판단된다. 또한 토양의 포화투수계수는 토양용적밀도에 의해 영향을 받는 것으로 나타나 시공 후의 자연침하에 대하여 주의를 기울일 필요가 있는 것으로 보였다. 본 연구의 대상지들에서 관리 방법의 차이에 따라 토양의 이화학적 특성에 많은 변화를 가져온 것으로 보인다. 이 변화는 앞으로 육상녹화 지역에서 시간의 경과에 따른 식물생장 기반의 변화에 대한 폭넓은 연구를 통하여 좀 더 밝혀져야 할 것이다.

## 인용문헌

1. 기상청(2000) 기상월보. 기상청
2. 김귀곤외 16인(1993) 조경식재설계론. 문운당. p.297.
3. 농업기술연구소(1988) 토양화학분석법. 농촌진흥청. 농업기술연구소
4. 옥상녹화연구회(2000) 옥상녹화의 현재와 미래. 옥상녹화연구회. 2000년 심포지움.
5. 윤국병(1987) 조경수목학. 일조각.
6. 이경재(1996) 인공토양 파라스 사례연구를 통한 인공지반의 적정수층선정 및 관리방안.
7. 조백현, 박천서, 엄대익(1994) 삼정토양학. 향문사.
8. (주) 삼손(2000) 인공지반 녹화기술에 관한 가이드( I). 삼손중앙기술연구소
9. 지동환(1998) 녹지의 가장자리 효과로 인한 도시녹지의 환경변화. 성균관대학교 대학원 석사학위논문.
10. 한국건설기술연구원(1999) 보급형 옥상녹화 가이드북 한국건설기술연구원.
11. 한국조경학회(1999) 조경설계기준. 한국조경학회
12. 황인찬(1997) 서울시 녹지토양의 산성화로 인한 토양환경변화. 성균관대학교 석사학위논문.