한국환경과학회지 제19권(제7호), 843～848, 2010
Journal of the Environmental Sciences

저토심 옥상녹화시스템에 따른 토양수분의 변화

박준석 · 박지혜[1)] · 주진희[1)] · 윤용한[1)*]
아세아환경조경 대표, [1)]건국대학교 산림과학과
(2010년 1월 26일 접수; 2010년 3월 13일 수정; 2010년 5월 28일 채택)

Change Soil Water and Evaluation with Respect to Shallow-Extensive Green Roof System

Jun-Suk Park, Je-Hea Park[1)], Jin-Hee Ju[1)], Yong Han Yoon[1)*]
Chief Executive Officer, Asia Environment Landscape Co., Gyeonggi-do 461-811, Korea
[1)]Department of Forest Science , Konkuk University, Chungju 380-701, Korea
(Manuscript received 26 January, 2010; revised 13 March, 2010; accepted 28 May, 2010)

Abstract

This study focused on the characteristics of change soil water with respect to soil thickness and soil mixture ratio, in order to effectively carry out an afforestation system for a roof with a low level of management and a light weight.

Soil hardness tended to increase as sand particle was increase regardless soil thickness and soil porosity had more higher artificial soil than natural soil mixture. In case of soil pH, natural soil mixture had between 6.7 and 7.4, and artificial soil mixture had 6.0～6.8. Organic matter, electrical conductance and exchangeable content were highest in L_{10}, which it had the highest leafmold ratio.

Soil moisture tension(kPa) in 15cm soil thickness was observed natural soil mixture had a considerable change but artificial soil mixture had a gradual change when non-rainfall kept on. In the experimental L_{10}, S_{10}, S_7L_3 and S_5L_5 object, the amount of moisture tended to rapidly decrease. However, in the experimental $P_7P_1L_2$, $P_6P_2L_2$, $P_5P_3L_2$ and $P_4P_4L_2$ objects, which contained pearlite and peat moss, the amount of moisture tended to gradually decrease. As a result, the use of a artificial soil mixture soil seems to be required for the afforestation of a roof for a low level of management.

Key Words : Greening of building, Biotop, Soil water, Soil thickness, Soil mixture ratio, Artificial soil

1. 서 론

도시에 부족한 녹지를 확보하기 위한 공간으로서 건축물의 옥상은 매우 유용한 공간으로 인식되고 있다. 특히 대지의 부족 및 높은 지가 등으로 녹지공간을 확보하기 어려운 도심에서 옥상공간을 효율적으로 활용한다는 공간확보 차원에서 중요한 의미를 지닌다. 서울시의 경우 도시화 지역의 면적은 약 363.31㎢이고, 녹화가 가능한 평탄한 옥상 및 지붕 면적은 도시화 지역의 70%에 해당하는 약 253.59 ㎢로 보고되었다. 이중 현실적으로 녹화가 가능한 건축물의 옥상 및 지붕 면적은 200 ㎢ 이상으로, 상당한 옥상녹화 도입 증대가 예측되고 있다(Seoul Metropolitan Government, 2000). 그러나 옥상은 건축물 위인 인공지반에 조성됨으로써 하중과 바람, 배수로 인한 보수문제, 법적장치 및 정부의 적극적 지원의 미흡, 단조로운 수종과 현장 평가의 전무 등의 제한점이 있으며, 얇은 옥상지반으

*Corresponding Author : Yong-Han Yoon, Department of Forest Science, Konkuk University, Chung-ju 380-701, Korea
Phone: +82-43-840-3538
E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

로 건조가 계속되는 계절에는 건조 방지를 위해 잦은 물관리가 요구된다.

한편, 옥상녹화에 사용되는 인공식재지반은 물리적 구조가 안정되어 있지 않아 토양층을 구성하는 입자가 쉽게 유동화 될 경우 식물체의 활착이 어렵기 때문에 적절한 입도분포로 식물생육에 적절한 물리성을 보유하면서도 안정된 구조를 지닌 토양을 선정하여야 한다. 또한 보수성 및 통기성이 우수하여 토양 내에 무수한 세근을 발달시킴으로써 수목을 건실히 지지할 수 있어야 한다.

자연지반보다 온도가 높고 바람이 강한 옥상 인공지반은 식물체의 증산작용과 토양 내 수분증발이 더욱 많아 지속적인 관수가 요청되지만, 관수설비의 설치 및 관수관리에 따르는 비용 상승이 초래된다. 따라서, 자연강우만으로도 건전한 식물생육이 유지될 수 있도록 보수성이 극대화된 토양을 사용하는 근본적인 해결방안이 필요하다.

향후 유지관리가 용이하고 적은 비용으로 넓은 면적에 걸친 조성이 가능하며, 건축물에 미치는 하중의 부담이 낮은 유형의 옥상녹화 시스템인 저토심 · 저관리형 옥상녹화 시스템(shallow-extensive green roof system)이 도시 내 옥상녹화의 도입을 촉진시키게 될 것으로 예측된다고 볼 때(Emilsson and Rolf, 2005), 식물생육에 필수적인 토양수분에 대한 검토가 우선적으로 이루어져야 할 것이다.

따라서, 본 연구는 현장적용 옥상녹화시스템에 중점을 맞춘 토심과 토양배합비에 따른 토양수분이동 특성을 살펴봄으로써 저토심 · 저관리 옥상시스템의 활성화를 모색하고자한다.

2. 재료 및 방법

본 실험은 2006년 7월 31일부터 2006년 9월 10일까지 약 40일 동안 실험을 진행하였으며, 충청북도 충주시에 위치한 건국대학교 내 복합실습동 2층 옥상에서 실시하였다.

2.1. 실험구 및 식재기반 조성

실험구는 두께 10 mm의 목재를 이용하여 가로 50 cm, 세로 50 cm으로 제작하였으며, 하부에 3 cm의 배수판을 설치하여 배수가 용이하도록 하고, 공시토양이 빠져나가지 않도록 부직포를 설치한 후, 그 위에 배합토를 포설하였다.

공시토양은 옥상 인공지반 토양재료로 흔히 사용되며, 시중에 쉽게 구할 수 있는 제품으로 선정하였으며, 세부적인 사항은 Table 1과 같다. 본 실험에 사용된 토양은 자연배합토와 인공배합토로 대별하였는데, 자연배합토로는 모래와 부엽토가 주된 토양으로, 배합비에 따라 4종류(S_{10}, L_{10}, S_7L_3, S_5L_5)로 구분하였다. 인공배합토로는 펄라이트와 피트모스가 주된 토양으로, 배합비에 따라 4종류($P_7P_1L_2$, $P_6P_2L_2$, $P_5P_3L_2$, $P_4P_4L_2$)로 구성하였다.

토심의 경우, 저토심인 10 cm를 기준으로 토심 7 cm와 15 cm로 조정함으로써 총 16가지의 토심과 배합비에 따른 실험구를 조성하였다(Table 1).

2.2. 측정방법

2.2.1. 토양의 이화학적 특성

토양의 이화학성은 토양 및 식물체 분석법(2000)에 따라 토양경도, 토양공극률, 토양산도, 전기전도도, 유기물함량, 치환성양이온함량 등을 분석하였다.

Table 1. Soil compounds and soil mixture ratio that it used for planting ground in this experiment for shallow-extensive green roof system

Kind of soil	Soil mixture ratio
Natural soil	Sand 100% (S_{10})
	Leaf mold 100% (L_{10})
	Sand 70% + Leaf mold 30% (S_7L_3)
	Sand 50% + Leaf mold 50% (S_5L_5)
Artificial soil	Perlite 70% + Peatmoss 10% + Leaf mold 20%($P_7P_1L_2$)
	Perlite 60% + Peatmoss 20% + Leaf mold 20%($P_6P_2L_2$)
	Perlite 50% + Peatmoss 30% + Leaf mold 20%($P_5P_3L_2$)
	Perlite 40% + Peatmoss 40% + Leaf mold 20%($P_4P_4L_2$)

2.2.2. 토양수분장력측정

토양수분장력은 텐시오미터를 토심 15 cm 실험구에 5개(S_{10}, L_{10}, S_5L_5, $P_6P_2L_2$, $P_4P_4L_2$)를 설치하였다. 텐시오미터와 같은 지름을 가지는 오거를 사용하여 구멍을 파고 물에 갠 벤토나이트를 넣은 다음, 텐시오미터를 넣고 약간 비틀어 고정시킨 다음 틈이 없도록 벤토나이트로 채워 물이 흐르지 않게 하였다. 증류수를 사용하여 텐시오미터 튜브를 채우고 토양과 텐시오미터가 평형을 이루는 3~6시간 후 측정을 시작하여 매일 9시, 14시, 16시, 20시의 압력계 수치를 읽었다. 텐시오미터에 공기가 차지 않도록 증류수를 공급했으며 토심 7 cm는 텐시오미터가 고정되지 않아 측정할 수 없었다.

2.2.3. 토양수분용적함량

무관수에 따른 토양 내 수분용적함량을 알아보기 위해 40일 동안 매일 09시, 14시, 16시, 20시에 수분측정기(Theta Meter)를 이용해 토양표면에서부터 토양하부 7 cm까지 측정하였다.

2.2.4. 통계분석

자료의 분석은 SPSS Ver 12.0 for Window용 통계프로그램을 이용하여, 회귀분석을 통해 무강우에 따른 토양용적수분함량의 변화를 살펴보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 식재지반의 물리 · 이화학적 특성

실험구별 공시토양의 물리 · 화학적 특성은 Table 2와 같다. 토양경도는 토심에 관계없이 모래함량이 높을수록 증가되는 경향을 나타내었다. 토양공극율의 경우, 인공배합토가 80～85%, 자연배합토는 L_{10}을 제외하고 38～55%로, 인공배합토가 다소 높게 측정되었다.

S_{10},L_{10}, S_7L_3, S_5L_5의 토양산도는 부엽토 양에 비례하여 중성에 근접하였으며, 인공토양에는 피트모스가 증가함에 따라 약산성에 가까운 수치를 보였다. 일반적으로 인공토양의 최저 pH는 5.4 ~ 6.8이나, 5.0 ~ 7.0 정도는 크게 무리 없이 식물은 생육할 수 있으나(나우현, 1997), 부엽토 100%인 L_{10} 및 모래 70% +부엽토 30%인 S_7L_3과 모래 50%+부엽토 50%인 S_5L_5에서 적정 pH 범위를 벗어났다고 할 수 있다. 전기전도도는 L_{10} 배합비에서 조경설계기준의 중급(한국조경학회, 2007)에 해당하며, 나머지 배합비에 비해 조금 높은 수치를 나타내었다. 부엽토가 30%까지 혼합된 배합비에서는 모두 조경설계기준의 상급에 해당하는 0.12 dS/m ~ 0.20 dS/m의 범위로 나타났다. 다만, L_{10}, S_5L_5의 경우 EC가 높아 식물의 염해가 우려되는 것(최, 2001)으로 판단된다.

유기물 함량의 경우 피트모스와 부엽토의 영향을 받아 부엽토 100% 실험구에서 72.4%로 가장 높게 나타난 반면, 혼합하지 않은 모래의 경우 0.6%로 가장 낮게 나타났다. 양이온치환용량의 경우 자연배합토에서는 부엽토 100%로 구성된 L_{10}과 모래 50%+부엽토 50%로 구성된 S_5L_5이 다른 배합토에 비해 매우 높은 수치를 나타내(Table 2), 비옥도가 높은 것으로 분석되었다.

3.2. 15 cm 토심에서 토양배합비에 따른 토양수분장력변화

토심 15 cm에서 S_{10} 실험구의 수분장력변화를 살펴보면, 대부분이 -20 kpa 이하로 전체적으로 낮은 수치

Table 2. Physic-chemical characteristics with respect to soil thickness and soil mixture ratio in this experiment for shallow-extensive green roof system

Soil mixture ratio	Soil hardness(mm)		Soil porosity(%)		pH	EC (dS/m)	OM (%)	Exch.(cmol/ℓ)			
	7cm	15cm	7cm	15cm				K^+	Na^{2+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}
S_{10}	2.75	3.85	46.75	38.63	6.69	0.08	0.6	1.585	0.895	3.65	37.5
L_{10}	0.86	0.95	85.43	81.33	7.31	0.53	72.4	32.940	3.286	56.52	316.6
S_7L_3	3.62	5.10	44.86	48.93	7.17	0.18	6.2	6.781	1.200	14.53	136.7
S_5L_5	3.11	1.61	55.62	54.60	7.36	0.38	8.4	8.022	1.334	20.53	163.7
$P_7P_1L_2$	0.82	0.63	81.35	77.56	6.79	0.20	25.6	4.244	1.691	10.89	100.1
$P_6P_2L_2$	0.90	0.66	80.70	79.48	6.57	0.18	36.8	2.943	1.754	10.32	84.1
$P_5P_3L_2$	0.78	0.81	84.95	86.64	6.25	0.19	43.9	2.802	1.795	14.34	94.6
$P_4P_4L_2$	1.01	0.75	81.25	86.43	6.09	0.12	54.0	3.120	1.555	14.02	83.9

를 나타내었다. 원예용 상토는 일반적으로 0～-10 kPa의 범위에서 유효수분을 가지며 이 범위에서의 수분특성 변화는 관수에 중요한 영향을 미친다. pF나 압력이 낮으면 토양 중에 저장되지 못하는 중력수가 되어 토층 밖으로 흘러나가고, 토양 중에 저장되었다가 식물에 이용되는 수분(유효수)은 모세관수 중에서도 15기압 또는 pF 4.2 이하의 장력으로 흡인된 것이다. 일반적으로 수분함량은 사토에서 적고, 양토, 식토 등 점토와 부식의 함량이 많고 구조가 잘 발달된 토양일수록 높은 경향을 보인다(송, 2002). S_{10} 실험구는 보비력과 보수력이 낮은 모래의 특성으로 인해 pF가 높았다. L_{10} 실험구의 수분장력변화를 살펴보면 대체적으로 수치변화의 폭이 큰 것으로 분석되었다. S_5L_5 실험구의 수분장력변화는 비가 오지 않는 가뭄현상이 계속되면서 실험경과 14일부터 수분장력 수치가 급격히 상승하였다. 또한 25일 강우에 의한 영향으로 감소하는 양상이 뚜렷하였으나, 가뭄현상으로 인해 다시 상승하는 경향을 나타내었다(Fig. 1).

$P_6P_2L_2$ 실험구의 수분장력변화를 살펴보면 대체적으로 수치변화의 폭은 크지 않았으며, 강우에 의한 영향 또한 민감하게 받지 않은 것으로 나타났다. $P_4P_4L_2$ 실험구는 $P_6P_2L_2$ 실험구에 비해 수분장력변화 수치가 약간 높게 나타났다. 22일 강우 이후 감소하였으나 25일 강우의 영향을 받지 않았고, 이후 서서히 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 2). 이는 최대 20배까지 수분을 흡수하고 오랫동안 식물이 사용할 수 있도록 하는 피트모스의 영향으로 사료된다.

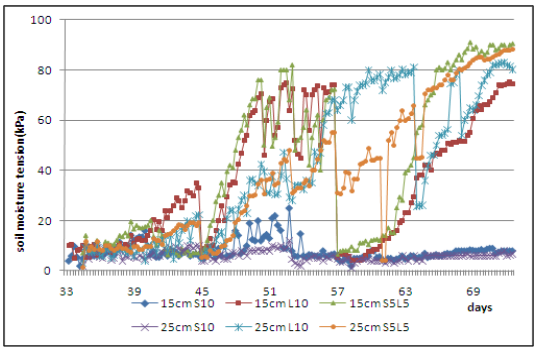

Fig. 1. Change of soil moisture tension(kPa) in 15 cm soil thickness as affected by difference natural soil mixture ratio.

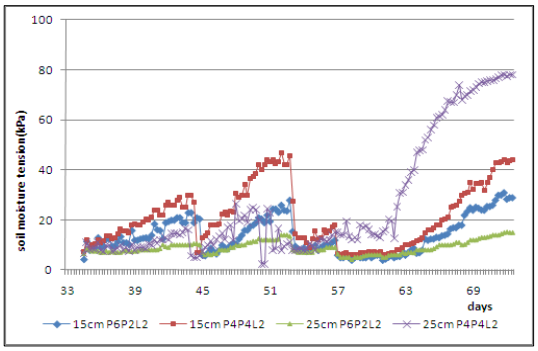

Fig. 2. Change of soil moisture tension(kPa) in 15 cm soil thickness as affected by difference artificial soil mixture ratio.

3.3. 토양용적수분변화

3.3.1. 자연배합토

토심 7 cm 배합비 S_{10} 실험구의 토양용적수분변화를 살펴보면, 실험 시작일로부터 8일째 되는 8월 7일부터 8월 14까지 매우 낮은 수분을 나타내었다, 하지만, 8월 22일 강우에 의해 급격하게 상승하였고, 8월 25일부터 다시 수분함량이 감소경향을 보이다 9월 5일에 약 0 Vol.%에 도달하였다. L_{10} 실험구는 실험 시작일로부터 14일째까지 급격하게 낮아지는 추세를 보였으나, 14일 관수에 의한 영향으로 상승하다가 다시 감소되어 8월 20일에는 수분이 거의 없는 상태가 되었다. S_7L_3 실험구에서는 실험 경과 8일 후까지 계속 낮아지는 추세를 보이다가 수분이 거의 없는 상태를 유지하였다. 8월 22일, 25일 강우에 의한 영향으로 급격히 증가한 후 서서히 낮아지는 경향을 보였다. 토양배합비 S_5L_5 실험구의 토양용적수분변화도 S_7L_3 실험구와 비슷한 경향을 나타내었다.

토심 15 cm 배합비 S_{10} 실험구의 토양용적수분변화를 살펴보면, 토심 7 cm 실험구보다 완만한 변화폭을 보였다. 실험시작 후 10일정도 후부터 거의 0 Vol.%에 가까운 수치를 나타내었으며, 8월 22일과 8월 25일 강우에 의해 수분함량이 증가하였다. L_{10} 실험구는 실험 시작 후 수분함량이 서서히 낮아지는 추세를 보였지만 0 Vol.%까지 낮아지지 않았다. S_7L_3 실험구는 실험 시작 후 14일 후부터 0 Vol.%를 나타냈으나, 8월 22일 강우 이후에는 0 Vol.%까지 이르지 않았다. S_5L_5

실험구는 실험 시작부터 그리 높지 않은 수분을 함유하고 있었으며, 이후 점차적으로 수치가 떨어져 13일 경과 후 수분함량은 약 0 Vol.%를 나타내었다(Fig. 3). 전반적으로, 토심이 깊을수록, 부엽토 성분이 많을수록, 무강우에도 토양용적수분함량변화의 폭이 완만해진다는 것을 발견할 수 있었다.

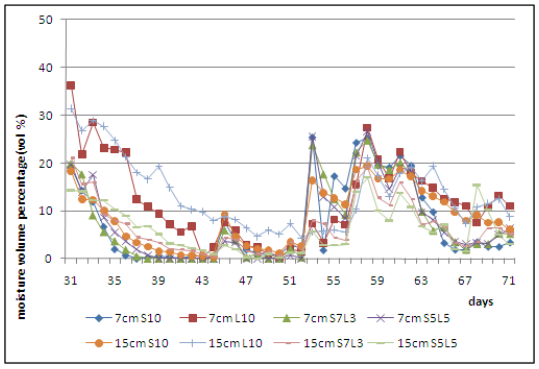

Fig. 3. Change of soil moisture volume percentage in 7 cm and 15 cm soil thickness as affected by difference normal soil mixture ratio.

3.3.2. 인공배합토

토심 7 cm 배합비 $P_7P_1L_2$ 실험구는 자연배합토인 S_{10}, L_{10}, S_7L_3, S_5L_5 실험구와 달리 서서히 수분함량이 낮아지는 특성을 보였으나, 8월 22일, 8월 25일 강우 후에는 중력수의 영향으로 수분함량이 급격하게 떨어졌다. $P_6P_2L_2$ 실험구의 경우, 실험시작 후 완만한 추세로 수분함량이 낮아졌으며, 15일 경과 후 일주일가량은 거의 0 Vol.%에 가까운 수치를 보이기도 하였다. 또한 8월 22일, 8월 25일 강우 후 다른 실험구와 비슷하게 급격하게 증가하였다가 점차 낮아지는 경향을 나타내고 있다. $P_5P_3L_2$ 실험구에서는 실험시작 10일 후부터 수분함량이 점차 낮아졌으나 10 Vol.%가량 유지되었다. $P_4P_4L_2$ 실험구의 수분함량변화를 살펴보면, 실험 시작일로부터 11일정도 까지 수분함량이 감소하였으나 서서히 감소하였다. 자연배합토인 S_{10}, L_{10}, S_7L_3, S_5L_5 실험구와 비교해 볼 때, 인공배합토 실험구에서는 강우 후 수분함량이 월등히 높은 것으로 조사되었다.

$P_7P_1L_2$ 실험구의 토양용적수분변화를 살펴보면, 실험시작일로부터 계속 낮아지는 추세를 보이지만 15일이 경과해서야 0 Vol.%에 가까운 수치를 보였다. 하지만, 8월 22일, 8월 25일 강우 이후 토양용적수분함량은 실험을 시작했을 때와 비슷한 수치를 나타내었다. $P_6P_2L_2$ 실험구의 수분함량은 실험기간 동안 0 Vol.%까지 감소하지 않았으나, 8월 21일을 전후로 최저수치를 나타내었다. $P_5P_3L_2$ 실험구는 $P_6P_2L_2$와 같이 8월 21일을 전후로 하여 최저수치였으나, 강우 이후 높은 수분함량으로, 초기 토양용적수분함량에 비해 낮은 것으로 조사되었다. $P_4P_4L_2$ 실험구의 경우 초기 토양용적수분함량은 매우 높은 수치로 측정되었으나, 20일에 걸쳐 수분함량이 낮아졌다. 다른 실험구와 같이 8월 25일 강우 후 급격한 증가하였으나 점차 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 4).

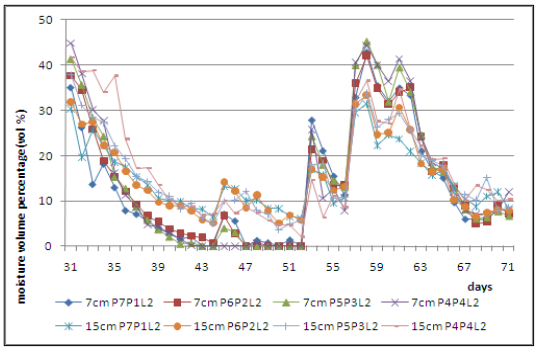

Fig. 4. Change of soil moisture volume percentage in a 7 cm and 15 cm soil thickness as affected by difference artificial soil mixture ratio.

3.3.3. 토심

토심 7 cm 실험구의 날짜 경과에 따른 용적수분함량변화에 대해 알아보기 위해 실험시작일인 7월 31일부터 관수 전인 8월 13일까지의 토심과 토양용적수분함량에 관한 회귀분석을 실시하였다. 분석결과, 토심 7 cm 배합비에 따른 수분변화는 날짜가 경과함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, L_{10} 배합비의 경우 14일 경과 후 수분함량이 0 Vol.%가 되는 반면 나머지 실험구는 11일~ 12일로 큰 차이는 보이지 않았다.

Table 3. Analysis of correlation coefficient(R^2) with soil water contents and days after non- irrigation in a 7 cm soil thickness.

Soil mixture ratio	Correlation coefficient		R^2
	X*	Y	
S_{10}	- 1.159	12.884	- 0.629**
L_{10}	- 2.415	34.233	- 0.972**
S_7L_3	- 1.207	13.289	- 0.648**
S_5L_5	- 1.393	15.411	- 0.779**
$P_7P_1L_2$	- 2.350	28.369	- 0.852**
$P_6P_2L_2$	- 2.702	32.748	- 0.870**
$P_5P_3L_2$	- 3.089	35.747	- 0.859**
$P_4P_4L_2$	- 3.472	40.180	- 0.851**

* X: days after non-irrigation,Y: Soil water contents(%),
** Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

토심 15 cm 실험구의 경우 배합비에 따른 수분변화는 날짜가 경과함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 토심 7 cm 비해 대부분 낮은 수분감소율을 보였다. L_{10}이 18일 경과 후 수분함량이 0 Vol.%가 되는 반면, S_{10} 실험구는 12일로 가장 빠른 토양수분 감소양상을 나타내었다. 한편, 인공배합토 경우 $P_7P_1L_2$ 배합비에서 가장 낮은 감소율을 보였다(Table 4).

Table 4. Analysis of correlation coefficient(R^2) with soil water contents and days after non- irrigation in a 15 cm soil thickness.

Soil mixture ratio	Correlation coefficient		R^2
	X	Y	
S_{10}	- 1.119	13.945	0.850**
L_{10}	- 1.759	31.475	0.953**
$S7_{L3}$	- 1.124	14.329	0.854**
S_5L_5	- 1.096	15.473	0.978**
$P_7P_1L_2$	- 1.758	28.724	0.898**
$P_6P_2L_2$	- 2.087	31.145	0.943**
$P_5P_3L_2$	- 2.388	35.933	0.948**
$P_4P_4L_2$	- 2.906	43.002	0.917**

* X: days after non-irrigation, Y: Soil water contents(%),
**Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

4. 결 론

본 연구는 저토심 7 cm와 15 cm과 토양배합비에 따른 토양수분의 변화를 살펴봄으로써, 빗물을 이용한 저토심 · 저관리 옥상시스템의 활성화를 모색하고자 한다.

토양경도는 토심에 관계없이 모래함량이 높을수록 증가되는 경향을 나타내었고 토양공극률은 인공배합토가 자연배합토에 비해 높았다. 토양산도는 자연배합토가 pH 6.7～7.4, 인공배합토가 pH 6.0～6.8로 측정되었고, 유기물함량, 전기전도도와 치환성양이온함량은 부엽토의 함량비율이 높은 L_{10}과 S_5L_5 처리구에서 높은 수치를 나타냈다. 토심 15 cm에서 토양수분장력변화의 경우 자연배합토에서는 변화의 폭이 높았으나 인공배합토는 안정된 변화양상을 보여주었다. 토양용적수분함량은 토심 15 cm가 토심 7 cm보다 변화의 폭이 낮았으며, 인공배합토가 자연배합토보다 완만한 토양용적수분함량변화를 보여주었다. 배합비율에 따른 양상은 뚜렷하지 않았으나, 대체적으로 피트모스와 펄라이트함량이 높을수록 토양수분함량의 변화가 완만한 감소세를 보여주어 빗물이용 시 인공배합토가 자연배합토보다 저관리 옥상녹화시스템에 더 적합할 것으로 판단되며, 추후 다양한 목본식물에 대한 생육검증이 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

나우현, 1997, 한국의 양액재배의 현황과 문제점, 새농사, 33, 163-171.

농촌진흥청, 2000, 토양 및 식물체 분석법, 농촌진흥청, 29-130.

이은엽, 2000, 옥상녹화 식재기반층의 토양조성과 관리조건이 식물생육에 미치는 영향, 박사학위논문, 청주대학교.

이은희, 2004, 국내의 옥상녹화 연구동향 분석, 한국환경복원녹화기술학회지, 7(4), 44-51.

송영환, 2002, 옥상녹화 시스템의 재료별 열성능 및 수분수지 특성에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교.

한국조경학회, 2007, 조경설계기준, 한국조경학회, 81-90.

Emilsson, T., Rolf, K., 2005, Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden, Urban Forestry & Urban Greening, 3, 103-111.

Seoul Metropolitan Government, 2000, A study on rooftop greenery, Seoul Metropolitan Government, Seoul.