

옥상녹화공법의 배수층 구조별 식물생육 효과¹⁾

이은엽²⁾ · 문석기³⁾

²⁾청주대학교 도시·지역개발연구소 · ³⁾청주대학교 조경학과

Effects of Drainage Types of Soil Media on the Plant Growing in Rooftop Planting

Eun Yeob Lee²⁾ and Seok Ki Moon³⁾

²⁾Urban & Regional Development Institute, Chongju University

³⁾Dept. of Landscape Architecture, Chongju University

ABSTRACT

This study was aimed to establish different drainage types of soil media on the plant growing in rooftop.

For this study, experiment plots were installed on the roof of Social Science building, Chongju University, from April, 1998 to September, 1999.

(1) Sand and sandy loam as base and check soils, (2) vermiculite as a inorganic soil media (3) 『humus sawdust』 and 『burned rice hull』 as organic soil media were used by various mixing ratio *Zoysia japonica*, was selected for the experiment.

The results of this study are as follows :

L5B3S2 and L5H3S2 of bad drainage character with a plastic drainage plate combination caused good growth effect on *Zoysia japonica* examined in 3 types of drainage layer with 5 types of soil media. From this result, it could be suggested that combined design of plastic drainage plate with 2 soil types - L5B3S2 and L5H3S2 - be desirable composition for regarding weight load and plant growth.

Key word : *drainage types, soil media, plant growing, rooftop.*

I. 서 론

옥상지반녹화를 위해서는 다양한 기술의 개발이 필요하며, 특히 우리 나라와 같이 집중호우가 잦은 경우 배수시스템의 안전성과 내구성

이 중요하게 된다.

옥상 등의 녹화는 무엇보다도 하중에 따른 안전성 문제가 중요한 사항이므로 강우 및 관수에 따른 정체수가 생기지 않고 가급적 배수가 원활하여 하중에 대한 부담을 덜어 줄 필요

¹⁾ 본 연구는 연구자의 박사학위논문(2000)의 일부를 발췌하여 수정 보완한 것임.

가 있다. 그러나 인공지반은 건조되기 쉬우므로 어느 정도의 보습성도 지녀야 하는 등 여러 가지 요구되는 제반사항이 많게 된다.

즉, 집중호우와 반대로 갈수기가 장기적으로 지속되는 기후조건으로 인해 배수기능과 함께 높은 보수 또는 저수기를 대비한 기술의 개발이 동시에 요구된다. 바로 이 점이 우리의 기후조건에 알맞은 배수시스템 개발의 어려움과 중요성을 나타내는 것이다(김현수 · 변혜선, 1998).

일반적으로 인공지반 특히 옥상지반의 녹화를 위한 배수층은 자갈이나 쇄석을 이용하고 하중의 경감이 필요한 경우 배수용 인공경량토양과 함께 배수판으로 시공하는 경우가 대부분이다 즉, 보편적으로 자갈이나 쇄석층을 10 - 20cm 두께로 배수층을 설치하거나, 투수판과 투수시트에 의한 배수층을 조성하고 그 위에 식재지반을 설치하거나 또는 내압투수판과 투수시트와 그 위에 배수용 인공경량토양을 조합(서울시립대 환경생태연구실, 1996)하여 시공하는 경우가 많았다. 배수층의 설계는 과잉수를 빠르게 배수해야 하지만, 그럴 경우 토양내부에서 아래로 증발축진과 건조화를 초래하게 되어, 건조에 약한 수종의 경우 시들기 시작한다(구태익 역, 1996).

한편, 인공지반은 배수를 원활히 하기 위해 1% 이상의 구배를 둘 필요가 있으며 특히 식물의 육성에는 토양 중에 적당한 수분이 필요한데, 과잉수분은 식물생육에 뿌리의 부패 등 악영향을 미침과 동시에 하중증가, 유수의 위험이 생기므로 충분히 물을 빠르게 배수하는 배수층이 필요하게 된다(현대건설기술연구소, 1997). 따라서 적절한 배수능을 가진 배수층과 한편으로는 보수기능을 갖춘 식재지반의 구성이 요구되어진다.

하중에 문제가 있고 토심이 부족한 지역은 배수판 설치후 부직포로 덮어주고, 하중에 문제가 없고 토심이 충분한 지역은 슬라브 상단면에 자갈 부설후 부직포를 깔아주는 것이 효과적이며(현대건설기술연구소, 1997), 자연토양공법과 개량토양공법에는 배수층이 필요하나 인공경량토양공법에는 배수층을 따로 설치하지

않아도 된다고 하였다(都市綠化技術機構 特殊綠化共同研究會, 1995). 이에 외국(일본, 독일 등)의 경우 유니트화된 옥상녹화시스템이 개발되어 일부 적용되어 왔다.

그러나 전통적으로 사용되어 왔던 자갈, 쇄석과 배수용 인공경량토양 등에 의한 포설식 배수층 설치 방법은 재료의 특성에 따라 일부 보수기능을 가지기도 하나, 시공과정에서 방수층에 손상을 입힐 우려가 있다. 또한 외국의 유니트화된 옥상녹화시스템의 적용은 가격 경쟁력 면에서나 우리 나라의 기후조건에의 부합여부가 실험적으로 실증되지 못한 측면이 있다(김현수 · 변혜선, 1998).

결국 옥상지반이라는 특수한 환경조건을 감안해 볼 때 적절한 배수능을 가진 배수층과 다른 한편 보수기능을 갖춘 식재지반의 구성이 요구되어지며 배수능과 보습성 등을 동시에 만족시키는 토양조성과 배수층 개발여하에 따라서는 식물이 생육하는데 필요한 토심을 줄여줄 수 있을 것으로 추정되나 이와 관련된 실험적 연구는 매우 미진한 실정으로 이에 대한 연구의 필요성은 크다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 토양종류와 배수층의 구조에 따라 배수성과 보습성에 차이가 있고, 식물생육에 대한 영향이 다를 것이라고 가정하고 그 차이를 검증해 봄으로써 옥상지반 녹화에 적합한 토양과 배수층의 조합(형)을 개발하고자 하였다. 이는 추후 보다 개선된 배수시스템의 개발 및 시공에 대한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

본 실험은 1999년 5월 4일에 1차 실험을, 그리고 1999년 6월 7일부터 2차 실험을 청주대학교 옥상에서 수행하였다. 실험에 사용된 식물재료는 인공지반의 조기녹화 및 기반식재를 조성하고자 하는 의도로 들잔디(*Zoysia japonica*)로 한정하였다.

공시토양은 5종류가 사용되었으며, 기존의

인공식재지반용토로 적용된 사례가 없고 전통적으로 사용되어져온 자연토양에 비해 단위용적밀도가 적으며 동일계통의 타 재료에 비해 재료단가가 낮은 것에 우선 순위를 두고 선정하였다. 또한 일부 수입에 의존하고 있는 토양 재료를 대체하기 위해 국내에서 생산 및 구입이 용이하고 생태적 측면과 토양성질의 개선차원에서 유기질성분 토양재료를 선발하였다.

자연토양(발흙)은 충북 청주시 하북대 지구 주변에서 채취한 사질양토를, 부숙톱밥은 덕실산업의 제품을 사용하였다. 훈탄은 충남 논산에서 생산된 일반 벼의 것을 이용해 왕겨를 태우고 수거한 것을 썼고, 버미큘라이트는 온양질석산업사의 제품을 사용하였다. 이들 토양의 배합비율은 현재 일반적으로 많이 사용되고 있는 배합비율들을 참고하여(현대건설기술연구소, 1997; 興水 肇, 1977) 아래와 같이 5개의 유형으로 구분하였다.

- ① 사질양토 100% (이하 L10)
- ② 버미큘라이트(이하 V10)
- ③ 사질양토 50% + 버미큘라이트 30% + 모래 20% (이하 L5V3S2)
- ④ 사질양토 50% + 훈탄 30% + 모래 20% (이하 L5B3S2)
- ⑤ 사질양토 50% + 부숙톱밥 30% + 모래 20% (이하 L5H3S2)

2. 실험방법

배수층의 구조에 따른 식물생육효과를 측정하고자 본 실험은 2차에 걸쳐 실시되었는데 그 이유는 1999년 5월 1일 종자를 1차 파종하고 난 뒤 약 한 달이 지난 6월 2일부터 관수를 약 40시간 동안 실시하지 않았던 결과 「사질양토 50%+부숙톱밥30%+모래20%(L5H3S2)」 및 「버미큘라이트」에 식재된 식물을 제외한 대부분 실험구의 들잔디가 시들어 고사하여 동년 6월 7일에 재파종을 하고 2차 실험을 실시하게 되었다.

(1) 실험구 배치

배수조건을 달리했을 때의 초본식물(들잔디)

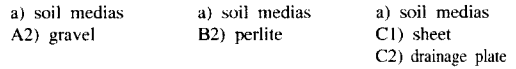


Fig. 1. Three types of drainage layers in this experiment

의 생육상태와 동시에 토심을 줄일 수 있는 가능성을 개선하고자(그림 1) 토양깊이를 3cm로 하여 60cm(L)×30cm(W)×3cm(H)인 모판을 사용하고 5종류의 공시토양을 균일하게 섞어 준 뒤 5반복으로 완전임의 배치하였다. 따라서 실험구는 5종류(토양)×3처리(배수층)×5반복=75개가 배치되었다. 이때 모판의 바닥면은 토양의 유실을 방지하기 위해 플라스틱 필름을 깔았으며, 원활한 배수를 위해서 구멍을 뚫고 토양을 채운 뒤 파종이 끝난 뒤에는 종자의 유실을 방지하고 수분의 증발산을 방지하여 발아를 촉진시키기 위해 차광막을 덮어 주었다.

배수조건을 달리했을 때의 식물생육과 토심과의 관련성을 검토하기 위해서 자갈, 배수용 인공경량토, 플라스틱 배수판 등 세 가지로 배수층을 구성하였는데 자갈은 충북 육산산으로 표준입경 20mm, 공극율 58.7%의 것을, 배수용 인공경량토는 표준입경 3.5mm, 공극율 78%, 플라스틱 배수판은 재질이 고밀도 폴리에틸렌으로 규격 0.3×0.3×0.03m, 내압강도 3.8-4.5ton인 제품을 사용하고 배수판 위에는 투수시트를 깔았다.

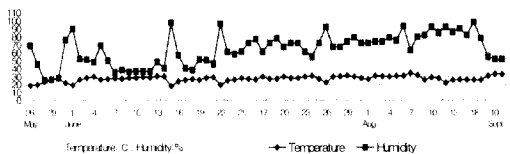


Fig. 2. Weather conditions at rooftop in experiment period

(2) 생육조사

먼저 실험수준 및 요인에 따른 잔디의 생육 상태를 파악하기 위해 각 반복별로 발아개체수, 피복율, 초장, 건물중(지상부, 지하부) 등을 측정하였다. 발아개체수는 종자가 각 실험구별로 일정수준으로 발아가 되었다고 판단이 되는 파종 후 약 1개월이 경과한 뒤부터 조사하였다. 이때 발아된 개체수를 측정하기 위하여 각 실험체를 2등분하여 한쪽 면의 발아된 개체수를 모두 세어서 측정하였다. 피복율은 잔디류가 발아된 후 어느 정도 피복이 되었다고 판단되는 파종 후 약 2개월이 지난 뒤부터 약 1달 간격으로 조사하였다. 피복율은 각 실험체를 slide 촬영한 후 모눈종이에 비추어 그 면적을 환산하여 계산된 값과 각 실험체를 완전히 피복한 것을 100%로 보고 실험자 2인이 측정된 결과치를 평균하여 구하였다.

초장의 측정은 실험자 2인이 각 실험체별로 평균적인 생장을 하고 있다고 판단되는 5개체를 선정하여 측정 후 평균값을 구하였다.

건물중은 실험이 종료된 시점인 정식 후 약 90일 후인 1999년 9월 8일에 실험체를 2등분한 30cm(L)×15cm(W)의 모든 식물을 굴취하여 뿌리를 수돗물로 씻어내고 실내에서 물기를 제거하고 100℃에서 1시간 건조시키고 다시 70℃로 온도를 낮추어 24시간 건조시킨 후 조사하였다.

(3) 토양분석방법

실험에 사용된 공시토양의 이화학성을 분석하고자 토양의 물리성은 setting된 실험구에서 100cc 토양코어로 3반복해 토양시료를 채취하고 용적밀도, 토양수분함량, 투수계수 등을 측정하였으며, 동시에 실험실내에서 증발량도 측정하였다. 또한 토양의 화학성은 토양산도, 전기전도도, 토양유기물함량, 양이온치환용량(CEC), 전질소, 유효인산, 치환성양이온 등을 농촌진흥청 농업기술연구소에 의뢰하여 분석하였다.

(4) 관리방법

관수는 각 식재상별로 균일하게 1일 1차례 1.5ℓ 씩 관수하였고 고품복합비료(18-18-18)

를 「N:P:K=20g:20g:20g/m²/1년」의 수준으로 1회 시비하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 실험구의 기상조건

Fig. 2는 실험기간동안 실험구가 설치된 옥실에서 측정된 습도와 기온이다. 실험기간 전반에 걸쳐 기온의 변동 폭은 크지 않았으나 습도의 경우 그 변동 폭이 큰 것을 알 수 있다. 본 실험은 앞서 언급되었듯이 2차에 걸쳐 실시되었는데 6월 2일부터 40시간 동안 관수를 시행하지 않아 식물이 고사해 2차 실험을 재실시했는데 이 시기는 습도가 50% 내외이고 기온도 거의 30℃정도로 건조피해가 발생한 것으로 생각된다.

6월 20일 이후부터는 습도가 높아지고 있어 투수성이 불량한 토양과 배수층의 경우 과습의 피해가 상대적으로 높게 나타날 것으로 생각된다.

2. 식재지반용토의 이화학적 특성

(1) 배합토의 물리적 특성

토양종류에 따른 증발량의 측정결과는 Fig. 2와 같다. 초기 7일간에는 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 9일 이후부터는 토양별로 차이가 발생하였다. 측정 후 20일 동안은 L5H3S2에서 가장 낮은 증발을 보여 상대적으로 수분의 이동이 적은 것으로 나타났으며 집중강우나 과다한 관수시 과습의 피해를 입을 것으로 판단된다. 버미큘라이트도 측정기간 동안 비교적 낮은 증발패턴을 나타내고 있어 수분보유력이 상대적으로 높다는 것을 확인할 수 있었는데 특히, 1999년 6월 2일부터 3일까지 약 2일 동안 관수를 실시하지 않은 결과 대부분의 토양에서 잔디가 고사되었음에도 불구하고 이들 두 토양(L5H3S2, V10)에서 잔디가 생존했던 것은 증발량이 상대적으로 낮았던 점도 하나의 원인으로 작용되었을 것으로 사료된다. 한편 증발량은 공극률과도 관련이 있어 공극이 크면 수분의 상향이동이 어려워 증발량이 적어지게 되는데 L5H3S2 및 V10에서 증발량이 낮았던 점도 이

들 토양의 비교적 높은 공극률에서 연유된 것으로 판단된다.

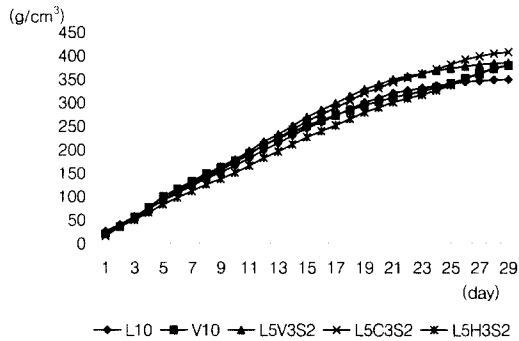


Fig. 3. Cumulative evaporation amount in several types of soil media.

L : sandy loam, S : sand B : burned rice hull
H : humus sawdust V : vermiculite
(small numbers mean mixing ratio)

25일 이후부터는 L10에서의 증발이 가장 낮았는데(Fig. 3), L10의 경우 20일을 전후해 변화가 거의 없고 증발이 적었던 것은 수분보수력이 높았다기 보다는 상대적으로 낮은 수분함량을 지녔기 때문에(Table 2 참조) 시간이 흐를수록 증발곡선이 완만해 지는 경향을 보인 것으로 생각된다. 또한 투수성과 증발량이 낮아 수분의 이동이 적기 때문에 강우 및 과다한 관수시 과습의 피해와 수분부족시 건조피해가 발생할 수 있을 것으로 추정된다.

그러나 본 실험이 실내에서 측정되었고 여름철 측정에 의해 습도가 비교적 높았기 때문에 토양종류별로 증발량에 뚜렷한 차이가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

먼저, 용적밀도는(Table 1 참조) L10에서 1.38 g/cm로 가장 높았으며, V10에서 0.31g/cm로 가장 낮게 나타났다.

공극률은 용적밀도와는 정반대로 V10에서 가장 높았으며, L5V3S2가 다음으로 높게 나타났다. L5H3S2, L5B3S2의 유기질 배합토에서는 중간정도의 공극률을 보였으며, L10에서 46.3%로 가장 낮은 수치를 나타냈다.

투수성은 V10에서 1.02cm/sec이상이므로 가장 높게 나타났으며, L5B3S2의 혼합토가 다음으로

Table 1. Physical properties of soil media

Soil media ^z	Bulk density (g/cm)	Porosity (%)	Saturated hydraulic conductivity (cm/sec)
L10	1.38	46.3	1.77×10^{-5}
V10	0.31	74.0	1.02 이상
L5V3S2	1.02	59.2	1.03×10^{-2}
L5B3S2	1.12	50.0	6.66×10^{-2}
L5H3S2	1.14	53.5	3.33×10^{-2}

^z L : sandy loam, S : sand, B : burned rice hull, H : humus sawdust, V : vermiculite
(small numbers mean mixing ratio)

투수성이 좋은 것으로 분석되었다. 반면, L10은 투수성이 0.00177cm/sec로 매우 낮은 것을 알 수 있었다. L5H3S2, L5B3S2의 유기질 배합토는 L10보다 투수성이 우수하였다(Table 1 참조).

다음으로 5가지 공시토양들의 체적토양수분 함량은 Table 2에서 보는 바와 같이 V10에서 가장 높았고 다음으로 L5H3S2의 배합토에서 높았으며, L10에서 가장 낮았다.

Table 2. Volumetric water content of soil media after water application

soil media ^z	Volumetric Water content(%) after					
	2 hours	6 hours	12hours	1 days	4 days	5 days
L10	27.7	26.5	26.5	26.5	26.5	26.1
V10	47.4	47.3	47.3	47.3	46.9	46.8
L5V3S2	27.3	27.3	27.2	27.2	26.9	26.8
L5B3S2	29.2	28.3	28.3	28.3	28.0	27.9
L5H3S2	30.7	30.2	30.1	30.1	29.7	29.6

^z L : sandy loam, S : sand, B : burned rice hull, H : humus sawdust, V : vermiculite
(small numbers mean mixing ratio)

나머지의 배합토의 경우는 비슷한 수분함량을 나타내고 있었다. V10의 경우 수분함량이 높고 투수성 및 공극률이 가장 높아(Table 1) 배수성 및 보수성 등이 우수한 것으로 사료되며 L5B3S2 및 L5H3S2의 경우 수분함량은 비교적 높았으나 증발량과 투수성 등이 중간 정도의 특성을 보여 과다 관수시 과습하게 될 수 있어 유기질계의 육상식재용토를 사용할 경우 이러

한 물리적 성질을 보다 개선시켜야 할 것으로 사료된다.

배합토별 수분함량은 토양개량재의 수분함량에 의해서 영향을 받고 있는 것으로 판단되며, 수분함량의 경우 배합토간에는 차이가 나타났으나 경시적 변화는 매우 작게 나타났는데, 이는 실내실험이라는 점에서 수분손실이 작았기 때문(심상렬, 1989)으로 생각된다.

(2) 배합토의 화학적 특성

토양재료의 화학적 특성은 Table 3에 나타나 바와 같다. 즉, 토양의 pH는 V10가 pH 8.3의 알칼리성으로 나타났으며, 나머지 배합토의 경우는 pH 7.0-7.3으로 비슷한 수준을 보였다.

전기전도도(EC)의 측정에서는 L5H3S2가 0.9로 가장 높았다. 그러나 나머지의 식재용토간에는 큰 차이를 나타내지 않고 있었다.

식물생육과의 관계를 고려해 볼 때, 본 실험에 사용된 토양의 pH와 EC(전기전도도)의 경우

V10의 pH값을 제외하고는 비교적 양호한 것으로 나타났다.

전질소(T-N)는 수목생장에 가장 중요한 양분으로서 0.2% 이상이 되어야 추가시비 없이 양호한 수목생장을 도모할 수 있으나(Bradshaw et al., 1995), 본 실험에 사용된 L10, V10, L5V3S2 등의 경우 전질소의 함량이 0.2% 이하로 나타나 시비 등의 관리가 없이는 식물생육에 제한요인으로 작용될 것으로 생각된다.

유효인산의 경우 L10과 인공토양(V10)에서 우리나라 발토양의 평균함량보다 현저히 낮은 미경지 토양의 일반적 수준인 10mg/kg(윤근영에서 재인용, 1997) 이하의 낮은 함유량을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 반면 L5V3S2-81.6mg/kg에서 높은 수준을 보였으며 그 외의 토양은 중간적 성질을 나타내고 있었다.

3. 옥상지반의 배수층구조별 식물생육 효과

옥상지반의 식물생육상태는 배수층구조 뿐만

Table 3. Chemical properties of soil media

Soil media ^z	pH	EC (mmho/cm)	T-N (g/kg)	P (mg/kg)	Exchangeable Cations (cmol(+)/kg)				Total Base (cmol(+)/kg)	C.E.C (cmol(+)/kg)	Base Sat. (%)	O.M (%)
					Ca	Mg	K	Na				
L10	6.8	0.2	0.11	9.2	5.19	1.39	0.07	0.15	6.80	6.4	106.3	0.8
V10	8.3	0.3	0.05	2.9	12.51	37.49	0.42	18.30	68.72	35.2	195.2	0.14
L5V3S2	7.2	0.2	0.08	81.6	5.06	3.09	0.11	1.76	10.02	7.5	133.6	0.8
L5B3S2	7.3	0.3	0.22	25.7	5.43	1.30	0.17	0.15	7.05	5.4	130.6	3.1
L5H3S2	7.0	0.9	1.08	22.3	9.49	2.61	0.39	0.47	12.96	8.0	162.0	15.0

^z L : sandy loam, S : sand, B : burned rice hull, H : humus sawdust, V : vermiculite (small numbers mean mixing ratio)

Table 4. Effects of soil media on the growth of *Zoysia japonica* (seeding date : 2 June, 1999)

Soil media ^z	No. of germination (0.12 m ²)	Height (cm)			Covering rate (%)		Dry weight (g)	D.w of above (g)	D.w of roots (g)
		7 July	7 July	7 Aug.	7 Sept.	7 Aug.			
L10	100.9d ^x	1.19c	2.32b	2.81bc	46.5b	54.5c	0.55d	0.27d	0.28d
V10	183.0a	1.51a	2.34b	2.72c	48.0b	45.6d	1.43a	0.58b	0.85a
L5V3S2	161.6b	1.35b	2.44b	2.91b	55.8a	55.1c	0.87c	0.42c	0.45c
LB3S2	155.3b	1.37b	2.40b	2.85bc	60.4a	71.6a	1.00b	0.53b	0.47c
L5H3S2	126.3c	1.36b	2.67a	3.08a	55.0a	64.2b	1.45a	0.83a	0.62b

^x : Mean values with the same letter within columns are not significantly different at p=0.05 level in Duncan's multiple range test.

^zL : sandy loam, S : sand B : burned rice hull H : humus sawdust V : vermiculite (small numbers mean mixing ratio)

아니라 이미 선행연구에서도 고찰되었듯이(이은엽·문석기, 1999) 토양종류에 따라서도 영향을 받고 있으므로 이들을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 4 참조).

발아개체수는 V10에서 가장 높았으며, 다음으로 L5V3S2의 배합토에서 발아세가 높았다. 반면, L10에서 발아상태가 가장 저조했는데, 발아에 직접적 영향을 미치는 수분 및 산소조건과 관련된 공극률과 투수성이 좋은 토양(Table 1참조)에서 상대적으로 발아개체수가 우수했던 것으로 파악된다.

초장의 경우는 파종후 약 1개월 후는 V10에서 가장 길었으나, 파종후 2개월 뒤부터는 L5H3S2에서 초장이 길게 나타났다. 대체적으로 토양을 단용 처리한 L10, V10보다는 L5V3S2, L5B3S2, L5H3S2등의 배합토에서 초장이 높아, 토양개

량재를 혼합시켜 줌으로써 토양의 이화학적성질이 보다 개선되어 식물생육에 유리하게 작용한 것으로 생각된다. 피복율 역시 초장과 마찬가지로 단용 보다는 배합토에서의 효과를 확인할 수 있었다. 건물중의 경우 지상부는 L5H3S2에서 가장 높았는데, 지상부의 성장과 관련된 전질소 및 유기물함량 등의 양분함량이 다른 토양재료에 비해 상대적으로 높았던(Table 3 참조) 것에 원인된 결과이다. 반면, 지하부의 중량은 V10에서 가장 높았는데, 상대적으로 높은 공극으로 뿌리가 뻗을 수 있는 공간이 확보되어 지하부의 생장이 상대적으로 우수했던 것으로 판단된다.

토양종류별로 배수층 구조에 따라 식물의 생육상태가 어떤 영향을 받고 있는가를 파악한 결과는 다음과 같다(Table 5 참조).

Table 5. Growth factors in *Zoysia japonica* at different drainage types of soil media (seeding date : 2 June, 1999)

Drainage layer types	No. of germination (0.12m ²)	Height (cm)			Covering rate (%)		Dry weight (g)	D.w of above (g)	D.w of roots (g)	
		7 July	7 July	7 Aug.	7 Sept.	7 Aug.				7 Sept.
L10 ^z	Gravel	93.0b ^x	1.09b	2.37a	2.93a	30.9ab	48.3b	0.51b	0.25b	0.26b
	Artificial soil	115.3a	1.22a	2.15b	2.51b	62.7a	54.2b	0.41c	0.23c	0.18c
	Drainage plate	94.3b	1.27a	2.43a	3.00a	45.9b	60.9a	0.85a	0.38a	0.47a
V10	Gravel	106.33b	1.40a	2.13b	2.53b	33.6b	40.53b	0.51c	0.26c	0.25c
	Artificial soil	90.67b	1.61a	2.53a	2.88a	52.00a	59.73a	2.58a	1.31a	1.27a
	Drainage plate	182.00a	1.52a	2.38ab	2.73ab	58.53a	54.67a	2.08b	0.99b	1.09b
L5V3S2	Gravel	224.0a	1.27c	2.63a	2.93b	49.07b	61.87b	1.22a	0.61a	0.62a
	Artificial soil	179.0b	1.42a	2.17b	2.55c	52.47b	65.40a	0.60c	0.33c	0.27c
	Drainage plate	146.0c	1.35b	2.51b	3.25a	66.0a	65.27a	0.89b	0.38b	0.51b
L5B3S2	Gravel	166.67a	1.39a	2.61a	2.85a	56.80b	68.33b	0.81c	0.45c	0.36c
	Artificial soil	152.00b	1.38a	2.37b	2.89a	54.80b	70.27b	1.09b	0.55b	0.54b
	Drainage plate	166.0a	1.35a	2.24b	2.81a	69.67a	76.07a	1.23a	0.65a	0.58a
L5H3S2	Gravel	150.33a	1.18b	2.62a	3.00a	47.13b	58.0b	0.74c	0.39c	0.35b
	Artificial soil	157.00a	1.45a	2.75a	3.01a	51.87b	63.20a	0.84b	0.49b	0.36b
	Drainage plate	158.67a	1.45a	2.63a	3.25a	60.2ab	66.07a	2.1a	0.87a	1.23a

^x : Mean values with the same letter within columns are not significantly different at p=0.05 level in Duncan's multiple range test.

^z : L : sandy loam, S : sand, B : burned rice hull, H : humus sawdust, V : vermiculite (small numbers mean mixing ratio)

먼저, L10의 경우 발아개체수는 인공경량토 배수층에서 가장 높게 나타났는데, L10이 수분함량이 가장 낮았기 때문에(Table 2 참조) 수분함량 및 보습성이 좋은 인공경량토(펄라이트) 배수층에서 발아개체수가 우세했던 것으로 사료된다. 파종 후 1개월 후의 초장은 자갈층에서 가장 저조했고, 배수판과 인공경량토 배수층에서는 유사한 생육상태를 나타냈다. 그러나 시간이 경과되면서 인공경량토 배수층에서 초장이 가장 낮아지는 경향을 보였다.

피복율의 경우 초기에는 인공경량토 처리에서 우세했으나 파종 후 3개월 후부터는 배수판 처리구에서 가장 높았다. 전체 건물중의 경우 배수층에 따른 통계적인 유의 차가 인정되었는데 배수판 설치구에서 가장 우수했으며 인공경량토 배수층에서 가장 저조하였다.

따라서 생장물의 경우 초기에는 인공경량토 배수층에서 높았다가 시간이 경과하면서 불량해지는 결과가 나타났는데 이는 식재지반층 토양인 L10이 증발량 및 투수성이 낮고(Fig. 3, Table 1) 정기정량관수 등에 의해 미립자가 흘러 내려가면서 배수층의 공극을 채워 배수가 불량해졌고 6월20일 이후부터는 습도도 높아져(Fig. 2 참조) 오히려 과습의 문제가 발생된 것으로 생각된다.

다음으로 V10은 배수층에 따른 생장변인들 간의 통계적인 유의 차가 인정되었는데 발아개체수는 적절한 배수와 보습기능을 가진 배수판 처리구에서 가장 우세했고 초장은 인공경량토 배수층에서, 피복율은 배수판처리구와 인공경량토 처리구간에는 유의 차가 없이 유사하였으며 자갈층에서 가장 저조하였는데, V10은 비교적 낮은 증발패턴을 가지고(Fig. 2 참조) 있어 수분보유력이 높는데다 자갈 배수층의 공극률은 상대적으로 낮아 배수가 다른 재료에 비해 원활하지 못해 과습에 의한 생장장애가 발생한 것으로 추정된다. 이러한 결과는 추후 보다 정확한 측정과 분석을 통해 객관화된 해석이 가능할 것으로 판단된다.

건물중 역시 인공경량토 처리구에서 높았는데 특히 V10이 다른 토양재료에 비해 상대적으

로 건물중이 높았던 이유는 앞서 언급되었듯이 인공경량토의 높은 공극에 의해 뿌리가 뻗을 수 있는 공간이 확보되어 뿌리의 생장이 상대적으로 높았던 점이 영향을 미쳤을 것으로 판단된다(이소정, 1997). 이를 통해 식재용토로 V10과 배수층 구조의 조합형을 고려해 볼 때 먼저 인공경량토(펄라이트)의 배수층은 뿌리부분의 건물중이 가장 높아 하중부담 및 뿌리생장으로 인한 방수층 등의 훼손 문제가 있고, 자갈배수층은 식물생장에 따른 하중의 증가는 없으나 자갈자체의 중량으로 인한 하중의 부담이 따르게 된다. 그러나 배수판을 배수층으로 사용할 경우는 이들의 단점을 보완해 줄 수 있어 최적의 조합조건으로 제시할 수 있다.

L5V3S2의 발아개체수는 자갈층에서 가장 우수했고, 파종 후 1개월 후의 초장은 인공경량토 배수층에서, 2개월 후에는 자갈층에서 상대적으로 증가했으나, 파종 후 3개월 후에는 배수판 처리구에서 높게 나타났다. 또한 피복율도 대체적으로 배수판 처리구에서 상대적으로 높았다. 그러나 건물중의 경우 자갈층에서 가장 높게 나타나 배수층과 토양에 따른 생장특성을 고려해 볼 때 인공지반의 하중질감이라는 측면에서는 부적합한 조합형태임을 알 수 있었다.

L5B3S2의 경우 발아개체수는 인공경량토(펄라이트) 배수층에서 가장 저조했으며, 자갈층과 배수판 처리구에서는 유사한 경향을 나타냈다. 초장은 배수층의 구조에 따른 통계적인 유의차가 인정되지 않았다. 발아개체수가 인공경량토 배수층에서 불량했던 것은 L10과 마찬가지로 혼탄의 미립자가 수분이동과 함께 인공경량토 배수층의 공극을 채워 배수의 기능을 저하시키므로써 식물생육에 불리하게 작용된 것으로 생각된다. 한편, 피복율은 배수판 처리구에서 상대적으로 높았으며 건물중 또한 배수판 처리구에서 가장 높게 나타나 식물생장에 유리한 측면을 지니고 있는 것으로 사료된다.

L5H3S2의 경우 발아개체수는 처리구간의 통계적인 유의 차가 없었으나 초장은 파종 후 1개월 후에 자갈층에서 가장 저조했고 배수판과 인공경량토 처리구간에는 유사한 것으로 나타났다.

그러나 파종 후 2, 3개월 후에 측정된 초장은 비교구간에 통계적인 유의 차가 없음을 알 수 있었다. 2회에 걸쳐 측정된 피복율은 배수판 처리구에서 상대적으로 높게 나타났으며 건물중 역시 배수판 처리구에서 가장 우수하였는데 이는 플라스틱 배수판의 경우 배수 및 보수기능을 어느 정도 갖추었던 점이 잔디의 생육을 증진시킨 주된 원인으로 추정된다.

특히 L10, L5B3S2, L5H3S2 등 비교적 공극률이 낮았던 토양들이 배수판 설치구에서 건물중이 높았던 점에 비추어 볼 때 배수가 불량할수록 플라스틱 배수판이 효과적임을 알 수 있었다.

이상의 토양종류별 배수층 구조와 초본식물의 생육 측정결과를 종합해 볼 때 배수판의 경우 자갈층이나 인공경량토(펄라이트) 배수층에 비해 중량이 가볍기 때문에 상대적으로 하중부담을 줄여줄 수 있는 것으로 판단된다. 또한 배수판 설치구에서 생육상태가 양호했던 L5B3S2, L5H3S2와의 조합을 통해 하중완화와 목표수준에 적합한 식물생육의 최적조합형으로 유도할 수 있을 것으로 사료된다. 즉, 일반적으로 배수층의 높이가 10-20cm로 규정된 것에 비추어 볼 때 플라스틱 배수판의 높이는 3.5cm정도, 식재용토의 토심은 3cm로 전체높이가 6.5cm정도였으나 식물의 생육상태가 양호했던 점은 시사해 주는 바가 크다.

Table 6은 5가지 공시토양의 배수층 구조에 따른 식물생육효과를 종합한 실험결과이다. 먼저 배수층 구조에 따른 발아개체수는 통계적으로 유의한 차이가 나타나고 있음이 확인되었는데, 종자의 발아는 수분조건의 영향을 많이 받

기 때문에 배수층구조에 따라 투수성과 보습성이 달리 작용된 결과로 볼 수 있다.

발아개체수는 배수판 처리구에서 가장 높게 (153.6) 나타났으며, 자갈층(134.6)에서 가장 저조한 것으로 나타났다. 자갈층 보다는 인공경량토 또는 배수판의 배수층에서 상대적으로 양호한 발아세를 보인 것은 옥상지반이라는 특수한 환경조건을 감안해 볼 때 이들 배수층의 보습성과 배수성이 자갈층 보다는 유리했기 때문으로 사료된다.

초장의 경우 파종후 1개월 후에는 배수층 구조에 따른 통계적인 유의 차가 있었으며, 발아개체수와 마찬가지로 자갈층에서 가장 저조했고 배수판 설치구에서 상대적으로 우수한 생장을 보이고 있다. 이같은 결과는 배수판이나 인공경량토의 배수층은 자갈배수층 보다 배수성이 좋고 이 기간에는 습도가 비교적 낮았던 점에 비추어 볼 때 보유하고 있는 수분함량이 많아 초기의 식물생장에 유리하게 작용된 것으로 생각된다.

그러나 파종 후 2, 3개월 후의 초장은 통계적인 유의성이 인정되지 않아 초장의 생장에 미치는 배수층의 영향정도가 시간이 경과할수록 그리 크지 않은 것을 알 수 있었다. 반면 파종 2, 3개월 후의 피복율은 배수층 구조에 따라 생육에 대한 통계적인 유의한 차이가 발생했는데, 이 실험기간에는 옥상지반의 습도가 상대적으로 높았고 토양미립자가 수분이동과 함께 자갈배수층의 공극을 채워 과습의 피해가 발생, 자갈층 보다는 배수판 처리구에서 피복율이 월등하게 높았던 것으로 보인다.

Table 6. Effects of drainage types on the growth of *Zoysia japonica*

(seeding date : 2 June, 1999)

Treatments	No. of germination (ea) 2 July	Height(cm)			Covering rate(%)		D.w of above (g) 10 Sept.	D.w of roots (g) 10 Sept.
		2 July	2 Aug.	2 Sept	2 Aug.	2 Sept.		
Gravel	134.6b ^x	1.28c	2.38a	2.85a	44.5c	48.6b	0.47b	0.52b
Artificial soil	148.1ab	1.36b	2.45a	2.87a	50.5b	62.1a	0.53ab	0.56a
Drainage plate	153.6a	1.43a	2.47a	2.91a	64.6a	63.9a	0.58a	0.54ab

^x : Mean values with the same letter within columns are not significantly different at p=0.05 level in Duncan's multiple range test.

다음으로 지상부의 건물중 역시 자갈층에서 가장 낮았으며, 인공경량토의 배수층은 중간적인 특성을 그리고 배수판 처리구의 경우 가장 높은 건물중을 보였다.

한편, 지하부의 건물중은 배수층의 구조에 따라 통계적인 유의성이 인정되었는데 인공경량토 배수층에서 가장 높은 건물중을 나타냈으며, 자갈층에서 가장 낮았다.

이같은 결과는 배수층 재료에 따라 보수성 및 통기성 등이 달랐던 점도 한 원인이 된 것으로 생각된다. 즉, 인공경량토로 배수층이 조성된 경우 공극률이 커서 상대적으로 식물의 뿌리성장 정도가 높았기 때문에 지하부의 건물중이 증가된 것으로 보여진다.

IV. 결 론

본 연구는 토양종류와 배수층 구조에 따라 배수성과 보습성에 차이가 있고 식물생육에 미치는 영향도 다를 것이라고 가정하고 그 차이를 검증해 봄으로써 옥상지반 녹화에 효과적인 배수층의 최적조합조건을 규명하고자 수행하였다.

1) 먼저, 토양종류에 따른 식물의 생육상태에 차이가 발생되고 있음이 확인되었다. 5종의 토양중 이화학적성질이 가장 불량했던 L10에서 발아와 생육이 가장 저조했으며, 토양의 물리적 성질이 우수했던 V10에서 발아율이 가장 높았다. 또한 초장 및 피복율은 L10, V10 등의 단용토양 보다는 L5V3S2, L5B3S2, L5H3S2 등의 배합토에서 우수하였다. 건물중의 경우 지상부는 지상부 성장과 관련된 전질소 및 유기물함량이 높았던 L5H3S2에서 가장 높았다. 반면, 지하부의 중량은 V10에서 가장 우수했는데, 높은 공극으로 뿌리가 뻗을 수 있는 공간이 확보되어 지하부의 생장이 우수했던 것으로 판단된다.

2) 토양종류별(5종의 토양)로 배수층에 따른 들잔디(*Zoysia japonica*)의 생육 측정결과 L10의 발아개체수는 인공경량토 배수층에서, 초장과 피복율 및 건물중은 플라스틱 배수판 설치

구에서 각각 높았다. 특히, L10은 수분함량이 낮아 배수층을 보습성이 좋은 인공경량토로 조성해준 실험구에서 발아개체수가 우수했던 것으로 판단된다. V10의 경우 발아개체수는 플라스틱 배수판설치구에서, 초장 및 건물중은 인공경량토 배수층, 피복율은 플라스틱 배수판 처리구와 인공경량토 처리구간에 통계적인 유의차 없이 높게 나타났다. L5V3S는 발아개체수의 경우 자갈층에서, 초장 및 피복율은 플라스틱 배수판 처리구에서 높았다. 반면 건물중은 자갈층에서 높게 나타나 인공지반의 하중절감이라는 측면에서 토양과 배수층의 조합조건이 부적합한 것으로 생각된다. L5B3S는 식물의 생육상태가 플라스틱 배수판 처리구에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 L5H3S2는 발아개체수의 경우 처리구간의 통계적인 유의차가 없었고 피복율과 건물중은 플라스틱 배수판에서 높았다.

따라서 대부분의 토양재료는 배수판 설치구에서 들잔디(*Zoysia japonica*)의 생육상이 양호했는데 다른 재료에 비해 배수 뿐만 아니라 동시에 보수기능도 갖추고 있었던 것에 원인된 결과로 생각된다.

반면, 자갈과 인공경량토를 사용한 배수층에서의 생육상태가 저조했던 것은 토양재료의 미립자가 수분이동과 함께 이들 배수층의 공극을 채워 배수의 기능을 저해시켰기 때문으로 사료된다. 특히, V10, L5B3S2에 비해 배수가 불량한 L10, L5B3S2, L5H3S2의 경우 플라스틱 배수판에서 생육상태가 우수했던 결과로 미루어 배수가 불량한 토양의 경우 플라스틱 배수판으로 배수층을 설치해 주는 것이 식물생육에 효과적임을 알 수 있다.

또한 옥상지반이 가지는 구조적인 안정성과 관련시켜 볼 때 플라스틱 배수판은 다른 재료에 비해 하중이 적어 배수판 설치구에서의 생육상태가 좋았던 V10과 L5B3S2, L5H3S2와의 조합형을 하중완화와 식물생육에 유리한 최적조건으로 제시할 수 있다. 그러나 V10은 도시환경적 측면에서 무기질계 토양이라는 단점과 물에 뜨거나 비산되는 등의 문제점 등을 지니고 있고

오늘날 옥상녹화에 대한 관심이 도시생태계의 네트워크 측면에서 중요하게 접근되고 있는 점에 비추어 볼 때 들잔디(*Zoysia japonica*)의 생육상태도 우수했던 유기질계 토양재료인 L5H3S2와 플라스틱 배수판의 조합형이 보다 효과적인 것이라고 추정된다.

3) 배수층 구조에 따른 식물생육상태를 분석한 결과 통계적인 유의성이 인정되었는데, 플라스틱 배수판으로 배수층을 시공한 실험구에서 가장 우수했으며, 자갈 배수층에서 가장 저조하였다. 이같은 결과는 본 실험대상지인 옥상의 경우 기온도 높고 습도의 변동 폭도 크기 때문에 이러한 환경조건에 대해 배수층 구조별로 보습성 및 투수성 등의 차이가 영향을 미친 것으로 생각된다. 본 실험에 사용된 공시토양 대부분이 배수판 처리구에서 생육상이 양호했던 점과 현재 외국에서 수입되어 국내에서 사용되고 있는 옥상녹화시스템의 설치높이(토양층만 80-200mm)를 고려해 볼 때 배수판 설치구의 배수층과 식재용토의 전체 높이가 65mm(토양층 30mm, 배수층 35mm)정도였던 점은 주목할 만하다.

인 용 문 헌

구태익 역. 1996. 건축공간의 조경설계(I).
 김재정 역. 1985. 토양물리학. 대한교과서주식회사.
 김현수·변혜선. 1998. 보급형옥상녹화시스템의

개발과 적용. 환경과조경 통권 제126호: 64-71.

서울시립대학교 환경생태연구소. 1996. 인공토양파라소 사례연구를 통한 인공지반의 적정수증선정 및 관리방안. p.86.
 심상렬. 1989. 토양의 조성 및 답압이 한국잔디류(*Zoysia spp.*)의 생육에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위 논문. pp.10-20.
 윤근영. 1997. 아파트단지내 조경용 교목의 입지조건별 성장특성. 서울대 박사학위논문. pp.72-79.
 이소정. 1997. 토양의 입도조성이 토양의 물리성 및 목본식물의 목본식물의 생장에 미치는 영향에 관한 연구. 대구효성카톨릭대학교 석사학위논문.
 이은엽·문석기. 1999. 인공지반의 토양조성과 토양심도가 중엽형들잔디의 생육에 미치는 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 2(2): 24-32.
 현대건설주식회사 기술연구소. 1997. 인공지반 조경녹화기술에 관한 연구.
 都市綠化技術機構 特殊綠化共同研究會. 1995. Neo-Green Space Design. 株式會社誠文堂新光社.
 興水 肇. 1977. 綠地學研究. 東京大學 農學部園藝學 第2(綠地學) 研究室.
 Bradshaw, A., B. Hunt and T. Walmsley, 1995. Trees in the Urban Landscape. London, E and FN Spon..

接受 2000年 10月 20日