한국환경생태학회지 27(6): 745-756, 2013 pISSN 1229-3857 eISSN 2288-131X
Korean J. Environ. Ecol. 27(6): 745-756, December 2013 http://dx.doi.org/10.13047/KJEE.2013.27.6.745

무강우 무관수시 옥상녹화 식물의 토양수분감소 패턴과 그 영향[1]

안근영[2*] · 한승원[3] · 이은희[4]

Soil Moisture Reduction Pattern and that Influences for Plants in the Condition of No Rainfall and No Irrigation[1]

Geun-Young Ahn[2*], Seung-Won Han[3], Eun-Hee Lee[4]

요 약

본 연구는 옥상녹화 시 식물유형별 수분요구도에 대한 사항을 사전에 고려하여 저관리, 최소한의 관리로 조성되는 옥상녹화의 지속가능성을 유지하고자 하는 데에 목적을 두고 있다. 따라서 옥상녹화의 대표적인 식물로 알려진 세덤류 중 애기기린초와 내건성이 강한 일반 초화류 중 상록패랭이가 동일 조건에서 건조에 견디는 저항력과 토양종류별 토양수분감소에 대한 생육변화를 살펴보고자 실험을 수행하였다. 무관수, 무강우 조건에서 30일 경과 후 상록패랭이가 식재된 펄라이트 10㎝ 토양이 토양 내 수분함량이 가장 적은 것으로 나타났고, 애기기린초가 식재된 인공배합토 20㎝의 토양이 다른 토양에 비해 가장 많은 수분함량을 나타냈다. 또한 전반적으로 토양종류와 토심에 관계없이 애기기린초가 식재된 토양구보다 상록패랭이가 식재된 토양실험구의 수분함량이 낮은 것으로 나타났다. 이는 상록패랭이의 수분요구도가 애기기린초보다 더 크다는 사실을 증명하는 결과라 할 수 있다. 또한 식물의 생육상태는 펄라이트 토양 중에서도 토심이 낮은 10㎝, 인공배합토양에서도 20㎝ 실험구보다 10㎝ 실험구에서 더 양호한 결과가 도출되었다. 본 실험결과 무강우 무관수 조건에서 토양 종류에 따라 토양수분의 감소패턴에 큰 차이가 있음을 알 수 있었으며, 식물 종류에 따라서도 토양수분감소에 따른 수분스트레스 패턴의 차이가 있음을 알 수 있었다.

주요어: **저관리**, **수분스트레스**, **내건성**, **생육변화**

ABSTRACT

This study was carried out to suggest an experimental base to maintain the sustainability of extensive green roof as considering moisture demand by the type of the green roof plant before construction. The changes of soil moisture content, chlorophyll content, coverage of *Sedum kamtschaticum* and *Dianthus chinensis* var. *senperflorens* in two type of perlite soil and mix soil, were investigated under the condition of no rainfall and no irrigation during one month. The result shows that with the increase of stress time, soil moisture content and chlorophyll content on leaf were in a downward trend; After 30 days, Soil moisture content were lowest in 10 ㎝ depth perlite soil system planted *Dianthus chinensis*. and 20 ㎝ depth mix soil system planted *Sedum kamtschaticum* had the highest soil moisture. Generally soil moisture contents of soil system planted *Dianthus chinensis* var. *senperflorens* were lower than that of soil system planted *Sedum kamtschaticum*. In 10 ㎝ depth

1 접수 2013년 11월 1일, 수정(1차: 2013년 12월 10일, 2차: 2013년 12월 14일), 게재확정 2013년 12월 15일
Received 1 November 2013; Revised (1st: 10 December 2013, 2nd: 14 December 2013); Accepted 15 December 2013
2 서울여자대학교 자연과학대학 College of Natural Science, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea (gyahn@swu.ac.kr)
3 농촌진흥청 국립원예특작과학원 National Institute of Horticultural and Herbal Science, Suwon 440-706, Korea
4 서울여자대학교 환경생명과학부 Division of Environmental and Life Science, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea
* 교신저자 corresponding author: gyahn@swu.ac.kr

soil system, state of plant growth was better than 20 ㎝ depth soil system both perlite soil and mix soil type. It can be confirmed.

KEY WORDS: EXTENSIVE MANAGEMENT, WATER STRESS, DROUGHT RESISTANCE, CHANGES IN GROWTH

서 론

옥상녹화는 녹지의 기본적인 기능인 CO_2 흡수, 공기정화, 먼지흡착 등으로 도시환경의 쾌적성을 향상시킬 뿐만 아니라 건축물 상부를 피복하여 건물의 에너지 절약 및 내구성을 증가시키는 경제적 효과도 제공해 준다(Wolf and Lundholm, 2008). 최근 도시의 불투수포장율이 증가함에 따라 열섬현상이 더욱 심화되고 있는 가운데 식물의 증산작용으로 인한 도시기후의 조절기능 측면에서 옥상녹화의 역할이 더욱 중요하게 부각되고 있다. 실제로 옥상녹화 식물의 증산작용으로 인해 총 30% 정도의 지붕 냉각효과가 있음(Takakura *et al*., 2000)이 보고되었으며 이는 도시의 열악한 기후를 개선하는데 크게 기여할 것으로 예상되고 있다(Korea Environment Institute, 2007; Clark *et al*., 2010). 이러한 옥상녹화의 이점은 식물이 잘 생육하고 활착되어서 왕성한 광합성 작용을 할 때 얻을 수 있는 효과임은 이미 잘 알려져 있다.

옥상의 열악한 환경조건 중 식물생육에 가장 큰 문제가 되는 것은 햇빛과 바람에 의한 과다한 증산과 건조라고 볼 때, 기본적으로 내건성이 강한 식물의 선발도 중요하지만, 시공 초기에 식재지반 내에 토양의 이화학성을 개선시켜 토양의 통기 및 보수력을 양호하게 조성해주는 것과 시공 후 건조가 지속되는 시기에 적절한 관수관리를 통해 식물의 생육환경을 개선해 주는 것도 필수적으로 요구되는 조건이다. 즉, 식물의 증발산작용은 외부에서 유입되는 강우 및 관수량과 식물과 토양의 총 함유수분량에 의해 많은 영향을 받는다(Kim, 2003). 그러나 저관리 옥상녹화 시스템의 경우 해가 거듭될수록 토양의 통기 및 보수력, 보비력이 떨어지게 되고, 이는 식물의 생리활성에 악영향을 미치게 되면서 식재초기에 비해 현저히 피복능력이 떨어지는 결과를 가져오게 된다. 특히 초화류 중심의 옥상녹화시스템은 토심이 낮고 양분이 한정되어 있기 때문에 녹화 피복율이 점차 감소하게 되며, 상대적으로 환경저항성이 떨어지는 식물부터 고사하는 경우들이 종종 발생하고 있다. 관리의 요구도는 낮지만 최소한의 관리라도 체계적으로 하여 식물의 생육활성을 최대한 높여주어야 옥상녹화의 기본 목적인 도시내에서 일어나는 다양한 환경문제들의 정화능력도 지속적으로 기대할 수 있을 것이다. 이를 위해 식물의 생육에 직접적인 영향을 주는 토양내 수분환경과 적절한 환경조성을 위한 수분 관리에 대한 실증적인 실험 연구가 필요하다. 관리조방적 옥상녹화시스템에 적용되는 대표적인 식물은 세덤류와 건조에 강한 일반 초화류로 구분될 수 있다. 다육식물인 세덤류는 이미 여러 연구에서 옥상환경에서의 강한 내성 및 적응력을 검증한 바 있다(Lee *et al*., 2003; Lee *et al*., 2007) 세덤류 이외에도 일부 초화류 및 국내 자생 초화류의 옥상녹화용 식물로서의 적합도도 검증된 바 있다. 세덤류는 식물체내에 많은 수분을 저장하는 능력이 있어 지나친 갈수기에도 쉽게 생존능력이 저하되지 않는 특성이 있다. 또한 옥상녹화용 식물로서 적합하게 검증된 식물 중에서는 수분요구도가 상대적으로 많은 것들도 있다.

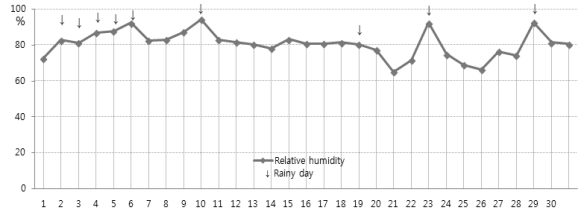
본 연구는 기존 옥상녹화에 적용되는 대표적인 식물군 중 서로 다른 생리특성이 있는 세덤과 일반 초화류 중 한 종씩을 선발하여 동일 조건에서의 건조에 견디는 저항력과 수분 스트레스의 양상을 살펴보고자 실험을 수행하였다. 본 실험의 결과로 관리조방적 옥상녹화시스템의 식재 설계시 식물의 수분요구도에 따른 사항을 사전에 고려하여 차별화된 관리 계획을 수립하고 저관리 혹은 최소한의 관리 하에서도 옥상녹화식물의 지속성을 최대화 하고자 하는데 목적이 있다. 이에 세덤류 중 애기기린초와 일반 초화류 중 상록패랭이를 선정하여 관수가 없는 상태에서 각각 다른 토양구성이 건조에 견디는 식물의 저항력에 어떠한 영향을 주는가와 토심별로 토양수분의 소멸상태에 따른 식물의 생육변화 양상을 관찰하여 각 식물의 지속적인 건강한 생육을 위한 토양수분함량 및 관리내용을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

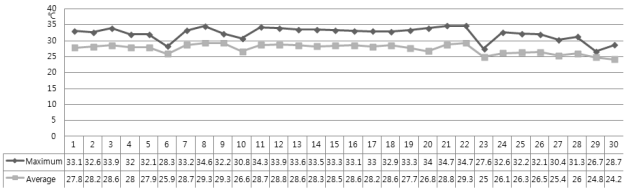
1. 실험재료 및 장소

1) 실험 장소 및 개황

본 연구는 세덤류와 일반초화류로 식재된 옥상녹화 시스템이 지속적인 갈수기에 일어나는 토양수분량의 감소 양상을 파악하고 토양종류에 따른 두 식물군의 생육상태 변화를 알아보고자 다음과 같이 실험구를 조성하였다. 실험 장소는 경기도 수원시 장안구 천천로 국립원예특작과학원 옥상에



a: Relative humidity and rainy day



b: The highest temperature and average temperature

Figure 1. Climate condition of experiment place

서 2013년 7월 착수하였다. 실험 기간은 가장 기온이 높은 7, 8월에 거쳐 수행하였으며 현장의 기상조건은 Figure 1과 같았다. 측정기간 동안 실험지의 평균기온은 25.4℃로, 평년(23.6℃)보다 1.8℃ 높았고, 여름철 최고평균기온은 30.1℃로 평년(28.4℃)보다 1.7℃ 높아 매우 무더운 날씨를 보였다.

2) 실험식물

현재 관리조방적 옥상녹화용 식물로서 열악한 옥상환경에서 적응이 쉬운 식물들을 다양한 연구에서 제안하고 있다. 일반적으로 대부분의 연구에서 검증된 식물(Lee *et al*., 2007) 중 실제 현장에서 가장 많이 도입되는 식물인 세덤류 애기기린초와 일반초화류인 상록패랭이를 공시식물로 선정하였다(Table 1). 실험에 적용할 모든 식물은 가능한 발생할 수 있는 생육상의 오차를 줄이기 위해 옥상녹화 실제 조성 시 일반적으로 공급되는 4치 포트 크기의 초본 중 엽면적이 유사하고 생육상태가 양호한 것으로 선발하였다. 선발 후 온실에서 유사한 관리 농도로 약 2주간의 적응기간을 거쳤다.

3) 실험 토양

실험구는 크게 인공배합토 실험구와 펄라이트 실험구로 각각 조성하였다. 옥상녹화는 하중문제 때문에 주로 경량의 인공토양을 적용하고 있는데, 가장 많이 이용되는 소재가 흑요석, 송지암과 같은 천연 유리질 암석의 하나인 진주암을 분쇄한 후에 900~1,200℃로 급가열하여 제조한 펄라이트이다(HICT, 1997; Huh and Shim, 2001). 일반적으로 펄라이트 토양은 건축물에 미치는 하중을 최소화하고 배수성 및 보수력의 향상을 위해서 단용 또는 자연토양 및 유기물 배합토양과 혼용하여 사용하고 있다(Huh and Shim, 2000). 그러나 저관리 또는 무관리 녹화현장의 경우 식재초기에 적용된 배합토양은 시간이 경과함에 따라 토양내의 양분이 점점 소실되어 식물생육에 영향을 주게 되고, 추가적인 관리없이 방치되는 녹화시스템은 생육기반으로서의 기능이 악화되어 식물의 고사하는 등 녹화의 지속성에 큰 영향을 미치게 된다. 이에 본 연구에서는 무관리 조건에서 식물에게 유효한 유기물질이 소멸된 상태와 유사한 구성을 위해 100% 펄라이트 토양실험구를 대조구로 하여 유기물질이 포함된 배합토양구와 비교실험을 수행하였다. 즉, 무강우, 무관수 조건에서 유기물이 포함되어 있는 토양과 유기물을 포함하고 있지 않은 토양의 토양내 수분함량 감소패턴과 그에 따른 식물 생육변화의 관계성을 규명하고자 하였다.배합토양은 토양의 보수성과 배수성, 식물의 유기물 요구도를 고려하여 육성용 펄라이트(Perlite)와 버미큘라이트(Vermiculite), 피트모스(Peatmoss), 라임스톤(limestone)을 1:1:1:1로 혼합하여 적용하였다.

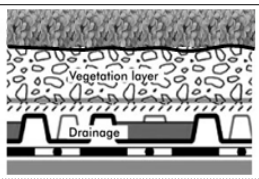
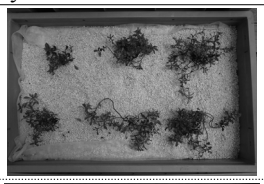
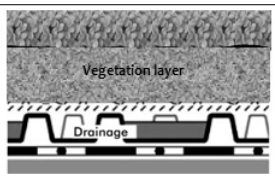
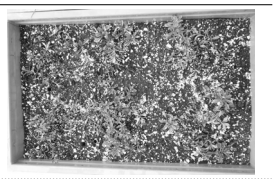
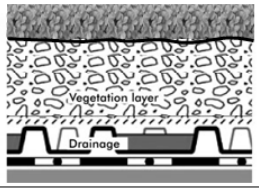
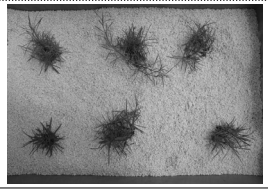
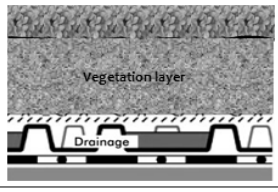
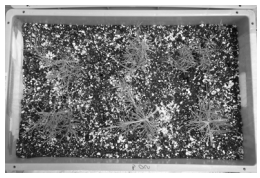
2. 실험구 조성

*Sedum middendorffianum*와 *Dianthus chinensis* var. *senperflorens*를 대상으로 두 종류의 토양별로 수분에 대한 스트레스와 생육상 변화를 알아보기 위하여 2013년 7월 16

Table 1. Plant of experiment

Sedum middendorffianum		*Dianthus chinensis.* var. *senperflorens*	
	• Plant height: 5~30 ㎝ • Flowering season: June-July, yellow • Growth Characteristics: a lot of the main stem from one point. Thick roots • Habitat: Attaches itself to the surface of the rock mountain grows		• Plant height: 10~20 ㎝ • Flowering season: May-June, White, violet • Growth Characteristics: Branches radiating out from the roots to spread. • Habitat: Partial shade or sunny place

Table 2. Type of experiment system

Type	Perlite soil system		Mix soil system	
10 ㎝ depth				
20 ㎝ depth				

일 본 실험구를 설치하였다. 인공배합토실험구와 펄라이트 실험구 각각의 토심은 옥상녹화 가중치가 적용되는 기준인 20㎝ 모델과 관리조방적 옥상녹화시스템으로 가장 일반적으로 적용되는 10㎝ 모델을 변수로 두었다. 실험구는 가로 1.2m 세로 0.4m 플라스틱 상자를 이용하여, 배수층, 필터, 식재 토양을 토심에 따라 포설하였다. 식물의 반복수는 6반복으로 하였다. 이후 2주간의 적응 기간을 거치는 동안 활착을 위해 관수 관리하였다. 그 이후 무관수 처리하였고, 우수차단을 위하여 투명한 아크릴지붕으로 실험구 상부의 비가림판을 설치하여 무강우 효과를 조성하였다.

3. 측정 내용 및 방법

실험 측정은 실험구 조성 후 2주간의 적응기간이 지나고 무관수, 무강우 조건에 들어간 7월 31일부터 8월 31일까지 약 한 달간 매일 지속하였다. 실험 착수시부터 한 달간의 건조기를 거친 후 실험 종료시점의 식물의 생체량을 비교하기 위하여 처음 실험구 조성시 식재된 식물과 동일한 크기와 엽수를 가진 식물의 생체중, 근부생체중, 근부건체중을 측정하였고, 실험 종료 후 실험구에서 가장 평균의 생체량을 보이는 개체를 채취하여 동일하게 생체중, 근부생체중, 근부건체중을 측정하였다. 종료 후 생체중은 각 실험구별로 식물을 3반복씩 굴취하여 흙을 완전히 제거한 후 저울로 측정하였다, 건체중은 생체중 측정 후 70℃에서 24시간 건조시킨 후 더 이상 중량이 변하지 않을 때 저울로 측정하였다. 또한 실험구 조성 직후 실험구 각각 피복도를 조사하고 실험종료 후 동일하게 피복도를 측정하여 생육량의 변화를 알아보고자 하였다. 식물별 피복 면적은 개별 식재구 위에서 등비율로 사진촬영한 후 실험구내 식물 피복면을 선으로 표식한 뒤 피복면적과 피복률을 산출하였다. 면적 측정 및 피복률 산출은 Autodesk사의 AutoCAD 2012를 이용하였다.

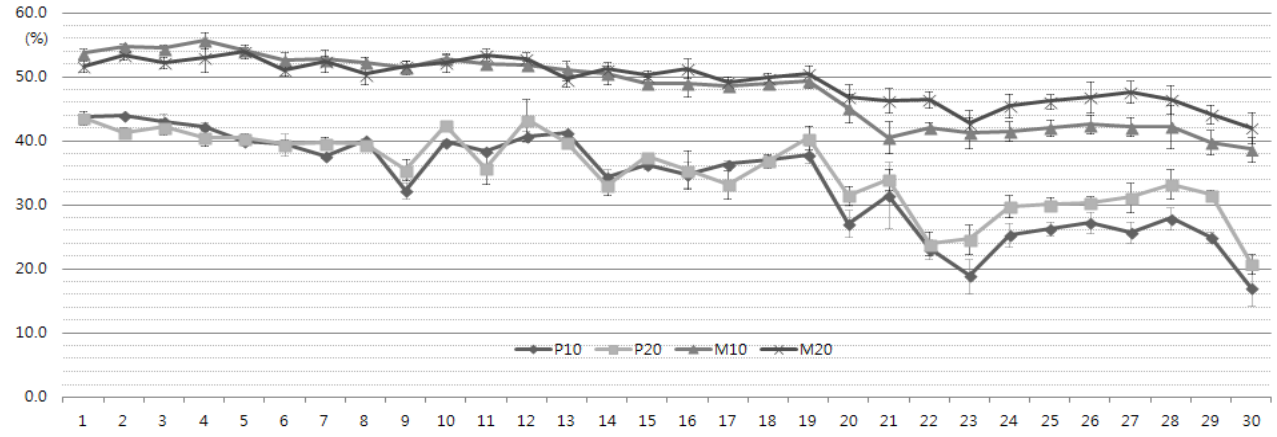
토양수분과 엽록소 측정은 매일 대기기온이 평균적으로 가장 높은 2시경에 실시하였다. 토양수분은 전기저항식 센서를 이용하여 토양 밀도와 형상에 의해 생길 수 있는 오차를 줄인 DM-18(Atago, Japan)로 측정하였으며, 측정범위는 12.1~58%이다. 본 연구에서 식물의 생육변화를 파악하는 인자 중의 하나인 엽록소 함량은 휴대용 엽록소 측정기(Chlorophyll meter, SPAD-502, Minolta, Japan, 이하 SPAD)를 이용하여 측정하였다. SPAD를 이용한 엽록소 측정은 단위메쉬 중심 부근에서 각 실험구의 식물 6주를 대상으로 주당 2~3위치씩을 측정하여 평균값을 구하였다. SPAD계 측원리는 엽록소에 민감한 파장대인 650㎚와 둔감한 파장대인 940㎚ 대역의 빛을 발광 다이오드를 이용하여 발생시키고, 이 빛을 2㎜×3㎜ 창으로 통과하게 한 후 두께가 1.2㎜이내의 식물 잎을 통과한 빛 강도를 실리콘 광다이오드로 측정하고 두 파장대 값의 차이를 이용하여 엽록소 함량을 -9.9부터 99.9사이의 값으로 나타내 준다. SPAD 측정방법은 얇은 고무막을 이용하여 암실을 만든 후 빛을 조사하므로 외란광의 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. 그러나 측정창의 크기가 작아 잎 내 위치별 변이가 존재하는 단점이 있어 측정값이 안정된 수치로 나타낼 때까지 반복 측정하였다. 엽록소 측정치는 측정 1일을 기준으로 하여 변화 정도를 파악하기 위해 1일 측정치 기준으로 날짜별 측정치를 백분율로 환산하여 감소정도를 파악하고자 하였다.

결과 및 고찰

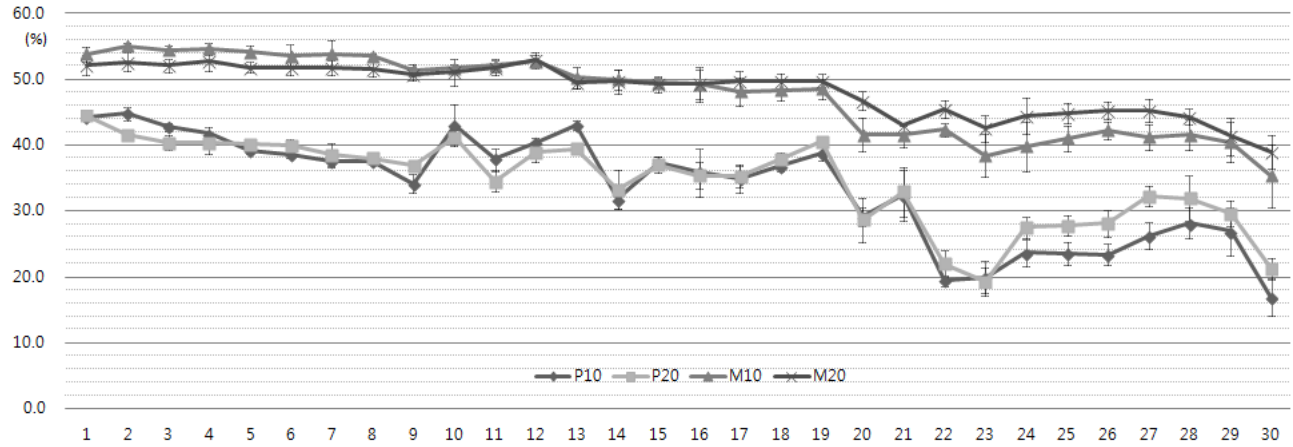
1. 토양수분변화

비가림된 실험구의 토양수분변화를 30일간 측정한 결과, 전반적으로 처리시간이 경과할수록 토양수분의 감소 경향이 뚜렷하게 나타났다. 실험 착수 후 적응기간 동안 각각의 실험구에 동일한 양의 물을 관수하였으나 측정 시작한 첫날

토양 수분함량은 펄라이트실험구와 배합토 실험구에서 차이가 있었다. 펄라이트 토양을 살펴보면 무관수, 무강우조건에 들어간 1일째 토양수분함량이 애기기린초의 경우 10㎝ 토심에서 43.8%, 20㎝ 토심에서 43.6%, 상록패랭이의 경우 10㎝ 토심에서 44.3%, 20㎝ 토심에서 44.5%로 측정되었다. 5일 경과 후 애기기린초는 10㎝ 토심에서 40%, 20㎝ 토심에서 40.5%, 상록패랭이는 각각 39.2%, 40.1%로 측정 첫날 보다 상록패랭이의 토양수분량 감소가 더 크게 나타났다. 10일 후, 애기기린초는 10㎝ 토심에서 39.9%, 20㎝ 토심에서 42.5%로 나타나, 토심 10㎝보다 20㎝ 실험구의 수분보유량이 더 높았다. 상록패랭이의 경우 10㎝ 토심에서 43.1%, 20㎝ 토심에서 41.2%로 나타났다. 15일 후에는 상록패랭이는 각각 37.3%, 37%로 20㎝ 토심의 수분함량이 약간 적게 나타났다. 애기기린초는 10㎝ 토심에서 36.4%, 20㎝ 토심에서 37.6%으로 측정되어 1일을 기준으로 최초 수분보유량보다 약 6.5~7.5% 감소율을 보였다. 20일 경과 후 애기기린초는 27.2%, 30.1%로 수분함량을 보였으며, 상록패랭이의 경우 29.2%, 28.7%로 나타났다. 20일 경과 후 애기기린초는 20㎝ 토심의 펄라이트 토양이 10㎝ 토심 펄라이트 토양보다 높게 나타났으며 상록패랭이의 경우는 이와 반대로 토심 10㎝의 실험구에서 수분함량이 약간 더 높게 나타났다. 25일후 상록패랭이는 10㎝ 토심에서 23.6%, 20㎝ 토심에서 27.9%의 수분보유량을 보였으며, 애기기린초는 26.3%, 30.1%로 나타났다. 23일 이후로는 상록패랭이 실험구에서 10㎝의 토심 실험구의 토양수분 감소율이 다소 크게 떨어져 20㎝ 토심 실험구보다 낮게 나타났다. 무강우가 지속되면서 그동안 수분감소가 꾸준히 하락추세였던 10㎝ 토심의 토양이 어느 한계시점을 지나자 수분함양능력이 크게 떨어지는 것으로 판단된다. 반면 애기기린초의 경우 25일 측정치는 10㎝ 토심 26.3%, 20㎝ 30.1%로 그 동안의 양상과 비슷한 결과를 나타냈다. 30일 경과 후 상록패랭이는 10㎝ 토심 16.9%, 20㎝ 21.3%으로 나타났으



a: *Sedum middendorffianum*



b: *Dianthus chinensis* var. *senperflorens*

Figure 2. Change pattern of soil moisture contents by system

며, 10㎝ 토심에서 가장 낮은 수분함량을 보였다. 애기기린초는 각각 17.2% 20.9%로 나타나 마찬가지로 토심 10㎝ 실험구에서 수분함량이 낮게 나타났다. 상록패랭이의 경우 실험 초반부에는 토심 10㎝ 펄라이트 토양에서의 수분함량이 20㎝보다 높은 수치를 나타내며 하락하다가 23일 이후로는 20㎝ 토심보다 더 떨어지는 경향을 보였다. 애기기린초의 경우는 초반부부터 실험 측정 종료일까지 10㎝ 토심 실험구보다 20㎝ 실험구에서 다소 높게 측정되며 하락하는 추세를 보였다.

배합토양의 경우에는 측정 첫날부터 펄라이트 실험구와 확연히 구분되는 토양수분함량을 보였다. 1일 측정한 상록패랭이의 수분함량은 10㎝ 토심에서 53.9%, 20㎝ 토심에서 52.1%였고, 애기기린초는 10㎝ 토심에서 53.8%, 20㎝ 토심에서 51.7%로 같은 날 펄라이트 실험구에 비하면, 약 9%정도 높은 토양수분량을 보였다. 이는 펄라이트의 배수성 및 높은 공극률과, 배합토양 중 피트모스의 보습력의 차이로 판단된다(Kim, 2003). 5일 경과 후 배합토양 실험구에서 상록패랭이는 10㎝, 20㎝ 토심에서 각각 54.2%, 51.8%로, 애기기린초는 54.3%, 54%로 나타나 오히려 첫날보다 수분함량이 높아지는 결과가 나왔다. 이는 8월초 지속적인 강우로 인하여, 비가림으로 직접적인 강우를 피한다고 하여도 공중습도가 상대적으로 높게 유지되었기 때문에 토양수분함량에도 영향을 준 것으로 사료된다. 10일 경과 후 애기기린초는 10㎝ 토심 52.9%, 20㎝ 토심에서 52.3%로 5일째보다 약간 수분이 하락하는 결과를 보였다. 상록패랭이의 경우는 10㎝ 토심 51.7%, 20㎝ 토심에서 51.1%로 비슷한 양상을 나타내었다. 15일 후 상록패랭이는 10㎝ 토심 49.5%, 20㎝ 토심에서 49.3%로 나타났고, 애기기린초는 10㎝ 토심 49.1%, 20㎝ 토심에서 50.3%로 나타났다. 상록패랭이는 20일째 10㎝ 토심에서 41.6%, 20㎝ 토심에서 46.7%의 토양수분함량을 보였고, 애기기린초는 10㎝ 토심 45.2%, 20㎝ 토심에서 47%의 토양수분을 보유하는 것으로 나타났다. 20일 경과 후 애기기린초의 경우 실험초기와 비교하면 배합토양 10㎝에서 약 7.6%의 감소율, 20㎝ 실험구에서는 약 4.7%의 감소율을 보였고, 상록패랭이의 경우는 10㎝ 토심에서 약 12.3%, 20㎝ 토심에서는 약 5.4%의 감소율을 나타내, 10㎝의 토양에 비해 용적이 큰 20㎝ 실험구의 수분함량이 지속적으로 보유되고 있음을 확인할 수 있었다. 실험 25일 후 상록패랭이는 10㎝ 토심 41%, 20㎝ 토심에서 44.9%로 수분 보유량이 감소했고, 애기기린초는 10㎝ 토심 42.1%, 20㎝ 토심에서 46.2%로 감소하였다. 30일에 측정된 상록패랭이의 토양수분함량은 10㎝ 토심에서 35.3%, 20㎝ 토심에서 38.9%으로 나타났고, 애기기린초는 10㎝ 토심에서 38.8%, 20㎝ 토심에서 42.1%였다.

30일 동안 시간경과에 따라 측정된 토양수분감소 양상은 펄라이트토양과 인공 배합토양에서 상당히 다른 차이를 보이고 있다(Figure 2).

전반적으로 시작시점부터 종료시점까지 펄라이트 토양의 수분함량이 배합토양에 비해 더 빨리 떨어지고 있으며, 변화추세도 불안정적인 패턴을 보이고 있다. 그에 비해 인공배합토의 경우, 외부로부터 유입되지 않는 토양내의 수분을 안정적으로 식물이 이용한다는 것을 알 수 있다. 또한 펄라이트토양의 경우 외부의 수분유입이 없음에도 불구하고 토양수분의 증가와 하락이 반복되는 현상을 보여, 인공배합토에 비해 대기기상, 즉, 강우빈도와 강우량에 의한 공중습도에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. 이와 같이 펄라이트토양과 인공배합토의 토양수분 감소패턴이 상이한 이유는 수분 유지력의 측면과 펄라이트토양의 배수력의 측면에서 고려할 수 있다. 즉 인공배합토의 경우 토양 속에 포함된 보습 성분때문에 토양수분이 장기간 유지되도록 하는 반면, 펄라이트토양은 여름철 무관수 조건에서는 공극률과 배수력의 인자가 토양수분 감소에 더 크게 작용을 한다는 것을 알 수 있다. 한편 식물종의 관점에서 살펴보면, 애기기린초와 상록패랭이 모두 초반에는 거의 유사한 토양수분량을 보였다. 시간이 경과할수록 애기기린초보다 상록패랭이 식재 실험구에서 토양수분량의 감소가 더 크게 나타났으며, 최종적으로 토양종류, 토심에 상관없이 상록패랭이가 식재된 실험구에서 토양수분이 가장 낮게 나타났다. 이는 상록패랭이의 수분요구도가 애기기린초보다 더 크다는 것을 확인할 수 있으며, 옥상녹화용 내건성 식물이라 하더라도 식물종류별로 차별화된 관수관리가 필요하다는 사실을 뒷받침하는 결과이다.

Table 3. Changes of soil moisture contents by plant (Unit: %)

Type of soil system*	*Sedum middendorffianum*		*Dianthus chinensis* var. *senperflorens*	
	First day	Last day	First day	Last day
P10	43.8±0.6	17.2±2.9	44.3±0.6	16.9±2.7
P20	43.6±1.0	20.9±1.6	44.5±0.5	21.3±1.5
M10	53.8±0.8	38.8±1.9	53.9±1.1	35.3±4.8
M20	51.7±0.8	42.1±2.4	52.1±1.6	38.9±2.5

* P10: 10㎝ depth perlite soil, P20: 20㎝ depth perlite soil, M10: 10㎝ mix soil, M20: 20㎝ mix soil

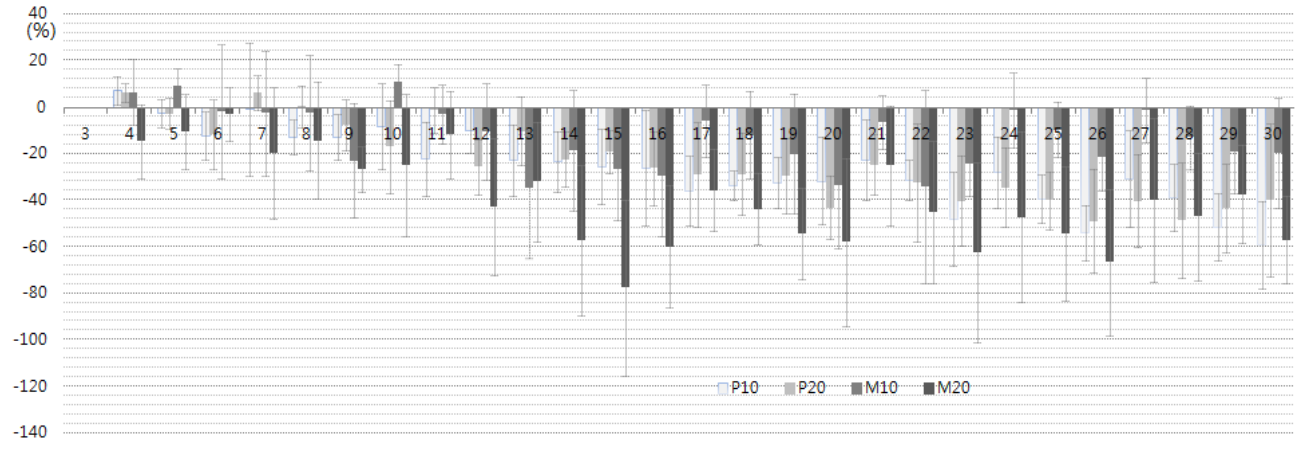
2. 엽록소 변화

기존의 옥상식물의 건조에 대한 내성 평가는 세덤류 위주로 연구되었고, 건조스트레스를 받아 토양의 수분 함량, 상대함수량(RWC), 전해질용출, SOD(Superoxide Dismutase)와 엽록소함량 등의 함량 변화 측정을 통하여 식물의 내건성을 종합적으로 평가하였다(Zhao *et al.*, 2011). 그 결과 엽록소 함량은 건조스트레스에 대한 중요한 역할을 가지고 있는 것으로 밝혀졌으며, 식물 군락의 반사율을 측정함으로써 엽록소의 조성을 추정할 수 있고, carotenoid와 엽록소a의 양을 추정함으로써 일반적인 식물의 생육상태를 알 수 있다. 본 연구에서도 토양수분함량 감소에 대한 식물체의 저항과 스트레스 반응을 알아보기 위해 엽록소함량 변화를 측정하였다. 두 종의 각 개체별로 측정된 엽록소 값의 증감 정도를 확인하기 위해 첫날 측정치 기준으로 실험기간내의 모든 엽록소함량값을 백분율로 환산하였다.

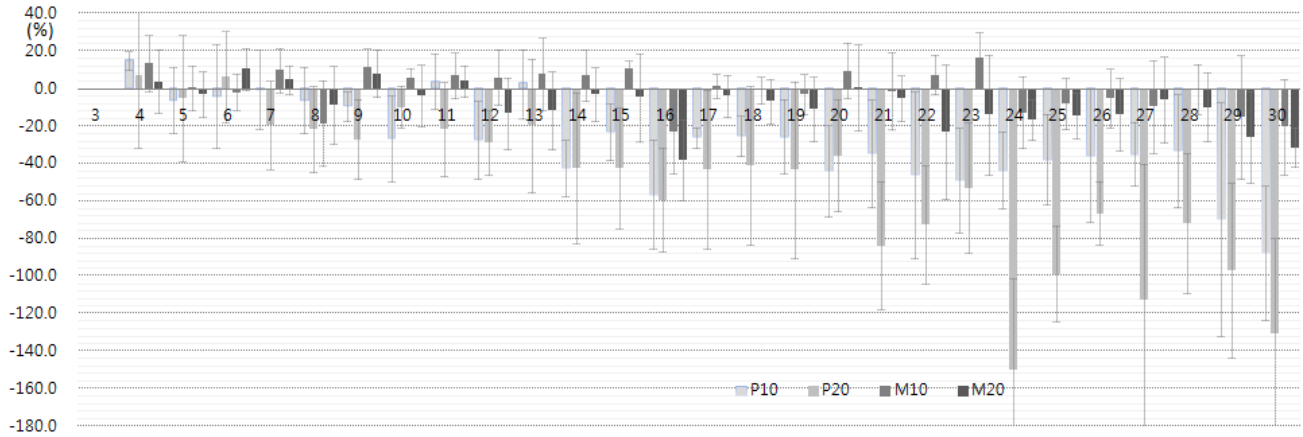
애기기린초와 상록패랭이 모두 모든 토양에서 식재초기보다 엽록소함량이 감소하는 결과가 나왔다. 무강우 조건에 들어간 이후 3일째 측정된 엽록소함량 수치는 애기기린초의 경우 펄라이트 10㎝ 토양에서 35.4, 20㎝ 토양에서 33.6, 인공배합토 10㎝ 토양에서 44.5, 20㎝ 토양에서 48.2로 나타나, 펄라이트 토양구에 비해 인공배합토 실험구에서 높게 측정되었다. 상록패랭이의 경우 펄라이트 10㎝ 토양에서 40.2, 20㎝ 토양에서 36.3, 인공배합토 10㎝ 토양에서 51.2, 20㎝ 토양에서 54.4로 나타나 펄라이트 토양보다 인공배합토에서 높게 측정되었다. 이는 실험구 조성 후 무강우 조건에 들어가기 전까지 약 2주간의 적응 기간 동안에 유기물이 없는 펄라이트토양보다 양분이 어느 정도 포함된 인공배합토 조건에서 식물의 생육발달이 더 왕성하게 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다. 펄라이트토양의 경우 애기기린초, 상록패랭이 모두 10㎝실험구보다 20㎝ 실험구에서 엽록소 함량이 더 낮게 나타났는데, 20㎝ 토심에 비해 10㎝ 토심에서 식물 뿌리가 기저의 저수층에 있는 수분까지 도달하기에 용이하기 때문에 실험초기에 이러한 영향을 받은 것으로 판단된다.

무관수 5일에 펄라이트 실험구에서 측정된 애기기린초의 엽록소 수치는 10㎝ 토양에서 34.5, 20㎝ 토양에서 33.6이었다. 상록패랭이의 경우 10㎝ 토양에서 39.1, 20㎝ 토양에서 36.4로 측정 첫 날보다 약간 줄어드는 결과가 나왔다. 10일째, 애기기린초는 펄라이트 10㎝ 토양에서 33.4, 20㎝ 토양에서 29.2로 나타나 엽록소 수치가 점점 더 떨어지는 것으로 나타났다. 상록패랭이의 경우 10㎝ 토양에서 32.6, 20㎝에서 33.0으로 측정되었다. 애기기린초의 경우에는 펄라이트 토심 10㎝가 토심 20㎝ 실험구보다 엽록소함량이 더 높았고, 상록패랭이의 경우에도 측정 첫날에는 20㎝ 실험구에서의 엽록소 함량이 10㎝ 실험구보다 더 낮게 나타났으나 이후 시간이 지날수록 10㎝ 실험구에서의 엽록소 함량이 더 빠른 속도로 감소되었다. 무관수 15일째에는 애기기린초의 경우 10㎝ 토양에서 28.6, 20㎝ 토양에서 28.1로 나타났고, 상록패랭이의 경우에는 10㎝ 토양에서 33.1, 20㎝ 토양에서 26.1로 측정되어 펄라이트의 경우에는 10㎝ 토양보다 20㎝ 토양에서 식물 생육이 더 불량한 것으로 나타났다. 이는 수분유출이 빠른 펄라이트에서 뿌리발달이 비슷한 식물개체일 경우 토심이 깊은 것보다는 저수층이 가까운 10㎝ 토양이 더 유리하고, 또한 평균기온이 30℃를 웃도는 여름철 옥상에서 20㎝의 토심은 식물뿌리에 열적으로 악영향을 더 많이 주는 것으로 판단된다.

인공배합토의 경우, 애기기린초와 상록패랭이 두 식물 모두 측정초기에는 펄라이트 토양구와 달리 엽록소함량이 조금 증가하는 경향을 보였다. 시간경과별로 살펴보면 무관수 조건 3일째, 애기기린초의 경우 토심 10㎝에서 44.5, 20㎝에서 48.2의 수치를 보였다. 상록패랭이의 경우는 51.2, 54.4의 엽록소함량을 나타냈다. 5일째, 애기기린초의 경우 10㎝ 토심에서는 49.0, 20㎝ 토양에서는 44.0를 나타냈으며 , 상록패랭이의 경우는 10㎝에서 51.8, 20㎝에서 53.2의 수치를 나타냈다. 시간이 지나면서 펄라이트 토양에서 토심간의 차이가 나타난 것처럼 인공배합토 실험구에서도 토심이 깊은 20㎝보다 10㎝ 실험구에서 엽록소 함량이 높게 측정되었고, 육안관찰로서도 생육이 더 양호한 것으로 나타났다. 10일째에는 애기기린초는 10㎝에서 50, 20㎝에서 39.9로 측정되었으며 상록패랭이의 경우 10㎝에서 54.5, 20㎝에서 52.9로 나타나, 두 식물 모두 20㎝ 실험구에서 5일전에 비해 엽록소 함량이 감소했으며, 10㎝ 실험구에서는 엽록소 함량이 증가하였다. 15일후 측정한 결과를 보면 애기기린초의 경우 10㎝ 토양에서 35.8, 20㎝에서 28.2로 나타나 서서히 수분감소에 대한 스트레스를 받고 있는 것으로 나타났다. 상록패랭이의 경우에는 10㎝에서 57.5의 수치를 보이며 가장 많은 엽록소 함량이 측정되었다. 20㎝ 토양의 경우에는 53.1로 약간 증가하였다. 5일이 경과한 20일째에는 10㎝에서 57.3으로 더 이상 증가하지 않고 하향추세를 보였다. 20㎝에서는 56.0의 엽록소 함량을 보였다. 애기기린초의 경우 20일째 10㎝, 20㎝ 토양에서 각각 34.2, 31.3이었는데, 25일째에는 10㎝ 토양에서 40.9로 다시 증가하는 경향을 보였고, 20㎝ 토양에서는 31.8로 나타났다. 상록패랭이의 경우에는 10㎝ 토양에서 47.9, 20㎝ 토양에서 48로 측정되었다. 애기기린초는 증감이 계속 반복되는 경향을 보이며, 변화가 심했고, 그에 반해 상록패랭이는 초반부에서부터 지속적으로 증가하다가 정점을 도달한 이후부터는 꾸준히 하락하는 패턴을 나타냈다. 30일째에는 인공배합토에



a: *Sedum kamtschaticum*



b: *Dianthus chinensis* var. *senperflorens*

Figure 3. Change of reduction ratio of chlorophyll contents by SPAD

서 상록패랭이의 엽록소 함량은 10㎝ 토심 43.6, 20㎝ 토심에서 41.5로 나타났다. 애기기린초는 25일 이후 다시 감소하여 30일째에는 10㎝에서 37.7, 20㎝에서 30.9로 측정되어 측정 첫 날 기준으로 각각 15.2%, 25.9%의 감소율을 보였다. 상록패랭이도 측정 첫 날을 기준으로 최종 엽록소 함량은 10㎝에서 14%, 20㎝ 14.7%감소한 것으로 나타났다.

결과적으로 두 식물 모두 측정 초반에 비해 엽록소 함량이 감소하였으며, 엽면적이 감소하고, 잎 탈락현상이 증가했으며, 시드는 현상 등 전반적으로 불량한 생육이 관찰되었다. 측정 마지막 날 엽록소함량을 기준으로 생육상태가 가장 불량했던 토양 실험구는, 상록패랭이의 펄라이트 20㎝ 실험구였다. 엽록소함량은 애기기린초와 상록패랭이 모두 대조구인 펄라이트에 비해 인공배합토 실험구에서 높은 것으로 나타났는데, 이는 유기물 혼합여부와 밀접한 관련이 있다(Hiromi, 1988; Yutaka and Yasushi, 1983; 1984; Han,

Table 4. Average of chlorophyll contents (Unit: SPAD value)

Type of soil system*	*Sedum middendorffianum*		*Dianthus chinensis* var. *senperflorens*	
	First day	Last day	First day	Last day
P10	35.4±1.3	22.4±1.8	40.2±3.1	22.1±4.4
P20	33.6±2.3	25.3±2.0	36.3±5.8	16.2±3.4
M10	44.5±5.3	37.7±2.2	51.2±4.1	43.6±6.6
M20	48.2±4.6	35.7±1.3	52.1±6.0	44.4±3.9

* P10: 10㎝ depth perlite soil, P20: 20㎝ depth perlite soil, M10: 10㎝ mix soil, M20: 20㎝ mix soil

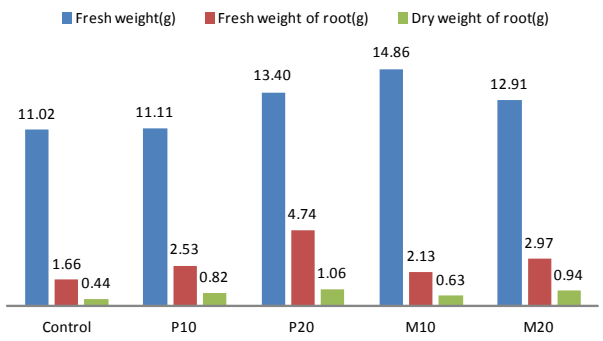
1991).

측정 첫날을 기준으로 하여 이후 약 한 달간의 엽록소 감소 양상을 살펴보면 다음 그림과 같다(Figure 3). 30일간의 무강우, 무관수 조건에서 생육한 각 실험구의 대부분 식물들이 엽록소함량 감소경향을 보였다. 애기기린초의 경우 첫날 대비 가장 많은 저감율이 나타난 토양은 펄라이트 10㎝ 실험구였다. 상록패랭이의 경우 가장 저감율이 크게 나타난 토양은 펄라이트 20㎝ 실험구로 나타났다. Figure 3의 결과로 분석해 볼 때 유기물 포함여부에 따라 엽록소함량의 차이가 크게 나타난 식물은 상록패랭이였으며, 이는 세덤류에 비해 유기물의 의존도가 높다라는 사실을 확인할 수 있었다.

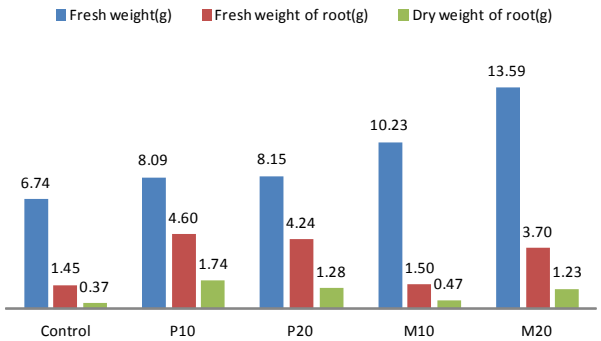
3. 식물 생체량과 피복율 변화

실험 시작과 건조기를 거친 후 마지막의 식물의 생체량을 비교하기 위하여 측정한 생체중, 근부 생체중, 근부 건체중의 결과는 다음 그림과 같다. 애기기린초의 경우 대조구 식물의 생체량은 생체중이 11.02g, 근부 생체중이 1.66g, 근부 건체중이 0.44g이었다. 30일이 지난 후 펄라이트 10㎝ 토양에서 일체의 강우와 관수없이 자란 애기기린초의 생체중은 거의 변화가 없었다. 단지 수분 흡수를 위한 뿌리의 발달로 인해 근부 생체중과 근부 건체중이 약간 증가하는 결과가 나왔다. 펄라이트 20㎝ 토양에서는 생체중이 약간 증가하였다. 13.4g으로 약 2g정도 증가하였고 근부생체중은 4.74g으로 10㎝ 펄라이트 실험구에 비하면 2배가량의 근부량이 증가하였음을 알 수 있다. 수분을 찾아 뿌리가 하부로 많이 발달하였음을 알 수 있다. 인공배합토 실험구에서는 10㎝ 토양에서의 생체량이 가장 많았고 오히려 근부는 10㎝보다 20㎝에서 더 발달하였음을 알 수 있다.

상록패랭이의 경우는 대조구 식물의 생체량은 6.74g, 근부 생체중이 1.45g이었는데 30일 경과 후 펄라이트 토양에서는 약 2g가량의 생체중의 증가가 나타났다. 그러나 상록패랭이의 경우 애기기린초와는 다르게 10㎝ 토양에서 근부가 더 발달했음을 알 수 있으며 건체중 또한 더 증가하였다. 인공배합토에서는 20㎝ 토양구의 식물체가 생체중이 더 무거웠으며, 근부 생장도 더 발달했다. 두 식물 모두 근부의 생장은 인공배합토보다 펄라이트 토양에서 더 많이 발달했

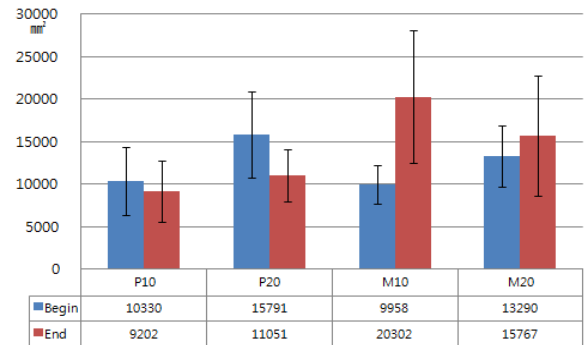


a: *Sedum middendorffianum*

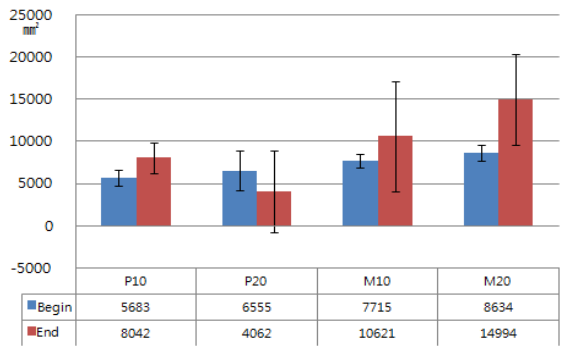


b: *Dianthus chinensis* var. *senperflorens*

Figure 4. Change of fresh and dry weight by plant



a: *Sedum middendorffianum*



b: *Dianthus chinensis* var. *senperflorens*

Figure 5. Changes of coverage by plants

으며, 이는 근부가 토양내의 수분을 찾아 더 발달했음을 확인할 수 있었다.

건조에 대한 스트레스는 피복도 측정 결과에서도 확인할 수 있었다. 애기기린초의 경우는 펄라이트 10㎝, 20㎝ 토심에서 모두 초기보다 피복률이 줄어드는 것으로 나타났다. 펄라이트 20㎝ 토심에서 실험 착수일에 비하여 30% 가량 감소하였으며, 10㎝ 토양에서는 10.9% 감소하였다. 그러나 인공배합토에서는 피복률이 두 종류의 토심에서 모두 증가하였는데, 특히 10㎝ 토양에서 103.8%나 증가하여 다른 토양 실험구에 비해 생육이 양호하게 이루어졌음을 알 수 있었다. 상록패랭이의 경우에는 펄라이트 10㎝ 토양에서도 피복률이 다소 증가하였다. 그에 반해 펄라이트 20㎝ 토양에서는 실험초기보다 38% 감소하였는데, 그 이유는 15일 이후 1본이 고사하였고, 20일 이후 총 3본이 고사했기 때문이다. 인공배합토 실험구에서는 10㎝, 20㎝ 토심에서 모두 피복률이 증가하였는데 각각 37.6%, 73.6% 증가하여 20㎝ 토심이 더 양호한 생육을 보였다. 결과적으로 애기기린초의 경우 인공배합토 10㎝ 토심에서 엽면적은 다소 감소하였지만 피복률에 있어서는 가장 왕성한 생육발달을 한 것으로 나타났다. 상록패랭이의 경우는 인공배합토 토심 10㎝, 20㎝ 실험구에서 모두 피복률이 증가한 것으로 나타났으며 엽면적은 10㎝ 토심에서 더 증가하였고, 피복률은 20㎝ 실험구에서 더 양호한 발달을 보였다. 피복률의 측면에서 본다면, 상록패랭이, 애기기린초 모두 펄라이트 토심 20㎝ 실험구에서 가장 불량한 생육을 보였다.

4. 종합 분석

본 연구는 관리조방적 옥상녹화시스템의 식물 배식에 있어서 수분요구도에 따른 사항을 식재초기에 고려하여 차별화된 관리내용으로 저관리, 최소한의 관리가 이루어지는 옥상녹화시스템의 지속가능성을 최대화하고자 하는 데에 목적을 두고, 옥상녹화의 대표적인 식물로 알려진 세덤류와 내건성이 강한 일반 초화류가 동일 조건에서의 건조에 견디는 저항력과 토양종류별 토양수분감소에 대한 생육변화를 살펴보고자 실험을 수행하였다. 실험변수로 토양 두 종류를 선택하였는데, 토양수분감소 패턴은 두 토양이 확연하게 비교되었다. 펄라이트 토양의 경우는 외부에서 수분의 유입이 없음에도 불구하고 기간 내 토양수분의 상승과 하락이 반복되는 경향을 보이며 감소되었고, 그에 비하여 인공배합토의 경우에는 천천히 꾸준하게 감소되었다. 시간이 지나면서 배수성이 뛰어난 펄라이트토양의 토양수분함량이 인공배합토양에 비해 빠른 속도로, 더 많이 감소되었다. 무관수, 무강우 조건에서 30일 경과 후 상록패랭이가 식재된 펄라이트 10㎝ 토양이 토양내 수분함량이 가장 적은 것으로 나타났고, 애기기린초가 식재된 인공배합토 20㎝의 토양이 다른 토양에 비해 가장 많은 수분함량을 나타냈다. 또한 전반적으로 토양종류와 토심과 관계없이 애기기린초가 식재된 토양구보다 상록패랭이가 식재된 토양실험구의 수분이 낮은 것으로 나타났고, 이는 상록패랭이의 수분요구도가 애기기린초보다 더 크다는 사실을 증명하는 결과라 할 수 있다.

토양수분의 지속적 감소에 따른 식물의 생육변화는 크게 엽록소함량 변화, 생체중과 근부 건체중의 변화, 피복도의 변화로 살펴보았다. 수분스트레스에 대하여 식물의 생육상태의 변화를 실험초기에 측정된 엽록소 함량을 기준으로 백분율로 환산한 결과, 무관수 무강우 시간이 길어질수록 모든 토양 실험구에서 엽록소 함량은 지속적으로 감소되고 있었다. 실험 종료시점에는 애기기린초와 상록패랭이 모두 측정시작점에 비하여 엽록소함량이 감소하였으며, 육안관찰로도 확연하게 생육이 불량해 보였다. 측정 최종일 엽록소함량을 기준으로 생육상태가 가장 불량했던 토양 실험구는 상록패랭이가 식재된 펄라이트 20㎝ 실험구였다. 엽록소함량은 애기기린초와 상록패랭이 모두 대조구인 펄라이트 토양보다 배합토양 실험구에서 다소 높은 것으로 나타났는데 이는 유기물의 포함여부와 밀접한 관련이 있다는 것은 다른 연구에서도 증명된 바 있다(Kim *et al*., 2001). 한편 펄라이트 토양 중에서도 토심이 낮은 10㎝, 배합토양에서도 20㎝ 실험구보다 10㎝ 실험구에서 더 양호한 결과가 도출되었다. 이와 같은 결과는 평균기온 30℃를 상회하는 고온 강광의 조건 하에서, 토심 20㎝ 조건은 10㎝ 토심에 비해 식물뿌리에 공급되는 토양수분의 잔존함량이 더 많다는 장점 보다 토심 10㎝가 가지는 열용량의 두 배에 달하는 열용량이 뿌리의 생육과 발달에 부정적 영향으로 더 크게 작용했을 것으로 판단된다. 실험시작과 건조기를 거친 식물의 생체량을 비교하기 위해 측정한 각각식물의 생체중과 근부생체중, 근부 건체중의 결과는 애기기린초, 상록패랭이 모두 실험초기보다는 생체중, 근부생체중, 건체중이 모두 증가하였다. 애기기린초의 경우는 생체중이 인공배합토 10㎝의 실험구에서 가장 많이 증가하였고, 펄라이트 10㎝ 실험구에서는 근체중만 약간 증가했을 뿐 생체중의 변화가 거의 없었다. 근부 생체중은 펄라이트 20㎝ 토양에서 가장 많이 증가하였다. 상록패랭이의 경우, 생체중은 인공배합토 20㎝ 실험구에서 가장 많이 증가하였다. 상록패랭이 또한 펄라이트 실험구 10㎝, 20㎝에서 모두 근체중이 많이 증가한 것으로 나타나, 토양내 수분이 상대적으로 많이 감소한 펄라이트 토양에서 근부가 수분을 찾아 더 많이 발달했음을 확인할 수 있다.

애기기린초의 피복도에 있어서는 인공배합토의 10㎝ 실험구에서 103% 가량 증가하여 다른 실험구에 비해 활발하게 생육이 발달했음을 알 수 있다. 즉, 세덤의 특성상 고온건

조의 열악한 환경에서 토양내의 영양분과 미량의 수분을 바탕으로 엽면적은 줄이고 피복면적을 늘여 생장하는 생육패턴을 본 실험에서도 확인할 수 있었다. 상록패랭이의 경우는 피복도는 펄라이트 토양 20㎝ 실험구에서만 감소하여 가장 불량한 생육을 한 것으로 나타났다.

본 실험결과 무강우 무관수 조건에서 토양 종류에 따라 토양수분의 감소패턴에 큰 차이가 있음을 알 수 있었으며, 식물 종류에 따라서도 토양수분감소에 따른 수분 스트레스의 패턴의 차이가 있음을 알 수 있었다.

토양수분은 보수성이 있는 유기물질이 포함된 토양에서 더 지속적으로 유지되고, 따라서 무관리옥상녹화의 경우에는 유기물질이 포함된 배합토를 적용하는 것이 식물생육의 지속성에 크게 작용할 것으로 판단된다. 또한 시간경과에 따라 유기물질이 소실되는 시기에는 토양내 수분함량 유지를 위해서라도 적정한 시비관리가 필요하며, 시비관리가 여의치 않다면 여름철 갈수기에는 정기적인 관수관리를 해주는 것이 양호한 식물생육을 유지시켜 줄 것이라 판단된다. 또한 본 실험결과 양분이 없는 무기토양의 경우에는 토심 10㎝보다 20㎝ 토심으로 조성하는 것이 식물 생육에는 더 악영향을 주는 것으로 나타났다. 이와 같은 사실은 일반적으로 저토심에 식재되는 옥상녹화 초화류의 경우, 토양내 양분과 수분이 부족한 상태에서는 20㎝ 이상의 토양이 더 불량한 생육환경일 수 있으며, 따라서 양분고갈시기에 적정한 관리가 필요하다는 것을 증명한다 할 수 있다.

한편 모든 실험구에서 애기기린초에 비해 상록패랭이의 수분감소가 더 크게 더 빨리 나타났음으로 상록패랭이와 같은 일반초화류의 수분요구도가 더 큼을 확인했으며, 따라서 세덤류와 일반초화류의 수분관리는 차별화해서 이루어져야 함을 알 수 있다(Zhao and Kang, 2013). 애기기린초의 경우 인공배합토 10㎝ 토심에서 가장 양호한 생육을 보였으며, 상록패랭이의 경우 20㎝ 배합토 실험구에서 피복면적이나 생체중은 더 증가했으나 엽록소함량 측정결과와 육안관찰 결과를 종합하여 볼 때 10㎝ 실험구의 생육상태가 더 양호한 것으로 판단된다.

본 연구는 무강우 무관수시에 물리성 및 이화학성이 다른 두 토양에서 토양수분변화에 따른 식물생육변화의 차이를 검증하여 옥상녹화시스템별, 식물종류별로 사후유지관리 방안에 대한 기초자료로서 활용하고자 하는 데 첫 번째 목표를 두었다. 다만 본 연구의 한계점은 한정된 2종의 식물을 대상으로 하여 토양의 수분변화를 관찰한 결과로서 다양한 변수의 옥상녹화시스템에 적용시키기에는 다소 부족함이 있다고 할 수 있다. 향후 후속연구에서 다양한 식물종에 대한 수분저항 패턴과 그에 따른 생육변화에 대한 연구 진행을 통해 옥상녹화 설계 시 생육패턴을 고려한 배식설계방안과 녹화식물의 지속성을 유지시킬 수 있는 과학적인 관리방안 마련에 더욱 논리적인 기초자료를 구축할 것이다.

LITERATURE CITED

Clark, C., B. Brian and A. Peter(2010) Quantifying thermal impacts of green infrastructure: review and gaps. Cities of the future/Urban river restoration: 69-77.

Han, S.S.(1991) Ecophysiological interpretations on the water relations parameters of trees (VI) diagnosis of drought tolerance by the p-v curves of twenty broad leaved species. Journal of Korean Forest Society 80: 210-219. (in Korean with English abstract)

Hiromi, M.(1988) Applying the p-v curve method to studying drought-resistance differences of chamaecyparis obtusa trees. Journal of Japanese Forest Society 70: 362-366.

Huh, K.Y. and K.K. Shim(2000) Characteristics of artificial soils used alone or in a blending with field soil for the greening of artificial ground. J. Kor. Inst. Landscape Architecture 28(2): 28-38. (in Korean with English abstract)

Huh, K.Y. and K.K. Shim(2001) Development of artificial soil by advanced materials for the greening of artificial ground. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42: 355-364. (in Korean with English abstract)

Hyundai Institute of Construction Technology(1997) A study on the greenery on artificial ground. Hyundai Institute of Construction Technology, Seoul, 55-68. (in Korean)

Kim, I.H., K.S. Kim. and M.K. Kim(2001) The effect of the usage of mixed organic fertilizer on turfgrass growth and chlorophyll content. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry 44(2): 129-132. (in Korean with English Summary)

Kim, I.Y.(2003) Characteristics of peatmoss and cocopeat: soil and fertilizer. Korean society of soil sciences and fertilizer 13: 14-21. (in Korean)

Korea Environment Institute(2007) Impacts of Green Spaces on Air Quality. Korea Environment Institute, pp. 24-36. (in Korean)

Lee, E.H., E.J. Cho, M.Y. Park, D.W. Kim and S.W. Jang(2007) Selecting plants for the extensive rooftop greening based on herbal plants. Korean Journal of environmental restoration technology 10(2): 84-96. (in Korean with English abstract)

Lee, J.S., Y.S. Kim, G.Y. Jeong, Y.L. In(2003) Selection of Ground Cover Plants for Low Management and Light Weight Rooftop Afforestation. Korean journal of horticultural science and technology 21(SUPPL. ll): 102. (in Korean with English Summary)

Takakura, T, S. Kitade, E. Goto(2000) Cooling effect of greenery cover over a building. Energy and Buildings Volume 31(1): 1-6.

Wolf, D. and J.T. Lundholm(2008) Water uptake in green roof microcosms: effects of plant species and water availability. Ecological Engineering. Vol 33: 179-186.

Yutaka, M. and M. Yasushi(1983) Measurement of leaf water relations using the pressure-volume technique. Journal of Japanese Forest Society 65:23-28.

Yutaka, M. and M. Yasushi(1984) Seasonal changes of several water relations parameters in *Quercus crispula*, *Betula ermani*,and *Abies homolepis*. Journal of Japanese Forest Society 66: 499-505.

Zhao, G, H.Y. Yuan, L.Z. Wei, R.X. Tang, X.F. Zhang and X.P. Lu(2011) A study of stress tolerance of a candidate plant: sedum aizoon L. for green roof. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis 33(2): 335-339.

Zhao, H.X. and T.H. Kang(2013) Drought resistance assessment of ground cover plants for low management and light weight green roof system. Journal. Korean Env. Res. Tech 16(1): 83-97. (in Korean with English abstract)