

국내에 도입된 *Sedum album* L.의 생육 특성 및 저토심 옥상 녹화 시스템에 관한 연구

김인혜* · 허무룡* · 허근영**

*경상대학교 대학원 응용생명과학부 · **진주산업대학교 조경학과

Studies on Growth Characteristics and Shallow Green-Roof Systems of *Sedum album* L. Introduced in Korea

Kim, In-Hye* · Huh, Moo-Ryong* · Huh, Keun-Young**

*Division of Applied Life Science, Graduate School, Gyeongsang National University

**Dept. of Landscape Architecture, Jinju National University

ABSTRACT

These studies were carried out (1) to investigate the growth characteristics of *Sedum album* L. in the field, (2) to propose a suitable shallow green roof system for this plant, and (3) to evaluate plant growth in the proposed system over the long term. The growth characteristics, such as morphological properties, growth habit, shade tolerance, and flowering, were surveyed. In experimental shallow green-roof systems, the effects of drainage type, substrate type, and soil depth on plant growth were investigated. Then drought tolerance was investigated. After planting *Sedum album* L. in the proposed system, survival rate, cover, and resistance to insects, heat, and cold were evaluated for about 2 years. The results of these studies are summarized below.

1. In the field, the aboveground part of *Sedum album* L. did not die back during the winter. Plant height was 4~7 cm. Roots were distributed to a depth of 5~7 cm. *Sedum album* L. is a compact ground-cover plant that spreads vigorously. Shading condition of less than 30% of full sunlight didn't cause any trouble, but shading conditions above 87% made the shape of the shoots and leaves abnormal. The plant bloomed from June to August and had a rather large compound umbel of white, star-shaped flowers.

2. Two systems, a drainage-blend-10 cm soil depth and a reservoir · drainage-blend-15 cm soil depth, performed best in terms of cover, fresh weight, and dry weight. The first has an advantage for green roofs because it is lighter than the latter.

3. In drainage-blend-10 cm soil depth and modified reservoir · drainage-blend-10 cm soil depth system,

no plants died for about 4 months after stopping the irrigation. The visual quality of the latter system was above 5 for 4 months and that of the former was under 5 after 2 months. In the field, however, the drought tolerance of *Sedum album* L. grown in the former would be enough to withstand the dry season. Considering the urban ecosystem and the importance of healthy growth, the modified reservoir · drainage-blend-10 cm soil depth system was finally recommended. This system was composed of a 4 cm thick drainage layer and drain outlets placed at a height of 2.5 cm.

4. In the proposed system, the survival rate was 100%, and there was no injury induced by insects and heat. The leaf density decreased a little in winter. Cover increased throughout the year. *Sedum album* L. was planted with a cover of 72cm² on 3 April 2003; on 16 June 2003 and 15 June 2004, cover was 132.66±5.87 cm²(1.8 times) and 886.98±63.51 cm²(12.3 times), respectively.

Key Words: Drainage Type, Drought Tolerance, Shading, Soil Depth, Substrate

1. 서론

최근 도시의 생태적 문제를 해결할 수 있는 방안으로서 옥상 녹화에 대한 관심이 매우 높다(서울특별시, 2000). 이와 관련하여 기존 건축물의 옥상에 도입 가능한 저토심 옥상 녹화 시스템에 관한 연구가 국내외적으로 증가하고 있다(최희선 등, 2001; Boivin *et al.*, 2001; 김인혜와 허근영, 2003; 허근영 등, 2003; Huh *et al.*, 2003; Emilsson and Rolf, 2005; Monterusso *et al.*, 2005; VanWoert *et al.*, 2005; Villarreal and Bengtsson, 2005). 이 시스템에서 가장 중요하게 고려해야 할 사항 중의 하나는 적용 가능한 식물종의 선정이라 할 수 있다. 저토심 옥상 녹화를 위한 식물의 선정 조건으로 가능한 한 키가 작고, 조밀한 피복 상태를 가지며, 천근성 뿌리를 가지고, 생육이 너무 왕성하지 않으며, 환경에 대한 내성이 강하고, 관리가 용이할 것 등이 제시되었다(서울특별시, 2000; Johnston and Newton, 2004).

위에서 제시된 선정 조건을 충분히 만족시킬 것으로 예측되는 식물인 *Sedum album* L.은 돌나물과(Crassulaceae family)의 세덤속(*Sedum* genus)에 속하는 식물로서 원산지는 유럽이며 영국에서 오랫동안 자생해 왔고(Given, 1984; <http://www.nhm.ac.uk>; <http://plant.usda.gov>), 현재는 유럽뿐만 아니라 북미와 호주에도 분포하는 것으로 보고되었다(Given, 1984; [\[usda.gov\]\(http://usda.gov\)\). 일반적으로 세덤류는 북반구의 열대와 온대 지역에 널리 분포하는 소형의 다년생 다육식물로서 일반적으로 'stonecrop'이라고 알려져 있는데, 탁월한 활력을 가지고 있고, 고온 · 추위 · 건조 조건에 강한 내성을 가지고 있을 뿐만 아니라 척박지나 저토심의 토양층에서 생육이 가능하기 때문에 저토심 옥상녹화를 위해 적합한 식물로 언급되고 있다\(Teeri *et al.*, 1986; Boivin *et al.*, 2001; Johnston and Newton, 2004; Monterusso *et al.*, 2005; VanWoert *et al.*, 2005\). '흰꽃세덤\(White stonecrop\)'으로 불리기도 하는\(Johnston and Newton, 2004; <http://www.sngp.co.kr>\) *Sedum album* L.은 1990년대 후반에 H-회사의 세덤\(SEDUM\) 녹화 공법에 적용되면서 국내에 소개된 식물들 중 하나이며\(박종성, 2000\), 이미 국내에서 일부 저토심 옥상 녹화에 사용되었다\(최희선 등, 2003; 한국인공지반녹화협회, 2003; <http://www.hansu.com/greentech.htm>\). 그러나 도입된 후 국내 환경 조건에서 *Sedum album* L.의 생육 특성 구명과 저토심 옥상 녹화에서의 적용에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.](http://plants.</p>
</div>
<div data-bbox=)

따라서 본 연구는 저토심 옥상 녹화용 식물 소재로서 도입된 *Sedum album* L.의 적극적 활용을 위하여 이 식물에 대한 국내 기후 조건에서의 생육 특성을 구명하고, 이를 적용한 저토심 옥상 녹화 시스템을 제안하며, 최종적으로 제안된 시스템에서의 장기적인 생육을 평가하고자 수행되었다. 연구 목적을 달성하기 위하여

Sedum album L.의 식물학적 분류·원산지·분포지 등 기초적인 특성에 관한 문헌 조사를 수행하고, 생육 실험을 통한 국내 기후 조건에서의 형태적 특성·내음성·개화 습성 등의 생육특성을 조사하였다. 또한 *Sedum album* L.의 생육에 대한 배수 형태·인공 배지 종류·토심의 효과를 구명하였고, 여기서 도출된 시스템을 적용시켜 내건성을 평가한 후, 최종적으로 *Sedum album* L.의 생육에 적합한 저토심 옥상 녹화 시스템을 제안하였다. 그리고 이 시스템에서 *Sedum album* L.의 생존율, 고온·저온·충해에 대한 저항성, 피복 면적을 평가하였다.

국내 기후 조건에서 *Sedum album* L.의 생육 특성을 구명하기에 앞서 식물학적 분류·원산지·분포지와 이 지역에서의 생육 특성을 조사하였다. 그리고 문헌 조사된 생육 특성을 국내 기후 조건에서 재평가하고 그 특이성을 구명하고자 하였다. 2001년 5월 2일에 폭 6cm × 높이 6cm인 포트에서 재배된 식물체를 가로 72cm × 세로 44cm × 높이 20cm인 식재 상자에 마사토를 채우고 각각 2개씩 정식하여 3개의 실험구를 조성하였다. 실험 기간 동안 관수는 2주 간격으로 실시하였고 별도의 시비는 하지 않았으며 활착 후 생장 형태, 줄기 및 잎의 형태, 생장 습성 등을 조사·분석하였다.

II. 연구 방법

국내 기후 조건에서 *Sedum album* L.의 생육 특성을 분석하며 이 식물체를 적용한 저토심 옥상 녹화 시스템을 제안하고 평가하기 위해서 2001년 5월 2일부터 2005년 3월 29일까지 Table 1과 같은 4개의 실험들을 수행하였다.

1. 실험 1: 국내에서의 생육 특성 분석

1) 생육 형태 및 습성

2) 내음성 평가

국내의 여러 가지 광 조건에서 *Sedum album* L.의 내음성(shade tolerance)을 평가하고자 하였다. 2002년 3월 28일에 폭 6cm × 높이 6cm의 포트에서 재배된 식물체를 구입하여 균일한 것을 선발하고 직경 30 cm × 높이 20cm의 포트에 각각 2개씩 식재한 후에 그늘지지 않는 온실 주변에서 1년간 재배·관리하였다. 2003년 4월 14일에 이 포트들을 차광률 0%의 전광 조건과 차광률 30%, 75%, 87%, 94%인 조건에 각각 2개씩 위치시키고 2003년 10월 17일에 각각의 차광 조건에서 생육한 식물체들의 줄기 및 잎의 형태를 비교 분석하였다.

Table 1. Experiments carried out to investigate the growth characteristics and practical use of *Sedum album* L. in the domestic field

Experiment	Investigated item	Period
Exp. 1: Growth characteristics in Korea	· Morphological properties · Stem and leaf shape · Growth habit	2 May 2001 ~ 26 Mar. 2002
	· Effect of shading conditions on the shape of stem and leaf	14 Apr. 2003 ~ 17 Oct. 2003
Exp. 2: Study on a shallow green roof system	· Effects of substrate type, soil depth, and drainage type on the growth in shallow green roof systems · Root distribution	3 Apr. 2002 ~ 1 Oct. 2003
Exp. 3: Evaluation of drought resistance in a shallow green roof system	· Effects of drought treatment on the plant water content, visual quality, survival rate in shallow green roof systems	12 May 2003 ~ 7 May 2004
Exp. 4: Evaluation of the growth in the proposed shallow green roof system	· Survival rate · Resistance to heat, cold, and insect injury · Flowering habit and flower shape · Covering area	3 Apr. 2003 ~ 29 Mar. 2005

2. 실험 2: 저토심 옥상녹화 시스템에 관한 연구

인공배지는 H회사에서 사용하고 있는 인공토양을 단용으로 처리한 것과 인공지반 녹화에서 노지토양과 혼용 시 많이 사용되고 있는 혼합비 중의 하나인 부피비 1:1로 노지토양과 혼합하여 조성한 것으로 하였다(이성기 등, 2002). 공시된 인공토양은 폐유리 미분 100에 발포제를 1~2 정도 첨가하고, 착색제를 1 정도 첨가한 후, $6\sim 8^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 로 승온하여 $750\sim 850^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 발포시킨 다공질 유리를 수랭식으로 급랭하고, 분쇄기로 이송하여 10mm이하로 분쇄한 후에 입도를 조절하여 얻어진 다공질 유리 파쇄물과 수피를 부피비 6:4로 혼합하여 조성된 인공토양이었다(허근영과 심경구, 2001). 노지 토양은 나지에서 채취한 양토(모래 46%, 미사 40%, 점토 14%)였다. 인공토양 단용과 인공토양 혼용의 이화학적 특성은 Table 2와 같았다.

독일의 DAKU 시스템, H회사의 옥상녹화 세덤(SE DUM) 신공법, R회사의 CERA-SOIL 공법, 서울특별시와 한국건설기술연구소에서 제안한 보급형 옥상녹화 공법 등을 검토한 후(Nash and Graves, 1993; Taylor *et al.*, 1993; 박중성, 2000; 서울특별시, 2000; 이은엽과 문석기, 2000; Huang and Gao, 2000; Boivin *et al.*, 2001), 이를 근거로 저토심 옥상녹화 시스템의 개념적 모델을 유추하고(Figure 1 참조), 이 모델에 준하여 Table 3과 같이 인공배지 종류 · 토심 · 배수 형태를 구분하여 12가지 형태의 시스템들을 조성하였다.

인공배지의 종류는 Table 2와 같이 인공토양 단용(이하 '단용'이라고 한다)과 인공토양 혼용(이하 '혼용'이라고 한다)으로 하였고 식재층의 토심은 5cm, 10cm, 15cm로 하였다. 배수층은 H회사의 옥상녹화 세덤(SE DUM) 신공법과 R회사의 CERA-SOIL 공법을 근거로 모든 시스템에서 동일하게 최저면부로부터 높이 5cm까지 다공질 유리 파쇄물을 포설하여 조성하였으며 여과층은 일반적으로 사용되고 있는 부직포로 하였다. 배수 형태는 Figure 1a와 같이 배수구가 최하단부에 위치한 배수형 처리와 Figure 1b와 같이 배수구가 최하단부에서 5cm 높이에 위치하여 저수가 가능한 저수 · 배수형 처리로 하였다.

Table 2. Physicochemical properties of substrates used in Exp. 2

Item	Unit	Substrates	
		Alone type ^a	Blend type ^b
Bulk density	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0.38	0.87
Porosity	%	67.8	50.4
Field capacity	%	37.6	41.2
Saturated hydraulic conductivity	$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	1.87×10^{-3}	8.2×10^{-2}
pH	-	7.0	6.8
EC	$\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$	0.71	0.97
Org. C	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	62.6	27.9
T-N	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.73	1.82
Bray 1-P	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	7.3	81.6
CEC	$\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	11.2	8.6
Ex-Ca	$\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	4.74	8.8
Ex-Mg	$\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.67	1.44
Ex-K	$\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.31	0.37
Ex-Na	$\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.42	0.36

^a: Alone type was an artificial substrate formulated by blending crushed porous glass with bark(6:4, v/v).

^b: Blending type was formulated by blending the alone type with loam(1:1, v/v).

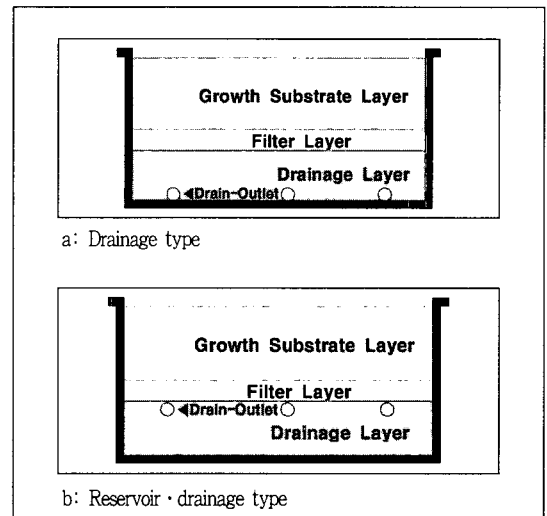


Figure 1. Conceptual model of shallow green roof system

Table 3. Experimental treatments itemized by drainage type, soil depth and substrate type

System	Substrate type	Soil depth(cm)	Drainage type
SGR01	Alone	5	Drainage
SGR02	Alone	10	Drainage
SGR03	Alone	15	Drainage
SGR04	Blend	5	Drainage
SGR05	Blend	10	Drainage
SGR06	Blend	15	Drainage
SGR07	Alone	5	Reservoir · drainage
SGR08	Alone	10	Reservoir · drainage
SGR09	Alone	15	Reservoir · drainage
SGR10	Blend	5	Reservoir · drainage
SGR11	Blend	10	Reservoir · drainage
SGR12	Blend	15	Reservoir · drainage

실험은 2002년 4월 3일부터 2003년 10월 1일까지 일 조 시간 동안 그늘지지 않는 4층 건물 옥상에서 수행되었다. 폭 6cm × 높이 6cm의 포트에서 재배된 식물체를 구입하여 균일한 것을 선발하고 4월 3일에 가로 44cm × 세로 34cm이고 깊이가 각각 10cm, 15cm, 20cm인 실험 구에 1포트씩 정식하였다. 관수는 정식 후 1주 동안 매일 1회 실시하였고 그 후에는 관수하지 않았으며 시비는 실시하지 않았다. 실험구 처리는 3반복으로 하였고 모든 실험구는 두께 5cm의 발포 폴리스티렌 위에 완전 임의배치로 배치하였다. 생육 조사는 피복 면적, 총생체 중 및 총건물중, 근근 분포로 구분하여 수행하였다. 피복 면적은 동일한 시기에 각각의 시스템 위에서 등비율로 촬영한 사진과 AutoCAD 2000(Autodesk, Inc., 1996)을 이용하여 산출되었다(허근영 등, 2003). 식물체의 형태적 특성으로 인하여 잎 · 줄기 · 뿌리를 구분하지 않고 2003년 10월 1일에 식물체를 채취한 후에 총생체 중 및 총건물중을 측정하였다. 식물체 굴취 과정에서 근근의 분포를 측정하였다. 각각의 변수에 대해서는 SAS Ver. 6.12(Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., 1989)를 이용한 단칸의 다중검정법(Duncan's multiple range test)을 통하여 처리들 간의 유의성이 분석되었으며, 유의수준은 5%로 하였다.

3. 실험 3: 저토심 옥상녹화 시스템에서의 내건성 평가

실험.2를 수행한 후에 다시 Figure 2와 같은 두 가지 시스템을 제안하고 내건성 실험을 수행하였다. 두 시스템은 모두 혼용의 인공배지를 사용하였고 10cm 토심의 식재층과 4cm 토심의 배수층으로 구성되었으며 배수 형태에서만 차이를 두었다. 배수 형태는 배수구가 최저 면부에 위치한 배수형(Figure 2a 참조)과 최저면부에서 2.5cm 위에 위치하여 소량의 저수가 가능한 보완적 저수 · 배수형(Figure 2b 참조)으로 구분하였다.

폭 6cm × 높이 6cm 포트에서 재배된 식물체를 구입하여 균일한 것을 선발한 후에 2003년 5월 12일에 2가지 시스템으로 구성된 가로 56cm × 세로 35.5cm × 높이 14cm의 실험구들에 식물체를 식재하고 온실에 배치하였다. 실험구 처리는 3반복으로 하였고 실험구 내 식물체는 4반복으로 하였으며 실험구는 완전임의배치법으로 배치하였다. 온실은 비가림 수준으로 관리되었으며, 관수를 중단하기 전까지는 주 1회 관수를 실시하였고, 관수량은 1회에 약 30mm 정도로 하였다. 실험 기간 중에는 별도의 시비는 실시하지 않았다.

1998년부터 2002년까지 10년간의 기후 자료를 통하

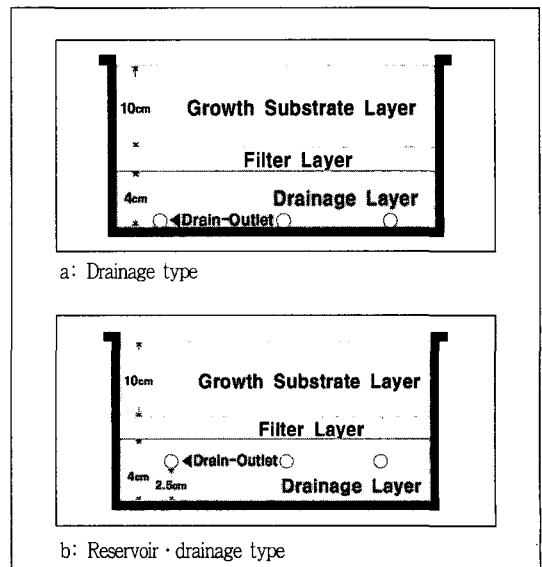


Figure 2. Two types of extensive green roof systems used in Exp. 4

여 실험 지역의 강우 중단 일수와 월 강우량을 분석한 결과를 살펴보면 겨울에 가장 장기간의 강우 중단 일수가 나타나며 강우량 역시 매우 낮았으므로, 내건성 평가 기간은 초겨울부터 초여름까지로 하였다(http://www.kma.go.kr). 2003년 11월 31일에 관수를 중단하고 5일 경과 후 식물체 수분 함량, 시각적 질, 생존율을 조사·분석하였고, 2 개월, 4 개월, 5 개월이 경과한 시점에서 동일 항목에 대한 조사 및 분석이 이루어졌다. 식물체 수분 함량은 3 반복으로 지상부의 식물체 일부를 채취하여 생체중과 건물중을 측정하고 생체중과 건물중의 차를 건물중으로 나누어서 단위 건물(g) 당 수분 함량(g)의 단위로 산출하였다(Wood *et al.*, 1994). 시각적 질은 5명의 조사자에 의하여 동일한 시기에 각각의 실험구에서 종합적인 생육 상태가 관찰되었고 9점 척도(매우 불량=1점; 매우 양호=9점)로 평가되었다(태현숙 등, 2000; Shepard and DiPaola, 2000; Boivin *et al.*, 2001). 시기별로 측정을 마친 실험구에 대해서는 관수를 재개하고 약 2개월 경과 후에 식물체들의 생존 여부를 조사하여 전체 식물체 개체수에 대한 생존 개체수의 비를 백분율로 산출하였다. 각각의 변수에 대해서는 SAS Ver. 6.12(Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., 1989)를 이용한 T-test와 단칸의 다중검정법(Duncan's multiple range test)을 통하여 처리들 간의 유의성이 분석되었으며, 유의수준은 5%로 하였다.

4. 실험 4: 제안된 저토심 옥상 녹화 시스템에서의 생육 평가

최종적으로 Figure 2b와 같은 저토심 옥상 녹화 시스템을 제안하였고, 2003년 4월 3일에 폭 6cm × 높이 6cm인 포트에서 재배된 식물체를 14반복으로 구성된 시스템 각각에 2포트씩 식재하고 2005년 3월 29일까지 생존율, 고온·저온·충해에 대한 피해 정도, 개화 습성 및 꽃의 형태, 피복 면적을 조사·분석하였다. 생존율, 고온·저온·충해에 대한 피해 정도, 개화 습성 및 꽃의 형태는 실험 기간 중 육안으로 판별하였고, 피복 면적은 실험 2와 동일한 방법으로 산출하여 시기별로 분석하였다. 관수는 식재 후 1주 동안은 매일 1회 관수하였고 그 후에는 관수하지 않았다. 시비는 연 1회 실험

시하였는데, 매년 5월초에 복합 비료(N-P-K-Mg, 6-40-6-15)를 약 3g/m² 시비하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 국내에서의 생육특성

2001년 5월부터 2002년 3월까지 수행된 실험 1을 통하여 성장과 생육 형태를 조사한 결과, *Sedum album* L.은 초본이며 다육질의 잎을 가지고 있는 다년생 식물로 겨울 동안 지상부 전체가 고사하지 않는 특성을 가지고 있고 충분히 성장한 식물체의 크기는 약 4~7cm이었다. 줄기는 지면에 접하여 자라는 줄기가 있고 이 줄기에는 상향으로 성장하는 잎이 달린 신초가 자라고 있다(Figure 3 참조). 지면에 접한 줄기로부터 상향으로 새롭게 분화된 신초는 정단부에서 3~4개의 잎들이 형성되기 시작하며, 잎의 형성과 길이 성장이 동시에 이루어

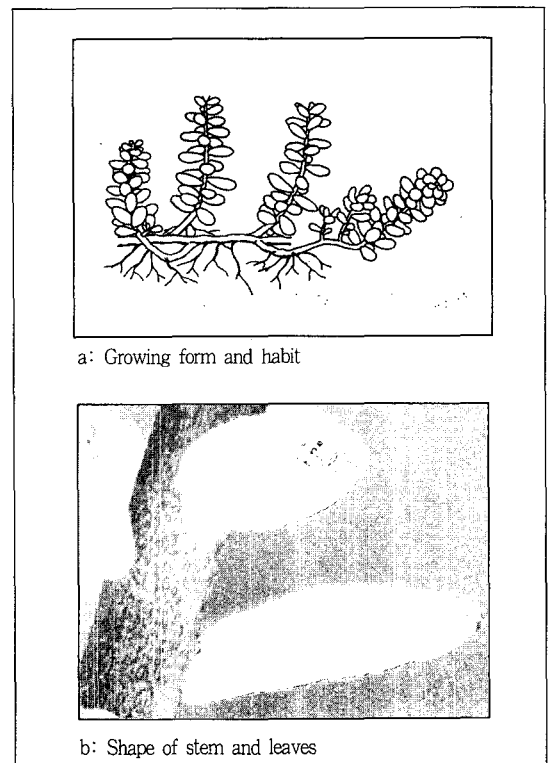


Figure 3. The morphology and habit of *Sedum album* L.

졌다. 그 후에 새로운 잎의 생성이 멈춘 후에도 신초의 길이 생장은 지속되는데, 그 결과로 잎이 달리지 않은 줄기 부분이 형성되고 이 부분은 점차 수평 방향으로 누우면서 지면에 접하여 뿌리를 형성하였다. 뿌리가 형성되어 토양으로부터 물과 영양분을 공급받게 되면 이 줄기는 하나의 새로운 개체로 독립하여 발달할 수 있게 되는데, 이 상태에서 본래 연결된 줄기 부분 근처에 고사가 일어나는 것이 관찰되었다.

Sedum album L.은 빠르고 치밀하게 지표면을 피복하였는데, 저토심 옥상 녹화 시스템에 도입된 식물종의 혼합 구성에 따른 피복력을 평가한 선행 연구에서도 *Sedum acre* 40%, *Sedum album* 40%, *Sedum sexangulare* 5%, *Hylotelephium ewersii* 5%, *Phedimus spurius* 10%로 구성된 표준 혼합(standard mix)이 *Sedum album*의 비율이 낮았던 다른 혼합에 비하여 피복력이 가장 높았고, 실험구 전체가 *Sedum album*와 *Sedum acre* 2종을 중심으로 피복되어 *Sedum album*은 매우 피복력이 강한 것으로 보고되었다(Ernstsson and Rolf, 2005). 특히 뿌리 부분에서 매우 왕성하게 퍼져나가는 것이 관찰되었다.

근근 분포를 보다 광범위한 조건에서 명확하게 구명하기 위해서 실험 2를 통하여 근근 분포를 분석한 결과, 배수 형태에 따른 차이를 보였다. 배수형 시스템에서는 약 7cm이었고 저수·배수형 시스템에서는 약 5cm이었다(Figure 4 참조). Figure 4a에서 일부 길게 늘어난 뿌리들을 볼 수 있지만, 이들은 측면으로 뻗어나간 뿌리들이다. 근권부의 깊이는 건조한 토양 조건일수록 증가하는 경향이 있지만(Huang and Gao, 2000), 상대적으로 건조한 조건인 배수형 시스템에서도 근근 분포는 10cm를 넘지 않았다.

국내의 여러 가지 광 환경에서 생육 특성을 파악하기 위해서 실험 3을 수행한 결과, 전광 조건에서 잎은 매우 견고하고 광택이 있으며 약간 붉은 색을 띠었다(Figure 5 참조). 전광 조건과 비교하여 차광률이 30%인 조건에서는 엽육이 더 비대하고 엽간이 더 넓으며 밝은 녹색을 띠었다. 차광률이 75%인 조건에서는 잎이 상대적으로 길어지면서 폭은 좁아지고 엽간이 명확하게 넓어지며 줄기는 도장하는 경향을 보였다. 이와 같은 경향은 차광률이 87%인 조건에서 더 강하게 나타났고 변형된 잎들

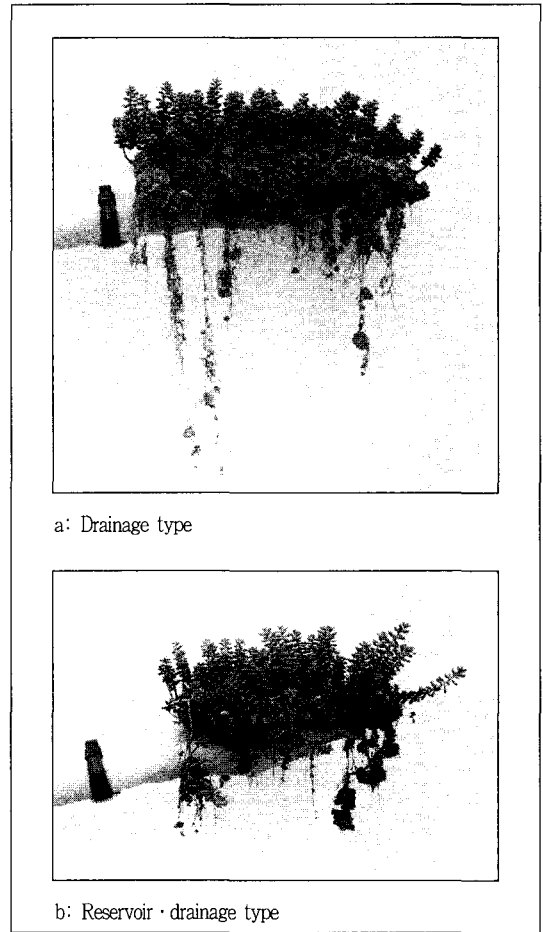


Figure 4. Root distribution of *Sedum album* L. grown in two types of shallow green roof systems

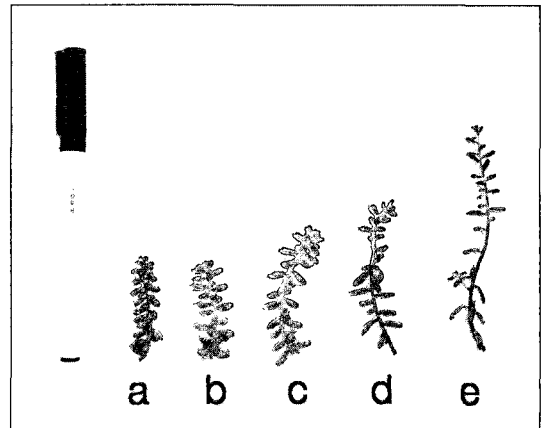


Figure 5. Effects of shading conditions on the shape of *Sedum album* L.
a: 0%(full sunlight), b: 30%, c: 75%, d: 87%, e: 94%

과 생육이 불량한 잎들이 관찰되었다. 차광률이 94%인 조건에서는 잎이 가늘고 작으면서 불규칙해졌고 줄기는 과도하게 도장하였다. 전반적으로 *Sedum album* L.의 생육은 30% 이하의 차광 조건에서는 매우 양호하고 약 75% 정도의 차광 조건에서도 비교적 양호하게 나타났으나 87%와 94%의 차광 조건에서는 비정상적인 상태가 나타나는 것으로 분석되었다.

실험 2와 실험 3을 통하여 최종 제안된 저토심 옥상 녹화 시스템에서는 6월 중순에서부터 8월 중순까지 개화하였다(http://www.ibiblio.org). 먼저 꽃눈을 가진 줄기의 급속한 비대 성장(bolting)이 일어나고, 꽃들은 복산형 화서(compound umbel)를 이루어 개화하였으며, 꽃은 별모양의 백색이었다(Figure 6 참조).

2. 저토심 옥상 녹화 시스템에 관한 연구

실험 2에서 설계된 12개의 시스템에 대한 피복 면적을 분석한 결과, 식재 후 5개월이 경과한 2003년 9월 6일에 SGR06, SGR05, SGR12에서 상대적으로 높은 값이 나타났고 나머지 시스템들 간에서는 상호 유사한 값을 보였다(Figure 7 참조). 식재 후 11개월이 경과한 2003년 3월 4일에도 유사한 경향이 나타났다. SGR05와 SGR06에서의 피복 면적은 일관성 있게 매우 높은 값을 나타냈고 SGR12에서는 상대적으로 낮은 값을 보였다. 이 3가지 시스템들을 제외한 나머지 시스템들 중에서는 SGR03에서의 피복 면적이 지속적으로 높은 값을 나타냈다. 식재 후 18개월이 경과한 2004년 9월 26일에는 SGR12에서의 피복 면적이 가장 높게 나타났고, 다음으로 SGR05에서 높은 값을 나타냈다. 이 두 시스템은 나머지 시스템들과 현저한 차이를 보였다. 이 두 시스템을 제외한 나머지 시스템들 중에서 SGR11, SGR06, SGR03에서의 피복 면적이 상대적으로 높게 나타났다.

2003년 9월 26일에 12개의 시스템들로부터 식물체들을 채취하여 총생체중과 총건물중을 측정하고 통계 분석한 결과, 피복 면적에서 나타난 경향과 유사한 결과를 볼 수 있었다(Table 4 참조). 총생체중은 SGR05와 SGR12에서 통계적으로 유의성 있게 가장 높았고 상호 간에 유의차는 없었으며, 다음으로 SGR06, SGR11, SGR03에서 높게 나타났고 상호 간의 통계적 유의차는 보

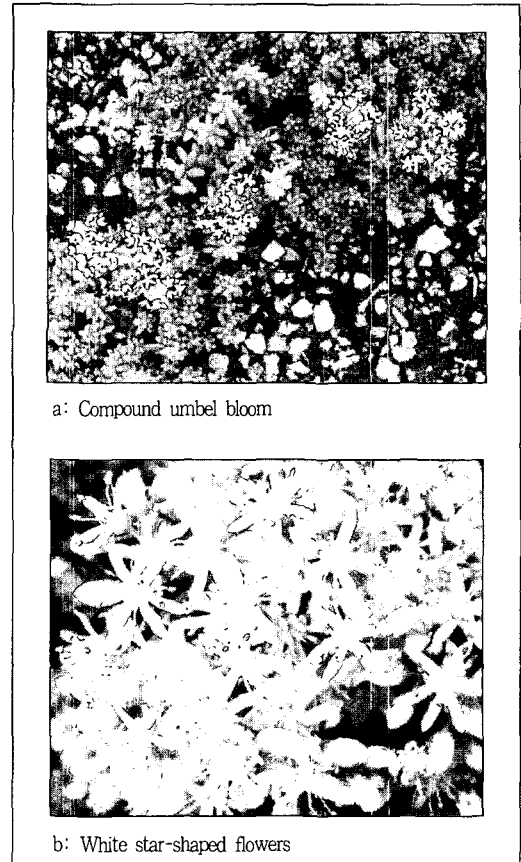


Figure 6. Flower shape and color of *Sedum album* L.

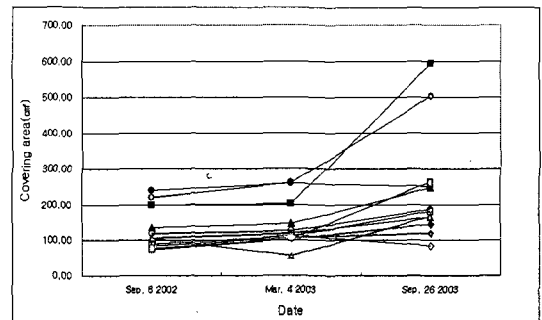


Figure 7. Effects of substrate type, soil depth, and drainage type on the covering area of *Sedum album* L. during Exp. 2

Legend: SGR01 SGR02 SGR03 SGR04 SGR05 SGR06
SGR07 SGR08 SGR09 SGR10 SGR11 SGR12

이지 않았다. SGR07과 SGR08에서의 총생체중은 통계적으로 유의성 있게 가장 낮았고 상호 간 유의차는 없

Table 4. Effects of substrate type, soil depth, and drainage type on total fresh and dry weight of *Sedum album* L. during Exp. 2

System	Substrate type	Soil depth (cm)	Drainage type	Total fresh weight(g)	Total dry weight(g)
SGR01	Alone	5	Drainage	23.79e*	4.03cd
SGR02	Alone	10	Drainage	29.21de	4.75c
SGR03	Alone	15	Drainage	65.74b	9.70b
SGR04	Blend	5	Drainage	38.30c	5.72c
SGR05	Blend	10	Drainage	103.79a	14.64a
SGR06	Blend	15	Drainage	72.23b	10.58b
SGR07	Alone	5	Reservoir · drainage	10.07f	2.09e
SGR08	Alone	10	Reservoir · drainage	15.94f	2.79de
SGR09	Alone	15	Reservoir · drainage	32.26cd	4.13cd
SGR10	Blend	5	Reservoir · drainage	33.34cd	9.95b
SGR11	Blend	10	Reservoir · drainage	69.22b	4.95c
SGR12	Blend	15	Reservoir · drainage	102.29a	11.44b

*: Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

었으며, 다음으로 SGR01과 SGR02에서 낮게 나타났고 상호 간 유의차는 보이지 않았다. 총건물중은 SGR05에서 통계적으로 유의성 있게 가장 높았고, 다음으로 SGR12, SGR06, SGR11, SGR03에서 높게 나타났으며 상호 간의 통계적 유의차는 나타나지 않았다. SGR07에서의 총건물중은 통계적으로 유의성 있게 가장 낮았고, 다음으로는 SGR08에서 낮게 나타났다.

피복 면적, 총생체중, 총건물중을 통하여 생육에 대한 배수 형태, 인공 배지 종류, 토심의 효과를 살펴보면 배수 형태는 저수·배수형이 배수형보다 우수하지 못하며 토심 5~10cm에서는 오히려 부정적인 효과를 나타냈다. 저수·배수형은 배수형보다 더 많은 수분을 공급할 수 있지만 뿌리에 근접한 저수면과 이것으로 인한 과잉 수분 공급 또는 침수는 김인혜와 허근영(2003)과 Nash and Graves(1993)의 연구 결과에서 볼 수 있듯이 오히려 스트레스를 유발시키는 것으로 판단되었다. 또한 과다한 수분 조건은 스트레스를 유발하지 않더라도 허근영 등(2003)이 돌나물(*Sedum sarmentosum*)을 식물 소재로 하여 수행한 연구 결과에서 볼 수 있듯이 견실하지 못한 비대 성장을 초래하는 것으로 분석되었다. 인공 배지의 종류에 있어서 혼용 처리가 우수하게 나타난 것은 배지의 이화학적 특성 분석과 생육 관찰 결과를 종합하여 볼 때, 배지의 화학적 특성보다는 물리적

특성에 의한 결과로서, 혼용 처리는 상대적으로 유효한 수분을 장기간 안정적으로 유지하므로 보다 효과적인 수분 공급이 가능하다고 판단되었다. 토심의 효과는 배수 형태와 관련지어 평가할 수 있는데, 토심 5cm의 경우는 배수형에서 건조 스트레스를 유발하고 저수·배수형에서는 역으로 과잉 수분 스트레스를 유발한 것으로 나타났다. 결국 낮은 토심은 극한 기후 변화에 대한 완충 능력이 상대적으로 낮으므로 생육을 억제시킨 것으로 분석되었다.

가장 우수한 생육을 나타낸 것은 배수형-혼용-토심 10cm로 조합된 시스템과 저수·배수형-혼용-토심 15cm로 조합된 시스템이었다. 식재층의 토심과 토양 수분의 분포를 뿌리 분포와 관련하여 살펴보면, *Sedum album* L.의 뿌리는 배수형 처리에서 대부분 토심 7cm 이내에 분포하고 식재층의 수분은 세립토 여과용 부직포를 포함하여 인접한 상층부에 많이 분포하므로(이성기 등, 2002), 배수형이며 토심 10cm 처리는 *Sedum album* L.의 뿌리에게 효과적인 수분 공급을 할 수 있는 조건이라고 할 수 있다. 저수·배수형 처리에서는 대부분의 뿌리가 토심 5cm₂ 이내에 분포하는데, 토심 15cm 처리에서 *Sedum album* L.의 생육량이 유의적으로 높았고 토심 10cm 처리에서는 상대적으로 현저히 낮았던 것은 높이 5cm의 저수된 물이 식재층으로 상승

하여 전자에서는 적절한 토양 수분 환경을 조성시키고 후자에서는 스트레스를 유발한 것으로 판단되었다 (Nash and Graves, 1993). VanWoert *et al.*(2005)은 *Sedum album* L.을 포함한 7종의 세덤류를 대상으로 토심에 따른 생육을 평가한 결과, 식재 배지의 토심이 깊을수록 건중량이 높게 나타나고, 시스템의 수분 보유력도 증가하였으나 토심의 증가에 따른 총생체량 (biomass)의 증가로 인하여 수분 증발량도 많아지므로 관수 요구도가 높아진다고 하였다. 따라서 수분의 이용 및 시스템의 경량화를 고려했을 때 배수형-혼용-토심 10cm로 조합된 시스템이 저토심 옥상 녹화를 위하여 가장 적절할 것으로 분석되었다.

3. 저토심 옥상 녹화 시스템에서의 내건성 평가

실험 2에서 설계된 12개의 시스템들 중 배수형-혼용-토심 10cm로 조합된 시스템(SGR05)과 저수·배수형-혼용-토심 15cm로 조합된 시스템(SGR12)이 가장 우수하였다. 시스템 중량 측면에서는 경량한 전자가 더욱 바람직한 것으로 판단되었으나 국내의 기후 조건에서는

건기를 대비하여 수분을 저장하기 위한 저수·배수형 시스템을 고려할 필요가 있으며 저수량은 가능한 범위 내에서 최소화되어야 한다고 판단되었다. 이 가설을 검증하기 위해서 배수형(Figure 2a)과 보완된 저수·배수형(Figure 2b) 시스템을 제안하고 *Sedum album* L.의 내건성 평가 실험을 수행하였다(Figure 2 참조). 2003년 5월 12일에 균일한 식물체들을 두 가지 시스템에 식재하고 2003년 11월 31일에 관수를 중단하기까지 동일하게 관수하였다. 관수 중단 후 5일이 경과한 2003년 12월 5일에 배수형과 저수·배수형 시스템에서 식물체 수분 함량을 분석한 결과, 전자에서는 3.80g/g, 후자에서는 5.92g/g으로 나타났으며, *t*-test에서 두 값은 1% 유의수준에서 유의차를 나타냈다(Table 5 참조). 이것은 두 시스템간의 차이에 의한 결과로서, 각각의 시스템에서 6~7개월 정도 적용된 식물체들 간에 나타나는 생육 환경 차이라고 판단되었다. 결과적으로, 두 시스템의 수분 중단이 발생하는 시점에서 이와 같은 초기값의 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 시각적 질은 이 시기에 모두 9.00점이며 차후 이를 기준으로 시각적 질을 평가하였

Table 5. Plant water content, visual quality, and survival rate of *Sedum album* L. grown in two types of shallow green roof systems used in Exp. 3

Date	Investigation item	Drainage type		<i>t</i> -statistics	<i>P</i> -value
		Drainage	Reservoir · drainage		
5 Dec. 2003	Plant water content(g/g)	3.80 ^{Aa}	5.92 ^A	-6.403	0.003 ^{**}
	Visual rate(scale=9)	9.00 ^{ab}	9.00 ^a	-	-
	Survival rate(%)	100.00	100.00	-	-
20 Jan. 2004	Plant water content(g/g)	2.62 ^B	3.73 ^B	-13.815	0.000 ^{**}
	Visual rate(scale=9)	4.00 ^b	6.00 ^b	-6.325	0.000 ^{**}
	Survival rate(%)	100.00	100.00	-	-
25 Mar. 2004	Plant water content(g/g)	0.80 ^C	3.41 ^B	-2.482	0.127 ^{NS}
	Visual rate(scale=9)	4.20 ^b	5.20 ^f	-3.536	0.008 ^{**}
	Survival rate(%)	100.00	100.00	-	-
7 May 2004	Plant water content(g/g)	0.41 ^C	1.02 ^C	-8.324	0.001 ^{**}
	Visual rate(scale=9)	2.20 ^f	3.20 ^d	-3.536	0.008 ^{**}
	Survival rate(%)	33.33	41.67	-	-

^A: Mean separation within columns of plant water content by Duncan's multiple range test at *P*=0.05.

^B: Mean separation within columns of visual rate by Duncan's multiple range test at *P*=0.05.

^{**}: Significant at *P*=0.01.

^{NS}: Nonsignificant at *P*=0.05.

다. 생존율은 두 시스템에서 모두 100%였다. 약 2개월이 경과한 2004년 1월 20일에 배수형과 저수·배수형 시스템에서 식물체 수분 함량을 분석한 결과, 전자에서는 2.62g/g, 후자에서는 3.73g/g으로 나타났으며, *t*-test에서 두 값은 1% 유의 수준에서 유의차를 나타냈다. 시각적 질은 전자에서 5점 이하인 4.00점, 후자에서 5점 이상인 6.00점을 나타냈으며, *t*-test에서 두 값은 1% 유의 수준에서 유의차를 나타냈다. 생존율은 두 시스템에서 모두 100%였다. 약 4개월이 경과한 2004년 3월 25일에 배수형과 저수·배수형 시스템에서 식물체 수분 함량을 분석한 결과, 전자에서는 0.80g/g, 후자에서는 3.41g/g을 나타냈으며, *t*-test에서 두 값은 유의차를 나타내지 않았다. 시각적 질은 전자에서 5점 이하인 4.20점, 후자에서 5점 이상인 5.20점을 나타냈으며, *t*-test에서 두 값은 1% 유의 수준에서 유의차를 나타냈다. 생존율은 두 시스템에서 모두 100%였다. 약 5개월이 경과한 2004년 5월 7일에 배수형과 저수·배수형 시스템에서 식물체 수분 함량을 분석한 결과, 전자에서는 0.41g/g, 후자에서는 1.02g/g으로 나타났으며, *t*-test에서 두 값은 1% 유의 수준에서 유의차를 나타냈다. 시각적 질은 전자에서 2.20점, 후자에서 3.20점으로 모두 5점 이하를 나타냈고, *t*-test에서 두 값은 1% 유의 수준에서 유의차를 나타냈다. 생존율은 전자에서 33.33%, 후자에서 41.67%로 모두 50% 이하의 생존율을 나타냈다.

VanWoert *et al.*(2005)은 *Sedum album* L.을 포함한 7종의 세덤류가 무관수 조건이 88일 동안 지속된 후에도 정상적으로 생육이 가능하다고 하였고, Teeri *et al.*(1986)은 같은 세덤속(*Sedum* genus)에 속하는 *Sedum rubrotinctum*의 정단부 잎이 무관수 조건에서 2년간 생존하며 팽만함을 유지할 수 있다고 하였는데, 본 실험에서 *Sedum album* L.은 실험 기간 중 관수 중단 후 약 4개월을 견딜 수 있으며 약 5개월 후에는 50% 이하의 생존율을 보이는 것으로 나타났다. 시각적 질은 배수형 시스템에서는 2개월 이후부터 5점 이하로 낮아지고 저수·배수형 시스템에서는 4개월까지 5점 이상을 유지하였다. 식물체 수분 함량이 약 3g/g 이상이면 시각적 질이 5점 이상이고 생존율이 100%이며, 약 1g/g 이하이면 시각적 질이 5점 이하이고 치사하는 식물체가 발생되는 것으로 판단되었는데, 배수형 시스템

에서는 약 4개월이 되면, 저수·배수형 시스템에서는 5개월부터 식물체 수분 함량이 약 1g/g이 되는 것으로 나타났다. Monterusso *et al.*(2005)은 저토심 옥상 녹화 시스템에서 *Sedum album* L.을 포함한 9종의 세덤류(*Sedum* spp.)와 18종의 자생 식물에 대하여 배수 형태의 효과를 평가한 연구 결과, 배수형과 저수·배수형에서 성장, 생존률, 시각적 질이 유의적인 차이가 없다고 하였는데, 본 연구에서는 배수형과 저수·배수형 시스템에서의 식물체 수분 함량과 시각적 질이 지속적으로 통계적 유의차를 나타내었다. 반면, 생존률에 있어서는 관수 중단 4개월 후까지 두 시스템에서 모두 100%였고, 국내에서 3개월간 지속적으로 강우가 중단되는 경우는 없었으므로(<http://www.kma.go.kr>), 배수형 시스템을 적용하였을 경우에도 *Sedum album* L.의 생존이 적함하게 유지될 수 있다고 판단되었다.

그러나 실험 기간 중 두 시스템에서의 생육 상태를 분석한 결과, 두께 5cm의 배수층에 배수구를 높이 5cm에 위치시킨 저수·배수형 시스템(Figure 1b 참조)과는 달리 두께 4cm의 배수층에 배수구를 높이 2.5cm에 위치시킨 보완된 저수·배수형 시스템(Figure 2b 참조)은 혼용-토심 10cm인 조합에서 배수형-혼용-토심 10cm인 시스템과 유사하거나 보다 우수한 생육을 보였다. 따라서 건물에 하중을 미치지 않고 과도한 수분 공급으로 스트레스를 유발시키지 않는 범위에서 적정량의 수분을 저장할 수 있는 보완적 저수·배수형 시스템을 채택하는 것도 고려할 필요가 있다고 판단되었다. 이러한 시스템의 도입은 옥상 녹화의 궁극적인 목표인 도시의 생태적 환경 개선에 있어 효과적인 대안이 될 수 있을 것이다.

4. 제안된 저토심 옥상 녹화 시스템에서의 생육 평가

최종적으로 제안된 시스템은 배수 형태가 두께 4cm의 배수층과 높이 2.5cm에 위치한 배수구를 가진 저수·배수형이고, 인공배지는 혼용이며, 식재층의 토심이 10cm인 시스템이었다(Figure 2b 참조). 2003년 4월 3일에 이 시스템에서 *Sedum album* L.을 식재하고 2005년 3월 29일까지 생존율, 층해, 고온 및 저온의 피

해 유무를 관찰한 결과, 생존율은 100%이고 층해와 고온 피해는 나타나지 않았다(Table 6 참조).

겨울철에는 엽밀도가 감소하고, 잎이 검붉게 변화되며, 생육이 다소 위축되는 경향을 볼 수 있었다. 잎은 12월말부터 붉은색으로 변하기 시작하여 다음해 4월 중순까지 붉은색을 유지하였고(Figure 8 참조), 7월 중순에도 잎 상단 부분의 일부는 붉은색을 띠었으며, 6

Table 6. The growing condition of *Sedum album* L. grown in the proposed shallow green roof system during Exp. 4

Investigation item	Growing condition
Survival rate	100%
Insect injury	None
Heat injury	None
Cold injury	<ul style="list-style-type: none"> • Reduced leaf density and biomass • Leaves changed into dark red

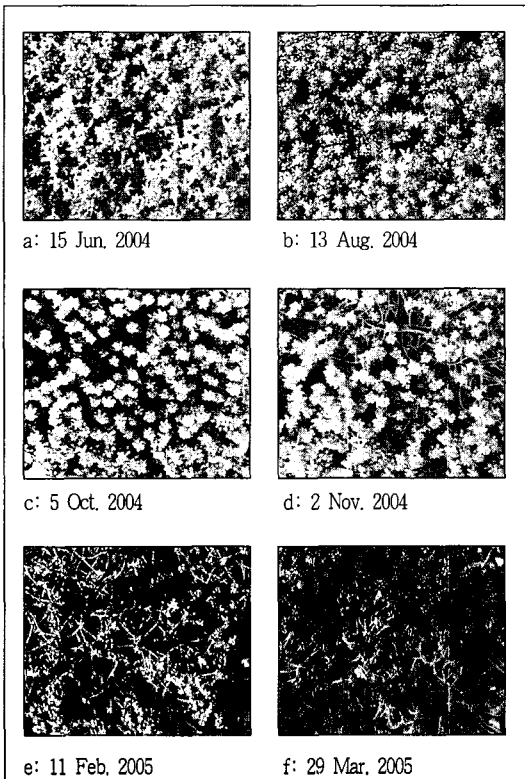


Figure 8. Covering properties of *Sedum album* L. in the proposed shallow green roof system during Exp. 4

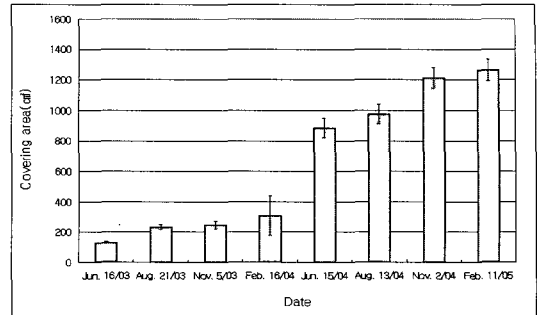


Figure 9. Covering area of *Sedum album* L. in the proposed shallow green roof system during Exp. 4

*: Mean of fourteen measurements is reported with the standard error.

월부터 8월까지의 전체적으로 열은 황색을 띠는 녹색을, 9월부터 11월까지의 녹색을 나타내었다. 뿌리와 포복경(runner)을 통한 생육 면적의 확대는 연중 지속되지만, 단위 면적 당 잎의 밀도는 1~2월 중에 가장 낮았고 점차 증가하여 6월과 7월 중에 최고를 나타내었으며 다시 감소하기 시작하여 11월부터는 현저히 감소하였다.

2003년 4월 3일에 식재하고 2003년 6월 16일부터 2005년 2월 11일까지 피복 면적을 측정한 결과, 초기에 안정적으로 활착하였고 1년이 경과하면서 급격히 피복 면적이 증가하는 경향을 볼 수 있었다(Figure 9 참조). 2003년 6월 16일과 2004년 6월 15일의 피복면적은 각각 $132.66 \pm 5.87 \text{cm}^2$ 와 $886.98 \pm 63.51 \text{cm}^2$ 로 식재 시 피복면적과 비교하면 각각 약 1.8배와 12.3배의 증가를 보였고 후자는 전자에 비하여 약 6.7배의 증가를 나타냈다. 연중 피복 면적의 증가량을 살펴보면 봄부터 6월까지 매우 높은 증가량을 나타내었고 다시 가을에 높은 증가량을 볼 수 있었다. 겨울에는 일부 실험구에서 피복 면적의 감소를 보였지만, 전체적으로 피복 면적이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 결과적으로 2년간의 겨울철 피복 면적의 변화를 종합하여 볼 때, 제안된 시스템에 도입된 *Sedum album* L.은 국내 기후 조건에서 연중 지상부가 생육하며 피복 면적이 증가하는 것으로 나타났고, 이러한 생육특성으로 인하여 겨울철에도 도시의 대기환경 개선 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단되었다.

IV. 결론

본 연구는 저토심 옥상녹화용 식물 소재로서 도입된

Sedum album L.의 적극적 활용을 위하여 국내 기후조건에서 생육 특성을 구명하고, 이를 적용한 저토심 옥상 녹화 시스템을 제안하며, 그리고 최종적으로 제안된 시스템에서의 장기적인 생육을 평가하고자 수행되었다. 연구 목적을 달성하기 위하여 국내 기후 조건에서 *Sedum album* L.의 생장 형태, 줄기 및 잎의 형태, 생장 습성 등을 관찰 조사하였고, 실험 설계된 저토심 옥상 녹화 시스템들에서 *Sedum album* L.의 생육에 대한 인공 배지 종류·토심·배수 형태의 효과를 구명하였으며, 그 결과로부터 도출된 2개의 시스템들에서 내건성을 평가한 후에 적합한 저토심 옥상녹화 시스템을 제안하였고, 그리고 최종적으로 제안된 시스템에서 *Sedum album* L.의 생존율, 고온·저온·충해에 대한 저항성, 피복 면적 등을 평가하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. *Sedum album* L.은 국내 기후 조건에서 다년생 식물로 지상부 전체가 고사하지 않는 특성을 가지고 있고, 매우 치밀하게 지면을 피복하며 빠르고 왕성하게 생육한다. 충분히 성장한 식물체의 크기는 약 4~7cm 이고, 근군은 5~7cm 깊이에 분포하였다. 차광 조건에 따른 생육은 30% 이하의 차광 조건에서는 양호하며 87% 이상의 차광 조건에서는 신초와 잎의 형태가 비정상적으로 나타났다. 개화는 국내 기후 조건과 제안된 시스템 내에서 6월부터 8월까지 이루어지며 백색의 별 모양 꽃으로 이루어진 복산형 화서를 나타냈다.

2. 배수형-혼용-토심 10cm로 조합된 시스템과 저수·배수형-혼용-토심 15cm로 조합된 시스템에서 생육한 식물체들은 피복 면적과 생체중 및 건물중에서 통계적으로 유의성 있게 높은 값을 나타냈다. 전자가 후자보다 더 경량한 시스템이기 때문에 저토심 옥상 녹화를 위해서 가장 적합한 시스템이라고 판단되었다.

3. 배수형-혼용-토심 10cm로 조합된 시스템과 보완된 저수·배수형-혼용-토심 10cm로 조합된 시스템에서 내건성을 평가한 결과, 전자에서 생육하는 *Sedum album* L.은 국내의 건기에 대하여 충분한 내건성을 가지는 것으로 나타났다. 그러나, 건전한 생육과 도시 생태 환경을 고려하여 보완된 저수·배수형-혼용-토심 10cm인 시스템이 최종으로 추천되었다. 보완된 저수·배수형은 4cm 두께의 배수층과 높이 2.5cm에 위치한

배수구로 구성된다.

4. 최종 제안된 시스템에서 *Sedum album* L.의 생존율은 100%였고 충해와 고온 피해는 나타나지 않았다. 겨울에는 엽밀도가 다소 감소하는 경향을 보였으나 피복 면적은 연중 증가하였다. 2003년 4월 3일에 피복 면적 72cm²의 식물체를 식재한 후, 2003년 6월 16일과 2004년 6월 15일의 피복 면적은 각각 132.66±5.87cm²와 886.98±63.51cm²로 식재 시 피복 면적에 비하여 각각 약 1.8배와 12.3배의 증가를 보였다.

저토심 옥상 녹화에서의 적용이라는 측면에서 *Sedum album* L.의 생육 특성을 구명하고, 적합한 시스템을 제안·평가하였다. 그러나 보다 광범한 적용이 있는 후에 다시 종합적인 평가가 이루어져야 할 것이다. 특히 여러 종류의 식물들과 혼합하여 식재 시 발생하는 생태적인 특성에 대한 평가가 이루어져야 할 것이다. 또한 국내의 광범위하고 다양한 지역에 적용시키기 위해서는 극심한 온도조건에 대한 한계 구명이 있어야 할 것이다.

인용문헌

1. 김인혜, 허근영(2003) 저토심 옥상녹화 시스템에 따른 땅채송화(*Sedum oryzifolium*)의 생육 특성. 원예과학기술지 21(4): 346-352.
2. 박종성(2000) 옥상녹화 세팅(SEDUM) 신공법. Environmental Planning & Landscape Architecture 1(2): 92-95.
3. 서울특별시(2000) 건물옥상녹화 학술용역. 서울특별시 보고서.
4. 이성기, 류남형, 허근영(2002) 필라이트로 조성된 토양층의 하중. 한국조경학회지 30(1): 87-95.
5. 이은엽, 문석기(2000) 옥상녹화공법의 배수층 구조별 식물생육 효과. 환경복원특보 3(4): 1-21.
6. 최희선, 이상수, 이용범(2001) 옥상정원에 이용 가능한 혼합 인공토양의 종류 및 토상에 따른 비비추의 생육반응. 한국조경학회지 29(3): 46-54.
7. 최희선, 홍수영, 김귀곤, 양병이, 오희영(2003) 서울시청 옥상정원 '초록밭' 모니터링을 통한 식재식물과 이입식물의 관리방안에 관한 연구. 한국조경학회지 31(3): 114-124.
8. 태현숙, 고석구, 안길만(2000) 생장조절제 처리가 bentgrass 생육과 토양 수분이동에 미치는 영향. 한국잔디학회지 14(1): 273-280.
9. 한국인공지반녹화협회(2003) 건축물 옥상녹화 구조진단 및 모니터링에 따른 관리·조성 방안. 한국인공지반녹화협회 보고서.
10. 허근영, 김인혜, 강호철(2003) 저토심 옥상녹화 시스템에서 들나물(*Sedum sarmentosum*)의 생육에 대한 인공배지 종류, 토심, 그리고 배수 형태의 효과. 한국조경학회지 31(2): 102-112.
11. 허근영, 심경구(2001) 인공지반의 녹화용 신소재 인공토양

- 개발. 한국원예학회지 42(3): 355-364.
12. Boivin, M. A., M. P. Lamy, A. Gosselin, and B. Dansereau(2001) Effect of artificial substrate depth on freezing injury of six herbaceous perennials grown in a green roof system. HortTechnology 11(3): 409-411.
 13. Emilsson, T. and K. Rolf(2005) Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden. Urban Forestry & Urban Greening 3: 103-111.
 14. Given, D. R.(1984) Checklist of dicotyledons naturalised in New Zealand 17. New Zealand Journal of Botany 22: 191-193.
 15. Huang, B. and H. Gao(2000) Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. Crop Sci. 40: 196-203.
 16. Huh, K. Y., I. H. Kim, and N. H. Ryu(2003) Effects of substrate type, soil depth, and drainage type on the growth of *Sedum kamtschaticum* in extensive green roof systems. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 31(4): 90-100.
 17. Johnston, J. and J. Newton(2004) Building Green: a Guide to Using Plants on Roofs, Walls and Pavements. London: Greater London Authority.
 18. Monterusso, M. A., D. B. Rowe, and C. L. Rugh(2005) Establishment and persistence of *Sedum* spp. and native Taxa for green roof applications. Hortiscience 40(2): 391-396.
 19. Nash, L. J. and W. R. Graves(1993) Drought and flood stress effects on plant development and leaf water relations of five Taxa of trees native to bottomland habitats. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118(6): 845-850.
 20. Shepard, D. and J. DiPaola(2000) Regulate growth and improve turf quality. Golf Course Management 68(3): 56-59.
 21. Taylor, D. H., S. D. Nelson, and C. F. Williams(1993) Sub-root zone layering effects on water retention in sports turf soil profiles. Agron. J. 85: 626-630.
 22. Teeri, J. A., M. Turner, and J. Gurevitch(1986) The response of leaf water potential and crassulacean acid metabolism to prolonged drought in *Sedum rubrotinctum*. Plant Physiol. 81: 678-680.
 23. VanWoert, N. D., D. B. Rowe, J. A. Anderson, C. L. Rugh, and L. Xiao(2005) Water regime and green roof substrate design affect *Sedum* plant growth. Hortiscience 40(3): 659-664.
 24. Villarreal, E. L. and L. Bengtsson(2005) Response of a *Sedum* green-roof to individual rain events. Ecological Engineering 25: 1-7.
 25. Wood, C. B., T. J. Smalley, M. Rieger, and D. E. Radcliffe(1994) Growth and drought tolerance of *Viburnum plicatum* var. *tomentosum* 'Mariesii' in pine bark-amended soil. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119: 687-692.
 26. <http://plant.usda.gov>
 27. <http://www.hansu.com/greentech.htm>
 28. <http://www.ibiblio.org>
 29. <http://www.kma.go.kr>
 30. <http://www.nhm.ac.uk>
 31. <http://www.sngp.co.kr>

원 고 접 수: 2005년 9월 1일
 최종수정본 접수: 2005년 10월 24일
 3 인 의 명 심 사 필