

## 저관리 · 경량형 옥상녹화를 위한 지피식물의 내건성 평가

조홍하<sup>1)</sup> · 강태호<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 동국대학교 대학원 조경학과 · <sup>2)</sup> 동국대학교 조경학과

### Drought Resistance Assessment of Ground Cover Plants for Low Management and Light Weight Green Roof System

Zhao, Hong-Xia<sup>1)</sup> and Kang, Tai-Ho<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Dongguk University,

<sup>2)</sup> Dept. of Landscape Architecture, Dongguk University.

#### ABSTRACT

This study was carried out to suggest an experimental base in selecting the drought resistance of plants. Adopting the natural drought method, this paper studies the drought resistance of 12 kinds of ground cover plants. focusing on analyzing the changes of relative water content on leaf, relative electric conductivity and chlorophyll content in 12 kinds of plants, and and the relation between soil water content under drought stress. The drought resistance of the plants were subject to laboratory and rooftop drought resistance treatments. The Logistic model of nonlinear regression analysis was used to evaluate the lethal time that were predicted with the range of 10.4~30.1d on roof top, and 19.5~39.0d on hothouse. The result shows that with the increase of stress time, relative water content and chlorophyll content on leaf were in a downward trend; the relative electric conductivity was upward tendency. Among 12 species of ground cover plants, exclude *Pulsatilla koreana*, *Ainsliaea acerifolia* were selected for rooftop plants because they showed resist drought strongly and took adaptive ability.

---

**First author** : Zhao, Hong-Xia, Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Dongguk University,  
Tel : 054-771-0413, E-mail : zhx@dongguk.ac.kr

**Corresponding author** : Kang, Tai-Ho, Dept. of Landscape Architecture, Dongguk University,  
Tel : 054-770-2232, E-mail : kth@dongguk.ac.kr

**Received** : 15 October, 2012. **Revised** : 14 December, 2012. **Accepted** : 28 December, 2012.

Key Words : *Electrolyte Leakage, Logistic-Nonlinear Regression Analysis, Lethal Temperature, relative water content, Chlorophyll content.*

## I. 서 론

최근 급격한 기후 변화로 인해 옥상이나 벽면녹화에 있어 식물 고사 현상이 많이 발생하여 경제적 피해가 크다. 따라서 여름철 도시 내에서 지속적인 환경정화 효과를 기대할 수 있는 지피식물 도입을 위한 내건성 검토가 요구된다. 저토심 식재지반에서 최소한의 유지관리만으로도 생육할 수 있는 식물 소재의 선별은 옥상녹화에 있어서 중요한 기술적 요소가 되고 있다 (Kim, 2006).

옥상녹화 시스템에 도입된 식물의 환경 저항성은 시스템 유지력에 있어 중요한 요소가 되며 이는 도시의 생태 환경 개선 효과와 밀접한 관련이 있다. 특히 온도와 수분 환경은 시스템에 도입될 식물의 생육 가능 기간을 결정하므로 내건성 평가가 필요하며, 저관리에 대한 적합성을 평가하기 위해서는 건조스트레스에 대한 저항성을 연구할 필요가 있다.

특히 저관리형 옥상녹화 식물은 고온 및 건조에 의한 식물의 생존능력 저하 현상이 나타나고 있어 적용 식물에 대한 실증 연구가 필요하다. 이들 옥상녹화 시스템에 도입된 식물종에 대하여 여름철 고온과 건조를 거친 후 생육평가가 필요하다. 내건성 및 옥상녹화와 관련하여 이정식 등(2003)은 저관리·경량형 옥상녹화 피복용 지피식물로 *S. sarmentosum*, *S. oryzifolium*, *S. polytrichoides* Hemsl., *S. spectabile* Boreau, *S. kamschaticum* 등을 선별하였는데 이 식물들은 대부분 다육식물로 내건성이 강한 식물로도 선별되어 옥상녹화에 적합한 종으로 나타났다. 옥상녹화에 많이 이용되고 있는 *S. lineare*과 *S. sarmentosum*은 강한 저항성을 보였고, 관상 가

치도 높았으며, 옥상에서 광범위로 이용되고 있었다(Zhao, et.al, 2001). Huang, et.al(2007)은 5종의 세덤들을 대상으로 건조, 고온, 저온 등 저항 실험을 통하여 *S. lineare*, *S. sarmentosum*, *S. emarginatum* 등이 안전하게 적응할 수 있었다고 보고하였다.

기존의 식물의 내건성 평가는 세덤류 위주로 연구하였고, 건조스트레스를 받아 토양의 수분함량, 상대함수량(RWC), 전해질 용출, SOD(Superoxide Dismutase)와 엽록소 함량 등의 함량 변화 측정을 통하여 식물의 내건성을 종합적으로 평가하였다(Zhang, et.al, 2005; Zhou, Weiwei, et.al, 2009; Zhao, et.al, 2011). 그 결과 SOD와 엽록소 함량은 건조스트레스에 대한 중요한 역할을 가지고 있는 것으로 밝혀졌다. 건조처리시간이 길어지면서 세덤 식물의 전해질 용출이 증가하였고, SOD는 계속 증가하거나 증가하다가 감소하는 경향을 보였다. Lu, et.al(2011)의 연구에서는 인공 수분스트레스를 모의하여 세덤류 식물들을 위주로 Subordinate Function의 방법을 이용하여 데이터를 종합적으로 분석하였으며, 내건성은 *S. spectabile* Borea>*S. spurium* cv. *coccineum*>*S. sp.*>*S. hybridum*>*S. nicaeense*의 순으로 나타났다. 또한 5종 세덤을 대상으로 내건성 연구를 위해 전해질 용출 평가 및 Logistic 비선형 회귀분석을 통해 건조에 대한 저항성을 평가하였고 LT<sub>50</sub>을 계산하였다(Chen, Shugang and Ding, Yanfen, 2011). 한국 옥상녹화 식물의 내건성 선별에서는 서종택 등(2006) 온실에 실험을 통하여 *S. oryzifolium*, *Orostachys japonicus*, *Orostachys minutus*, *Aster spathulifolius*, *S. erythrostichum*, *Allium senescens*, *S. kamschaticum*, *S. rotundifolium* 등 9종이 관상가능기간과 생존기간이 길어 적합

한 화종으로 발견되었다. 또한 생태적 효과와 경제적 효과를 고려하여 다양한 지역별 온도 조건에서 식물이 도입 가능성을 검토하기 위해서는 더욱 심층적인 내건성 평가가 이루어져야 한다. 현재 국외에 옥상녹화 식물의 내건성에 관한 연구가 적극적으로 진행해 왔지만 한국에 이런 다차원적인 연구가 필요하다.

따라서 이 연구는 옥상녹화상용 12종 지피식물의 내건성 평가를 통하여 저관리·경량형 옥상녹화시스템에 적합한 식물 선발을 위한 기초자료 제시를 목적으로 수행되었다. 여름에 고온과 건조를 잘 견딜 수 있는 식물 선발을 위해 건조처리시간과 온도에 따라 상대수분함량, 전해질 용출 평가 및 엽록소 함량 변화를 실험하였다. Logistic 비선형 회귀분석을 통하여 치사시간을 계산하였고, 고온과 건조에 견디는 식물의 생리적 변화를 연구하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 장소 및 재료

이 연구는 2011년 6월부터 동국대학교 경주캠퍼스 자연과학관 5층 옥상(북위 35°39'~36°04', 동경 128°58'~129°31')에 실험구를 설치하여 진행하였다. 연구 대상지는 연평균 기온은 12.5°C, 강우량은 1,157 mm로 여름에는 태풍이 연평균 3~4회 내습하고 있다.

건조스트레스 처리시간에 따른 토양 수분함량의 변화, 그리고 식물의 건조스트레스에 대한 저항성을 알아보기 위하여 국내 옥상녹화에서 많이 사용되고 있거나 사용 가능성이 높은 지피식물 12종을 대상으로 실험을 실시하였다. 실험용 식물은 리플렉섬(*Sedum reflexum*), 섬기린초(*S. takevicense*), 애기기린초(*S. middendorffianum*), 흰꽃세덤(*S. album*), 분홍세덤(*S. spurium*), 층층이평의비름(*S. sieboldii*), 상록패랭이(*Dianthus chinensis*), 소엽맥문동(*Ophiopogon japonicus*), 흰제비꽃(*Viola patrinii*), 할미꽃(*Pulsatilla koreana*),

단풍취(*Ainsliaea acerifolia*), 김의털(*Festuca ovina*) 등 비교적 건조에 강한 12종을 선정하여 실험을 실시하였다.

2011년 6월 2차 포트에 심겨진 묘를 구입하여 4차(직경 120mm, 높이 106mm) 포트에 옮겨 심었다. 포트의 인공토양은 펠라이트 : 피트모스 : 버미큘라이트=2 : 1 : 1(v/v/v)을 혼합하여 사용하였다. 5층 건물 옥상에 조성된 저관리·경량형 옥상녹화시스템에 식재 후 정상적인 활착을 확인 하였으며 1년 동안 관수 및 시비 등 별도의 관리를 실시하지 않았다.

### 2. 자연 건조처리 및 내건성 평가 방법

옥상에 여름과 가을 시절의 내건성 평가하기 위하여 2012년 7월 18일부터 8월 17일까지 온실(온도 30-33°C, 습도 50-70%)에서 정상적으로 생육하고 있는 균일한 식물체를 선발하여 실험을 실시하였다. 또한 여름에 고온 시절에 식물들을 건조스트레스를 받아 생리적 반응을 연구하기 위해 고온과 무강우 시기 7월 18일부터 8월 17일까지 날짜를 정하여 실험하였다.

건조스트레스 처리하기 전에 충분히 관개한 후 무관수 상태에서 5일마다 식물의 각 지표를 측정하였다. 30일간 건조처리 시 토양수분변화, RWC, 엽록소 함량, 전해질 용출 등을 분석하였다. 토양수분은 디지털토양수분측정기(GMK-770S, GMK, 2011)를 이용하여 토양의 건조수분을 측정하였다. 엽록소 함량의 측정은 휴대용 엽록소 측정기(SPAD502, KONICA MINOLTA SENSING, INC. JAPAN, 2011)로 식물체의 생장점에서 2-3번째 완전히 전개된 잎의 중앙부위 부근을 5번 반복하여 측정값의 평균치로 계산하였다. 상대함수량은 식물들을 건조처리 후 생장점 주변 3-4번째 잎을 0.5g 채취하여 비커에 증류수와 함께 넣었다가 약 24시간 정지 처리한 다음 잎의 포합함수량을 측정 후 120°C의 건조기에서 4시간 동안 열처리를 하였다(劉向莉, 등, 2005; Guo Yunqing et.al, 2008)(Eq. 1)

$$RWC(\%) = (FW - DW) / (SFW - FW) \text{ (Eq. 1)}$$

FW = fresh weight (0.5g)

SFW = Saturated fresh weight

DW = dry weight

건조스트레스 처리 후 잎을 증류수로 3번 씻어 물을 흡수시킨 후 0.5g의 표본 조직을 취하여 30ml 용량의 마개가 있는 시험관에 15ml의 증류수와 함께 넣었다. 이 시험관을 약 16시간 동안 처리하고 전기전도도측정기(Conductivity Meter CM-40S, TOA Electronics Ltd, Ja, 2001)를 사용하여 침출액의 초기 전기전도도를 측정 후 80°C의 열수욕에서 1시간 동안 열처리를 하였다. 열수욕에서 꺼낸 후에는 4시간 두었다가 다시 침출액의 최종 전기전도도를 측정하였다.

건조스트레스 처리 시 전해질이 용출되었으며, 각 처리에 대한 전해질 용출은 Eq. 2와 같다. 열처리로 고사시킨 식물 조직은 침출액의 전기전도도에 대한 건조처리 후 식물 조직 침출액 전기전도도의 비를 백분율로 산출하였으며 산출식은 다음과 같다(李合生, 2000).

$$REC(\%) = (Rc - Ro) / (Rb - Ro) \times 100 \text{ (Eq. 2)}$$

Rc = initial electrolyte leakage

Rb = final electrolyte leakage

Ro = baseline level of electrolyte leakage

건조 처리와 전해질 용출과의 관계는 선행 연구에서 비선형 회귀분석 중 Logistic모형으로 식물의 치사 온도를 정확하게 예측할 수 있다. Chen, Shugang and Ding, Yanfen(2011)의 연구에 의하면 건조스트레스 세포 상태의 전해질 용출율과 처리시간의 관계는 S자 반응곡선의 형식으로 나타났으며, Logistic모형(Eq. 3) 결정계수(R<sup>2</sup>)의 정확성과 유의성이 높았다. Logistic모형의 2계도함수를 구하면 변곡점을 얻을 수 있어  $X = \ln(a)/b$ , 즉 치사시간(LT<sub>50</sub>)에서 건조스트레스 처리 후 전해질의 증가가 높게 나타났으며

계산식은 다음과 같다.

$$Y = k / (1 + ae^{-bx}) \text{ (Eq. 3)}$$

Y = REC(%)

a = gradual curve

b = curve slope

k = equation coefficient

X = treatment temperature(°C)

### 3. 옥상녹화시스템의 내건성 평가 실험

옥상녹화 시스템은 식생모듈박스를 이용하여 실험구를 조성하였다(Figure 1). 식생모듈박스는 400mm × 625mm × 80mm 크기의 저수와 배수 기능이 일체화된 옥상녹화시스템으로 하단에 2cm 높이의 빗물 저류판이 있다. 이로 인해 빗물에만 의존하여 식물생육에 필요한 수분공급이 가능하므로 별도 관수가 필요 없다. 시스템의 토심은 5cm로 식재 후 화산석을 2cm로 덮어 비산 먼지 발생 방지와 수분 증발을 방지한다.

옥상녹화시스템 적용 시 무강우 기간을 거친 식물의 내건성을 평가하기 위하여 2011년 6월 2일에 식물 재료를 6주 3반복하고, 식생모듈박스에 인공토양은 펄라이트 : 피트모스 : 버미큘라이트 = 2 : 1 : 1(v/v/v)를 배합하여 식재하였다. 식재 후 관개하였고 정상 활착을 확인한 후에는 관리를 실시하지 않았다. 2012년 5월 15일부터 6월 8일까지(25d), 7월 18일부터 8월 2일(15d)까지 강우가 없었고 6월 8일과 8월 2일을 조사 시기로 정하였으며, RWC, 엽록소 함량, 전해질 용출 평가하였다.

자료의 분석은 SPSS Ver.18.0(SPSS Inc.

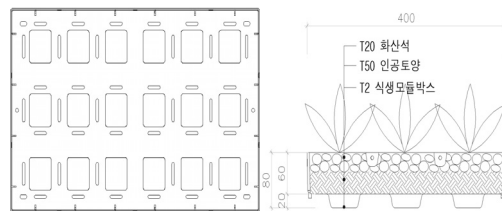


Figure 1. Sedum box green roof system Plans and sections.

2009)을 이용한 Duncan의 다중범위검정(Multiple range test)법으로 평균 간 차이의 유의성을 분석하였고 유의 수준은 5%로 하였다. 또한 Logistic 회귀분석모형을 이용하여 처리시간과 전해질 용출의 적합한 반응곡선을 구하였으며 반응곡선에 대한 결정계수( $R^2$ )와 함께 치사시간( $LT_{50}$ )을 산출하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 건조처리시간에 따른 토양의 수분 변화

옥상과 온실에서 토양수분 변화를 30일간 측정된 결과(Figure 2), 전반적으로 처리시간이 길수록 토양수분이 감소한 경향이 뚜렷하게 나타났다. 옥상의 토양수분은 온실의 토양수분보다 감소량이 급하게 나타났다. 실험 초기에 토양수분함량이 17.5%로 측정되었으며, 5일 후 옥상 12.6%, 온실 15.8%, 10일 후 옥상 10.1%, 온실 13.5%, 15일 후 옥상 7.4%, 온실 11.7%로 나타났으며, 그 이후부터는 옥상 포트용기의 토양수분을 측정하기가 어려웠다. 15일 후 옥상 식물의 고사 현상이 점차 나타났다. 온실 내부의 토양수분은 서서히 감소하였고 내건성이 약한 식물들의 잎은 시드는 현상을 보였다.

#### 2. 건조처리시간별 상대수분함량의 변화

온실에서는 건조스트레스 처리에 따른 식물들의 상대수분함량의 변화를 측정된 결과 처리시간

이 길수록 상대수분함량이 감소하였다(Table 1). 5일 동안 처리 시 *Pulsatilla koreana*, *Ainsliaea acerifolia*, *Festuca ovina*을 제외한 기타 9종 식물들의 RWC가 90% 이상으로 나타났고, 10일간 처리 시는 78.3-98.8%의 범위로 나타났다. 15일 후는 *S. reflexum*, *S. takevimense*, *S. album*, *S. sieboldii* 등이 RWC가 90% 이상으로 유지되었으며, *S. middendorffianum*, *S. spurium*, *Ophiopogon japonicus* 등은 80% 이상으로 측정되었고, 기타 식물은 80% 이하로 측정되었다. 20일 동안의 건조를 거쳐 식물들의 상대수분함량이 계속 감소하였지만 *S. reflexum*, *S. takevimense*, *S. album*은 90% 이상으로 유지되었다. 25일 동안의 무관수 후 식물들의 상대수분함량이 계속 감소하였지만 *S. reflexum*, *S. takevimense*, *S. album*은 90% 이상으로 유지되었으며 내건성이 가장 높은 것으로 나타났다. 다음으로 *S. middendorffianum*, *S. spurium*, *S. sieboldii*, *Ophiopogon japonicus*, *Viola patrini* 등은 무관수 25일 후 잎의 상대수분함량이 70% 이상 보유하고 있는 것으로 보아 내건성이 상대적으로 높았다. 온실 내에서 무관수 30일 후에 6종 세덤류의 RWC가 78% 이상으로 유지되어 내건성이 가장 강한 것으로 확인되었다. 자연 건조 10일 후 *S. reflexum*의 RWC는 91.5%, 20일 후 90.2%, *S. spurium*은 10일 후 92.8%, 20일 후 92% 이하로 측정되었다. 또한 Zhang Bin et.al,(2010)의 연구에서 10-15일 짜 *S. spurium*의 RWC가 대조보다 11.0%로 떨어진 것으로 확인되었다.

옥상에서의 건조처리에 따른 식물들의 상대수분함량의 변화를 측정된 결과, 처리시간에 따른 상대수분함량은 급하게 감소하였다(Table 2). 온실에 비해 옥상에서는 식물들의 생육 상태가 좋지 않았다. 5일 동안 처리 시 6종 세덤류 잎의 상대수분함량이 92.6% 이상으로 유지되었으며, *Dianthus chinensis*, *Ophiopogon japonicus*, *Viola patrini* 등은 86.3% 이상으로 나타났고, 기타 3종 식물들은 72.1% 이상으로 측정되었다.

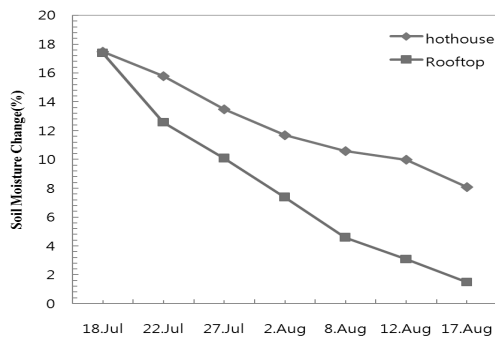


Figure 2. The change of soil moisture under drought stress.

**Table 1.** The change of relative water content(RWC) on leaf under drought stress(Hothouse).

Species	Relative Water Content(RWC)(%)					
	5d	10일	15d	20일	25d	30일
<i>S. reflexum</i>	97.6e	96.1d	93.9c	93.0b	90.9a	84.4a <sup>z</sup>
<i>S. takevimensis</i>	97.8e	96.5d	95.4d	93.2c	91.1b	88.7a
<i>S. middendorffianum</i>	93.5e	92.7e	89.7d	85.4c	81.6b	76.8a
<i>S. album</i>	99.2e	98.8e	97.2d	94.1c	92.1b	89.8a
<i>S. spurium</i>	95.8f	92.1e	88.6d	85.2c	81.3b	78.2a
<i>S. sieboldii</i>	96.5e	92.4d	90.6c	89.5c	86.9b	82.3a
<i>Dianthus chinensis</i>	90.2e	85.9d	78.7c	70.8b	59.9a	0
<i>Ophiopogon japonicus</i>	92.4f	90.3e	88.1d	85.4c	78.9b	59.5a
<i>Viola patrinii</i>	91.2e	90.0d	88.7d	81.2c	76.3b	70.4a
<i>Pulsatilla koreana</i>	82. 3일째	78.3c	75.4b	57.3a	0	0
<i>Ainsliaea acerifolia</i>	84.5d	79.6c	71.7b	55.2a	0	0
<i>Festuca ovina</i>	82.7e	78.0d	69.0c	47.5b	25.1a	0

<sup>z</sup> Means followed by different letters within columns are significantly different at P=0.05 by Duncan's multiple range test.

<sup>a-f</sup> Means in a row by different superscripts are significantly different at the P<0.05 by Duncan's multiple range test. Numbers in the same range followed by the same letter were data indistinctively different at P=0.05 level according to DMRT.

**Table 2.** The change of relative water content(RWC) on leaf under drought stress(Rooftop).

Species	Relative Water Content(RWC)(%)					
	5d	10일	15d	20일	25d	30일
<i>S. reflexum</i>	96.8e	94.1d	92.5d	88.5c	85.7b	78.6a <sup>z</sup>
<i>S. takevimensis</i>	97.1e	93.2d	90.3c	88.9c	85.7b	82.1a
<i>S. middendorffianum</i>	92.6e	89.2d	86.5c	84.8c	80.3b	75.2a
<i>S. album</i>	98.5f	94.7e	91.4d	88.2c	85.1b	80.3a
<i>S. spurium</i>	94.2f	90.4e	86.6d	80.9c	76.3b	70.5a
<i>S. sieboldii</i>	95.6f	93.1e	90.0d	86.6c	81.1b	77.6a
<i>Dianthus chinensis</i>	86.4d	76.5c	67.9b	46.1a	0	0
<i>Ophiopogon japonicus</i>	86.5d	75.4c	62.6b	28.1a	0	0
<i>Viola patrinii</i>	86.3c	65.3b	56.0a	0	0	0
<i>Pulsatilla koreana</i>	76.1c	66.7b	70.2a	0	0	0
<i>Ainsliaea acerifolia</i>	72.1c	64.5b	58.9a	0	0	0
<i>Festuca ovina</i>	76.1d	70.2c	61.7b	47.2a	0	0

<sup>z</sup> Means followed by different letters within columns are significantly different at P=0.05 by Duncan's multiple range test.

<sup>a-f</sup> Means in a row by different superscripts are significantly different at the P<0.05 by Duncan's multiple range test. Numbers in the same range followed by the same letter were data indistinctively different at P=0.05 level according to DMRT.

무관수 10일 후 식물별 상대수분함량이 많이 떨어졌지만, 6종 세덤들은 89.2% 이상으로 나타났다. 15일 관수 중단 후 *Viola patrini*와 *Ainsliaea acerifolia*의 생존율은 많이 떨어져서 RWC가 58.9% 이하로 측정되었다. 무관수 20일 후에 *Viola patrini*, *Pulsatilla koreana*, *Ainsliaea acerifolia* 등은 고사하였으며, 25일 후에 세덤들만 살아남았고 상대수분함량은 76.3% 이상으로 측정되었다. 무관수 30일 후 세덤 식물의 상대수분함량은 70.5~82.1%의 범위로 나타났다.

### 3. 건조처리에 따른 전해질 용출 반응

온실에서 건조처리에 따른 식물들의 전해질 용출은 처리시간이 길수록 용출량이 증가하였다(Table 3). 5일 동안 처리 시 식물들의 전해

질 용출은 17.9~24.6%로 나타났고, 10일 동안 처리 시에는 20.1~32.5%의 범위로 나타났다. 10일 후 *Pulsatilla koreana*의 용출이 32.5%로 가장 높아 비교적 단기간 건조처리에서 상당한 피해가 발생하였다. 다음으로 *Ainsliaea acerifolia*가 31.2%로 전해질 용출량이 높았다. 15일 후 전해질 용출은 10일보다 2.5~8.9%의 피해가 증가하였다. *Ainsliaea acerifolia*의 전해질 용출이 39.6%로 가장 높았으며, 비교적 단기간의 건조처리에서 상당한 피해를 보였고, 다음으로 *Pulsatilla koreana*가 38.9%로 나타났다.

전해질 용출은 20일 후부터 증가하는 경향을 뚜렷하게 보였으며, *Ainsliaea acerifolia*의 전해질 용출은 가장 높아 57.9%로 나타났고, *Pulsatilla koreana*의 전해질 용출은 45.6%로 나타났다. 그 밖의 식물들에서는 25.5~38.2%의 범위로 나타났다. 25일 동안 건조처리 후 전해

**Table 3.** The change of relative electric conductivity on leaf under drought stress(Hothouse).

Species	Electrolyte leakage <sup>y</sup> (%)					
	5d	10일	15d	20일	25d	30일
<i>S. reflexum</i>	17.9a <sup>z</sup>	25.9b	30.3c	35.4d	36.7d	39.8e
<i>S. takevimensse</i>	20.1a	24.4b	26.7c	30.5d	35.4e	41.2f
<i>S. middendorffianum</i>	21.6a	22.0a	30.9b	38.2c	44.6d	48.5e
<i>S. album</i>	18.2a	20.6b	23.6c	25.5c	31.5d	45.3e
<i>S. spurium</i>	21.6a	23.2a	25.7b	30.8c	39.5d	48.2e
<i>S. sieboldii</i>	18.9a	20.1a	28.6b	31.4c	35.6d	39.7e
<i>Dianthus chinensis</i>	26.5a	29.4a	35.6b	37.6b	59.3c	0
<i>Ophiopogon japonicus</i>	19.6a <sup>z</sup>	20.5a	23.6b	30.6c	38.5d	67.7e
<i>Viola patrini</i>	23.8a	29.6b	32.5c	37.6d	44.6e	58.8f
<i>Pulsatilla koreana</i>	24.6a	32.5b	38.9c	45.6d	89.6e	0
<i>Ainsliaea acerifolia</i>	23.6a	31.2b	39.6c	57.9d	99.7e	0
<i>Festuca ovina</i>	19.5a	25.4b	32.6c	37.6d	78.8e	0

<sup>z</sup> Electrolyte leakage was expressed as the percentage of solution conductivity after temperature treatment compared to conductivity after heat-killing.

<sup>y</sup> Means followed by different letters within columns are significantly different at P=0.05 by Duncan's multiple range test.

<sup>a-f</sup> Means in a row by different superscripts are significantly different at the P<0.05 by Duncan's multiple range test. Numbers in the same range followed by the same letter were data indistinctively different at P=0.05 lever according to DMRT.

질 용출은 *Ainsliaea acerifolia*에서 99.7%로 가장 높았고, 다음으로 *Pulsatilla koreana* 89.6%, *Festuca ovina* 78.8%로 높았으며, *Dianthus chinensis* 59.3% 이상으로 나타났다. 다른 식물들에서는 50% 미만으로 내건성이 상대적으로 높았다. 30일에서의 건조처리 시 *Dianthus chinensis*, *Pulsatilla koreana*, *Ainsliaea acerifolia*, *Festuca ovina* 등은 말라 죽었으며, *Ophiopogon japonicus*, *Viola patrini*의 전해질 용출은 각각 67.7%, 58.8%로 나타났다. 세덤들의 전해질 용출은 39.7~48.5%의 범위로 나타났으며, 높은 내건성이 확인되었다. Zhang Yanli et.al(2010)의 연구 중에서 건조처리 시간에 따라 *S. reflexum*과 *S. spurium*의 전해질 용출이 비슷한 경향을 보였다. 건조처리 7-21일 쯤 *S. spurium*의 전해질 용출은 38.7%로 증가하였다(Zhang Bin et.al, 2010)

결과적으로 온실에서는 20일 이상의 건조처

리 후 대부분 식물들은 30% 이상의 전해질이 용출되었고, 전해질 용출이 50% 이상으로 나타났던 *Ainsliaea acerifolia*는 건조에 대한 저항성이 낮았다. 25일 이상의 건조처리 후 *Ainsliaea acerifolia*, *Pulsatilla koreana*, *Festuca ovina*, *Dianthus chinensis*, *Ophiopogon japonicus*의 전해질 용출이 50% 이상이었고, 건조스트레스에 대한 저항성은 약하였다. 25일 동안 건조스트레스를 받더라도 전해질 용출이 50% 미만으로 나타났던 세덤들과 *Viola patrini*는 건조에 대한 저항성이 높은 것으로 분석되었다. 30일 동안 건조처리 후 전해질 용출이 50% 미만으로 나타났던 6종 세덤은 상대적으로 건조에 대한 저항성이 높은 것으로 분석되었다.

육상에서의 건조와 고온처리에 따른 식물들의 전해질 용출은 처리시간이 길수록 전해질 용출량이 급하게 증가하였다(Table 4). 5일 동안 처리 시 식물들의 전해질 용출은 22.4~38.7%

**Table 4.** The change of relative electric conductivity on leaf under drought stress(Rooftop).

Species	Electrolyte leakage <sup>y</sup> (%)					
	5d	10일	15d	20일	25d	30일
<i>S. reflexum</i>	22.6a <sup>z</sup>	33.6b	35.9c	44.2d	45.4e	46.7e
<i>S. takevimensse</i>	32.9a	34.5b	36.7b	42.3c	48.6d	52.3e
<i>S. middendorffianum</i>	33.7a	40.2b	47.2c	55.2d	62.4e	68.6f
<i>S. album</i>	27.1a	30.6b	34.7c	39.5d	42.1e	56.6f
<i>S. spurium</i>	32.3a	36.4b	42.1c	44.2d	45.9d	66.7e
<i>S. sieboldii</i>	22.3a	27.6b	35.6c	42.1d	48.6e	63.3f
<i>Dianthus chinensis</i>	31.2a	37.5b	41.8c	54.2d	0	0
<i>Ophiopogon japonicus</i>	22.4a	32.1b	38.9c	70.6d	0	0
<i>Viola patrini</i>	38.7a	46.5b	63.9c	0	0	0
<i>Pulsatilla koreana</i>	32.1a	41.6b	46.8c	0	0	0
<i>Ainsliaea acerifolia</i>	36.5a	45.6b	52.7c	0	0	0
<i>Festuca ovina</i>	27.6a	38.9b	46.7c	56.8d	0	0

<sup>z</sup> Electrolyte leakage was expressed as the percentage of solution conductivity after temperature treatment compared to conductivity after heat-killing.

<sup>y</sup> Means followed by different letters within columns are significantly different at P=0.05 by Duncan's multiple range test.

<sup>a-f</sup> Means in a row by different superscripts are significantly different at the P<0.05 by Duncan's multiple range test. Numbers in the same range followed by the same letter were data indistinctively different at P=0.05 lever according to DMRT.



의 범위로 나타났고, 10일 동안 처리 시는 27.6~46.5%의 범위로 나타났다. 10일 후 *Viola patrini*의 용출은 46.5%로 가장 높아 비교적 단기간 건조처리에서 상당한 피해가 나타났다. 다음으로 *Ainsliaea acerifolia*, *Pulsatilla koreana*의 전해질 용출량은 41.6% 이상으로 상대적으로 피해가 크게 나타났다. 15일 후의 전해질 용출은 10일보다 피해가 많이 증가한 것으로 나타났다으며, 15일 후에 *Viola patrini*의 전해질 용출이 63.9%로 가장 높아 비교적 단기간의 건조처리에서 상당한 피해를 보였고, 다음으로 *Ainsliaea acerifolia*가 52.7%로 전해질 용출량이 높았으며, 그 밖의 식물들에서는 34.7~47.2%의 범위로 나타났다.

건조와 고온처리 20일에서의 *Pulsatilla koreana*, *Ainsliaea acerifolia*, *Viola patrini* 등은 고사하였으며, 20일 후의 전해질 용출은 증가하는 경향을 뚜렷하게 보였다. *Ophiopogon japonicus*, *Festuca ovina*의 전해질 용출은 각각 70.6%, 56.8%로 나타났다. 25일 간 건조 처리 후 *Dianthus chinensis*, *Ophiopogon japonicus*, *Festuca ovina* 등은 고사하였다. *S. middendorffianum*의 전해질 용출은 62.4%로 가장 높았고, 다음으로 *S. takevimense*와 *S. sieboldii* 48.6%, *S. reflexum* 45.4%로 높았으며, *S. album*과 *S. spurium*은 45.9% 이하로 나타났다. 30일 동안의 건조처리 시 *S. reflexum*을 제외한 모두 식물들의 전해질 용출은 50% 이상으로 나타났다.

결과적으로 옥상에서는 20일간 건조와 고온스트레스 처리 후 *Pulsatilla koreana*, *Ainsliaea acerifolia*, *Viola patrini* 등은 고사하여 내건성이 약하였고, 살아 있는 대부분 식물들은 40% 이상의 전해질이 용출되었다. 전해질 용출이 70% 이상으로 나타났던 *Ophiopogon japonicus*는 상대적으로 건조에 대한 저항성이 낮았다. 25일 이상의 건조처리 후 세덤류 식물들만 살아남았고 전해질 용출이 42.1~62.4%로 나타났으므로 건조스트레스에 대한 저항성이 강한 것

으로 확인되었다. 30일간 건조스트레스를 받아 전해질 용출은 50% 미만으로 나타났던 *S. reflexum*은 건조에 대한 저항성이 높은 것으로 분석되었다.

#### 4. 건조처리시간에 따른 엽록소 함량의 변화

온실에서는 건조처리에 따른 식물의 엽록소 함량이 감소하였다(Table 5). 건조처리 시 *Dianthus chinensis*를 제외한 기타 11종 식물들은 15일 동안의 건조처리에 따라 엽록소 함량의 변화가 약간 나타났으며, 15일 후부터는 감소 현상이 뚜렷하게 나타났다. *S. reflexum*에서는 엽록소 함량이 20일 후 15.6, 30일 후 13.3으로 측정되었으며, 실험 초기보다 5.7의 값이 감소하였다. *S. takevimense*의 경우에는 엽록소 함량이 많이 떨어졌으며, 20일 후 40.4, 30일 후 32.5로 측정되었다. *S. middendorffianum*, *S. spurium*, *S. sieboldii*는 비슷한 경향을 보였다. 건조 피해를 받는 동안 *S. album*은 엽록소의 감소량이 더 뚜렷하게 나타났으며, 10일 후 31.9, 20일 후 25.3, 30일 후 10.5로 측정되었고, 실험 초기에 비해 21.6의 값이 감소하였다. *Festuca ovina*, *Ainsliaea acerifolia*는 비슷한 경향을 보였다. 건조스트레스의 처리시간이 길수록 엽록소의 감소량이 많아졌으며, 식물에 따라 차이가 많이 나타났다.

옥상에서는 고온과 건조스트레스처리에 따라 식물의 엽록소 함량이 측정된 결과는 Table 6과 같다. 세덤 식물들을 30일 동안 건조처리 한 결과 엽록소 함량의 변화가 뚜렷하게 나타났다. *S. takevimense*에서는 엽록소 함량이 10일 후 39.8, 20일 후 26.8, 30일 후 19.8로 측정되었으며, 실험 초기보다 약 21.4의 값이 감소하였다. 기타 세덤들도 비슷한 경향을 보였다. *Viola patrini*, *Pulsatilla koreana*, *Ainsliaea acerifolia*의 경우 15일 동안 옥상에서 고온과 건조를 거쳐 엽록소 함량이 많이 떨어졌으며, 온실에서도 감소한 경향을 보였다. *Dianthus chinensis*, *Ophiopogon*

**Table 5.** Effects of the drought treatments on chlorophyll content of plants(Hothouse).

Species	Chlorophyll					
	5d	10일	15d	20일	25d	30일
<i>S. reflexum</i>	18.1c	17.8c	16.8b	15.6b	14.9a	13.3a <sup>z</sup>
<i>S. takevimensis</i>	45.5e	45.3e	42.8d	40.4b	36.7b	32.5a
<i>S. middendorffianum</i>	39.8d	38.7d	36.2c	34.7c	31.6b	28.5a
<i>S. album</i>	32.1e	31.9e	29.2d	25.3b	21.3b	10.5a
<i>S. spurium</i>	36.8e	35.3e	33.4d	30.1c	27.5b	23.1a
<i>S. sieboldii</i>	31.2e	28.8d	27.8d	25.9c	23.4b	20.7a
<i>Dianthus chinensis</i>	27.6d	24.4c	22.8c	20.4b	16.7a	0
<i>Ophiopogon japonicus</i>	25.4c	24.2c	25.4c	21.7b	20.6b	17.8a
<i>Viola patrinii</i>	31. 3일째	31.0d	29.3b	28.4b	26.3a	25.4a
<i>Pulsatilla koreana</i>	24.7c	23.8c	22.0b	20.0a	0	0
<i>Ainsliaea acerifolia</i>	30.5c	28.6c	26.5b	21.3a	0	0
<i>Festuca ovina</i>	25.3c	24.8c	23.4c	14.1b	10.2a	0

<sup>z</sup> Means followed by different letters within columns are significantly different at P=0.05 by Duncan's multiple range test.

<sup>a-c</sup> Means in a row by different superscripts are significantly different at the P<0.05 by Duncan's multiple range test. Numbers in the same range followed by the same letter were data indistinctively different at P=0.05 level according to DMRT.

**Table 6.** Effects of the drought treatments on chlorophyll content of 13 species of plants(Rooftop).

Species	Chlorophyll					
	5d	10일	15d	20일	25d	30일
<i>S. reflexum</i>	17.5b	16.6b	15.5b	14.7a	11.5a	9.6a <sup>z</sup>
<i>S. takevimensis</i>	41.2e	39.8e	31.5d	26.8c	23.1c	19.8b
<i>S. middendorffianum</i>	36.5d	32.5d	29.8c	28.4c	25.6c	24.6c
<i>S. album</i>	29.7c	24.5c	20.8b	16.4b	13.3b	7.8a
<i>S. spurium</i>	33.1c	30. 3일째	26.5d	23.9c	20.2b	16.7b
<i>S. sieboldii</i>	29.5d	27.6c	24.3c	20.3b	17.5b	15.4b
<i>Dianthus chinensis</i>	25.6c	22.1b	19.9b	14.6a	0	0
<i>Ophiopogon japonicus</i>	23.4d	20.4b	10.6a	6.5a	0	0
<i>Viola patrinii</i>	28.6c	22.3b	16.5b	0	0	0
<i>Pulsatilla koreana</i>	23.3c	15.4b	10.3a	0	0	0
<i>Ainsliaea acerifolia</i>	28.5c	23.3c	18.6b	0	0	0
<i>Festuca ovina</i>	23.1d	20.3b	16.5b	7.7a	0	0

<sup>z</sup> Means followed by different letters within columns are significantly different at P=0.05 by Duncan's multiple range test.

<sup>a-f</sup> Means in a row by different superscripts are significantly different at the P<0.05 by Duncan's multiple range test. Numbers in the same range followed by the same letter were data indistinctively different at P=0.05 level according to DMRT.

*japonicus*, *Festuca ovina* 등은 옥상에서 20일 동안 견딜 수 있으나 엽록소 함량이 많이 떨어졌다. 결과적으로 고온과 건조에 내성이 강한 식물들은 옥상에서 견디는 시간을 길고 엽록소의 감소량이 많아졌으며, 식물종에 따른 차이가 많은 것으로 나타났다.

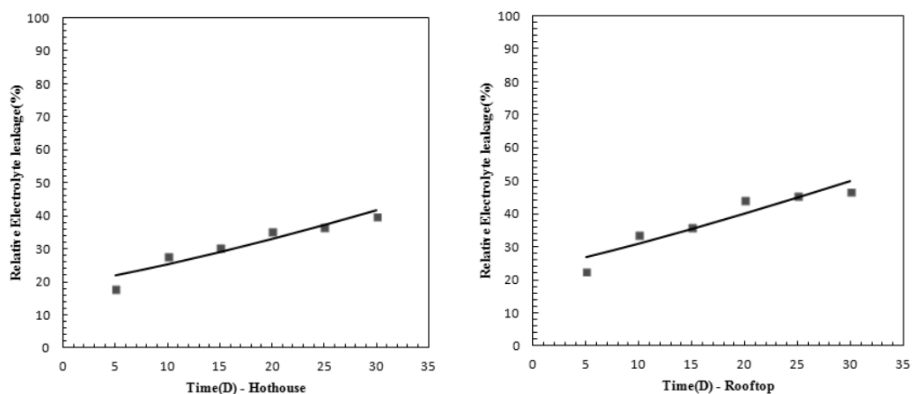
**5. 식물별 Logistic equation 및 LT50의 차이**

Logistic 비선형 회귀분석을 통하여 12종 식물에 대한 건조스트레스와 전해질 용출의 관계를 분석한 결과, 측정치에 대응되는 치사온도  $LT50=Ln(a)/b$ 는 Table 7, 8과 같다. 이 연구에서는 *S. reflexum* 사례로 Logistic equation을 제시하였다(Figure 3). Logistic 회귀분석은 반응곡선의 중심점인 변곡점에 해당하는 온도(T)는 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하는 날짜이며 내건성 측정에 가장 민감하고 결정적인 부분이 된다. 아울러 식물간의 내건성을 비교하는 데에 적합한 척도가 되므로 예측 치사시간으로 평가되었다.

예측된 치사시간은 처리 식물 종류에 따라 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 온실에서는 건조처리 시 치사시간은 *S. takevimense*가 39.6d로 가장 강한 내건성을 보였다. 다음으로 *S. reflexum* 39d, *S. sieboldii* 38.9d, *S. album* 36.8d 등이 30

일 이상으로 예측되었으며, 높은 내건성을 보였다. *Viola patrinii*는 26.8d, *Ophiopogon japonicus* 26.5d로 예측되었으며, 내건성이 상대적으로 강하였고, *Pulsatilla koreana* 22.6d, *Ainsliaea acerifolia* 21.5d로 예측되었으며, 내건성이 가장 약하였다. 온실에서 건조처리 시 식물 간 내건성의 순위는 *S. takevimense* > *S. reflexum* > *S. sieboldii* > *S. album* > *S. spurium* > *S. middendorffianum* > *Viola patrinii* > *Ophiopogon japonicus* > *Dianthus chinensis* > *Pulsatilla koreana* > *Ainsliaea acerifolia*의 순으로 나타났다(Table 7). Zhang Bin et.al, (2010)의 연구에서는 *S. spurium*의 치사시간을 30일로 측정되었다.

옥상의 자연환경에서 식물들의 예측 치사시간은 처리 식물 종류에 따라 차이가 뚜렷하게 나타났다. 옥상 건조처리 치사시간은 *S. reflexum*이 30.1일로 가장 강한 내건성을 보였다. 다음으로 *S. album* 28.1일, *S. takevimense* 27.9일 등 20일 이상으로 예측되어 높은 내건성을 보였다. *Dianthus chinensis* 18.4일, *Ophiopogon japonicus* 15.7일로 예측되어 내건성이 상대적으로 강하였고, *Pulsatilla koreana* 11.7일, *Ainsliaea acerifolia* 10.4일로 예측되어 내건성이 가장 약하였다. 옥상 건조처리 시 식물간 내건성의 순위는 *S. reflexum* > *S. album* > *S. takevimense* > *S.*



**Figure 3.** Logistic analysis electrolyte leakage curve for *S. reflexum*, the relationship between measurements and estimates following drought treatments.

**Table 7.** Logistic nonlinear regression analysis and LT50(Hothouse).

Species	logistic equation	LT <sub>50</sub>	R <sup>2</sup>
<i>S. reflexum</i>	$y=100/(1+4.239e^{-0.037T})$	39.0	0.889
<i>S. takevimense</i>	$y=100/(1+4.868e^{-0.04T})$	39.6	0.936
<i>S. middendorffianum</i>	$y=100/(1+4.507e^{-0.051T})$	29.5	0.900
<i>S. album</i>	$y=100/(1+7.489e^{-0.055T})$	36.8	0.879
<i>S. spurium</i>	$y=100/(1+5.714e^{-0.053T})$	33.0	0.952
<i>S. sieboldii</i>	$y=100/(1+5.317e^{-0.043T})$	38.9	0.967
<i>Dianthus chinensis</i>	$y=100/(1+4.663e^{-0.067T})$	23.1	0.844
<i>Ophiopogon japonicus</i>	$y=100/(1+11.47e^{-0.092T})$	26.5	0.850
<i>Viola patrini</i>	$y=100/(1+4.658e^{-0.058T})$	26.8	0.947
<i>Pulsatilla koreana</i>	$y=100/(1+3.991e^{-0.061T})$	22.6	0.993
<i>Ainsliaea acerifolia</i>	$y=100/(1+4.627e^{-0.071T})$	21.5	0.995
<i>Festuca ovina</i>	$y=100/(1+12.845e^{-0.0131T})$	19.5	0.845

Indicate the significance of R<sup>2</sup> at P <0.01 respectively.

**Table 8.** Logistic nonlinear regression analysis and LT50(Rooftop).

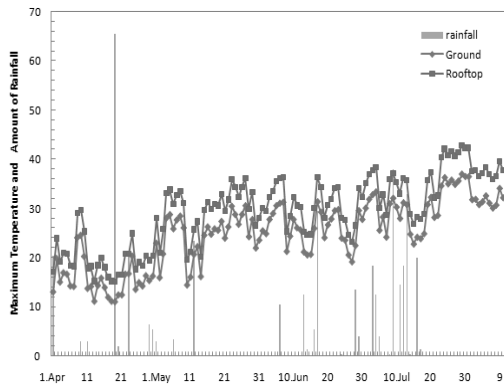
Species	logistic equation	LT <sub>50</sub>	R <sup>2</sup>
<i>S. reflexum</i>	$y=100/(1+3.283e^{-0.0957T})$	30.1	0.877
<i>S. takevimense</i>	$y=100/(1+2.65e^{-0.035T})$	27.9	0.965
<i>S. middendorffianum</i>	$y=100/(1+2.67e^{-0.051T})$	21.6	0.999
<i>S. album</i>	$y=100/(1+3.709e^{-0.047T})$	28.1	0.923
<i>S. spurium</i>	$y=100/(1+2.875e^{-0.047T})$	22.4	0.796
<i>S. sieboldii</i>	$y=100/(1+5.235e^{-0.069T})$	24.0	0.980
<i>Dianthus chinensis</i>	$y=100/(1+3.136e^{-0.062T})$	18.4	0.956
<i>Ophiopogon japonicus</i>	$y=100/(1+8.86e^{-0.0139T})$	15.7	0.901
<i>Viola patrini</i>	$y=100/(1+2.847e^{-0.103T})$	10.2	0.954
<i>Pulsatilla koreana</i>	$y=100/(1+7.88e^{-0.177T})$	11.7	0.739
<i>Ainsliaea acerifolia</i>	$y=100/(1+5.578e^{-0.165T})$	10.4	0.755
<i>Festuca ovina</i>	$y=100/(1+7.161e^{-0.14T})$	14.1	0.818

Indicate the significance of R<sup>2</sup> at P <0.01 respectively.

*sieboldii* > *S. spurium* > *S. middendorffianum* > *Dianthus chinensis* > *Ophiopogon japonicus* > *Festuca ovina* > *Pulsatilla koreana* > *Ainsliaea acerifolia* > *Viola patrini*의 순으로 나타났다 (Table 8).

## 6. 옥상녹화 시스템 적용 시의 내건성 평가

식생모듈박스 옥상녹화 시스템에서 식물들의 내건성을 평가하기 위하여 2012년 4월부터 8월 10일 사이에 실험지의 지면과 옥상 기온과 강우량의 변화를 조사한 결과는 Figure 4와 같다.



**Figure 4.** Maximum temperatures at rooftop and ground in the experimental region and the amount of rainfall.

최고 기온의 분포는 지표면에서 11.1°C에서 37°C까지로 15.9°C의 변화폭을 보였으며, 옥상에서는 15.1°C에서 42.8°C까지로 27.7°C의 변화폭이 나타났다. 실험구가 완료된 후 실험 실시 기간의 강우량은 총 400.5mm, 4월의 강우량은 115.6mm, 5월 45.8mm, 6월 73.7mm, 7월 165.4mm를 나타냈으며, 5월 15일부터 6월 8일까지 25일 동안 무강우, 또한 7월 19일부터 8월 2일까지 15일 간 고온과 무강우를 기록하였다.

옥상에서 계속 무강우가 기록되었던 6월 8일(25일간 무강우), 8월 2일(15일간 무강우) 오전 10시 상대수분 함량, 전해질 용출, 엽록소 함량

**Table 9.** Effects of high temperature treatments on Relative Water Content(RWC), electrolyte leakage, chlorophyll percentage of 12 species of plants grown in extensive green roof system.

Species	RWC(%)		Electrolyte leakage <sup>w</sup> (%)		Chlorophyll	
	25 <sup>x</sup>	15 <sup>y</sup>	25 <sup>x</sup>	15 <sup>y</sup>	25 <sup>x</sup>	15 <sup>y</sup>
<i>S. reflexum</i>	94.6f	91.1e	21.6a	28.6b	13.5a	19.5b
<i>S. takevimensis</i>	91.2e	87.1d	24.9a <sup>z</sup>	42.5d	19.6b	25.5c
<i>S. middendorffianum</i>	93.0f	89.2d	28.4b	47.0e	32.4d	25.9c
<i>S. album</i>	92.2e	85.6c	30.9b	41. 3일째	30.5d	25.4c
<i>S. spurium</i>	88.6d	85.1c	25.6a	48.3e	34.5e	27.2d
<i>S. sieboldii</i>	87.5d	84.6c	29.8b	62.2f	26.8d	17.1b
<i>Dianthus chinensis</i>	74.5b	68.9a	39.4d	68.9f	19.7b	15.4a <sup>z</sup>
<i>Ophiopogon japonicus</i>	76.2b	72.4a <sup>z</sup>	28.9b	57.1f	20.6b	16.1a
<i>Viola patrinii</i>	77.1b	77.4b	35.9c	64.9f	23.3c	19.5b
<i>Pulsatilla koreana</i>	73.4a	74.3a	45.5e	79.5f	18.9b	15.4a
<i>Ainsliaea acerifolia</i>	72.7a	72.5a	42. 3일째	85.9f	23.6c	18.9b
<i>Festuca ovina</i>	80.4	69.5a	46.1e	88.6f	15.2a	11.6a

<sup>w</sup> Electrolyte leakage was expressed as the percentage of solution conductivity after no rainfall for a long time, compared to conductivity after heat-killing.

<sup>x</sup> There was no rainfall from 15 May. 2012 to 8 Jun. 2012, which was the first longest no rainfall recorded from 8. Jun. 2012.

<sup>y</sup> The no rainfall from 19 July. 2 Aug. 2012, which was the higher temperature and no rainfall recorded from 2. Jul. 2012.

<sup>z</sup> Means followed by different letters within columns are significantly different at P=0.05 by Duncan's multiple range test.

<sup>a-f</sup> Means in a row by different superscripts are significantly different at the P<0.05 by Duncan's multiple range test. Numbers in the same range followed by the same letter were data indistinctly different at P=0.05 level according to DMRT.

을 측정된 결과는 Table 9와 같다. 상대수분함량은 *S. reflexum*이 2개 기간에 걸쳐 91.1% 이상으로 나타났고, 다음으로 *S. middendorffianum*이 89.2% 이상으로 나타났다. *Dianthus chinensis*는 2개 기간에 걸쳐 74.5% 이하로 가장 낮았으며, *Festuca ovina*는 각각 80.4%, 69.5%로 높은 피해를 보였다.

시스템에서 식물들의 전해질 용출은 *S. reflexum*에서 2개 기간에 걸쳐 각각 21.6%, 28.6%로 가장 낮았다. 다음으로 *S. album*에서 각각 30.9%, 41.3%로 낮았으며, *Festuca ovina*에서 각각 46.1%, 88.6%로 가장 높은 피해를 보였다. 6월 8일에 측정된 결과 *S. takevimense*, *Pulsatilla koreana*, *Ainsliaea acerifolia* 등의 전해질 용출은 온실에서 건조처리 후의 전해질 용출 평가에서도 내건성 순위가 높아 일관성 있는 결과를 보였다. *S. spurium*, *Ophiopogon japonicus*의 전해질 용출과 온실에서의 내건성 평가 순위가 상대적으로 낮게 평가되었으며, *S. sieboldii*, *S. album* 같은 경우에는 높게 평가되었다(Table 7). 8월 2일 측정된 결과 *S. reflexum*, *S. album*, *S. takevimense*, *S. spurium*, 등의 전해질 용출은 옥상에서 건조처리 후의 전해질 용출 평가 내건성 순위가 높아 일관성을 보였으며, *S. album*, *S. sieboldii* 같은 경우에는 높게 나타났다(Table 8).

시스템에서의 식물들의 엽록소 함량 변화는 *S. reflexum*에서 2개 기간에 각각 13.5, 19.5로 측정되었고, *S. album*에서 각각 19.6, 25.5로 나타났으며, 엽록소 함량이 증가한 경향을 보였다. *S. middendorffianum*, *S. album*, *S. sieboldii* 등의 엽록소 함량이 감소한 경향을 보였다(Table 9).

#### IV. 결 론

이 연구는 저관리·경량형 옥상녹화시스템에 적합한 식물 선발을 위한 기초 실험으로 식물 12종에 대한 내건성 평가를 시행하였다. 건조처

리시간이 길수록 상대수분함량이 감소하였으며, 전해질 용출량이 증가하였고, 엽록소 함량이 감소하였다.

건조스트레스 처리 후 실험 초기 토양 수분함량은 17.5%로 측정되었으며, 10일 후 옥상 10.1%, 온실 13.5%, 15일 후 옥상 7.4%, 온실 11.7%로 나타났으며, 그 이후에 옥상 포트용기의 토양수분은 측정하기가 어려웠다. 15일 후 옥상 식물에서 고사 현상이 점차 나타났으며, 온실 내부의 토양수분은 점차 감소하였고 내건성이 약한 식물들의 잎이 시드는 현상을 보였다.

고온과 건조의 관계를 연구한 결과 Logistic비선형 회귀분석을 통하여 온실에서의 건조처리 시 치사시간이 19.5~39.6일의 범위로 나타났으며, 옥상의 경우는 치사시간이 10.4-30.1일의 범위로 측정되었다. 실내에서의 관상기간과 생존일수는 *S. takevimense* 39.6일, *S. reflexum* 39일, *S. sieboldii* 38.9일 등으로 30일 이상으로 높은 내건성을 보였다. *Pulsatilla koreana*은 22.6일, *Ainsliaea acerifolia* 21.5일로 나타나 내건성이 가장 약하였다. 옥상에서의 고온 적응은 *S. reflexum*이 30.1일로 가장 강한 내건성을 보였으며, 다음으로 *S. album* 28.1일, *S. takevimense* 27.9일, 등이 20일 이상으로 비교적 높은 내건성을 보였다. *Ainsliaea acerifolia* 10.4일로 나타나 내건성이 가장 약하였다. 옥상에 건조처리 내건성의 순위는 *S. reflexum* > *S. album* > *S. takevimense* > *S. sieboldii* > *S. spurium* > *S. middendorffianum* > *Dianthus chinensis* > *Ophiopogon japonicus* > *Festuca ovina* > *Pulsatilla koreana* > *Ainsliaea acerifolia* > *Viola patrini*의 순으로 나타났다. 이들 결과는 전해질 용출 평가와 일관성이 있었다. 따라서 무관수 후 옥상의 기온이 40°C 이상 시기의 식물별 관상과 생존기간으로 볼 때 *Pulsatilla koreana*, *Ainsliaea acerifolia*를 제외한 10종이 옥상녹화에 적용 가능하며, 봄과 가을에 안전하게 적응할 수 있는 식물 종으로 판단된다.

## 인용문헌

- Chen, S. G. and Ding, Y. F. 2011. Measurement of drought Tolerance Based on REC and the Logistic Equation in 5 spiece of sedum. Jiangsu Agricultural Sciences. 3 : 227-230.
- Guo, Y. Q · Tang, S. M · Zhang, Y. H · Wang, K. M · Xu, J. C. 2008. Study on Drought Resistance of Some Greening Plants Grown on Roofs. Chinese Journal of Tropical Acriculture. 28(3) : 29-31.
- Huang, W. C · Qin, J · Hu, Y. H · Zhao, Y. T. 2005. study on the Application of Sedums on Roof Garden in Shanghai. Journal of Anhui Agri.Sci. 33(6) : 1041-1043.
- Kim, I. H. 2006. Development of shallow-extensive green roof system for urban greening. PhD Thesis. Gyeongsang National Univ. Jinju. (in korean)
- Lee, J. S · Kim, Y. S · Jeong, G. Y · In, Y. L. 2003. Selection of Ground Cover Plants for Low Management and Light Weight Rooftop Afforestation. Korean journal of horticultural science & technology. 21(SUPPL. II) : 102. (in korean with english summary)
- Li, H. S. 2000. Plant Physiology and Biochemistry experimental principles and techniques. Beijing. Higher Education Press. pp : 105-263.
- Liu, X. L · Gao, L. H · Liu, M. C. 2005. Improvement on Measurement of Free Water and Bound Water in Plant Tissues.China Vegetables.(4) : 9-11.
- Lu, J. · Peng, L. · Ni, X. L. · Shen, X. D. 2011. Comprehensive Evaluation of Five Landscape Plants in Sedum on Drought Resistance. Chinese Agricultural Science Bulletin. 27(04) : 108-114.
- Suh, J. T · Yoo, D. L · Lee, H. S · Lee, H. K · Nam, C. W · Ryu, S. Y · Song, J. S. 2006. Selection of Drought Tolerance Wild-flowers Using of Flowerpot and Rooftop Plant. Korean Society for People, Plants and Environment. 9(3) : 1-5.
- Zhang, B. · Hu, Y. H · Liu, Q. H. 2008. Study on the Drought Tolerance of Several Sedums on Roof Garden. Chinese Agricultural Science Bulletin.124(5) : 272-276.
- Zhang, J. · Hu, Y. D · Li, H. Y. 2007. Study on Drought Resistance of 9 *Sedums* for Light Roof Greening. Chinese Agricultural Science Bulletin. 1 : 122-124.
- Zhao, D. G · Li, J. · Ai, X. · Xu, X. N · Hu, R. H · Jia, K. · Gao, L. 2001. A Good Plant Suitable for Roof Greening Preliminary Investigation Sedum lineare. 17(4) : 58-59.
- Zhao, G. E · Yuan, H. Y · Wei, L. Z · Tang, R. X · Zhang, X. F · Lu, X. P. 2011. A Study of Stress Tolerance of a Candidate Plant-*Sedum aizoon* L. for Green Roof. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis. 33(2) : 335-339.
- Zhang, Y. L · Gao, H. D · Wu, J. H. 2010. Drought resistance of four kinds of Sedum Greening Roof Plants. [http : //www.paper.edu.cn](http://www.paper.edu.cn)
- Zhou, W. W · Wang, Y. · Du, J. 2009. Influences of Drought Stress on the Physical Characteristics of Sedums Species. Forest R esearch. 22(6) : 829-834.