

저관리 경량형 옥상녹화 식물의 내건성 평가*

박성식** · 최재혁*** · 박봉주****

Assessment of Plant Drought Tolerance for
Extensive Green Roof

Park, Seong-Sik · Choi, Jaehyuck · Park, Bong-Ju

The purpose of this study was to assess drought tolerance of groundcover plants for extensive green roof. From July to November 2013, plant height, chlorophyll content, soil moisture, evapotranspiration and survival rate was measured. As results, after unirrigation started, *Aster koraiensis* reached 0% of soil moisture earliest followed by *Sedum kamtschaticum*, *Hemerocallis fulva*, *Hylotelephium spectabile*, *Iris sanguinea*, *Hosta longipes* and control. Among the plants, *A. koraiensis* withered earliest on 19th day of unirrigation experiment, followed by *H. longipes* and *H. fulva* (27th day); and *I. sanguinea* (29th day). *S. kamtschaticum* and *H. spectabile* survived even after 120th day of the experiment. As for chlorophyll content, *I. sanguinea* showed constant values in early stage than rapidly decreased right before its withering. Chlorophyll content of *A. koraiensis* and *H. fulva* showed rapid decrease from the beginning, while that of *H. spectabile* and *S. kamtschaticum* showed continuous reduction for first 30 days and the reduction was slowed down since then. In conclusion, *H. longipes*, *I. sanguinea* and *H. fulva* were found most applicable for extensive green roof considering scenic aspect.

Key words : *chlorophyll content*, *groundcover plant*, *soil moisture*, *survival rate*, *unirrigation*

* 이 논문은 2014년도 충북대학교 학술연구비지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

** 충북대학교 대학원 원예학전공

*** 충북대학교 산림학과

**** Corresponding author, 충북대학교 응용생명공학부(bjpak@cbnu.ac.kr)

I. 서 론

산업화와 도시화에 따라 도시 내 인구집중 및 무분별한 개발이 확대되었으며, 불투수층 면적의 증가로 도시생태계의 악화, 도심홍수, 도시열섬현상 등과 같은 다양한 도시환경문제가 발생되고 있다(Kim et al., 2010; Yoon et al., 2007). 옥상녹화는 도시화 및 고층화로 인한 도시 내 부족한 녹지를 보완할 수 있고, 유출수 조절, 대기정화, 생물서식처 제공, 소음경감 효과 등 도시화에 따른 부정적인 영향을 완화하는데 도움을 줄 수 있다(Getter and Rowe, 2006; Kim et al., 2012; Kim et al., 2013; Kim and Park, 2013; Oberndorfer et al., 2007). 아무것도 설치되지 않은 기존 건축물의 경우 하중을 견딜 수 있는 강도는 100 kg/m^2 이며, 이는 옥상녹화 설치 시 제한요인이 되기 때문에 옥상녹화 설치는 토양 및 식물의 하중을 고려하여 관리 중량형(intensive green roof)보다는 저관리 경량형(extensive green roof) 위주로 보급되고 있다(Huh et al., 2003). 저관리 경량형 옥상녹화는 토심 200 mm 이하로 유지관리를 최소화할 수 있다는 장점이 있는 반면에 토심이 낮기 때문에 관리중량형과 비교하여 상대적으로 식물 생육에 악영향을 미치며 특히, 여름철 건조 시 그 문제점이 더 두드러지게 나타난다(Lee et al., 2005).

저관리 경량형 옥상녹화 확대를 위하여 건조에 대한 내성이 높은 식물종 탐색이 활발하게 이루어지고 있는데 대표적인 것은 *Sedum*속 식물에 대한 연구이다(Dunnett and Nolan, 2004; Huh et al., 2003). 이는 *Sedum*속 식물이 CAM (crassulacean acid metabolism)형 식물의 특성을 지녀 증발산이 높은 주간에 기공을 닫고, 야간에 기공을 열어 수분이용효율을 높이기 때문이다. 하지만 *Sedum*속 식물만 식재할 경우 곤충과 조류의 단일화로 생물다양성을 약화시킬 수 있는 단점이 있을 수 있다(Wolf and Lundholm, 2008). 따라서 환경 내성이 높은 식물의 적용이 가능하다면 옥상녹화의 단일화로 인해 초래될 수 있는 생물다양성의 단순화 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 경관적 가치 향상에도 기여할 것이다. 따라서 본 연구는 초본식물을 대상으로 수분스트레스에 대한 내성을 평가하여 향후 저관리 경량형 옥상녹화 적용 가능한 식물 선정을 위한 기초자료를 제시하고자 수행하였다.

II. 본 론

1. 실험구 조성

식물재료는 큰평의비름(*Hylotelephium spectabile*), 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 비비추(*Hosta longipes*), 붓꽃(*Iris sanguinea*), 원추리(*Hemerocallis fulva*), 별개미취(*Aster koraiensis*) 6종을 선정하였다. 2012년 6월에 충북대학교 농장 2층 옥상에 내경 11 cm×높이 12 cm의 플

라스틱 포트에 펄라이트(Paraso, Kyungdong One., Korea) : 피트모스(BP-F, Eerger, Canada) : 원예용상토(Wonjomix, Nongkyung Agroindustrial, Korea)를 7 : 2 : 1(v : v : v)로 혼합하여 채운 다음 각 식물별로 10개체씩 식재하였으며, 대조구는 포트에 식물을 식재하지 않고 배합토만 넣어, 총 70개의 포트를 조성하였다. 이후 유지관리로는 주 2회 빈도로 두상관수하면서 양생하였다. 2013년 6월 초에 각 식물별로 크기가 비슷한 5포트씩 선별하여 대조구 5포트 포함하여 총 35개 포트를 유리온실로 옮긴 후 1달 동안 순화시킨 다음, 실험시작 24시간 전 플라스틱 포트 밑면으로 물이 흘러내릴 정도로 충분히 관수한 후 추가적인 관수를 실시하지 않은 상태로 7월 16일부터 11월 16일까지 120일 동안 내건성 실험을 실시하였다.

2. 생육측정

식물생육 중 초장은 자를 이용하여 주 1회 토양 표면으로부터 식물체 선단부위까지의 길이를 5반복 측정하였으며, 엽록소함량은 휴대용 엽록소측정기(SPAD-502plus, Minolta, Japan)를 이용하여 선단으로부터 3-4번째에 위치한 엽을 2일 1회 빈도로 포트당 3반복씩 총 15회 반복 측정하였다. 토양수분은 토양수분측정기(Theta probe ML2, Delta-T, UK)를 사용하여 포트 가장자리에서 1 cm 떨어진 곳에서 용적수분함량이 0%에 도달할 때까지 1일 1회 빈도로 같은 시간에 측정하였다. 또한 증발산량은 전자저울(SW-IS, CAS, Korea)을 사용하여 식물체가 고사 및 토양 내 수분 증발로 인한 무게변화가 없을 때까지 측정하였다. 통계는 SAS 프로그램을 이용하여 던컨검증을 실시하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 식물생육

실험기간 동안의 유리온실 내 기상환경으로 광량은 최고 821.4 W/m², 평균 151.2 W/m²를 기록하였다. 온도는 최고 59.8°C, 평균 25.9°C이었으며, 습도는 평균 55.3%를 보였다. 무관수 후 붓꽃이 19일째 가장 먼저 고사하였으며, 그 다음으로 비비추와 원추리는 각각 27일째, 붓꽃은 29일째에 고사하였다. 그러나 큰평의비름과 기린초는 실험 종료 시점인 120일까지 계속 생존하는 것으로 나타나 다른 식물에 비하여 7배 이상 생존기간이 긴 것으로 나타났다(Table 1). 비비추, 붓꽃, 원추리, 별개미취의 경우 C₃형 식물이지만 큰평의비름과 기린초는 CAM형 식물로 수분부족 시 기공을 닫아 생존기간을 증가시키는 생리학적 기작을 지녀 높은 내건성을 보인 것으로 판단된다(Bousselot et al., 2011; Durhman et al., 2006). 이는 초본종과 다육식물 간의 내건성 실험결과 6배의 차이를 보였다는 Bousselot et al. (2011)

의 연구결과와 일치하였다. 큰평의비름은 무관수 후 시간이 경과함에 따라 아랫잎부터 서서히 고사하여 줄기와 선단부의 작은 잎만 유지하는 경향을 보였으며, 기린초는 실험 후반부에는 하단부의 엽과 줄기는 모두 고사하였으나 줄기마다 기근이 발생하여 대기 중의 수분을 흡수하였기 때문에 오랫동안 생존한 것으로 판단된다. 이처럼 높은 내건성은 옥상녹화 성공을 위한 중요한 요인 중 하나이지만(Bousselot et al., 2011), 옥상녹화용 식물 선정시 관상적인 측면까지 고려한다면 무관수 후 30여 일간 생존한 비비추, 붓꽃, 원추리가 저관리 경량형 옥상녹화 식재 소재로서 이용가치가 매우 높을 것으로 판단된다.

Table 1. Changes in plant height and survival period according to unirrigation

Day	<i>Hylotelephium spectabile</i>	<i>Sedum kamschaticum</i>	<i>Hosta longipes</i>	<i>Iris sanguinea</i>	<i>Hemerocallis fulva</i>	<i>Aster koraiensis</i>
1	440.0±47.8 ^a	310.2±10.0 ^a	151.4±3.7 ^a	361.6±8.5 ^a	450.4±11.2 ^a	287.0±36.3 ^a
8	461.0±54.7 ^a	312.2±8.9 ^a	159.6±7.0 ^a	356.6±4.8 ^a	441.8±12.9 ^a	203.4±9.2 ^b
15	458.0±58.0 ^a	313.4±8.4 ^a	153.4±5.6 ^a	350.4±7.3 ^a	421.2±16.8 ^a	111.4±21.2 ^c
22	473.0±54.1 ^a	313.9±8.6 ^a	148.2±3.3 ^a	343.4±9.1 ^a	366.2±32.1 ^b	0 ^d
29	453.8±46.7 ^a	266.8±12.7 ^{ab}	0 ^b	0 ^b	0 ^c	-
36	450.6±47.1 ^a	266.0±11.3 ^{ab}	-	-	-	-
43	455.4±51.2 ^a	254.0±11.2 ^{abc}	-	-	-	-
50	461.2±54.0 ^a	235.0±26.7 ^{bc}	-	-	-	-
57	465.0±54.1 ^a	230.2±26.2 ^{bcd}	-	-	-	-
64	470.0±53.8 ^a	224.8±26.6 ^{bcd}	-	-	-	-
71	474.6±53.6 ^a	220.8±27.7 ^{bcd}	-	-	-	-
78	477.0±52.0 ^a	214.8±29.0 ^{bcd}	-	-	-	-
85	477.8±51.5 ^a	200.8±25.3 ^{cde}	-	-	-	-
92	480.0±53.2 ^a	190.0±22.1 ^{cde}	-	-	-	-
99	435.6±39.8 ^a	169.0±21.1 ^{de}	-	-	-	-
106	402.0±38.8 ^a	151.0±23.6 ^c	-	-	-	-
113	232.0±47.5 ^b	138.0±16.6 ^e	-	-	-	-
120	100.0±42.2 ^c	118.0±9.7 ^e	-	-	-	-

Means with the same letter in column are significantly different at 5% level by DMRT.

엽록소함량 측정결과 붓꽃은 일정하게 유지하다 고사하면서 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 별개미취와 원추리는 무관수 후 급격하게 감소되다가 고사하였다. 그러나 큰평의 비름과 기린초는 무관수 후 30일정도까지는 급격히 감소하였으나 그 이후로는 완만하게 유지되는 경향을 보였다(Fig. 1). 엽록소함량은 식물이 급격한 스트레스를 받을 때 감소하며(Mori et al., 2009), 이러한 결과는 엽의 황백화 현상까지 발생시키고 엽록소함량의 급격한 감소는 건조스트레스에 대한 민감도가 상대적으로 높아 질 수 있다(Chen et al., 2001).

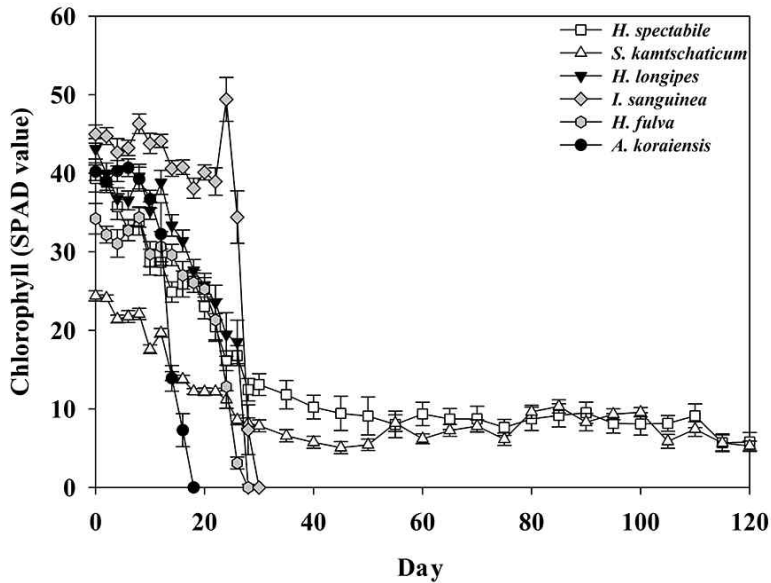


Fig. 1. Changes in chlorophyll content according to unirrigation.

2. 토양수분 및 증발산량

무관수 후 토양수분이 0%에 도달한 것은 별개미취가 11일로 가장 빨랐으며, 그 다음으로 기린초 15일, 원추리 16일, 큰평의비름 17일, 붓꽃 19일, 비비추 21일 순으로 나타났다(Fig. 2). 대조구의 경우 토양수분이 0%에 도달한 것은 30일로 식물이 식재된 실험구보다 길었는데, 이는 식물의 광합성에 의한 증산이 없고 기온과 습도에 의한 토양의 증발만이 이루어졌기 때문으로 판단된다. 토양수분 감소 차이는 식재식물 중, 식물 성장단계, 토심, 일사강도, 포트종류, 식재토양 등 여러 가지 요인에 영향을 받는다(Bousselot et al., 2011). 토양수분의 저하는 식물의 성장을 감소시키고 기공을 닫아 광합성률을 떨어뜨리고 식물 세포의 탈수상태를 초래하므로 토양수분의 유지는 식물 생존에 중요한 요인이 된다(Park, 2013). 큰평의비름과 기린초의 토양수분은 다른 식물종과 비교하여 큰 차이가 나타나지 않았지만 생존이 오랜 기간 유지되었는데 이는 CAM식물이 가지는 특성으로 판단된다(Bousselot et al., 2011).

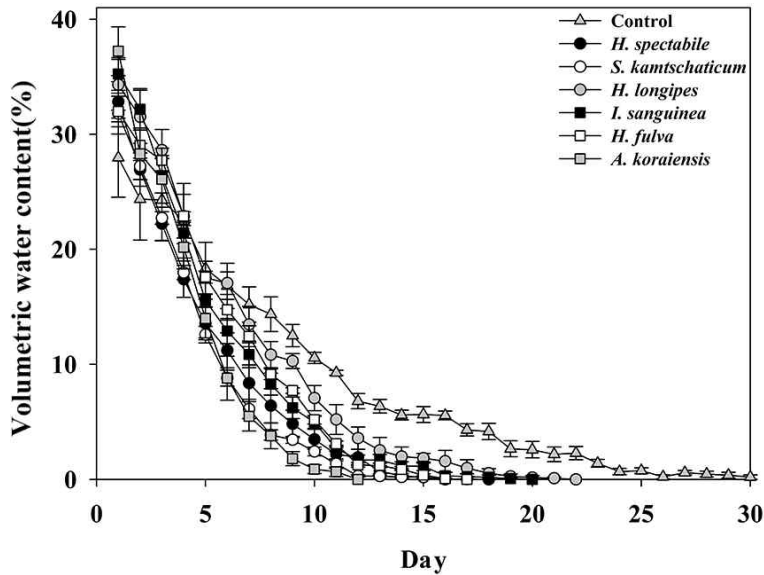


Fig. 2. Changes in volumetric water content according to unirrigation.

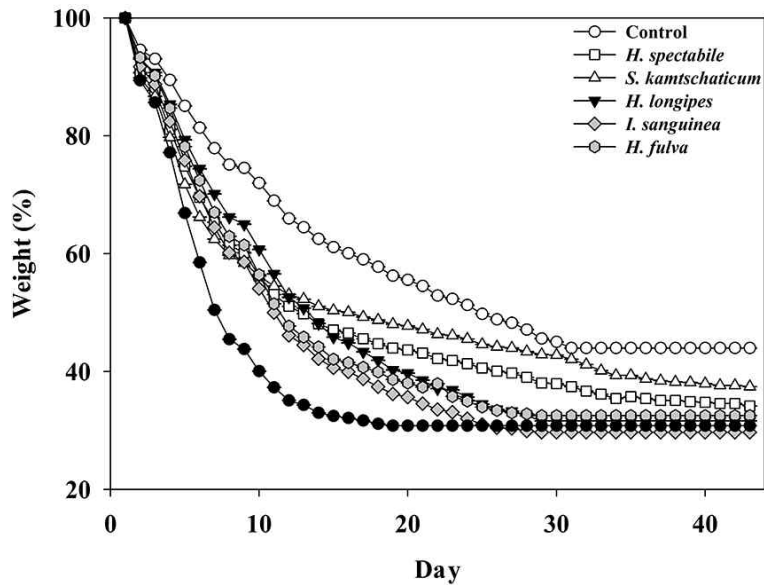


Fig. 3. Changes in evapotranspiration according to unirrigation.

무관수 후 증량변화에 따른 증발산량 측정 결과, 별개미취가 19일로 가장 빠르게 증량변화가 없었으며, 그 다음으로 원추리, 붓꽃, 비비추 3식물이 29일, 대조구 30일이었으며, 큰평의비름과 기린초는 각각 44일과 56일 이후 증량변화가 없는 것으로 나타났다(Fig. 3). 토양수분의 감소는 식물의 증발산에 직접적인 영향을 미치며(Million et al., 2007), 토양수분이

0%에 도달한 이후에도 지속적인 중량변화는 식물체가 지닌 수분감소로 설명될 수 있으므로 식물체의 수분보유능력은 건조기간 동안 식물체 생존에 중요한 요인이 될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

급격한 도시화에 따른 무분별한 도시개발은 열섬현상과 같은 열환경 문제를 초래하였다. 이러한 문제점을 해결하는 하나의 방안으로 옥상녹화, 벽면녹화와 같은 건축물녹화가 그 대안으로 제시되고 있다. 건축물녹화는 지상녹화와는 달리 하중문제 때문에 대부분 낮은 토심으로 조성되어지는 경우가 많아 식물생육에 여러 가지 문제가 발생하고 있는 실정이다. 특히, 옥상녹화의 경우에는 강한 일사와 낮은 토심으로 인해 여러 환경 내성 중 내건성이 뛰어난 식물 선정이 중요하다. 따라서 본 연구는 현재 옥상녹화 식물로 이용되고 있는 몇 가지 초본식물을 대상으로 무관수 처리에 따른 내건성을 평가하여 향후 저관리 경량형 옥상녹화 적용을 위한 기초자료를 얻고자 수행하였다.

무관수 처리에 따른 생존을 측정 결과, 벌개미취가 19일째 가장 먼저 고사하였으며, 그 다음으로 비비추와 원추리가 27일째, 붓꽃은 29일째 고사하는 것으로 나타났다. 하지만 CAM형 식물인 큰평의비름과 기린초는 실험종료일인 120일까지도 생존하는 것으로 나타났다. 엽록소함량은 붓꽃의 경우에는 일정한 수준을 유지하다 고사 직전에 급격하게 감소하는 경향을 보였으며, 벌개미취와 원추리는 실험초기부터 고사할 때까지 급격하게 감소하였다. 그러나 큰평의비름과 기린초는 무관수 후 30여일까지는 급격하게 감소하였지만 그 이후로는 완만한 경향을 보였다. 토양수분 감소는 벌개미취가 무관수 후 11일째에 0%에 도달하였으며, 그 다음으로 기린초 15일, 원추리 16일, 큰평의비름 17일, 붓꽃 19일, 비비추 21일 순으로 나타났다. 중량변화에 의한 증발산량 측정 결과, 벌개미취가 가장 빠른 19일째, 그 다음으로 원추리, 붓꽃, 비비추가 29일, 대조구 30일, 큰평의비름 44일, 기린초 56일 순으로 중량변화가 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해 볼 때, 옥상녹화용 식물 선정 시 관상적 측면을 고려한다면 무관수 처리 후 약 30여 일간 생존한 비비추, 붓꽃, 원추리가 저관리 경량형 옥상녹화에 적용 가능성이 매우 높은 식물로 판단되었다. 그러나 저관리 경량형 옥상녹화 식물선정을 위해서는 향후 보다 많은 식물들을 대상으로 한 실험이 추가적으로 이루어져야 할 것이다.

References

1. Bousselot, J. M., J. E. Klett, and R. D. Koski. 2011. Moisture content of extensive green roof substrate and growth response of 15 temperate plant species during dry down. *HortScience* 46: 518-522.
2. Chen, F., S. Chen, W. Fang, and J. Liu. 2001. Determining heat tolerance for *Chrysanthemum vestitum* and for *Ch morifolium* cultivars with small flowers. *Acta Agr. Shanghai* 17: 80-82.
3. Dunnett, N. and A. Nolan. 2004. The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semi-extensive green roof. *Acta Hort.* 643: 305-309.
4. Durhman, A. K., B. D. Rowe, and C. L. Rugh. 2006. Effect of watering regimen on chlorophyll fluorescence and growth of selected green roof plant taxa. *HortScience* 41: 1423-1628.
5. Getter, K. L. and D. B. Rowe. 2006. The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience* 41: 1276-1285.
6. Huh, K. Y., I. H. Kim, and H. C. Kang. 2003. Effects of artificial substrate type, soil depth, and drainage type on the growth of *Sedum sarmentosum* grown in a shallow green rooftop system. *J. Korean Inst. Landsc. Archit.* 31(2): 102-112.
7. Kim, I. H., K. Y. Huh, H. C. Shin, and N. C. Park. 2010. Assessment of plant growth and soil properties of extensive green roof system for *Rhododendron indicum* Sweet. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 28: 1057-1065.
8. Kim, S. C., S. Y. Hwang, H. J. Lee, and B. J. Park. 2012. Effects of substrate depth and types on initial growth of three native deciduous shrubs in a green roof. *J. Korean Inst. For. Rec.* 16(4): 85-92.
9. Kim, S. C. and B. J. Park. 2013. Assessment of temperature reduction and heat budget of extensive modular green roof system. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 31: 503-511.
10. Kim, S. C., H. J. Lee, and B. J. Park. 2013. Assessment of temperature reduction and evapotranspiration of green roof planted with *Zoysia japonica*. *J. Environ. Sci. Int.* 22: 1443-1449.
11. Lee, D. G., S. W. Yoon, S. H. Oh, and S. W. Jang. 2005. The effect of temperature reduction as influenced by rooftop greening. *J. Korea Soc. Environ. Restor. Technol.* 8(6): 34-44.
12. Million, J. T. Yeager, and C. Larsen. 2007. Water use and fertilizer response of azalea using several no-leach irrigation methods. *HortTechnology.* 17: 21-25.

13. Mori, I. C., S. Utsugi, S. Tanakamaru, A. Tani, T. Enomoto, and M. Katsuhara. 2009. Biomarkers of green roof vegetation: anthocyanin and chlorophyll as stress marker pigments for plant stresses of roof environments. *J. Environ. Eng. Manage.* 19: 21-27.
14. Oberndorfer, E., J. Lundholm, B. Bass, R. R. Coffman, H. Doshi, N. Dunnett, S. Gaffin, M. Köhler, K. K. Y. Liu, and B. Rowe. 2007. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience* 57: 823-833.
15. Park, Y. M. 2013. Characteristic of matter allocation of *Calystegia soldanella* under water stress. *J. Environ. Sci. Int.* 22: 187-193.
16. Wolf, D. and J. T. Lundholm. 2008. Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. *Ecol. Eng.* 33: 179-186.
17. Yoon, P. S., J. H. Lee, and B. Y. Ryu. 2007. Study on the plants adaptation of rooftop garden. *J. Korean Soc. People Plant Environ.* 10(2): 1-7.