

식생모듈박스를 이용한 저토심 무관리형 옥상녹화

- 토양조성이 식물생육에 미치는 영향을 중심으로 -

강태호* · 조홍하** · 이홍**

*동국대학교 조경학과 · **동국대학교 대학원 조경학과

I. 서론

급속한 산업화와 도시화로 인해 도시환경이 악화 되었고, 도심 열섬화 현상이 증가되었다. 여기에 도시 내 녹지면적 이 감소하여 이를 해결할 수 있는 방안으로 옥상녹화에 대한 관심이 집중되고 있다. 옥상녹화는 도시 녹지축의 연결, 도시생태환경 확보 측면에서도 중요한 의미가 있어 옥상녹화를 적극적으로 권장하고 있다. 현재 도시 내 가장 많은 면적을 차지하고 있는 기존 건물들은 관리중량형이나 혼합형 옥상녹화 방식으로는 건물 하중 문제 때문에 옥상녹화를 실시하기 어려운 실정이다. 따라서 기존건축물에는 저관리경량형 옥상녹화가 적합하다.

저관리경량형 옥상녹화 관련 선행 연구는 환경부, 한국건설기술연구원, 서울특별시, 인공지반녹화협회, 관련업체 등에 의해서 다각적으로 진행되어 왔다(허근영 등, 2003). 옥상녹화용 토양 및 토심, 식물선택 및 식물의 내성, 녹화시스템 관련 연구가 많이 실시되었다. 옥상녹화 토양에 대한 연구는 적합한 토심의 선정(이은희 등, 2005), 토심에 따른 토양수분의 변화(박준석 등, 2010) 그리고 토심, 배합비의 차이가 토양의 특성 및 식물 생육에 미치는 영향(박지혜 등, 2010; 김인혜 등, 2010), 식물의 선발(이은희 등, 2007; 김유선 등, 2005) 그리고 세덤류 식물의 내한성 평가(김인혜 등, 2010), 녹화시스템의 평가(박준석 등, 2010); 저토심 옥상녹화 시스템에 따른 식물 생육 특성(김인혜 등, 2003; 허근영 등, 2003) 등 저관리형 옥상녹화 시스템에 관한 연구가 그동안 많이 이루어졌다.

국내의 옥상녹화 시스템은 (주)한수그린텍의 세덤블럭; (주)이텍의 에코가이드식생매트, 식생모듈박스; (주)한국도시녹화의 조방형옥상녹화시스템; (주)에코앤바이오의 모듈형 옥상녹화시스템(MRG); (주)한설그린의 매트형(G-Mat 옥상녹화시스템), 경량형(그린블록레인), 이용형(그린블록루프) 등의 옥상녹화공법이 많이 이용되고 있다. 그중에서 토심 10cm 모듈형 옥상녹화시스템(MRG; (주)에코앤바이오)에 대한 연구는 있으나 토심 10cm 미만의 모듈박스 옥상녹화공법에 대한 연구는 없다. 특히 식생모듈박스를 이용한 저토심 무관리형 옥상녹화를 위한 토양조성이 식물 생육에 미치는 영향 연구는 매우 필요하다.

이 연구는 (주)이텍의 토심 5cm의 식생모듈박스를 선택하여 옥상녹화실험을 실시하였다. 옥상녹화 식물소재는 관상 가치와 내건성이 높은 세덤류를 4종을 대상으로, 저토심 무관리 옥상녹화에서 토양배합비에 따른 세덤류의 생육변화를 살펴봄으로써, 무관리 옥상녹화 식물 생육에 적합한 토양조성을 제시하고자 수행하였다.

II. 실험 내용 및 방법

1. 실험구조성

이 연구는 국내에서 많이 쓰고 있는 저토심 모듈박스를 이용하여 척박한 환경에 적응력이 강한 세덤속 식물을 선택하여 2010년 12월 12일부터 2011년 8월 30일까지 8개월 동안 동국대학교 경주캠퍼스 자연과학관 5층 옥상에서 실험하였다.

토양배합비는 옥상녹화에서 주로 활용되는 펄라이트(Perlite, Korea)와 피트모스(Peat moss, Canada), 코코피트(Cocopeat), 버미큘라이트(Vermiculite)를 부피로 배합하여 제조한 인공토로 실험구를 조성하였다. 인공배합토의 배합비 기준은 각각의 토양에 대한 보수성과 배수성, 보비성의 정도를 기준으로 혼합하여 만들었고, 표기법은 표 1과 같이 C, P1P1V1, P5C7-P2V1, P10C7P2V1, P로 하였다. 따라서 옥상 식생모듈 박스 녹화시스템은 토양배합비 5가지로 토심 5cm의 실험구로 구성하였다.

식물재료는 건조에 잘 견딜 수 있는 세덤류를 위주로 섬기린초(*Sedum takevimensense* NAKAI), 애기기린초(*Sedum middendorffianum* MAX.), 흰꽃세덤(*Sedum album*), 분홍세덤(*Sedum spurium*) 등 4종을 이용하였다. 묘목은 2인치 pot 묘에서 균일하게 생육한 것을 선택하여 식생모듈박스에 12주 2반복으로 15cm×10cm 간격으로 2010년 12월 12일에 정식하였다. 식재 후 표층에 화산석을 2cm 두께로 덮고 관수하였으며 그 이후에 무관리 상태로 실험을 진행하였다.

2. 식물생육 측정

식물생육 조사와 생육관찰은 식재 후 겨울이 지난 다음 식물

표 1. 식생모듈박스 옥상녹화시스템 토양조성

구분	항목	토양조성
대조구 1	P	Perlite 100%
대조구 1	C	Cocopeat 100%
실험구 1	P1P1V1	Perlite 33.3% + Peat moss 33.3% + Vermiculite 33.3%
실험구 2	P5C7P2V1	Perlite 33% + Cocopeat 47% + Peat moss 13% + Vermiculite 7%
실험구 3	P10C7P2V1	Perlite 50% + Cocopeat 35% + Peat moss 10% + Vermiculite 5%

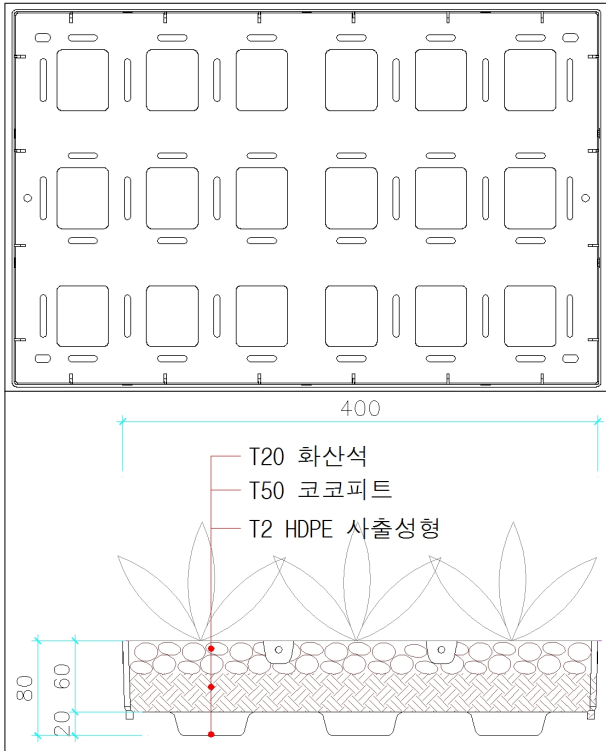


그림 1. 세덤 모듈박스옥상녹화시스템 평면 및 단면도

활착 후 안정적으로 생장이 시작한 2011년 4월부터 8월까지 매월 1회시 총 5회에 걸쳐 진행되었으며, 생육조사는 식재식물들의 활착율, 초장, 초폭, 생체중량과 견체중량, 엽록소 함량 등의 식물 생육 지표를 측정하였다.

조사방법으로 활착율은 6월말까지 나타난 식물개체수를 기록하였다. 초장과 초폭은 식물 한 개체 당 높이와 너비를 측정하였으며, 같은 토양조성구의 평균값을 각각 산출했다. 생체중량은 2011년 8월에 조사구에서 굴취한 후, 뿌리부분의 흙을 씻어낸 후 저울로 측정하여 생체중량을 구하였다. 견체중량은 생체중량 측정 후 남은 부분을 70℃에서 24시간 건조시킨 후 저울로 측정하였다(정병간, 2000). 이는 토양조성에 따른 식물종별로 3개소씩 설치된 실험구를 중심으로 이루어졌다.

재배환경에 따른 엽록소 함량의 차이를 조사하기 위하여 2011년 8월 25일에 식물을 채취하여 토양조성별 엽록소 함량을

분석하였다. 엽록소 함량은 0.1g의 각각의 잎을 80% Acetone 5ml 용액에 12시간 동안 암 상태에서 담가두었다가 UVspectrophotometer(CARY-4000)를 이용하여 파장 645nm와 633nm에서의 흡광도로 측정하여(Boo *et al.*, 1997) 다음의 식으로 Arnon(1949)의 방법으로 하였으며 시료 당 각각 3회 반복 측정 후 평균값으로 하였다.

$$\text{Chlorophyll II a} = 12.7A_{663} - 2.69A_{645}$$

$$\text{Chlorophyll II b} = 22.9A_{645} - 4.68A_{663}$$

$$\text{Chlorophyll II (a + b)} = 20.29A_{645} + 8.02A_{663} \quad \text{식1}$$

III. 결과 및 고찰

1. 식물의 활착율, 초장 및 초폭

식물의 활착율은 2011년 1월 최저 기온이 -18℃까지 내려가는 혹한이었음에도 불구하고 6월말 실험구와 차이 없이 100%의 활착이 관찰되었다.

4월 3일 식물 활착이 시작되고부터 초장은 토양조성별 차이가 거의 없는 1~2cm로 측정되었으나 시간에 지나면서 토양조성에 따른 차이가 많이 나타났다. 8월 3일 측정결과, 섬기린초, 애기기린초, 흰꽃세덤, 분홍세덤의 초장은 실험구 2가 각각 18cm, 15cm, 6cm, 5cm인데 비해 대조구 토양인 8~10cm로 단일 토양보다 높은 것으로 나타났다. 4월에서 9월사이의 총 변화량을 살펴보면 C실험구가 섬기린초 6cm, 애기기린초 7cm, 흰꽃세덤 0.5cm, 분홍세덤 2cm로 가장 낮은 성장량을 보였고, P5C7P2V2에서 섬기린초 16cm, 애기기린초 14cm, 흰꽃세덤 5cm, 분홍세덤 5cm에서 가장 높은 성장량으로 측정되었다. 배합비에 있어서 펄라이트의 비율이 낮고, 피트모스와 코코피트의 비율을 증가시킨 처리구에서 높은 수치를 보였다(그림 2 참조).

실험기간 내 초폭은 토양조성에 따른 차이가 뚜렷하게 보였으며 단일 인공토양으로 조성한 실험구보다 실험구 2, 3에서 식물들을 가장 양호한 상태로 나타났다. 4월에서 9월사이의 초폭 총 변화량은 섬기린초 21cm로서 가장 큰 성장량 변화를 보였으며, 애기기린초 18cm, 분홍세덤 14cm, 흰꽃세덤 13cm 순

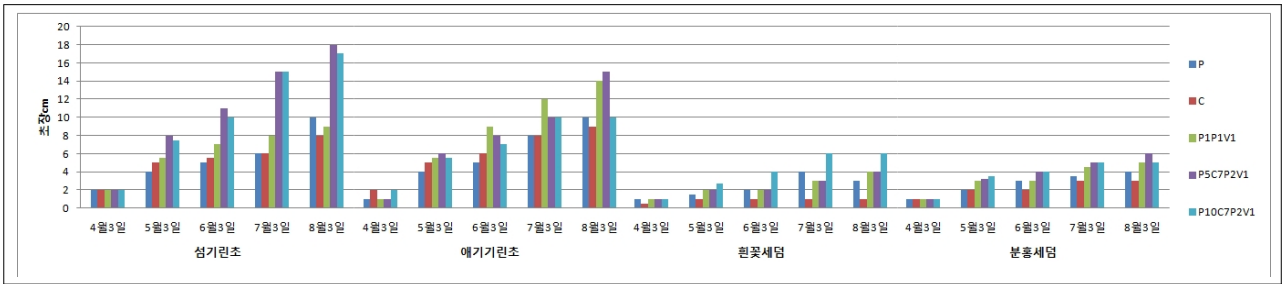


그림 2. 토양 조성에 따른 초장 변화

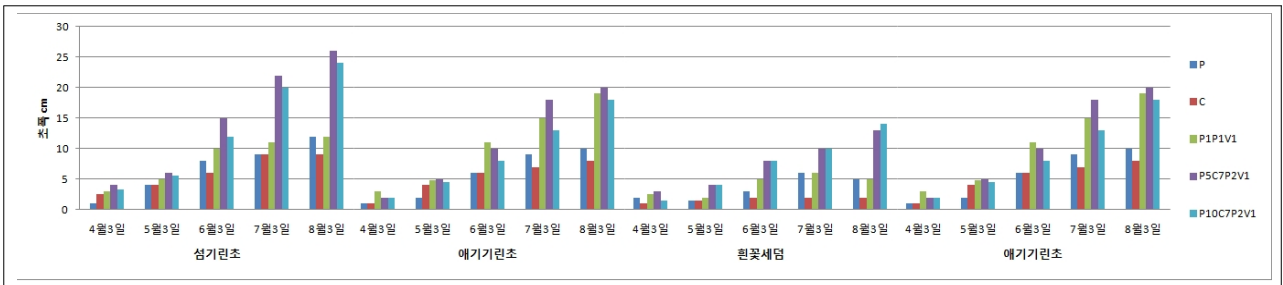


그림 3. 토양 조성에 따른 초꼭 변화

으로 생장량 변화가 관측되었다. 썩기린초와 분홍세덤은 실험구 1이 다른 실험구와 차이가 크지 않고 애기기린초와 흰꽃세덤은 큰 차이를 보였다. 토양 조성에 따른 초꼭 변화량에 있어 차이가 컸으며 실험구 2에서 가장 양호한 상태로 나타났다. 썩기린초, 애기기린초, 흰꽃세덤, 분홍세덤은 코코피트(C) 실험구에서 초꼭을 9cm, 8cm, 2cm, 4.5cm인 것에 비해 실험구 2가 26cm, 20cm, 14cm, 16cm 로 대조구 2와 평균 약 3~7배 정도의 차이를 보여 전반적으로 인공배합토에서 양호한 것으로 나타났다(그림 3 참조).

2. 생체중량 및 전체중량

식물들의 생체중량 및 전체중량의 변화를 파악한 결과(그림 4 참조). 식재한 후 8개월이 경과한 2011년 8월 모둠박스에서 생육한 세덤류 중에서 가장 높은 생체중량을 보인 종은 실험구 2의 썩기린초 178g, 애기기린초 62.9g, 흰꽃세덤 61.1g, 분홍세덤 46.2g, 대조구 2가 각각 16.92g, 4.14g, 2.66g, 1.91g의 낮은 생체중량이 측정되었다. 실험구 2에서 가장 큰 생체중량을 보였지만 코코피트로 조성한 실험구에서는 가장 낮은 생체중량이 측정되었다. 토양 조성에 따른 실험구의 평균 생체중량은 실험구 2 > 실험구 3 > 실험구 1 > 대조구 1 > 대조구 2의 순으로 측정되었다.

생체중량을 측정한 다음에 잎, 줄기, 뿌리를 구분하지 않고 드라이오븐에 넣어 70°C에서 24시간 건조시킨 후 무게를 측정한 결과는 그림 4와 같다. 코코피트로 조성한 대조구 2에서 각

각 2.8g, 0.32g, 0.77g, 0.31g의 낮은 건조중량이 측정되었으며, 실험구 2에서 각각 46.9g, 15.7g, 34.6g, 6.26g의 전체중량이 측정되었다. 실험구 1에서 썩기린초와 애기기린초의 건조중량은 8g 이상으로 측정 되었으며 흰꽃세덤과 분홍세덤은 2g 이하의 건조중량으로 측정되었다. 토양조성에 따른 식물들의 건조 중량은 큰 차이가 있어 실험구 2 > 실험구 3 > 실험구 1 > 대조구 1 > 대조구 2의 전체중량 순으로 나타났다(그림 4 참조).

3. 엽록소 함량

엽록소 함량은 식물이 광합성을 하는데 필수적인 색소이며,

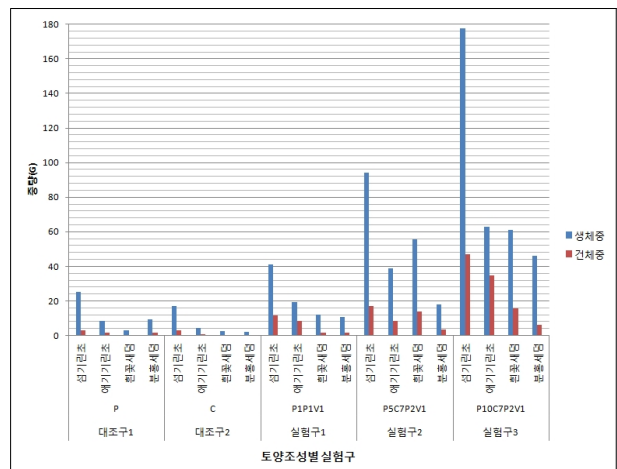


그림 4. 세덤류 생체중량 및 전체중량

표 2. 토양 조성별 엽록소 함량

구분	토양 조성	식재 식물	엽록소a 함량	엽록소b 함량	엽록소 함량
대조구 1	P	섬기린초	6.89	7.47	14.36
		흰꽃세덤	4.51	3.10	7.61
		애기기린초	8.80	8.80	17.60
		분홍세덤	6.50	0.28	6.78
대조구 2	C	섬기린초	2.69	2.35	5.04
		흰꽃세덤	4.65	4.33	8.98
		애기기린초	1.97	0.07	2.04
		분홍세덤	6.49	0.12	6.61
실험구 1	P1P1V1	섬기린초	8.94	9.43	18.37
		흰꽃세덤	5.22	5.37	10.58
		애기기린초	6.48	5.14	11.61
		분홍세덤	4.47	4.55	9.03
실험구 2	P5C7P2V1	섬기린초	7.56	8.03	15.59
		흰꽃세덤	5.43	4.08	9.51
		애기기린초	8.44	6.51	14.96
		분홍세덤	5.42	6.58	12.00
실험구 3	P10C7P2V1	섬기린초	8.30	5.68	13.98
		흰꽃세덤	4.91	4.8	9.73
		애기기린초	6.02	6.72	12.74
		분홍세덤	3.95	3.64	7.59

지구상에서 가장 많은 색소로 일반적으로 광합성 능력을 간접적으로 추정할 수 있으며 식물 생육과 밀접한 관계가 있다 (Kim *et al.*, 2011). 엽록소는 여러 종류가 있지만, 가장 보편적으로 볼 수 있는 것은 엽록소 a와 b이다. 이 연구에서는 주로 엽록소 a와 b 그리고 엽록소 총량을 측정하였다.

실험은 2011년 8월 30일 진행하였다. 엽록소 함량 측정 값을 평균으로 계산한 결과, 코코피트C 처리구가 각각 5.04, 8.98, 2.04, 14.61로 측정되었으며, P 처리구와 비슷한 결과를 보였다. 실험구는 엽록소 함량은 큰 차이가 없으며 대조구는 엽록소 함량이 낮은 것으로 나타났지만 C처리구보다 P처리구에서는 섬기린초와 애기기린초의 엽록소 함량이 높게 측정되었다. 전체적으로 배합비에 따른 차이는 많이 나타났다. 이는 토양조성별 영양물질 함량이 차이가 있기 때문에 식물생육 상태의 차이가 있어 엽록소함량의 차이가 나타난 것으로 보인다(표 2 참조).

4. 고찰

식물종별 초장, 초폭, 생체중량, 건체중량, 엽록소함량을 파악한 결과, 세덤류의 월별 초장과 초폭의 변화는 시간이 경과

함에 따라 점진적으로 증가하였으며, 토양조성에 따른 증가량이 차이가 있다. 특히 실험구 2에서 식물의 생장량 변화가 가장 높고 생체중량과 건체중량도 높은 수치가 나타났다. 대조구에서 식물의 생장량이 작게 나타났으며 식물생육 상태도 좋지 않고 엽록소 함량도 적게 측정되었다.

IV. 결론

이 연구의 목적은 식생모듈박스를 이용한 5cm의 저토심 무관리경량형 옥상녹화에 있어 토양 배합비에 따른 섬기린초, 애기기린초, 흰꽃세덤, 분홍세덤의 생육결과를 연구하여 적합한 토양배합비를 찾고자 수행하였다. 식재 기반은 (주)이택에서 개발한 625×400×80mm 식생모듈박스를 사용하여 실험을 실시하였다. 토심은 5cm이며 인공토양 배합비에 따른 5종류(C, P1P1V1, P5C7P2V1, P5C7P2V1, P)의 2반복의 실험구를 조성하였다. 각기 다른 토양 배합비로 실험구를 조성하여 내건성이 뛰어난 섬기린초, 애기기린초, 흰꽃세덤, 분홍세덤을 식재한 후 초장, 초폭, 생체중량, 건체중량, 엽록소 함량 등 생육변화를 측정하였다.

토양 배합비에 따른 세덤류의 초장은 인공 배합토가 단일 인공토양보다 커고, 실험구 2에서 식물의 초장이 가장 길었으며 대조구 2에서 식물의 초장이 가장 짧게 나타났다. 초폭이 같은 경우에는 실험구 1에서 수치가 가장 높게 나타났으며 대조구의 수치가 가장 적에 나타났다. 생체중량과 건체중량 측정결과, 엽록소 함량과 비슷한 경향이 나타났다. 실험구 2에서 식물의 생체나 건체중량이 가장 크게 나타났고 양호한 생육 상태를 보였으며 대조구 2의 식물이 가장 낮은 값으로 나타났고 식물생육 상태도 좋지 않다.

따라서 실험구 2 인공배합토양은 저토심 무관리경량형 옥상녹화 모듈에서 적용하기 적합한 토양조성으로 판단되고, 현재 옥상녹화에 많이 쓰고 있는 펄라이트, 코코피트 단일 기반제를 사용하는 것 보다 적당한 인공토양 배합비로 쓰는 것이 녹화효과에 있어 양호하다고 판단된다.

인용문헌

1. 김유선, 이정식(2005) 저관리 경량형 옥상녹화에 적합한 *Sedum*속 식물 선발. 화훼연구 13(1): 14-20.
2. 김인혜, 허근영(2003) 저토심 옥상녹화 시스템에 따른 땅채송화(*Sedum oryzifolium*)의 생육 특성. 원예과학기술지 21(4): 346-352.
3. 김인혜, 허근영, 신현철, 박남창(2010) 영산홍을 이용한 저관리 옥상녹화 시스템의 식물생육 및 토양특성 평가. 원예과학기술지28(6): 1057-1065.
4. 박준석, 박지혜, 주진희, 윤용환(2010) 옥상녹화 토심 및 토양배합비에 따른 토양수분변화와 순비기나무의 광합성 특성. 한국인간식물환경학회지 13(2): 31-42.
5. 박준석, 주진희, 김원태, 윤용환(2010) 저관리 옥상녹화의 식재기반 시

- 스텝 차이에 따른 순비기나무의 활용성 평가. 환경복원녹화 13(4): 10-17.
6. 박지혜, 주진희, 윤용환(2010) 저관리 옥상녹화 모듈에서 토심, 배합비의 차이가 토양의 특성 및 흰줄무늬사사의 생육에 미치는 영향. 한국환경과학회지 19(7): 871-877.
 7. 이은희, 강규이, 신상희, 남미아, 이광우(2005) 옥상녹화용 식생매트에 적합한 토양과 토심 선정. 한국환경복원기술학회지 8(4):12-22.
 8. 이은희, 조은진, 박민영, 김동욱, 장성완(2007) 초화류를 중심으로한 관리조방적 옥상녹화용 식물 소재 선정. 환경복원녹화 10(2): 84-96.
 9. 정병간(2000) 토양 및 식물체 분석법. 농업과학원 보고서.
 10. 허근영, 김인혜, 유남형(2003) 저토심 옥상녹화 시스템에서 기린초의 생육에 대한 인공배지 종류, 토심, 그리고 배수 형태의 효과. 한국조경학회지 31(4) 90-100.
 11. Arnon, D. I.(1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
 12. Boo, H. O., T. Saito, and Y. Tomitaka.(1997) Effect of plant growth regulators on the anthocyanin synthesis of *Perilla ocymoides* L. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38: 9-14.
 13. Kim, P. G., Y. B. Koo, J. C. Lee, S. W. Bae, Y. S. Yi and Y. M. Cheong, (2001) Chlorophyll content and genetic variation of *Ginkgo bioloba* planted on the street in Seoul, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 3(2): 114-120.