

Eco-Stone을 이용한 사면녹화공법에 관한 연구

- 식재식물종의 처리구간 성장상태를 중심으로 -

안태석¹⁾ · 조현길²⁾ · 안태원³⁾ · 김지호³⁾ · 정경진⁴⁾ · 김미경⁴⁾

¹⁾ 강원대학교 환경학과 · ²⁾ 강원대학교 조경학과 · ³⁾ 강원대학교 대학원
⁴⁾ 한림에코텍(주) 부설 하천환경연구소

A Study on Slope Greening Technique Using Eco-Stone

- Focused on growth conditions of plant species among treatment blocks -

**Ahn, Tae Seok¹⁾ · Jo, Hyun-Kil²⁾ · Ahn, Tae-Won³⁾ · Kim, Ji-Ho³⁾
Chung, Kyung-Jin⁴⁾ and Kim, Mi-Kyeong⁴⁾**

¹⁾ Dept. of Environmental Science, Kangwon National University,

²⁾ Dept. of Landscape Architecture, Kangwon National University,

³⁾ Graduate School, Kangwon National University,

⁴⁾ River Environmental Institute attached HanLim Eco-Tech Co., Ltd.

ABSTRACT

For the slope stability and revegetation of retaining wall, Eco-Stone was built beside a newly constructed road in August, 2002. Eco-Stone blocks were constructed in 4 different combinations of irrigation and soil types. Within the Eco-Stone, planted were 6 species such as *Forsythia koreana*, *Rhododendron mucronulatum*, *Spiraea prunifolia* var. *simpliciflora*, *Rhododendron* sp. *Euonymus japonica*, and *Aster koraiensis*. Shoot growth was greater on common soils than at a better soil treatment for *Forsythia koreana* ($P<0.01$) and *Spiraea prunifolia* var. *simpliciflora* ($P<0.05$), while there were no significant differences for the other species. Biomass increment of the planted species also did not show significant differences between irrigation types, except *Rhododendron* sp. and *Aster koraiensis* of which biomass was higher under irrigation than at no irrigation for common soils. Most of the planted individuals were alive, showing survival ratio of 90~97% with no significant differences among treatment blocks. These results imply that the Eco-Stone can be used economically for slope stability and revegetation instead of concrete blocks, without a specific soil and irrigation requirement.

Key Words : *Eco-Stone*, *Slope plantings*, *Growth*, *Soils*, *Irrigation*.

I. 서론

최근 국내에서는 도로의 개설이 증가하면서 많은 절개지가 나타나고 있으며, 중장비의 발달로 인해 절개지가 광범위하게 나타나고 있다. 이러한 지역은 그 동안 내대지로 방치되어 왔으나, 최근 사면녹화기술이 발달함으로써 다양한 녹화방법이 개발되었다. 사면녹화기술은 경관을 좋게 만드는 목적 이외에도 사면의 구조적 안정성을 확보하고 토양침식을 방지할 필요가 있다. 따라서, 사면처리 계획은 사면의 구조적 안정성 확보, 침식방지 및 경관적 복원을 종합적으로 분석한 후, 사면처리에 대한 구체적인 방법에 대해서 경제적, 기능적, 생태적, 경관적 접근방법을 비교 분석하여 수립하여야 한다.

정태건(1999)에 의하면, 도로조경의 발달은 1960년대의 조기녹화 및 조경 도입단계, 1970년대 후반~1980년 전반기의 기능식재 단계, 그리고 1980년대 후반부터 현재까지를 생태조경 단계로 나누고 있다. 생태조경 단계에서는 주위의 자연과 조화되는 조경을 구성하는 것이 주목적이며, 단순히 훼손된 지역을 녹화하는 차원에서 한 단계 발전하여 자연환경을 복원하는 것을 목표로 하고 있다.

이러한 공법에는 녹생토를 이용한 공법과 이를 응용한 다양한 공법이 있다. 식물종자와 비료를 함께 넣어 녹화하는 리빙네트(김의영 등, 2002), 식생기반재 뿌어 붙이기(김재준과 이재근, 2002) 등이 있다. 그러나 우리나라의 강우특성 상 강우가 장마기간에 집중되어 있어, 일부 공법의 경우 기반토가 유실되는 등의 문제를 표출하고 있다. 사면녹화가 사방공사의 성격을 띠고 있는 경우에는 식생이 충분히 발달되기 전에 토양유실의 문제가 나타나고 있다. 급격한 경사의 경우 토압을 고정하는 옹벽을 설치하여야 하나, 이 경우 경관적 목적을 달성할 수 없는 단점이 있다.

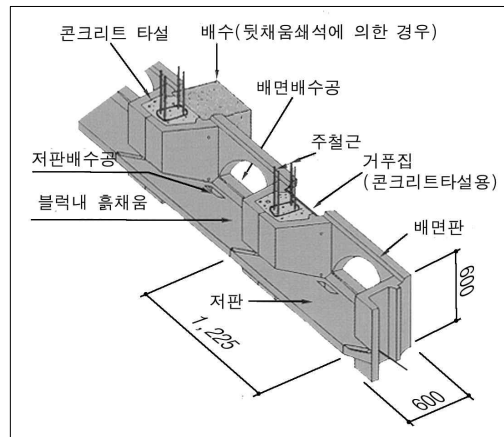
사면의 안정성과 경관창출을 동시에 달성하기 위하여 개발된 것이 에코스톤(Eco-Stone)이며, 선행연구(한성식과 정경진, 1999)에서 그를 활용한 녹화기법을 시범적으로 보고한 바 있

다. 본 연구의 목적은 에코스톤을 도로변 성토 지역에 설치하고 토양 종류 및 관수 유무에 따른 식재식물의 생장을 파악하여 에코스톤의 사면녹화 공법으로서 유용성을 구명하는데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 에코스톤의 규격 및 구조

본 실험에서 사용한 사면녹화용 블록은 한림에코텍(주)에서 생산되는 제품으로 제품명은 에코스톤 1형이었다. 에코스톤은 길이 1,225mm, 너비와 높이 각각 600mm의 콘크리트 구조물로서 블록중량은 약 295kg이고 일반적인 형태는 <그림 1>과 같다. 블록 내부에는 식물의 식재가 가능하도록 약 0.2m²의 토양을 채우는 식재구가 있다. 배면배수공은 저판배수공과 더불어 유출수 처리를 원활하게 하여 수압을 완화하는 한편 배면의 토양과 연결되므로 블록 내 토양수분 조절 역할을 담당하도록 설계되었다. 블록과 블록이 결합되면서 형성되는 공간은 철근 콘크리트의 연결로 일체화되어 구조적 안정성을 도모하고 있다.



<그림 1> 에코스톤 1형의 규격과 구조.

2. 실험구 설치

본 실험 대상지는 강원도 춘천시 호반체육관 진입구 사면으로서, 사면의 향은 동향이고 경사는 약 60°이었다. 실험구는 <그림 2>와 같이 에코스톤을 이용하여 대상지 사면의 형태에 따라



배합토 무관수 (20개)	배합토 관수 (20개)	일반토 관수 (20개)	일반토 무관수 (20개)
---------------------	--------------------	--------------------	---------------------

<그림 2> 대상지 사면의 에코스톤 설치 및 실험구 배치.

길이 약 23m, 높이 1~3m로 설치하였다. 그리고 2종의 실험용 토양을 각각 관수 및 무관수로 구분하여 4종의 실험구(실험구별 에코스톤 20개) 배치를 고안하였다. 즉, 4종의 실험구는 배합토 관수, 배합토 무관수, 일반토 관수, 일반토 무관수로 구분하였다. 관수 실험구는 사면의 하단에, 무관수 실험구는 상단에 배열하여 관수에 기인한 무관수 실험구로의 배수영향을 회피하였다.

에코스톤 내 식재구에 채워지는 실험용 토양은 일반토와 배합토로 구분하였다. 일반토는 대상지 인근에서 구입한 일반객토용 토양을 특별한 처리없이 그대로 사용하였다. 배합토는 식물의 성장촉진 상 토양을 개량하기 위하여, 옥상조경의 식재층 토양조성(신우균, 1994)을 참조로 일반토, 부엽토 및 인공토를 혼합하여 사용하였다. 즉, 일반토와 부엽토를 7:3(체적비)으로 배합한 후, 이를 다시 인공토와 7:3으로 혼합처리하였다. 인공토는 염기치환용량이 커서 보비력이 높고 보수성과 통기성이 좋은 버미큘라이트와 강산성인 피트모스를 각각 50%씩 혼용하였다.

실험용 토양재료는 식재 직전 토양별로 5개씩 총 10개의 표본을 채취하여 읍건시킨 후, 직경 2mm 체(sieve)로 정선하고 그 무게를 0.1g까지 측정하였다. 농촌진흥청(1988)의 토양분석방법에 따라 토성, 산도, 유기물, 총질소, 유효인산, 치환성양이온, 양이온치환능 등의 물리화학적 특성을 분석하였다.

3. 식물종 선정 및 식재

식재식물은 사계절 경관미와 에코스톤 콘크리트면 차폐를 고려하여 화목관목류 위주의 목

본 5종과 초본 1종을 선정하였다. 선정된 목본종은 개나리(*Forsythia koreana*), 진달래(*Rhododendron mucronulatum*), 조팝나무(*Spiraea prunifolia* var. *simpliciflora*), 자산홍(*Rhododendron* sp.) 및 사철나무(*Euonymus japonica*)이었고, 초본종은 별개미취(*Aster koraiensis*)이었다. 식물종 선정기준은 경사지의 환경에 적응이 용이한 식물을 중심으로 화색배합의 경관미, 향기, 개화시기 등을 고려하였으며, 사철나무는 겨울철 푸르름을 제공하기 위함이었다. 별개미취는 여름철에서 초가을까지 개화하는 숙근초로서, 토심이 상대적으로 얇은 에코스톤 간 연결부의 콘크리트 노출에 따른 불량경관을 부분차폐하기 위하여 선정하였다.

2002년 8월 에코스톤 배수공 부분에 부직포를 깔고 전기한 실험구 배치에 따라 실험용 토양을 채운 후, 1종의 실험구에 자산홍 40개체를 포함하여 개나리, 진달래, 조팝나무 및 사철나무를 각각 15개체씩 총 100개체를 식재하였다. 배식은 개나리와 사철나무를 교호배치하고 진달래, 조팝나무 및 자산홍을 추가하였으며, 목본류 식재밀도는 에코스톤 1개당 5주이었다. 식재목본의 수관폭은 0.5m 내외였으며, 수고는 개나리, 진달래, 조팝나무 및 사철나무가 1~1.5m, 자산홍이 0.5m이었다. 에코스톤 간 연결부에는 별개미취를 1개체씩 식재하였다. 여름철 이식은 활착율이 낮을 수 있으므로 잎을 통한 증산을 억제하는 측면에서 식재 후 전정을 실시하였다. 그리고, 토양의 지온상승 및 수분증발을 방지하기 위하여 우드칩(woodchip)으로 멀칭하였다.

4. 관수실험 및 환경인자 측정

인공적인 관수 유무에 따른 성장상태를 비교하기 위하여, 관수 실험구에 겨울철을 제외한 매월 중순에 1회 토양이 충분히 젖을 때까지 관수를 실시하였다. 무관수 실험구의 경우는 식재 후 1회 관수하고, 그 이후에는 자연적인 강우에만 의존하였다.

식재식물의 성장에 영향을 주는 주요 환경인자인 광량, 대기 온습도 및 토양수분을 대상지 사면에서 계절별로 측정하였다. 이 측정은 실험구 내 평상시 토양수분을 파악하기 위하여 관수 이전에 하루 중 오전 9시, 정오, 오후 3시 3회에 걸쳐 매회 5반복으로 실시하였다. 광량은 광량계(LI-COR의 LI-190SA)를, 대기 온습도는 휴대용 온습도계(Hanna의 HI8564)를, 토양수분은 토양수분측정기(Campbell Scientific의 HydroSense)를 각각 이용하였다.

5. 식재식물의 성장상태 분석

식재 후 약 1년이 경과한 2003년 7월 중순에 식재식물의 고사 여부와 신초의 성장량을 조사하여, 토양의 종류 및 관수 유무에 따른 실험구 간 성장상태의 차이를 분석하였다. 성장량 조사는 직접절취를 통해 생체량을 측정함이 가장 바람직한 방법이나, 본 실험구는 실제 현장에 시공된 것으로서 향후 식물생육 및 녹화효과를 감안할 때 모든 개체를 대상으로 한 신초의 직접절취는 불가하였다.

따라서, 목본류의 경우 신초의 길이성장량을 실측하고 그로부터 생체량을 추정하는 간접적인 방법을 이용하였다. 즉, 실험구에 식재한 모든 개체를 대상으로 각 신초의 길이를 측정하여 개체별 신초의 길이성장량(이하 길이성장량으로 약칭)을 분석하였다. 또한, 신초의 길이성장 분포를 고려하여 수종별로 21~30개의 신초를 절취하고, 65°C 하의 건조기에서 향량이 될 때까지 건조시켜 건조량을 0.01g의 정밀도로 측정하였다. 건조 이전의 신초길이를 독립변수로, 건조량을 종속변수로 반복적인 선형 및 비선형 접근을 시도하여 수종별 가장 적합한 회귀식을 최종 결정하였다. 신초길이에 따른 수

종별 생체량회귀식을 각 신초에 적용하여 개체별 신초의 생체량(이하 생체량으로 약칭)을 산정하였다. 초본인 벌개미취의 경우는 초장과 폭을 조사하여 에코스톤당 평균 체적성장량을 비교 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

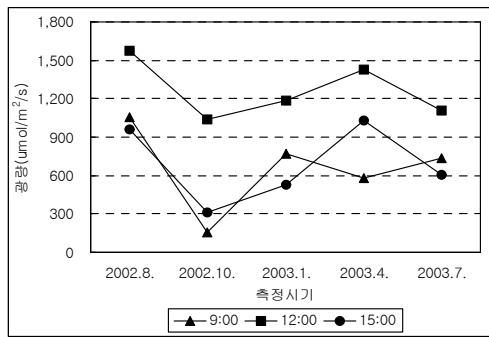
1. 에코스톤의 특성

에코스톤은 웅벽이 지나는 사면안정 효과와 사면의 녹화를 동시에 충족시킬 수 있는 특성이 있다. 특히, 식생 녹화가 가능한 공간을 확보할 수 있어 설치자가 원하는 식물을 식재할 수 있는 장점이 있다. 또한, 기존의 콘크리트 블록에 비해 설치 기간과 비용이 절감된다. 1998년 서울 금천구 금천도서관에 10m² 구간을 설치한 결과, 에코스톤은 콘크리트 블록에 비해 기간은 1/10, 설치단가는 1/2~1/3에 불과하여 경제적이 이미 입증되었다(한성식과 정경진, 1999).

2. 성장환경

대상지 사면에서 실측한 광량은 <그림 3>과 같이 2002년 8월에 963~1,576 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로서 가장 높았고, 2003년 7월엔 장마기간 중으로 4월보다 낮았다. 하루 중 광량은 태양고도가 높은 정오에 높게 나타났으며, 4월을 제외하면 오전 9시와 오후 3시 간에는 대체로 유사한 경향이였다. 대기온도는 2003년 1월 평균 -4.7°C, 7월 29.4°C로서 계절간 차이가 현저하였고, 상대습도는 45~68%이었다(표 1). 하루 중 온습도의 변화를 살펴보면, 대체로 정오보다 오후 3시에 온도가 더욱 높고 습도는 가장 낮았다. 실험기간 중 연강수일수는 110일로서 춘천시의 최근 30년(1971~2000년) 평균치인 105일보다 5일 많았고, 강수량은 평년값인 1,267mm보다 128mm 많은 1,395mm이었다(<http://www.kma.go.kr/weather>).

토양수분은 <표 1>에서 보듯이 계절에 따라 배합토 실험구 16~21%(v/v), 일반토 실험구 11~18%로서 배합토가 일반토보다 더욱 높았고 ($P<0.05$), 계절별로는 봄철이 타 계절에 비해 다소 낮았다. 배합토가 일반토보다 보수성이 더욱



<그림 3> 계절별 광량의 변화.

양호한 것으로 분석되었다. 그러나, 관수 유무에 따른 토양수분의 차이는 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 이는 토양수분을 조절하는 에코스톤의 배수구조, 실험구 내 정상시의 토양수분을 파악하기 위해 관수 이전으로 설정한 측정시기 등에 기인하는 것으로 판단된다. 겨울철엔 토양동결로 인해 토양수분 측정이 불가하였다.

<표 1> 계절별 대기 온습도와 토양수분.

측정시기	대기 온도 (°C)	상대 습도 (%)	토양수분(v/v, %)*			
			배합토		일반토	
			관수	무관수	관수	무관수
2002년 8월	26.0	47	21±1	20±0	18±0	18±1
10월	15.0	55	18±0	18±1	15±0	15±1
2003년 1월**	-4.7	45	-	-	-	-
4월	20.5	48	16±1	17±0	11±1	11±0
7월	29.4	68	18±1	17±0	13±1	12±1

* 평균±표준오차

** - : 토양 동결

<표 2> 실험용 토양의 물리화학적 특성.*

토 양	수분(%)	산도	유기물(%)	총질소 (mg/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol ⁺ /kg)			양이온 치환능 (cmol ⁺ /kg)
						K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
배합토	19.5 (0.7)	5.3 (0.0)	4.4 (0.3)	504.0 (90.7)	135.8 (9.5)	0.27 (0.01)	3.78 (0.18)	1.10 (0.14)	14.38 (1.03)
일반토	18.0 (0.4)	5.4 (0.0)	1.7 (0.1)	459.2 (53.6)	77.6 (5.6)	0.17 (0.01)	1.98 (0.10)	0.48 (0.04)	8.74 (0.46)

* () 내 숫자는 표준오차.

<표 2>는 식재 직전 채취한 실험용 토양의 물리화학적 특성을 분석한 결과이다. 일반토의 토성은 사양토 내지 양토이었고, 입경 2mm 이상의 석력함량은 3~7%이었다. 토양의 수분함량은 배합토 19.5%(g/g), 일반토 18.0%이었으며, 산도는 배합토 5.3, 일반토 5.4로서 토양 간 커다란 차이없이 유사하였다. 유기물함량은 배합토가 4.4%로 일반토 1.7%보다 2.6배 높았다($P<0.01$). 총질소는 약 500mg/kg로서 토양 간 유사하였으나($P>0.05$), 유효인산은 배합토가 135.8mg/kg로 일반토 77.6mg/kg보다 1.8배 높았다($P<0.01$). 치환성양이온과 양이온치환능 역시 배합토가 일반토보다 약 2배 높았다($P<0.01$).

국내 산림토양의 A층 평균치는 산도 5.5, 유기물함량 4.5%, 총질소 1,900mg/kg, 유효인산 25.6mg/kg, K⁺ 0.23cmol⁺/kg, Ca⁺⁺ 2.44cmol⁺/kg, Mg⁺⁺ 1.01cmol⁺/kg, 양이온치환능 12.5cmol⁺/kg이었다(정진현 등, 2002). 본 실험용 토양의 산도는 산림토양과 유사하였다. 배합토의 경우, 산림토양에 비해 총질소는 훨씬 낮은 반면 유효인산은 높았고, 유기물함량, 치환성양이온 및 양이온치환능은 유사하거나 다소 높았다. 일반토의 경우는 유효인산이 산림토양보다 높았으나 유기물함량, 총질소, 치환성양이온 및 양이온치환능 모두 산림토양보다 낮았다. 조경설계기준(한국조경학회, 2002)에서 제시한 토양평가등급에 준하면, 배합토는 유기물함량, 유효인산, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ 및 양이온치환능 항목이 중급에, 산도, 총질소 및 K⁺ 항목이 하급에 해당하였다. 일반토의 경우는 양이온치환능을 제외한 모든 항목이 하급에 해당하였다.

3. 식재식물의 성장상태

식재수종의 실험구별 고사 개체수를 살펴보면, 조팝나무의 경우는 모든 실험구에서 고사한 개체없이 모두 활착하였다. 타 수종의 경우는 실험구에 따라 고사 개체가 없거나 최대 4주이었다. 실험구별 총 고사 개체수는 일반토 관수구에서 10주로 가장 많았으나 실험구 간 뚜렷한 차이를 나타내지는 않았다. 식재수목의 고사는 실험구의 토양 종류나 관수 유무보다는 식재묘목의 활력도, 식재의 적절성 등에 기인한 것으로 판단된다. 에코스톤을 이용한 본 실험에서 식재수목의 실험구별 생존율은 최소 90%~최대 97%로서 상당히 양호하였다.

식재수종 중 진달래는 자연성장한 것을, 타 수종은 묘포장에서 인공재배한 것을 구입한 것으로서, 동일 수종 내에서는 수목개체 간 수령이 유사하였다. 그리고, 식재시 배식도에 따라 수목을 임의 배치하였으므로, 특정 실험구에 성장상태가 양호하거나 불량한 개체가 편중될 가능성이 크지 않을 것으로 사료된다. 따라서, 식재당시의 실험구 간 전체적인 성장상태는 유사한 것으로 가정하고 성장량의 차이를 비교 분석하였다.

식재수종의 실험구별 생존개체당 길이성장량을 분석한 결과는 <표 3>과 같다. 개나리의 개체당 평균 길이성장량은 배합토에서 관수 33cm/주, 무관수 29cm/주이었고, 일반토에선 배합토보다 현저하게 많은 관수 300cm/주, 무관수 365cm/주이었다. 개나리는 배합토에 비해 상대적으로 양분 및 수분이 적은 일반토(표 1과 2 참조)에서 오히려 길이생장이 더욱 양호한 것으로 나타났다($P<0.01$). 그러나, 관수 유무에 따른 길이성장량 차이는 없었다($P>0.05$). 조팝나무의 길이성장량은 일반토에서 관수 971cm/주, 무관수 961cm/주로서 배합토에서 관수 614cm/주, 무관수 727cm/주보다 더욱 많았다. 조팝나무 역시 관수 유무에 따른 길이성장량 차이는 나타나지 않았고($P>0.05$) 배합토보다 일반토에서 길이생장이 더욱 양호하였는데($P<0.05$), 개나리처럼 토양 간 현저한 차이를 보이지는 않았다. 한편, 사철나무의 경우는 배합토에서 관수 53cm/주,

무관수 48cm/주, 그리고 일반토에서 관수 39cm/주, 무관수 33cm/주로서 개나리나 조팝나무와는 달리 일반토보다 배합토에서, 무관수보다 관수에서 길이성장량이 다소 많은 경향을 보였으나, 모든 실험구 간 통계적으로 유의한 차이는 없었다($P>0.05$).

진달래의 길이성장량은 배합토 무관수에서 102cm/주로서 실험구 중 가장 많았고, 다음으로 일반토 관수, 배합토 관수, 일반토 무관수 순이었다. 그러나, 진달래 역시 사철나무의 경우처럼 모든 실험구 간 통계적으로 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 자산홍의 경우는 배합토 및 일반토의 관수에서 각각 181cm/주, 168cm/주로서 일반토 무관수에서 114cm/주보다 길이성장량이 더 많았다($P<0.01$). 자산홍은 타 수종과 달리 관수 유무에 따라 길이성장량이 차이를 보였는데, 무관수보다 관수 조건에서 길이생장이 더 양호한 것으로 나타났다.

<표 3> 식재수종의 실험구별 생존개체당 평균 길이 성장량(cm/주).[^]

실험구		개나리	진달래	조팝나무	자산홍	사철나무
배합토	관수	33±5	82±16	614±72	181±16	53±10
	무관수	29±6	102±22	727±144	151±13	48±10
일반토	관수	300±67	85±14	971±136	168±14	39±11
	무관수	365±57	71±14	961±140	114±11	33±8
토양		**	ns	*	ns	ns
관수		ns	ns	ns	**	ns

[^] 평균±표준오차

^{ns} $P>0.05$; * $P<0.05$; ** $P<0.01$

<표 4>는 각 신초길이에 수종별 생체량회귀식을 적용하여 산정한 생체량을 분석한 결과이고, <표 5>는 신초길이로부터 생체량을 산정하기 위해 유도한 수종별 생체량회귀식을 보여준다. 수종별 생체량은 실험구 간 길이성장량 분석결과와 유사한 경향을 보였다. 이러한 결과는 성장길이의 비교 분석을 통해 생체량 차이를 어느 정도 대변할 수 있음을 의미한다. 수종별 생체량회귀식의 r^2 는 최소 0.79~최대 0.96으로서 적합도가 양호하고 통계적으로 유의하였다($P<0.0001$). 수종별 신초길이에 따른 생체량

변화는 신초길이가 길수록 생체량도 증가하였는데, 그 증가량의 변화는 수중에 따라서 선형 또는 비선형적 경향을 나타냈다.

<표 4> 식재수종의 실험구별 생존개체당 평균 생체량(g/주).[^]

실험구	개나리	진달래	조팝나무	자산홍	사철나무	
배합토	관수	4.0±0.6	8.6±1.8	17.1±2.4	10.6±0.8	14.7±2.8
	무관수	2.5±0.5	12.4±3.5	20.2±3.9	9.0±0.7	12.7±2.5
일반토	관수	21.2±4.8	9.4±1.6	32.8±4.4	10.1±0.8	10.2±2.7
	무관수	23.9±3.8	7.7±1.4	30.2±4.3	7.8±0.8	9.3±2.3
토양	**	ns	**	ns	ns	
관수	ns	ns	ns	*	ns	

[^] 평균±표준오차

^{ns} P>0.05; *P<0.05; **P<0.01

<표 5> 수종별 신초의 길이에 따른 생체량회귀식.

수종	회귀식*	r ²	P	n
개나리	Y=0.1436+0.0392X+0.0002X ²	0.96	<0.0001	25
진달래	Y=0.1384+0.0123X+0.0043X ²	0.82	<0.0001	21
조팝나무	Y=0.0977+0.0019X+0.0008X ²	0.96	<0.0001	30
자산홍	Y=0.0512+0.0269X	0.79	<0.0001	26
사철나무	lnY=-1.1765+0.8906 lnX	0.88	<0.0001	30

*Y : 생체량(g); X : 신초길이(cm)

식재수종의 성장량은 상기와 같이 토양 종류에 따라 개나리가 배합토와 일반토 간, 조팝나무는 배합토 관수와 일반토 관수 간 유의한 차이가 있었다. 이들 경우 외에는 토양 종류에 따른 식재수종의 성장량은 95% 신뢰수준에서 실험구 간 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 관수 유무에 따른 식재수종의 성장량은 자산홍을 제외한 4개 수종에서 실험구 간 유의한 차이가 없었다.

개나리와 조팝나무는 배합토에 비해 상대적으로 양분과 수분이 적은 일반토에서 오히려 성장량이 더욱 많았다. 이러한 결과는 이들 수종의 성장에 적합한 환경조건의 선호도에 기인하는 것으로 추측할 수 있다. 박용진 등(2003)에 의하면, 개나리는 토질은 그다지 가리지 않지만 약간 건조한 토양에서 성장속도가 빠르다고 보고하였

다. 한편으로는 토양수분이 높은 배합토에서 부엽토와 피트모스가 개나리의 성장에 역효과를 초래했을 수 있다. 향후, 에코스톤 내 토양수분과 유기질 토양 간 식물생장에 미치는 영향에 대한 보다 세부적인 보강연구가 필요하겠다.

식재수종의 고사 여부 및 성장량을 분석한 결과, 에코스톤의 식재구에 채우는 토양은 대체로 본 실험에 적용한 수준의 일반토양을 특별한 처리없이 그대로 사용하여도 무난한 것으로 나타났다. 또한, 에코스톤은 인위적인 관수 없이 자연적인 강우만으로도 본 실험에 적용한 수종들의 생육에 필요한 토양수분을 유지할 수 있는 것으로 판단된다.

초본인 별개미취의 실험구별 성장량을 비교한 결과는 <표 6>과 같다. 별개미취는 식재한 모든 개체가 고사없이 활착하였으며, 지하경의 발달과 번식에 따른 개체수도 증가하였다. 에코스톤 1개당 평균 개체수는 일반토 관수구에서 6.6개체로 가장 많았고, 타 실험구에서는 4.0~4.5개체로 커다란 차이없이 유사하였다. 개체당 평균 초장과 폭 역시 일반토 관수구에서 19.3cm 및 23.0cm로서 가장 컸다. 실험구 경계부에 식재된 개체는 고사여부만 파악하였고, 실험구 간 비교대상에서는 제외하였다.

에코스톤당 평균 체적을 기준으로 성장량을 비교하면, 일반토 관수구에서 27,741cm³로 타 실험구에 비해 가장 많았다(P<0.01). 다음으로 일반토 무관수구 12,352cm³, 배합토 무관수구 7,146cm³, 배합토 관수구 6,476cm³ 순이었는데, 이들 실험구 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 별개미취는 자산홍과 마찬가지로 일반토의 경우 관수 유무에 따라 성장량의

<표 6> 별개미취의 실험구별 성장량.*

실험구	n	개체수	초장(cm)	폭(cm)	체적(cm ³)	
배합토	관수	15	4.0±0.5	16.0±0.9	14.5±0.8	6,476±1,056
	무관수	14	4.0±0.4	14.9±1.0	15.8±1.3	7,146±1,239
일반토	관수	16	6.6±0.7	19.3±1.0	23.0±0.8	27,741±3,112
	무관수	16	4.5±0.5	15.1±1.2	19.5±1.2	12,352±3,118

*평균±표준오차

차이를 보였고, 무관수보다 관수 조건에서 생장이 더욱 양호한 것으로 나타났다.

4. 경관의 계절변화

식물생장에 따른 에코스톤 실험구 경관의 계절변화는 <그림 4~7>과 같다. 시공 당해 가을철에는 자산홍과 개나리에 의한 단풍경관이, 이듬해 봄철에는 개나리, 진달래, 조팝나무 및 자산홍에 의한 연속개화 경관이 연출되었다. 다만,

식재초기이고 여름철 이식 및 전정으로 인해 개나리와 진달래의 개화수가 다소 적었다. 에코스톤을 이용한 사면녹화는 목본식물을 직접 식재함으로써 조기녹화는 물론 식재시 의도한 경관 연출을 적절히 유도할 수 있었다. 그러나, 식재수목의 지엽이 치밀하지 못할 경우는 시공 직후 부분적으로 콘크리트면이 노출되어 불량경관을 야기할 수 있다. 식재시 지엽이 치밀한 적정크기의 수목선정과 배식에 신중을 기할 필요가 있다.



<그림 4> 2002년 여름철 실험구 전경(시공직후).



<그림 5> 2002년 가을철 실험구 전경(3개월 경과).



<그림 6> 2003년 봄철 실험구 전경(9개월 경과).



<그림 7> 2003년 여름철 실험구 전경(11개월 경과).

IV. 결 론

본 연구는 사면녹화용 블록인 에코스톤을 도로변 사면에 현장 시공하고, 토양 종류 및 관수 유무에 따른 식재식물의 생장을 파악하여 에코스톤의 사면녹화 공법으로서 유용성을 구명하였다. 실험용 토양은 쉽게 구입할 수 있는 일반토와 일반토, 부엽토, 인공토를 혼합한 배합토로 구분하였으며, 이들을 각각 관수 및 무관수로 관리하여 총 4종의 실험구를 대상으로 수행하였다. 식재식물종은 화목관목류 위주의 목본 5종 즉, 개나리, 진달래, 조팝나무, 자산홍 및 사철나무를 비롯해 초본인 별개미취이었다.

배합토의 토양양분은 국내 산림토양과 유사한 수준이었으며, 일반토의 경우는 산림토양보다 낮았다. 그리고 조정설계기준의 토양평가등급에 준하면, 배합토는 중하급에, 일반토는 하급에 해당하였다. 식재식물의 생존율은 목본의 경우 실험구에 따라 최소 90%에서 최대 97%로써 양호하였고, 초본인 별개미취는 모든 개체가 고사없이 활착하였다. 실험구별 성장량은 개나리, 조팝나무 등 일부 식물종에 한해 토양의 종류에 따라 95% 신뢰수준에서 다소 차이를 보였다. 관수 유무에 따라서는 초본인 별개미취가 일반토 실험구에서 성장량 차이를 보였으나 목본류의 경우는 자산홍 외에는 대체로 그 차이가 나타나지 않았다. 에코스톤의 식재구에 채우는 토양은 각 식재식물의 성장환경 적정조건에 따라 차이가 있을 수 있으나, 대체로 본 실험에 적용한 수준의 일반토양을 특별한 처리없이 그대로 사용하여도 무난한 것으로 나타났다. 그리고 에코스톤은 인위적인 관수없이 멸칭한 경우 자연적인 강우만으로도 본 실험에 적용한 식재식물의 생육에 필요한 토양수분을 유지하는 것으로 생각된다.

에코스톤을 이용한 사면녹화는 목본식물을 직접 식재함으로써 식재시 의도한 경관연출을 식재초기부터 적절히 유도할 수 있다. 또한, 식재식물의 선택에 따라서 자연생태계 천이 및 자연경관과 조화하도록 조성할 수 있으며, 건전한

자연환경 유지 및 보전이 가능한 공법이라 할 수 있겠다. 그러나, 식재수목의 지엽이 치밀하지 못할 경우는 시공 직후 부분적으로 콘크리트면이 노출되어 불량경관을 야기할 수 있다. 에코스톤 사면녹화는 지엽이 치밀한 적정크기의 수목선정과 배식, 그리고 콘크리트라는 재료의 개선을 필요로 한다. 본 실험에서 적용한 녹화공법은 고비용을 요할 수는 있지만 절토지의 급경사면 같은 녹화가 어려운 사면을 녹화할 경우 필요하다고 사료된다.

인 용 문 헌

- 김의영 · 김남춘 · 장진형 · 배선우. 2002. 급경사 비탈면의 녹화공법 개발 -종자 부착 리핑 네트공법을 중심으로-. 한국환경복원녹화기술학회지 5(4) : 61-69.
- 김재준 · 이재근. 2002. 자생수목의 종자를 이용한 절개지 복원 -THE EAST VALLEY C.C 사례를 중심으로-. 한국환경복원녹화기술학회지 5(4) : 70-79.
- 농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법.
- 박용진 · 박인환 · 방광자 · 백지성 · 신영철 · 이기의 · 이종석 · 주명철. 2003. 신고 조경수목학. 서울 : 향문사.
- 신우균. 1994. 옥상 및 인공지반조경과 식재설계 (한국조경학회편, "조경식재설계론"). 서울 : 문운당. pp. 275-310.
- 정진현 · 구교상 · 이충화 · 김춘식. 2002. 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. 한국임학회지 91(6) : 694-700.
- 정태건. 1999. 우리나라 道路綠花의 發展過程과 비탈면 綠花事業의 展望. 한국환경복원녹화기술학회지 2(1) : 88-93.
- 한국조경학회. 2002. 조경설계기준. 서울 : 기문당.
- 한성식 · 정경진. 1999. 식재용 블록을 이용한 옹벽 녹화 기법에 관한 연구(I). 한국환경복원녹화기술학회지 2(1) : 94-102.
- [http : //www.kma.go.kr/weather](http://www.kma.go.kr/weather)

接受 2004年 1月 2日