

모듈형 경사지붕 녹화시스템의 토양과 식물생육 모니터링*

류남형·이춘석

경남과학기술대학교 조경학과

Monitoring on the Soils and Plant Growth in Modular Sloped Rooftop Greening System*

Ryu, Nam-Hyong and Lee, Chun-Seok

Dept. of Landscape Architecture, Gyeongnam National University of Science and Technology.

ABSTRACT

The major objective of this study was to quantify the effects of substrate depth and substrate composition on the development of sedum etc., in a sloped rooftop (6 : 12 pitch) environment during a 4-year period. The experiment was conducted from 2006 October to 2010 December under several conditions without soil erosion control : two substrate depth (5cm, 10cm), four substrate composition (A5N3C2, A3N3C4, A6C4, G5L3C2; A : artificial lightweight soil, N : natural soil, G : granite decomposed soil, C : leave composite, L : loess), four sloped roof direction (E40°W, W40°N, S40°W, N40°E). In this experiment 4 sedum etc., were used; *Sedum sarmentosum*, *Sedum kamtschaticum*, *Sedum rupestre*, *Sedum telephium*, flowering herbs (mixed seed : *Taraxacum platycarpum*, *Lotus corniculatus*, *Aster yomena*, *Aster koraiensis*), western grasses (mixed seed : *Tall fescue*, *Creeping red fescue*, *Bermuda grass*, *Perennial ryegrass*). The establishment factor had two levels : succulent shoot establishment (sedum), seeding (flowering herbs, western grasses).

The major findings were as follows;

* 본 연구는 2008년 경남과학기술대학교 기성회 연구비에 의해 지원되었음.

First author : Ryu, Nam-Hyong, Dept. of Landscape Architecture, Gyeongnam National University of Science and Technology,

Tel : +82-55-751-3305, E-mail : nhryu@gntech.ac.kr

Corresponding author : Lee, Chun-Seok, Dept. of Landscape Architecture, Gyeongnam National University of Science and Technology,

Tel : +82-55-751-3305, E-mail : stoney@gntech.ac.kr

Received : 6 July, 2011. **Revised** : 6 September, 2011. **Accepted** : 30 September, 2011.

1. Enkamat, as it bring about top soil exfoliation, was unsuitable material for soil erosion control.
2. Sedum species exhibited greater growth at a substrate depth of 10cm relative to 5cm. All flowering herbs and western grasses established only at a substrate depth of 5cm were died. A substrate depth of 5cm was not suited in sloped rooftop greening without maintenance. If additional soil erosion control will be supplemented, a substrate depth of 10cm in sloped rooftop greening without maintenance was considered suitable.
3. For all substrate depth and composition, the most abundant species was *Sedum kamtschaticum*. The percentage of surviving *Sedum kamtschaticum* was 73.4% at a substrate depth of 10cm in autumn 2007 one year after the roof vegetation had been established. But the percentage of surviving other sedum were 33.3% ~ 51.9%, therefor mulching for soil erosion control was essential after rooftop establishment in extensive sloped roof greening was proved. To raise the ratio of plant survival, complete establishment of plant root at substrate was considered essential before rooftop establishment.
4. There was a significant interaction between biomass and substrate moisture content. There were also a significant difference of substrate moisture and erosion among substrate composition. The moisture content of A6C4 was highest, the resistance to erosion of A5N3C2 was highest among substrate composition. The biomass of plants were not significantly higher in A5N3C2 and A6C4 relative to A3N3C4 and G5L3C2, For substrate moisture and erosion resistance, A5N3C2 and A6C4 were considered suitable in sloped rooftop greening without maintenance.
5. There were significant difference among roof slope direction on the substrate moisture. Especially, the substrate moisture content of S40°W was lower relative to that of N40°E, that guessed by solar radiation and erosion.

Key Words : *Substrate Depth, Substrate Composition, Substrate Moisture & Erosion, Plant Development.*

I. 서 론

옥상녹화는 에너지보전을 포함하는 많은 부가적인 이점을 제공하며, 시각적으로 즐거운 거주 환경을 제공할 뿐만 아니라, 지붕재의 수명을 증가시키며, 소음과 대기오염을 저감시키고, 도시 생물다양성을 증가시킨다(Getter et al., 2009; OBERNDORFER, 2007). 이러한 옥상녹화의 긍정적인 효과가 꾸준히 보고되면서 국내에도 근래에 들어 보급이 확산되고 있는 추세이다. 선진국의 경우 경사지붕 녹화시장도 급속히 성장하고 있으나, 국내에서는 외국의 기술을 그대로 차용하는 등의 해결해야 할 문제들이 있고 경사지붕 녹화에 대한 연구는 희소하다. 아울러 건물의 하

중과 비용 때문에 깊은 토심의 고관리 녹화지붕에 비해 얇은 토심의 저관리형 녹화지붕을 주로 도입한다. 따라서 옥상녹화의 보급을 확대하기 위해서는 경사지붕을 대상으로 우리나라 환경과 실정에 적합한 저관리 경량형의 제품 및 기술에 대한 지속적인 개발이 요구되고 있다.

경사지붕의 생육기반은 미끄러져 내리거나 바람이나 강우에 의해 유실될 위험이 있으므로, 전단력이나 침식에 견딜 수 있는 예방책이 필요하다. 따라서 경사가 10° 이상인 경우는 미끄럼 및 침식 방지를 위한 추가적인 조치가 필요하며, 30° 이상의 경사지붕에서는 녹화를 하지 않을 것을 권장하고 있다(Pomegrante-Center, 2005). 침식을 방지 또는 완화하기 위해서는 식생매트를

도입하거나 칸막이 또는 모듈형 옥상녹화시스템 (Modular Roof Greening System)을 사용한다. 모듈형 옥상녹화시스템은 일정한 크기의 식재 상자를 만들고 이들을 연결하여 옥상녹화를 하는 방법이다. 이 방법은 옥상녹화의 설계, 조성 및 관리에 있어서 획기적인 개선 효과를 얻을 수 있으며, 시공이 간편하고 시공기간을 줄여줄 뿐 아니라 설치 후 보수와 관리가 쉽다는 장점을 갖고 있다(김동욱 등, 2004).

지붕녹화용 수종선정은 혹독한 도시환경 때문에 어렵다. 왜냐하면 식물은 얇은 토심으로 인한 온도와 건조에 생존이 좌우되기 때문이다(Getter et al., 2009). 일사량은 식물생육에 직간접적으로 영향을 주며, 수중에 따라 영향이 달라진다. 특히 경사지붕에서는 향의 차이로 인한 일사량의 차이가 식물의 성장에 영향을 준다(Getter et al., 2009). 시비를 하지 않는 저토심 녹화지붕에서는 장기적으로는 이끼가 우점하지만, 다육식물은 이끼와 경쟁하면서 생존한다(Emilsson, 2008).

저토심 옥상녹화에 있어서 하중과 식물생장으로 고려한 적정 토심의 확보는 매우 중요하다. 기존의 연구 결과 80mm로부터 100mm 토심의 생육기반은 썩의비름속 식물과 잔디를 지탱할 수 있으며(Christine et al., 2009), 옥상녹화용 식생매트를 위한 적정 토심으로 10cm를 제시한 바 있다(이은희 등, 2005).

녹화지붕 방수막의 내구연한이 최소 45년이기 때문에 양생의 되는 첫 몇 년보다 장기간의 생육이 중요하다. 녹화지붕에서 초기에 생존하는 식물도 기후와 다른 인자들로 인해 장기간 생존할 수 없을 수도 있다(Getter and Rowe, 2008). 그러므로 식물생육에 대한 1-2년의 연구 자료로 식물의 장기적인 생육에 대한 예측을 하는 데는 한계가 있다고 판단된다. 이러한 문제점을 인식하고 최근에는 저토심 옥상녹화에 대한 3년간(Emilsson, 2008; 장하경·이은희, 2011) 또는 4년간(Getter et al, 2009)의 식물생육 모니터링에 대한 연구결과를 보고한 바 있다.

따라서 본 연구는 무관리 저토심 경사지붕녹화 시공 1년 후의 모니터링과 4년 후의 조사 결과를 바탕으로 세덤 등의 식물 생육에 영향을 주는 토심, 토양구성 및 지붕향의 효과를 측정하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시재료

1) 1차 실험

경사지붕 녹화를 위해서 1차 실험에서는 비탈면 녹화의 시공지침 중 구배 1 : 1 이하의 완만한 경질토 또는 자갈 섞인 토사 지역의 시공두께 5cm(한국도로공사, 2005)를 참고하고, 하중의 부담을 줄이기 위해 저토심(5cm)으로 하였다. 식재틀은 재료구입의 용이성을 감안하여 옥상녹화용 모듈제품은 아니지만 포장용 틀로 개발되어진 H사 500×500×T72 규격의 기성제품인 모자이크 스텝을 사용하였다. 식생기반재는 저토심녹화에 주로 사용하는 혼합토양 2종류 즉 마사토 : 황토 : 부엽토를 부피비로 5 : 3 : 2로 혼합한 토양과 경량토양 : 자연토양을 부피비로 6 : 4로 혼합한 토양, 경량토양 그리고 경량체인 경석과 화산석을 사용하였다. 녹화식물은 비탈면 녹화시 주로 사용하는 초화류(*Taraxacum platycarpum*, *Lotus corniculatus*, *Aster yomena*, *Aster koraiensis* 혼합종자), 서양잔디(*Tall fescue*, *Creeping redfescue*, *Bermuda grass*, *Perennial ryegrass* 혼합종자) 그리고 저토심 옥상녹화용 식물인 돌나물(*Sedum sarmentosum*)을 사용하였고, 경석과 화산석 식생기반재에는 환경이 불량한 양지에 잘 생육하는 이끼(*Hypnum plumaeforme*) 및 고사리(*Pteridium aquilinum*)를 사용하였다. 토양의 유실방지를 위해 경석과 화산석을 제외한 식생기반재에는 앵커매트를 부설하였고, 토양의 보수력을 높이기 위해 저면에 암면을 부설하였으며, 저면으로의 유실방지를 위해 망을 설치하였다.

식재는 H사의 농장에서 시공하여 일정 기간 양생한 후 2005년 4월 26일 실험대상지인 경남

표 1. 1차 실험구 배치.

식재기반	토심 (cm)	공시식물	지붕 향	처리구 수
마 사 토(5) 황 토(3) 부 엽 토(2)	5	고 사 리	N40°E	14
		서양잔디	W40°N	14
		초 화 류	W40°N	14
			E40°S	14
			S40°W	14
경량토양	5	고 사 리	N40°E	14
경량토양(6) 자연토양(4)	5	돌 나 물	W40°N	14
화 산 석	5	고사리+이끼	N40°E	14
		돌 나 물	N40°E	14
		고 사 리	S40°W	14
경 석	5	고사리+이끼	N40°E	14
		돌 나 물	W40°N	14
		고 사 리	S40°W	14

과학기술대학교 종합농장 자연학습센터로 운반하여 양생을 거친 후에 2005년 6월 1일 경사지붕(지붕물매 5/10)에 시공하였다. 실험구의 단위크기는 50cm×50cm로 하되, 반복수는 경사지붕의 규격을 고려하여 14회로 하였다.

2) 2차 실험

경사지붕 녹화 2차 실험에서는 1차 실험의 결과를 참고하여 토심은 5cm에 토심 10cm(허근영 등, 2003a, 2003b; 김현수, 2003)를 추가하여, 두 가지 종류로 하였다.

식재물은 재료구입의 용이성을 감안하여 토심 5cm는 포장용 틀로 개발되어진 H사 500×500×T72 규격의 기성제품인 모자익과 스텝을 사용하였다. 토심 10cm는 식생기반 토심 10cm와 침식방지용 멀칭 두께 3~5cm를 고려한 T13cm~15cm인 모듈을 사용하여야 하나, 제품의 구득이 어려워 침식방지용 멀칭을 포기하고 평지붕 모듈형 옥상녹화시스템으로 개발되어진 E사의 기성제품인 에코톱을 사용하였다.

식생기반재는 저토심 인공지반 녹화시 인공토

표 2. 2차 실험구 배치.

식재기반	토심 (cm)	공시식물	지붕 향	처리구 수
경량토양(5) 자연토양(3) 부 엽 토(2)	5	돌 나 물	S40°W	7
		기 린 초		7
		루페스테		7
		텔레피움		7
		방 치		7
경량토양(6) 자연토양(3) 부 엽 토(2)	10	돌 나 물	W40°N	7
		기 린 초		7
		루페스테		7
		텔레피움		7
경량토양(3) 자연토양(3) 부 엽 토(4)	10	돌 나 물	W40°N	7
		기 린 초		7
		루페스테		7
		텔레피움		7
경량토양(6) 부 엽 토(4)	5	돌 나 물	S40°W	7
		기 린 초		7
		리플렉섬	N40°E	7
		텔레피움		7
경량토양(6) 부 엽 토(4)	10	돌 나 물	E40°S	7
		기 린 초		6
		루페스테		7
		텔레피움		7
		방 치		7
마 사 토(5) 황 토(3) 부 엽 토(2)	5	돌 나 물	S40°W	7
		기 린 초		7
		루페스테		7
		텔레피움		7
		방 치	7	
		초 화 류	N40°E	7
		서양잔디		7
방 치	7			

양보다는 혼합토양이 적절하다는 기존의 연구 결과(허근영 등, 2003a; 2003b)를 바탕으로 혼합비를 각기 달리한 혼합토양을 사용하였다. 즉 경

량인공토양 : 자연토양 : 부엽토를 부피비로 5 : 3 : 2, 3 : 3 : 4로 혼합한 토양(이하 각각 인공토(5)자연토(3)부엽토(2), 인공토(3)자연토(3)부엽토(4)라 한다), 마사토 : 황토 : 부엽토를 부피비로 5 : 3 : 2로 혼합한 토양(이하 마사토(5)황토(3)부엽토(2)라 한다), 경량인공토양 : 부엽토를 부피비로 6 : 4로 혼합한 토양(이하 경량토(6)부엽토(4)라 한다) 총 4종류를 공시재료로 하였다. 경량인공토양은 다공질 유리 파쇄물과 수피를 부피비로 6 : 4로 혼합하여 조성한 토양이다. 자연토양은 나지에서 채취한 양토(모래 46%, 미사 40%, 점토 14%)이다.

식재식물은 기존의 연구 결과 낮은 토심에서도 자랄 수 있다고 보고된 자생종(허근영 등, 2003a, 2003b)인 돌나물(*Sedum sarmentosum*), 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 외래종(김현수, 2003, 허근영, 2008)인 루페스테(*Sedum rupestre*), 텔레피움(*Sedum telephium*)을 토심 5cm와 토심 10cm에 사용하였고, 초화류(*Taraxacum platycarpum*, *Lotus corniculatus*, *Aster yomena*, *Aster koraiensis* 혼합종자)를 토심 5cm인 마사토(5) : 황토(3) : 부엽토(2)의 식재기반에만 대조용으로 사용하였다.

식재는 2006년 8월 22일 돌나물과 루페스테는 한 모듈당 36개체, 기린초와 텔레피움은 한 모듈당 9개체를 삼목하였으며, 2주일간 관수 후 발근이 된 것을 확인하였고 2006년 10월 13일 경사지붕 위에 설치하였다. 시비는 하지 않았으며, 관수는 시공 후 실험구 모두 무관수구로 하였다. 그리고 실험구의 단위크기는 50cm×50cm로 하

되, 반복수는 경사지붕의 규격을 고려하여 7회로 하였다.

2. 식생기반 및 식물생육 모니터링

식생기반의 모니터링 방법에는 토양의 이화학적 특성의 조사와 침식량 조사가 있는데(강규이·이은희, 2005; 서정일 등, 2010), 본 연구에서는 경사지붕임을 감안하여 토양수분 조사와 침식도 조사를 통해 식생기반 모니터링을 수행하였다.

식물생육 모니터링 방법에는 생존식물개체수 조사, 식물규격조사, 식물피복도조사, 생체중량조사, 식물활력도조사가 있는데(허근영 등, 2003b; 강규이·이은희, 2005; 장하경·이은희, 2011), 본 연구에서는 생존식물개체수조사와 생체중량 조사를 통해 식물생육 모니터링을 수행하였다.

1차 실험에서는 2006년 7월 30일 모듈을 모두 회수하여 식생기반별 안정성은 침식심도를 육안으로 모니터링하였고, 식물생육은 생존개체수나 식물활력도를 육안으로 모니터링하였다.

2차 실험에서는 시공 후 약 1년이 경과한 2007년 11월 2일과 약 4년이 경과한 2010년 12월 12일에 식생기반별 안정성 및 식물의 생육상황을 조사하였다. 2007년 11월 2일에는 식생기반은 침식심도 측정을 통해 모니터링하였고, 식물생육은 생존개체수를 통해 모니터링하였다. 2010년 12월 12일에는 식생기반은 모듈별 토양수분과 토양중량의 측정을 통한 상대적 침식량을 조사 및 분석을 하였고, 식물생육은 모듈별 식물생체중량의 측정을 통해 조사 및 분석을 하였다.

표 3. 모니터링 방법.

구분	모니터링 일자	모니터링 방법	일반적인 모니터링 방법
식생기반	2006년 7월 30일	침식심도 육안조사	토양의 이화학적 특성 조사 침식심도 조사
	2007년 11월 2일	침식심도 측정	
	2010년 12월 12일	토양수분 및 상대적 침식량 측정	
식물생육	2006년 7월 30일	생존개체수 및 식물활력도 육안조사	생존식물 개체수 조사, 식물활력도 조사 식물규격 조사, 식물피복도 조사
	2007년 11월 2일	생존개체수 측정	
	2010년 12월 12일	식물생체중량 측정	

3. 침식심도 및 생체중량 측정 및 분석

2차 실험에서 조사된 식물생존율, 침식심도, 생체중량, 침식량 및 토양수분에 대해서는 통계분석을 하였다. 통계분석은 SPSS 12.0 프로그램을 이용하여 T검증 및 ANOVA 분석을 실시하였고, 처리구 평균간 유의성 검정은 DMRT(Duncan's Multiple Ragne Test) 5% 수준에서 실시하였다. 또한 식생기반과 식물생육간의 상관관계를 파악하기 위해 회귀분석을 5% 수준에서 실시하였다.

1) 침식량 및 토양수분

일반적인 침식량을 측정하는 방법에는 시험사면 침식심도 측정법과 라이시미터법이 있는데(국립방재연구소, 2000; 서정일 등 2010), 본 실험에서는 침식심도 육안조사, 침식심도 측정, 상대적 침식량 측정을 통해 식생기반의 안정성을 모니터링하였다. 침식심도 측정은 12.5cm 간격의 격자를 만들고 격자의 교점 9곳에서의 깊이를 측정하였다. 상대적 침식량의 측정은 모듈별로 중량의 측정을 통해 산정하였다. 구체적으로는 모듈별 토양수분함량을 반영한 토양순중량을 측정하고, 토심 및 토양종류별 모듈 중 최대 무게를 나타낸 모듈의 토양순중량에 대한 상대적인 침식량을 산정하였다. 토양수분함량은 모듈별로 채취한 토양의 무게와 건조기에서 105℃로 24시간 건조시킨 무게를 근거로 산정하였다.

2) 생체중량

생체중량은 2010년 12월 실험이 종료된 시점에 식물체를 채취하여 뿌리부분의 흙을 씻어낸 후 저울(404±0.001g, Precisa Instrument)로 측정하여 생체중량을 구하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 1차 실험 모니터링

1) 식생기반

식생기반별 안정성을 고찰한 결과는 다음과 같다.



그림 1. 앵커매트 식생기반의 표토박리(2006.7.30).

저면에 부설한 저류용 암면은 모듈 수거시에도 포화상태를 보임으로써, 식생기반재의 건조방지효과가 있는 것으로 판단된다. 그리고 경량토양의 유실방지를 위해 설치한 앵커매트는 경량토양과 표토를 분리시켜(그림 1) 모관수공급을 방해하는 것으로 판단되므로 자연토양과 경량토양을 혼합한 기반을 조성한 후 경량토 유실 방지 및 식생층 도입을 위해 표토와 종자를 혼합 포설하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 또한 표토와 종자를 혼합 포설한 후 일정 기간이 지나 어느 정도 안정이 되면 그린블록 모자이크나 스텝의 칸막이가 토양유실을 억제할 수 역할을 할 수 있을 것이라 판단된다. 마지막으로 그린블록 스텝의 경우는 토양 유실보다는 토양안정에 따른 침하가 일어나 토심이 1cm 가량 낮아진 것으로 판단된다.

2) 식물생육

수종별 생육상황을 고찰한 결과는 다음과 같다.

2006년 9월 초 상태로 보면 마사토+황토+부엽토, 경량토, 경석 및 화산석을 기반으로 한 고사리는 성장하기 보다는 오히려 퇴화하였다. 따라서 고사리(*Pteridium aquilinum*)는 무관리 저토심 지붕녹화용 수종으로 부적합한 것으로 판단된다. 그리고 돌나물(*Sedum sarmentosum*)은 어떤 생육기반에도 잘 적응하는 것으로 판단된다(그림 2). 그리고 초화류(*Taraxacum platycarpum*, *Lotus corniculatus*, *Aster yomena*, *Aster koraiensis* 혼합종자)는 발아율이 낮아서 피복율이 현저하게 낮았으며, 지붕에 올린 후 무관수시 고사하였다. 따라서 충분한 토심의 확보 또는 관수를 통한 토양



그림 2. 시공 1년 후 고사리와 돌나물의 생육상황(2006. 7.30).

수분 함량의 제고를 고려해야 할 것으로 판단된다. 마지막으로 서양잔디류(*Tall fescue*, *Creeping red fescue*, *Bermuda grass*, *Perennial ryegrass* 혼합종자)는 초화류보다 발아율은 높으나 피복율이 낮은 것으로 판단되었으며, 지붕에 올린 후 무관수시 고사하였다. 따라서 충분한 토심의 확보 또는 관수를 통한 토양수분 함량의 제고를 고려해야 할 것으로 판단된다.

2. 2차 실험 모니터링

1) 생육환경

실험구의 4년간(2007년 3월~2010년 10월) 생육환경을 진주시상대(35°09'N, 128°02'E) 기상관측치를 근거로 분석한 결과 식물 생육에 직접적인 영향을 미치는 강수량의 경우 6월~9월(156mm~373mm, 적산강수량 1006mm)에 집중되고, 이 시기에는 강수량이 증발량(102mm~127mm, 적산증발량 472mm)을 초과함으로써 식물생육을 위한 수수지가 상대적으로 양호한 것으로 나타났다(그

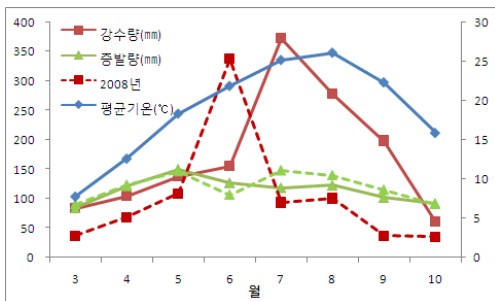


그림 3. 4년간(2007년 3월~2010년 10월) 및 2008년 평균 강수량, 증발량 및 기온.

림 3). 하지만 2008년 7월~9월(파선)에는 적산강수량이 230mm로서 적산증발량 405mm에 못 미치는 이상 기후를 보여 식물들이 수분스트레스를 받았을 것으로 추측된다. 그리고 6월~9월의 평균기온은 21.9°C~26.1°C를 나타냈다. 월별 평균풍속은 1.0m/s~1.5m/s로 나타났다.

2) 식생기반

2007년 11월 2일 모듈별로 모니터링한 결과를 근거로 토심에 따른 토양종류별 침식심도와 토심별 침식심도와 침식율을 분석한 결과는 표 4와 표 5와 같다. 비교가 가능한 남향의 토심 5cm 모듈에서의 토양종류별 침식심도는 인공토(3)자연토(3)부엽토(4)가 2.4cm, 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)가 2.1cm로 마사토(5)황토(3)부엽토(2)의 1.3cm에 비해 높게 나타났다. 이는 황토가 자연토양에 비해 응집력이 있어서 초기 1년 동안은 상대적인 내침식성이 높기 때문이라 판단된다. 토심 10cm 모듈에서의 토양종류별 침식 깊이는 인공토(6)부엽토(4)가 1.7cm, 인공토(3)자연토(3)부엽토(4)가 1.6cm로 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)의 1.3cm에 비해 높게 나타났으나, 인공토양(6)부엽토(4)와 인공토양(5)자연토양(3)부엽토(2) 사이에만 통계적인 유의차를 나타냈다. 이는 내침식성에서 보면 무관리 저토심 경사지붕녹화의 식생기반재로서는 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)가 인공토양(6)부엽토(4)보다 적합하다는 것을 나타낸 것이라 판단된다.

표 4. 토심에 따른 토양종류별 침식심도(cm).

토양종류	토심(cm)	
	5	10
인공토(5)자연토(3)부엽토(2)	2.1b ^z	1.3a
인공토(3)자연토(3)부엽토(4)	2.4b	1.6ab
인공토(6)부엽토(4)	-	1.7b
마사토(5)황토(3)부엽토(2)	1.3a	-

^z세로 열에서 평균값의 같은 문자는 최소유의차 분석 결과 유의성이 검증되지 않음을 나타냄(p=0.05).

토심별 침식심도는 토심 10cm 모듈이 1.5cm로 토심 5cm 모듈의 1.9cm보다 낮게 나타났으며, 모듈 초기 토양 대비 침식율도 토심 10cm 모듈이 15.2%로 토심 5cm 모듈의 27.1%보다 낮게 나타났다. 이는 시공 후 초기 1년 동안은 토심 5cm 모듈의 토양수분함량이 토심 10cm 모듈의 토양수분함량보다 상대적으로 낮아서, 토심 5cm 모듈에서 바람에 의한 침식이 상대적으로 많이 발생했기 때문이라 생각된다.

표 5. 토심별 침식심도와 침식율.

변 수	토심 (cm)	표본 수	평균±표준오차	t값	p
침식심도 (cm)	5	126	1.9±0.07	3.232	0.001
	10	104	1.5±0.06		
침식율 (%)	5	98	27.1±1.46	6.893	0.000
	10	83	15.2±0.66		

p : p값은 등분산을 가정한 t검정으로 구함.



그림 4. 식생기반제별 침식현황(2007.11.2).

3) 식물생육

2007년 11월 2일 모듈별로 모니터링한 결과를 근거로 토심에 따른 수종별 평균 생존율을 분석한 결과는 표 6과 같다. 토심 5cm 모듈에서는 기린초(*Sedum kamschaticum*)가 20.1% 상대적으로 높은 생존율을 보였으나 통계적인 유의차는 없었는데, 이는 고사한 식물들이 많았기 때문이라 판단된다. 그리고 초화류(*Taraxacum platycarpum*, *Lotus corniculatus*, *Aster yomena*, *Aster koraiensis* 혼합종자)와 서양잔디류(*Tall fescue*, *Creeping redfescue*, *Bermuda grass*, *Perennial ryegrass* 혼합종자)는 모두 고사하였다. 토심 10cm 모듈에서는 기린초(*Sedum kamschaticum*) 73.4% > 루페스테(*Sedum rupestre*) 51.8% > 돌나물(*Sedum sarmentosum*) 42.2% > 텔레피움(*Sedum telephium*) 33.3% 순으로 나타났으나, 돌나물과 텔레피움 사이에는 통계적인 유의차는 없었다. 침식방지를 위한 멀칭을 하지 않았음에도 불구하고 기린초가 높은 생존율을 보인 것은 경사지붕 녹화용 수종으로서의 기린초의 적합성을 보여주는 것이라 판단된다. 토심 5cm 모듈에서의 식물 생존율이 토심 10cm 모듈에서의 식물 생존율보다 매우 낮게 나타났으며, 이는 토심 5cm는 경사지붕녹화를 위한 생육기반으로서 부적합하다는 것을 보여주는 것이라 판단된다. 아울러 무관리 저토심 경사지붕녹화시 침식방지를 위한 멀칭은 필수적이라

표 6. 토심에 따른 수종별 생존율(%).

식물 종류	토심	
	5cm	10cm
돌 나 물	0.40a ^z	42.2a
기 름 초	20.1a	73.4c
루페스테	11.1a	51.9b
텔레피움	9.5a	33.3a
초 화 류	0.0	-
서양잔디	0.0	-

^z세로 열에서 평균값의 같은 문자는 최소유의차 분석 결과 유의성이 검증되지 않음을 나타냄(p=0.05).

는 것을 반증하는 결과이기도 하다. 세덤류 삽목에 의한 무관리 저토심 경사지붕 녹화를 위해서는 초기활착이 매우 중요하며, 강우에 의한 토양유실이 호우기에 집중됨을 감안하여 호우기 이전에 활착을 완료시킨 후 경사지붕에 설치하는 것이 식물생존율을 높일 수 있을 것이라 판단된다.

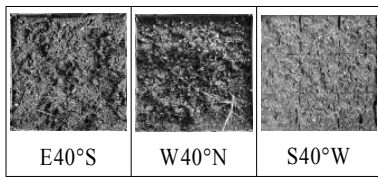


그림 5. 돌나물 생육상황(2007.11.2).

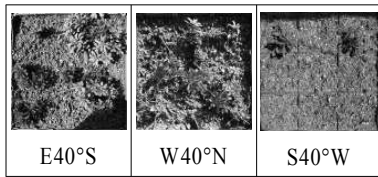


그림 6. 기린초 생육상황(2007.11.2).

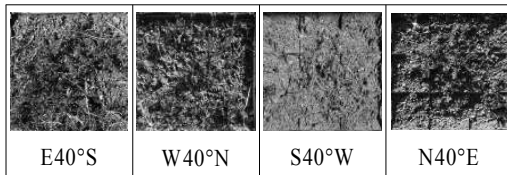


그림 7. 루페스테 생육상황(2007.11.2).

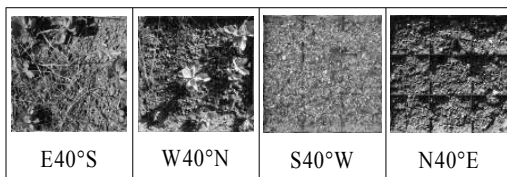


그림 8. 텔레피움 생육상황(2007.11.2).

3. 2차 실험 결과 측정 및 분석

시공 후 약 4년이 경과한 2010년 12월 12일 모듈을 모두 수거해서 토양침식 및 토양수분 그리고 식물생체중량 측정 및 분석 결과는 다음과 같다.

1) 토양침식

토심 5cm 모듈에서에서의 상대적 토양침식량은 마사토(5)황토(3)부엽토(2) 1,301g > 인공토(5)자연토(3)부엽토(2) 1,179g > 인공토(6)부엽토(4) 846g 순으로 높게 나타났으나, 마사토(5)황토(3)부엽토(2)와 인공토(6)부엽토(4) 사이에만 통계적 유의차를 보였다(표 7). 이 결과는 2007년 11월 2일의 토심에 따른 침식심도 모니터링 결과와 상반되는데, 이는 마사토(5)황토(3)부엽토(2)는 시공 후 1년이 경과한 후에도 지속적인 침식이 일어났기 때문이라 생각된다. 토심 10cm 모듈에서의 토양침식량은 인공토(3)자연토(3)부엽토(4) 1,653g > 인공토(6)부엽토(4) 1,421g > 인공토(5)자연토(3)부엽토(2) 1230g 순으로 높게 나타났으나 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)와 인공토(3)자연토(3)부엽토(4)사이에만 통계적인 유의차가 나타났다(표 7). 이는 내침식성에서 보면 무관리 저토심 경사지붕녹화의 식생기반재로서는 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)가 인공토(3)자연토(3)부엽토(4)보다 적합하다는 것을 나타낸 것이라 판단된다.

표 7. 토양종류별 침식량(g).

토양종류	토심(cm)	
	5	10
인공토(5)자연토(3)부엽토(2)	1179ab ²	1231a
인공토(3)자연토(3)부엽토(4)	-	1653b
인공토(6)부엽토(4)	846a	1421ab
마사토(5)황토(3)부엽토(2)	1301b	-

²세로 열에서 평균값의 같은 문자는 최소유의차분석 결과 유의성이 검증되지 않음을 나타냄(p=0.05).

표 8. 토심별 침식량과 침식율.

변수	토심 (cm)	표본 수	평균± 표준오차	t값	p
침식량 (g)	5	126	1140±74.9	3.207	0.002
	10	104	1490±78.0		
침식율 (%)	5	126	18.0±1.13	3.817	0.000
	10	104	12.7±0.65		

p : p값은 등분산을 가정한 t검증으로 구함.

표 9. 향별 침식량.

변수	토양종류	향	표본 수	평균±표준오차	t값	p
침식량 (g)	인공토(6)부엽토(4)	S40°W	14	1152±191.5	2.524	0.017
		N40°E	21	642±105.0		
	마사토(5)황토(3)부엽토(2)	S40°W	35	1477±159.6	2.014	0.049
		N40°E	21	1006±141.6		

p : p값은 등분산을 가정한 t검정으로 구함.

토심별 상대적 침식량은 토심 10cm 모듈이 1,490g으로 토심 5cm 모듈의 1,140g보다 높게 나타났으며, 상대적 침식율은 각각 18.0%(토심 5cm), 12.7%(토심 10cm)로 나타났다(표 8). 이 결과는 2007년 11월 2일의 토심에 따른 침식심도 모니터링 결과(표 5)와 상반되는데, 이는 토심 10cm 모듈의 경우 침식될 수 있는 토양이 상대적으로 많이 남아 있어서 토심 5cm 모듈에 비해 상대적으로 지속적이면서 많은 침식이 일어났다는 것을 보여주는 결과라고 판단된다. 이는 무관리 저토심 경사지붕녹화시 침식방지를 위한 멀칭이 필수적이라는 것을 다시 한번 반증하는 결과이기도 하다.

비교가 가능한 토심 5cm인 남서향과 북동향의 인공토(6)부엽토(4)와 마사토(5)황토(3)부엽토(2)를 대상으로 향별 침식량을 비교한 결과, 인공토(6)부엽토(4)는 남서향(1,152g)이 북동향(642g)에 비해, 많이 나타났으며, 마사토(5)황토(3)부엽토(2)는 남서향(1,477g)이 북동향(1,006g)에 비해 많이 나타났다(표 9). 이는 남서향이 북동향에 비해 일사량 많아 토양수분함량이 상대적으로 낮으므로(Getter et al, 2009) 바람에 의한 침식이 상대적으로 많이 발생했기 때문이라 판단된다.

모듈의 설치높이에 따른 토양침식량은 상부(모듈 1,2)가 1,729g으로 중간부(모듈 3,4,5,6) 1,211g 및 1,007g과 하부(모듈 7) 1,190g에 비해 상대적으로 많이 나타났다(표 10). 이는 상부는 중간부나 하부에 비해 상대적으로 바람에 많이 노출되고 상부에서 공급되는 토양이 없어서 침식량이 상대적으로 많다는 것을 보여주는 것으로

표 10. 설치높이에 따른 침식량.

설치높이		침식량(g)
고 ↑ 저	1(모듈 1, 2)	1729b
	2(모듈 3, 4)	1211a
	3(모듈 5, 6)	1007a
	4(모듈 7)	1190a

²세로 열에서 평균값의 같은 문자는 최소유의차 분석 결과 유의성이 검증되지 않음을 나타냄(p=0.05)

판단된다. 따라서 향후 무관리 저토심 경사지붕 녹화시 경사지붕 상단부에 대해서는 보다 철저한 침식방지대책을 강구하여야 할 것으로 판단된다.

2) 토양수분

토심에 따른 토양수분함량은 토심 10cm 모듈이 27.5%로 토심 5cm 모듈의 12.8%에 비해 높게 나타났다(표 11). 이는 토심이 깊을수록 증발에 대한 저항이 높기 때문이라 판단되며, 토심 5cm 모듈이 토심 10cm, 15cm 모듈보다 수분손실이 크다는 기존의 연구결과(Getter et al, 2008)와도 같은 경향을 보였다.

비교가 가능한 토양종류에 따른 토양수분함량은 토심 5cm 모듈에서는 인공토양(6)부엽토(4)가

표 11. 토심별 토양수분함량.

변수	토심 (cm)	표본 수	평균±표준오차	t값	p
토양수분 함량(%)	5	126	12.8±0.80	14.132	0.000
	10	104	27.5±0.59		

p : p값은 등분산을 가정한 t검정으로 구함.

표 12. 토양종류별 토양수분함량.

변수	토심(cm)	향	토양종류	표본 수	평균±표준오차	t값	p
토양수분함량 (%)	5	S40°W	인공토(5)자연토(3)부엽토(2)	35	5.7±0.79	3.776	0.000
			인공토(6)부엽토(4)	14	11.2±1.11		
			인공토(5)자연토(3)부엽토(2)	35	5.7±0.79	1.854	0.068
			마사토(5)황토(3)부엽토(2)	35	8.4±1.15		
			인공토(6)부엽토(4)	14	11.2±1.11	1.450	0.154
			마사토(5)황토(3)부엽토(2)	35	8.4±1.15		
	N40°E	인공토양(6)부엽토(4)	21	25.0±0.91	3.218	0.003	
		마사토(5)황토(3)부엽토(2)	21	21.1±0.77			
	10	W40°N	인공토(5)자연토(3)부엽토(2)	35	24.0±0.54	0.316	0.753
			인공토(3)자연토(3)부엽토(4)	35	24.2±0.47		

p : p값은 등분산을 가정한 t검증으로 구함.

각각 11.2%와 25.0%로 인공토양(5)자연토양(3)부엽토(2) 5.7%와 마사토(5)황토(3)부엽토(2) 8.4%와 21.1%에 비해 높게 나타났다(표 12). 이는 인공토양(6)부엽토(4)가 그 밖의 공시토양에 비해 상대적으로 식물생육에 유리한 수분환경을 제공할 수 있음을 나타내는 것이며, 인공토(6)부엽토(4)가 마사토(5)황토(3)부엽토(2)에 비해 유효수분함량이 높기 때문인 것으로 판단된다(표 19). 토심 10cm 모듈에서는 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)와 인공토(3)자연토(3)부엽토(4)가 비슷한 토양수분함량을 나타냈으나 통계적 유의성은 없었다.

비교가 가능한 인공토(6)부엽토(4)와 마사토(5)황토(3)부엽토(2)를 대상으로 한 향별 토양수분함량은 북동향의 인공토(6)부엽토(4)와 마사토(5)

황토(3)부엽토(2)가 각각 25.0%, 21.3%로 남동향의 11.2%, 8.4%에 비해 높게 나타났다(표 13). 이는 북동향이 남서향에 비해 일조량이 적기 때문인 것으로 판단된다(Getter et al., 2009).

모듈의 설치높이에 따른 토양수분함량은 하부(모듈 7)가 24.2%로 상부(모듈 1,2) 17.3%에 비해 상대적으로 높게 나타났다(표 14). 이는 하부가 상부에 비해 침식을 적게 받음으로써 상대적으로 깊은 토심을 유지하면서 증발에 대한 저항이 상대적으로 높기 때문이라 판단된다.

3) 생체중량

식물종류별 생체중량은 토심 5cm 모듈에서는 기린초(*Sedum kamtschaticum*) > 텔레피움(*Sedum telephium*) > 루페스테(*Sedum rupestre*) > 들나물

표 13. 향별 토양수분함량.

변수	토심(cm)	토양종류	향	표본 수	평균±표준오차	t값	p
토양수분함량 (%)	5	인공토(6)부엽토(4)	S40°W	14	11.2±1.11	9.570	0.000
			N40°E	21	25.0±0.91		
		마사토(5)황토(3)부엽토(2)	S40°W	35	8.4±1.15	7.960	0.000
			N40°E	21	21.3±0.76		

p : p값은 등분산을 가정한 t검증으로 구함.

표 14. 설치높이에 따른 토양수분함량.

설치높이		중량수분 함량(%)
고 ↑ 저	1(모듈 1, 2)	17.3a ^z
	2(모듈 3, 4)	18.3ab
	3(모듈 5, 6)	20.4ab
	4(모듈 7)	24.2b

^z세로 열에서 평균값의 같은 문자는 최소유의차분석 결과 유의성이 검증되지 않음을 나타냄(p=0.05).

(*Sedum sarmentosum*) 순으로 나타났으나, 통계적 유의차는 없었다(표 15). 이는 토심 5cm 모듈에서는 고사한 식물이 많기 때문이라 판단된다. 토심 10cm 모듈에서 식물의 생체중량은 기린초(*Sedum kamtschaticum*) > 텔레피움(*Sedum telephium*) > 루페스테(*Sedum rupestre*) > 돌나물(*Sedum sarmentosum*) 순으로 나타났으나, 돌나물과 루페스테 사이에는 통계적 유의차는 없었다(표 15). 이는 기린초와 텔레피움은 근경형으로서 키가 크게 자라며, 돌나물과 텔레피움은 포복형으로서 키가 낮게 자라는 생육형의 차이 때문이라 판단된다(장하경·이은희, 2010). 그리고 기린초와 텔레피움의 생체중량 차이는 시공 1년 후의 생존율 차이에 기인한 것으로 판단된다(표 6).

서양잔디류(*Tall fescue*, *Creeping redfescue*, *Bermuda grass*, *Perennial ryegrass* 혼합종자)와 초화류(*Taraxacum platycarpum*, *Lotus corniculatus*,

표 15. 토심에 따른 식물종류별 생체중량(단위 : g).

식물종류	토심(cm)	
	5	10
돌나물	0.8a ^z	113.9a
기린초	130.1a	257.1b
루페스테	5.9a	120.0a
텔레피움	13.2a	206.7c

^z세로 열에서 평균값의 같은 문자는 최소유의차분석 결과 유의성이 검증되지 않음을 나타냄(p=0.05).

Aster yomena, *Aster koraiensis* 혼합종자)는 토심 5cm 모듈에서 모두 고사하였다. 이는 5cm의 저토심에서 세덤을 제외한 서양잔디류나 초화류는 생육할 수 없으며, 무관리 저토심 경사지붕 녹화시 토심 5cm는 식물 생육기반이 될 수 없다는 것을 반증하는 것이라고 판단된다.

토심 5cm 모듈에서 토양종류에 따른 식물의 생체중량은 기린초(*Sedum kamtschaticum*)는 마사토(5)황토(3)부엽토(2)에서 314.5g으로 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)의 51.3g과 인공토(6)부엽토(4)의 24.5g에 비해 높게 나타났으나, 그 밖의 공시식물의 경우에는 토양종류에 따른 생체중량 사이에 통계적 유의차는 없었다(표 16). 이는 토심 5m 모듈에서는 고사한 식물이 많기 때문이라 생각되며, 무관리 저토심 경사지붕 녹화시 토심 5cm는 식물 생육기반으로 부적합하다는 것을 반증하는 것이라고 판단된다.

표 16. 토심 5cm의 토양종류에 따른 식물종류별 생체중량(단위 : g).

토양종류	향	식물 종류			
		돌나물	기린초	루페스테	텔레피움
인공토(5)자연토(3)부엽토(2)	S40°W	2.3a ^z	51.3a	0.0	0.0
	N40°E	-	-	-	-
인공토(6)부엽토(4)	S40°W	0.0a	24.5a	-	-
	N40°E	-	-	2.7	39.6
마사토(5)황토(3)부엽토(2)	S40°W	0.0a	314.5b	15.1	0.0
	N40°E	-	-	-	-

^z세로 열에서 평균값의 같은 문자는 최소유의차분석 결과 유의성이 검증되지 않음을 나타냄(p=0.05).

표 17. 토심 10cm의 토양종류에 따른 식물종류별 생체중량(단위 : g).

토양 종류	향	식물 종류			
		돌나물	기린초	루페스테	텔레피움
인공토(5)자연토(3)부엽토(2)	W40°N	104.0a ²	219.7a	144.4a	185.8a
인공토(3)자연토(3)부엽토(4)		102.7a	218.1a	113.8a	157.4a
인공토(6)부엽토(4)	E40°S	134.9a	346.4a	189.2a	276.9b

²세로 열에서 평균값의 같은 문자는 최소유의차분석 결과 유의성이 검증되지 않음을 나타냄(p=0.05).

토심 10cm 모듈에서 식물의 생체중량은 인공토(6)부엽토(4) > 인공토(5)자연토(3)부엽토(2) > 인공토(3)자연토(3)부엽토(4) 순으로 나타났으나, 텔레피움(*Sedum telephium*)을 제외하고는 통계적 유의차는 없었다(표 17). 이는 토심 10cm 모듈에서도 2008년 여름철에 증발량이 강수량을 초과하는 이상기후(그림 3)로 인해 고사한 식물이 많았기 때문이라 판단된다. 또한 토심 10cm도 경사지붕녹화 생육기반으로서의 기능이 완전하지 못함을 반증하는 결과이며, 침식 방지 등의 필수적인 조치의 필요성을 제기하는 결과이기도 하다.

향에 따른 식물의 생체중량은 토심 5cm 모듈에서는 북동향 21.1g으로 남서향의 11.4g에 비해 높게 나타났으나, 통계적 유의차는 없었다(표 18). 이는 모듈의 토양수분이 남서향의 모듈에서 고사한 식물이 많았기 때문이라 생각되며, 무관리 저토심 경사지붕 녹화시 토심 5cm는 식물 생육기반으로 부적합하다는 것을 반증하는 것이라고 판단된다. 토심 10cm 모듈에서 동남향이 210.0g으로 서북향의 155.7g에 비해 높게 나타났다. 이것은 향에 기인한 결과인지 토양종류에 기인한 결과인지는 비교할 자료가 없어 판단을 유보한다.

표 19. 토양종류별 보수력.

토양종류	포장용수량(%)	7Bar 중량수분함량(%)
인공토(5)자연토(3)부엽토(2)	29.8	10.4
인공토(3)자연토(3)부엽토(4)	27.4	10.8
인공토(6)부엽토(4)	39.3	12.0
마사토(5)황토(3)부엽토(2)	8.3	6.1

표 18. 향에 따른 식물생체중량.

변수	토심 (cm)	향	표본 수	평균± 표준오차	t값	p
식물 생체 중량 (g)	5	S40°W	42	11.4± 6.12	0.823	0.414
		N40°E	14	21.1± 8.74		
	10	E40°S	35	210.0±26.83	2.292	0.025
		W40°N	21	155.7±10.25		

p : p값은 등분산을 가정한 t검정으로 구함.

4) 식생기반과 식물생육의 상관관계

생육기반의 특성 중 식물생체중량과 가장 높은 정의 상관관계를 나타낸 것이 토양수분함량(R=0.548, p=0.05)이었다. 이는 저토심 경사지붕 녹화시 식생기반으로서의 토양을 선정할 때 보수력이 높고 내침식성이 좋은 토양을 선정하는 것이 필수적이라는 것을 시사한다. 포장용수량과 7Bar 중량수분함량을 기준으로 토양종류별 보수력을 비교하면 인공토(6)부엽토(4) > 인공토(5)자연토(3)부엽토(2) > 인공토(3)자연토(3)부엽토(4) > 마사토(5)황토(3)부엽토(2)로 나타났다. 보수력과 내침식성(표 7)을 고려하면, 본 연구의 공시재료 토양 중 인공토(6)부엽토(4)가 가장 좋고, 다

음으로 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)가 좋은 것으로 판단된다. 인공토(3)자연토양(3)부엽토(4)는 내침식성, 마사토(5)황토(3)부엽토(2)는 보수력과 내침식성의 측면에서 적합하지 않는 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 무관리 저토심 경사지붕환경에서의 세덤 등의 식물생육에 영향을 주는 토심 및 토양 종류, 지붕향의 효과를 검증하기 위하여 1차 실험과 2차 실험을 수행하였다. 2차 실험에서는 토심 5cm와 10cm 모듈에 혼합토양 4종류(인공토(5)자연토(3)부엽토(2), 인공토(3)자연토(3)부엽토(4), 인공토양(6)부엽토(4), 마사토(5)황토(3)부엽토(2))를 식생기반으로 하여, 세덤류 등((돌나물(*Sedum sarmentosum*), 기린초(*Sedum kamschaticum*) 루페스테(*Sedum rupestre*), 텔레피움(*Sedum telephium*), 초화류(*Taraxacum platycarpum*, *Lotus corniculatus*, *Aster yomena*, *Aster koraiensis* 혼합종자), 서양잔디류(*Tall fescue*, *Creeping redfescue*, *Bermuda grass*, *Perennial ryegrass* 혼합종자))을 삼목(세덤) 또는 과종(초화류, 서양잔디류, 토심 : 5cm, 향 : N40°E) 양생 후 경사지붕(지붕물매 : 5/10, 향 : E40°W, W40°N, S40°W, N40°E)에 설치하였다. 1차 실험과 2차 실험의 무관리 1년 후의 식물생육기반 및 식물생육에 대한 모니터링 그리고 무관리 4년 후의 식물생육기반 및 생체중량에 대한 측정 및 분석을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 1차 실험 결과 화산석과 경석 모듈에서는 공시식물이 고사하거나 쇠퇴하는 경향으로 보였으며, 토심 5cm에서의 침식방지를 위한 앵커매트는 표토박리현상을 일으키는 것으로 나타나, 침식방지용 자재로서는 부적합하였다.

2. 세덤류 생육은 토심 5cm에 비해 토심 10cm에서 양호하였으며, 토심 5cm 모듈의 초화류(*Taraxacum platycarpum*, *Lotus corniculatus*,

Aster yomena, *Aster koraiensis* 혼합종자)와 서양잔디류(*Tall fescue*, *Creeping redfescue*, *Bermuda grass*, *Perennial ryegrass* 혼합종자)는 전부 고사하였다. 무관리 저토심 경사지붕 녹화시 토심 5cm는 부적합하였으며, 토심 10cm는 침식방지를 위한 추가적인 조치를 한다면 경사지붕 녹화를 위한 생육기반기능을 할 수 있을 것이다.

3. 시공 1년 후 공시식물 중 기린초(*Sedum kamschaticum*)가 상대적으로 높은 73.4%의 생존율을 보여, 무관리 저토심 경사지붕 녹화수종으로의 가능성을 확인하였다. 하지만 그 밖의 공시식물의 생존율은 33.3% ~ 51.9%로 나타나, 경사지붕 녹화시 침식방지를 위한 멀칭은 필수적이라 것을 반증하였다. 세덤류 삼목에 의한 무관리 저토심 경사지붕 녹화를 위해서는 초기 활착이 매우 중요하며, 강우에 의한 토양유실이 호우기에 집중됨을 감안하여 호우기 이전에 활착을 완료시킨 후 경사지붕에 설치하는 것이 식물생존율을 높일 수 있을 것이다.

4. 생육기반의 특성 중 식물생체중량과 가장 높은 정의 상관관계를 나타낸 것이 토양수분함량($R=0.548$, $p=0.05$)이었다. 토양종류에 따라 침식량과 토양수분함량의 차이를 보였는데, 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)가 상대적으로 높은 내침식성을 보였으며, 인공토(6)부엽토(4)가 상대적으로 높은 보수력을 가진 것으로 나타났다. 인공토(6)부엽토(4)와 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)는 인공토(3)자연토(3)부엽토(4)와 마사토(5)황토(3)부엽토(2)에 비해 높은 생체중량을 보였으나 통계적 유의성은 없었다. 보수력과 내침식성을 고려하면 혼합토양 중 인공토(6)부엽토(4), 인공토(5)자연토(3)부엽토(2)가 상대적으로 적합한 것으로 판단된다.

5. 경사지붕의 향에 따라 생육환경으로서의 토양수분환경에 차이를 보였는데, 특히 남서향은 북동향에 비해 토양수분환경이 열악하였다. 이는 침식량 및 일조량의 차이에 의한 것으로 판단된다. 저토심 경사지붕의 녹화를 위한 본 연구는 경

사지붕녹화시 필수적인 침식방지를 위한 멀칭 미비로 인한 초기 1년 동안의 식물 고사와 시험구 배치 한계로 인해 경사지붕의 향과 토양의 종류에 따른 식물생육의 차이를 통계적으로 완전하게 검증하지 못한 아쉬움을 남겼다. 향후 침식방지를 위한 멀칭을 전제로 한 저토심 경사지붕 녹화 시험구를 대상으로 경사지붕의 향 및 경사도에 따른 생육환경 차이의 규명 그리고 침식방지를 위한 재료 및 공법에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

인 용 문 헌

국립방재연구소. 2000. 산지지역 토양침식 방지 대책과 향후 과제. p. 37.

김 동 욱 · 최 지 현 · 임 재 흥 · 심 규 섭 · 장 성 완 . 2004. 저관리·경관형 옥상녹화용 모듈 개발. 한국환경복원녹화기술학회 추계학술대회 논문집.

김현수. 2003. 한국형 Green Roof System 개발을 위한 Prototype 제안. 한국생태건축학회 논문집 3(3) : 3-11.

서정일·전근우·김석우·김민식. 2010 산불피해지에 있어서 강우패턴에 따른 침식토사량의 변화. 한국임학회지 99(4) : 534-545.

이 은 희 · 강 규 이 · 신 상 희 · 남 미 아 · 이 광 우 . 2005. 옥상녹화용 식생매트에 적합한 토양과 토심 선정. 한국환경복원녹화기술학회지 8(4) : 12-22.

장하경·이은희. 2010. 관리조방형 옥상녹화식물의 생활형 분석. 한국환경생태학회 학술대회논문집 20(1) : 261-265.

한국도로공사. 2005. 고속도로 비탈면 녹화 세부 지침.

허근영·김인혜·강호철. 2003a. 저토심 옥상녹화 시스템에서 돌나물(*Sedum sarmentosum*)

의 생육에 대한 인공배지 종류, 토심, 그리고 배수 형태의 효과. 한국조경학회지 31(2) : 102-112.

허근영·김인혜·류남형. 2003b. Effects of *Sedum kamschaticum* in extensive green roof systems. 한국조경학회지 31(4) : 90-100.

허근영. 2008. 지구온난화 조절 도시 : 경관에서 저토심 옥상녹화 시스템의 탄소 관리. www.konetic.or.kr/main/.../REPORT_VIEW.asp

Christine E. T., Robert D. B., and David J. Beattie. 2010. Green Roof Plant Responses to Different Substrate Types and Depths under Various Drought Conditions. HortTechnology 20(2) : 395-401.

Emilsson, T. 2008. Vegetation development on extensive vegetated green roofs : Influence of substrate composition, establishment method and species mix. Ecological Engineering 33 : 265-277.

Emilsson, T., and Rolf, K. 2005. Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden. Urban Forestry & Urban Greening 3 : 103-111.

Getter, K. L., and D. B. Rowe. 2008. Media Depth Influences Sedum Green Roof Establishment. Urban Ecosystems 11(4) : 361-372.

Getter, K. L., Rowe, D. B. Bert and M. Cregg. 2009. Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. Urban Forestry & Urban Greening 8 : 269-281.

OBERNDORFER. 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems : Ecological Structures, Functions, and Services. BioScience 57(10) : 823-833

Pomegranate Center. 2005. GREEN ROOF MANUAL.