

접착성 식생기반재의 침식저항능력 평가

Evaluation of Erosion Resistance Capability with Adhesive Soil Seeding Media

성시용^{1*}, 신은철²

Si-Yung Seong^{1*}, Eun-Cheol Shin²

¹Member, Doctor course, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Science, Incheon National University, 119, Academy-Ro, Yeonsu-gu, Incheon, Republic of Korea

²Member, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Science, Incheon National University, 119, Academy-Ro, Yeonsu-gu, Incheon, Republic of Korea

ABSTRACT

This paper describes vegetation based soil-media hydroseeding measures that have been previously applied as slope revegetation methods show problems such as insufficient binding force, drying, and insufficient organic matter. In particular, in the case of slope faces in regions where scattering is severe, a vicious circle exists in which remarkably low vegetation cover rates and increases in withering rates over time lead to further decreases in vegetation cover rates, which lead to further increases in erosion and scattering. Therefore, in the present study, environment friendly soil stabilizers were applied for resistance against erosion or scattering and engineering evaluations such as long-term immersion tests and flow resistance tests were conducted to determine appropriate mixing ratios. According to the results of long-term immersion tests utilizing environment friendly soil stabilizers and existing greening soil based materials, 100% collapse occurred at 30 hours and 40 days in the case of soil stabilizer mixing ratios of 0% and 2%, respectively. While the original form of the samples remained intact until the experiment was completed in the case of mixing ratios exceeding 4% indicating that 2% or higher soil stabilizer mixing ratios could affect the maintenance of forms even under extreme conditions. In addition, artificial rainfall tests were conducted on 40, 45, and 55 degree slope faces to evaluate the structural stability of vegetation based materials. Flow resistance tests were conducted on soil stabilizer mixing ratios of 0, 4, 8% to evaluate erosion resistance capability. Based on the results of the tests, environment friendly soil stabilizers applied for prevention of scattering or resistance against erosion by rainwater are considered to provide large effects to reduce losses and loss rates showed a tendency of decreasing rapidly when soil stabilizers were mixed.

요 지

본 논문은 기존에 적용되어 왔던 경사지 식생기반재의 침식저항능력이 부족한 문제점을 해결하기 위하여, 환경친화적인 토양안정제를 이용하여 침식저항능력을 평가하기 위한 연구를 수행하였다. 특히, 침식현상이 심한 지역에서의 경사면에서는 식생피복률의 저하와 식생의 노쇠화 현상이 반복적으로 발생하여 식생피복률의 저하를 초래하고, 이는 다시 침식과 흩날림을 초래하여 식생피복률의 저하를 더욱 심화시키는 악순환이 발생한다. 따라서, 본 연구에서는 환경친화적인 토양안정제를 이용하여 침식저항능력을 평가하기 위하여, 장기침수시험과 유속저항시험을 실시하여 적절한 혼합비율을 결정하였다. 환경친화적인 토양안정제와 기존 식생기반재를 이용한 장기침수시험 결과, 토양안정제 혼합비율이 0%와 2%인 경우 각각 30시간과 40일 후에 100% 붕괴가 발생하였다. 반면, 혼합비율이 4% 이상인 경우에는 실험이 종료될 때까지 원형을 유지하여 2% 이상 토양안정제 혼합비율이 침식저항능력을 유지할 수 있음을 시사한다. 또한, 40, 45, 55도 경사면에 인공강수시험을 실시하여 식생기반재의 구조적 안정성을 평가하였다. 유속저항시험은 토양안정제 혼합비율 0, 4, 8%를 실시하여 침식저항능력을 평가하였다. 시험결과, 환경친화적인 토양안정제를 이용하여 침식저항능력을 향상시키거나 침식저항능력을 유지하는 데는 큰 효과가 있는 것으로 판단되며, 침식손실률과 침식속도는 토양안정제를 혼합할수록 급격히 감소하는 경향을 보였다.

Keywords : Soil-media hydroseeding measures, Scattering, Soil stabilizer, Long-term immersion test, Flow resistance test

Received 25 Feb. 2015, Revised 30 Mar. 2015, Accepted 1 Apr. 2015

*Corresponding author

Tel: +82-32-835-4243; Fax: +82-32-835-0775

E-mail address: synala04@hanmail.net (S. Y. Seong)

1. 서론

국내의 지형은 많은 부분이 산지로 구성되어 있어 각종 개발행위로 인해 비탈면의 발생이 불가피하며 매년 개발과 관리를 위한 대상영역이 늘어나고 있는 추세이다. 대규모 건설 공사나 단지조성 시 발생하는 절개 지역 또는 구릉 지역에서는 하절기 강우나 동절기 강설에 의하여 토양 침식이 일어나고, 폭우나 태풍 또는 인위적인 하중제거 등으로 인하여 비탈면의 얇은 파괴나 붕괴가 발생하는데, 이로 인하여 대규모로 자연 산림 경관이 파괴 또는 훼손된다. 이를 방지하기 위해서는 반드시 표면의 보호가 필요하며 이와 같은 이유로 인공 녹화가 필수적인 사항으로 대두되고 있다.

비탈면은 안정과 녹화가 적절하게 이루어져야 토양유실을 방지하고 경관미를 조기에 회복시킬 수 있다(Kim, 1991). 여기서 녹화라 함은 인간의 개발 행위를 비롯한 각종 자연적인 현상에 의해 파괴된 자연을 인위적으로 녹지 재생하는 행위 또는 적극적인 방법에 의해 식물의 생육이 불가능한 환경조건을 개선하여 녹지를 창조할 수 있도록 하는 행위로 정의되고 있다.

기존의 인공토양 조성물들은 Fig. 1과 같이 살포 시공 후 녹화과정에서 토양 조성물이 강우에 의해 흘러내리는 침식이 일어나거나 건조한 기후 조건에서는 인공토양물의 흡착력이 부족하여 기존 토양과 이격 현상 및 균열 현상에 의해 인공 토양 조성물이 보습력이나 양분이 부족하여 식생이 불량해지거나 고사하기도 하는 문제점이 발생되고 있다.

또한, 기존의 녹화토들은 시공 후 입자들 사이의 접착력이 약하여 절개지의 경사가 심한 경우에는 시공하기 어렵고, 한파가 심할 시에는 균열이 생겨 수분의 증발이 심한

단점을 가지고 있다. 입자들 사이의 공극은 식물 뿌리의 활착에 따른 지지력을 약화시켜 식물이 성장하면서 뿌리가 확장하는 공간을 단단하게 받쳐주지 못하여 식물의 재배가 원활하게 이루어지지 않으며, 함습율을 떨어뜨려 수분의 공급이 이루어지지 않은 경우 발아된 씨앗이 고사해 버리는 문제점을 드러내고 있는 현실이다.

비탈면의 녹화를 위해 적용되고 있는 기존의 녹화토는 건식과 습식공법이 사용되고 있으며, 대부분의 기반재가 폐기물의 활용을 목적으로 슬러지나 하수오니 등을 사용하고 있다. 질소나 탄소의 제공을 목적으로 제지슬러지나 톱밥 등을 주재료로 활용하고 있으며, 식물뿌리의 활착을 위해 화강풍화토를 적용하고 있다. 그러나 많은 녹화공법이 충분한 영양분의 공급이 어렵고 화강풍화토를 30~50% 내외를 혼합하여 자중이 커 몇몇 재료의 접착성분만으로는 결합력을 확보하기 어려운 상황이다.

이에 따라 우수나 강한 바람 등에 의해 침식이 일어난 후 비산되어 일부 현장에서는 비산으로 인해 시야확보가 어려운 지역도 존재하고 있는 현실이다. 특히, 비산이 심한 지역의 비탈면은 식생피복율이 현저히 떨어지고 시간이 경과함에 고사율이 증가되어 피복율이 더 저하되고 또다시 침식이 증가하는 악순환이 이루어지고 있는 상황이다.

이러한 문제점을 보완하기 위한 연구로 녹화용 접착제의 효과와 생육에의 영향성을 평가하였다(Kim and Shin, 2005). 또한, 골재부산물을 퇴비 등과 혼합하여 모의경사 시험 등을 수행하고 녹화용 토양재료의 활용가능성을 검증하였다(Kim, 2008a). 이 외에도, 톱밥을 이용한 기반재에 대해 인공강우시험과 발아시험을 수행하여 새로운 비탈면녹화공법을 개발한 바 있다(Kim, 2008b).

그러나, 시공 후 비산이나 침식을 최대한 억제하고 입자간의 입단화나 결합력 강화를 촉진시킬 수 있는 방법에 대



(a) Erosion



(b) Drying of soil

Fig. 1. Problems of slope revegetation methods

Table 1. Physical properties of the soil stabilizer and cement

Classification		Specific gravity	Fineness (cm ² /g)	Setting test		
				Water content (%)	Start (Hour/min)	End (Hour/min)
SS		3,08	5,293	33,0	00:16	02:20
Portland cement	Medium	3,17	3,260	27,5	02:31	03:45
	Rapid Hardening Cement (1)	3,13	4,450	29,2	02:25	03:44
	Rapid Hardening Cement (2)	3,11	6,050	33,8	01:46	03:10

한 연구나 뿌리부의 활착이나 영양성분이 오랫동안 저장될 수 있는 공간의 확보에 대한 연구가 미진한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 침식이나 비산에 저항하기 위해 친환경 토양안정재를 활용한 기반재를 조성할 목적으로 장기침수시험과 우수저항시험과 같은 공학적 평가를 실시하여 적절한 배합비 결정을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 시료의 성질

2.1 토양안정재

본 연구에서는 녹화 기반재의 결합력 약화로 인한 침식을 저감시키고 식생의 활착을 위한 녹화토의 두께를 안정적으로 확보하기 위한 결합제로 식물기반의 토양안정재를 사용하였다. 실험에 사용된 토양안정재(soil stabilizer, SS)는 흙의 전단강도를 증가시켜 지반의 지지력과 내구성을 향상시키는 재료로 천연섬유에서 추출한 단섬유와 석회등을 혼합한 재료를 주원료로 하므로 독성이 없어 친환경적인 환경조성에 기여할 것으로 기대되며, 시공성이 우수하고 어느 토질에서도 사용이 가능하므로 산림공원의 관리도로, 산책로, 자전거 도로 등 쓰임새가 많은 것으로 알려져 있다(Kwon and Oh, 2012).

토양안정재는 Table 1과 같이 비중면적이 5,293cm²/g로 보통 포틀랜드 시멘트보다 1.6배 이상으로 고화성능이 우수한 것으로 평가된다(Chun, 2001). 토양안정재의 수화반응은 흙 속의 수분이 고화재의 산화칼슘과 반응하여 수산화칼슘(Ca(OH)₂)으로 변환하고 열의 발산으로 주변의 함수비를 저감시키고 흙 속에 풍부한 Ca²⁺를 공급하여 양이온 교환이 유발되고 점토의 확산 이중층이 줄어들어 지반 강

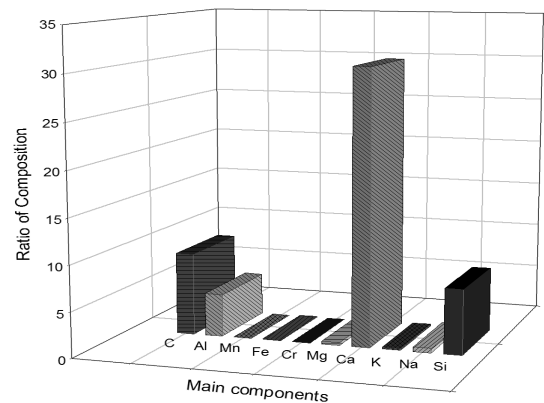


Fig. 2. Results of components analysis on SS

도가 증가한다(Park et al., 2014). 사용된 토양안정재의 주요 성분은 Fig. 2와 같이 Ca 30.36%, C 9.09%, Si 7.16%, Al 4.72%와 그 외의 무기물로 구성되어 있으며, 구성 주원소인 Ca와 Si가 CaCO₃와 SiO₂의 형태로 존재하는 것으로 나타났다.

2.2 녹화토 기반재

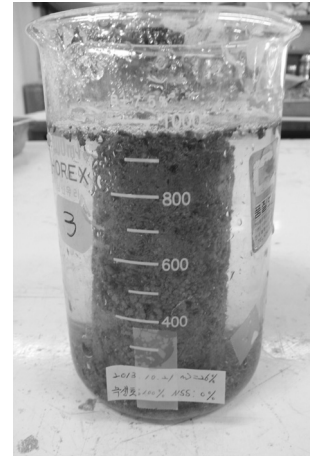
본 연구에서 사용된 녹화토 기반재는 하수오니와 톱밥, 제지슬러지, 화강풍화토로 구성되어 있다. 일반적으로 하수오니는 하수처리장에서 하수처리를 하고 남은 하수 침전물 찌꺼기로서 유기질 함량이 풍부하다는 특징이 있다. 제지슬러지는 펄프 입자 중 종이를 생산하고 남은 입자를 폐기, 탈수시킨 것으로 유기물이 다량 함유되어 있고 섬유질이 있다는 특징이 있다. 또한, 톱밥은 수분조절제와 팽화제로서의 역할을 수행할 수 있으며, 화강풍화토는 붉은 빛을 띠는 단립구조의 자연토양으로 화강암질 암석의 풍화잔적으로 종자 발아 시 발아 기반층이 되며, 원지반의 토양과 흡착력을 증대시키는 역할을 한다.

Table 2. Physical properties of soil

Initial moisture content	Unit weight	Liquid limit	Plastic index	Specific gravity	Cu	Cc	USCS
18.3%	19.3 kN/m ³	30.7%	7.5%	2.65	42.3	5.05	SC



(a) Specimen



(b) Test status

Fig. 3. Long-term immersion test

Table 3. Damage rate with immersion test

Time(Day) \ Ratio(%)	1	3	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120	130
0	-	5	20	100										
2	-	-	3	5	30	40	90	100						
4	-	-	-	-	-	1	2	4	6	7	8	9	9	10
6	-	-	-	-	-	1	1	1	1	2	2	2	2	3
8	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	2	2	2

이러한 기반재료는 제지슬러지와 화강풍화토가 각각 35, 32%를 차지하고 있으며, 하수오니와 톱밥이 18%와 10%, 기타의 연소재 등이 5%를 차지하도록 배합하고 실험에 사용하였다. 실험에 사용된 화강풍화토의 성질은 Table 2와 같다.

3. 내구성평가지험

3.1 장기침수시험

본 연구에서는 기존 녹생토 재료와 토양안정재로 구성된 혼합토의 내구성 또는 열화성능을 기존 공법과 비교·평가하고 각 재료의 혼합율을 결정하기 위해 장기침수시험을 수행하였다. 실험에서는 녹화토의 결합력 약화로 인한 침식을 저감시키고 식생의 활착을 위한 녹화토의 두께

를 안정적으로 확보하기 위해 결합제의 역할을 수행할 수 있도록 식물기반의 토양안정재를 사용하였다. 장기침수시험은 표면보호공법에 대한 내구성 평가기준이 존재하지 않아 극한 상황을 고려하여 수중에 침수한 후 시편 표면의 상태를 육안으로 관찰하고 재료의 분리나 연화상태를 평가하는 방법으로 수행하였다.

Fig. 3과 같이 장기침수시험을 위해 제작된 시편은 일정한 단위중량을 유지시키기 위해 양분된 몰드내에 3층으로 나누어 다짐을 수행하였으며 상대비교를 위하여 모든 시편의 함수비를 10%로 유지하였다. 그리고 토양안정제의 혼합율을 0, 2, 4, 6, 8%로 변경하고 초기강도 발현을 위해 2일간 기건 양생을 수행하였으며, 침식이나 붕괴가 발생할 때까지 총 130일간 시험을 시행하였다.

Table 3과 같이 장기침수시험 결과, 토양안정재가 포함되지 않은 경우, 침수 후 부분적으로 표면부의 탈락이 시

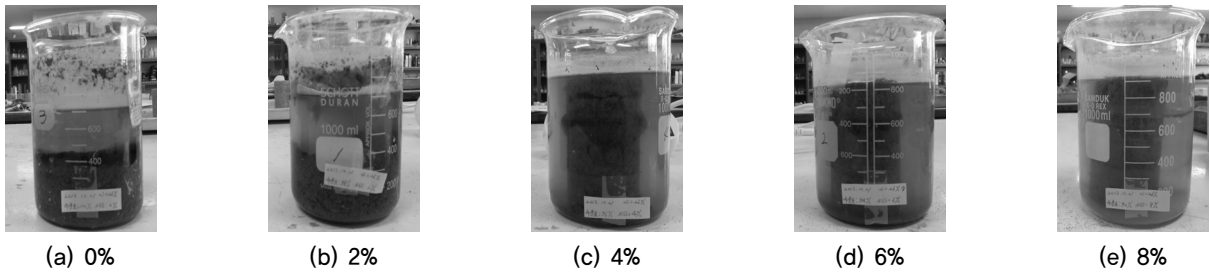


Fig. 4. Immersion test results after 130 days

작되고 약 30시간 만에 붕괴가 발생되었다. 토양안정재를 2% 포함시킨 경우 침수 5일 만에 표면의 탈락이 진행되고 침수 7일 만에 시편의 부분 붕괴가 진행되어 40일 후 완전히 붕괴되는 양상을 보였다. 침수 후 17일이 경과하자 모든 시료에서 표면부 탈락이 발생하고 탁해지는 현상이 발생하는 것으로 관찰되었다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 4% 이상의 혼합비에서는 0%나 2%에서 나타난 붕괴현상이 실험종료 시인 130일까지도 발생하지 않았으며 시료의 형상이 그대로 남아 있는 것으로 관찰되었다. 따라서 2% 이상의 토양안정재는 형상을 유지하는데 영향을 줄 수 있는 혼합비임을 확인하였으며, 특히 4%의 혼합비를 가진 시료는 연화되어 손가락 하중만으로도 소성적인 변형을 보이는 반면 6, 8%의 혼합비를 가진 시료는 실험 종료 후에도 시료의 형태를 유지하는 것으로 나타났다.

Fig. 4와 Fig. 5에 나타난 바와 같이 장기침수시험을 통하여 기존의 녹화토 기반재는 30시간까지는 형태를 유지하며 자립하였으나 일순간에 붕괴되는 경향을 나타낸 반면에 토양안정재를 혼합하는 경우 자립시간이 2%에서는 40일 그 이상에서는 130일까지도 변화가 없음만큼 소량의 반응만으로도 접착력이 매우 강해지는 결과를 확인하였다. 따라서, 시공초기 강우가 발생하는 경우 기존의 녹화

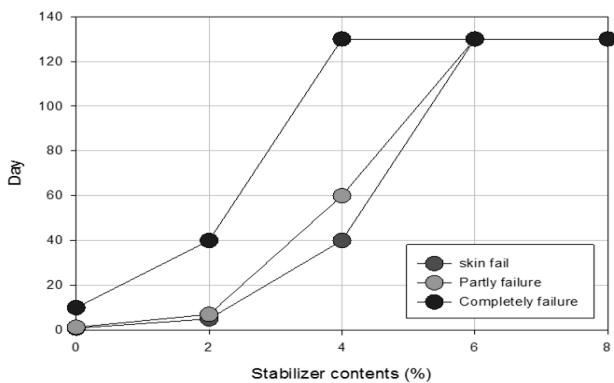


Fig. 5. Failure time of specimen with SS ratio

토 기반재는 강우에 저항하는 능력이 저하되며, 특히 암반층에 능형망 등 보조장치 없이 취부하는 경우 표면부의 탈락과 침식현상이 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 우수저항시험

3.2.1 시험장치 및 방법

본 연구에서는 식생기반재의 침식에 대한 저항 등 구조 안정성을 평가하기 위해 실내 인공강우 시험을 통한 우수저항시험을 실시하였다. 시험을 통해 토양안정재의 배합비에 따른 식생기반재의 외형적 변화와 부유물질의 변화 양상을 관찰하여 적정 배합비 결정을 위한 자료로 활용하였다.

우수저항 시험은 예비실험을 통해 노즐상황에 따른 상대적인 강우량과 취부깊이, 배수시설 등을 결정하고 본 실험을 수행하였다. 우수저항시험장치는 Fig. 6과 같이 비탈면의 경사를 재현하고 강우로 인한 침식과 탈락, 사면의

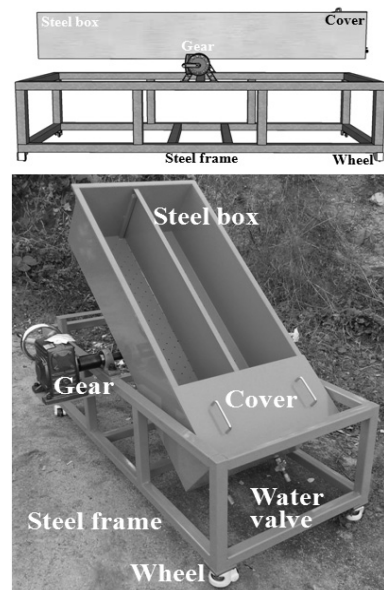


Fig. 6. Flow resistance test equipment

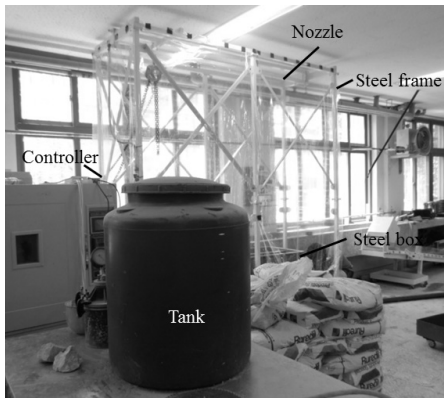


Fig. 7. Artificial rainfall simulator

붕괴 등을 모사할 수 있도록 식생기반재를 거치할 수 있는 철제 박스와 이를 지지하고 이동하게 할 수 있는 철제 프레임으로 구성되며 각도를 조절하기 위한 기어와 축을 가지고 있다.

철제 박스는 가로 50cm, 세로 200cm, 깊이 30cm의 제원을 가지고 있으며 실험의 여러 목적에 따라 사용할 수 있도록 중앙부에 스크린을 주었고 유실을 방지하기 위한 커버와 토양내부에 흐르는 물이 정체되지 않도록 하단부에 배수밸브를 설치하였다. 철제 박스를 지지하고 각도를 조절할 수 있는 기반을 형성시키는 철제 프레임은 가로 70cm, 세로 220cm, 높이 50cm의 제원을 가지고 있다.

또한 철제프레임의 중앙부에는 철제 박스의 경사를 손쉽게 조절할 수 있도록 기어와 축이 설치되어 0~55°까지 비탈면의 각도를 조절할 수 있도록 제작하였다.

인공강우시험장치는 Fig. 7과 같이 강우공간을 형성하는 철제 프레임과 강우를 재현하기 위한 노즐, 물공급장치와 강우량과 물의 공급을 조절하는 조절장치로 구성되어 있다. 물공급장치는 물탱크와 펌프로 구성되어 있고 수원과 연결되어 지속적으로 물이 같은 수위를 유지할 수 있도록 하였다.

물조절장치는 펌프와 연동되어 원하는 우량을 공급할 수 있도록 조절이 가능한 조절기로 구성되었다. 철제 프레임의 상부에는 강우를 재현하기 위한 강우재현장치가 고정되어 있으며, 강우재현장치는 노즐과 노즐을 고정하기 위한 각관으로 구성되어 있다. 강우에 사용되는 노즐은 목적 강우량에 따라 교체가 가능하도록 제작되었으며, 예비실험을 통해 노즐의 상태와 강우량을 측정하여 본 실험에 적용시키는 과정을 통해 수행하였다.

인공강우시험장치를 통한 우수저항실험은 다양한 변수로 인해 정량적인 비교는 매우 어려운 상황이다. 따라서

우선적으로 예비실험을 통해 강우량을 고정시켜 강우강도에 의한 침식이나 얇은파괴를 최소화 시키고 누적강우량에 의한 표면부 침식현황을 중심으로 관찰하였다. 또한, 본 연구에서는 비탈면의 경사에 따른 영향을 평가하기 위해 각도를 조절하면서 동일한 시험을 수행하였으며, 시공현장의 비탈면경사와 시험용이성을 고려하여 40, 45, 55° 경사를 기준으로 토양안정재의 혼합비가 0, 4, 8%인 경우의 침식저항능력을 평가하였다.

본 실험은 식생기반재의 침식저항능력을 평가하므로 하부지반이 침식되지 않도록 충분히 다져 조성하였으며 식생기반재는 5cm 두께로 조성하고 강우초기의 급작스러운 붕괴가 발생하지 않도록 최소한의 다짐을 수행하였다.

3.2.2 시험결과 및 분석

우수저항실험은 실제보다 많은 양의 물에 노출되며 지속시간에 따른 변화 등 불확실 요인이 많아 예비 실험을 실시하였으며, 이를 통하여 본 실험에 필요한 실험과정과 배합비, 지반조성과정, 측정시간 등을 확정하였다. 예비실험결과, 소정의 다짐도에 의해 지반을 조성하는 경우 토사와의 경계부에서 기반재가 탈락되는 분리현상이 발생하지 않으므로 현장에서 압력분사되는 시공현황을 모사하여 모형지반의 단위중량을 $1.8t/m^3$ 으로 결정하였으며 초기강도 발현을 위해 2일간 양생하였다. 또한 사면경사가 증가함에 따라 유실량이 크게 증가하지 않았으며 이는 자연상태의 강우와는 달리 물이 수직강하를 하므로 비에 노출되는 면적이 작아지므로 유실량이 작아지는 것으로 판단되어 이를 감안한 실험계획을 수립하였다.

본 시험은 토양안정재의 침식저항효과와 경사별 변화 및 배합비에 따른 영향을 평가하기 위한 것으로 정량적인 침식량을 얻기 위해서는 자연조건의 강우강도를 모사해야 하지만 실내시험으로서의 한계가 있어 정성적인 비교평가를 목적으로 50mm/hr의 강우강도로 수행하였다. 실험결과 시간이 경과함에 따라 누적유실량이 증가하고 있으나 90~150분이 경과하며 유실률이 감소하는 추세를 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 예비실험을 통해 평가된 장기 우수저항에 따른 유실량의 변화를 보여주고 있으며, Fig. 9는 실험 종료 시의 표면상태로 잔유물 및 느슨한 상태의 기반재들이 탈락되거나 이로인해 균열이 발생되고 있는 상태로 좌측은 토양안정재 8%, 우측은 토양안정재가 0%인 실험상황을 보여준다.

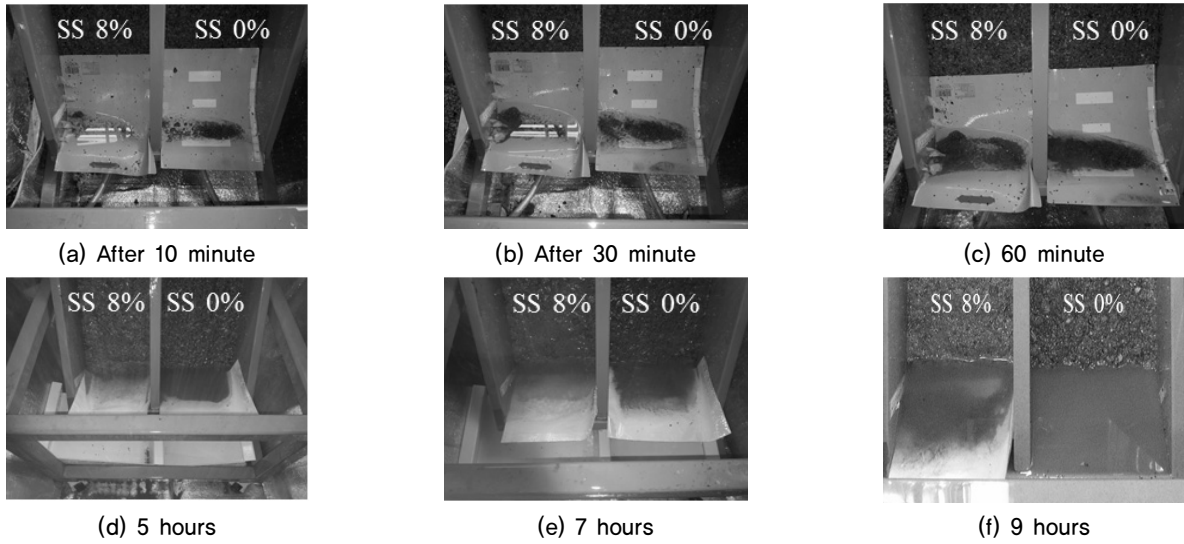


Fig. 8. Soil loss with times

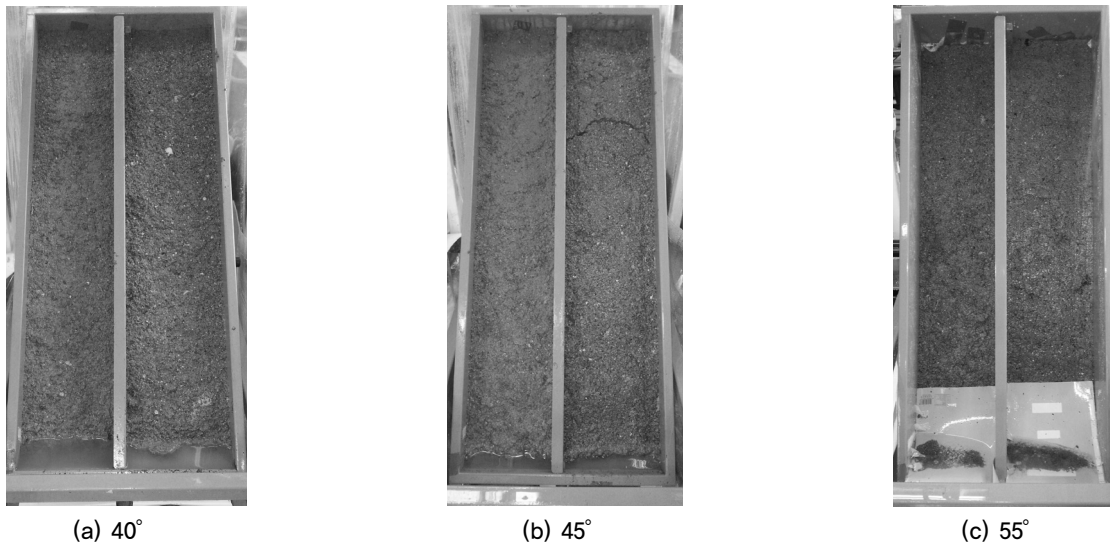


Fig. 9. After artificial rainfall test

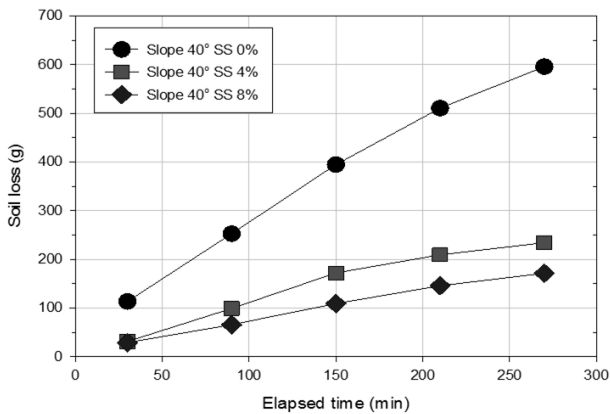


Fig. 10. Variation of soil loss with SS ratio (1:1.2)

Fig. 10은 40° 경사(1:1.2)에서 발생한 녹화토의 누적유실량을 시간에 따라 나타낸 것으로 토양안정재가 포함되

지 않은 경우에 비해 4, 8% 증가됨에 따라 각각 60.1%, 71.2%의 유실량의 감소추세를 보이는 것으로 나타났다.

또한, 비교군인 현재 시공현장에 적용되고 있는 녹생토 기반재는 강우의 지속에 따라 유실량의 증가가 선형적인 경향을 보이는 반면 토양안정재를 혼합한 경우 약 150분 이후 증가율이 감소되는 경향을 보이는 것으로 분석되었다. 시험시 조성된 총 기반재의 양에 대한 유실률을 평가해보면 토양안정재가 미포함된 경우 5.7%의 유실률을 나타낸 반면, 토양안정재가 4%, 8%가 포함된 경우에는 각각 2.3%, 1.7%의 유실률을 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 45° 경사(1:1)에서 발생한 녹화토의 누적유실량을 시간에 따라 나타낸 것으로 토양안정재가 포함되지 않은 경우에 비해 4, 8% 증가됨에 따라 각각 65.2%, 83.5%

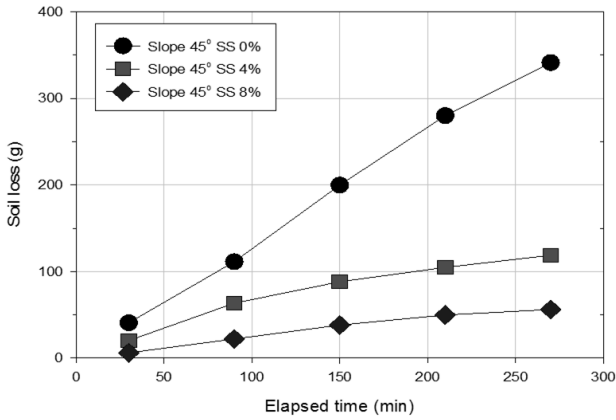


Fig. 11. Variation of soil loss with SS ratio (1:1)

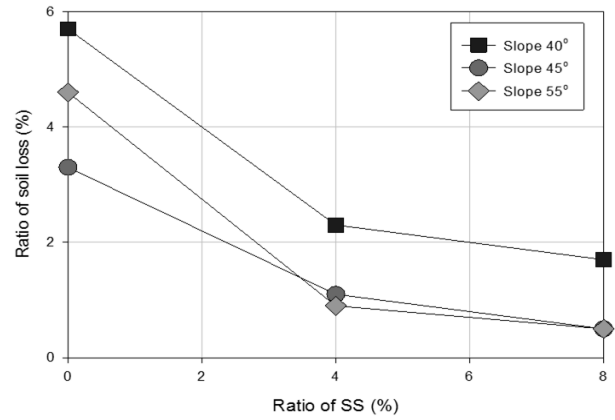


Fig. 13. Ratio of soil loss (%)

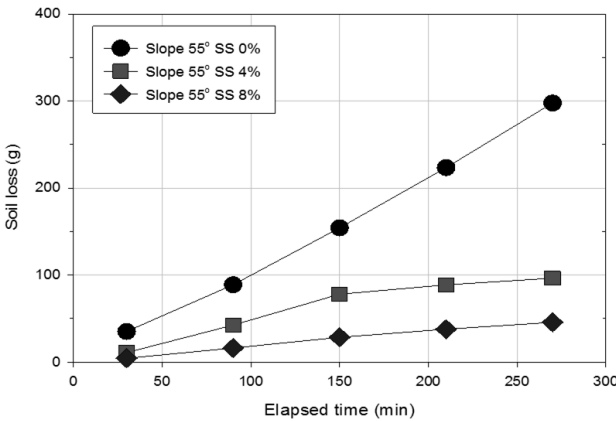


Fig. 12. Variation of soil loss with SS ratio (1:0.7)

의 유실량의 감소추세를 보이는 것으로 나타났다. 또한, 비교군인 녹생토 기반재는 강우의 지속에 따라 유실량의 증가가 선형적인 경향을 보이는 반면 토양안정재를 혼합한 경우 약 80분 이후 증가율이 감소되는 경향을 보이는 것으로 분석되었다. 시험시 조성된 총 기반재의 양에 대한 유실률을 평가해보면 토양안정재가 미포함된 경우 3.3%의 유실률을 나타낸 반면, 토양안정재가 4%, 8%가 포함된 경우에는 각각 1.1%, 0.5%의 유실률을 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 55° 경사(1:0.7)에서 발생한 녹화토의 누적유실량을 시간에 따라 나타낸 것으로 토양안정재가 포함되지 않은 경우에 비해 4, 8% 증가됨에 따라 각각 67.6%, 84.7%의 유실량의 감소추세를 보이는 것으로 나타났다. 또한 비교군인 녹생토 기반재는 강우의 지속에 따라 유실량의 증가가 선형적인 경향을 보이는 반면 토양안정재를 혼합한 경우 약 80분 이후 증가율이 감소되는 경향을 보이는 것으로 분석되었다. 시험시 조성된 총 기반재의 양에 대한 유실률을 평가해보면 토양안정재가 미포함된 경우

4.6%의 유실률을 나타낸 반면, 토양안정재가 4%, 8%가 포함된 경우에는 각각 0.9%, 0.5%의 유실률을 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 13은 토양안정재의 배합률 증가에 따른 유실률의 변화를 나타내는 것으로 토양안정재의 혼합에 따라 유실률이 급격히 감소하는 경향을 볼 수 있으며, 45° 이상의 경사에서는 매우 유사한 유실률을 나타내고 있어 경사가 낮은 경우 노출면적이 커져 다른 경사에 비해 유실률이 다소 크지만 토양안정재의 혼합률이 증가함에 따라 유실률이 감소하는 동일한 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 기반재의 유실률이 사면 경사보다는 안정재의 혼합비에 영향을 받기 때문이며, 기반재의 재료특성상 톱밥이나 슬러지 등 침식이 용이한 재료들의 분리로 인해 발생하는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 침식이나 비산에 저항하기 위해 친환경 토양안정재의 적절한 배합비 결정을 위해 장기침수시험과 우수저항시험과 같은 공학적 평가를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 토양안정재의 혼합율을 0, 2, 4, 6, 8%로 변경하여 장기침수시험을 시행한 결과, 0%는 30시간, 2%는 40일 후 100% 붕괴가 발생되었으며, 4% 이상의 혼합비에서는 실험종료시까지 시료의 원형이 그대로 남아 있어 2% 이상의 토양안정재가 극한 조건에서도 형상을 유지하는데 영향을 줄 수 있는 혼합비임을 확인하였다.
- (2) 식생기반재의 구조적 안정성을 평가하기 위해 인공강

우시험을 통해 40°, 45°, 55° 경사비탈면에 대해 우수 저항시험을 실시하였으며, 토양안정재의 혼합비가 0%, 4%, 8%인 경우의 침식저항능력을 평가하였다. 40°에서 0~8%에 대해 각각 5.7%, 2.3%, 1.7%의 유실률을 보이고 45° 비탈면은 각각 3.3%, 1.1%, 0.5%의 유실률을, 55° 비탈면은 각각 4.6%, 0.9%, 0.5%의 유실률을 보이는 것으로 나타났다.

- (3) 우수저항시험 결과, 토양안정재의 혼합에 따라 유실률이 급격히 감소하는 경향을 보이는 등 비산을 방지하거나 우수에 의한 침식에 저항하기 위해 토양안정재를 사용하는 것은 매우 큰 유실감소효과를 거둘 수 있을 것으로 판단되며, 그 혼합비는 현장의 상황에 따라 다양하게 적용할 수 있으나 4% 이상에서 표층부의 유실이 급격히 감소하여 침식에 대한 저항효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. Kim, N. C. (1991), *Studies on effects of vegetations on revegetation of slopes and rehabilitation of slope-landscapes*, Ph.D Thesis, National University of Seoul, pp.1-78.
2. Kim, C. G. and Shin, H. G. (2005), A study on removal of heavy metal in wastewater using exhausted coffee, *The Proceeding of Korea Organic Resource Recycling Association*, pp.205-209.
3. Kim, D. W. (2008), *Development of soil materials for slope revegetation using byproduct aggregates from quarries*, Ph.D Thesis, National University of Seoul, pp.1-123.
4. Kim, Y. J. (2008), *Study on sawdust using re-cycle revegetation measures*, Master's Thesis, Kangwon National University, pp.1-43.
5. Kwon, Y. C. and Oh, S. W. (2012), "Strength characteristics of the soil mixed with a natural stabilizer", *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, Vol.13, No.1, pp.45-51.
6. Chun, B. S. (2001), "Improvement effectiveness of soft ground using hardening agent", *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, Vol.2, No.2, pp.59-64.
7. Park, K. S., Oh, S. W. and Bae, W. S. (2014), "Field applicability evaluation of eco-friendly mixed soil", *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, Vol.15, No.2, pp.17-25.