

위험도로구간 비탈면 녹생토 시공 후 생장 특성

김도균* · 김화정**

*순천대학교 정원문화산업학과 교수 · **안동과학대학교 원예조경과 조교수

Growth Characteristics of Plants of Green Soil Plants on Slopes at Risk of Road

Kim, Do Gyun* · Kim, Hwa Jeong**

*Professor, Dept. of Garden Culture Industry, Sunchon National University

**Assistant Professor, Dept. of Gardening Landscape, Andong University of Science

ABSTRACT

This study was carried out to select the optimal and reasonable greening method suitable for the local special environment through monitoring after experimental construction of the slope greening method for early stabilization of the slope of the special cut slope of the risk road. This slope greening test site has almost no soil for plants to germinate or growth, and as it were ripping rocks, it were difficult for natural plants to be transplanted for a long time, and it were difficult for the transplanted plants to settle down due to low temperatures and drought in winter. Green soil 10t > green soil 7t were the places with the highest plant coverage in this slope greening test site. It was considered difficult to achieve. The thicker the green soil, the better it is for maintaining high quality of slope greening and adaptability to drought or low temperature in winter. However, considering economic feasibility and budget, it was thought that at least 7t of green soil should be used.

Key Words: Slope Stabilization Method, Early Greening, Green Soil, Plant Germination, Plant Growth

국문초록

본 모니터링은 위험도로 무 토양 특수 절토비탈면 조기 안정화를 위한 비탈면 녹화공법을 실험시공 후 모니터링을 통하여 현지 특수환경에 적합한 최적의 합리적인 녹화공법을 선정하는 데 그 목적이 있다. 본 비탈면 녹화 실험시공지는 식물이 발아하거나 성장할 수 있는 토양이 거의 없고, 리핑암으로서 장기간 자연적인 식물이 이입되기 어려우며, 이입된 식물도 겨울철 저온과 가뭄발생으로 정착하기 곤란한 상태이었다. 본 비탈면 녹화 실험지에서 식물의 피복도가 높은 곳은 녹생토 10t > 녹생토 7t 순이었으며, 녹생토 5t, 녹생토 3t, 거적덮기는 피복도가 50% 이하로 식물의 분포가 고르지 않고, 피복도가 낮아 비탈면 녹화 목표를 달성하기 어려운 것으로 생각되었다. 비탈면 녹화의 고품질 유지와 가뭄이나 겨울철 저온에 적응성이 뛰어난 것은 녹생토의 두께가 두꺼울수록 양호하나, 경제성이나 예산 등을 고려한다면 최소

Corresponding author: Kim, Hwa Jeong, Assistant Professor, Dept. of Gardening Landscape, Andong University of Science, South Korea, Phone: +82-54-851-3562, E-mail: krhwa@hanmail.net

녹생토 7t 이상으로 해야 할 것으로 생각되었다.

주제어: 사면안정화공법, 조기녹화, 녹생토, 식물밭아, 식물생장

1. 서론

최근 많은 곳에서 도로의 위험성을 제거하고, 지역 교통 흐름을 원만하게 하기 위하여 위험도로구조개선 시공을 하고 있다. 도로 개설에서 지형의 높낮이가 커서 피치 못하게 높고 넓은 대형 비탈면이 많이 발생되고 있다.

도로 개설 과정에 발생된 비탈면은 토질이 안정되지 못하여 적은 강우에도 쉽게 침식되거나 붕괴될 수 있다(박찬범, 2000). 도로의 비탈면의 붕괴는 대형 교통참사와 교통단절 등의 위험과 불편함이 많이 발생할 수 있으며, 인명과 재산을 위협하는 사례가 많이 있다(김승현 등, 2011).

도로 확포장 구간에는 퇴적암, 화강암 등이 노출되어 무토양 지역이 많아 자연적인 식생 유입 및 인위적인 식재가 현실적으로 불가능한 곳이 많이 있다. 훼손된 도로의 비탈면을 조기에 안정화시키고, 경관을 복구하여 쾌적한 도로 환경을 조기에 조성하기 위해서는 특수녹화공법 도입이 필요하다.

도로개설 비탈면은 매우 다양한 환경이 식물 밭아와 생장에 영향을 미치기 때문에 일반적인 녹화공법을 적용하는 데 한계가 있다. 이에 따라 건설교통부(2005)는 도로건설공사를 할 때 각 지역에 알맞은 비탈면 녹화에 합리적인 공법을 선정하도록 시공자는 설계도서를 검토하고, 비탈면 녹화 시설이 제 기능을 할 수 있도록 비탈면 녹화 시험시공을 하여 합리적인 비탈면 녹화를 하도록 하였다.

대상지의 무토양암반 부분은 식물 생장이 거의 곤란하기 때문에 시험시공한 식물들이 주변환경에 어떻게 생장 또는 적응

하는지와 인접 주변에서 유입되는 식물들의 변화를 모니터링이 필요하다.

따라서 본 모니터링은 위험도로구조개선사업의 절토부의 비탈면 조기 안정화를 위한 비탈면 녹화공법을 실험시공 후 모니터링을 통하여 현지 환경에 적합한 최적의 합리적인 녹화공법을 선정하는 데 그 목적이 있다.

본 연구를 통하여 위험도로 구조개선사업 비탈면 조기 안정화를 위한 합리적인 비탈면 녹화공법을 선정하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

비탈면 녹화를 함으로써 경관조성으로 다양한 종자를 사용하여 다채로운 색상과 질감을 가진 식물들을 심을 수 있고, 환경을 개선하며, 생태 다양성을 유지하는 데 도움이 된다. 이를 통해 정원의 아름다움을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

II. 비탈면 녹화 실험내용 및 방법

1. 비탈면 녹화 시험시공지 현황

비탈면 녹화 시험지는 전남 광양시 광양읍 구산리~봉강면 부저리 일원으로 하였다.

시험시공지는 4개소(sta0+440, 1+580(2개소), 1+720)로 발파암, 리핑암 지반에 대하여 시험시공을 하였다(그림 1 참조).

2. 실험포 조성

실험포의 구획은 무토양암석지로 하였다. 실험포의 구획은 4

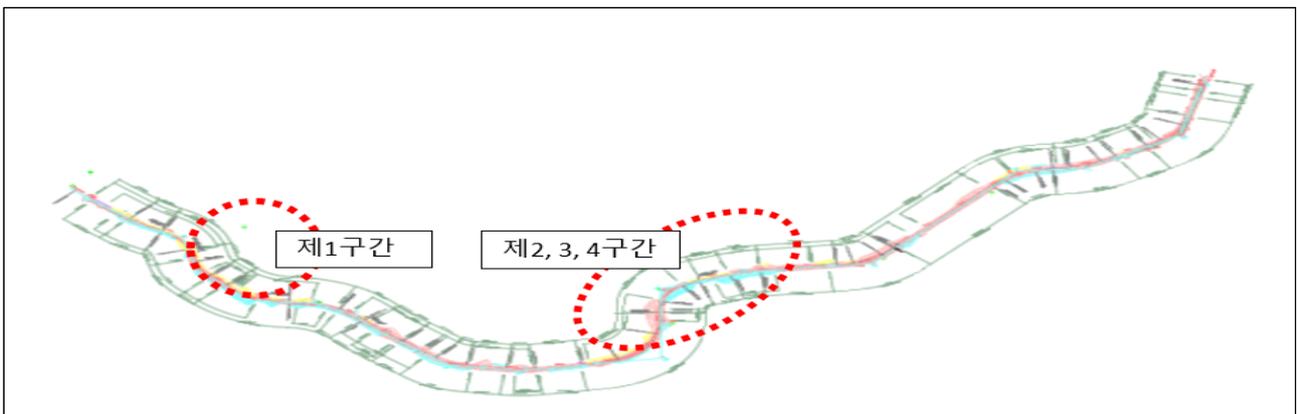


그림 1. 광양봉강위험도로 구조개선 비탈면 녹화 시험시공지(본선 Sta.0+440~1+840)

곳으로 하였다. 실험포의 크기는 가로 2m×세로 5m(10m²)로 하였다.

각 실험구는 거적덮기 씨드스프레이, 녹생토 3t, 녹생토 5t, 녹생토 7t, 녹생토 10t로 하였다.

무토양암석지 특수녹화실험지 비탈면 녹화 종자 파종은 2018년 9월 11일에 파종하였다.

파종종자는 비탈면에서 잘 자라고 흙을 고정시키는 능력이 있는 식물로써 종자 9종을 혼합하였다. 도입초종은 참싸리 (*Lespedeza cyrtobotrya* Miq), 남아초(*Indigofera pseudo-tinctoria*), 비수리(*Lespedeza cuneata*), 자주개자리(*Medicago sativa*), 수레국화(*Centaurea cyanus*), 황화코스모스(*Cosmos sulphureus* cav), 금계국(*Coreopsis basalis*), 툴웨스큐(*Festuca arundinacea*), 페레니얼라이그라스(*Lolium perenne* L)로 하였다.

파종방법은 거적덮기 씨드스프레이와 녹생토 공법으로 하였다.

1) 거적덮기+씨앗뿌어붙이기

거적덮기+씨앗뿌어붙이기는 질, 성토 비탈면 보호공법으로 종자를 화이버(fiber), 접착제, 색소, 물과 혼합후, 살포기계를 이용하여 파종하고, 표면을 거적으로 보호하여 초, 목류의 뿌리 활착시까지 비탈면 유실을 방지하였다.

종자가 비탈면 일부에 치우치지 않도록 살포탱크 속의 종자를 잘 섞어서 균일하게 분사하였다. 비탈면 녹화 실험지의 주요재료는 거적(벚짚), 앙카핀, 피복양생제, 침식방지안정제, 비료, 색소, 물 등을 사용하였다. 종자의 파종량은 혼합종자 25g/m²으로 하였다.

주위 환경 및 토질에 적합한 배합비율을 선정하여 종자(25g/m²)와 기타 부자재가 잘 섞이도록 골고루 혼합하여 씨앗뿌어붙이기공법으로 균일하게 기계 파종하여 거적(1.1m²/m²)은 잘 펼쳐 덮었다. 거적과 거적은 5cm 정도 겹치게 하고 상단, 하단 30cm 정도로 여유 있게 설치하였다. 끈(0.7m/m²)을 횡으로 쳐서 거적이 바람에 날리지 않게 하여 ST앙카핀(1.0ea/m²)을 견고히 박아 거적을 고정하였다.

2) 녹생토공법

시공위치는 암절토부에 용출에 의한 원지반 붕괴나 유입수에 의한 사면 침하가 우려되지 않도록 도수로, 배수로 등을 고려하여 시공 비탈면을 선정하였다. 절토부에 부착망 설치작업이 용이하도록 부분 붕괴 또는 낙석 등을 정리하였다. 부착망 설치는 표준 인장력을 유지하고 견고하도록 앙카를 이용하여 고정시키고, 겹치는 부위도 벌어지지 않도록 철선 및 착지핀으로 단단히 고정시켰다. 종자혼합은 배합된 인공토에 종자를 혼합하였다.

녹생토의 실험시공은 암절개지에 식생이 가능하도록 그물망

및 PVC코팅 철망을 앙카로 고정한 다음 녹생토를 취부하였다. 취부두께는 3t, 5t, 7t, 10t로 하였다. 인공토 취부시 노즐을 약 1m 정도 떨어진 곳에서 상단에서 하단으로 취부하였다. 부착망이 취부 두께의 중간 부위에 위치하고, 공극이 생기지 않도록 분사하였다. 취부면이 손상이 없도록 주변의 이물질을 제거하고, 장비에 의한 손상이 없도록 주의하였다.

3. 실험포 모니터링 내용 및 방법

실험시공지의 식물 성장 모니터링은 무토양암석지의 비탈면 특수녹화 실험포에 파종된 식물들의 성장과 유입 상태를 모니터링하였다. 비탈면 녹생토의 식물성장 모니터링은 식물의 피복과 분포의 상태, 식물의 성장량, 성장상태, 외래식물의 유입, 병해충의 발생 등을 조사 및 분석하였다.

1) 식물 성장 모니터링 내용

식물 파종 및 유입 식물들의 성장 변화 모니터링은 피도, 군도, 초장을 측정하여 성장과 퇴화 정도를 파악하였다.

식물성장조사는 고정 조사구 내에 출현하는 모든 수종 및 초종에 대해서 식물성장량, 식생피복도, 식생 분포도(군도), 외부유입식물, 병해충 발생, 유해식물의 유입 등을 주기적으로 측정하였다. 식물 성장에 영향을 미치는 환경요인들을 조사 및 분석하였다.

2) 모니터링 방법

(1) 성장조사구 설치

식물조사방법은 방형구법(quadrat method)으로 하였다. 식물 성장조사 방형구는 시공면 평균이 되는 곳에 1m×1m의 고정 조사구를 3반복 설치하였다. 식생조사는 시공면 전체적으로 상황을 종합하여 조사 및 분석하였다.

(2) 측정 시기

비탈면 녹화시공 후 식물성장 측정은 실험시공 직후, 늦가을 철, 겨울철, 봄철로 구분하여 1~2개월 간격으로 6개월간 정기적으로 측정하였다. 실험시공 직후 측정은 2018년 9월 10일, 늦가을 측정은 2018년 11월 25일, 겨울철 측정은 2019년 1월 21일, 봄철 측정은 2019년 3월 23일 측정하였다.

(3) 식생조사

① 식생 성장량

식생 성장량의 판정은 방형구 내에 출현한 식물들의 평균

생장량을 조사하였다. 초고의 판정은 방형구 내에 출현한 수종 및 초종의 지면으로부터 높이를 측정하였다.

② 식생피복율

식물사회학적 식생조사 방법으로 식생피복율은 브라운 브랑케(Braun-Blanquet, 1932)의 피도에 따라 정량적 등급화 하였다(표 1 참조). 현장에서 육안으로 실측 또는 사진 촬영 후 실내에서 피복율을 계산하였다. 방형구 내에서 피복도와 군도를 3곳 측정하여 평균값으로 하였다.

③ 식물분포도

실험파종식물의 분포도 조사는 군도로 조사하였다(표 2 참조).

(4) 시공실험 모니터링 기간

시공실험 모니터링 기간은 2018년 9월, 2018년 11월, 2019년 1월, 2019년 3월까지 하였다.

III. 비탈면 녹화 실험시공 모니터링 결과

1. 식물의 발아

봉강위험도로 구조개선구간 비탈면 녹화 실험구에서 파종식

표 1. 피도 측정 기준

피도	피도 판정 기준
r	식물이 극히 드물게 최소 피도로 출현
+	식물 개체수도 적고, 피도도 적은 것
1	식물 개체수는 많으나, 조사면적의 1/20 이하~1/10 이하로 개체수가 적음
2	식물의 개체수는 많으나, 조사면적의 1/10~1/4 점유
3	식물이 조사면적의 1/4~1/2 점유
4	식물이 조사면적의 1/2~3/4 점유
5	식물이 빈공간 거의 없이 전면적의 3/4 이상을 점유

표 2. 군도 측정 기준

군도	군도 기준
1	식물이 극히 적은 소수로 흩어져 나는 상태
2	식물이 몇 곳에 작게 뭉쳐 있는 상태
3	식물이 몇 곳에 크게 뭉쳐 있는 상태
4	식물이 겹쳐져 있으나, 몇 곳에 작은 구멍이 뚫어져 있는 상태
5	식물이 겹쳐져 거의 전면을 덮고 있는 상태

물의 발아는 제1차 조사인 2018년 11월 25일에 툴레스큐와 페레니얼라이그라스가 피도 +~1, 군도 5 정도로 고르게 발아하였다. 나머지 초종들은 매우 작아서 분류하기 어려웠으며, 겨울철에 대부분 고사하였다. 초종들이 겨울철에 대부분 고사한 것은 가을철에 종자를 파종하여 겨울철 지형에 의한 계곡풍(이주용 등, 2020)으로 인한 동해, 건조 등이 영향을 미쳤기 때문으로 보인다.

2. 식물 성장

봉강위험도로 구조개선 사업지구 비탈면 녹화 실험구의 식물생장은 전체적으로는 시계열적으로 시간이 흐를수록 초고가 커지는 것으로 나타났으나, 실험포 구역별로 차이가 있었다.

시계열적으로 시간의 흐름에 따른 전체 실험포의 초고의 크기는 파종후 0일(2018년 9월 10일), 종자파종 후 76일(2018년 11월 25일), 파종후 133일(2019년 1월 21일), 파종후 198일(2019년 3월 23일) 순으로 0cm, 15.2cm, 18.0cm, 25.0cm이었다(그림 2 참조).

파종 후 늦가을철 76일간은 15.2cm 정도로 성장하였다. 늦가을인 2018년 11월 25일부터 이듬해 겨울철인 2019년 1월 21일에는 성장이 둔화되어 15.2cm에서 18.0cm 정도로, 2.8cm 정도 더 성장하였다. 파종 이듬해인 겨울철에서 봄철 생장은 겨울철인 2019년 1월 21일에 18.0cm에서 봄철인 3월 23일에는 24.1cm로, 5.9cm 더 성장하였다. 즉, 성장기인 가을과 봄철에는 성장력이 크지만, 겨울철에는 성장이 매우 둔화되는 것으로 나타났다. 초종이 가을과 봄철에는 성장력이 크지만, 겨울철에 둔화되는 것은 식물은 환경에 따라 성장 속도가 달라(이영애, 2022) 겨울철 기온이 낮아지기 때문으로 보인다.

봉강위험도로 구조개선구간 비탈면 녹화 실험지의 녹화 종류별 최종 식물성장의 차이를 검증하기 위하여 제4차 식물성장

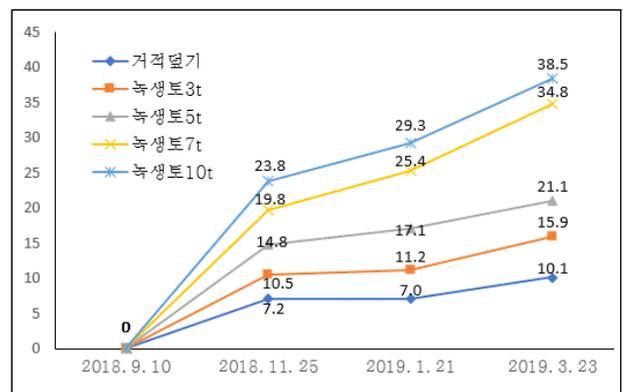


그림 2. 봉강위험도로 개선구간 비탈면 녹화 실험포의 시계열적 식물성장

높이를 통계학적으로 분산분석(Analysis of Variance Test: ANOVA)을 한 결과, 유의수준 0.00 수준에서 차이가 있었다 (표 3 참조). 이것은 봉강위험도로 구조개선구간 비탈면 녹화 실험지의 녹화 종류 및 녹생토 두께별로 식물성장의 차이가 있음을 의미하였다.

비탈면 녹화 종류별 식물 성장의 동질성 분석을 위하여 최종성장기인 제4차 조사(2019년 3월 23일)를 대상으로 사후분석 결과에서 녹생토 7t와 녹생토 10t는 한 그룹으로 나타나고, 나머지 거적덮기, 녹생토 3t, 녹생토 5t는 개별적 그룹으로 나타났다. 즉, 봉강위험도로 개선구간 비탈면 녹화 실험포에서 식물성장이 가장 큰 그룹은 녹생토 7t와 녹생토 10t가 한 그룹으로 나타나고, 나머지 거적덮기, 녹생토 3t, 녹생토 5t는 식물성장이 작은 그룹으로 나타났다.

식물성장이 큰 그룹 중에서 녹생토 7t와 10t는 비록 녹생토 10t가 녹생토 7t보다 크기는 하지만, 통계학적으로는 녹화의 효과는 큰 차이가 없이 비슷하다고 할 수 있다.

실험식물의 최종 초장 크기는 거적덮기보다는 녹생토 방형구에서 더 성장이 양호하였다.

녹생토 방형구에서도 식물 성장 크기는 식생토가 두꺼울수록 더 크게 성장한 것으로 나타났다. 실험포 방형구의 최종 식물성장 크기는 10t > 7t > 5t > 3t > 거적덮기 순으로 38.5cm, 34.8cm, 21.13cm, 15.9cm, 10.1cm이었다. 식물의 성장은 비탈면의 초기 피복도와 비탈면 안정화에 크게 영향을 미치기 때문에 중요한 요인이다.

이상으로 보아 대상지의 위험도로 구조개선 사업지구의 비탈면 녹화는 최소한 녹생토 7t 이상이 되어야 할 것으로 생각되었다.

3. 식생피복도

1) 피도

봉강위험도로 비탈면 녹화 실험시공지의 2019년 3월 23일

표 3. 봉강위험도로 개선구간 비탈면 녹화 종류별 식물성장 동질성 분석

녹화종류	유의수준=0.05에 대한 부분집합			
	1	2	3	4
거적덮기	10.0			
녹생토 3t		16.0		
녹생토 5t			21.3	
녹생토 7t				34.8
녹생토 10t				38.5

* ANOVA test의 Duncan에 의한 사후분석.

최종 봄철 식물성장 '모니터링' 결과에서 가장 식물 성장이 양호한 실험구는 녹생토 10t구 '상'급이었고, 그 다음으로 녹생토 7t구 '중'급이었으며, 나머지 녹생토 5t구, 녹생토 3t구, 그리고 거적덮기 실험구에서는 '하'급으로 녹화식물 생장이 불량하였다.

식물 생장이 녹생토가 두꺼울수록 잘 성장하는 것은 토양의 심도가 깊어질수록 식물의 뿌리가 깊이 근착함으로 안정적이고 건강하게 성장할 수 있기 때문(한국기술연구원, 1997)으로 생각되었다.

식생피복률은 실험포 조성 직전(가을초), 직후(늦가을), 겨울, 봄철별로 식물 성장에 큰 변화가 있었다. 실험포 조성 이전인 2018년 9월 10일에는 전체적으로 식생이 전무하였다.

실험포 조성 비탈면 녹화 종자 파종 후 2018년 11월 25일에는 거적덮기를 제외한 나머지 녹생토 3t, 5t, 7t, 10t 전 방형구에서 전체적으로 '중급' 정도로 녹생토 종자가 고르게 분포하여 받아들여졌다.

이듬해 겨울인 2019년 1월 21일에는 녹생토 7t구와 녹생토 10t구를 제외한 나머지 실험구에서는 대부분이 고사하였다. 거적덮기는 2018년 11월 25일, 2019년 1월 21일과 3월 23일에도 피복률 20% 미만으로 피복률이 극히 저조하여 사실상 대상지에서는 식생피복이 어려운 것으로 판단되었다.

2018년 11월 25일에 거적덮기를 제외한 녹생토 3t, 5t, 7t, 10t 방형구에서는 51%~80% 정도로 '하급'~'중급'이었으나, 이듬해인 2019년 1월 21일 겨울철에 녹생토 7t구와 녹생토 10t를 제외한 거적덮기, 녹생토 3t구, 녹생토 5t구에서는 식생피복률이 20%~50% 정도의 '하급'으로 극히 낮아졌다.

2019년 3월 23일 봄철에는 식생피복률이 녹생토 10t는 피복도 81% 이상으로 '상급'이었으며, 녹생토 7t는 '중급'이었고, 녹생토 5t와 녹생토 3t는 식생피복률 60% 이하로 '하급'이었으며, 거적덮기에서는 여전히 식생피복률이 20% 이하로 나타났다.

녹생토 10t와 녹생토 7t를 제외한 나머지 실험구에서 겨울철에 녹생토가 고사하였다가 다시 성장하는 것은, 가을철에 받아 하지 않았던 매토종자의 발아와 겨울철 저온피해를 받았던 식물체 일부가 다시 재생하는 것으로 보인다. 이처럼 식생 피복률이 실험포 조성 이후에 변화된 것은 겨울철 저온과 가뭄이 영향을 미쳤을 것으로 추정되었다. 이러한 겨울철 저온과 가뭄은 실험구 조성 유형별로 차이가 있었으며, 차이가 큰 실험구는 거적덮기 > 녹생토 3t > 녹생토 5t > 녹생토 7t > 녹생토 10t 순으로 나타났다.

이것은 녹생토량이 두꺼운 것일수록 환경 변화에 적응성이 큰 것으로 보인다. 이 원인은 가을철에 종자 파종한 녹생토 식물들의 뿌리가 지반에 아직 정착하지 않은 상태에서 겨울철 저온과 가뭄이 크게 영향을 미친 것으로(Tommasini *et al.*, 2008)

추정되었다.

2) 군도

군도는 파종이후 시간의 흐름에 따라 큰 변화가 있었다.

대상지의 비탈면 녹화 실험구간에서 2018년 9월 10일 실험 파종 후 11월 25일에는 거적덮기는 군도가 1 정도로 매우 산발적으로 등성등성 분포하였고, 나머지 3t, 5t, 7t, 10t 방형구에서는 고르게 분포하였다.

이듬해 겨울인 2019년 1월 21일에는 10t 방형구만 원래대로 군도 5를 유지하였고, 7t 방형구에서는 군도가 다소 낮아졌으며, 3t와 5t 그리고 거적덮기 방형구에서는 군도가 크게 낮아졌다. 이듬해 봄철인 2019년 3월 23일에 군도가 높은 곳은 10t > 7t > 5t > 3t > 거적덮기 순으로 각각의 군도는 5, 4, 3, 1, 1이었다(표 4 참조).

군도가 측정 시기별로 차이가 있는 것은 겨울철 저온과 가뭄 때문으로 추정되었다. 군도가 방형구별로 다른 것은 식물의 뿌리가 뻗을 수 있는 유효토심의 차이 때문으로 추정되었다. 식물의 뿌리가 뻗을 수 있는 유효토심이 낮을수록 저온과 가뭄에 민

감하게 반응하여 식물 생장이 어렵기(Yajuan *et al.*, 2014) 때문으로 보인다. 군도는 식물의 균질한 분포에 영향을 미치지 때문에 봉강위험도로 구조개선 비탈면 녹화는 최소한 군도 4 이상을 유지할 수 있는 녹생토 7t 이상으로 하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다.

녹생토가 두꺼울수록 식물발아가 잘 되는 것은 토심이 깊을수록 토양의 수분 보유량, 토양의 수분공급 및 토양의 습도가 일정 수준 이상 유지되어 발아율이 증가하기 때문으로(Peng *et al.*, 2011) 보인다.

3) 병충해의 발생

시험시공 후 생장 관정시기까지 수시로 파종 식물에 병충해 발생 유무를 동정하였다.

4) 생태계 위해종의 출현 조사

본 실험포 내 생태계 위해종의 출현 여부를 조사하였다. 생태계 위해종의 출현에 따른 생태계 교란피해 배점은 없음, 약간 있음, 매우 많음으로 평가하였다(표 5 참조).

표 4. 봉강위험도로 구조개선사업지 비탈면 녹화 실험지 식물 피복율 측정 결과

방형구	식생도	거적덮기		녹생토 3t		녹생토 5t		녹생토 7t		녹생토 10t	
		피도	군도	피도	군도	피도	군도	피도	군도	피도	군도
방형구 1 (북측 상단)	1차	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2차	1	1	3	3	3	3	4	3	4	4
	3차	+	1	1	2	2	2	4	5	5	5
	4차	+	1		1	1	1	3	5	5	5
방형구 2 (북측 하단)	1차	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2차	1	1	4	4	3	4	4	3	4	4
	3차	+	1	1	2	2	2	3	5	5	5
	4차	+	1	1	1	2	3	3	5	5	5
방형구 3 (중앙 하단)	1차	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2차	1	1	3	4	4	4	4	4	4	4
	3차	+	1	1	2	1	2	3	4	5	5
	4차	+	1	1	1	2	3	3	4	5	5
방형구 4 (남측)	1차	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2차	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5
	3차	+	1	1	2	2	2	3	4	5	5
	4차	+	1	1	1	2	3	5	5	5	5

피복도; +: 매우 드물, 1: 10% 이하, 2: 11~20%, 3: 30~60%, 4: 61~80%, 5: 81~100%.

군도: 1: 매우 등성등성, 2: 등성등성, 3: 산발적, 4: 밀집, 5: 매우 밀집.

표 5. 생태계교란 및 위해종의 피해 배점기준

항목	배점기준		
	없음(0점)	약간있음(-3점)	매우많음(-5점)
생태계교란 및 위해종	- 생태계교란 및 위해종 출현이 없으며, 목표 식물에 피해가 없는 상태	- 생태계교란 및 위해종이 약간 출현하여 목표 식물에 약간 피해를 입히는 상태	- 생태계교란 및 위해종이 많이 출현하여 목표식물에 많은 피해를 입히는 상태

생태계교란 피해가 '없음'은 생태계교란 및 위해종 출현이 없는 상태로 목표 식물에 피해가 없는 상태로 하였고, '약간 있음'은 생태계교란 및 위해종이 약간 출현하여 목표 식물에 약간 피해를 입히는 상태로 하였으며, '매우 많음'은 생태계교란 및 위해종이 많이 출현하여 목표식물에 많은 피해를 입히는 상태로 하였다(표 5 참조).

이와 같이 봉강위험도로 구조개선사업지구의 암벽부분의 비탈면 녹화는 가을철에서 겨울철 사이의 식생피복이 안정되기 위해서는 최소한 녹생도 7t 이상이 되어야 할 것으로 판단되었다.

IV. 결론

본 실험시공은 '봉강위험도로구조개선사업' 현장에서 비탈면 녹화 실험시공지를 조성하여 식물 발아와 생장 상태를 2018년에서 2019년 3월 23일까지 모니터링하였다.

본 비탈면 녹화 실험시공지는 토양이 거의 없고, 리핑암으로서 장기간 자연적인 식물 이입되기 어렵고, 이입된 식물도 겨울철 저온과 가뭄발생으로 정착하기 곤란한 상태이었다.

본 비탈면 녹화 실험지에서 식물의 피복도가 높은 곳은 녹생도 10t > 녹생도 7t 순이었으며, 녹생도 5t, 녹생도 3t, 거적덮기는 피복도가 50% 이하로 식물의 분포가 고르지 않고 피복도가 낮아 비탈면 녹화 목표를 달성하기 어려운 것으로 생각되었다.

비탈면 녹화 실험지에서 식물의 피복도, 식물의 생장, 환경 적응성, 생태계교란, 병해충 등을 고려할 때 녹생도 10t > 녹생도 7t 순으로 좋았으며, 나머지 거적덮기와 녹생도 3t 및 녹생도 5t는 환경 부적응하는 것으로 나타났다.

따라서 대상지의 구조개선사업지구 내에 비탈면 녹화는 거적덮기, 녹생도 3t, 녹생도 5t보다는 녹생도 7t와 녹생도 10t가 유리한 것으로 생각되었다.

비탈면 녹화의 고품질 유지와 가뭄이나 겨울철 저온에 적응성이 뛰어난 것은 녹생도의 두께가 두꺼울수록 양호하나, 경제성이나 예산 등을 고려한다면 최소 녹생도 7t 이상으로 해야 할 것으로 생각되었다.

정원에도 이와 같은 특수토양 훼손지 토양안정화 녹화사 필요한 곳이 많은데, 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

본 연구를 통하여 도로 개설지의 비탈면은 조기에 토사안정을 위한 비탈면 시공이 필요함을 시사하였다.

본 연구는 수많은 지형과 지질을 대상으로 실험시공하여 모니터링하는 데 한계가 있었으나, 향후 이러한 특수지역들의 연구를 지속적으로 수행함으로써 빅데이터로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. 건설교통부(2000) 도로공사설계적용기준.
2. 건설교통부(2005) 비탈면 녹화설계 시공 잠정지침.
3. 국토해양부(2009) 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침.
4. 김도균(2017a) 송정-마산도로건설공사 비탈면 녹화 시험시공 모니터링 결과보고서. 순천대학교 산학협력단.
5. 김도균(2017b) 송정-마산간 비탈면 녹화 시험시공에 대한 검토의견.
6. 김승현, 구호분, 황진연, 손문(2011) 전라남도○○후회도로 비탈면 붕괴 발생원인 및 토사지반특성 사례 연구. 대한지질공학회지 21(4): 313-322.
7. 김종원(1996) 뿌리의 구조와 생장. 한국수목보호학회지 2: 11-13.
8. 김준민, 임양재, 전의식(2000) 한국의 귀화식물. 사이언스북스. p. 281.
9. 박수현(1994) 한국의 귀화식물에 관한 연구. 한국자연보존 85: 39-49.
10. 박수현(1995) 한국귀화식물원색도감. 일조각. p. 371.
11. 박수현(2001) 한국귀화식물원색도감 보유편. 일조각. p. 178.
12. 박찬범(2000) 도로비탈사면 재해예방대책. 부산지방 국토관리청.
13. 이상태(1997) 한국식물감색집. 아카데미서적. p. 446.
14. 이승봉, 장현호, 천승훈, 백승길, 이영인(2016) 데이터 기반의 도로구간별 운전자의 통행행태를 고려한 교통사고지표 개발. 대한교통학회지 34(4): 341-353.
15. 이영로(1998) 한국식물도감. 교학사. p. 1247.
16. 이영애(2022) 식물이 환경 따라 성장속도 다른 이유. 동아시아인스 2022. 8. 29.
17. 이주용, 이승수, 김준영(2020) 전산해석을 이용한 달리. 2020 대한기계학회 춘추학술대회집.
18. 이창복(1980) 대한식물도감. 향문사. p. 990.
19. 임양재, 전의식(1980) 한반도의 귀화식물 분포. 한국식물학회지. 23(3-4): 69-83.
20. 전기성, 강희만, 김태수(2021) 고속도로 암반비탈면 녹화공법의 설계 기준 개선 연구. 한국도로공사 도로교통연구원 보고서.
21. 한국기술연구원(1997) 절개사면의 보강녹생도 공법 개발연구. 한국기술연구원 연구보고서 99-028.
22. 한국도로공사(1989) 도로설계요령. 제2권, 토공 및 배수.
23. 한국조경학회(2016) 조경관리학. 문운당.
24. Peng, F., W. Tsuji, T. Wang, and A. Tsunekawa(2011) Effects of Sand Burial and Water Regimes on Seed Germination and Seedling Emergence of Two Desert Species. Advanced Materials Research, pp. 356-360.
25. Tommasini, L. J. T. Svensson, E. M. Rodriguez, A. Wahid, M. Malatrasi, and K. Kato(2008) Dehydrin gene expression provides an indicator of low temperature and drought stress: transcriptome-based

- analysis of Barley. *Funct Integr Genomics* 8: 387-405.
26. Yajuan, Z., Y. Xuejun, B. Carol, M. Jerry, and Ming, D.(2014) Effects of amount and frequency of precipitation and sand burial on seed germination, seedling emergence and survival of the dune grass *Leymus secalinus* in semiar. *Plant and Soil* 374(1): 399-409.
27. https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A7%80%EB%B0%A9%EB%8F%84_%EC%A0%9C865%ED%98%B8%EC%84%A0
28. <https://www.sciencedaily.com/releases/2012/05/120504110119.htm>

Received : 8 May, 2023

Revised : 22 June, 2023 (1st)

25 August, 2023 (2nd)

16 September, 2023 (3rd)

Accepted : 16 September, 2023

3인익명 심사필