

고속도로 비탈면 녹화공법 시험시공지의 토질조건별 초기 녹화효과 사례연구*

이제만¹⁾ · 김경훈²⁾ · 전기성³⁾ · 임상준^{4),5)}*

¹⁾서울대학교 농림생물자원학부 학생 · ²⁾(주)휴림 대표이사 · ³⁾한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 ·
⁴⁾서울대학교 농림생물자원학부 교수 ⁵⁾서울대학교 농업생명과학연구원 교수

Case Study of the Early Stage Vegetation Recovery with Soil Property in the Roadside Slopes of the Expressway*

Jeman Lee¹⁾ · Kyung-Hoon Kim²⁾ · Gi-Seong Jeon³⁾ and Sangjun Im^{4),5)}*

¹⁾Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Seoul National University, Student,

²⁾Hyurim Inc., CEO,

³⁾Korea Expressway Corporation Research Institute, Senior Researcher,

⁴⁾Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Seoul National University, Professor,

⁵⁾Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University. Professor.

ABSTRACT

This study investigated and analyzed the effects of vegetation on the roadside slopes at the expressway construction sites in order to evaluate the vegetation recovery regarding soil type and revegetation technique. We selected two study sites with an area of 1,000 m² located in the construction sites of the Korea Expressway Corporation, named Hwado-Yangpyeong Expressway Section 3 and Saemangeum-Jeonju Expressway Section 7. The revegetation was monitored in three plot groups (earth, soft rock, and hard rock slopes), and scored based on the guideline of the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. The revegetation was generally lower in the Hwado-Yangpyeong site than that of the Saemangeum-Jeonju site. The field monitoring indicated that the revegetation varied with slope aspect and environmental characteristics between plots. The Saemangeum-Jeonju site showed a high overall evaluation score, but there was a slight difference in the score for each plot. This seems to be due to the differences in geographical conditions, construction methods, and site environment between two sites. This study can provide basic information to understand the short-term effects of revegetation techniques in the roadside slopes.

Key Words : roadside slope, revegetation, slope greening, hydroseeding

*본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2020185B10-2222-AA02)의 지원으로 이루어진 것입니다.

First author : Jeman Lee, Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Seoul National University, Student, Seoul 08826, Korea,

Tel : +82-2-880-4768, E-mail : jemahn@snu.ac.kr

Corresponding author : Sangjun Im, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Professor, Seoul 08826, Korea,

Tel : +82-2-880-4759, E-mail : junie@snu.ac.kr

Received : 6 February, 2023. **Revised :** 17 April, 2023. **Accepted :** 16 March, 2023

I. 서론

우리나라는 국토의 약 64%가 산지로 이루어져, 대부분의 고속도로 노선은 산지를 통과하도록 설계·시공되고 있다. 이로 인해 고속도로 시공과정에서 산지를 절개하게 되며, 인위적인 도로 비탈면이 많이 만들어진다. 고속도로 비탈면은 경관을 악화시키고 장시간 노출되면 풍화나 표면침식 등의 문제를 유발하기 때문에 식생을 이용한 다양한 녹화공법을 통해 비탈면 환경을 개선하고 있다(Korea Expressway Corporation, 2015).

비탈면의 구조적인 특성이나 토질, 암반 상황 등에 따라 다양한 식생녹화방법이 적용되고 있다. 토사 비탈면은 주로 종자를 파종하는 종자뿌어붙이기공법이 적용되고, 암반 비탈면은 종자를 직접 파종하거나 묘목을 식재하기 어렵기 때문에 식생기반재뿌어붙이기공법이 주로 적용된다(Korea Expressway Corporation, 1995; Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009). 도로 비탈면의 식생피복·녹화는 생태계 복원, 생물서식처 제공, 경관 보존 등의 효과를 가져오지만, 외래종이 침입하여 우점하거나 부적절한 식생피복으로 단조로운 경관을 나타내기도 한다(Kim, 1998; Hur and Ahn, 2006).

녹화공법은 비탈면 식재환경, 시공 및 녹화재료, 시공 방법 등에 따라 다양하기 때문에, 사업대상지의 현장 여건을 고려하여 선정하여야 한다. 국토해양부에서 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침 (이하 녹화지침)’을 마련하여 현장 조건에 적합한 녹화공법 선정기준을 제시하였다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009). 녹화지침은 비탈면의 토질조건에 맞는 녹화공법을 제시하고 있으나, 주로 조기녹화를 위한 기능적인 측면에 초점을 맞추고 있다. 실제적으로 비탈면의 식재환경에 대한 조사분석이 불충분하여, 식재시공 후에 식물이 고사하여 녹화 시공지가 다시 황폐화되는 문제가 발생하기

도 한다(Korea Expressway Corporation, 2001; Kim, 2010).

최근에는 녹화지침의 문제점을 검토하고 개선 방안을 도출하기 위한 시도가 이루어지고 있다(Kim et al., 2020). Kim et al. (2020)은 녹화시공 후에 시간 경과에 따라 토양물리성, 식물 종 구성, 식생피복도가 달라지기 때문에, 시공 후 현장 모니터링 시점에 따라 평가항목 간 중요도에 대한 조정의 필요성을 언급하였다. 한편, 다른 환경의 비탈면에 녹화공법을 적용한 후 식물생태계 및 훼손경관의 회복 정도를 평가하는 연구가 진행되었다(Kim et al., 2001; You et al., 2009; Park et al., 2014). Kim et al.(2001)은 식생기반재뿌어붙이기공법이 시공된 마사토 비탈면에 대해 파종 후 출현종 및 식생천이 양상을 모니터링하고, 부가적으로 식생복원의 지표침식 방지효과를 규명하였다. You et al.(2009)은 고속도로 절토 비탈면에 적용된 녹화공법을 추적조사하였다. 이 연구에서는 비탈면 식재환경 및 생육조건에 부합하는 녹화공법 선정의 필요성을 역설하였으며, 우리나라 자생식물의 이용 필요성과 환경보전과 생태계 복원을 고려한 친환경공법 도입에 대해 언급하였다. Park et al. (2014)는 토사 비탈면과 계단식 용벽의 인공구조물로 이루어진 비탈면을 대상으로 녹화 효과를 분석하였다.

그러나 비탈면의 토질 환경에 따른 녹화공법 및 녹화효과에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. Lee et al.(2021)은 토사, 연암, 경암으로 이루어진 비탈면을 대상으로 토질조건별 녹화 효과를 분석하였으며, 녹화지침에 따라 출현식물, 식물생육 상태, 식생기반재 안정성에 대해 조사하였다. 이 연구는 고속도로 비탈면의 생태복원에 대한 기초자료를 제공하고 있으나 녹화시공 후 1년 이내의 단기 변화를 조사하였고 녹화지침에서 요구하는 평가항목 중 일부가 제외되는 한계를 가지고 있다. 따라서, 비탈면 토질환경에 따른 식생피복을 장기간에 걸쳐 모니터링하고 이를 기초로 토질특성에 따른 녹화효과를 체계적으로

Table 1. Site Characteristics and Implemented Greening Methods.

Site	Rock type	Area(m ²)	Greening Method
Hwado-Yangpyeong	Earth + Soft rock	165	Soil-media hydroseeding (3cm) + Coir net
	Soft rock	660	Soil-media hydroseeding (5cm) + Wire net
	Hard rock	175	Soil-media hydroseeding (10cm) + Wire net
Total	-	1,000	-
Saemangeum-Jeonju	Earth	100	Soil-media hydroseeding (pneumatic, 3cm)
		100	Soil-media hydroseeding (hydraulic, 3cm)
		100	E method(3cm)
	Soft rock	100	Soil-media hydroseeding (pneumatic, 5cm)
		100	Soil-media hydroseeding (hydraulic, 5cm)
		100	E method(5cm)
	Hard rock	100	Soil-media hydroseeding (pneumatic, 10cm)
		100	Soil-media hydroseeding (hydraulic, 10cm)
		100	E method(10cm)
	Control	100	-
	Total	-	1,000

평가하는 연구가 필요한 실정이다.

이 연구에서는 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침’에 따라 녹화공법 시험시공지를 평가하고, 토질조건 및 시공방법별로 시간 경과에 따라 녹화효과를 분석하고자 하였다. 이를 위해 고속도로 인공 비탈면을 대상으로 토질조건별로 서로 다른 녹화공법을 적용하여 시험시공지를 조성하고, 시공 후 2년 동안 현장모니터링을 수행하였으며 이를 분석하여 토질조건별 비탈면 녹화 시공효과를 평가하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상지

연구대상지는 한국도로공사 수도권건설사업단 화도양평 3공구(STA.15+960~16+000 절토부(화도방향))와 새만금-전주 건설사업단 새만금-전주간 건설공사 제7공구(STA.48+820~48+860 고덕2터널 시점부 절토사면)에 각각 위치하고 있

다. 시험시공 비탈면은 토사(earth), 연암(soft rock), 경암(hard rock)의 토질조건을 모두 포함하는 곳으로 선정하였으며, 대상지 면적은 각각 1000 m²이다.

토질조건은 암반분류법 중 Ripping(리핑) 가능성에 의한 암반분류법으로 구분하였는데, 이는 현장에서 실무자가 암반의 질을 추정하는 손쉬운 방법으로 알려져 있다(Ryu and Park, 2003). 토사 비탈면은 풍화잔류토, 붕적층, 충적층, 매립토 등 각종 토사로 이루어진 비탈면을 의미하며, 연암 비탈면은 굴착기를 이용하여 끊어내는 작업인 리핑작업이 가능한 풍화암이다. 경암 비탈면은 리핑작업이 어려워 화약을 사용한 발파작업을 통해 굴착이 필요한 암반이다.

시험시공 대상지의 토질특성별 시공면적 및 공종은 Table 1과 같다. Table 1과 같이 토질 특성별로 식생기반재뿌어붙이기 공기압밀식(pneumatic)과 분사식(hydraulic) 공법, 그리고 상품화된 제품인 E 공법을 적용하였다. 공기압밀식은 강한 공기압

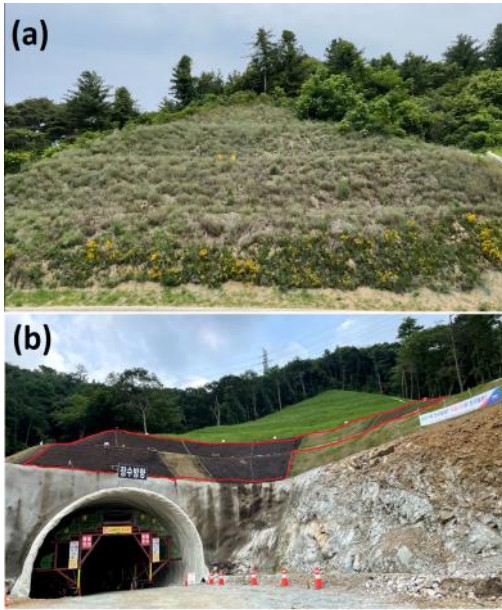


Figure 1. Overview of Construction Sites
(a) Hwado-Yangpyeong, (b) Saemangeum-Jeonju

으로 시공재료를 비탈면에 부착시키는 방식으로, 급경사지에 식생기반층을 한번에 두텁게 조성할 수 있다는 장점이 있다. 반면 분사식 공법은 펌프를 이용하여 재료를 분사식으로 부착하는 방식으로, 식생기반층의 토양물리성을 개선하는 효과를 가지고 있다. 현장시공은 “도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침”의 기준에 따라 토사 비탈면은 3 cm, 연암과 경암 비탈면은 각각 5 cm, 10 cm 두께로 현장시공하였다. 화도-양평 시험시공지는 2020년 10월 13일~15일에 조성하였고, 새만금-전주 시험시공지는 2021년 5월 24일~ 6월 2일에 걸쳐 현장시공이 진행되었다. 연구 대상지의 전경은 Figure 1과 같다.

2. 종자 배합

종자 배합은 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침’의 환경지역별 녹화공법을 참조하여 내륙생태계지역을 적용하였다. 화도-양평 시험시공지는 가을철에 시공하였기에 비탈면의 초기 식생피복을 목표로 하여, 목본 2종, 초화류 3

종, 외래초본 3종을 사용하였다. 새만금-전주 시험시공지는 관목류 4종, 초본 및 야생화 14종, 외래도입초종 3종으로 구성된 총 21종의 종자를 사용하였다. 시험시공지는 모두 양잔디의 비율을 낮추고 초화류와 관목류의 혼합을 통해 주변식생의 침입을 유도하여, 최종적으로 비탈면 녹화식생의 종 다양성을 풍부하게 하도록 종자를 선택하였다. 시험시공지 녹화에 사용된 식물 종 및 종자량, 배합비는 Table 2와 같다.

3. 녹화효과 평가방식

국토교통부 녹화지침에 따라 비탈면 녹화의 시공효과를 판단하기 위해, 출현식물과 식물생육 상태, 식생기반재의 안정성, 녹화의 지속성 및 유사현장 시공사례, 그리고 경제성에 대해 현장모니터링을 실시하였다. 현장모니터링은 녹화지침에 의해 이루어졌으며, 동절기 (10월)에 시공된 화도-양평 구간은 이듬해 9월에 시공 1년차 조사를 실시하고, 새만금-전주 시험시공지는 봄철(5월) 시공 후 당해 9월에 조사하였다. 각 시험시공지는 1년차 조사 이전에 예비조사 및 2회의 모니터링을 실시하였으나 조사결과는 본 연구에서 제외하였다. 시험시공지의 2년차 조사는 동일하게 2022년 6월에 수행하였다.

현장조사 결과는 녹화지침에서 제시하는 녹화공법 평가표를 이용하여 100점 기준으로 정량적 평가를 실시하였다. 추가적으로 경제성 및 정성적 항목에 대해 평가한 후에 토질조건별로 시간경과에 따른 녹화효과를 평가하였다. 현장모니터링 평가기준은 복원목표에 따라 달라지는데, 이 연구에서는 초본관목혼합형을 복원목표로 설정하여 평가하였다.

현장모니터링은 먼저 출현식물 평가를 위해 목본성립본수, 초본 및 목본의 출현종수, 그리고 위해종의 침입 여부에 대해 조사하였다. 목본성립본수는 1m²(1m × 1m) 크기의 방형구를 시험시공지 내 식생을 대표할 수 있는 위치에 설치하여 조사하였고, 복원목표에 따른 성립본수는

Table 2. Plant Seeds and its Mixing Ratio with Slope Type

Hwado-Yangpyeong		Earth		Soft rock		Hard rock	
		amount (g/m ²)	rate (%)	amount (g/m ²)	rate (%)	amount (g/m ²)	rate (%)
Native tree	<i>Indigofera pseudotinctoria</i>	0.9	7.3	1.4	7.0	2.0	7.1
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	1.3		2.1		3.0	
	Sub-total	2.2		3.5		5.0	
Herbaceous	<i>Centaurea cyanus</i>	2.1	21.0	3.6	21.6	5.0	21.4
	<i>Cosmos bipinnatus</i>	2.1		3.6		5.0	
	<i>Coreopsis drummondii</i>	2.1		3.6		5.0	
	Sub-total	6.3		10.8		15.0	
Exotic grass	<i>Festuca arundinacea</i>	8.6	71.7	14.3	71.4	20.0	71.4
	<i>Lolium perenne</i>	4.3		7.1		10.0	
	<i>Cynoden dactylon</i>	8.6		14.3		20.0	
	Sub-total	21.5		35.7		50.0	
Total		30.0	100.0	50.0	100.0	70.0	100.0
Saemangeum-Jeonju		Earth		Soft rock		Hard rock	
		amount (g/m ²)	rate (%)	amount (g/m ²)	rate (%)	amount (g/m ²)	rate (%)
Native tree	<i>Rhus chinensis</i>	1.8	7.2	4.2	7.0	6.3	7.0
	<i>Albizia julibrissin</i>	1.8	7.2	4.4	7.3	6.7	7.4
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	1.9	7.6	4.6	7.7	6.9	7.7
	<i>Indigofera pseudotinctoria</i>	2.0	8.0	4.8	8.0	7.1	7.9
	Sub-total	7.5	30.0	18.0	30.0	27.0	30.0
Herbaceous	<i>Lespedeza cuneata</i>	2.5	10.0	6.0	10.0	9.0	10.0
	<i>Coreopsis basalis</i>	0.9	3.6	2.1	3.5	3.2	3.5
	<i>Cosmos sulphureus</i>	1.2	4.8	2.9	4.8	4.3	4.8
	<i>Lotus corniculatus</i>	0.6	2.4	1.5	2.4	2.2	2.4
	<i>Centaurea cyanus</i>	0.6	2.4	1.5	2.4	2.2	2.4
	<i>Coreopsis tinctoria</i>	0.6	2.4	1.5	2.4	2.2	2.4
	<i>Trifolium pratense</i>	0.6	2.4	1.5	2.4	2.2	2.4
	<i>Dianthus chinensis</i>	0.6	2.4	1.5	2.4	2.2	2.4
	<i>Medicago sativa</i>	1.2	4.8	2.9	4.8	4.3	4.8
	<i>Astragalus sinicus</i>	2.5	10.0	6.0	10.0	9.0	10.0
	<i>Silene armeria</i>	1.3	5.2	3.1	5.2	4.7	5.2
	<i>Leucanthemum × superbum</i>	0.8	3.2	1.9	3.2	2.9	3.2
	<i>Pennisetum alopecuroides</i>	0.7	2.8	1.7	2.8	2.5	2.8
	<i>Cosmos bipinnatus</i>	0.9	3.6	2.2	3.6	3.2	3.6
Sub-total	15.0	60.0	36.0	60.0	54.0	60.0	
Exotic grass	<i>Poa pratensis</i>	0.6	2.4	1.5	2.4	2.2	2.4
	<i>Festuca arundinacea</i>	0.9	3.6	2.2	3.6	3.3	3.6
	<i>Lolium perenne</i>	1.0	4.0	2.4	4.0	3.6	4.0
	Sub-total	2.5	10.0	6.0	10.0	9.0	10.0
Total		25.0	100.0	60.0	100.0	90.0	100.0

모니터링 시점에서 최고치의 출현본수 측정값을 백분율(%)로 환산하여 산정하였다. 초본 및

목본의 출현종수는 1년간의 누적치로 평가하였다. 또한, 생태계 교란 및 위해종의 출현여부 및



Figure 2. Evaluation of Vegetation Effects on Slopes.

그에 따른 식생피해를 조사하여, 교란정도를 측정하였다. 교란중 조사는 환경부에서 지정한 생태계교란 생물(환경부고시 2019-185호)과 칩덩굴의 출현 여부를 명기하는 방식으로 실시하였다. 칩덩굴은 일반적으로 녹화공사를 시행한 비탈면에서 빈번히 나타나 하층 및 주변 식생의 생육을 저해하는 것으로 알려져 있다.

식물생육 상태를 평가하기 위해 식생피복률(전체, 한지형 및 양잔디 피복률), 식물생육량, 그리고 병충해 피해정도를 조사하였다. 전체 식생피복률은 식물이 생육하여 지표면을 덮고 있는 면적을 의미한다. 시험시공지에 방형구(1m×1m)를 설치하여 식생피복률을 3회 측정 후 이를 산술평균하여 전체 피복률로 환산하였다. 한지형 초종 및 양잔디 피복률은 식생피복률을 보정하기 위해 사용되며, 외래도입초종의 피복을 별도로 측정하여 백분율로 환산한다. 식물생육량은 출현한 모든 식물의 생육을 기준으로 판정하였다. 측정방식은 방형구 내 식물을 채취하여 건조 후 중량을 이용하여 구한다. 이때, 조사지가 훼손되는 문제가 발생하기 때문에 이번 연구에서는 우점 식물종의 초장을 식물생육량으로 간주하여 조사하였다. 병충해 피해 정도는 시험시공 후 수시로 파종 식물의 병충해 발생 유무를 점검하여 파악하였다.

시험시공지의 식생기반재 안정성은 시공지에 발생한 탈락 및 붕괴, 그리고 식생기반재의 물리화학적 특성을 조사하여 평가하였다. 토사 비탈면은 표면 침식이나 붕괴를 파악하고, 암반

비탈면은 식생기반재뿌어붙이기가 시공된 재료의 탈락 및 붕괴를 조사하였다. 조사지 10m²당 탈락 및 붕괴지를 조사하여 평가하는데, 시험시공 후에 훼손 상태를 측정하여 그에 따른 결과를 반영하도록 하였다. 식생기반재의 토양경도, 토양습도를 측정하여 식생기반재의 물리화학적 특성은 평가하였다. 토양경도는 산중식(山中式) 토양경도계로 이용하고, 토양습도는 간이 토양산습도계를 통해 총 3회 이상 측정한 후 평균값을 이용하였다.

경제성 평가는 시험시공에 적용된 공법의 시공단가 중 최저가 대비 비율을 환산하여 평가기준에 따라 실시한다. 하지만 본 연구는 토질환경에 따른 녹화효과를 평가하기 위한 목적이므로, 경제성 평가는 의미가 없는 것으로 판단되어 모든 시험시공지에 동일하게 30점을 적용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 출현식물 조사결과

화도-양평 시험시공지 1년차 모니터링에 의하면 파종한 식물 중에서는 참싸리만 출현하였으며, 외부 침입수종으로는 오동나무, 아까시나무, 붉나무 등 목본류가 발견되었다. 국토교통부 녹화지침의 비탈면 복원목표에서 제시한 목본성립본수 기준인 3본/m²에 비교하여, 토사 비탈면은 55.6%, 연암과 경암 비탈면은 각각 44.4%와 33.3%로 나타났으며, 토질조건 구분없이 평

Table 3. Vegetation Species in the Hwado-Yangpyeong Site at the Second Years after the Implementation.

Slope		Vegetation species		
Earth	Tree	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> <i>Rhus chinensis</i>		
	Herbaceous	<i>Centaurea cyanus</i> <i>Setaria viridis</i> <i>Commelina commu</i> <i>Humulus scandensnis</i>	Exotic grass spp. <i>Digitaria ciliaris</i> <i>Conyza canadensis</i>	<i>Artemisia indica</i> <i>Chenopodium album</i> <i>Pueraria lobata</i>
Soft rock	Tree	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>		
	Herbaceous	<i>Centaurea cyanus</i> <i>Pueraria lobata</i> <i>Chenopodium album</i> <i>Wisteria floribunda</i>	Exotic grass spp. <i>Digitaria ciliaris</i> <i>Conyza canadensis</i> <i>Phytolacca americana</i>	<i>Artemisia indica</i> <i>Setaria viridis</i> <i>Humulus scandens</i> <i>Coreopsis basalis</i>
Hard rock	Tree	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>		
	Herbaceous	<i>Centaurea cyanus</i> <i>Setaria viridis</i> <i>Commelina communis</i> <i>Humulus scandens</i> <i>Aster koraiensis</i>	Exotic grass spp. <i>Digitaria ciliaris</i> <i>Conyza canadensis</i> <i>Coreopsis basalis</i> <i>Pueraria lobata</i>	<i>Artemisia indica</i> <i>Chenopodium album</i> <i>Coreopsis tinctoria</i> <i>Dianthus chinensis</i> <i>Phytolacca americana</i>

가점수는 3점에 해당되었다. 모니터링 2년차에서는 참싸리, 등나무, 오동나무, 붉나무 등 4종이 출현하였지만, 시공지 전반적으로 초본류가 우점하고 있어 목본의 성립본수는 60% 미만으로 조사되어 하(3점)로 평가되었다.

새만금-전주 구간 시험시공지에 대한 1년차 모니터링에서는 붉나무, 자귀나무, 참싸리, 낭아초가 발견되었으며, 외부에서 침입한 종으로 아까시나무가 조사되었다. 전체적으로 1년차 목본성립본수는 4.3~18.3본으로 조사되어 목표치를 초과하였다(10점). 하지만 2년차 조사에서는 조사구별로 목본(주로 참싸리)의 우점도에 따라 목본성립본수의 범위가 적게는 1~3.7본/m²에서 많게는 5~10.3본/m²으로 나타났다. 목본으로는 종자 배합에 포함된 붉나무, 자귀나무, 참싸리, 낭아초가 출현하였으며 외부로부터 아까시나무가 침입하였다. 목본성립본수의 평가는 모두 목표치를 초과하여 평가점수 10점을 부여하였다.

화도-양평 시험시공지의 초본 및 목본의 출현 종수는 1차년도에 조사구당 9~10종이, 이후 2차년도에는 12~16종이 나타났다. 이는 비탈면 복원목표 7종을 모두 상회하는 수치로 평가점수는 15점으로 조사되었다. 2년차 모니터링에 의하

면, 시공지의 외곽부에 위치하고 있는 토사 및 연암 비탈면에는 주변 산림으로부터 환삼덩굴, 등, 미국자리공 등이 침입한 것을 확인하였다. 경암 비탈면에서는 1년차 모니터링에 비해 큰금계국, 기생초, 패랭이꽃, 별개미취, 쉼, 미국자리공이 새로 확인되었다. 파종한 식물종 중에서는 참싸리, 수레국화, 금계국이 주로 출현하였으며, 이외에 쑥, 바랭이, 강아지풀, 명아주, 닭의장풀, 망초 등 주로 도로 비탈면에서 초기에 출현하는 잡초종이 많은 것으로 조사되었다.

새만금-전주 시공지는 1차년도에는 11~17종의 초본 및 목본 출현종이 조사되었지만 2차년도에는 15~20종이 나타나, 평가점수는 15점으로 집계되었다. 파종한 식물종에서 낭아초, 기생초, 끈끈이대나물이 주로 우점하였고 이 외에 자귀나무, 참싸리, 금계국, 황화코스모스, 별개미취, 기생초, 샬스타데이지, 코스모스, 수레국화, 패랭이꽃, 양잔디류 등이 주로 출현하였다. 파종한 식물종 이외에는 차풀, 벼, 냉이, 토마토, 피, 망초, 미국자리공, 까마중, 바랭이, 강아지풀, 벼, 달맞이꽃, 명아주 등이 조사되었다. 이는 도로 비탈면에 초기에 출현하는 잡초종이다.

Table 3은 화도-양평 시험시공지에 대한 모니

Table 4. Vegetation Species in the Saemangeum-Jeonju Site at the Second Years after the Implementation.

Slope		Vegetation species		
		Pneumatic	Hydraulic	E method
Earth	Tree	<i>Albizia julibrissin</i> <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> <i>Indigofera pseudotinctoria</i>	<i>Albizia julibrissin</i> <i>Indigofera pseudotinctoria</i> <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> <i>Rhus chinensis</i> <i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Albizia julibrissin</i> <i>Indigofera pseudotinctoria</i> <i>Robinia pseudoacacia</i> <i>Rhus chinensis</i>
	Herbaceous	<i>Coreopsis basalis</i> <i>Cosmos sulphureus</i> <i>Lotus corniculatus</i> <i>Coreopsis tinctoria</i> <i>Leucanthemum × superbum</i> <i>Cosmos bipinnatus</i> Exotic grass spp. <i>Solanum lycopersicum</i> <i>Chamaecrista nomame</i> <i>Oryza sativa</i> <i>Capsella bursa-pastoris</i> <i>Echinochloa esculenta</i> <i>Conyza canadensis</i> <i>Dianthus chinensis</i> <i>Phytolacca americana</i> <i>Centaurea cyanus</i>	<i>Lespedeza cuneata</i> <i>Coreopsis basalis</i> <i>Cosmos sulphureus</i> <i>Coreopsis tinctoria</i> <i>Dianthus chinensis</i> <i>Silene armeria</i> <i>Cosmos bipinnatus</i> Exotic grass spp. <i>Solanum nigrum</i> <i>Solanum lycopersicum</i> <i>Echinochloa esculenta</i> <i>Centaurea cyanus</i> <i>Conyza canadensis</i>	<i>Lespedeza cuneata</i> <i>Cosmos sulphureus</i> <i>Coreopsis tinctoria</i> <i>Trifolium pratense</i> <i>Leucanthemum × superbum</i> <i>Cosmos bipinnatus</i> Exotic grass spp. <i>Chamaecrista nomame</i> <i>Digitaria ciliaris</i> <i>Echinochloa esculenta</i> <i>Setaria viridis</i> <i>Conyza canadensis</i> <i>Dianthus chinensis</i> <i>Coreopsis basalis</i>
Ripping rock	Tree	<i>Albizia julibrissin</i> <i>Indigofera pseudotinctoria</i> <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> <i>Robinia pseudoacacia</i> <i>Rhus chinensis</i>	<i>Albizia julibrissin</i> <i>Indigofera pseudotinctoria</i> <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> <i>Rhus chinensis</i>	<i>Albizia julibrissin</i> <i>Indigofera pseudotinctoria</i> <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> <i>Rhus chinensis</i> <i>Robinia pseudoacacia</i>
	Herbaceous	<i>Cosmos sulphureus</i> <i>Coreopsis tinctoria</i> <i>Cosmos bipinnatus</i> Exotic grass spp. <i>Solanum nigrum</i> <i>Chamaecrista nomame</i> <i>Oryza sativa</i> <i>Echinochloa esculenta</i> <i>Conyza canadensis</i> <i>Silene armeria</i> <i>Coreopsis basalis</i>	<i>Cosmos sulphureus</i> <i>Lotus corniculatus</i> <i>Coreopsis tinctoria</i> <i>Trifolium pratense</i> <i>Silene armeria</i> <i>Cosmos bipinnatus</i> Exotic grass spp. <i>Oenothera biennis</i> <i>Oryza sativa</i> <i>Capsella bursa-pastoris</i> <i>Echinochloa esculenta</i> <i>Conyza canadensis</i> <i>Coreopsis basalis</i>	<i>Cosmos sulphureus</i> <i>Lotus corniculatus</i> <i>Coreopsis tinctoria</i> <i>Cosmos bipinnatus</i> Exotic grass spp. <i>Chamaecrista nomame</i> <i>Oryza sativa</i> <i>Digitaria ciliaris</i> <i>Capsella bursa-pastoris</i> <i>Echinochloa esculenta</i> <i>Setaria viridis</i> <i>Silene armeria</i> <i>Conyza canadensis</i> <i>Centaurea cyanus</i> <i>Dianthus chinensis</i> <i>Coreopsis basalis</i>
Rock blast	Tree	<i>Albizia julibrissin</i> <i>Indigofera pseudotinctoria</i> <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> <i>Rhus chinensis</i>	<i>Indigofera pseudotinctoria</i> <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> <i>Rhus chinensis</i>	<i>Albizia julibrissin</i> <i>Indigofera pseudotinctoria</i> <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> <i>Rhus chinensis</i>
	Herbaceous	<i>Cosmos sulphureus</i> <i>Centaurea cyanus</i> <i>Cosmos bipinnatus</i> Exotic grass spp. <i>Solanum nigrum</i> <i>Digitaria ciliaris</i> <i>Chenopodium album</i> <i>Conyza canadensis</i> <i>Silene armeria</i> <i>Coreopsis tinctoria</i> <i>Artemisia indica</i>	<i>Cosmos sulphureus</i> <i>Lotus corniculatus</i> <i>Centaurea cyanus</i> <i>Coreopsis tinctoria</i> <i>Dianthus chinensis</i> <i>Astragalus sinicus</i> <i>Silene armeria</i> <i>Cosmos bipinnatus</i> Exotic grass spp. <i>Solanum nigrum</i> <i>Solanum lycopersicum</i> <i>Oenothera biennis</i> <i>Digitaria ciliaris</i> <i>Conyza canadensis</i> <i>Coreopsis basalis</i>	<i>Cosmos sulphureus</i> <i>Centaurea cyanus</i> <i>Coreopsis tinctoria</i> <i>Dianthus chinensis</i> <i>Silene armeria</i> <i>Leucanthemum × superbum</i> <i>Cosmos bipinnatus</i> Exotic grass spp. <i>Oenothera biennis</i> <i>Chenopodium album</i> <i>Setaria viridis</i> <i>Crepidiastrum sonchifolium</i> <i>Coreopsis basalis</i>

Table 5. Plant Coverage Rate(%) of Study Sites.

Hwado-Yangpyeong									
Period	Earth			Soft rock			Hard rock		
1 st year	80.0			78.3			81.7		
2 nd year	86.7			83.3			83.3		

Saemangeum-Jeonju									
Period	Earth			Soft rock			Hard rock		
	pnuematic	hydraulic	E method	pnuematic	hydraulic	E method	pnuematic	hydraulic	E method
1 st year	88.3	31.7	90.0	76.7	70.0	73.3	95.0	70.0	43.3
2 nd year	80.0	90.0	100	60.0	80.0	90.0	100.0	60.0	70.0

터링 2년차 초본 및 목본 출현종을 정리한 것이며, Table 4는 새만금-전주 시험시공지에 대한 출현종이다. 여기서 비탈면 녹화 시공효과의 출현종 평가에는 도입초종(양잔디류)은 1종으로 평가하기 때문에 외래종(Exotic grass spp.)으로 표기하였다.

생태계 교란 및 위해종의 출현 여부를 조사한 결과, 화도-양평 시험시공지에는 모니터링 1차년도에 토질조건별로 칩 혹은 환삼덩굴 한 종씩 조사되었지만, 이후 모든 비탈면에서 칩과 환삼덩굴이 동시에 나타났다. 이로 인해 하부식생의 피해가 예상되어 평가기준에 따라 -3점으로 평가하였다. 새만금-전주 시험시공지는 위해종이 출현하지 않아 피해가 없는 것으로 평가하였다(0점).

2. 식물생육 조사결과

시험시공지에 대한 식생피복률의 조사결과는 Table 5와 같다. 시공 후 1년차에 비해 2년차의 피복률은 대부분의 시공지에서 높게 나타났다. 다만 새만금-전주 시험시공지의 연암(공기압밀식) 시공지, 경암(분사식) 시공지는 1년차보다 다소 낮게 나타났다. 이들 시공지는 다른 시험시공지와 달리 참싸리가 아닌 초화류가 우점하고 있었으며, 나지가 부분적으로 노출되어 있었다. 지형적으로 이들 시험시공지는 비슷한 방위에 위치하고 있기 때문에 햇빛 노출로 인한 건조 피해가 원인으로 예상되며 이에 대한 추가

연구가 필요하다. 화도-양평 시험시공지는 녹화공법과 상관없이 80% 이상의 높은 피복률을 보였으며(15점), 새만금-전주 시험시공지는 연암(공기압밀식) 시공지와 경암의 분사식, E 공법 시공지에서 60~70%의 범위를 보여 중(10점)으로 평가되었으며, 이 외에는 모두 15점을 부여하였다.

한지형 초종(외래종) 피복률은 화도-양평 시험시공지에서는 1차년도에는 토사, 연암, 경암 각각 68.3%, 48.3%, 60.0%로 조사되었고, 이후 2차년도에는 50.0%, 50.0%, 76.7%의 피복률을 보여 모두 중(-3)으로 평가하였다. 새만금-전주 시험시공지는 상층 식생부의 피복에 따라 한지형 초종 피복률이 다르게 나타났다. 1차년도에는 전체 조사구에서 한지형 초종의 피복률이 2.3~6.7%의 범위를 보여 상(0점)으로 평가됐지만, 이후 2차년도에는 참싸리가 우점하고 있지 않은 조사지인 토사 E 공법, 연암(공기압밀식) 시공지에서 각각 36.6%, 50% 피복률을 보여 중(-3점)으로 평가되었다. 경암 비탈면의 분사식 및 E 공법 시공지에서는 모두 80%의 피복률을 보여 하(-5)로 평가됐다. 이 외 조사지는 참싸리가 우점하여 상층을 구성하고 있었기 때문에 상으로 평가하여 0점을 부여하였다.

식물생육량은 보면 화도-양평 시험시공지는 토사, 연암, 경암 시공지 각각 1년차에는 43.3cm, 38.3cm, 38.3cm에서 60.0cm, 80.0cm, 73.3cm으로 조사되어, 1년 동안에 약 1.4~2.1배 가량 생육

Table 6. Soil Characteristics of Study Sites.

Item	Hwado-Yangpyeong									
	year	Earth			Soft rock			Hard rock		
pH	1	6.7			6.8			7.0		
	2	7.0			7.2			7.2		
Moisture (%)	1	58.3			13.7			58.3		
	2	58.0			55.0			55.0		
Hardness (mm)	1	11.0			13.7			15.3		
	2	25.0			35.0			30.0		
Item	Saemangeum-Jeonju									
	year	Earth			Soft rock			Hard rock		
pH		pneumatic	hydraulic	E method	pneumatic	hydraulic	E method	pneumatic	hydraulic	E method
	1	6.7	6.3	6.7	6.5	6.8	6.5	6.2	6.7	6.2
Moisture (%)	1	73.3	76.7	76.7	73.3	73.3	75.0	68.3	76.7	73.3
	2	6.7	0	36.3	5.0	25.0	13.3	30.0	20.0	33.3
Hardness (mm)	1	13.7	11.0	11.7	14.3	12.7	12.0	17.7	16.0	16.3
	2	13.3	35	11.7	31.7	30.0	15.7	10.0	10.0	6.7

하였다. 따라서 모두 양호(5점)를 부여하였다. 전주-새만금 시험시공지 역시 1차년도에는 평균 44.5cm에서 2년차에는 81.1cm으로 증가하여 왕성한 생육을 보였다. 다만 경암(분사식) 시공지는 첫 해 45cm이었지만 이듬해 60cm로, 다른 시공지에 비해 다소 성장이 둔화되었기 때문에 2년차 조사에서 보통(3점)으로 평가하였고 이 외에는 모두 5점을 부여하였다.

병충해 피해 여부는 전체 시공지에서 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 다만 화도-양평 시험시공지의 1차년도 조사에서 여름철 고온기에 식생이 쇠퇴하는 하고현상이 일부 발생하였다는 점에서 보통(3)으로 평가하였다. 다만 이듬해 조사에서는 하고현상이 나타나지 않아 모든 조사구에서 양호(5)로 평가하였다. 새만금-전주 시험시공지는 전체 조사구에서 병충해 및 하고현상이 나타나지 않아 5점을 부여하였다.

3. 식생기반재 안정성 결과

전체 시험시공지에 대해 식생기반재의 탈락이나 표층 붕괴를 조사한 결과, 시험시공지 조사구간 외에 일부 지역에서 철망이 노출되는 부분이 있었지만, 그 면적이 크지 않고 식물생육에 문제

가 없었기 때문에 탈락이나 붕괴가 발생하지 않았다고 평가하였다. 따라서, 평가기준에 따라 양호로 평가하여 모든 대상지에 5점을 부여하였다.

식생기반재 물리화학적 특성에 대한 평가결과는 Table 6과 같다. 토양산도는 평가항목에 포함되고 있지 않아 평가에 반영하지는 않고 참고자료로 활용하였다. 토양습도와 토양경도의 평가기준에 따라 각각 평가점수를 부여하고 이를 산술 평균하였다. 화도-양평 시험시공지는 1차년도에는 토사 비탈면 시공지는 8.5점, 연암은 전체 시공지에서 10점, 경암은 전체 시공지에서 8.5점으로 평가되었고, 2차년도는 각각 7점, 5점, 5점으로 조사되었다. 새만금-전주 시험시공지는 1차년도는 전체 시공지에서 10점으로 평가되었지만 2차년도는 토사 비탈면의 분사식 시공지에서 3점, 토사 비탈면의 공기압밀식 및 E 공법 시공지와 연암 비탈면의 E 공법 시공지에서 각 10점을 제외하고는 모두 6.5점으로 평가되었다.

4. 녹화의 지속성 및 유사현장 시공사례 조사결과

녹화 시공지의 식생 현황 분석을 통해 녹화의 지속성 및 식생침입 가능성을 평가한 결과, 비탈면 주위로 산림이 연결되어 있으며 이들 지역

Table 7. Evaluation Results for Study Sites.

Hwado-Yangpyeong									
Period	Earth			Soft rock			Hard rock		
1 st year	78.5			73.0			74.5		
2 nd year	79.0			79.0			79.0		
diff.	+ 0.5			+ 6.0			+ 4.5		
Saemangeum-Jeonju									
Period	Earth			Soft rock			Hard rock		
	pneumatic	hydraulic	E method	pneumatic	hydraulic	E method	pneumatic	hydraulic	E method
1 st year	97.0	95.0	97.0	92.0	90.0	97.0	97.0	88.0	83.0
2 nd year	97.0	90.0	94.0	85.5	93.5	97.0	93.5	81.5	83.5
diff.	0	-5	-3	-6.5	+3.5	0	-3.5	-6.5	+0.5

에서 다양한 종자가 유입될 수 있는 가능성이 높았다. 현장조사에서는 쭉이나 강아지풀, 망초, 그리고 아카시나무 등의 다양한 식물종이 침입한 것을 확인할 수 있었다. 다만 화도-양평 시공지에서는 1년차 시험시공 초기단계에서 한지형 도입초종(양잔디류)이 우점하는 현상을 보였고, 이후 2년차에는 환삼덩굴이나 등(나무)과 같은 위해종이 침입하여 그 개체수가 다소 증가했다는 점을 고려할 때 1, 2년차에서 모두 보통(3점)으로 평가하였다. 전주-새만금 시공지는 1년차 조사에서는 시험시공 초기 코스모스가 우점하는 현상을 보였지만, 가을철에 쇠퇴하게 되면서 그 공간에 파종 식물종과 주변에서 유입된 종자원이 발아하여 생육할 수 있는 가능성이 높게 평가되었으며, 2년차에는 실제로 다양한 식생이 나타나 비탈면에서의 식물생육이 왕성했다는 점에서 모두 양호(5점)로 평가하였다.

주변 환경과의 유사도는 정착된 식물과 주변 식물과 유사한 정도를 평가하는 것으로서, 주변 산림은 소나무가 우점하고 있지만 녹화 시공지에서는 모두 도입초종(양잔디류) 및 일부 초화류, 그리고 참싸리과 같은 관목 위주로 정착하고 있기 때문에 현 시점에서는 모두 보통(-3)인 것으로 평가하였다.

6. 비탈면 녹화 결과분석 및 종합평가

녹화지침에서는 품질과 경제성 항목을 통합

적으로 검토하여 평가점수의 합이 75점 이상인 공법을 선정하도록 하고 있다. 이 연구를 통해 화도-양평 및 새만금-전주 시험시공지를 대상으로 토질조건 및 시공방법에 따라 시공 후 1년차, 2년차에 각각 녹화지침에 따라 평가하여 종합점수를 계산하였다(Table 7).

2년차 평가점수는 전체적으로 79~97점의 분포를 보이며, 이는 타 연구(Kim et al., 2020)에서 같은 녹화기간에 집계된 69~80점과 비교하여 비슷하거나 다소 높게 평가된 것이다. 한편으로 Table 7에서 토질조건별, 그리고 시공방법별 조사구에서 점수 변화가 크게 나타났다. 새만금-전주 시험시공지는 토사(공기압밀식) 및 연암(E 공법) 시공지에서 1, 2년차 모니터링 평가결과의 차이가 나타나지 않았다. 반면에 그 외 시험시공지에서는 평가결과의 차이가 -6.5점에서 +3.5점의 범위를 보였다.

화도-양평 시험시공지는 1, 2년 평가에서 평가점수가 73점~79점으로 나타났으며, 이는 83점~97점의 범위를 가진 새만금-전주 시험시공지와 비교할 때 다소 낮은 수치이다. 이러한 경향은 녹화시공 당시 두 시험시공지 간에 식생기 반재의 종자구성 및 배합의 차이에 의해 발생한 것으로 평가된다(Kim, 2013). 한편, 비탈면 방위가 녹화식물의 피복도에 영향을 미치는 주요한 인자로 작용하였기 때문이다(Jeon, 2004). 현행 녹화지침은 녹화공법이나 환경적 변화, 혹은 시

간경과에 따른 녹화 시공지의 변화 등을 적절하게 반영하지 못하며, 모니터링 시기에 따른 영향을 고려하지 못하고 있다. 이에 따라 현행 녹화지침의 개정에 대한 논의가 진행되고 있으며 (Kim et al., 2020), 비탈면의 성공적인 녹화를 위한 조건이 무엇인지 규명하는 후속연구를 통하여 녹화지침의 지속적인 개선이 필요하다.

한편 두 시험시공지의 출현식물종수가 비슷하게 나타났는데, 이는 선행연구와 같이 외부에서 침입한 종들이 주로 종자의 크기가 비교적 작아 확산에 유리한 쑥과 강아지풀 등과 같은 풍산포종이 많이 나타났기 때문에 (Park et al., 2020) 시공지와 주변산림과의 거리 또는 완충구역에 상관없이 외부에서 바람에 의해 침입하였기 때문으로 보였다. 화도-양평 시험시공지 2년차 조사에서는 전체 토질조건에서 79점으로 집계되어 점수 차이가 발생하지 않았다. 일반적으로 경암 비탈면이 녹화를 실시하기 어려운 조건인 것을 고려한다면 토사나 연암 비탈면과 유사한 평가 결과를 도출했다는 점에서 기술적으로 적절한 방법이 적용된 것이라고 평가할 수 있다.

IV. 결 론

이 연구에서는 고속도로 비탈면을 대상으로 토질조건별, 녹화공법별 식생피복 및 녹화효과를 정량적으로 평가하였다. 이를 위해 화도-양평 및 새만금-전주 구간에 조사대상지를 선정하여 전자는 2020년 10월에, 후자는 2021년 5월~6월에 걸쳐 녹화시공을 실시하였다. 이후 국토교통부에서 제공하는 녹화지침에 따라 시공 후 1년차 및 2년차 현장조사를 수행하여 시간 경과에 따른 녹화효과를 분석하였다.

화도-양평 시험시공지는 전체 토질조건에서 평가점수가 79점으로 나타났으며, 새만금-전주 시공지에서는 토질조건별, 그리고 녹화공법별 평가점수가 다르게 나타났다. 다만 토질조건이나 녹화공법에 따른 뚜렷한 경향이 나타나지 않

았기 때문에 추후 후속 연구를 통해 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다. 화도-양평 시험시공지의 평가점수는 새만금-전주 시공지보다 낮게 나타난 것은 녹화시공을 시행할 당시 두 시공지 간 식생기반에 혼합한 종자의 구성 및 배합비율이 다르며, 비탈면의 위치나 토질특성이 서로 달라 발생한 차이라고 할 수 있다. 한편으로 두 지역의 출현식물종수가 비슷하게 나타났는데, 이는 외부에서 침입한 종들이 종자 확산에 유리한 풍산포종이 많았기 때문으로, 시공지와 주변산림과의 거리 또는 완충구역에 상관없이 유사한 식생이 침입하고 있는 경향으로 보였다. 또한 조사 2년차에서 화도-양평 구간이 모두 79점으로 동일하게 평가가 되었는데, 일반적으로 경암 비탈면이 녹화를 하기 어려운 조건이라는 것을 고려하면 경암 조건에서 토사나 연암 비탈면과 유사한 평가 결과를 나타낸 것은 기술적인 측면에서 적절한 방법이 적용된 것이라고 평가할 수 있다.

이 연구는 2차 천이가 진행되는 경사가 급한 인공 비탈면에 적용되는 식생기반재뿌어붙이기 공법에 대해 녹화 초기단계를 이해하는 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 도로 건설시 발생하는 인공 비탈면에는 산림과 같은 다층구조의 식생을 조성하기보다 표면침식 방지 및 식생피복을 목적으로 하게 된다는 점에서 초기에 표면을 피복시키는 1~2년의 효과가 중요하기 때문이다. 따라서 이 연구를 통해 인위적으로 조성한 비탈면 조건에서 토질별로 서로 다른 녹화공법을 적용하여 초기 단계에서 어떻게 식생이 정착하는지 파악하였으며 그 기준은 현행 국토교통부에서 제시한 녹화지침을 근거로 활용하였다는 의의가 있다.

다만 이 연구는 녹화지침이 가지는 평가항목만을 가지고 1~2년간 단기적 모니터링을 수행했다는 한계가 있다. 다양한 선행연구들에서 현행 녹화지침이 가지는 한계점을 지적하듯이 추후에는 비탈면의 성공적인 녹화를 위한 인자가

무엇인지 규명하는 후속 연구를 수행하고, 이러한 결과들을 검토하여 점차적으로 녹화지침을 개선하는 연구들이 필요할 것이다.

References

- Hur YJ and Ahn TY. 2006. Seasonal Weight in Seeding Mixture for the Restoration and Revegetation of the Disturbed Slopes. *J. of Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 9(1) : 41-54.
- Kim KH. 2010. Direction of ecological restoration on rock cut slope(4). *J. of Landscape Architecture Construction Ecology* 58 : 220-223
- Kim KH · Jeon GS · Hur YJ · Park JC · Joo B and Kang DI. 2020. A Study on Evaluation Standard for Revegetation Method through Monitoring of Vegetation on the Slope of Expressway. *J. of Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 23(6) : 57-73.
- Kim NC. 1998. A study on the ecological restoration strategies for the disturbed landscapes. *J. of Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 1(1) : 28-44.
- Kim NC · Kang JH · Lee JW · Nam SJ and Lee WH. 2001. Study on the Revesetation Technology for the Ecological Restoration of the Decomposed Granite Roadside Slopes-The Application of the Natural Topsoil Restoration Methods (NTRM)-. *J. of Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 4(3) : 84-95.
- Korea Expressway Corporation. 1995. A Study on the Revegetation Methods of Cut-slope in Expressway.
- Korea Expressway Corporation. 2001. Professional Specifications of Korea Expressway Corporation (Chapter 5. Landscape).
- Korea Expressway Corporation. 2015. Development of Lightweight Foamed Soil Stabilizer and Revegetation Measures for Rehabilitation of Losing to the Waves Topsoil Layer in Expressway Cut Slope.
- Lee JM · Kim KH · Jeon GS and Im SJ. 2021. Analysis of Greening Effect by Rock Properties for Pilot Implementation on the Slope of an Expressway. *J. of The Korea Society of Forest Engineering and Technology*, 19(3) : 52-61.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2009. Guidelines for Design and Construction of Road Slope Revegetation work.
- Park JC · Jeon GS · Hur YJ and Kim KH. 2020. Experimental Study for Weed Control on the Shoulder of Expressway. *J. of Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 23(6):43 - 55.
- Park JH · Jeon GS and Kim GH. 2014. Effect Analysis of the Revegetation in Accordance with the Conditions of the Lower Base on Slope of Expressway. *J. of Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 17(5) : 79-89.
- Ryu JB and Park SK. 2003. Civil engineering & construction practice. Yeamoonsa. p.145.
- You BO · Jeon GS · Shim JW and Jang HI. 2009. Application on Environment-friendly Vegetation Countermeasures in Expressway. Korean Geo-Environmental Conference 2009.