

## 화강풍화토 흙깎기 비탈면 녹화공법 선정 방안 연구\*

김 남 춘

단국대학교 녹지조경학과

## The Study on the Selection of Revegetation Methods on Weathered Granite Cut-soil Slopes\*

Kim, Nam-Choon

Department of Landscape Architecture, Dankook University.

### ABSTRACT

The present study is an analysis of the monitoring results of the four areas that underwent the experimental construction of Straw-net+seedspray, Vegetation media spray method(t=2cm), and Vegetation media spray method(t=3cm), with the purpose of selecting the adequate revegetation of cutting slopes in weathered granite soil. Cutting slopes are mostly designed in the Straw-net+seedspray method, but since weathered granite soil slopes tend to have an infertile soil quality that runs down, it is difficult for seed germination and growth. It is difficult to apply Straw-net+seedspray to weathered granite soil slopes considering the germination rate and coverage rate of the Straw-net+seedspray method, which accompanies erosion and scouring. The final conclusions are summarized as follows.

First, Straw-net+seedspray has difficulty recruiting plants to infertile weathered granite soil, which results in a lower coverage rate and fewer species, so it is not adequate construction method.

Second, Vegetation spraying methods with wet media are more advantageous in early revegetation. The wet construction methods are faster than the dry construction methods in terms of early germination and its early growth are more excellent.

Third, when constructing Vegetation spray methods with dry media, it were more advantageous if

---

\* 이 연구는 단국대학교 2014년도 대학연구비의 지원을 받았음.

**First author** : Kim, Nam-Choon, Dept. of Landscape Architecture, Dankook University.

Tel : +82-41-550-3632, E-mail : namchoon@dankook.ac.kr

**Corresponding author** : Kim, Nam-Choon, Dept. of Landscape Architecture, Dankook University.

Tel : +82-41-550-3632, E-mail : namchoon@dankook.ac.kr

**Received** : 11 March, 2016. **Revised** : 20 April, 2016. **Accepted** : 21 April, 2016.

the thickness was thicker. When the soil-media is thicker, the soil is resilient to droughts, so the thickness must be flexibly applied according to the soil quality and slant of the weathered granite soil slope.

The present study is a monitoring result for some areas of Gangwon-do, so its results may differ from other areas.

Key Words : *Weathered granite soil, Straw-net+seedspray, Vegetation media spray, Cut-soil slopes, Revegetation.*

## I. 서 론

화강풍화토는 화강암질 암석의 결정성 심성암 및 이와 동질의 편마암이 풍화되어 그곳에 잔류하는 잔적토 및 이로부터 발생된 붕적토를 말한다(Yoon, 2015). 이 화강풍화토는 대부분 석용, 장성, 운모와 유색공물로 구성되어 있으며, 조성광물의 함유량과 풍화정도에 따라 그 공학적 성질이 크게 달라진다(Han et al., 2008). 그 물리적 성질로서 큰 특징의 하나는 물과 접촉하면 안정성이 저하되어, 함수비가 많아짐에 따라 전단강도 등이 급격히 감소되는 경향을 보인다(Lee and kim, 2013). 또한 토양 내 유기물 함량, 전질소량, 양이온 치환용량 등이 극히 낮아 식물의 안정적인 생장을 기대하기 어려운 특징이 있다.

각종 건설 공사 등으로 불가피하게 발생하는 화강풍화토 비탈면은 점착성분이 적어 우기시 세굴 및 침식이 심각하게 발생하고 있으며, 토질이 척박하고 쉽게 건조해지므로 식물생육이 매우 불량하다(Korea Express Corporation, 2015).

특히 화강풍화토 비탈면은 쉽게 건조해지고 붕괴가 용이하며, 토중의 수분의 동태에 따라 비탈면의 붕괴 및 녹화 성공에 미치는 영향이 크다(Kim et al., 2001). 또한 경사도에 따라서 식생 성립의 양적 변화가 심하며, 비탈면의 안정성이 식생 성립의 결정인자가 되고 있다. 따라서 빨리 풍화가 되어 흘러내리거나 매우 단단

한 화강풍화토 비탈면에 대해서는 거적덮기+시드스프레이의 녹화공법 적용이 불가하여 식생 기반재뿌어붙이기 공법적용을 고려하여야 한다. 아울러, 성공적인 녹화공사를 위해 식물의 생장 특성과 비탈면의 특성을 고려한 시험시공과 모니터링을 통해 최적의 생육기반재의 물성과 두께를 파악하여야 한다(Lee et al., 2003; Song et al., 2004).

종자배합에 있어서도 화강풍화토 비탈면은 토질이 척박하기 때문에 우리나라 기후에 대한 적응력이 우수하고 유지관리가 용이한 자생 초·복본식물을 사용하여 녹화하는 것이 바람직하겠다. 이들 식물들은 야생동물의 서식처 및 은신처 제공과 비탈면의 붕괴방지에 효과가 있어 친환경적인 비탈면의 복원대책이 되고 있다(Kim et al., 2001).

화강풍화토 비탈면에서는 수분의 척박성으로 인해 한지형 초종의 생육이 원활하지 못하다. 반대로 난지형 초종인 위핑러브그라스(*Eragrostis curvula*)는 우리나라 기후에 대한 적응성이 우수하고 척박한 비탈면에 대해서 생존율이 높다(Kim, 1998; Nam and Kim, 1998). 위핑러브그라스는 척박한 화강풍화토 비탈면에서 생육이 가능하지만 이들만으로 과다 파종될 경우 밀생하면서 주변의 2차 식생 침입이 억제되고, 식생 천이가 방해받는다(Kim, 2001). 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(2009)에서도 이러한 문제점을 인식하여 위핑러브그라스의 사용

을 금지할 것을 권장하고 있다. 화강풍화토 비탈면에 위핑러브그라스를 혼합한 종자파종은 식생성립이 가능할 수 있지만 위핑러브그라스 단일종 우점으로 인해 종다양성이 떨어지고 겨울철 은색의 모습은 이질적인 도로경관을 보이고, 바짝 말라 있을 때는 화재발생의 위험이 매우 높아 우리나라에서는 도로변에서의 사용은 억제되어야 한다(Kim, 1998).

따라서 화강풍화토 비탈면 녹화는 위핑러브그라스를 사용하지 않고 식생기반재뿔어붙이기 공법을 적용하여 다양한 재래 초·목본의 발아와 생육을 원활하게 하는 방향으로 이루어져야 한다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 1997; Kim, 1998; Cho et al., 2015).

화강암질풍화토 비탈면은 방치할 경우 주변 식생침입이 원활하지 않으므로 화강풍화토 비탈면녹화시공지에서의 식생 천이를 규명하기

위해서는 시공년도의 경과에 따른 식생 변화를 계속적으로 조사 관찰하는 것이 적절하다(Song et al., 2005).

이에 본 연구에서는 화강풍화토 흙깎기 비탈면에서의 최적 녹화공법 선정을 위해 5개 도로공사현장의 흙깎기 비탈면을 대상으로 거적덮기+시드스프레이와 습식 및 건식의 식생기반재뿔어붙이기공법을 상호 비교하는 시험시공과 모니터링을 실시하였다.

## II. 연구범위 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 Figure 1과 같다. ‘평창정선 00공구’ 1개소, ‘둔내-무이 00공구 건설토, 풍화토’ 2개소, ‘00전술도로 1개소’, ‘장평-간평 00공구 1개소’ 총 5개소의 흙깎기 토사비탈면을

**Table 1.** Pre-test site outlines of the revegetation methods on weathered granite cut-soil slopes.

Sites	Seeding date	Restoration target	Construction Methods	Symbol	Spraying methods
Dunnae-Mui	2015. 6	Grass oriented type	Straw net+seedspray(A-1)	A-1	-
			Vegetation media spray method(t=2cm)(B-1)	B-1	①
Pyeongchang-Jeongseon	2015. 4.	Grass and shrub mixing type	Syraw net+seedspray(A-2)	A-2	-
			Vegetation media spray method(t=2cm)(B-2)	B-2	①
			Straw net+seedspray(A-3)	A-3	-
			Vegetation media spray method(t=2cm)(B-3)	B-3	②
Jangpyeong-Ganpyeong	2015. 5.	Natural landscape type	Vegetation media spray method(t=3cm)(C-1)	C-1	①
			Vegetation media spray method(t=3cm)(C-2)	C-2	①
00Military street	2014. 10.		Vegetation media spray method(t=3cm)(C-3)	C-3	①
			Vegetation media spray method(t=3cm)(C-4)	C-4	②

\* ① spraying with wet media, ② spraying with dry media

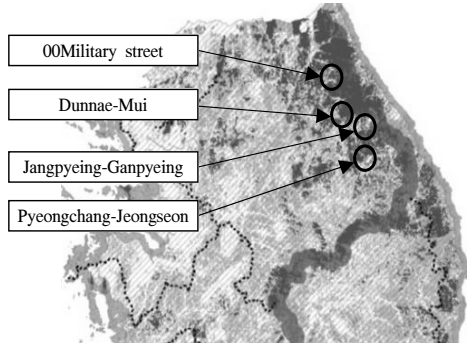


Figure 1. Map of the monitoring sites.

대상으로 시험시공지의 모니터링 조사를 진행하였다. 각 공구별 2개의 녹화공법이 시공되었으며, 각 공법당 100m<sup>2</sup>씩 시공되어 총 1,000m<sup>2</sup>를 시험시공하였다. 시험시공 시기는 둔내-무이에는 2015년 6월, 평창-정선은 2015년 4월, 장평-간평은 2015년 5월, 00전술도로는 2014년 10월에 시험시공을 실시하였다.

둔내-무이와 평창정선 도로공사에서는 시드스프레이+거적덮기와 식생기반재뿌어붙이기공법(2cm)이 시공되어 있으며, 장평-간평과 00전술도로에는 식생기반재뿌어붙이기공법(3cm)이 시공되었다(Table 1).

2. 시공재료

본 연구에 이용된 종자배합은 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(Ministry of Land,

Transport and Maritime Affairs, 2009)’의 복원 목표에 따른 종자배합을 실시하였다. 둔내-무이는 초본위주형, 평창-정선은 초본관목혼합형, 장평-간평, 00전술도로는 자원경관복원형으로 설정되었다. 각 공구별 공법 중 A공법은 거적덮기+시드스프레이이며, B공법은 식생기반재뿌어붙이기공(2cm), C공법은 식생기반재뿌어붙이기공(3cm)로 설정하였으며, 종자배합은 다음 Table 2와 같이 기반재 두께별로 총량은 동일하되 유지하되 과종식물배합은 녹화공법의 고유의 특성에 맞게 자체 비율로 시공되도록 하였다.

A공법은 시드스프레이+거적덮기로 토사의 질·성토에 의해 발생한 비탈면에 저렴한 비용으로 녹화를 이루기 위해 종자를 기계분가를 이용해 파종한 후 벗짚 거적을 덮어 비탈면 보호 및 종자발아를 유도하여 법면 보호는 물론 자연식생을 조기에 복원하는 공법이다.

B, C공법은 식생기반재뿌어붙이기공법으로 절개지역에 식생기반재와 종자를 혼합한 후 비탈면에 설치한 천연네트 사이에 일정한 두께로 뿌어붙이기로 부착, 고정하여 식물이 생육할 수 있는 여건을 조성하여 식물로 자연을 회복하는 방법이다. 각 회사마다 다른 식생기반재가 사용되며, 시공 위치 및 토질 여건에 따라 건식공법과 습식공법의 적용되었다. 복원목표 및 건식, 습식 식생기반재뿌어붙이기공법의 적용 현황은 Table 1과 같다.

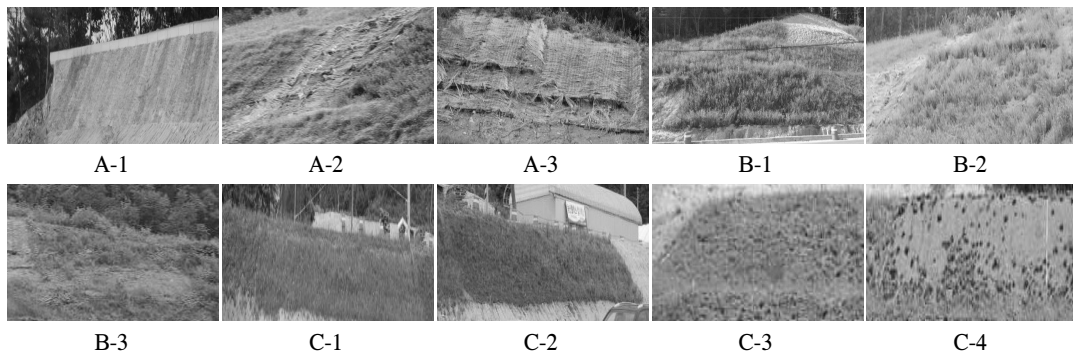


Figure 2. View of monitoring sites on weathered granite cut-soil slopes.

**Table 2.** Mixing ratio of the applied seeds.

Species		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	C-4
Trees	<i>Albizia julibrissin</i>		1.5	1.5	2.0	1.5	1.5	2.7	2.7	3.7	3.7
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	1.0	3.5	3.5	2.1	3.5	3.5	3.3	3.3	2.5	2.5
	<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>	1.0	2.5	2.5	2.1	2.5	2.5			3.0	3.0
	<i>Amorpha fruticosa</i>				2.0					1.0	1.0
	<i>Rhus chinensis</i>	1.0			-					2.5	2.5
	<i>Sorbaria sorbifolia</i>	1.0			-			3.0	3.0	1.0	1.0
	<i>Pinus densiflora</i>									0.5	0.5
	<i>Spiraea prunifolia</i>									0.8	0.8
	Subtotal	4	7.5	7.5	8.2	7.5	7.5	9	9	15	15
Herbs and grasses	<i>Arundinella hirta</i>	2.0	4.0	4.0		4.0	4.0	4.5	4.5	0.9	0.9
	<i>Lespedeza cuneata</i>	2.0	4.0	4.0	1.8	4.0	4.0	4.5	4.5	1.5	1.5
	<i>Medicago sativa</i>	2.0	3.0	3.0	2.1	3.0	3.0	1.8	1.8	0.5	0.5
	<i>Dendranthema boreale</i>	2.0	1.0	1.0	2.1	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3	0.3
	<i>Coreopsis drummondii</i>		2.0	2.0		2.0	2.0	0.3	0.3	1.5	1.5
	<i>Centaurea cyanus</i>		1.0	1.0		1.0	1.0	0.3	0.3	1.0	1.0
	<i>Pennisetum alopecuroides</i>				1.2					0.2	0.2
	<i>Cosmos bipinnatus</i>	1.0			2.1			0.3	0.3	0.2	0.2
	<i>Astragalus sinicus</i>				1.5					0.3	0.3
	<i>Dianthus chinensis</i>	2.0								0.6	0.6
	<i>Silene armeria</i>	2.0						0.3	0.3	0.5	0.5
	<i>Callistephus chinensis</i>	2.0						0.3	0.3	0.6	0.6
	<i>Chrysanthemum burbankii</i>	1.0						0.3	0.3	1.5	1.5
	<i>Oenothera biennis</i>				2.4					0.1	0.1
	<i>Artemisia princeps</i>	2.0			1.4					1.0	1.0
	<i>Plantago asiatica</i>							4.2	4.2	0.1	0.1
	<i>Papaver rhoeas</i>							0.3	0.3	0.1	0.1
	<i>Coreopsis tinctoria</i>							0.3	0.3	0.5	0.5
	<i>Lotus corniculatus</i>							0.3	0.3	1.0	1.0
	<i>Gaillardia pulchella</i>									0.8	0.8
<i>Aster yomena</i>									0.3	0.3	
Subtotal	18	15	15	14.6	15	15	18	18	13.5	13.5	
Exotic grasses	<i>Festuca arundinacea</i>	1.0	0.7	0.7	2.1	0.7	0.7	1.5	1.5	1.0	1.0
	<i>Lolium perenne</i>	1.0	0.8	0.8	1.1	0.8	0.8	0.9	0.9		
	<i>Festuca rubra</i>	1.0	0.5	0.5		0.5	0.5				
	<i>Poa pratensis</i>		0.5	0.5		0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5
	Subtotal	3	2.5	2.5	3.2	2.5	2.5	3	3	1.5	1.5
Total	25	25	25	25	25	25	30	30	30	30	

**3. 모니터링 항목 및 방법**

도로비탈면 모니터링 조사 항목으로는 도로 비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(MLTMA, 2009)과 비탈면 녹화관련 선행연구를 검토하여 Table 3과 같이 하였다. 시험시공지에서 식생피복율, 외래도입초종의 식생피복율, 식생생육량, 병충해, 목본성립본수, 초본 및 목본의 출현종수, 생태계 교란 및 위해종 침입 종 수, 식생기반재의 물리적 특성, 탈락 및 붕괴지점, 녹화의 지속성 및 식생침입의 가능성, 주변환경과의 유사도를 조사하여 녹화공법의 평가에 활용하였다. 각 항목별 조사 방법은 다음과 같다.

**1) 목본성립본수**

목본성립본수는 1m×1m 방형구를 설치하고, 목본의 성립본수를 10회 조사한 결과를 본수/m<sup>2</sup>로 평균하여 평가하였다.

**2) 초본 및 목본의 출현종수**

초본 및 목본류의 출현종수는 조사구내 출현종을 조사하여 시공시 사용된 식물종대비 출현종 비율을 백분율로 환산하여 평가하였다. 이때 주변에서 유입하는 식물들은 평가에서 제외시킨다.

**3) 위해종의 침입 및 교란정도**

환경부에서 지정한 생태계 위해종(돼지풀, 단풍잎돼지풀, 가시박 등)과 환삼덩굴, 칩과 같은 하부식생을 파괴하는 교란종의 생육과 침입여부를 확인하고, 이들에 의한 교란 정도를 측정한다.

**4) 식생피복율**

식생피복율은 식물이 생육하여 지표면을 덮고 있는 면적을 수적으로 환산하여 계산한 값으

**Table 3.** Evaluation criteria of monitoring.

Evaluation Items		Score	Criteria of evaluation			
Quantitative	Plants growth	Total plants coverage ratio	15	80% ≤ (15)	60~79%(10)	60% > (5)
		Plants coverage ratio (Exotic grasses)	(0~-5)	30% > (0)	30~59%(-3)	60% ≤ (-5)
		Amount of vegetation growth	5	Good(5)	Average(3)	Bad(1)
		Blights	5	Good(5)	Average(3)	Bad(1)
	Appeared species	Established number of trees	10	80% ≤ (10)	60~79%(7)	60% > (3)
		Species richness of the grasses and tree species	15	80% ≤ (15)	60~79%(10)	60% > (5)
		Ecology disturbance and invasion of risky species	(0~-5)	Low(0)	Middle(-3)	High(-5)
	Physical characteristics of vegetation base media		10	Good(10)	Average(7)	Bad(3)
	Collapse and eroded spots		5	Good(5)	Average(3)	Bad(1)
	Qualitative	Greening durability and vegetation invasion		5	Good(5)	Average(3)
Similarity to the surrounding environment		(0~-5)	Good(0)	Average(-3)	Bad(-5)	
Total			70			

\* Source. Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, 2009

로, 피복도가 높을 때 식물생육이 왕성한 것을 나타내고 피복도가 낮을 때는 식물의 발아율이 낮고 생육이 저조한 것으로 의미한다. 피복도는 임의의 방형구(1m×1m)를 이용하여 3회 측정 후 산술평균하여 전체피복도로 환산하거나 전체면적에 대한 전체피복도로 환산하여 계산한다. 이 때 전체피복도로 환산할 때는 현장에서 육안으로 실측하여 계산하거나 사진 촬영 후 실내에서 피복율을 계산하였다.

#### 5) 외래도입초종 피복율

외래도입초종의 피복율 생육판정은 임의의 방형구(1m×1m)를 이용하여 3회 측정 후 식생 피복율 조사와 동일하게 진행되며, 전체 피복율에서 외래도입초종이 차지하는 비율을 백분율로 환산하여 계산하였다.

#### 6) 식생생육량

식생생육량의 판정은 일정면적(1m×1m 혹은 0.15m×0.15m)에 출현한 초종 중 한지형잔디를 제외한 초종을 채취하여 생물중량(생체중)을 실측하여 상대적 평가를 실시하며, 계절별 1회 기준으로 적용해야하는 것을 원칙으로 하며, 전체 실험구 생육량 판정은 방형구(0.15m×0.15m)내의 외래초종을 제외한 식생을 채취하여 36시간 건조 후 중량을 확인하여 평가하였다.

#### 7) 병충해

병충해의 판정기준은 시험시공 후 수시로 파종 식물의 병충해 발생 유무를 점검하여 그에 따른 평가를 실시하였으며, 한지형 양잔디류의 하고현상도 병충해에서 조사, 평가 대상으로 설정하였다.

#### 8) 기반재의 안전성

식생기반재의 안전성은 식생기반재를 사용하는 녹화공법에 대하여 사용된 식생기반재의 토양경도, 토양산도, 토양습도를 측정하여 평가하

는 것이며, 이와 함께 식생기반재의 이화학적 분석을 시행하였다. 거적덮기+시드스프레이 공법 적용지역에서는 이화학적 분석을 시행하지 않았다.

#### 9) 탈락 및 붕괴지점

탈락 및 붕괴에 대한 평가는 대상지의 10m<sup>2</sup> 당 탈락 및 붕괴지를 확인하여 평가하는 것으로 시공 후 수시로 훼손상태를 목측하여 그에 따른 결과를 조사하였다.

#### 10) 녹화지속성 및 식생침입 가능성

녹화지속성 및 식생침입 가능성의 판단은 기존 시공지에서의 녹화 지속성 및 천이여부 평가하는 것이며, 판정기준으로 실험구에서는 아래와 같은 판단기준으로 하여 녹화지속성 및 식생 침입 가능성에 대하여 상호 비교를 통해 평가하였다.

양호는 목본류의 활성화와 다년생 초종에 의한 식생진행, 생태계교란 및 위해종의 발생이 없으며, 주변에서 확인되는 초종의 유입이 확인되면 부여한다.

보통은 목본류의 활성화가 더디지만 초본 및 초화류에 의한 식생진행과 생태계교란종 중 환삼덩굴이나 칩이 발생하였으나 큰 피해가 없을 경우 부여한다.

불량은 양잔디에 의한 우점현상 발생으로 인한 생태적기능 저하 상태와 함께 생태교란 및 위해종에 의한 피해가 심각한 경우에 부여한다.

#### 11) 주변환경과의 유사도

주변환경과의 유사도는 녹화진행상태가 주변 환경과의 생태적 경관 조화성을 평가하는 것이 판정기준으로 주변 환경과의 생태적 조화성에 의해 이질감이 없고 특정종의 우점으로 인한 단일 경관 및 자연천이의 방해 여부를 평가하였다.

양호는 주변 향토종의 유입, 자생초종의 생육 및 다층구조의 식생진행, 생태계 교란 및 위해

중 발생이 없으며, 단일종의 우점현상이 없을 경우 부여한다.

보통은 침이나 환삼덩굴의 피해가 발생하였지만 큰 피해가 없는 경우나 외부 유입종 중 잡초로 분류되는 바랭이 망초 피 등만 발생하는 경우 부여한다.

불량은 양잔디에 의한 우점, 생태계 교란 및 위해중에 의한 심각한 피해와 함께 외부 유입종이 없으면 부여한다.

**4. 모니터링 시기**

도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침 (MLTMA, 2009)에서 모니터링 조사 시기 및 조사횟수는 최소 계절별 3회 이상으로 측정하는 것을 원칙으로 하며, 다음 Table 4와 같다. 둔내-무이는 2015년 7월, 9월, 10월 조사를 하였으며, 평창-정선은 2015년 6월, 8월, 9월 조사를 하였다. 장평-간평은 2015년 6월 8월 9월에 조사를 하였으며, 00전술도로는 2014년 11월, 2015년 5월, 9월에 조사를 실시하였다.

**Table 4.** Pre-test site surveying time.

Sites	Construction Methods		1 <sup>st</sup> survey	2 <sup>nd</sup> survey	3 <sup>rd</sup> survey
Dunnae-Mui	A-1	B-1	2015. 7.	2015. 9.	2015. 10.
Pyeongchang-Jeongseon	A-2	B-2	2015. 6.	2015. 7.	2015. 9.
	A-3	B-3			
Jangpyeing-Ganpyeing	C-1	C-2	2015. 6.	2015. 8.	2015. 9.
00Military street	C-3	C-4	2014. 11	2015. 5.	2015. 9.

**Table 5.** Evaluation of established number of trees within 1×1m quadrat plots.

Division	Experiment zone									
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	C-4
Restoration target	①	②	②	①	②	②	③	③	③	③
Established number of trees	1.2	1.7	1.7	2.4	2.6	1.9	2.6	2.5	2.8	2.0
Ratio(%)	40	56	56	80	86	63	86	84	93	67
Score	3	3	3	10	10	7	10	10	10	7

\* ① Grass oriented type, ② Grass and shrub mixing type, ③ Natural landscape type

**5. 녹화공법 평가 기준**

도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침 (MLTMA, 2009)에 따라 시험시공 결과 승인 점수 및 품질 경제성을 합쳐 녹화평가 점수가 100점 만점에 75점 이상인 녹화공법에 대하여 선정하도록 되어 있다.

하지만 본 연구에서는 경제성 평가를 제외하여 70점 만점으로 평가하였으며, 항목별 평가기준은 다음 Table 3과 같다.

**III. 연구 결과 및 고찰**

**1. 정량적 평가**

**1) 출현종**

정량적 평가 중 출현종에서는 목본성립본수와 초본 및 목본의 출현종수, 위해종의 침입 및 교란정도를 평가한다.

시험구별 목본성립본수는 다음 Table 5와 같다. 가장 높은 목본 성립본수로 확인되는 지역은 C-3 공법으로 식생기반재뿌어붙이기공법(3cm)이며,



**Table 6.** Occurred species among hydro-seeded plants at monitored slopes (unit: ●: appeared, ○:non-appeared).

Species		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	C-4
Trees	<i>Albizia julibrissin</i>	-	○	○	●	●	○	●	●	●	●
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●
	<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>	●	○	○	●	○	○	-	-	○	○
	<i>Amorpha fruticosa</i>	-	-	-	●	-	-	-	-	○	○
	<i>Rhus chinensis</i>	○	-	-	-	-	-	-	-	●	●
	<i>Sorbaria sorbifolia</i>	○	-	-	-	-	-	●	●	○	○
	<i>Pinus densiflora</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○
	<i>Spiraea prunifolia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○
	Sub-total	1	0	0	4	2	1	3	3	3	3
Herbs and grass	<i>Arundinella hirta</i>	●	○	●	-	●	●	○	●	●	○
	<i>Lespedeza cuneata</i>	○	○	○	●	●	○	○	○	●	●
	<i>Medicago sativa</i>	○	○	○	●	●	○	●	○	●	○
	<i>Dendranthema boreale</i>	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○
	<i>Coreopsis drummondii</i>	-	○	○	-	●	○	●	○	○	○
	<i>Centaurea cyanus</i>	-	○	○	-	○	○	●	●	○	○
	<i>Pennisetum alopecuroides</i>	-	-	-	○	-	-	-	-	●	○
	<i>Cosmos bipinnatus</i>	○	-	-	●	-	-	●	●	●	○
	<i>Astragalus sinicus</i>	-	-	-	●	-	-	-	-	●	○
	<i>Dianthus chinensis</i>	○	-	-	-	-	-	-	-	●	○
	<i>Silene armeria</i>	○	-	-	-	-	-	○	○	○	○
	<i>Callistephus chinensis</i>	○	-	-	-	-	-	○	○	●	○
	<i>Chrysanthemum burbankii</i>	○	-	-	-	-	-	○	●	○	○
	<i>Oenothera biennis</i>	-	-	-	●	-	-	-	-	●	○
	<i>Artemisia princeps</i>	○	-	-	●	-	-	-	-	●	○
	<i>Plantago asiatica</i>	-	-	-	-	-	-	●	○	●	○
	<i>Papaver rhoeas</i>	-	-	-	-	-	-	○	●	○	○
	<i>Coreopsis tinctoria</i>	-	-	-	-	-	-	●	●	●	○
	<i>Lotus corniculatus</i>	-	-	-	-	-	-	●	○	●	○
	<i>Gaillardia pulchella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	●	○
<i>Aster yomena</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	●	○	
Sub-total	1	0	1	6	4	1	8	8	16	1	
Exotic grass	<i>Festuca arundinacea</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	<i>Lolium perenne</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-
	<i>Festuca rubra</i>	○	●	●	-	●	●	-	-	-	-
	<i>Poa pratensis</i>	-	○	○	-	○	○	●	○	●	●
	Sub-total	2	3	3	2	3	3	3	2	2	2
Total	4	3	4	12	9	5	14	13	21	6	
Score	5	5	5	15	10	5	10	10	15	5	

그 다음으로는 C-1, B-2, B-1순인 것으로 확인되었다. 반면에 가장 낮은 목본성립본수로 확인되는 지역은 A-1으로 거적덮기+시드스프레이이며, A-2, A-3 순인 것으로 확인되었다. 거적덮기 공법에서는 목본의 출현이 미비하였다. C 공법에서는 종자 파종 시 다른 공법 적용지에서 보다 많은 종자를 파종하였고 식생기반이 두껍기 때문인 것으로 판단된다.

시험구별 초본 및 목본의 출현종수는 다음 Table 6과 같다. 출현종이 가장 많이 출현한 실험구는 C-3실험구로, 21종이 출현하였다. C공법은 출현종은 많지만 두께가 두껍기 때문에 파종한 종자의 수도 많기 때문에 발아한 종자의 출현율은 낮게 평가되었다.

반면에 가장 낮은 출현비율과 가장 적은 출현종이 확인된 실험구는 A-2실험구로 3종만이 출현한 것으로 확인되었다.

본 조사기간중 발아하지 않은 식물들은 매토 종자로서 남아 있기 때문에 적정 피복율이 유지된다면 추후 생육할 수 있기 때문에 빠르게 발아한 식물종만을 가지고 우열을 판단하는 것은 적절하지 않으며, 출현종의 목록을 참조하는 것이 적합하다고 판단된다.

위해종의 침입 및 교란정도 확인결과 전 대상지에서는 생태계 교란종 및 침과 환삼덩굴이 출현하지 않은 것으로 확인되었다.

## 2) 식물생육

정량적평가 중 식물생육에서는 식생피복율, 외래도입초종피복율, 식물생육량, 병충해를 평가한다.

실험구별 식생피복율은 다음 Table 7과 같다. 조사 결과 피복율이 가장 높은 실험구는 B-1이며, 최종 조사 시 90%의 피복율을 보인 것으로 확인되었다. 그 다음으로는 C-1, B-2, C-2, C-3 순으로 확인되었다.

가장 낮은 실험구는 A-2이며, 최종 피복율은 5%로 확인되어 화강암질 풍화토에서 본 공법의 적용은 불가능한 것으로 판단되었다. A공법은 대체적으로 피복율이 낮으며, B, C공법은 피복율이 우수한 것으로 확인되었다. B, C 공법중에서도 습식으로 시공되어 있는 시험구가 피복율이 우수하였다.

외래도입초종의 피복율에 대한 조사 결과 실험구 전체에서 외래도입초종의 피복율은 20% 미만으로 확인되었다. A실험구에서는 전체적인

**Table 7.** Results of the overall coverage ratios of monitored slopes (unit: #%).

Division	Experiment zone									
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	C-4
1 <sup>st</sup>	10	0	0	20	10	10	15	15	15	10
2 <sup>nd</sup>	10	5	10	60	40	30	70	65	30	25
3 <sup>th</sup>	15	5	10	90	85	70	85	80	80	40
Score	5	5	5	15	15	10	15	15	15	5

**Table 8.** Dry weights of the seeded plants on final survey (unit: #g).

Division	Experiment zone									
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	C-4
Dry weight	4.1	9.2	8.2	10.1	14.2	10.0	18.2	17.7	15.6	16.9
Score	1	1	1	3	3	3	5	5	5	5

피복율이 20% 미만이기 때문이며, B, C 실험구에서는 대체로 다양한 초본 및 목본이 출현하여 외래종의 피복율이 적은 것으로 판단된다. 실험구의 식생생육량 평가는 다음 Table 8과 같다. 식생생육량이 가장 높은 실험구는 C-1 실험구로 18.2g으로 확인되었으며, 그 다음으로는 C-2, C-3, C-4 순으로 확인되었다. 반면에 식생생육량이 가장 적은 실험구는 A-1 실험구로 4.1g이며, 그 다음으로 A-3, A-2로 확인되었다.

식생생육량에서는 전체적으로 C공법이 우수하며, 그 다음으로 B공법 A공법 순으로 확인되었다.

3) 식생기반재 안전성

실험구의 식생기반재 안전성에 대한 평가는 다음 Table 9와 같다. B, C공법의 식생기반재 중 가장 pH가 낮은 실험구는 B-1 실험구이며, 5.9로 확인되었으며, 식생기반재뿔어붙이기공

법이라도 두께에 따라 식생생육량에서 차이가 나타남을 알 수 있다. 또한 습식, 건식 공법에 따른 식물생육량의 차이는 크지 않은 것으로 확인되었다.

전 실험구 병충해 조사결과 각 실험구에서는 병충해 및 하고현상이 발생하지 않은 것으로 확인되어 산성화가 많이 진행되어 있는 것으로 판단된다. 수분이 가장 높은 실험구는 B-1 실험구이며, 67%로 확인되었다. 반면에 수분이 가장 낮은 실험구는 C-1 실험구로 45%로 확인되었다.

식생기반재의 경도가 가장 높은 실험구는 B-3 실험구이며 25mm로 확인되었다. 반면에 가장 낮은 실험구는 B-1 실험구이며 15mm로 확인되었다. 전 실험구에서 양호한 식생기반재의 안전성이 확인되었다.

또한 식생기반재의 이화학적 특성은 다음 Table 10과 같다. 전 실험구의 식생기반재의 이

Table 9. Physical characteristics of vegetation media.

Division	Experiment zone									
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	C-4
Soil acidity (pH)	-	-	-	5.9	6.1	6.3	6.8	6.6	6.8	6.7
Soil humidity(%)	-	-	-	67	60	57	45	50	50	50
Soil hardness(mm)	-	-	-	15	21	25	18	20	24	24
Score	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Table 10. Chemistry characteristics and heavy metal of vegetation media.

Item	Chemistry characteristics						Heavy metal							
	pH	EC	CEC	T-N	NA	OM	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr <sup>6+</sup>	Zn	Ni
Criteria	6-8	1.0>	6≤	0.06≤	0.5>	3.0≤	1.5≥	50≥	6≥	4≥	100≥	4≥	300≥	40≥
B-1	7.04	0.24	13.8	0.30	0.02	14.8	ND	28.9	0.5	ND	34.5	0.5	98.7	6.5
B-2	6.91	0.31	14.2	0.58	0.07	26.5	ND	ND	ND	ND	3.06	0.6	198	10.6
B-3	7.02	0.57	19.6	0.44	0.06	29.6	ND	32.6	ND	ND	ND	1.10	167	8.7
C-1	7.01	0.31	15.9	0.24	0.03	16.6	ND	29.5	0.2	ND	18	ND	92.4	ND
C-2	6.99	0.74	14.8	0.37	0.35	5.31	ND	34.9	ND	ND	ND	ND	292	22.6
C-3	7.01	0.49	13.2	0.34	0.04	9.61	ND	21.6	ND	ND	16.6	ND	98.9	11.6
C-4	6.82	0.41	11.3	0.59	0.09	11.1	ND	11.4	ND	ND	ND	ND	111	18.4

화학적 특성 및 중금속에 평가로는 전부 적정 기준에 적합한 것으로 판단된다. 전 실험구에서 중금속이 비율이 매우 적은 것을 확인할 수 있었다.

4) 탈락 및 붕괴지점

실험구의 탈락 및 붕괴지점에 대한 평가는 다음 Table 11과 같다. A-2는 붕괴지점이 2개소이며, A-3은 3개소로 확인되었다. 또한 C-3, C-4도 각 1개소씩 탈락 및 붕괴지점이 확인되었다.

2. 정성적 평가

1) 녹화지속성 및 식생침입 가능성

평가 결과는 Table 12와 같다. B-1, B-2, C-1, C-2, C-3, C-4 조사구는 목본류의 생육과 다년생 초종에 의한 정착이 이루어지고 있으며, 생태계 및 교란종의 출현이 없어 양호로 평가되었다. B-3 공법은 목본류의 성장이 더디지만 초본 및 초화류에 의한 식생 조성이 진행되고 있어 보통으로 평가되었다.

A공법 적용지역은 대체적으로 피복율이 불량하고, 이에 수반된 생태적 기능 저하로 불량으로 평가되었다.

2) 주변환경과의 유사도

실험구의 주변 환경과의 유사도 평가 결과

B-1, B-2, B-3, C-1, C-2 실험구는 주변환경과의 조화 및 다층구조의 진행, 단일종의 우점이 없음으로 인하여 양호로 평가되었다. C-3, C-4 실험구는 소수종에 의한 우점으로 인하여 보통으로 평가되었다. A공법에서는 전체적으로 피복률이 불량한 상태여서 불량으로 평가되었다.

3. 녹화공법에 대한 종합 평가

실험구별 녹화공법에 대한 평가는 Table 13과 같다. 식생기반재뿌어붙이기(t=2cm)인 B-2공법과 식생기반재뿌어붙이기(t=3cm)인 C-1, C-2, C-3 가장 높은 점수인 65점을 받았으며, 그 다음으로는 B-2 B-3, C-4순으로 평가되었다. 전체적으로 거적덮기+시드스프레이의 A공법이 점수가 낮은 것으로 평가되었으며 이는 낮은 식생피복률과, 출현종 때문이며, 낮은 식생피복률로 인하여 우기 시 탈락 및 붕괴현상이 발생하여 전체적으로 점수가 낮은 것으로 판단된다. 이 점수 분포는 경제성 30점을 합산하여도 총 75점을 받을 수 없는 상태이므로 식생기반재뿌어붙이기 공법으로 설계변경이 불가피함을 알 수 있다.

이와 반대로 식생기반재뿌어붙이기공인 B공법과 C공법은 전체적인 피복률이 우수하며, 출현종 또한 많은 것으로 확인된다. 출현종은 C공법보다 B공법이 출현종이 많았으나, C공법 시

Table 11. Collapse and eroded spots on monitored sites (unit: #point).

Division	Experiment zone									
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	C-4
Breakaway and collapse	0	2	3	0	0	0	0	0	1	1
Score	5	1	1	5	5	5	5	5	3	3

Table 12. Greening durability and succession possibility.

Division	Experiment zone									
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	C-4
Greening durability	Bad	Bad	Bad	Good	Good	Average	Good	Good	Good	Good
Score	1	1	1	5	5	3	5	5	5	5

**Table 13.** Total scores of monitoring evaluation.

Evaluation Items			A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	C-4	
Quantitative	Plants growth	Woody Plants coverage ratio (Herb and shrub mixing types)	5	5	5	15	15	10	15	15	15	5	
		Plants coverage ratio (Grasses)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Amount of vegetation growth	1	1	1	3	3	3	5	5	5	5	
		Blights	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	Appeared species	Established number of trees	3	3	3	10	10	7	10	10	10	7	
		Species richness of the grasses and tree species	5	5	5	15	10	5	10	10	15	5	
		Ecology disturbance and invasion of risky species	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Physical characteristics of vegetation base media			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Collapse and eroded spots			5	1	1	5	5	5	5	5	3	3
	Qualitative	Greening durability and vegetation invasion		1	1	1	5	5	3	5	5	5	5
Similarity to the surrounding environment		-5	-5	-5	-3	0	0	0	0	-3	-3		
Total			30	26	26	65	63	48	65	65	65	42	
Ranking			8	9	9	1	5	6	1	1	1	7	

공 시 종자 파종을 B공법 보다 10종 이상 많이 혼합함으로써 출현종 비율이 낮게 평가된 결과로 판단된다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 습식 식생기반재뿔어붙이기공법이 건식 식생기반재뿔어붙이기공법 보다 좋은 결과를 보였다. 식생기반재뿔어붙이기공법과 거적덮기+시드스프레이는 확연한 차이를 보였으며, 화강풍화토에는 식생기반재뿔어붙이기공법 적용이 요구된다.

### V. 결 론

화강풍화토 흙깎기 비탈면의 적정 녹화공법 선정을 위하여 거적덮기+시드스프레이, 식생기반재뿔어붙이기(t=2cm), 식생기반재뿔어붙이기(t=3cm)를 시험시공한 후 다음과 같은 결과를

확인할 수 있었다.

목본성립본수에서는 식생기반재뿔어붙이기 공법은 모두 다 우수한 평가를 받았으며, 거적덮기+시드스프레이 공법은 저조한 평가를 받은 것으로 확인되었다. 초본 및 목본의 출현종수에서는 거적덮기+시드스프레이 공법에서는 저조하였고, 식생기반재 뿔어 붙이기공법 적용지역에서는 많은 종이 출현한 것으로 확인되었다. 하지만 B-3, C-4공법에서는 출현종이 적은 것으로 확인되었는데 B-3공법(두께 2cm)은 건식공법이라 식생기반재 내 수분이 적어 출현종이 적은 것으로 판단되어 화강풍화토 비탈면에 적용하기에 무리가 있다고 판단된다. 그리고 모든 시험시공지에서 위해종 및 교란종이 출현하지는 않았다.

식생피복율에서 거적덮기+시드스프레이 공법은 피복율이 50%미만의 낮은 피복율을 보였고, 식생기반재뿌어붙이기 공법에서는 높은 피복율을 확인할 수 있었다. 외래도입초종의 피복율은 전 대상지에서 20% 미만인 것으로 확인되며, 식생생육량 또한 식생기반재뿌어붙이기(t=3cm)에서 가장 우수하였다.

기반재의 안전성 평가에서 사용된 식생기반재의 안전성은 우수한 것으로 평가되었다. 침식 및 붕괴지점으로는 거적덮기+시드스프레이 공법에서 다수의 침식 및 붕괴지점이 발생한 것으로 확인되어 공법 적용이 문제가 있다고 판단되었다. 녹화 지속성 및 식생침입 가능성과 주변 환경과의 유사도는 거적덮기+시드스프레이공법에서 모두 낮은 평가를 받았다.

이상의 조사결과에 대한 분석결과를 토대로 다음과 같은 결론을 유추할 수 있겠다.

첫째, 거적덮기+시드스프레이 공법은 척박한 화강풍화토 비탈면에는 식물 활착이 어렵고, 피복률과 출현종에서도 품질이 떨어지므로 화강풍화토에 적용하기에는 적절하지 않다고 판단된다.

둘째, 습식 식생기반재뿌어붙이기공법(t=2) 시공은 조기녹화가 우수하여 적정하였다. 습식 공법은 식생기반재 내 수분을 보유하고 있어 조기발아와 활착에 유리하게 작용한다고 본다. 이와 달리 2cm두께의 건식식생기반재뿌어붙이기 공법은 화강풍화토비탈면에 적용하기에 한계가 있어 보인다.

셋째, 두께 3cm의 식생기반재뿌어붙이기공법은 양호한 녹화효과를 보였다. 비탈면의 토질과 경사도, 향 등을 고려하여 식생기반재의 두께는 탄력 적용할 필요가 있다. 식생기반재뿌어붙이기공법(t=3cm)에서는 전반적으로 피복률과, 출현종이 우수한 것으로 확인되었다.

화강풍화토 비탈면의 녹화공법 선정 방안을 거적덮기+시드스프레이 보다는 식생기반재뿌어붙이기공법을 선정하는 것이 적절하다고 판

단된다. 건식 식생기반재뿌어붙이기 공법으로 시공할 때는 토질과 경사 기울기에 따라 두께를 3cm이상으로 탄력적으로 적용할 필요가 있다.

본 연구는 강원도 일부지역에 대한 모니터링 결과 분석에 근거한 것이므로 다른 지역에서는 적용에서 한계가 있을 수 있다. 아울러, 본 조사 대상지와 상이한, 매우 단단하거나 흘러내리는 화강풍화토의 토질 조건과 급한 경사도를 가진 흩꺼기 비탈면들을 대상으로 한 식생기반재의 적정두께와 녹화식물의 생육에 대한 추가 연구가 필요하고, 화강풍화토 흩꺼기비탈면 녹화공사에 대한 설계기준이 새롭게 제시될 필요가 있다.

## References

- Cho DG · Jeon GS · Shim YJ · Kim DH · Do JN and Park MY. 2015. A Study on the Mixing Ratio of Food Waste on Slope Re-vegetation Base Materials. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology. 18(6): 215-226. (in Korean with English summary)
- Han KC · Ryu DW · Cheon DS and Hong ES. 2008. A Case Study on the Stability Analysis of a Cutting Slope Composed of Weathered Granite and Soil. Journal of the Korean Society for Rock Mechanics 18(4): 289-299. (in Korean with English summary)
- Jang HT · Park WJ · Kim NC and Park JM. 2012. Use of *Arundinaria munsuensis* Y. Lee as revegetation plant materials of damaged slopes. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 15(1): 133-140. (in Korean with English summary)
- Kim NC. 1988. A Study on the Ecological Restoration Strategies for the Disturbed Landscapes. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology

- 1(1): 28-44. (in Korean with English summary)
- Kim NC · Kang JH · Lee JU · Nam SJ and Lee WH. 2001. Study on the Revegetation Technology for the Ecological Restoration of the Decomposed Granite Roadside Slopes -The Application of the Natural Topsoil Restoration Methods(NTRM)-. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 4(3): 84-95. (in Korean with English summary)
- Korea Expressway Corporation. 2015. An Evaluative Study on Experimental Construction Sites Applying Revegetation Methods(ex-spray) on Weathered Granite Soil Slopes. (in Korean with English summary)
- Lee JS and Kim YT. 2013. Infiltration and Stability Analysis of Weathered Granite Slope considering Rainfall Patterns. Journal of KOSHAM 13(5): 83-91. (in Korean with English summary)
- Lee MJ · Lee JU · Jeon GS · Kim HJ · Choe YH · Jeong DH and Song HG. 2003. Native Plants Selection for Ecological Replantation in Forest Road Slope -In case study on forest road of Gangwon-do. Journal of the Korean Society For Environmental Restoration Technology 8(4): 24-32. (in Korean with English summary)
- Ministry of Construction Transportation(MCT). 2007. The Use of Wood Waste for slope revegetation. (in Korean)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA). 2009. Design and Construction guidelines for revegetation of the road cut-slope. (in Korean)
- Nam SJ and Kim NC. 1988. A Study on the Seeding of *Zoysia japonica* and Woody Plants for the Revegetation of Rock-exposed-slopes by Natural Topsoil Restoration Methods. Journal of the Korean Society For Environmental Restoration Technology 1(1): 141-150. (in Korean with English summary).
- Song HG · Jeon GS · Lee SH · Kim NC · Park GS and Lee BJ. 2005. Vegetation Structure and Succession of Highway Cutting-slope Area. Journal of the Korean Society For Environmental Restoration Technology 8(6): 69-79. (in Korean with English summary)
- Song HG · Park GS · Lee JU · Lee MJ · Kim HJ and Kwon OW. 2004. Native Plants Selection in Decomposed Granite Cut-slope -In case study on forest road of Chungcheong-do and Gyeongsangbuk-do. Journal of the Korean Society For Environmental Restoration Technology 6(5): 48-58. (in Korean with English summary)
- Yoon JW. 2015. Behavior of cement-based fracture grouting considering characteristics of weathered granite soil, Korea University Master's thesis. (in Korean with English summary)