

비탈면 녹화 설계 및 시공 잠정 지침 적용사례
- 농소어모구간 국도비탈면을 중심으로 -

전 기 성

한국도로공사 도로교통기술원

Application Case of Test of Revegetation Measures on
Design of Slopes Revegetation and Tentative Instruction
on Construction Work

- With a Case of Slopes Along the National Road Between Nongseo and Eomo -

Jeon, Gi-Seong

Expressway and Transportation Technology Institute, Korea Expressway Corporation.

ABSTRACT

Test application of revegetation measure was made on the roadside slope damaged by Nongseo-Eomo national road improvement project in a bid to prevent the soil from being washed out as well as to restore the ecological environment, and the survey for assessment of the effect of slope revegetation measures was conducted, beginning May 11 through Nov 7, 2006.

In the wake of comprehensive reviewing and evaluating the surrounding topographic environment, physical and chemical characteristics of soil, germination of revegetation plants, analysis of bio mass, covering ratio and the plants appeared, measure b was found to have been most appropriate to cut blasting rock slope, and alternatively measure c.

For cut ripping rock slope, measure c-1 appeared to be effective in revegetation effect, and alternatively, b-1.

When it comes to cut soil slope, measure c-2 was found to be effective, and b-2 to be a good alternative.

And for embankment soil slope, measure b-3 appeared to be most efficient in revegetation effect and measure f as alternative.

Key Words : *Rock cut-slopes, Hydroseeding materials, Forest soil, Plant coverage.*

Corresponding author : Jeon, Gi-Seong, Korea Highway Corporation, Highway & Transportation Technology Institute,
Tel : +82-31-371-3373 , E-mail : giseong@ex.co.kr

Received : 3 July, 2007. **Accepted** : 22 August, 2007.

I. 서 론

본 지역의 지형은 계획노선의 중심부를 남서쪽에서 북동쪽으로 관통하여 흐르는 낙동강의 지류인 감천을 경계로 하여 동서로 양분된다.

동쪽의 산계는 백마산(715.7m)을 최고봉으로 하여 북쪽으로부터 제석산(512.2m), 절골산(330.4m), 백마산을 거쳐 고당산, 불두산(428.4m)을 잇는 북동-남서방향의 비교적 기복이 심한 능선이 발달되어 있으며, 감천유역을 중심으로 대체로 표고 300m미만의 지형을 형성하고 있다. 서쪽의 산계는 중심부의 덕대산(811.4m)을 최고봉으로 김천시 북쪽의 310.8m 고지, 김천시를 거쳐 남서쪽으로 고성산(482.7m), 덕대산과 동구지산(656.1m)을 통과 삼악산에 이르는 산간지대를 형성하고 있다(건설교통부, 2001b).

감천과 수많은 지류는 이들 산계를 절단하기도 하며, 기복이 뚜렷한 지형으로 발달시키고 이들 유역에는 비교적 저지대의 지형과 넓은 충적층이 발달되어 있다.

조사대상지역의 지질은 선캠브리아기의 편마암류, 시대미상의 각섬석 화강섬록암과 이들을 관입한 류라기의 흑운모화강암 등으로 구성되며 이들을 부정합으로 제 4기의 충적층이 피복하고 있다. 조사지역의 지표지질조사 결과 시점부인 월곡교부터 감천교까지는 화강섬록암, 감천교에서 아천교까지는 편마암, 아천교부터는 화강섬록암, 어모교에는 편마암이 분포한다. 시추조사결과 아천교 종점부와 신용 IC교는 편마암이 분포하며, 어모교시점부에서는 단층대가

지표하 5.0~5.5m 심도에서 관찰되었다(건설교통부, 2001b).

이 연구는 농소어모구간 국도건설지역의 비탈면의 표면침식을 방지하고 친환경적으로 녹화를 하기 위해서 주요 비탈면 녹화공법에 대해서 시험시공을 실시하여 현장에 적합한 비탈면 녹화공법을 선정하기 위하여 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 시험시공지 현황

비탈면 녹화공법에 대한 시험시공은 2006년 5월 10일에서 5월 16까지 실시하였다.

시험시공은 발파암비탈면에는 기존에 설계되어 있는 녹화공법 a를 기준으로 하여 타녹화공법 녹화공법 b, 녹화공법 c를 시공하였고, 리핑암비탈면에는 역시 녹화공법 a-1을 기준으로 하여 녹화공법 b-1, 녹화공법 c-1, 절토부 토사비탈면에는 녹화공법 d를 기준으로 녹화공법 b-2, 녹화공법 c-2를 시공하였고, 성토부 토사비탈면에는 녹화공법 e를 기준으로 하여 녹화공법 b-3, 녹화공법 f를 비탈면 녹화설계 및 시공 잠정지침(안)(건설교통부, 2005a)에 의거 종자배합을 하여 추가적으로 시험시공 하였다.

2. 공시식물

시험시공에 사용된 종자배합은 건설교통부에서 2005년 발표한 『비탈면 녹화 설계 및 시공 잠정 지침(안)』(건설교통부, 2005a)을 참고로 표 3, 4, 5, 6과 같이 설계하였다.

표 1. 시험시공비탈면의 일반현황.

위 치	비탈면방향	비탈면높이	비탈면연장	비탈면경사
절토부 발파암 STA. 4+200	서향	약 40m	약 200m	1 : 0.5 ~ 1 : 0.8
절토부 리핑암 STA. 4+200	서향	약 40m	약 200m	1 : 0.5 ~ 1 : 0.8
절토부 토사 STA. 6+920	서향	약 30m	약 100m	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0
성토부 토사 STA. 5+420	동향	약 15m	약 200m	1 : 0.8 ~ 1 : 1.2

표 2. 시험시공 공법 적용 현황.

	시험공법명	적용 면적	시험장소	비고 (취부두께)
1	녹화공법 a	100m ²	절토부(발파암)	15cm
2	녹화공법 b	100m ²	절토부(발파암)	11cm
3	녹화공법 c	100m ²	절토부(발파암)	8cm
4	녹화공법 a-1	100m ²	절토부(리핑암)	10cm
5	녹화공법 b-1	100m ²	절토부(리핑암)	8cm
6	녹화공법 c-1	100m ²	절토부(리핑암)	5cm
7	녹화공법 d	100m ²	절토부(토사)	-
8	녹화공법 b-2	100m ²	절토부(토사)	1cm
9	녹화공법 c-2	100m ²	절토부(토사)	3cm
10	녹화공법 e	100m ²	성토부(토사)	
11	녹화공법 b-3	100m ²	성토부(토사)	0.5cm
12	녹화공법 f	100m ²	성토부(토사)	-

3. 조사 및 분석

1) 조사일시

비탈면 녹화공법의 시험시공에 대한 현장감독은 2006년 5월 11일에 실시하였고, 시험시공지에 대한 추적조사는 6월 21일, 8월 9일, 11월 7일 3회에 걸쳐 조사를 수행하여 이 보고서를 작성하였다.

2) 주변토양 및 식생현황

(1) 주변산림의 토양환경

주변 산림토양의 토양 물리적, 화학적 특성을 조사한 결과는 표 7과 같이 토양경도는 평균 10.7mm로 나타났으며, 토양산도는 pH 6.88, 토양습도는 0.60% 이었다.

표 3. 절토부 발파암비탈면의 종자배합설계.

유형	품 명	설계공법		추가공법				비고
		녹화공법 a(15T)		녹화공법 b(11T)		녹화공법 c(8T)		
		수량(g/m ²)	비율(%)	수량(g/m ²)	비율	수량(g/m ²)	비율	
외래 초종	Kentucky bluegrass					3.8	4.0	
	Tall fescue	14.4	8.0	8.8	8.0	9.6	10.0	
	Creeping redfescue	14.4	8.0	8.8	8.0			
	Weeping lovegrass					1.9	2.0	
	Perennial ryegrass	14.4	8.0	8.8	8.0	3.8	4.0	
재래 초종	낭아초, 참싸리 등	32.4	18.0	19.8	18.0	24.1	25.1	
	안고초, 억새 등	54.0	30.0	33.0	30.0	2.9	3.0	
	비수리 등	43.2	24.0	26.4	24.0	31.7	33.0	
	쑥, 자운영 등	7.2	4.0	4.4	4.0	18.2	19.0	
합 계		180.0	100	110.0	100	96.0	100	

표 4. 절토부 리핑암비탈면의 종자배합설계.

유형	품 명	설계공법		추가공법				비고
		녹화공법 a-1(10T)		녹화공법 b-1(8T)		녹화공법 c-1(5T)		
		수량(g/m ²)	비율(%)	수량(g/m ²)	비율	수량(g/m ²)	비율	
외래 초종	Kentucky bluegrass					2.4	4.0	
	Tall fescue	9.6	8.0	7.2	8.0	6.0	10.0	
	Creeping redfescue	9.6	8.0	7.2	8.0			
	Weeping lovegrass					1.2	2.0	
	Perennial ryegrass	9.6	8.0	7.2	8.0	2.4	4.0	
재래 초종	낭아초, 참싸리 등	21.6	18.0	16.2	18.0	15.0	25.0	
	안고초, 억새 등	36.0	30.0	27.0	30.0	1.8	3.0	
	비수리 등	28.8	24.0	21.6	24.0	19.8	33.0	
	쑥, 자운영 등	4.8	4.0	3.6	4.0	11.4	19.0	
합 계		120.0	100	90.0	100	60.0	100	

표 5. 절토부 토사비탈면의 종자배합설계.

유형	품 명	설계공법		추가공법				비고
		녹화공법 d		녹화공법 b-2		녹화공법 c-2		
		수량(g/m ²)	비율(%)	수량(g/m ²)	비율	수량(g/m ²)	비율	
외래 초종	Kentucky bluegrass					0.7	1.9	
	Tall fescue	1.0	4.0	1.5	4.3	1.8	5.0	
	Creeping redfescue	1.0	4.0	1.5	4.3			
	Weeping lovegrass					0.4	1.1	
	Perennial ryegrass	1.5	6.0	2.0	5.7	0.7	1.9	
재래 초종	소나무, 자귀나무, 낭아초, 참싸리 등	7.5	30.0	10.5	30.0	16.2	45.0	
	안고초, 억새 등	7.5	30.0	10.5	30.0	1.1	3.1	
	비수리 등	5.0	20.0	7.0	20.0	8.3	23.1	
	쭉, 자운영 등	1.5	6.0	2.0	5.7	6.8	18.9	
	합 계	25.0	100	35.0	100	36.0	100	

표 6. 성토부 토사비탈면의 종자배합설계.

유형	품 명	설계공법		추가공법				비고
		녹화공법 e		녹화공법 b-3		녹화공법 f		
		수량(g/m ²)	비율(%)	수량(g/m ²)	비율	수량(g/m ²)	비율	
외래 초종	Kentucky bluegrass					1.0	4.0	
	Tall fescue	2.0	8.0	2.0	8.0	2.5	10.0	
	Creeping redfescue	2.0	8.0	2.0	8.0			
	Weeping lovegrass					0.5	2.0	
	Perennial ryegrass	2.0	8.0	2.0	8.0	1.0	4.0	
재래 초종	낭아초, 참싸리 등	4.5	18.0	4.5	18.0	6.1	24.4	
	안고초, 억새 등	7.5	30.0	7.5	30.0	0.8	3.2	
	비수리 등	6.0	24.0	6.0	24.0	8.3	33.2	
	쭉, 자운영 등	1.0	4.0	1.0	4.0	4.8	19.2	
	합 계	25.0	100	25.0	100	25.0	100	

(2) 식생현황

교목 및 관목은 상수리나무, 소나무, 갈참나무, 버드나무, 아까시나무, 리기다소나무, 은사시나

무, 밤나무, 일본잎갈나무 등이 출현하였고, 초본류로는 방동사니, 솔새풀, 새, 쭉, 사철쭉, 실새풀, 기름나물, 별꽃, 개솔새, 솔새, 삼주, 갈퀴나물, 산

표 7. 주변 산림토양의 토양경도, 산도, 습도 측정값.

구분	조사1	조사2	조사3	조사4	조사5	조사6	조사7	조사8	조사9	조사10	평균
토양경도 (mm)	9	11	12	10	7	13	12	14	11	8	10.70
토양산도 (pH)	6.8	6.9	6.8	7	7	7	6.9	6.8	6.7	6.9	6.88
토양습도 (%)	1.0	0.5	1.0	0	0	0	0.5	1.0	1.5	0.5	0.60

피블주머니, 달맞이꽃, 주름조개풀 등이 출현하였다(건설교통부, 2001a).

3) 식생생육조사

비탈면 시험시공지역에서 출현식물의 생육특성을 측정하기 위하여 파종후부터 가로(20cm)×세로(20cm) 격자틀을 제작하여 비탈면에 놓고 격자틀내의 발아정도와 발아후의 초장과 초종별 개체수, 생중량, 피복도 등을 측정하였다. 식물의 초장은 격자틀을 이용하여 측정하였고, 개체수는 실측하였으며, 생중량은 현장에서 식물을 채취하여 실험실로 운반하여 무게를 측정하였고, 피복도는 격자틀을 이용하여 측정하였다.

4) 분석방법

조사된 자료는 공법과 조사일자별로 정리하여 분석하였으며, 통계처리분석은 측정된 자료를 컴퓨터 통계프로그램인 “The SAS System 8.1”을 이용하였으며, Duncan검정을 이용하여 처리평균간을 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양기반재의 물리적·화학적 특성 조사결과

1) 토양경도 측정결과

토양 경도는 식물이 발아 생육할 수 있는지의 여부를 판단하는 수치로서 23mm 이하일 때 식물의 발아 생육이 양호하게 나타난다(오구균·김도균, 2007).

시험시공지의 각 공법별 토양 경도는 표 8, 9, 10, 11과 같다.

절토부 발파암비탈면에서의 토양경도는 3회에 걸친 조사에서 녹화공법 a가 평균 27mm로 높은 토양경도특성을 보여 식물이 발아생육하는데 어려울 것으로 판단되었으며, 녹화공법 b는 16.6mm, 녹화공법 c는 15mm로 조사되었는데 이들 공법은 식물이 발아 생육하는데 있어서 양호할 것으로 판단되었다.

절토부 리핑암비탈면에서는 토양경도는 3회에 걸친 조사에서 역시 녹화공법 a-1이 27.3mm로 조사되어 높은 토양경도특성을 보여 식물이 발아 생육하는데 어려울 것으로 판단되었다. 녹화공법 b-1은 토양경도가 평균 14.3mm, 녹화공법 c-1은 평균 15.6mm로 조사되어 이들 공법은 식물이 발아 생육하는데 어려움이 없을 것으로 판단되었다.

절토부 토사비탈면에서는 녹화공법 d의 토양경도가 평균 14.6mm, 녹화공법 b-2는 15mm, 녹화공법 c-2는 16mm로 조사되어 토사비탈면의 토양경도는 식물이 발아 생육하는데 크게 문제가 발생하지는 않을 것으로 판단되었다.

성토부 토사비탈면에서는 녹화공법 e의 토양경도가 평균 15.6mm, 녹화공법 b-3는 16.3mm, 녹화공법 f는 14mm로 조사되어 성토부 토사비탈면의 토양경도는 식물이 발아 생육하는데 어려움이 없을 것으로 판단되었다.

절토부 발파암비탈면과 리핑암비탈면에서 녹화공법 a, a-1은 토양경도가 높아 식물의 발아생육이 어려울 것으로 생각되나 절토부, 성토부 비탈면의 녹화공법 b, b-1, b-2, b-3, 녹화공법 c, c-1, c-2, 녹화공법 d, 녹화공법 e, 녹화공법 f는 영향이 없을 것으로 생각된다.

표 8. 절토부 발파암비탈면의 토양경도 측정결과.

조사일자	토양경도(mm)		
	녹화공법 a	녹화공법 b	녹화공법 c
1차조사(6월 21일)	26	17	15
2차조사(8월 9일)	28	15	14
3차조사(11월 7일)	27	18	16
평균	27	16.6	15

표 9. 절토부 리핑암비탈면의 토양경도 측정결과.

조사일자	토양경도(mm)		
	녹화공법 a-1	녹화공법 b-1	녹화공법 c-1
1차조사(6월 21일)	29	14	17
2차조사(8월 9일)	27	13	16
3차조사(11월 7일)	26	16	14
평균	27.3	14.3	15.6

표 10. 절토부 토사비탈면의 토양경도 측정결과.

조사일자	토양경도(mm)		
	녹화공법 d	녹화공법 b-2	녹화공법 c-2
1차조사(6월 21일)	13	15	17
2차조사(8월 9일)	15	13	15
3차조사(11월 7일)	16	17	16
평 균	14.6	15	16

표 11. 성토부 토사비탈면의 토양경도 측정결과.

조사일자	토양경도(mm)		
	녹화공법 e	녹화공법 b-3	녹화공법 f
1차조사(6월 21일)	15	16	12
2차조사(8월 9일)	18	15	14
3차조사(11월 7일)	14	18	16
평 균	15.6	16.3	14

2) 토양산도 측정결과

토양의 산성 또는 알칼리성의 정도는 pH로 표현하는데 이는 토양내의 화학적인 반응 및 토양 생물 활동에 영향을 받는다. 토양의 pH는 계절에 따라 약간 변하여 겨울이 높고 여름이 낮으나 그 차는 1.0미만이다. 적당히 비가 오는 지역은 임목이 심토에서 염기를 흡수하여 낙엽을 통하여 지표에 떨어지는 양료순환으로 산성토양 표면에 염기가 집중될 수 있다. 그러나 산림토양의 pH는 보통 4.0~6.0으로 산성이며 갈색산림토양은 5.3~5.5, 암적색토양이나 화산회토양은 6.0내외이다(이천용, 1993).

시험시공대상지의 토양산도는 전체적으로 식물이 발아 생육하는데는 큰 문제는 없을 것으로 조사되었다.

절토부 발파암비탈면에서 녹화공법 a의 평균 pH는 7, 녹화공법 b는 7, 녹화공법 c는 6.93으로 조사되었다.

절토부 리핑암비탈면에서 녹화공법 a-1의 평균 pH는 7, 녹화공법 b-1은 7, 녹화공법 c-1은 6.96으로 조사되었다.

절토부 토사비탈면의 평균 pH는 녹화공법 d는

6.9, 녹화공법 b-2는 6.8, 녹화공법 c-2는 6.9로 조사되었다.

성토부 토사비탈면의 경우 녹화공법 e는 평균 pH 6.9, 녹화공법 b-3는 6.8, 녹화공법 f는 6.7로 조사되었다. 토양산도는 모든비탈면의 시험시공 공법에서 식물이 발아 생육하는데 양호한 값을 보이고 있는 것으로 판단되었다.

표 12. 절토부 발파암비탈면의 토양산도 측정결과.

조사일자	토양산도(pH)		
	녹화공법 a	녹화공법 b	녹화공법 c
1차조사(6월 21일)	7	7	7
2차조사(8월 9일)	7	7	7
3차조사(11월 7일)	7	7	6.8
평 균	7	7	6.93

표 13. 절토부 리핑암비탈면의 토양산도 측정결과.

조사일자	토양산도(pH)		
	녹화공법 a-1	녹화공법 b-1	녹화공법 c-1
1차조사(6월 21일)	7	7	7
2차조사(8월 9일)	7	7	7
3차조사(11월 7일)	7	7	6.9
평 균	7	7	6.96

표 14. 절토부 토사비탈면의 토양산도 측정결과.

조사일자	토양산도(pH)		
	녹화공법 d	녹화공법 b-2	녹화공법 c-2
1차조사(6월 21일)	6.9	6.8	7
2차조사(8월 9일)	6.8	6.7	6.8
3차조사(11월 7일)	7	6.9	6.9
평 균	6.9	6.8	6.9

표 15. 성토부 토사비탈면의 토양산도 측정결과.

조사일자	토양경도(pH)		
	녹화공법 e	녹화공법 b-3	녹화공법 f
1차조사(6월 21일)	6.9	6.7	6.6
2차조사(8월 9일)	6.8	6.8	6.7
3차조사(11월 7일)	7	6.9	6.8
평 균	6.9	6.8	6.7

3) 토양습도 측정결과

물은 대부분의 토양과 식물이 제기능을 발휘 하는데 필수적이며 특히 세포증식, 식물의 동화 작용과 밀접한 관계가 있다. 또한 식물영양의 이동매체, 용매, 산소원, 토양온도나 공기의 완충물, 그리고 토양내 독성물질을 희석하는 역할을 한다 (이천용, 1993).

일반적으로 토양습도는 비가 내리지 않은 지속 기간에 반비례하여 나타나는데 본 조사에서 절토부 발파암비탈면에서 녹화공법 a의 평균 토양습도는 0.0%, 녹화공법 b는 0.0%, 녹화공법 c는 0.3%로 나타나 매우 저조한 토양습도상태를 보이고 있었다.

절토부 리핑암비탈면에서 평균 토양습도는 녹화공법 a-1이 0.0%, 녹화공법 b-1은 0.0%, 녹화공법 c-1은 0.16%로 나타나 대부분의 공법에서 토양습도가 저조한 상태를 보이고 있어 식물이 발아 생육하는데 어려운 특성을 보이고 있다.

절토부 토사비탈면에서 평균 토양습도는 녹화공법 d가 0.5%, 녹화공법 b-2는 1.0%, 녹화공법 c-2는 0.5%로 낮은 토양습도를 보이고 있어 식물이 발아 생육하는데 어려움이 있을 것으로 생각된다.

성토부 토사비탈면에서 평균 토양습도는 녹화공법 e가 0.5%, 녹화공법 b-3는 1.0%, 녹화공법 f는 1.5%로 낮은 토양습도를 보이고 있어 식물이 발아 생육하는데 어려움이 있을 것으로 판단되므로 모든 비탈면의 시험시공공법에서 주기적인 관수가 필요한 것으로 생각된다.

표 16. 절토부 발파암비탈면의 토양습도 측정결과.

조사일자	토양습도(%)		
	녹화공법 a	녹화공법 b	녹화공법 c
1차조사(6월 21일)	0.0	0.0	0.0
2차조사(8월 9일)	0.0	0.0	0.0
3차조사(11월 7일)	0.0	0.0	1.0
평 균	0.0	0.0	0.3

표 17. 절토부 리핑암비탈면의 토양습도 측정결과.

조사일자	토양습도(%)		
	녹화공법 a-1	녹화공법 b-1	녹화공법 c-1
1차조사(6월 21일)	0.0	0.0	0.0
2차조사(8월 9일)	0.0	0.0	0.0
3차조사(11월 7일)	0.0	0.0	0.5
평 균	0.0	0.0	0.16

표 18. 절토부 토사비탈면의 토양습도 측정결과.

조사일자	토양습도(%)		
	녹화공법 d	녹화공법 b-2	녹화공법 c-2
1차조사(6월 21일)	0.5	1.0	0.0
2차조사(8월 9일)	1.0	1.5	1.0
3차조사(11월 7일)	0.0	0.5	0.5
평 균	0.5	1.0	0.5

표 19. 성토부 토사비탈면의 토양습도 측정결과.

조사일자	토양습도(%)		
	녹화공법 e	녹화공법 b-3	녹화공법 f
1차조사(6월 21일)	0.5	1.5	2.0
2차조사(8월 9일)	1.0	1.0	1.5
3차조사(11월 7일)	0.0	0.5	1.0
평 균	0.5	1.0	1.5

2. 발아개체수 조사결과

식물의 발아개체수는 식물의 발아초기부터 성장기까지의 개체수를 의미하는 것으로 파종한 종자량에 비해 얼마나 많은 개체수가 발아생육하는가를 측정하는 수치이다. 일반적으로 발아한 식물이 많으면 비탈면 녹화에 유리하다고 할 수 있다.

절토부 발파암비탈면 시험시공지 발아개체수 조사결과 평균 발아개체수는 녹화공법 a가 68.3본/m²으로 매우 저조한 발아개체수를 보이고 있었으며, 녹화공법 b와 녹화공법 c는 각각 144.6본/m², 142본/m²으로 조사되어 우수한 생육상태를 보이고 있었다.

절토부 리핑암비탈면의 시험시공지 평균 발아개체수 조사결과 녹화공법 a-1이 95본/m²으로 조사되어 낮은 식물생육상태를 보이고 있었다. 그

러나 녹화공법 b-1과 녹화공법 c-1은 각각 140.3본/m², 147본/m²으로 조사되어 우수한 생육상태를 보이고 있었다.

절토부 토사비탈면의 경우 녹화공법 d는 42본/m²으로 매우 낮은 발아개체수를 보이고 있었고, 녹화공법 b-2는 평균 발아개체수 123.3본/m², 녹화공법 c-2는 122.6본/m²으로 조사되어 비교적 우수한 생육상태를 나타내고 있었으나 발아생육한 초종이 대부분 외래종으로 조사되었다.

성토부 토사비탈면의 경우 녹화공법 e는 80본/m²으로 낮은 발아개체수를 보이고 있었고, 녹화공법 b-3는 평균 발아개체수 109.3본/m², 녹화공법 f는 128.3본/m²으로 조사되어 비교적 우수한 생육상태를 나타내고 있었다.

표 20. 절토부 발파암비탈면의 발아개체수 측정결과.

조사일자	발아개체수(본/m ²)		
	녹화공법 a	녹화공법 b	녹화공법 c
1차조사(6월 21일)	5	10	15
2차조사(8월 9일)	165	206	197
3차조사(11월 7일)	35	218	214
평 균	68.3	144.6	142

표 21. 절토부 리핑암비탈면의 발아개체수 측정결과.

조사일자	발아개체수(본/m ²)		
	녹화공법 a-1	녹화공법 b-1	녹화공법 c-1
1차조사(6월 21일)	7	18	21
2차조사(8월 9일)	181	197	189
3차조사(11월 7일)	97	206	231
평 균	95	140.3	147

표 22. 절토부 토사비탈면의 발아개체수 측정결과.

조사일자	발아개체수(본/m ²)		
	녹화공법 d	녹화공법 b-2	녹화공법 c-2
1차조사(6월 21일)	3	12	17
2차조사(8월 9일)	45	176	155
3차조사(11월 7일)	78	182	196
평 균	42	123.3	122.6

표 23. 성토부 토사비탈면의 발아개체수 측정결과.

조사일자	발아개체수(본/m ²)		
	녹화공법 e	녹화공법 b-3	녹화공법 f
1차조사(6월 21일)	8	17	14
2차조사(8월 9일)	76	126	178
3차조사(11월 7일)	156	185	193
평 균	80	109.3	128.3

시험시공지 2차조사에서보다 3차조사가 발아개체수가 많은 것은 대부분의 한지형초종은 서늘한 가을에 생육을 하므로 여름철(2차조사)보다 가을철(3차조사)에 발아개체수가 높은 것으로 생각된다.

3. 식물 생중량 조사결과

식물생중량은 식물의 무게를 측정하는 것으로서 식물의 발아초기부터 성장기까지에 해당하는 활착상태를 조사하기 위해 사용되는 지표이다.

시험시공 후 식물생중량의 평균무게는 절토부 발파암비탈면에서 녹화공법 a가 평균 8.4g으로 매우 저조한 생육상태를 나타내었고, 녹화공법 b는 13.6g, 녹화공법 c는 12.4g으로 조사되어 발파암비탈에서 우수한 생중량을 보이는 공법은 녹화공법 b와 녹화공법 c였다.

절토부 리핑암비탈면에서 평균 식물생중량이 녹화공법 a-1이 9.1g으로 저조한 생중량을 보였고, 녹화공법 b-1은 14g, 녹화공법 c-1은 15.6g으로 조사되어 우수한 생중량을 보이고 있었다.

절토부 토사비탈면의 평균 식물생중량은 녹화공법 d가 8.4g으로 저조하였고, 녹화공법 b-2는 12.5g, 녹화공법 c-2는 13.3g으로 비교적 우수한 생육상태를 보이고 있었다.

성토부 토사비탈면의 평균 식물생중량은 녹화공법 e가 11.2g으로 저조하였고, 녹화공법 b-3는 15.8g, 녹화공법 f는 14.4g으로 우수한 생육상태를 보이고 있었다.

절토부 발파암비탈면과 토사비탈면에서 녹화공법 b와 녹화공법 b-2의 추가시험시공은 평가에

표 24. 절토부 발파암비탈면의 생중량 측정결과.

조사일자	1차조사(6월 21일)	2차조사(8월 9일)	3차조사(11월 7일)	평균(g)
녹화공법 a	0.2 ^a	14 ^c	11 ^c	8.4
녹화공법 b	0.4 ^a	22.5 ^a	17.9 ^b	13.6
녹화공법 c	0.5 ^a	17.1 ^b	19.5 ^a	12.4

Means with same letter within column are significantly different at P=0.05 level by DMRT test.

표 25. 절토부 리핑암비탈면의 생중량 측정결과.

조사일자	1차조사(6월 21일)	2차조사(8월 9일)	3차조사(11월 7일)	평균(g)
녹화공법 a-1	0.2 ^a	14.6 ^c	12.4 ^c	9.1
녹화공법 b-1	0.6 ^a	19.7 ^b	21.8 ^b	14
녹화공법 c-1	0.4 ^a	22.6 ^a	23.7 ^a	15.6

Means with same letter within column are significantly different at P=0.05 level by DMRT test.

표 26. 절토부 토사비탈면의 생중량 측정결과.

조사일자	1차조사(6월 21일)	2차조사(8월 9일)	3차조사(11월 7일)	평균(g)
녹화공법 d	0.1 ^a	13.5 ^c	11.6 ^c	8.4
녹화공법 b-2	0.6 ^a	19.1 ^a	17.8 ^b	12.5
녹화공법 c-2	0.4 ^a	17.9 ^b	21.5 ^a	13.3

Means with same letter within column are significantly different at P=0.05 level by DMRT test.

표 27. 성토부 토사비탈면의 생중량 측정결과.

조사일자	1차조사(6월 21일)	2차조사(8월 9일)	3차조사(11월 7일)	평균(g)
녹화공법 e	0.2 ^a	17.9 ^b	15.6 ^c	11.2
녹화공법 b-3	0.4 ^a	22.6 ^a	24.5 ^a	15.8
녹화공법 f	0.3 ^a	20.3 ^b	22.5 ^a	14.4

Means with same letter within column are significantly different at P=0.05 level by DMRT test.

영향이 없는 것으로 조사되었으나 절토부 리핑암 비탈면과 성토부 토사비탈면에서는 생중량이 증가되어 다소 영향이 있는 것으로 분석되었다. 그러나 이것은 녹화식물이 한지형 초종으로 대부분 가을철에 생육을 하므로 식물생장이 이루어진 것으로 판단된다.

4. 피복도 조사결과

식물피복도는 식물이 생육하여 지표면을 덮고 있는 면적을 수적으로 환산하여 계산한 값이다. 그래서 피복도가 높을 때는 식물생육이

왕성한 것을 나타내고 피복도가 낮을 때는 식물의 발아율이 낮고 생육이 저조한 것을 나타낸다.

절토부 발파암비탈면 시험시공지 평균 식물피복도 조사결과 녹화공법 a는 41.6%로 식물의 발아가 되지 않아 매우 낮은 피복도를 보였으며, 녹화공법 b가 평균피복도 60%, 녹화공법 c가 평균 피복도 60%로 조사되어 식물생육이 비교적 낮은 것으로 분석되었으나 3차조사에서는 두공법 모두 피복도가 90%로 나타나 식물생육이 비교적 왕성한 것으로 조사되었다.

절토부 리핑암비탈면에서 평균 식물피복도 현황을 분석해 보면 녹화공법 a-1은 평균 식물피복도가 38.3%로 조사되어 매우 낮은 값을 보이고 있었으며, 녹화공법 b-1은 60%, 녹화공법 c-1은 61.7%로 조사되어 낮은 식물피복도를 보였으나 역시 3차조사에서 녹화공법 b-1과 녹화공법 c-1은 각각 피복도가 90%, 95%로 조사되어 식물생육이 왕성한 것으로 분석되었다.

절토부 토사비탈면에서는 평균피복도가 녹화공법 d는 35%로 조사되어 낮은 피복도를 보이고 있으며, 녹화공법 b-2는 56.7%, 녹화공법 c-2는 58.3%로 비교적 낮은 피복도를 보였으나 3차조사에서는 각각 90%로 조사되어 식물생육이 우수한 것으로 분석되었다.

성토부 토사비탈면에서는 평균피복도가 녹화공법 e는 56.7%, 녹화공법 b-3는 60%, 녹화공법 f는 60%로 비교적 낮은 피복도를 보였으나 3차조사에서는 각각 90%, 95%, 90%로 조사되어 식물생육이 우수한 것으로 분석되었다.

절토부 발파암비탈면, 리핑암비탈면, 토사비탈면, 성토부 토사비탈면에서 2차조사에서보다 3차조사에서 녹화공법 b, b-1, b-2, b-3의 피복도가 증가된 것은 녹화식물이 한지형 초종으로 가을철에 식물의 생장이 활발하게 이루어진 것으로 피복도가 증가되었다고 생각된다.

비탈면의 생태환경의 복원을 위해서는 외래종의 지나친 우점은 주변 재래종의 천이를 어렵게 하므로 생태환경의 복원을 위해서는 녹화시공시에 재래종의 파종비율을 높여야 할 것으로 판단된다.

표 28. 절토부 발파암비탈면의 식물피복도 측정결과.

조사일자	피복도(%)		
	녹화공법 a	녹화공법 b	녹화공법 c
1차조사(6월 21일)	5	5	5
2차조사(8월 9일)	75	85	85
3차조사(11월 7일)	45	90	90
평 균	41.6	60	60

표 29. 절토부 리핑암비탈면의 식물피복도 측정결과.

조사일자	피복도(%)		
	녹화공법 a-1	녹화공법 b-1	녹화공법 c-1
1차조사(6월 21일)	5	5	5
2차조사(8월 9일)	70	85	85
3차조사(11월 7일)	40	90	95
평 균	38.3	60	61.7

표 30. 절토부 토사비탈면의 식물피복도 측정결과.

조사일자	피복도(%)		
	녹화공법 d	녹화공법 b-2	녹화공법 c-2
1차조사(6월 21일)	5	5	5
2차조사(8월 9일)	40	75	80
3차조사(11월 7일)	60	90	90
평 균	35	56.7	58.3

표 31. 성토부 토사비탈면의 식물피복도 측정결과.

조사일자	피복도(%)		
	녹화공법 e	녹화공법 b-3	녹화공법 f
1차조사(6월 21일)	5	5	5
2차조사(8월 9일)	75	80	85
3차조사(11월 7일)	90	95	90
평 균	56.7	60	60

5. 출현식물 조사결과

출현식물 조사는 3차조사(11월 7일)의 자료를 이용하여 분석하였다. 절토부 발파암비탈면에서 시험시공지의 출현식물 조사결과 녹화공법 a는 재래종의 경우 참싸리, 낭아초, 쭉 등이 생육하였고 외래종으로는 Tall fescue, Creeping redfescue, Perennial ryegrass가 생육하고 있으나 출현식물은 낮은 것으로 분석되었다.

녹화공법 b는 재래종의 경우 참싸리, 비수리, 낭아초, 쭉이 생육하고 있었고, 외래종으로는 녹화공법 a와 같은 초종이 생육하고 있었다. 녹화공법 c는 재래종의 경우 참싸리, 낭아초, 쭉이 생육하고 있었으며, 외래종으로는 Tall fescue, Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass, Weeping lovegrass가 생육하고 있었다.

표 32. 절토부 발파암비탈면의 시험시공지 출현식물 조사결과.

구 분	식물종수		
	녹화공법 a	녹화공법 b	녹화공법 c
녹화식물	-Tall fescue -Creeping redfescue -Perennial ryegrass -참싸리 -낭아초 -쭈	-Tall fescue -Creeping redfescue -Perennial ryegrass -참싸리 -비수리 -낭아초 -쭈	-Tall fescue -Kentucky bluegrass -Perennial ryegrass -Weeping lovegrass -참싸리 -낭아초 -쭈
천이식물	-바랭이	-바랭이	-바랭이
종 수	7종	8종	8종

표 33. 절토부 리핑암비탈면의 시험시공지 출현식물 조사결과.

구 분	식물종수		
	녹화공법 a-1	녹화공법 b-1	녹화공법 c-1
녹화식물	-Tall fescue -Creeping redfescue -Perennial ryegrass -참싸리 -낭아초 -쭈	-Tall fescue -Creeping redfescue -Perennial ryegrass -참싸리 -낭아초 -쭈	-Tall fescue -Kentucky bluegrass -Perennial ryegrass -Weeping lovegrass -참싸리 -낭아초 -쭈
천이식물	-바랭이	-바랭이	-바랭이
종 수	7종	7종	8종

절토부 리핑암비탈면에서 시험시공지의 출현 식물 조사결과 녹화공법 a-1은 재래종의 경우 참싸리, 낭아초, 쭈이 생육하였으며, 외래종으로는 Tall fescue, Creeping redfescue, Perennial ryegrass가 생육하고 있으나 출현식물은 낮았다. 녹화공법 b-1의 출현초종은 a-1과 같았다. 녹화공법 c-1은 재래종의 경우 참싸리, 낭아초, 쭈이 생육하고 있었으며, 외래종으로는 Tall fescue, Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass, Weeping lovegrass가 생육하고 있었으며, 천이식물로는 바랭이가 생육하고 있었다.

절토부 토사비탈면의 경우 녹화공법 d의 시공지역에서는 Tall fescue, Creeping redfescue, Perennial ryegrass가 생육하고 있었다. 녹화공법 b-2는 재래종의 경우 참싸리, 낭아초가 생육하였

고, 외래종은 d와 같은 초종이 생육하였다. 녹화공법 c-2는 재래종의 경우는 참싸리, 낭아초, 쭈이 생육하였고, 외래종은 Tall fescue, Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass, Weeping lovegrass가 생육하고 있었다.

성토부 토사비탈면의 경우 녹화공법 e의 시공지역에서는 Tall fescue, Creeping redfescue, Perennial ryegrass가 생육하고 있었다. 녹화공법 b-3는 재래종의 경우 참싸리, 낭아초, 비수리, 쭈이 생육하였고, 외래종은 녹화공법 e와 같은 초종이 생육하고 있었다. 녹화공법 f는 재래종의 경우 참싸리, 쭈이 생육하였고, 외래종은 Tall fescue, Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass, Weeping lovegrass가 생육하고 있었다.

표 34. 절토부 토사비탈면의 시험시공지 출현식물 조사결과.

구 분	식물종수		
	녹화공법 d	녹화공법 b-2	녹화공법 c-2
녹화식물	-Tall fescue -Creeping redfescue -Perennial ryegrass	-Tall fescue -Creeping redfescue -Perennial ryegrass -참싸리 -낭아초	-Tall fescue -Kentucky bluegrass -Perennial ryegrass -Weeping lovegrass -참싸리 -낭아초 -썩
천이식물			
종 수	3종	5종	7종

표 35. 성토부 토사비탈면의 시험시공지 출현식물 조사결과.

구 분	식물종수		
	녹화공법 e	녹화공법 b-3	녹화공법 f
녹화식물	-Tall fescue -Creeping redfescue -Perennial ryegrass	-Tall fescue -Creeping redfescue -Perennial ryegrass -참싸리 -낭아초 -비수리 -썩	-Tall fescue -Kentucky bluegrass -Perennial ryegrass -Weeping lovegrass -참싸리 -썩
천이식물			-코스모스
종 수	3종	7종	7종

IV. 결 론

대상구간은 농소-어모간 국도확장공사 현장으로 훼손된 도로비탈면의 침식을 방지하고 생태적인 복원을 위해서 비탈면 녹화공법을 적용해야 하는 구간이다.

본 구간의 비탈면 녹화공법 시험시공평가는 2006년 5월 11일~11월 7일까지 현장조사와 분석을 통하여 현장에 적합한 녹화공법을 선정하는 것을 목적으로 하며, 종합분석하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 시험시공은 절토부 발파암비탈면과 리핑암비탈면, 토사비탈면, 성토부 토사비탈면으로 구분하여 수행하였고, 절토부 발파암비탈면에는 녹화공법 a, 녹화공법 b, 녹화공법 c를 시공하였고

리핑암비탈면에는 녹화공법 a-1, 녹화공법 b-1, 녹화공법 c-1을 시공하였으며, 토사비탈면에는 녹화공법 d, 녹화공법 b-2, 녹화공법 c-2를 시공하였다. 성토부 토사비탈면에는 녹화공법 e, 녹화공법 b-3, 녹화공법 f를 시공하였다.

주요 녹화초종으로는 참싸리, 낭아초, 안고초, 억새, 비수리, 썩 등의 재래종과 Tall fescue, Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass, Creeping redfescue 등의 외래종을 사용하였다.

2) 토양의 물리화학적특성 조사결과 절토부 발파암비탈면과 리핑암비탈면에서 녹화공법 a와 녹화공법 a-1의 평균 토양경도는 각각 27mm, 26mm로 조사되어 식물의 생육에 영향을 줄 것으로 생각되었고, 녹화공법 b와 녹화공법 b-1은 각각 16.6mm, 14.3mm, 녹화공법 c와 녹화공법

c-1은 각각 15mm, 15.6mm로 조사되어 식물생육에 적당한 토양경도를 보이는 것으로 조사되었다. 절토부 토사비탈면의 녹화공법 d, 녹화공법 b-2, 녹화공법 c-2, 성토부 토사비탈면의 녹화공법 e, 녹화공법 b-3, 녹화공법 f의 토양경도는 식물생육에 적당한 값을 보이고 있었다.

절토부 발파암비탈면의 토양산도측정결과 공법별로 pH 6.8~7까지 분포하였으며, 리핑암비탈면은 pH 6.9~7, 토사비탈면은 pH 6.7~7범위로 분포하였고, 성토부 토사비탈면은 pH 6.6~7 범위를 보였다.

절토부 발파암비탈면에서 토양습도 조사결과는 0%~1%, 리핑암비탈면에서 0%~0.5%, 토사비탈면에서 0%~1.5%, 성토부 토사비탈면에서는 0%~2.0%로 조사되어 식물이 발아생육하는데는 다소 습도가 부족한 경향을 나타냈다.

3) 절토부 발파암비탈면 시험시공지 발아개체수 조사결과 평균 발아개체수는 녹화공법 a는 68.3본/m²으로 매우 저조한 발아개체수를 보이고 있었으며, 녹화공법 b는 144.6본/m², 녹화공법 c는 142본/m²로 우수한 생육상태를 보이고 있었다. 절토부 리핑암비탈면 시험시공지 평균 발아개체수 조사결과 녹화공법 a-1은 95본/m²으로 낮은 식물생육상태를 보이고 있었으며, 녹화공법 b-1은 140.3본/m², 녹화공법 c-1은 147본/m²으로 우수한 생육상태를 보이고 있었다. 절토부 토사비탈면의 경우 녹화공법 d는 42본/m²로 매우 낮은 발아개체수를 보이고 있었으며, 녹화공법 b-2는 123.3본/m², 녹화공법 c-2는 122.6본/m²로 조사되어 비교적 우수한 생육상태를 나타내고 있었다. 성토부 토사비탈면의 경우 녹화공법 e는 80본/m²로 낮은 발아개체수를 보이고 있었으며, 녹화공법 b-3가 109.3본/m², 녹화공법 f는 128.3본/m²으로 비교적 우수한 발아개체수를 보였으나 발아생육한 초종이 대부분 외래종이므로 확대적용을 위해서는 재래종의 비율을 높이는 것이 바람직할 것이다.

4) 식물 생중량 분석결과 절토부 발파암비탈면

에서 시험시공 후 식물생중량의 평균무게는 녹화공법 a가 8.4g으로 낮은 값을 보였으며, 녹화공법 b는 13.6g, 녹화공법 c는 12.4g으로 조사되었다.

리핑암비탈면의 경우 평균 식물생중량이 녹화공법 a-1은 9.1g, 녹화공법 b-1은 14g, 녹화공법 c-1은 15.6g으로 조사되었다. 발파암비탈면과 리핑암비탈면은 녹화공법 b, b-1과 녹화공법 c, c-1이 비교적 우수한 생중량을 보이고 있었다.

절토부 토사비탈면의 식물생중량은 녹화공법 d는 8.4g, 녹화공법 b-2는 12.5g, 녹화공법 c-2는 13.3g으로 조사되었다.

성토부 토사비탈면의 식물생중량은 녹화공법 e는 11.2g, 녹화공법 b-3는 15.8g, 녹화공법 f는 14.4g으로 조사되었다. 절토부 토사비탈면에서는 녹화공법 c-2가 비교적 우수한 생중량을 보였고, 성토부 토사비탈면에서는 녹화공법 b-3가 우수한 생중량을 보이고 있었다.

5) 절토부 발파암비탈면의 시험시공지 평균피복도 조사결과 녹화공법 a는 41.6%로 매우 낮은 피복도를 보였으며, 녹화공법 b와 녹화공법 c의 평균피복도는 각각 60%로 조사되었는데 최종 조사기간에 피복도가 90%로 조사되어 녹화효과는 좋은 것으로 분석되었다. 절토부 리핑암비탈면의 평균피복도는 녹화공법 a-1이 38.3%, 녹화공법 b-1은 60%, 녹화공법 c-1은 61.7%로 조사되었는데 최종조사기간에 녹화공법 b-1과 녹화공법 c-1은 피복도가 90%, 95%로 조사되어 생육상태가 우수하였다. 절토부 토사비탈면의 평균식물피복도는 녹화공법 d가 35%, 녹화공법 b-2는 56.7%, 녹화공법 c-2는 58.3%로 조사되었는데 녹화공법 b-2와 녹화공법 c-2는 3차조사에서 각각 90%로 조사되어 피복도가 높게 나타났다. 성토부 토사비탈면의 평균식물피복도는 녹화공법 e는 56.7%, 녹화공법 b-3은 60%, 녹화공법 f는 60%로 조사되었는데 녹화공법 b-3와 녹화공법 f는 3차조사에서 각각 95%, 90%로 조사되어 피복도가 우수한 것으로 분석되었다.

6) 시험시공지 출현식물 조사결과 절토부 발파

암비탈면에서 녹화공법 b와 녹화공법 c가 출현식물이 비교적 많았고, 절토부 리핑암비탈면에서는 녹화공법 c-1이 우수한 출현식물을 보였으며, 다음은 녹화공법 b-1과 녹화공법 a-1순이었다. 절토부 토사비탈면의 경우 녹화공법 c-2의 출현식물이 높게 나타났으며, 다음은 녹화공법 b-2순이었다. 성토부 토사비탈면의 경우는 녹화공법 b-3와 녹화공법 f의 출현식물이 높게 나타났다.

7) 이상과 같이 시험시공지역의 주변 산림환경, 토양의 물리화학적 특성 분석, 녹화식물 발아 특성 분석, 식물생중량 분석, 피복도 분석, 출현식물 분석결과 등을 종합적으로 검토하여 본 결과 비탈면 대상지별로 구체적으로 적용범위를 보면 절토부 발파암비탈면에서 조기피복녹화를 위해서 제 1안으로는 녹화공법 b를 적용하는 것이 좋은 것으로 분석되었고, 제 2안은 녹화공법 c를 시공하는 것이 효과적이다.

절토부 리핑암비탈면의 경우 제 1안으로는 녹화공법 c-1의 녹화효과가 우수하여 이 공법을 시공하는 것이 효과적이라 판단되었으며, 제 2안으로는 녹화공법 b-1을 시공하는 것이 좋다.

절토부 토사비탈면에는 제 1안은 녹화공법 c-2의 녹화효과가 우수하게 나타나 이 공법을 확대 적용하는 것이 효과적이라 생각되었고 제 2안으로는 녹화공법 b-2이었다.

성토부 토사비탈면의 경우는 제 1안은 녹화공법 b-3의 녹화효과가 우수하여 이 공법을 확대 적용하는 것이 좋으며, 제 2안은 녹화공법 f를 적용하는 것이 효과적이다.

농소어모구간 국도비탈면의 녹화공법 시험시공 적용사례를 분석해 본 결과, 비탈면 녹화 설계 및 시공잠정 지침이 확대적용되기 위해서는 이 지침의 홍보가 시급하고, 친환경적인 비탈면 녹화를 위해서 외래종의 사용빈도를 줄이고, 평가기간을 연장하여 재래종의 사용빈도를 높일수 있는 방법을 찾아야 할 것이다.

인 용 문 헌

- 오구균 · 김도균. 2007. 생태녹화공학. 광일문화사.
 건설교통부. 2005a. 비탈면 녹화설계 및 시공잠정 지침.
 건설교통부. 2005b. 건설교통부 도로현황조사.
 건설교통부. 2001a. 김천시 관내 국도대체 우회 도로(농소-어모간) 건설공사 환경영향평가.
 건설교통부. 2001b. 김천시 국도대체 우회도로 (농소-어모)건설공사 실시설계 지반조사보고서.
 이천용. 1993. 산림환경토양학. 보성문화사.
 한국조경학회. 1999. 조경설계기준.