

비탈면 녹화 설계 및 시공 잠정 지침 적용사례  
- 김천어모구간 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 Gimcheon 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 Gimcheon-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 assessing the effect of slope revegetation measures was conducted, beginning Sep 7 through Sep 20, 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, revegetation measure C was found to have been most effective and desirable for further application in the area. Viewing the specific applicability by the area, revegetation measure C and C-1 appeared to be appropriate for blasting rock slope and ripping rock slope as they are efficient in preventing the slope from being washed out and in early revegetating. And revegetation measure B deemed to be effective to blasting rock slope or ripping rock slope as an alternative.

And for cut slope, vegetation measure C-2 was judged to be more effective than measure D or E, while measure C-3 would be appropriate to embankment slope.

Key Words : *Hydroseeding, Banking Slope, Seeded species, Field experiments.*

**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

이 지역의 건설구간은 행정구역상 경상북도 김천시 어모면 남산리를 시점으로, 경상북도 상주시 공성면 거창리에 이르는 약 11.9km의 구간으로서 지리적으로 한반도의 동남부에 위치한 소백산맥의 동남 측부에 해당된다(건설교통부, 2001).

계획노선과 근거리에 위치한 김천시는 남서쪽의 소백산맥을 배후로 높은 산으로 둘러 쌓여 있는데 북서쪽의 대항면 황학산으로부터 남쪽의 대덕산을 거쳐 중산면에 이르기까지 험준한 지형을 보이며 산계는 소백산맥의 중추부에 속하는 지역으로서 경사가 가파른 비교적 험준한 지세이다(건설교통부, 2001).

계획노선 주변의 산세는 문암봉(589.7m), 난함산(733.4)과 옥수봉(683.5m) 등 상대적으로 완만한 구릉성 지형을 형성하고 있는 것이 특징이다.

수계는 설계노선의 대부분을 접하는 호상편마암 분포지역에서는 수지상 또는 방사상 수계를 보여주고 있으며, 노선과 나란하게 남류하는 하천과 감문천이 감천에 합류하여 낙동강으로 유입된다(건설교통부, 2003).

이 건설구간의 계획노선에 분포하는 기반암은 호상편마암, 세립질화강암, 반정질 편마암순이며 이외에 규장암맥을 위시한 산성암맥과 염기성암맥이 도처에 관입되어 발달하고 있다(건설교통부, 2003).

설계구간의 대부분을 차지하는 호상편마암은 시점부의 문암봉(589.7m)에서 난함산(733.4m)과 국수봉(683.5m)에 이르는 남북향으로 분포하고 있는데 세립질 흑운모화강암과 관입접촉하고 있다(건설교통부, 2003).

단층은 대개 N30E~40E방향으로 발달하고 화강암류 분포지역에서 Fracture(파쇄)와 Slickenside(단층활면)의 발달이 특징적이다(건설교통부, 2003).

김천어모구간의 국도건설지역에서 발생하는 비탈면의 표면을 보호하고 친환경적으로 녹화하기 위해서 주요 비탈면녹화공법에 대해 시험시공을 실시하고 그 결과분석을 통하여 현장에 적합한 비탈면 녹화공법을 선정하기 위하여 이 연구를 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험시공지 현황

비탈면 녹화공법의 시험시공은 2006년 5월 24일~5월 26일까지 표 2와 같이 실시하였다.

시험시공은 발파암비탈면에는 기존에 설계되어 있는 녹화공법 A를 기준으로 하여 녹화공법 B, C를 시공하였고, 리핑암비탈면에는 녹화공법 B-1과 녹화공법 C-1을 시공하였으며, 절토부 토사비탈면에는 녹화공법 D, 녹화공법 E, 녹화공법 C-2를 시공하였다. 성토부 토사비탈면에는 녹화공법 D-1, 녹화공법 F, 녹화공법 C-3를 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 설계 시공하였다.

표 1. 시험시공비탈면의 일반현황.

위 치	비탈면방향	비탈면높이	비탈면연장	비탈면경사
절토부 발파암 STA. 7+940~7+960	동향	약 40m	약 200m	1 : 0.5 ~ 1 : 0.8
절토부 리핑암 STA. 4+360~4+440	동향	약 40m	약 200m	1 : 0.5 ~ 1 : 0.8
절토부 토사 STA. 6+420~6+460	동향	약 15m	약 100m	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0
성토부 토사 STA. 9+880~9+910	동향	약 15m	약 500m	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2

표 2. 시험시공 공법 적용 현황.

	시험공법명	적용면적	시험장소	비고 (취부두께)
1	녹화공법 A	100m <sup>2</sup>	절토(발파암)	10cm
2	녹화공법 B	100m <sup>2</sup>	절토(발파암)	15cm
3	녹화공법 C	100m <sup>2</sup>	절토(발파암)	7cm
4	녹화공법 B-1	100m <sup>2</sup>	절토(리핑암)	10cm
5	녹화공법 C-1	100m <sup>2</sup>	절토(리핑암)	5cm
6	녹화공법 D	100m <sup>2</sup>	절토(토사)	-
7	녹화공법 E	100m <sup>2</sup>	절토(토사)	-
8	녹화공법 C-2	100m <sup>2</sup>	절토(토사)	-
9	녹화공법 D-1	100m <sup>2</sup>	성토(토사)	-
10	녹화공법 F	100m <sup>2</sup>	성토(토사)	-
11	녹화공법 C-3	100m <sup>2</sup>	성토(토사)	-

3. 조사 및 분석

1) 조사일시

조사일시는 시험시공후 공시식물의 생장이 왕성한 시기에 조사를 하였는데 2006년 9월 7일, 9월 20일 두차례에 걸쳐 시험시공지에 대해 현장 조사를 수행하여 얻은 자료를 바탕으로 이 연구 논문을 작성하였다.

2) 주변토양 및 식생현황

(1) 토양특성

주변 산림토양의 물리적, 화학적 특성을 조사한 결과는 표 7과 같이 토양경도는 평균 10.4mm

표 3. 절토부 발파암비탈면의 종자배합설계(초본형).

구 분	종 자 명	설 계		추가공법				
		녹화공법 A		녹화공법 B		녹화공법 C		
		수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	
혼합 종자	외래종	Tall fescue	20.0		14.4		4.0	
		Creeping red fescue	10.0		14.4		3.8	
		Perennial rye grass	10.5		14.4		3.8	
		소계	40.5	27.0	43.2	24.0	11.6	29.0
	재래종	낭아초, 참싸리	45.0		32.4		10.4	
		안고초	30.0		54.0		10.0	
		비수리	27.5		43.2		7.0	
		쭉, 자운영	7.0		7.2		1.0	
		소계	109.5	73.0	136.8	76.0	28.4	71.0
		합계	150	100	180	100	40	100

표 4. 절토부 리핑암비탈면의 종자배합설계(초본형).

구 분	종 자 명	설 계		추가공법				
		-		녹화공법 B-1		녹화공법 C-1		
		수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	
혼합 종자	외래종	Tall fescue		9.6		4.0		
		Creeping red fescue		9.6		3.8		
		Perennial rye grass		9.6		3.8		
		소계		28.8	24.0	11.6	29.0	
	재래종	낭아초, 참싸리			21.6		10.4	
		안고초			36.0		10.0	
		비수리			28.8		7.0	
		쭉, 자운영			4.8		1.0	
		소계			91.2	76.0	28.4	71.0
		합계			120	100	40	100

표 5. 절토부 토사비탈면의 종자배합설계(목본군락형).

구 분	종 자 명	설 계		추가공법				
		녹화공법 D		녹화공법 E		녹화공법 C-2		
		수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	
혼합 종자	외래종	Tall fescue	1.5		1.5		1.5	
		Creeping red fescue	1.0		1.0		1.0	
		Perennial rye grass	1.0		1.0		1.0	
		소계	3.5	14.0	3.5	14.0	3.5	14.0
	재래종	낭아초, 참싸리	8.0		8.0		8.0	
		안고초	6.5		6.5		6.5	
		비수리	6.0		6.0		6.0	
		쭉, 자운영	1.0		1.0		1.0	
		소계	21.5	86.0	21.5	86.0	21.5	86.0
	합계	25	100	25	100	25	100	

표 6. 성토부 토사비탈면의 종자배합설계(초본형).

구 분	종 자 명	설 계		추가공법				
		녹화공법 D-1		녹화공법 F		녹화공법 C-3		
		수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	수량(g/m <sup>2</sup> )	비율(%)	
혼합 종자	외래종	Tall fescue	2.0		2.0		2.0	
		Creeping red fescue	2.0		2.0		2.0	
		Perennial rye grass	2.0		2.0		2.0	
		소계	6.0	24.0	6.0	24.0	6.0	24.0
	재래종	낭아초, 참싸리	4.5		4.5		4.5	
		안고초	7.5		7.5		7.5	
		비수리	6.0		6.0		6.0	
		쭉, 자운영	1.0		1.0		1.0	
		소계	19.0	76.0	19.0	76.0	19.0	76.0
	합계	25	100	25	100	25	100	

로 나타났으며, 토양산도는 pH 6.78, 토양습도는 0.70% 이었다.

## (2) 식생현황

교목 및 관목으로는 굴참나무, 신갈나무, 상수리나무, 소나무, 곰솔, 리기다소나무, 일본잎갈

표 7. 주변 산림토양의 토양경도, 산도, 습도 측정값.

구분	조사1	조사2	조사3	조사4	조사5	조사6	조사7	조사8	조사9	조사10	평균
토양경도 (mm)	9	11	10	13	11	9	8	11	13	9	10.40
토양산도 (pH)	6.9	6.8	6.9	6.7	6.8	6.6	6.8	6.7	6.9	6.7	6.78
토양습도 (%)	0.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.5	1.0	0.70

나무, 은사시나무, 졸참나무, 밤나무, 산초나무, 개웃나무, 진달래, 아까시나무, 참싸리, 떡갈나무, 갈참나무가 생육하고 있었고, 초본류로는 그늘사초, 참억새, 실새풀, 매화노루발, 구절초, 딱갈, 닭의장풀, 참취, 꼭두서니가 있었다(건설교통부, 2001).

3) 식생생육조사

각 초종의 생육특성을 측정하기 위하여 파종 후부터 가로(20cm)×세로(20cm) 격자틀을 제작하여 격자틀내의 발아정도와 발아후의 초장과 초종별 개체수, 생중량, 피복도 등을 측정하였다. 초장은 격자틀을 이용하여 측정하였고, 개체수는 실측하였으며, 생중량은 현장에서 채취한 식물을 실험실로 운반하여 무게를 측정하였다. 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.

발파암비탈면에서의 토양경도는 2회에 걸친 조사에서 녹화공법 B가 평균 25mm, 녹화공법 A가 24mm로 높은 토양경도특성을 보여 녹화식물이 발아 생육하는데 어려운 토양특성을 보이고

있었고, 녹화공법 C는 평균 14mm로서 녹화식물이 생육하는데 적절한 값을 보이고 있었다.

리핑암비탈면에서는 토양경도는 2회에 걸친 조사에서 녹화공법 B-1은 평균 25.5mm로 녹화식물이 생육하는데 많은 장애를 줄 것으로 생각되며, 녹화공법 C-1은 평균 13mm로 조사되어 녹화식물이 발아 생육하는데는 문제가 없을 것으로 생각되었다.

절토부 토사비탈면에서 녹화공법 D의 평균토양경도는 13.5mm, 녹화공법 E는 14.5mm, 녹화공법 C-2는 14mm로 조사되어 토사비탈면에서 녹화식물의 발아 생육조건은 양호한 토양경도값을 보이고 있었다.

성토부 토사비탈면에서 녹화공법 D-1의 평균 토양경도는 11mm, 녹화공법 F는 12mm, 녹화공법 C-3는 10.5mm로 조사되어 성토부 토사비탈면에서 녹화식물의 발아 생육조건은 양호한 토양경도값을 보이고 있었다.

표 8. 절토부 발파암비탈면 토양경도 측정결과.

조사일자	토양경도(mm)		
	녹화공법 A	녹화공법 B	녹화공법 C
1차조사(9월 7일)	23.0	26.0	15.0
2차조사(9월 20일)	25.0	24.0	13.0
평균	24.0	25.0	14.0

표 9. 절토부 리핑암비탈면 토양경도 측정 결과.

조사일자	토양경도(mm)	
	녹화공법 B-1	녹화공법 C-1
1차조사(9월 7일)	26.0	14.0
2차조사(9월 20일)	25.0	12.0
평균	25.5	13.0

표 10. 절토부 토사비탈면 토양경도 측정 결과.

조사일자	토양경도(mm)		
	녹화공법 D	녹화공법 E	녹화공법 C-2
1차조사(9월 7일)	15.0	16.0	13.0
2차조사(9월 20일)	12.0	13.0	15.0
평균	13.5	14.5	14.0

표 11. 성토부 토사비탈면 토양경도 측정 결과.

조사일자	토양경도(mm)		
	녹화공법 D-1	녹화공법 F	녹화공법 C-3
1차조사(9월 7일)	9.0	13.0	12.0
2차조사(9월 20일)	13.0	11.0	9.0
평 균	11.0	12.0	10.5

## 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 1.0 미만이다. 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 A는 평균 pH 6.95, 녹화공법 B는 평균 pH 6.9, 녹화공법 C는 평균 pH 6.85로 조사되었고, 리핑암비탈면에서 녹화공법 B-1의 평균 pH는 6.9, 녹화공법 C-1은 평균 pH 6.85로 조사되었으며, 절토부 토사비탈면에서는 녹화공법 D는 평균 pH 7, 녹화공법 E는 평균 pH 6.95, 녹화공법 C-2는 평균 pH 6.85로 조사되었다. 성토비탈면에서는 녹화공법 D-1은 평균 pH 6.9, 녹화공법 F는 평균 pH 6.95, 녹화공법 C-3는 평균 pH 6.75로 조사되어 절토부 발파암, 리핑암, 토사비탈면, 성토부비탈면에서 토양산도는 식물이 발아 생육하는데 큰 문제점이 없는 것으로 분석되었다.

## 3) 토양습도 측정결과

물은 대부분의 토양과 식물이 제기능을 발휘하는데 필수적이며 특히 세포증식, 식물의 동화

표 12. 절토부 발파암비탈면 토양산도 측정결과.

조사일자	토양산도(pH)		
	녹화공법 A	녹화공법 B	녹화공법 C
1차조사(9월 7일)	7.0	6.8	6.8
2차조사(9월 20일)	6.9	7.0	6.9
평 균	6.95	6.9	6.85

표 13. 절토부 리핑암비탈면 토양산도 측정 결과.

조사일자	토양산도(pH)	
	녹화공법 B-1	녹화공법 C-1
1차조사(9월 7일)	7.0	6.8
2차조사(9월 20일)	6.8	6.9
평 균	6.9	6.85

표 14. 절토부 토사비탈면 토양산도 측정 결과.

조사일자	토양산도(pH)		
	녹화공법 D	녹화공법 E	녹화공법 C-2
1차조사(9월 7일)	7.0	6.9	6.8
2차조사(9월 20일)	7.0	7.0	6.9
평 균	7.0	6.95	6.85

표 15. 성토부 토사비탈면 토양산도 측정 결과.

조사일자	토양산도(pH)		
	녹화공법 D-1	녹화공법 F	녹화공법 C-3
1차조사(9월 7일)	6.9	7.0	6.8
2차조사(9월 20일)	6.9	6.9	6.7
평 균	6.9	6.95	6.75

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 발파암비탈면에서는 녹화공법 C의 평균습도가 0.5%, 녹화공법 A가 0.25%, 녹화공법 B가 0.0%로 나타나 매우 저조한 토양습도상태를 보이고 있었다.

리핑암비탈면에서는 평균토양습도가 녹화공

법 C-1이 0.75%, 녹화공법 B-1이 0.0%로 조사되어 리핑암비탈면에서도 낮은 토양습도특성을 보이고 있어 식물이 발아 생육하는데 어려움이 있을 것으로 판단된다.

토사비탈면에서 평균토양습도는 녹화공법 C-2가 0.25%, 녹화공법 D와 녹화공법 E가 0.0%로 조사되어 매우 낮은 토양습도특성을 보이고 있었다. 성토부 토사비탈면에서도 녹화공법 C-3가 0.0%, 녹화공법 D-1이 0.0%, 녹화공법 F가 0.0%로 조사되어 매우 낮은 토양습도상태를 보이고 있었다.

표 16. 절토부 발파암비탈면 토양습도 측정결과.

조사일자	토양습도(%)		
	녹화공법 A	녹화공법 B	녹화공법 C
1차조사(9월 7일)	0.0	0.0	0.5
2차조사(9월 20일)	0.5	0.0	0.5
평균	0.25	0.0	0.5

표 17. 절토부 리핑암비탈면 토양습도 측정결과.

조사일자	토양습도(%)	
	녹화공법 B-1	녹화공법 C-1
1차조사(9월 7일)	0.0	0.5
2차조사(9월 20일)	0.0	1.0
평균	0.0	0.75

표 18. 절토부 토사비탈면 토양습도 측정 결과.

조사일자	토양습도(%)		
	녹화공법 D	녹화공법 E	녹화공법 C-2
1차조사(9월 7일)	0.0	0.0	0.5
2차조사(9월 20일)	0.0	0.0	0.0
평균	0.0	0.0	0.25

표 19. 성토부 토사비탈면 토양습도 측정 결과.

조사일자	토양습도(%)		
	녹화공법 D-1	녹화공법 F	녹화공법 C-3
1차조사(9월 7일)	0.0	0.0	0.0
2차조사(9월 20일)	0.0	0.0	0.0
평균	0.0	0.0	0.0

## 2. 발아개체수 조사결과

발파암비탈면 시험시공지 발아개체수 조사결과 평균 발아개체수는 녹화공법 B가 36본/m<sup>2</sup>, 녹화공법 A는 39.5본/m<sup>2</sup>으로 매우 저조한 발아개체수를 보이고 있었으며, 녹화공법 C는 89.5본/m<sup>2</sup>으로 조사되어 가장 우수한 생육상태를 보이고 있었다. 발파암비탈면에서는 여름철하고 현상이 조사되어 식물생육이 불량한 부분이 발견되었다.

리핑암비탈면 시험시공지 평균 발아개체수 조사결과 녹화공법 B-1은 89.0본/m<sup>2</sup>으로 조사되었으며, 녹화공법 C-1은 153.0본/m<sup>2</sup>으로 우수한 생육상태를 보이고 있었다. 리핑암비탈면에서는 발파암에서 처럼 여름철 하고현상이 발견되었으나 식물생육은 양호하게 조사되었다.

절토부 토사비탈면의 평균 발아개체수 조사결과 녹화공법 D는 158.5본/m<sup>2</sup>, 녹화공법 E는 151.5본/m<sup>2</sup>, 녹화공법 C-2는 192.0본/m<sup>2</sup>으로 조사되어 비교적 양호한 생육을 하는 것으로 조사되었다.

성토부 토사비탈면의 평균 발아개체수 조사결과 녹화공법 D-1은 71.0본/m<sup>2</sup>, 녹화공법 F는 78.0본/m<sup>2</sup>, 녹화공법 C-3는 103.5본/m<sup>2</sup>으로 조사되어 성토비탈면의 경우 양호한 생육을 하는 것으로 조사되었다.

표 20. 절토부 발파암비탈면 발아개체수 조사결과.

조사일자	발아개체수(본/m <sup>2</sup> )		
	녹화공법 A	녹화공법 B	녹화공법 C
1차조사(9월 7일)	35.0	34.0	85.0
2차조사(9월 20일)	44.0	38.0	94.0
평균	39.5	36.0	89.5

표 21. 절토부 리핑암비탈면 발아개체수 조사결과.

조사일자	발아개체수(본/m <sup>2</sup> )	
	녹화공법 B-1	녹화공법 C-1
1차조사(9월 7일)	85.0	145.0
2차조사(9월 20일)	93.0	161.0
평균	89.0	153.0

표 22. 절토부 토사비탈면 발아개체수 조사결과.

조사일자	발아개체수(본/m <sup>2</sup> )		
	녹화공법 D	녹화공법 E	녹화공법 C-2
1차조사(9월 7일)	156.0	145.0	189.0
2차조사(9월 20일)	161.0	158.0	195.0
평균	158.5	151.5	192.0

표 23. 성토부 토사비탈면 발아개체수 조사결과.

조사일자	발아개체수(본/m <sup>2</sup> )		
	녹화공법 D-1	녹화공법 F	녹화공법 C-3
1차조사(9월 7일)	67.0	75.0	95.0
2차조사(9월 20일)	75.0	81.0	112.0
평균	71.0	78.0	103.5

### 3. 식물 생중량 조사결과

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

시험시공 후 식물생중량의 평균무게는 발파암비탈면에서 녹화공법 A는 평균 11.5g, 녹화공법 B는 12.5g으로 조사되어 매우 저조한 식물생육 특성을 보이고 있었고, 발파암비탈에서 가장 우수한 생중량을 보이는 공법은 녹화공법 C가 19.5g으로 조사되어 시험시공한 공법중 가장 우수한 생육을 하고 있었다.

리핑암비탈면의 시험시공지에서 채취한 식생생중량 조사결과는 평균 식물생중량이 녹화공법 B-1은 12.5g, 녹화공법 C-1은 17.5g으로 조사되어 녹화공법 C-1이 다소 높은 식물생중량을 보이고 있었다.

절토부 토사비탈면의 식물생중량은 녹화공법 D는 11.0g, 녹화공법 E는 12.0g, 녹화공법 C-2가 17.0g으로 조사되어 녹화공법 C-2가 높은 생중량을 보이고 있었다.

성토부 토사비탈면의 식물생중량은 녹화공법 D-1이 12.0g, 녹화공법 F가 11.0g, 녹화공법 C-3는 20.0g으로 조사되어 녹화공법 C-3가 높은 생중량을 보이고 있었고 생육상태도 양호하였다.

표 24. 절토부 발파암비탈면 식물생중량 측정결과.

조사일자	1차조사 (9월 7일)	2차조사 (9월 20일)	평균(g)
녹화공법 A	11.0 <sup>b</sup>	12.0 <sup>b</sup>	11.5
녹화공법 B	12.0 <sup>b</sup>	13.0 <sup>b</sup>	12.5
녹화공법 C	18.0 <sup>a</sup>	21.0 <sup>a</sup>	19.5

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

표 25. 절토부 리핑암비탈면 식물생중량 측정결과.

조사일자	1차조사 (9월 7일)	2차조사 (9월 20일)	평균(g)
녹화공법 B-1	13.0 <sup>b</sup>	12.0 <sup>b</sup>	12.5
녹화공법 C-1	17.0 <sup>a</sup>	18.0 <sup>a</sup>	17.5

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

표 26. 절토부 토사비탈면 식물생중량 측정결과.

조사일자	1차조사 (9월 7일)	2차조사 (9월 20일)	평균(g)
녹화공법 D	12.0 <sup>b</sup>	10.0 <sup>b</sup>	11.0
녹화공법 E	13.0 <sup>b</sup>	11.0 <sup>b</sup>	12.0
녹화공법 C-2	15.0 <sup>a</sup>	19.0 <sup>a</sup>	17.0

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

표 27. 성토부 토사비탈면 식물생중량 측정결과.

조사일자	1차조사 (9월 7일)	2차조사 (9월 20일)	평균(g)
녹화공법 D-1	11.0 <sup>b</sup>	13.0 <sup>b</sup>	12.0
녹화공법 F	10.0 <sup>b</sup>	12.0 <sup>b</sup>	11.0
녹화공법 C-3	19.0 <sup>a</sup>	21.0 <sup>a</sup>	20.0

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

### 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 발아



율이 낮고 생육이 저조한 것을 나타낸다.

절토부 발파암비탈면 시험시공지 평균피복도 조사결과 녹화공법 A는 50.0%, 녹화공법 B는 57.0%로 조사되어 낮은 식물피복도를 보이고 있었으며, 녹화공법 C는 75.0%로 조사되어 비교적 식물생육이 양호한 공법으로 분석되었다.

절토부 리핑암비탈면에서 식물 피복도 현황을 분석해 보면 녹화공법 B-1은 평균 식물피복도가 40.0%로 조사되어 매우 낮은 값을 보이고 있었으며, 녹화공법 C-1은 평균피복도가 72.5%로 조사되어 양호한 식물생육상태를 나타내고 있었다.

절토부 토사비탈면에서는 평균피복도가 녹화공법 D는 60.0%, 녹화공법 E는 62.5%로 조사되어 낮은 피복도를 보이고 있으며, 녹화공법 C-2는 75.0%로 양호한 식물생육상태를 나타내고 있었다.

성토부 토사비탈면에서는 평균피복도가 녹화공법 D-1은 62.5%, 녹화공법 F는 60.0%로 조사되어 역시 낮은 피복도를 보이고 있었으며, 녹화공법 C-3는 77.5%로 양호한 식물생육상태를 나타내고 있었다.

이 지역의 비탈면 녹화초종은 대부분 외래종으로 구성되어 있어 비탈면을 생태적으로 복원하기에는 부적합한 식생배합으로 생각되며, 피복도가 높으면 재래종의 천이를 기대하기 어려우므로

표 28. 절토부 발파암비탈면 피복도 측정결과.

조사일자	피복도(%)		
	녹화공법 A	녹화공법 B	녹화공법 C
1차조사(9월 7일)	45.0	54.0	70.0
2차조사(9월 20일)	55.0	60.0	80.0
평 균	50.0	57.0	75.0

표 29. 절토부 리핑암비탈면 피복도 측정결과.

조사일자	피복도(%)	
	녹화공법 B-1	녹화공법 C-1
1차조사(9월 7일)	35.0	70.0
2차조사(9월 20일)	45.0	75.0
평 균	40.0	72.5

피복도가 70~90%정도의 경우가 생태환경의 복원을 위해서는 적당한 피복도라고 할 수 있다.

표 30. 절토부 토사비탈면 피복도 측정결과.

조사일자	피복도(%)		
	녹화공법 D	녹화공법 E	녹화공법 C-2
1차조사(9월 7일)	55.0	60.0	70.0
2차조사(9월 20일)	65.0	65.0	80.0
평 균	60.0	62.5	75.0

표 31. 성토부 토사비탈면 피복도 측정결과.

조사일자	피복도(%)		
	녹화공법 D-1	녹화공법 F	녹화공법 C-3
1차조사(9월 7일)	60.0	55.0	75.0
2차조사(9월 20일)	65.0	65.0	80.0
평 균	62.5	60.0	77.5

### 5. 출현식물 조사결과

절토부 발파암비탈면에서 시험시공지의 출현식물 조사결과 녹화공법 A는 녹화식물인 Tall fescue, Creeping red fescue, Perennial ryegrass가 우점종으로 생육하고 있었고 녹화공법 B와 C도 같았다.

발파암비탈면에서 주변 재래종의 천이식물은 바랭이, 피, 망초 등이 침입하여 우점종으로 생육하고 있었다.

절토부 리핑암비탈면에서 시험시공지의 출현식물 조사결과 녹화공법 B-1은 녹화식물인 Tall fescue, Creeping red fescue, Perennial ryegrass가 우점종으로 생육하고 있었고, 녹화공법 C-1에서도 같은초종이 우점하여 생육하고 있었다. 리핑암비탈면에서 주변 재래종의 천이식물은 바랭이, 피 등이 침입하여 우점종으로 생육하고 있었다.

절토부 토사비탈면에서 시험시공지의 출현식물 조사결과 녹화공법 D는 녹화식물인 Tall fescue, Creeping red fescue, Perennial ryegrass가 우점종으로 생육하고 있었고, 녹화공법 E와 C-2도 같은 초종이 생육하고 있었다. 절토부 토사비

표 32. 절토부 발파암비탈면의 출현식물 조사결과.

구 분	식물종수		
	녹화공법 A	녹화공법 B	녹화공법 C
녹화식물	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass
천이식물	바랭이, 피	피, 바랭이	바랭이, 망초, 피
종 수	5종	5종	6종

표 33. 절토부 리핑암비탈면의 출현식물 조사결과.

구 분	식물종수	
	녹화공법 B-1	녹화공법 C-1
녹화식물	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass 참싸리
천이식물	피, 바랭이	바랭이, 피
종 수	5종	6종

탈면에서 주변 재래종의 천이식물은 바랭이, 피 등이 침입하여 우점종으로 생육하고 있었다.

성토부 토사비탈면에서 시험시공지의 출현식물 조사결과 녹화공법 D-1은 녹화식물인 Tall fescue, Creeping red fescue, Perennial ryegrass가

우점종으로 생육하고 있었고, 녹화공법 F와 C-3도 역시 같은 초종이 생육하고 있었다. 성토부 토

사비탈면에서 주변 재래종의 천이식물은 바랭이, 피 등이 침입하여 우점종으로 생육하고 있었다. 시험시공 대상지에서 생육하고 있는 초종은

표 34. 절토부 토사비탈면의 출현식물 조사결과.

구 분	식물종수		
	녹화공법 D	녹화공법 E	녹화공법 C-2
녹화식물	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass
천이식물	피	피	바랭이, 피
종 수	4종	4종	5종

표 35. 성토부 토사비탈면의 출현식물 조사결과.

구 분	식물종수		
	녹화공법 D-1	녹화공법 F	녹화공법 C-3
녹화식물	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass	-Tall fescue -Creeping red fescue -Perennial ryegrass 참싸리
천이식물	피	피	바랭이, 피
종 수	4종	4종	6종

대부분 외래종으로 조사되었고 주변 자생종의 천이가 진행되고 있는 과정으로 보아 향후에 자생종의 천이가 더욱 진행될 것으로 판단된다. 비탈면의 녹화는 단순히 외래종에 의한 녹화를 시도하는 것이 아니며 외래종은 주변 자생종이 천이되기 전 단계에서 노출된 비탈면을 피복시켜 비탈면의 침식과 세굴을 방지하는 역할을 하는 것이며 이 단계가 지나면 주변의 재래종에 의한 녹화가 진행되어야 녹화라고 할 수 있다. 이 지역의 경우 대부분 외래종에 의한 녹화가 진행되고 있어 향후에 녹화공법을 확대적용시에는 재래종에 의한 녹화를 시도해야 할 것이다.

#### IV. 결 론

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

본 구간의 비탈면 녹화공법 시험시공평가는 2006년 9월 7일~9월 20일까지 현장조사와 분석을 통하여 현장에 적합한 녹화공법을 선정하는 것을 목적으로 하며, 종합분석하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 시험시공은 발파암비탈면과 리핑암비탈면, 토사비탈면, 성토비탈면으로 구분하여 수행하였고, 발파암비탈면에는 녹화공법 A, 녹화공법 B, 녹화공법 C를 시공하였고 리핑암비탈면에는 녹화공법 B-1, 녹화공법 C-1을 시공하였으며, 토사비탈면에는 녹화공법 D와 녹화공법 E, 녹화공법 C-2를 시공하였으며, 성토비탈면에는 녹화공법 D-1과 녹화공법 F, 녹화공법 C-3가 시공되었다. 주요 녹화수종으로는 참싸리, 낭아초, 비수리, 안고초, 쑥 등의 재래종과 Tall fescue, Creeping red fescue, Perennial ryegrass 등의 외래종을 사용하였다.

2) 토양의 물리화학적 특성 조사결과 발파암비탈면에서 녹화공법 A와 녹화공법 B는 토양경도 범위가 24mm~25mm로 조사되어 식물의 발아

생육이 어려울 것으로 판단되었으며, 녹화공법 C는 토양경도가 14mm로 조사되어 식물이 발아생육하는데 적당한 값을 보였다. 리핑암비탈면에서도 녹화공법 B-1은 토양경도가 높은 값(25.5mm)을 보여 식물에 영향을 주는 것으로 판단되었으며, 절토부 토사비탈면과 성토비탈면은 식물이 발아생육하는데 적당한 값을 보였다.

토양산도측정결과 발파암비탈면은 공법별로 pH 6.8~7까지 분포하였으며, 리핑암비탈면은 pH 6.8~7, 토사비탈면은 pH 6.8~7, 성토비탈면은 pH 6.7~7범위로 분포하였다.

토양습도 조사결과 발파암비탈면에서 습도범위는 0%~0.5%, 리핑암비탈면에서 0%~1%, 토사비탈면에서 0~0.5%, 성토비탈면 0%로 조사되어 식물이 발아생육하는 데는 다소 습도가 부족한 경향을 나타냈다.

3) 발파암비탈면 시험시공지 발아개체수 조사결과 평균 발아개체수는 녹화공법 C가 89.5본/m<sup>2</sup>으로 매우 우수한 발아개체수를 보였으며, 녹화공법 A는 39.5본/m<sup>2</sup>, 녹화공법 B는 36본/m<sup>2</sup>으로 조사되어 녹화공법 C가 가장 우수한 생육상태를 보이고 있었다.

리핑암비탈면 시험시공지 평균 발아개체수 조사결과 녹화공법 C-1이 153본/m<sup>2</sup>으로 조사되어 발아율이 비교적 우수하였으며, 녹화공법 B-1이 89본/m<sup>2</sup>로 매우 낮은 식물생육상태를 보이고 있었다.

절토부 토사비탈면에서 평균발아개체수가 녹화공법 C-2는 192본/m<sup>2</sup>, 녹화공법 D는 158.5본/m<sup>2</sup>, 녹화공법 E는 151.5본/m<sup>2</sup>으로 조사되어 녹화공법 C-2가 가장 우수한 생육상태를 보이고 있었다.

성토비탈면에서 평균발아개체수는 녹화공법 C-3가 103.5본/m<sup>2</sup>, 녹화공법 F는 78본/m<sup>2</sup>, 녹화공법 D-1은 71본/m<sup>2</sup>으로 조사되어 녹화공법 C-3가 가장 우수한 발아생육상태를 보이고 있었다.

4) 식물 생중량 분석결과 발파암비탈면에서 시험시공 후 식물 생중량의 평균무게는 녹화공법 C

가 평균 19.5g, 녹화공법 B는 12.5g, 녹화공법 A는 11.5g으로 조사되었으며 발파암비탈에서 가장 우수한 생중량을 보이는 공법은 녹화공법 C이다.

리핑암비탈면의 경우 평균 식물생중량이 녹화공법 C-1은 17.5g, 녹화공법 B-1은 12.5g으로 조사되어 녹화공법 C-1이 우수한 생중량을 나타내고 있었다.

토사비탈면의 식물 생중량은 녹화공법 C-2가 17g, 녹화공법 E는 12g, 녹화공법 D는 11g으로 조사되어 녹화공법 C-2가 우수한 생중량을 가진 것으로 조사되었다.

성토비탈면의 경우 식물 생중량은 녹화공법 C-3가 20g, 녹화공법 D-1은 12g, 녹화공법 F는 11g으로 조사되어 녹화공법 C-3가 비교적 우수한 생육상태를 보이고 있었다.

5) 발파암비탈면의 시험시공지 피복도 조사결과 녹화공법 C는 75%, 녹화공법 B는 57%, 녹화공법 A는 50%로 조사되어 녹화공법 C가 가장 우수한 피복도를 보이고 있었다.

리핑암비탈면에서 식물 피복도 현황을 분석해 보면 녹화공법 C-1은 72.5%, 녹화공법 B-1이 40%로 조사되어 리핑암비탈면의 경우 녹화공법 C-1이 우수한 피복도를 보이고 있었다.

절토부 토사비탈면의 평균 식물피복도를 보면 녹화공법 C-2가 75%, 녹화공법 E는 62.5%, 녹화공법 D는 60%로 조사되어 역시 녹화공법 C-2의 피복도가 높게 조사되었다.

성토부 토사비탈면의 평균 식물피복도를 보면 녹화공법 C-3는 77.5%, 녹화공법 D-1은 62.5%, 녹화공법 F는 60%로 조사되어 녹화공법 C-3가 우수한 피복상태를 나타내고 있었다.

6) 시험시공지 출현식물 조사결과 발파암비탈면에서 녹화공법 C, 녹화공법 A, 녹화공법 B는 모두 낮은 출현식물을 보였고, 리핑암비탈면의 경우 녹화공법 C-1, 녹화공법 B-1이 낮은 출현식물을 보였다.

절토부 토사비탈면, 성토부 토사비탈면에서도 이러한 경향은 비슷하게 나타나 이 지역의 모든

녹화공법 시험시공지에서 전체적으로 낮은 출현식물을 보였다.

7) 이상과 같이 시험시공지역의 주변 산림환경, 토양의 물리화학적 특성 분석, 녹화식물 발아특성, 식물생중량 분석, 피복도 분석, 출현식물 분석 결과 등을 종합적으로 검토하여 본 결과 최우수 녹화공법은 녹화공법 C로 분석되었으며, 이 공법을 이 지역에 확대 적용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 대상지별로 구체적으로 적용범위를 보면 발파암비탈면과 리핑암비탈면에서 비탈면의 침식을 방지하고 조기녹화를 위해서는 녹화공법 C, C-1을 적용하는 것이 좋은 것으로 분석되었다. 차선책으로는 녹화공법 B를 발파암과 리핑암비탈면에 시공하는 것이 효과적일 것으로 생각된다.

절토부 토사비탈면에는 녹화공법 D, 녹화공법 E 보다는 녹화공법 C-2를 적용하는 것이 효과적이라고 판단되었으며, 성토부 토사비탈면에서도 녹화공법 C-3를 확대적용하는 것이 효과적이라고 판단되었다.

비탈면 녹화설계 및 시공잠정 지침의 확대적용을 위해서는 여러차례의 시험시공 적용사례를 조사 분석하여 문제점을 찾아 개선점을 제시하여 지침을 수정해서 최종적으로 확정해야 할 것이다.

## 인 용 문 헌

- 오구균·김도균. 2007. 생태녹화공학. 광일문화사.  
 건설교통부. 2005a. 비탈면 녹화설계 및 시공잠정 지침.  
 건설교통부. 2005b. 건설교통부 도로현황조사서.  
 건설교통부. 2003. 김천-어모 국도건설공사 토질조사보고서.  
 건설교통부. 2001. 김천-어모 국도4차로 확장공사 환경영향평가.  
 이천용. 1993. 산림환경토양학. 보성문화사.  
 한국조경학회. 1999. 조경설계기준.