

## 국내 도로절개면 현황 및 붕괴 분석을 통한 경보시스템 설치 기준에 관한 기초적 연구

### Study on Suggestion a Standard Installation for Damage Reduction alarm System using Cut-Slope Data

---

배규진(Bae Gyu Jin)	한국건설기술연구원 토목연구부
구호분(Koo Ho-Bon)	한국건설기술연구원 토목연구부
백 용(Back Yong)	한국건설기술연구원 토목연구부

---

#### 요약/Abstract

국내의 경우는 국토의 70%이상이 산지로 구성되어 있어 도로 개설에 따라 필연적으로 절개면이 발생된다. 더욱이 여름철에 집중적으로 발생하는 태풍, 장마에 의해 절개면의 붕괴가 많이 발생하고 있다. 국내 도로절개면 붕괴 중 낙석이 차지하는 비중이 40.8%이며, 토사붕괴는 29.5%를 차지한다. 낙석의 경우, 절개면 상부 암석의 자유운동에 의해 빠른 시간 내에 발생하고, 토사붕괴의 경우, 집중강우와 관련 쇄설성 유동형태로 도로 이용에 많은 인명 및 재산피해를 유발한다. 특히, 자동차 운행속도와 토사 붕괴 및 낙석이 떨어지는 속도와의 관계를 고려할 때 불과 몇 초의 짧은 시간에 인명피해를 발생시키게 된다.

본 연구는 최근 국도 주변 붕괴 현장 자료를 분석하고 국내 도로절개면의 특성과 붕괴유형을 근거로 낙석 및 쇄설성 유동에 대한 인명피해를 최소화하기 위한 방안으로 낙석 및 쇄설성 유동 발생 시 이동시간, 절개면 통과 차량의 속도와 정지거리의 상관성을 검토하여 도로 경보시스템의 설치기준을 제시하는데 있다. 경보시스템은 낙석발생과 동시에 작동하여 운전자로 하여금 붕괴위치로의 이동을 사전에 차단시킴으로 피해를 최소화한다.

**주요어** : 절개면, 낙석, 낙석낙하시간, 경보시스템, 제동거리

Cut-slope due to the road construction is one of the most significant problems in the domestic case, that is, 70% of the land is covered by mountain. Moreover, typhoons or heavy rains concentrated in summer season causes the failure of cut-slope. Rock-fall and soil slope failure take 40.8% and 29.5% out of the entire domestic cut-slope failure, respectively. Rock-fall is quickly occurred by the free fall or rolling of rock fragments generally in the upper slope. Soil slope failure produces a clastics-flow and increases casualty especially when caused by heavy rainfall because the velocity of the movement is very high. Considering the car speed and rock-fall velocity, it will take a life in a moment.

This study analyzes a set of field data of most recently collapsed domestic road cut-slopes to characterize these cut-slopes and the nature of rock-falls and clastics flows at each site. Based on the results, design criteria for a road alarm system are proposed, considering the relationship between the time required for clastics-flow and the velocity and braking distance of a car at the incidence. The road alarm system proposed herein would operate instantly after a rock-fall and it will minimize damages, by warning drivers approaching to the collapse or collapsing location in advance.

**Key words** : cut-slope, rock-fall, rock-fall velocity, alarm system, braking distance

## 서 론

국내의 경우, 과거 도로 개설은 도로건설 자체에 만전을 기한 반면 공사기간, 공사비 등의 한계로 인하여 절개면 하부 발파에 의한 절개면 상부 뜯돌 존재, 비교적 급경사 절개면 시공 등 위험 절개면을 많이 발생시켰다. 국도의 경우 18개 국도유지건설사무소에서 매년 해빙기와 집중호우기에 도로절개면의 안전점검을 실시하여 낙석 방재 대책을 강구하고 있는 실정이다(구호본, 2000). 또한, 국도 도로이용자의 안전운행과 위험 절개면의 효율적인 관리를 위하여 절개면의 주기적 또는 비주기적인 점검을 실시·관리하고 있다. 그 결과 위험 절개면으로 판단되는 현장은 절개면 및 지반전문가들에게 의뢰하여 정밀 진단을 실시하고 안정화를 도모하고 있다. 그러나, 절개면 대책을 강구하더라도 소규모의 낙석이나 현재의 기술로 예상치 못한 붕괴가 발생하여 인명 및 재산피해를 가져오는 경우도 적지 않다.

도로 방재 시스템이 잘 구축되어 있는 선진외

국의 경우를 살펴보면, 낙석 산사태 발생 예상지역을 선정하여 일정 강우량 이상시 낙석 피해감소를 위하여 도로차단규제시스템을 운영하고 있다(Gili, 2000). 또한 도로절개면 인접지역에 무인감시시스템을 설치하여 상시 변화를 관측하고 재해에 대비하고 있다(Brawner, 1994; Mikkelsen, 1996; Reid et al., 1999).

매년 반복적으로 발생하는 낙석 및 토사붕괴 피해에 대비한 정책 중 하나는 전국에 분포된 위험 절개면의 대책강구에 비교적 많은 시간과 예산이 소요된다는 명제아래 낙석 및 토사붕괴 예상구간에 경보시스템을 설치하면 인명피해를 절대적으로 줄일 수 있다. 국내 낙석 및 토사붕괴의 경우 주로 집중강우에 의해 발생하므로 대규모 발생이전에 절개면 표면의 침식 등 발생 징후를 사전에 감지할 수 있는 특성을 가지고 있다. 또한 국내 낙석 및 토사붕괴가 밤 시간과 새벽에 주로 많이 발생하므로 도로 관리자의 관리 범주를 벗어나는 경우가 많으므로 무인 경보 시스템의 도입은 필수적이다. 따라서 광섬유 및 신축계, 무인감시 시스템 등을 이용하여 낙석 및 토사붕괴를 실시간 계측하고 붕괴가 발생되면 경보 신호체제로 전송되어 운전자로 하여금 붕괴

현장 속으로 자동차의 이동을 차단할 수 있다.

따라서, 낙석 및 토사붕괴에 의한 인명피해를 최소화하기 위하여 경보시스템 시설물을 어느 지점에 설치할 것인가에 대한 기준이 마련되어야 한다. 본 연구에서는 경보시설물의 효율성 극대화를 위하여 국내 절개면 붕괴 특성을 파악, 분석하여 경보시스템의 설치 설계기준을 제시하고자 한다.

### 절개면 현황 및 분석

본 연구에서 활용된 자료는 전국 18개 국도유지사무소별 관할 국도 12,000km 중 표본구간 900km구간에서 수집된 자료를 비교 분석하였다. 본 연구에서 활용된 자료는 국도변을 대상으로 하여 연구가 수행되었으며 도로관리차원에서 고속도로와 지방도의 제한 속도차이 및 관리상태가 차이가 있으므로 전국도의 도로의 대푯값이라고는 할 수 없다(구호본, 2001).

#### 절개면 구성재료별 현황 및 분석

절개면은 구성물질에 따라 크게 토사사면, 암반사면, 혼합사면으로 구분할 수 있다. Fig. 1은 절개면 구성물질에 따른 분석결과이다. 국내의 경우, 토사사면이 11.1%이며 암반사면이 56.9%를 차지하고 있다. 또한 암반과 토사가 혼합된 사면은 32.7%로 국내 절개면의 구성재료별 특성은 다양한 비율로 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 산악지역이 많기 때문에 암반사면이 우세하게 발달하는 것으로 사료된다.

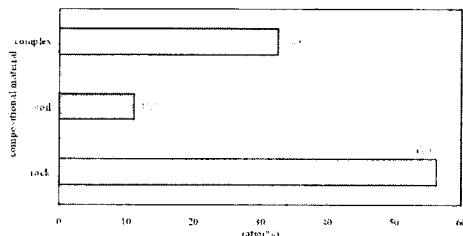


Fig. 1. The present condition of slope compositional material.

#### 절개면 높이별 현황 및 분석

절개면 붕괴시 가장 피해를 줄 수 있는 것이 절개면 높이이다. 즉, 위치에너지는 충격에너지로 변환되어 도로로 낙석과 붕토가 유입시 피해는 극대화될 가능성이 높기 때문이다. 수집된 자료를 이용하여 절개면을 높이별로 비교하였다. Fig. 2는 절개면 높이별 비율을 나타낸 것이다. 절개면 높이가 10 ~ 30 m 구간이 약 50%이상의 비율을 나타내고 있다. 평균 절개면의 높이는 15m내외이며 국내 국도변 절개면의 경우 대절개면 보다 중소규모의 절개면이 대부분을 차지하고 있는 것을 의미한다.

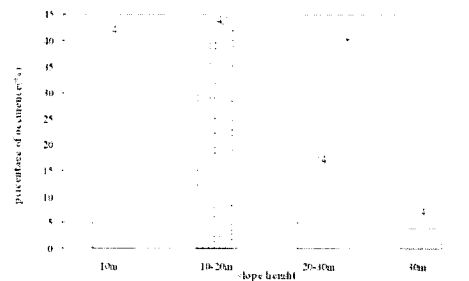


Fig. 2 The distribution ratio of slope height.

#### 절개면 경사별 현황 및 분석

절개면에서 낙석이나 토사 붕괴가 발생할 경우, 절개면 경사가 중요한 요인으로 작용한다. 암반사면에서 낙석이 발생할 때, 급경사일 경우는 낙석이 직접적으로 도로로 유입이 되어 차량이나 인명에 직접적인 영향을 가져오지만 절개면 경사가 완만한 경우는 낙석이나 토사가 발생하더라도 운동에너지가 절개면 법면 마찰에너지 발생으로 인하여 감소되어 도로 유입을 억제하는 역할을 하게 된다. Fig. 3은 절개면 경사도별 현황을 나타낸 것이다. 수집된 자료를 구성재료별로 구분하면 토사사면의 경우 평균 경사는 52°이며 암반사면의 평균 경사는 63°(구배 1 : 0.5)로 암반 사면이 다소 고각을 나타내고 있다.

#### 절개면 붕괴 특성에 대한 현황

전국 18개 국도유지사무소별 900km 구간을 조사하여 절개면 붕괴 유형별로 분포현황을 조

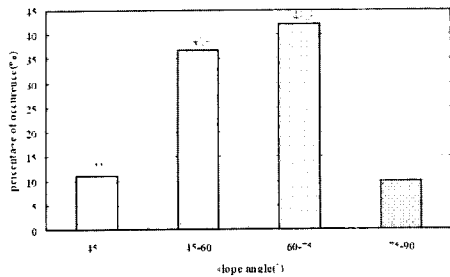


Fig. 3 The distribution ratio of slope angle.

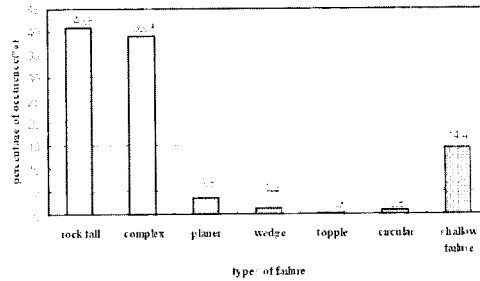


Fig. 5. The distribution ratio of slope failure type.

사하였다. 절개면 붕괴 유형은 기반암 구성재료와 붕괴 형태에 의한 분류방법인 Varnes(1978)의 분류법을 인용하였다. Fig. 4는 본 연구에서 분류한 분류법의 개략적인 모식도이다.

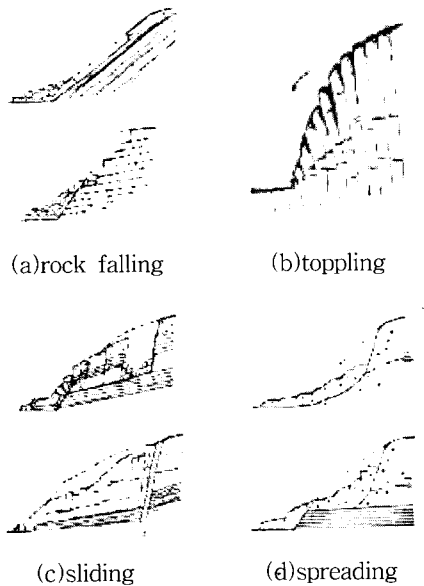


Fig. 4. The classification of slope failure type.

**붕괴 유형**

현황조사 결과 절개면 붕괴 유형별 분포현황을 살펴보면 Fig. 5와 같다. 이중 낙석이 40.8%로 가장 높은 비율을 차지한다. 절개면 붕괴 중 붕괴 형태가 복합적으로 나타나는 경우는 38.9%이다. 토사사면에서 발생하는 붕괴 중 표층유실은 14.4%를 차지하고 있다.

**구성재료별 붕괴 현황**

절개면은 크게 토사사면, 암반사면, 혼합사면으로 구성되어 있다. 절개면 구성재료에 따라서 붕괴 양상이나 붕괴 규모가 차이가 발생할 뿐만 아니라 피해 규모도 다르게 나타난다. 절개면 현황조사 자료를 근거로 구성재료별 붕괴 비율을 분석하였다. 구성재료별 붕괴 확률을 살펴보기 위하여 정규화하여 비교 분석을 실시하였다. 정규화 작업은 구성재료별 절개면을 100으로 간주하고 붕괴 비율을 분석하였다(Fig. 6). 분석 결과를 보면 암반사면에서는 붕괴 확률이 45.9%이며 토사사면일 경우는 15.2%의 경우를 나타내고 있다. 국내의 경우 암반사면의 붕괴확률이 높은 것으로 나타났다. 본 자료에서 암반사면의 붕괴 확률이 매우 높게 나타나는 것은 대규모 붕괴 뿐만 아니라 소규모의 낙석도 붕괴비율에 포함하였기 때문이다.

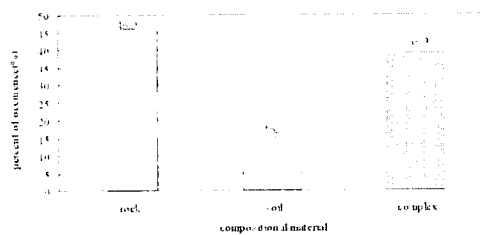


Fig. 6. The failure probability of slope compositional material.

**고찰**

**붕괴 속도에 대한 검토**

절개면 붕괴가 발생할 경우 붕괴의 규모에 대하여

규명하고 적절한 대책방안을 강구하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 구성재료별 토사사면과 암반사면을 구분하여 자료를 분석하였다. 토사사면의 경우, 토사붕괴가 발생할 경우 붕괴 후 도로에 도달하는 시간을 검토하였으며, 암반사면의 경우, 낙석 발생시 낙하 속도 및 시간에 대한 정량적인 검토를 수행하였다. 본 장에서는 900km 구간 중 구성재료별 붕괴 현장 33개소를 선별하여 자료분석을 실시하였다.

1) 토사사면의 경우

절개면에 토사가 발생하는 붕토량을 모식도로 표현하면 Fig. 7과 같이 간단히 표현할 수 있다.

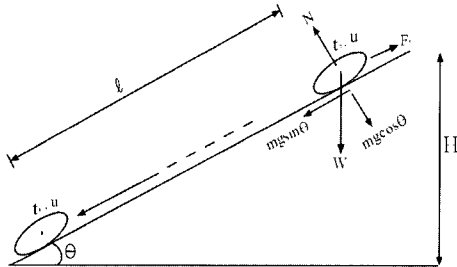


Fig. 7. The schematic diagram of soil slope failure.

$$N = W \cos \theta \tag{1}$$

$$F_s = W \sin \theta \tag{2}$$

여기서, \$W\$는 토체의 중량이며, \$N\$은 토체에 작용하는 법선력에 해당한다. \$F\_s\$는 마찰력이 작용하는 접선 성분이다. 식(1)과 (2)에서 정지마찰력 크기를 이용하여 정지마찰계수를 구할 수 있으며 과정은 다음과 같다. 즉, 토체가 안정한 상태일 경우는

$$F_s = \mu \cdot N \tag{3}$$

의 관계가 성립한다. 예를 들면, 토체의 미끄러짐이 발생하는 경우, \$F\_s\$가 우변의 항보다 큰 값을 나타내게 된다. 토체가 안정화된 상태이면

$$\mu = \frac{F_s}{N} = \frac{W \sin \theta}{W \cos \theta} = \tan \theta \tag{4}$$

가 된다.

마찰력을 고려한 사면상의 가속도 운동식은

$$ma = \mu N - F_s \tag{5}$$

를 이용하여 정리하면

$$ma = \mu mg \cos \theta - mg \sin \theta \tag{6}$$

여기서, 토체가 미끄러지는 부의 가속도는

$$-a = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) \tag{7}$$

운동방정식과 식 (7)을 이용하여 시간을 구하면

Table 1. The result of data analysis of soil slope.

No. of National Highway	location	length (m)	height (m)	angle (°)	soil volume (m3)	depth (m)	time (sec)	sliding velocity (km/h)
43	경기도 수원시 이의면	126	15	46	2	0.4	2.54	18.81
37	경기도 가평군 상면	40	10	63	2	0.7	1.67	21.56
46	강원도 인제군 남면	100	27	48	5	0.3	3.29	29.53
56	강원도 양양군 서면	58	12	45	1.5	0.2	2.31	18.71
17	충남 금산군 추부면	90	10	38	3	0.2	2.45	14.68
36	충북 단양군 단성면	55	8	52	1	0.2	1.69	17.05
21	충남 서천군 비인면	180	14	60	3	0.1	2.03	24.78
25	충북 보은군 수한면	59	20	55	1	0.2	2.57	28.02
15	전남 화순군 동북면	116	7	62	20	0.2	1.41	17.87
37	전북 무주군 설천면	123	15	67	25	0.3	1.98	27.32
17	전북 완주군 운주리	145	12	43	1	0.1	2.40	18.01
18	전남 보성군 문덕리	80	20	48	1	0.3	2.83	25.41
30	경북 성주군 금수리	116	25	52	1	0.3	2.99	30.14
14	경북 경주시 양북면	100	34	42	1.5	0.3	4.12	29.70
24	경남 울산시 상북면	61	9	61	0.5	0.3	1.61	20.07
31	경북 봉화군 소천리	113	23	62	3	0.2	2.56	32.39

다음과 같다.

$$t = \sqrt{\frac{2l}{g(\sin \theta - \mu \cos \theta)}} \quad (8)$$

여기서,  $l$  : 토체의 이동거리,  $\mu$  : 정지마찰계수,  $\theta$  : 사면 경사이다. 식 (8)에 의하여 도달 시간을 구하였으며 그 결과는 Table 1과 같다.

토사사면의 경우, 토층의 심도가 깊지 않고 표층쇄굴현상으로 발생한 붕괴가 대부분이며 토사량 또한 많지는 않다. 토체의 붕괴에 따른 이동 속도에 대한 분석결과 절개면 상부에서 발생된 토체는 붕괴 후 평균 2.4초 후에 도로 방지시설 및 도로로 유입되는 결과를 나타낸다. 상기 자료에서 구한 토체의 이동속도는 평균 24.59km/h이다.

2) 암반사면의 경우

절개면 구성재료별로 현황을 살펴보면 도로로 유입되어 도로에 피해를 입히는 경우는 대부분

낙석에 의한 것이다. 도로사면에 낙석이 발생할 경우, 낙석이 도로로 유입되는 속도는 Hoek (1987)에 의하여 제안된 식을 사용하였다(식 9).

$$v = (v_0^2 + 2sgK)^{1/2} \quad (9)$$

여기서,  $v_0$ 는 낙하될 때의 초기 속도에 해당하며  $s$ 는 거리,  $g$ 는 중력가속도에 해당한다.  $K$ 는 암반구성재료의 내부마찰각( $\phi$ )과 사면 경사( $\theta$ )에 의하여 도출되는 상수이다. 본 연구에서는 현장에서 낙석의 상태를 근거로  $K$ 값을 산출하였다(Bell, 1992).

경우 1) 단순 이동일 때

$$K = \sin \theta - \cos \theta \tan \phi$$

경우 2) 회전 구형일 때  $K = 5/7 \sin \theta$

경우 3) 회전 원통형일 때  $K = 2/3 \sin \theta$

Table 2. The result of data analysis of rock slope.

No. of National Highway	location	lithology (rock type)	length (m)	height (m)	angle (°)	falling rock volume (m <sup>3</sup> )	No. of rock fall	friction coefficient	density	K	velocity (m/s)	time (sec)	falling velocity (km/hr)
3	경기도 광주군 조월면	gnieiss	95	20	62	8	3	0.05	2.63	0.66	16.13	1.65	58.07
37	경기도 가평군	schist	76	10	55	2	5	0.15	2.63	0.55	10.40	1.06	37.42
31	강원도 인제군 인제면	granitic gnieiss	207	20	62	18	20	0.25	2.63	0.66	16.13	1.65	58.07
44	강원도 양양군 시면	granite	92	22	62	8	20	0.25	2.61	0.66	16.92	1.73	60.90
31	강원도 영월군 중흥동	sand stone	85	9	75	1	1	0.05	2.67	0.84	12.21	1.25	43.95
1	충남 포주군	granite	117	18	60	10	5	0.15	2.61	0.63	14.94	1.52	53.78
36	충북 단양군 단성면	quartzite	72	12	60	2	3	0.05	2.73	0.63	12.20	1.24	43.91
21	충남 서천군	schist	71	6	61	2	5	0.15	2.77	0.65	8.73	0.89	31.43
25	충북 부여군 수한면	phyllite	42	8	65	0.5	2	0.15	2.69	0.71	10.54	1.08	37.95
15	전남 화순군 화남동	schist	119	12	70	4	12	0.15	2.73	0.78	13.54	1.38	48.75
30	전북 무주군 무주면	granite	82	7	67	3	6	0.25	2.63	0.74	10.06	1.03	36.22
17	전북 완주군 경천면	shale	111	13	67	2	7	0.25	2.63	0.74	13.71	1.40	49.36
18	전남 보성군 보내면	gnieiss	149	25	43	2	8	0.15	2.61	0.34	12.92	1.32	46.52
30	경북 성주군 성주면	gnieiss	56	22	61	0.3	2	0.15	2.67	0.65	16.72	1.71	60.19
14	경북 경주시 양북면	granite	85	9	74	0.2	2	0.35	2.67	0.83	12.12	1.24	43.62
20	경남 산청군 평비량	conglomerate	46	15	48	10	3	0.15	2.61	0.43	11.26	1.15	40.52
24	경남 울산시 상북동	granite	245	7	90	10	4	0.35	2.67	0.71	9.87	1.01	35.53

국내의 경우, 도출된  $K$ 는 0.34 ~ 0.71의 범위에 해당한다. 도로절개면 낙석에 대한 속도와 시간을 계산하였으며 결과는 Table 2에 나타내었다. 분석결과에 의하면 암반사면에서 낙석이 발생하여 도로로 유입되는 시간은 평균 1.31초가 소요되며 낙하속도는 43.56km/h이다.

**경보시스템 설치 위치에 대한 검토**

도로절개면에 낙석이 발생할 경우, 사전에 감지시스템을 설치하고 도로변에 경보시스템을 설치 운영하여 낙석으로부터의 직접적인 피해를 줄이고자 한다. 본 연구에서는 주행중인 자동차의 속도와 관련하여 정지거리를 구하고 전술한 국내의 낙석 및 산사태의 특징을 고려하여 경보시스템 설치 위치에 대하여 검토하였다.

먼저, 주행중인 자동차의 정지거리를 산출하기에 앞서 다음과 같은 가정을 전제한다. 실제 국도의 여건은 다양한 상태이지만 본 연구에서는 도로 선형은 직선이며 평탄한 도로를 가정하여 검토하기로 한다. 자동차의 정지거리는 다음과 같은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다(원재무와 최재성, 1999).

$$D = \frac{V}{3.6} t + \frac{V^2}{254 (f \pm G)^2} \quad (10)$$

여기서,  $D$ 는 정지거리(m)이며,  $V$ 는 자동차의 속도(km/h),  $t$ 는 반응시간(초),  $f$ 는 타이어와 노면의 종방향 마찰계수,  $G$ 는 종단구배(%/100)를 나타낸다. 식 (10)의 우변 1항은 공주거리에 해당이 되며 2항은 제동거리에 해당이 된다. 반응시간을 1.5초로 추정하였을 경우, 주행속도별 정지거리는 Fig. 8로부터 계산된다. 결과를 분석하면 국도의 제한 속도가 60km/h일 경우, 약 70m의 정지거리가 필요하다는 의미가 된다.

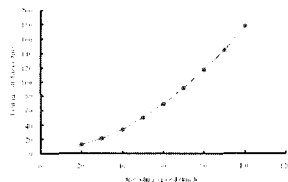


Fig. 8. The relationship of braking distance

and traveling speed.

국도에서 발생한 낙석 발생 자료를 근거로 하여 토사사면과 암반사면별 낙하시간에 대한 사면높이에 대한 관계를 보면 각각 Fig. 9, Fig. 10과 같다. Fig. 9에서 보듯이 토사사면의 경우가 암반 사면의 경우보다 낙하시간이 오래 걸리는

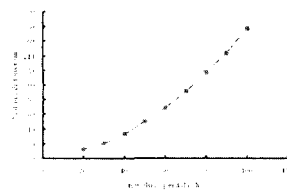


Fig. 9. The relationship of falling time and slope height in case of soil slope.

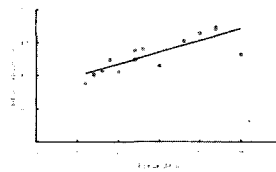


Fig. 10. The relationship of falling velocity and slope height in case of rock slope.

것을 알 수 있다. 토사사면과 암반사면의 평균 낙하시간이 2.39초와 1.31초이다. 이를 토대로 낙석의 낙하속도에 따른 경보 시스템의 위치는 자동차의 주행속도와 낙하시간을 고려하여 산출하였다. 결과를 정리하면 Table 3과 같다. 예를 들면 높이 20m의 절개면에 낙석이 발생할 경우, 60km/h 제한속도 구간의 국도에서는 경보시스템을 도로절개면의 115m 전방에 설치하여 낙석의 발생을 도로이용자에게 사전에 알려주어야 한다.

전국토에 산재되어 있는 절개면은 형상이나 외부조건이 다양하게 영향을 미치고 있는 실정이다. 또한, 절개면의 외부조건에 따라 다양한 값들이 도출될 것으로 사료되나 본 연구에서 제시된 결과는 경보시스템 설치 기준을 위하여 토사 및 낙석의 피해로 방지하고자 제안된 것이다.

Table 3. Alarm system establishment by proposed location related to slope height and the traveling speed.

slope height (m)	falling time(sec)		suggestion location (60km/h)		suggestion location (80km/h)	
	soil slopes	rock slopes	soil slopes	rock slopes	soil slopes	rock slopes
0.00	0.00	0.00	69.00	69.00	118.00	118.00
10.00	1.91	1.18	100.90	88.59	149.90	144.11
20.00	2.74	1.53	114.72	94.54	163.72	152.04
30.00	3.57	1.89	128.54	100.49	177.54	159.97
40.00	4.40	2.25	142.36	106.44	191.36	167.91
50.00	5.23	2.60	156.18	112.39	205.18	175.84
60.00	6.06	2.96	170.00	118.34	219.00	183.77

절개면 붕괴는 예고 없이 발생되어 사후 조치 밖에 할 수 없는 한계점을 가지고 있다. 그러나 앞으로 절개면 붕괴에 대한 정확한 자료를 얻기 위하여 절개면 붕괴의 실내 모형실험이나 현장 실험을 통하여 붕괴 메카니즘에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 본다. 또한, 국내의 붕괴 양상과 붕괴 원인에 대한 장기적인 연구와 더불어 붕괴 발생 예상지역에 계측시스템 등을 도입하여 국내 붕괴 현장에 대한 종합적인 연구가 병행되어 나가야 할 것이다. 절개면 붕괴와 관련하여 다각도에서 연구가 수행된다면 자연재해로부터 최대한의 인명피해를 줄여 나갈 수 있을 것으로 생각한다.

### 결 론

전국 18개 국도유지건설사무소별 관할 국도 900km구간에서 수집된 절개면의 현황과 붕괴 자료를 비교 분석하였다. 비교분석 결과 다음과 같은 결론을 도출하였으며, 국내 절개면의 규모와 붕괴 이력을 근거로 절개면 붕괴 경보 시스템 설치의 위치 기준을 제시하였다.

1) 절개면은 구성재료별 비율을 보면 주로 암반사면이 56.9%를 차지하고 있다. 절개면의 높이는 15m내외이며, 대절개면 보다 중소규모의 절개면이 대부분이며 평균 경사는 61°(구배 1 :

0.5)이다.

2) 절개면 붕괴 유형별 분포현황을 살펴보면 낙석이 40.8%로 가장 높은 비율을 차지하였으며 토사사면에서 주로 발생하는 표층유실은 14.4%로 나타났다. 구성재료별 붕괴 확률을 살펴보기 위하여 정규화하여 비교 분석 실시 결과, 암반사면의 경우, 낙석발생을 포함한 붕괴 확률이 45.9%, 토사사면은 15.2%이다.

3) 토체의 붕괴에 따른 이동속도에 대한 분석 결과, 절개면 상부에서 발생된 토체는 붕괴후 평균 2.4초이며 이동속도는 평균 24.59km/h이다. 암반사면의 경우, 낙석이 발생하여 도로로 유입되는 시간은 평균 1.31초가 소요되며 낙하속도는 평균 43.56km/h이다.

4) 낙석의 낙하속도에 따른 경보 시스템의 위치는 자동차의 주행속도와 낙하시간을 고려하여 계산하였으며 그 결과 20m의 절개면에 낙석이 발생될 경우, 60km/h 제한속도 구간의 국도에서는 경보시스템 설치는 도로절개면의 115m 전방에서 낙석의 발생을 도로이용자에게 사전에 알려주어야 할 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

구호본, 2000, 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용Ⅱ, 한국건설기술연구원, 261p.  
 구호본, 2001, 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용Ⅲ, 한국건설기술연구원, 339p.  
 원제무, 최재성, 1999, 개정판 교통공학, 박영사, 709p.  
 Bell F. G. 1992, Engineering in rock Masses, Butterworth-Heinemann, 580p.  
 Brawner, C. O. 1994, Rockfall Hazard Mitigation methods; Participant Workbook, FHWA SA-93-085, FHWA, U.S. Department of Transportation, 321p.  
 Gili J. A. Corominas J. and Rius J. 2000, Using global positioning system techniques in landslide monitoring, 55, 167-192.  
 Hoek E. 1987, General two-dimensional slope stability analysis, In Analytical and



국내 도로절개면 현황 및 붕괴 분석을 통한 경보시스템 설치 기준에 관한 기초적 연구

- Computational Methods in Engineering Rock Mechanics, E. T. Brown (ed), Allen and Unwin, London, 95-128.
- Mikkelsen, P. E. 1996, Field Instrumentation, In special Report 247: Landslide: Investigation and Mitigation(Turner, A. K. and Schuster, R. L. eds), Transportation Reserch Board, USA, 278-316.
- Reid, M. E., Lahusen, R. G. and Ellis, W. L., 1999, Real-Time Monitoring of Active Landslides, USGS Fact Sheet, 091-99p.
- Varnes, D. J. 1978, Slope Movement Types and Processes. In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control(R.L. Schuster and R. J. Krizek, eds.), TRB, National Reserch Council, Washinton, D.C., 11-33.
- 

배규진(Bae Gyu Jin)  
한국건설기술연구원 토목연구부  
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지  
Tel : 031-9100-162  
e-mail : gjbae@kict.re.kr

구호본(Koo Ho-Bon)  
한국건설기술연구원 토목연구부  
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지  
Tel : 031-9100-217  
e-mail : hbkoo@kict.re.kr

백 용(Baek Yong)  
한국건설기술연구원 토목연구부  
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지  
Tel : 031-9100-228  
e-mail : baek44@kict.re.kr