

# 도로 낙석방지울타리의 낙석지지능력 평가 연구

## Estimation of Absorbing Capacity from Rockfall Protection Fences

황영철\*

Hwang, Young-Cheol

---

### Abstract

Designs for rockfall protection systems must consider rock and soil types, the angle of the slope, conditions on top and the toe of the affected area. Rockfall protection fence is installed to block for falling rock from cut slopes and this is one of the most common rockfall protection measures. The capability of the fence is provided that sum of capability of poly vinyl chloride coated wire mesh, steel support and wire rope respectively. But in some case, the rockfall protection fence was not supported rockfall energy less than total capability of the fence through the full scale rockfall tests. Therefore, the objectives of this paper are to indicate the problems of fence capability and to improve the design specifications for the fence.

**Keywords** : Rockfall, Rockfall protection fence, Rockfall test, Rockfall energy absorbing capacity

---

### 요 지

낙석방지울타리의 설계는 지반의 종류 및 사면경사 그리고 상부 및 하부지반조건을 고려하여 실시된다. 도로절개면에 설치되는 낙석방지울타리는 사면으로부터 발생한 낙석을 적절히 지지하여 도로로의 유입을 차단하기 위해 설치한다. 낙석방지울타리의 구조적 규격은 가정된 낙석에너지에 의해 산정되며, 낙석방지울타리의 흡수가능에너지는 구성요소인 철망, 지주 및 와이어로프 각각의 흡수가능에너지 합으로 규정하고 있다. 그러나 현장시험결과 적은 낙석에너지로도 경우에 따라서 낙석방지울타리가 지지하지 못하는 경우도 있었다. 따라서 본 논문에서는 현행 낙석방지울타리에 대한 설계기준의 문제점을 파악하고 이를 보완하기 위한 방법을 제안하고자 하였다.

**주요어** : 낙석, 낙석방지울타리, 낙석시험, 낙석에너지흡수능력

---

\* 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

## 1. 서론

낙석방지시설이란 도로 절개면의 낙석, 토사붕괴 등으로 인한 교통 장애, 도로구조물의 손상, 재산 및 인명상의 손실을 예방하기 위해 설치하는 구조물을 말한다(건설교통부, 2000). 낙석방지시설의 주 기능은 낙석의 예방과 발생된 낙석이 도로로 유입되지 않도록 막아 도로이용자와 도로시설을 낙석으로 인한 재해로부터 지키는 것으로 규정하고 있다. 이러한 낙석방지시설은 기능에 따라 보강공법과 보호공법으로 구분되며 이 중 보호공법은 낙석방지망, 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽, 피암터널 등으로 구분된다. 도로절개면에 설치되는 낙석방지울타리의 구조적 규격은 가정된 낙석에너지에 의해 산정되며, 낙석방지울타리의 흡수가능에너지는 구성요소인 와이어로프의 흡수에너지, 지주의 흡수에너지, 철망의 흡수에너지 각각의 합으로 규정하고 있다. 그러나 현장시험 결과 낙석방지울타리의 흡수에너지는 구성요소가 지지할 수 있는 에너지의 합이 아닌 구성요소 중 일부의 흡수가능에너지에 좌우하는 것으로 확인되었으며, 이로부터, 도로 낙석방지울타리의 흡수가능에너지 산정방식에 대한 문제점이 있는 것으로 나타났다. 따라서, 본 논문에서는 이에 대한 문제점의 개선책으로 기존 구성요소의 위치변화를 통한 성능개선 효과와 구조적 변경을 통한 성능개선효과를 현장시험을 통해 확인하고, 기존 낙석방지울타리 설치 기준에 대한 문제점을 보완하기 위한 방안을 제안하고자 하였다.

## 2. 낙석방지울타리의 흡수가능에너지 산정

### 2.1 낙석방지울타리의 구조

일반적으로 낙석방지울타리는 50kJ의 낙석에너지를 저항하도록 설계된다. 50kJ의 에너지는 0.4톤의 암석이 12.5m 높이에서 자유낙하 할 경우의 에너지에 상당한다. 0.4톤의 암석은 과거 1년간 국토 주변의 낙석발생지점 275개소로부터 관찰된 낙석 중량의 평균값이다(건설교통부, 2000). 낙석방지시설은 절개면에서 발생한 낙석이 도로로 유입되는 것을 방지하는 기능을 수행할 수 있는 구조적인 특성을 가져야 한다. 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 낙석방지울타리는 H형강을 지주로 와이어로프와 철망을 부착시키는 형식이 사용되고 있다. 지주는 상단부가

도로 쪽으로 휘어 있는 형태가 주로 사용되고 있으며 신장력이 큰 와이어로프와 철망이 부착되므로 낙석발생시 지주, 와이어로프 및 철망이 일체가 되어 낙석에너지를 흡수하게 된다.

### 2.2 낙석방지울타리의 흡수가능 에너지

[도로안전시설 설치 및 관리지침-낙석방지시설 편](건설교통부, 2000)에 의하면, 설계에 사용되는 낙석방지울타리가 견딜 수 있는 흡수가능에너지는 다음 식(1), (2)로 계산된다(일본도로협회, 2000). 낙석에너지 계산시 낙석의 충돌위치는 지주간 중앙에서 낙석방지울타리 높이의 2/3 위치로 하고 충돌방향은 낙석방지울타리와 직각으로 고려하여 낙석에너지를 산정하도록 고려하고 있다.

$$\text{낙석에너지: } E_i = \left(1 - \frac{\mu}{\tan\theta}\right) \cdot (1 + \beta) \cdot m \cdot g \cdot H \quad (1)$$

여기서,  $E_i$  : 낙석에너지(kJ)

$\theta$  : 절개면의 경사(도)

$\mu$  : 낙석의 등가마찰계수

$\beta$  : 회전에너지계수(대개 0.1을 사용)

$m$  : 낙석의 중량(ton)

$H$  : 낙석의 낙차(m)

$g$  : 중력가속도(9.8 m/sec<sup>2</sup>)

$$\text{낙석 흡수가능에너지: } E_T = E_R + E_P + E_N \quad (2)$$

여기서,  $E_T$  : 흡수가능 에너지

$E_R$  : 와이어로프의 흡수에너지

$E_P$  : 지주의 흡수에너지

$E_N$  : 철망의 흡수에너지

현재 국내에서 주로 사용되고 있는 낙석방지울타리의 흡수가능에너지는 약 50kJ 정도이다(표 1). 낙석방지울타리의 흡수가능 에너지는, 지주의 허용최대 변위각을 15°, 와이어로프의 허용 신장율은 2~4%로 하여 계산된 것이며, 철망의 흡수가능에너지를 계산으로 구하는 것은 현 시점에서 불가능하여 일본 신호대학에서의 실험치를 적용,  $E_N=25\text{kJ}$ 로 추정하여 적용하고 있다(일본도로협회,

표 1. 낙석방지울타리의 규격(건설교통부, 2000)

와이어로프		중간지주			단부	흡수가능 에너지(kJ)
지름	간격(mm)	단면치수(mm)	매입길이(mm)	표준간격(mm)		
∅18	200~300	H150×75×5×7	700이상	2000~3000	H150×150×7/10 □150×4.5	48
∅18	200~300	H200×100×5.5×8	700이상	2000~3000	H175×175×7.5/11 □175×5.0	56
∅18	200~300	H200×100×5.5×8	700이상	2000~3000	H200×200×8/12 □175×5.0	61

주) 흡수가능 에너지 계산은 지주간격 2.0m, 와이어로프 간격 30cm를 기준으로 하였다.

이와 같은 계산방법으로 절개면의 경사도가 1:0.5일 경우, 낙석의 중량 및 낙하높이에 따른 낙석에너지를 표 2와 같이 제시하고 있으며, 표 안의 음영된 부분은 일반적인 낙석방지울타리에 의해 지지가능한 50kJ 이하의 낙석에너지 영역을 나타낸다.

표 2. 낙석의 중량 및 낙하높이별 낙하에너지 (건설교통부, 2000)

구분	낙석의 낙하 높이 (m)					
	5	10	15	20	25	
낙석 질량 (ton)	0.1	5.3kJ	10.5kJ	15.8kJ	21.1kJ	26.3kJ
	0.25	13.2kJ	26.3kJ	39.5kJ	52.6kJ	65.8kJ
	0.5	26.3kJ	52.6kJ	78.9kJ	105.3kJ	131.6kJ
	1.0	52.6kJ	105.3kJ	157.9kJ	210.6kJ	263.2kJ

### 3. 현장 낙석시험을 통한 낙석방지울타리의 지지능력 평가

#### 3.1 현장 낙석시험

현장에서 낙석방지 울타리를 절개면 하부에 설치하고 낙석을 대신할 콘크리트 볼을 제작하여 크레인을 이용 소정의 높이에서 낙하시켰다. 시험은 낙하에너지가 작은 것에서 큰 순으로 실시하였고, 콘크리트 볼의 중량은 50kg, 100kg, 250kg, 500kg, 1,000kg의 5가지를 제작하였으며, 낙하높이는 5m, 10m, 15m, 20m를 기준으로 총 49회의 시험을 실시하였다. 실험방법은 크레인을 사용하여 콘크리트 볼을 일정 낙하높이로 이동한 후 낙하시켜, 콘크리트 볼이 낙하할 때의 운동형태 및 낙석방지 울타리에 충돌한 후 낙석방지 울타리의 손상 여부, 충돌 위치 등을 기

시험을 실시한 위치는 대구-포항간 고속도로 제4공구 STA.6+290~6+500(L=210m)구간으로 최대 절토고는 45m, 사면구배는 1:0.5로 최 상단까지 시공되어 있었다. 암종은 중생대 사암 및 셰일로 층리가 우세하게 발달해 있었고, 표면의 풍화상태는 MW(Moderately Weathered) 정도이다.

#### 3.2 낙석방지울타리의 낙석지지 능력

현장시험시 설치된 낙석방지울타리는 건설교통부에서 지정하고 있는 규격대로 시공한 것이며, 규정에 의하면, 최소 50kJ의 낙석에너지를 흡수할 수 있어야 한다.

낙석방지울타리는 사면 하단부와 이격되어 있고, 따라서, 콘크리트 볼에 의한 낙석에너지는 이격된 부분에서의 충격흡수로 인해 낙석에너지가 상당히 감소된다. 현장에서 계측기를 이용하여 낙석방지울타리에 가해지는 충격에너지를 측정하고자 하였으나, 낙석 충돌위치에 따른 측정결과와 분산으로 낙석에너지의 적절한 평가는 이루어지지 않았다. 그러나, 현장시험시, 낙석이 사면하부에 설치되어 있는 낙석방지울타리를 뚫고 나온 경우가 발생하였으며, 그 경우의 낙석중량 및 낙하높이는 표 3과 같다(그림 1).

표 3. 낙석이 낙석방지울타리를 뚫고 나온 경우

구분	콘크리트볼 중량	낙하 높이	자유낙하시 에너지	낙석방지울타리를 뚫고 나온 거리
1	50 kg	20 m	10 kJ	측정못함*
2	100 kg	10 m	10 kJ	6.5 m
3	100 kg	20 m	20 kJ	24 m
4	100 kg	20 m	20 kJ	4.5 m
5	100 kg	25 m	25 kJ	2.5 m
6	100 kg	25 m	25 kJ	10.7 m

\* 낙석방지울타리를 뚫고 나온 후 도로 위의 장애물에 부딪힘



(a)콘크리트 볼(100kg)이 와이어에 부딪힌 경우



(b)콘크리트 볼(100kg)이 철망을 뚫고 나온 경우



(c)중량 1,000kg 콘크리트 볼에 의한 손상정도

그림 1. 현장 낙석시험 결과 나타난 문제점

낙석이 낙석방지울타리에 부딪힐 때의 충격에너지에 대한 측정값이 없어 정확한 평가는 어려우나, 총 49회의 낙석 낙하시험 중 낙석방지울타리가 낙석을 지지하지 못한 경우는 6회로서 50kg의 낙석이 1회 100kg의 낙석이 5회나 되었다. 이는 전체 시험 중 12%정도이며, 특히 12회를 낙하한 100kg의 경우는 42%가 낙석방지울타리를 뚫고 나왔다. 이들에 대한 자유낙하시 에너지는 모두 25kJ 이하로서 낙석방지울타리가 지지해야 하는 50kJ의 절반밖에 되지 않으며, 사면을 타고 내려오는 동안 및 하부 지반과의 충돌 등에 의한 에너지 손실을 고려한다면, 현행 사용되고 있는 낙석방지울타리의 에너지흡수능력 산정방식은 문제점이 있다고 판단된다.

#### 4. 낙석방지울타리의 성능 개선

현장시험으로부터 확인된 낙석방지울타리의 지지능력에 대한 문제점을 해결하는 방법은 기존 구성요소의 위치변경 등에 의한 재 조합에 의해 성능을 개선하는 방법과 새로운 구조재료를 이용하여 성능을 변경하는 방안을 고려할 수 있으며, 각각의 목적으로 개선된 낙석방지울타리에 대해 현장시험을 재 실시하였다.

##### 4.1 구성요소의 재조합에 의한 성능개선

한국도로공사에서는 현장시험을 통해 나타난 문제점을 보완하기 위하여 일부 구조적 형식을 개선하고, 구조재료들의 위치를 변경하여 낙석 지지능력에 대한 성능을 개선하였다. 변경된 세부설치기준은 와이어 로프와 철망 및 철망 겹이음 기준을 수립하고, 와이어로프의 경우는 낙석충돌시 와이어로프가 벌어져 기능이 저하되는 것을 방지하기 위하여 낙석이 많이 충돌하는 하부의 와이어로프는 설치간격을 줄이고 간격유지장치를 설치하도록 개선하였다. 또한 단부의 와이어로프 고정장치는 기존의 소켓형식의 고정장치가 낙석충돌시 파손되는 경향이 있는 것으로 나타나, 와이어로프가 제 기능을 할 수 있도록 단부고정장치의 재질을 주물제품에서 압연강봉으로 대체하였다. 이러한 내용에 대한 변경전·후의 낙석방지울타리 설치기준을 요약하면 다음 표 4와 같다(그림 2).

표 4. 낙석방지울타리 성능개선을 위한 주요 변경사항 요약(한국도로공사, 2002)

구 분	현 행	개 선	사 유
높 이	2.5m	2~2.5m 및 P.C방호벽	절토사면의 높이에 따라 다양한 설치형식 적용
지주간격	2.0	3.0	지주의 반력은 줄이고 와이어로프의장력은 키워 와이어로프가 많은 에너지를 흡수할 수 있도록 개선
지주규격	H-150×75×5×7	H-150×75×5×7 H-200×100×5.5×8	절토사면의 높이에 따라 다양한 설치형식 적용
와이어로프 규격	Ø18 (3×7) 파단강도 16t	Ø20 (6×24) 파단강도 18.3t	도로안전시설 설치 및 관리지침과 한국공업규격에 따라 변경 (3×7은 한국공업규격에 없는 규격)
와이어로프 단부고정장치	Ø25×1,070 소켓형 고정장치 (주물제작)	Ø25×1,070 (SS400) 갈고리형 고정장치 (강봉을 절곡 및 용접제작)	기존에 사용된 소켓형 고정장치가 주물로 제작되어 낙석하중 충격시와이어로프가 항복하기전에 파단되는 문제점이 발생되어 변경
와이어로프 간격유지장치	-	와이어로프를 서로 결속하는 간격유지장치 설치	낙석발생시 와이어로프가 철망 및 지주와 일체로 작용하지 못하고 벌어지는 현상이 발생하여 낙석이 주로 충돌하는 하부 와이어로프에 벌 어짐 방지를 위한 와이어로프 간격 유지장치 설치
와이어로프 설치간격	30cm로 균일	- 상부 : 30cm - 하부 : 20cm	낙석이 주로 충돌하는 하부 와이어로프의 간격을 줄여 낙석방지울타리의 기능을 최적화 시킴
최 하단 와이어로프	L형측구 상단 10cm이격	L형측구 상단과 일치되게 설치	낙석이 철망 밑으로 빠져나오는 현상을 예방.

#### 4.2 구조재료의 변경에 의한 성능개선

구조재료를 변경하는 경우는 매우 다양한 재료가 적용될 수 있으나, 본 연구에서는 기존의 '지주+와이어로프+철망'이라는 형태를 대신하여 익스팬디드메탈을 이용하는 현장시험을 실시하였다.

익스팬디드 메탈(Expanded Metal)이란 얇은 판에 일정한 간격으로 절삭 자국을 내어, 이것을 절삭자국과 직각방향으로 잡아당겨 늘여서 그물 모양으로 만든 재료를 말한다(그림 2).

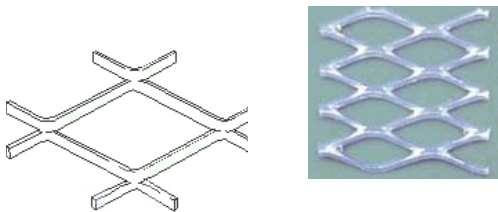


그림 2. 익스팬디드메탈(Expanded Metal)

#### 4.3 개선된 낙석방지울타리 현장시험

개선된 낙석방지울타리에 대한 현장시험은 개선된 한국도로공사 기준과 익스팬디드메탈을 이용하여 현장에 시험 설치하고 1차 낙석시험시와 마찬가지로 콘크리트 볼을 낙하시켜 시험을 수행하였다. 낙하시험은 1차와 마찬가지로

중량 50kg, 100kg, 250kg, 500kg, 1,000kg의 5가지의 낙석에 대하여, 낙하높이는 5m, 10m, 15m, 20m를 기준으로 총 49회의 시험을 실시하였다.

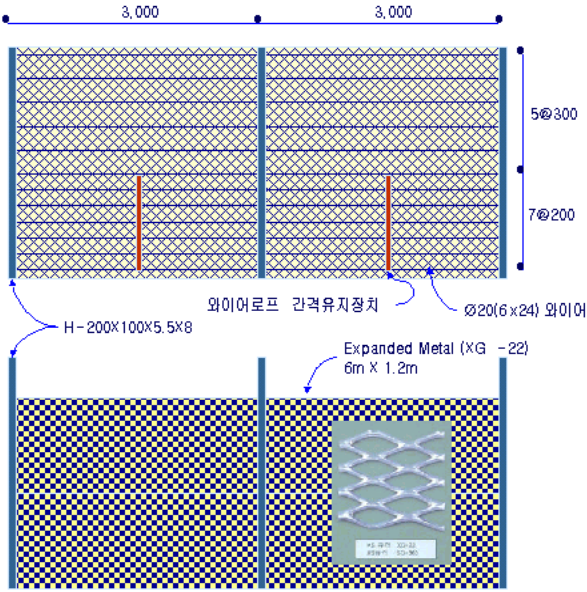
본 2차 현장낙석시험의 목적은 개선된 낙석방지울타리의 문제점을 분석할 뿐만 아니라, 낙석방지울타리에 가속도계 및 속도계를 부착시켜, 낙석에 의한 충격정도를 파악하고자 하였다. 그림 3은 현장시험을 위한 설치규격을 나타낸 것이며 그림 4는 현장시험개요를 나타낸 것이다.



(a) 한국도로공사 기준(개선-현행)



(b) 익스팬디드메탈 낙석방지울타리



(c) 낙석방지 울타리 설치규격

그림 3. 낙석시험용 낙석방지울타리 설치 규격

현장측정

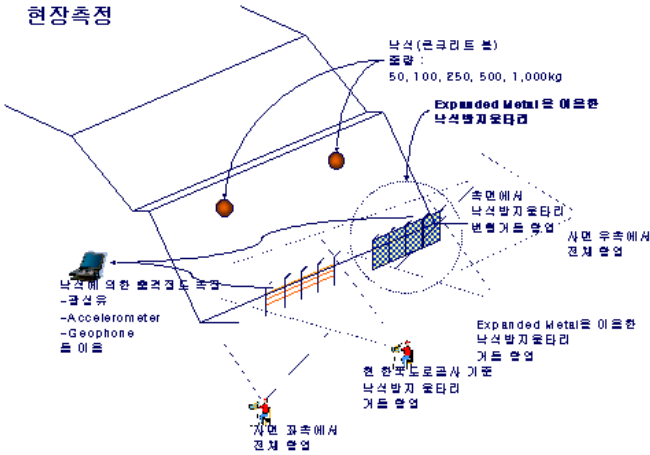


그림 4. 현장 낙석시험 및 계측 개요도

낙석은 운동형태별로 구분하면 회전, 도약, 자유낙하의 3가지 운동형태로 구분할 수 있다. 낙석의 운동형태를 비디오를 통해 분석한 결과, 표준 낙석방지 울타리에서는 전체 낙석에서 회전에 의한 운동형태가 24.5%, 회전운동 후 약에 의한 자유낙하에 의한 운동형태가 75.5%로 나타났다. 대부분이 회전운동을 한 후 일정 높이에서 도약을 하여 자유낙하를 하였다. 시험시 낙석이 낙석방지울타리에 타격하는 위치를 분석한 결과 시험의 모든 경우 1m 이하의 위치를 타격하였으며, 대부분 0.5m 이하 높이에 부딪히는

것으로 나타났다(그림 5).

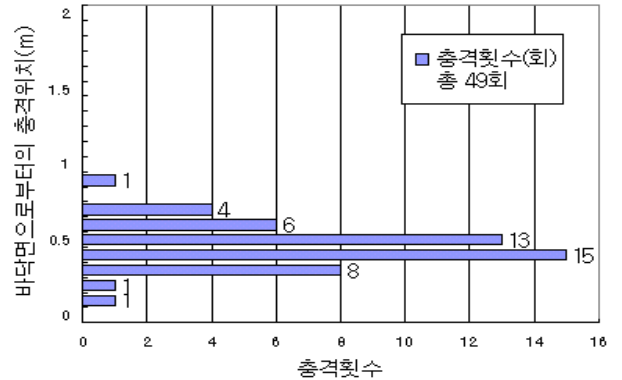


그림 5. 낙석방지 울타리에의 낙석충돌 위치

시험결과, 기존 낙석방지울타리의 규격을 개선한 한국도로공사 기준의 낙석방지울타리는 시험에 사용된 모든 경우의 낙석에 대해 낙석이 도로로 유입되는 것을 지지하는 것으로 나타났으며, 익스팬디드 메탈을 이용한 낙석방지울타리의 경우도 도로로 유입되는 낙석은 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그림 6은 낙석시험에 의해 변형된 낙석방지울타리의 손상정도를 나타낸다.



(a) 와이어로프+철망 낙석방지울타리 손상



(b) 익스팬디드메탈 낙석방지울타리 손상

그림 6. 현장낙석시험 결과 낙석방지울타리 손상정도

익스텐디드 메탈을 이용한 낙석방지울타리의 경우 현행 사용되고 있는 낙석방지울타리가 와이어로프의 지지를 위해 단부지주의 설치 및 단부에서의 체결이 필요하나 익스텐디드메탈 낙석방지울타리는 각 지주에서 지지되므로 단부지주의 설치가 필요없고, 현장 시험결과 설치가 매우 용이하며, 파손시 구간별로 해체 보수가 가능하므로 유지관리 편의성이 우수하다고 판단된다. 따라서, 낙석방지울타리 설치기준에 적합한 규격과 체결방법의 개발 등의 연구를 통해 기존 규격에 대한 충분한 개선 가능성이 있는 것으로 평가된다.

시험시 설치한 계측기 각각에 대한 결과를 분석한 결과, 낙석에너지와는 무관하게 실제로 속도계에서 측정된 값이 속도계별로 큰 편차를 보였다. 즉 큰 에너지를 갖고 있지만 충돌한 위치가 속도계로부터 멀리 이격된 경우에는 낮은 최대가속도(Peak Voltage)를 보여, 이러한 값을 모두 포함했을 경우 분산이 너무 심하여 속도계에서 가장 근접한 곳에서 충격을 가했을 때의 값들만을 선별하여 분석한 결과는 다음과 같다(그림 7).

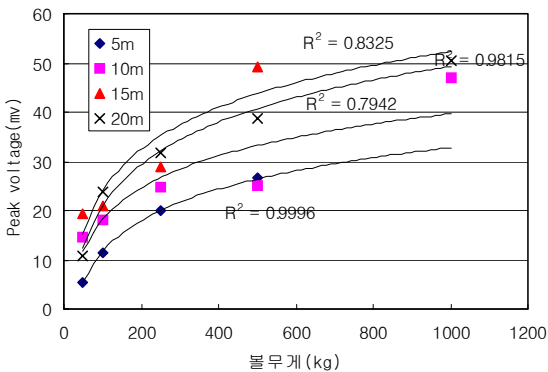


그림 7. 낙석 중량별 최대가속도 관계

현장시험의 특성상 동일한 규격의 낙석이 동일위치에서 낙하할 경우라도 절개면을 타고 내려오는 궤적이나, 낙석방지울타리에 부딪히는 위치가 각각 다르므로 낙석이 낙석방지울타리에 미치는 영향을 적절히 평가하기 어려워 특별한 경향을 파악하지 못하였으며, 향후 이를 보완한 측정방법이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4.4 낙석방지울타리 개선안 제안

본 논문에서는 기존 낙석방지울타리에 대한 현장실물낙석시험을 통하여, 낙석방지울타리의 구성요소인 철망, 와이어로프, 지주 각각의 흡수가능 에너지를 합산하여 전체 낙석방지울타리의 흡수가능에너지를 평가하는 기존 설치지침에 대한 문제점을 확인하였다. 따라서 도로이용자의 안전을 확보하기 위해 낙석방지울타리에 대한 다음과 같은 개선안을 제안하고자 한다.

① 낙석방지울타리에 대한 현행 낙석지지능력 평가방법은 문제점이 있는 것으로 평가되므로, 이에 대한 개선이 필요하며, 따라서 도로이용자의 안전을 위하여 기 설치된 낙석방지울타리의 명확한 낙석지지능력 평가도 이루어져야 한다고 판단된다.

② 낙석방지울타리의 낙석지지능력은 구성재료의 규격뿐만 아니라 구성 재료를 결속하는 방법에 따라서도 낙석지지능력이 달라지게 되고, 이는 와이어로프보다는 와이어로프와 단부의 체결부분에서의 파괴가 먼저 발생하는 경우에서 확인되었으므로, 보다 세부적인 설계지침이 필요할 것으로 판단된다.

③ 기존과 거의 동일한 규격의 재료를 이용하여 낙석이 많이 부딪히는 하부의 와이어로프 설치간격을 줄이고 간격유지장치를 설치하여 시험한 결과 기존 낙석방지울타리와 비교하여 우수한 낙석지지능력을 가지는 것으로 확인되었으므로 이러한 방법을 적절히 활용한 성능개선방법과 성능평가방법이 개발되어야 할 필요가 있다.

④ 기존에 설치되어 있는 낙석방지울타리의 낙석지지능력이 과대평가 되었을 경우, 전체적인 재설치 보다는 구조적 성능을 개선할 수 있는 대체방안이 모색되어야 할 것으로 판단된다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 현장시험을 통하여 현재 사용되고 있는 낙석방지울타리의 구조적 문제점 및 흡수에너지 평가방법에 대한 문제점을 제시하였으며, 개선된 낙석방지울타리의 지지능력을 확인한 결과는 다음과 같다.

1. 낙석방지울타리의 흡수가능에너지는 낙석방지울타리를 구성하고 있는 재료 각각의 흡수에너지의 합으로 규정하고 있으나, 본 실험에서는 100kg 중량의 콘크리트 볼이 낙석방지울타리를 뚫고 나온 경우가 5회나 되었

으며 각각의 낙석에너지를 자유낙하시의 낙석에너지로 평가하면 25kJ이하이고 실제 가해진 에너지는 절개면에서의 구름 마찰이나 사면 끝단에서 지반에 부딪힌 충격에 의한 에너지 감소분을 고려하면 훨씬 작을 것으로 판단된다. 따라서, 현재 설치되어 있는 낙석방지울타리의 흡수가능에너지에 대한 재 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2. 현장 낙석시험을 통해 나타난 문제점을 개선하기 위해 제작된 낙석방지울타리를 시험했을 경우, 시험에 적용된 모든 경우에 대해 도로로 유입되는 것을 억제하여, 낙석방지울타리의 지지능력은 충분히 개선된 것으로 평가된다. 따라서, 현행 기준으로 제시되고 있는 낙석방지울타리의 흡수에너지 평가방법을 개선할 필요가 있다고 판단된다.
3. 기존 구성요소의 재 조합에 의한 개선방안은 여전히 흡

수가능에너지 부분에서 부분적으로 취약한 구조를 가지고 있으므로 보다 새로운 개념의 낙석방지울타리 개발이 요구된다고 판단된다. 익스팬디드메탈을 이용한 낙석방지울타리의 경우, 정확한 낙석에너지 흡수능력은 평가되지 않았지만, 현장시험을 통하여 충분히 우수한 지지능력을 나타낸 것으로 평가되며, 구조적으로 취약한 부분이 없이 전체적으로 동일한 지지능력을 발휘한다는 점에서 매우 안정적인 구조인 것으로 판단된다.

4. 현재 도로절개면에 낙석유입을 억제하기 위하여 설치되어 있는 도로면 낙석방지울타리가 그 역할을 수행하고 도로통행자의 안전을 보장하기 위해서는 규격별 낙석방지울타리에 대한 정확한 평가방법과 세부설치기준에 대한 연구가 선행되어야 할 것이며, 따라서, 새로운 규격의 낙석방지울타리에 대한 연구 및 기존 낙석방지울타리의 성능을 개선하기 위한 연구가 병행되어야 할 것이다.

(접수일자 : 2002. 11. 4)

## 참 고 문 헌

1. 도로안전시설 설치 및 관리 지침 - 낙석방지사설편(2000), 건설교통부, pp. 1~84.
2. 도로안전시설 설치 및 관리 지침 연구 - 낙석방지사설, 도로반사경, 장애인 안전시설 편 작성(2000), 건설교통부, pp. 7~94.
3. 박혁진, 구호본, 이경미, 김규한(2000), 현장시험을 통한 낙석방지울타리 설계기준 제시 연구, 한국지반공학회 2000년 사면안정 학술발표회, pp. 139~151.
4. 구호본, 박혁진, 백영식(2001. 12), 현장 낙석시험을 통한 낙석방지울타리의 특성 및 성능 평가, 한국지반공학회 논문집, 제17권 6호, pp. 111~121.
5. 落石防止防護工法, 理工図書, 三上善藏(1984. 12), pp. 23~44.
6. 日本道路協會(2000), 落石對策便覽.
7. 鐵道綜合技術研究所-709(1999), 落石對策技術マニュアル, pp. 98~125.
8. Ritchie, A.(1963), The evaluation of rockfall and its control, Highway Research Record 17, pp. 13~28.
9. Paronuzzi, P.(1989), Probabilistic approach for design optimization of rockfall protective barrier, Quaterly J. Engineering Geology, 22. pp. 135~146.