

낙석방지망의 효율적 설계를 위한 기초연구

A Study on Efficient Design of Rockfall Prevention Netting

이준대¹⁾ · 박수범²⁾ · 배우석[†]

Jundae Lee · Soobeom Park · Wooseok Bae

Received: August 19th, 2014; Revised: September 3rd, 2014; Accepted: October 2nd, 2014

ABSTRACT : In order to obtain basic data for reasonable design of rockfall prevention net unreasonably being designed according to experiences, this paper determined a standard cross section and analyzed the effects of parameters such as inclination and height of slope faces, rockfall weight, separation distance on rockfall behaviors such as bounce height, kinetic energy and passage rate. The weight of rockfall changed from 400 kg to 700 kg and then to 1,000 kg. With the height of 20 m as the standard, the test was conducted with the inclination at 63° and 55° which may affect rockfall behaviors. Analysis was made while changing the fall height of rockfall from 3 m to 15 m and then to 20 m, thereby analyzing and evaluating changes in maximal kinetic energy occurring in the base of slope. According to the analysis result, in designing a rockfall prevention wire net, a design considering various conditions including inclination of the slope, expected size or weight of rockfall, situation of the slope and the shape of rockfall, and rockfall trace is judged necessary beyond the current uniform application.

Keywords : Rockfall prevention net, Kinetic energy, Rockfall weight, Fall height of rockfall

요지 : 본 논문에서는 경험에 따라 비합리적으로 설계되고 있는 낙석방지망의 합리적인 설계를 위한 기초자료를 획득하기 위해 표준 단면을 결정하고 비탈면의 경사, 높이, 낙석의 무게, 이격거리 등의 매개변수가 도약높이나 운동에너지, 통과속도 등 낙석의 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 낙석의 무게는 400, 700, 1,000 kg으로 변화하고 20 m 높이를 기준으로 낙석방호시설이 낙석의 거동에 영향을 미칠 수 있는 1:0.5(63°), 1:0.7(55°)의 경사에 대해 수행하였으며, 낙석의 낙하높이를 3, 15, 20 m를 변경시켜가면서 해석을 실시하여 사면 하부에 발생하는 최대운동에너지의 변화를 분석·평가하였다. 해석결과, 낙석방지망의 설계 시 현행과 같이 일률적인 적용에서 벗어나 사면의 경사와 예상되는 낙석의 규모나 무게, 법면의 상황 및 낙석의 모양, 낙석 운동형태 등 다양한 조건을 고려한 설계가 필요할 것으로 판단된다.

주요어 : 낙석방지망, 운동에너지, 낙석의 무게, 낙하높이

1. 서론

최근 비탈면 보강, 보호공법은 경제성, 시공성을 고려하여 최적의 공법을 적용하기 위해 많은 노력을 기울이고 있는 실정이며, 그중 낙석방지 시설은 낙석방지 울타리, 낙석방지 옹벽, 낙석방지망 등이 시공되고 있다. 비탈면의 낙석을 방지하기 위한 시설인 낙석방지 울타리는 도로 비탈면의 보호공법 중 하나로 흡수가능 에너지를 계산하여 설치하도록 규정하고 있으며(국토해양부, 2009b), 낙석방지망은 별도의 해석절차 없이 울타리의 상부지점을 기준점으로 설치하고 있는 상황이다.

본격적인 낙석에 대한 연구는 Ritchie(1963)의 경험적 연구가 출발점이 되었으며, 이를 통해 Broili(1973)는 비탈면의 형상과 표면의 상태, 형상 등을 고려하여 자유낙하(Free

fall), 재도약(Rebound), 롤링(Rolling), 활동(Sliding)으로 비탈면에서 발생하는 낙석의 종류를 구분한 바 있다.

1985년 미국에서는 컴퓨터 모델링 기법을 이용한 낙석 해석프로그램을 개발하였고 1987년 Hoek도 낙석과 낙반 등을 모사한 프로그램을 개발하였다. 또한 1988년과 1989년에는 컴퓨터를 활용하여 해석할 수 있는 다양한 프로그램들이 개발되었고 그 후로도 캐나다, 독일, 이탈리아 등 다양한 국가에서 개발되어 왔다(Jeong, 2000). 낙석에 대한 해석은 해석모델에 따라 적용하는 매개변수의 차이가 크므로 이에 대한 연구 결과가 다양하게 발표되고 있다. Bozzolo & Pamini (1986)나 Azzoni et al.(1995)은 낙석을 원형이나 타원의 형태로 고려하여 충돌 전후의 선운동량과 회전운동량의 보존법칙으로부터 운동형태를 결정한 바 있으며, Pfeiffer & Bowen (1989)과 Wu(1985)는 해석의 주요인자 중 하나인 반발계수

1) Department of Civil Engineering, Semyung University

2) Department of Civil Engineering, Chungbuk National University

† NANO-GEO ENC Co., Ltd. (Corresponding Author : old1007@hanmail.net)

가 사면의 상태뿐만이 아니라 사면과의 충돌 각, 충돌속도에 따라 달라지는 것으로 판단하고 이러한 함수를 고려할 수 있는 모델을 개발하였다.

Pierson et al.(1990)은 미국의 오레곤주를 대상으로 Rockfall Hazard Rating System(RHRS)을 개발하여 낙석의 위험성을 평가한 바 있으며, Hoek(1998)는 낙석의 에너지뿐만 아니라 전반적인 평가항목을 제시하여 최대한 객관적인 위험성을 평가하고 예산을 효율적으로 투입할 수 있도록 하였다. 또한 기존 RHRS가 지질정보 평가와 사용자 주관에 의한 문제점이 발생되어 SMR 등으로 수정한 수정 RHRS가 개발되어 현재에 이르고 있다(Budetta & Panico, 2002).

암체의 규모는 낙석운동에 영향을 미치는 중요한 요인 중의 하나이며 비탈면의 형상과 거칠기, 낙석의 초기속도, 거칠기 각도 등이 낙석의 운동에 영향을 미치는 것으로 분석(Spang & Sonser, 1995)되었고, Labiouse & Heidenreich (2009)는 모래사면에 낙석을 충돌시키는 엄밀한 실험적 연구를 통하여 연직반발계수가 표면의 지지력과 연관이 있으며 접선반발계수는 사면표면과 낙석사이의 전단저항과 관련이 있다는 것을 제시하였다.

국내에서는 다양한 외국의 해석모델을 활용하여 국내의 여건에 합리적으로 적용할 수 있는 방법에 대한 연구가 주로 수행되고 있는 현실이다. Kim et al.(2007)은 현장조사 등을 통해 낙석의 무게분포를 산정하고 낙석시뮬레이션을 실시하여 현장 특성을 반영하지 못한 낙석무게 추정치는 실제와 다른 결과를 얻게 되므로 신뢰성 높은 절리자료의 사용이 매우 중요함을 강조하였다. Kim(2010)은 범용해석프로그램을 통하여 20 m 미만 높이에서는 비탈면 하단에서 2 m 위치에 1~2 m의 낙석방지시설로 대부분의 낙석을 방어할 수 있음을 규명하였다. 또한 Hwang et al.(2010)은 비탈면의 높이가 20 m 이상인 경우 낙석의 도약 높이가 높고 기존 낙석방지 울타리의 충격흡수에너지를 초과하여 기능을 발휘할 수 없다는 것을 주장하였다.

현재 낙석방지시설 관련 지침으로는 국토해양부 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2009a)이나 도로공사 표준시방서편에 간략히 기술되어 있고 낙석방지 울타리와 낙석방지망의 병행 시공 시 적용 규정이 일률적으로 ‘망의 하단은 반드시 방지울타리 높이와 동일해야한다’로 규정되어 있는 형편이다. 그러나 대부분의 연구가 일방적으로 낙석이 비탈면의 정점이나 소단부에서 낙하함을 전제로 수행되고 있어 시공 시 낙석방지망과 병행 설치되는 특성을 간과하고 있는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 낙석방지망의 효율적인 적용을 위하여 낙석중량, 비탈면경사, 이격거리와 낙하예상위치를 변경시켜가면서 낙석 시뮬레이션을 실시하였으며, 비탈면 하

부에 발생하는 최대운동에너지의 변화를 분석하여 현행 낙석방지망의 설계기준을 평가하고 다양한 매개변수가 미치는 영향에 대한 적정성을 평가하였다.

2. 낙석에 대한 시뮬레이션

2.1 낙석의 정의

낙석이란 사면 기울기가 수직이거나 거의 수직에 가까워서 사면을 이루고 있던 암석이나 암괴가 크기나 규모에 상관없이 움직여 사면 아래로 이동하는 현상으로 암반 내 불연속면의 이완현상에 의해 암편이 모암에서 분리되어 낙하하며 규모면에서 Rochet(1987)이 제시한 ‘single block falls ($10^2 \sim 10^2 \text{ m}^3$)’로 암편을 셀 수 있을 정도의 소량을 의미하고 Evans & Hungr(1993)이 발표한 ‘fragmental rock falls’로 낙하 블록간의 상호작용을 고려하지 않는 것으로 한정하고 있다(Kim et al., 2007).

이러한 낙석은 풍화가 진행됨에 따라 침식이나 풍화에 대한 저항력이 약한 토사 속에 포함되어 있는 암편이나 자갈 등이 탈락하는 탈락형 낙석과 불연속면이 잘 발달된 암체 내에서 불연속면에 둘러싸인 암괴, 암편 등이 들뜬 상태로 존재하다 강우나 동결융해와 같은 원인으로 인해 떨어지는 뜬돌형 낙석으로 분류할 수 있다.

낙반의 위험을 방지하거나 위험요소를 감소시키기 위해서는 낙석과 낙반을 일으키는 활성요인을 인식하는 것이 무

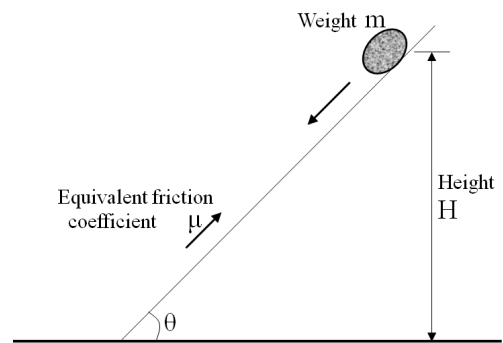


Fig. 1. Estimation of rockfall energy

Table 1. Range of equivalent friction coefficients (E.F.C)

Shape of rockfall	Characteristics of slope	E.F.C
Rounded	Hard rock, Slightly bend, No tree	0.05
Shaped or rounded	Soft rock, Highly bend, No tree	0.15
Shaped or rounded	Weathered rock, Slightly bend, No tree	0.25
Shaped	Cliff, Slightly bend	0.31

엇보다 중요하며, 영향 인자는 다수 존재하고 있으며 그 무엇보다 중요한 것은 사면파괴를 일으키는 가장 큰 요인을 밝혀내는 과정이다(Brawner, 1994).

낙석에너지는 주로 이동암석의 규모에 좌우되므로 정확한 낙석 중량추정이 이루어져야 하며, 낙석의 중량 추정은 낙석의 체적(m^3) × 단위중량(t/m^3)을 이용하여 간단하게 추정할 수 있다. 낙석 부피의 산정은 구의 경우 $\frac{4}{3}\pi r^3$ (r : 구의 반지름(m)), 육면체의 경우는 길이×폭×높이로 낙석 체적(m^3)을 추정할 수 있고 낙석에 의한 에너지는 일반적으로 Eq. (1)로 결정할 수 있다.

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

여기서 E_i = 낙석에너지(kJ)

θ = 절개면의 경사도

μ = 낙석의 등가마찰계수

β = 회전에너지 계수(대개 0.1을 사용)

m = 낙석의 중량(t)

H = 낙석의 낙차(m)

g = 중력가속도(보통 9.8 m/s^2)

낙석속도는 낙하높이에 크게 관계되며 측정된 낙하속도는 자유낙하속도에 잔존계수 α 를 곱하여 결정하고, 경사, 지질, 요철 및 낙석형상 등의 모든 요인을 표현해 준다. 또한 경사에 영향을 받는 경우가 적어 Table 1과 같이 등가마찰계수(μ)로 변환하여 사용가능하다(高速道路調査會, 1974).

2.2 입력변수

본 연구에서 낙석시뮬레이션은 Canada Rocscience사의 Rocfall v.3.01을 이용하였다. 본 프로그램은 절개면의 형상

과 절개면 구성물질에 대한 물성, 이동할 암석의 물성 그리고 이동암석의 최초위치에 관한 입력이 가능하며, 입력 데이터를 다양하게 변화시킬 수 있고 결과의 처리가 용이한 장점이 있으며 초기낙석 운동형태의 지정이 가능하다. 또한 이동지점마다 생성된 운동에너지와 속도, 바운드 높이를 측정할 수 있어 통계적인 분석이 가능하다.

본 프로그램에 적용되는 입력자료는 Table 2와 같이 프로그램 변수, 사면특성, 낙석 특성에 따라서 다양한 매개변수들이 사용된다. 사면특성에 따라 다양하게 변화시킬 수 있는 변수는 압괴 형상, 압괴의 운동형태, 압괴 크기, 사면 특성 등이 있으며, 이들 요소들의 고유특성에 따라 낙석의 거동 양상이 뚜렷하게 달라진다.

2.3 낙석시뮬레이션의 조건

본 연구에서는 낙석방지망의 설치위치 변화에 따른 낙석 방호시설의 안정성을 평가하기 위하여 낙석시뮬레이션을 실시하였으며, 해석조건은 Table 3과 같다. Table 3에 나타난 바와 같이 낙석의 무게는 국내 도로 현장의 다양한 낙석 무게를 고려하기 위해 400, 700, 1,000 kg으로 변화하고 비탈면의 높이를 일반적으로 낙석방호시설이 포함될 수 있는 20 m 높이를 기준으로 낙석방호시설이 낙석의 거동에 영향을 미칠 수 있는 1:0.5(63°), 1:0.7(55°)의 경사에 대해 수행하였으며, 소단부는 3 m로 설정하고 낙석의 낙하높이를 3, 15, 20 m를 변경시켜가면서 낙석시뮬레이션을 실시하여 사면 하부에 발생하는 최대운동에너지의 변화를 분석·평가하였다. 또한 낙석 방호시설인 낙석방지울타리의 높이는 2.5 m로 설정하였으며 사면의 선단과 울타리의 이격거리는 0.5, 1.0, 1.5로 변화하여 평가하였다.

도로안전시설 설치 및 관리 지침(국토해양부, 2009b)에 의하면 낙석방지 울타리의 흡수가능에너지를 50 kJ로 규정

Table 2. Major input data for program

Initial conditions	Friction angle	1. Use friction angle specified in material editor 2. Calculate friction angle from Rt 3. Set friction angle to zero (rolling)		
	Rock setup	Number of rocks to throw		50
		Min. velocity cut-off		0.1 m/s
	Horizontal velocity	3 ± 0.04		
	Vertical velocity	1 ± 0.04		
Mass	400 ~ 1,000 kg			
Materials	Existing materials	Rn	Rt	Friction angle
	Asphalt	0.4 ± 0.04	0.9 ± 0.04	30 ± 2
	Bedrock outcrop	0.35 ± 0.04	0.85 ± 0.04	30 ± 2
	Clean hard bedrock	0.53 ± 0.04	0.99 ± 0.04	30 ± 2
	Soil with vegetation	0.3 ± 0.04	0.8 ± 0.04	30 ± 2

Table 3. Conditions of rockfall simulation

Inclination	Height (m)	Weight (kg)	Offset (m)
1:0.5 (63°)	3	400	0.5, 1.0, 1.5
		700	0.5, 1.0, 1.5
		1,000	0.5, 1.0, 1.5
	20	400	0.5, 1.0, 1.5
		700	0.5, 1.0, 1.5
		1,000	0.5, 1.0, 1.5
	30	400	0.5, 1.0, 1.5
		700	0.5, 1.0, 1.5
		1,000	0.5, 1.0, 1.5
1:0.7 (55°)	3	400	0.5, 1.0, 1.5
		700	0.5, 1.0, 1.5
		1,000	0.5, 1.0, 1.5
	20	400	0.5, 1.0, 1.5
		700	0.5, 1.0, 1.5
		1,000	0.5, 1.0, 1.5
	30	400	0.5, 1.0, 1.5
		700	0.5, 1.0, 1.5
		1,000	0.5, 1.0, 1.5

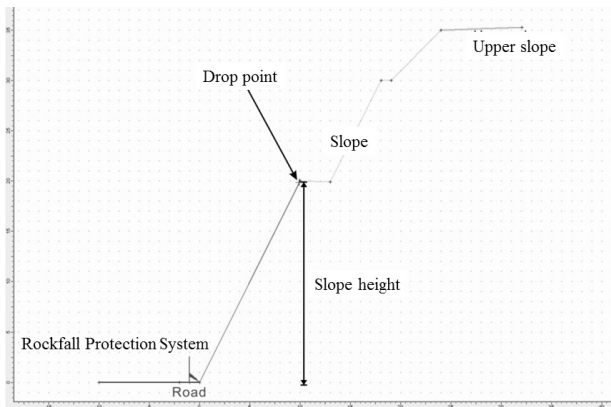


Fig. 2. Slope section for simulation

하고 있으므로 시뮬레이션에 의한 평가를 위해 이 기준값을 적용하였다.

3. 낙석시뮬레이션 결과분석

3.1 낙하높이에 따른 낙석에너지 변화

3.1.1 낙석중량 400 kg

본 연구에서는 낙석방지망의 설치위치 변화에 따른 낙석방호시설의 안정성을 평가하기 위하여 낙석의 발생위치를 현행 시공위치인 사면하부 기준 3 m로부터 일반적인 연암의 시공 높이인 20 m와 1소단 상부사면에서의 낙하를 모사한 30 m까지 다양하게 변화시키면서 이격거리, 비탈면경사, 낙

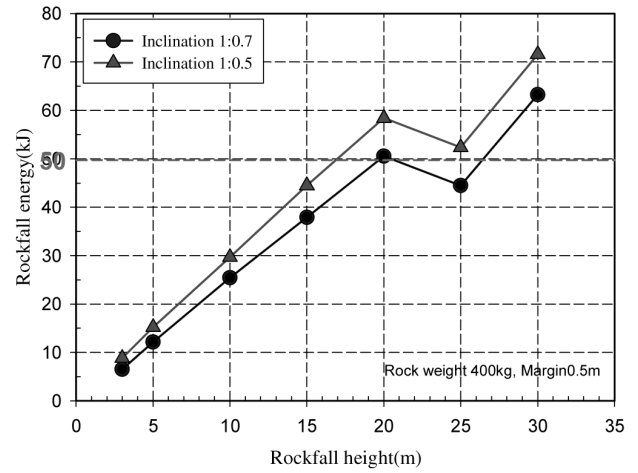


Fig. 3. Variation of rockfall energy (w=400 kg, margin=0.5 m)

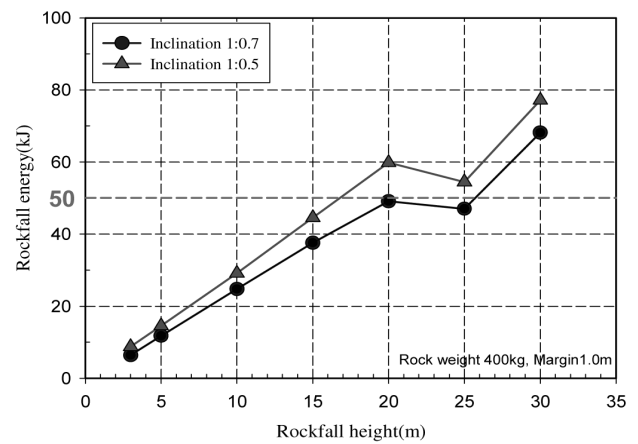


Fig. 4. Variation of rockfall energy (w=400 kg, margin=1.0 m)

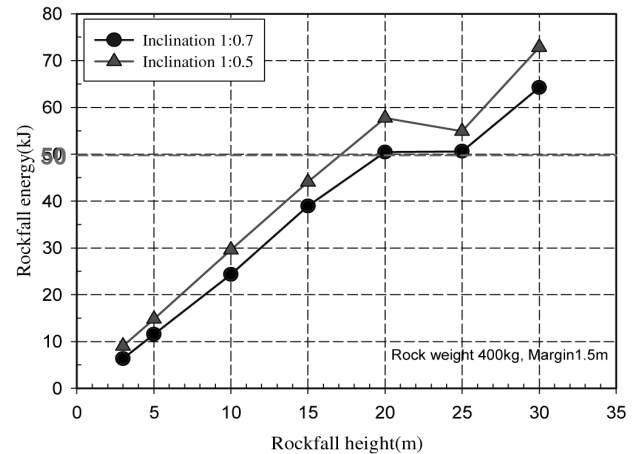


Fig. 5. Variation of rockfall energy (w=400 kg, margin=1.5 m)

석중량에 따라 발생하는 낙석에너지의 변화를 고찰하였다.

Fig. 3~Fig. 5는 낙석중량이 400 kg인 경우 이격거리별 낙하높이에 따른 낙석에너지의 변화를 나타낸 것이다. 낙석의 발생위치에 따른 최대운동에너지의 변화를 분석한 결과, 국내 현장의 평균 낙석중량인 400 kg의 경우 1:0.5사면에서

는 약 19 m의 낙하위치에서 기준값을 상회하는 것으로 나타났으며, 1:0.7사면은 약 28 m 근처에서 최대운동에너지가 50 kJ을 초과하는 것으로 나타났다.

1소단 하부사면에 낙석방지망이 설치되지 않는 상황을 고려하여 분석한 결과 낙석중량이 400 kg 이하로 예상되는 경우에는 하부의 낙석방지책 등 방호시설이 50 kJ 이하의 운동에너지를 받으므로 낙석으로부터 안정성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

단, 본 해석은 가장 단순화된 조건에서 수행되었으므로 법면의 요철이 심하거나 암반이 신선하여 반발도가 큰 경우 등 구르는 운동보다 튀는 운동이 예상되는 사면에서는 작은 중량에서도 낙석의 궤적이 도로 부까지 미칠 수 있는 상황을 무시할 수는 없을 것으로 판단된다.

3.1.2 낙석중량 700 kg

Fig. 6~Fig. 8은 낙석중량이 700 kg인 경우 이격거리별 낙하높이에 따른 낙석에너지의 변화를 나타낸 것이다. 낙석의 발생위치에 따른 최대운동에너지의 변화를 분석한 결과, 700 kg의 낙석인 경우 1:0.5사면에서는 약 9 m의 낙하위치

에서 기준값을 상회하는 것으로 나타났으며, 1:0.7사면은 약 11.5 m 근처에서 최대운동에너지가 50 kJ을 초과하는 것으로 나타났다.

1소단 하부사면에 낙석방지망이 설치되지 않는 상황을 고려하여 분석한 결과 낙석중량이 700 kg에서는 80 kJ 이상의 운동에너지를 나타내어 낙석으로부터 안정성을 확보할 수 없는 것으로 나타났다. 단, 20 m 이상에서 낙석에너지가 감소하는 현상은 사면 내 3 m 소단의 영향인 것으로 판단된다.

3.1.3 낙석중량 1,000 kg

Fig. 9~Fig. 11은 낙석중량이 1,000 kg인 경우 이격거리별 낙하높이에 따른 낙석에너지의 변화를 나타낸 것이다. 낙석의 발생위치에 따른 최대운동에너지의 변화를 분석한 결과, 1,000 kg의 낙석인 경우 1:0.5사면에서는 약 7 m의 낙하위치에서 기준값을 상회하는 것으로 나타났으며, 1:0.7사면은 약 8 m 근처에서 최대운동에너지가 50 kJ을 초과하는 것으로 나타났다.

1소단 하부사면에 낙석방지망이 설치되지 않는 상황을 고려하여 분석한 결과 낙석무게가 1,000 kg인 경우 120 kJ

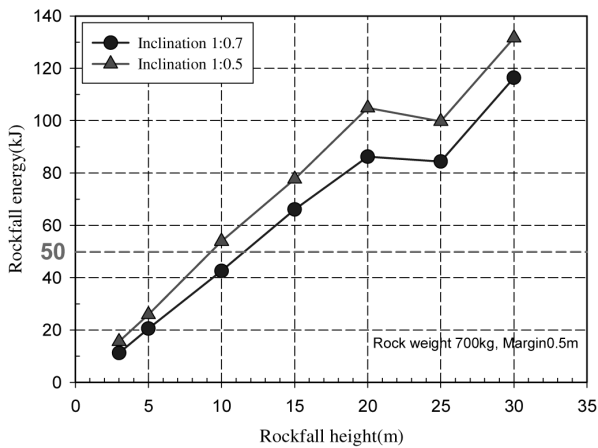


Fig. 6. Variation of rockfall energy (w=700 kg, margin=0.5 m)

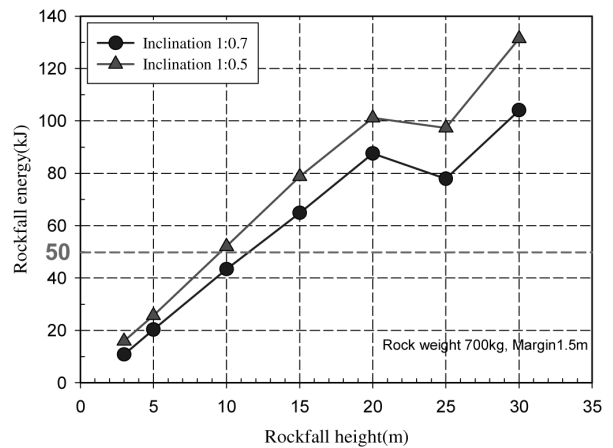


Fig. 8. Variation of rockfall energy (w=700 kg, margin=1.5 m)

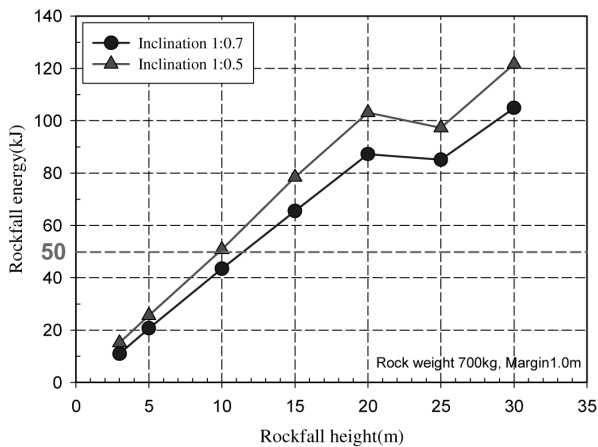


Fig. 7. Variation of rockfall energy (w=700 kg, margin=1.0 m)

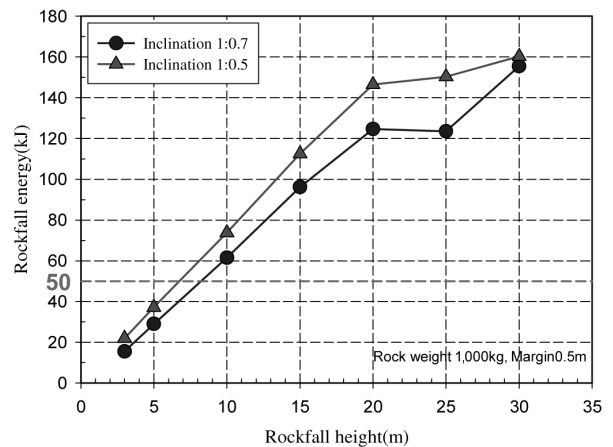


Fig. 9. Variation of rockfall energy (w=1,000 kg, margin=0.5 m)

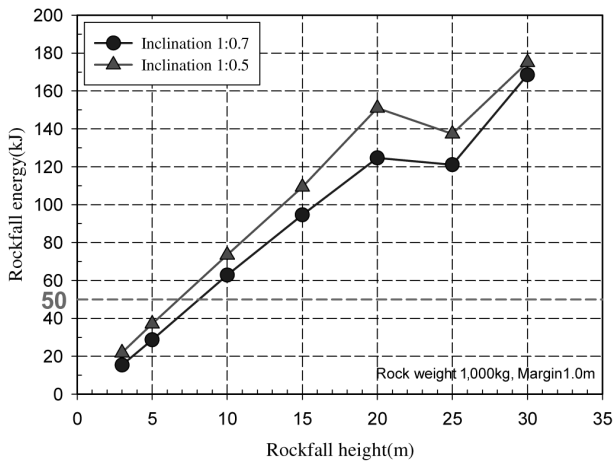


Fig. 10. Variation of rockfall energy (w=1,000 kg, margin=1.0 m)

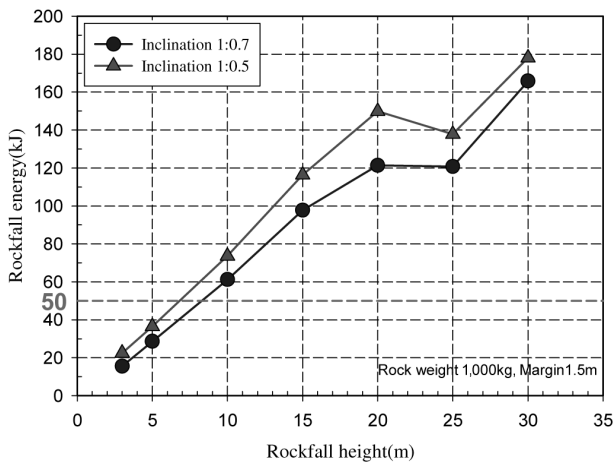


Fig. 11. Variation of rockfall energy (w=1,000 kg, margin=1.5 m)

이상의 운동에너지를 나타내어 낙석으로부터 안정성을 확보할 수 없는 것으로 나타났다.

3.2 낙하높이와 낙석중량의 관계

본 절에서는 낙석에너지의 기준값인 50 kJ에서의 낙하높이와 낙석중량의 관계를 이격거리별로 Fig. 12~Fig. 14에 나타내었다. 분석결과 비탈면 경사가 1:0.5인 경우 낙석중량 1,000 kg에서 낙석에너지 기준값에 해당하는 낙하높이는 6.8 m 정도로 나타났다. 비탈면 경사가 1:0.5인 경우 낙석중량 400 kg에서 낙석에너지 기준값에 해당하는 낙하높이는 17~17.2 m 정도로 나타났다. 비탈면 경사가 1:0.7인 경우 낙석중량 1,000 kg에서 낙석에너지 기준값에 해당하는 낙하높이는 8.2~8.3 m 정도이고, 낙석중량 400 kg에서 낙석에너지 기준값에 해당하는 낙하높이는 19.8~26.9 m 정도로 분석되었다.

그러나 설계기준 정립을 위해서는 여러 고건을 고려한 추가 검토가 필요할 것으로 판단된다. 또한 낙석방지망의 설계 시 현행과 같이 일률적인 적용에서 벗어나 사면의 경

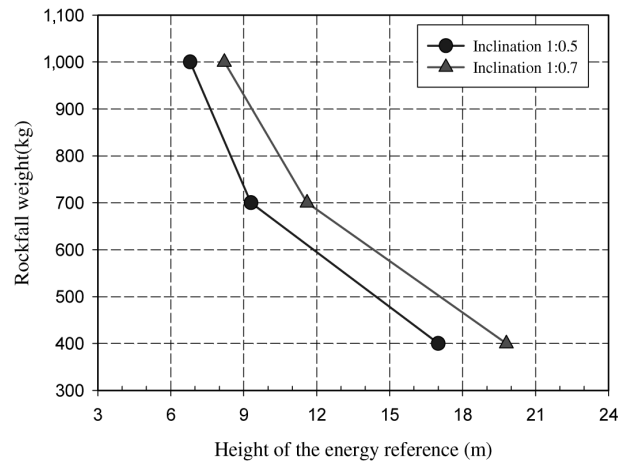


Fig. 12. Relationship of rockfall weight and rockfall height (margin 0.5 m)

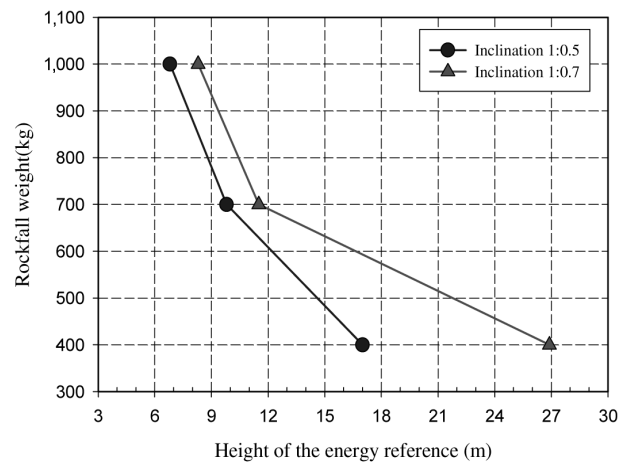


Fig. 13. Relationship of rockfall weight and rockfall height (margin 1.0 m)

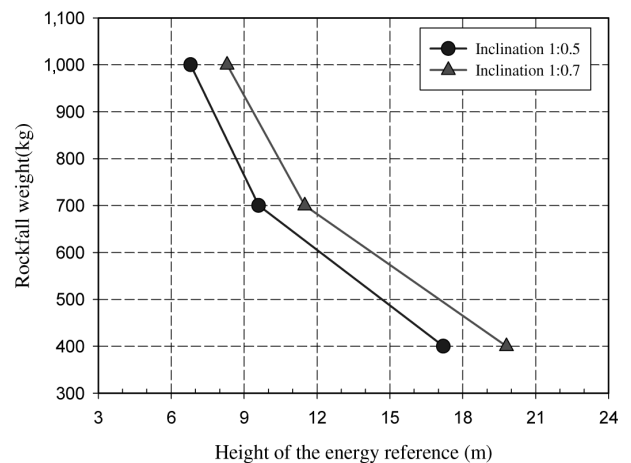


Fig. 14. Relationship of rockfall weight and rockfall height (margin 1.5 m)

사와 예상되는 낙석의 규모나 무게, 범면의 상황 및 낙석의 모양, 낙석 운동형태 등 다양한 조건을 고려한 설계가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 검토에서는 Rocfall 프로그램을 이용하여 낙석중량, 비탈면경사, 이격거리와 낙하예상위치를 변경시켜가면서 낙석시물레이션을 실시하여 비탈면 하부에 발생하는 최대 운동에너지의 변화를 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 낙석의 무게가 400 kg 이하인 경우 낙석 운동에너지는 낙석방지망을 포설하지 않은 경우에도 운동에너지의 기준값인 50 kJ을 거의 만족시키며, 이러한 경향은 사면경사에 관계없이 유사하게 나타나므로 낙석의 위험성은 경사보다는 운동형태의 영향을 받을 것으로 예상된다.
- (2) 낙석 무게가 700 kg인 경우 9 m(1:0.5)~11.5 m(1:0.7) 이하의 낙하높이에서 낙석 운동에너지의 기준값인 50 kJ을 만족하는 것으로 나타났으며, 낙석 무게가 1,000 kg인 경우 7 m(1:0.5)~8 m(1:0.7) 이하의 낙하높이에서 낙석 운동에너지의 기준값인 50 kJ을 만족하는 것으로 분석되었다.
- (3) 낙석의 무게가 700 kg 이하인 경우 10 m 높이까지는 낙석방지망을 설치하지 않아도 되는 것으로 검토되었다. 따라서 낙석방지망의 설계 시 현행과 같이 일률적인 적용에서 벗어나 사면의 경사와 예상되는 낙석의 규모나 무게, 법면의 상황 및 낙석의 모양, 낙석 운동형태 등 다양한 조건을 고려한 설계가 필요할 것으로 판단된다.
- (4) 결론적으로 현재 낙석방지시설 설치의 기준과 같이 낙석방지망의 하단과 낙석방지 울타리의 높이가 같아야 한다는 일률적인 규정의 적용은 합리적이지 못한 것으로 판단되므로 병용 설치 시 낙석의 튀는 높이, 절개면 경사, 절개면 풍화도, 비탈면 연장 등에 따라 현장설계자의 합리적인 판단이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 세명대학교 2012년도 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. 국토해양부 (2009a), 건설공사 비탈면 설계기준, pp. 371~398.
2. 국토해양부 (2009b), 도로 안전 시설 설치 및 관리지침 제4편 낙석방지시설, pp. 447~515.
3. 高速道路調査會 (1974), 落石防護施設の設置に関する調査研

究報告書, 財)高速道路調査會, 東京, p. 37.

4. Azzoni, A., La Barbera, G. and Zaninetti, A. (1995), Analysis and prediction of rockfalls using a mathematical model, International Journal Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 32, No. 7, pp. 709~724.
5. Bozzolo, D. and Pamini, R. (1986), Simulation of rock falls down a valley side, Acta Mechanica 63, pp. 113~130.
6. Brawner, C. O. (1994), Rockfall hazard mitigation methods participant workbook, National Highway Institute Course No.13219, FHWA SA-93-085, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Institution, Washington, DC., pp. 1~25.
7. Broili, L. (1973), In situ tests for the study of rockfall, Geologia Applicatae Idrogeologia, Vol. 8, No. 1, pp. 105~111.
8. Budetta, P. and Panico, M. (2002), Il metodo rockfall hazard rating system, Modificato per la valutazione del rischio da caduta massi, Geologia Tecnica ed Ambientale, 2, pp. 3~13 (in Italy).
9. Evans, S. G. and Hungr, O. (1993), The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 30, No. 4, pp. 620~636.
10. Hoek, E. (1998), Rock engineering, Evert Hoek Consulting Engineer Inc., pp. 115~136.
11. Hwang, Y. C., Kim, S. H. and Lee, S. H. (2010), Proposal for installation of rockfall protection fence considering rockfall trace, Proceedings of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 2010, pp. 351~357 (in Korean).
12. Jeong, N. S. (2000), Analysis of rockfall movement by initial motion modes, Yonsei University, Master's Thesis, pp. 1~81 (in Korean).
13. Kim, D. H., Ryu, D. W., Kim, S. C., Yoon, S. K. and Lee, W. J. (2007), Estimation of weight distribution of rockfall block by joint measurement and study on its application to rockfall simulation, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 23, No. 11, pp. 67~76 (in Korean).
14. Kim, K. S. (2010), Contemplation of rockfall simulation parameters and design of rockfall fence, Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 13, No. 1, pp. 344~350 (in Korean).
15. Labiouse, V. and Heidenreich, B. (2009), Half-scale experimental study of rockfall impacts on sandy slopes, Natural Hazards and Earth System Sciences NHES, Vol. 9, pp. 1981~1993.
16. Pfeiffer, T. J. and Bowen, T. (1989), Computer simulation of rockfalls, Bull. of the Assoc. of Engineering Geologists, Vol. 26, No. 1, pp. 135~146.
17. Pierson, L. A., Davis, S. A. and Van Vickie, R. (1990), Rockfall hazard rating system implementation manual, Federal Highway Administration Report FHWA-OR-EG-90-01, FHWA, U.S. Department of Transportation, pp. 1~172.
18. Ritchie, A. M. (1963), The evaluation of rockfall and its control, Highway Research Board, Vol. 17, pp. 13~28 (in Italy).
19. Rochet, L. (1987), Application des modeles numeriques de propagation a l'etude des eboulements rocheux, Bulletin Liaison Pont Chaussee 150/151, pp. 84~95 (in French).
20. Spang, R. M. and Soner, T. H. (1995), Optimized rockfall protection by 'ROCKFALL', 8th International Congress on Rock Mechanics, International Society for Rock Mechanics, Tokyo, Japan, Vol. 3, pp. 1233~1242.
21. Wu, S. S. (1985), Rockfall evaluation by computer simulation, Transportation Research Record 1031, pp. 1~5.