유한요소해석을 이용한 다양한 낙석 충돌에너지에 대한 표준 낙석방지울타리 형식 제시 연구

박 현 곤¹·장 현 익²·김 범 주³·문 지 호^{4†}

¹동국대학교 건설환경공학과 박사과정, ²한국도로공사 연구위원,
³동국대학교 건설환경공학과 교수, ⁴강원대학교 건축·토목·환경공학부 조교수

Study on a Standardized Rockfall-Protection Fence for Various Rockfall Impact Energy using Finite Element Analysis

Hyungon Park¹, Hyunick Jang², Bumjoo Kim³ and Jiho Moon^{4†}

¹Ph.D. Candidate, Department of Civil & Environmental Engineering, Dongguk University, Seoul, 04620, Korea

²Senior Research Fellow, Korea Expressway Corporation, Hwaseong, 18489, Korea

³Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Dongguk University, Seoul, 04620, Korea

⁴Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

Abstract

Korea has many mountainous regions, and slope collapse that can lead to damage in road facilities and loss of lives often occurs. Rockfall-protection facilities are necessary to reduce such damages. Among these facilities, the standard Korean rockfall-protection fence is designed to resist 50 kJ of rockfall impact energy. However, the range of rockfall energy significantly varies depending on the condition of the slope, and it sometimes reaches up to 100 kJ. Thus, providing several types of standardized rockfall-protection fence is necessary to address the different rockfall impact energy for efficient response to rockfalls. This paper presents a study on standardized rockfall-protection fence for various rockfall impact energy using finite-element analysis. According to the results, standardized rockfall-protection fences against rockfall impact energy of 30 and 100 kJ were proposed and have been verified.

Keywords : rockfall-protection fence, rockfall energy, impact design, impact analysis

1. 서 론

대한민국은 국토의 절반이상이 산악지형이며 국토개발에 따른 자연사면을 변형시키는 빈도도 증가하고 있어 사면의 낙석 발생 위험이 증가하고 있다(Kim *et al.*, 2015a). 낙석에 따른 위험도를 감소시키기 위하여 낙석방지시설 설치가 늘어나고 있으며 이 중 낙석방지울타리는 전체 낙석방지시설의 약 20%를 차지하고 있다(KICT, 1999). 낙석방지울타리는 낙석방지시설 중 보호공법에 해당하며 낙석방지울타리 외에 보호공법으로는 낙석방지막, 낙석방지옹벽, 피암터널이 있다.

국내의 낙석방지울타리는 12.5m의 높이에서 질량 400kg이

자유낙하할 때 발생하는 낙석에너지인 50kJ에 저항할 수 있도록 제시되었다(MOLIT, 2008). 이러한 낙석방지울타리는 중간 및 단부지주, 와이어로프, 철망 및 간격유지대로 구성되어 있으며 형태는 Fig. 1과 같다.

앞서 언급한 바와 같이 다양한 형태의 인공사면이 증가하고 있으며 이에 따라 낙석방지울타리 설계를 위한 낙석에너지도 증가하고 있다. 예를 들어, Kim 등(2005)에 따르면 국내에서는 효과적인 낙석방호를 위하여는 낙석방지울타리의 에너지 흡수 능력이 약 90kJ~100kJ이 필요하다고 보고하고 있다. 또한, Han 등(2016)은 국내 절토사면의 평균 낙석에너지가 약 100kJ이라고 보고하고 있으며, 이에 상응하는 낙석방지울타리를

[†]Corresponding author:

Tel: +82-33-250-6234; E-mail: jmoon1979@kangwon.ac.kr

Received June 1 2020; Revised June 23 2020;

Accepted June 24 2020

© 2020 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Fig. 1 Standard rockfall protection fence for 50kJ

ETAG 027(EOTA, 2012) 성능평가 방법을 사용하여 개발한 사례도 있다. ETAG 027(EOTA, 2012)에서는 낙석의 관통여부와 낙석 방호 후 낙석방지울타리의 잔여 높이 측정을 통하여 성능평가를 수행할 수 있는 기준을 제시하고 있다. 이밖에 Hwang (2002)은 낙석방지성능 향상을 위하여 낙석방지울타리의 구성요소 중 철망과 와이어로프 대신 얇은 철판을 절삭한 부재를 설치한 신형식 낙석방지울타리를 제안하기도 하였다.

Yoo 등(2011)은 낙석해석 프로그램을 이용하여 비탈면 높이 낙석충돌별 도약높이 및 충격에너지를 검토하였다. 그들의 연구 결과, 국내의 표준 낙석방지울타리의 높이인 2.5m 기준으로 비탈면의 높이가 20m 이내의 경우 대부분 낙석에 대한 안정성이 확보되는 것으로 나타났으며 낙석의 튀는 높이가 높은 경우에는 적절한 소단을 설치하는 것을 권장하고 있다. 소단을 설치하는 경우, 낙석에너지가 현저히 감소될 수 있으며 이러한 경우에는 낙석방지울타리의 높이가 낮거나 낮은 등급의 낙석방지울타리를 사용하는 것이 보다 효율적일 수 있다고 보고 하였다. 따라서, 효율적인 낙석방지울타리 설계를 위하여 높은 낙석에너지에 대응할 수 있는 낙석방지 울타리뿐만 아니라 비탈면 환경에 따른 낙석해석을 수행하고 낙석에너지의 범위를 세분한 낙석방지울타리에 대한 표준을 제시할 필요가 있다.

본 연구에서는 보다 다양한 형태의 사면에 대하여 보다 효율적으로 낙석방지울타리를 설치할 수 있도록 낙석 충돌 에너지별 낙석방지울타리 단면 제원을 제시하였다. 본 연구에서는 기존의 50kJ 낙석방지울타리 외에 낮은 등급(30kJ급)과 높은 등급(100kJ급) 총 2개의 목표 설계 낙석 충돌에너지를 정하고 이에 대한 단면 구성 및 유한요소해석을 통한 성능검증을 수행하였다. 30kJ 및 100kJ급 낙석방지울타리의 경우, 제작 및 설치의 효율성을 고려하여 기존의 50kJ급 낙석방지울타리의 제원과 최대한 유사하게 구성하려고 노력하였다.

2. 유한요소해석 모델 구성 및 등급별 낙석방지울타리 단면 제시

2.1 유한요소해석 모델

본 논문에서는 기존에 Lee 등(2019)에 의하여 개발된 낙석방지울타리의 유한요소해석모델을 사용하여 연구를 수행하였다. 범용 구조해석 프로그램인 ABAQUS(2018)의 Explicit 해석방법을 사용하였다. 해석 모델은 Fig. 2와 같으며 철망(Mesh), 좌·우측 단부지주(PEL 및 PER), 좌·우측 중간지주(PML 및 PMR), 간격유지대, 와이어로프를 모두 3차원 2절점 요소로 모델링하였다.

와이어로프는 중간지주를 관통하여 설치되므로 Fig. 2에서 중간지주와 와이어로프는 x 방향을 제외한 변위 자유도를 구속하였다. 철망은 와이어로프에 약 지주간격의 1/3 지점마다 구속되어 있으므로 이를 고려하여 ABAQUS(2018)에서 제공하는 tie 옵션을 사용하여 고정하였다. 각 지주의 하부 지점은 고정지점으로 가정하였다. 본 연구에서는 충돌체는 ETAG 027(EOTA, 2012)에서 제안하는 형태의 강체로 모델링하고 질량은 400kg을 설정하였다. 따라서, 30, 50, 100kJ에 해당하는 충돌에너지는 충돌체의 속도를 달리하여 초기 운동에너지로 모사하였다. 예를 들어 50kJ 에너지의 경우, 충돌체의 초기 속도는 약 15.814m/s이다. 충돌체는 초기속도를 가지며 충돌 후 속도가 줄어들게 된다. 이론적으로 충돌체의 속도가 0m/s가 되는 지점에서 초기 운동에너지(충돌에너지)가 모두 소산되었다고 볼 수 있기 때문에 해석 결과는 충돌체의 속도가 0m/s가 되는 지점에 대하여 주로 분석하였다.

국내의 50kJ급 낙석방지울타리에서는 지름 20mm의 와이어로프를 사용한다. 이 때 로프 소선의 단면적을 고려하면 와이어로프의 단면적은 약 132mm²이다. 또한, 와이어로프의 탄성계수와 항복강도는 각각 55,400MPa와 1,470MPa로 가정하였다(Kim et al., 2015b). 지주와 간격유지대의 경우, 탄성계

Fig. 2 Typical finite element analysis model for rockfall protection fence

수와 항복강도는 각각 205,000MPa와 245MPa로 고려하였다. 철망의 경우, 탄성계수는 지주와 동일하고 항복강도는 290MPa로 가정하였다. 보다 자세한 유한요소해석 모델에 대한 설명은 기존연구에 나타나 있다(Lee *et al.*, 2019).

Lee 등(2019)의 연구에서는 위에서 설명한 해석 모델에 대하여 실험 결과와 비교·분석함으로써 해석모델의 타당성을 검증하였다. 검증 결과, 변형형상은 실험과 상당히 유사하게 나타났으며 최종 실험 종료 후 발생하는 변위는 최대 6% 이내의 정확도를 갖는 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 위에서 언급한 내용을 기반으로 해석 모델을 작성하고 해석을 수행하였다. 해석 모델의 경우 지간은 3경간으로 해석을 수행하였다. 이러한 이유는 해석 모델의 지간수가 증가할수록 여러 지간에 걸쳐 하중분배가 발생하기 때문이다. 따라서, 보수적인 예측을 위하여 낙석방지울타리를 구성할 수 있는 최소 지간(3경간)을 대상으로 해석을 수행하였다.

2.2 낙석에너지별 낙석방지울타리의 표준 단면 제원

Table 1과 Figs. 3(a)~3(b)는 본 연구에서 사용된 30kJ급과 100kJ급에 해당하는 낙석방지울타리의 제원을 나타낸다. 50kJ급 낙석방지울타리의 제원(Fig. 1)을 기반으로 30 kJ급과 100kJ급 낙석방지울타리의 제원을 결정하였다.

50kJ급의 낙석방지울타리에서 단부지주와 사재는 각형강관(150×150×4.5)을 사용하였고 중간지주는 H형강(150×75×5×7)을 적용하였다. 철망은 지름 4mm이며 50mm×50mm 간격을 가지고 있다(Φ4.0×50×50). 와이어로프의 직경은 20mm이다(Φ20).

Fig. 3(a)는 제안된 30kJ급 낙석방지울타리의 표준도를 나타낸다. 본 연구에서는 낙석방지울타리의 설계, 제작 및 설치의 편의성을 위하여 가능한 50kJ급 표준도를 최소한으로 수정하고자 하였다. 이러한 점을 고려하여 30kJ급 낙석방지울타리의 경우, 단부지주와 사재는 50kJ급보다 작은 125×125×4.5의 각형강관을 적용하였다. 또한, 와이어로프의 직경은 12mm를

적용하였으며 철망은 기존의 50 kJ급과 동일하게 Φ4.0×50×50를 사용하였다. 12mm 직경의 와이어로프 단면적은 50kJ급에 사용되는 20mm 직경 와이어로프 소선의 단면적비를 고려하여 38.5mm²으로 가정하였다.

Fig. 3(b)는 100kJ급 낙석방지울타리의 제안된 표준단면을 나타낸다. 100kJ급의 경우, 사전해석 결과 중간지주와 철망의 흡수에너지가 부족한 것으로 나타나 50kJ급 낙석방지울타리

Fig. 3 Proposed rockfall protection fence for rockfall impact energy of: (a) 30kJ; and (b) 100kJ

Fig. 4 Finite element model for rockfall impact energy of: (a) 30kJ; and (b) 100kJ

Table 1 Proposed rockfall protection fence dimensions for various rockfall impact energy

	Rockfall impact energy		
	30kJ	50kJ (Ref. model)	100kJ
End Post	□-125×125×4.5	□-150×150×4.5	□-150×150×4.5
Middle Post	H-150×75×5×7	H-150×75×5×7	□-150×150×4.5
Diagonal member	□-125×125×4.5	□-150×150×4.5	□-150×150×4.5
Mesh	Φ4×50×50	Φ4×50×50	Φ4×50×50, Double layers
Wire rope	Φ12	Φ20	Φ20

를 기본으로 중간지주를 단부지주와 동일한 $150 \times 150 \times 4.5$ 의 각형강관을 적용하고 국내의 철망 제조현황을 고려하여 50kJ 급에서 사용된 철망($\phi 4.0 \times 50 \times 50$)을 2겹으로 사용하는 것으로 제안하였다. 해석 시 철망을 2겹으로 직접 모델링하는 것은 해석의 수렴성에 문제를 발생시킬 수 있으므로 본 연구에서는 철망의 단면적을 2배 크게 하여 해석을 수행하였다. 철망의 경우, 대부분 인장응력에만 저항하므로 철망을 2겹을 사용하였을 경우 인장강성 및 강도는 단면적에 비례하므로 단면적을 2배로 조정하여 모델링이 가능하다. 최종적으로 해석에 사용된 해석 모델은 Fig. 4와 같다.

3. 유한요소해석을 통한 낙석방지울타리 성능검증

기존 연구(Lee *et al.*, 2019)에서 50kJ급의 낙석방지울타리에 대한 유한요소해석을 수행하여 성능검증이 이루어졌으므로 본 연구에서는 30kJ급과 100kJ급 방호울타리에 대하여 연구를 진행하였다. Lee 등(2019)의 해석결과, 와이어로프의 에너지 소산 기여도는 작으나 하중을 철망과 지주에 고르게 분포시키는 역할을 하였으며, 대부분의 에너지 소산은 철망과 지주에서 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 본 연구에서 수행한 30kJ급과 100kJ급 낙석방지울타리에서도 유사하게 나타났다.

3.1 30kJ 표준 낙석방지울타리

30kJ급 낙석방지울타리의 성능평가를 위하여 유한요소해석을 수행하였으며 해석결과 나타난 총 운동에너지-시간 관계와 충돌체의 속도, v 가 0 m/s 일 때 변형형상은 Figs. 5~6과 같다. Fig. 5에서 x 와 y 축은 각각 충돌 이후의 시간과 총 운동에너지를 보여준다. 충돌 이후 총 운동에너지가 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 충돌체의 v 가 0 m/s 일 때 시간은 약 0.094 sec 이다. 여기서 충돌체가 낙석방지울타리에 충돌하는 최초 시간은 0.029 sec 이므로 v 가 0 m/s 에 도달하는 시간은 충돌로부터 0.065 sec 이다.

Fig. 5에서 충돌체의 v 가 0 m/s 인 경우에도 총 운동에너지는 0이 되지 않는 것을 알 수 있다. 이는 충돌체의 v 가 0 m/s 가 되더라도 충돌에 의하여 낙석방지울타리가 지속적으로 진동하게 되어 이러한 운동에너지가 반영되었기 때문이다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 충돌체의 v 가 0 m/s 일 때 망의 최대 변위는 약 750.30 mm 가 발생하는 것으로 나타났다. 단부 지주 PER의 x 방향 변위(낙석방지울타리 길이방향 변위)는 약 1.42 mm 로 변형이 거의 없는 것으로 나타나 30kJ급 낙석에 충분히 저항이 가능한 것으로 판단된다.

Fig. 7은 해석결과 나타난 각 낙석방지울타리를 구성하는 요소별 에너지 흡수 기여도를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 중간지주(PML 및 PMR)가 총 낙석에너지 30kJ 중 11.8kJ의 에너지를 흡수하여 약 36%의 가장 큰 에너지 소산에 기여를 하는 것을 알 수 있다. 망의 경우, 국내의 설계기준(MOLIT, 2008)에 따르면 25kJ까지 에너지를 흡수할 수 있는 것으로 규정하고 있으며 해석결과 약 5.65kJ의 에너지를 흡수하는 것으로 나타나 망은 충분한 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

충돌 후 잔류 높이는 약 $1,94 \text{ mm}$ (Fig. 6 참조)로 전체 높이 $2,000 \text{ mm}$ 대비 약 97.3%로 ETAG 027(EOTA, 2012)기준인 Class A를 나타내는 80%를 충분히 만족하고 있는 것으로 나타

Fig. 5 Total kinetic energy vs. time(30kJ)

Fig. 6 Deformed shape at $v=0 \text{ m/s}$ (30kJ)

Fig. 7 Contribution to energy dissipation of the members(30 kJ)

났다. 잔류 높이는 충돌 후 변형이 회복되지 않는 상태의 낙석 방지울타리 높이를 말하며 Fig. 6의 우측 그림에서 $\Delta h=55\text{mm}$ 는 변형 전후의 낙석방지울타리의 높이차를 나타낸다.

3.2 100kJ 표준 낙석방지울타리

본 연구에서는 30kJ급 낙석방지울타리 외에 100kJ급 낙석 방지울타리의 표준도를 제안하고 유한요소해석을 사용하여 성능검증을 하였다. Figs. 8~10은 유한요소해석 결과를 보여 준다. Fig. 8은 시간에 따른 총 운동에너지의 변화를 보여준다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 총 운동에너지는 충돌 후 급격히 감소하며 약 0.061sec에서 충돌체의 v 는 0m/s 가 되는 것을 알 수 있다. 여기서 충돌체가 낙석방지울타리에 충돌하는 최초 시간은 0.016sec이므로 v 가 0m/s 에 도달하는 시간은 충돌로부터 0.045sec이며 30kJ급 낙석방지울타리보다 시간이 줄어든 것을 알 수 있다.

충돌체의 v 가 0m/s 일 때 나타난 변형 형상은 Fig. 9와 같다. 망의 최대변형은 862mm로 30kJ의 해석결과와 비교하면 약 14.9% 증가하는 것을 알 수 있다. 단부 PER의 x 방향 변위는 약 13mm로 30kJ급 해석결과와 비교하여 증가하였으나, 그리 크지는 않은 것으로 나타났다. 최종 잔류 높이는 1,899mm로 전체 높이 대비 95%로 충분히 낙석을 방호하고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 8 Total kinetic energy vs. time(100kJ)

Fig. 9 Deformed shape at $v=0\text{m/s}$ (100kJ)

Fig. 10은 해석결과 나타난 100kJ급 낙석방지울타리의 부별 에너지 흡수 기여도를 나타낸다. 해석결과 망의 흡수에너지는 총 26.81kJ로 나타났다. 망은 2겹을 사용하였으므로 2겹의 총 허용 낙석에너지 50kJ($25\text{kJ} \times 2$)보다 작은 것으로 나타났다. 그 다음 중간 지주의 에너지 흡수 기여도가 망 다음으로 큰 것으로 나타났으며 두 개의 중간지주가 흡수한 낙석 충돌 에너지는 약 20.72kJ로 나타났다. 따라서, 하나의 중간지주는 최소 11kJ이상의 에너지 흡수 능력을 보유하고 있어야 한다.

30kJ의 경우는 중간지주의 에너지 흡수 기여도가 가장 큰 반면에 100kJ에서는 망의 에너지 흡수 기여도가 가장 큰 것으로 나타났다. 30kJ과 100kJ 낙석방지울타리의 제원이 크게 바뀌어 직접적인 비교는 어려울 수 있지만 이러한 이유는 중간지주가 H형강($150 \times 75 \times 5 \times 7$)에서 각형강관($150 \times 150 \times 4.5$)로 변경되면서 강성과 강도가 증가하여 망으로 충돌 에너지가 집중되었기 때문으로 판단된다. 또한, 2겹을 사용하는 경우 철망의 안전율은 약 2정도로 다소 크게 평가되었다. 만약 현재 사용된 $\Phi 4.0 \times 50 \times 50$ 와 다른 규격의 망이 자유롭게 생산이 된다면 보다 합리적으로 100kJ급 낙석방지울타리의 설계가 이루어질 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 30kJ의 경우도 낮은 등급의 철망을 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 유한요소해석을 통하여 제안된 30kJ급 및 100kJ급 낙석방지울타리의 성능평가를 수행하였다. 해석결과 모든 경우에 요구성능을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만, 해석에는 2겹의 철망을 1겹의 등가 철망으로 환산하는 등 여러 가정이 동반되므로 실험을 통한 추가적인 성능검증이 필요하다고 판단된다. 또한, 본 연구에서는 기초의 전도 등과 같은 기초의 안정성 평가가 이루어지지 않았으므로 이에 대한 검토도 요구된다. 마지막으로 본 연구에서는 국내의 낙석방지울타리 제작 사정 상 다양한 변수해석을 통한 제원의 최적화를 수행하지 못하였으므로 이에 대한 추가 연구도 필요하다.

Fig. 10 Contribution to energy dissipation of the members(100kJ)

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 50kJ급 낙석방지울타리 외에 효율적인 낙석방지울타리의 설치를 위하여 30kJ급 및 100kJ급의 낙석방지울타리 형식을 제안하였다. 제안된 형식은 국내의 제작 및 설치 현황을 반영하여 기존의 50kJ급 낙석방지울타리 형상을 최소한으로 변경하였다. 이 후 유한요소해석을 통하여 제시된 낙석방지울타리에 대한 성능평가를 수행하였다.

그 결과, 낙석방지 울타리의 최종 잔류 높이 비율은 30kJ급과 100kJ급 두 개에 대하여 각각 97.3%와 95%로 낙석 방호 성능이 충분한 것으로 나타났다. 30kJ급 낙석방지 울타리의 경우, 중간지주의 에너지 흡수 비율이 전체 낙석에너지의 36%를 차지하는 것으로 나타났으며 철망의 에너지 흡수 기여도는 19%로 나타났다. 하지만, 100kJ급 낙석방지울타리는 철망의 에너지 소산 기여도가 27%로 가장 크게 나타났다. 이는 중간지주의 강성 및 강도 증가로 철망의 에너지 소산 기여도가 증가한 것으로 판단된다. 해석 결과 100kJ급 낙석방지 울타리의 중간 지주 에너지 소산 능력은 약 11kJ 이상이 확보되어야 하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 해석적 방법을 통하여 제안된 낙석방지울타리의 성능을 평가하였으며 향후 실험을 통하여 추가적인 성능 검증이 필요할 것으로 판단된다.

References

- ABAQUS (2018) ABAQUS Analysis User's Guide.
 EOTA (2012) ETAG 027 Guidline for European Technical Approval of Falling Protection Kits.
 Han, K., Moon, B., Ko, M., Kim, K. (2016) Performance Asse-

ssment of Rockfall Protection Fences for the Rockfall Energy of 100kJ Using ETAG 27, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 16(2), pp.247~259.

Hwang, Y.C. (2002) Estimation of Absorbing Capacity from Rockfall Protection Fences, *J. Korean Geoenvironmental Soc.*, 3(4), pp.59~66.

Kim, K.D., Ko, M.G., Kim, D.S., Moon, B.G. (2015a) Performance Assessment for Rockfall Protection Systems I : performance Assessment Criteria, *J. Korean Soc. Civil Eng.*, 35(1), pp.63~76.

Kim, K.D., Ko, M.G., Kim, D.S., Moon, B.G. (2015b) Performance Assessment for Rockfall Protection Systems II : performance Assessment Criteria, *J. Korean Soc. Civil Eng.*, 35(1), pp.49~61.

Kim, K.S., Jang, H.I., You, B.O., Hwang, Y.C. (2005) Standardization of Performance Evaluation Method for Rockfall Protection Fence, *2005 KSCE conference*, pp.3485~3488.

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT) (1999) Development and Operation of Road Cut Slope Management System II, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Korea.

Lee, J., Lee, H.-D., Song, J.-K., Moon, J. (2019). A Study on Finite Element Analysis for Energy Absorption Ability of Each Member of Rockfall Protection Fence, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 19(4), pp.179~185.

Ministry of Land Infrastructure and Transport (MOLIT) (2008) Road Rockfall Prevention Facility.

You, B.-O., Han, W.-J., Lee, S.-D., Shim, J.-W. (2011) A Study on Bounce Height and Impact Energy Considering Slope Height, Rockfall Weight Using Rockfall Program Considering Slope Height, Rockfall Weight, *J. Korean Geoenvironmental Soc.*, 12(3), pp.47~54.

요 지

대한민국은 산악지형이 많으며 사면붕괴로 인한 도로구조물 및 인명피해가 종종 발생한다. 이러한 사면붕괴로 인한 피해를 줄이기 위해서 낙석방지시설이 필요하다. 국내의 낙석방지울타리는 50kJ의 낙석 충돌 에너지에 저항할 수 있도록 설계되었다. 하지만, 낙석 에너지의 크기는 사면의 형태 및 조건에 따라 편차가 크며 약 100kJ에 이르기도 한다. 따라서 효율적인 낙석방지울타리의 설계 및 설치를 위해서 여러 종류의 낙석에너지에 맞는 표준화된 낙석방지울타리가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 다양한 낙석에너지에 따른 낙석방지울타리의 표준 단면을 유한요소해석을 통하여 제안하였다. 최종적으로 기존 50kJ 낙석방호울타리 외에 30kJ 및 100kJ급 낙석방지울타리를 제안하였다.

핵심용어 : 낙석방지울타리, 낙석에너지, 충돌 설계, 충돌 해석