

사면재해 방지를 위한 스프링 낙석방지울타리의 거동 해석*

Behavior Analysis of Rockfall Barrier with Spring Connections for Prevention of Cut-slope Disaster

Sang Hoon Han**, Ki Nam Hong***

School of Civil Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju,
Chungbuk, 362-763, Korea

Abstract

Rockfall barrier, which has been installed to prevent rockfall from cut slopes, is one of the most common rockfall protection measures. The capability of the rockfall barrier can be defined as sum of the energy absorption capability of wire mesh, steel support, and wire rope. The typical rockfall barrier absorbs energy of moving rock with these three parts. However, its parts should be changed with new ones although it is partially damaged by rockfall. Therefore, the aim of this study is to propose improved rockfall barriers with independent behavior by using spring-connections between wire rope and H-beam support. The size of H-beam support and spring stiffness should be preferentially determined for realizing the improved rockfall barrier system. This study used FEM analysis method to develop the spring-connections rockfall barriers against rockfall with impact energy 90 kJ. From FEM analysis results, it was confirmed that both road direction displacement and wire rope internal force of rockfall barriers with spring-connections was decreased. However, further study is required for various impact velocities and angles to evaluate the penetration and bounce of falling rocks.

Key words: rockfall barrier, rockfall energy, numerical analysis, spring connection

* 이 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

** Tel. +82-43-261-2404. Fax. +82-43-275-2377. E-mail. shhan@chungbuk.ac.kr

*** Tel. +82-43-261-2378. Fax. +82-43-275-2377. E-mail. hong@chungbuk.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Jan. 25, 2015 / Revised: Feb. 22, 2015 / Accepted: Mar. 1, 2015

국문초록

절토사면의 낙석 방지를 위해 설치되는 낙석방지울타리는 가장 일반적인 낙석 방지 시설중의 하나이다. 낙석 방지울타리의 성능은 철망, 강재 지주, 와이어 로프의 성능을 합친 것으로 정의될 수 있다. 전형적인 낙석방지울타리는 이 부분들로 낙석 에너지를 흡수한다. 그러나, 기존 낙석방지울타리에는 작은 손실이 발생하더라도 울타리의 모든 구성 요소들을 새것으로 교체하여야 하는 문제점이 있다. 따라서, 본 연구의 목적은 와이어 로프와 강재 지주사이에 스프링 연결재를 사용함으로써 독립적인 거동을 하는 개선된 낙석방지울타리를 개발하는 것이다. 개선된 낙석방지울타리를 현실화시키기 위해서는 H빔 사이즈와 스프링 강성이 우선적으로 결정되어야 한다. 본 연구는 90kJ 충돌 에너지를 가지는 낙석에 견디는 스프링 연결 울타리를 개발하기 위해 유한요소해석을 사용하였다. 낙석 충돌 해석결과로부터 스프링 연결재 울타리의 도로방향 변형과 와이어로프 내력 모두 감소하는 것으로 나타났다.

주제어: 낙석방지울타리, 낙석에너지, 수치해석, 스프링 연결재

1. 서론

우리나라는 국토의 70%가 산악지형으로 이루어져 있어 산업 발전에 따른 택지조성과 도로개설 등으로 발생하는 절개사면의 규모와 빈도가 증가하고 있다. 그리고 최근에는 기상이변과 장마철 집중호우로 인하여 절개사면의 낙석 발생 위험이 더욱 높아지고 있다. 현재 위험 절개사면 대책공법으로 낙석 방지시설과 낙석방지울타리가 주로 적용되고 있다(한국건설기술연구원, 1999). 국내 낙석 방지시설 관리지침에서는 약 50kJ 에너지에 대응하는 낙석방지울타리의 규격이 제시되어있다(국토해양부, 2011). 하지만 국내에서 발생하는 낙석의 규모와 절개사면의 높이를 고려한 평균 낙석 에너지는 90kJ 이상으로 추정되기 때문에 낙석방지울타리의 에너지 흡수 성능을 90kJ이상으로 향상시킬 필요가 있다(문병갑, 2013).

기존의 낙석방지울타리는 와이어로프가 지주를 통과하여 전 구간에 걸쳐 일체화 설치된다. 이로 인해 낙석이 발생하여 일부 구간이 파손된 경우에도 여러 경간에 걸쳐 와이어로프를 교체해야 하는 문제가 있다. 또한 충돌 구간 주변 지주들의 변형이 와이어로프에 의해 도로 방향으로 발생되기 때문에 2차 사고의 위험성을 내포하고 있다. 기존 낙석방지울타리의 여러 문제를 해결하기 위해 경간별로 독립적인 거동을 하는 낙석방지울타리에 대한 연구가 진행되고 있다(한국시설안전기술공단, 2005; Tran, *et. al.*, 2013; 문영중, 2003; 황영철, 2002).

Cazani, *et. al.*(2002)은 낙석이 낙석방지울타리에 고속 충돌시 낙석방지울타리에 미치는 영향을 상용 유한요소 프로그램 LS-DYNA을 통해 평가하였다. 최근에는 Tran, *et. al.*(2013)과 Gentilini, *et. al.*(2013)이 에너지 흡수 성능을 향상시킨 낙석방지울타리를 개발하고, 실험과 LS-DYNA 충돌해석을 통해 성능을 평가하였다. 국내의 문영중(2003)은 와이어로프 대신에 원형 봉을 각 경간에 독립적으로 설치하는 낙석방지울타리의 특성에 대해 평가하였다. 또한 황영철(2002)은 고강도 팽창메탈을 지주에

결속한 낙석방지울타리에 대한 충돌해석과 실험을 통해 낙석방지울타리의 우수성을 검증하였다. 해석적 연구로 문병갑(2013)은 100kJ 이상의 낙석에너지에 저항할 수 있는 낙석방지울타리를 개발하고 LS-DYNA를 이용한 검증해석을 실시하였다.

본 연구에서는 스프링으로 와이어 로프와 지주를 연결하여 울타리가 경간별로 독립적으로 거동하도록 고안된 스프링 연결 낙석방지울타리를 실현하기 위한 해석적 연구를 수행하였다. 우선 스프링 유무에 따른 낙석방지울타리의 거동을 분석하고, 스프링의 강성과 지주의 크기가 울타리 거동에 미치는 영향 평가하기 위한 충돌해석을 실시하였다. 또한 스프링을 사용한 낙석방지울타리가 90kJ의 낙석 에너지를 흡수하기 위해 요구되는 스프링의 강성과 지주의 규격을 해석적으로 결정하였다.

II. 해석 모델

수치해석을 통해 낙석방지울타리의 성능을 평가하기 위해서는 충격도가 정확하게 산정되어야 한다. 본 연구에서는 충돌해석 분야에서 그 신뢰도를 인정받고 있는 범용 유한요소 프로그램인 LS-DYNA를 사용하여 낙석방지울타리의 거동을 분석하였다.

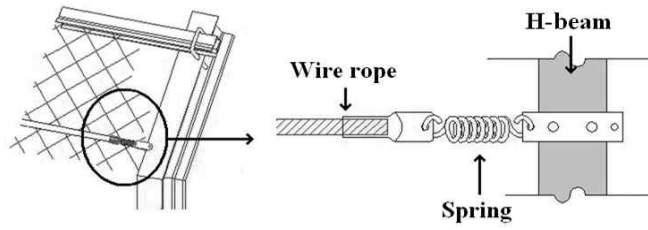
1. 비선형 유한요소 운동방정식

비선형 유한요소 운동방정식은 가상일의 원리로부터 얻어진다. 프로세서 중에 발생하는 내부응력, 접촉력, 관성력, 감쇠력, 외부 힘과 경계 조건을 포함하는 평형방정식은 식 (1)과 같이 표현된다. 이 식의 내부일 항에 요소 종류에 따른 재료모델과 운동학적 모델이 포함되게 된다(LSTC, 2002).

$$\int_B S\delta E dv + \int_B \rho_0 \ddot{x} \delta u dv - \int_B \rho_0 b \delta u dv - \int_A F_0 \delta u dv + \sum_{i=1}^l \int_A (P_c^i \delta g_n^i + \tau_c \delta g_T^i) dA = 0 \quad (1)$$

2. 스프링 연결 낙석방지울타리

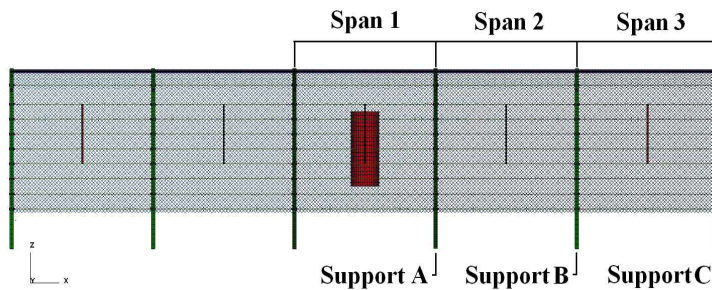
기존 낙석방지울타리에서는 하나의 와이어로프가 H-beam의 복부에 천공된 구멍을 통해 전 구간에 걸쳐 연결된다. 이로 인해 낙석이 일부 구간에 발생하더라도 전 구간의 로프를 교체하여야 하는 문제가 있다. 본 연구에서는 <그림 1>과 같이 각 경간의 와이어로프와 지주 사이를 스프링으로 연결하여 독립적인 거동을 할 수 있도록 고안된 낙석방지울타리에 대한 충돌해석을 실시하였다.



<그림 1> 스프링 연결재 낙석방지울타리

3. 해석 모델

낙석방지울타리 해석모델은 <그림 2>에 나타난 것과 같이 낙석이 충돌할 때 인접 지주의 영향을 평가하기 위하여 5경간으로 모델링하였다. 국내기준(국토해양부, 2011)에서 제시하고 있는 낙석방지울타리를 고려하여 해석모델의 지주 간격은 3,000mm, 와이어로프의 간격은 300mm로 설정하였다. 낙석은 추후 실험을 고려하여 원통형으로 모델링하였다. 지주와 와이어로프의 변위 및 축력을 경간별로 평가하기 위하여 <그림 2>와 같이 충돌 구간을 기준으로 경간(Span 1, 2, 3)과 지주(Support A, B, C)를 구분하였다.



<그림 2> 해석모델

지주에 사용되는 H-beam은 Shell 요소를 사용하여 모델링하였다. 변형이 가장 많이 발생하는 충돌 구간(Span 1)의 지주는 Hourglass energy를 검토하고, 인접 지주보다 더욱 세밀하게 분할하여 정확한 내부에너지가 산정될 수 있도록 하였다. 와이어 로프는 Cable 요소로 모델링하여야 하지만 단면적이 작아 휨강성을 무시할 수 있으므로 Energy ratio를 증가시키는 Cable 요소 대신에 안정적인 해석이 가능한 Beam 요소로 모델링 하였다(박진, 2009). 스프링 강성이 지주와 와이어 로프에 미치는 영향을 평가하기 위하여 스프링은 탄성 Spring 요소로 모델링하였다.

<표 1> 낙석방지울타리 구성 재료의 역학적특성

부재	역학적특성	물성치
H-빔	극한강도	508MPa
	항복강도	350MPa
	연신율	34%
상부 프레임	극한강도	376MPa
	항복강도	297MPa
	연신율	29%
와이어 로프	파단강도	201kN
	지름	20.3mm
방호망	인장강도	458MPa
	지름	3.13mm

4. 재료모델

해석에 사용된 낙석방지울타리를 구성하는 부재들의 재료특성을 <표 1>에 나타내었다. H빔, 상부 프레임, 와이어 로프, 방호망은 모두 Bi-linear 재료모델을 적용하였다. 스프링은 소성변형과 파단을 고려하지 않는 탄성 재료모델을 사용하였다. 지나치게 큰 변형이 발생한 스프링은 구조부재로서의 역할을 수행할 수 없으므로 실험결과를 기초로 탄성변형률 80%를 스프링의 한계변형률로 설정하였다.

5. 경계조건 및 충돌에너지

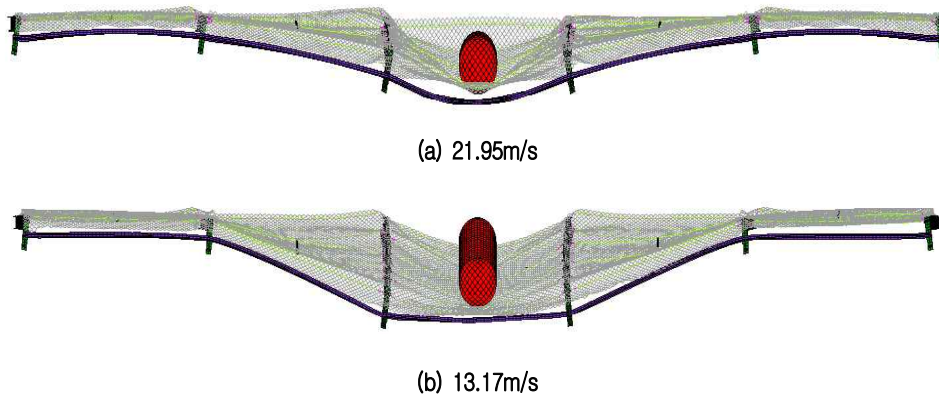
기초 지반의 영향을 고려하지 않기 위해 지주 매입부를 완전 구속시켰다. LS-DYNA에서 제공하는 Contact automatic nodes to surface 명령을 사용하여 낙석과 방호사이의 접촉 관계를 설정하였다. 모델링한 낙석의 중량을 검토하고 운동방정식에 따라 50kJ과 90kJ의 충돌에너지를 갖는 충돌속도를 산정하여 <표 2>에 나타내었다.

<표 2> 충돌에너지와 충돌속도

충돌 에너지(kJ)	낙석 무게(kg)	충돌 속도(m/sec)
50	210	21.95
50	1040	13.17
90	1040	9.82

낙석 속도에 따른 낙석방지울타리의 거동을 평가하기 위해 표준 낙석방지울타리에 대한 충돌해석을 실시하였다. 낙석의 충돌에너지는 50kJ로 동일하지만 두 낙석의 충돌속도가 서로 다른 모델들의 해석 결과를 <그림 3>에 나타내었다. 속도가 크고 중량이 작은 낙석은 울타리 보호망에 큰 영향을 주고, 속도가 느리고 중량이 큰 낙석은 지주와 와이어로프에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 본 연구에서

는 와이어로프와 지주의 거동에 초점을 맞추고 있기 때문에 비교적 중량과 부피가 큰 낙석을 적용한 저속 충돌해석을 실시하였다.



<그림 3> 충돌속도의 영향(50kJ)

6. 해석변수

스프링을 적용한 낙석방지울타리와 기존 낙석방지울타리의 거동을 비교하기 위해 <표 3>과 같은 재원을 갖는 모델에 대한 충돌해석을 실시하였다. 변수로는 H-beam의 크기와 스프링 강성을 고려하였으며, 낙석에너지는 50kJ과 90kJ을 선정하였다. 해석 모델명에서 스프링이 적용되지 않은 경우를 S0, 스프링 강성이 100N/mm, 200N/mm, 300N/mm, 400N/mm인 경우를 S10, S20, S30으로 각각 명명하였다. H15는 150×75×5/7 규격의 H-beam을 의미한다.

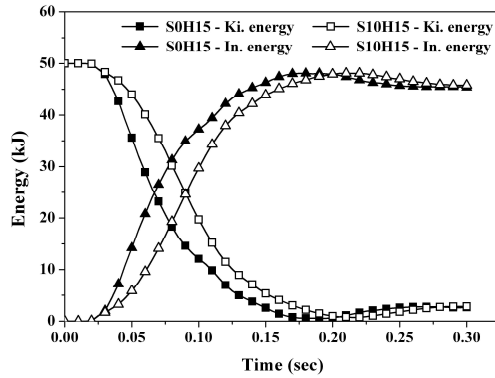
<표 3> 충돌 해석 변수

해석 모델	스프링 강성(N/mm)	H-빔 사이즈	충돌 에너지(kJ)
S0H15	-	150×75×5/7	50, 90
S10H15	100		
S20H15	200		
S30H15	300		
S40H15	400		

III. 해석결과 및 분석

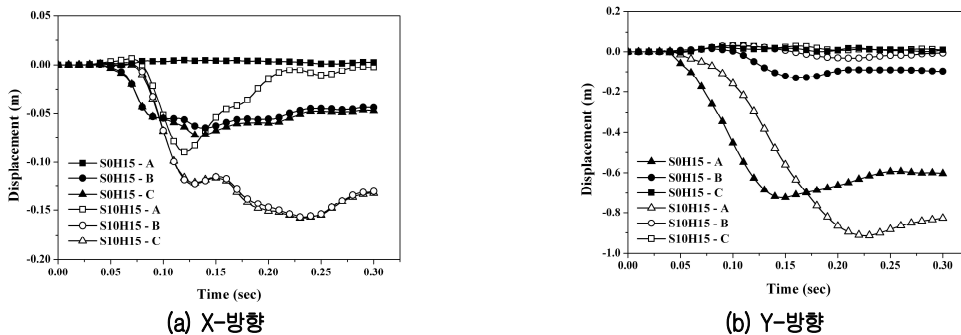
1. 스프링 연결재의 영향

스프링을 사용한 낙석방지울타리와 하나의 와이어로 전 구간을 연결하는 기존의 낙석방지울타리의 거동 차이를 낙석에너지 50kJ을 갖는 SOH15와 S10H15의 해석결과를 통해 분석하였다. <그림 4>에 SOH15와 S10H15의 낙석 충돌시의 전체 운동에너지와 내부에너지 변화를 나타내었다. S10H15는 스프링의 완충 작용에 의해 SOH15보다 내부에너지 곡선이 완만한 형상을 보였다.



<그림 4> 스프링 연결재 유무에 따른 시간-에너지 곡선 비교

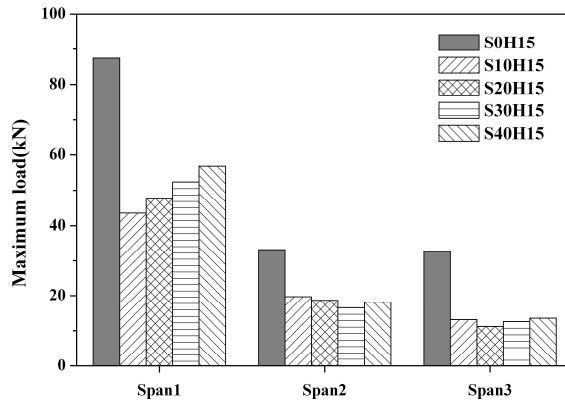
스프링을 사용한 낙석방지울타리와 하나의 와이어로 전 구간을 연결하는 기존의 낙석방지울타리의 시간에 따른 지주의 상부 변위를 스펠방향(x)과 도로방향(y)으로 구분하여 <그림 5(a)>와 <그림 5(b)>에 각각 나타내었다. SOH15와 S10H15의 최대변위는 모두 A지주에서 y방향으로 각각 0.723m, 0.915m로 스프링을 사용한 울타리에서 더 크게 발생하였다. SOH15의 B지주는 x방향과 y방향 각각 0.061m와 0.131m의 변형이 발생하였고, S10H15의 B지주는 x방향과 y방향으로 각각 0.158m, 0.064m의 변형이 발생하였다. 한편 SOH15에서 B지주의 경우 x방향, y방향 변위가 동시에 발생하는 반면에 S10H15의 B지주는 x방향으로만 변위가 크게 나타났다. 이것은 스프링이 축 방향으로만 하중을 전달하기 때문이며, 스프링이 연결되는 경우 충돌 구간의 지주를 제외한 인접 지주들이 모두 Span방향으로 거동하는 것을 확인 할 수 있다. 지주로 사용된 H-beam이 y방향으로 강축을 갖기 때문에 같은 충돌에 대해 Span방향으로 거동하는 S10H15보다 SOH15에서 전체적으로 적은 변위가 발생하였다.



<그림 5> 스프링 연결재 유무에 따른 변위 비교

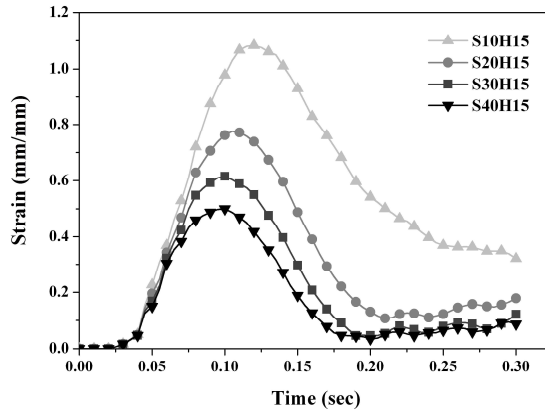
2. 스프링 강성에 따른 영향

각 해석모델에서 와이어로프에 발생한 최대 인장력을 경간에 따라 비교하여 <그림 6>에 나타내었다. 와이어로프의 인장력은 낙석과 접촉하는 와이어로프 중 가장 아래 위치한 곳에서 발생하였다. 모든 해석모델 중에서 스프링을 사용하지 않은 S0H15에서 가장 큰 인장력이 발생하였다. 지주의 하단 와이어로프에 큰 인장력이 발생하는 이유는 지주의 상부는 와이어로프와 함께 y방향으로 변형하는 반면에 지주의 하부는 지점 구속으로 인해 변형하지 않고 와이어로프만 크게 변형하기 때문인 것으로 판단된다. 스프링이 설치된 경우, 스프링 강성이 와이어로프보다 작기 때문에 스프링에 큰 변형이 발생하고 와이어로프에는 작은 변형이 발생하였다. 이 때문에 스프링 강성이 증가할수록 와이어로프에 발생하는 인장력은 증가하나 와이어로프의 과단하중에 비해 매우 작게 나타났다. 본 결과로부터 스프링이 설치되지 않은 낙석방지울타리는 낙석이 충돌할 때 국부적으로 과단될 가능성이 높음을 확인할 수 있었다.



<그림 6> 와이어 로프의 최대 축력

각 해석모델에 발생한 스프링의 최대 변형률을 <그림 7>에 나타내었다. 스프링의 한계 변형률을 80%로 제한할 경우 50kJ의 에너지를 흡수하기 위해서는 200N/mm 이상의 스프링 강성이 요구됨을 <그림 7>을 통해 확인할 수 있다.

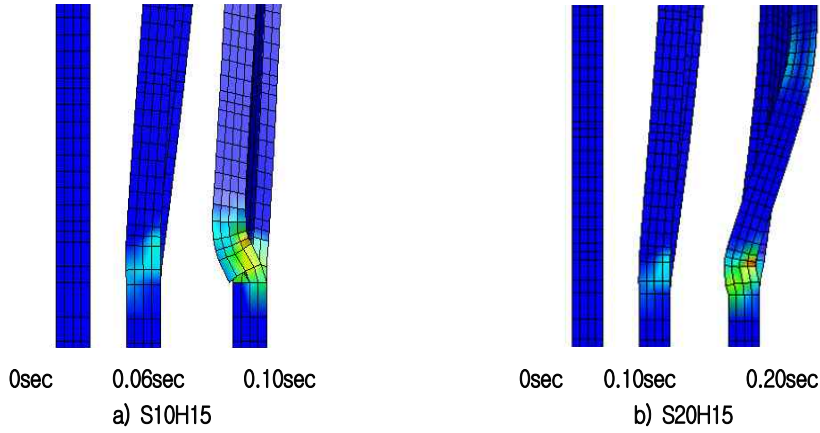


<그림 7> 연결재 스프링의 변형을

스프링 강성에 따른 지주의 최대변위를 <표 4>에 나타내었다. 200N/mm을 기준으로 스프링 강성이 증가하면 지주의 변위가 작아지고, 감소하면 증가하였다. 이러한 거동은 초기에 발생하는 충돌 구간에서의 지주 변형과 스프링의 변형에 기인한다. 스프링 강성이 200N/mm 보다 작은 S10H15의 경우, 낙석 충돌 초기에 스프링이 크게 늘어나면서 x방향으로 하중을 크게 전달하지 못하였다. 이후 y방향으로 진행한 낙석에 의해 y방향으로 지주의 처짐이 발생하였다. 하지만 강성이 200N/mm 이상 되면 초기에 지주를 x방향으로 당기면서 비틀림을 크게 발생시키고, 이후 비틀림이 발생한 지주의 인장부에 y방향 처짐으로 인한 추가 인장력이 발생하여 스프링강성이 100N/mm일 때 보다 더 큰 변위를 발생시켰다. 충돌 초기에 지주의 비틀림을 발생시키는 200N/mm 이상에서는 강성이 커질수록 인접한 지주들에 하중 전달 효과가 높아지고 하중이 분산되기 때문에 A지주의 변형이 작게 발생하였다. <그림 8>에서 S10H15의 A지주가 S20H15의 지주보다 적은 비틀림이 발생한 것을 확인할 수 있다.

<표 4> 스프링 강성에 따른 지주의 최대변위

지주	S10H15		S20H15		S30H15		S40H15	
	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
A	89	915	56	1010	44	991	35	981
B	157	32	183	60	165	94	158	108
C	158	-32	180	-38	164	-40	156	-39



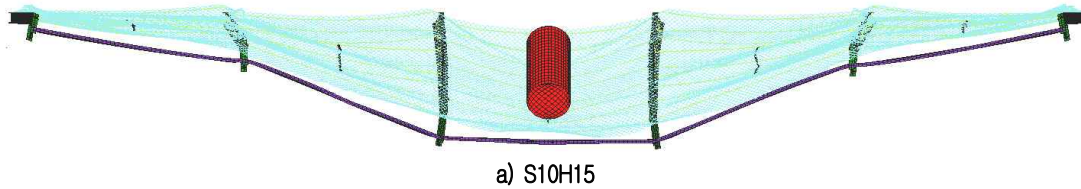
<그림 8> 지주 A의 변형

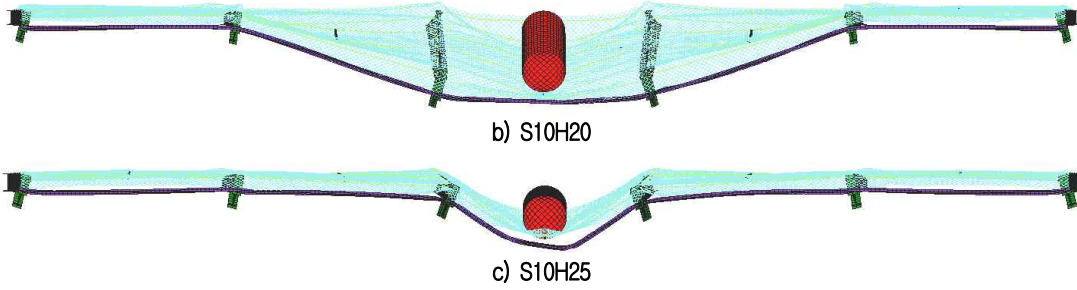
<표 5> 90 kJ 충돌 에너지에 대한 해석 모델

해석 모델	H-빔 사이즈	스프링 강성(N/mm)
S10H15	150×75×5/7	100
S10H20	200×100×5.5/8	
S10H25	250×125×6/9	
S10H30	300×150×6.5/9	

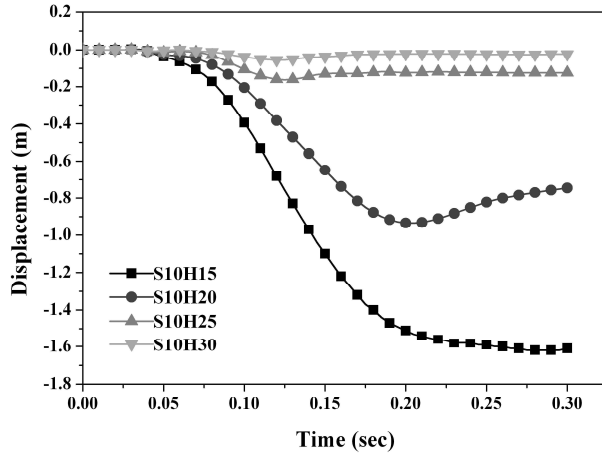
3. 90kJ 낙석 방지 울타리

50kJ 낙석에너지에 대한 해석결과를 기초로 국내 절개사면의 평균 낙석에너지 90kJ을 흡수할 수 있는 낙석방지울타리에 대한 해석을 실시하였다. 스프링 강성은 근접한 지주에 적은 변형을 발생시키는 100N/mm로 고정시키고 지주의 크기를 해석 변수로 충돌해석을 수행하였다. 해석모델의 변수들을 Table 5에 나타내었다. <그림 9>에 나타낸 것과 같이 지주 규격이 커질수록 y방향의 처짐이 감소하고, 지주 비틀림과 x방향의 변형이 증가하였다. 각 해석모델의 A지주의 y방향 변위를 <그림 10>에 나타내었다. S10H15 모델은 90kJ의 에너지를 충분히 소산시키지 못하였다. S10H20 모델의 y방향 최대변위는 0.94m로 설계속도 80km/h 이상인 일반도로의 오른쪽 길어깨 폭에 대하여 안전하였다.





<그림 9> H-빔 사이즈에 따른 낙석 방지 울타리의 해석 결과(90 kJ)



<그림 10> H-빔 사이즈에 따른 지주 A의 y 방향 변위 비교

S10H20 모델이 안전성을 확보하는 것으로 나타났으나 2차 낙석충돌을 고려하여 지주의 크기를 한 단계 높은 H250×125×6/9로 고정하고 스프링 강성을 100N/mm, 200N/mm, 300N/mm로 변화시킨 모델들에 대해서 충돌해석을 실시하였다.

<표 6> 스프링 연결재의 변형률

구분	스프링 강성(N/mm)		
	100	200	300
최대 변형률	1.52	1.04	0.78
평가	미흡	미흡	양호

<표 6>에 각 모델의 최대 스프링 변형률을 나타내었다. 250×125×6/9 규격의 H-beam과 강성 300N/mm 이상의 스프링을 사용한 모델은 독립적으로 거동하는 낙석방지울타리가 90kJ의 낙석에너지를 충분히 흡수하는 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 기존 낙석방지울타리의 단점을 개선한 스프링 연결 낙석방지울타리의 거동을 평가하기 위해 유한요소해석을 실시하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

스프링 연결 낙석방지울타리와 기존 낙석방지울타리의 충돌해석을 통해 충돌구간 지주 변위는 스프링 연결 낙석방지울타리에서 기존 낙석방지울타리보다 크게 발생하는 것을 확인하였다. 하지만, 스프링 연결 낙석방지울타리의 인접 지주 변위는 기존 낙석방지울타리보다 매우 작게 나타나 각 지주가 독립적으로 거동함을 확인할 수 있었다.

스프링을 설치할 경우 와이어로프에 걸리는 인장력을 스프링이 부담하면서 와이어로프에 발생하는 인장력이 감소하였다. 또한 스프링 강성이 작을수록 도로방향 변형이 증가한 반면, 스프링 강성이 증가할수록 지주의 스펀방향 변위와 지주 비틀림 변형이 증가하였다.

국내 평균 낙석에너지 90kJ에 저항할 수 있는 스프링 연결 낙석방지울타리 지주의 규격과 스프링 강성은 각각 250×125×6/9 H-빔과 300N/mm으로 나타났다.

본 연구를 통해 도출된 90kJ에 저항할 수 있는 스프링 연결 낙석방지울타리가 실증 실험을 거쳐 실현된다면 사면재해 방지에 큰 효과가 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 국토해양부. 2011. 도로안전시설 설치 및 관리지침. 국토해양부.
- 문영종. 2003. 신개념 낙석방지울타리의 특성 및 성능 평가. 대한토목학회 학술대회논문집.
- 문병갑. 2013. 국내 낙석방지울타리의 성능평가 및 개선방안. 공주대학교 석사학위 논문.
- 박건. 2009. 보강토 옹벽 안전성 확보를 위한 가드레일 이격거리 산정. 충북대학교 석사학위 논문.
- 한국건설기술연구원. 1999. 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용 연구(II). 한국건설기술연구원.
- 한국시설안전기술공단. 2005. 낙석방지울타리 낙석지지능력 평가방안 수립 및 성능개선 기술개발. 한국시설안전기술공단.
- 황영철. 2002. 도로 낙석방지울타리의 낙석지지능력 평가 연구. 한국지반환경공학회논문집. 3: 1559-1562.
- Cazani A., L. Mongiovi, and T. Frenez. 2002. Dynamic Finite Element Analysis of Interceptive Devices for Falling Rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 39: 303-321.
- Gentilini C., G. Gottardi, and L. Govoni. 2013. Design of Falling Rock Protection Barriers using Numerical Models. *Engineering Structures*. 50: 96-106.

- Livermore Software Technology Corporation(LSTC). 2002. *LS-DYNA Keyword User's Manual*.
Livermore Software Technology Corporation.
- Tran P., K. Maegawa, and S. Fukad. 2013. Prototype of a Wire-rope Rockfall Protective Fence
Developed with Three-dimensional Numerical Modeling. *Computers and Geotechnics*. 54:
84-93.

한상훈: 연세대학교에서 공학박사학위를 취득하고, 현재 충북대학교 토목공학부 교수로 재직 중이다. 주요 논문으로는 “차량 충돌에 대한 보강토 옹벽 안전성 확보를 위한 가드레일 설치거리(2009)”, “긴장된 CFRP판으로 보강된 대규모 RC 슬래브의 휨성능 평가(2010)”, “FRP로 보강된 RC보의 휨거동 예측을 위한 해석모델” 등이 있으며, 관심 분야는 구조물 보강, 도로포장 등이다(shhan@chungbuk.ac.kr).

홍기남: 토호쿠대학교에서 공학박사학위를 취득하고, 현재 충북대학교 토목공학부 부교수로 재직 중이다. 주요 논문으로는 “수용성 유황 첨가 콘크리트의 역학 특성 및 탄산화 저항성(2014)”, “보수용 초속경 폴리머 모르타르의 역학적 특성(2014)”, “차량 충돌에 의한 보강토 옹벽의 안정성 평가(2010)” 등이 있으며, 관심 분야는 내진설계, 내진보강, 구조해석 등이다(hong@chungbuk.ac.kr).