

# 실내인발시험을 이용한 낙석방지망 성능평가

## Performance Evaluation of Rockfall Prevention Net Using Laboratory Pullout Test

김 태 식<sup>1)</sup> · 서 진 혁<sup>2)</sup> · 황 영 철<sup>†</sup>  
TaeSik Kim · JinHyuk Seo · Youngcheol Hwang

Received: October 29<sup>th</sup>, 2020; Revised: November 24<sup>th</sup>, 2020; Accepted: November 26<sup>th</sup>, 2020

**ABSTRACT** : It is necessary to assess the proper performance of the existing rockfall prevention net in order to minimize the damage to human lives and property in the event of rockfall. However, there is no standard for performance evaluation of rockfall prevention net in Korea, and only the design of rockfall prevention net exists by calculating energy that can be absorbed energy. Therefore, laboratory pullout test was conducted for the performance evaluation of the rockfall prevention net, cuts and load-displacement characteristics of the PVC coating net used in the laboratory pullout test are determined to identify the performance of the rockfall prevention net.

**Keywords** : Rockfall prevention net, Laboratory pullout test, PVC coating net

**요 지** : 낙석이 발생 시 인명과 재산의 피해를 최소화 하기 위해서 절개지에 설치되어있는 기존 낙석방지망의 적절한 성능을 평가 할 필요가 있다. 하지만 현재 국내의 경우 낙석방지망에 대한 성능평가의 기준이 전무한 상태이며, 흡수가능한 에너지를 산정하여 이로 인한 낙석방지망의 설계만 존재한다. 따라서 본 연구에서는 낙석방지망의 성능평가를 위하여 실내시험을 실시하였으며, 실내 인발시험에서 사용되는 PVC코팅망에 코팅망을 절단, 절단개수와 표준시험결과와의 하중-변위 특성을 파악하여 낙석방지망의 성능을 알아보았다. 시험 결과, PVC코팅망은 절단면의 개수에 따라서 변위의 증가를 확인할 수 있었는데, 비결속부인 y축의 경우 1개의 절단면에 따라서 변위가 약 3%씩 증가하는 추세를 보이고 있으며, 결속부인 x축의 경우에는 1개의 절단면에 따라서 변위가 약 5%씩 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.

**주요어** : 낙석방지망, 실내인발시험, PVC코팅망

## 1. 서 론

낙석방지시설의 경우 강우나 풍화, 나무 뿌리 등에 의해 불연속면의 이완이 심해지면서 낙석이 발생할 가능성이 있는 부분을 공법을 통해 낙석을 억제 하는 효과를 만드는 것이다. 국내의 도로사면은 대부분 “도로안전시설 설치 및 관리지침”(국토해양부, 2009) 에 제시되어 있는 표준 낙석방지시설의 규격 및 에너지 흡수능력을 사용하여 설치하고 있다. 이러한 낙석방지울타리 설계 시 낙석방지망에 흡수에너지 설계가 우선되어야 하나 국내의 낙석방지울타리에 관련한 흡수에너지를 평가할 수 있는 설계법 및 시험법이 개발되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 낙석방지울타리에 사용되는 일반적인 PVC 낙석방지망을 이용하여, 망 중앙을 기준으로 x축과 y축에 절단면을 형성하여 하중-변위 특성을 연구하였다.

## 2. 낙석방지망 성능평가 지침

국내 낙석방지망은 망을 구성하는 각 구조(철망, 와이어로프, 지주, 기둥로프)의 성능이 최대까지 동시에 발휘하도록 함으로써 흡수 가능에너지를 추정할 수 있다. 그러나 각 구조의 성능차이, 시공성, 유지관리 등을 감안하면 철망 이외의 모든 구조(재료)가 철망보다 먼저 파괴되지 않도록 해야 한다. 또한, 낙석에너지가 망의 흡수가능에너지보다 클 경우에는 낙석방지 울타리, 낙석방지옹벽등과 함께 사용되어야 한다. 낙석방지망의 기능을 발휘하는데 중요한 와이어로프의 지주는 와이어로프의 성능이 충분히 발휘 될 때까지 강도부족이나 이동 등이 일어나지 않도록 설계해야한다. 낙석방지망의 설계는 다음과 같은 순서에 의해 진행되며 이를 도식화 하면 다음과 같다.

1) Geotechnical & Tunnel Department Assistant Manager, Bau Consultant

2) Post Graduate Research Student, Department of Civil Engineering, Sangji University

† Professor, Department of Civil Engineering, Sangji National University (Corresponding Author : ychwang@sangji.ac.kr)

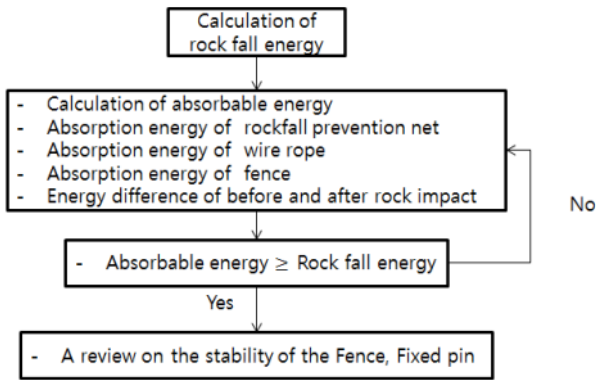


Fig. 1. Design of rockfall prevention net (in Korea)

- ① 낙석의 중량과 속도 등을 추정하여 낙석에너지를 결정한다.
- ② 포켓식 낙석방지망의 흡수가능 에너지를 계산한다.
- ③ 흡수가능 에너지가 낙석 에너지보다 크면 로프의 하중에 견디도록 지주의 안정성을 검토한다.

### 3. 낙석방지망 인발시험

국내 낙석방지망 성능평가 선행실험으로는 육각 낙석방지망을 대상으로한 실내 및 실대형 실험을 실시 하였으며, 그 결과로 실내실험과 실대형실험결과 낙석과 같은 하중 재하 시 육각 낙석방지망에 작용하는 응력은 스프링형 지지 장치에 의해 응력이 완화되어 충격에 의한 소성파괴에 대한 저항성이 우수한 반면 사각 낙석방지망의 경우 작용하는 응력이 직접적으로 낙석방지망에 작용함으로써 하중에 대한 저항력이 육각 낙석방 지망보다 효율이 적은 것으로 판단되었다(Youn et al., 2014). 본 시험에서는 각각 절

단면에 대한 동일한 조건하에 간편하게 시험이 가능하고, 정량적인 시험데이터(하중-변위)를 시험시행 시간동안 획득할 수 있기 때문에 시험결과와 비교분석이 가능하며, 그래프를 통해 파괴특성을 파악 할 수 있는 낙석방지망 인발 시험을 실시하였다.

#### 3.1 낙석방지망 시험 조건

본 낙석방지망 인발시험에서 사용된 낙석방지망은 일반 국도 낙석방지망설치를 고려한 도로국도 낙석방지울타리 1호(한국금속울타리공업협동조합, 2016)를 중심으로 하여 가로 2,000mm × 세로 2,500mm를 사용하였다. 실제 고정되어 있는 2,500mm 부분은 와이어로프를 이용하여 H-beam에 고정을 시켰으며, 2,000mm부분은 구속을 시키지 않았다. 그리고 시험 순서에 따라서 x축과 y축에 낙석방지망을 절단 하였으며, 나아가 절단개수를 3개 까지 절단하였을 때의 하중-변위를 알아보았다. 아래의 Fig. 2는 낙석방지망 설치 모습도 및 사진이다.

#### 3.2 낙석방지망 인발시험 방법

낙석방지망 손상에 따른 성능의 정도를 평가하기 위하여 인발시험에 사용된 시험장치로는 H-Beam으로 제작된 거치대와 유압실린더, 그리고 낙석볼, 계측기, 줄 변위계 등으로 이루어져 있다. 인발시험의 순서는 Fig. 3과 같다.

- ① 변위측정을 위해 낙석볼 하부에 수직과 망의 변위를 알아보기 위해 수평으로 줄 변위계를 부착
- ② 로드셀 연결
- ③ 가로 2,000mm × 세로 2,500mm(일반도로용 1호 기

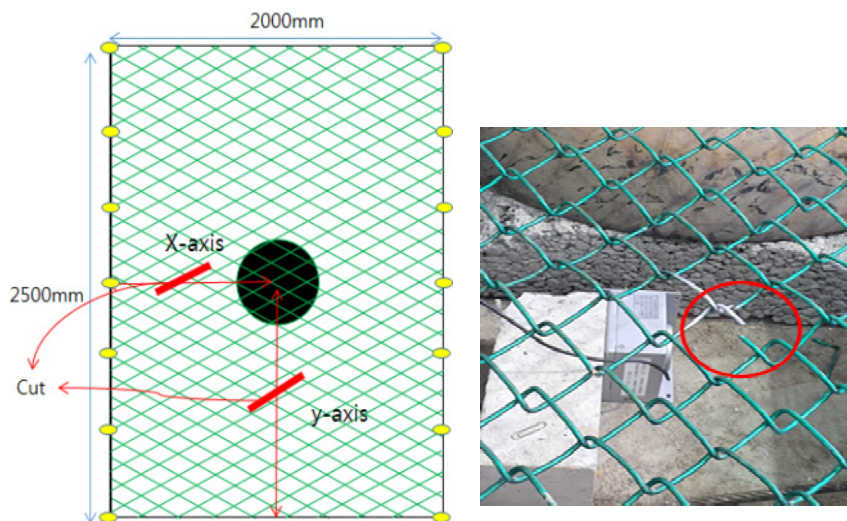


Fig. 2. Cut Plots and Photo

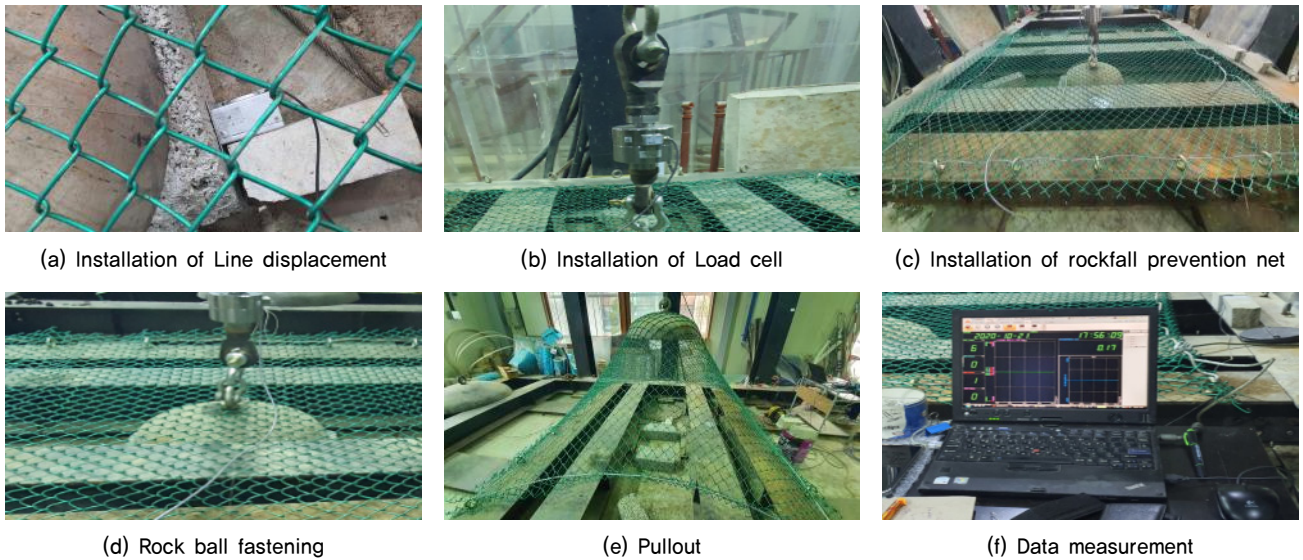


Fig. 3. Pullout test for Rockfall prevention net

준)로 제작된 PVC코팅망과 와이어 체결

- ④ 유압 실린더와 작용하중 측정을 위한 로드셀 체결
- ⑤ 낙석(철재 낙석볼)과 체결
- ⑥ ① - ⑤를 반복하며, 낙석볼을 중심으로 A-type(x축)과 B-type(y축) 중앙에 각각 1개씩 전달을 함.
- ⑥-1. 표준
- ⑥-2. x 축 중앙에 1개의 절단이 생겼을 때 결과
- ⑥-3. x 축 중앙에 2개의 절단이 생겼을 때 결과
- ⑥-4. x 축 중앙에 3개의 절단이 생겼을 때 결과
- ⑥-5. y 축 중앙에 1개의 절단이 생겼을 때 결과
- ⑥-6. y 축 중앙에 2개의 절단이 생겼을 때 결과
- ⑥-7. y 축 중앙에 3개의 절단이 생겼을 때 결과
- ⑦ PVC 코팅망에 대한 극한 하중과 최대 변위를 측정 후 비교 분석

## 4. 낙석방지망 인발시험 결과 및 비교 분석

낙석방지망인 PVC망은 하나의 철선이 끊어지면 연속적으로 풀려버리는 현상이 일어나서 충분한 지지능력을 발휘 하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이에 대한 실험을 통하여 1개의 절단이 되었을 때와 최대 3개가 절단이 되어있는 상태에서 인발을 할 시 변위가 어떻게 달라지는지를 분석해보았다.

### 4.1 낙석방지망 인발시험 결과(하중-수직변위)

PVC코팅망은 연강선으로 인장강도는 약 290~540Mpa이며, 피복선 지름은 4.0mm, 심선지름은 3.2mm, 망눈은 마름모형 50mm를 선택하여 시험을 실시하였다. 각 조건의 시험 결과는 아래의 Table 1과 같다.

Table 1. Load-displacement results of pullout test

Form	Maximum load (ton)	Vertical displacement (mm)	Displacement (mm)	
			x-axis	y-axis
Standard	5.46	1,104.56	468.23 (Criteria)	468.87 (Criteria)
1 damage on x-axis	5.37	1,091.21	496.29 (5.99% increased)	-
2 damage on x-axis	5.25	1,145.82	515.32 (10.05% increased)	-
3 damage on x-axis	4.88	1,165.27	548.02 (17.04% increased)	-
1 damage on y-axis	5.27	1,143.92	-	487.60 (3.99% increased)
2 damage on y-axis	4.98	1,140.93	-	497.87 (6.18% increased)
3 damage on y-axis	4.89	1,143.87	-	524.94 (11.95% increased)

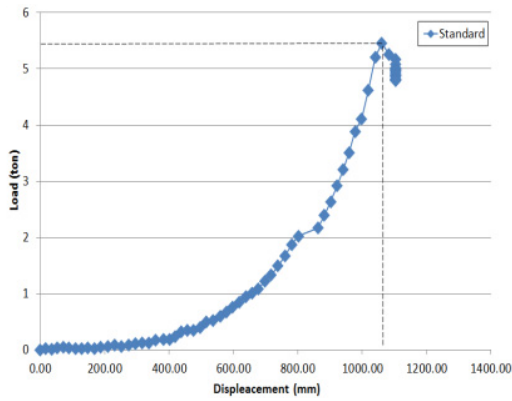


Fig. 4. Standard result

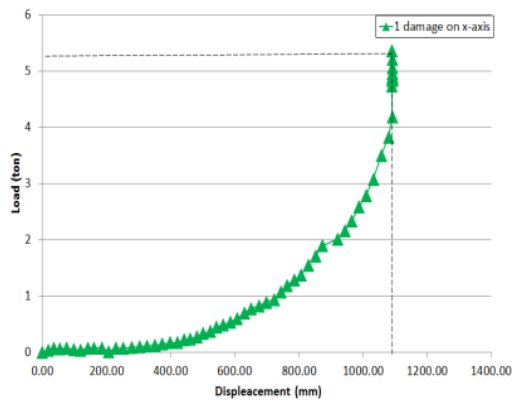


Fig. 5. 1 damage on x-axis

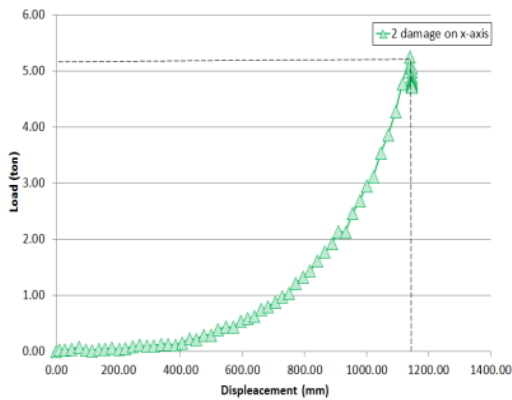


Fig. 6. 2 damage on x-axis

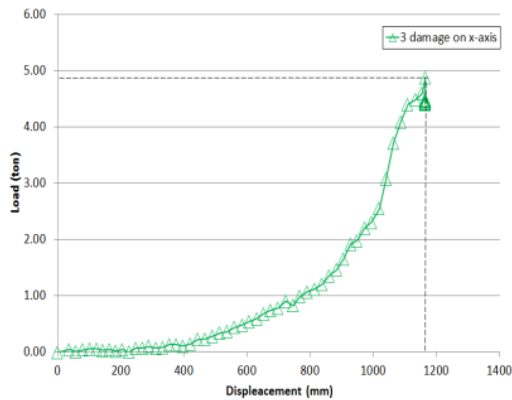


Fig. 7. 3 damage on x-axis

#### 4.1.1 표준 조건 결과

PVC코팅망에 대한 인발시험 결과는 약 4.98ton의 인발력이 발생하였으며, 파괴면은 발생하지 않았다. 최대 수직변위의 경우 1,104.56mm, x축과 y축의 변위는 x축으로 468.23mm, y축으로 468.87mm를 나타내었다(Fig. 4).

#### 4.1.2 x 축 절단 결과

- ① 1개를 절단했을 때 인발시험 결과는 약 5.37ton의 인발력이 발생하였으며, 최대 수직변위는 1,091.21mm, 최대 x축 변위는 496.29mm를 나타내었다(Fig. 5).
- ② 2개를 절단했을 때 인발시험 결과는 약 5.25ton의 인발력이 발생하였으며, 최대 수직변위는 1,145.82mm, 최대 x축 변위는 515.32mm를 나타내었다(Fig. 6).
- ③ 3개를 절단했을 때의 인발시험 결과는 약 4.88ton의 인발력이 발생하였으며, 최대 수직변위는 1,165.25mm, 최대 x축 변위는 548.02mm를 나타내었다(Fig. 7).

#### 4.1.3 y 축 절단 결과

- ① 1개를 절단했을 때의 인발시험 결과는 약 5.27ton의 인발력이 발생하였으며, 최대 수직변위는 1,143.92mm, 최대 y축 변위는 487.60mm를 나타내었다(Fig. 8).

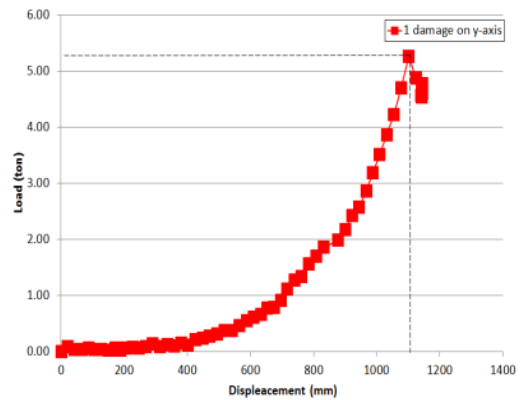


Fig. 8. 1 damage on y-axis

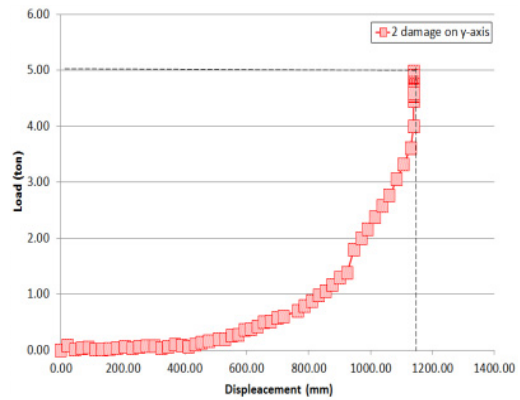


Fig. 9. 2 damage on y-axis

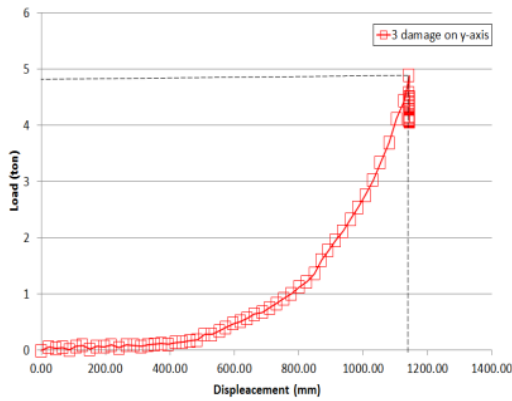


Fig. 10. 3 damage on y-axis

- ② 2개를 절단했을 때의 인발시험 결과는 약 4.98ton의 인발력이 발생하였으며, 최대 수직변위는 1,140.93mm, 최대 y축 변위는 497.87mm를 나타내었다(Fig. 9).
- ③ 3개를 절단했을 때의 인발시험 결과는 약 5.46ton의 인발력이 발생하였으며, 최대 수직변위는 1,143.87mm, 최대 y축 변위는 524.94mm를 나타내었다(Fig. 10).

#### 4.2 낙석방지망 인발시험 결과 비교 분석(파괴 형태 및 크기 비교)

낙석방지망 인발시험 결과에 대한 파괴형태 및 크기를

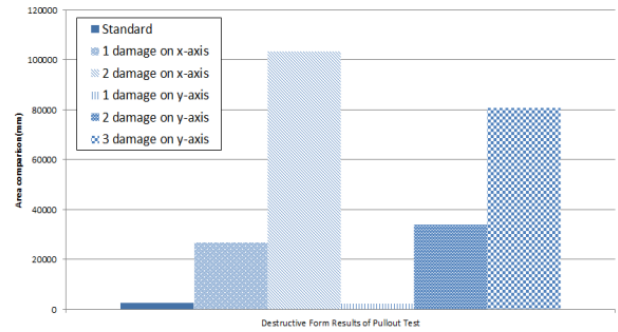


Fig. 11. Destructive form results of pullout test

비교 하였다. x축의 절단면이 증가할 수 록 변위는 표준 절단변위에 비해 가로는 최소 200% 이상 증가를 하였으며, 세로는 440% 이상 증가한 것으로 나타났다. 또한, y축의 절단면에서는 1개의 절단면일 경우에는 변위가 일어나지 않았지만 2개의 절단면 부터는 가로의 경우 240% 이상, 세로는 300% 이상의 변위를 나타내었으며, 그 결과를 정리한 것은 다음의 Fig. 11과 Table 2와 같다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 PVC코팅망 재료를 이용하여 낙석방지망

Table 2. Destructive form results of pullout test

Form	Maximum load (ton)	Vertical displacement (mm)	Destructive form	Cutting displacement (mm)	Area comparison (mm)
Standard	5.46	1,104.56	-	Width : 50 (Criteria) Vertical : 50 (Criteria)	2,500 mm (Criteria)
1 damage on x-axis	5.37	1,091.21	Rhombus	Width : 100 (200% increased) vertical : 270 (440% increased)	27,000 mm (1,080% increased)
2 damage on x-axis	5.25	1,145.82	Rhombus	Width : 230 (360% increased) Vertical : 450 (800% increased)	103,500 mm (4,140% increased)
3 damage on x-axis	4.88	1,165.27	Rhombus	Width : 260 (420% increased) Vertical : 550 (1000% increased)	143,000 mm (5,720% increased)
1 damage on y-axis	5.27	1,143.92	-	Width : 50 (-) 세로 : 50 (-)	2,500 mm (-)
2 damage on y-axis	4.98	1,140.93	Rhombus	Width : 170 (240% increased) Vertical : 200 (300% increased)	34,000 mm (1,360% increased)
3 damage on y-axis	4.89	1,143.87	Rhombus	Width : 300 (500% increased) Vertical : 270 (440% increased)	81,000 mm (3,240% increased)

인발시험에 따른 하중-변위 곡선을 분석하였으며, 그에 대한 망의 파괴형상 확인 하였다. 이를 위해 기존의 PVC코팅 망에 x축과 y축에 절단을 하여 비교분석 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) PVC코팅망에 대한 인발시험 결과, 표준시험의 경우 최대 하중 5.46ton으로 최대 수직변위는 1,104.56mm, x축은 468.23mm, y축은 468.87mm를 나타냈다.
- (2) 이에 대한 x축에 절단면을 주어 각 개수에 따른 변위를 비교한 결과, 1개의 절단면을 가질 시 표준의 인발시험 결과보다 약 5.99%가 증가하는 것을 나타내었으며, 2개의 경우 10.05%, 3개의 경우 17.04%를 나타내었다.
- (3) y축에 절단면을 주어 각 개수에 따른 변위를 표준인발 시험과 비교한 결과, 1개의 절단면을 가질 시 약 3.99%가 증가하는 것을 나타내었으며, 2개의 경우 6.18%, 3개의 경우 11.95%를 나타내었다.
- (4) 시험결과 PVC코팅망은 절단면의 개수에 따라서 변위의 증가를 확인할 수 있었는데, 비결속부인 y축의 경우 1개의 절단면에 따라서 변위가 약 3% 씩 증가하는 추세를 보이고 있으며, 결속부인 x축의 경우에는 1개의 절단면에 따라서 변위가 약 5%씩 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.
- (5) 또한, 절단면에 대한 파괴 형태 및 형상크기 변화는 일반 코팅망의 크기인 50 \* 50을 기준으로 비교 한 결과, x축의 절단면이 증가할 수록 변위는 일반 코팅망에 비해 가로는 최소 200% 이상 증가를 하였으며, 세로는

440% 이상 증가한 것으로 나타났다. y축의 절단면에서는 1개의 절단면일 경우에는 변위가 일어나지 않았지만 2개의 절단면 부터는 가로의 경우 240% 이상, 세로는 300% 이상의 변위를 나타내었다.

## Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 건설 기술연구사업(비탈면 대상 조사·점검 개선 및 보강시설 노후화 대응 기술 개발: 20SCIP-C151408-02)의 지원 및 국토교통기술촉진연구사업 창의도전분야의 연구비지원(20CTAP-C152052-02)에 의해 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

## References

1. 국토해양부 (2009), 도로안전시설 설치 및 관리지침-낙석방지 시설편, pp. 4~11.
2. 한국금속울타리공업협동조합 (2016), 낙석방지울타리 및 방지 망 SPS-KMF 1007-1798, pp. 1~21.
3. Youn, L. R., Oh, S. W. and Kwon, Y. C. (2014), Laboratory and full-scale testing to investigate the performance of rock fall protection system with hexagonal wire net, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 15, No. 9, pp. 69~75 (In Korean).