

고강도 포획망 개발을 위한 펀칭시험

Punching Test for Development of High-strength Rockfall Net

진 현 우¹⁾ · 서 상 훈²⁾ · 황 영 철[†]

Hyunwoo Jin · Sanghoon Seo · Youngcheol Hwang

Received: January 11th, 2023; Revised: January 17th, 2023; Accepted: January 29th, 2023

ABSTRACT : The high-strength rockfall net developed in this study is to replace the fallout prevention net method using PVC coating net made of core wire thickness 3.2 mm and tensile strength 290-540 MPa class steel wire. General PVC coating net have low performance, and in the event of falling rocks or surface loss, they cannot withstand the load and are torn, which rather adds to the damage. Developed rockfall net was manufactured using steel wires with a core wire thickness of 2.8 to 3.2 mm and a tensile strength of 1,000 to 2,000 MPa. Test method was referred to the international standard Steel wire rope net panels and rolls-Definitions and specifications (ISO 17746:2016), and was conducted in accordance with the provisions of the punching test. Through indoor punching tests, the load-displacement curves of the general PVC coating network and the developed high-strength capture net (1,000 and 2,000 MPa) were compared, and the maximum Pull-out load was analyzed to be improved by 324.47% (2,000 MPa high-strength net).

Keywords : Hgh-strength rockfall net, Punching test

요 지 : 본 연구에서 개발하고자 하는 고강도 포획망은 심선 직경 3.2mm, 인장강도 290~540MPa급 강선으로 제작되는 일반 PVC 코팅망을 활용한 낙석방지망 공법을 대체하기 위함이다. 일반 PVC 코팅망은 그 성능이 낮아 낙석이나 표층유실이 발생할 경우 그 하중을 버티지 못하고 찢어지며 오히려 피해가 가중된다. 따라서 심선 직경 2.8~3.2mm, 인장강도 1,000~2,000MPa급 강선을 활용하여 고강도 포획망을 제작하였다. 시험 방법은 국제 기준인 Steel wire rope net panels and rolls-Definitions and specifications(ISO 17746:2016)을 참조하였으며, 펀칭시험에 대한 사항의 규정을 따라 실시하였다. 실내펀칭시험을 통해 일반 PVC 코팅망과 개발한 고강도 포획망(1,000MPa, 2,000MPa)의 하중-변위 곡선을 비교하였으며, 최대 인발력이 324.47%(고강도 포획망 2,000MPa)가 향상 되는 것으로 분석되었다.

주요어 : 고강도 포획망, 펀칭시험

1. 서 론

국내 기후 변화로 인하여 옹벽 붕괴, 토석류, 낙석 등의 문제가 증가하고 있다. 특히 낙석방지망 공법은 낙석대책시설의 50% 이상을 차지하고 있으며, 기존에 사용되는 낙석방지망은 심선 직경 3.2mm, 인장강도 290~540Mpa급의 강선을 사용하고 있다. 하지만 기존 낙석방지망의 성능은 매우 낮아 낙석과 표층 유실 등이 발생할 경우 하중을 버티지 못하고 찢어지는 경우가 생긴다. 따라서 본 연구에서는 심선 직경 2.8~3.2mm, 인장강도 1,000~2,000Mpa의 고강도 포획망을 개발하여 기존에 사용되는 PVC 망과 펀칭시험을 통해 하중-변위 곡선을 파악하여 비교·분석하였다.

기존의 낙석방지망에 관한 연구로는 Expanded Metal 특성을 고려하여 Cheon & Lee(2009)는 낙석방지망 인발시험

장치를 이용하여 하중-변위 곡선을 분석하였고, 기존 PVC 코팅망과 Expanded Metal에 대해 동일한 조건하에 인발시험을 실시하여 Expanded Metal 특성을 연구하였다. 실험결과 Expanded Metal은 일반 PVC 망 대비 하중지지능력이 우수하고 기존의 낙석방지망 대체 재료로서 충분히 가능한 것으로 판단된다고 하였다. 북미에서 많이 사용되고 있는 TECCO® 중 용각형 와이어 메시로 이루어진 케이블을 이용하여 시험을 실시하였다(Washington State Transportation Commission, 2005).

2. 고강도 포획망 펀칭시험

국내의 포획망 펀칭시험에 대한 기준은 존재하지 않는다.

1) CEO, JinSung Consultant

2) Managing Director, Daehan Geo Engineering & Construction Corporation

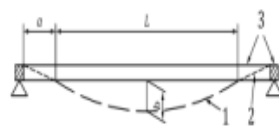
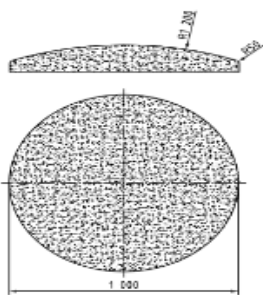
† Professor, Department of Civil Engineering, Sangji University (Corresponding Author : ychwang@sangji.ac.kr)

그렇기 때문에 국제 기준인 Steel wire rope net panels and rolls-Definitions and specifications(ISO 17746:2016)에는 steel wire ring panel과 steel wire rope net panel, roll에 대한 편칭 시험 사항을 규정하고 있다(Fig. 1). 고강도 선재 포획망의 편칭시험 시 고강도선재 포획망 시편은 $3.0 \times 3.0\text{m} \pm 20\%$ 의 크기로 철재 프레임에 고정하고 지름 1.0m 이상의 device를 활용하여 시험할 것을 규정하고 있다. 시험은 반구경을 이용하여 포획망 표본에 수직으로 힘을 가하는 것으로 구성되어 있다. 하중공유장치(유압)는 포획망의 중앙지점에 위치해야 하며 표면은 모서리가 없이 매끄러워야 하고 콘크리트나 강철과 같은 내구성을 가지는 재료 또한 속도는 10mm/s 이하로 진행해야 한다고 규정되어 있다.

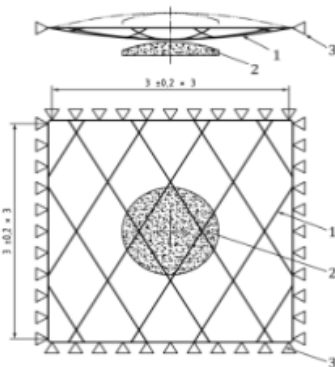
이에 대한 시험 측정 방법으로는 하중을 가하기 전에 포획망을 구속하고 평면인 상태에서 측정을 하게 된다. 시험하는 동안에는 하중은 계속 가해져야 하며, 기준면을 중심으로 Load Cell과 유압실린더가 이동해야 한다. 이러한 데이터 측정을 통하여 하중-변위 곡선을 작성해야 한다. 만약 시험 중 포획망이 파손될 시 도달하는 하중을 최대 값으로 하며, 시험에 사용한 포획망 제품별로 측정된 하중-변위 곡선을 작성해야 한다.

시험 결과의 경우 다음과 같은 정보를 포함하여 제공해야 하며, 포획망에 대한 정확한 설명이 작성되어야 한다.

- ① 시험편에 대한 공칭 치수 및 시험 조건에 대한 실제 치수



- a : Constraining area $< 0.15 \times L$
- b : $< 0.2 \times L$ [m]
- L : $3.0 \pm 0.2 \times 3.0$ [m]
- 1 : Net test piece
- 2 : Tensioning devices
- 3 : Rigid frame



- 1. Tested mesh sample
- 2. Hemispherical shape load sharing device (1.0m in diameter)
- 3. Perimeter constraint between the mesh and the frame

Fig. 1. Example of frame configuration (ISO 17746:2016)

- ② 시험 중 사용되는 계측기 센서들에 대한 설명
- ③ 사진 등 시험편 구속 조건에 대한 상세 설명
- ④ 측정이 진행될 시 시작 및 최대 처짐이 도달하였을 때 하중
- ⑤ 실제 시험편(포획망)의 파손 하중 및 변위
- ⑥ 하중-변위 곡선 작성
- ⑦ 시험 전·후에 대한 시험편 사진 기록

3. 고강도 포획망 편칭시험

본 시험은 ISO 17746: 2016을 대상으로 간편하게 시험이 가능하며 정량적인 시험데이터(변위량에 따른 하중)를 시험하여, 시험결과와 비교·분석이 가능하며 그래프를 통해 기존의 PVC 망과 개발된 고강도 포획망의 차이를 비교·분석하고자 한다.

3.1 고강도 포획망 편칭시험 방법

H-Beam을 거치대로 사용하며, 유압실린더, Load Cell, 줄 변위계, 계측 장비 등으로 시험을 실시한다(Fig. 2, 3).

- ① 포획망의 변위 측정을 위해 낙석볼 아래에 줄 변위계를 설치
- ② 로드셀 연결



(a) Data Logger (TDS-303)



(b) String displacement meter (2,000mm)



(c) Load Cell (30ton)

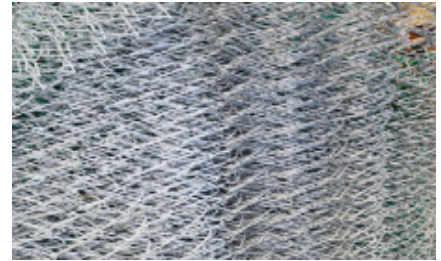
Fig. 2. Punching test equipment



(a) PVC coating net



(b) High-strength net
(thickness 3.2mm, 1,000MPa)



(c) High-strength net
(thickness 2.8mm, 2,000MPa)

Fig. 3. Punching test material

- ③ 가로 3,000mm × 세로 3,000mm로 제작된 PVC 망과 선재강도 1,000MPa, 2,000MPa을 고정
- ④ 유압 실린더와 작용하중 측정을 위해 Load Cell을 I형 볼트로 연결
- ⑤ 철재 낙석볼과 체결
- ⑥ 기존 PVC 망과 선재강도 1,000MPa, 2,000MPa에 대한 극한하중과 최대 변위를 측정 후 비교·분석
- ⑦ 시험 전·후에 대한 시험편 사진 기록

- ① PVC 코팅망 제원: $\phi 3.2$, PVC#50 × 50
- ② 고강도 1,000MPa 제원: $\phi 3.2$, 고강도(1,000MPa)#50 × 50
- ③ 고강도 2,000MPa 제원: $\phi 2.8$, 고강도(2,000MPa)#50 × 50

시험체로 이용된 개발기술인 선재강도 1,000MPa, 2,000MPa에 대하여 시험을 하였으며, 와이어로프 체결 후 3회씩 시험을 하였다. 또한, 현재 사용되고 있는 일반 PVC 코팅망의 성능을 평가하기 위하여 PVC 코팅망도 동일한 방법으로 시험을 실시하였다.

3.2 고강도 포획망 편칭시험 재료

고강도 포획망 편칭시험 재료로 사용된 망의 제원은 다음과 같으며, 자세한 사항은 Table 1과 같다.

Table 1. Comparison of rockfall net

	Wire strength (MPa)	Wire thickness (mm)	Broken load (kN)	Size of net (mm)	Weight (kg/m ²)	Tension of wire mesh (kN/m)
PVC coating net	290~540	3.2	2.3	50	4.6	50
High-strength net	2,000	2.8	12.3	50	1.81	More 150.0
High-strength net	1,000	3.2	8.0	50	2.36	More 150.0

4. 고강도 포획망 편칭시험 결과 및 비교·분석

4.1 일반 PVC 코팅망 시험 결과

일반 PVC 망의 선재 강도는 약 290~540MPa이며, 선경 지름은 3.2mm, 망눈의 마름모형은 50 × 50mm 인 PVC 코팅망을 선택하여 편칭시험을 실시하였다(Fig. 4).

- ① 일반 PVC 코팅망 1차 시험 결과: 인발력은 약 2.13ton. 최대 변위는 1,188mm
- ② 일반 PVC 코팅망 2차 시험 결과: 인발력은 약 1.93ton. 최대 변위는 1,196mm



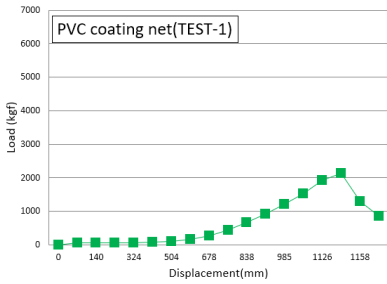
(a) PVC coating net (1)



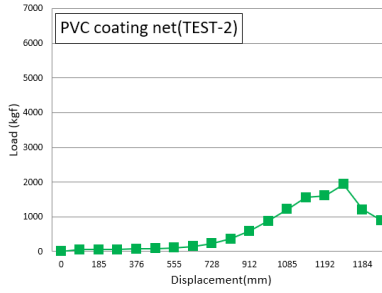
(b) PVC coating net (2)



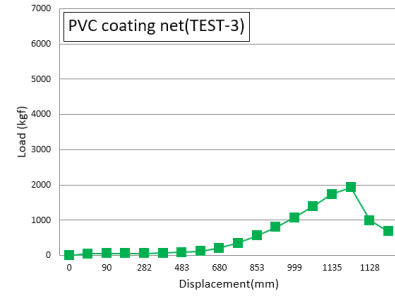
(c) PVC coating net (3)



(d) Load displacement curve (PVC coating net (1))



(e) Load displacement curve (PVC coating net (2))



(f) Load displacement curve (PVC coating net (3))

Fig. 4. Comparison of punching test results of PVC coating net

③ 일반 PVC 코팅망 3차 시험 결과: 인발력은 약 1.92ton. 최대 변위는 1,160mm

④ 일반 PVC 코팅망 평균 시험 결과: 인발력은 약 1.99ton. 최대 변위는 1,181mm

은 50 × 50mm 인 고강도 선재 편치시험 결과는 다음과 같다(Fig. 5).

4.2 고강도 선재(선경 3.2mm, 1,000MPa) 편치시험

고강도 선경 3.2mm, 선재강도 1,000MPa, 망눈의 마름모형

① 고강도 선재(선경 3.2mm, 1,000MPa) 1차 시험 결과: 인발력은 약 3.92ton. 최대 변위는 1,218mm

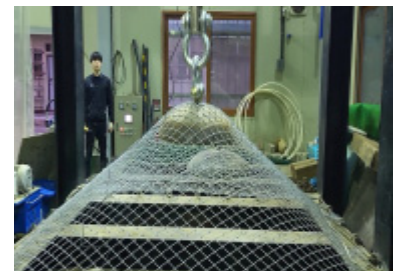
② 고강도 선재(선경 3.2mm, 1,000MPa) 2차 시험 결과: 인발력은 약 3.84ton. 최대 변위는 1,185mm



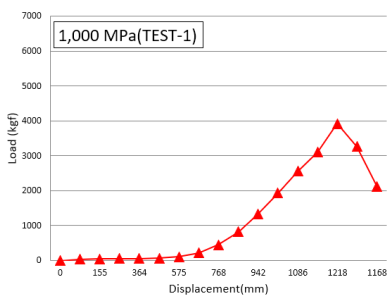
(a) 1,000MPa (1)



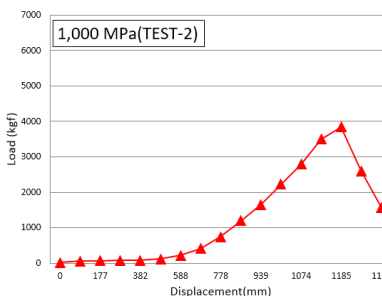
(b) 1,000MPa (2)



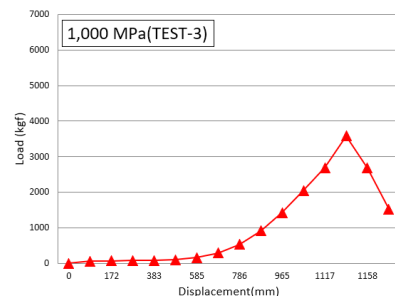
(c) 1,000MPa (3)



(d) Load displacement curve (1,000MPa (1))



(e) Load displacement curve (1,000MPa (2))



(f) Load displacement curve (1,000MPa (3))

Fig. 5. Comparison of punching test results of High-strength net (1,000MPa)

- ③ 고강도 선재(선경 3.2mm, 1,000MPa) 3차 시험 결과:
인발력은 약 3.57ton. 최대 변위는 1,177mm
- ④ 고강도 선재(선경 3.2mm, 1,000MPa) 평균 시험 결과:
인발력은 약 3.77ton. 최대 변위는 1,193mm

- 인발력은 약 5.58ton. 최대 변위는 1,203mm
- ③ 고강도 선재(선경 2.8mm, 2,000MPa) 3차 시험 결과:
인발력은 약 6.23ton. 최대 변위는 1,196mm
- ④ 고강도 선재(선경 2.8mm, 2,000MPa) 평균 시험 결과:
인발력은 약 5.91ton. 최대 변위는 1,196mm

4.3 고강도 선재(선경 2.8mm, 2,000MPa) 펀칭시험

고강도 선경 2.8mm, 선재강도 2,000MPa, 망눈의 마름모 형은 50 × 50mm 인 고강도 선재 펀칭시험 결과는 다음과 같다(Fig. 6).

- ① 고강도 선재(선경 2.8mm, 2,000MPa) 1차 시험 결과:
인발력은 약 5.92ton. 최대 변위는 1,189mm
- ② 고강도 선재(선경 2.8mm, 2,000MPa) 2차 시험 결과:

4.4 각 포획망 별 하중-변위 그래프

일반 PVC 코팅망과 고강도 포획망(1,000MPa, 2,000MPa) 을 비교·분석한 결과, 유압실린더의 한계로 변위의 차이는 거의 없었으나 최대 인발력은 1,000MPa의 경우 약 198.96% 증가한 것을 나타내었고, 2,000MPa의 고강도 선재는 약 324.47% 증가한 것을 나타내었다(Fig. 7, Table 2).



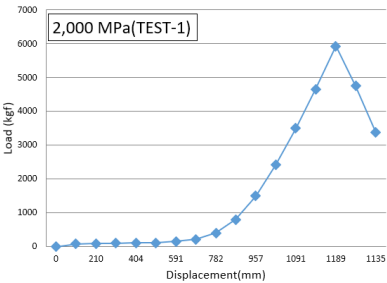
(a) 2,000MPa (1)



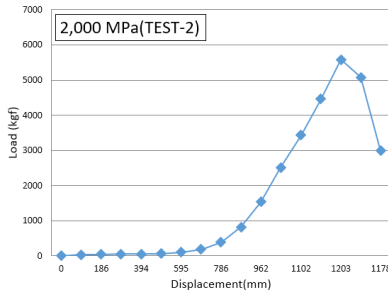
(b) 2,000MPa (2)



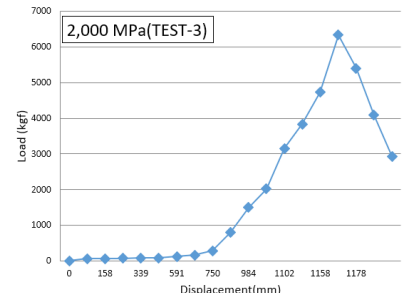
(c) 2,000MPa (3)



(d) Load displacement curve (2,000MPa (1))



(e) Load displacement curve (2,000MPa (2))



(f) Load displacement curve (2,000MPa (3))

Fig. 6. Comparison of punching test results of High-strength net (2,000MPa)

Table 2. Comparison of punching test results

		Installation conditions (mm)	Wire thickness (mm)	Pull-out load (ton)	Displacement (mm)	Comparison of Pull-out load (rate of increase)
PVC coating net (Wire thickness 3.2mm, 290~540MPa)	(1)	3,000 × 3,000	3.2	2.13	1,188.8	Standard
	(2)			1.93	1,196.7	
	(3)			1.92	1,160.4	
	Average			1.99	1,181.9	
High-strength net (Wire thickness 3.2mm, 1,000MPa)	(1)	3,000 × 3,000	3.2	3.92	1,218.0	186.40%
	(2)			3.84	1,185.4	198.96%
	(3)			3.57	1,177.4	185.93%
	Average			3.77	1,193.6	189.44%
High-strength net (Wire thickness 2.8mm, 2,000MPa)	(1)	3,000 × 3,000	2.8	5.92	1,189.2	277.93%
	(2)			5.58	1,203.3	289.11%
	(3)			6.23	1,196.4	324.47%
	Average			5.91	1,196.3	296.98%

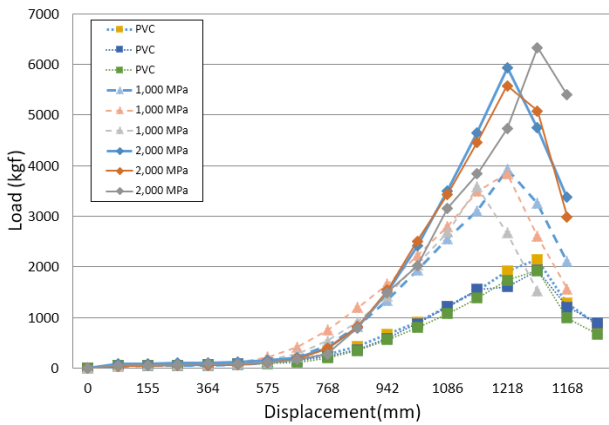


Fig. 7. Comparison of overall punching test results (Load Displacement Curve)

5. 결 론

본 연구에서는 고강도 포획망 개발을 위해 일반 PVC 코팅망과 고강도 포획망(1,000MPa, 2,000MPa)의 펀칭시험에 따른 인발력을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 시험에서는 데이터로거를 이용하여 고강도 포획망 개발을 위해 펀칭시험을 실시하였으며, 하중·변위 곡선을 분석 결과, 최대 인발력이 324.47%(고강도 선재 2,000MPa) 증가하였다.
- (2) PVC 코팅망에 대한 시험 결과, 인발력은 약 1.92~2.13ton 이 발생하였으며, 변위는 약 1,160~1,196mm를 나타내었으며, 고강도 선재 1,000MPa은 인발력 약 3.57~3.92ton 으로 변위는 약 1,177~1,218mm를 나타냈다. 마지막으로 고강도 선재 2,000MPa의 인발력은 약 5.58~6.23ton 으로 변위는 1,189~1,203mm로 나타났다.
- (3) 일반 PVC 코팅망 선재 290~540MPa과 고강도 선재

1,000MPa을 비교 분석한 결과 변위의 차이는 거의 없었으나 인발력의 경우 최대 198.96%가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 고강도 선재 2,000MPa를 비교·분석한 결과 변위의 차이는 거의 없었으나 인발력의 경우 최대 324.47%가 증가하는 것으로 나타났다.

- (4) 이러한 시험 결과를 바탕으로 기존 PVC 코팅망의 재료 특성보다 고강도 포획망의 재료 특성이 뛰어난 것을 확인할 수 있었으며, 현장 시공 시 높은 강도를 활용하여 부속재료를 줄여 시공하게 되면 시공성 및 비용을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 국토교통기술혁신연구(기반연구 유형) 과제(150kN/m급 철망장력을 갖는 고성능 낙석방지망 시스템 개발, 22CTAP-C163826)의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. Cheon, S. Y. and Lee, S. H. (2009), A study on the properties comparison of the PVC Net and expanded metal using rockfall protection net pullout Test equipment, Journal of the Korean GEO-environmental Society, Vol. 10, No.4, pp. 49~57 (In Korean).
2. ISO 17746:2016(E), Steel wire rope net panels and rolls-Definitions and specifications, International Standard, pp. 1~14.
3. Washington State Transportation Commission (2005), Analysis and Design of Wire Mesh/Cable Net Slope Protection, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.