

목업 테스트를 통한 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템의 현장 적용성 평가

Evaluation of Field Applicability of Shotcrete for Fiber-net Integrated Tunnel Support System through Mock-up Test

김지영¹ · 최성철^{2*}

Jiyoung Kim¹ · Seongcheol Choi^{2*}

(Received February 13, 2020 / Revised March 10, 2020 / Accepted March 13, 2020)

The present study developed shotcrete for fiber-net integrated tunnel support system, which consists of fiber-net support materials including netlike fiber and shotcrete and integration technology between support materials. In addition, in order to evaluate the field applicability of the developed tunnel support system and compare with the performance of steel fiber reinforced shotcrete, mock-up test was conducted on the mock-up structure. The test results show that in the case of shotcrete containing coarse aggregate(S20A5RP10-C), the excessive rebound rate occurred as the secondary shotcrete was dropped during construction due to the degradation in bond performance with fiber-net. Also, in the case of steel fiber reinforced shotcrete, the amount of cast shotcrete fell short of target value due to the fiber ball and the degradation of pumpability. On the other hand, the amount of cast mortar shotcrete(S20A5RP10-M) and the installation position of fiber-net were almost close to the target values, and the lower rebound rate occurred compared to the steel fiber reinforced shotcrete.

키워드 : 섬유 그물망, 슛크리트, 일체화, 터널 지보재, 현장 적용성

Keywords : Fiber-net, Shotcrete, Integration, Tunnel support materials, Field applicability

1. 서론

최근 사회기반시설물 및 국토 이용의 효율성, 이용자의 안전성을 증진시키기 위하여, 터널 공사의 수요가 꾸준히 증가하고 있다 (Ministry of land, Infrastructure and Transport 2019). 또한, 시공 기술의 지속적인 발전에 따라 시공 면적이 대단면화/대형화되는 추세이다. 현재 터널 시공 시 주로 사용되는 공법은 NATM (New Australian Tunneling Method) 공법이다. 이 공법은 주변 지반의 응력을 터널의 주지보로 활용하고 강지보, 락볼트 및 슛크리트를 보강재로 활용하여, 굴착 직후 지반을 안정화시키고 시공 후에도 터널의 안정성을 유지시킨다. 이에 따라, NATM 공법에서 사용되는 강지보, 락볼트 및 슛크리트를 활용한 터널 지보시스템은 터널 시공 시 발생하는 다양한 하중에 대해 구조적 안정성을 확보하는 역할을

하며, 현재 국내·외에서 터널 지보재로서 강섬유 보강 슛크리트가 가장 일반적으로 사용되고 있다.

강섬유 보강 슛크리트는 인장성능의 향상을 위해 일반 슛크리트에 강섬유를 혼합한 재료로서, 굴착 단면 형상의 영향이 적고, 지반에 밀착 시공이 가능하며, 다른 지보 재료에 비해 단시간에 시공이 가능하기 때문에 사면 및 터널 등 다양한 시공 현장에서 사용될 수 있다는 장점을 갖는다(Ma 2014). 그러나 강섬유 보강 슛크리트는 암반에 뿔어 붙이는 방식으로 타설되기 때문에, 타설과 동시에 과도한 리바운드 발생하여 재료 손실 및 이에 따른 시공 비용의 증가가 발생하는 문제점이 있다. 또한, 슛크리트와 함께 리바운드된 강섬유가 암벽에 혼입되어 현장 내 성토재료로 사용되고 있어 환경 오염 및 부실시공의 문제가 발생할 수 있다는 한계점을 갖는다. 이와 같은 기존 강섬유 보강 슛크리트의 한계점을 개선하기 위한 새로

* Corresponding author E-mail: schoi@cau.ac.kr

¹중앙대학교 토목공학과 박사과정 (Department of Civil and Environmental Engineering, Chung-Ang University, Seoul, 06974, Korea)

²중앙대학교 건설환경플랜트공학과 교수 (Department of Civil and Environmental Engineering, Chung-Ang University, Seoul, 06974, Korea)

운 지보시스템의 개발이 필요하며, 현재 이와 관련된 다양한 연구가 진행되고 있다(Kim et al, 2011; Seok and Ahn 2014; Ma 2014; Baek 2012; Caratelli et al, 2011).

본 연구에서는 기존의 과도한 리바운드율로 인한 환경오염 발생 및 이에 따른 시공 비용의 증가와 같은 문제점을 해결하고, 역학적 성능 및 시공성을 향상시키기 위하여, 그물망 형태의 터널 지보용 섬유 및 섬유 그물망 지보재용 슛크리트를 활용한 터널 지보시스템을 개발하였다. 또한, 개발된 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템의 현장 적용성을 평가하기 위하여, 터널 모사 구조물을 대상으로 부재 실험(mock-up test)이 수행되었다.

2. 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템

본 연구에서 개발한 그물망 형태의 연속적인 고성능 섬유는 단섬유인 강섬유를 대신하여 슛크리트 인장부재로 작용하며, 지보재간의 체결 기술은 섬유 그물망-스�크리트-락볼트의 일체화 거동을 유도하여 터널 구조물에 발생하는 균열을 제어하고 휨인장 성능을 증진시킴으로서, 터널의 안정성을 기존보다 향상시킬 수 있다는 장점을 갖는다. 또한, 섬유 그물망이 갖는 유연한 특성으로 인하여 터널의 곡선부 및 변단면에 대한 밀착시공이 용이하다.

2.1 섬유 그물망 지보재용 슛크리트

Table 1은 본 연구에서 개발한 섬유 그물망 지보재용 슛크리트의 배합비를 나타낸다. 본 연구에서는 시공 시 발생하는 리바운드율을 저감시키기 위하여 고로슬래그 미분말(Ground granulated blast-furnace slag, GGBFS), 무수석고(anhydrite), 폴리머를 활용한 배합을 통해 부착성능의 증진을 유도하였으며, 그리드를 갖는 섬유 그물망의 형상을 고려하여 굵은 골재를 배제한 모르타르 슛크리트 배합을 제안하였다(Park et al, 2019).

2.2 터널 지보용 섬유 그물망

Table 2는 본 연구에서 개발한 터널 지보용 섬유 그물망의 제조 조건을 나타낸다. 본 연구에서는 기존 강섬유 보강 슛크리트의 역학

적 성능 이상을 발휘하고 슛크리트와의 부착력을 향상시키기 위하여, 섬유 그물망의 원사 및 표면 코팅재로 각각 초고분자량 폴리에틸렌(Ultra high molecular weight polyethylene, UHMWPE) 및 에폭시와 우레탄을 선정하였다.

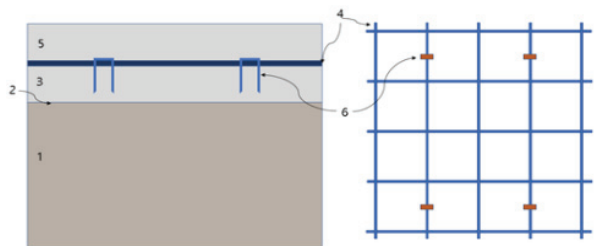
Table 2. Manufacturing conditions of fiber-net for tunnel support

Grid size (cm)	Fiber	Coating material		Coating temperature (°C)	
		1st	2nd	1st	2nd
2.5×2.5	UHMWPE	Urethane	Epoxy	110-120	40-50

2.3 슛크리트용 섬유 그물망 터널 지보재 일체화 기술

2.3.1 1차 슛크리트-섬유 그물망 일체화 기술

Fig. 1은 체결용 핀을 이용하여 1차 슛크리트와 섬유 그물망이 일체화된 모습을 나타낸다. 1차 슛크리트는 터널의 굴착 이후 굴착면의 여굴을 실링하고 초기 굴착면을 보강하기 위해 타설되며, 섬유 그물망은 1차 슛크리트의 경화 이후 그 위에 설치된다. 섬유 그물망 설치 시, 작업자가 섬유 그물망의 위치를 잡은 후 체결용 핀을 이용하여 섬유 그물망을 1차 슛크리트에 고정시킨다.



1. Base 2. Excavation surface 3. Primary shotcrete 4. Fiber-net 5. Secondary shotcrete 6. Pin

Fig. 1. Integration of primary shotcrete and fiber-net

2.3.2 섬유 그물망-락볼트 일체화 기술

락볼트는 슛크리트와 함께 터널 지보재로서 지반 및 터널의 안정성 증진에 기여하는 역할을 한다. 체결용 핀에 의해 1차 슛크리트에 고정된 섬유 그물망은 락볼트 지압판에 의해 1차 슛크리트에 완전 부착되며, 그 위에 타설되는 2차 슛크리트에 의해 Fig. 2와 같이 섬유 그물망-스�크리트-락볼트가 일체화 거동을 보이게 된다.

Table 1. Mixture proportion of shotcrete for fiber-net

Specimen	W/B	Binder(kg/m ³)			Sand (kg/m ³)	Admixture(wt.%)		
		Cement	GGBFS	Anhydrite		Polymer	Superplasticizer	Accelerating agent
S20A5RP10-M	0.47	355.2	96	24	1,625	1	0.2	10

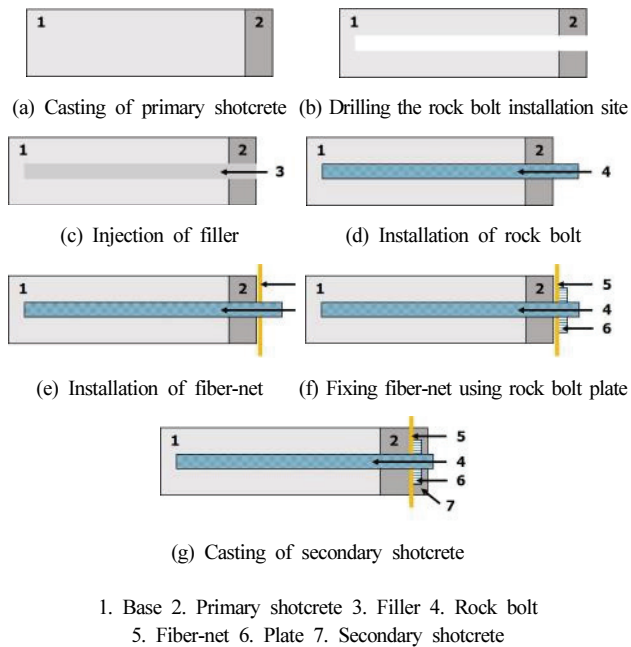


Fig. 2. Integration of fiber-net-shotcrete-rock bolt

3. Mock-up test 계획 및 시공 과정

3.1 터널 모사 구조물

Fig. 3은 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템의 현장 적용성을 평가하기 위해 제작된 터널 모사 구조물을 나타낸다. 본 연구에서는 터널 천단부에서의 시공성을 중점적으로 평가하기 위해, 폭 3m, 높이 3.2m, 길이 2.5m의 아치형 터널 모사 구조물을 2개 제작하였으며, 구조물의 내부 표면을 거칠게 처리하여 실제 터널 발파 후의 여굴이 심한 단면 형상을 모사하였다. 또한, 락볼트를 모사하기 위해 직경 20mm 규격의 철근이 0.8m의 간격으로 설치되었다.



Fig. 3. Mock-up specimen

3.2 실험 단면 구성

Table 3는 본 실험에서 적용한 슛크리트 및 섬유 그물망의 변수를 나타낸다. Section 2에 언급되었듯이, 본 연구에서 개발한 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템의 슛크리트 배합 및 섬유 그물망의 격자 크기는 각각 모르타르 배합 및 2.5×2.5cm이지만, 향후 경제성 측면에서 제조 단가의 절감 가능성을 확인하기 위해 콘크리트 배합(S20A5RP10-M 배합비 기준 잔골재의 40%를 굵은 골재로 치환한 배합, S20A5RP10-C) 및 2.5×5.0cm의 변수가 추가되었다. Table 4는 기존에 사용되던 지보재와의 성능을 비교하기 위해 본 실험에서 사용한 강섬유 보강 슛크리트의 배합비이다. 이 때, 유동화제와 급결제는 Table 1의 배합비와 동일하게 사용되었다.

Table 3. Variables in mock-up test

Shotcrete type			Grid size(cm)	
S20A5RP10-M	S20A5RP10-C	Steel fiber reinforced shotcrete	2.5×2.5	2.5×5.0

Table 4. Mixture proportion of steel fiber reinforced shotcrete

Specimen	W/B	Cement (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Aggregate (kg/m ³)	Steel fiber (kg/m ³)
Steel fiber reinforced shotcrete	0.44	480	962	659	40

Fig. 4는 위의 변수들을 활용하여 구성한 실험 단면을 나타낸다. 본 연구에서는 4개의 구간에 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 및 강섬유 보강 슛크리트를 시공한 후, 각 지보재의 시공성 및 역학적 성능을 평가하였다.

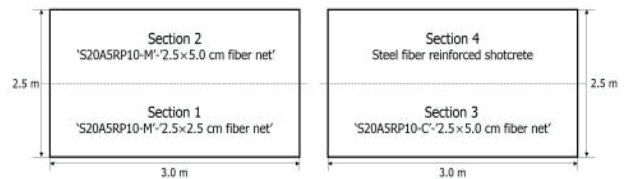


Fig. 4. Test section

3.3 시공 과정

스�크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템의 경우, 슛크리트 배합, 1차 슛크리트 타설, 24시간 양생, 섬유 그물망 설치, 2차

숯크리트 타설 순으로 시공이 진행되었으며, 강섬유 보강 숯크리트의 경우, 숯크리트 배합, 1차 숯크리트 타설, 24시간 양생, 2차 숯크리트 타설 순으로 시공이 진행되었다.

3.3.1 숯크리트 배합

Fig. 5는 섬유 그물망 지보재용 숯크리트 및 강섬유 보강 숯크리트의 배합 과정을 나타낸다. 배합은 배치플랜트를 활용하여 진행되었으며, 이 때 무수석고, 폴리머, 강섬유는 배치플랜트 내의 배합기에 직접 투입되었다.

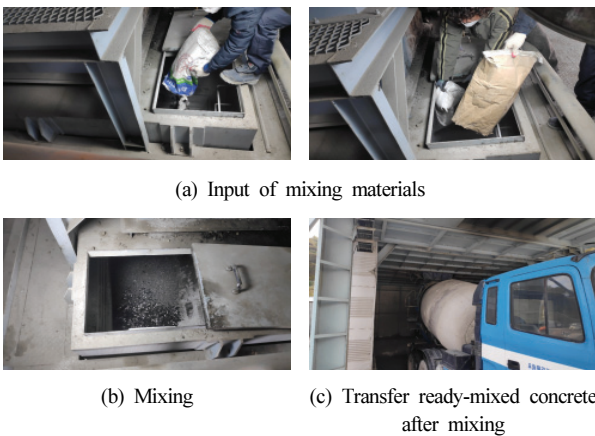


Fig. 5. Mixing

3.3.2 1차 숯크리트 타설

배합 직후 레미콘을 통해 이송된 콘크리트는 숯크리트 타설 장비를 이용하여 5cm의 두께를 목표로 하여 각 구간에 타설되었다. 타설 이후 숯크리트용 섬유 그물망 터널 지보재 일체화 체결 기술을 적용하기 위해, 1차 숯크리트가 24시간 동안 양생되었다.

3.3.3 터널 지보용 섬유 그물망 설치

섬유 그물망은 시공 공간의 크기에 따라 다양한 규격으로 생산 및 사전 준비가 가능하다는 장점을 갖는다(Ma 2014). 본 연구에서는 시공 구간의 크기를 고려하여 폭 3m, 길이 1m의 섬유 그물망을 준비하였으며, Fig. 6과 같이 섬유 그물망의 격자를 통해 철근을 통과시켜 위치를 잡은 후, 칼블럭 및 플레이트를 이용하여 섬유 그물망을 1차 숯크리트 및 철근과 일체화시켰다.

3.3.4 2차 숯크리트 타설

섬유 그물망의 설치가 완료된 이후, 1차 숯크리트와 마찬가지로 5cm의 두께를 목표로 2차 숯크리트가 타설되었다.

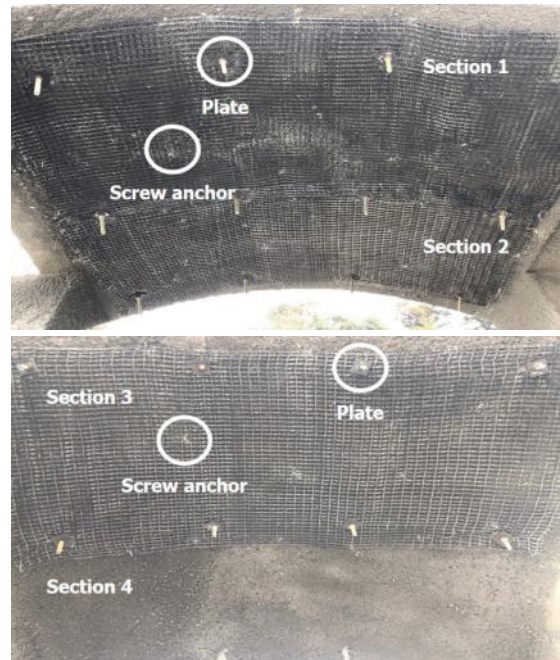


Fig. 6. Integrating fiber-net with shotcrete and rock bolt

4. 결과 및 분석

4.1 시공 시간

Table 5는 숯크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 및 강섬유 보강 숯크리트의 시공 시간을 나타낸다. 시공 시간은 1차 숯크리트 타설, 섬유 그물망 설치, 2차 숯크리트 타설에 소요되는 시간을 각각 측정하여 산정되었으며, 강섬유 보강 숯크리트의 경우, 섬유 그물망을 설치하는 공정이 없기 때문에 section 4의 전체 시공 시간이 가장 작게 나타났다.

숯크리트 타설 시간의 경우, 1차 숯크리트의 시공 시간은 배합의 종류에 관계없이 거의 비슷하게 소요되었으나, 다른 구간에 비해 section 3에서 2차 숯크리트의 시공에 많은 시간이 필요한 것으로 나타났다. section 3 시공 진행 시 Fig. 7과 같이 2차 숯크리트의 탈락 현상이 발생하였는데, 이는 숯크리트 내의 굵은 골재가 섬유 그물망의 격자를 충분히 통과하지 못하면서 부착력이 저하되었기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 현상이 발생하면서 숯크리트가 탈락된 공간을 메우기 위해 2차 숯크리트의 시공 시간이 증가하였으며, 이에 따라 굵은 골재를 사용하는 콘크리트 배합(S20A5RP10-C)은 본 연구에서 개발한 터널 지보용 섬유 그물망과 함께 사용하기에 적절하지 못한 것으로 판단된다.

Table 5. Construction time

Section	Casting of primary shotcrete	Installation of fiber-net	Casting of secondary shotcrete	Total
1	4min 10sec	13min	5min 2sec	22min 12sec
2	4min 10sec	13min	5min 9sec	22min 19sec
3	4min 10sec	14min	9min 31sec	27min 41sec
4	4min 20sec	-	6min 55sec	11min 15sec



Fig. 7. Dropouts of secondary shotcrete in section 3

4.2 시공성

Fig. 8 및 Fig. 9는 각각 section 1, 2, 3, 4에서 채취된 12개의 코어 시편 및 코어 시편에 존재하는 슛크리트 및 섬유 그물망의 위치를 나타낸다. 본 연구에서는 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 및 강섬유 보강 슛크리트의 시공성을 평가하기 위하여, 목업 테스트 수행 후 각 구간 당 3개씩 코어 시편을 채취하였으며, 이를 통해 슛크리트 타설 두께 및 섬유 그물망의 설치 위치가 측정되었다. Fig. 9에서 알 수 있듯이, 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템이 시공된 section 1, 2, 3에서는 코어 시편을 통해 확인된 섬유 그물망을 기준으로 1차 슛크리트 및 2차 슛크리트의 두께가 각각 측정되었다. 강섬유 보강 슛크리트가 시공된 section 4에서는, 비록 2회에 걸쳐 슛크리트가 타설되었지만 그 경계를 확인하는 데 어려움이 있으므로, 전체 슛크리트 타설 두께가 측정되었다. 이 때, 코어 시편 한 개당 3곳에서 두께가 측정되었으며, 코어 시편 3개에서 측정된 9개의 두께의 평균값을 이용하여 각 구간의 슛크리트 타설 두께 및 섬유 그물망의 위치가 산정되었다.

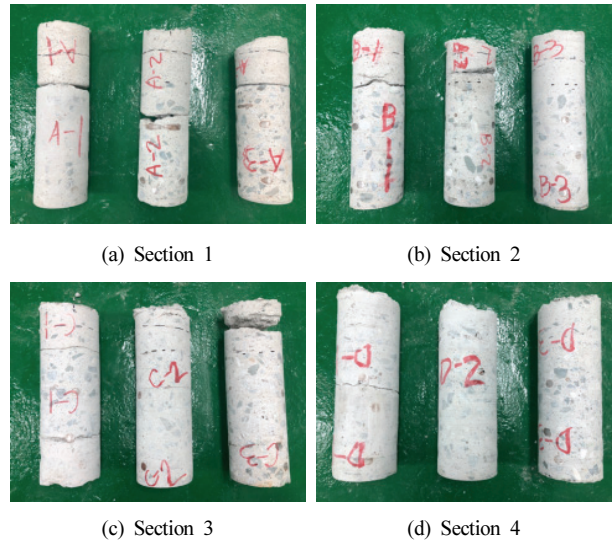


Fig. 8. Core specimen

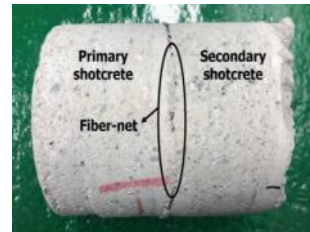


Fig. 9. Shotcrete and fiber-net in core specimen

Fig. 10은 코어 시편을 통해 확인한 각 구간에 타설된 슛크리트의 두께를 나타낸다. 위의 3.3에서 언급했듯이, 전체 슛크리트의 목표 타설 두께 및 섬유 그물망 설치 위치는 각각 10cm 및 굴착면으로부터 5cm이다. 측정 결과, section 1, 2, 3에서의 전체 슛크리트 타설 두께는 각각 11.09cm, 10.70cm, 9.01cm 및 섬유 그물망 위치는 각각 굴착면으로부터 6.12cm, 5.17cm, 4.44cm로 나타났다. 한편, section 4의 경우 전체 슛크리트 타설 두께가 5.82cm로 목표 타설 두께에 훨씬 미치지 못하는 결과가 나타났다. 강섬유 보강 슛크리트의 경우, 혼합 시 강섬유의 뭉침 현상 및 이로 인한 타설 시 노즐 및 압송 호스를 통한 압송성 저하 문제가 발생되어 일반 슛크리트에 비해 작업성이 낮다는 문제점이 있다(Jeon and Jeon 2011). 이로 인하여, section 4에서의 슛크리트 타설량이 낮으며, 이에 반해 섬유 그물망 지보재용 슛크리트 배합의 작업성이 우수한 것으로 판단된다.

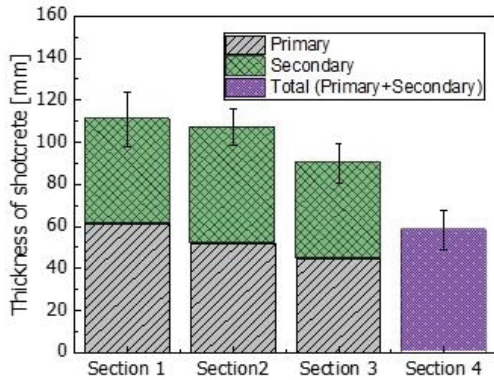


Fig. 10. Thickness of shotcrete

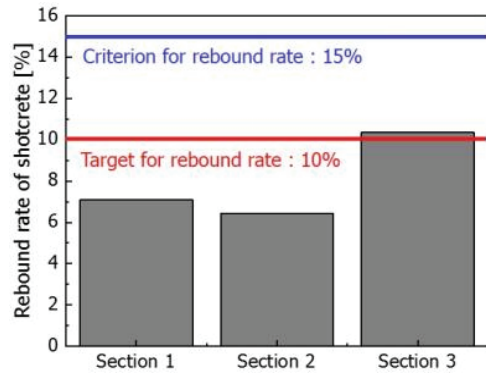


Fig. 12. Rebound rate of shotcrete

4.3 리바운드율

Fig. 11은 슛크리트의 리바운드율 측정 과정을 나타낸다. 리바운드율은 슛크리트 타설 전 바닥에 설치된 비닐에 리바운드된 슛크리트의 무게와 코어 시편을 통해 확인된 슛크리트 타설 두께로부터 추정된 슛크리트의 무게를 이용하여 계산되었다.



Fig. 11. Measurement of rebounded shotcrete

Fig. 12는 각 구간에서 발생한 슛크리트의 리바운드율을 나타낸다. 측정 결과, section 1, 2, 3에서의 리바운드율은 각각 7.08%, 6.44%, 10.36%로 나타났다. Section 3의 경우, 위의 4.1에서 언급했듯이 시공 도중 발생한 S20A5RP10-C 배합의 탈락 현상으로 인하여 다른 구간에 비해 높은 리바운드율이 발생하였다. Section 1 및 section 2의 경우 리바운드율이 목표 리바운드율을 만족함에 따라, 섬유 그물망 지보재용 슛크리트 배합이 리바운드율 저감을 통한 재료비 절감의 측면에서 효과를 나타낼 수 있는 것으로 판단된다.

한편, section 1 및 section 2의 경우, 리바운드율뿐만 아니라 위의 4.1 및 4.2에 나타난 시공 시간 및 시공성의 결과에서 모두 차이가 없는 것으로 나타났다. 이에 따라, 본 연구에서 개발된 S20A5RP10-M 배합을 사용할 경우, 섬유 그물망의 격자 크기는 현장 적용성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 기존 강섬유 보강 슛크리트의 시공 시 발생하는 문제점을 해결하기 위해 개발된 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템의 현장 적용성을 평가하였다. 이를 위하여 터널 모사 구조물 제작 후 부재 실험(mock-up test)이 수행되었으며, 시공 시간, 슛크리트 타설 두께 및 섬유 그물망 설치 위치를 통한 시공성 및 리바운드율의 측면에서 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템과 강섬유 보강 슛크리트의 현장 적용성이 평가되었다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. S20A5RP10-C 배합이 시공된 section 3에서 2차 슛크리트 타설에 가장 긴 시간이 소요되었으며, 리바운드율 또한 다른 구간에 비해 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 슛크리트 내의 굵은 골재가 섬유 그물망의 격자를 충분히 통과하지 못하고 시공 도중 탈락되기 때문이며, 이에 따라 굵은 골재가 포함된 배합은 그물망 형태의 섬유에 적용하기에 적절하지 못한 것으로 판단된다.
2. 시공 완료 후 각 구간에서 채취된 코어 시편을 확인한 결과, 강섬유 보강 슛크리트가 시공된 section 4에서 슛크리트 타설 시간에 비해 슛크리트의 타설량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 강섬유 보강 슛크리트의 낮은 작업성으로 인해 발생한 문제인 것으로 판단되며, 목표 타설 두께를 달성하기 위해서는 시공 시간이 증진되어야 할 것으로 판단된다.
3. section 1 및 section 2에 시공된 S20A5RP10-M 배합의 현장 적용성이 시공성 및 리바운드율의 측면에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 이를 통해 본 연구에서 개발한 섬유 그물망 지보재용 슛크리트 배합이 리바운드율 저감의 측면에서 효과가 있는 것으로 판단된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(19SCIP-C120795-04)에 의해 수행되었습니다.

References

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, (2019). Yearbook of Road Bridge and Tunnel Statistics, <https://bti.kict.re.kr/bti/>

Ma, S.J. (2014). Synthetic polymer fiber mesh tunnel support system integrated with tunnel support system, Journal of Korean Geosynthetics Society, **13(4)**, 9–12.

Kim, S.H., Kim, J.T., Kang, J.G. (2011). A study on the new supporting system using steel ribs in sandy soil, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, **13(5)**, 395–411.

Seok, C., Ahn, T. (2014). A study on the reasonable application method of steel fiber reinforced shotcrete in NATM tunnel, Proceedings of the Korean Society for Railway, 686–691.

Baek, C.W. (2012). Mechanical and physical properties of structural polymer fiber reinforced shotcrete, Master's Thesis, Konkuk University, Korea.

Caratelli, A., Meda, A., Rinaldi, Z., Romualdi, P. (2011). Structural behaviour of precast tunnel segments in fiber reinforced concrete, Tunnelling and Underground Space Technology, **26(2)**, 284–291.

Park, B., Jang, K.Y., Choi, Y.C. (2019). Evaluation of mechanical and durability performance of mortar shotcrete, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, **23(5)**, 68–74.

Jeon, C., Jeon, J. (2011). Properties of advanced synthetic fiber reinforced concrete for improvement of tunnel shotcrete performance, Journal of the Korean Society of Disaster Information, **7(1)**, 43–50.

목업 테스트를 통한 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템의 현장 적용성 평가

본 연구에서는 그물망 형태의 터널 지보용 섬유 및 섬유 그물망 지보재용 슛크리트를 포함하는 터널 지보용 섬유 그물망 지보재와 지보재간의 일체화 기술로 구성된 슛크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템을 개발하였다. 또한, 개발된 터널 지보시스템의 현장 적용성을 평가하고 강섬유 보강 슛크리트의 성능과 비교하기 위하여, 터널 모사 구조물을 대상으로 부재 실험(mock-up test)이 수행되었다. 그 결과, 굵은 골재가 포함된 슛크리트(S20A5RP10-C)의 경우 섬유 그물망과의 부착성능 저하로 인해 2차 슛크리트가 시공 도중 탈락됨으로써 과도한 리바운드율이 발생되었으며, 강섬유 보강 슛크리트의 경우 강섬유의 뭉침 현상 및 압송성 저하로 인해 슛크리트의 타설량이 목표치에 미치지 못하였다. 한편, 본 연구를 통해 개발된 모르타르 슛크리트(S20A5RP10-M)의 타설량 및 섬유 그물망의 설치 위치가 목표치에 거의 근접하였으며, 강섬유 보강 슛크리트에 비해 낮은 리바운드율이 발생하였다.