

다발형 폴리아미드섬유 보강 슛크리트의 제조 및 시공

전중규 코오롱건설(주) 기술연구센터 기반시설연구소 책임연구원
장진우 (주)일양토건 부사장
윤지현 코오롱건설(주) 기술연구센터 기반시설연구소 전임연구원



1. 머리말

최근 건설현장은 노동 생산성 악화로 시공성 개선과 인력 효율을 극대화 시킬 수 있는 다양한 제품 및 공법 사용에 대한 필요성이 나날이 증대되고 있다. 터널 시공분야에 있어서도 NATM(New Austrian Tunneling Method) 공법이 활발하게 적용되면서 시공 상의 편리, 공기단축, 보강특성 향상 등의 이유로 섬유보강 슛크리트가 사용되기 시작하였으나, 새로운 기술에 대한 효과적인 설계적용 미비 및 비용 상승 등으로 실제 현장에서의 효율성은 기대에 못 미치고 있는 실정이다. 이에 본 고에서는 기존의 강섬유 보강 슛크리트의 시공성, 안전성, 내구성 및 경제성, 등의 문제점을 개선한 폴리아미드섬유 보강재, 즉 직경 20 μ m의 미세섬유를 다발형 단일개체로서 공기 압출성형을 통해 비표면적을 크게 하여 부착성을 향상시키고, 섬유의 표면을 계면 활성제로 개질하여 분산성을 향상시킨 폴리아미드섬유 보강 슛크리트의 기초자료 및 성능을 고찰하고 적용 및 활용방안을 모색하고자 한다.

2. 기존 강섬유 보강 슛크리트 기술동향 및 문제점

기존의 슛크리트 시공에 있어 초기에는 와이어메쉬를 암반에 부착시킨 다음 그 위에 슛크리트를 타설하는 방법을 사용하였다. 하지만 이는 반발률이 크고 와이어메쉬 설치기간의 과다 소요 및 정확한 설치가 곤란한 점 등으로 공기가 지연되고 비용이 증가하는 단점이 있다. 따라서 시공 상의 편리, 공기단축, 보강특성 향상 등의 이유로 섬유보강 슛크리트가 사용되기 시작하였다. 이중 대표적으로 사용되고 있는 것이 강섬유 보강 슛크리트로서 기존의 와이어메쉬를 사용

한 공법보다 시공이 간편하고 여굴 부위의 밀실한 충전이 얻어지며, 강도 및 인성특성이 우수하고 빠른 보강이 가능한 장점 등으로 인해 적용이 늘고 있다. 국내의 경우 최근 들어 강섬유의 국산화가 이루어지고 강섬유 보강 슛크리트 치침이 수립되는 등 고속도로 터널 공사를 중심으로 강섬유 보강 슛크리트의 적용이 늘고 있다. 하지만 강섬유 보강 슛크리트는 그림 1 (a), (b)와 같이 혼합시의 뭉침 현상, 타설 시의 노즐 및 압송호스 막힘 현상과 강섬유의 튼 및 반발률이 많이 발생되어 휨인성 및 품질 저하 문제가 발생하고 있다. 특히 강섬유는 그림 1 (c)와 같이 내수성 및 내산성이 좋지 않아 부식으로 인한 균열 및 박리현상의 발생, 고가의 가격 등이 단점으로 지적되어 있다(그림 1).



(a) 분산 및 부착성능 불량 (b) 반발률 과다 (c) 부식 발생

그림 1. 강섬유 보강 슛크리트의 문제점

3. 다발형 폴리아미드섬유 보강 슛크리트 제조 및 특성

3.1. 기술 및 공법의 내용

다발형 폴리아미드섬유 보강 슛크리트는 기존 강섬유 보강 슛크리트의 문제점을 개선하기 위하여 국내에서 개발·생산한 것으로 강섬유와 비교하여 단가가 낮으며, 구부러지

기 쉬운 형상을 가지고 있어 스폿크리트 내에서 배합 성능이 우수하다. 또한, 다발형 폴리아미드섬유는 표면에 분산제가 코팅되어 있어 분산성이 우수하며, 부착성능 또한 우수하여 스폿크리트의 품질향상에 기여한다.

본 고에서 소개하는 다발형 폴리아미드섬유는 그림 2와 같이 심사(Core yarn)와 초사(Effect yarn)인 멀티필라멘트가 서로 교압의 공기로 교락되어 제조되며, 심사와 초사를 동일한 소재 또는 서로 다른 종류의 소재로 구성할 수 있다. 또한, 다발형 폴리아미드섬유는 기존 스폿크리트에 사용되는 강섬유와 비교하여 동등 이상의 강도 및 성능을 확보하여 섬유 단가가 낮아 원가절감이 가능하며, 기존 스폿크리트 보강재와 달리 구부러지기 쉬운 형상을 나타내어 스폿크리트 내에서 배합 성능이 우수하다.

다발형 폴리아미드섬유는 타 보강 섬유와 차별화되게 그림 3 (a)과 같이 윤활제, 계면활성제 및 대전방지제가 적정 비율로 혼합된 분산제가 코팅되어 있다. 이와 같이 섬유 표면에 코팅된 분산제는 친수기와 친유기로 구성되어 있어 스폿크리트 내에서 섬유 간의 정전기적 반발력으로 분산성을 촉진시켜 섬유 뭉침 현상의 최소화를 가능하게 한다. 또한 다발형 폴리아미드섬유는 스폿크리트 믹싱시 끝단의 풀립과 섬유 표면에 다수의 루프가 형성되어있어 시멘트 경화체와 섬유 간의 부착성능이 양호하게 발현되어 스폿크리트의 품질향상에 기여한다(그림3 (b)~(d)).

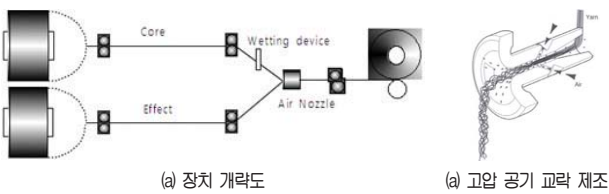


그림 2. 다발형 폴리아미드섬유 제조

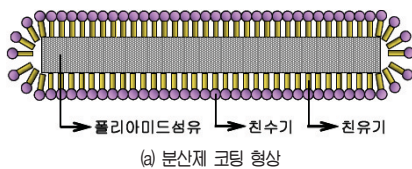


그림 3. 다발형 폴리아미드섬유의 형상 및 특성

이렇게 개발, 제조, 생산된 다발형 폴리아미드섬유의 특징을 기존의 강섬유 및 구조용 합성섬유와 비교하면 표 1과 같다.

표 1. 섬유 물성 및 특징

종류	물성	밀도 (g/cm ³)	길이 (mm)	굵기 (mm)	형상비 (l/d)	인장강도 (MPa)	비고
다발형 폴리아미드섬유		1.14	30	0.42	71	594	화학저항성 우수
강섬유		7.85	30	0.50	60	810	부식 발생
구조용 합성섬유		0.91	50	0.50	100	450	화학저항성 우수

3.2 다발형 폴리아미드섬유 보강 스폿크리트의 성능 검토

그림 4~6은 다발형 폴리아미드섬유를 최적의 양으로 혼합하여 제작한 스폿크리트(PA0.6), 섬유를 혼합하지 않은 스폿크리트(Plain), 강섬유 보강 스폿크리트(SF0.5), 기존에 개발된 구조용 합성섬유(PP, Polypropylene) 보강 스폿크리트(PP0.5)의 압축강도, 휨강도 및 등가휨강도비 시험 결과를 나타낸 것이다.

그림 4에서 확인할 수 있듯이, 모든 스폿크리트 시험체는 터널 설계기준에서 제시한 재령 28일의 압축강도 21MPa를 만족하는 결과를 나타내었으며, 섬유를 혼합하지 않은 스폿크리트가 다발형 폴리아미드섬유 보강 스폿크리트와 근소한 차이를 두고 가장 큰 압축강도를 나타내었다.

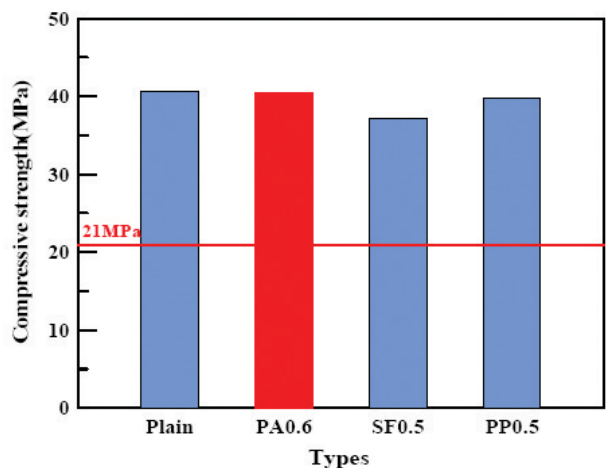


그림 4. 섬유 종류별 스폿크리트의 압축강도

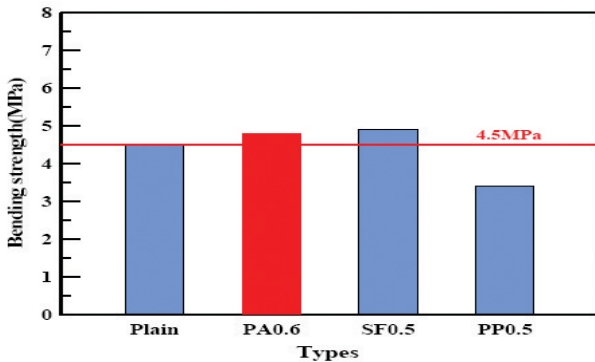


그림 5. 섬유 종류별 숯크리트의 휨강도

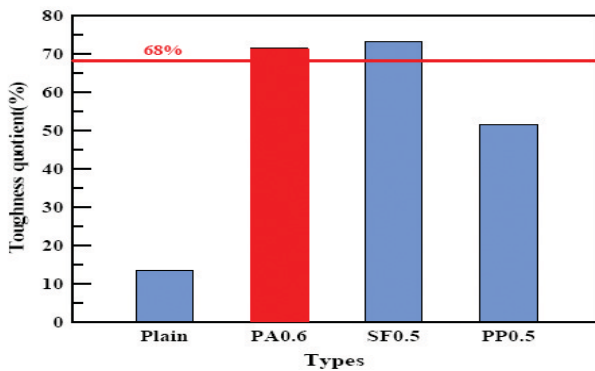


그림 6. 섬유 종류별 숯크리트의 등가휨강도비

터널내 시공되는 숯크리트에 있어서 터널 설계기준에서는 재령 28일의 휨강도가 4.5MPa 이상, 휨인성을 나타내는 등가휨강도가 3.0MPa 이상을 만족해야 한다고 규정되어 있다. 더불어 한국도로공사 전문시방서에서는 등가휨강도비를 68% 이상으로 규정하고 있다. 그림 5와 6에서 확인할 수 있듯이, 다발형 폴리아미드섬유 및 강섬유를 혼입한 숯크리트의 경우는 이상의 규정을 모두 만족하는 좋은 결과를 나타내었지만, 구조용 합성섬유를 혼입한 숯크리트는 설계기준 및 시방서 규정에 미달하는 결과를 나타내었다.

4. 기술의 적용 및 활용방안

다발형 폴리아미드섬유 보강 숯크리트는 사용 목적, 지반

조건, 시공성, 등을 고려하여 배합설계 되며, 터널 설계 목적과 기준에 충분히 부합하는 강도 및 인성을 확보하고, 기존 숯크리트보다 반발률 및 분진 발생을 최소화할 수 있으며, 섬유 부식이 발생되지 않아 충분한 내구성을 확보하여 터널의 공용기간 동안 소요의 기능을 발휘할 수 있다(그림 7).

구조물에 대한 숯크리트의 활용측면에서 다발형 폴리아미드섬유 보강 숯크리트는 숯크리트의 고성능화에 의해 구조물의 특성 및 환경조건에 맞는 다양한 적용이 가능하다. 즉 터널 이외에 부식문제가 특히 우려되는 운하, 수로 등의 수리구조물, 지하 저장기지, 지하철 및 운하, 하수처리장, 사면 안정 등 용도에 따라 다양하게 적용될 수 있다.

5. 맺음말

우리나라는 국토 면적의 70% 이상이 산지를 이루고 있고, 암반 조건도 비교적 양호하여 터널 굴착이 유리한 암반으로 구성되어 있어서 환경 훼손이 상대적으로 적은 터널공법이 우세하게 적용되고 있다. 특히, 최근의 기존 철도 터널의 복선화 및 고속화, 국가 균형발전을 위한 동서/남북 축의 고속도로, 수도권 광역교통망 및 고속도로 등의 신설 계획 등이 발표되면서 향후 10년 이상 터널건설이 꾸준히 이루어질 것으로 예상되고 있다. 이러한 흐름에 발맞추어 개발된 다발형 폴리아미드섬유 보강 숯크리트는 현재와 미래에 다수 건설될 터널 시공현장의 숯크리트 고성능화를 달성시킬 뿐만 아니라, 고기능성 섬유의 재료적 장점을 살려 더욱 우수한 터널구조물의 시공이 가능하며, 효율적인 활용 및 적용을 통해 공사비 및 유지관리비 절감 등을 도모하여 건설 환경 변화에 능동적으로 대처할 수 있을 것으로 기대된다.

- 전중규 e-mail : jkjeon31@kolon.com
- 장진우 e-mail : jangjw@iy.co.kr
- 윤지현 e-mail : yjh0708@kolon.com



(a) 다발형 폴리아미드섬유



(b) 굳지 않은 / 굳은 다발형 폴리아미드섬유 보강 숯크리트



(c) 숯크리트 구조체 형성

그림 7. 개발된 다발형 폴리아미드섬유의 적용