

철도터널 쉴드 TBM에서의 강섬유 보강(SFRC) 세그먼트 적용성 연구

Study on the applicability of SFRC segments in railway shield TBM tunnel

고성일 †, 문우형*, 백진호**, 최항석***, 김범주****, 김동석*****

Koh Sungyil †, Moon Woohyoung*, Baek Jinho**, Choi Hangseok***, Kim Bumjoo****, Kim Dongseok*****

초 록 철도터널 TBM의 적용사례가 지속적으로 증가되는 추세에서 쉴드 TBM 세그먼트의 재료 다변화를 통하여 경제적 설계·시공을 위한 노력이 이어지고 있다. 국가철도공단을 주축으로 시행중인 “철도터널 TBM활성화를 위한 기술적·제도적 개선방안 수립연구”에서는 국내 최초로 강섬유 보강(SFRC) 세그먼트 적용을 위한 실규모 파괴시험 및 시험시공을 준비중에 있다. 강섬유 보강 세그먼트 적용을 통하여 경제성 확보 뿐만 아니라 터널 구조물의 균열제어, 내화성능을 향상시키는 선진 국형 터널 구조물 구축이 가능하다.

주요어 : 쉴드 TBM, RC 세그먼트, SFRC 세그먼트, Hybrid SFRC 세그먼트, CMOD Test, RILEM

1. 서 론

TBM에 의한 기계화 굴착 수요가 증가하는 추세에서 쉴드 TBM의 공사비중 30~40%를 차지하는 세그먼트의 재료 다변화 연구가 활발히 진행중에 있다. 국내의 기존 세그먼트는 100% 철근보강(RC)를 사용하고 있으나, 세계적으로 적용사례가 매우 많은 강섬유 보강 세그먼트(SFRC)의 적용을 위한 연구 및 시험시험이 진행중에 있으며, 이에 대해 소개하고자 한다.

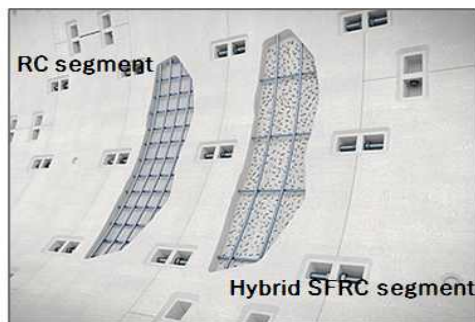


Fig. 1 RC Vs SFRC Segment

2. SFRC 세그먼트의 국내외 동향

강섬유 보강(이하 SFRC) 세그먼트는 경제성, 유지관리 용이성 및 내화성능 향상등의 목적으로 국외에서는 적용사례가 매우 많은 재료이나, 국내에서는 적용사례가 전무한 상황이다. 이를 고려하여 국내 세그먼트 설계코드인 KDS 27 40 10에서는 2023년 9월 개정을 통하여 국내에서도 SFRC 세그먼트가 사용되도록 설계코드를 개정하였다. 이러한 국가코드 개정을 통하여 전 세계적으로 사용이 빈번한 SFRC 세그먼트의 사용이 기대되고 있는 상황이다. ITA WG 2의 최근 기술보고서에 따르면 총 전세계적으로 70여개의 사례분석을 통하여 철근+강섬유로 보강된 비율(Hybrid SFRC)이 29%, 강섬유만으로 보강된 비율이 71%로서 SFRC 세그먼트의 활용이 매우 활발하게 이루어지고 있다는 내용을 보고한 바 있다(Fig 2 참조).

3. 철도 TBM 터널 시험시공을 위한 실험

3.1 세그먼트 실규모 파괴시험 Case 선정

시험시공을 대상으로 하는 터널에 대하여 Hybrid SFRC 세그먼트의 철근량 + 강섬유량을 선정하기 위해서는 강섬유 콘크리트 설계코드

† 교신저자: 서하기술단 (sungyil@empas.com)

*, ** 국가철도공단 시설연구부

*** 고려대학교 건설사회공학부

**** 동국대학교 건설환경공학부

***** (주)인터컨스텍 기술연구소

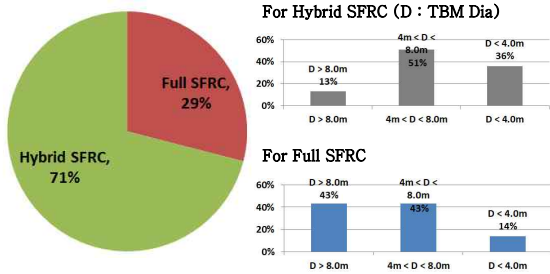


Fig. 2 SFRC Segment Construction Case

(ex, RILEM TC 162-TDF)에서 제시하고 있는 CMOD(Crack Mouth Opening Displacement) 시험을 바탕으로 SFRC 세그먼트의 설계인자를 도출하여야 하며 이는 잔류강도 평가 시험이다. 2023년도 초부터 연구중인 “철도터널 TBM활성화를 위한 기술적·제도적 개선방안 수립연구”에서는 SFRC 세그먼트 설계를 위하여 CMOD Test를 기수행하였다. 이와함께 총 8가지의 파괴시험 케이스 선정 및 각각의 케이스에 대한 실규모 파괴시험을 수행하였다. 모든 파괴시험 케이스는 구조계산 결과 안전성이 확보되는 조건이나, 파괴시험에서 원안설계 이상의 파괴강도를 보이는 원안동등이상 조건과 경제성 강화 조건의 케이스로 나누어 파괴시험 케이스를 선정하였다. 본 논문에서는 콘크리트 강도 60MPa(원설계 강도조건)에 해당하는 파괴시험 그래프만을 제시하였다.

Table 1 SFRC Segment Specimen Case

f_{ck} (MPa)	Steel fiber amount (kg)	Re-bar	Specimen No.	Remark
60	0	H16@200	60-1-N	Original design condition
	30	H16@250	60-2-N	Equivalent performance condition
	20	H16@350	60-3-N	Economic enhancement condition
	40	-	60-4-N	
50	0	H16@200	-	Economic enhancement condition
	30	H16@250		
	20	H16@350		
	40	-		

3.2 실규모 파괴시험 결과

콘크리트 강도 60MPa에 대한 파괴시험 케이스 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

① 원안설계(RC 세그먼트) 동등이상 조건의 Hybrid SFRC 세그먼트 파괴강도는 철근만으로 보강된 RC 세그먼트 대비 높은 파괴하중을 보였으며, 이에 따라 강섬유의 구조적 저항능력이 발휘됨을 확인하였다.

② 초기 균열하중 값은 RC 세그먼트가 제일 낮은 값을 보였다. 이를 통하여 강섬유의 균열제어 능력이 우수함을 확인하였다.

이러한 파괴시험 결과를 이용하여 현재 시공중인 철도건설 00 사업에서 시험시공을 수행할 예정이다.



Fig. 3 Segment failure test (2024. 3. 29)

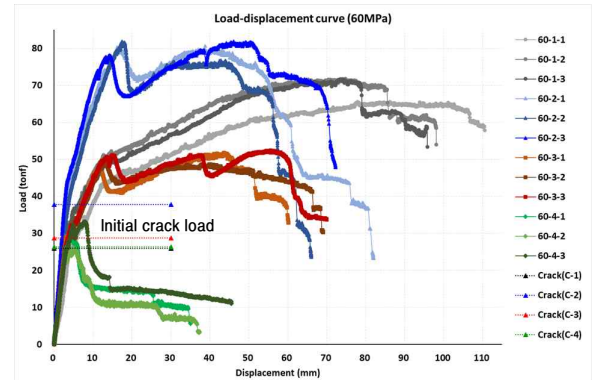


Fig. 4 RC Vs SFRC Segment load-displacement curves

4. 결론

전세계적으로 빈번히 사용되는 SFRC 세그먼트를 국내 최초로 철도터널에 적용하기 위한 다양한 검토 및 시험을 수행하였다. 국내 TBM 저변확대가 되고 있는 상황에서 본 연구 과제에서 수행중인 시공성 및 경제성 확보를 위한 SFRC 세그먼트 연구는 국내 저변확대를 위한 기틀 마련에 기여할 것으로 기대된다.