

강섬유 특성이 슛크리트 품질에 미치는 영향

Quality Evaluation of shotcrete due to Properties of Steel Fiber

류 종 현* 김 동 원** 전 현 규***
Ryu, Jong-Hyun Kim, Dong-Weon Jeon, Hyun-Kyu

ABSTRACT

Steel Fibre Reinforced Shotcrete(SFRS) is one of the main tunnel support along with the rock bolt during the excavation and after the completion of the tunnel. In the standard qualification of the SFRS defined by Korea Highway Corporation, 28 day core specimen has to meet the compressive strength of 19.6 MPa and over 90 % fibre contents. Furthermore, for the 28 days brick shaped specimen made by shooting, flexural strength should be over 4.4 MPa and flexural toughness ratio which can be calculated from flexural toughness factor has to meet more than 68% of flexural strength.

In shotcrete, accelerating agent is added for the rapid strength development. Silicate and aluminate type agents are known to develop shotcrete strength rapidly, however, has such problem to degrade the middle and long term strength. Hence, using poly carboxylic super plasticizer, it was aimed to enhance the quality of the shotcrete with the lower water-cement ratio and the same level of workability. The present paper shows the part of the field test result and its analysis.

1. 서론

강섬유보강 슛크리트는 록볼트와 함께 굴착중인 터널의 안정성뿐만 아니라 시공완료 후 터널 안정성을 확보해주는 주지보재이다. 고속도로공사에서 규정하고 있는 강섬유보강 슛크리트 품질기준은 재령 28일 코어 압축강도 19.6MPa 이상, 강섬유 혼입률 90% 이상을 만족해야 하며, 동시에 슛팅에 의하여 제작된 재령 28일 휨강도 4.4MPa 이상 및 등가휨강도로 계산된 휨인성계수는 휨강도의 68% 이상을 만족해야만 한다.

스�크리트는 공사특성상 빠른 강도 발현을 위하여 급결제를 사용하고 있으나 실리케이트계 및 알루미늄이트계 등의 무기염계 급결제는 강도발현이 빠른 반면 슛크리트의 중·장기강도를 크게 저하시키는 것으로 알려져 있다. 폴리카본산계 고성능감수제를 사용함으로써 슛크리트 제조시 동일 작업성을 확보하면서 물-시멘트비를 감소시켜 강도를 증진시키고, 강도 증진에 따른 휨인성계수율에 대한 증진을 위하여 강섬유 형태변화, 강섬유의 인장강도를 변수를 이용하여 현장시험시공을 수행하였다. 슛크리트의 휨인성에 대한 변화를 알아보기 위하여 현장시험시공 결과의 일부를 정리한 것이다.

* 정회원, GS건설 기술연구소 선임연구원

** 정회원, GS건설 토목사업본부 대전-당진간 고속도로 6공구 시험실장

*** 정회원, GS건설 기술연구소 선임연구원

2. 시험개요

2.1 사용재료 및 배합

본 연구에 사용된 강섬유는 일반적으로 사용되는 형상비 60($\phi 0.5 \times 30\text{mm}$)에 인장강도 686MPa 이상인 제품 및 기존 강섬유에 비해 탄소함유량이 높은 재질의 제품과 슛크리트 내부에서 앵커링효과를 높이기 일반 Hooked end 형태 및 Double Hooked 형태의 강섬유를 사용하였다. 또한 강섬유 투입량은 고속도로공사 표준배합 상에 나와 있는 40kg/m^3 (용적비 0.5%)을 투입하였다.

고성능 감수제는 감수능력 및 슬럼프 유지능력이 뛰어난 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하였으며, 그중에서도 슛크리트의 점착력을 증진시키기 위하여 점성을 일부 강화시킨 제품을 비교하였다. 표 1은 현장 시험시공시 배치플랜트에서 생산한 슛크리트 혼합물의 배합으로서 점성을 증진시킨 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용한 경우 단위수량을 약 20kg/m^3 정도 감소시키면서 유동성 확보할 수 있었다.

표 1. 시험시공에 사용한 배합표 (표면수 보정)

| 배합 | G_{\max} (mm) | Slump (cm) | S/a (%) | W | C | S | G | 급결제 (%) | 고성능감수제(%) | | 강섬유 (kg/m^3) |
|--------|--------------------|---------------|------------|-------------------|-----|------|-----|------------|-----------|-----|----------------------------|
| | | | | (kg/m^3) | | | | | 일반 | 고점성 | |
| Type-A | 10 | 11.5 | 60 | 195 | 480 | 1007 | 647 | 5 | 0.5 | - | 40(일반) |
| Type-B | 10 | 10 | 60 | 172 | 480 | 1008 | 682 | 5 | - | 0.5 | 40(일반) |
| Type-C | 10 | 10 | 60 | 173 | 480 | 1007 | 677 | 5 | - | 0.5 | 40(탄소량) |
| Type-D | 10 | 7.5 | 60 | 174 | 480 | 1007 | 681 | 5 | - | 0.5 | 40(더블후크) |

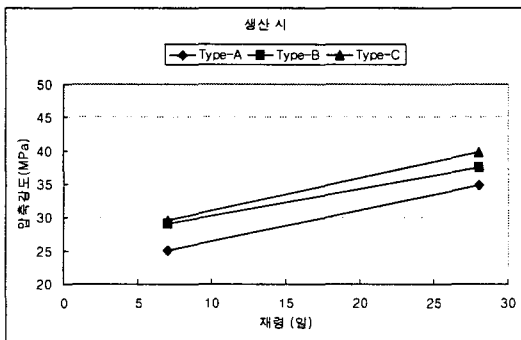
급결제 : 알루미늄이트제

2.2 시험계획

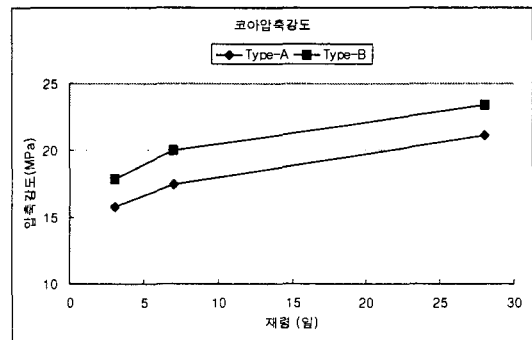
시험은 슛크리트 혼합물을 현장 배치플랜트에서 생산단계 품질과 타설완료후 품질(코어 공시체의 압축강도 및 휨강도, 휨인성)을 평가하였다. 압축강도와 휨강도, 휨인성 시험은 재령 7 및 28일에 수행하였다.

3. 시험결과

3.1 압축강도



(a) 슛크리트 혼합물 B/P 제작 강도



(b) 패널 슛팅후 코어 압축강도

그림 2. 슛크리트 압축강도 측정결과

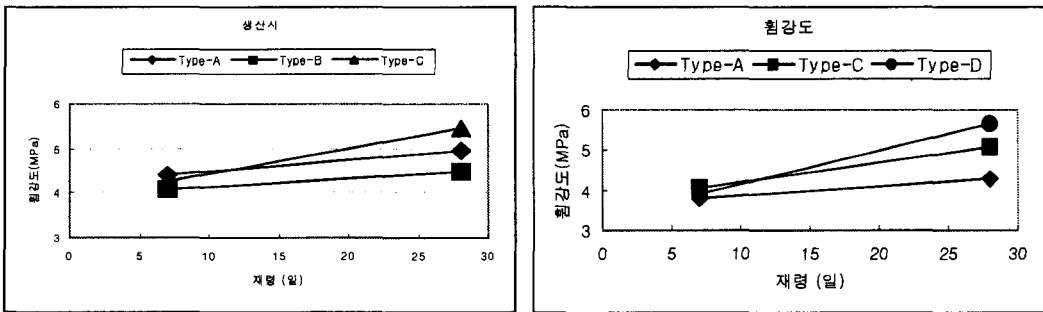
배치플랜트에서 생산된 슛크리트 혼합물의 압축강도 측정결과를 정리한 것이 그림 1 (a)이다. Type-A와 Type-B는 폴리카본산계 유동화제의 점성도 및 제품변경에 따라 투입수량을 약 20kg 정도 줄임에 따라 강도 증진이 나타난 것으로 판단되며, 강섬유변경에 따른 압축강도는 큰 변화가 없는 것으로 판단된다. 기존 연구결과에서도 강섬유가 압축강도에 미치는 영향이 적은 것으로 나타난다.

숫팅에 의한 품질변화를 고찰하기 위하여 박스몰드를 제작하여 코어공시체를 소정의 재령에서 채취하였다.(그림 1 (b) 참조) 코아압축강도는 배치플랜트에서 생산한 콘크리트와 비교하여 급결제 및 코아 작업시 발생하는 시편 교란현상에 의하여 강도가 약 60% 정도인 것으로 나타났으며, 역시 Type-B에 비하여 Type-A의 압축강도가 약 10~15%정도 증진된 것을 알 수 있었다.

3.2 휨강도

스�크리트 혼합물 생산단계 및 숫팅후 휨강도 측정결과를 정리한 것이 그림 3이다. 휨강도 측정결과, 생산단계에서 제작된 공시체의 재령 28일 휨강도는 Type-A과 비교하여 Type-C는 약 10% 정도 증진되었으며, Type-B은 약10%정도 감소되었다. 숫팅으로 제작된 시편의 경우, Type-A와 비교하면, Type-C는 약 20%정도 증진되었으며, Type-D는 약 33%정도 증진된 것으로 알 수 있었다.

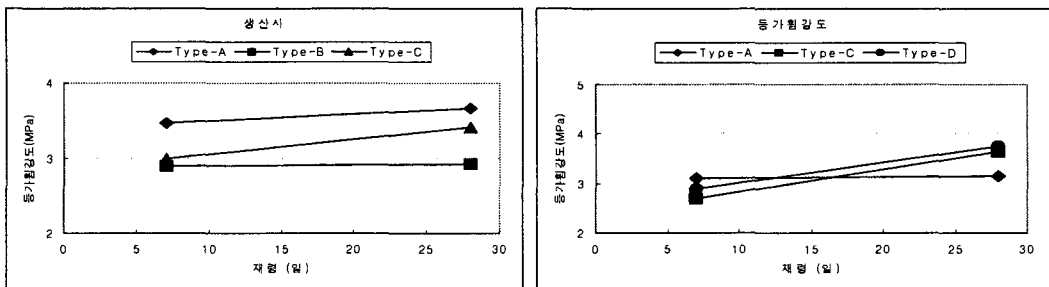
일반적으로 강섬유의 특성이 슛크리트의 혼합물의 휨강도에 미치는 영향은 미미한 것으로 알려져 있으나 본 연구결과와 같이 섬유인장강도 및 형상에 따라 휨강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 섬유를 혼입한 경우 1차 균열발생 후에도 섬유와 시멘트 매트릭스의 부착효과로 인하여 균열이 진전되지 않고 완전파괴 시 하중이 증가하기; 때문으로 판단된다. Type-D의 경우 강섬유의 부착효과와 더불어 폴리칼본산계 고성능감수제에 의한 단위수량 저감효과가 휨강도 증진에 기여한 것으로 판단된다.



(a) 슛크리트 혼합물 생산단계 제작 휨강도

(b) 숫팅한 혼합물의 휨강도

그림 3. 휨강도 시험결과



(a) 슛크리트 혼합물 생산단계 등가휨강도

(b) 숫팅한 혼합물의 등가휨강도

그림 4. 등가휨강도 시험결과

3.3 등가휨강도

도로공사에서 제시하고 있는 슛크리트의 품질기준은 휨강도 4.4MPa를 만족하는 동시에 휨인성계수율 68% 이상을 만족하여야 한다. 이러한 조건을 만족하기 위해서는 휨강도도 높아야 하지만 등가휨강도 역시 높아야 만이 한다. 아래 식을 살펴보면, 휨강도가 높아지고 등가휨강도의 증가가 상대적으로 작다면 휨인성계수율이 작아질 수 밖에 없다. 따라서 등가휨강도가 슛크리트의 휨인성을 평가하는 중요한 지표뿐 아니라, 강섬유의 특성을 가장 잘 나타낼 수 있다고 판단된다.

그림 4(a) 그림에서 보면, 생산단계에서는 등가휨강도는 Type-A가 가장 크게 나타났으며, Type-C가 A에 비하여 17%정도 낮게 나타났다. 그림(b)에서는 Type-A에 비하여 Type-B, C가 약 25% 정도 증진된 것으로 알 수 있다. 이것은 강섬유 자체의 인장강도 및 앵커링 효과가 더 증진되어 슛크리트의 초기 균열 이후 인성이 증진된 것으로 판단된다. 이러한 결과는 휨강도가 증진과 함께 균열 후의 인성 증진을 나타내는데 효과적이라 판단된다.

4. 결론 및 향후 추진계획

- 1) 슛크리트 혼합물 제조시 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하는 경우 나프탈렌계 고성능감수제를 사용한 경우와 비교하여 동일 작업성 발현을 위한 단위수량 저감효과가 있기 때문에 물-시멘트비 저감효과를 기대할 수 있으며, 이러한 결과로부터 시공전·후 압축강도 개선에 큰 효과를 얻을 수 있었다.
- 2) 슛크리트 혼합물의 슛팅에 의한 휨강도 및 등가휨강도 측정결과, 강섬유 형상 및 인장강도 증진에 따라 슛크리트의 균열 후 인성을 크게 증진시키는 것을 알수 있었으며, 폴리카본산계 고성능 감수제에 의한 휨강도 증진에 따른 휨인성계수율의 불리한 면을 감쇄시킬 수 있을 것을 판단된다.
- 3) 향후 실제 터널현장의 벽면에 슛팅해 봄으로써 펌핑력, 슬럼프 저하율 등의 시공성 및 리바운드율, 강섬유 탈락율등의 경제성을 파악할 계획이며, 아울러 실제 터널벽면에 타설된 곳을 코아작업을 통하여 압축강도, 강섬유 혼입율을 측정하여 품질에 대한 부분도 평가할 계획이다.

참고문헌

1. 고속도로 전문시방서, 한국도로공사, 2004.
2. 공사현장 품질관리실무, 한국도로공사, 1998.
3. 도로교통기술원, “강섬유보강 슛크리트의 성능향상 및 품질기준 정립” 한국도로공사 연구보고서, 2000.
4. GS건설 기술연구소, “Unlined Tunnel을 위한 고성능 슛크리트 개발 및 시공기술 연구” GS건설 연구보고서, 2004.