

매크로 섬유로 보강된 콘크리트 포장의 역학적 특성

Mechanical characteristics of Macro-Fiber Reinforced Concrete Pavement

최성용* 정우태** 박종섭***
Choi, Sung-Yong Jung, Woo-Tai Park, Jong-Sup

Abstract

This study analyzes the change of the basic characteristics of pavement concrete according to the reinforcement of macro-fiber and the results of the study can be summarized as follows. In the case of the compressive strength of the concrete, the fiber reinforced pavement concrete shows a small decreasing level compared to the basic mixing of pavement concrete (hereafter referred as 'Plain') based on the aging of 28 days. In particular, the polypropylene fiber made in Korea represents a decrease in the strength about 12% compared with that of the Plain. In the case of the tensile strength, it shows certain improvements in the tensile performance compared with that of the Plain. In particular, in the case of the polyvinyl alcohol fiber that shows the largest improvement in tensile performance, it shows an increase in its strength about 21%. In the case of the bending strength, there are no improvements in its strength in the fiber reinforced concrete compared to that of the Plain.

키 워 드 : 섬유 보강 콘크리트, 매크로 섬유, 가교 작용
Keywords : fiber reinforced concrete, macro-fiber, cross-linking function

1. 서론

시멘트 콘크리트 포장공법은 1980년대 초부터 한국도로공사가 채택하여 아스팔트 포장 공법과 함께 국내 도로공사에서 널리 사용되어지고 있다. 시멘트 콘크리트 포장은 중차량에 대한 뛰어난 적용성과 장기간의 공용성을 지녔고, 아스팔트보다 구입이 용이한 시멘트를 활용하기 때문에 시멘트 콘크리트 포장공법의 성장성은 높다고 할 수 있다.1) 그러나, 시멘트 콘크리트 포장은 아스팔트 포장에 비하여 노후시 또는 파손이 발생할 경우 이에 대한 보수가 어렵고 보수공사가 커지는 단점을 지니고 있다.2) 시멘트 콘크리트 포장의 파손의 원인으로는 지속적인 하중에 의한 파손, 소성수축 균열, 포장상하부의 온도차에 의한 균열3)등 여러 가지 원인이 있으며, 현재 사용되고 있는 시멘트 콘크리트 포장의 사용년수가 증가함에 따라 위와 같은 원인으로 인해 많은 보수 작업이 이루어지고 있는 실정이다. 이에 시멘트 콘크리트 포장 시공시 얼마만큼 장기간에 의한 파손과 초기 및 장기균열을 억제할 수 있는지가 시멘트 콘크리트 포장시공의 가장 큰 과제로 자리매김하고 있다.

이러한, 파손 및 균열발생을 억제하기 위해서는 무엇보다 인장 성능의 강화가 필요한데, 현재 일반적인 콘크리트의 경우는 인장 성능을 강화시킨 섬유보강 콘크리트의 사용이 대중화되고 있는 실정

이다. 그러나, 일반적인 콘크리트에 사용되어지는 섬유의 경우는 대체적으로 길이가 짧고 형상비가 큰 마이크로 섬유가 많이 쓰여 지고 있는데 반해, 콘크리트 포장 배합의 경우는 굵은 골재 크기가 32 mm인 골재를 사용하고 있어 일반적인 콘크리트 배합에 사용되어지는 마이크로 섬유를 사용하게 되면 골재 크기의 영향으로 인장성능 발휘에 한계가 있을 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 국내외에서 인장성능 및 균열억제의 목적으로 교량, 터널 및 스폿크리트등에서 활용되고 있는 형상비가 작고 길이가 긴 매크로 섬유를 시멘트 콘크리트 포장배합에 혼입하여 파손 및 균열억제에 대한 가능성을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

배합사항으로 W/C는 42%의 1종 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)를 사용한 일반적인 시멘트 콘크리트 포장 배합 1수준(이하 Plain)과 각 섬유 종류별로 0.2% 혼입한 5수준에 대하여, 목표 슬럼프 25±10 mm, 목표 공기량 5±1%를 각각의 실험수준이 만족할 수 있도록 표 2와 같이 배합설계하여 총 6변수를 실험 계획하였다.

* 한국건설기술연구원, 구조교량연구실, Post-Master
** 한국건설기술연구원, 구조교량연구실, 연구원
*** 한국건설기술연구원, 구조교량연구실, 선임연구원

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 반죽질기를 측정하고, 경화 콘크리트에서는 1, 3, 7, 28일 압축강도, 28일 인장강도, 7, 28일 휨강도를 측정하도록 계획하였다.

표 1. 실험계획

| 실험요인 | | 실험수준 | |
|------|------------|------|---|
| 배합사항 | W/C(%) | 1 | 42 |
| | 목표 슬럼프(mm) | 1 | 25±10 |
| | 목표 공기량(%) | 1 | 5±1 |
| | 섬유 종류 | 5 | PP1, PP2, PP3, PVA, ST |
| | 섬유 혼입율(%) | 1 | 0.2 |
| 실험사항 | 굳지않은 콘크리트 | 3 | 슬럼프, 공기량, 반죽질기(비비 실험) |
| | 경화 콘크리트 | 3 | 압축강도(1, 3, 7, 28일), 인장강도(28일), 휨강도(7일, 28일) |

표 2. 콘크리트의 배합표

| W/C (%) | 섬유 혼입율(%) | S/a (%) | AE/C (%) | SP/C (%) | W (kg/m³) | 용적배합(l / m³) | | |
|---------|-----------|---------|----------|----------|-----------|--------------|-----|-----|
| | | | | | | C | S | G |
| 42 | 0.2 | 39 | 0.02 | 0.28 | 150 | 113 | 270 | 422 |

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 3~6과 같다. 즉, 시멘트는 국내 A사산 OPC를 사용하였고, 굵은골재는 국내 대전대덕산의 골재를 사용하였으며, 잔골재는 충북옥산산을 사용하였다. 또한, SP제 및 AE제는 국내 E사의 나프탈렌계 및 음이온계를 사용하였고, 섬유는 수입산 폴리프로필렌 섬유 (이하 PP1), 국내산 폴리프로필렌 섬유 (이하 PP2), 폴리프로필렌 및 폴리에틸렌 테페프탈레이트의 합성 섬유(이하 PP3), 폴리비닐알코올 섬유(이하 PVA), 강 섬유(이하 ST)을 사용하였다.

표 3. OPC의 물리적 성질

| 구분 | 밀도 (g/cm³) | 분말도 (cm²/g) | 안정도 (%) | 응결시간(분) | | 압축강도(MPa) | | |
|-----|------------|-------------|---------|---------|-----|-----------|------|------|
| | | | | 초결 | 종결 | 3일 | 7일 | 28일 |
| OPC | 3.15 | 3 165 | 0.18 | 235 | 320 | 20.4 | 29.4 | 38.7 |

표 4. 시멘트의 화학성분 구성

| 시료 | 화학성분 (%) | | | | | | | | LSF | SM | IM |
|-----|----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| | LOI | SiO₂ | Al₂O₃ | Fe₂O₃ | CaO | MgO | SO₃ | K₂O | | | |
| OPC | 0.35 | 21.88 | 5.02 | 3.66 | 64.18 | 2.01 | 1.83 | 0.92 | 90.44 | 2.52 | 1.37 |

표 5. 골재의 물리적 성질

| 구분 | 밀도 (g/cm³) | 조립률 | 흡수율(%) | 0.08mm체 통과량(%) |
|-----------|------------|------|--------|----------------|
| 강모래 | 2.65 | 2.86 | 2.63 | 2.87 |
| 부순모래 | 2.50 | 2.62 | 1.42 | 3.0 |
| 굵은골재20 mm | 2.71 | 7.01 | 1.18 | 0.11 |
| 굵은골재32 mm | 2.70 | 6.88 | 0.58 | 0.40 |

표 6. 섬유 종류별 특성

| 구분 | PP1 | PP2 | PP3 | PVA | ST |
|--------|------|-------|---------|------|------|
| 밀도 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 1.30 | 7.86 |
| 형상비 | 56 | 50~83 | 75~100 | 300 | 65 |
| 길이(mm) | 50 | 50 | 30 | 12 | 35 |
| 직경(mm) | 0.89 | 0.6~1 | 0.3~0.4 | 0.04 | 0.54 |

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 트윈샤프트 믹서를 사용하여 잔골재, 시멘트, 섬유 및 굵은골재를 투입하고, 30초간 건비빔을 저속(20 rpm)으로 실시하였다. 건비빔 후 물을 넣고 60초간 중속(30 rpm)으로 비빈 후, 다시 혼합제를 첨가하여 고속(40 rpm)으로 90초간 비빔하여 콘크리트를 제조하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였으며, 공기량은 KS F 2421 규정에 따라 실시하였고, 반죽질기(비비 실험)은 KS F 2427 규정에 따라 실시하였다. 경화 콘크리트의 압축, 인장, 휨시험은 해당 규격에 맞는 공시체를 제작하여 양생온도 20℃가 유지되도록 1일간 기중보양 양생을 실시한 후 탈형하여, 수중 양생조에서 소요재령까지 양생한 후 KS F 2405, KS F 2423, KS F 2408 규정에 의거하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1은 섬유 종류별 비비 타임을 나타낸 그래프이다. 비비 타임은 Plain이 약 20초정도의 비비 타임을 나타냈고, 섬유가 혼입된 배합의 경우에 Plain과 비교하여 유사하거나 소폭 증가하는 경향을 나타냈는데, 콘크리트 포장 배합지침서9)에서 제시하고 있는 기준 시간인 30초에 적절히 부합하였다. 또한, 섬유혼입에 따른 비비 타임의 증가 원인으로서는 섬유혼입으로 인한 점성 증가가 콘크리트 내부의 결합재간에 결합성을 강화하여 퍼짐을 억제함에 따라 나타난 결과로 판단된다.

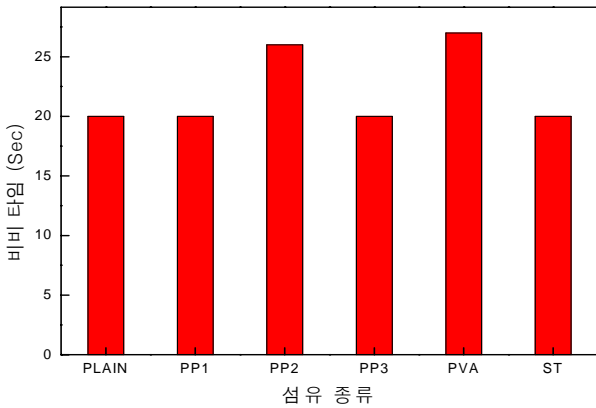


그림 1. 섬유 종류별 비비 타임

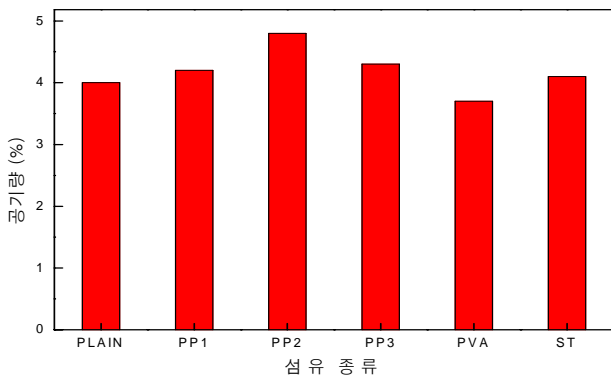


그림 2. 섬유 종류별 따른 공기량

그림 2는 섬유 종류별 공기량을 나타낸 그래프이다. 일반적으로 섬유가 혼입되게 되면, 콘크리트와 섬유와의 부착계면이 발생하게 되고 부착계면의 공극으로 인해 공기량이 증가할 것으로 판단되었으나, PVA 섬유 혼입의 경우 공기량이 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 PVA의 친수성이 콘크리트 모체와의 부착성을 향상시켜 부착계면에서의 공극량이 감소함에 따라 나타난 결과로 사료된다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 4는 섬유 종류별 재령 경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 압축강도의 경우는 재령 28일 기준으로 Plain에 비하여 섬유 보강 콘크리트의 경우가 강도값이 감소하는 것으로 나타났는데, 특히 PP2의 경우는 약 12% 정도 강도값이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 기존의 연구문헌(4)에서도 나타나있듯이 섬유 혼입에 따라서 섬유의 뭉침현상(fiber ball)과 섬유와 콘크리트 계면사이의 공극 형성으로 인해 나타난 결과로 판단된다. 또한, PVA 섬유 혼입의 경우는 Plain와 동등한 압축강도를 나타냈는데, 이는 그림 3의 공기량과 관련하여 PVA의 친수성이 부착계면의 공극량을 감소시켜 강도성능 저하가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

그림 5는 섬유 종류별 재령 28일 인장강도를 나타낸 그래프이다. Plain와 비교하여 모든 수준에서 인장성능이 향상되는 것으로 나타났는데, 평균적으로 섬유 보강 콘크리트가 Plain 대비 약 18%

인장강도가 증가하는 것으로 나타났고, 특히, 가장 큰 인장성능 강화를 보인 PVA 섬유의 경우는 약 21%의 강도증진 효과가 나타났다. 인장성능 강화의 요인으로서는 인장력 작용하에 있어서 초기균열이 발생한 이후에 크랙 발생 단계에서 콘크리트 내에 혼입되어 있는 매크로 섬유들이 충분한 가교력을 발휘하여 응력의 저하 없이 응력이 증가하는 변형경화 특성(Strain hardening)이 나타나게 됨에 따라 발생된 결과로 판단된다.(5,6)

그림 6은 섬유 종류별 재령 경과에 따른 휨강도를 나타낸 그래프로써, 휨강도의 경우 Plain에 비해 강도 증진 효과가 발생하지 않고 오히려 PP2, PP3, PVA 섬유의 경우는 휨강도가 소폭 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 매크로 섬유의 경우 휨응력 발생시 콘크리트 내부에서 발생하는 미세균열을 효과적으로 제어하지 못하고 초기균열 주변에 1~2개의 미세균열만이 발생되어 매크로 섬유가 재성능을 발휘하지 못함으로써 중앙부 응력을 적절히 분배하지 못함에 따라 발생된 결과로 판단된다. 이에 따라 휨강도 증진을 위해서는 마이크로 크랙 억제에 효과적으로 작용하며 멀티플 크랙(Multiple crack)을 유도할 수 있는 마이크로 섬유를 소량 포함시켜 마이크로 섬유 및 매크로 섬유의 복합사용에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

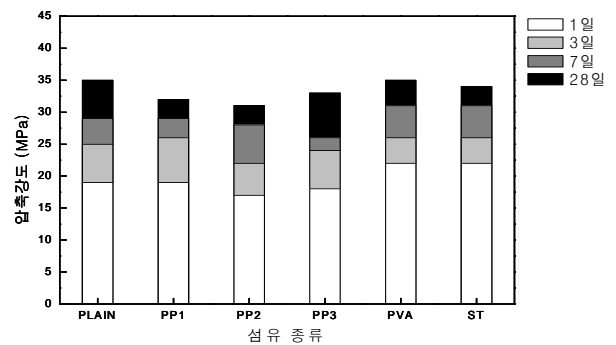


그림 3. 섬유 종류별 재령 경과에 따른 압축강도

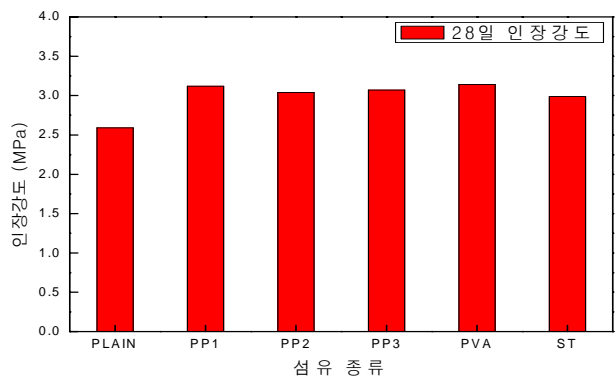


그림 4. 섬유 종류별 재령 28일 인장강도

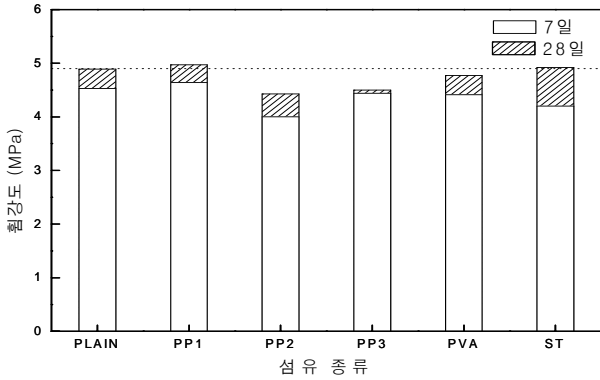


그림 5. 섬유 종류별 재령경과에 따른 휨강도

3. 결 론

본 연구에서는 매크로 섬유 보강에 따른 시멘트 포장 콘크리트의 기초적 특성 변화에 대하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 섬유 종류별 비비 타임 시험 결과 비비 타임은 Plain이 약 20초정도의 비비 타임을 나타냈고, 섬유가 혼입된 배합의 경우에 Plain과 비교하여 유사하거나 소폭 증가하는 경향을 나타냈는데, 콘크리트 포장 배합지침서에서 제시하고 있는 기준 시간인 30초에 적절히 부합하였다.
- 2) 압축강도의 경우는 재령 28일 기준으로 Plain에 비하여 섬유 보강 콘크리트의 경우가 강도값이 소폭 감소하였으며, 특히 PP2의 경우는 Plain 대비 약 12 % 정도 강도가 감소하였다.
- 3) 인장강도의 경우는 Plain와 비교하여 모든 수준에서 인장성능이 향상되는 것으로 나타났는데, 특히, 가장 큰 인장성능 강화를 보인 PVA 섬유의 경우는 약 21%의 강도증진 효과가 나타났다.
- 4) 휨강도의 경우는 Plain에 비해 섬유 보강 콘크리트에서 강도 증진 효과가 발생하지 않아, 이를 보완하기 위한 마이크로 섬유 복합 혼입등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김무한, 김재환, 김용로, 김영덕, 마이크로 및 매크로 섬유에 의해 보강된 고인성 시멘트 복합재료의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국 콘크리트학회, 2005년 콘크리트학회 논문집, 제19권 제2호 pp.263~271, 2005.4
2. 박대근, 서영찬, 안성순, 김형배 ; 무근 콘크리트포장 초기균열 거동 연구, 2004년 한국도로학회 논문집, 제6권 제2호, pp.47~59, 2004.6

3. 시멘트 콘크리트 포장 배합설계 잠정지침, 국토해양부, 2009.5
4. 신경준, 장규현, 김의성, 마이크로 섬유보강 모르타르의 휨 인성과 균열 특성의 상관관계, 대한 토목학회, 2008년 대한 토목학회 논문집, 제28권 제2A호, pp.249~257, 2008.3
5. 양성철, 박광현, 권순민 ; 국내 도로 콘크리트포장 시공 현황, 한국도로포장학회, 2000년 한국도로포장학회지, 제2권 제3호, pp.11~23, 2000.9
6. 엄주용, 양성철, 김시한 ; 포장균열 및 노면 반사균열 억제방안 연구, 한국도로공사 도로연구소 연구보고서, 2000.10
7. 전 에스더, 박완신, 한병찬, 양일승, 이영석, 윤현도, 탄소섬유와 매크로 섬유를 사용한 고인성 섬유보강 시멘트 복합체의 역학적 특성, 대한 건축학회, 2004년 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 구조계 제24권 제2호, pp.115~118, 2004.10
8. Bentur, A., mindness, S.; Fibre reinforced cementitious composites, Elsevier Applied Science, 1992
9. Victo C. Li and Large Volume ; High-Performance Applications of Fibers in Civil Engineering, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 83, pp.660~686, 2002