

폴리프로필렌 섬유보강콘크리트의 섬유형태에 따른 역학적 특성에 관한 연구

A Study on the Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete According to the Fiber Types

박승범*

오광진**

박병철***

장석호***

이봉춘***

Park, Seung Bum Oh, Kwang Chin Park, Byung Cheol Chang, Seok Ho Lee, Bong Chun

Abstract

The result of an experimental study on the mechanical properties of different types of polypropylene fiber reinforced concrete are presented in this paper. This study has been performed to obtain the properties of PFRC such as slump, Vee-Bee time, compressive strength, tensile strength, flexural strength, toughness and resistance to impact. The test variables are fiber content, fiber types, fiber length and W/C ratio.

Polypropylene fibers were effective in reinforcing the matrix. A remarkable increase in toughness was observed by the addition of polypropylene fibers.

1. 서 론

건설재료에 대표적으로 사용되는 시멘트 또는 콘크리트의 취성적 성질을 개선 및 보강하기 위하여 콘크리트에 단섬유상의 섬유를 시멘트 매트릭스중에 랜덤균등 분산시켜, 인장강도, 휨강도 및 인성을 대폭 개선시키려는 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 보강용 섬유로는 대표적으로 강섬유, 탄소섬유, 유리섬유, 폴리프로필렌섬유등이 있어 이미 선진국에서는 이러한 섬유를 보강하는 연구개발을 통해 포장판의 오버레이, 교량상판, 방음벽, 칸막이벽, 프리악세스플로어, 헬구조 등의 토목, 건축 구조물의 구조 및 비구조요소에 적극적으로 활용되고 있으나, 국내에서는 실용화를 위한 연구개발 및 응용연구 실험은 대단히 미진하여 주요 토목, 건축 구조물에 적용하기 위해서는 선진국 수준의 FRC의 제조 기술 개발 및 용도전개가 시급한 실정이다. 그중 폴리프로필렌 섬유는 다른 섬유에 비하여 가격이 저

* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 충남대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 충남대학교 대학원 석사과정

렵하고, 화학적인 안정성과 내구성이 우수하여 그 용도가 점차 증대되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 폴리프로필렌섬유의 형상별, 길이별, 혼입률에 따른 섬유보강 콘크리트의 물리적·역학적 특성에 관한 연구를 수행하였다.

2. 시험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 D사 제품의 보통포틀랜드 시멘트(비중3.14)를 사용하였다.

(2) 골재

잔골재는 충남 금강 상류에서 채취한 강모래(비중 2.59)를 사용하였고, 굵은골재(비중 2.65)는 충남 금산 H사 제품의 최대치수 19mm의 부순돌을 사용하였다.

(3) 폴리프로필렌섬유

국내 S사 제품의 치수 12mm, 19mm, 25mm의 단사형(CF TYPE)섬유와 12mm, 19mm, 25mm, 38mm, 51mm의 망사형(PM TYPE)섬유를 사용하였으며, 그 비중은 0.91에 해당하였다.

(4) 혼화제

AE감수제는 국내 M사의 Pozzolith No. 84-K를 사용하였고, 표준형 AE제로 Vinzol Resin인 AEA202를 사용하였으며, 감수제는 일본 K사 제품의 나프탈렌 설폰산염 고축합물계 Mighty 150을 사용목적에 따라 사용하였다.

2.2 배합 및 시험방법

(1) PFRC의 배합 및 믹싱

폴리프로필렌 섬유보강콘크리트의 배합은 단사형 및 망사형섬유를 혼입하여 복합체를 제조할 때 재료가 분리하지 않고, 적당한 워커빌리티를 확보하도록 시험배합을 통하여 배합조건을 선정하였으며, 그 배합은 표 1에 나타낸 바와 같다.

한편, 믹싱은 폴리프로필렌 섬유의 랜덤 균등분산과 밀실한 콘크리트의 제조를 위하여 일본 C사 제품의 섬유분산용 Omni-mixer(용량 30 l)를 사용하였고, 재료는 먼저 잔골재와 굵은골재의 전비율을하여 폴리프로필렌 섬유를 투입한 다음 시멘트와 물을 혼합하는 것으로 하였다.

(2) 시험방법

PFRC의 균지않은 성질을 고찰하기 위해 콘크리트의 슬럼프시험은 KS F 2402에 준하여 슬럼프값을 측정하였고, Vee-Bee시험은 KS F 2427에 준하여 실시하였다. 또한 PFRC의 경화한 성질을 고찰하기 위해 압축강도는 KS F 2405에 준하여 측정하였으며, KS F 2403에 의한 인장강도 시험, KS F 2408에 의하여 휨강도 시험을 행하여 휨특성을 고찰하였다.

한편, 소성수축관열에 대한 고찰을 위해 50×50×3.5cm의 패널을 제작하여 팬이 있는 항온항습기

표 1 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 배합

| W/C (%) | 혼입률 (Vol.%) | S/a (%) | 단위중량 (Kg/m ³) | | | | | | AEWRA (C×wt.%) |
|---------|-------------|---------|---------------------------|-------|-----|-------|--------|-------|----------------|
| | | | Air (%) | 시멘트 C | 물 W | 잔골재 S | 굵은골재 G | 섬유 PF | |
| 50 | 0 | 45 | 5 | 370 | 185 | 754 | 943 | 0 | C×0.25 |
| | 0.05 | | | | | 754 | 943 | 0.45 | |
| | 0.10 | | | | | 753 | 942 | 0.90 | |
| | 0.20 | | | | | 752 | 940 | 1.8 | |
| | 0.50 | | | | | 748 | 936 | 4.5 | |
| | 1.0 | | | | | 743 | 929 | 9 | |
| 54 | 0 | 48 | 5 | 375 | 203 | 781 | 865 | 0 | C×0.25 |
| | 0.05 | | | | | 780 | 865 | 0.45 | |
| | 0.10 | | | | | 780 | 864 | 0.9 | |
| | 0.20 | | | | | 778 | 863 | 1.8 | |
| | 0.50 | | | | | 775 | 859 | 4.5 | |
| | 1.00 | | | | | 768 | 852 | 9 | |

에서 12시간 양생하여 발생한 균열길이와 균열폭을 측정하고 균열면적을 계산하여 소성수축균열에 대한 특성을 분석하였으며, 내충격성을 파악하기 위해 (49.5×49.5×2.5cm)의 판공시체를 제작하여, 3kg의 강구를 판의 중앙부의 80cm높이에서 낙하시켜 뒷면에 균열이 처음 생길때와 파괴될 때까지 낙하회수를 측정하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 PFRC의 슬럼프시험 및 Vee-Bee 시험결과

단사형섬유와 망사형 섬유를 사용하여 제조된 PFRC의 슬럼프시험결과는 다음 그림 1, 그림 2과 같다.

이를 고찰하여 보면 망사형과 단사형섬유의 종류에 관계없이 섬유혼입률 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 1.0%로 증가함에 따라 슬럼프값은 현저히 저하하였고, 망사형섬유를 사용한 경우는 단사형섬유를 사용한 경우에 비해 슬럼프저하가 큰 것으로 나타났다. 이는 망사형섬유를 혼입할 경우에 섬유의 필라멘트가 끊어지면서 비표면적이 증가하여 마찰이 증대되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 물·시멘트 비 50%, 섬유혼입률 0.1%인 경우 망사형섬유의 길이별 슬럼프 시험에서는 길이가 12, 19, 25, 38, 51mm로 길어질수록 슬럼프가 최대 19% 저하하는 경향으로 나타났으며 이는 섬유길이가 길어질수록 충응집력이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

한편, PFRC의 Vee-Bee시험결과를 분석하여보면 섬유혼입률이 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 1.0%로 증가함에 따라 Vee-Bee침하도는 섬유와의 부착력이 증가되어 현저히 증가하는 경향으로 나타났으며, 섬유를 0.5%이상 혼입할 경우에는 Fiber-ball 등이 발생하므로 워커빌리티의 저하를 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한, 망사형섬유를 혼입한 경우는 단사형섬유를 혼입한 경우에 비하여 섬유혼입률 1.0%인 경우 약 1.4배 크게 나타났다.

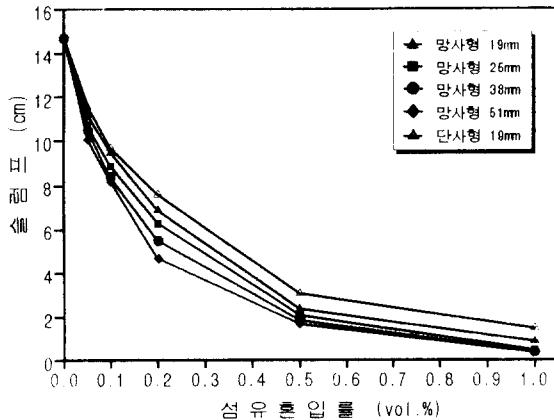


그림 1 슬럼프시험결과

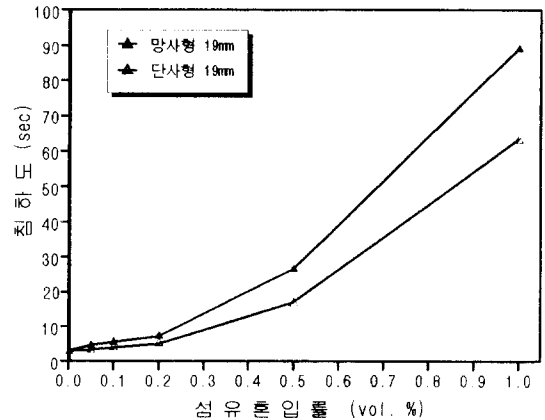


그림 2 Vee-Bee 시험결과

3.2 PFRC의 압축강도

PFRC의 배합종류별 압축강도 시험결과는 그림 3에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, 섬유종류에 관계없이 섬유혼입물 0.2%까지는 미소하게 증가하는 경향을 보였으나, 섬유를 0.5% 이상 혼입하였을 때는 섬유분산의 불량과 fiber ball의 형성으로, 워커빌리티가 저하되어 밀실한 조직을 만들기 곤란하여 오히려 압축강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 또한 망사형 섬유를 혼입한 경우에 섬유길이 12, 19, 25, 38, 51mm로 길어질수록 최대 7%까지 감소하는 경향을 나타내었고, 망사형 섬유를 혼입한 경우는 단사형 섬유를 혼입한 경우에 비하여 다소 높은 압축강도를 보였으며, 이는 공시체제조 시 망사형 섬유의 분산이 단사형 섬유에 비해 양호하기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 압축강도 하중-변위곡선으로부터 섬유의 혼입률이 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 1.0%로 증가할수록 섬유를 혼입하지 않은 경우에서 발생하는 취성파괴 현상이 현저하게 감소되었으며, 이는 수백만개의 폴리프로필렌 섬유가 콘크리트매트릭스에 견고히 부착되어 콘크리트의 취성을 크게 개선시키기 때문인 것으로 판단된다.

3.3 PFRC의 인장강도

PFRC의 인장강도 시험결과는 그림 4와 같고, 이를 고찰하여 보면 섬유종류에 관계없이 섬유혼입률이 0.2% 증가할 때까지 점진적으로 증가하였으며, 그후 0.5% 이상의 혼입에서는 점차 감소하는 경향을 보였다. 이와 같은 강도증진은 매트릭스와 부착된 섬유가 파괴하중에 이를때까지 섬유가 어느정도 하중을 분담하고 있기 때문인 것으로 판단되며, 0.5% 이상의 혼입에서는 워커빌리티 저하로 인하여 밀실한 콘크리트의 조직을 만들지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 망사형 섬유를 혼입한 경우가 단사형 섬유를 혼입한 경우에 비하여 약 4% 우수한 인장강도를 보였으며, 이는 망사형 섬유를 혼입한 경우가 섬유의 3차원 랜덤분산이 더욱 양호하기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 폴리프로필렌 섬유길이 12, 19, 25, 38, 51mm로 길어질수록 섬유혼입물 0.1%인 경우의 인장강도는 최대 6% 저하하는 경향을 나타내었으며, 이는 섬유의 길이가 길수록 믹싱시 섬유의 분산 효과가 떨어지기 때문인 것으로 판단된다.

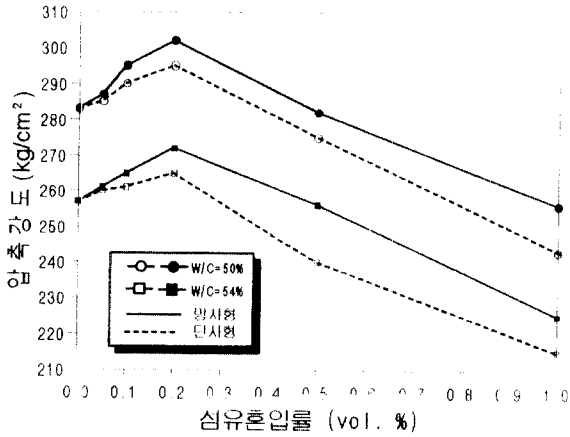


그림 3 PFRC의 섬유혼입률별 압축강도

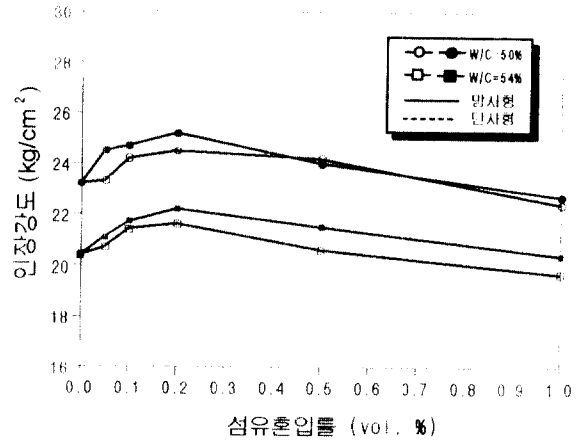


그림 4 PFRC의 섬유혼입률별 인장강도

3.4 PFRC의 휨강도특성

PFRC의 휨강도 시험을 통한 결과는 그림 5, 그림 6과 같다. 이를 고찰하여 보면 섬유종류에 관계 없이 섬유혼입률 0.2%까지, 물·시멘트비 50%인 경우 최대 22%까지 증가하는 경향을 나타내었으며, 이는 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 파괴와 균열에 대하여 섬유의 부착저항성이 크게 개선되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 망사형 섬유를 혼입한 경우는 단사형 섬유를 혼입한 경우에 비해 믹싱시 섬유분산성이 우수하여 물·시멘트비 50%, 섬유혼입률 0.2%인 경우 약 4%의 휨강도 증진효과를 나타내었다.

한편, PFRC의 에너지흡수능력(인성)은 섬유를 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 물·시멘트비 50%, 망사형 섬유혼입률 1.0%인 경우 약 4.3배로 증진되었으며, 이는 섬유혼입률이 증가함에 따라 섬유와 매트릭스와의 부착력이 증대되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 망사형 섬유길이 12, 19, 25, 38, 51mm로 증가됨에 따라 물·시멘트비 50%, 섬유혼입률 0.2%인 경우 최대 8%까지 저하하는 것으로 나타났다.

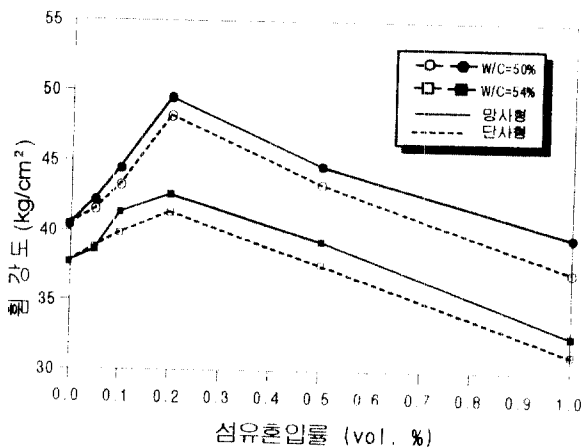


그림 5 섬유혼입률에 따른 휨강도

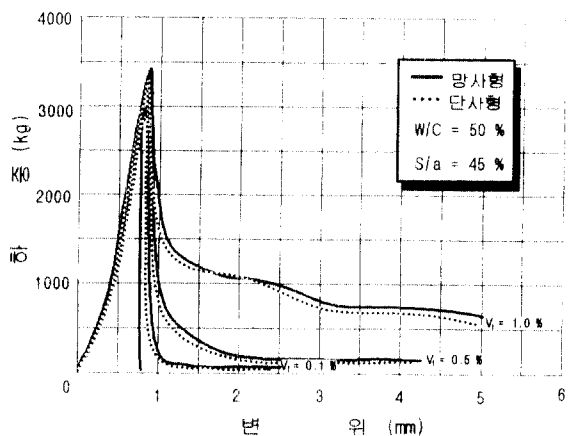


그림 6 섬유혼입률에 따른 휨하중-변위곡선

3.5 PFRC의 소성수축균열 특성

PFRC의 소성수축균열 시험 결과를 분석하여 보면, 섬유혼입률이 0.1, 0.2, 0.5%로 증가함에 따라 균열면적이 최대 7.0배까지 감소하는 경향을 나타내었고, 이는 적절한 섬유혼입이 균열억제 성능을 크게 개선시키기 때문인 것으로 판단된다. 또한 망사형 섬유를 혼입한 경우는 단사형 섬유를 혼입한 경우에 비하여 섬유혼입률 0.5%인 경우 약 13%정도의 균열억제 성능이 개선된 것으로 나타났다.

3.6 PFRC의 내충격성 특성

PFRC의 내충격성 시험결과를 고찰하여 보면 망사형 섬유혼입률 0.1, 0.2%로 혼입할 때 내충격성에는 큰 효과를 얻지 못하나, 0.5%와 1.0%로 증가함에 따라 약 2배의 충격저항성능이 증진되었으며, 최대균열 폭도 2.8배 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 가늘게 분산된 섬유의 3차원 방향으로의 에너지흡수 성능이 크게 개선되었기 때문인 것으로 나타나, 폴리프로필렌 섬유의 적정 혼입은 콘크리트 내충격성능에 효과가 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

1. PFRC의 슬럼프는 섬유종류에 관계없이 섬유혼입률이 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 1.0%로 증가함에 따라 크게 저하하는 경향을 나타내었고, 물·시멘트비 50%, 섬유혼입률 0.2%인 경우 망사형 섬유를 혼입한 경우는 단사형 섬유를 혼입한 경우에 비하여 약 10%의 슬럼프 감소의 경향을 나타내었다. 또한 망사형 섬유를 0.1% 혼입할 경우 섬유길이가 12, 19, 25, 38, 51mm로 길어질수록 최대 19% 슬럼프가 감소하는 경향을 나타내었다.
한편, Vee-Bee 침하도는 섬유혼입률이 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 1.0%로 증가함에 따라 현저히 저하하였으며, 망사형 섬유를 혼입한 경우는 단사형 섬유를 혼입한 경우에 비하여 혼입률 1.0%인 경우 약 1.4배 크게 나타났다.
2. PFRC의 압축강도는 섬유혼입률 0.2%까지는 약간 증가하였으나, 그 이상의 경우는 오히려 감소하는 경향을 나타내었고, 섬유의 길이가 12mm에서 51mm까지 길어질수록 최대 7%까지 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 망사형 섬유를 혼입한 경우에 단사형 섬유를 혼입한 경우에 비하여 다소 높은 압축강도를 나타내었다.
3. PFRC의 인장강도는 섬유혼입률 0.2%까지는 약간 증가하나 그 이후는 오히려 저하하는 경향을 나타내었고, 망사형 섬유를 혼입한 경우는 단사형 섬유를 혼입한 경우에 비해 약 4% 증가하는 경향을 나타내었으며, 이는 망사형 섬유혼입의 경우 양호한 섬유분산 효과를 나타내기 때문인 것으로 판단된다.
4. PFRC의 휨강도는 혼입률 0.2%의 경우 망사형 섬유를 사용하는 경우가 단사형 섬유를 사용한 경우에 비하여 약 4%의 강도증진 효과가 있었고, 섬유길이 51mm인 경우는 12mm를 혼입한 경우에 비해 약 5%의 강도가 저하되었으며, 이는 비빔시 짧은 섬유가 분산효과가 양호하기 때문인 것으로 판단된다. 특히 섬유혼입률이 증가함에 따라 휨인성은 최대 4.3배까지 증가되었으며, 섬유길이가 길수록 휨인성은 현저히 증가하는 경향을 나타내었다.
5. PFRC의 소성수축균열 시험에서는 섬유혼입률 0.1, 0.2, 0.5%로 증가함에 따라 균열면적이 최대

- 7.0배까지 감소하는 경향을 나타내었고, 망사형 섬유를 혼입한 경우는 단사형 섬유를 혼입한 경우에 비하여 약 10%정도 균열억제성능이 우수한 것으로 나타났으며, 이는 섬유의 균등분산이 단사형에 비하여 양호하기 때문인 것으로 판단된다.
6. PFRC의 내충격성은 섬유혼입률이 증가함에 따라 초기균열 발생 및 완전파괴까지 강구의 낙하회수가 증가하여 현저한 내충격성의 증진효과를 나타내었고, 이는 혼입된 섬유의 부착력에 의한 외부 에너지 흡수성능이 현저히 개선되기 때문인 것으로 판단된다.

감사의 말씀

본 연구는 충남대학교와 동부건설(주) 기술연구소 공동으로 수행된 건교부 '95 건설기술연구개발사업의 연구내용 중 일부를 밝히며, 본 연구를 위하여 협조하여 주신 관계당국과 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

● 참고문헌 ●

1. Zonsveld, J.J., 'Polypropylene fibre concrete' Fibre Cement and Fibre Concrete : Course Notes for Practising Civil Engineers, University of Surrey, April 1976.
2. Dardare, J., 'Contribution to the study of the mechanical behaviour of concrete reinforced with polypropylene fibres,' Fibre-reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, London 1975, pp. 227-236
3. 박승범, 섬유보강 콘크리트의 특성과 최근의 기술 - 폴리프로필렌 및 천연섬유 보강 콘크리트-, 한국 레미콘공업협회지, 1992.
4. 오병환 외, 폴리프로필렌 합성섬유보강 콘크리트의 강도 측정 및 건조수축균열제이 특성에 관한 연구, 한국 콘크리트 학회지, 1996년도 봄학술발표회 논문집, 1996
5. Swamy, R.N., Mangat, P.S., and Rao, C. V. S. K., 'The Mechanics of Fibre Reinforcement of Cement Matrices,' Fiber Reinforced Concrete, ACI SP-44, 1974, pp. 1-28
6. ASTM C1018-85 : Standard Test Method for flexural toughness and first-crack of Fibre Reinforced (using beam with third-point loading)