

# 플라스틱 재활용 섬유 보강 콘크리트 제조와 특성

## Manufacturing and characteristics of recycled plastic fiber-reinforced concrete



양인환 In-Hwan Yang  
군산대학교 토목공학과 교수  
E-mail : ihyang@kunsan.ac.kr

### 1. 서언

섬유보강 콘크리트는 강(steel), 유리뿐만 아니라 탄소, 나일론, 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), PET 등의 다양한 재료의 섬유를 콘크리트에 혼입하여 균열발생시 균열면에 위치한 섬유에 의해 균열 성장을 억제하여 연성과 인성을 개선한 콘크리트이다.

한편, 산업의 고도화에 따라 사용이 간편한 다양한 플라스틱의 사용이 급격하게 증가하고 있다. 그러나, 플라스틱은 사용 후 폐기 처리 시 환경오염을 유발할 가능성이 크므로, 자원의 효율적인 재생 또는 재활용 측면에서 폐플라스틱의 다양한 활용 연구가 필요한 실정이다. 플라스틱 재질의 산업용품과 생활용품은 사용한 후 펠릿으로 제조하여 플라스틱 원료로 재활용하거나 일부는 폐기된다.

기존 대부분의 섬유보강 콘크리트에 대한 연구는 신재(new materials)의 섬유를 사용하여 콘크리트의 재료 및 구조 특성에 관해 수행되었으나, 최근에 폐플라스틱을 콘크리트용 보강섬유로 활용하는 연구결과가 제시된 바 있다. 재활용 플라스틱 섬유는 폐플라스틱을 재활용하여 만든 섬유로서 폐플라스틱의 건설자원 재활용 측면에서 친환경적이다. 따라서, 이 연구에서는 환경 친화적인 측면에서 보강섬유로서 PE 재질의 플라스틱 재활용 섬유를 활용한 섬유보강 콘크리트의 특성을 연구하였다. PE 재질의 폐플라스틱을 재활용하여 가공한 섬유를 콘크리트에 혼입하여 섬유보강콘크리트를 제조하고 섬유량에 따른 섬유보강콘크리트의 압축, 인장, 휨인장의 강도변화 특성을 확인하였다.

### 2. 플라스틱을 재활용한 섬유 보강 콘크리트의 제조

#### 2.1 재활용 섬유의 제조

수집한 재활용 플라스틱을 정밀하게 선별, 세척, 용융한 후 압출라인에서 섬유제품을 압출하게 된다. 압출과정 시에 섬유의 직경 및 길이의 변화 제어가 가능하며, 일련의 제조공정을 <그림 1>에 나타내었다. 이 연구에서의 재활용 섬유는 PE 재질의 폐플라스틱

을 이용하여 섬유를 제조하였다. 폐플라스틱을 선별하여 세척한 후 <그림 2>와 같이 펠릿(pellet)을 형성한다. 펠릿을 용융한 후 노즐이 달린 압출기를 이용하여 압출한다. 노즐의 끝단을 원형으로 하여 섬유의 단면을 원형으로 가공하였다. 압출된 섬유를 일정한 길이로 절단하여 콘크리트 보강용 섬유를

생산한다. <그림 3>에 이 연구에서 적용한 재활용 플라스틱 섬유를 나타내었다.

재활용 섬유의 직경은 0.8mm, 길이는 50mm로서 섬유의 길이-직경 비는 5.0이다. 섬유의 비중은 0.84이고 인장강도는 230MPa 이다.

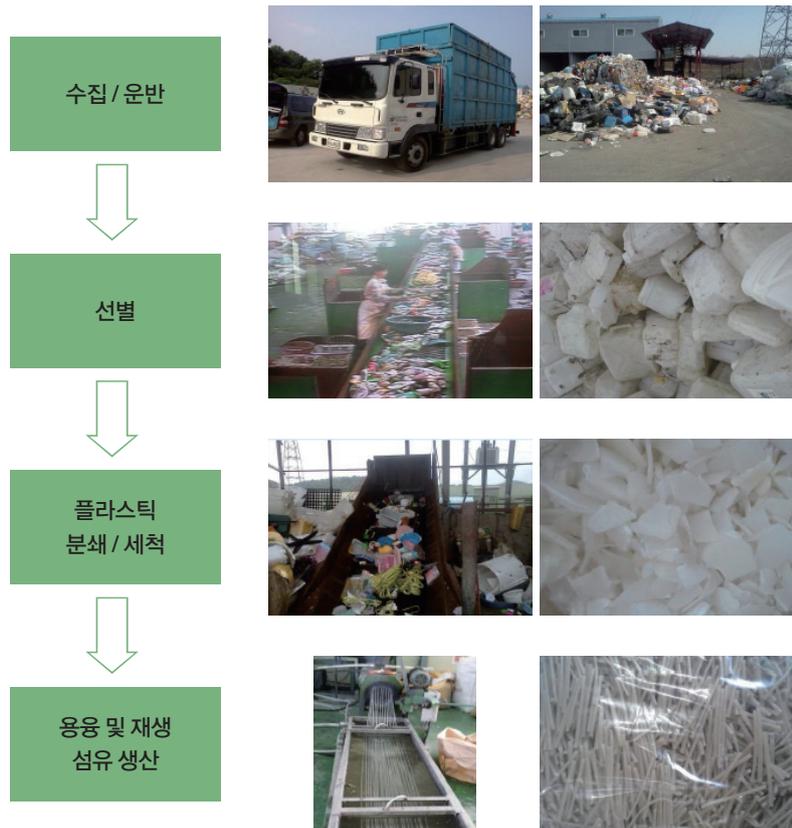


그림 1. 플라스틱 재활용 섬유 제품 생산과정



그림 2. PE 재질의 폐플라스틱 펠릿



그림 3. 재활용 플라스틱 섬유 제품

[표 1] 섬유보강콘크리트 배합표

| 굵은골재 최대치수 | W/C  | S/a  | 물      | 시멘트    | 잔골재    | 굵은골재   | SP     | 섬유량     |
|-----------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 25 mm     | 0.42 | 0.45 | 172 kg | 410 kg | 744 kg | 898 kg | 2.34 % | 0~2.0 % |

## 2.2 재활용 섬유보강콘크리트 배합 설계

재활용 섬유보강콘크리트의 단위 체적당 기본 배합표를 [표 1]에 나타내었다. 굵은골재의 최대 치수는 25 mm이다. 물-시멘트 비(W/C)는 42 %이며, 잔골재율(S/a)은 45.4 %이다. 콘크리트의 유동성을 확보하기 위해 고성능 감수제를 사용하였다.

섬유 혼입량은 부피 비 기준으로 0, 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0 %를 적용하여 성능평가를 수행하였다.

## 2.3 재활용 섬유보강콘크리트의 제조

재활용 섬유보강콘크리트의 제조는 <그림 4>와 같은 순서로 시멘트와 골재를 섞는 건비빔 단계, 배합수와 혼화제의 액상재료 투입단계, 1차 믹싱, 섬유 투입단계 및 2차 믹싱 단계로 순차적으로 진행하였다.



그림 4. 재활용 섬유보강콘크리트 제조순서

먼저, 시멘트, 굵은골재 및 잔골재를 섞어 건비빔을 실시한다. 건비빔 후 배합수, 고성능 감수제 등의 액상 재료를 투입한다. 믹서 내부의 재료들이 배합수와 충분히 믹싱되어 재료 유동이 확보되었는지를 확인한다. 1차 믹싱을 완료하고 재활용 섬유를 투입한다. 이때, 재활용 섬유는 한꺼번에 투입하지 않고 소량씩 나누어 투입한다. 재활용 섬유투입 완료 후 2차 믹싱을 실시한다.

## 3. 재활용 섬유보강콘크리트의 특성실험

### 3.1 압축강도 결과

재활용 섬유보강콘크리트의 압축강도는 직경 100 mm, 높이 200 mm의 원주형 공시체의 압축실험을 수행하여 획득한다. 압축강도 실험시 하중재하는 만능시험기(UTM)를 사용하여 변위제어방식으로 하중을 재하하였다. 압축시험시에 공시체 원주 둘레로 3개의 LVDT를 설치하여 하중재하시 압축변형을 측정하였다(<그림 5>). 실험시 측정한 하중-변위 관계를 바탕으로 재활용 섬유보강콘크리트의 응력-변형률 관계 곡선을 획득하였으며, 이로부터 압축강도와 탄성계수를 산정하였다. <그림 6>은 압축강도 측정결과를 정리하여 나타내었으며, <그림 7>은 탄성계수 측정값을 나타낸다. 또한, <그림 8>부터 <그림 12>까지 콘크리트의 압축응력-변형률 곡선을 나타내었다. 일반콘크리트의 경우, 평균 압축강도는 43.1 MPa이며, 재활용 섬유보강콘크리트의 압축강도는 섬유량이 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0 %로 변함에 따라 각각 42.3, 41.1, 40.2 및 39.3 MPa를 나타내었다. 섬유량이 2 %인 섬유보강콘크리트의 압축강도는 일반콘크리트 압축강도(섬유량=0 %)보다 8.8 % 작게 나타난다. 또한, 탄성계수는 섬유량이 증가함에 따라 감소하고 있다. 섬유량이 2 %인 섬

유보강콘크리트의 탄성계수는 일반콘크리트 탄성계수(섬유량 = 0%)보다 12.4% 작게 나타난다. 섬유보강콘크리트의 섬유 밀도가 콘크리트 매트릭스의 밀도보다 작으므로 이러한 밀도의 차이가 압축강도와 탄성계수 감소에 영향을 미친 것으로 판단된다.



그림 5. 압축강도 실험

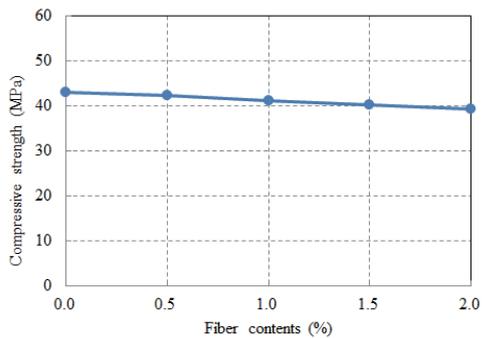


그림 6. 섬유 혼입량에 따른 압축강도 비교

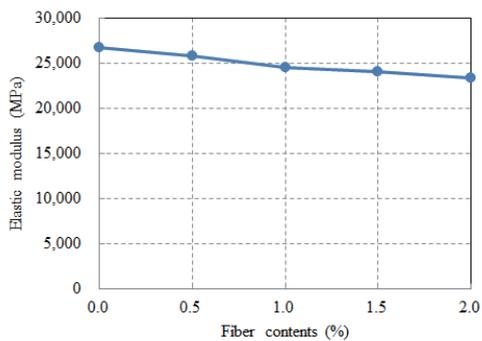


그림 7. 섬유 혼입량에 따른 탄성계수 비교

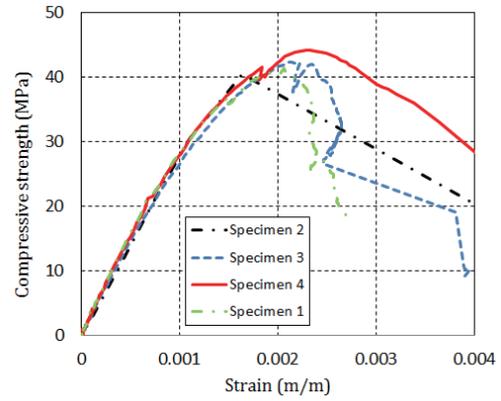


그림 8. 섬유 혼입량 = 0%

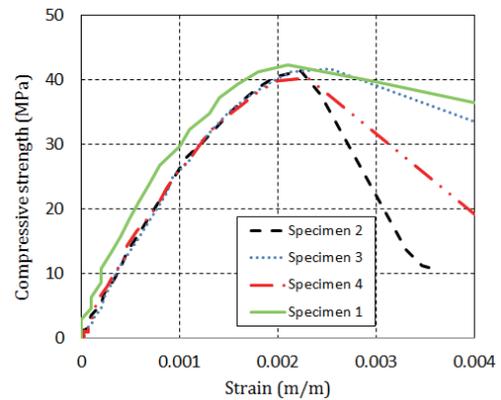


그림 9. 섬유 혼입량 = 0.5%

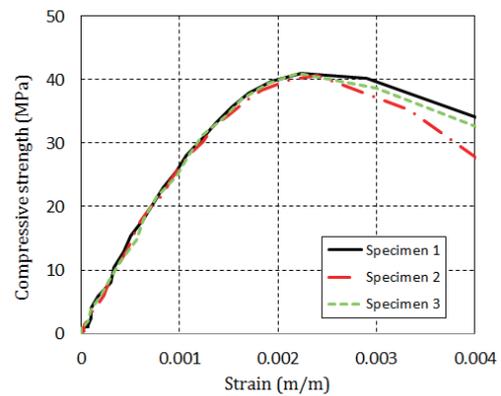


그림 10. 섬유 혼입량 = 1.0%

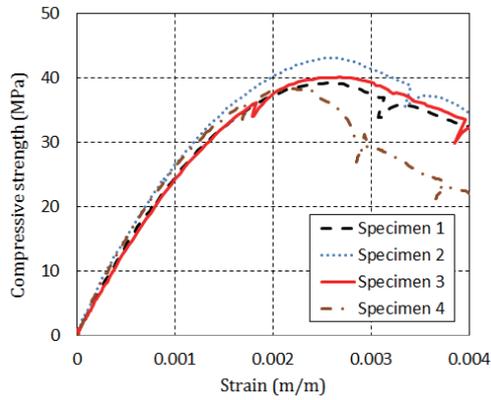


그림 11. 섬유 혼입량 = 1.5%

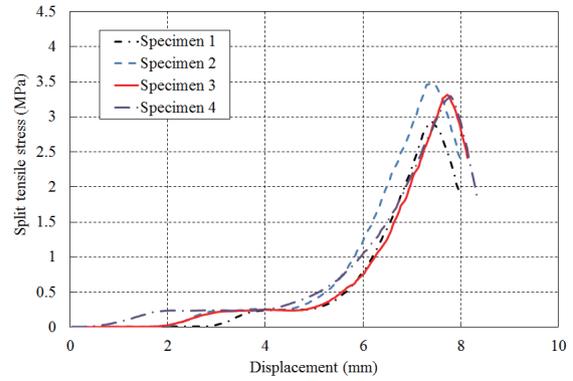


그림 13. 섬유 혼입량 = 1.0%

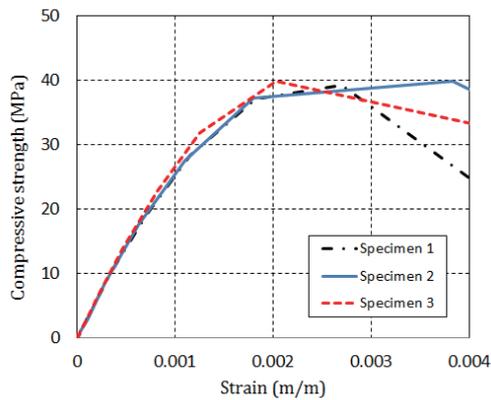


그림 12. 섬유 혼입량 = 2.0%

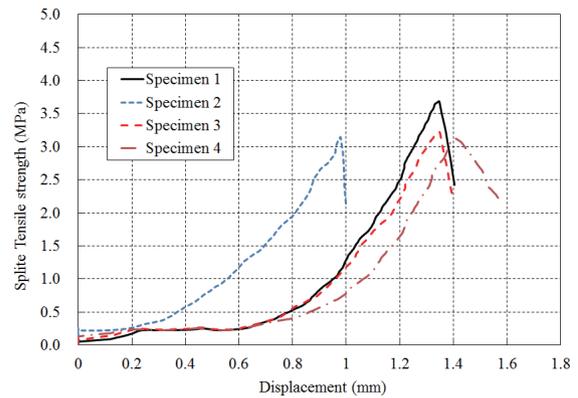


그림 14. 섬유 혼입량 = 1.5%

### 3.2 쪼갬인장강도 결과

<그림 13>과 <그림 14>에 대표적으로 섬유량이 1.0과 1.5% 인 경우의 재활용 섬유보강콘크리트의 쪼갬인장응력-변위 관계를 나타내었다. 또한, <그림 15>에 쪼갬인장강도 측정결과를 정리하여 나타내었다. 일반콘크리트의 경우 평균 쪼갬인장강도 2.62 MPa이며, 재활용 섬유보강콘크리트의 쪼갬인장강도는 섬유량이 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0%로 변화에 따라 각각 3.07, 3.26, 3.29 및 3.62 MPa를 나타내었다. 재활용 섬유보강 콘크리트의 쪼갬인장강도는 보통콘크리트의 쪼갬인장강도보다 17.2~38.2% 크게 나타난다. 섬유보강콘크리트의 쪼갬인장강도 증가는 플라스틱섬유가 콘크리트 매트릭스의 취성파괴를 완화시키기 때문이다.

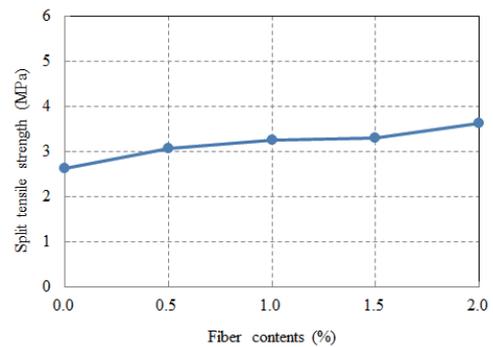


그림 15. 섬유 혼입량에 따른 쪼갬인장강도 비교

### 3.3 휨인장거동 실험 결과

재활용 섬유보강콘크리트의 인장강도 특성을 파악하기 위해

여 150 mm(가로) × 150 mm(세로) × 550 mm(길이)의 프리즘 형상의 시편을 제작하여 4점 하중재하 휨인장 실험을 수행하였다. 각 배치에서의 시편의 휨인장강도 측정 평균값을 <그림 16>에 나타내었다. 일반콘크리트의 경우 평균 휨인장강도 4.29 MPa이며, 재활용 섬유보강콘크리트의 휨인장강도는 섬유량이 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0%로 변함에 따라 각각 4.67, 4.83, 4.95 및 5.06 MPa를 나타내었다.

재활용 섬유보강콘크리트의 휨인장강도는 보통콘크리트의 휨인장강도보다 8.9~17.9% 크게 나타난다. 재활용 섬유보강 콘크리트의 휨인장강도 증가는 플라스틱 재활용 섬유가 콘크리트 매트릭스의 인장강도를 증가시키기 때문으로 판단된다.

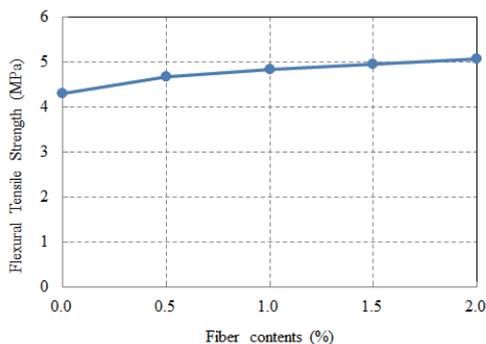


그림 16. 섬유 혼입량에 따른 휨인장강도 비교

#### 4. 결론

재활용 섬유를 혼입한 재활용 섬유보강 콘크리트를 제작하고 다양한 성능을 구체적이며 실증적으로 확인할 수 있었다. 재활용 섬유보강 콘크리트의 압축강도는 30 MPa를 훨씬 상회하고 있어 충분한 압축강도를 확보하고 있으며 재활용 섬유가 콘크리트 매트릭스의 취성파괴를 완화시킴에 따라 쪼갬인장강도와 휨인장강도의 향상을 확인할 수 있었다.

재활용 섬유를 활용한 섬유보강 콘크리트는 친환경적 측면에서 다양한 종류의 콘크리트 2차 제품으로의 적용이 가능하며, 산업 부산물인 재활용 플라스틱의 건설 섬유재료로의 활용 확대 및 재활용 플라스틱 섬유의 사용으로 경제성이 확보된 새로운 친환경 콘크리트와 2차 제품 시장의 창출과 같은 기대효과와 가능성이 있다.

이러한 폐플라스틱 섬유를 활용하여 재활용 용도를 다양화하고 또한 시장성이 좋을 것으로 예상되는 분야에 적용함으로써 현재 사회적인 문제로 부각되고 있는 폐플라스틱의 재활용률을 높여 자원 재활용을 촉진할 수 있게 된다. 폐플라스틱 섬유보강의 활용으로 구조물의 성능이 향상됨에 따라 잦은 보수공사로 인해 발생하는 탄소가스 및 유지관리 비용의 손실을 줄일 수 있다. 이는 유지보수에 드는 비용을 줄여 국가예산 절감에 기여할 수 있어 두 마리의 토끼를 동시에 잡을 수 있는 기술이다.

#### 참고문헌

1. 양인환. (2014). "재활용 플라스틱 섬유보강 콘크리트의 역학적 특성", 한국건설순환자원학회논문집, 2, (3), pp.225-232.
2. 양인환. (2014). "플라스틱 재활용 섬유의 콘크리트 응용 연구", 연구보고서, 군산대학교.

담당 편집위원 : 김성겸(금오공과대학교)