

재생골재를 이용한 폴리프로필렌 섬유보강콘크리트의 강도 및 휨인성 특성연구

Characteristics of the Strength and Toughness of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete using Recycled Aggregates.

류택은* 박재성* 조영래** 오희보** 구봉근***
Ryu, Taek-Eun Park, Jae-Seong Cho, Young-Rae Oh, Hee-Bo Koo, Bong-Kuen

ABSTRACT

This study was performed to verify the properties of concrete used recycled aggregate(0, 30%, 50%). Also, to improve the brittle fracture, energy absorption and apparent ductility of concrete, we added polypropylene fibers(0, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 % by volume of concrete).

As the experimental results, adding 30% recycled aggregates and 0.5% polypropylene fibers to concrete mixes enhances the properties of both compressive strength and toughness.

1. 서론

산업 발전에 있어서 콘크리트 구조물은 사회를 편안하고 안전한 목적으로 이용·발전되어 왔다. 그러나, 계속된 건설공사는 천연 자원의 고갈을 가져오고 있으며, 수명이 다되어 철거된 산업폐기물들은 기존의 한정된 매립지에 매립되어 자연 환경 및 사회문제를 야기시키고 있다. 이러한 이유로 자원의 효율적인 재활용은 새로운 사회의 요구 및 앞으로의 연구과제라 하겠다.

본 연구는 폐콘크리트를 재활용하기 위하여 재생골재 대체율을 달리하였다. 또한 콘크리트의 단점인 취성을 보완하기 위하여 폴리프로필렌 섬유를 혼입하여 만들어진 굳은 콘크리트의 강도 특성 및 휨인성에 대하여 검토하고자 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

(1) 사용재료

본 연구에서 사용된 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트(비중 3.15)이며, 천연 골재는 충북 청원산 25mm 채석과 충북 부강산 잔골재를 사용하였다. 재생골재는 경남 김해 I사에서 생산

* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

** 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

*** 정회원, 충북대학교 토목공학과 교수, 공학박사

된 25mm와 13mm의 골재를 사용하였으며 골재에 대한 물리적 성질은 표 1과 같으며, 폴리프로필렌 섬유는 국내 S사에서 생산된 12mm길이의 망사형을 사용하였으며 물리적 성질은 표 2와 같다. 또한 적정량의 슬럼프를 확보하기 위하여 국내 G기업에서 생산된 고성능 감수제를 사용하였다.

표 1 골재의 물리적 성질

분 류		비 중	흡수율(%)	조립률
천연 골재	굵은골재	2.71	1.38	6.62
	잔골재	2.68	2.25	2.75
재생골재		2.19	7.26	6.55

표 2 폴리프로필렌 섬유의 물리적 성질

재 질	비 중	인장강도 (kgf/cm ²)	인장신도 (%)	탄성계수 (kgf/cm ²)
폴리프로필렌	0.91	4,084.4	16	51,222

(2) 콘크리트 배합

본 실험은 W/C 53%, 잔골재율 50%, 재생골재 대체율 0%인 일반 콘크리트의 강도 240kgf/cm²를 기준으로 배합설계를 하였다. 재생골재 대체율을 0, 30, 50%로 달리하면서 폴리프로필렌 섬유를 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0%로 하여 15계열로 혼입하였다. 섬유 보강 콘크리트의 제조를 위한 각 배합조건별 배합은 시험배합을 통하여 보통 콘크리트의 경우 슬럼프값이 15±1cm 가 되도록 감수제를 사용하였다.

(3) 실험방법

섬유보강 재생콘크리트의 강도발현특성을 분석하기 위하여 Ø10×20cm인 원주형 공시체를 제작하여 100ton 용량의 유압식 만능시험기를 이용하여 하중제어방식으로 압축강도실험을 수행하였으며, 10×10×40cm 부재를 제작하여 휨강도 및 인성실험을 하였다.

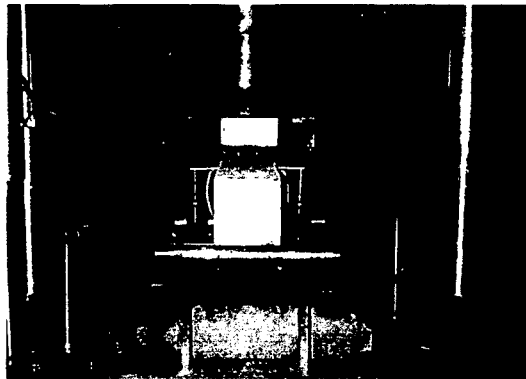


그림 1 휨실험장치

그림 1은 휨강도를 측정하기 위하여 셋팅한 사진이며, 인성측정을 위하여 부재의 하단 중앙에 균일한 노치(notch)를 주어 응력의 집중을 유도하였으며, 변위의 측정을 위하여 클립게이지를 장착하였다. 하중-변위의 실험을 위하여 일본 Shimadzu사의 UHF형 5ton load cell이 부착된 servopulser를 이용하여 변위제어 방식의 중앙점 재하방식으로 시행하였다.

3. 결과 및 고찰

(1) 압축강도 측정결과 및 고찰

섬유의 혼입없이 재생골재 대체율별로 볼 때, 재령 7일, 14일에서의 초기 압축강도는 50%, 30%, 0%의 순으로 재생골재를 사용하였을 때가 사용하지 않았을 때보다 5~15%정도의 강도증진을 보인다. 28일, 56일 이후에는 재생골재를 사용하지 않은 0%의 압축강도가 크게 향상되어 재생골재를 사용하였을 때와 거의 일정한 값을 보인다.

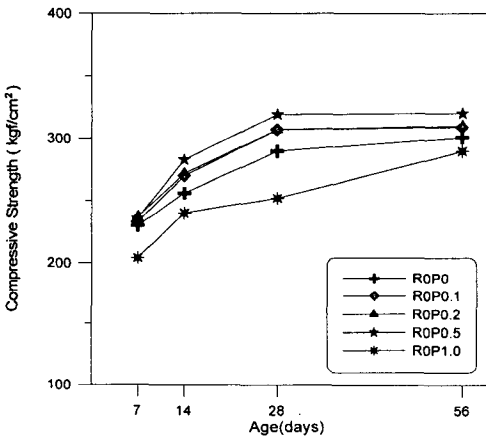


그림 2 재생골재 0%일 때의 압축강도

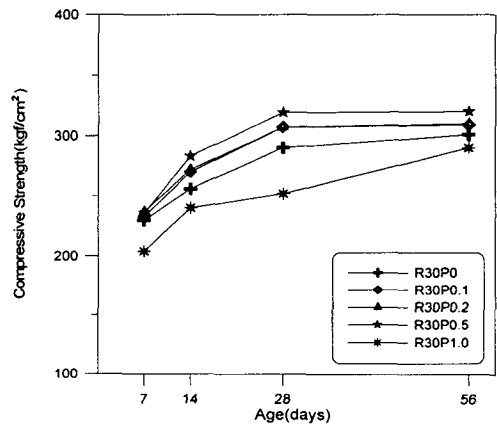


그림 3 재생골재 30%일 때의 압축강도

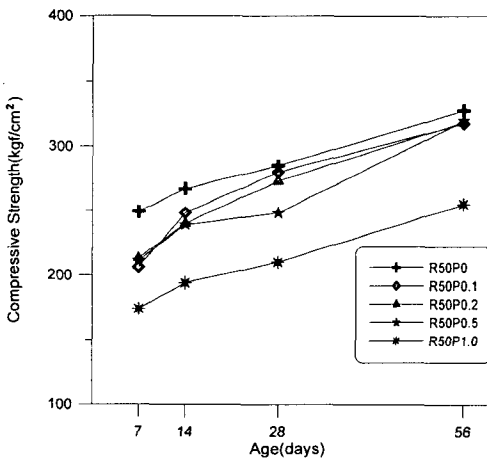


그림 4 재생골재 50%일 때의 압축강도

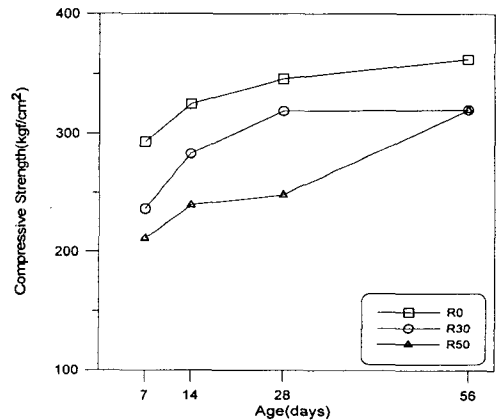


그림 5 섬유 혼입 0.5%일 때의 압축강도

이처럼 초기 압축강도(재령 7일, 14일)가 천연골재를 사용한 콘크리트에 비해 재생골재를 사용한 콘크리트에서 크게 나오는 것은 재생골재에 남아 있던 콘크리트의 시멘트 페이스트(cement paste)가 경화하면서 시멘트와의 부착력을 더 좋게 증진시켰고, 또한 둥근 입형의 재생골재와 날카로운 입형의 파쇄된 천연 골재 사이의 맞물림 효과가 크게 작용한 것으로 분석된다. 섬유 혼입율에 대한 압축강도에서는 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비해 섬유 혼입율이 0.5%일 때 가장 높게 나오는 것을 알 수 있으며, 0.1%와 0.2%는 거의 비슷한 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 섬유 혼입율이 1%일 때는 모든 경우에 대하여 가장 작게 압축강도가 나오는 것을 볼 수 있는데, 섬유의 혼입으로 슬럼프의 급격한 저하가 발생하여 다짐이 충분하게 이루어지지 않는다 하겠다. 그림 2 ~ 그림 4는 각각의 재생골재 대체율별 압축강도의 결과이다.

그림 5는 일정 섬유 혼입율에 대한 재생골재 대체율에 대한 그림으로, 재생골재 대체율 0% 일 때 압축강도가 가장 크고 30% 그리고 50%순으로 점차 작아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 섬유를 혼입하지 않았을 때 보여졌던 강도와는 정 반대의 현상이라 하겠다. 이같은 이유는 섬유의 혼입이 재생골재와 천연골재의 맞물림효과를 억제하는 이유로 사료된다. 이상과 같이 섬유의 혼입율에 의해 강도는 영향을 받으며, 적당한 혼입에서는 혼입하지 않은 경우에 비해 강도 증진 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

(2) 휨 인성지수 산정

인성지수의 산정을 위하여 ASTM C 1018-94b의 지침에 따라 하중-변위 곡선에서 초기 균열까지의 하중-변위 관계를 직선으로 가정하고 초기 균열시의 하중 A를 구하고 이 때의 변위 δ 를 구한다. 그러면 변위 δ 에 대한 3δ , 5.5δ , 10.5δ 에 해당되는 변위까지를 구할 수 있다. 그림 6에서 하중-변위 곡선으로부터 초기균열 발생시의 처짐 δ 와 3δ , 5.5δ , 10.5δ 까지의 면적을 구하였다.

$$I_5 = \frac{OACD\text{의면적}}{OAB\text{의면적}}, \quad I_{10} = \frac{OAEF\text{의면적}}{OAB\text{의면적}}, \quad I_{20} = \frac{OAGH\text{의면적}}{OAB\text{의면적}}$$

여기서, I_5 , I_{10} , I_{20} 은 휨인성지수이다.

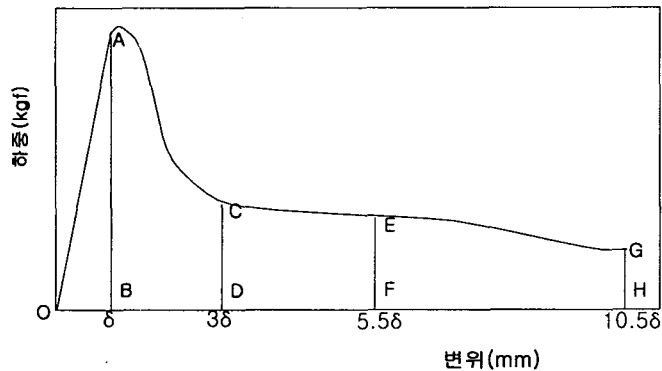


그림 6 하중-변위 곡선

그림 7~그림 9는 각각의 경우에 대하여 산출된 휨 인성지수 값을 나타내고 있다. 섬유 혼입이 없을 시의 파괴는 적은 변위량으로 급작스럽게 파괴가 되며, 섬유의 혼입율에 따라 인성은 뚜렷하게 증가하였다. I_5 , I_{10} 인 경우의 인성지수는 섬유 혼입율에 따라 큰 차이를 보이지는 않지만, I_{20} 인 경우 섬유 혼입율에 따라 큰 차이를 보인다. 이는 부재의 휨 파괴이후, 섬유의 혼입율이 크게 작용하고 있음을 보여주는 것이라 하겠다.

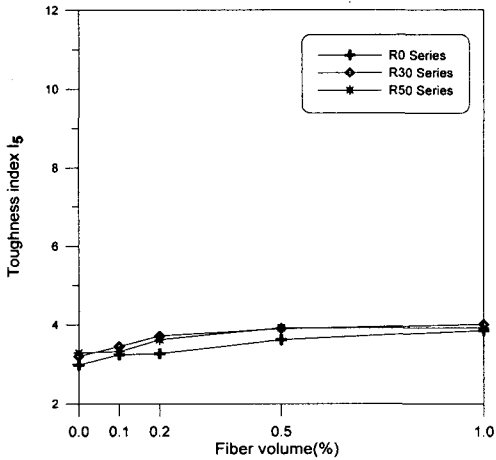


그림 7 I_5 인 경우 휨 인성지수

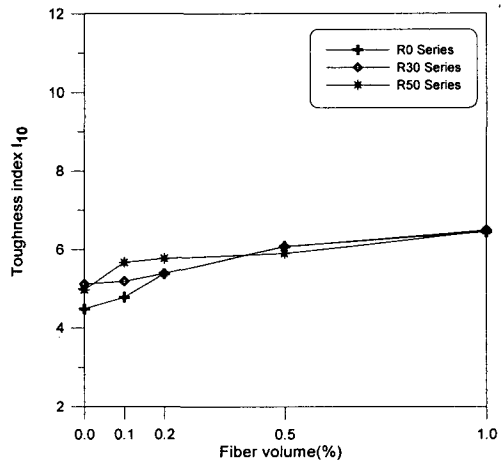


그림 8 I_{10} 인 경우 휨 인성지수

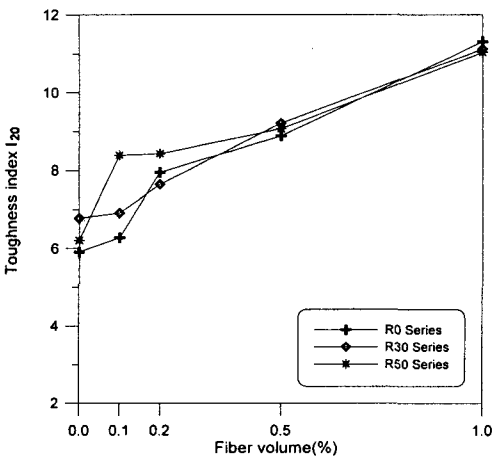


그림 9 I_{20} 인 경우 휨 인성지수

4. 결론

재생골재의 대체율별, 섬유 혼입율별 균은 콘크리트의 특성을 실험을 통해 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 재생골재의 대체율별 콘크리트의 압축강도를 볼 때, 재령 7일, 14일에서는 50%, 30%, 0%의 순으로 5~15%의 강도증진을 보이며, 이것은 재생골재에 묻어 있는 시멘트의 페이스트(paste)와 등근형태의 재생골재 입형과 파쇄된 천연 골재의 뾰족한 입형이 서로 맞물림작용으로 짜임새가 더 촘촘해졌기 때문이라 사료된다.

2) 섬유 혼입율별 콘크리트의 압축강도를 볼 때, 섬유의 혼입이 0.5%, 0.2%, 0.1%에서 강도가 크게 나왔으며 1.0%에서는 오히려 강도가 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 섬유의 혼입으로 유동성이 크게 떨어져 다짐이 불충분하게 되기 때문이라 사료된다.

3) 일정한 섬유 혼입율에 대한 재생골재 대체율에서는 재생골재 대체율 0% 일 때 압축강도가 가장 크고 30% 그리고 50%순으로 점차 작아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 섬유를 혼입하지 않았을 때 보여졌던 강도와는 정 반대의 현상으로 섬유의 혼입이 재생골재와 천연골재의 맞물림효과를 억제하는 이유라 사료된다

4) 섬유의 혼입으로 인성지수는 I_5 , I_{10} 인 경우의 인성지수는 섬유의 혼입에 따라 큰 차이를 보이지는 않지만, I_{20} 인 경우 섬유 혼입율에 따라 크게 향상된 것을 볼 수 있다.

참고 문헌

1. 환경부, "98 전국 폐기물 발생 및 처리현황('98)", 1999, pp. 30~32.
2. Salem, R. M., "Strength and Durability Characteristics of Recycled Aggregate Concrete", Ph.D Thesis, The University of Tennessee, Knoxville, 1996, 8. pp. 1~175.
3. 구봉근 외, "건설폐기물의 재활용 및 처리기술개발 - 제 3부과제- 폐콘크리트의 재활용 및 처리기술개발", 건설교통부, 1999. pp. 298~335.