

# 석회석 골재를 사용한 강섬유보강 포러스콘크리트의 강도특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Mechanical Properties of Porous Concrete Using Coal Ash and Polymer

이 병 재\*\*    박 승 범\*    장 영 일\*\*    전 흠 진\*\*    이 택 우\*\*\*  
Lee Byung Jae   Park Seong Bum   Jang Young Il   Jeon Heum Jin   Lee Taek Woo

### ABSTRACT

Concrete is strong on the compressive property, but weak on the tensile and flexural properties. To improve these problems, the reinforcing bar is used in concrete. But porous concrete with steel fiber has a weak point when exposed to air, because porous concrete has the vast continuous void on its inside and steel fiber is easily rusted by air. For these reasons, this study investigated the void ratio, compressive strength, bending strength and bending toughness as steel fiber mixing ratio and target void ratio.

From test results, actual void ratio and strength properties increased as the mixing ratio of steel fiber increase. In case the mixing ratio of steel fiber over the fixed ratio, strength is decreased. And from the toughness evaluation, compared to the porous concrete which isn't mixed with steel fiber, the deflection variation efficiency is remarkably improved. Consequently we can confirm the possibility of porous concrete with steel fiber for the secondary product and pavement material to improve strength and bending resistance efficiency.

### 요 약

콘크리트는 압축에 강한 특성을 지닌 재료이지만, 인장 및 휨강도가 낮고 균열에 대한 저항성이 약한 취성재료라는 단점을 가지고 있어 이에 대한 보완책으로서 철근이 사용되어 왔다. 하지만, 포러스콘크리트는 내부에 존재하는 다량의 연속공극으로 인하여 철근보강시 철근이 공기에 노출되어 부식되는 문제점을 보이고 있다. 따라서, 본 연구에서는 강섬유를 혼입과 목표공극률에 따른 공극률, 압축강도, 휨강도 및 휨인성 특성을 검토하였다.

실험결과, 강섬유의 혼입에 따른 실측공극률은 증가하는 것으로 나타났으며, 강도특성에서는 강섬유의 혼입률이 증가 함에 따라 증가하는 것으로 나타났으나 일정량 이상의 섬유가 혼입되었을 경우에는 강도가 오히려 감소되는 것으로 나타났다. 또한, 휨인성평가에서는 강섬유를 혼입하지 않은 포러스콘크리트에 비하여 처짐변형 성능이 현저히 개선되는 것으로 나타났다. 따라서 강섬유를 포러스콘크리트에 활용한 2차제품 및 포장재료 등에 적용하기 위한 강도 및 휨저항성능 향상재료로 사용가능성을 확인하였다.

\* 정회원, 충남대학교 토목공학과, 교수

\*\* 정회원, 충남대학교 토목공학과

\*\*\* 정회원, 대전공업고등학교 토목과, 교사

## 1. 서 론

콘크리트는 사회기반시설인 도로, 철도, 항만, 상하수도, 건축물 등 구조물의 주재료로 이용되어 경제와 사회문화 발전에 크게 공헌하여 왔다. 그러나, 기존의 콘크리트 구조물은 그 구조적 기능성만을 중요시하여 설치 주변환경을 파괴하고 동식물의 서식을 방해하는 등 환경적인 문제에 있어서는 부정적인 이미지가 강하다. 이에 건설기술자들은 자연환경과 조화를 이룰 수 있고 훼손된 자연을 복원시킬 수 있는 콘크리트 개발에 관심을 집중하고 있다. 이러한 측면에서 콘크리트에 다량의 연속공극을 형성시켜 투수성, 투기성, 흡음성, 수질정화 및 식생 등의 다기능을 가진 포러스콘크리트에 주목하여 다방면에서 연구가 활발히 진행되고 있으며 현재 우리나라에서도 자전거도로, 주차장 등의 일부포장재나, 옹벽 등의 2차제품으로 포러스콘크리트가 이용되고 있다. 하지만, 포러스콘크리트에 대한 충분한 이해·검토없이 사용되고 있어 포러스콘크리트의 현장적용시 문제점이 발생될 것으로 판단된다.

한편, 콘크리트는 압축에 강한 특성을 지닌 재료이지만, 인장 및 휨강도가 낮고 균열에 대한 저항성이 약한 취성재료라는 단점을 가지고 있어 이에 대한 보완책으로서 철근이 사용되어 왔다. 하지만, 포러스콘크리트는 내부에 존재하는 다량의 연속공극으로 인하여 철근보강시 철근이 공기에 노출되어 부식되는 문제점을 보이고 있다. 따라서, 본 연구에서는 강섬유를 혼입과 목표공극률에 따른 공극률, 압축강도, 휨강도 및 휨인성 특성을 검토하여 이를 이용한 2차제품의 성능향상과 경제적인 포장기술의 개발에 대한 기초적 자료를 제시하는 데 그 목적이 있다.

## 2. 실험 방법 및 사용재료

### 2.1 사용재료 및 실험계획

본 연구에서 사용된 재료의 종류 및 물리적성질은 표 1과 같다. 석회석 골재 및 강섬유를 혼입한 포러스콘크리트의 특성을 규명하기 위하여 적정위커빌리티를 사전실험을 통하여 결합재의 목표흡수율을 180%로 설정하고 혼화제의 첨가량을 결정하였다.

표 1 사용된 재료의 종류 및 물리적 성질

재료	종 류	물리적 성질 및 조성
시멘트	보통포틀랜드시멘트	밀도 3.14g/cm <sup>3</sup> , 분말도 3,200cm <sup>2</sup> /g
골 재	석회석 골재	입도 5~13mm, 밀도 2.79g/cm <sup>3</sup> , 흡수율 0.84%, 실적률 60.6%, 단위용적질량 1,693kg/m <sup>3</sup>
혼화제	고성능 AE감수제	폴리카본산계, 밀도 1.02~1.12, pH 5.5~7.5, Cl <sup>-</sup> 0.01%이하, 알칼리 0.2%이하
강섬유	과형( )	길이 30mm, 직경 0.5mm, Aspect비 60, 밀도 7.85c.cm <sup>3</sup> , 인장강도 71.4MPa

### 2.2 콘크리트의 배합

배합은 물-시멘트비를 25%로 설정하고 목표공극률(15, 20, 25%) 및 강섬유 혼입률(0, 0.5, 1, 1.5Vol.%)을 변화시켜 배합설계를 실시하였다. 혼합방법은 시멘트페이스트의 분산성을 향상시키기 위해 30ℓ의 Omni-Mixer를 사용하여 골재, 시멘트 및 섬유를 60초간 건비빔한 후, 혼합수(물, 혼화제)를 투입하여 200rpm으로 120초 동안 습비빔을 실시하는 분할투입방법으로 혼합하였다. 또한, 공시체 제작은 φ100\*200mm 몰드에 시료를 타설하고 다짐에 의한 실험오차를 줄이기 위하여 표면진동형 바이브레이터를 사용하여 다짐에너지를 일정하게 유지한 상태에서 실시하였다.

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 공극률시험

공극률측정은 일본콘크리트공학협회 포러스콘크리트의 설계·시공법 확립에 관한 연구위원회 보고서 『포러스콘크리트의 공극률 시험방법(안)』 중 용적법에 준하여 측정하였다.

#### 2.3.2 압축강도 시험

포러스콘크리트의 압축강도 시험은 제령 28일에 KS F 2405 『콘크리트의 압축강도 시험방법』에 준하여 일본 M사 제품의 용량 100ton의 만능시험기를 사용하여 측정하였다.

### 2.3.3 휨강도 및 휨인성 시험

휨강도 시험 및 휨인성 시험은 재령 28일에 KS F 2408 『콘크리트의 휨강도 시험방법』, KS F 2566 『강섬유보강 콘크리트의 휨인성 시험방법』에 준하여 일본 S사의 B-Type Autograph를 사용하여 변위제어방식에 의해 하중 및 그림 1의 휨변형 측정방법과 같이 수직변위를 측정해 하중-변위곡선을 구한 다음 휨강도 및 등가휨강도를 계산하여 휨인성을 평가하였다.

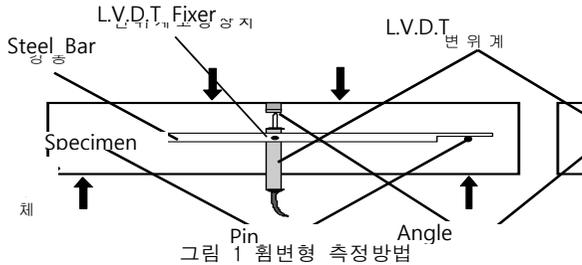


그림 1 휨변형 측정방법

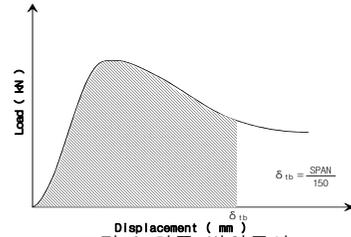


그림 2 하중-변위곡선

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 공극률

석회석 골재 및 강섬유를 혼입한 포러스콘크리트의 공극률 특성은 그림 3과 같다. 이를 고찰하여보면, 섬유 혼입률이 증가함에 따라 실측공극률은 목표공극률의 크기와 상관없이 증가하는 경향을 나타냈다. 섬유 혼입률 1.0%까지는 오차범위 내에서 증가하였지만 1.5% 이상 혼입하였을 경우에는 오차범위 이상을 증가하였다. 이것은 섬유의 혼입률이 증가함에 따라 섬유가 Fiber Ball을 형성하여 포러스콘크리트 내에 공극이 발생되었기 때문으로 판단된다.

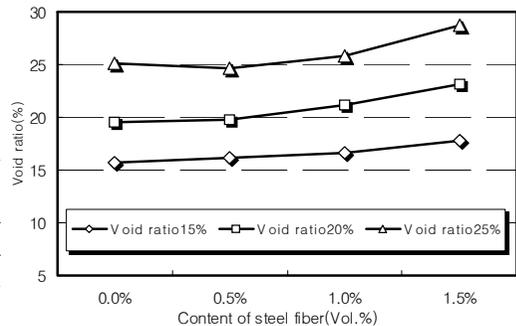


그림 3 강섬유혼입률 및 목표공극률에 따른 포러스콘크리트의 실측공극률

### 3.2 압축강도

그림 4는 포러스콘크리트의 강섬유 혼입률 및 목표공극률에 따른 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. 압축강도는 강섬유를 0.5%, 1.0%, 1.5% 혼입함에 따라 증가하는 경향을 나타냈으나, 1.5% 이상 혼입시에서는 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이는 섬유의 과다 혼입으로 인하여 포러스콘크리트 내에서 섬유가 공극으로 작용하여 강도가 감소한 것으로 판단된다.

### 3.4 휨강도

강섬유를 혼입한 포러스콘크리트의 휨강도 측정결과는 그림 5와 같다. 휨강도 역시 압축강도와 유사한 결과를 나타내어, 강섬유의 혼입률이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내 Plain에 비하여 0.6~10.3% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 목표공극률에 대한 영향은 목표공극이 증가함에 따라 강도가 낮아지는 경향을 나타내 기존의 연구와 동일한 결과를 보였다.

### 3.5 휨인성

Fig. 6~8은 섬유의 혼입률별 포러스콘크리트의 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 이를 고찰하여 보면 강섬유를 혼입하지 않은 경우에는 취성파괴가 일어나는 것으로 나타났으나 강섬유를 혼입한 경우에는 처짐변형 성능이 현저히 개선되는 것으로 나타났으며, 강섬유 혼입률이 0.5vol.%, 1.0vol.%, 1.5vol.%로 증가함에 따라 강섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 등가휨강도는 각각 7.5배~16.1배 증진되는 것으로 나타났다. 이는 강섬유를 혼입함에 따라 하중재하시 발생하는 균열에 대한 구속능력이 증진되어 에너지 흡수능력이 현저히 향상되었기 때문으로 판단된다.

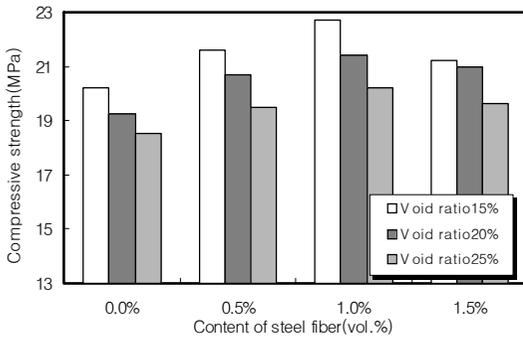


그림 4 강섬유 혼입률 및 목표공극률에 따른 포러스콘크리트의 압축강도

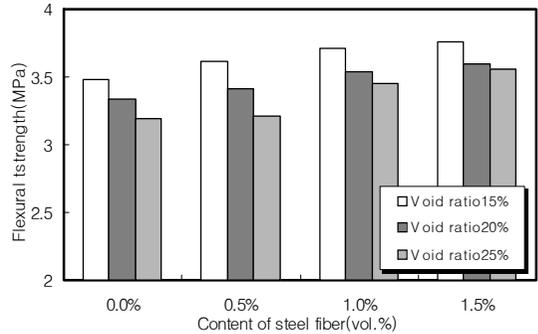


그림 5 강섬유 혼입률 및 목표공극률에 따른 포러스콘크리트의 휨강도

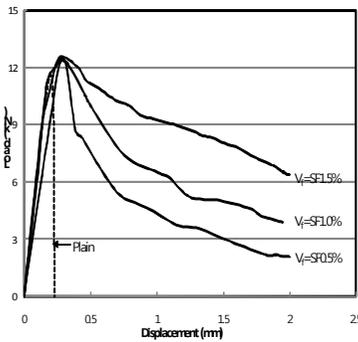


그림 6 강섬유 혼입에 따른 하중-변위곡선 [목표공극률 15%]

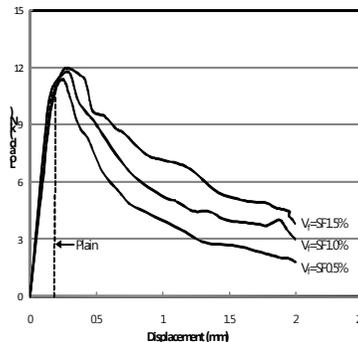


그림 7 강섬유 혼입에 따른 하중-변위곡선 [목표공극률 20%]

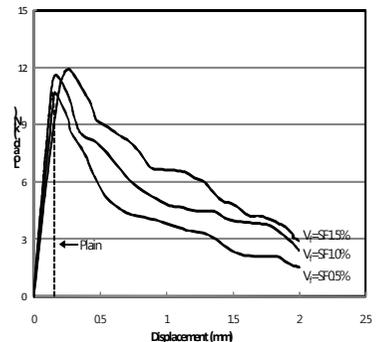


그림 8 강섬유 혼입에 따른 하중-변위곡선 [목표공극률 25%]

#### 4. 결론

강섬유의 혼입과 목표공극률에 따른 포러스콘크리트의 강도특성을 평가하기 위하여 실험·분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 강섬유의 혼입에 따른 실측공극률은 증가하는 것으로 나타났으며, 강도특성은 강섬유의 혼입률이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으나 일정량 이상의 섬유가 혼입되었을 경우에는 강도가 오히려 감소되는 것으로 나타났다.
- (2) 또한, 강섬유를 혼입한 포러스콘크리트의 휨인성평가에서는 혼입하지 않은 포러스콘크리트에 비하여 처짐변형 성능이 현저히 개선되는 것으로 나타났다.
- (3) 이들 시험결과로부터 포러스콘크리트에 활용된 2차제품 및 포장재료 등에 적용하기 위한 강도 향상재료로서 강섬유의 사용가능성을 확인하였으며, 내구성능 평가 등의 추가 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학기술단 SISTeC(R01-2002-101-01005-0)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 박승범, “신편 토목재료학” 문운당, 2005
2. 日本コンクリート工學協會, “ポーラスコンクリートの設計·施工法の確立に関する研究委員会報告書”, 2003.