

# 섬유보강 폴리머 포러스콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

## Studies on the Properties of Fiber Reinforced Porous Concrete Using Polymer

박 승 범\*      이 병 재\*\*      이 준\*\*      손 성 우\*\*      조 광 연\*\*\*  
Park Seong Bum      Lee Byung Jae      Lee Jun      Son Sung Woo      Cho Kwang Yeon

### ABSTRACT

This study is analyzed mechanical properties and durability of permeability porous concrete to mix polymer and steel fiber for the enhance of performance and durability of porous concrete. It proves that void ratio and permeability are tallied with internal and external standard of paving porous concrete.

A property of strength is increased according as the mixing rate of polymer and steel fiber increase, but it showed the tendency to be reduced on the contrary when mixed upwards of 20% of polymer mixing rate and 0.9vol.% of steel fiber mixing rate. As a result, it is possible to make an enhanced which increased 16% of compressive strength and 30% of flexural strength steel fiber reinforced polymer porous concrete at the mixing rate of 10vol.% of polymer and 0.6% of steel fiber.

### 1. 서론

포틀랜드 시멘트의 개발 이후, 현재 까지 콘크리트는 대표적인 건설재료로 활용되어 왔고, 구조물의 대형화, 고층화, 다양화 되어 가는 추세로 볼 때, 앞으로 그 중요성은 더욱 증가될 전망이다. 하지만, 기존 국내에서의 콘크리트 관련 기술개발은 고강도에만 편중되어 있는 편이어서 다양한 용도의 콘크리트 개발이 미미한 수준이다. 따라서 이러한 건설시장의 문제점을 파악하고 특수기능을 가진 콘크리트 개발이 점차 적으로 추진되고 있는데, 그 대표적인 경우가 환경친화형 포러스콘크리트이다. 일반적으로 사용되는 불투수성 구조물은 강우시 배수시설이 없거나 배수가 완벽하지 못하여 물이 땅속으로 침투하지 못하고 배수로나 하천 등으로 유입됨으로써 지하수가 고갈되고 폭우시 하천으로의 유입수가 늘어남에 따라 하천의 범람을 일으키고, 도로표면에 고임으로서 통행에 막대한 지장을 초래할 뿐만 아니라 미끄럼 저항성이 떨어지는 등의 결함을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 투수성 아스팔트 및 투수성 콘크리트를 개발하여 인도, 광장, 주차장 등에 이용하고 있으며, 많은 연구도 이루어지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 도로용 투수 포장재료로서 포러스콘크리트의 성능 및 내구성의 향상을 위해 강섬유를 이용하여 보강하고 폴리머의 우수한 재료특성을 반영하여 섬유보강 폴리머 포러스콘크리트의 역학적 특성을 실험적으로 구명하였다.

### 2. 실험재료 및 시험방법

#### 2.1 사용재료

##### 2.1.1 시멘트

\* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원, 충남대학교 대학원 토목공학과

\*\*\* 정희원, 공주영상정보대학 교수

본 연구에 사용된 시멘트는 밀도 3.14 g/cm<sup>3</sup>, 분말도 3,200cm<sup>2</sup>/g인 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

### 2.1.2 골재

본 연구에 사용된 골재는 입도가 5~13mm, 밀도 2.79g/cm<sup>3</sup>, 단위용적질량 1,693kg/m<sup>3</sup>, 흡수율 1.1%의 부순돌을 사용하였다.

### 2.1.3 혼화제

혼화제는 시멘트의 분산작용 개선 및 미세한 공기연행을 목적으로 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하였다.

### 2.1.4 보강용 섬유신소재

보강용 섬유는 스테인레스 재질의 양단 Hook형 강섬유로 길이 25mm, 인장강도 450MPa, 밀도 7.8g/cm<sup>3</sup>의 일본 A사 제품을 사용하였다.

### 2.1.5 폴리머

폴리머는 시멘트 혼화용 수성 폴리머로서 SBR(Styrene butadiene rubber) Latex를 사용하였으며, 그 일반적 성질은 표 1과 같다.

표 1 폴리머의 물리적 특성

종류	형태	점도(mPa · s)	pH	고형물 함량(%)
SBR	Liquid	78	9.3	50

## 2.2 콘크리트의 배합

배합은 W/C 25%, 설계공극률 10%로 설정하고, 섬유의 혼입률을 0, 0.3, 0.6, 0.9vol.%, 폴리머(SBR Latex)의 혼입율을 0, 5, 10, 20vol.% 로 변화시켜 배합설계를 실시하였다. 이때, 포러스콘크리트 제조 시 적정 워커빌리티의 확보를 위해 사전시험을 통하여 결합재의 목표 흐름값을 180%로 설정하여 혼화제의 첨가량을 결정하였다. 또한 혼합은 시멘트페이스트의 분산성을 향상시키기 위해 30ℓ의 Omni-Mixer를 사용하여 골재와 시멘트, 강섬유를 60초간 건비빔을 실시한 후, 혼합수(물, 혼화제, 폴리머)를 투입하여 200rpm으로 270초 동안 혼합하는 방법으로 하였다.

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 투수계수 및 공극률 시험

투수계수 및 공극률 측정은 일본콘크리트공학협회 포러스콘크리트의 설계·시공법 확립에 관한 연구 위원회 보고서 『포러스콘크리트의 투수계수 시험 방법(안) 및 공극률 시험방법(안)』 중 용적법에 준하여 측정하였다.

### 2.3.2 강도 시험

포러스콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405 『콘크리트의 압축강도 시험방법』, 휨강도 시험은 KS F 2408 『콘크리트의 휨강도 시험방법』에 준하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 공극률

폴리머의 혼입률에 따른 폴리머 포러스콘크리트의 공극률 측정결과는 그림 1과 같다. 이를 고찰하여 보면, 공극률은 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 폴리머를 혼입하는 경우 폴리머 포러스콘크리트 내부의 폴리머 필름에 의하여 콘크리트 내부의 공극이 감소되었기 때문으로 생각된다. 강섬유 혼입률에 따른 공극률의 특성은 섬유 혼입률이 증가함에 따라 공극률이 증가하는 경향을 나타냈으며, 0.9vol.%에서는 섬유를 혼입하지 않은 것에 비하여 11~23%정도로

높은 증가율을 보였다. 이러한 경향을 보이는 원인은 과도한 섬유 혼입으로 워커빌리티가 급격히 저하되어 공시체 제작시 다짐이 불량했기 때문으로 판단된다.

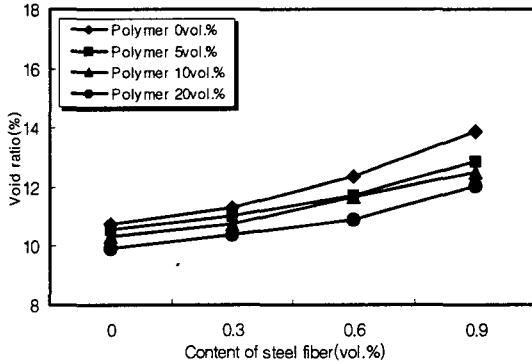


그림 1 폴리머 및 강섬유 혼입률에 따른 포러스콘크리트의 공극률

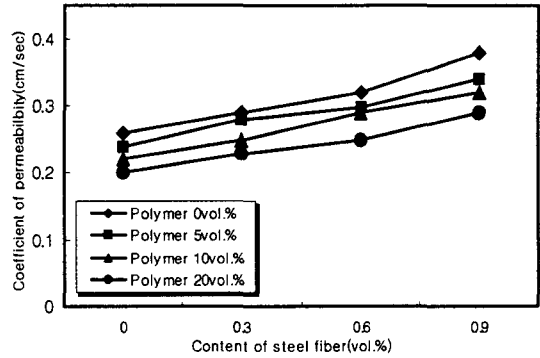


그림 2 폴리머 및 강섬유 혼입률에 따른 포러스콘크리트의 투수계수

### 3.2 투수계수

포러스콘크리트의 주된 목적이 투수 및 배수로서 투수계수는 물리적 성능을 대표하는 지표라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 배합요인별 투수계수 시험을 실시하였고, 결과는 그림 2와 같다. 투수계수는 강섬유의 혼입률이 증가함에 따라 증가하고, 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 또한, 배합요인별 투수계수가 0.20~0.38cm/sec로 나타나 국내의 규정품질규정 0.01cm/sec이상의 규정에 모두 만족하였다.

그림 3은 섬유보강 폴리머 포러스콘크리트의 투수계수와 공극률의 상관관계를 나타낸 것으로 공극률이 증가함에 따라 투수계수는  $y = 0.0484e^{0.1519x}$ 의 함수로 증가하는 것으로 나타났으며, 결정계수가 0.9261로 높은 상관성을 보였다.

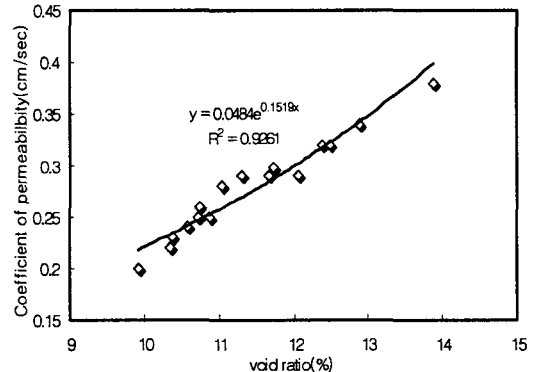


그림 3 투수계수와 공극률의 상관관계도

### 3.3 압축강도

그림 4는 포러스콘크리트의 폴리머 및 강섬유의 혼입률에 따른 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. 보강용 섬유신소재의 혼입률에 따른 특성분석결과, 혼입률 0.6vol.%까지는 혼입률이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 경향을 나타내어 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 4.3~7.1%의 강도증진을 나타내었으나, 내부식성 강섬유의 혼입률이 0.9vol.%에서는 0.6vol.% 혼입한 경우에 비하여 낮은 압축강도 특성을 나타내었다. 이는 일정한 혼입률까지는 섬유가 콘크리트 내부에 균등 분산되어 결합체의 부착력 향상으로 압축강도가 향상되나 과도한 섬유의 혼입시 워커빌리티 저하 및 Fiber-ball의 형성으로 상대적으로 밀실한 공시체의 제작이 어렵고 공극률 또한 증가되어 강도가 저하된 것으로 판단된다. 또, 폴리머에 대한 특성은 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 것으로 나타나 폴리머를 혼입하지 않은 경우의 압축강도에 비하여 폴리머를 10vol.%혼입한 경우의 압축강도는 6.8~9.5%, 폴리머를 20vol.%혼입한 경우의 압축강도는 5.8~8.6%정도 크게 나타났다. 이러한 경향은 폴리머를 혼입함에 따라 미세한 폴리머입자가 시멘트 입자의 분산성을 향상시키고 경화 후 폴리머 필름의 형성으로 인해 시멘트수화물과 골재간의 부착력이 현저히 개선되어 매트릭스 자체가 고강도화 되기 때문으로 판단된다. 하지만, 과도한 폴리머의 혼입은 압축강도 개선에 그다지 효과가 없는 것으로 나타났다. 폴리머와 섬유를 동시에 혼입한 경우의 배합별 압축강도는 20.9~24.1MPa로 나타나, 주택공사의 포러스콘크리트 압축강도 기준인 18MPa를 만족하였다.

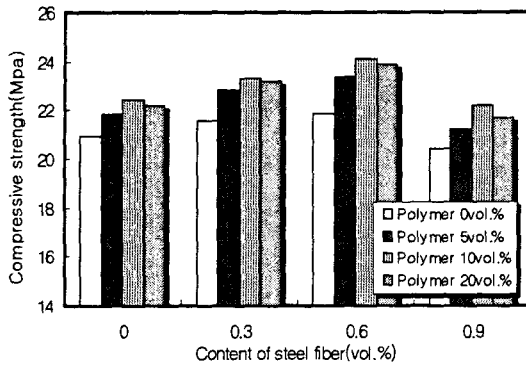


그림 4 폴리머 및 강섬유 혼입률에 따른 포러스콘크리트의 압축강도

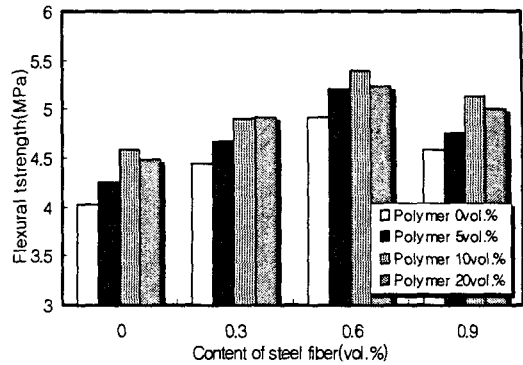


그림 5 폴리머 및 강섬유 혼입률에 따른 포러스콘크리트의 휨강도

### 3.4 휨강도

포러스콘크리트의 휨강도 측정결과는 그림 5와 같다. 포러스콘크리트에 폴리머를 혼입함에 따라 휨강도가 증가하는 경향을 나타내어 폴리머가 5~20vol.%로 증가함에 따라 Plain에 비하여 3.84~12.4%의 강도증진을 나타냈다. 또 보강용 섬유신소재의 혼입으로 인한 휨강도의 특성은 섬유의 혼입률이 증가함에 따라 0.6vol.%까지는 시멘트페이스트 내부에 강섬유가 균등 분산되어 하중재하시 발생하는 응력을 고루 분산시켜 휨강도가 증진되나 0.9vol.%의 경우에는 믹싱시 콘크리트 내부에 Fiber-ball의 생성으로 결합재의 부착력이 감소하여 휨강도가 저하되는 것으로 판단된다. 또, 폴리머 10%, 강섬유 0.6vol.%를 동시에 사용한 경우 Plain에 비하여 25.4%의 휨강도 증진효과를 보였고, 강섬유 혼입률 0.3vol.% 이상에서는 일본콘크리트공학협회 『포러스콘크리트의 설계·시공법 확립에 관한 연구위원회 보고서』에서 제안하고 있는 휨강도 기준치인 4.5MPa이상을 충족시키는 것으로 나타났다.

## 4. 결론

포러스콘크리트의 성능 및 내구성의 향상을 위해 섬유보강 및 폴리머를 혼입한 투·배수성 포러스콘크리트의 특성을 실험·분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 공극률 및 투수계수는 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 다소 감소하고, 강섬유의 혼입률이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 또 공극률과 투수계수의 상관관계에서 결정계수는 0.9261로 높은 상관성을 보였다.
- (2) 강도 특성에서는 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 다소 증가하는 경향을 보였으나, 폴리머 혼입률 10%를 정점으로 20% 이상 혼입한 경우에는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 섬유 또한 혼입률이 증가함에 따라 0.6vol.%까지 증가하였으나 0.9vol.%에서는 다소 감소하였다.
- (3) 이들 시험결과로부터 투수성 콘크리트 제조시 폴리머 분산제를 약 10vol.%, 보강용 강섬유를 약 0.6vol.% 혼입하였을 경우 압축강도 13.3%, 휨강도 25.4%의 증진효과를 보여 요구되는 투수계수 및 규정강도를 만족하는 우수한 포러스콘크리트를 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 SISTeC(R11-2002-101-01005-0)의 연구지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 박승범, “최신 건설재료학” 문운당, 2005
2. 日本コンクリート工學協會, “ポラスコンクリートの 設計·施工法の確立に關する研究委員會報告書”, 2003.
3. 安岐, “透水性 콘크리트 鋪裝의 適用性에 關する 實驗”, 道路建設, pp. 52-56, 1998.