

# 투수성 콘크리트의 강도개선에 관한 연구

## A Study on the Improvements of Strengths of Water-Permeable Concretes

은 재 기\*      이 철 웅\*      김 완 기\*\*      조 영 국\*\*\*      소 양 섭\*\*\*\*  
Eun, Jae-Ki    Lee, Chol-Woong    Kim, Wan-Ki    Jo, Young-Kug    Soh, Yang-Seob

### Abstract

The purpose of this study is to ascertain the strength properties of water-permeable concretes with redispersible polymer powder, silica fume and polypropylene fibers. The water-permeable concretes using redispersible polymer powder with a water-cement ratio of 25%, polymer-cement ratios of 0 to 10%, silica fume contents of 0 to 10% and fiber contents of 0 to 1.5% are prepared, and tested for flexural strength, compressive strength and water permeability. From the test results, improvements in the strength properties of the water-permeable concretes due to the addition of the redispersible polymer powder, silica fume and fibers are discussed. It is concluded from the test results that the superior flexural and compressive strengths of water-permeable concretes are obtained at a propylene fiber content of 1.0% with a void filling ratio of 50%. And, the water-permeable concretes having a flexural strength of 15.6~28.4kgf/cm<sup>2</sup>, a compressive strength of 63.5~120.6kgf/cm<sup>2</sup>, and a coefficient of permeability of 1.14~1.70cm/s at a void filling ratio of 30% can be prepared. Also water-permeable concretes having a flexural strength of 35.6~57.9kgf/cm<sup>2</sup>, a compressive strength of 164.0~290.0kgf/cm<sup>2</sup>, and a coefficient of permeability of 0.19~1.04cm/s. at a void filling ratio of 50% can be prepared in the consideration of the mix proportioning factors.

### 1. 서론

최근 투수성 포장공법에 관한 투수성 시멘트 콘크리트의 연구가 활발하게 진행되고 있으며 보도를 중심으로 한 생활관련도로, 주차장 그리고 고속도로에도 시공이 이루어지고 있는 실정이다<sup>1,2,3</sup>. 투수성 콘크리트를 이용한 포장의 수리기능에는 빗물을 포장체에 일단 흡수하는 저장기능과 그 저장한 빗물을 서서히 포장체로부터 유출시키는 유출기능이 있다. 그러나 포장체를 구성하는 노반 등이 과잉의 수분을 함유하고 있으면 강도의 저하를 초래한다. 또한 그 강도는 공극율의 증가에 따라 감소하기 때문에 높은 투수성과 고강도를 겸비한 투수성 콘크리트의 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 결합재인 시멘트 페이스트의 강도를 개선할 목적으로 폴리머와 실리카흄 그리고 섬유를 혼입하여 제작한 투수성 콘크리트에 대하여 그 압축강도 및 휨강도와 투수성에 미치는 폴리머 시멘트비, 실리카흄<sup>4</sup> 및 섬유의 혼입효과를 검토하였다.

\* 정희원, 전북대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 정희원, 전북대학교 건축공학과 강사

\*\*\* 정희원, 청운대학교 건축공학과 교수

\*\*\*\* 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수·공업기술연구소

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산으로 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

#### (2) 골재

본 실험에서 사용한 굵은 골재로서는 쇄석(입경:5~13mm, 비중:2.60)을 사용하였다.

#### (3) 시멘트 혼화용 재유화형 분말수지

시멘트 혼화용 재유화형 분말수지로는 초산비닐·비닐 바사테이트 (VA/VeoVA)를 사용하였다. 재유화형 분말수지의 성질은 표-1과 같다.

표-1 재유화형 분말수지의 성질

Type of Polymer	Appearance	Average Particle Size ( $\mu\text{m}$ )	Glass Transition Point, T <sub>g</sub> (°C)	pH [10% Water Dispersion] (20°C)
VA/VeoVa	White Powder	75	-3	7.5

#### (4) 실리카흙

본 실험에서 사용한 실리카흙의 물리적 성질은 표-2와 같다.

표-2 실리카흙의 물리적 성질

Specific Gravity	Specific Surface Area ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Unit Weight ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Diameter ( $\mu\text{m}$ )	Passing Ratio of 45 $\mu\text{m}$ Screen (%)
2.2	18~20	250~300	0.1~0.2	95~100

#### (5) 폴리프로필렌 섬유

본 실험에서 사용한 섬유로는 국내산 제품의 폴리프로필렌 섬유를 사용하였다. 폴리프로필렌 섬유의 성질을 표-3에 나타냈다.

표-3 폴리프로필렌 섬유의 성질

Length (mm)	Specific Gravity	Modulus of Elasticity ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	Tensile Strength ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )
25	0.90	$3.65 \times 10^4$	6.4

#### (6) 고성능 감수제

본 실험에서 사용한 고성능 감수제로는 국내산 제품의 멜라민계를 사용하였다.

### 2.2 실험방법

#### (1) 공시체의 제작

일본콘크리트공학협회(JCI) 에코콘크리트 연구위원회의 「포러스콘크리트의 공시체제작법」에 따라 폴리머 시멘트비 0, 3, 5, 및 10%, 실리카흙 혼입율 0, 3, 5 및 10%, 폴리프로필렌 섬유 혼입율 0, 0.5, 1.0 및 1.5%, 고성능감수제 첨가율을 1.0%로 한 시멘트 페이스트를 물시멘트비 25%로 조정하여 모르타르 믹서로 3분간 비빔을 실시하였다. 그후 조골재간의 공극에 대한 결합재로서의 시멘트 페이스트의 충전율(이하, 공극충전율(Void Filling Ratio)이라 한다)을 30% 및 50%로 한 배합으로 조골재와 시멘트 페이스트를 강제비빔믹서를 이용하여 2분간 혼합하여 투수성 콘크리트를 제작하였다. 제작한 투수성 콘크리트를 치수  $\varnothing 7.5 \times 15\text{cm}$ (투수시험용),  $6 \times 6 \times 24\text{cm}$ (휨강도 및 압축강도 시험용)의 몰드에 2층으로 나누어 채워서 다진후 성형하였다. 양생방법으로서는 2일 습윤양생(20°C, 80%R.H.), 5일 수중양생(20°C), 21일

기중양생(20℃, 60%R.H.)을 실시하여 공시체를 제작하였다. 투수콘크리트의 배합을 표-3에 나타냈다.

(2) 공극율 및 투수율시험

JCI 에코콘크리트 연구위원회의 「포러스콘크리트의 공극율 시험방법(안)」에 따라 치수 Ø7.5×15cm 공시체의 공극율시험 및 투수율시험을 실시하였다.

(3) 휨강도시험

KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법)에 따라 치수 6×6×24cm 공시체의 휨강도시험을 실시하였다.

(4) 압축강도시험

KS F 2483(보의 절편에 의한 폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 따라 공시체의 압축강도시험을 실시하였다.

(5) 공극율 시험

JCI 에코 콘크리트 연구위원회의 「포러스 콘크리트의 공극율 측정방법(안)」에 따라 공시체의 용적법에 의한 전공극율 및 연속공극율을 측정하였다.

표-4 투수성 콘크리트의 배합표

Void-Filling Ratio (%)	Water-Cement Ratio, W/(C*+S**) (%)	Polymer-Cement Ratio (%)	Silica Fume Content, S/(C*+S**) (%)	Fiber Content (%)	Water-Reducing Agent Content (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )									
						Cement (cement+ Silica Fume)	water	Gravel	VA/VeoVA	Fiber	Water-Reducing Agent				
30	25	0	—	—	1.0	219	54.8	1468	0	0	2.19				
		3				209	52.1		6.3		2.09				
		5				202	50.5		10.1		2.02				
		10				187	46.8		18.7		6.23				
		—	0	—		219	54.8		0	0	2.19				
		3	212+7			54.8	2.19								
		5	209+10			54.8	2.19								
		10	197+22			54.8	2.19								
		—	—	0		219	54.8		0	0	2.19				
		—	—	0.5		219	54.8				0.695	2.19			
		—	—	1.0		219	54.8				1.397	2.19			
		—	—	1.5		219	54.8				2.106	2.19			
		50	25	0		—	—		1.0	366	91.4	1468	0	0	3.66
				3						348	86.9		10.4		3.48
				5						337	84.1		16.8		3.37
				10						312	78.0		31.2		3.12
—	0			—	366	91.4	0	0		3.66					
3	355+11				91.4	3.66									
5	347+19				91.4	3.66									
10	329+37				91.4	3.66									
—	—			0	366	91.4	0	0		3.66					
—	—			0.5	366	91.4				1.213	3.66				
—	—			1.0	366	91.4				2.329	3.66				
—	—			1.5	366	91.4				3.511	3.66				

\*:C:Ordinary Portland Cement

\*\*S:Silica Fume

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 강도특성

그림1과 그림4는 폴리머 혼입 투수 콘크리트의 휨강도 및 압축강도와 폴리머 시멘트 비의 관계를 나타낸 것이다. 공극 충전율 30%일 때 폴리머 혼입 투수콘크리트의 휨 및 압축강도는 개선되지 않았으며, 단지 공극충전율 50%일 때 폴리머 시멘트 비 3%에서 약간 증대하였다가 일정강도를 유지하였다. 일반적으로 폴리머 시멘트 모르타르에서는 폴리머의 혼입에 의한 휨 및 압축강도가 증가하는 것으

### 3.2 투수계수

그림 7은 공극충전율을 변화시킨 투수성 콘크리트의 투수계수와 폴리머 시멘트 비의 관계를 나타낸 것이다. 일반적으로 폴리머를 혼입하는 경우 폴리머 시멘트 비의 증가에 따른 모르타르 성분의 투수성의 저하에 의해 투수성은 저감되리라 예상했으나 실제의 결과는 폴리머 시멘트 비 0%를 제외하면 투수성 콘크리트의 투수계수는 폴리머 시멘트 비의 증가에 따라 증가하는 경향을 보인다. 이것은 전술한 바와 같이 용적배합으로 배합을 결정하였기 때문에 폴리머 시멘트 비가 증가함에 따라 시멘트와 폴리머를 합한 단위량의 감소에 의해 투수성이 오히려 개선된 것으로 생각된다. 한편 공극충전율에 관계없이 실리카흙 및 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 투수성 콘크리트의 투수계수는 그림 8과 그림 9에서 나타나듯이 강도성상과는 반대로 실리카흙 및 섬유 혼입율의 증가에 따라 현저하게 감소하였다. 이러한 경향은 공극충전율 50%에 있어서 현저하다. 본 연구에 있어서의 투수성 콘크리트의 투수계수는 공극충전율에 크게 좌우되며 공극충전율 30%일 때 1.14~1.70cm/s이고 공극충전율 50%일 때 0.19~1.04cm/s로 나타났다.

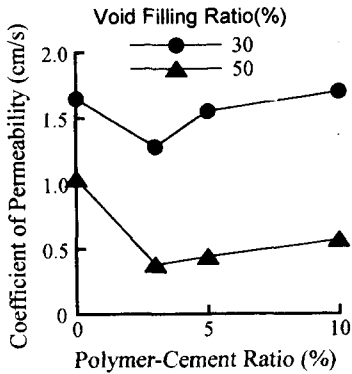


그림 7 투수계수와 폴리머 시멘트비의 관계

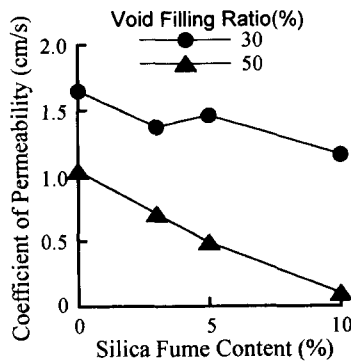


그림 8 투수계수와 실리카흙 혼입율의 관계

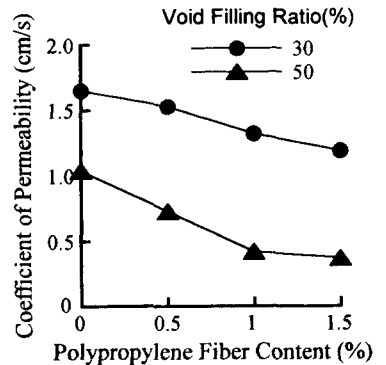


그림 9 투수계수와 폴리프로필렌 섬유 혼입율의 관계

### 3.3 강도와 투수성

이상과 같이 투수성 콘크리트의 휨 및 압축강도와 투수계수에 대하여 고찰해 보면 투수계수는 공극충전율이 커지면 연속공극율이 작아지는 반면 휨 및 압축강도는 그와 반대로 증가한다. 투수성 콘크리트의 휨 및 압축강도와 투수계수의 관계를 그림 10과 그림 11에 나타냈다.

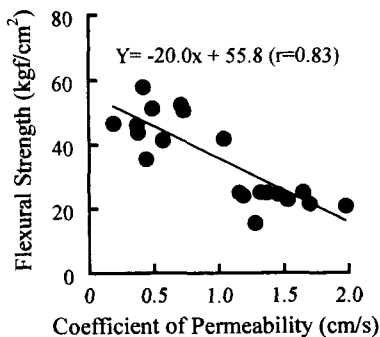


그림 10 휨강도와 투수계수의 관계

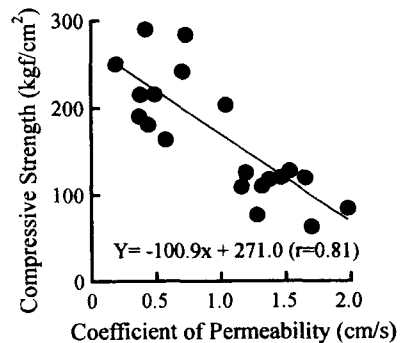


그림 11 압축강도와 투수계수의 관계

#### 4.3 투수성 콘크리트의 전공극에 대한 연속공극비

그림 12는 폴리머, 실리카흄 및 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 투수성 콘크리트의 전공극에 대한 연속공극비를 나타냈다. 연속공극의 양이 투수계수와 관련이 있기 때문에 연속 공극이 감소한다는 것은 투수계수의 감소를 초래한다. 전공극에 대한 연속공극비는 공극충전율 50%일 때 보다도 공극충전율 30%일 때 크게 나타났으며, 공극충전율 30%일 때의 실리카흄을 혼입한 투수성 콘크리트의 연속공극율은 90% 이상으로 아주 높게 나타났다.

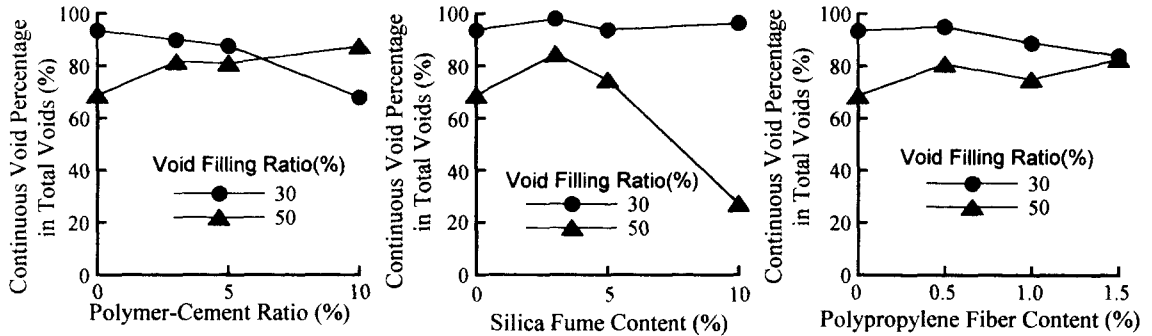


그림 12 폴리머, 실리카흄 및 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 투수성 콘크리트의 전공극에 대한 연속공극비

#### 4. 결론

투수성 콘크리트의 강도와 투수성에 영향을 미치는 폴리머, 실리카흄 및 폴리프로필렌 섬유 혼입 효과에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 폴리머, 실리카흄 및 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 투수성 콘크리트의 휨 및 압축강도의 증진효과는 공극율이 클수록 현저하게 나타났다. 특히 공극충전율 50%일 때 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 투수성 콘크리트의 휨 및 압축강도는 섬유혼입율 1.0%에서 최대값에 달하였으며 이때의 값은 섬유를 혼입하지 않은 것과 비교하여 약 1.5배의 강도가 개선되었다.
- (2) 폴리머, 실리카흄 및 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 투수성 콘크리트의 투수계수는 공극충전율에 크게 좌우되며 공극충전율 30%일 때 1.14~1.70cm/s, 공극충전율 50%일 때 0.19~1.04cm/s로 나타났다.
- (3) 이상으로, 투수성 콘크리트의 휨 및 압축강도의 개선을 위해서는 폴리머와 실리카흄 그리고 섬유를 병용하는 것에 의해 강도의 증진효과는 더욱 커지리라 예측되며 고강도 투수성 콘크리트의 제조가 가능하리라 확신한다.

[감사의 글] 본 연구를 위하여 재유화형 분말수지를 제공하여 주신 (주)케미콘, 클라리안트 코리아 주식회사 그리고 폴리프로필렌섬유를 제공하여 주신 (주)에스에스산업의 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. 出村克宣 外4人, ポリマ-混入透水コンクリ-トの開發, セメント・コンクリ-ト論文集, No.47, 1993, pp.226-231.
2. (社) 콘크리트工学協會エコ콘크리트研究委員會, エコ콘크리트研究委員會報告書, 日本コンクリ-ト工学協會, 東京, Nov.1995, pp.23-78.
3. Caestecker, C, Test Sections of Noiseless Cement Concrete Pavements, The Ministry of Flemish Community, Environment and Infrastructure Department Roads and Traffic Administration, Cement Concrete Pavements Commission, Belgium, 1997. 4. 28p.
4. Ohama, Y., Demura, K., Morikawa, M., and Ogi, T., "Properties of Polymer-Modified Mortars Containing Silica Fume", Brittle Matrix Composites 2, Elsevier Science Publishers, Barking, Essex, England, 1989, pp.648~657.

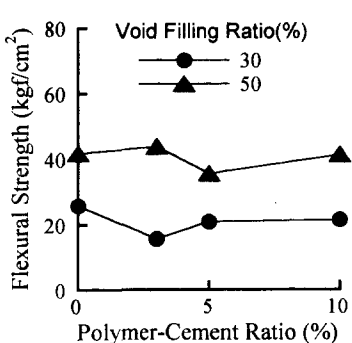


그림 1 휨강도와 폴리머 시멘트 비의 관계

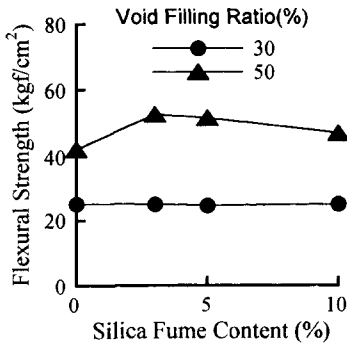


그림 2 휨강도와 실리카 흙 혼입율의 관계

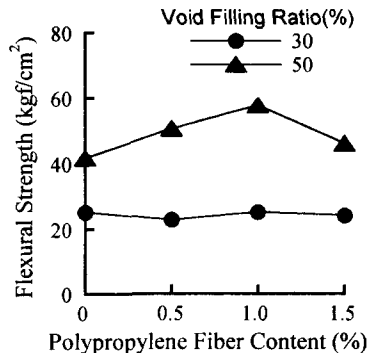


그림 3 휨강도와 폴리프로필렌 섬유 혼입율의 관계

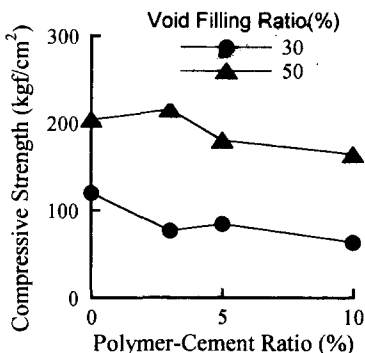


그림 4 압축강도와 폴리머 시멘트비와의 관계

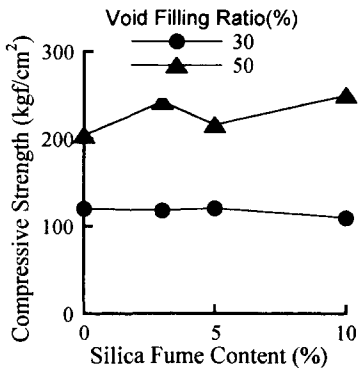


그림 5 압축강도와 실리카 흙 혼입율과의 관계

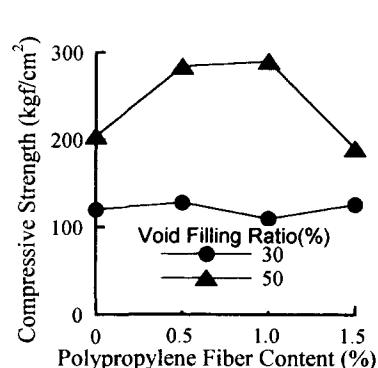


그림 6 압축강도와 폴리프로필렌 섬유혼입율의 관계

로 알려져 있으나, 본 연구결과에서는 단지 공극 충전율 50%일 때의 폴리머 시멘트 비 3%에서만 강도가 약간 증가하는 경향을 보였다. 이것은 표-4의 배합표에서 알 수 있듯이 용적배합으로 배합을 결정하였기 때문에 폴리머 시멘트 비가 증가함에 따라 시멘트와 폴리머를 합한 단위량의 감소에 의해 폴리머의 혼입에 의한 강도개선 효과가 크게 나타나지 않은 것으로 사료된다.

그림 2와 그림 5는 투수성 콘크리트의 휨 및 압축강도와 실리카흙 혼입율과의 관계를 나타내고 있다. 공극충전율 30%에서의 투수성 콘크리트의 휨 및 압축강도는 실리카흙 혼입율을 증가시켜도 거의 일정하였고 공극 충전율 50%에서의 휨 및 압축강도는 실리카흙 미혼입의 투수성 콘크리트보다도 크게 나타났으며 이러한 경향은 압축강도에 있어서 현저하였다. 결과적으로 투수성 콘크리트의 실리카흙 혼입효과는 공극충전율을 높일 수록 커진다는 것을 알 수 있다.

그림 3과 그림 6은 투수성 콘크리트의 폴리프로필렌 섬유 혼입율의 변화에 따른 휨 및 압축강도를 나타내고 있다. 공극충전율 30%에서의 투수성 콘크리트의 휨 및 압축강도는 실리카흙을 혼입한 것과는 거의 같은 양상을 보였으며 강도의 증진효과는 거의 없었다. 한편 공극 충전율 50%에서의 투수성 콘크리트의 휨 및 압축강도는 섬유 혼입율의 증가에 따라 증대하였으며 섬유 혼입율 1.0%에서 최대값을 나타냈다. 이때의 휨 및 압축강도는 각각 60kgf/cm<sup>2</sup>와 290kgf/cm<sup>2</sup>으로 섬유 혼입율 0%일 때의 휨 및 압축강도와 비교하여 1.5배의 강도 증진효과를 보였다. 이상과 같이 투수성 콘크리트의 휨 및 압축강도의 개선은 실리카흙과 폴리프로필렌 섬유를 병용하는 것에 의해 더욱 효과가 커지리라 예상된다.