

섬유보강 포러스 콘크리트의 공극률과 투수계수 특성에 관한 연구

A Study on the Void Ratio and Permeability Coefficient Properties of fiber Reinforced Porous Concrete

김 정 환**

Kim, Jeong Hwan

조 광 연**

Cho, Gwang Yoen

이 준***

Lee, Jun

박 승 범*

Park, Seung Bum

ABSTRACT

Porous concrete is defined as a type of concrete for which the fine aggregate component the matrix is entirely omitted. Although it had been used as a building material in Europe for over 60 years, low strength and high void ratio limited its application in the past. In recent years, however, high void ratio of concrete has been recognized again and can be used as an environmental conscious material, for example, parking lots, draining light-traffic-volume pavements and as sea water purifying material. The result of an experiment on the void ratio of fiber reinforced porous concrete and its influence on the compressive strength and permeability relationship of concrete are reported in this paper. One-sized coarse aggregate of 5-10 mm, and three absolute volume ratios of paste to aggregate of 30, 35 and 40 % for a given sized aggregate, and different content of fiber(steel fiber, polypropylen fiber) were used. The result of measured void ratio, permeability coefficient and compressive strength show a small variation. Void ratio, permeability coefficient and compressive strength of fiber reinforced porous concrete depend on contents of fiber and absolute volume ratios of paste to aggregate

1. 서 론

포러스콘크리트는 잔골재를 사용하지 않고 주로 보통포틀랜드시멘트와 일정한 크기의 굵은골재와 물로 구성되어 있으며 다공성, 통과성, 빈입도 등의 성질을 가지고 있다. 과거 60년 동안 유럽에서는 빌딩재료로 사용하였지만 낮은강도와 높은 공극률로 인하여 그 적용이 극히 제한되었다. 그러나 포러스콘크리트가 유출량의 조절과 홍수의 감소, 동결융해조건하에서의 높은 내구성, 수원에서서의 오염조절, 도로와 인도 표면의 물튀김의 방지, 배수관의 크기의 축소 또는 제거, 공극을 통한 물의 자연적 증발에 의한 펌핑작용의 보호, 수분의 증발에 의해 도로와 인도의 표면을 차갑게 하여 타이어 위험 감소, 도로표면의 미끄럼방지 등에 효과가 있다고 여러 연구자에 의해 보고되면서 경량이면서 온도흡수 특성이 요구되는 콘크리트벽, 주차장, 테니스장, 도로와 공항의 기층, 온실바닥, 태양에너지 저장시스템 등에 적용되고 있다. 우리나라의 경우 최근 구조용 재료로만 생각되어 온 시멘트·콘크리트가 환경

* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 충남대학교 토목공학과, 박사과정

*** 정회원, 충남대학교 토목공학과, 석사과정

보존과 주변의 경관 향상을 전제로 한 도시 지역 개발에 환경친화적인 재료로 최근에 거론되기 시작하면서 높은 공극률을 가진 포러스콘크리트가 인식되기 시작하였다. 따라서 본 연구에서는 성능이 우수한 포러스콘크리트를 제조하기 위한 기초적 실험으로서 강섬유와 폴리프로필렌섬유를 혼입한 섬유보강 포러스콘크리트의 공극률과 투수계수 그리고 압축강도 특성 등을 검토하여 현장적용을 위한 기초적 물성을 제공하고자 한다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 D사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 화학적 조성 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 보통 포틀랜드 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질

화학적 성분(%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Ig.loss	Total
21.24	5.97	3.34	62.72	2.36	0.13	0.81	1.97	1.46	100

물리적 성질								
비중	비표면적 (cm ² /g)	44 μm on Residue (%)	안정도	용결시간(분)		압축강도(kg/cm ²)		
				초결	종결	3일	7일	28일
3.14	3200	12.5	0.02	240	370	221	298	389

2.1.2 골재

본 실험에 사용된 굵은골재는 최대치수 10mm의 부순돌을 사용하였으며, 굵은골재의 물리적 성질은 표 2에 나타낸 바와 같다.

표 2. 굵은골재의 물리적 성질

종류	단위용적증량 (kg/m ³)	비중	실적율	공극율
5-10mm 부순돌	1630	2.63	56.2%	43.8%

2.1.3 보강용 섬유

본 실험에 사용된 섬유는 강섬유, 폴리프로필렌섬유 등 모두 2종류의 섬유를 사용하였으며, 강섬유는 국내 C사 제품으로 치수 $\phi 0.6\text{mm} \times 36\text{mm}$ 의 양단 후크형(End Hook형)섬유와 폴리프로필렌섬유는 국내 S사 제품의 25mm의 Mesh형 섬유를 사용하였다.

표 3. 본 연구에 사용된 섬유의 물성

섬유종류	단면형상	크기(mm)	길이(mm)	비중	Elongation	인장강도(kgf/cm ²)
강섬유	원형	$\phi 0.6$	36	7.85	3.5	4,500
폴리프로필렌섬유	원형	100×10-3	25	0.91	25	2,600

2.2 섬유보강 투수콘크리트의 배합

섬유보강 포러스 콘크리트의 혼합은 섬유의 균등분산과 밀실한 콘크리트의 제조를 위하여 용량 30

ℓ의 일본 C사의 섬유분산용 Omni-Mixer를 사용하였다. 배합설계시 페이스트골재비와 섬유혼입량의 변화를 주었으며 믹싱방법은 시멘트와 골재를 투입하여 2분간 건비빔한 후 물을 첨가하여 1분간 비비고 각각의 섬유를 투입 후 1분간 믹싱하는 분할 투입 방식을 이용하였다.

표 4. 섬유보강 포러스콘크리트의 배합설계

Mix No.	W/C (%)	Fiber Content (vol.%)	P/Gv	단위중량(kg/m ³)			
				C	W	G	Fiber
Plain	30	0	0.30	300	90	1630	0
			0.35	350	105	1630	0
			0.40	400	120	1630	0
S-0.3		0.3	0.30	300	90	1622	23.5
			0.35	350	105	1622	23.5
			0.40	400	120	1622	23.5
S-0.6		0.6	0.30	300	90	1614	47.1
			0.35	350	105	1614	47.1
			0.40	400	120	1614	47.1
S-0.9		0.9	0.30	300	90	1606	70.7
			0.35	350	105	1606	70.7
			0.40	400	120	1606	70.7
P-0.1		0.1	0.30	300	90	1627	0.9
			0.35	350	105	1627	0.9
			0.40	400	120	1627	0.9
P-0.2		0.2	0.30	300	90	1625	1.8
			0.35	350	105	1625	1.8
			0.40	400	120	1625	1.8
P-0.5		0.5	0.30	300	90	1617	4.5
			0.35	350	105	1617	4.5
			0.40	400	120	1617	4.5

2.3 실험방법

2.3.1 공극률 시험방법

포러스 콘크리트의 공극률시험은 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 원주형 공시체를 제작하여 공시체를 옆면과 밑면을 밀봉하고 상부에 넘칠 때까지 물을 부어 주입된 물량을 공시체용적으로 나눈값으로 하였다. 포러스 콘크리트의 공극률의 측정방법은 여러 연구자에 의하여 여러식을 제안하고 있지만 본 연구에서는 포러스 콘크리트는 연속된 공극을 가지고 있는점을 착안하여 간헐공기를 제외한 연속적인 공극을 측정하기 위하여 위의 방법을 채택하였다.

$$\text{연속공극률(\%)} : (1 - (W/V)) \times 100$$

여기서, W : 물의 양, V : 공시체의 용적

2.3.2 압축강도 시험방법

포러스 콘크리트의 압축강도 시험은 섬유의 영향을 고려하여 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 원주형 몰드에 콘크리트를 채우고 4.5kg의 램머로 45cm 높이에서 3층 10회씩 다진 다음 48시간 후 탈형하여 수중양생후 재령 28일에서 KS F 2405 『콘크리트의 압축강도 시험방법』에 준하여 압축강도를 측정하였다.

2.3.3 투수계수 시험방법

포러스 콘크리트의 투수계수 시험은 일본도로협회의 『투수성 아스팔트 혼합물의 투수 시험방법』에 준하여 측정하였으며 투수의 정도를 투수계수로 표시하였으며 다르시 법칙에 근거하여 다음의 식에 의하여 산출하였다.

$$K = \frac{L}{H} \times \frac{Q}{A(T_2 - T_1)}$$

여기서, K:투수계수(cm/sec), L:공시체의 높이(cm), A:공시체의 단면적(cm²), T₁:측정 개시시간(sec), T₂:측정 완료시간(sec), Q:T₁에서 T₂까지 흐른 유량(cm³)

3. 실험 결과 및 분석

3.1 공극률

포러스 콘크리트에 2종의 섬유(SF, PF)를 혼입한 후 혼입률별, 페이스트골재비별 공극률의 실험 결과는 그림 1과 같다. 이를 고찰해 보면 섬유보강 포러스 콘크리트도 일반 포러스 콘크리트와 마찬가지로 페이스트골재비가 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었으며, 또한 동일한 페이스트골재비에서 섬유혼입률이 증가할수록 공극률은 증가하는 것으로 나타났다. 예를 들면 페이스트골재비가 0.3%일 때, 일반포러스 콘크리트에 비하여 강섬유를 0.9%혼입한 섬유보강 포러스 콘크리트의 공극률이 13.7%로 증가하는 것으로 나타나 과도한 섬유혼입은 공극률을 증가시켜 역학적 성능과 내구성 성능을 저하시킬 우려가 있으므로 강섬유는 0.5% 이내, 폴리프로필렌섬유는 0.2%로 이내로 혼입하는 것이 바람직하다고 사료된다. 따라서 섬유보강 포러스 콘크리트의 공극률은 페이스트골재비와 섬유혼입률에 영향을 받는 것으로 판단된다.

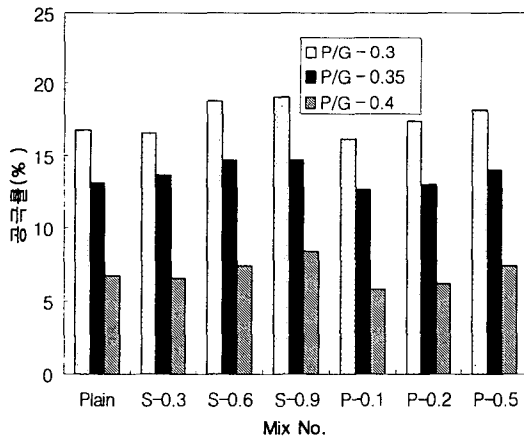


그림 1. 섬유보강 포러스콘크리트의 공극률

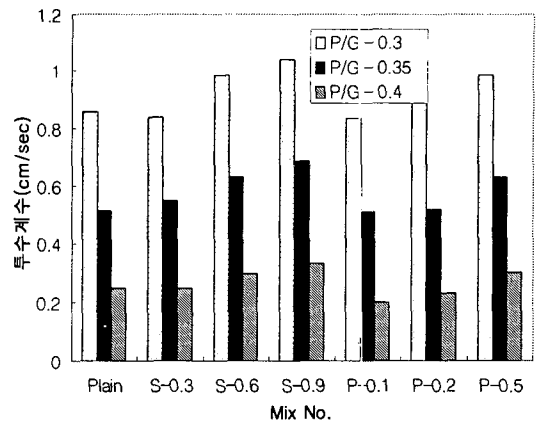


그림 2. 섬유보강 포러스콘크리트의 투수계수

3.2 투수계수

섬유보강 포러스콘크리트의 투수계수 시험결과는 그림 2와 같다. 이를 고찰하여 보면 섬유보강 포러스콘크리트의 투수계수는 페이스트골재비가 증가할수록 현저히 감소하는 경향을 나타내었으며 페이스트골재비가 0.3%일 때 섬유를 혼입하지 않은 포러스콘크리트에 비하여 강섬유를 0.9%로 혼입한 포러스콘크리트보다 21%로 증가하였으며 폴리프로필렌섬유를 0.5%로 혼입한 포러스콘크리트는 15%로 증

가하여 동일한 페이스트골재비에서 섬유혼입량이 증가할수록 투수계수는 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 공극률과 마찬가지로 섬유보강 포러스 콘크리트의 투수계수는 섬유혼입량과 페이스트골재비에 영향을 받는 것으로 판단된다.

섬유를 혼입한 포러스콘크리트의 공극률과 투수계수의 관계는 그림 3~4와 같이 공극률과 투수계수는 비례관계로 나타났으며 선형회귀분석결과 상관계수가 95%이상으로 나타나 투수계수는 공극률에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

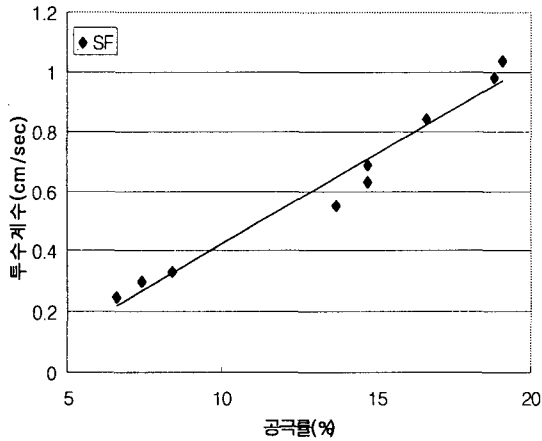


그림 3. 공극률과 투수계수의 관계(SF혼입시)

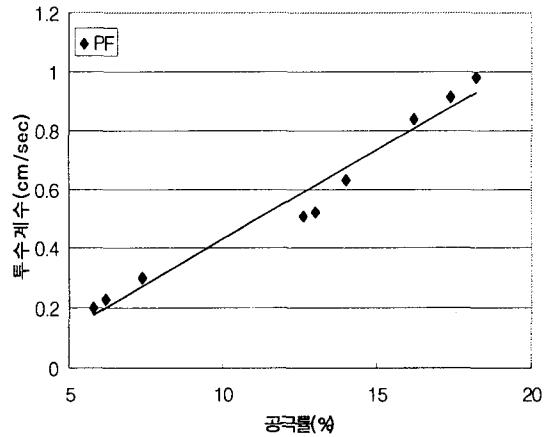


그림 4. 공극률과 투수계수의 관계(PF혼입시)

3.3 압축강도 특성

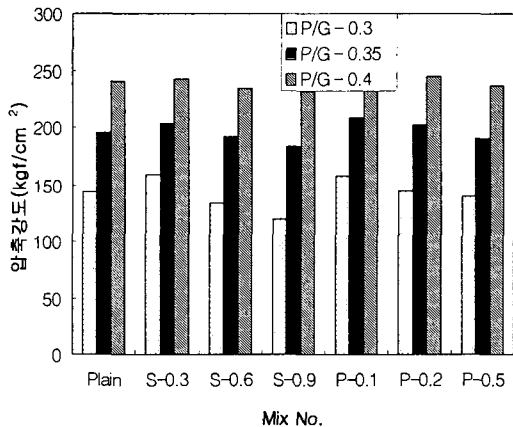


그림 5. 섬유보강 포러스콘크리트의 압축강도

으며, 압축강도와 공극률의 상관식은 강섬유를 혼입한 포러스콘크리트의 경우는 $f_c = -9.1914x + 312.36$, 폴리프로필렌섬유를 혼입한 포러스콘크리트경우는 $f_c = -8.5783x + 302.59$ 로 나타났으며 상관계수는 0.97이상으로 높은 상관관계가 성립되었다.

2종류의 섬유를 혼입한 섬유보강 포러스콘크리트의 압축강도특성은 그림 5와 같다. 이를 고찰하여보면 페이스트골재비가 증가함에 따라 압축강도는 현저히 증가하는 경향을 나타내었으며 동일한 페이스트골재비에서 섬유혼입률별 압축강도를 비교해 보면 섬유의 혼입률이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 나타냈는데 이는 공극률이 증가했기 때문이라고 판단된다. 또한 전반적으로 섬유의 혼입량이 적을 경우 양호한 압축강도를 나타내고 있으며 섬유를 혼입하지 않은 포러스콘크리트와 비교해보면 강도의 큰 차이는 보이고 있지 않아 섬유의 혼입에 의해 압축강도의 증진효과는 미비한 것으로 나타났다.

섬유보강 포러스 콘크리트의 압축강도와 공극률과의 관계는 그림 6~7과 같이 반비례관계가 성립되었

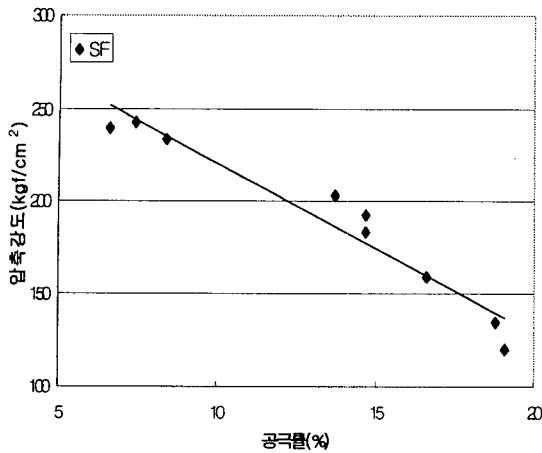


그림 6 압축강도와 공극률의 관계(SF혼입시)

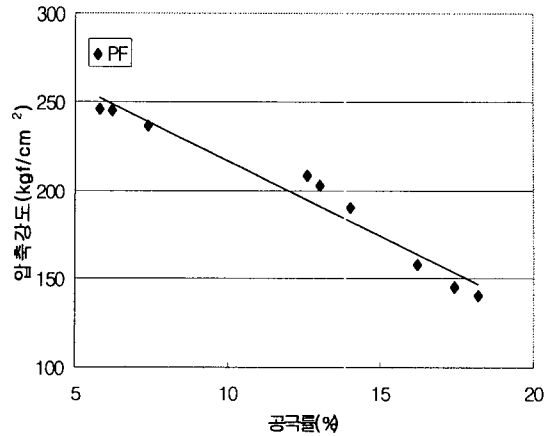


그림 7 압축강도와 공극률의 관계(PF혼입시)

4. 결 론

섬유보강 포러스콘크리트의 공극률과 투수계수의 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 포러스 콘크리트에 2종의 섬유(SF, PF)를 혼입한 후 혼입률별, 페이스트골재비별 공극률의 실험결과 페이스트골재비가 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었으며, 또한 동일한 페이스트골재비에서 섬유혼입률이 증가할수록 공극률은 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 과도한 섬유혼입은 공극률은 증가시켜 역학적 성능과 내구성 성능을 저하시킬 우려가 있으므로 강섬유는 0.5 vol% 이내, 폴리프로필렌섬유는 0.2 vol%로 이내로 혼입하는 것이 바람직하다고 사료된다.
- (2) 섬유보강 포러스콘크리트의 투수계수 시험결과 페이스트골재비가 증가할수록 투수계수는 현저히 감소하는 경향을 나타내었으며 동일한 페이스트골재비에서 섬유혼입률이 증가할수록 투수계수는 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 공극률과 마찬가지로 섬유보강 포러스 콘크리트의 투수계수는 섬유혼입량과 페이스트골재비에 영향을 받는 것으로 판단된다.
- (3) 섬유보강 포러스콘크리트의 압축강도특성은 페이스트골재비가 증가함에 따라 압축강도는 현저히 증가하는 경향을 나타내었으며 동일한 페이스트골재비에서는 섬유혼입률이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 나타냈는데 이는 공극률에 영향을 받았기 때문이라고 판단된다. 또한 전반적으로 섬유의 혼입량이 적을 경우 양호한 압축강도를 나타내고 있으며 섬유를 혼입하지 않은 포러스콘크리트와 비교해보면 강도의 큰 차이는 보이고 있지 않아 섬유의 혼입에 의해 압축강도의 증진효과는 미비한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 박승범, "에너지절약형 고기능섬유보강 콘크리트의 개발 및 설계·시공지침안 작성에 관한 연구", 한국건설기술연구원, 1998. 10.
2. 中澤 隆雄, Abderrazak ZOUAGHI, "ポーラスコンクリートの配合が透水性および強度に及ぼす影響", セメント・コンクリート論文集, No.5, pp.382-387, 1996
3. 小椋 伸司, "ポーラスコンクリートの強度改善", コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 19, pp.499-504, 1997
4. 柳橋邦生, "ポーラスコンクリートの締固め方法に関する研究", コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 20, No. 2, pp.589-594, 1998