

섬유보강 투수 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Mechanical Properties of Fiber Reinforced Permeability Concrete

이 봉 춘* 조 청 휘* 박 승 범**
Lee, Bong Chun Cho, Chung Whi Park, Seung Bum

ABSTRACT

In this study mechanical properties of various fiber reinforced permeability concrete mixtures are investigated. Several mixes with fiber kinds(steel fiber, polypropylen fiber, carbon fiber) and different fiber content(steel fiber : 0.3~0.9vol.%, polypropylen fiber : 0.1-0.5vol.%, carbon fiber : 0.2~0.7vol.%) were studied. Test results are presented in terms of compressive strength, tensile-flexural strength and load-deflection behavior. The effect of fiber reinforcement does not increase the compressive strength of permeability concrete without fiber. Also, the tensile-flexural strength using various fibers are appeared good strength increase as conventional fiber reinforced concrete. Therefore, use of fiber for permeability concrete is necessary to improve of tensile-flexural properties and deformation performance(toughness).

1. 서 론

최근 세계적으로 환경문제에 대한 관심의 고조와 도시개발에 따른 주변경관 및 삶의 질 향상을 위한 요구가 증대되고 있는 실정으로 환경문제의 해결 및 경관의 향상을 전제로 콘크리트 구조물도 자연과의 조화가 요구되고 있다. 이러한 환경문제를 해결하기 위한 일환으로 콘크리트에 잔골재를 사용하지 않고 불연속 입도의 굵은 골재를 사용한 환경친화적 건설재료인 투수콘크리트는 연속공극을 많이 포함하고 있으며, 투수성과 흡음성 및 수질정화 성능이 효과적이고 식생이 가능한 특성으로 인해 환경부하저감을 위한 콘크리트로 많은 연구가 수행되고 있다. 그러나, 자전거 전용도로, 주차장, 광장, 공원 및 체육시설 등과 같은 시설에 많이 적용되고 있는 투수콘크리트는 여러 우수한 성능에도 불구하고 강도 및 내구성에 있어서 취약한 특성을 나타내고 있으나, 현재 이에 대한 연구는 압축강도 증진을 위한 연구 등이 수행되고 있으나 미진한 실정에 있으며, 투수콘크리트의 인장 및 휨 특성에 관한 연구는 전무한 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 보통의 투수콘크리트에 3종의 섬유를 혼입하여 투수콘크리트 공시체를 제작하여 투수콘크리트의 고성능화를 위해 섬유와 혼입률에 따른 공극률과 강도 특성 및 하중-변위 특성 등의 실험적 연구를 수행하였다.

* 정회원, 충남대학교 토목공학과 대학원

** 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

(1) 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 D사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 화학적 조성 및 물리적 성질은 표 2.1과 같다.

표 2.1 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	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm ²)			
				초결	종결	3일	7일	28일	
3.14	3200	12.5	0.02	240	370	221	298	389	

(2) 골재

본 실험에 사용된 굵은골재는 최대치수 10mm의 부순돌을 사용하였으며, 굵은골재의 물리적 성질은 표 2.2에 나타낸 바와 같다.

표 2.2 굵은골재의 물리적 성질

종류	단위용적중량(kg/ℓ)	비중	실적율	공극율
5-10mm 부순돌	1630	2.63	56.2%	43.8%

(3) 보강용 섬유

본 실험에 사용된 섬유는 강섬유, 폴리프로필렌섬유, 탄소섬유 등 모두 3종류의 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.

또한, 탄소섬유는 KOSKA(주) 제품의 길이 30mm의 PAN계 섬유를 사용하였으며 각각의 보강용 섬유에 대한 물성은 표 2.3에 나타낸 바와 같다.

표 2.3 본 연구에 사용된 신소재의 물성

섬유종류	단면형상	크기(mm)	길이(mm)	비중	인장강도(kgf/cm ²)
강섬유	원형	$\phi 0.6$	36	7.85	4,500
폴리프로필렌섬유	원형	100×10^{-3}	25	0.91	2,600
탄소섬유	원형	6.8×10^{-3}	30	1.78	25,000

2.2 섬유보강 투수콘크리트의 배합

섬유보강 투수콘크리트의 혼합은 섬유의 균등분산과 밀실한 콘크리트의 제조를 위하여 일본 C사의 용량 30ℓ인 섬유분산용 Omni-Mixer를 사용하였다. 섬유보강 투수콘크리트의 배합은 시멘트와 골재를 투입하여 1분간 건비빔한 후 물을 첨가하여 1분 30초간 비비고 각각의 섬유를 투입 후 1분간 믹싱하는 분할 투입 방법을 이용하였다.

표 2.4 섬유보강 투수콘크리트의 배합설계

섬유종류	Mix No.	W/C (%)	Fiber Content (vol.%)	단위중량(kg/m ³)			
				C	W	G	Fiber
Plain	Plain	30	0	300	90	1630	0
Steel Fiber	S-0.3		0.3	300	90	1583	23.5
	S-0.6		0.6	300	90	1590	47.1
	S-0.9		0.9	300	90	1606	70.7
PP Fiber	P-0.1		0.1	300	90	1628	0.9
	P-0.2		0.2	300	90	1628	1.8
	P-0.5		0.5	300	90	1629	4.5
Carbon Fiber	C-0.2		0.2	300	90	1622	3.3
	C-0.5		0.5	300	90	1623	8.2
	C-0.7		0.7	300	90	1626	11.4

2.3 실험방법

(1) 공극률 시험방법

φ10×20cm 원주형 공시체를 제작하여 일본 에코콘크리트 연구위원회에서 제안한 「포러스콘크리트의 공극률시험방법」에 준하여 시험하였다.

(2) 투수콘크리트의 압축강도 및 인장강도 시험방법

φ10×20cm 원주형 공시체를 제작하여 재령 28일에서 압축강도는 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험방법」과 인장강도 KS F 2423 「콘크리트의 인장강도 시험방법」에 준하여 시험하였다.

(3) 투수콘크리트의 휨강도 및 휨인성 시험방법

섬유보강 투수콘크리트의 배합조건별 휨강도 및 휨인성 시험은 15×15×55cm의 보 공시체를 제조하여 재령 28일에서 3등분점재하 시험장치를 이용하여 수행하였다. 시험은 JSCE-SF4의 「섬유보강 콘크리트의 휨강도 및 휨인성 시험방법」에 준하여 일본 S사의 B Type Autograph를 사용하여 하중별 처짐량을 측정 후 하중-처짐곡선을 통해 휨인성을 평가하였다.

3. 실험결과

섬유의 종류 및 혼입률에 따른 투수콘크리트의 강도특성 및 휨인성계수의 시험결과는 표 3.1과 같다.

3.1 섬유보강 투수콘크리트의 공극률과 압축강도 특성

투수콘크리트에 3종의 섬유(SF, PP, CF)를 혼입한 후 각각의 섬유 혼입률에 따른 공극률과 압축강도의 실험결과는 그림 3.1과 같다. 이를 고찰해 보면, 섬유를 혼입한 섬유보강 투수콘크리트의 압축강도는 섬유를 혼입하지 않은 보통의 투수콘크리트와 마찬가지로 공극률의 증대에 따라 압축강도는 저하하는 상관관계를 나타내고 있으며, 섬유의 혼입률이 증대할수록 공극률이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 한편, 강섬유를 0.3vol.%와 PP섬유 0.1vol.%, 탄소섬유 0.1vol.%를 혼입한 경우의 압축강도는 보통의 투수콘크리트에 비해 각각 11%, 11%, 10%의 압축강도 증진을 나타내었다.

표 3.1 섬유보강 투수콘크리트의 실험결과

Mix No	공극률 (%)	강도(kgf/cm ²)			휨인성계수 (kgf/cm ²)
		압축	인장	휨	
Plain	16.8	143	20.5	28.4	2.4
S-0.3	16.6	159	21.7	32.8	12.0
S-0.6	18.8	134	23.3	34.6	15.3
S-0.9	19.1	120	22.5	33.8	14.9
P-0.1	16.2	158	21.4	32.3	5.3
P-0.2	17.4	145	22.6	33.2	7.9
P-0.5	18.2	140	22.7	34.0	6.4
C-0.1	16.1	157	23.5	34.7	7.3
C-0.5	18.9	131	22.6	34.3	5.9
C-0.7	20.1	100	21.6	31.5	4.9

일반적으로 섬유 함량의 낮은 혼입량에서 양호한 압축강도를 나타내고 있으며, 보통 투수콘크리트와 비교해볼 때 강도의 큰 차이는 나타나고 있지 않다. 따라서 섬유를 혼입한 섬유보강 투수콘크리트의 압축강도는 일반적인 섬유보강콘크리트와 마찬가지로 압축강도의 증대효과는 미비한 것으로 나타났다.

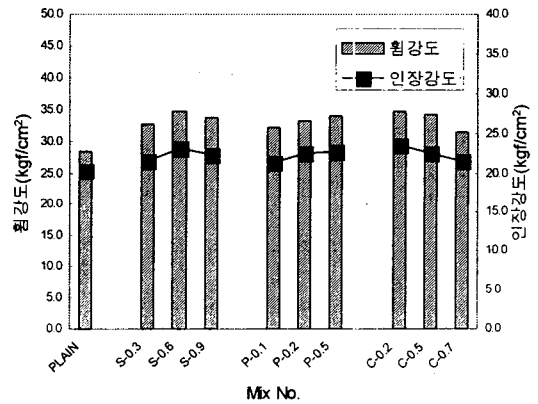
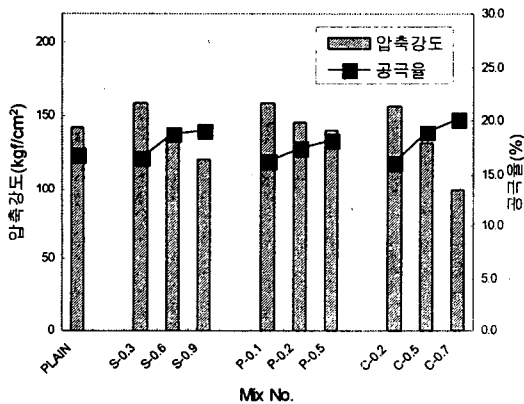


그림 3.1 섬유혼입에 따른 공극률과 압축강도그림

3.2 섬유혼입에 따른 인장강도와 휨강도

3.2 섬유보강 투수콘크리트의 인장강도 및 휨강도 특성

보통의 투수콘크리트에 섬유의 종류와 혼입률에 따른 인장강도 및 휨강도의 실험결과는 그림 3.2와 같다. 이를 살펴보면, 섬유를 혼입한 섬유보강 투수콘크리트가 보통의 투수콘크리트보다 인장강도 및 휨강도에 있어서 모두 양호한 증진효과를 나타내었다. 섬유보강 투수콘크리트의 섬유혼입률에 따른 인장강도는 보통의 투수콘크리트에 비해 강섬유는 5.8~13.7%, PP섬유는 4.5~10.8%, 탄소섬유의 경우는 5.5~14.7%의 증진효과를 나타내었으며, 휨강도의 경우는 강섬유가 15.5~21.9%, PP섬유는 13.7~19.7%, 탄소섬유의 경우는 10.9~22%의 휨강도 증진효과를 보여주고 있다. 이와같이 섬유보강 투수콘크리트는 일반적인 섬유보강 콘크리트에서와 마찬가지로 압축강도의 증진효과 보다는 인장력의 강도 증진 효과를 발휘하고 있는 것으로 나타났다.

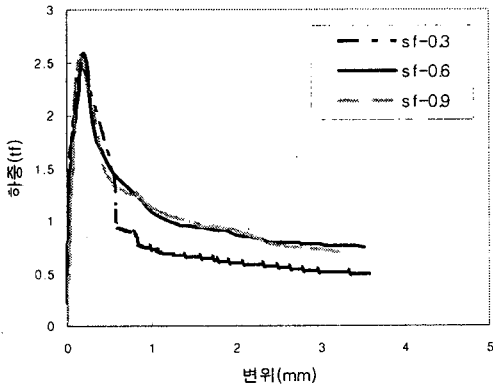


그림 3.3 하중-변위 곡선(강섬유)

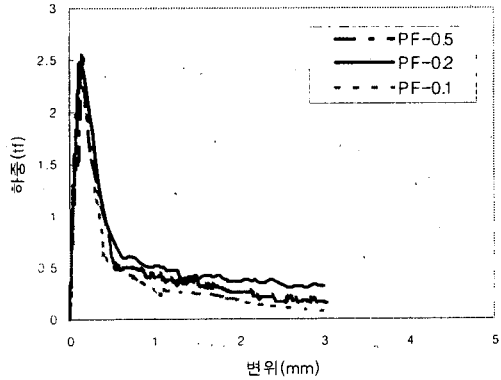


그림 3.4 하중-변위 곡선(폴리프로필렌섬유)

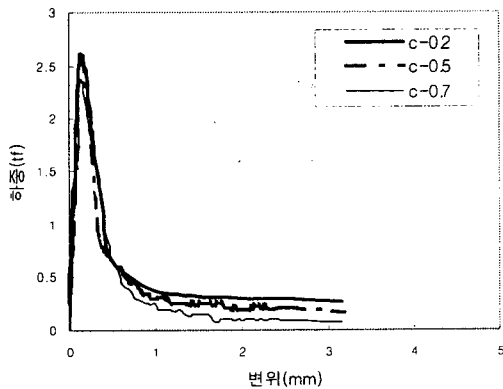


그림 3.5 하중-변위 곡선(탄소섬유)

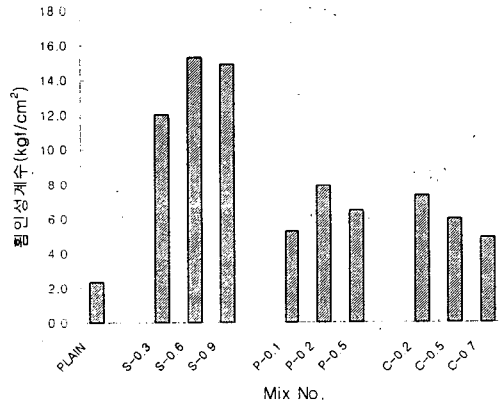


그림 3.6 섬유보강에 따른 휨인성계수

3.3 섬유 투수콘크리트의 휨인성 특성

섬유를 혼입한 섬유보강 투수콘크리트의 인성특성을 살펴보기 위해 측정한 하중-처짐 곡선을 그림 3.3~3.5에 나타내었다. 이를 살펴보면, 섬유의 첨가는 일반적인 투수콘크리트에서는 취약한 변형능이 섬유의 첨가로 개선되고 있음을 알 수 있다. 그림 3.6은 각각의 섬유와 혼입률에 따른 휨인성계수로서 보통의 투수콘크리트 보다 양호한 휨인성계수를 나타내고 있으며 강섬유를 혼입한 경우가 가장 양호한 휨인성계수를 나타내고 있다. 보통의 투수콘크리트보다 강섬유는 $9.7\sim 12.9\text{kgf/cm}^2$, PP섬유의 경우는 $2.9\sim 5.6\text{kgf/cm}^2$, 탄소섬유의 경우는 $2.6\sim 4.9\text{kgf/cm}^2$ 의 휨인성계수 증가를 나타내고 있어 섬유의 적정량 혼입은 투수콘크리트의 변형능력 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

섬유의 종류 및 혼입률의 변화에 따른 섬유보강 투수콘크리트의 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 투수콘크리트에 섬유를 보강한 섬유보강 투수콘크리트의 경우는 보통의 투수콘크리트와 마찬가지로 공극률의 증대에 따라 압축강도는 감소하는 상관관계를 나타내고 있으며, 섬유보강 투수콘크리트의 압축강도는 일반적인 섬유보강콘크리트와 마찬가지로 섬유보강 투수콘크리트에서도, 압축강도의 증대 효과는 미비한 것으로 나타났다.

(2) 섬유를 혼입한 투수콘크리트의 인장강도 및 휨강도는 보통 투수콘크리트보다 양호한 증진효과를 나타내었으며, 인장강도는 보통의 투수콘크리트에 비해 강섬유는 5.8~13.7%, PP섬유는 4.5~10.8%, 탄소섬유의 경우는 5.5~14.7%의 증진효과를 나타내었다. 또한, 휨강도의 경우 강섬유는 15.5~21.9%, PP섬유는 13.7~19.7%, 탄소섬유의 경우는 10.9~22%의 휨강도 증진효과를 나타내었다. 따라서 섬유보강 투수콘크리트는 일반적인 섬유보강 콘크리트에서와 마찬가지로 압축강도의 증진효과보다는 인장력의 효과를 발휘하고 있는 것으로 나타났다.

(3) 섬유를 보강한 투수콘크리트의 처짐변형성능을 분석한 결과 섬유혼입에 의해 변형성능이 개선되고 있는 것으로 나타났으며, 보통의 투수콘크리트보다 강섬유는 $9.7\sim 12.9\text{kgf/cm}^2$, PP섬유의 경우는 $2.9\sim 5.6\text{kgf/cm}^2$, 탄소섬유의 경우는 $2.6\sim 4.9\text{kgf/cm}^2$ 의 휨인성계수 증가를 나타나 섬유의 적정량 혼입은 투수콘크리트의 변형성능 향상에 효과적인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 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
2. 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
3. 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
4. 城健, “ポーラスコンクリートの空隙率と空隙分布の評価”, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 21, No. 1, pp.259-264, 1999
5. 박승범, “에너지절약형 고기능섬유보강 콘크리트의 개발 및 설계·시공지침안 작성에 관한 연구”, 한국건설기술연구원, 1998. 10.