



재생골재 및 섬유 혼입률에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 역학적 특성

Mechanical Properties of Permeable Polymer Concrete for Permeability Pavement with Recycled Aggregate and Fiber Volume Fraction

성찬용* · 김영익**†

Sung, Chan Yong* · Kim, Young Ik**†

ABSTRACT

Research on permeable pavement like asphalt and concrete pavement with porous structure has been increasing due to environmental and functional need such as reduction of run off and flood, and increase and purification of underwater resource. This study was performed to evaluate permeability, strengths and durability of permeable polymer concrete (PPC) using recycled aggregate that is obtained from waste concrete. Also, 6mm length of polypropylene fiber was used to increase toughness and interlocking between aggregate and aggregate surrounded by binder. In the test results, regardless of kinds of aggregates and fiber contents, the compressive strength and permeability coefficient of all types of PPC showed the higher than the criterion of porous concrete that is used in permeable pavement in Korea. Also, strengths of PPC with increase polypropylene fiber volume fraction showed slightly increased tendency due to increase binder with increase of fiber volume fraction. The weight reduction ratios for PPC after 300 cycles of freezing and thawing were in the range of 1.6~3.8 % and 2.2~5.6 %, respectively. The weight change ratio was very low regardless of the fiber volume fraction and aggregates. The weight reduction ratios of PPC with fiber and aggregate were in the range of 1.3~2.7 % and 2.2~3.2 % after 13 weeks and was very low regardless of the fiber volume fraction and aggregates.

Keywords: Fiber volume fractions; Recycled aggregate; Pavement; Permeable polymer concrete

1. 서 론

현재 우리나라의 도로포장은 불투수성의 시멘트 콘크리트 또는 아스팔트 포장이 주를 이루며, 강우시 우수를 하천이나 강으로 직접 배출하기 때문에 강우시 포장면 아래를 통한 우수의 침투가 이루어지지 않아 지하 수자원의 확보가 어려우며, 많은 양의 빗물이 배수되지 못하고 도로에 고여 교통 장애 및 차량 제동시 미끄러움에 대한 저항성이 떨어져 사고의 위험성이 높다 (Lho et al., 2007; Lee et al., 2002). 특히 최근에는 국지성 호우 및 집중 호우로 인한 도시 및 하천의 홍수량이 증가되어 저지대 및 하류지역에서 홍수피해가 빈번하게 발생하는 등 인명 및 재산 피해 등이 증가하고 있다 (Sung et al., 1996; Lee et al., 2002; Park et al., 2005; Kim et al.,

2005).

따라서 최근에는 이러한 불투수성 포장의 단점을 개선하기 위하여 투수성 포장에 대한 연구가 진행되고 있으며 특히 시멘트를 활용한 다공성 콘크리트의 제조에 의한 투수성 블록 및 포장 개발에 관한 연구와 실용화가 점점 증가하는 추세에 있다. Park et al. (2005)은 재생골재와 폴리머를 이용한 포장용 포러스 콘크리트에 대하여 강도, 내마모성 및 동결융해저항성 등에 대한 연구 결과를 제시하였으며, Chae (2001)는 무기질 및 폴리머 혼화재를 혼입한 투수콘크리트에서 혼화재의 사용에 의해 강도 및 투수계수를 개선하기 위한 연구를 수행하였다. 또한 Ko et al. (2009)은 투수콘크리트의 현장품질관리지침서 개발을 통하여 건설현장에서 투수 포장에 대한 품질관리 지침을 제시하였다.

한편, 시멘트를 결합재로 한 다공성 콘크리트의 경우 사용 골재에 관계없이 동결융해 사이클수가 30 이내에서 조기에 상태 동탄성계수가 60 % 이하로 나타나 내동해성이 현저히 감소하는 등의 겨울철 동결융해 저항성이 취약한 것으로 알려져 있다 (Park et al., 2005).

또한, 시멘트 콘크리트의 취성적 성질, 휨인성 및 초기수축 균열 등을 개선하기 위하여 섬유보강 콘크리트가 활용되고 있

* 충남대학교 지역환경토목과

** 강원대학교 지역건설공학과

† Corresponding author. Tel.: +82-33-251-6440

Fax: +82-33-251-6463

E-mail address: kimyoungik@empal.com

2009년 12월 30일 투고

2010년 1월 19일 심사완료

2010년 1월 20일 게재확정

으며, 다공성 시멘트 콘크리트의 강도 및 역학적 특성을 개선하기 위하여 이를 활용한 연구가 진행되고 있다 (Sung et al., 2004; Kim et al. 2004; Noh et al., 2004; Won et al., 2008). Lee et al. (2006)은 폴리프로필렌섬유를 혼입한 경량 콘크리트에서 섬유의 혼입에 의해 압축강도 증진 및 균열의 제어에 효과가 있다는 연구결과를 발표하였으며, Won et al. (2008)은 하이브리드 섬유보강 콘크리트에서 섬유의 혼입이 압축 및 휨강도의 증진과 소성수축균열 제어에 효과적이라는 연구결과를 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 결합력이 높은 불포화폴리에스터 수지와 폴리프로필렌섬유를 사용한 투수성 폴리머 콘크리트를 제조하여, 섬유의 혼입률 및 재생굵은골재에 따른 투수성 폴리머 콘크리트의 공극률, 강도 및 동결융해저항성 등과 같은 역학적 특성을 구명하여 포장용 투수 콘크리트에 활용하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

포장용 투수성 폴리머 콘크리트를 개발하기 위하여, 결합재로 메틸에틸케톤 프록사이드가 55 % 함유된 DMP 용액을 개시제로 사용하는 불포화폴리에스터 수지를 사용하였으며, 이

Table 1 Properties of unsaturated polyester resin

Specific gravity at 20 °C	Viscosity (20 °C, poise)	Styrene content (%)	Acid value
1.12	3.5	37.2	26.5

Table 2 Physical properties of coarse aggregates

Type	Size (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M	Bulk density (kg/m ³)
Crushed	5-10	2.64	1.25	6.72	1,581
Recycled	5-10	2.62	1.87	6.49	1,562

Table 3 Physical properties of filler

Filler	Grain size (mm)	Specific gravity	Color	Specific surface (cm ² /g)
CaCO ₃	< 0.15	2.92	White	3,150

Table 4 Physical properties of polypropylene fiber

Length (mm)	Absorption ratio (%)	Specific gravity	Melt point (°C)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Young's modulus (kgf/cm ²)
6	0	0.91	162 °C over	3,500-7,700	35×10 ³

에 대한 일반적 특성은 Table 1과 같다. 굵은골재는 재생골재의 사용에 따른 특성을 선택과 비교하기 위하여 5-10mm 크기의 선택과 재생골재가 사용되었으며, 이에 대한 물리적 성질은 Table 2와 같다. 또한, 결합재의 점성 및 결합재와의 페이스트로 골재와 골재의 결합력을 증가시키기 위한 충전재는 폴리머 콘크리트에 가장 보편적으로 사용되는 중질탄산칼슘을 사용하였으며, 이에 대한 물리적 특성은 Table 3과 같다.

또한, 섬유의 혼입률에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 특성을 구명하기 위하여 폴리프로필렌섬유가 사용되었으며, 물리적 특성은 Table 4와 같다.

2. 배합설계 및 제작

투수성 포장을 위한 다공성 콘크리트의 공극률, 강도, 투수계수 및 내구성 등에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 사용되는 결합재량으로서, 결합재량이 많으면 폴리머가 골재를 피복한 후 여분의 결합재에 의해 공극이 채워지고, 바닥면에 불투수층의 형성으로 인하여 투수 콘크리트의 기능을 할 수 없게 된다. 또한, 포러스 폴리머 콘크리트의 강도와 공극률은 상관관계에 있으므로 두 가지 조건을 충족하는 최적배합을 도출하는 것이 무엇보다 중요하다.

Park et al. (2005)은 재생골재와 폴리머를 이용한 포장용 포러스 콘크리트에서 물/결합재비 25 % 및 폴리머(SBR)의 혼입률 0~20 %로 하여 포러스 콘크리트를 제작하였으며, Lho et al. (2007)은 불포화폴리에스터 수지를 이용한 투수 콘크리트에서 결합재를 중량비로 5~11 %로 하여 충전재 비율에 따른 투수 콘크리트를 제작하였다.

Table 5 Mix designs of fiber reinforced permeable polymer concrete for pavement (kg/m³)

Mix type	Coarse aggregate size (mm)	Binder	Coarse aggregate		Filler	Fiber content (Vol. %)
			Crushed	Recycled		
PPC-C*	5-10	152	1,748	-	145	0
		154	1,744	-	145	0.25
		156	1,742	-	142	0.5
		169	1,740	-	140	0.75
		164	1,738	-	138	1.0
PPC-R**	5-10	154	-	1,742	140	0
		156	-	1,740	139	0.25
		158	-	1,736	137	0.5
		161	-	1,730	135	0.75
		166	-	1,726	132	1.0

* PPC-C : Permeable polymer concrete using crushed coarse aggregate
 ** PPC-R : Permeable polymer concrete using recycled coarse aggregate

본 연구에서는 투수 콘크리트 포장의 공극률 기준 8 %와 투수계수 기준인 1×10^{-2} cm/s를 만족할 수 있도록 예비실험을 통하여 기본배합을 도출하였다 (CESS, 2005). Table 5는 폴리프로필렌섬유 혼입물에 따른 투수성 폴리머 콘크리트의 배합 설계를 보여준다. 결합재는 일정한 점성과 유동성을 가질 수 있도록 섬유의 혼입률에 따라 조절하였으며, 섬유는 전체 체적에 대하여 0~1 % 혼입하였다. 경화제는 작업시 온도 및 제작 시간을 고려하여 결합재 중량의 1 %를 사용하였다. 섬유 보강된 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 혼합은 결합재인 불포화 폴리에스터 수지를 충전재, 섬유 및 입도 조정된 골재에 투입하여 약 3분간 고속믹서기로 혼합하여 결합재가 골재를 충분히 피복할 수 있도록 하였으며, 피복된 골재를 몰드에 타설하여 진동기에 의한 진동 다짐을 1분간 실시하였으며, 약 3시간 후 탈형하여 재령 7일까지 상온에서 양생하였다.

3. 시험방법

가. 공극률

섬유보강 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 공극률 시험은 $\varnothing 100 \times 200$ mm의 공시체를 제작하여 기건상태의 중량과 수중에서의 중량을 측정하여 아래 식에 의하여 계산하였다.

$$P_0 = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \times 100$$

여기서, P_0 = 공극률 (%)

W_1 = 수중에서의 공시체 중량 (g)

W_2 = 기건양생한 공시체의 중량 (g)

V = 공시체의 체적 (cm^3)

나. 강도

압축강도 시험은 $\varnothing 100 \times 200$ mm의 공시체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 규정된 방법에 준하여 실시하였다.

다. 투수계수

섬유보강 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 투수계수는 일반 콘크리트의 투수계수보다 크기 때문에 KS F 2322(흙의 투수 시험방법)의 정수위 투수 시험방법에 준하여 실시하였으며, 다음 식에 의하여 산출하였다. Fig. 1은 투수계수 시험을 위한 장치를 보여준다.

$$K = \frac{VL}{Ah(t_2 - t_1)}$$

여기서, K = 투수계수 (cm/s)

L = 시료 높이 (cm)

A = 단면적 (cm^2)

h = 수두 (cm)

$V = (t_2 - t_1)$ 시간내에 통과한 수량 (cm^3)

라. 동결융해저항성

동결융해저항성 시험은 $\varnothing 100 \times 200$ mm의 공시체를 제작하여 재령 28일에 KS F 2456 (급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을 하였으며, 이 때 공시체의 온도는 동결시 $-18 \text{ }^\circ\text{C}$, 융해시 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 가 되게 하였고 동결융해의 1사이클은 4시간이 소요되었다. 시험 동안 매 50사이클 간격으로 중량변화율을 측정하였고, 동결융해의 반복이 300 사이클에 도달하였을 때 시험을 완료하였다. 동결융해 시험시 중량변화율과 함께 상대동탄성계수 및 내구성 지수에 의하여 동결융해저항성을 평가하지만 투수 콘크리트 특성상 많은 공시체 표면에 많은 공극을 포함하여 동탄성계수의 측정에 어려움이 있어 중량변화에 의하여 동결융해저항성을 평가하였다. Fig. 2는 동결융해 시험을 위한 장치를 보여준다.

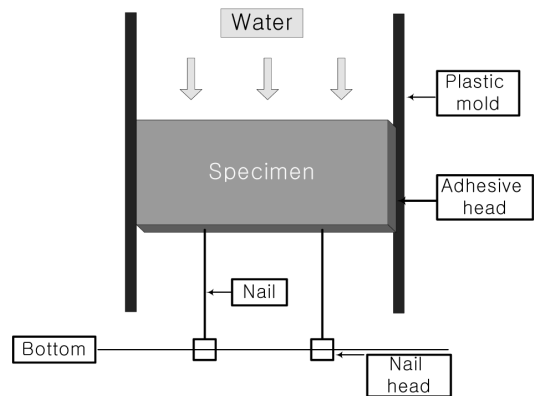


Fig. 1 Permeability coefficient apparatus coefficient



Fig. 2 Freezing and thawing test apparatus

마. 내산성

포장용 투수 콘크리트는 구조물 특성상 겨울철 제설작업에 의한 염화칼슘 및 차량으로부터 배출되는 일산화탄소 및 질소산화물 (nox) 등에 노출되어 화학적 저항성이 요구되어진다. 본 연구에서는 염산과 더불어 콘크리트의 부식에 많은 영향을 미치는 것으로 알려진 황산에 대한 저항성 시험을 실시하였다. 내산성 시험은 재령 7일된 Ø100×200 mm의 공시체를 황산 5 % 용액에 침지하였으며, 침지 후 14, 28, 42, 56, 91일에 부식된 표면을 철솔로 닦아 내어 표면건조포화상태의 중량을 측정하여 중량변화율을 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 공극률

투수 콘크리트의 공극은 우수 등이 관통하여야 하므로 연속적으로 이루어져야 하는 반면에 연속성만을 위하여 공극이 일직선상으로 형성될 경우 임의의 하중에 의해 포장층 하부의 재료들이 역류할 우려가 있으므로 반드시 연속적이면서 동시에 불규칙적으로 연결되어야 한다 (Lho et al., 2007).

Fig. 3은 폴리프로필렌섬유 혼입률 및 골재의 종류에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 공극률을 나타낸다. 굵은골재로서 쇄석을 사용한 PPC-C에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 경우 23 %의 공극률을 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서 16~21 %의 공극률을 나타내었다. 또한 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 섬유의 혼입률이 증가할수록 결합재인 폴리머와의 섬유의 부착이 증가하면서 공시체 제작시 결합재의 흘

러 내림이 감소함으로써 섬유를 혼입하지 않은 배합에 비하여 결합재의 사용량이 증가하였을 뿐만 아니라 결합재가 부착된 섬유가 랜덤 분포함으로써 골재와 골재사이에 가고 역할을 하여 공극률이 감소한 것으로 판단된다.

한편, 굵은골재로서 재생골재를 사용한 PPC-R에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 공극률은 25 %를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서는 17~24 %의 공극률을 나타내었다. 또한 쇄석을 사용한 경우와 마찬가지로 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었다.

이러한 결과는 Noh et al. (2007)의 불포화수지를 사용한 투수 콘크리트에서 결합재량 및 골재 크기에 따라 공극률이 23~38 %의 범위를 나타낸 것에 비하여 공극률이 다소 낮게 나타났다. 반면에 Park et al. (2005)의 SBR 라텍스를 혼입한 시멘트 투수 콘크리트의 공극률이 9.6 %를 상회한다는 결과에 비하여 공극률이 다소 높게 나타났다.

한편 재생골재를 사용한 배합의 공극률이 쇄석을 사용한 배합의 공극률에 비하여 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 재생골재의 입형이 쇄석에 비하여 둥근 형태를 나타내어 쇄석에 비하여 맞물림 효과가 적을 뿐만 아니라 재생골재의 입도 분포가 쇄석과 달리 비교적 동일 입경의 골재가 많기 때문인 것으로 판단된다. Park et al. (2005)은 재생골재를 활용한 투수 콘크리트에서 재생골재의 비표면적이 쇄석에 비하여 크기 때문에 시멘트 페이스트에 의한 완전한 피복이 곤란하기 때문에 재생골재의 혼입율이 증가할수록 공극률이 증가하는 경향을 나타낸다고 발표하였다. 또한 Kim et al. (2000)은 골재의 입형이 양호할수록 시험체 제작시 밀실하게 채워지고 이로 인해 공극률의 차이가 발생하며, 골재의 입형이 공극률 형성에 영향을 미친다고 보고한 바 있다.

한편, 국내의 경우 투수 콘크리트 포장의 공극률을 8 % 이상으로 규정하고 있으므로 본 연구에서 사용된 모든 배합에서 공극률이 8 % 이상을 나타내어 상기의 조건을 만족하는 것으로 나타났으며, 다짐시 결합재의 흘러 내림에 의한 막힘 현상을 제어한다면 투수 조건을 만족하는 최소의 공극률을 가지는 배합설계가 가능할 것이다.

2 압축강도

Fig. 4는 폴리프로필렌섬유 혼입률 및 골재의 종류에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 압축강도를 나타낸다. PPC-C에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 경우 18.6MPa의 압축강도를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서 19.4~23.5 MPa의 압축강도를 나타내어 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는

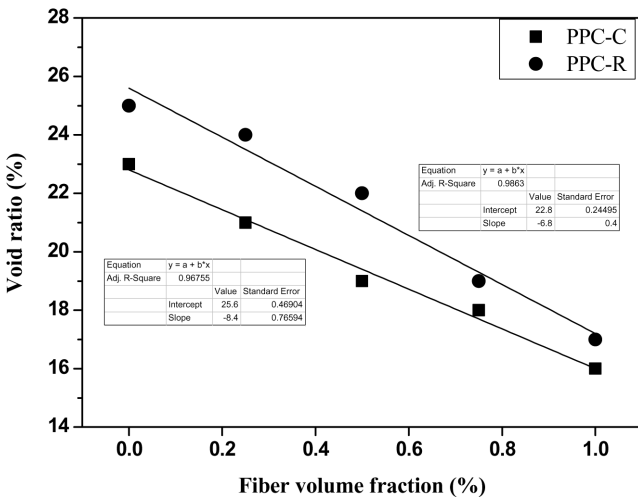


Fig. 3 Void ratio with fiber volume fraction

섬유의 혼입률이 증가할수록 결합재인 폴리머의 사용량이 증가하여 골재의 피복 두께가 증가하였을 뿐만 아니라 결합재로 피복된 섬유가 골재사이에 랜덤 분포하여 골재와 골재의 부착력을 증가시켰기 때문으로 판단된다. 우리나라의 투수 콘크리트 포장을 위한 투수 콘크리트의 설계기준 압축강도를 18 MPa 이상으로 규정하고 있기 때문에 폴리프로필렌섬유를 혼입할 경우 기준을 크게 상회하는 것을 알 수 있다.

한편, PPC-R에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 압축강도는 17.2 MPa를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서는 18.4~22.4 MPa를 나타내었다. 또한 쇄석을 사용한 경우와 마찬가지로 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 재생골재를 사용한 경우에도 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 경우 투수 콘크리트 포장을 위한 설계기준 압축강도 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

Chae (2001)는 폴리머 혼화재를 사용한 시멘트 투수 콘크리트에서 단위결합재량에 따른 압축강도가 13.2~22.1 MPa 범위를 가진다고 보고 하였으며, Park et al. (2005)은 재생골재를 75 % 이상 사용하는 경우 폴리머를 10 % 이상 혼입하여야 18MPa 이상의 압축강도를 발현한다고 발표하였다.

한편, 재생골재를 사용한 배합의 압축강도가 쇄석을 사용한 배합의 압축강도에 비하여 다소 감소하는 경향을 나타내었으며, 이러한 원인은 재생골재를 사용한 경우 공극률의 증가와 마찬가지로 재생골재의 입형이 쇄석에 비하여 둥근 형태를 나타내어 맞물림 효과가 낮을 뿐만 아니라 재생골재의 표면에 부착되어 있는 구 시멘트 페이스트의 잔분으로 인하여 골재와 골재의 결합력을 감소시켰기 때문으로 판단된다. 또한, 이러한 결과는 재생 콘크리트에서 재생골재의 혼입률이 50 %를 초과하였을 경우 재생골재 표면에 부착되어 있는 구재 모르타르에

의해 골재와 시멘트 페이스트 사이의 결합력이 상대적으로 감소하여 강도가 저하한다는 연구결과와 유사한 경향을 나타낸다 (Park et al., 2004).

3. 투수계수

투수성 폴리머 콘크리트의 투수계수는 투수 포장의 설계 및 시공을 위하여 가장 중요한 요소이다. 일반적으로 연속공극률이 크면 투수계수가 증가하는 반면에 강도는 감소하는 것으로 알려져 있다 (Sung et al., 1996).

Fig. 5는 폴리프로필렌섬유 혼입률 및 골재의 종류에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 투수계수를 나타내며, Fig. 6은 압축강도와 투수계수의 상관관계를 보여준다.

PPC-C에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 투수계수는 7.8×10^{-1} cm/s로 나타났으며, 섬유를 혼입한 배합에서 $0.45 \sim 5.6 \times 10^{-1}$ cm/s로 나타내어 공극률에 대한 시험결과와 마찬가지로 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 투수계수가 저하하는 경향을 나타내었다.

한편, 우리나라의 투수성 아스팔트 혼합물의 투수계수 기준이 1×10^{-2} cm/s임을 고려할 때 섬유의 혼입률에 관계없이 모든 배합에서 상기의 조건을 만족하는 것으로 나타났다. 반면에 일본도로협회의 투수성 아스팔트 혼합물의 배합설계 기준에서 투수계수의 기준치는 0.01 cm/s 이상이며, 일반적으로 투수성이 요구되는 투수성 콘크리트나 투수성 아스팔트의 경우 시공직후의 투수계수는 0.1 cm/s 정도가 바람직하다는 제안에 비추어 볼 때 본 연구에서도 같은 수준의 투수계수가 요구된다고 하면 폴리프로필렌섬유의 혼입률을 0.8 % 이내로 하는 것이 바람직하다고 판단된다 (Lee et al., 2002; Kim et al., 2005).

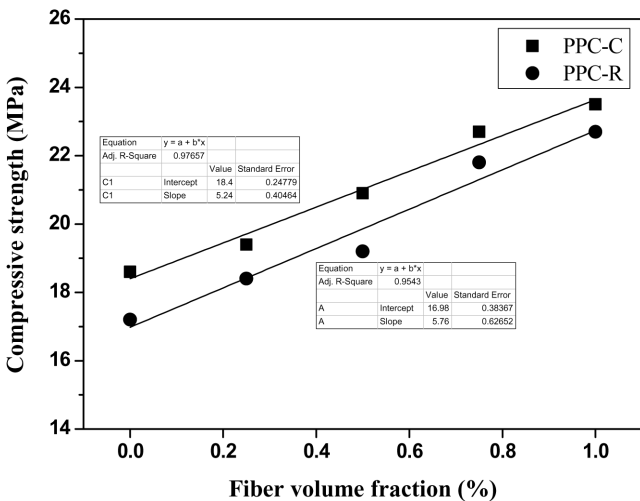


Fig. 4 Compressive strength with fiber volume fraction

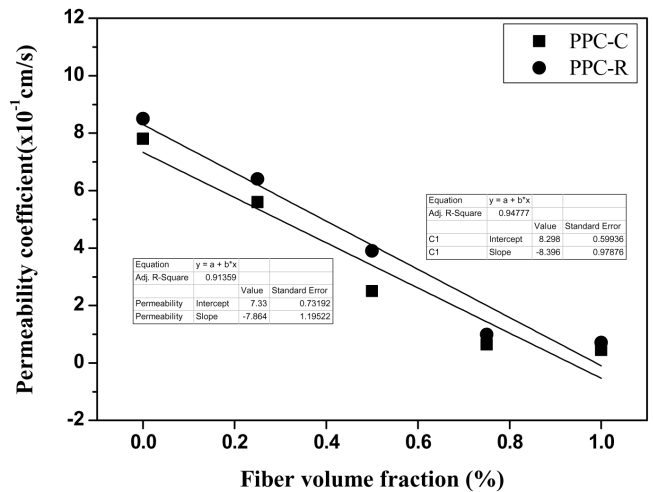


Fig. 5 Water permeability with fiber volume fraction

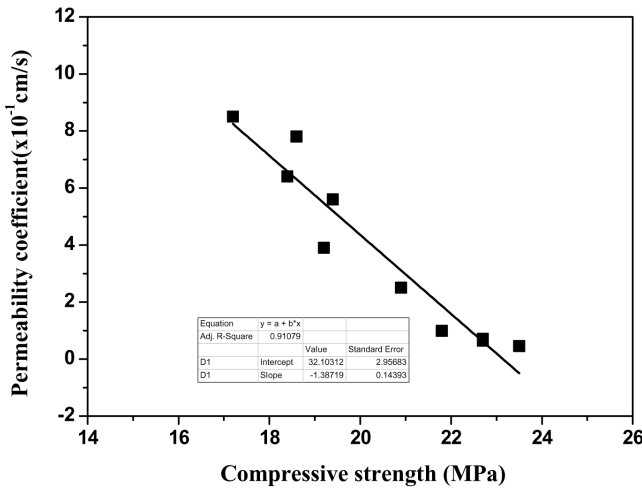


Fig. 6 Relation between compressive strength and permeability coefficient

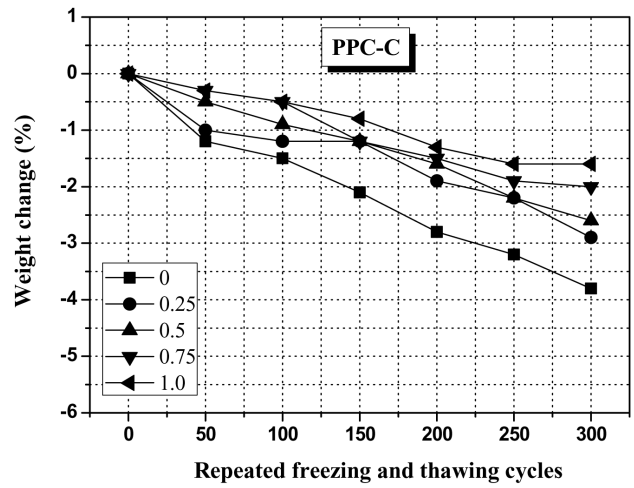
한편, PPC-R에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 투수계수는 8.5×10^{-1} cm/s로 나타났으며, 섬유를 혼입한 배합에서 $0.7 \sim 6.4 \times 10^{-1}$ cm/s로 나타내어 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 투수계수가 저하하는 경향을 나타내었다. Lho et al. (2007)은 결합재량에 대한 공극률 변화는 투수계수와 유사한 경향을 나타내며, 일반적으로 결합재가 증가하면 공극률은 감소하는 경향을 나타낸다고 보고한 바 있다.

본 연구에서도 섬유의 혼입률에 관계없이 재생골재를 사용한 배합의 투수계수가 쇄석을 사용한 배합의 투수계수에 비하여 다소 높게 나타나 공극률에 대한 시험결과와 유사한 경향을 나타내었다.

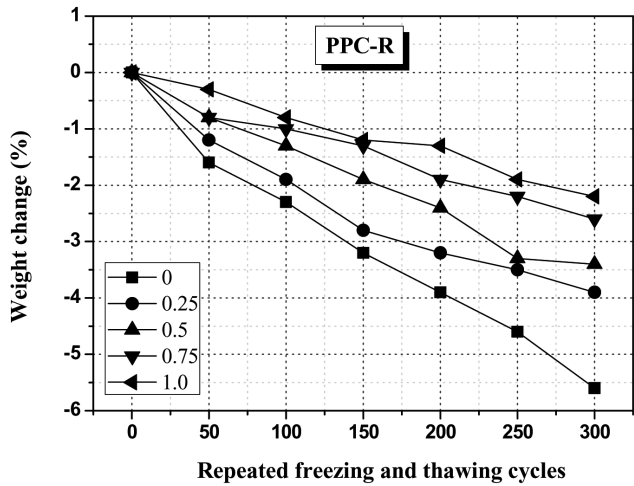
한편, Fig. 6에서 보는 바와 같이 압축강도와 투수계수의 관계에서 압축강도가 증가함에 따라 투수계수는 감소하는 경향을 나타내며, 압축강도에 대한 투수계수의 유의성은 0.91로 유의성 높은 것으로 판단된다.

4. 동결융해저항성

일반적으로 동결융해가 반복적으로 작용하는 경우 콘크리트에 발생하는 스케일링이나 팽아웃 현상으로 인해 콘크리트의 표면 탈락을 발생시킴으로써 질량이 감소하게 된다. 또한 콘크리트 내 수분의 동결 및 융해의 반복에 의해 체적 팽창이 발생하면서 콘크리트 내부의 밀도가 감소하여 상대동탄성계수의 감소 및 내구성 저하가 나타나는 것으로 알려져 있다. 포러스 콘크리트 및 투수 콘크리트의 경우 일반 콘크리트와 달리 골재와 골재와의 결합에 의해 이루어지기 때문에 동결융해 작용시 일반 콘크리트와는 다른 매카니즘을 가지는 것으로 알려져 있으며, 일반 콘크리트에 비하여 동결융해에 대한 저항성이 낮



(a) PPC-C



(b) PPC-R

Fig. 7 Weight change ratio for repeated freezing and thawing cycles

은 것으로 알려져 있다 (Chae, 2001). 본 연구에서는 투수 콘크리트의 표면이 불균일하여 상대동탄성계수를 측정하는 것이 곤란하기 때문에 중량의 변화를 측정하여 동결융해에 대한 내구성을 평가하였다.

Fig. 7은 섬유혼입률에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 동결융해 반복에 의한 중량변화를 나타낸다. PPC-C에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 동결융해 300 사이클 후 중량감소율은 3.8 %를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서의 중량 감소율은 1.6~2.9 %를 나타내어 섬유의 혼입 유무 및 섬유의 혼입률에 관계없이 중량감소율이 매우 낮은 경향을 나타내었다. 또한 섬유의 혼입률이 증가할수록 동결융해에 따른 중량 감소율이 다소 낮은 경향을 나타내어 섬유의 혼입이 동결융해 저항성에 대한 내구성 향상에 효과적일 수 있을 것으로 기대

된다. 포장용 투수성 폴리머 콘크리트가 골재와 골재와의 결합 구조임에도 불구하고 동결융해의 반복에 따른 중량감소율이 낮게 나타난 것은 결합재로 사용된 폴리머 자체의 부착력이 매우 우수할 뿐만 아니라 결합재가 불투수성으로 수분의 침투를 억제하였기 때문으로 판단된다. 또한 랜덤 분포된 폴리프로필렌섬유가 골재사이에서 부착력을 향상시켜 동결융해 반복 작용시 골재의 탈락을 방지하여 중량감소율이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

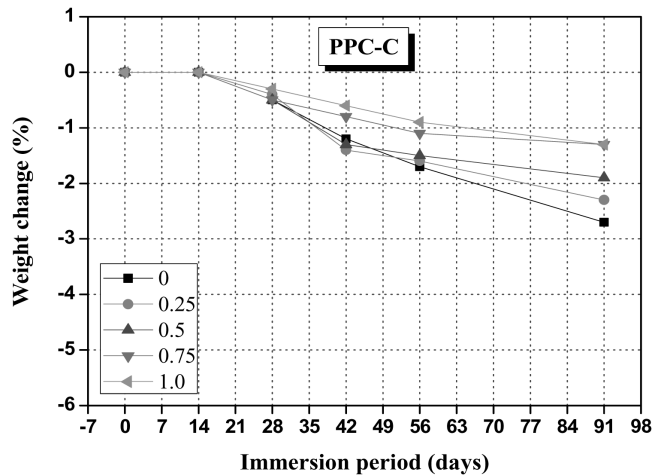
PPC-R에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 동결융해 300 사이클 후 중량감소율은 5.6 %를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서의 중량감소율은 2.2~3.9 %를 나타내어 PPC-C에서와 마찬가지로 섬유의 혼입 유무 및 섬유의 혼입률에 관계없이 중량감소율이 매우 낮은 경향을 나타내었다. 재생골재의 경우 골재 표면에 부착된 구재의 모르타르에 의해 골재와 골재의 결합시 부착력이 감소될 수 있으나 부착력이 매우 높은 폴리머를 결합재로 사용할 경우 골재간의 결합력 향상에 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 또한 쇄석을 사용한 배합에 비하여 다소 중량감소율이 크게 나타났지만 섬유를 혼입한 경우 동결융해 300 사이클 후 중량감소율이 5 % 미만인 것으로 나타나 포장용 투수 콘크리트 제조에 재생골재가 충분히 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 본 연구에서 포장용 투수 콘크리트의 압축강도 범위가 폴리프로필렌섬유의 혼입률에 따라 18.4~23.5 MPa 범위를 나타내어 고강도 및 고성능 콘크리트의 압축강도보다 작게 나타났음에도 불구하고 동결융해에 대한 중량변화가 작게 나타나 포장을 위한 투수 콘크리트의 설계기준 압축강도를 만족하면서 겨울철 동결융해에 대한 저항성이 우수하여 포장 구조물에 활용되어질 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 장기적으로 동결융해에 대한 중량변화 뿐만 아니라 동결융해의 반복작용에 의하여 다공성 구조의 투수 콘크리트내에 균열 및 강도 저하 요소가 발생되어질 수 있기 때문에 동결융해 시험 전후 상대강도 등에 대한 연구가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

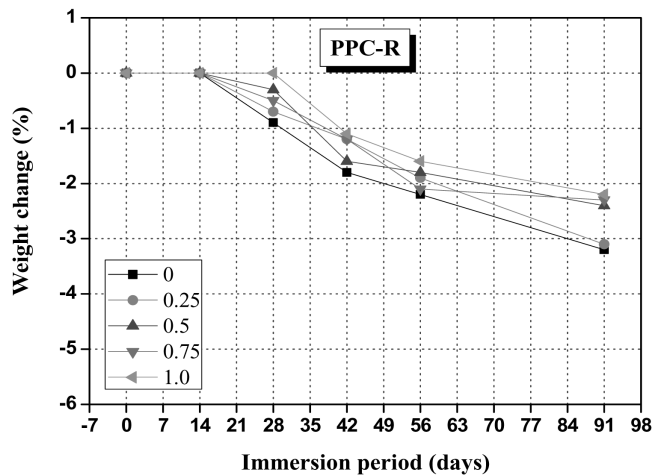
한편, Park et al. (2005)은 시멘트 투수 콘크리트의 동결융해시험에서 폴리머를 혼입하지 않은 경우 재생골재의 혼입 여부에 관계없이 동결융해 사이클 수가 30 이내에서 초기에 상대탄성계수가 60 % 이하로 감소하여 동결융해저항성이 매우 낮은 것으로 보고하였다.

5. 내산성

일반적으로 콘크리트 수화생성물 중에 다량으로 존재하게 되는 알칼리성의 수산화칼슘은 높은 용해성으로 산과 반응하기 쉬우며 수경성 화합물인 C-S-H(Calcium silicate hydroxyl)



(a) PPC-C



(b) PPC-R

Fig. 8 Weight change ratio for immersion in H₂SO₄

와 C-A-H(Calcium aluminate hydroxyl)는 분해되며, 다량의 염류가 생성되어 염의 축적과 결정화 등에 의해 침식 및 열화되는 것으로 알려져 있다. 특히 황산 및 염산 등에 의한 침식 작용은 수경성의 염화칼슘, 질산칼슘 및 난용성의 황산칼슘 등을 생성하고 규산과 알루미나 등을 용해시켜 실리카와 알루미늄 나겔을 생성하며 골재까지도 침식시킨다. 투수 포장을 위한 포리스 및 투수 콘크리트의 경우 동결기 제설을 위해 사용되는 염화칼슘 등에 의한 염해 및 차량에서 배출되는 이산화탄소 등에 의한 화학적 침식 등이 발생되어 질 수 있으며, 특히 포리스 콘크리트는 골재간의 결합 구조로 이루어져 있기 때문에 화학적 저항성에 대한 고찰이 요구된다. Fig. 8은 섬유혼입률에 따른 5 % 황산용액 침적에서의 중량변화를 나타낸다. PPC-C에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 5 % 황산용액 침적 후 91일에서의 중량감소율은 2.7 %를 나타내었으며, 섬유를

혼입한 배합에서의 중량감소율은 1.3~2.4 %를 나타내어 섬유의 혼입 유무 및 섬유의 혼입률에 관계없이 중량감소율이 매우 낮게 나타나 황산에 대한 저항성이 매우 우수한 것을 알 수 있다. 폴리프로필렌섬유보강된 고성능 콘크리트에서 5 % 황산 용액에 28일 침적한 경우의 중량감소율이 9~14 %로 나타났다는 연구결과를 고려할 때 투수성 콘크리트임에도 불구하고 화학저항성이 매우 우수한 것으로 판단된다 (Kim, 2003).

한편, PPC-R에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 5 % 황산 용액 침적 후 91일에서의 중량감소율은 3.2 %를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서의 중량감소율은 2.2~3.1 %를 나타내어 섬유의 혼입률에 관계없이 중량감소율이 매우 낮은 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 결합재로 사용된 폴리머가 불투성일 뿐만 아니라 황산에 대한 저항성이 우수하여 골재의 침식을 억제하였기 때문으로 판단되며, 결합재로 폴리머를 활용할 경우 골재의 종류에 관계없이 투수성 콘크리트 제조에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 장기 사용하에서 화학적 저항성 등을 평가하기 위하여 보다 장기적인 내약품성에 연구가 수반되어야 할 것으로 판단되며, 동결융해저항성과 마찬가지로 화학적저항성 시험 전후의 강도 비교 등을 통한 내구성 평가가 이루어져야 할 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 결합력이 높은 불포화폴리에스터 수지와 폴리프로필렌섬유를 사용한 투수성 폴리머 콘크리트를 제조하여, 섬유의 혼입률 및 재생굼은골재에 따른 투수성 폴리머 콘크리트의 역학적 특성을 구명하기 위한 것으로, 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 포장용 포리스 폴리머 콘크리트에서 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었으며, 모든 배합에서 공극률이 12 % 이상으로 포장을 위한 투수 콘크리트의 공극률인 8 % 이상의 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

2. 골재의 종류에 관계없이 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 섬유를 혼입한 모든 배합에서 18MPa 이상의 압축강도를 나타내어 투수 콘크리트의 설계기준강도인 18MPa를 상회하였다. 또한 재생골재를 사용한 배합의 압축강도가 쇄석을 사용한 배합의 압축강도에 비하여 다소 감소하는 경향을 나타내었다.

3. 포장용 포리스 폴리머 콘크리트의 투수계수는 공극률에 대한 시험결과와 마찬가지로 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 저하하는 경향을 나타내었으나, 섬유의 혼입률에 관계없이 모든 배합에서 우리나라의 투수 콘크리트의 투수계수

기준 1×10^{-2} cm/s을 상회하는 것으로 나타났다.

4. 동결융해 300 사이클 후 중량감소율은 섬유의 혼입률이 증가할수록 중량감소율이 다소 감소하는 경향을 나타내었으며, 섬유를 혼입한 경우 골재의 종류에 관계없이 중량감소율이 5 % 미만으로 동결융해저항성이 우수한 것으로 나타났다.

5. 5 % 황산용액 침적 후 91일에서의 중량감소율이 골재 종류 및 섬유의 혼입률에 관계없이 4 % 미만으로 나타나 매우 높은 화학저항성을 나타내었으며, 결합재로 사용된 폴리머가 황산에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

6. 결합재로 폴리머를 활용한 포장용 투수성 폴리머 콘크리트 제조시 재생굼은골재 및 폴리프로필렌섬유를 활용할 경우 우리나라의 투수 콘크리트 포장 기준을 만족할 뿐만 아니라 내구 특성이 우수하여 우수유출저감시설 개발에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 투수성 콘크리트를 농공학 측면에서 집·배수용 투수관 등 투수를 요하는 구조물에 활용되어질 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 2009년도 농림기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Chae, C. W, 2001, Physical Properties of Porous Concrete Using Admixtures, *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(2): 257~265 (in Korean).
2. CESS (Civil Engineering Standard Specification), 2005, Permeability Concrete Pavement (07154).
3. Kim, M. H., Y. K. Baik, S. P. Kang, Y. R. Kim., and J. H. Kim, 2000, Fundamental Properties of Porous Concrete According to sizes of Aggregate, *Journal of the Korea Concrete Institute* 13(5): 438~446 (in Korean).
4. Kim, Y. I, 2003, Rheology and Engineering Properties of Fiber Reinforced High Performance Concrete, Thesis for the Degree of Doctor, Chungnam National University (in Korean).
5. Kim, S. B., K. S. Yeon., and N. H. Ryu, 2004, Flexural Properties of Glass Fiber Reinforced Polymer Concrete Composite Panel, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 46(6): 37~45 (in Korean).
6. Kim, Y. K, and C. Y. Sung, 2005, Characteristics of

- Environment-Friendly Porous Polymer Concrete for Permeable Pavement, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 47(7): 25~33 (in Korean).
7. Ko, E. J., E. J. Goh, H. J. Seok., and S. H. Lee, 2009, A Study of Developing Guides for the Construction Site Quality Control of Porous Concrete, *The Journal of the Korean Institute of Building Construction* 9(3): 65~71 (in Korean).
 8. Lee. Y. S., and M. K. Joo, 2002, Fundamental Properties of Water-Permeable Polymer-Modified Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(3): 402~408 (in Korean).
 9. Lee, H. K, and S. Y. Song, 2006, Effect of Volume Fraction of Fibers on the Mechanical Properties of a Lightweight Aggregate Concrete Reinforced with Polypropylene Fibers, *Journal of the Korea Concrete Institute* 18(6): 743~748 (in Korean).
 10. Lho, B. C., K. H. Choi., and J. H. Kim, 2007, An Experimental Study on Permeability in Elevation of Porous Concrete Using Unsaturated Polyester Resin, *Journal of the Korea Concrete Institute* 19(2): 163~169 (in Korean).
 11. Noh, K. H, and C. Y. Sung, 2004, Mechanical and Drying Shrinkage Properties of Polypropylene Fiber Reinforced High Flow Concrete, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 46(5): 79~85 (in Korean).
 12. Park. S. B., D. S. S대., and J. Lee, 2004, A Study on the Sound Absorption Properties of Porous Concrete by Recycled Aggregate Contents and Target Void Ratio, 2004, *Journal of the Korea Concrete Institute* 16(4): 541~548 (in Korean).
 13. Park. S. B., E. S. Yoon, D. S. Seo., and J. Lee, 2005, Mechanical Properties of Porous Concrete for Pavement Using Recycled Aggregate and Polymer, *Journal of the Korea Concrete Institute* 17(4): 595~602 (in Korean).
 14. Sung, C. Y, and H. J. Jung, 1996, Engineering Properties of Permeable Polymer Concrete with Stone Dust and Fly ash, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 38(4): 147~154 (in Korean)
 15. Sung, C. Y, 2004, Permeability of Polypropylene Fiber Reinforced Soil Concrete Pavement Materials, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 46(6): 13~19 (in Korean).
 16. Won, J. P., C. I. Jang, S. W. Lee, H. Y. Kim., and W. Y. Kim, 2008, Spalling and Internal Temperature Distribution of High Strength Column Member with Polypropylene Fiber Volume Fractions, *Journal of the Korea Concrete Institute* 20(6): 821~826 (in Korean).