

산업부산물을 이용한 섬유보강 포장용 포러스콘크리트의 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of Fiber Reinforced Porous Concrete for Pavement using Industrial By-product

박승범* 이윤선** 이준** 장영일** 김봉균** 김정환***

Park, Seong Bum Lee, Yoon Sun Lee, Jun Jang, Young Il Kim, Bong Kyun Kim, Jeong Hwan

ABSTRACT

This study evaluates the properties of porous concrete for pavement according to content of silica fume and steel fiber. The results of the test indicate that in every condition, the void ratio and the coefficient of water permeability of porous concrete for pavement satisfy both the domestic standards and proposition values. Among the properties of strength, the compressive strength satisfies the standards in the specification of KNHC as for every factor of mixture but in the case of the flexural strength, more than 0.6vol.% of steel fiber satisfied the JCI proposition values. The case when silica fume and steel fiber are used simultaneously presents the strongest durability and Noise Reduction Coefficient is 0.48 to prove that it possesses almost 50% sound absorption.

1. 서론

현재 대부분의 도로포장은 구조적 성능 및 기능성만을 중요시하여 대부분 불투수성의 아스팔트 콘크리트 또는 시멘트 콘크리트 포장으로 시공되었다. 그러나 불투수성 포장재료로 시공된 도로는 강우 시 원활한 배수가 이루어지지 못할 경우 수막현상의 발생으로 미끄럼저항성이 저하되어 차량운행에 상당한 위험요소를 내포할 뿐만 아니라 우수가 지중으로 침투하지 못하고 하수관을 통해 하천으로 흘러들어 폭우시 도시하천 범람의 원인이 되기도 한다. 또한 포장 하층부의 사막화, 지중생태계의 파괴 및 지하수의 고갈 등 환경보존 측면에도 악영향을 끼치게 된다.

따라서, 본 연구에서는 도로용 투수 포장재로서 포러스콘크리트의 적용성 및 성능향상방안을 도출하기 위한 기초적 연구를 수행하기 위하여 산업부산물인 실리카폼과 고인성 섬유소재인 양단후크형 강섬유를 사용한 포장용 포러스콘크리트의 물리·역학적 특성, 골재비산저항성 및 소음저감 특성을 분석하였다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에서 사용된 시멘트는 밀도 3.14g/cm^3 , 분말도 $3,200\text{cm}^2/\text{g}$ 인 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.2 골재

본 연구에서 사용된 골재는 입도 5~8mm, 밀도 2.55g/cm^3 , 단위용적질량 $1,482\text{kg/m}^3$, 흡수율 1.2%의 부순돌을 사용하였다.

* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 충남대학교 토목공학과 대학원

*** 정희원, 충남대학교 토목공학과 공학박사

2.1.3 혼화제

시멘트 분산작용과 미세 공기의 연행으로 단위수량감소, Workability 및 내동해성을 개선시키는 폴리카본산계 고성능 AE 감수제를 사용하였다.

2.1.4 실리카폼 및 강섬유

포장용 포러스콘크리트의 강도 및 내구성 향상과 취성적 성질을 개선시키기 위하여 밀도 2.21g/cm^3 , 분말도 $263,000\text{cm}^2/\text{g}$ 의 실리카폼과 길이 25mm, 밀도 7.8g/cm^3 , 아스펙트비 57, 인장강도 450MPa의 양단 후크형 강섬유를 사용하였다.

2.2 배합

포장용 포러스콘크리트의 특성을 분석하기 위하여 물-결합재비 25%, 설계공극률을 15%로 설정하고 강도, 내구성 및 인성증대를 위하여 실리카폼(5, 10, 20Wt.%) 및 강섬유(0.3, 0.6, 0.9Vol.%) 혼입에 따른 배합을 실시하였다. 혼합방법은 강섬유의 분산성을 향상시키기 위해 옴니 믹서를 사용하여 먼저 시멘트, 골재, 실리카폼 및 강섬유를 투입하여 1분간 건비빔을 실시한 후 혼합수(물+혼화제)를 투입하고 270초 동안 다시 혼합하는 분할투입방식을 사용하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 공극률 및 투수계수시험

공극률 및 투수계수시험은 일본 콘크리트공학협회의 포러스콘크리트 공극률 시험방법(안) 및 투수계수 시험방법(안)에 준하여 측정하였다.

2.3.2 강도시험

포장용 포러스콘크리트의 압축강도 및 휨강도시험은 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 및 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수중에서 28일간 양생을 실시한 후 KS에 규정되어 있는 각각의 시험방법에 준하여 측정하였다.

2.3.3 골재비산저항성 시험 및 흡음시험

표층재로서 포장용 포러스콘크리트의 타당성을 검증하기 위하여, 골재비산저항성 시험을 실시하였으며, 시험방법은 일본도로협회 및 도로공단에서 제안한 배수성 포장기술 지침(안)의 『칸타브로(Cantabro)시험방법』에 준하여 로스앤젤리스 마모감량 시험기에 $\phi 100 \times 63.5\text{mm}$ 의 공시체를 투입하여 300회 회전시킨 후 공시체의 손실 질량비를 측정하여 골재비산저항성을 평가하였다. 또한, 포러스콘크리트의 소음저감 특성은 KS F 2814-1의 임피던스관법을 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공극률 및 투수계수

포장용 포러스콘크리트의 실리카폼 및 강섬유 혼입률에 따른 공극률 및 투수계수 측정결과는 그림 1, 2와 같다. 이를 고찰하여 보면 동일 섬유혼입률에서 실리카폼의 혼입률이 증가함에 따라 공극률과 투수계수는 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 강섬유 혼입에 따른 영향은 섬유의 혼입률이 증가함에 따라서는 공극률과 투수계수가 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 강섬유 혼입률 0.9vol.%에서 뚜렷한 증가경향을 나타내 Plain에 비하여 공극률이 약 12~17% 정도 증가하였다. 현재 포장용 포러스콘크리트의 공극률에 관한 국내기준은 8% 이상으로 규정하고 있고, 일본의 경우에는 일본콘크리트공학협회에서 10% 이상으로 제안하고 있으며, 투수계수는 양국 모두 $0.01\text{cm}/\text{sec}$ 이상으로 규정되어 있어 본 연구에 의한 결과들이 상기의 기준을 모두 만족시키는 것으로 나타났다.

3.2 압축강도 및 휨강도

그림 3은 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로서 이를 고찰하여 보면 실리카폼의 혼입률이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내어 실리카폼을 혼입하지 않은 경우에 비해 최대 17.3%의 강도 증진을 나

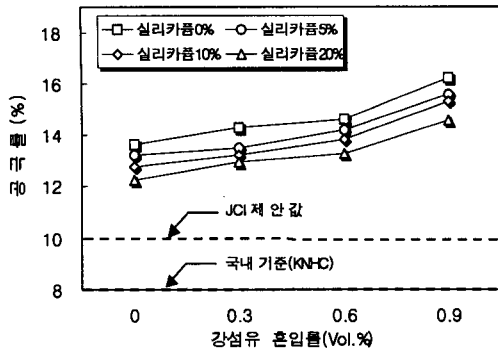


그림 1 포장용 포러스콘크리트의 압축강도

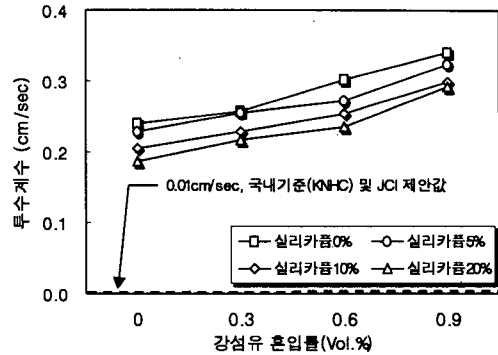


그림 2 포장용 포러스콘크리트의 투수계수

타냈으며 이는 시멘트와 실리카폼의 밀도차이에 따른 공극의 감소와 초미분말의 실리카폼 사용으로 시멘트 페이스트의 내부 매트릭스 구조가 치밀해져 결합재의 강도가 증진되었기 때문으로 판단된다. 강섬유 혼입에 따른 압축강도 특성은 실리카폼의 경우에 비해 그 효과가 미미한 것으로 나타났으나, 실리카폼과 강섬유를 동시에 사용할 경우에는 강도증진 효과가 단일 혼입의 경우에 비해 개선되어 강섬유 0.6vol.% 및 실리카폼 10wt.%를 사용한 경우 일반 포러스콘크리트에 비해 20.8%의 강도증진을 나타냈다. 이는 적정량의 실리카폼과 강섬유를 동시에 사용할 경우 초미립의 실리카폼이 섬유, 결합재 및 골재 사이의 계면 부착력을 향상시켜 압축강도가 증진된 것으로 판단된다. 또한, 본 연구의 모든 조건에서 주택공사에서 제시한 포러스콘크리트의 압축강도 기준값인 18MPa보다 높은 강도를 나타내었다. 그림 4는 포장용 포러스콘크리트의 휨강도 특성을 나타낸 것으로 이를 고찰하여 보면 실리카폼 혼입률이 증가함에 따라 휨강도는 증가하는 경향을 나타냈으며, 강섬유를 혼입한 경우에는 섬유의 혼입률이 증가함에 따라 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 각각 6.1%, 18.9%, 16.4%의 강도증진을 나타내, 강섬유 혼입률 0.6vol.% 이상에서는 현재 JCI 보고서에서 제안하고 있는 휨강도 기준치인 4.5MPa 이상을 충족시키는 것으로 나타났다. 또한 강섬유 혼입률 0.9vol.%에서는 0.6vol.%에 비해 휨강도가 다소 저하되는 것으로 나타났으며, 이는 과도한 섬유의 혼입으로 인해 Fiber-ball이 생성됐기 때문으로 판단된다.

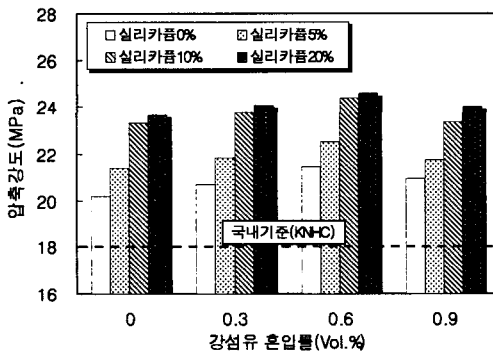


그림 3 포장용 포러스콘크리트의 압축강도

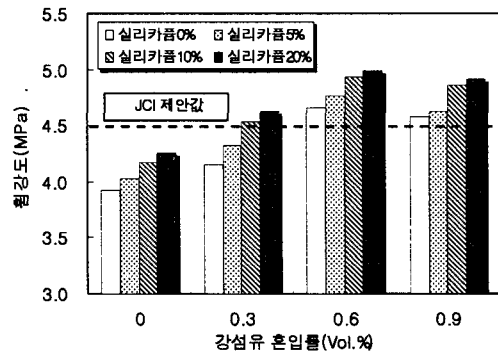


그림 4 포장용 포러스콘크리트의 휨강도

3.3 골재비산저항성 및 흡음 특성

골재의 비산저항성이란 투수 및 배수성 포장에 있어 차량 주행시 발생할 수 있는 골재의 탈락정도를 평가하기 위한 것으로, 본 연구의 측정결과는 그림 5와 같다. 이를 고찰하여 보면 실리카폼의 혼입률이 증가함에 따라 골재비산저항성 시험에 의한 질량손실률은 감소하는 것으로 나타났다. 강섬유 혼입에 따른 골재비산저항성은 역학적 특성과 유사한 경향성을 나타내 강섬유의 혼입률 0.6vol.%까지는

혼입물과 비례하여 질량 손실률이 감소하는 것으로 나타났으나 강섬유 혼입물 0.9vol.%에서는 감소경향이 둔화되거나 0.6vol.%의 경우에 비해 골재비산저항성이 저하되는 것으로 나타났다. 또한 골재비산저항성 시험의 경우에도 실리카폼 10wt.%와 강섬유 0.6vol.%를 사용한 경우가 가장 우수한 특성을 나타내 Plain의 경우에 비해 골재비산저항성이 27%정도 향상되는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 실리카폼 및 강섬유의 동시 혼입으로 결합재의 인성 및 부착력이 증진되어 충격에너지에 대한 흡수능력이 향상되었기 때문으로 판단된다.

그림 6은 포장용 포러스콘크리트의 흡음특성을 나타낸 것으로 이를 고찰하여 보면 315Hz에서 흡음계수가 0.83으로 나타나 가장 높은 값을 나타냈으며 750Hz에서 0.169의 흡음계수를 나타내 가장 낮은 흡음특성을 나타냈다. 또한 현재 흡음소재의 성능지표로 사용되고 있는 NRC(Noise Reduction Coefficient)는 0.48로 나타났다. 이는 포러스콘크리트에 소음이 입사될 경우 내·외부에 형성된 넓은 비표면적 및 연속공극에 의해 음에너지가 진동 및 마찰작용으로 열에너지로 전환·소비되기 때문이다.

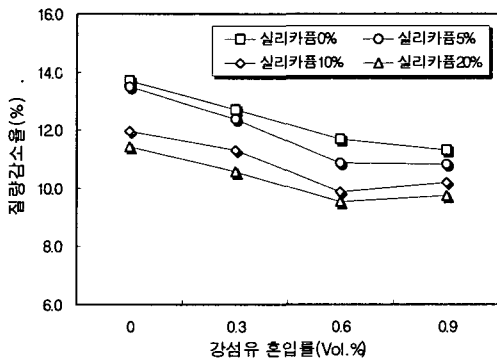


그림 5 포장용 포러스콘크리트의 골재비산저항성

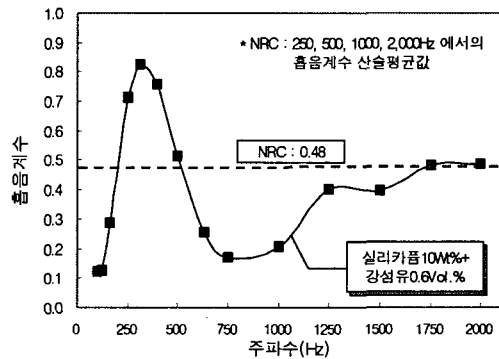


그림 6 포장용 포러스콘크리트의 흡음특성

4. 결론

투수 및 배수성 포장재로서의 적용성 검증과 역학적 성능향상 방안을 도출하기 위하여 실리카폼 및 강섬유를 사용한 포러스콘크리트의 특성을 분석하였으며, 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 포장용 포러스콘크리트의 공극률과 투수계수는 실리카폼 및 강섬유의 혼입에 관계없이 모든 배합조건에서 현재 주택공사 도로기준의 기준치 및 일본콘크리트공학협회의 제안값을 만족시키는 것으로 나타났다.
- (2) 포장용 포러스콘크리트의 압축강도는 모든 배합조건에서 주택공사에서 제안한 강도기준치를 충족시키는 것으로 나타났으나, 휨강도의 경우에는 강섬유 혼입률 0.6vol.% 이상에서 일본콘크리트공학협회에서 제안하고 있는 4.5MPa를 만족시키는 것으로 나타났다. 특히 실리카폼 및 강섬유를 각각 혼입한 것보다 동시에 사용한 경우가 더욱 우수한 압축강도 및 휨강도를 나타내어, 실리카폼 10wt.%와 강섬유 0.6vol.%를 함께 혼입한 경우 20.8% 및 27%의 강도증진을 나타냈다.
- (3) 포장용 포러스콘크리트의 골재비산저항성은 실리카폼과 강섬유를 동시에 혼입한 경우가 가장 우수한 성능을 나타내었으며, 실리카폼 10wt.%와 강섬유 0.6vol.%를 함께 사용한 경우 일반 포러스콘크리트에 비해 27%정도의 성능향상을 나타내었다.
- (4) 포장용 포러스콘크리트의 소음저감 특성은 측정 주파수 중 상대적으로 저주파수인 315Hz에서 가장 높은 흡음계수를 나타냈으며, NRC는 0.48로 나타나 본 연구에 의한 포장용 포러스콘크리트가 50%에 가까운 흡음성능이 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구지원사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 박승범. "환경친화콘크리트", 콘크리트학회지, Vol.12, No.5, pp. 33~42, 2000.
2. JCI, 2003, "ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書".