

고로슬래그를 혼화재로 혼입한 투수콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Physical Properties of Porous Cement Concrete Using Blast-furnace Slag as an Admixture

심 종 우* 채 창 우**
Shim, Jong-Woo Chae, Chang-U

ABSTRACT

Porous cement concrete was developed to prevent hydroplaning of airway pavement or to reduce noise emission in highway. It has been introduced in domestic since early 1980' and applied to a pedestrian road or bike way. The concrete, however, has problems such as lack of optimized mix design, low strength and deterioration, etc. The purpose of this study is to manufacture porous cement concrete using blast-furnace slag to enhance mechanical properties.

The results of this study are as follows: the compressive strength range is 102~247kgf/cm², the tensile strength range is 16~70kgf/cm², the bending strength range is 43~70kgf/cm², and the coefficient permeability range is $6.79 \times 10^{-2} \sim 1.17 \times 10^{-1}$ cm/sec. To develop high-performance porous concrete, further studies are needed on optimum mixture of fineness modulus and admixture.

1. 서 론

현재까지 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 도로용 포장재료로는 크게 아스팔트콘크리트와 시멘트콘크리트 두가지로 나눌 수 있는데, 이들은 재료의 불투수성으로 인해 우수 및 강설에 의해 하천과 강의 범람을 초래하거나, 포장의 하층부가 사막화되는 현상을 보이기도 한다. 따라서 지하수 고갈의 방지를 통한 수자원의 보호와 지하환경보호를 위해 투수성능을 지닌 재료를 도로포장에 적용시키는 기술이 요구되고 있으나, 국내에서 사용되고 있는 투수콘크리트는 제조 및 품질관리, 용도설정 등이 초보적인 단계에 머물러 있어, 현재는 주차장 및 자전거 도로 등에만 일부 적용되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 투수콘크리트의 실용화 및 용도의 확대를 위해서 현재 현장에서 사용되는 투수콘크리트의 성능개선을 목표로 진행되었으며, 이중에서도 성능개선이 가장 절실히 요구되는 도로 포장용 투수콘크리트를 연구의 주 대상으로 하였다. 고로슬래그를 사용하여 투수콘크리트의 전반적인 강도 및 투수성능을 개선하고자 하였고, 그밖에 투수계수, 압축강도, 단위용적중량 측정, 공극률 측정을 통하여 투수콘크리트의 물리적 성능평가를 실시하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원, 선임연구원

2. 실험 및 방법

2.1 사용재료

(1) 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201규준에 적합한 S사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

(2) 잔골재

잔골재는 최대치수 5mm이하의 한강산으로서 골재는 표면건조포화상태로 만들어 사용하였으며, 표 1과 같은 물리적 성질을 지닌다.

(3) 굵은 골재

사용된 굵은 골재는 쇄석을 사용하였으며, 골재 입도 범위를 5~10mm와 5~13mm로 나누어 사용하였으며, 표 1과 같은 물리적 성질을 지닌다.

(4) 고로슬래그

본 실험에 사용된 고로슬래그에 관한 특성은 표 2와 같다.

표 1. 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 성질

	최대치수 (mm)	비중	단위용적중량 (kg/m ³)	흡수율 (%)
잔골재 (강모래)	5	2.57	1,586	1.59
굵은 골재 (쇄석)	10, 13	2.67	1,490	1.97

표 2. 고로슬래그의 물리적·화학적 성질

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	비중	분말도 (cm ² /g)
34.8	16.2	0.47	41.3	8.1	2.91	4,379

2.2 실험방법

본 연구에서 실시한 시험은 압축·인장·휨강도, 공극율, 투수시험, 단위용적중량시험이며, 공시체의 제작 및 배합순서와 실험법은 다음과 같다.

(1) 공시체 제작 및 배합

본 실험의 배합은 배합시 발생할 가능성이 있는 재료분리 현상을 방지하기 위하여 그림 1과 같은 배합순서에 따라 실험하였다. 골재의 사용으로 인한 각 배합별 변화요인을 최소화하기 위하여 24시간 이상 충분한 프리웨팅(Pre-Wetting)을 실시하고, 표면수량을 제거한 표면건조포화상태의 골재로 실험을 실시하였다.

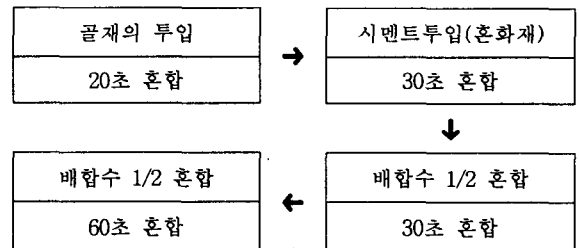


그림 1. 배합순서

(2) 실험방법

본 실험에서 투수콘크리트는 기계식 믹서로 균일하게 혼합하였으며, 각각의 시험에 대하여 시험체 3개를 한 조로 하여 실험하였다. 공시체는 성형 1일후에 탈형하여 21℃의 항온수조에서 28일간 수중양생하였다. 표면건조포화상태에서 공시체의 중량을 측정하여 단위용적중량측정, KS F 2405(압축강도 시험), KS F 2408(콘크리트의 휨강도시험 - 단순보의 3등분 하중법), KS F 2423(인장강도 시험), KS F 2322(흙의 정수위 투수시험방법)등의 방법으로 실시하였으며, 시험에 적용한 공시체의 크기 및 성형조건은 표 3과 같다.

표 3. 공시체의 크기 및 성형조건

	압축, 할렬 인장 시험	휨강도 시험	투수계수
시험크기 및 형상	∅10×20cm의 실린더	10×10×40의 프리즘	∅10×12cm의 실린더
다짐조건	3층 25회씩 총75회	2층 100회씩 총200회	3층 25회씩 총75회
* 다짐작업은 5kg의 램머를 사용하여 자유낙하시킴.			

2.3 배합계획

배합 인자는 단위시멘트량, 골재의 크기, 혼화재의 혼입량을 변수로 하여 고려하였다. 단위시멘트량은 경제성을 만족하는 범위내에서 수차례에 걸친 예비실험후, 340, 360, 380kg/m³로 선정하였으며, 물시멘트비는 현장에서 사용되는 물시멘트비와 몇차례 예비실험후 28%로 고정하였다. 고로

표 4. 배합인자 및 수준

	단위시멘트량 (kg/m ³)	W/C (%)	굵은골재 최대크기 (mm)	잔골재 (%)	고로슬래그 (%)
인자	340, 360, 380	28	10	0	0, 10, 20
			13	10	
수준	3	1	2		3

슬래그는 시멘트의 일부를 대체하는 것으로 하였으며, 0%, 10%, 20% 3수준으로 혼입률을 결정하였다. 또한, 굵은 골재는 수차례의 체가름시험을 통하여, 5~10mm, 5~13mm로 골재의 입도를 조정하여, 골재의 입도에 따른 투수콘크리트의 성능비교와 잔골재의 유무에 따른 성능을 비교토록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

표 5. 고로슬래그를 사용한 투수콘크리트의 실험결과

배합번호	단위시멘트량 (kg)	골재 크기 (mm)	물/결합재비 (%)	고로슬래그 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	휨강도 (kgf/cm ²)	투수계수 (cm/s)	공극율 (%)
AN-1-1	340	5~10	28	0	115	18	43	6.79E-01	16.17
AB-1-2				10	121	16	47	4.27E-01	15.57
AB-1-3				20	102	16	46	4.13E-01	13.41
BN-1-1	360	5~10	28	0	117	17	47	5.48E-01	17.17
BB-1-2				10	125	19	50	3.65E-01	14.77
BB-1-3				20	111	17	48	3.43E-01	14.14
CN-1-1	380	5~10	28	0	128	20	48	5.30E-01	15.01
CB-1-2				10	144	22	56	4.09E-01	14.38
CB-1-3				20	128	19	50	3.65E-01	14.15
AN-2-1	340	5~13 + 잔골재10%	28	0	187	22	52	2.40E-01	9.05
AB-2-2				10	184	23	55	1.72E-01	8.55
AB-2-3				20	155	22	51	1.73E-01	7.37
BN-2-1	360	5~13 + 잔골재10%	28	0	207	26	55	1.87E-01	7.93
BB-2-2				10	228	29	63	1.40E-01	7.62
BB-2-3				20	222	25	60	1.55E-01	6.94
CN-2-1	380	5~13 + 잔골재10%	28	0	189	28	55	1.30E-01	7.53
CB-2-2				10	247	31	70	1.19E-01	7.54
CB-2-3				20	242	29	70	1.17E-01	7.48

본 연구에서는 단위시멘트량과 굵은 골재의 최대치수를 두 가지로 고정시키고 고로슬래그를 사용하여 투수콘크리트의 제반성능을 개선시키기위한 실험을 실시하였다. 실험결과는 표 5와 같으며 이에 대한 분석은 다음과 같다.

3.1 압축강도

그림 2에서와 같이 고로슬래그를 혼입한 투수콘크리트의 압축강도의 변화에 대한 실험을 실시한 결과, 굵은 골재만을 사용한 투수콘크리트는 압축강도의 범위가 102kgf/cm²~144kgf/cm²로 나타났고, 잔골재를 혼입한 투수콘크리트의 압축강도 범위는 155kgf/cm²~247kgf/cm²로 나타나 전체적으로 잔골재를 혼입한 배합이 굵은 골재만을 사용한 배합보다 압축강도성능이 우수하게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 현재 투수콘크리트의 실용화에 있어 가장 큰 문제점으로 제시되는 낮은 강도를 고강도화 하기 위해서는 약간의 잔골재의 혼입을 고려해야 할 것으로 나타났다.

고로슬래그의 혼입률의 변화에 따른 압축강도결과를 살펴보면 일반적으로 혼입률 10%일 때 투수콘크리트가 우수한 압축강도성능의 개선효과를 보이는 것으로 나타났다. 이는 굵은 골재만을 사용한 배합과 잔골재를 혼입한 배합 모두에서 보인 결과로서 일반적인 콘크리트의 경우 혼입률 30%에서 우수한 강도개선효과를 기대할 수 있으나, 투수콘크리트의 경우 고로슬래그 혼입률 10%에서 포졸란 효과에 따른 강도개선효과가 나타나기 쉬운 것으로 사료된다.

3.2 인장강도

그림 3에서는 고로슬래그의 혼입률에 따른 인장강도 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 굵은 골재만을 사용한 투수콘크리트의 인장강도의 결과는 16kgf/cm²~22kgf/cm²로 나타났으며, 잔골재를 혼입한 투수콘크리트의 인장강도의 결과는 22kgf/cm²~31kgf/cm²로 나타나 압축강도 결과와 비슷한 추이를 보이는 것으로 나타났다. 잔골재를 혼입한 배합의 경우 일반적으로 굵은 골재만을 사용한 배합보다 높게 나타나 투수콘크리트를 고강도화 하기 위해서는 잔골재를 사용하는 것이 하나의 방법이 될 수 있음을 뒷받침하는 것이라고 사료된다.

고로슬래그 혼입률에 따른 인장강도결과도 압축강도 결과와 비슷한 추이를 나타냈으며 전반적으로 혼입률 10%까지는 강도가 증가하다가 10%이후부터는 감소하는 것으로 나타났다.

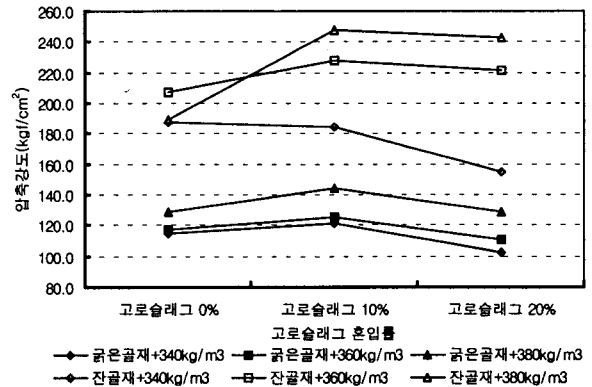


그림 2. 고로슬래그 혼입률에 따른 투수콘크리트의 압축강도의 변화

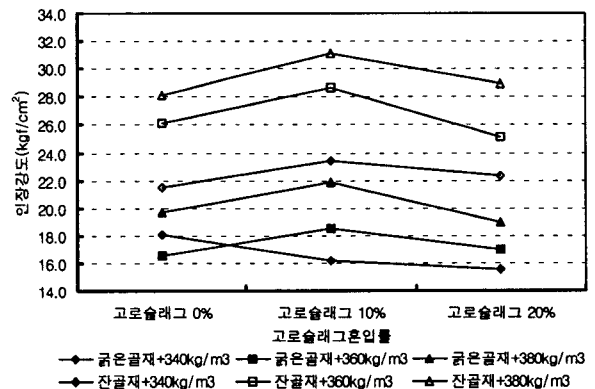


그림 3. 고로슬래그 혼입률에 따른 투수콘크리트의 인장강도의 변화

3.3 휨강도

그림 4는 혼입률에 따른 휨강도 결과를 보여 주며, 굵은 골재만을 사용한 투수콘크리트의 휨강도 결과는 $43\text{kgf/cm}^2 \sim 56\text{kgf/cm}^2$ 로, 잔골재를 사용한 투수콘크리트는 $52\text{kgf/cm}^2 \sim 70\text{kgf/cm}^2$ 로 나타나 일반적으로 앞에서 언급했던 압축강도 결과나, 휨강도 결과와 비슷한 추이를 나타냈으며 고로슬래그 혼입률에 따른 휨강도 결과도 10%를 기준으로 감소하는 결과를 보였다.

본 실험에서 나타난 실험결과는 일반적인 도로설계에 적용되는 휨강도인 45kgf/cm^2 을 전반적으로 만족시키는 것으로 나타났으나, 실제 도로포장에서는 양생조건이나 환경조건이 열악하므로 이를 감안하여 휨강도 50kgf/cm^2 을 기준으로 한다면 굵은 골재만을 사용한 배합은 단위시멘트량 380kg/m^3 , 고로슬래그 혼입률 10%배합만이 휨강도 기준을 상회한다고 할 수 있으며, 잔골재를 사용한 배합은 모든배합에 있어서 기준 강도를 상회하여 일반도로에 적용가능한 강도성능을 지니는 것으로 나타났다.

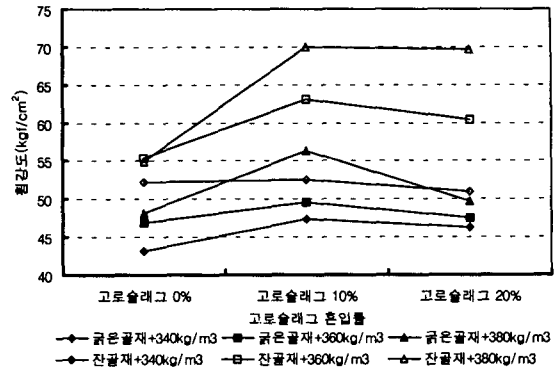


그림 4. 고로슬래그의 혼입률에 따른 투수콘크리트의 휨강도의 변화

3.4 투수계수

굵은 골재만을 사용한 투수콘크리트의 투수계수의 범위는 $3.43 \times 10^{-1} \sim 6.79 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 로, 잔골재를 사용한 투수콘크리트의 투수계수의 범위는 $1.17 \times 10^{-1} \sim 2.40 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 로 나타났다. 전반적으로 굵은 골재만을 사용한 투수콘크리트가 잔골재를 포함하는 투수콘크리트보다 우수한 투수성능을 보였으며, 그림 5에서 보는 바와 같이 굵은 골재를 사용한 투수콘크리트가 고로슬래그 혼입에 따라 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 중량배합으로 인해 고로슬래그 혼입량이 증가함에 따라 단위용적상의 분체량이 증가하여 공극의 크기가 작아지기 때문인 것으로 사료된다. 반면에 잔골재를 사용한 배합은 그림과 같이 고로슬래그가 잔골재사이에서 충전의 역할만을 해서 투수계수의 감소가 미미한 것으로 사료된다.

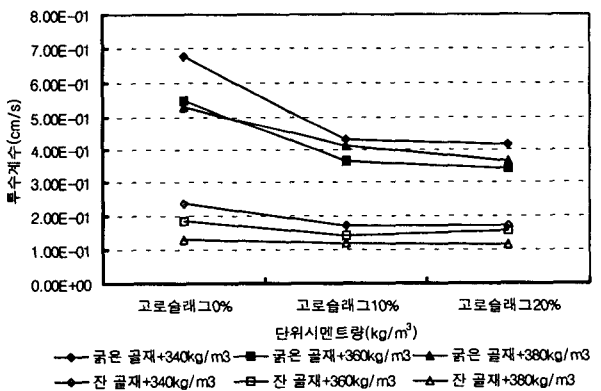


그림 5. 고로슬래그의 혼입률에 따른 투수콘크리트의 투수계수의 변화

굵은 골재를 사용한 배합과 잔골재를 사용했던 모든 배합에서 고로슬래그의 혼입률과는 관계없이 투수콘크리트 포장에서 제시되는 투수계수기준인 $1.00 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 을 만족하는 결과를 나타내었다.

3.5 공극률

본 실험에서 나타난 공극률의 범위는 굵은 골재를 사용한 배합의 경우 13.41~17.17%로, 잔골재를 사용한 배합의 경우는 6.94~9.05%로 나타나 투수계수와 비슷한 추이를 보이는 것으로 나타났다.

굵은 골재만을 사용한 투수콘크리트의 그래프가 전반적으로 잔골재를 포함한 투수콘크리트보다 높

은 공극률을 가지는 것으로 나타나, 투수콘크리트 공극률은 단위시멘트량 보다는 골재의 입도에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

4. 결론

고로슬래그를 혼화재료로 사용한 투수콘크리트의 배합실험을 통해, 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 투수콘크리트의 성능개선을 위한 혼화재료로서 고로슬래그를 사용한 결과 잔골재 유무에 관계없이 단위시멘트량 380kg/m³에서 고로슬래그 혼입량 10%에서 최대 성능발현현상을 보였다. 따라서 투수콘크리트에서의 고로슬래그의 적정혼입률은 약 10%정도라고 사료된다.

(2) 굵은 골재만을 사용한 투수콘크리트의 강도시험결과, 압축강도는 102~144kgf/cm², 인장강도는 16~22kgf/cm², 휨강도는 43~56kgf/cm²으로 나타나 휨강도측면에서는 현장적용에 문제가 없는 것으로 나타났다.

(3) 잔골재를 사용한 투수콘크리트의 강도시험결과, 압축강도는 155~247kgf/cm², 인장강도는 22~31kgf/cm², 휨강도는 52~70kgf/cm²로 나타나 대부분의 배합에서 도로설계용 휨강도 45kgf/cm²를 상회하는 결과를 보였고, 압축강도도 대부분의 배합에서 180kgf/cm²을 상회하는 것으로 나타났다.

(4) 투수계수는 굵은 골재만을 사용한 배합에서 $3.43 \times 10^{-1} \sim 6.79 \times 10^{-1}$ cm/sec로, 잔골재를 사용한 배합에서 $1.17 \times 10^{-1} \sim 2.40 \times 10^{-1}$ cm/sec로 일반적으로 제시되는 투수계수기준인 1.0×10^{-1} 을 모든 배합에서 만족시키고 있어 투수성능에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

(5) 공극률은 투수계수와 비슷한 경향을 보였으며 골재의 입도가 공극률에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이후, 골재의 입도를 좀더 세분화하는 연구를 통하여 공극률과 투수계수와의 연관성에 관한 연구도 이루어질 필요가 있다고 사료된다.

이상의 투수콘크리트의 단위용적중량에 관한 특성은 대부분 2.0t/m³전후로 나타나 주차장이나 자전거 도로용으로 사용되기에 별다른 문제점은 없을 것으로 사료되나 좀더 큰 교통하중이 요구되는 포장재료로 사용되기 위해서는 지속적인 연구가 이어져야 필요하다고 하겠다.

* 본 연구논문은 '99 산업기반기술개발사업의 "고성능 투수콘크리트 제조기술개발"의 일환으로 수행되었습니다.

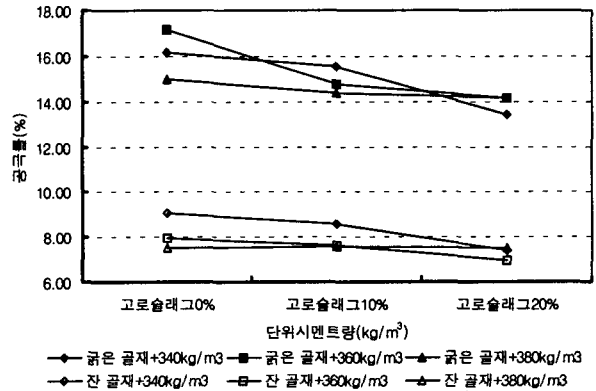


그림 6. 고로슬래그의 혼입률에 따른 투수콘크리트의 공극률의 변화

참 고 문 헌

1. 건설교통부, "도로포장설계시공지침", 1992.
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997, pp.159~185
3. 高橋知生 外, "透水性コンクリートの開発", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, pp.351~356.
4. 松尾伸二 外, "透水性コンクリートの透水・透濕・吸音特性", 콘크리트工學年次論文 報告集, Vol. 15, 1993, pp.525~530.
5. 安崎 裕 外, "透水性コンクリート舗装の適用性に関する實驗", 道路建設, 昭和63年, pp.52~56.
6. 大友武臣 外, "透水性コンクリートの開発に関する研究", 第45回セメント技術大會 講演集, 1991, pp.750~755.
7. 松尾伸二 外, "起泡劑を用いた透水性コンクリートの特性", 第46回セメント技術大會 講演集, 1992, pp.948~953.
8. Yoder, E.J., M.W.Witczak, "Principles of Pavement Design", John Wiley & Sons, Inc., 1975.