

# 전기로슬래그 골재를 활용한 투수성 콘크리트의 기초적 성질에 대한 연구

## A Study on the Fundamental Properties of Permeable Concrete Using the Electric Arc Furnace Slag Aggregate

문 한 영\*  
Moon, Han-Young

김 성 수\*\*  
Kim, Seong-Soo

정 호 섭\*\*\*  
Jung, Ho-Seop

안 기 용\*\*\*  
Ann, Ki-Yong

### ABSTRACT

The void ratio, continuous void ratio, coefficient of permeability, compressive strength and tensile strength were considered according to the EAF(Electric Arc Furnace) slag replacement and sand percentage in permeable concrete used with EAF slag as aggregate.

The sand percentage was directly proportional to the permeable coefficient, but inversely proportional to the compressive strength. When the compressive strength and coefficient of permeability were  $230\text{kg/cm}^2$  and  $1 \times 10^{-1}\text{cm/sec}$ , the useful sand percentage was 8%.

When the EAF slag replacement was 25%, the coefficient of permeability was the most low and compressive strength was the most high.

### 1. 서 론

지금까지 우리 나라의 고속도로, 국도를 위시한 대부분의 도로포장은 불투수성 아스팔트포장 또는 시멘트 콘크리트포장이 주류를 이루었다. 그러나 21세기의 도로용 포장재료나 공법은 생태계의 보존 및 자연환경 훼손을 최소화하는 환경친화적인 포장의 보급이 바람직하다고 생각된다. 최근 자연환경법의 강화로 인해 천연골재 채취의 제한 및 양질의 천연골재 고갈현상으로 인하여 산업부산물인 제강슬래그 및 콘크리트 재생골재 등을 콘크리트용 골재로 재활용하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다.

그래서 포장도로 중 우리의 주변생활 및 환경에 미치는 나쁜 영향을 최소로 줄이고자 시도되고 있는 투수성 콘크리트 포장에 전기로슬래그 골재를 활용하는 방안에 대하여 검토하고자 한다.

본 연구에서는 국내 제강산업의 부산물로 발생하는 전기로슬래그를 투수성 콘크리트 포장용 골재로 사용가능한지 여부를 알아보기 위하여 전기로슬래그의 대체율과 잔골재율을 변화시켜 제조한 투수성 콘크리트의 공극률, 연속공극률, 투수계수 및 제강도를 측정된 실험결과에 대하여 고찰하였다.

\* 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, 공학박사

\*\* 정회원, 대전대학교 이공대학 토목공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과, 석사과정

## 2. 사용재료

- (1) 시멘트 : 비중 3.15, 비표면적  $3,112\text{cm}^2/\text{g}$ 인 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.
- (2) 골재 : 굵은골재 최대치수 20mm, 비중 2.63인 쇄석과 비중 3.37, 흡수율 1.64인 전기로슬래그(이하 EAF라 약함)를 사용하였으며, 잔골재는 강모래를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 1과 같다. 이 때 전기로슬래그는 9개월 이상의 공기중 에이징 처리를 한 시료이다.

표 1. 골재의 물리적 성질

$G_{\max}$ (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M	Organic impurities	Unit Weight ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Percentage of solids (%)	Remark
-	2.60	0.86	2.70	Good	1,620	62.3	River sand
20	2.63	0.8	7.30	-	1,524	58.2	Crushed stone
20	3.37	1.50	6.69	-	1,988	60.8	EAF slag

- (3) 화학혼화제 : 비중이 1.15정도의 리그닌 술폰산 칼슘이 주성분인 표준형 AE제를 시멘트량의 0.3% 사용하였다.

## 3. 실험방법

- (1) 공극률 : 투수성 콘크리트의 공극률은 아래의 식으로 계산하였으며, 이때 절대단위용적중량(공극률을 0으로 한 중량)은 콘크리트 구성재료의 비중에 의하여 계산한 중량을 말한다. 이때 단위용적중량시험은 KS F 2409에 의해서 측정하였다.

$$\text{공극률}(\%) = 100 - \frac{\text{투수성 콘크리트의 단위용적중량}}{\text{절대단위용적중량}} \times 100$$

- (2) 연속공극률 : 원주형공시체의 측면과 바닥을 완전히 밀봉하고 상부에서 물을 주입하여 공시체를 완전히 흡수시켜 몰로 채운 중량을 측정한 값과 콘크리트 중의 물을 충분히 배수시킨 상태의 중량을 측정하여 그 차를 공시체의 용적으로 나눈 값을 백분율로 나타내었다.
- (3) 투수계수 : KS F 2322 흙의 정수위 투수시험방법에 의하여  $\phi 10 \times 10\text{cm}$ 의 콘크리트 공시체를 제조하여 재령 28일에 투수계수를 측정하였다.
- (4) 압축 및 인장강도 :  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  원주형 몰드에 콘크리트를 채우고 중량 2.5kg의 다짐봉으로 30cm 높이에서 각 층을 50회씩 총 150회 다진 다음 48시간 후 탈형하여  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 수증양생하여 KS F 2405 압축강도 시험방법과 KS F 2423 인장강도 시험방법에 따라 측정하였다.
- (5) 시험배합 : 물-시멘트비 30%, 단위시멘트량  $380\text{kg}/\text{m}^3$ , 굵은골재 최대치수 20mm로 정하고, 잔골재율 0, 5, 10 및 15%, 전기로슬래그의 대체율을 0, 25, 50, 75 및 100% 5단계로 하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 투수성 콘크리트의 투수특성에 대한 고찰

잔골재율 4단계 및 전기로슬래그 굵은골재의 대체율 0, 25, 50, 75 및 100% 5단계로 변화시킨 투수성 콘크리트의 공극률 및 연속공극률과 투수계수와와의 관계로 정리한 것이 그림 1 및 그림 2이다.

이들 그림에서 공극률과 투수계수와의 사이에는 쇄석과 전기로슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 직선의 기울기는 상이하나 다같이 좋은 직선적인 상관관계가 성립됨을 알 수 있다. 그러나 연속공극률과 투수계수와와의 사이에는 전기로슬래그 골재사용 콘크리트의 상관성( $r^2=0.97$ )이 매우 좋은 반면 쇄석 콘크리트의 경우 상관성이 다소 떨어짐을 알 수 있다. 그런데 일반적인 투수성 아스팔트포장의 투수계수

는 공용 중에 차량의 통행에 따른 토사나 먼지 등으로 인하여 공극이 줄어들기 때문에 투수계수를  $1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$  정도로 크게 취하고 이 값에 해당되는 공극률과 연속공극률을 찾아보면 각각 약 13%와 10% 정도임을 알 수 있다. 이때 동일공극률로서 투수계수를 비교해보면 쇄석을 사용한 투수성 콘크리트의 투수계수가 전기로슬래그 골재를 사용한 것보다 더 크게 나타났다. 그 이유는 쇄석의 조립률과 실적률이 각각 7.30, 58.2%로서 전기로슬래그 골재의 조립률보다 크고, 실적률은 오히려 적은 탓으로 생각된다.

그림 3은 잔골재율과 투수계수와의 관계를 나타낸 것으로서 쇄석이나 전기로슬래그 골재 다같이 잔골재율이 커질수록 공극이 줄어들어 투수성 콘크리트의 투수계수가 감소됨을 알 수 있으며, 투수계수  $1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 를 만족시키기 위해서는 잔골재율이 약 8% 정도 이하라야 함을 알 수 있다.

그래서 잔골재율을 5%에 고정시키고 전기로슬래그 대체율과 투수계수 및 압축강도와의 관계를 정리한 것이 그림 4이다. 이 그림에서 전기로슬래그 골재의 대체율과 투수계수나 압축강도와의 사이에는 명확한 상관관계를 알 수 없었다. 그러나 쇄석을 전기로슬래그로 대체하는데 따라 투수계수가 약간 작아지는 경향임을 알 수 있다.

#### 4.2 투수성 콘크리트의 강도에 대한 고찰

일반적인 포장 콘크리트의 경우 콘크리트 내부의 공극을 최소화하고 밀실한 콘크리트를 제조해야 하지만 투수성 콘크리트는 적당한 공극을 가지면서 소요의 강도를 발현해야만 한다. 그림 5는 콘크리트의 공극률과 압축강도와의 관계를 나타낸 것으로서 전기로슬래그 골재를 사용한 투수성 콘크리트의 경우 이들 사이에는 매우 좋은 상관관계를 나타내었으며, 쇄석과 전기로슬래그 골재 콘크리트의 공극률 13%정도에 해당하는 압축강도는 약  $230 \text{kg/cm}^2$  정도임을 알 수 있다. 이는 투수성 포장용 콘크리트의 압축강도를 충분히 만족하는 값으로 생각된다. 그래서 투수성 콘크리트의 잔골재율에 따른 압축강도를 정리한 것이 그림 6으로서 투수계수를 만족하는 공극률 13%정도와 압축강도  $230 \text{kg/cm}^2$  정도에 상당하는 잔골재율을 추적해보면 약 8% 정도임을 알 수 있으며, 이 값은 그림 3의 잔골재율과 투수계수와의 관계와 잘 일치하는 결과이다. 이때 쇄석과 전기로슬래그 골재를 사용한 투수성 콘크리트의 잔골재율에 따라 압축강도가 약간 상이한 경향을 나타내었으나, 잔골재율 8% 전후에서의 압축강도 차이는 거의 없음을 알 수 있다.

### 5. 결 론

- (1) 전기로슬래그 골재와 쇄석을 사용한 투수성 콘크리트의 투수계수는 공극률과 연속공극률이 증가함에 따라 직선적인 좋은 상관관계가 성립되었으며, 동일한 공극률로서 투수계수를 비교해보면, 쇄석을 사용한 투수성 콘크리트와 거의 유사한 경향을 나타내었다.
- (2) 전기로슬래그 골재와 쇄석을 사용한 투수성 콘크리트에서 잔골재율이 증가하는데 따라 공극이 줄어들어 투수계수는 감소하지만 강도는 증가하였으며, 투수계수  $1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 를 만족하는 잔골재율은 약 8% 정도를 나타내었다.
- (3) 전기로슬래그 골재와 쇄석을 사용한 투수성 콘크리트의 압축강도는 공극률이 증가하는데 따라 경향은 약간 상이하지만 거의 직선적으로 감소되었으며, 반면에 잔골재율이 커질수록 압축강도는 크게 증가하는 결과를 나타내었다.

이상의 실험결과를 종합해보면 전기로슬래그 골재를 사용한 투수성 포장용 콘크리트도 쇄석을 사용한 경우와 마찬가지로 투수계수를 만족하는 연속공극률은 약 10% 정도이며, 이때의 잔골재율은 약 8% 전후로서 재령 28일의 압축강도는  $230 \text{kg/cm}^2$  정도되는 값을 얻을 수 있었다.

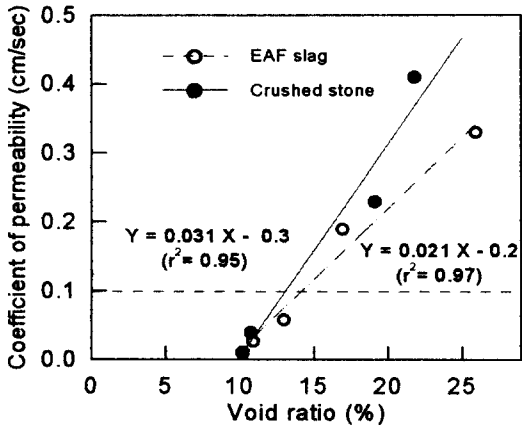


그림 1. 공극률과 투수계수와의 관계

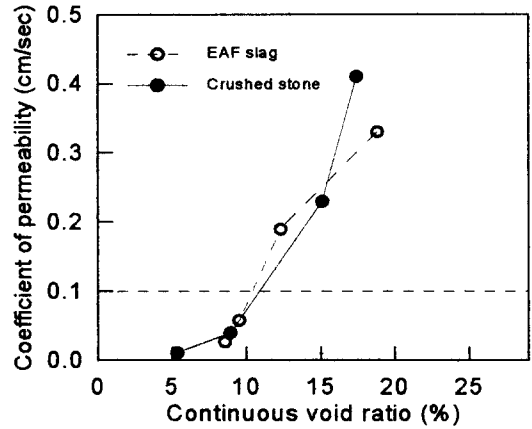


그림 2. 연속공극률과 투수계수와의 관계

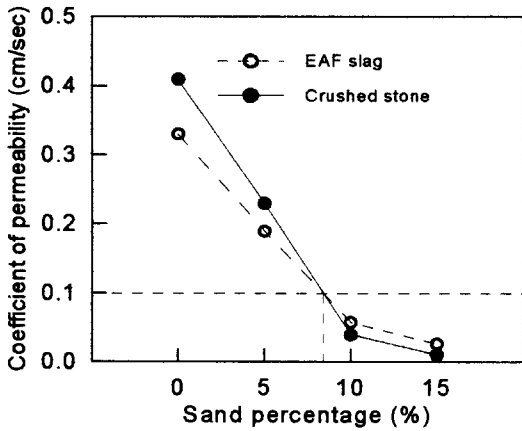


그림 3. 잔골재율과 투수계수와의 관계

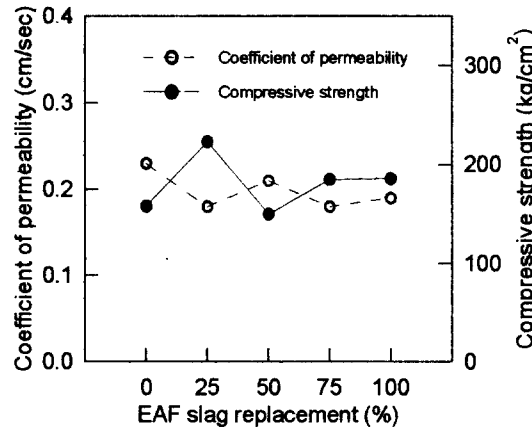


그림 4. 슬래그 대체율과 투수계수 및 압축강도와의 관계

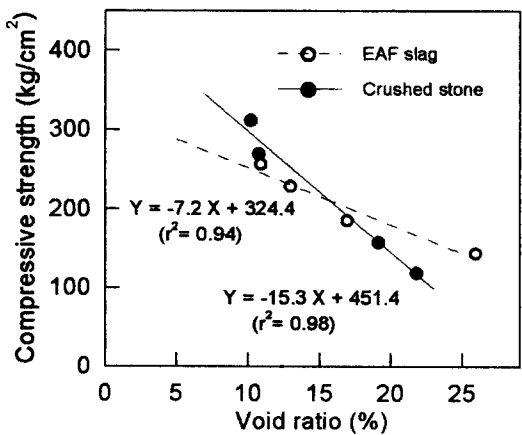


그림 5. 공극률과 압축강도와의 관계

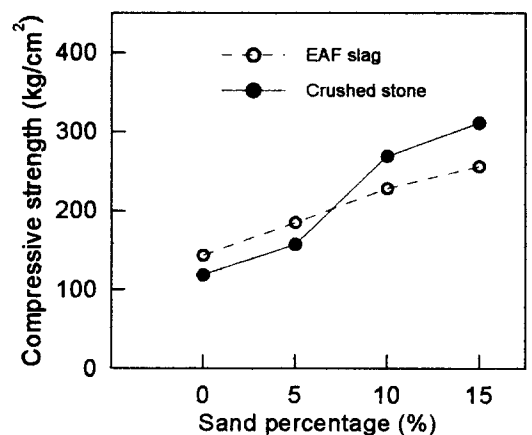


그림 6. 잔골재율과 압축강도와의 관계