



고로슬래그 콘크리트의 투수특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Permeability Characteristics of Blast Furnace Slag Concrete

백신원*[†] · 오대영**

Paik, Shinwon · Oh, Daeyoung

ABSTRACT

The pavement is generally used on the highways, local roads, roads for bicycle riding and neighborhood living facility such as parking lot, plaza, park and sports facilities. However, the pavement material that is usually used on the most of roads is impermeable asphalt-concrete and cement-concrete. If the pavement material is impermeable, many problems can be happened on the drainage facilities in the rainy season. Additionally, a lot of rainwater on the pavement surface cannot permeate to the underground and flows to the sewage ditch, stream and river, etc. If a lot of rainwater flows at once, the floods can be out along the streams and rivers. So, underground water can be exhausted. Micro organisms cannot live in the underground. Recently, many studies has been conducted to exploit the permeable concrete that has high performance permeability. However, it is required to develop the permeable concrete which has high strength and durability. In this study, permeable and strength tests were performed to investigate the permeable characteristics of porous concrete according to fine aggregate content and substitution ratio of blast furnace slag. In this test, crushed stones with 10~20 mm and sand with 5~10 mm were used as a coarse aggregate and a fine aggregate respectively. The substitution ratio of blast furnace slag to cement weight is 0 %, 15 %, and 30 %. The ratio of fine aggregate to total aggregate is 0 %, 18 %, and 35 %. As a result, permeability coefficient was decreased according to fine aggregate ratio of total aggregate. Compressive strength was also decreased according to substitution ratio of blast furnace slag.

Keywords: Blast furnace slag; Permeability; Pavement; Porous concrete; Aggregate; Coefficient of permeability

1. 서 론

불투수성 포장체는 우수를 배수관을 통해 하천으로 유입시키기 때문에 강우 시 우수유입과다에 따른 하천의 범람, 저지대 침수 그리고 구도심지역 배수관의 과부하에 따른 피해발생의 가능성을 가지고 있다. 또한 환경적 측면으로는 불투수성 포장체에 의해 물이 땅속으로 스며들지 못하고 하천으로 유입됨으로써 지하수의 고갈, 미생물의 서식을 저해하는 자연생태계 차원의 많은 문제점이 제기되고 있다. 이러한 문제점을 개선하고자 선진국에서는 1980년대부터 투수성 아스팔트가 개발된 이래 투수성 포장공법에 관한 투수성 시멘트 콘크리트의 연구가 활발하게 진행되고 있으며 (Jaejin Choi et al., 2002), 투수성 포장은 보도를 중

심으로 한 생활관련 도로, 광장 및 주차장등의 포장에 사용되고 있다. 투수성 포장체는 우수를 지중으로 침투시켜 지하수 고갈문제를 방지하고 흠속에서 미생물이 잘 서식할 수 있는 환경을 만드는 등 환경적 측면에서 여러 가지의 장점이 있는 것으로 평가되고 있다. 또한 강우 시 배수관에 의존해 우수를 배출하는 불투수성 포장체와는 달리 노반으로 우수를 배출 할 수 있는 투수성 포장체는 배수관 과부하발생을 줄이며 하천의 범람과 저지대 침수 가능성을 줄일 수 있다. 그러나 이러한 투수성 포장이라도 노반의 배수가 양호하지 않은 경우 겨울철 동해에 의해 노면이 융기하는 현상이 나타나며, 또 강도가 높지 않아 교통량이 많은 차도에의 사용이 어려워 이를 보완한 방법으로 투수성 포장공법에 대한 연구가 진행되고 있다 (Gyutae Jo et al., 2002). 투수성 포장체의 여러 가지 문제점을 해소하기 위한 방안으로 외국에서는 주로 아스팔트를 사용하지만 우리나라에서는 투수성 아스팔트 보다는 투수성 콘크리트포장이 널리 보급되어 왔다. 그러나 지금까지의 투수성 콘크리트는 강도상의 제약 때문에 보도, 주차장 등 비교적 경하중의 용도로 제한되었으나 앞으로 투수성 콘크리트를 차도포장에 적용하기 위한 기술개발이 요구되고 있으며, 이 분야에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다 (Younsu Lee

* 환경대학교 토목안전환경공학과

** 한국농어촌공사 아산지사

† Corresponding author Tel.: +82-31-670-5281

Fax: +82-31-670-5289

E-mail: paiksw@hknu.ac.kr

2013년 1월 21일 투고

2013년 4월 17일 심사완료

2013년 4월 18일 게재확정

et al., 2002; Jaejin Choi, 2007). 특히 폴리머 및 불포화 폴리 에스터수지를 이용한 투수콘크리트에 대한 연구도 진행된 바 있다 (Kyuhyung Choi et al., 2008; Byeongcheol Lho et al., 2007). 또한 고로슬래그 골재 및 황토를 사용한 다공성 콘크리트의 물리 역학적 특성을 알아보는 연구도 진행된 바 있다 (Choi, H. Y. et al., 2001; Jinhyung Lee et al., 2010). 본 연구에서는 이러한 검토의 한 단계로서 높은 강도의 투수성 콘크리트를 제조하기 위한 방안으로 폴리카르보산계 고성능 AE감수제 사용과 아울러 고로 슬래그와 골재의 입도가 투수성 콘크리트의 압축강도 및 투수성에 미치는 영향을 실험에 의해 검토하였다.

II. 실험 개요

1. 사용 재료

시멘트는 국내 S사에서 제조한 밀도 3.15 g/cm³의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

혼화제로는 밀도 1.05 g/cm³인 암갈색 액체로서 폴리카르보산계의 고성능 AE감수제로 보통 포틀랜드 시멘트의 중량비로 0.7 %를 사용하였으며, 주성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

골재는 밀도 2.70 g/cm³, 흡수율 0.99 %인 부순 골재로 최소 치수 5 mm 및 최대치수 20 mm의 골재를 사용하였다. 즉 이 골재들을 체로 쳐서 5 mm 이하는 버리고 5 mm~10 mm, 10 mm~20 mm의 2종류의 골재로 시험하였다.

제철소의 부산물로 생성되는 고로 슬래그 (밀도 2.72 g/cm³)를 시멘트와 대체사용하기 위하여 투수성 콘크리트 배합에 사용되었으며, 고로 슬래그의 화학 성분 및 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 1 Main ingredient and physical property of chemical admixture

Type	Main ingredient	Density (g/cm ³)	State	Color
AE superplasticizer	Polycarboxylic acid	1.05±0.05	Liquid	Dark brown

Table 2 Chemical component and physical property of blast furnace slag

Chemical component (%)						Physical property	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Density (g/cm ³)	Specific surface area (cm ² /g)
30	12	0.25	61.56	38	10	2.72	6,000

2. 실험변수 및 배합

본 연구에서는 물-시멘트비 (W/C)를 30 %로 하고, 단위시멘트

Table 3 Test variables of this study

Type	Content of Blast furnace slag / cement (%)	Aggregate ratio (%)	Cement content (kg)	Water-cement ratio (%)	AE content/ cement (%)
I -0	0	0	350	30	0.7
II -17.5	15	17.5	315		
III -30	30	35	260		

Table 4 Mixing table

Type	Aggregate		Cement content (kg)	Water (kg)	Blast furnace slag (kg)
	5~10 mm (kg)	10~20 mm (kg)			
I -0	0	584	350	105	0
I -17.5	105	479			
I -30	204	380			
II -17.5	0	584	315	105	52.5
II -17.5	105	479			
II -17.5	204	380			
III -30	0	584	280	105	105
III -30	105	479			
III -30	204	380			

트량 350 kg/m³을 기준으로 고로슬래그미분말을 시멘트 중량의 0 %, 15 %, 30 %, 골재비 (5~10 mm 골재 / 10~20 mm 골재)를 0 %, 17.5 %, 35 %로 하는 실험변수를 선택하였으며, Table 3은 이에 대한 실험변수 표이다.

Table 3와 같은 변수에 따른 Table 4의 배합에 대해 φ100×200 mm 크기의 압축강도용 공시체와 85×105 mm 크기의 투수시험용 공시체를 각각 3개씩 제작하였으며, 공시체 제작으로부터 24시간이 지난 후 탈형하여 20±3 °C에서 수중 양생하였다. 특히 다짐은 실험의 일관성을 확보하기 위하여 철제평판 진동기를 이용하였다.

III. 실험 방법

투수 콘크리트의 압축강도는 φ100×200 mm 시험체를 이용하여 재령 28일에 KS F 2405의 압축강도 시험방법에 준하여 측정하였다.

특히 투수계수를 측정하기 위하여 투수시험용 공시체의 상, 하부를 연마기로 평평하게 다듬은 다음 투수원통 측면으로부터 물이 새는 것을 완전히 방지하기 위하여 측면을 여러 겹의 비닐로 마감처리한 후 실내에 1일 동안 보관한 후 재령 28일에 KS F 2322의 흡의 투수 시험 방법에 준하여 투수계수를 측정하였다. 이때 수위차 3.5 cm의 조건으로 60초간의 투수량을 측정하여 다음 식으로 투수계수를 계산하였다.

$$K = \frac{L}{H} \cdot \frac{Q}{At} \quad (1)$$

여기서, K : 투수계수 (cm/sec)
 H : 수위차 (cm)
 L : 시험체의 길이 (cm)
 Q : 유출 수량 (cm³)
 t : 측정시간 (sec)

IV. 실험 결과

총 9배합에 대하여 28일 압축강도 및 투수계수 측정결과를 정리한 것이 Table 5와 같다.

본 연구에서는 단위수량을 105 kg/m³으로 하고, 고성능 AE 감수제를 시멘트 중량비로 0.7 %를 첨가하여 공시체를 제작하였다. Fig. 1은 골재비에 따른 28일 압축강도를 나타내는 그림으로서 그림에서 보듯이 골재비가 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 일반적인 경향을 보였다. 또한 Fig. 2는 고로슬래그미분

Table 5 Experimental results

Type	28day compressive strength (MPa)	Coefficient of permeability (cm/sec)
I -0	10.07	0.87
I -17.5	10.20	0.82
I -30	11.36	0.78
II -0	8.02	0.94
II -17.5	8.93	0.72
II -30	9.23	0.69
III-0	7.84	0.80
III-17.5	8.08	0.70
III-30	8.90	0.69

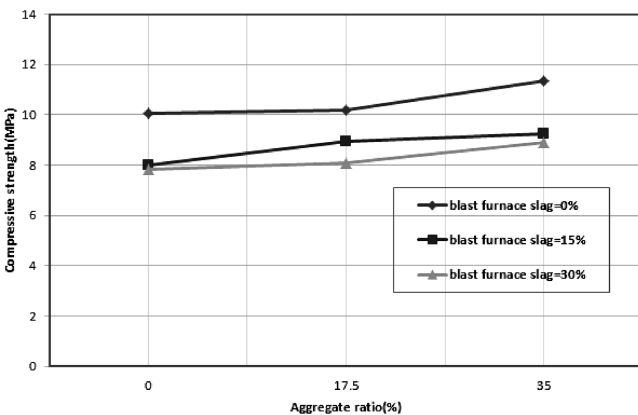


Fig. 1 Compressive strength according to the fine aggregate ratio

말 치환율에 따른 28일 압축강도를 나타내는 그림으로서 그림에서 보듯이 고로슬래그미분말 치환율이 증가함에 따라 압축강도가 감소하는 경향을 보였는데, 이는 고로슬래그미분말이 강기강

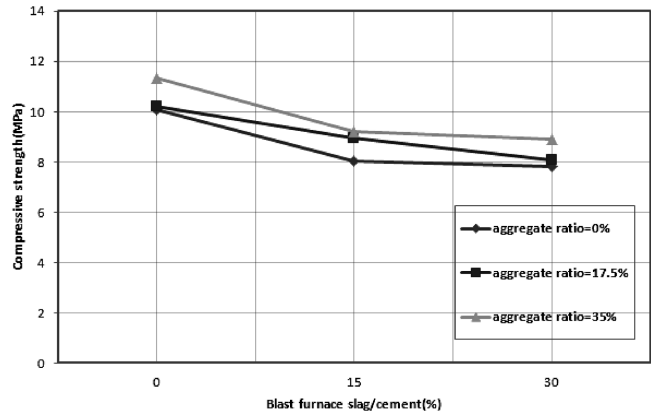


Fig. 2 Compressive strength according to the content of Blast furnace slag

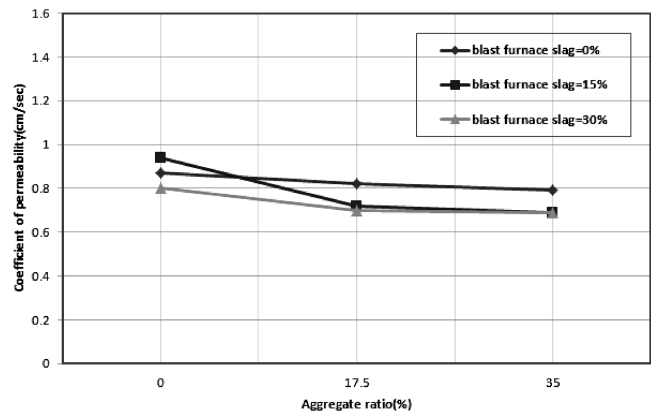


Fig. 3 Coefficient of permeability according to the aggregate ratio

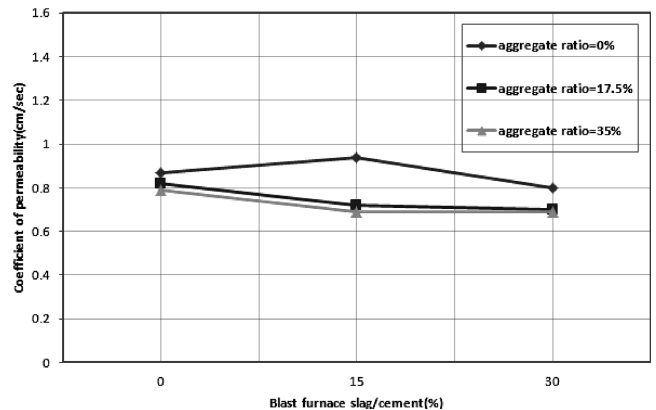


Fig. 4 Coefficient of permeability according to the content of Blast furnace slag

도 증진효과는 크지만 초기강도 증진효과는 크지 않기 때문에 사료된다.

Fig. 3은 골재비에 따른 투수계수를 나타내는 그림으로서 그림에서 보듯이 골재비가 증가함에 따라 투수계수가 약간 감소하는 일반적인 경향을 보였다. 또한 Fig. 4는 고로슬래그미분말 치환율에 따른 투수계수를 나타내는 그림으로서 그림에서 보듯이 고로슬래그 미분말 치환율이 증가함에 따라 투수계수는 약간 감소하는 경향을 보였다. 따라서 투수 콘크리트에서 강도증진을 위해 첨가하는 고로슬래그 미분말 양 및 골재비가 높은 경우 투수계수를 약간 감소시키는 결과를 보였으나 그 크기는 그리 크지 않기 때문에 강도증진을 위해 적정량의 고로슬래그 미분말 및 잔골재를 사용하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 한편 건설교통부의 도로포장설계시공지침 (Ministry of Construction and Transportation, 1996)의 투수성 아스팔트 포장 및 혼합물의 배합설계 기준에서의 투수계수는 기준치로 0.01 cm/sec를 제안하고 있다. 그러나 투수성 아스팔트 및 콘크리트는 시공 후 사용과정에서 투수성이 저하되기 때문에 일반적으로 투수성 콘크리트를 시공할 때 투수계수의 목표는 0.1 cm/sec 정도로 하는 경우가 많다. 본 실험에서는 모든 조건의 배합에서 투수성 콘크리트의 목표 투수계수 0.1 cm/sec의 8~9배 결과를 보였다.

V. 결 론

본 연구에서는 투수성 콘크리트에 대해 고로슬래그 미분말 양 및 골재비에 따른 압축강도 및 투수계수를 측정하였는데, 이러한 결과로부터 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 골재비가 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 일반적인 경향을 보였으며, 고로슬래그 미분말 시멘트 치환율이 증가함에 따라 압축강도가 감소하는 경향을 보였는데, 이는 고로슬래그 미분말이 강기강도 증진효과는 크지만 초기강도 증진효과는 크지 않기 때문에 사료된다. 따라서 투수콘크리트의 장기내구성능을 파악하기 위한 장기실험도 추후 필요할 것으로 생각된다.

2. 골재비가 증가하고, 고로슬래그 미분말 시멘트 치환율이 증가함에 따라 투수계수가 약간 감소하는 경향을 보여, 투수성 콘크리트 시공시 강도증진을 위해 적정의 잔골재와 고로슬래그 미분을 사용하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

3. 본 실험의 모든 조건의 배합에서 투수성 콘크리트의 목표 투수계수 0.1 cm/sec의 8~9배 결과를 보여 본 실험의 배합이 투수성 콘크리트 시공시 좋은 자료가 될 수 있음을 알 수 있었다.

REFERENCES

1. Choi, J., and E. Hwang, 2002. Physical properties of permeable polymer concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(1): 41-48 (in Korean).
2. Jo, G., H. Lee, and S. Lee, 2002. Estimation of application on the site for the draining cement concrete pavement. *Korean Society of Civil Engineers* 22(4D): 697-705 (in Korean).
3. Lee, Y., and M. Joo, 2002. Fundamental properties of water-permeable polymer-modified concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(1): 402-408 (in Korean).
4. Choi, J., 2007. Influence of the types and grading of aggregate on the properties of porous concrete. *Korean Society of Civil Engineers* 27(3A): 393-400 (in Korean).
5. Choi, K., B. Lho, M. Joo, and B. Lee, 2008. An experimental study on performance in elevation of porous polymer concrete. *Korea Concrete Institute Spring Seminar* 20(1): 953-956 (in Korean).
6. Lho, B., K. Choi, J. Kim, 2007. An experimental study on permeability in elevation of porous polymer concrete using unsaturated polyester resin. *Korean Society of Civil Engineers* 19(2): 163-169 (in Korean).
7. Choi, H. Y., M. H. Kim., H. Z. Hwang., and S. W. Choi, 2001. Experimental study on the properties of concrete by the kinds of admixture and the replacement ratios of activated hwangtoh. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 13(2): 127-129 (in Korean).
8. Lee, J., and C. Park, 2010. Effect of blast furnace slag, hwangtoh and reinforcing fibers on th physical and mechanical properties of porous concrete using blast furnace slag coarse aggregate. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(5): 53-60 (in Korean).
9. Ministry of Construction and Transportation, 1996. Guide for road pavement design and construction (in Korean).