

# 투수 콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Physical Properties of Porous Concrete

채창우\*

Chae Chang-U

정문영\*

Jung Moon Young

이형우\*\*

Lee Hyung Woo

### Abstract

Porous concrete contains about 20% voids after compaction so that it has high permeability which secures underground water resources. It is introduced in domestic since 1980' but has problems such as lack of optimized mixture, low strength and durability, efflorescence and other defects, etc.

In this study, several mixture were designed based upon site works, and test specimens for compressive strength, tensile strength, flexural strength and permeability, were prepared in a laboratory. After 28days of curing, every performance was tested to find optimum mixture. The mixture was proposed as 380kg/m<sup>3</sup> of unit cement weight, 32% of W/C, 10~13mm of aggregate.

### 1. 서 론

산업발전과 더불어 포장기술은 향상되고 있으며, 현재 주종을 이루는 포장재료는 아스팔트 콘크리트, 시멘트 콘크리트 등 불투수성 재료이다. 불투수성 포장은 배수구를 통하여 하천이나 강으로 직접 우수를 배출하는데, 이렇게 유출된 우수는 하천과 강의 범람 요인이 되고 있을 뿐만 아니라 지하수의 고갈, 지중 생태계의 파괴 등 환경파괴의 원인이 되고 있다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위한 기술 중의 하나가 투수성 포장기술이며 외국에서는 투수성 아스팔트 콘크리트와 투수 콘크리트를 개발하여 보도를 중심으로 주차장, 광장 등에 사용하면서 점차 배수성, 흡음성 포장으로 발전시키고 있다. 국내에도 1980년대 초반부터 투수콘크리트 기술이 도입되어 보도를 중심으로 사용되고 있으나 표준 배합 설계 부족, 강도와 내구성의 저하, 백아화나 재료분리 등과 같은 문제점을 안고 있다.

이에 본 연구에서는 현재 적용되고 있는 현장배합을 중심으로 배합실험을 실시하여 각종 물리적 특성을 고찰하고 투수 콘크리트의 물성을 개선할 수 있는 적정한 배합을 제시하며 투수성 및 내구성을 증진시키는데 기초 자료를 제공하는데 목적을 두고 있다. 또한, 최적의 투수 콘크리트를 도출하는 과정에서 시멘트 양, 최대 골재크기, 물/시멘트비 등의 영향인자에 대한 분석을 실시하였다.

\* 정회원. 한국건설기술연구원 연구원

\*\* 삼기건설산업주식회사 기술연구소 연구원

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트

시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 물리적 특성

$\text{SiO}_2$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{CaO}$ (%)	$\text{MgO}$ (%)	$\text{SO}_3$ (%)	Ig. Loss (%)	비 중	비 표면적 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
20.3	6.2	3.2	62.4	3.0	2.0	1.9	3.14	3,265

#### (2) 골재

본 실험에서는 잔골재는 사용하지 않았으며 굽은 골재는 최대 치수가 10mm, 13mm인 부순돌을 사용하였다. 공극율을 높이기 위해 골재의 입도 분포를 작게 조정하여 No. 8체 이하를 통과하는 골재가 없는 상태인 단입도에 가까운 골재를 사용하였다.

표 2 골재의 물리적 특성

최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (%)	단위용적중량 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	실적율 (%)	비고
13	2.57	1.97	6.34	1,490	57.98	파쇄골재
10	2.57	1.97	5.69	1,533	59.65	파쇄골재

### 2.2 배합계획

배합계획에 사용된 인자와 수준은 표 3과 같다.

표 3 배합인자 및 수준

	단위시멘트량( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	물시멘트 비(%)	골재 최대 치수(mm)
인자	420, 380, 340, 300	28, 32	10, 13
수준	4	2	2

### 2.3 실험방법

콘크리트의 배합은 기계식 막서를 사용하지 않고 삽비빔과 손비빔을 사용하여 균일하게 혼합하였다. 공시체는 성형 1일 후 탈형하여 21°C의 항온 수조에서 28일간 수중 양생하였다. 시험은 대기중에서 약 3시간 정도 대기시켜 공시체 내부공극의 표면수가 거의 제거되고 표면건조 포화상태가 된 조건에서 진행하였으며, KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법), KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험 방법 ~ 단순보의 3등분점 하중법), KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험 방법), KS F 2322(흙의 정수위 투수시험방법)에 따라 실시하였다.

본 시험에서 적용한 공시체의 크기 및 성형 조건은 표 4와 같다.

표 4 공시체의 성형 조건

	압축, 휨률 인장 시편	휨강도 시편	투수계수
시편의 크기 및 형상	$\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 실린더	$10 \times 10 \times 40\text{cm}$ 의 프리즘	$\phi 10 \times 12\text{cm}$ 의 실린더
다짐 조건	3층 50회씩 총150회	2층 100회씩 총200회	3층 50회씩 총150회

\* 다짐작업은 5kg의 램머를 사용하여 자유나하시킴.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실험결과

투수 콘크리트의 단위용적중량, 압축강도, 휨강도, 인장강도, 투수계수에 대한 실험 결과는 표 5와 같다.

표 5 배합시험결과

공시체번호	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	투수계수 (cm/sec)
420-28-13	2.220	229.30	55.25	27.52	1.14E-01
420-28-10	2.248	230.97	58.71	31.97	3.36E-02
420-32-13	2.252	214.02	55.14	26.37	5.26E-02
420-32-10	2.265	294.38	58.99	32.22	8.70E-02
380-28-13	2.164	160.79	53.89	20.78	3.26E-01
380-28-10	2.190	183.91	51.23	25.51	1.01E-01
380-32-13	2.180	215.71	51.67	25.72	2.19E-01
380-32-10	2.205	253.50	56.73	30.34	1.60E-01
340-28-13	2.095	137.04	40.09	15.50	4.86E-01
340-28-10	2.084	166.03	46.17	22.44	3.39E-01
340-32-13	2.081	166.28	48.86	22.06	3.88E-01
340-32-10	2.098	167.73	51.34	22.84	1.60E-01
300-28-13	2.036	120.59	45.06	16.05	4.98E-01
300-28-10	2.050	154.25	42.95	19.40	3.16E-01
300-32-13	2.087	130.41	43.47	17.25	5.32E-01
300-32-10	2.081	122.67	45.63	21.70	1.96E-01

#### 3.2 실험결과 고찰

##### 3.2.1 단위용적중량

###### (1) 실린더 몰드와 프리즘 몰드의 차이

램머에 의한 다짐 횟수를 비교할 때, 실린더 몰드의 경우 3층 50회를 다쳤고 프리즘 몰드의 경우 2층 100회를 다쳤다. 따라서 다짐 횟수의 측면에서 프리즘 몰드가 다짐회수가 많고 다짐층이 얕아 굼재의 충전 상태가 높아진 것으로서 이에 따라 용적 중량의 차이가 나는 것으로 나타났다.

다짐량이 많았던 프리즘 몰드의 경우 배합에 따른 단위용적중량과의 변화율이 작아 일정한 다짐량 이상의 경우 배합인자의 특성이 작게 나타날 수 있는 것을 알 수 있다. 그러나 실린더 공시체와 프리즘 공시체의 단위 용적 중량의 변화 곡선의 형태가 일정하므로 다짐량이 많다고 배합이 가지고 있는 고유한 단위중량 값을 크게 변화시키지는 않는 것으로 해석된다.

### (2) 단위 시멘트량의 영향

단위시멘트량이 감소할수록 단위용적 중량이 감소하였으며 그 경향의 차이는 다짐량이 적은 실린더 공시체에서 많이 나타났다. 이는 시멘트풀이 적은 배합이 다짐에 따른 영향을 상대적으로 더 많이 받는 것으로 분석된다.

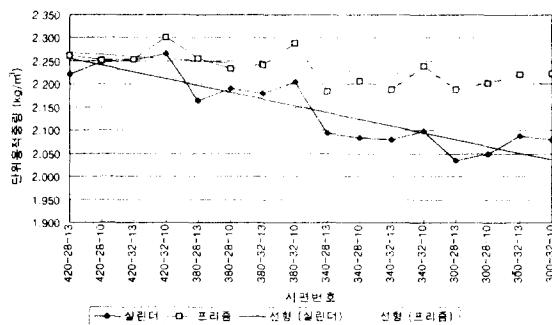


그림 1 공시체 종류에 따른 단위용적중량의 변화

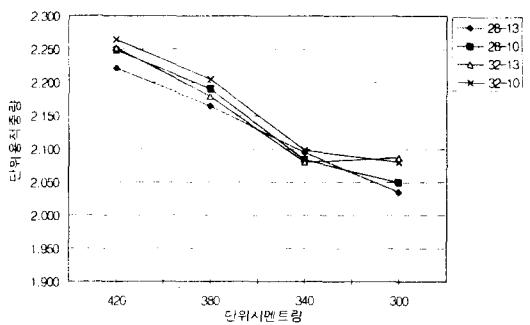


그림 2 단위시멘트량에 따른 단위용적중량의 변화

### (3) 물시멘트비에 대한 영향

동일한 단위시멘트량에서 물시멘트비가 높은 배합의 단위용적중량이 높게 측정되었다. 이는 시멘트풀의 체적이 증가하므로 동일한 배합에서 공극률이 작아지기 때문이다. 일반적으로 콘크리트의 경우 물시멘트비가 작아지면 시멘트 수화체의 비중이 증가하여 단위중량이 증가하게 되는데 투수 콘크리트의 경우에는 수화체의 비중 증가에 따른 영향보다는 공극률이 작아지면서 밀실하게 되는데 따른 영향을 더 크게 받는 것으로 판단된다.

#### 3.2.2 콘크리트의 강도

##### (1) 압축강도

압축강도는 단위시멘트량 420kg/m³, 물시멘트비 32%, 골재치수 10mm에서 최대인 290kg/cm²가 나왔으며 그림 3에서 보는 바와 같이 단위시멘트량에 따라 비례하는 것으로 나타났다. 동일한 단위 시멘트량에서 물시멘트비가 32%인 것이 28%에 비해서 전반적으로 높은 강도를 나타났으며 골재의 크기에 따라서는 10mm 골재가 13mm 골재에 비해 강도 더 크게 나타났다. 그러나 투수 콘크리트의 압축강도 특성은 물시멘트비 변화에 따른 차이보다는 골재의 크기에 따른 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다.

일반적으로 콘크리트에 있어서 물시멘트비가 작게 되면 시멘트 페이스트의 강도가 증가되어 재료의 강도가 증가되는 것으로 되어있으나 공극이 많은 투수 콘크리트의 경우에는 오히려 물시멘트비가 많은 배합이 내부 공극이 적어지므로 강도가 더 높게 나타나는 것으로 볼 수 있다.

압축강도 200kgf/cm²이 넘는 배합의 범위는 단위시멘트량 380kg/m³이고 물시멘트비 32%로서 현재 시공현장에서 사용되고 있는 투수 콘크리트 배합에 비하여 단위시멘트량이 높게 나타났다.

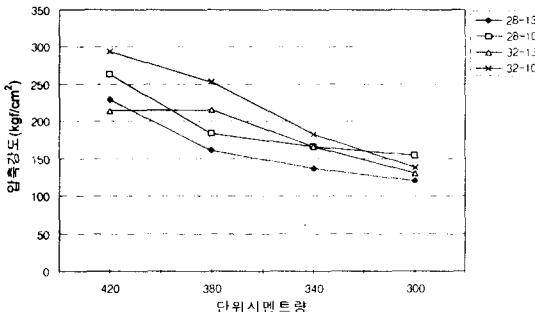
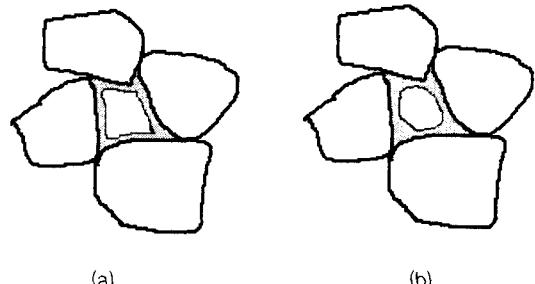


그림 3 단위시멘트량에 따른 압축강도의 변화



(a) 접촉각이 작아 응력이 집중되기 쉬운 경우  
 (b) 접촉각이 커서 응력이 분산되기 쉬운 경우

그림 4 시멘트 페이스트의 량에 따른 공극의 형태

## (2) 인장강도 및 휨강도

인장강도의 경우 압축강도와 비례하게 되므로 단위시멘트량에 따른 인장강도의 변화는 단위시멘트량에 비례하는 것으로 나타났으며 물시멘트비가 32%이고 골재의 크기가 10mm일 때의 배합에서 가장 우수한 강도를 얻을 수 있었다. 인장강도 30kgf/cm<sup>2</sup>을 만족시키는 배합의 범위는 압축강도와 유사한 범위를 보이고 있다.

휨강도는 전체적으로 40~60kgf/cm<sup>2</sup>을 범위를 나타내고 있다. 휨강도에 영향을 미치는 인자는 압축강도의 영향인자와 동일한 단위시멘트량과 물시멘트비, 골재의 크기 순이나 전체적으로 현재 시장에서 요구하는 기준을 만족시키고 있다. 따라서 현장에서 사용할 때 단위시멘트량 300kg/m<sup>3</sup> 이상이고 골재의 크기가 10, 13mm이며 물시멘트비가 28~32%인 조건을 만족하는 배합설계가 요구된다고 볼 수 있다. 다만 휨강도의 경우 공시체의 제작 조건의 차이에 있어서 다짐량이 압축, 인장에 비해서 더 많았으므로 이에 대한 차이가 있었음을 감안할 필요가 있다.

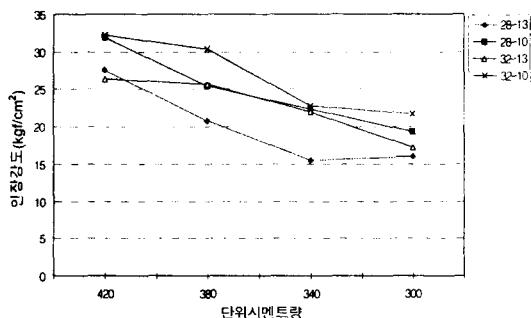


그림 5 단위시멘트량에 따른 인장강도의 변화

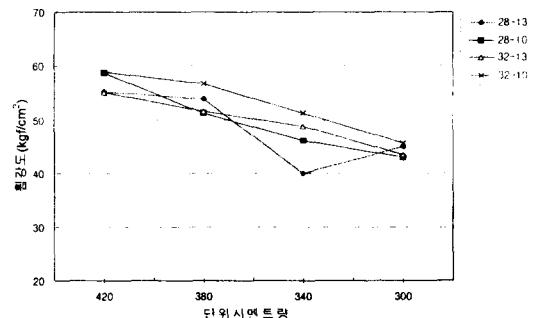


그림 6 단위시멘트량에 따른 휨강도의 변화

### 3.2.3 투수계수

압축, 인장, 휨강도 모두 단위용적 중량 즉 콘크리트가 밀실한 정도와 비례하는 경향이 있으나 투수계수는 콘크리트가 밀실할수록 반비례하므로 이에 대한 안정한 배합범위를 찾는 것이 중요하다.

일반적으로 투수 콘크리트의 투수계수는  $1.0 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$ 를 요구하는데 대부분의 배합에서 이 수준을 만족하고 있다. 이는 투수 콘크리트의 도로용 적용성 확대를 위해서 강도를 상향할 수 있는 가능성을 높여 준다고 판단된다. 배합의 특성은 단위시멘트량이 적을수록 물시멘트비가 작은 28%의 일 때

그리고 골재는 13mm일 때에 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 투수성에 있어서는 강도와는 다르게 위의 배합인자중 골재의 크기가 투수계수에 미치는 영향이 상대적으로 크게 나타난 것으로 분석된다.

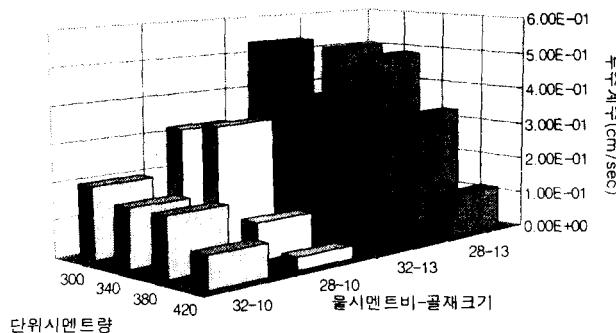


그림 7 배합특성에 따른 투수계수의 변화

#### 4. 결 론

투수 콘크리트에 대한 배합시험결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 투수콘크리트에 있어서 단위용적중량은 강도와 투수계수를 예측하는 기준이 될 수 있는 물성인데 본 실험에서는 공시체 제작 조건에 따라 단위용적 중량의 편차가 있었으므로 일관성있는 결과를 도출하기 위해서는 시공현장의 조건과 공시체 제작시의 작업 기준을 정할 필요가 있다고 사료된다.
- 2) 투수 콘크리트의 물성 개선을 할 수 있는 배합의 범위는
  - 단위시멘트량은 420~380kg/m<sup>3</sup>의 범위를 가지고 있으나 그 차이가 크지 않으므로 경제성을 고려하여 380kg/m<sup>3</sup>의 내외가 유리할 것으로 판단된다.
  - 물시멘트비는 28%가 32%에 비해 오히려 열등한 강도 특성을 보이고 있으며 작업성을 고려할 시 물시멘트비는 32%를 다소 상회하게 정하거나 혼화제를 사용함이 유리할 것으로 판단된다.
  - 골재의 크기는 강도의 측면에서는 10mm 골재가 유리하나 투수성을 고려할 때에는 13mm 골재와 그 이상의 골재를 검토할 필요도 있다.
- 3) 본 시험에서 골재의 강도를 측정하지 않았는데 골재의 강도가 투수콘크리트의 강도에 미치는 영향은 배합설계 인자보다 클 수 있으므로 골재의 강도나 조립률에 따른 투수콘크리트의 물성 변화에 대한 검토가 요구된다.

본 연구는 한국건설기술연구원과 삼기건설산업주식회사가 공동으로 수행하고 있는 산업자원부의 '98 공업기반기술개발사업의 연구내용 중 일부임을 밝혀드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 한국건자재시험연구원, 단입도 투수콘크리트의 성능평가, 1997. 12
2. 문한영 등, 투수성 콘크리트포장의 실용화를 위한 실험적 연구, 콘크리트학회지 Vol.10 No.3, 1998.6
3. Charles J. Korhonen et al., Porous Portland Cement Concrete as an Airport Runway Overlay, CRREL USACERL, 1989. 5