

# 투수성콘크리트포장의 현장적용에 관한 연구

## A Study on the Field Application of Porous Concrete Pavement

하재담\*

Manuel Fernandez Canovas\*\*

Ha, Jae-Dam

---

### Abstract

The present study has an objective to define the characteristic of the Porous Concrete to be used in the resistant layers of the pavement.

Up to the moment, there is no material which is capable of satisfying the mechanical resistances and drainability, two characteristics which are opposite to each other, for their use in pavement.

There is a good number of parameters which intervenes, and a detailed study has been carried out on the same order to obtain the porous concrete of this study, such as: Mode and time of compaction, type of cement, water/cement ratio, maximum size of aggregates, sieve test, incorporation of some additives and additions, etc., among them emphasizing the use of a method of compaction vibro-compression in the laboratory with which an optimum compacting was reached, and can be obtained on the site with a spreader rated with double tamper.

With this porous concrete for this study whose dominating characteristics is the drainability jointly with a high mechanical resistance, a safe and silence firm is obtained, which can be a great diffusion in the near future, for its application on the pavements.

Based on these works carried out, there was the first experience in the world of field application with 25cm of resistance layer of Porous Concrete Pavement in Salamanca, Spain.

---

### 1. 서론

현재까지는 포장용 콘크리트로 투수성과 소요의 강도 특성을 동시에 지닌 재료가 없었다. 그러나 이 2가지 특성은 반대로 작용한다. 즉 투수성을 높이려면 강도가 저하되는 한편 강도를 높이려면 투수성

---

\* 정희원, 쌍용양회(주) 중앙연구소 시멘트콘크리트연구실 선임연구원

\*\* 스페인 Universidad Politecnica de Madrid대학교 공과대학 건설재료과 교수

이 낮아지기 때문에 최적배합의 도출이 필요하다.

본 연구에서는 최적의 도로용 투수성콘크리트를 도출하는 과정에서 많은 변수, 즉 시멘트종류, 최대 골재크기, 물/시멘트비 등이 민감하게 영향을 미치고 일반적으로 실시하는 실험 이외에 투수성콘크리트의 특성을 측정하기 위해서 다짐 종류 및 시간, 연속 공극률 측정, 투수계수 측정, 마모시험, 콘크리트간의 부착력시험 등, 시공조건에 맞는 실험을 실시하였다. 본 연구를 통하여 차량의 반복하중을 지탱할 수 있고 슬래브에 스며드는 물을 빠른 시일내에 배수할 수 있으며 또 소음이 저하되는 투수성콘크리트를 개발하였고 또 세계 최초로 25cm 두께의 투수성콘크리트포장을 스페인 살라만카시에 타설하였다.

## 2. 실험

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

본 연구에서 시멘트는 스페인에서 일반적으로 콘크리트포장용으로 많이 사용하고 있는 I/45로 한국의 I종 시멘트와 유사하며, 화학적 성분과 물리적 성질은 다음과 같다.

표 1 시멘트의 화학적 성분

성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig. Loss
구성비 (%)	22.5	6.1	3.4	61.3	2.5	2.9	1.3

표 2 시멘트의 물리적 성질

분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	비중	응결시간		압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
		초결 (min)	종결 (hour)	3일	7일	28일
3.325	3.15	176	3.95	225	302	452

#### 2.1.2 골재

본 실험에 사용된 잔골재는 강모래를 세척하여 사용하였고 굵은골재는 쇄석으로 강도와 콘크리트포장의 표면을 고려하여 표 3과 같이 최대치수를 20mm로 하였고 사용골재의 입도 곡선은 그림 1과 같다.

#### 2.1.3 혼화제

도로포장용 투수성 콘크리트는 무슬럼프이지만 소요의 강도를 얻기위해 감수효과를 지닌 고성능 AE감수제 Sikament-1000 R 을 사용하였고 염화물을 포함하고 있지 않기 때문에 철근부식에 문제가 없다.

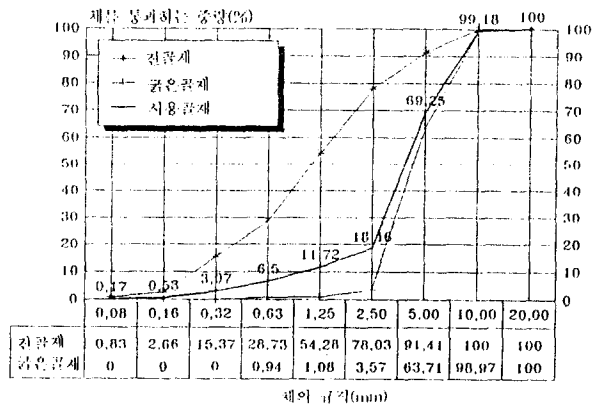


그림 1 사용골재의 입도곡선

표 3 골재의 물리적 성질

특성 종류	최대치수 (mm)	비중	단위용적 중량 (kg/m <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	조립율	실적율	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	L.A. 마모율 (%)
잔골재	5	2.58	1.585	1.07	2.71	61.3	-	-
굵은 골재	20	2.66	1.611	1.09	6.72	64.9	1,750	22.5

## 2.2 실험방법

본 논문에서는 콘크리트의 특성을 측정하는 기본적인 실험인 압축강도, 휨강도, 할렬강도, 동결융해, 길이변화, 열팽창계수 및 열전달계수 이외에 투수성 콘크리트의 특성 즉 연속공극률, 투수계수 등과 시공성을 고려한 압축진동 다짐 등이 있다.

### 2.2.1 압축진동 다짐

공시체는 있어서 압축강도 실험용으로는  $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 를 사용하였고 휨강도 실험용으로는 콘크리트 포장에 일반적으로 사용하는  $15 \times 15 \times 60\text{cm}$ 의 공시체를 사용하였고 다음 그림 2와 같이 진동 Table 과  $0.7\text{kg/cm}^2$ 의 중량을 지닌 쇠봉을 상부에서 압축시켰다. 이 다짐 방법은 건비빔의 투수성 콘크리트의 다짐정도를 최대화하는 한편 타설시 로울러전압 포장공법을 사용한 아스팔트페이퍼를 사용하는데 이점을 고려한 것이다.

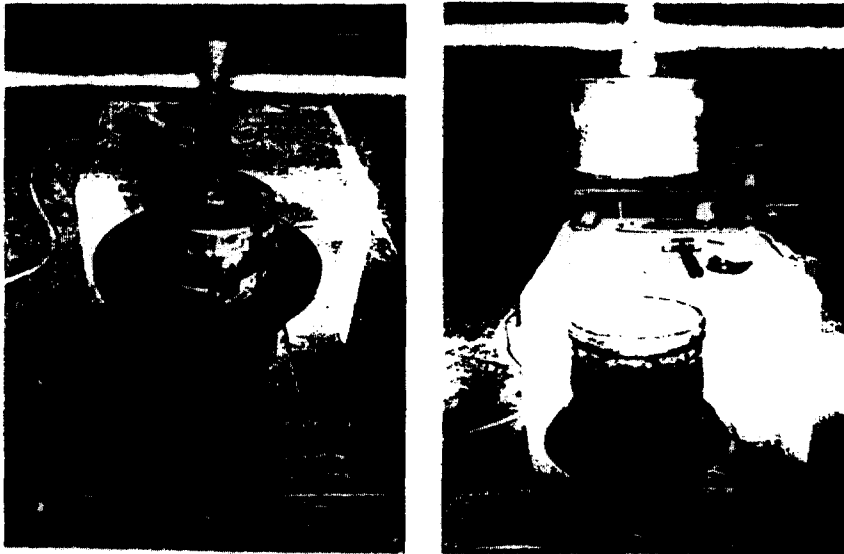


그림 2 압축진동 다짐방법

### 2.2.2 연속 공극률

콘크리트의 투수성은 연속공극률과 비례하며 이것의 측정은  $\phi 15 \times 20\text{cm}$ 의 공시체의 바닥과 둘레를 완전히 밀봉한 후 상부에서 물이 넘칠때까지 부어 주입된 물량을 공시체의 용적으로 나눈 값이다.

### 2.2.3 투수계수

투수성 콘크리트의 투수계수는 일반콘크리트의 투수계수보다  $10^{10}$ 배 이상 높기 때문에 일반콘크리트의 투수계수 시험기로는 측정이 불가능하여 다음 그림 3에 나타난 것같이 흙의 투수 시험 방법을 사용하였다. 시험방법은 정수위 투수 시험과 변수위 투수



그림 3 투수계수 측정기

시험 2가지중 일정한 지름과 길이를 지닌 공시체 속을 일정한 수위차에 의하여 일정한 수위내에 침투하는 수량을 시험하는 방법인 정수위 투수시험 방법을 사용하였고 투수계수는 Darcy법에 준하여 계산하였고 공시체는 15×30cm를 사용하였다.

#### 2.2.4 L.A. 시험기에 의한 콘크리트 마모 시험

골재의 마모율을 시험하는 로스앤젤레스 마모 시험기를 사용하여 콘크리트의 마모율을 측정하였다. 즉  $\phi 15 \times 10\text{cm}$ 의 공시체를 사용하여 500회전을 한 후 중량감소율을 일반콘크리트와 비교한 결과 다음 그림 4와 같이 마모형태는 비슷하였다.

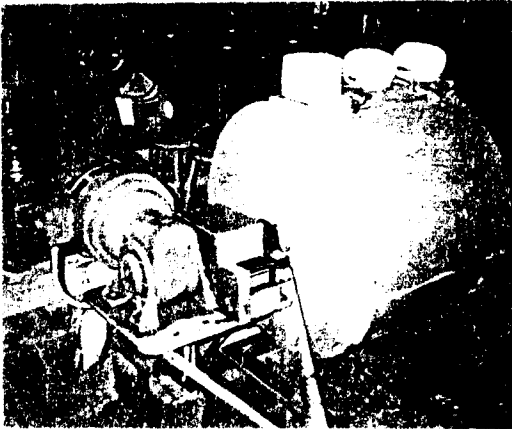


그림 4 로스앤젤레스 마모 시험

#### 2.2.5 콘크리트간의 부착력 시험

도로용 투수성콘크리트는 다우엘바와 타이바를 제외하고는 철근보강이 없는 무근 콘크리트포장으로 일정한 간격으로 줄눈을 뚫으므로 균열의 발생위치를 인위적으로 조절하고 줄눈부에 다우엘바를 사용하여 하중을 양쪽 슬래브에 전달한다. 여기서 슬래브를 1/2 두께로 타설한 후 다우엘바를 설치하고 그위에 나머지 두께로 타설하기 때문에 콘크리트간의 부착력 시험이 필요하다. 이시험을 하기위해 다음 그림 5에 나타낸것같은 형태의 공시체를 만들어 인장시험을하여 콘크리트간의 부착력 시험을 측정하였다.



그림 5 부착력시험용 공시체

### 2.3 배합

다음 표 4에 나타난 것 같이 현장에 사용한 배합표는  $45\text{kgf/cm}^2$ 의 28일 휨강도 및  $0.1\text{cm/sec}$ 의 투수계수를 얻기 위해서 최대골재치수는 20mm를 사용하였고 소요의 연속공극률 및 장기적 내구성을 확보하기 위해서는 S/a를 20%로 확정하였으며 높은 강도발현을 위해 단위시멘트량은  $380\text{kg}$ 을, W/C

표 4 현장적용 배합표

설계 휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	설계 투수계수 (cm/sec)	Gmax (mm)	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량 (kg/m <sup>3</sup> )				
					W	C	S	G	Ad
45	0.1	20	28	20	106	380	386	1,522	1.14

는 28% 및 고성능 AE감수제를 시멘트량의 0.3%를 사용하여 무슬럼프 투수성콘크리트를 제조하였다.

## 2.4 결과

### 2.4.1 다짐 방법 및 시간에 의한 강도변화

본연구에서는 압축진동 다짐과 진동 다짐을 비교한 결과 무슬럼프인 투수성콘크리트에서는 압축진동 다짐에 의해 제조된 공시체가 진동 다짐보다 압축강도는 17%, 휨강도는 11% 증대하였고 압축진동에 의한 최적다짐 시간은 25초로 나타났다.

### 2.4.2 단위용적중량과 압축강도와의 관계

단위용적중량( $\delta$ : t/m<sup>3</sup>)과 압축강도( $\sigma_c$ : kgf/cm<sup>2</sup>)는 정비례한다. 본 연구결과에 의하면 이들의 상관식은 다음과 같으며 상관계수는 0.91로 높은 상관관계가 성립되었다.

$$\sigma_c = -5.4 + 101.8 \times \delta$$

### 2.4.3 투수계수와 및 압축강도와의 관계

연속공극률과 투수계수와의 정비례하며 이들은 압축강도와의 반비례한다. 본 연구결과 표 4의 배합에 의해 제조된 공시체는 11에서 13%의 연속공극률을 나타내었고 투수계수(k: cm/sec)는 0.25에서 0.47cm/sec, 압축강도는 247.3에서 298.5kgf/cm<sup>2</sup>, 휨강도는 45.8에서 49.3kgf/cm<sup>2</sup>를 나타내었다. 콘크리트를 제조하였다. 이들의 상관식은 다음과 같으며 상관계수는 0.94로 높은 상관관계가 성립되었다.

$$k = 412.76 + 1.92 \times \sigma_c$$

### 2.4.4 압축강도와 휨강도와의 관계

휨강도( $\sigma_f$ : kgf/cm<sup>2</sup>)의 측정은 15×15×60cm의 공시체를 사용하여야 하기 때문에 실험의 간소화를 위해  $\phi$  15×30cm의 압축강도( $\sigma_c$ )와의 다음과 같은 상관식을 구하였고 상관계수는 0.71로 다소 떨어지는 편이다.

$$\sigma_f = 0.19 \times \sigma_c^{0.97}$$

### 2.5.5 마모율

일반 도로용 콘크리트와 투수성콘크리트는 마모율에서는 조금 불리한 것으로 나타났다. 예를 들어 단위용적중량이 2.32t/m<sup>3</sup> 인 일반 콘크리트의 마모율은 12.8%이고 단위용적중량이 2.11t/m<sup>3</sup> 이고

연속공극률이 13.7%의 투수성콘크리트의 마모율은 15.8%로 다소 떨어진다.

### 2.5.6 기타

이외에도 본 연구의 투수성콘크리트는 열팽창계수는  $0.005\text{mm/m} \cdot ^\circ\text{C}$ 로 일반콘크리트의  $\frac{1}{2}$  정도 이고, 열전달계수는 일반콘크리트의 30% 수준인  $0.438 \text{ Kcal m/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ 로 포장용으로 유리한 특성을 지녔다.

## 3. 현장적용

1989년부터 개발한 투수성콘크리트를 1994년 11월에 세계 최초로 25cm의 두께로 포장용으로 타설하였다. 시험타설은 스페인 살라만카시에서 실행하였고 시험타설구간은 그림 6에 나타난 것같이 왕복 2차선으로 길이는 175m 이며 25cm 두께의 노반으로 흙에 시멘트를 3.8% 혼합하여 사용하였고 이 노반위에 플라스틱으로 차단층을 설치한 다음 투수성콘크리트를 타설하였다. 노견에는  $\phi 100\text{cm}$ 의 PVC를 설치하여 투수성콘크리트로 스며드는 물을 배수할 수 있도록 설계하였고 대형차교통량이 하루 316대로 교통량의 구분으로는 B교통에 해당하며 1995년 1월에 개통되어 현재까지 만족한 결과를 얻었다.

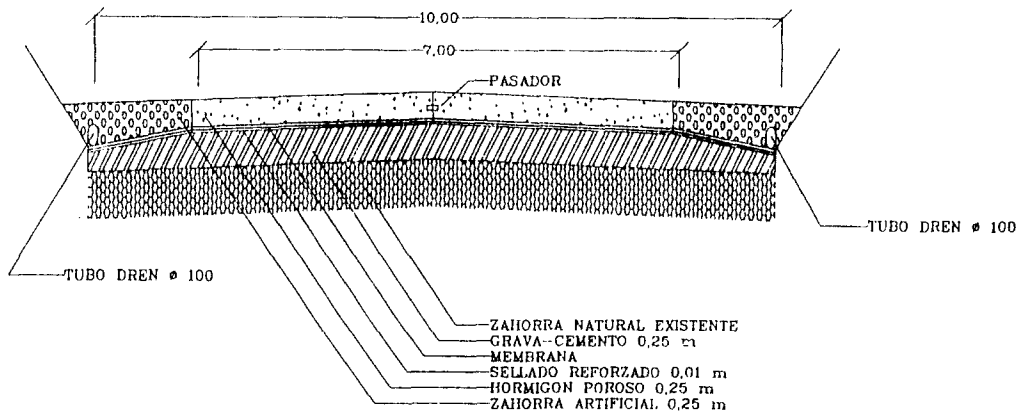


그림 6 투수성콘크리트포장의 단면도

## 4. 결론

- 1) 본 연구는 스페인에서 실시된 것이며 따라서 이에 사용된 재료는 국내의 재료와는 차이가 있다. 특히 시멘트의 경우 28일 모르타 압축강도가  $452 \text{ kgf/cm}^2$ 로 국내의 포장용시멘트보다 20% 정도 높다. 이에 따라 국내에서는 소요의 강도를 발현하는 포장용 투수성콘크리트를 제조하기 위해서는 시멘트량을 증가해야 할 것으로 판단된다.
- 2) 투수성콘크리트의 특성을 측정하기 위해서는 제일 중요한 것은 높은 강도를 발현하기 위해서는 물/시멘트비를 최소한 낮추는 동시에 압축강도 다짐을 하여야 하며 이 다짐방법은 현장타설을 고려한 것이다.

- 3) 투수성콘크리트는 연속공극률로 인한 수분증발을 막기위해 타설한 후 적어도 3일간은 플라스틱으로 보호하여야 하며 적어도 하루에 2번 물을 뿌려서 양생을 하여야 한다.
- 4) 국내에서도 도로 선진국에서와 마찬가지로 포장용으로 투수성콘크리트의 연구가 지속되어야 하며 관련업계의 관심이 필요하며 국내실정에 적합하며, 비가 와도 안전하고 소음이 적으며 내구성을 지닌 포장용 투수성콘크리트의 개발이 필요하다.

### 참 고 문 헌

1. 하재담, Estudio del Hormigon Poroso en su Aplicacion como capa resistente de firmes de carretera. 박사학위논문, 1993년
2. 하재담, High Permeability Concretes, Civil Engineering European Courses, Nov, 1995.
3. Malhotra, No-Fines Concretes : It's Properties and Applications, Departmet of Energy Mines and Resources Mines Branch, 1974.
4. Medico, The Story of Porous Concrete Pavement, Porous Concrete Inc., 1979.
5. Raimbault 외, Les Chaussees Poreuses : Une Technique Nouvelle pour l'Assinissement Urbain, bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussees N.117 Jan-Feb, 1982.