

투수콘크리트 포장의 배합설계 및 시공사례

하 재 담* · 하 상 옥**

1. 서 론

지난 과거의 국내·외 현실은 대량생산 및 대량소비라는 생산성중심의 산업발전을 이루어 왔고 빠른 기간 내에 큰 성과를 달성하기 위한 양적인 성장이 주된 목표였으며 이러한 현상은 사회간접자본 시설을 비롯한 여러 건설분야에서도 동일한 결과로 나타났다. 일례로 국내 자동차의 보급률의 증가에 비례하여 도로망 확충도 급격하게 진행되었는데 국도 및 고속도로는 물론 보도, 자전거 도로, 공원 산책로 등 이제는 비포장 도로를 발견할 수 없을 정도로 도로포장의 개념이 생활 깊숙히 자리를 잡고 있다고 할 수 있겠다.

이러한 양적인 성장 이면엔 기존의 도로포장에 있어서 몇 가지의 문제점을 지적할 수가 있는데 그것은 도로포장으로서의 역학적인 특성만을 중시한 결과, 도로를 이용하는 사용자에게 편리하고(user-friendly) 환경과 친화적(environmentally friendly)인 측면에 있어서는 소홀했던 것이 사실이다.

현재까지 도로포장의 주재료로서 사용되는 아스팔트 및 콘크리트 포장의 경우는 강우시 도로구배에 의한 배수방법을 채택하고 있는 한마디로 불투수성 포장이므로 강수량이 많거나 일부

도로의 구배가 제대로 이루어지지 못하며 부분 파손으로 인하여 빗물이 고여있을 경우 수막현상으로 인하여 원활한 통행을 방해하거나 자동차 제동시 미끄럼 저항성이 떨어져 안전을 위협하는 등 도로로서의 역할 수행을 제대로 하지 못하는 경우가 허다하다.

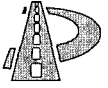
내구성 측면에서는 내구연환을 충분히 지키지 못하고 외부 물리·화학적 열화요인에 의해 성능저하가 발생, 수명기간 동안의 건전성을 확보하기 위한 조기 보수가 필수 불가결하며 내구연환이 긴 콘크리트 도로포장에 있어서도 빗물에 의한 팽팽현상으로 콘크리트판의 줄눈, 균열 등으로 빗물이 침투한 상태에서 차량의 반복하중으로 인하여 콘크리트판이 파괴 등의 결함이 나타날 수 있다.

아울러 이러한 불투수성 포장의 경우 빗물이 포장표면을 흘러 배수구로 나가거나 배수시설이 부실하거나 강수량이 많을 경우 도로 포장을 넘어 하수관, 하천, 강 등으로 흘러 들어가면서 도시하천 범람의 위기를 초래할 수 있으며 차량의 타이어와 노면과의 마찰에 의한 소음이 흡수되지 못하고 반사되어 인근에 소음공해를 유발시킨다.

이러한 여러가지 현상을 종합해볼 때 포장용 콘크리트로서 소요 내구성을 만족하며 아울러

* 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 선임연구원

** 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 연구원



투수성을 확보함이 절실히 요구되고 있으며 유럽과 일본 등 일부 선진국에서는 이러한 연구가 선행되어 활발하게 이루어지고 있으나 아직 국내에서는 기초단계에 머물러 있다고 할 수 있겠다.

일반적으로 투수성과 소요 역학특성은 상반된 결과를 나타내는데 즉 투수성을 높이려면 강도가 저하되는 한편 강도를 높이려면 투수성이 낮아지는 특성이 있으므로 본 고에서는 최적의 도로용 투수성 콘크리트를 제조하기 위하여 여러 실험인자를 설정하여 최적 배합을 도출하고 아울러 실제 현장에 적용한 사례를 소개하고자 한다.

2. 국내·외 관련기술 현황

2.1 국내 관련기술 현황

도로 포장구조체는 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 그 하나가 아스팔트 포장인 가요성 포장(Flexible Pavement)이고, 다른 하나는 콘크리트 포장인 강성포장(Rigid Pavement)이다. 본 고에서 다루는 포장은 강성포장인 콘크리트포장으로서 이는 표층에 위치하는 콘크리트 슬래브 자체가 빔 또는 플레이트와 같이 거동하며 차량의 윤하중에 의해 발생하는 응력을 휨 저항으로 지지하는 형식이다. 콘크리트 포장은 일반적으로 표층 및 중간층, 보조기층으로 구성되어 있으며, 표층은 시멘트 콘크리트를 말하나 그 위에 아스팔트 콘크리트 마모층을 둘 수도 있다. 보조기층의 역할은 슬래브에 균등한 지지력을 주고 투수층으로 동상(Frost heave)현상을 방지하고 시멘트 콘크리트 슬래브를 타설하기 위한 안전한 작업기반을 조성하게 하는데 있다. 투수 콘크리트를 적용하게 될 포장형식은 여러가지 포장형태 중 무근 콘크리트 포장에 적용될 수 있으며 이러한 무근 콘크리트 포장은 현재 국내

에서도 가장 많이 사용되는 포장형식이나 차량의 주행안정성이나 도로주변의 환경보전 등의 문제점을 다소 내포하고 있으며 투수콘크리트 포장이 이의 해결방안으로 제시되고 있다. 그러나 국내의 투수콘크리트 포장에 대한 연구는 거의 전무한 상태이며 기술 또한 초보적인 단계라 할 수 있다. 그 적용에 있어서도 자전거도로나 주차장, 보도용 등으로 극히 제한되어 있으며 사용골재도 6~10mm로 국한되어 있어 도로포장용으로서의 접근은 미미한 상태이다. 한편 투수 아스콘이라 불리는 투수성 아스팔트 콘크리트가 개발되어 사용되고 있으나 여름철 노면의 온도 상승으로 아스팔트의 점성으로 인하여 공극이 막히고 중차량의 하중으로 노면이 변형, 투수기능이 상실되는 단점이 있다.

2.2 국외 관련기술 현황

유럽 및 일부 선진국에서는 오래 전부터 투수성 포장에 대하여 연구가 진행되어 왔는데 미국의 경우, 미연방도로국의 방침에 의해 고속도로에서의 적용을 위한 연구가 시행중이며 유럽 EC국가에서는 70년대 후반부터 개발을 시작하여 현재는 주차장, 콘크리트포장의 노면, 표층 등에 적용 중에 있다. 또한 현재 국도 등에 시험적용이 이루어지고 있으며 머지않아 고속도로에도 적용될 예정이다. 일본의 경우에도 다양한 형태로 투수콘크리트의 실용화를 위한 연구가 진행중인데 시멘트협회 포장기술전문위원회에서 도로포장으로의 적용을 위하여 적극 검토 중에 있다.

3. 투수콘크리트의 개념

3.1 투수콘크리트의 구조

일반적으로 콘크리트는 굵은골재의 공극을 시멘트, 물, 잔골재로 혼합된 모르타가 채우고 있



으며 밀실하게 채워질수록 좋은 콘크리트로 평가하지만 투수콘크리트는 모르타르부분을 소요특성을 만족하는 범위에서 최소화하여 콘크리트 내부에 투수성을 갖는 공극을 형성시켜준 콘크리트로서 일명 포러스(Porous)콘크리트 또는 잔골재가 거의 사용되지 않았다하여 No-Fines Concrete라고도 불린다.

의 요구특성을 만족함과 동시에 투수성을 확보하여야 하는 것이다.

표 1. 투수콘크리트의 물성값

물성 항목	물성값의 범위
비 중	1.6~2.0
공극률	5%~35%
압축강도	50~300kgf/cm ²
인장강도	압축강도의 1/7~1/14
휨 강도	10~50kgf/cm ²
정탄성계수	0.7~2.0×10 ⁶ kgf/cm ²
부착강도	15~60kgf/cm ²
전조수축	200~350×10 ⁻⁶
투수성	0.1~5.0cm/s
단열성	0.3kg·cal/m ² ·h·°C

보통 콘크리트

투수콘크리트

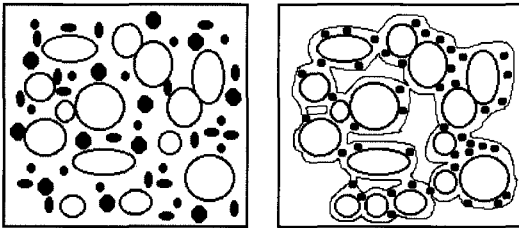


그림 1. 투수콘크리트의 구조 모식도

내부 공극도 사용골재에 따라서 형상이 달라질 수가 있으나 일반적으로 그림 2와 같은 형상을 나타낸다.

표 1은 일반적으로 투수콘크리트에 요구되는 물성값으로서 표에서도 알 수 있듯이 강도와 공극률과의 조화가 요구되는 콘크리트라 할 수 있다. 투수콘크리트의 대표적 역학특성인 강도와 내구특성을 비교하면 다음과 같다.

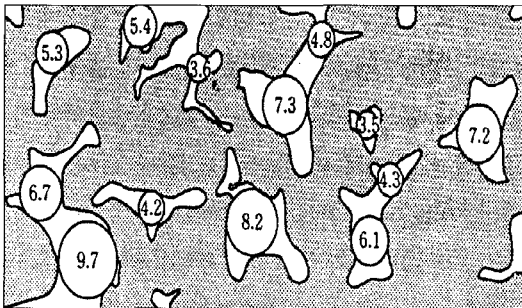


그림 2. 투수콘크리트의 공극 모식도

(1) 강도

3.2 투수콘크리트의 특성

투수콘크리트는 일반콘크리트와는 상반된 개념으로서 연속된 공극을 형성하다보면 콘크리트에 요구되는 강도 및 역학특성이 저하되므로 투수콘크리트 제조에 있어서의 핵심은 구조체로서

투수콘크리트의 강도는 보통 콘크리트에서와 마찬가지로 시멘트와 같은 사용재료 또는 시멘트 페이스트의 양, 공극률 및 물-시멘트비 등의 배합조건, 다짐의 시공조건 등에 의해 결정된다고 할 수 있다. 이중 공극률의 영향이 가장 크다고 할 수 있으며 특히 투수성 확보를 위해서는 투수콘크리트의 공극률은 20~30%가 적절한 것으로 알려져 있으므로 공극률의 증가에 따른 강도의 저감 및 단위시멘트량의 증가에 따른 공극률의 감소를 배합측면에서 충분히 고려하여야 한다.

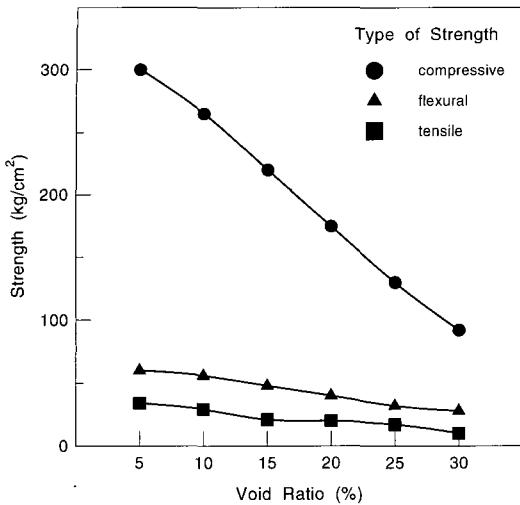
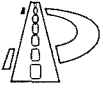


그림 3. 공극률과 강도와의 관계

그림 2는 동일한 골재를 사용하고 공극률을 5~30%까지 6단계로 변화시켰을 때의 투수콘크리트의 압축, 휨, 및 인장강도의 측정결과를 나타낸 것이다. 이 결과에서도 투수콘크리트의 강도는 공극률의 증가에 직선적으로 감소함을 확인할 수 있으며 20~30%의 공극률에서도 투수콘크리트가 100~200 kgf/cm²의 압축강도를 발휘함을 알 수 있다.

한편 다양한 입경의 굵은골재를 이용한 투수콘크리트의 공극률과 압축강도를 측정한 실험결과에 의하면 공극률이 동일하더라도 투수콘크리트 제조에 사용되는 골재의 입경이 작아짐에 따라 압축강도는 상대적으로 증가함을 알 수 있었다.

(2) 내구성

투수콘크리트의 내구성에 대한 연구는 현재로서는 활발하게 진행되지 않은 상태지만 내구성의 특징 중에서 동결융해 저항성에 대해서는 ASTM C 666의 A법(수중동결 수중융해법) 및 B법(기중동결 수중융해법)에 의한 실험의 보고가 예로 있다. 주지하는 바와 같이 투수콘크리트

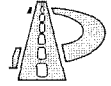
트는 다량의 연속된 공극이 존재하므로 이 공극 내로 수분이 쉽게 유입되어 동결 팽창함으로써 일반 콘크리트에 비해 동결융해 저항성이 낮은 것으로 알려져 있다. 하지만 골재 크기가 비교적 큰 채석을 사용한 투수콘크리트의 경우, A법에 의한 결과는 공극내 얼음의 팽창압을 직접 받기 때문에 열화가 빠르나, B법에 의한 시험처럼 공극이 물로 가득 차 있지 않은 경우의 실내 동결 융해시험에서는 200회를 반복시키더라도 상대동탄성계수의 저하는 없는 것으로 나타났으며 적설량이 많은 한랭지에서의 옥외 폭로시험 결과에 의하면 물-시멘트비가 낮다면 투수콘크리트의 내구성도 양호한 것으로 나타나 있고, V. M. Malhotra의 연구보고서에서도 이런 구조의 콘크리트에서도 AE제의 첨가로 인하여 내동해성을 향상시킬 수 있다고 한다. 그러므로 이러한 결과들을 종합해 보면 투수콘크리트를 호안 등의 수면하의 부위에 적용하는 경우에는 주의가 요망되지만 기타의 경우는 한냉지에 대해서도 내구성이 있는 것으로 생각된다.

건조수축의 영향은 단위시멘트량이 적은 투수콘크리트의 경우가 보통콘크리트에 비하여 약 60%의 수준으로 낮고 건조수축의 속도도 완만한 것으로 알려져 있다.

4. 투수콘크리트의 실내 시험

4.1 실험개요

최적의 도로포장용 투수콘크리트를 제조하기 위하여 다짐종류 및 시간 등의 시공조건을 검토하였으며 실내배합실험을 통하여 투수콘크리트의 기본적 특성과 실험인자별 상관관계를 도출하여 현장 시험시공에 적용할 최적배합을 선정하였다.



4.2 사용재료

(1) 시멘트

국내 1종 보통포틀랜드시멘트와 유사한 특성을 지닌 스페인산 시멘트를 사용하였으며 화학적 성분 및 물리적 성질을 나타낸 것이 표 2~3이다.

표 2. 사용시멘트의 화학성분

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	lg. Loss (%)
22.5	6.1	3.4	61.3	2.5	2.9	1.3

표 3. 사용시멘트의 물리특성

비중	분말도 (cm ² /g)	응결시간		압축강도(kgf/cm ²)		
		초결 (min)	종결 (hour)	3일	7일	28일
3.15	3.325	176	3.59	225	302	452

(2) 골재 및 혼화제

잔골재는 강모래를 굵은골재는 부순자갈을 사용하였으며 콘크리트포장의 표면을 고려하여 골재최대치수를 20mm로 하여 실험하였다. 그리고 투수콘크리트는 무슬럼프이지만 소요강도를 얻기 위해 감수효과를 가진 고성능 AE감수제(Sikament-1000R)를 사용하였다. 표 4는 골재의 물리적 특성을 나타낸 표이다.

표 4. 사용골재의 물리특성

	최대 치수 (mm)	비중	단위용적 중량 (kg/m ³)	흡수율 (%)	조립율	실적율
잔 골 재	5	2.58	1.585	1.07	2.71	61.3
굵은 골 재	20	2.66	1.611	1.09	6.72	64.9

4.3 실험방법

(1) 압축진동 다짐

진비빔의 투수콘크리트의 다짐정도를 최대화하기 위해서 중량 0.7kg/cm²의 쇄봉을 상부에 위치시키고 진동테이블을 이용하여 압축강도 측정용(φ15×30cm), 휘강도 측정용(15×15×60cm)의 공시체를 제작했다.

(2) 연속공극률

φ15×20cm의 공시체를 밀봉하고 상부에 넘칠 때까지 물을 부어 주입된 물량을 공시체용적으로 나눈값으로 하였다.

(3) 투수계수

투수콘크리트의 투수계수는 일반콘크리트보다 10¹⁰배 높기 때문에 φ15×30cm의 공시체로 토질에서 사용하는 정수위 투수시험을 사용하였고 Darcy법에 의해 계산하였다.

(4) 마모시험

φ15×10cm의 공시체로 로스엔젤레스 마모시험기를 사용하여 500회전하여 중량감소율을 측정하였다.

(5) 부착력 시험

투수콘크리트는 다우엘바와 타이바를 제외하고는 무근 콘크리트포장과 유사하므로 줄눈을 설치하여 균열의 발생위치를 조절하고 줄눈부에 다우엘바를 사용하여 하중을 양쪽 슬래브에 전달한다. 여기서 슬래브를 1/2 두께로 타설한 후 다우엘바를 설치하고 그 위에 나머지 두께로 타설하기 때문에 콘크리트간의 부착력 시험이 필요하다. 각주형태의 공시체를 만들어 인장시험을 하여 콘크리트간의 부착력 시험을 측정하였다.



4.4. 실험결과

(1) 다짐에 의한 강도 변화

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

(2) 단위용적중량과 압축강도

단위용적중량(δ : t/m³)과 압축강도(σ_c : kgf/cm²)는 정비례하며, 본 실험결과에 의하면 아래와 같은 90% 이상의 높은 상관관계를 나타내었다.

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

(3) 투수계수와 압축강도와의 관계

일반적으로 연속공극률과 투수계수와는 정비례하며 이들은 압축강도와는 반비례한다.

본 실험결과에 의하면 연속공극률은 11~13%를 나타내었고 투수계수(k:cm/sec)는 0.25~0.47cm/sec이며 압축강도는 247.3~298.5kgf/cm², 휨강도는 45.8~49.3kgf/cm²를 나타내었다. 이들의 상관식은 다음과 같으며 상관계수는 0.94로 높은 상관관계가 성립되었다.

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

(4) 압축강도와 휨강도와의 관계

휨강도(σ_f :kgf/cm²)의 측정은 15×15×60cm의 공시체를 사용하였으므로 실험의 간소화를 위해 ϕ 15×30cm의 압축강도(σ_c)와의 관계를 다음에 나타내었으나 상관도는 다소 떨어지는 편이다.

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

(5) 마모율

일반 도로용 콘크리트와 투수성콘크리트는 마모율에서는 조금 불리한 것으로 나타났다. 예를 들어 단위용적중량이 2.32t/m³인 일반 콘크리트의 마모율은 12.8%이고 한편 단위용적중량이 2.11t/m³이며 연속공극률이 13.7%인 투수성콘크리트의 마모율은 15.8%로 다소 떨어진다.

(6) 기타

이외에도 본 실험의 투수콘크리트는 열팽창계수는 0.005mm/m·°C로 일반콘크리트의 1/2 정도이고, 열전달계수는 일반콘크리트의 30% 수준인 0.438kcal·m/m²·hr·°C로 포장용으로 유리한 특성을 지녔다.

5. 투수콘크리트의 시험시공

5.1 공사 개요

- (1) 장소: 스페인 살라만카
- (2) 일시: 1994년 11월(1989년부터 개발)
- (3) 구간: 길이는 175m이며 두께가 25cm인 왕복 2차선
- (4) 특징: 세계최초로 포장용으로 투수콘크리트를 25cm의 두께로 시험타설

(5) 시공순서

원지반의 흙에 시멘트를 3.8% 혼합하여 노반을 조성하고 노반상부에 플라스틱으로 불투수성 차단포를 설치하였으며 그 위에 투수콘크리트를 타설하였다.

노건에는 ϕ 100cm의 PVC를 설치하여 투수콘크리트로 스며드는 물을 배수할 수 있도록 설계하였다.



(6) 시공결과

대형차 교통량이 하루 316대로서 교통량의 구분으로 B교통에 해당하며 1995년 1월에 개통되어 현재까지 만족한 결과를 얻었다.

5.2 현장 적용 배합

실내배합실험을 근간하여 현장 시험타설에 사용한 투수콘크리트 배합의 설계 휨강도와 투수계수는 각각 45kgf/cm², 0.1cm/sec이었으며 적용 배합은 아래의 표 5와 같다.

표 5. 현장적용 배합표

G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	Ad
20	28	20	106	380	386	1,522	1.14

6. 결론

- (1) 본 연구는 스페인에서 실시된 것이므로 사용된 재료가 국내의 것과 차이가 있으며 특히 시멘트의 경우 28일 모르타 압축강도가 452kgf/cm²로 국내의 포장용 시멘트보다 20% 정도 높다. 그러므로 국내에서는 소요의 강도를 발현하는 포장용 투수콘크리트를 제조하기 위해서는 시멘트량을 다소 증가시켜야 할 것으로 사료된다.
- (2) 투수콘크리트의 강도 발현을 위해서는 물·시멘트비를 최소한 낮추는 동시에 하중에 의해 다짐을 하는 압축강도 다짐을 하여야 하며 아울러 이 다짐방법은 현장타설을 고려한 것으로 실내실험에서도 고려해야 할 것으로 생각된다.
- (3) 연속공극률로 인한 투수콘크리트의 수분증발을 막기 위해서는 타설한 후 적어도 3일간은 플라스틱으로 보호하여야 하며 적

어도 하루에 두 번 물을 뿌려서 충분한 수분양생이 되어야 한다.

- (4) 선진국에서와 마찬가지로 국내에서도 포장용 투수콘크리트의 연구가 지속적으로 진행되어야 하며 아울러 관련업계의 협조와 관심이 절실히 요구된다.

7. 실내실험 및 시험시공 사진



사진 1. 원주공시체 압축진동다짐

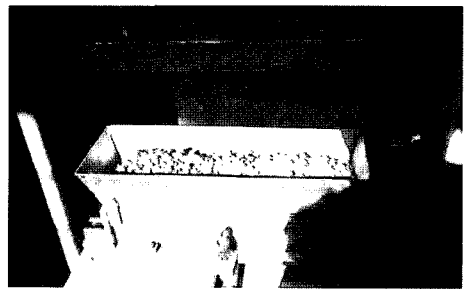


사진 2. 각주공시체 제작

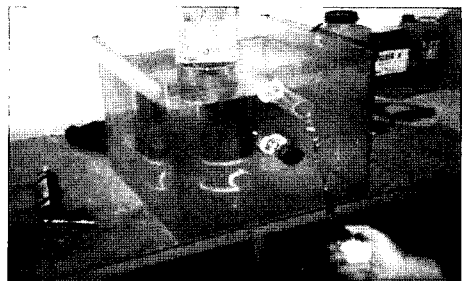


사진 3. 투수계수 측정장치

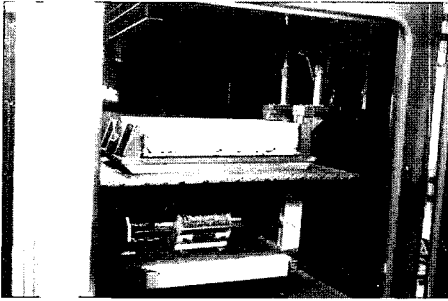
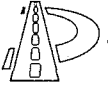


사진 4. 투수콘크리트의 건조수축 시험

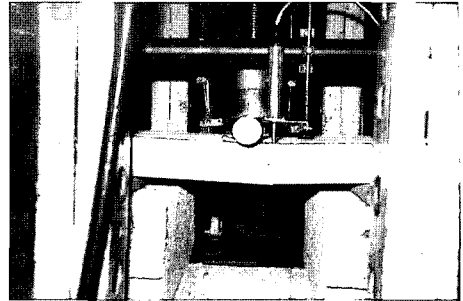


사진 8. 부착력시험용 공시체



사진 5. 로스앤젤레스 마모시험

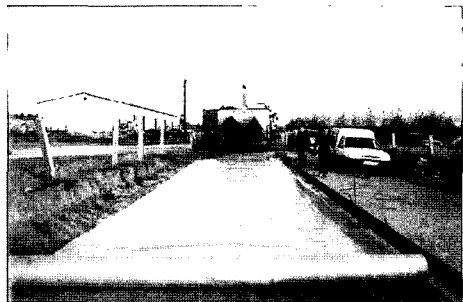


사진 9. 차단막 설치

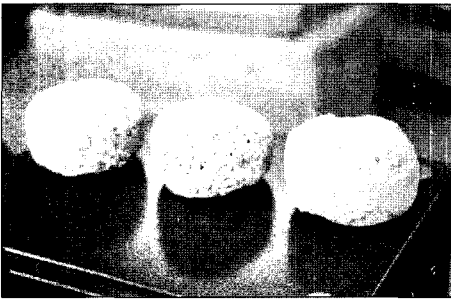


사진 6. 마모시험 결과 형상



사진 10. 투수콘크리트 타설

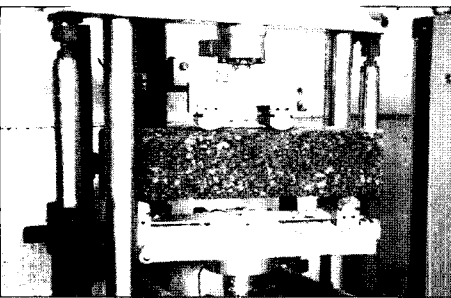


사진 7. 투수콘크리트 침강도 측정

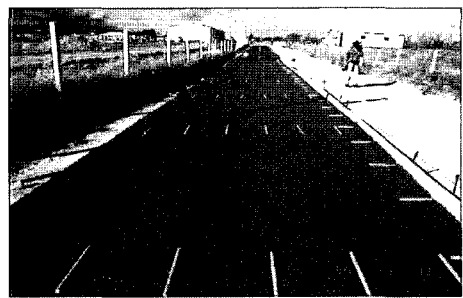


사진 11. 1단타설 후 다우엘바 설치

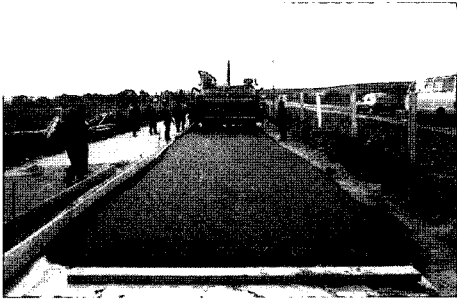
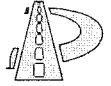


사진 12. 투수콘크리트 타설 후

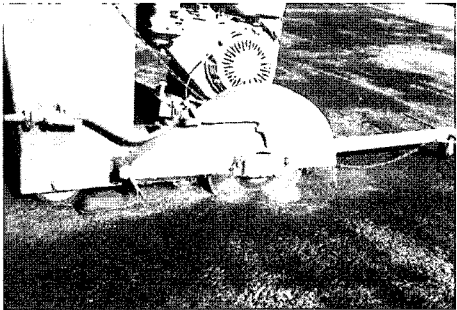


사진 13. 줄눈 절삭

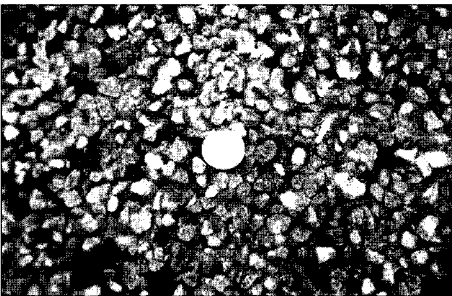


사진 14. 투수콘크리트 포장 단면

참고문헌

- (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) Medico, The Story of Porous Concrete Pavement, Porous Concrete Inc., 1979.
- (4) V. M. Malhotra, "No-Fines Concrete-Its Properties and Application," ACI JOURNAL, 1976. 11, pp. 628-644.
- (5) 尹勝昌昭, "透水콘크리트の概要および'エコマテリアル'としての用途," セメント・콘크리트, No. 576, 1995.2, pp. 11-16
- (6) 安田 登 外, "ポーラス콘크리트の製造・物性・試験方法," 콘크리트工學, Vol. 36, No. 3, 1998. 3, pp. 52-62.
- (7) 문한영, 김성수, 정호섭, "투수성 콘크리트 포장의 실용화를 위한 실험적 연구," 콘크리트 학회지, 제10권, 3호, 1998. 6, pp. 165-173.

나는 새로 만난 친구의 향내에 도취해서...

이미 내 육신처럼 익숙해져 버린 오래된 친구를 가끔 잊어버리기도 한다. 그러나 오래된 친구에게서 향내를 맡을 수 없는 것은 그에게 향기가 없음이 아니다. 내가 이미 거기 도취되었기 때문이며, 거기 오래 길이 들어서 내 것인지 그의 것인지 구별할 수 없게 되었기 때문일 것이다. 오래된 친구에게 무심해 진다는 것은 어떻게 생각해도 슬픈 일이다. 새로 사귄 친구가 나를 잠시 설레게 할 수는 있지만 오래된 친구처럼 내 아프고 쓰린 눈물을 닦아 줄 수는 없을 것이다.